

Vakgroep Bioprocestechnologie

Verslag behorende  
bij het fabrieksvoorontwerp  
van:

L. Boon en M. Snijder

**Fabrieksvoorontwerp van een  
melkzuurfabriek met als  
belangrijke scheidingsstap  
elektrodialyse**

L. Boon  
Erasmussingel 4<sup>a</sup>  
3051 KE Rotterdam

M. Snijder  
Pasteurstraat 7  
2613 ZW Delft

Opdrachtdatum: 9 februari 1993  
Verslagdatum: 29 april 1993

## SAMENVATTING

Dit verslag behandelt een voorontwerp van een melkzuurfabriek met een capaciteit van 20000 ton per jaar.

Melkzuur wordt door middel van continue fermentatie van glucose gemaakt, waarbij het melkzuur tijdens de fermentatie wordt verwijderd. Hiertoe wordt de fermentatiebroth door een recycleloop gevoerd waarbij de cellen in een microfiltratie-unit worden geconcentreerd en teruggevoerd naar de fermentor. Het permeaat gaat naar de elektrodialyse waar het lactaat grotendeels verwijderd wordt. De fermentatievloei-stof wordt ook gerecirculeerd naar de reaktor. De ontstane ammonia wordt hergebruikt voor het neutraliseren van de fermentor.

Het melkzuur wordt verder opgezuiverd met behulp van een ionenwisselaar en een destillatietoren.

Alhoewel het een zeer schoon proces is, met een kwalitatief goed produkt is niet aantrekkelijk om het in de praktijk toe te passen in verband met de extraordinair hoge elektriciteitskosten die nodig zijn voor de elektrodialyse. De enige manier waarop het rendabel gemaakt kan worden is door middel van het genereren van eigen energie. Om het proces schoon te houden zou dat dan ook nog een milieuvriendelijke manier van energieopwekken moeten zijn. Dit doorrekenen valt echter buiten het kader van dit fabrieksontwerp.

## INHOUDSOPGAVE

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| 1. Inleiding                                        | 1  |
| 2. Uitgangspunten voor het ontwerp                  | 2  |
| 3. Flowsheet                                        | 4  |
| 4. Reaktorontwerp en kinetiek                       | 5  |
| 4.1 Dimensionering van de reaktor                   | 5  |
| 4.2 Warmteproductie in de reaktor                   | 6  |
| 4.3 Temperatuurregeling van de reaktor              | 7  |
| 4.4 Berekenen van de dimensies van de opwarmspiraal | 8  |
| 4.5 Kinetiek van de lactaatproductie                | 10 |
| 5. Microfiltratie                                   | 14 |
| 6. Elektrodialyse                                   | 19 |
| 7. Rotary filter                                    | 33 |
| 8. Ionenwisselaar                                   | 35 |
| 9. Destillatie                                      | 39 |
| 10. Sterilizers en pompen                           | 40 |
| 11. Massa en energiebalansen                        | 41 |
| 11.1 Overall massa- en energiebalans                | 41 |
| 11.2 Componentenbalans                              | 43 |
| 12. Specificatieblad destillatie                    | 48 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 13. Kosten                      | 49 |
| 14. Symbolenlijst               | 55 |
| 15. Conclusies en aanbevelingen | 59 |
| 16. Literatuur                  | 60 |

#### Bijlagen

- Bijlage I (behorende bij hfst. 4)
- Bijlage II (behorende bij hfst. 5)
- Bijlage III (behorende bij hfst. 6)
- Bijlage IV (behorende bij hfst. 7)
- Bijlage V (behorende bij hfst. 9)
- Bijlage VI (behorende bij hfst. 10)

## 1. INLEIDING

Melkzuur of  $\alpha$ -hydroxy-propionzuur ( $\text{CH}_3\text{-CHOH-COOH}$ ) werd in 1780 ontdekt door Carl Wilhelm Scheele (Benninga et al., 1990).

In 1839 werd het voor het eerst melkzuur op fermentatieve wijze bereid door een student van Gay-Lussac, Frémy.

Pas in 1882 werd de eerste commerciële melkzuurfabriek gebouwd door Avery in Littleton (Benninga et al., 1990).

Melkzuur en melkzure zouten worden in veel voedingsmiddelen en pharmaceutische produkten toegepast om de smaak of houdbaarheid te verbeteren. Verder is melkzuur een belangrijke intermediair voor melkzure esters die worden toegepast voor lakken, zoetstof, geneesmiddelen, polymeren en implantaten.

De totale wereld melkzuur produktie is ongeveer 40000 ton per jaar. PURAC in Gorinchem is een van grootste melkzuurproducenten.

Er zijn drie zuiverheidsgraden voor melkzuur, technisch, eetbaar en hittestabiel.

Bij de huidige produktiemethode van melkzuur is vooral de verzuring in de fermentor en de daarmee samenhangende grote hoeveelheid gips die tijdens het proces gevormd wordt een probleem. Melkzuur werkt bovendien remmend op de produktie, vooral bij lage pH. (Alleen de ongedissocieerde vorm is giftig)

Het doel van dit fabrieksvoorontwerp is het doorrekenen van een continue variant van het huidige proces, waarbij de melkzuur tijdens de fermentatie door middel van elektrodialyse verwijderd wordt. De voordelen van een dergelijk proces zijn duidelijk. Er wordt geen afvalstroom gips meer geproduceerd, de produktie neemt toe omdat de fermentor veel minder verzuurd en de ammonia waarmee getitreerd wordt, wordt gerecirculeerd. Vooral de eerste reden is in deze tijd van toenemend milieubesef erg belangrijk.

## 2. UITGANGSPUNTEN VOOR HET ONTWERP

Het doel van dit fabrieksvoorontwerp is het ontwerpen van een melkzuurfabriek met een capaciteit van 20000 ton per jaar met behulp van elektrodialyse, waarmee lactaat tijdens de produktie uit de fermentatieopstelling verwijderd kan worden.

Het voordeel hiervan is dat de enorme bijproduktie van gips voorkomen wordt.

Hierbij wordt uitgegaan van een effectieve produktietijd van 8000 uren per jaar.

In verband met de corrosieve eigenschappen van melkzuur worden alle onderdelen die hiermee in contact komen vervaardigd van 316L-roestvast staal.

Als grondstof wordt glucose gebruikt. Voor het fermentatiemedium wordt verder een nutriëntoplossing gebruikt. Deze heeft de volgende samenstelling (Heriban et al, 1993):

|                                           |      |     |
|-------------------------------------------|------|-----|
| gistextrakt                               | 10   | g/l |
| $\text{KH}_2\text{PO}_4$                  | 1    | g/l |
| $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$              | 1    | g/l |
| $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 0.2  | g/l |
| $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | 0.05 | g/l |
| $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 0.01 | g/l |

Tijdens de fermentatie wordt de pH geregeld met ammonia.

Bij dit proces wordt zeer weinig afval geproduceerd. Een vloeibare afvalstroom van 4 m<sup>3</sup>/h met een concentratie ammoniumlactaat van 6 g/l en een verwaarloosbare hoeveelheid nutriënten en een vaste afvalstroom van gedroogd celmateriaal afkomstig van het rotaryfilter (17.56 kg/h).

### Gegevens van melkzuur

kookpunt 190 °C

viscositeit 1-4 cP (voor oplossingen onder 50%)

dichtheid 1000-1100 kg/m<sup>3</sup> (voor oplossingen onder 50%)

Doordat melkzuur zowel een hydroxyl- als een carboxylgroep bevat kan het zelfveres-

tering ondergaan als het sterk geconcentreerd wordt. Polymerisatie kan ongedaan gemaakt worden door de oplossing te koken met water.

### 3. FLOWSHEET

Ammonia, glucose en nutrientoplossing worden continu gesteriliseerd (H1, H2 en H3) en vervolgens opgeslagen in voorraadvaten (V1, V2 en V3). Deze drie componenten worden gemengd (M1) waarna ze als feed ( $4 \text{ m}^3/\text{h}$ ) naar de fermentor (V4) gaan.

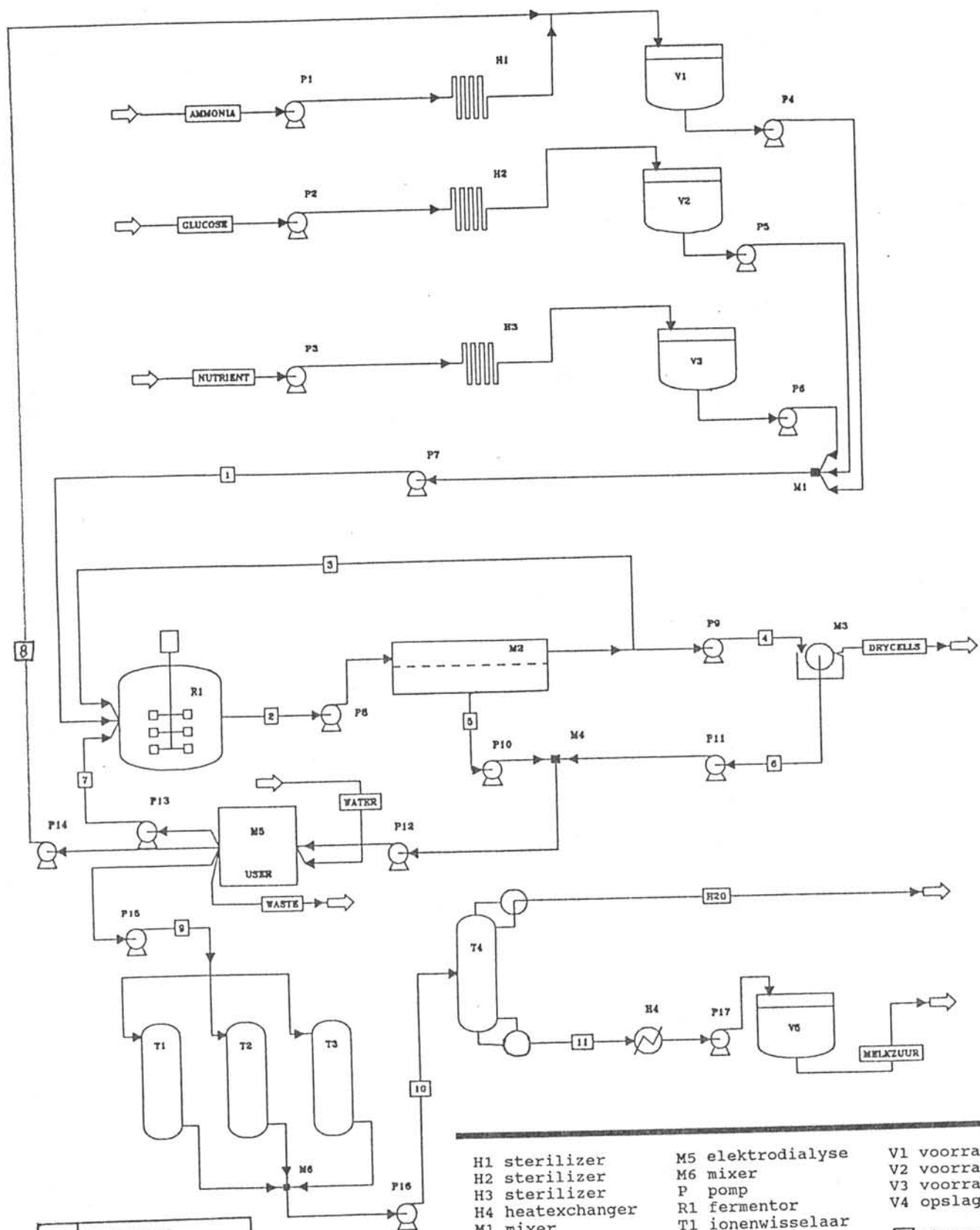
Vanuit de fermentor gaat een stroom van  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  naar de microfiltratie-unit. De cellen worden geconcentreerd tot een volumeflow van  $12.5 \text{ m}^3/\text{h}$ , waarvan  $12 \text{ m}^3/\text{h}$  wordt gerecirculeerd naar de fermentor en  $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$  naar het rotaryfilter (M3) gaat.

De permeaatflow van het microfilter ( $37.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) gaat samen met de filtraatflow van het rotaryfilter ( $0.5 \text{ m}^3$ ) naar de elektrodialyse (M5). Hier wordt lactaat grotendeels verwijderd uit de toevoerstroom. Deze wordt na de elektrodialyse grotendeels teruggevoerd naar de fermentor ( $34 \text{ m}^3/\text{h}$ ) en voor een klein deel gespuid ( $4 \text{ m}^3/\text{h}$ , conc. melkzuur  $6 \text{ g/l}$ ).

De ammonia die ontstaat bij de elektrodialyse wordt gerecirculeerd naar het voorraadvat ammonia (V1).

De geconcentreerde melkzuuroplossing wordt door een ionenwisselaar (T1, T2 of T3) geleid en vervolgens geconcentreerd tot 80 % melkzuur in een destillatietoren (T4). Het produkt wordt afgekoeld tot  $20^\circ\text{C}$  in een heatexchanger (H4) en vervolgens opgeslagen in een opslagtank (V5).

De hier weergegeven versie van de flowsheet is in feite de helft van de totale plant. De twee helften zijn voor elke stap gekoppeld, zodat de apparatuur voor elke stap uitwisselbaar is (nodig voor storingen).



|         |                |
|---------|----------------|
| Title   | LACTATE-PLANT  |
| Project | ELEKTRODIALYSE |
| By      | BOON & SNLDER  |
| Date    | 21-04-1993     |
| Notes   | AspenTech      |

H1 sterilizer  
 H2 sterilizer  
 H3 sterilizer  
 H4 heatexchanger  
 M1 mixer  
 M2 microfiltratie  
 M3 rotaryfilter  
 M4 mixer

M5 elektrodialyse  
 M6 mixer  
 P pump  
 R1 fermentor  
 T1 ionenwisselaar  
 T2 ionenwisselaar  
 T3 ionenwisselaar  
 T4 destillatie

V1 voorraadvat  
 V2 voorraadvat  
 V3 voorraadvat  
 V4 opslagtank

□ stroomnr

## 4. REAKTORONTWERP EN KINETIEK

### 4.1 Dimensionering van de reaktor.

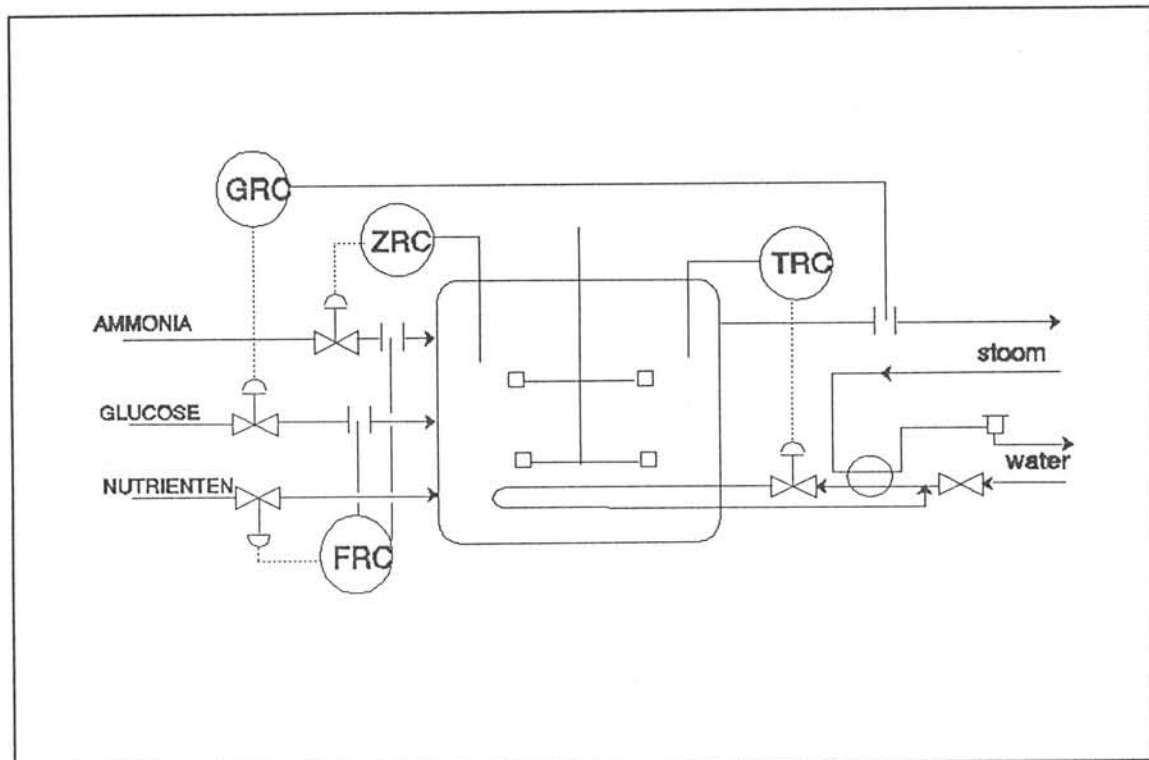


Fig 4.1 Regelschema van de fermentor

Er worden twee identieke reaktoren van 316L-staal (in verband met de corrosieve eigenschappen van melkzuur) met een totaal volume van  $80 \text{ m}^3$  geplaatst (fig 4.1). Hierdoor kan de produktie doorgaan als er in één van beide een storing optreedt. Per reaktor is een standaard fermentatievat genomen waarbij de hoogte (H) gelijk is aan de diameter ( $T_v$ ). Het volume ( $V_1$ ) is  $40 \text{ m}^3$ . Hieruit volgt dat zowel de hoogte als de diameter van het vat 3.7 meter is.

Per reaktor hebben we twee standaard Rushton turbine roerders genomen, waarbij de diameter van de roerder (D) gelijk is aan éénderde van de diameter van het vat. De diameter van de roerder is dus 1.12 meter. Ze worden respectievelijk op 1.12 m en 2.24 meter van de bodem geplaatst.

Bij Rushton turbिनeroerders geldt dat de hoogte van de roerder ( $H_s$ ) gelijk is aan  $1/5$  van de diameter = 0.22 m.

We willen werken in het turbulente regime ( $Re > 10^4$ ) in verband met een goede menging. Hier geldt dat het Powernumber ( $N_p$ ) gelijk is aan 6.

De verblijftijd in het vat ( $\theta$ ) is  $Br/V1 = 48$  minuten.

De mengtijd moet dus veel kleiner zijn dan  $\theta$  (criterium  $\pm 50$  keer zo klein).  $t_m = 60$  seconden.

Voor de mengtijd bestaat de volgende empirische vergelijking (ref):

$$t_m = \frac{0.6}{N} \cdot \frac{\left( \left( \frac{T}{D} \right)^3 \cdot \left( \frac{H}{T} \right) \right)}{\left( N_p \cdot \left( \frac{HS}{D} \right)^2 \right)^{0.33}} \quad (4.1)$$

Hieruit blijkt dat  $N$  35 omwentelingen per minuut moet zijn om een goede menging te verkrijgen. Het vermogen van de roerder ( $P_s$ ) kan nu berekend worden uit:

$$P_s = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5 \quad (4.2)$$

Het vermogen is ongeveer 2 kW. Voor twee roeders aan één as moet dit vermogen vermenigvuldigd worden met  $\sqrt{2}$ . Het totale vermogen is dus 2.83 kW.

## 4.2 Warmteproductie in de reaktor.

Er wordt op twee manieren warmte toegevoegd aan de reaktor. Enerzijds komt warmte vrij bij de produktie van melkzuur (omdat 94% van alle glucose wordt omgezet in melkzuur verwaarlozen we de andere reacties) en anderzijds wordt mechanische energie van de roerder overgebracht op het medium in de vorm van kinetische energie, welke vervolgens in warmte wordt omgezet.

De reaktiewarmte die vrijkomt bij de omzetting van glucose in melkzuur is 151 J/mol. De produktiestroom is 41 m<sup>3</sup>/h met een melkzuurconcentratie van 40 kg/ m<sup>3</sup>. Het molecuulgewicht van melkzuur is 90.08 g/mol. De produktie van melkzuur op molbasis is dus 18222 mol/h.

De warmte die per uur vrijkomt is  $-2.7 \cdot 10^6$  Joule wat overeenkomt met -611 Watt.

Het vermogen van de roerders is 2.83 kW.

Totaal wordt er dus -3441 J/s aan warmte geproduceerd.

#### 4.3 Temperatuurregeling van de reaktor.

De geproduceerde warmte verdwijnt volledig via de wanden van de reaktor.

Het oppervlak van de reaktor is  $64.5 \text{ m}^2$  inclusief bodem en deksel. De geleidingscoëfficiënt van 316L-staal ( $\lambda_{316L}$ ) is  $53.392 \text{ W/m}^2\text{K}$ . De wand van de reaktor is  $0.25 \text{ inch} = 0.635 \cdot 10^{-2} \text{ m}$  dik ( $d_w$ ). De warmteoverdrachtscoëfficiënt voor gassen (waaronder lucht), bij vrije convectie (min of meer stilstaande lucht in een fabriekshal) ligt tussen de 5 en  $15 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Stel  $h_{\text{lucht}} = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dit is de weerstand die het meeste effect heeft op de totale warmteflux door de wand.

De warmteoverdrachtscoëfficiënt van de broth ( $h_b$ ) kan berekend worden met behulp van de volgende formule.

$$\frac{h_b \cdot T}{\lambda_b} = 0.6 \cdot \left( \frac{N \cdot D^2}{v_b} \right)^{0.67} \cdot \left( \frac{c_{pb} \cdot \eta_b}{\lambda_b} \right)^{0.33} \quad (4.3)$$

De totale weerstand voor de warmteoverdracht via de wand van de reaktor ( $h_T$ ) wordt berekend met:

$$\frac{1}{h_T} = \frac{1}{h_b} + \frac{d_w}{\lambda_{316L}} + \frac{1}{h_{\text{lucht}}} \quad (4.4)$$

$h_T$  is  $9.95 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Het koelend vermogen van de wand ( $H_w$ ) volgt nu uit:

$$H_w = h_T \cdot A \cdot (T_{\text{broth}} - T_{\text{uit}}) \quad (4.5)$$

$H_w$  is 16044 Watt.

Om de reaktor op een temperatuur van 45°C te houden moet dus nog warmte toegevoerd worden, 12643.5 W bij een buitentemperatuur van 20 °C (Deze waarde is toegepast in de kostenberekening). Bij een buitentemperatuur van -25°C moet nog 41525 Watt aan warmte toegevoerd worden.

De hoeveelheid warmte die door de wand van de reaktor afgevoerd wordt is dus sterk afhankelijk van de buitentemperatuur. Voor het berekenen van de dimensies van de opwarmspiraal zijn we uitgegaan van een zeer strenge winter met een buitentemperatuur van -25°C. De capaciteit zal dus onder alle omstandigheden toereikend zijn. Een aparte koelspiraal is in ons geval niet nodig. De wand van de reaktor zorgt voor voldoende koeling tot een buitentemperatuur van ongeveer 40°C. Warmer is het in Nederland nooit. In verband met de veiligheid is een koudwaterleiding via een klep worden aangesloten op de opwarmspiraal, zodat in noodgevallen de opwarmspiraal in een koeling omgezet kan worden.

#### 4.4 Berekenen van de dimensies van de opwarmspiraal

Om de weerstandscoefficient van het hete water in de spiraal te berekenen hebben we het Nusselt-getal voor turbulente stroming in buizen uitgerekend bij 100°C. Hierbij is de snelheid van de stroming ingesteld op 1 m/s.

$$\langle Nu \rangle = 0.027 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.33} \quad (4.6)$$

Nusselt is 136.92 onder deze condities.

De weerstandscoefficient voor heet water is nu te berekenen uit:

$$\langle Nu \rangle = \frac{h_{hw} \cdot d_s}{\lambda_{hw}} \quad (4.7)$$

$h_{hw}$  is 9338 W/m<sup>2</sup>K.

De totale weerstand voor de warmteoverdracht ( $h_{tw}$ ) van de opwarmspiraal naar de broth kan berekend worden met formule 4 waarbij in plaats van  $h_w$ ,  $h_{hw}$  ingevuld wordt.

$H_{tw}$  is 1966 W/m<sup>2</sup>K.

De oppervlakte ( $\alpha$ ) van de opwarmspiraal kan nu berekend worden uit de volgende formule:

$$V = h_{t_w} \cdot \alpha \cdot \left( \frac{T_{vo} - T_{vi}}{\ln \left( \frac{T_b - T_{vi}}{T_b - T_{vo}} \right)} \right) \quad (4.8)$$

Het vermogen dat de verwarming maximaal moet leveren (V) is 41525 Watt. De ingaande waterstroom van de spiraal heeft een temperatuur ( $T_{vi}$ ) van 100°C, de uitgaande ( $T_{vo}$ ) is 60°C. (Het is niet aantrekkelijk om de spiraal af te laten koelen tot 45°C, omdat de drijvende kracht dan zeer laag wordt.) Het verwarmingswater wordt na de reaktor bijverwarmd tot 100°C en gecirculeerd. De berekende oppervlakte van de spiraal ( $\alpha$ ) is dan 0.6861 m<sup>2</sup>.

De diameter van de spiraal is 0.01 m.

De benodigde spiraallengte is dus 21.8 m.

De temperatuur van de reaktor wordt geregeld door een temperatuursensor die de pomp van de verwarming inschakeld als de temperatuur onder de 45°C komt.

Als de omgevingstemperatuur mild is, zal het inschakelen van de verwarming misschien een te drastisch effect hebben. In dat geval kan de temperatuur van inflow van de verwarming lager afgesteld worden.

In de winter is het waarschijnlijk lucratief om de reaktor te isoleren, waardoor fors bezuinigd kan worden op de stookkosten. In verband met het krappe tijdschema konden wij deze mogelijke optimalisatie echter niet doorrekenen. In dat geval is een koeler wel noodzakelijk.

#### 4.5 Kinetiek van de lactaatproduktie

Het modelleren van de kinetiek van de lactaatproduktie van *Lactobacillus delbruckii* bleek geen sinecure te zijn. Dit werd hoofdzakelijk veroorzaakt doordat het productieorganisme van Purac een veel hogere produktiviteit heeft dan de labstammen uit de literatuur. Hierdoor zijn de kinetische parameters uit de literatuur niet goed toepasbaar in ons kinetische model.

De specifieke groeisnelheid ( $\mu$ ) wordt enerzijds beïnvloedt door de substraatconcentratie (glucose) en anderzijds door de melkzuurconcentratie (produktinhibitie).

Bij lagere glucoseconcentraties neemt  $\mu$  toe als de hoeveelheid glucose toeneemt, echter bij hoge glucoseconcentraties heeft een verdere toename een inhiberend effect op de specifieke groeisnelheid.

Produktinhibitie wordt vooral veroorzaakt door de ongedissocieerde vorm van melkzuur, het lactaation heeft veel minder effect. Daarom is het zeer belangrijk de pH van 6 tijdens de fermentatie te handhaven zodat het melkzuur zo veel mogelijk gedissocieerd is.

De formule (Gonçalves et al., 1991) die wij gebruiken om de  $\mu$  uit te rekenen ziet er als volgt uit:

$$\mu = \mu_{\max} * (1 - P/P_m)^{2,1} * (1 - S/S_m)^{0,71} \quad (4.9)$$

Hierin is P de melkzuur-(produkt)-concentratie (gedissocieerd + ongedissocieerd), S de glucose-(substraat)-concentratie,  $S_m$  de substraatconcentratie waarbij  $\mu$  nul wordt en  $P_m$  de produktconcentratie waarbij  $\mu$  nul wordt.  $\mu_{\max}$  is de maximale specifieke groeisnelheid.  $\mu$  is de specifieke groeisnelheid in de fermentor.

Door middel van het opzetten van balansen over de reaktor en de recycleloop kan het verloop van  $\mu$  en de concentraties cellen, glucose en melkzuur gesimuleerd worden.

Hierbij zijn we er niet aan ontkomen een paar kinetische parameters uit de literatuur voor het berekenen van  $\mu$  te gebruiken. Voor wat betreft de yields hebben we de waarden zoals vermeld door Purac gebruikt.

De balansen zien er als volgt uit (zie figuur 4.2):

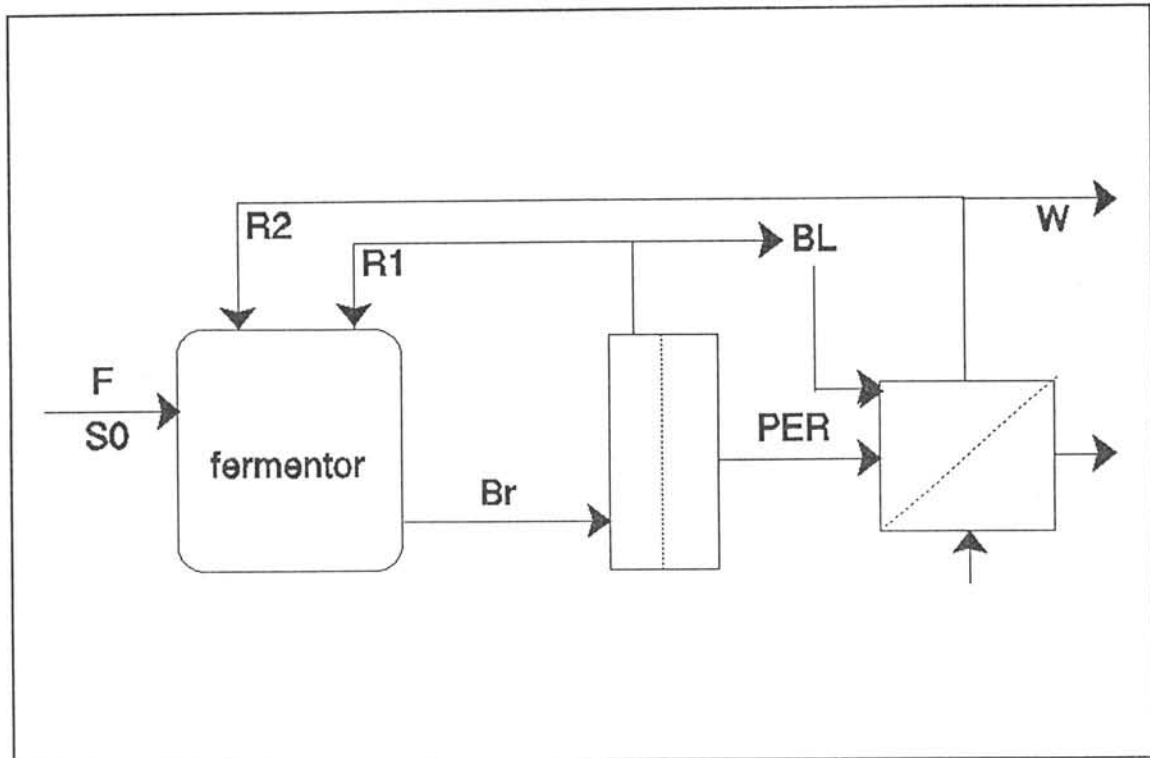


Fig 4.2. Codering van de stromen

$$\frac{dX1}{dt} = \frac{X2 \cdot R1}{V1} + (X1 \cdot (\mu - KD - \frac{Br}{V1}))$$

$$\frac{dS1}{dt} = \frac{S0 \cdot F}{V1} - \frac{(S1 \cdot Br)}{V1} + \left( S2 \cdot \frac{(R1 + PER + BL - W)}{V1} \right) - X1 \cdot \left( \frac{(\mu - KD)}{Y_{sx}} - M_s \right)$$

$$\frac{dP1}{dt} = -\frac{P1 \cdot Br}{V1} + \left( P2 \cdot \frac{(R1 + 0.15 \cdot (PER - W + BL))}{V1} \right) + X1 \cdot Y_{sp} \cdot \left( \frac{(\mu - KD)}{Y_{sx}} + M_s \right)$$

$$\frac{dX2}{dt} = \frac{X1 \cdot Br}{V2} - \left( X2 \cdot \left( KD + \frac{BL}{V2} + \frac{R1}{V2} \right) \right) \quad (4.13)$$

$$\frac{dS2}{dt} = \frac{S1 \cdot Br}{V2} - \left( S2 \cdot \frac{(PER + R1 + BL)}{V2} \right) - X2 \cdot \left( M_s - \frac{KD}{Y_{sx}} \right) \quad (4.14)$$

$$\frac{dP2}{dt} = \frac{P1 * Br}{V2} - (P2 * \frac{(PER + R1 + BL)}{V2}) + Y_{sp} * X2 * \left( M_s - \frac{KD}{Y_{sx}} \right) \quad (4.15)$$

Hierbij zijn X1 en X2 respectievelijk de concentraties biomassa in de fermentor en in de uitgaande recycleflow van de microfiltratie,  $Y_{xs}$  en  $Y_{ps}$  respectievelijk de yield van biomassa en melkzuur op glucose, F is de voedingsvolumestroom,  $S_0$  is de glucoseconcentratie in de voedingsstroom. De voedingsstroom wordt zo geregeld dat de glucoseconcentratie nul wordt in de microfiltratie-unit (zie fig 4.1). Hierdoor vindt er geen glucose-vervuiling van het produkt plaats en is de groei van de microorganismen in de microfiltratieunit verwaarloosbaar.

R1 is de recyclestroom van de microfiltratie naar de fermentor. BL is de bleedstroom die gefiltreerd wordt met een rotaryfilter en vervolgens naar de elektrodialyse gaat. PER is de permeaatstroom van de microfiltratie-unit naar de elektrodialyse. W is de afvalstroom en R2 de recyclestroom van de elektrodialyseunit naar de fermentor. S1, S2 en P1 en P2 zijn achtereenvolgens de substraat- en produktconcentraties in de fermentor en de microfiltratie. V1 en V2 zijn de volumes van de fermentor en de microfiltratie-eenheid.

$$Q_p = Y_{sp} * \left( \frac{(\mu - KD)}{Y_{sx}} + M_s \right) \quad (4.16)$$

$Q_p$  is de specifieke produktiesnelheid (g melkzuur/(g biomassa\*h))

In bijlage I is het PsiE-simulatieprogramma weergegeven.

In steady state is de biomassaconcentratie in de fermentor

11 g/l en de melkzuurconcentratie 40 g/l.

## AFKORTINGEN

|                 |                                      |                         |
|-----------------|--------------------------------------|-------------------------|
| BL              | = bleedflow na microfiltratie        | 0.5 m <sup>3</sup> /h   |
| Br              | = outflow fermentor                  | 57 m <sup>3</sup> /h    |
| F               | = feed                               | 5.7 m <sup>3</sup> /h   |
| KD              | = specifieke afsterfsnelheid         | 0.04 h <sup>-1</sup>    |
| Ms              | = maintenancecoefficient             | 0.1 h <sup>-1</sup>     |
| P0              | = conc. melkzuur in fermentor op t=0 | kg/m <sup>3</sup>       |
| P1              | = conc. melkzuur in fermentor        | kg/m <sup>3</sup>       |
| P2              | = conc. melkzuur in microfiltratie   | kg/m <sup>3</sup>       |
| PER             | = permeaatflow microfiltratie        | 41 m <sup>3</sup> /h    |
| R1              | = recycleflow van microfiltratie     | 15.5 m <sup>3</sup> /h  |
| R2              | = recycleflow van elektrolyse        | 35.8 m <sup>3</sup> /h  |
| Pm              | = conc. melkzuur waarbij $\mu = 0$   | 81 kg/m <sup>3</sup>    |
| S0              | = conc. glucose in de feedstroom     | kg/m <sup>3</sup>       |
| S1              | = conc. glucose in fermentor         | kg/m <sup>3</sup>       |
| S2              | = conc. glucose in microfiltratie    | kg/m <sup>3</sup>       |
| Sm              | = conc. glucose waarbij $\mu = 0$    | 401.8 kg/m <sup>3</sup> |
| V1              | = volume fermentor                   | 40 m <sup>3</sup>       |
| V2              | = volume microfiltratie              | 10 m <sup>3</sup>       |
| W               | = afvalstroom elektrolyse            | 4 m <sup>3</sup>        |
| X0              | = conc. biomassa in fermentor op t=0 | kg/m <sup>3</sup>       |
| X1              | = conc. biomassa in fermentor        | kg/m <sup>3</sup>       |
| X2              | = conc. biomassa in microfiltratie   | kg/m <sup>3</sup>       |
| Y <sub>sx</sub> | = yield van biomassa op glucose      | 0.03 g/g                |
| Y <sub>sp</sub> | = yield van melkzuur op glucose      | 0.94 g/g                |
| $\mu$           | = specifieke groeisnelheid           | h <sup>-1</sup>         |
| $\mu_{\max}$    | = maximale specifieke groeisnelheid  | 0.406 h <sup>-1</sup>   |

## 5. MICROFILTRATIE (M2)

Voordat het lactaat selectief van de fermentatievloeistof wordt verwijderd d.m.v. elektrodialyse, moeten de cellen eerst afgescheiden worden. De aanwezigheid van cellen in het elektrodialyse apparaat veroorzaakt sterke vervuiling van de membranen. Met microfiltratie worden de cellen geheel verhinderd om met lactaat mee te gaan naar het elektrodialyse apparaat.

Microfiltratie behoort tot de categorie van crossflow filtratie. Dit houdt in dat de flowrichting van de feed loodrecht op het drukverschil staat en dat dus een deel van de feed door het membraan wordt gedreven, terwijl de rest tangentieel langs het membraan stroomt (Davis, 1992).

Een deel van de filterkoek wordt door deze flow van het filtermedium weggesleept. Bij microfiltratie kunnen deeltjes in de range van .1 tot 10  $\mu\text{m}$  worden afgescheiden.

Voor de macroscopische massabalansen (5.1) die het filterproces beschrijven is kennis nodig van de oppervlakte gemiddelde permeaatflux  $\langle J \rangle$ .

$$Q_i - Q_u = \langle J \rangle A \quad [\text{m}^3 \text{ s}^{-1}] \quad (5.1)$$

Waarin:

- $Q_i$  = feed [ $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ]
- $Q_u$  = retentaat [ $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ]
- $\langle J \rangle$  = gemiddelde permeaatflux [ $\text{m s}^{-1}$ ]
- $A$  = totaal membraanoppervlak [ $\text{m}^2$ ]

Deze flux kan voorspeld worden door het concentratie-polarisatie model, die als volgt wordt beschreven.

Wanneer de deeltjes worden gestopt door het membraan zal zich daar een koek vormen. De koekdikte neemt toe en reduceert de permeaatflux totdat er een steady-state situatie ontstaan is. Bij steady-state is de convectie van deeltjes naar de koek door de permeaatflux, gelijk aan de diffusie en opwarreling van deeltjes weg van de koek en aan de convectie van deeltjes naar de uitgang.

Bij het concentratie-polarisatiemodel is het proces van convectie in balans met diffusie geconcentreerd in een grenslaag naast de koek waarin een snelle daling is van de deeltjesconcentratie.

Mathematisch wordt dit weergegeven in de volgende balans:

$$-D \frac{\partial \phi}{\partial y} = J \phi \quad [\text{m s}^{-1}] \quad (5.2)$$

Waarin:

$D$  = diffusiecoëfficiënt van de deeltjes [ $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ]

$\phi$  = volumefractiedeeltjes op plaats  $y$  [-]

$J$  = permeaatflux [ $\text{m s}^{-1}$ ]

$y$  = de coördinaat loodrecht op stroomrichting [m]

Wanneer de diffusiecoëfficiënt niet varieert in de  $y$ -richting dan volgt na integratie over de grenslaag:

Waarin:

$k_d$  = stofoverdrachtscoëfficiënt gegeven door:

$$J = k_d \ln \frac{\phi_w}{\phi_s} \quad [\text{m s}^{-1}] \quad (5.3)$$

$\delta$  = dikte van de grenslaag [m]

$$k_d = \frac{D}{\delta} \quad [\text{m s}^{-1}] \quad (5.4)$$

$\phi_w$  = volumefractiedeeltjes aan de membraanwand [-]

$\phi_s$  = volumefractiedeeltjes in de bulk [-]

Vergelijking 5.4 komt overeen met de uitdrukking voor de permeaatflux bij ultrafiltratie, echter wordt de diffusiecoëfficiënt hier niet beschreven met Brownse diffusie omdat deze de flux onderschat. Dit komt door de invloed van de laterale stroming die een deel van de deeltjes verhindert te sedimenteren, zodat de filterkoek minder dik kan worden.

De uitdrukking voor de diffusiecoëfficiënt wordt gegeven door de empirische relatie

van Zydney en Colton:

$$D = 0.03 r^2 \dot{\gamma} \quad [\text{m}^2 \text{s}^{-1}] \quad (5.5)$$

Waarin:

$r$  = deeltjesstraal [m]

$\gamma$  = shearrate, voor turbulente stroming gegeven door:

$$\dot{\gamma} = fu \frac{Re}{2d_h} \quad [\text{s}^{-1}] \quad (5.6)$$

$f$  = Fanning frictie factor [-]

$u$  = gemiddelde snelheid [ $\text{m s}^{-1}$ ]

$Re$  = getal van Reynolds [-]

$$Re = \frac{d_h u \rho}{\mu} \quad [-] \quad (5.7)$$

$\rho$  = dichtheid medium [ $\text{kg m}^{-3}$ ]

$\mu$  = viscositeit medium [ $\text{Pa s}$ ]

$d_h$  = hydraulische diameter [m]

Het verband tussen de diffusiecoëfficiënt en de stofoverdrachtscoëfficiënt wordt gegeven door:

$$Sh = A (Re)^a (Sc)^b \left( \frac{d_h}{l} \right)^c \quad [-] \quad (5.8)$$

Hierin is:

$Sh$  = getal van Sherwood [-]

$$Sh = \frac{k d_h}{D} \quad [-] \quad (5.9)$$

Sc = getal van Schmidt [-]

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D} \quad [-] \quad (5.10)$$

l = lengte van de buis [m]

A,a,b en c zijn coëfficiënten die bepaald worden door het stromingsgebied waarin men zich bevindt en door de geometrie van de buis (Wielen v.d.,1993).

Tabel 5.1. De waarde van de verschillende coëfficiënten voor de verschillende geometriën en stromingsregime.

| geometrie       | stromings-regime | A     | a    | b    | c    |
|-----------------|------------------|-------|------|------|------|
| rond            | laminair         | 1.62  | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| recht-hoekig    | laminair         | 1.87  | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| rond en rechth. | turbulent        | 0.023 | 0.8  | 0.33 | 0.0  |

De membranen die toegepast worden bevinden zich in een module, deze bestaat uit een buis waarin een twintigtal membranen evenwijdig aan elkaar liggen.

Bij zeer grote voedingsstromen en een hoge benodigde permeaatstroom zijn grote membraanoppervlakken nodig. Dit houdt in dat behalve dat er modules parallel worden geschakeld er ook modules in serie moeten worden geschakeld. Aangezien de flow afneemt zijn er na elke stap minder modules parallel nodig.

De modules worden dan ook bij dit soort processen in een soort pyramide geplaatst  
In de onderstaande tabel staan de specificaties van de gebruikte module (Mir et al, 1992).

Tabel 5.2. Specificaties van de gebruikte microfiltratiemodule.

|                                      |              |
|--------------------------------------|--------------|
| Module type                          | Millipore-33 |
| Diameter membraan (m)                | 0.058        |
| Aantal membranen/module              | 20           |
| Module lengte (m)                    | 0.84         |
| Oppervlakte/module (m <sup>2</sup> ) | 3.08         |

De processpecificaties staan in tabel 5.3.

Tabel 5.3. Processpecificaties.

|                                                                                     |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Aantal modules in serie                                                             | 21             |
| Aantal modules parallel                                                             | 21,20,19,...,1 |
| Totaal aantal modules                                                               | 232            |
| Totaal membraanoppervlak (m <sup>2</sup> )                                          | 714.56         |
| Voedingsstroom (m <sup>3</sup> hr <sup>-1</sup> )                                   | 57             |
| Permeaatstroom (m <sup>3</sup> hr <sup>-1</sup> )                                   | 41             |
| Retentaat (m <sup>3</sup> hr <sup>-1</sup> )                                        | 16             |
| Gemiddelde flux (l m <sup>-2</sup> hr <sup>-1</sup> )                               | 57.38          |
| Drukval/module (N m <sup>-2</sup> ) $\leftarrow 10^5 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ bar}$ | 0.772          |

In Bijlage II staan diverse gevoeligheidsanalyses. Hieruit blijkt dat de permeaatflow erg gevoelig is voor de deeltjesdiameter. Variaties in de deeltjesconcentratie en feedflow hebben ook een aanzienlijke invloed.

## 6. ELEKTRODIALYSE (M5)

Het doel van het gebruik van elektrolyse tijdens de fermentatie, is de selectieve verwijdering van lactaat uit de fermentatievloeistof. De productinhibitie wordt dan sterk verminderd zodat de bacterie blijft produceren en groeien.

Elektrolyse is een membraanscheidingsmethode waarbij de drijvende kracht veroorzaakt wordt door een concentratiegradiënt versterkt met een elektrisch veld. Op deze manier kunnen ionen uit een oplossing afgescheiden worden. De toegepaste membranen kunnen verdeeld worden in cationwisselende en anionwisselende membranen (Strathmann, 1992). De cationwisselende membranen bestaan uit gefixeerde negatief geladen groepen en mobiele positief geladen ionen. Wanneer er een elektrisch veld wordt aangelegd zullen de mobiele positieve ionen wegmigreren in de richting van de negatieve elektrode, waardoor het membraan geladen wordt en dus toegankelijk voor de positieve ionen aan de andere kant van het membraan. Het membraan is dus cationselectief.

Hetzelfde geldt voor anionwisselende membranen, maar nu is de positieve lading gefixeerd en de negatieve lading mobiel.

Het elektrolyse apparaat is verdeeld in cellen. Een cel is een zichzelf repeterende eenheid. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in figuur 6.1. Hierin wordt de feed oplossing gescheiden in 2 stromen; een geconcentreerde stroom en een verdunde stroom. Een cel bestaat in dit geval uit 2 compartimenten en 2 membranen.

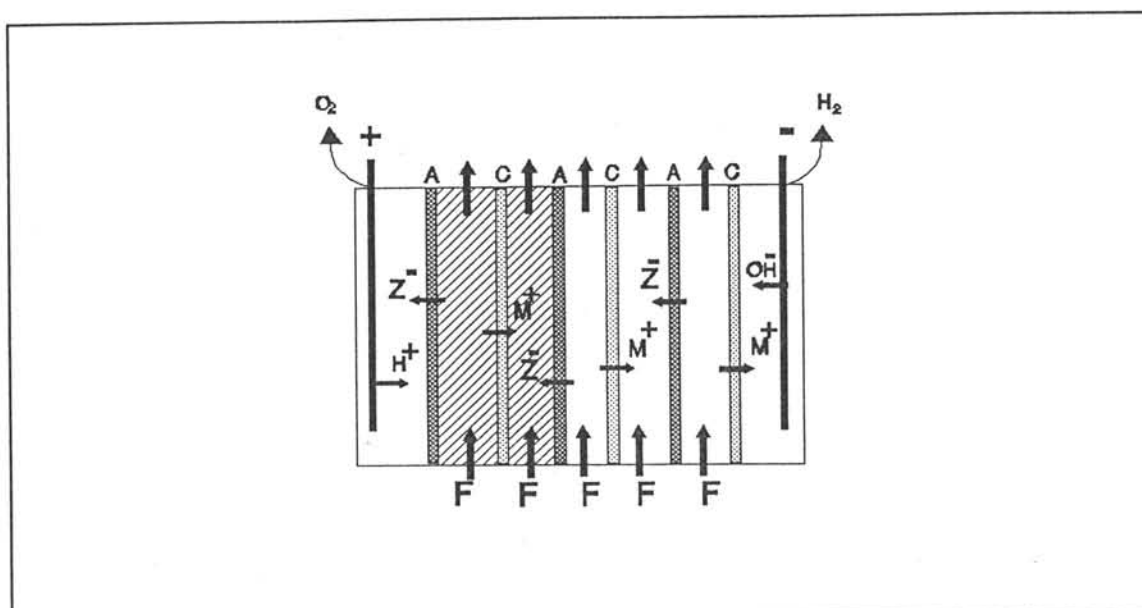


Fig 6.1. Schema van een elektrodialyseapparaat, het gearceerde deel geeft een cel aan.

In dit voorbeeld wordt elektrodialyse gebruikt om een oplossing te concentreren. Het is echter ook mogelijk om een zoutoplossing te splitsen in zijn zuur en base. Dit houdt in dat de negatieve ionen terecht moeten komen in een compartiment waar alleen  $H^+$  aanwezig is en dat de positieve ionen terecht moeten komen in een compartiment met als tegenion  $OH^-$ . Deze ionen worden verkregen door watersplitsing in een compartiment tussen de zuur- en basevorming in. Aangezien water een zeer hoge weerstand heeft (de concentraties  $OH^-$  en  $H^+$  zijn immers maar  $10^{-7}$  M), wordt het compartiment zo klein mogelijk gemaakt ( $< 5$  nm), zodat de twee membranen één membraan vormen, een bipolair membraan (fig. 6.2).

Het water kan vrij door de twee membranen diffunderen, de  $H^+$ -ionen gaan alleen door het negatieve deel en de  $OH^-$ -ionen alleen door het positief geladen deel.

De manier waarop de watersplitsing precies plaats vindt is nog niet bekend. De hypothese is dat er een reversibele protonuitwisseling optreedt tussen de geladen groepen van de membranen en de watermoleculen aan het oppervlak. Voor het starten van de watersplitsing is een extra stroom van  $10 \text{ A m}^{-2}$  nodig.

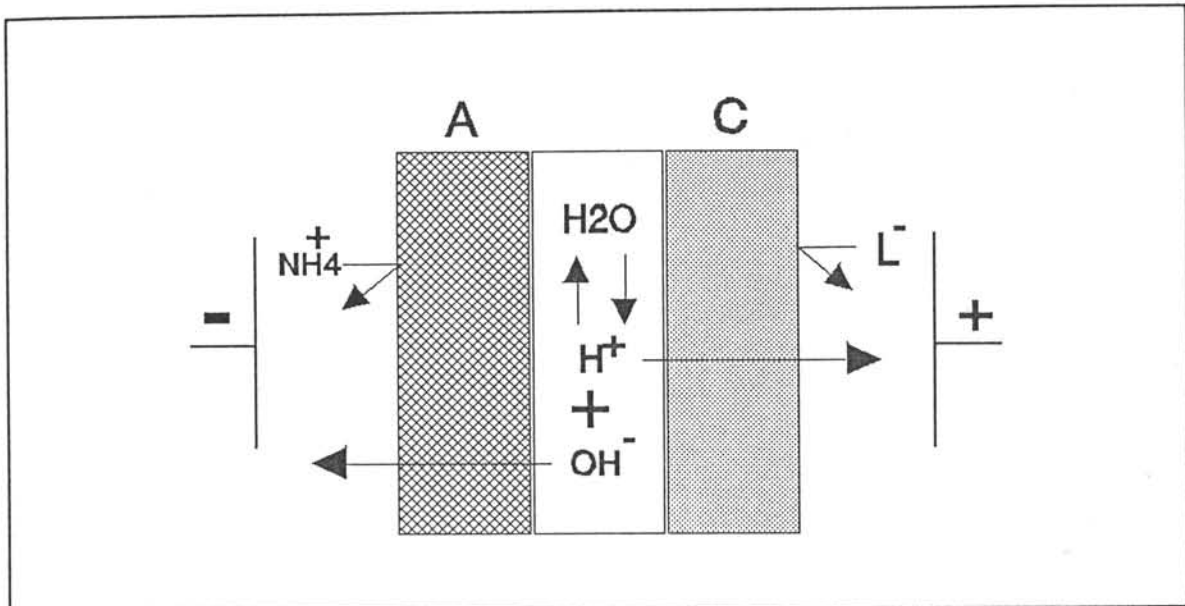


Fig 6.2 Splitsing van een zout in zijn zuur en base met behulp van een bipolair membraan

Het transport van ionen vindt in drie stadia plaats:

1. transport vanuit de feed naar het membraanoppervlak
2. transport in het membraan
3. transport vanuit het membraan naar de permeaatoplossing

Doordat in het membraan het ion alleen verantwoordelijk is voor de stroom zal dit transport vele malen sneller plaatsvinden dan 1 en 2. In figuur 6.3 zijn de bovenstaande transportvormen weergegeven.

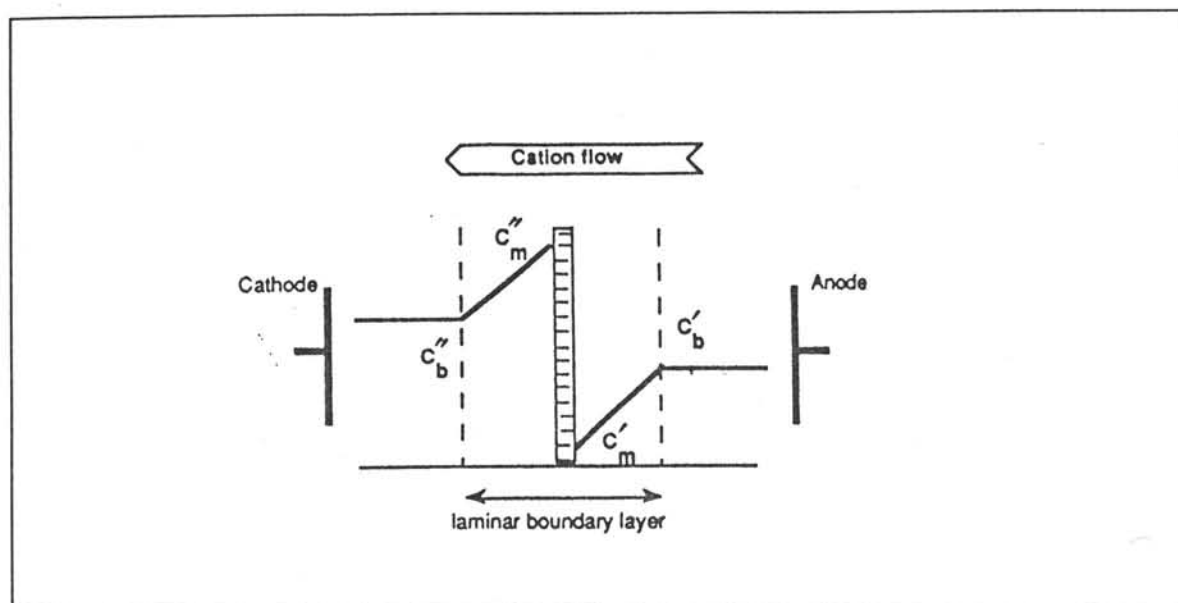


Fig 6.3 Schematische weergave van de heersende concentratiegradiënten over het membraan.

Met:

$C_b'$  = Concentratie ion in de bulk [ $\text{mol m}^{-3}$ ]

$C_m'$  = Concentratie ion aan het membraanoppervlak aan de zijde van de feedoplossing [ $\text{kg m}^{-3}$ ]

$C_m''$  = concentratie ion in het membraan aan de geconcentreerde kant [ $\text{mol m}^{-3}$ ]

$C_b''$  = concentratie ion in de te concentreren oplossing [ $\text{mol m}^{-3}$ ].

Op het moment dat het elektisch veld wordt aangelegd zal het transport volledig bepaald worden door transport van het ion uit de bulk van de feedstroom naar het membraan oppervlak. De drijvende kracht aan de andere kant van het membraan is immers veel groter.

Zoals al vermeld is wordt de flux door en naar het membraan toe volledig bepaald door de som van twee drijvende krachten:

1. de concentratiegradiënt:

$$k(C_b' - C_m') \quad [\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}] \quad (6.1)$$

Waarin:

$k$  = stofoverdrachtscoëfficiënt van het ion [ $\text{m s}^{-1}$ ]

$C_b'$  = Concentratie ion in de bulk [ $\text{kg m}^{-3}$ ]

$C_m'$  = Concentratie ion aan het membraanoppervlak aan de zijde van de feedoplossing [ $\text{kg m}^{-3}$ ]

2. het elektrisch veld:

$$\frac{iz}{tF} \quad [\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}] \quad (6.2)$$

Waarin:

$i$  = stroomdichtheid [ $\text{A m}^{-2}$ ]

$z$  = valentie van het ion [-]

$t^i$  = transportgetal van het ion in de feedoplossing [-]

$F$  = getal van Faraday [ $9.64 \cdot 10^3 \text{ C mol}^{-1}$ ]

De flux wordt nu:

$$J = \frac{iz}{tF} - k(C_m' - C_b') \quad [\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}] \quad (6.3)$$

Het transportgetal  $t_i$  ( $0 < t_i < 1$ ) staat voor de bijdrage van het ion aan de stroom (Atkins, 1990). Dit getal zal in het membraan zeer hoog liggen omdat de tegenionen geïmmobiliseerd zijn en dus geen bijdrage kunnen leveren aan de stroom. In de oplossing wordt het transportgetal wel degelijk beïnvloedt door het tegenion.

Het transportgetal is afhankelijk van de mobiliteit, valentie en concentratie van het ion en alle andere ionen aanwezig in de oplossing volgens de relatie:

$$t_i = \frac{m_i z_i^2 C_i}{\sum_i m_i z_i^2 c_i} \quad [-] \quad (6.4)$$

Waarbij:

$z_i$  = valentie van ion  $i$  [-]

$C_i$  = concentratie ion  $i$  [mol m<sup>-3</sup>]

$m_i$  = mobiliteit van ion  $i$  gegeven door:

$$\frac{FD_i}{RT} \quad [C \text{ s kg}^{-1}] \quad (6.5)$$

$D_i$  = diffusiecoëfficiënt van component  $i$   
[m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>]

$R$  = gasconstante [8.314 J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>]

$T$  = temperatuur [K]

De aangelegde stroomdichtheid wordt voornamelijk bepaald door de limiterende stroomdichtheid (Strathmann, 1992). Dit is de maximale stroomdichtheid dat door een membraan mag passeren zonder dat de weerstand sterk toeneemt. Het transport van ionen uit de feed oplossing heeft een verlaging van de concentratie van die ionen tot gevolg. Vooral in de grenslaag aan de rand van het membraan grensend aan de feedoplossing. Dit betekent dat er een sterke verhoging van de weerstand van die oplossing zal optreden grensend aan het membraanoppervlak, en dus een sterke verhoging van het energieverbruik (zie later).

Om dit te voorkomen mag de stroomdichtheid niet hoger worden dan een bepaalde waarde de limiterende stroomdichtheid. De limiterende stroomdichtheid is die stroomdichtheid bij welke de ionenconcentratie aan het membraanoppervlak in de cellen met de te verdunnen oplossing, gelijk aan nul wordt. Deze stroomdichtheid wordt beschreven door:

$$i_{\text{lim}} = \frac{C'_b k z F}{t - t'} \quad [\text{A m}^{-2}] \quad (6.6)$$

De aangelegde stroomdichtheid mag niet meer dan 80% van de limiterende stroomdichtheid bedragen.

De energie die nodig is in het elektrodialyseproces is de som van de volgende twee termen:

1. De elektrische energie nodig om de ionen van een oplossing door het membraan naar het andere compartiment te transporteren.
2. De energie die nodig is om de oplossingen door het elektrodialyse apparaat te pompen

Afhankelijk van voornamelijk de concentratie in de feedoplossing zal een van deze twee termen domineren en dus de overall energiekosten bepalen.

De eerste energieterm is nodig om de ohmse weerstand van de cel te overwinnen. Deze ohmse weerstand wordt veroorzaakt door de frictie van verschillende ionen met het membraan en met het water tijdens het transport van de ene oplossing naar de andere. Dit resulteert in een irreversibele energiedissipatie in de vorm van warmte. De echte energiebehoefte zal dan ook veel groter zijn dan de energie die nodig is voor de concentratie van een oplossing.

Deze energie behoeft wordt gegeven door:

$$E_{\text{prac}} = I^2 n R_c t \quad [\text{W}] \quad (6.7)$$

Hierin is:

$E_{\text{prac}}$  = energieconsumptie [W]

$I$  = totale elektrische stroom [A]

$n$  = aantal cellen [-]

$R_c$  = totale weerstand van een cel [ $\Omega$ ]

$t$  = tijd [s]

De weerstand van de cel  $R_c$  bestaat uit de som van de weerstanden van de membranen en die van de oplossingen. De eerste wordt bepaald door het soort membraan en deze waarde wordt geleverd door de fabricant en heeft een grootte van enkele  $\Omega \text{ cm}^{-2}$ . De weerstand van een elektrolytoplossing wordt gegeven door de volgende formule:

$$R = \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{d}{A} \quad [\Omega] \quad (6.8)$$

Waarin:

$A$  = membraanoppervlak [ $\text{m}^2$ ]

$d$  = de afstand tussen twee membranen [ $\text{m}$ ]

$\kappa$  = geleidbaarheid van de elektrolytoplossing gegeven voor een symmetrisch sterk elektrolyt door:

$$\kappa = C(z_+ m_+ + z_- m_-)F \quad [\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}] \quad (6.9)$$

De weerstand van de oplossing is omgekeerd evenredig met de concentratie ionen. Tijdens het elektrodialyse proces zal de concentratie in de feed afnemen en de weerstand toenemen.

Het is dus energetisch zeer onvoordelig om een compartiment alleen met zuiver water te vullen.

De weerstand van een cel  $R_c$  wordt nu gegeven door;

$$R_c = 2R + 2R_m \quad [\Omega] \quad (6.10)$$

Met:

$R_m$  = weerstand van het membraan [ $\Omega$ ]

De totaal gebruikte stroom kan direct afgeleid worden uit de hoeveelheid die verwijderd moet worden uit de voeding:

$$I = \frac{iA}{\xi} \quad [A] \quad (6.11)$$

$i$  = stroomdichtheid [ $A \cdot m^{-2}$ ]

$\xi$  = stroom gebruik [-]

$\xi$  bepaalt het gedeelte van de totale stroom dat werkelijk gebruikt wordt voor het transport van ionen. Deze factor wordt onder andere beïnvloedt door de membraanselectiviteit en het osmotisch en iongebonden watertransport.

Bij de scheiding van lactaat met elektrodialyse worden drie stappen tegelijk uitgevoerd:

1. Verwijdering van lactaat uit de fermentatievloeistof
2. Zuivering van lactaat van alle positief geladen ionen behalve  $H^+$ , zodat melkzuur gevormd wordt
3. Concentratie van de verkregen melkzuur oplossing

Het inbouwen van deze drie processen in het elektrodialyse apparaat heeft tot gevolg dat elke cel uit drie compartimenten bestaat (fig. 6.4):

1. In dit compartiment komt de voeding binnen, door het aangelegde potentiaalverschil wordt hieruit het ammoniumlactaat verwijderd.
2. In dit compartiment wordt melkzuur gevormd en geconcentreerd door een recirculatieloop. De positieve ionen worden geleverd door een bopolair membraan d.m.v. waterelektrolyse. Behalve lactaat zijn ook de andere negatief geladen ionen uit de fermentatievloeistof aanwezig (mierenzuur, azijnzuur, fosfaat, sulfaat, barnsteen zuur).
3. In het derde compartiment wordt de ammoniak teruggevormd en gerecirculeerd naar het opslagvat van ammoniak.

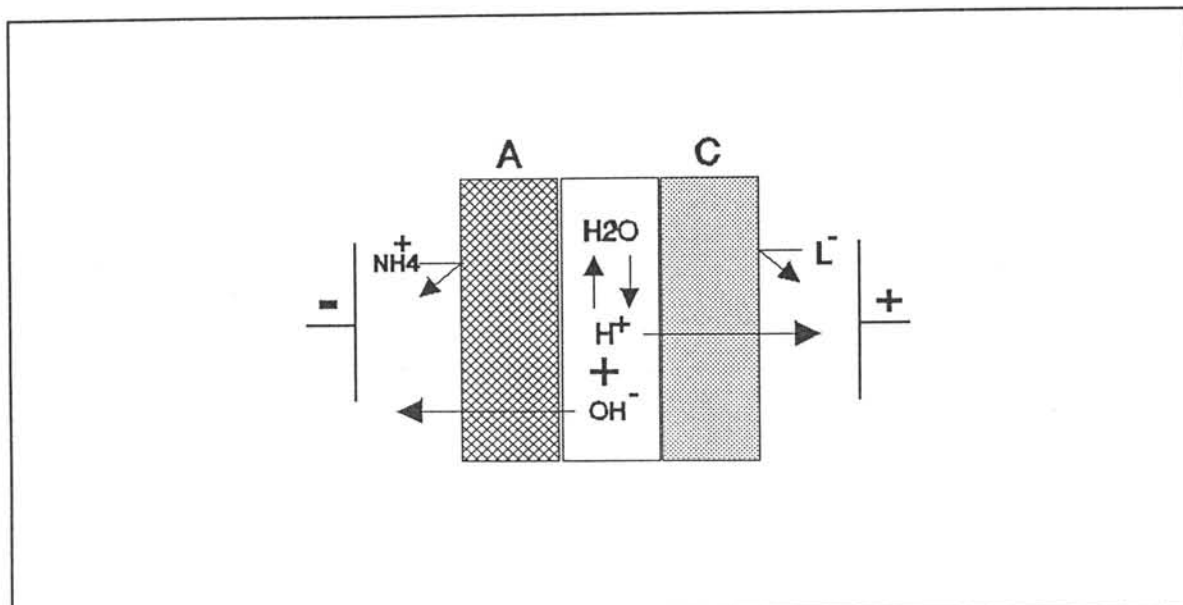


Fig 6.4 Schematische weergave van een elektrodialysecel

Over de verschillende compartimenten kunnen de volgende massabalansen worden afgeleid, uitgaande van propstroom.

Voor de te verdunnen oplossing geldt;

$$\frac{dC'_b}{dx} = -\frac{J}{Q} b \quad \text{RVW: } x=0 \quad C'_b = C'_{b0} \quad (6.12)$$

met:

$b$  = breedte van het membraan [m]

$$J = \frac{iz}{tF} - k(C'_m - C'_b) \quad [\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}] \quad (6.13)$$

Voor de te concentreren oplossing geldt:

$$\frac{dC''_b}{dx} = \frac{J}{Q} b \quad x=0 \quad C''_b = 0 \quad (6.14)$$

De stofoverdrachtscoëfficiënt wordt bepaald met de empirische relatie voor laminaire stroming:

Hierbij volgt de stofoverdrachtscoëfficiënt uit het getal van Sherwood.

[-] (6.15)

$$Sh = 0.332 Re^{0.5} Sc^{0.33}$$

De uiteindelijke concentratie volgt door integreren van de bovenstaande vergelijkingen over de membraan lengte.

Het bijbehorende simulatiemodel staat in bijlage III

De gegevens van het elektrodialyse apparaat staan in de onderstaande tabel:

Tabel 6.1 Gegevens over het elektrodialyse apparaat.

|                                                            | Cationselec-tief membraan | Anionselec-tief membraan | Biplolair membraan <sup>1</sup> |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Materiaal                                                  | styreen                   | butadiëen                |                                 |
| Ionen uitwisselingscapaciteit (eq/kg)                      | 2.4                       | 1.9                      |                                 |
| Dikte 10 <sup>-3</sup> m                                   | 0.15                      | 0.14                     |                                 |
| Gelwater (% gewicht)                                       | 25                        | 19                       |                                 |
| Oppervlakte weerstand 10 <sup>4</sup> (Ω m <sup>-2</sup> ) | 2.9                       | 2-4.5                    |                                 |
| Permselectiviteit (%)                                      | 95                        | 92                       |                                 |

<sup>1</sup> Hiervan zijn geen gegevens bekend.

Tabel 6.2      Gegevens over ammoniumlactaat

|                                           | Lactaat              | Ammonia              |
|-------------------------------------------|----------------------|----------------------|
| $D_i \text{ [m}^2 \text{ s}^{-1}\text{]}$ | $1.08 \cdot 10^{-9}$ | $4.94 \cdot 10^{-9}$ |
| $m_i \text{ [C s kg}^{-1}\text{]}$        | $4.00 \cdot 10^{-8}$ | $4.94 \cdot 10^{-8}$ |
| $t_{mi} \text{ [-]}$                      | 0.90                 | 0.90                 |
| $t_i \text{ [-]}$                         | 0.33                 | 0.67                 |

In de onderstaande tabel staan de verschillende procesgegevens:

Tabel 6.3 Procesgegevens

|                                                                       |                                                |       |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|
| Feed                                                                  | flow ( $\text{m}^3 \text{ hr}^{-1}$ )          | 41    |
|                                                                       | lactaatconcentratie<br>( $\text{kg m}^{-3}$ )  | 40    |
| Productstroom                                                         | flow ( $\text{m}^3 \text{ hr}^{-1}$ )          | 11.2  |
|                                                                       | lactaatconcentratie<br>( $\text{kg m}^{-3}$ )  | 127.5 |
| Ammoniakstroom                                                        | flow ( $\text{m}^3 \text{ hr}^{-1}$ )          | 10    |
|                                                                       | ammoniakconcentratie<br>( $\text{kg m}^{-3}$ ) | 28.9  |
| Aantal cellen/module                                                  | 200                                            |       |
| Aantal modules                                                        | 10                                             |       |
| Stroom <sup>1</sup> I [A]                                             | 98                                             |       |
| Energieverbruik/<br>module $E_{\text{prac}}$ [kWh]                    | $1.54 \cdot 10^4$                              |       |
| Geleidbaarheid <sup>2</sup> $\kappa$ [ $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ ] | 0.724                                          |       |
| Celweerstand <sup>3</sup> $R_c$ [ $\Omega$ ]                          | $1.2 \cdot 10^5$                               |       |
| Aantal pompen/module                                                  | 3                                              |       |
| Membraanoppervlak A<br>[ $\text{m}^2$ ]                               | 1                                              |       |

|                                                                  |                   |  |
|------------------------------------------------------------------|-------------------|--|
| Afstand tussen 2 membranen d [m]                                 | $1 \cdot 10^{-3}$ |  |
| Geproduceerde warmte/module = $0.24 \cdot E_{\text{prac}}$ [kWh] | $6.42 \cdot 10^3$ |  |
| Lengte membraan l [m]                                            | 1                 |  |

De stroom is berekend met een  $\xi = 0.9$

<sup>2</sup>  $\kappa$  is berekend met de gemiddelde concentratie ammoniumlactaat in de feedoplossing tijdens de verdunning,  $\langle C \rangle = 186.57 \text{ mol m}^{-3}$

<sup>3</sup>  $R_c = 4R_m + 3R$

$R_m = 3 \cdot 10^4 \Omega$  (1 bipolair membraan,  $2R_m$ , 1 anionselectief en 1 cationselectief membraan)

$R = 1.38 \cdot 10^{-3} \Omega$

De weerstand van de oplossing is verwaarloosbaar t.o.v. die van het membraan.

Zoals uit de warmteontwikkeling blijkt moet het dialyseapparaat gekoeld worden.

## 7. ROTARY FILTER (M3)

Om te zorgen dat er geen lactaat verloren gaat wordt de bleed gefiltreerd over een rotaryfilter. Een tekening van een rotaryfilter staat weergegeven in figuur 7.1.

Doordat binnenin een onderdruk heerst wordt aan de buitenkant van de trommel een cake gevormd. De trommel draait rond, zodat de cake achtereenvolgens gevormd, gewassen en gedroogd wordt.

Het filtraat, met het daarin aanwezige melkzuur wordt samen met het permeaat van de microfiltratie naar de elektrodialyse gevoerd.

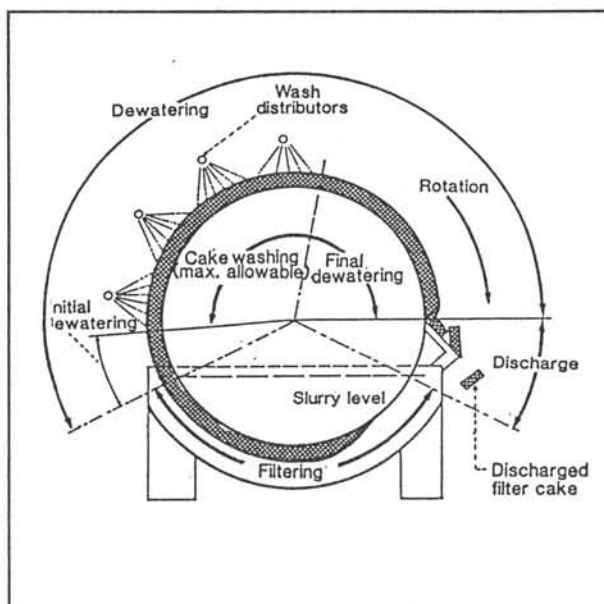


Fig 7.1 Tekening van een rotaryfilter

Voor de berekeningen zijn we er vanuit gegaan dat de cake niet comprasseerbaar is. Voor het berekenen van de specifieke cakeweerstand zijn we er vanuit gegaan dat porositeit ( $\epsilon$ ) gelijk is aan die van *Escherichia coli* ( $\epsilon = 0.45$ ).

De specifieke cakeweerstand is te berekenen met:

$$r = K * \frac{(1 - \epsilon)^2}{\epsilon^2} * \left( \frac{4}{d_p} \right)^2 \quad (7.1)$$

Voor staafvormige deeltjes varieert K tussen 3.5 en 5.5 (syllabus bioscheidingen). Als waarde voor K hebben we 4.5 aangenomen. De fractie van de omwentelingscyclus die beschikbaar is voor cakeformatie (f) is 0.3. Het ontwerp-drukverschil hebben we gesteld op 0.9 bar. De benodigde capaciteit is 0.5 m<sup>3</sup>/h.

Het rotaryfilter is met behulp van ASPEN doorgerekend met de volgende resultaten. Zie voor volledige programmatuur bijlage IV.

Convergence Status: Block Completed Normally  
 Property Status: OK

|                                 |            |          |
|---------------------------------|------------|----------|
| Pressure Drop                   | .9000000   | ATM      |
| Filter Diameter                 | .2909049   | METER    |
| Filter Width                    | .5818098   | METER    |
| Average Particle Diameter       |            |          |
| Average Solid Density           | 1.000000   | GM/CC    |
| Total Solids Mass Flow Rate     | 17.56500   | KG/HR    |
| Surface Tension                 | 93.63789   | DYNE/CM  |
| Volume Flow of Filtrate         | 465.4788   | L/HR     |
| Mass Fraction of Solids in Cake | .6000000   |          |
| Cake Thickness                  | 2.09658E-3 | METER    |
| Filtration Resistance           | 3.9063E+11 | METER/KG |
| Average Porosity                | .4500000   |          |
| Cake Compressibility            | 0.0        |          |

| Display     | ALLSTREAMS | BLEED      | CAKE      | FILTRAAT   |
|-------------|------------|------------|-----------|------------|
| Units:      | From       |            | B1        | B1         |
| TFF:        | *SYSTEM*   | To B1      |           |            |
|             | Phas       | LIQUID     | LIQUID    | LIQUID     |
| Substream:  | \$TOTAL    |            |           |            |
| Slurry Flow | L/HR       | 495.0721   | 29.59333  | 465.4788   |
| Gas Flow    | L/HR       | 0.0        | 0.0       | 0.0        |
| Gas Flow    | KMOL/HR    |            |           |            |
| WATER       |            | 0.0        | 0.0       | 0.0        |
| Slurry Conc | GM/L       |            |           |            |
| WATER       |            | 938.9945   | 395.6973  | 973.5353   |
| CELLS       |            | 35.47968   | 593.5460  | 0.0        |
| Mass Flow   | KG/HR      |            |           |            |
| WATER       |            | 464.8700   | 11.71000  | 453.1600   |
| CELLS       |            | 17.56500   | 17.56500  | 0.0        |
| INTR-WAT    |            | 13.17375   | 13.17375  | 0.0        |
| Total Flow  | KG/HR      | 482.4350   | 29.27500  | 453.1600   |
| ↓Total Enth | KCAL/HR    | -1.8037E+6 | -95108.94 | -1.7086E+6 |
| Temperature | C          | 45.00000   | 45.00000  | 45.00000   |
| Pressure    | ATM        | 1.000000   | .1000000  | .1000000   |
| Slurry Den  | GM/CC      | .9744742   | .9892433  | .9735352   |

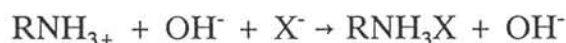
Of een dergelijk klein rotaryfilter te koop is, is ons niet bekend. Zoniet zal een opslagtank tussengevoegd moeten worden, waarna met een grotere flow gefiltreerd kan worden.

## 8. IONENWISSELAAR (T1 t/m T3)

Een ionenwisselaar is een gepakt bed met als pakking een polymerenmatrix. De pakking bestaat uit geladen gebonden groepen en verwijderbare ionen met een tegengestelde lading. De ionenwisselaars zijn alleen toegankelijk voor geladen groepen van moleculaire groepen.

De reiniging van melkzuur van de negatief geladen ionen wordt uitgevoerd met een zwak basische anionenwisselaar (aminopolystyreen). Er is voor een zwak basische gekozen om de interactie pakking lactaat te minimaliseren.

De reactie die optreedt kan beschreven worden met de onderstaande reactievergelijking:



Bij de ionenwisseling van melkzuur zullen de volgende processen achtereenvolgens optreden:

1. Door de hoge zuurtegraad van de melkzuuroplossing ( $\text{pH} = 1.41$ ) zullen de  $\text{OH}^-$ -ionen vrijwel meteen na passeren van het vloeistoffront uit de matrix oplossen en geneutraliseerd worden. Tegelijkertijd adsorberen de gedissociëerde lactaationen. Deze ionen zijn grote moleculen wat tot gevolg heeft dat de matrix sterk zal opzwellen.
2. De ionenwisselaar is nu verzadigd met lactaat. Vervolgens begint de uitwisseling van lactaat tegen de andere negatief geladen ionen. Bij  $\text{pH} = 1.41$  gelden de volgende verhoudingen:

Tabel 8.1 De verhouding gedissocieerd, ongedissocieerd voor de bijproducten en mediumcomponenten.

|               | $k_{\text{dis}}$     | gedis/onge<br>dis.   | Conc(tot)<br>[mol l <sup>-1</sup> ] |
|---------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------|
| mierenzuur    | $1.77 \cdot 10^{-4}$ | $4.5 \cdot 10^{-3}$  | $6.4 \cdot 10^{-2}$                 |
| azijnzuur     | $1.76 \cdot 10^{-5}$ | $4.5 \cdot 10^{-4}$  | $4.8 \cdot 10^{-2}$                 |
| barnsteenzuur | $6.89 \cdot 10^{-5}$ | $1.77 \cdot 10^{-3}$ | $8.0 \cdot 10^{-3}$                 |
| zwavelzuur    | $1.54 \cdot 10^{-2}$ | 0.40                 | $4 \cdot 10^{-2}$                   |
| fosforzuur    | $7.52 \cdot 10^{-3}$ | 0.19                 | $4 \cdot 10^{-2}$                   |

Zoals uit de bovenstaande tabel blijkt zal de adsorptie van de organische zuren minimaal zijn. Door de grote overmaat melkzuur blijft de pH vrijwel constant. Alleen de eenwaardig geladen sulfaat en fosfaat-ionen zullen verwijderd worden.

3. Wanneer de kolom verzadigd is met anorganische ionen wordt de kolom geregenereerd. Dit gebeurt door als eerste de kolom te wassen en vervolgens te regenereren met loog, waarna de kolom nogmaals gewassen wordt.

In de onderstaande tabel staan de specificaties van de ionen wisselaar (Perry, 1984):

Tabel 8.2 De specificaties van de ionenwisselaar.

|                                            |                              |
|--------------------------------------------|------------------------------|
| Soort                                      | Amberlite (aminopolystyreen) |
| Vorm van de deeltjes                       | sferisch                     |
| Bulk dichtheid (nat) [kg m <sup>-3</sup> ] | 0.67                         |
| Vochtgehalte [% gewicht]                   | 45                           |
| Opzwellen door uitwisseling [%]            | 8-12                         |
| Maximale bedrijfstemperatuur [°C]          | 100                          |
| Toepasbaar pH-regio                        | 1-7                          |
| Uitwisselingsvermogen                      |                              |
| Droog [eq kg <sup>-1</sup> ]               | 5.5                          |
| Nat [eq l <sup>-1</sup> ]                  | 1.8                          |

In tabel 8.3 worden de diverse procesgegevens weergegeven;

Tabel 8.3 De verschillende procesgegevens.

|                                                  |                     |
|--------------------------------------------------|---------------------|
| Flow [m <sup>3</sup> hr <sup>-1</sup> ]          | 11.2                |
| Lengte kolom L [m]                               | 5                   |
| Dwarsoppervlak kolom [m <sup>2</sup> ]           | 1.6                 |
| Superficiële snelheid<br>U [m hr <sup>-1</sup> ] | 5.6                 |
| Drukval ΔP/L* [Pa m <sup>-1</sup> ]              | 7.0 10 <sup>3</sup> |
| Bedrijfsduur [hr]                                | 3.85                |
| Regeneratieduur [hr]                             | 4                   |
| Aantal kolommen                                  | 3                   |

\* De drukval wordt berekend met de formule:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{S^2(1-\epsilon)^2 \mu}{\epsilon^2} U K_1 = K_2 U \quad [\text{Pa/m}] \quad (8.1)$$

Met:

S = shape factor [-]

ε = porositeit van het bed [-]

K<sub>1</sub> = constante = 5

U = superficiële gassnelheid [m s<sup>-1</sup>]

K<sub>2</sub> = 1.23 10<sup>3</sup> Pa h/m<sup>2</sup>

## 9. DESTILLATIE (T4)

De laatste stap is de concentratie en verdere zuivering van melkzuur. Deze stap wordt uitgevoerd met een destillatiekolom. Hierbij gaat water met 60% van het mierenzuur en 50% van het azijnzuur over de top. De gegevens en resultaten staan in tabel 9.1 en in bijlage V.

Tabel 9.1 Gegevens destillatiekolom.

|                                                                  |                    |
|------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Aantal schotels                                                  | 10                 |
| Voedingsschotel                                                  | 5                  |
| Voeding [ $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ]                           | 11.2               |
| Bodemproduct<br>[ $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ]<br>(80% melkzuur) | 1.78               |
| Topproduct [ $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ]<br>(0% melkzuur)       | 9.41               |
| $T_{\text{voeding}}$ [K]                                         | 318.15             |
| $T_{\text{bodem}}$ [K]                                           | 392.76             |
| $T^{\text{top}}$ [K]                                             | 372.85             |
| Reflux ratio                                                     | 1                  |
| Energieverbruik<br>reboiler [W]                                  | $2.046 \cdot 10^7$ |
| Energieverbruik<br>condensor [W]                                 | $9.64 \cdot 10^6$  |
| $P_{\text{kolom}}$ [bar]                                         | 1                  |

## 10. STERILIZERS EN POMPEN (H1 t/m H3, P1 t/m P17)

### Sterilizers

Terwijl de media worden getransporteerd naar de voorraadvaten V1, V2 en V3 worden ze continu gesteriliseerd (H1, H2, H3).

In een feedstroom zitten gemiddeld zo'n  $10^9$  bacterien per liter. Steriliseren voor opslag is dus erg belangrijk. De stromen worden verhit tot  $125^\circ\text{C}$  en gedurende 2.4 minuten op deze temperatuur gehouden.

De afsterfkinetiek kan als volgt beschreven worden:

$$N=N_0*\exp^{-k_a*t} \quad (10.1)$$

$k_a$  is de specifieke afsterfsnelheid ( $\text{h}^{-1}$ ).  $N$  is het aantal cellen in de toevoer,  $N_0$  is het aantal cellen in de toevoer op  $t=0$ .

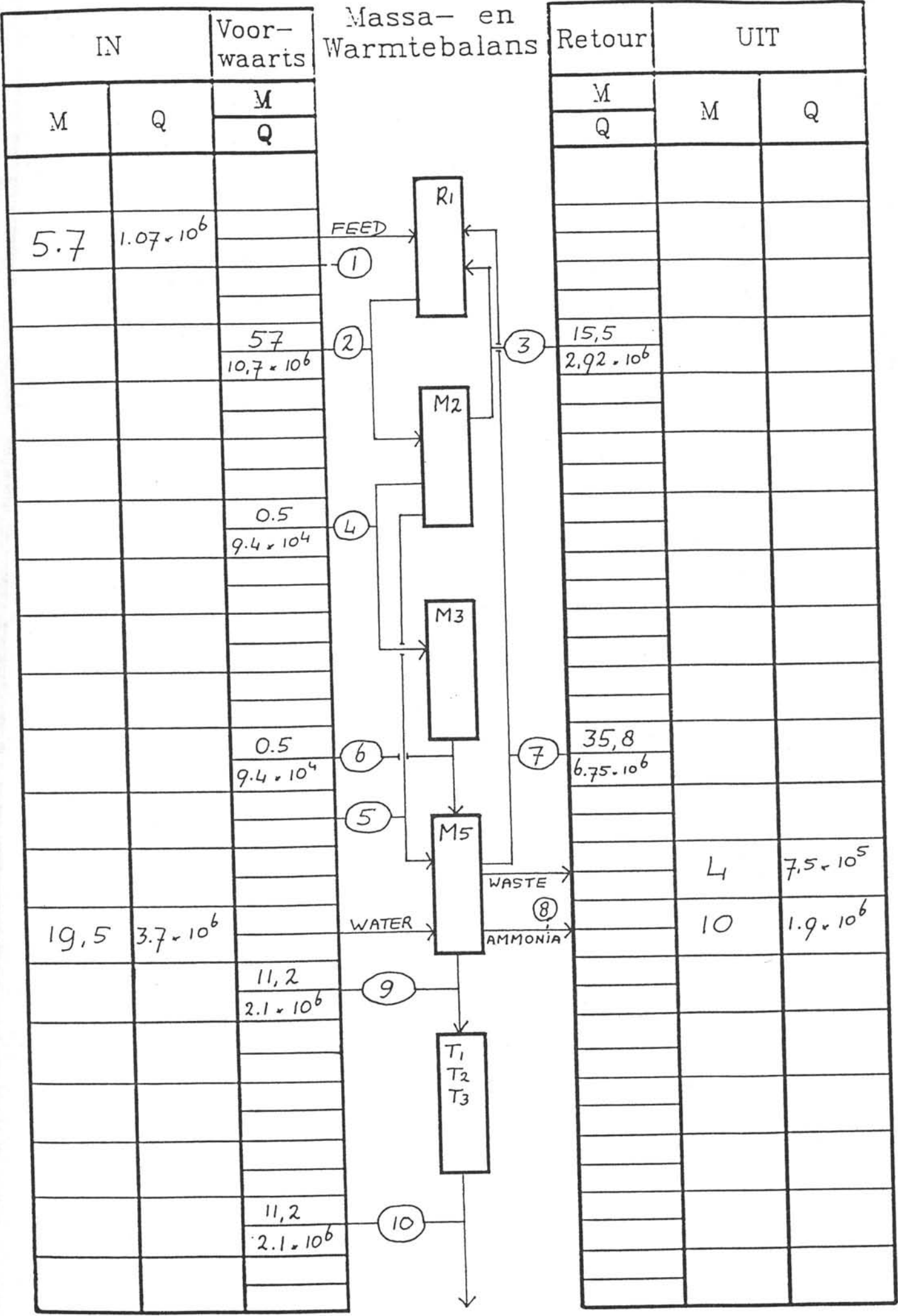
We zijn er vanuit gegaan dat er maximaal 1 bacterie per 10 uur levend door de sterilizer mag komen. Na sterilisatie wordt de stroom afgekoeld tot  $30^\circ\text{C}$ . De sterilizer is gemodelleerd in Aspen, zie bijlage VI. Hierin is ook een tabel opgenomen waarin voor verschillende lengtes van de sterilizer de mate van steriliteit staat weergegeven.

### Pompen

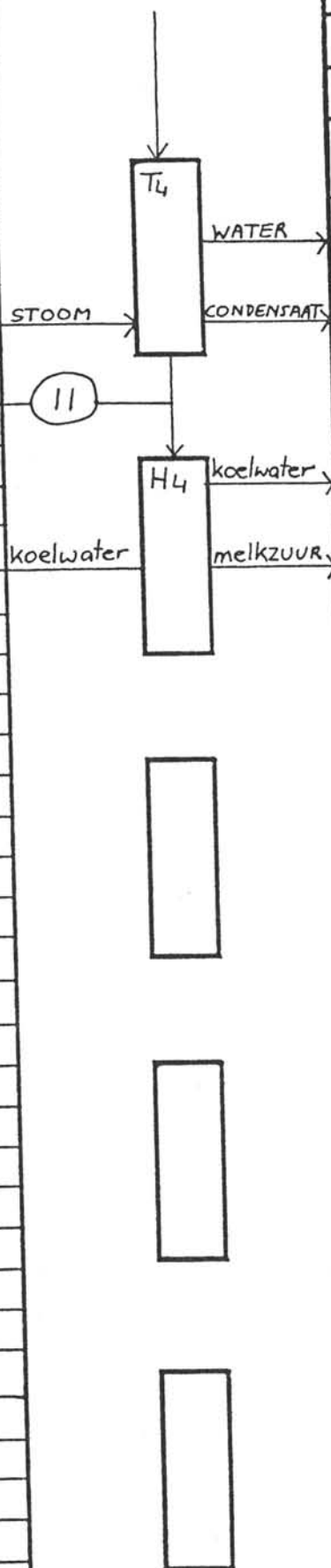
Omdat het niet zo zinvol is om elke pomp precies door te rekenen (de lengte van pijpen is een pure schatting), hebben we één pomp (P8) doorgerekend met behulp van Aspen. De gegevens staan in bijlage VI.

## **11. MASSA- EN ENERGIEBALANSEN**

### **11.1 Overall massa- en energibalans**



VERVOLG  
Massa- en  
Warmtebalans

[illegible][illegible]

## 11.2 Componentenbalans

| Fermentor                                   |                         |                        |                      |                      |
|---------------------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| In                                          |                         |                        |                      | Uit                  |
|                                             | Microfil <sup>1</sup> . | Elektrod. <sup>2</sup> | Medium*              |                      |
| Water<br>[m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ]  | 14.5                    | 35.5                   | 4                    | 54                   |
| Biomassa<br>[kg h <sup>-1</sup> ]           | 613                     | -                      | -                    | 651                  |
| Lactaat<br>[kg h <sup>-1</sup> ]            | 598                     | 242                    | -                    | 2294                 |
| Ammonium<br>[kg h <sup>-1</sup> ]           | 120                     | 48.5                   | 294.5                | 463                  |
| Bijprod.<br>[kg h <sup>-1</sup> ]           | 12.8                    | -                      | -                    | 48.9                 |
| Fosf, sulf<br>[kg h <sup>-1</sup> ]         | 1.45                    | -                      | 4.25                 | 5.7                  |
| Glucose<br>[kg h <sup>-1</sup> ]            | -                       | -                      | 15.5 10 <sup>2</sup> | -                    |
| Totaal<br>[m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ] | 15.5                    | 35.8                   | 5.7                  | 57                   |
| Enthalpy<br>[kJ h <sup>-1</sup> ]           | 2.92 10 <sup>6</sup>    | 6.75 10 <sup>6</sup>   | 1.07 10 <sup>6</sup> | 10.7 10 <sup>6</sup> |

<sup>1</sup> Retentaat min de bleed van 0.5 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

<sup>2</sup> De flow uit de elektrodialyse min 4 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> bleed.

| Microfiltratie                              |                      |                     |                     |
|---------------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
|                                             | In                   | Retentaat           | Permeaat            |
| Water [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ]     | 54                   | 15                  | 39.0                |
| Biomassa<br>[kg h <sup>-1</sup> ]           | 651                  | 651                 | -                   |
| Lactaat<br>[kg h <sup>-1</sup> ]            | 2294                 | 617                 | 1677                |
| Ammonium<br>[kg h <sup>-1</sup> ]           | 463                  | 124                 | 339                 |
| Bijprod.<br>[kg h <sup>-1</sup> ]           | 48.9                 | 13.2                | 35.7                |
| Fosf, sulf<br>[kg h <sup>-1</sup> ]         | 5.7                  | 1.5                 | 4.2                 |
| Totaal<br>[m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ] | 57                   | 16                  | 41                  |
| Enthalpy<br>[kJ h <sup>-1</sup> ]           | 10.7 10 <sup>6</sup> | 3.0 10 <sup>6</sup> | 7.7 10 <sup>6</sup> |

| Elektrodialyse                                        |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
|-------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| In                                                    |                     |                     |                     | Uit                 |                     |                     |
|                                                       | Microf              | Water               | Bleed               | <sup>1</sup>        | <sup>2</sup>        | <sup>3</sup>        |
| Water<br>[m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ]            | 39                  | 19.5                | 0.47                | 39.47               | 9.75                | 9.75                |
| L-/HL<br>[kg<br>h <sup>-1</sup> ]                     | 1677                | -                   | 20                  | 269                 | <sup>3</sup> 1428   |                     |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [kg<br>h <sup>-1</sup> ] | 339                 | -                   | 4                   | 54                  | -                   | <sup>4</sup> 289    |
| Bijpr.<br>[kg<br>h <sup>-1</sup> ]                    | 35.7                | -                   | 0.4                 | -                   | 35.7                | -                   |
| P, S<br>[kg<br>h <sup>-1</sup> ]                      | 4.2                 | -                   | 0.05                | -                   | 4.2                 | -                   |
| Tot.<br>[m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ]             | 41                  | -                   | 0.5                 | 39.8                | 11.2                | 10                  |
| Enth.<br>[kJ<br>h <sup>-1</sup> ]                     | 7.7 10 <sup>6</sup> | 3.7 10 <sup>6</sup> | 9.4 10 <sup>4</sup> | 7.5 10 <sup>6</sup> | 2.1 10 <sup>6</sup> | 1.9 10 <sup>6</sup> |

<sup>1</sup> Deze stroom wordt teruggevoerd naar de fermentor.

<sup>2</sup> Deze stroom gaat naar de ionenwisselaar.

<sup>3</sup> Deze stroom wordt teruggevoerd naar de ammoniak opslagtank.

<sup>4</sup> Aanwezig in de vorm van melkzuur.

<sup>5</sup> Aanwezig in de vorm van NH<sub>3</sub> en NH<sub>4</sub>OH.

| Rotary filter                            |                     |                     |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------|
|                                          | In                  | Uit                 |
| Water [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ]  | 0.47                | 0.47                |
| Biomassa [kg h <sup>-1</sup> ]           | 548                 | -                   |
| Lactaat [kg h <sup>-1</sup> ]            | 20                  | 20                  |
| Ammonium [kg h <sup>-1</sup> ]           | 4                   | 4                   |
| Bijproducten<br>[kg h <sup>-1</sup> ]    | 0.4                 | 0.4                 |
| Fosf, sulf [kg h <sup>-1</sup> ]         | 0.05                | 0.05                |
| Totaal [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ] | 0.5                 | 0.5                 |
| Enthalpy [kJ h <sup>-1</sup> ]           | 9.4 10 <sup>4</sup> | 9.4 10 <sup>4</sup> |

| Ionenwisselaar                           |                     |                     |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------|
|                                          | In                  | Uit                 |
| Water [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ]  | 9.75                | 9.75                |
| Melkzuur [kg h <sup>-1</sup> ]           | 1428                | 1420                |
| Bijproducten<br>[kg h <sup>-1</sup> ]    | 35.7                | 35                  |
| P,S [kg h <sup>-1</sup> ]                | 4.2                 | -                   |
| Totaal [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ] | 11.2                | 11.2                |
| Enthalpy [kJ h <sup>-1</sup> ]           | 2.1 10 <sup>6</sup> | 2.1 10 <sup>6</sup> |

| Destillatie                             |                     |                     |                     |
|-----------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                                         | Voeding             | Bodemproduct        | Topproduct          |
| Water [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ] | 9.75                | 0.34                | 9.41                |
| Melkzuur<br>[kg h <sup>-1</sup> ]       | 1420                | 1420                | -                   |
| Bijproducten<br>[kg h <sup>-1</sup> ]   | 35                  | 23.3                | 11.7                |
| Totaal [m <sup>3</sup> ]                | 11.2                | 1.78                | 9.42                |
| Enthalpy [kJ h <sup>-1</sup> ]          | 2.1 10 <sup>6</sup> | 8.9 10 <sup>5</sup> | 3.9 10 <sup>6</sup> |

| Condensor                                |                     |                   |
|------------------------------------------|---------------------|-------------------|
|                                          | In                  | Uit               |
| Water [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ]  | 0.34                | 0.34              |
| Melkzuur [kg h <sup>-3</sup> ]           | 1420                | 1420              |
| Bijproducten<br>[kg h <sup>-1</sup> ]    | 23.3                | 23.3              |
| Totaal [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ] | 1.78                | 1.78              |
| Enthalpy [kJ h <sup>-1</sup> ]           | 8.9 10 <sup>5</sup> | 2 10 <sup>5</sup> |

## 12. SPECIFICATIEFORMULIER DESTILLATIE

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                     |                      |       |                              |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|-------|------------------------------|-------------------------|
| Apparaatnummer : T4.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                     | Fabrieksnummer :     |       |                              |                         |
| ALGEMENE EIGENSCHAPPEN :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                     |                      |       |                              |                         |
| Functie..... : destillatie / <del>extraktie</del> / <del>absorptie</del> / .....*<br>Type toren..... : <del>gepakt</del> / schotel / <del>sproeier</del> / .....*<br>Type schotel..... : <del>klokje</del> / zeefplaat / <del>valve</del> / .....*<br>Aantal schotels...10... : theoretisch : 10<br>Aantal schotels...7... : praktisch : 10<br>Schotelafstand / HETS : 0,5 m      Materiaal schotel : 316 L<br>Diameter toren..... : 1 m      Hoogte toren .... : 5 m<br>Materiaal toren ..... : 316 L<br>Verwarming..... : <del>geen</del> / <del>open stoom</del> / reboiler / .....* |                     |                      |       |                              |                         |
| BEDRIJFSKONDITIONES :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |                      |       |                              |                         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Voeding             | Top                  | Bodem | Reflux/absorp-<br>tie middel | Extraktie<br>middel/... |
| Temperatuur..... °C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 46.15               | 99.85                | 119.8 | -                            | -                       |
| Druk..... bar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1                   | 1                    | 1     |                              |                         |
| Dichtheid..... kg/m <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1000                | 1000                 | 1000  |                              |                         |
| Massastroom..... kg/s                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3.11                | 2.6                  | 0.5   |                              |                         |
| Samenstelling in<br>mol % resp. gew. %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                     |                      |       |                              |                         |
| water gew %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 87.1                | 99.89                | 19    |                              |                         |
| melkzuur gew %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 12.7                | 0                    | 80    |                              |                         |
| Byproducten gew %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2 · 10 <sup>3</sup> | 1 · 10 <sup>-3</sup> | 1.3   |                              |                         |
| ONTWERP :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                     |                      |       |                              |                         |
| Aantal klokjes / zeefgaten / .....**:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                     |                      |       | Type pakking..... :          |                         |
| Aktief schoteloppervlak..... :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                     | m <sup>2</sup>       |       | Materiaal pakking :          |                         |
| Lengte overlooprand..... :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     | mm                   |       | Afmetingen pakking :         |                         |
| Diameter valpijp / gat / ..... :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                     | mm                   |       |                              |                         |
| Verdere gegevens op schets vermelden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                     |                      |       |                              |                         |

### 13. KOSTEN

#### Grondstoffen:

Glucose<sup>1</sup>:  $29.04 \cdot 10^6 \text{ kg j}^{-1} \times f1,- = f29.04 \cdot 10^6,-$

Gistextract :  $9.12 \cdot 10^5 \text{ kg j}^{-1} \times f7.5,- = f6.84 \cdot 10^6,-$

<sup>1</sup> Verdere grondstofkosten zijn te verwaarlozen t.o.v. de prijs van glucose en gistextract.

#### Sterilizatoren (Dace Prijzenboekje, 1992):

$3 \times 145 \text{ m}^2$  warmtewisselaren:

$$3 \times f235000,- = f705000,-$$

#### Pompen (Dace Prijzenboekje, 1992):

| aantal | capaciteit | stuk prijs | elektromoter,<br>stuk prijs | totaal     |
|--------|------------|------------|-----------------------------|------------|
| 44     | 50         | f11000,-   | f690,-                      | f514360,-  |
| 22     | 80         | f11000,-   | f1330,-                     | f271260,-  |
| 8      | 25         | f9500,-    | f590,-                      | f80720,-   |
| 4      | 6.3        | f7800,-    | f290,-                      | f32360,- + |
|        |            |            |                             | f898700,-  |

### Opslagtanks (Dace Prijzenboekje, 1992):

|                        |                         |               |                     |                 |
|------------------------|-------------------------|---------------|---------------------|-----------------|
| Ammonia                | 1800 m <sup>3</sup>     | floating roof | 316L roestvast      | f766000,-       |
| Glucose/<br>nutriënten | 2 × 1800 m <sup>3</sup> | cone roof     | HII staal           | f2600000,-      |
| Melkzuur               | 1800 m <sup>3</sup>     | cone roof     | 316L roest-<br>vast | f2600000,-<br>+ |
|                        |                         |               | totaal              | f5966000,-      |

### Reaktor (Dace Prijzenboekje, 1992):

$$2 \times 40 \text{ m}^3 = 2 \times f370000,- = f740000,-$$

Warmtewisselaar:

$$2 \times 2 \text{ m}^2 = 2 \times f26000,- = f52000,-$$

### Microfiltratie (Davis, 1992):

Capital investment:

Membranen:

$$f3780,- \text{ per m}^2 \times 1920 \text{ m}^2 = f7.25 \cdot 10^6,-$$

Hardware:

$$f1 \cdot 10^6,- \text{ per module} \times 624 = f6.24 \cdot 10^8,-$$

$$\text{totaal: } f3.2 \cdot 10^8,-$$

Operating costs:

Electriciteit:

$$f0.13,- \times 920000 \text{ kWh} = f119600,-$$

Membraan:

$$f1017,- \text{ per module} \times 624 = f635608,-$$

$$\text{totaal: } f755208,-$$

*ho! ho!*  
*hoe gaat dat?*

**Rotaryfilter** (Dace Prijzenboekje, 1992):

Filteroppervlak  $2 \times 2\text{m}^2$ : f380,-

**Elektrodialyse:**

Installatiekosten:

f1.22 10<sup>7</sup>,-

Operatiekosten:

Elektrische stroom<sup>2</sup>:

$f0.13/\text{kWh} \times 3.08 \cdot 10^5 \times 8000 = f3.2 \cdot 10^8,-$

<sup>2</sup>Verdere energiekosten zijn te verwaarlozen t.o.v. de elektriciteitskosten.

**Ionenwisselaar:**

6 kolommen van 10 m<sup>3</sup> 316L (Dace Prijzenboekje, 1992):

$6 \times f160000,- = f960000,-$

Pakking :

Aminopolystyreen:  $30 \text{ m}^3 \times f300,- = f9000,-$

**Destillatiekolom** (Dace Prijzenboekje, 1992):

2 kolommen van lengte 5m en 1m diameter:

$2 \times f130000,- = f260000,-$

20 zeefplaten van 1m diameter 316L:

$20 \times f1288,- = f25761,-$

6 warmtewisselaren:

4 condensoren

2 heaters.

$6 \times f47000,- = f282000,-$

**Arbeidskosten** (Collegedictaat De chemische fabriek dl. 2, 1991):

Wesselrelatie

$$\frac{\text{manuren}}{\text{ton product}} = K * \frac{\text{aantal stappen}}{(\text{capaciteit/dag})^{0.76}}$$

Met:

K = 1 in 1993

aantal stappen = 5

capaciteit/dag = 60 ton/dag

→ manuren/ton produkt = 0.22

Het aantal functieplaatsen voor een continu proces is:

$$\text{functieplaatsen} = \cancel{5} * \frac{(\text{capaciteit/dag})}{24} * (\text{manuren/ton product})$$

functieplaatsen = 2.74

Aantal werknemers:

$$\text{aantal werknemers} = \text{aantal functieplaatsen} * 5.4$$

Totale kosten:

$$\text{aantal functieplaatsen} * f350000,- = f973980,-$$

## Investeringskosten:

Sterilizator: f 70500,-

Pompen: f 898700,-

Opslagtanks: f 5966000,-

Reactor: f 792000,-

Rotary filter: f 380,-

Microfiltratie: f 3200000000,-

*320 milj*

Elektrodialyse: f 12200000,-

Ionenwisselaar: f 969000,-

Destillatie: f 3105700,-

---

Totaal: f ~~344002000,-~~

### Lopende kosten:

|                 |               |
|-----------------|---------------|
| Grondstoffen:   | f 35880000,-  |
| Microfiltratie: | f 635608,-    |
| Energiekosten:  | f 320000000,- |
| Arbeidskosten:  | f 973980,-    |
|                 | <hr/>         |
| Totaal:         | f 356515608,- |

*Zoo melk.*

*Wij dit dan alle kosten?*

Wanneer in 10 jaar alles wordt afbetaald zijn de kosten per jaar:  $f356515608,- + f34400200,- = f 3.909 10^8,-$

Opbrengst per jaar :  $f 80 10^6,-$

Verlies per jaar:  $f 310 10^6,-$

Aangezien er verlies wordt geleden is het niet relevant om de rentabiliteit en return of investment te berekenen.

## 14. SYMBOLENLIJST

|                    |                                                                                                       |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_{\text{mtot}}$  | = totaal membraanoppervlak [ $\text{m}^2$ ]                                                           |
| $A$                | = oppervlakte reactorwand [ $\text{m}^2$ ]                                                            |
| $A_m$              | = membraanoppervlak [ $\text{m}^2$ ]                                                                  |
| $b$                | = breedte van het membraan [m]                                                                        |
| $BL$               | = bleedflow na microfiltratie [ $\text{m}^3/\text{hr}$ ]                                              |
| $BR$               | = outflow fermentor [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]                                                         |
| $c_{\text{pb}}$    | = specifieke warmtecapaciteit [ $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]                                   |
| $C_i$              | = concentratie ion i [ $\text{mol m}^{-3}$ ]                                                          |
| $C_b'$             | = Concentratie ion in de bulk [ $\text{mol m}^{-3}$ ]                                                 |
| $C_b''$            | = concentratie ion in de te concentreren oplossing [ $\text{mol m}^{-3}$ ]                            |
| $C_m'$             | = Concentratie ion aan het membraanoppervlak aan de zijde van de feedoplossing [ $\text{kg m}^{-3}$ ] |
| $C_m''$            | = concentratie ion in het membraan aan de geconcentreerde kant [ $\text{mol m}^{-3}$ ]                |
| $d$                | = de afstand tussen twee membranen [m]                                                                |
| $d_s$              | = dikte buis [m]                                                                                      |
| $d_h$              | = hydraulische diameter [m]                                                                           |
| $d_w$              | = dikte wand [m]                                                                                      |
| $D$                | = diameter roerder [m]                                                                                |
| $D_d$              | = diffusiecoëfficiënt van de deeltjes [ $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ]                                  |
| $D_i$              | = diffusiecoëfficiënt van component i [ $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ]                                  |
| $E_{\text{prac}}$  | = energieconsumptie [W]                                                                               |
| $f$                | = Fanning frictie factor [-]                                                                          |
| $F$                | = feed [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]                                                                      |
| $F_a$              | = getal van Faraday [ $9.64 \cdot 10^3 \text{ C mol}^{-1}$ ]                                          |
| $h_b$              | = warmteoverdrachtscoëfficiënt broth [ $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ ]                              |
| $h_T$              | = totale warmteoverdrachtscoëfficiënt [ $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ ]                             |
| $h_{\text{lucht}}$ | = warmteoverdrachtscoëfficiënt lucht [ $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ ]                              |

|                      |                                                                 |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------|
| $h_{hw}$             | = warmteoverdrachtscoëfficiënt heet water [ $W m^{-2} K^{-1}$ ] |
| $h_{tw}$             | = totale warmteoverdrachtscoëfficiënt [ $W m^{-2} K^{-1}$ ]     |
| $H_s$                | = hoogte van de roerder [m]                                     |
| $H$                  | = hoogte vat [m]                                                |
| $H_w$                | = koelend vermogen van de wand [W]                              |
| $i$                  | = stroomdichtheid [ $A m^{-2}$ ]                                |
| $I$                  | = totale elektrische stroom [A]                                 |
| $J$                  | = permeaatflux [ $m s^{-1}$ ]                                   |
| $\langle J \rangle$  | = gemiddelde permeaatflux [ $m s^{-1}$ ]                        |
| $k$                  | = stofoverdrachtscoëfficiënt van het ion [ $m s^{-1}$ ]         |
| $k_a$                | = specifieke afsterfsnelheid [ $h^{-1}$ ]                       |
| $k_d$                | = stofoverdrachtscoëfficiënt deeltjes [ $m s^{-1}$ ]            |
| $KD$                 | = specifieke afsterfsnelheid [ $h^{-1}$ ]                       |
| $l$                  | = lengte van de buis [m]                                        |
| $N$                  | = aantal cellen [-]                                             |
| $N_0$                | = aantal cellen op tijdstip 0 [-]                               |
| $N_p$                | = powernumber [-]                                               |
| $m_i$                | = mobiliteit van ion $i$ [ $m^2 V^{-1} s^{-1}$ ]                |
| $M_s$                | = maintenancecoëfficiënt                                        |
| $n$                  | = aantal cellen [-]                                             |
| $N$                  | = toerental [ $s^{-1}$ ]                                        |
| $\langle Nu \rangle$ | = overall Nusseltgetal [-]                                      |
| $P_s$                | = vermogen roerder [W]                                          |
| $P_0$                | = conc. melkzuur in fermentor op $t=0$ [ $kg m^{-3}$ ]          |
| $P_1$                | = conc. melkzuur in fermentor [ $kg/m^3$ ]                      |
| $P_2$                | = conc. melkzuur in microfiltratie [ $kg/m^3$ ]                 |
| $PER$                | = permeaatflow microfiltratie [ $m^3/h$ ]                       |
| $P_m$                | = conc. melkzuur waarbij $\mu = 0$ [ $kg/m^3$ ]                 |
| $Pr$                 | = Getal van Prandl [-]                                          |
| $Q_i$                | = feed [ $m^3 s^{-1}$ ]                                         |
| $Q_u$                | = retentaat [ $m^3 s^{-1}$ ]                                    |
| $r$                  | = deeltjesstraal [m]                                            |

|                    |                                                             |
|--------------------|-------------------------------------------------------------|
| R                  | = gasconstante [8.314 J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ] |
| R1                 | = recycleflow van microfiltratie [m <sup>3</sup> /h]        |
| R2                 | = recycleflow van elektrodialyse [m <sup>3</sup> /h]        |
| R <sub>c</sub>     | = totale weerstand van een cel [Ω]                          |
| Re                 | = getal van Reynolds [-]                                    |
| R <sub>m</sub>     | = weerstand van het membraan [Ω]                            |
| S0                 | = conc. glucose in de feedstroom [kg/m <sup>3</sup> ]       |
| S1                 | = conc. glucose in fermentor [kg/m <sup>3</sup> ]           |
| S2                 | = conc. glucose in microfiltratie [kg/m <sup>3</sup> ]      |
| S <sub>m</sub>     | = conc. glucose waarbij $\mu = 0$ [kg/m <sup>3</sup> ]      |
| Sh                 | = getal van Sherwood [-]                                    |
| Sc                 | = getal van Schmidt [-]                                     |
| t                  | = tijd [s]                                                  |
| t <sub>i</sub>     | = transportgetal van het ion i in de feedoplossing [-]      |
| t <sub>mi</sub>    | = transportgetal van ion i in het membraan [-]              |
| t <sub>m</sub>     | = megentijd [s]                                             |
| T                  | = temperatuur [K]                                           |
| T <sub>v</sub>     | = diameter vat [m]                                          |
| T <sub>broth</sub> | = temperatuur broth [K]                                     |
| T <sub>uit</sub>   | = temperatuur buiten [K]                                    |
| T <sub>vi</sub>    | = temperatuur ingaande warmtestroom [K]                     |
| T <sub>vo</sub>    | = temperatuur uitgaande warmtestroom [K]                    |
| u                  | = gemiddelde snelheid [m s <sup>-1</sup> ]                  |
| V1                 | = volume vat [m <sup>3</sup> ]                              |
| V                  | = vermogen van de verwarming [W]                            |
| V2                 | = volume microfiltratie [m <sup>3</sup> ]                   |
| W                  | = afvalstroom elektrodialyse [m <sup>3</sup> ]              |
| X0                 | = conc. biomassa in fermentor op t=0 [kg/m <sup>3</sup> ]   |
| X1                 | = conc. biomassa in fermentor [kg/m <sup>3</sup> ]          |
| X2                 | = conc. biomassa in microfiltratie [kg/m <sup>3</sup> ]     |
| y                  | = de coördinaat loodrecht op stroomrichting [m]             |

|                  |   |                                                                             |
|------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------|
| $Y_{sx}$         | = | yield van biomassa op glucose [g/g]                                         |
| $Y_{sp}$         | = | yield van melkzuur op glucose [g/g]                                         |
| $z$              | = | valentie van het ion [-]                                                    |
| $z_i$            | = | valentie van ion i [-]                                                      |
| $\alpha$         | = | oppervlakte opwarmspiraal [m <sup>2</sup> ]                                 |
| $\delta$         | = | dikte van de grenslaag [m]                                                  |
| $\epsilon$       | = | cake-porositeit [-]                                                         |
| $\eta_b$         | = | dynamische viscositeit broth [Pa s]                                         |
| $\gamma$         | = | shearrate [s <sup>-1</sup> ]                                                |
| $\phi$           | = | volumefractiedeeltjes op plaats y [-]                                       |
| $\phi_w$         | = | volumefractiedeeltjes aan de membraanwand [-]                               |
| $\phi_s$         | = | volumefractiedeeltjes in de bulk [-]                                        |
| $\kappa$         | = | geleidbaarheid van de elektrolytoplossing [C/Vsm]                           |
| $\lambda_b$      | = | warmtegeleidingscoëfficiënt broth [W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]      |
| $\lambda_{316L}$ | = | warmtegeleidingscoëfficiënt staal 316L [W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ] |
| $\lambda_{hw}$   | = | warmtegeleidingscoëfficiënt heet water [W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ] |
| $\mu$            | = | specifieke groeisnelheid [h <sup>-1</sup> ]                                 |
| $\mu_{max}$      | = | maximale specifieke groeisnelheid [h <sup>-1</sup> ]                        |
| $\mu_d$          | = | dynamische viscositeit [Pa s]                                               |
| $\nu_b$          | = | kinematische viscositeit broth [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]            |
| $\rho$           | = | dichtheid medium [kg m <sup>-3</sup> ]                                      |
| $\Theta$         | = | verblijftijd in het vat [s]                                                 |
| $\xi$            | = | stroom gebruik [-]                                                          |

## 15. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De ontworpen lactaatfabriek is verliesgevend door de hoge energiekosten. Het is daarom aan te raden om een eigen elektriciteitsvoorziening te bouwen.

Zeer recente correspondentie met de Amerikaanse firma AQUATECH, leverancier van elektrodialyse apparaten, heeft uitgewezen dat het niet praktisch is om een drie-compartimenten systeem te bouwen. Dit wordt veroorzaakt door de lage geleidbaarheid van lactaat en die van ammoniumhydroxide (Deze ontstaat in het compartiment met ammonium). Aangeraden wordt om een twee-compartimenten systeem te ontwikkelen, met alleen een bipolair membraan en een anionselectief membraan. Er ontstaat dan melkzuur met ongeveer 10% ammoniumhydroxide. Ammonium is een klein molecuul en diffundeert daarom gemakkelijk door het bipolaire membraan heen (Dit zal zich ook voordoen bij het drie-compartimenten model). Het compartiment met de zouten ammoniumlactaat en ammoniumhydroxide wordt gerecirculeerd naar de fermentor. De zuivering zal in dit geval uitgebreid moeten worden. Het is nog de vraag of het geheel dan goedkoper wordt.

Een ander belangrijk punt is de zuiverheid van de feed. Kleine hoeveelheden organisch materiaal (micro-organismen, peptiden, nutriënten) kunnen de anionselectieve membranen sterk vervuilen. Dit geldt ook voor lage concentraties multivalente metaalionen.

## 16. LITERATUUR

Atkins, P.W. (1990) Physical chemistry, Hfst 25;  
Oxford University Press

Benninga, H. (1990) A history of lactic acid making.  
Kluwer Academic Publishers Dordrecht/Boston/London

Chang R. (1977), Physical Chemistry with applications to biological systems. Macmillan Publishing Co., Inc.

Coulman, G.A., Stieber, R.W. & Gerhardt, P. (1977); Applied and Environmental Microbiology 34, 725-732.

Dace Prijzenboekje (nov 1992) 16e ed. Webci/Wubo

Davis, R.H., Membrane Handbook, Hfst 33, Edited bij Ho, W.S.W. & Sirkar, K.K.;  
Van Nostrand Reinhold New York 1992.

Glassner D.A., Michigan Biotechnology Institute (1990), European Patent  
Office, PE 0 393 818 A1

Goncalves, L.M.D., Xavier, A.M.R.B., Almeida, J.S. & Carrondo, M.J.T. (1991);  
Enzyme and Microb. Techn. 13, 314-319.

Heriban, V., Skara, J., Sturdik, E. & Ilavsky J. (1993); Biotechnology Techniques 7,  
63-68.

Hongo, M., Nomura, Y. & Iwahara, M. (1986); Applied and Environmental Microbiology 52, 314-319.

- Krijgsman, J. & Wielen van der, L.A.M. (1993) Syllabus bioscheidingen, TU Delft-STM-vakgroep bioprocestechnologie.
- Lamprecht, I. & Zotin, A.J. (1978), Thermodynamics of biological processes, Walter de Gruyter-Berlijn-New York.
- Luedeking, R. & Piret, E.L. (1959); J. of Biochemical and Microbiological Technology and Engineering 4, 393-412.
- Nomura Y., Yamamoto K. & Ishizaki A. (1991); J. of Fermentation and Bioengineering 71, 450-452.
- Perry, R.H. & Green, D. (1984), Perry's chemical engineer's handbook, Hfst 16, McGraw-Hill 50<sup>th</sup> ed.
- Raucourt de, A., Girard, D., Prigent, Y. & Boyaval, P. (1989); Appl. Microbiol. Biotechnol. 30, 521-527.
- Raucourt de, A., Girard, D., Prigent, Y. & Boyaval, P. (1989); Appl. Microbiol. Biotechnol. 30, 528-534.
- Rehmann, D., Heyde, M., Holley, W. & Bauer, W. (1992); Chem. Ing. Tech 64, 286-288.
- Riet Van 't, K. & Tramper, J. (1991), Basic Bioreaktor Design, Marcel Dekker Inc. New York.
- Shah, P.R., Kovvali, A.S., Khan, G.Y. & Khan, A.A. (1993); The Chemical Engineering Journal 51, 1-6.
- Smith, J.M.M. & Stammers, E. (1973) Syllabus Fysische Transportverschijnselen I, VSSD, Delftse Uitgevers Maatschappij B.V.

Stephen, L.M., Michaels, L. & Goel, V., Membrane Handbook, Hfst 35, Edited bij Ho, W.S.W. & Sirkar, K.K.; Van Nostrand Reinhold New York 1992.

Stieber, R.W. & Gerhardt, P. (1981); Biotechnology and Bioengineering 23, 523-534.

Strathmann, H. Membrane Handbook, Hfst 17, Edited bij Ho, W.S.W. & Sirkar, K.K.; Van Nostrand Reinhold New York 1992.

Strathmann, H. Membrane Handbook, Hfst 19, Edited bij Ho, W.S.W. & Sirkar, K.K.; Van Nostrand Reinhold New York 1992.

Tholen, J.P.P., TIM Tholen Ingenieursbureau voor Membraantechnologie: Toepassingen voor membraanelektrolyse.

Timmer, J.M.K. & Kromkamp, J. (1991); Proc. EFB Symp. Physiology of Microorganisms, 1-9.

Wielen van der, L.A.M. & Luyben, K.Ch.A.M. (1992); Proces Technologie, 21-29.

Yao, P. & Toda, K. (1990); J. Gen. Appl. Microbiol. 36, 111-125.

Yeh, P.L., Bajpai, R.K. & Iannotti, E.L. (1991); J. of Fermentation and Bioengineering 71, 75-77.

BIJLAGE I (behorende bij hfst. 4)

28-Apr-1993

19:19

File: A:KINET

\* sm

Structure and parameters of present model \*\*

| ck  | Type | Inputs/Comment                                                     | Par1       | Par2 | Par3 |
|-----|------|--------------------------------------------------------------------|------------|------|------|
|     | CON  |                                                                    | .5000      |      |      |
|     | CON  |                                                                    | 57.00      |      |      |
|     | CON  |                                                                    | 4.0000E-02 |      |      |
|     | CON  |                                                                    | .1000      |      |      |
| AX  | CON  |                                                                    | .4060      |      |      |
|     | CON  |                                                                    | 41.00      |      |      |
|     | CON  |                                                                    | 81.00      |      |      |
|     | CON  |                                                                    | 15.50      |      |      |
|     | CON  |                                                                    | 500.0      |      |      |
|     | CON  |                                                                    | 401.8      |      |      |
|     | CON  |                                                                    | 5.700      |      |      |
|     | CON  |                                                                    | 40.00      |      |      |
|     | CON  |                                                                    | 10.00      |      |      |
|     | CON  |                                                                    | 4.000      |      |      |
|     | CON  |                                                                    | .9400      |      |      |
|     | CON  |                                                                    | 3.0000E-02 |      |      |
|     | INT  | DP1DT                                                              | 75.00      |      |      |
|     | INT  | DP2DT                                                              | .0000      |      |      |
|     | INT  | DS1DT                                                              | .0000      |      |      |
|     | INT  | DS2DT                                                              | .0000      |      |      |
|     | INT  | DX1DT                                                              | 20.00      |      |      |
|     | INT  | DX2DT                                                              | .0000      |      |      |
|     | REL  | S2,5,7,0                                                           |            |      |      |
| 1DT | VAR  | $-(P1*BR/V1)+P2*(R1+0.15*(PER-N+BL)/V1)+YSP*X1*((MU-KD)/YSX+MS)$   |            |      |      |
| 2DT | VAR  | $((P1*BR)/V2)-P2*((PER+R1+BL)/V2)+YSP*X2*(MS-(KD/YSX))$            |            |      |      |
| 1DT | VAR  | $(S0*F/V1)-(S1*BR/V1)+(S2*((R1+PER+BL-N)/V1))-X1*(MS+(MU-KD)/YSX)$ |            |      |      |
| 2DT | VAR  | $(S1*BR/V2)-(S2*((PER+R1+BL)/V2))-(X2*(MS-KD/YSX))$                |            |      |      |
| 1DT | VAR  | $(X2*R1/V1)+X1*(MU-(BR/V1)-KD)$                                    |            |      |      |
| 2DT | VAR  | $(X1*BR/V2)+X2*(-KD-(BL/V2)-(R1/V2))$                              |            |      |      |
|     | VAR  | $MUMAX*((1-(P1/PK))^2.1)*((1-(S1/SW))^0.71)$                       |            |      |      |
|     | VAR  | TOT-F                                                              |            |      |      |
|     | VAR  | $YSP*(MS+((MU-KD)/YSX))$                                           |            |      |      |
|     | VAR  | TIME                                                               |            |      |      |

I\* cos -

28-Apr-1993

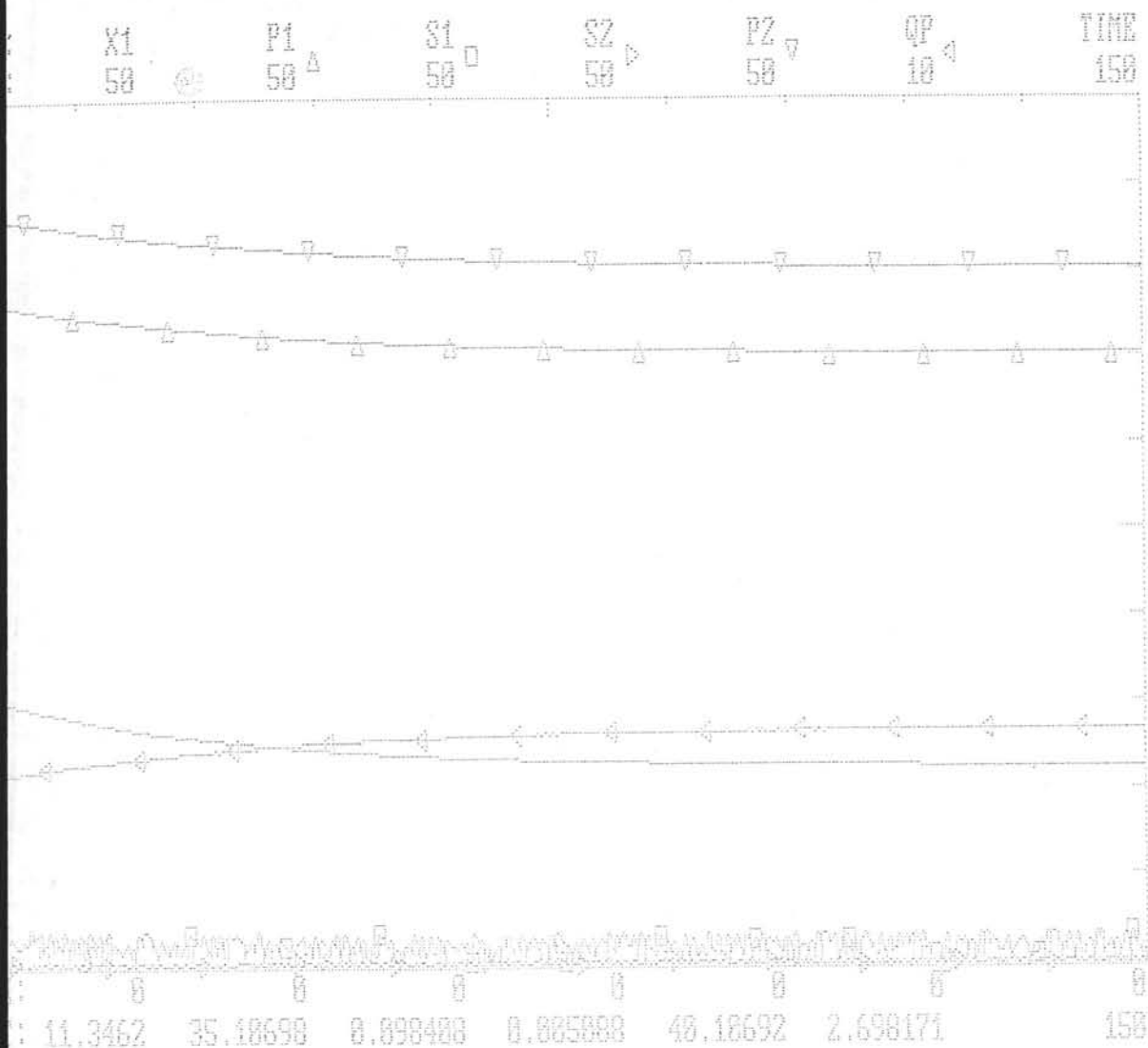
20:28

File: A:KINET2

App: 0093

20:28

File: A:KINET2



BIJLAGE II (behorende bij hfst.5)

```
1      ;
2      ;Input file created by ModelManager Rel. 3.2-1 on Mon
Apr 26 11:02      :22 1993
3      ;Directory E:\ Runid MODDEF

7      SUMMARY MM

8

9      IN-UNITS MET VOLUME-FLOW='L/HR' ENTHALPY-FLO='KCAL/HR'
&
10     HEAT-TRANS-C='KCAL/HR-SQM-K' TEMPERATURE=C
DELTA-T=C &
11     HEAD=METER FILTER-RESIS='1/CM' HEAT=KCAL
FLUX='L/SQM-HR' &
12     MOLE-CONC='MOL/L'

13

14     DEF-STREAMS CONV-NC ALL

15

16     DATABANKS ASPENPCD / BPS

17

18     PROP-SOURCES ASPENPCD / BPS

19

20     COMPONENTS

21     WATER H2O WATER /

22     CELLS * CELLS

23

24     FLOWSHEET

25     BLOCK B8 IN=RET1 OUT=PER7 RET7

26     BLOCK B9 IN=RET7 OUT=PER8 RET8

27     BLOCK B10 IN=RET8 OUT=PER9 RET9

28     BLOCK B11 IN=RET9 OUT=PER10 RET10

29     BLOCK B12 IN=RET10 OUT=PER11 RET11
```

```

30      BLOCK B13 IN=RET11 OUT=PER12 RET12
31      BLOCK B14 IN=RET12 OUT=PER13 RET13
32      BLOCK B15 IN=RET13 OUT=PER14 RET14
33      BLOCK B16 IN=RET14 OUT=PER15 RET15
34      BLOCK B7 IN=PER7 PER8 PER9 PER10 PER11 PER12 PER13
&
35          PER14 PER15 PER1 PER2 PER3 PER4 PER5 PER6
PER17 &
36          PER18 PER19 PER20 PER21 PER22 OUT=PERMEAAT
37      BLOCK B1 IN=RET2 OUT=PER1 RET1
38      BLOCK B2 IN=RET3 OUT=PER2 RET2
39      BLOCK B3 IN=RET4 OUT=PER3 RET3
40      BLOCK B4 IN=RET5 OUT=PER4 RET4
41      BLOCK B5 IN=RET6 OUT=PER5 RET5
42      BLOCK B6 IN=RET17 OUT=PER6 RET6
43      BLOCK B17 IN=RET18 OUT=PER17 RET17
44      BLOCK B18 IN=RET19 OUT=PER18 RET18
45      BLOCK B19 IN=RET20 OUT=PER19 RET19
46      BLOCK B20 IN=RET21 OUT=PER20 RET20
47      BLOCK B21 IN=RET22 OUT=PER21 RET21
48      BLOCK B22 IN=BROTH OUT=PER22 RET22
49
50      PROPERTIES BPSOP0
51
52      NC-COMPS CELLS BIOCOMP
53
54      NC-PROPS CELLS ENTHALPY BIOENTH / DENSITY BIODEN
55
56      STREAM BROTH
57          SUBSTREAM CONV TEMP=45 PRES=1 MASS-FLOW=49432
58          MASS-FLOW WATER 49432

```

```

59      SUBSTREAM NONCONV TEMP=45 PRES=1 MASS-FLOW=568
60      MASS-FLOW CELLS 568
61      COMP-ATTR CELLS BIOCOMP ( 54 5 22 11 8.0 75 )
62
63      BLOCK B1 MEMBRANE
64          PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3
65      GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=616 LENGTH=.84 NPARAL-
LEL=200 &
66          NMEM=1
67      PDROP DELP=.8
68      FLUX MODEL=MF-ZYDNEY
69      KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6
70      SOLVENT CID=WATER
71
72      BLOCK B10 MEMBRANE
73          PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3
74      GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=21.56 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=140 &
75          NMEM=1
76      PDROP DELP=.772
77      FLUX MODEL=MF-ZYDNEY
78      KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6
79      SOLVENT CID=WATER
80
81      BLOCK B11 MEMBRANE
82          PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3
83      GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=18.48 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=120 &
84          NMEM=1
85      PDROP DELP=.772
86      FLUX MODEL=MF-ZYDNEY
87      KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6

```

```

88          SOLVENT CID=WATER
89
90    BLOCK B12 MEMBRANE
91          PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3
92          GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=15.4 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=100  &
93          NMEM=1
94          PDROP DELP=.772
95          FLUX MODEL=MF-ZYDNEY
96          KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6
97          SOLVENT CID=WATER
98
99    BLOCK B13 MEMBRANE
100         PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3
101         GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=12.32 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=80  &
102         NMEM=1
103         PDROP DELP=.772
104         FLUX MODEL=MF-ZYDNEY
105         KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6
106         SOLVENT CID=WATER
107
108    BLOCK B14 MEMBRANE
109         PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3
110         GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=9.24 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=60  &
111         NMEM=1
112         PDROP DELP=.772
113         FLUX MODEL=MF-ZYDNEY
114         KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6
115         SOLVENT CID=WATER
116

```

```

117      BLOCK B15 MEMBRANE

118          PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3

119          GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=6.16 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=40  &
120          NMEM=1

121          PDROP DELP=.772

122          FLUX MODEL=MF-ZYDNEY

123          KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6

124          SOLVENT CID=WATER

125

126      BLOCK B16 MEMBRANE

127          PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3

128          GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=3.08 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=20  &
129          NMEM=1

130          PDROP DELP=.772

131          FLUX MODEL=MF-ZYDNEY

132          KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6

133          SOLVENT CID=WATER

134

135      BLOCK B17 MEMBRANE

136          PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3

137          GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=49.28 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=320  &
138          NMEM=1

139          PDROP DELP=.8

140          FLUX MODEL=MF-ZYDNEY

141          KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6

142          SOLVENT CID=WATER

143

144      BLOCK B18 MEMBRANE

145          PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3

```

```

146      GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=52.36 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=340 &
147      NMEM=1

148      PDROP DELP=.8

149      FLUX MODEL=MF-ZYDNEY

150      KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6

151      SOLVENT CID=WATER

152

153      BLOCK B19 MEMBRANE

154      PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3

155      GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=55.44 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=360 &
156      NMEM=1

157      PDROP DELP=.8

158      FLUX MODEL=MF-ZYDNEY

159      KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6

160      SOLVENT CID=WATER

161

162      BLOCK B2 MEMBRANE

163      PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3

164      GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=33.88 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=220 &
165      NMEM=1

166      PDROP DELP=.8

167      FLUX MODEL=MF-ZYDNEY

168      KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6

169      SOLVENT CID=WATER

170

171      BLOCK B20 MEMBRANE

172      PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3

173      GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=58.52 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=380 &
174      NMEM=1

```

175 PDROP DELP=.8  
176 FLUX MODEL=MF-ZYDNEY  
177 KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6  
178 SOLVENT CID=WATER  
179  
180 BLOCK B21 MEMBRANE  
181 PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3  
182 GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=61.6 LENGTH=.84 NPA-  
RALLEL=400 &  
183 NMEM=1  
184 PDROP DELP=.8  
185 FLUX MODEL=MF-ZYDNEY  
186 KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6  
187 SOLVENT CID=WATER  
188  
189 BLOCK B22 MEMBRANE  
190 PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3  
191 GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=64.68 LENGTH=.84 NPA-  
RALLEL=420 &  
192 NMEM=1  
193 PDROP DELP=.8  
194 FLUX MODEL=MF-ZYDNEY  
195 KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6  
196 SOLVENT CID=WATER  
197  
198 BLOCK B3 MEMBRANE  
199 PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3  
200 GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=36.96 LENGTH=.84 NPA-  
RALLEL=240 &  
201 NMEM=1  
202 PDROP DELP=.8  
203 FLUX MODEL=MF-ZYDNEY

```

204      KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6
205      SOLVENT CID=WATER
206
207      BLOCK B4 MEMBRANE
208      PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3
209      GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=40.04 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=260 &
210      NMEM=1
211      PDROP DELP=.8
212      FLUX MODEL=MF-ZYDNEY
213      KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6
214      SOLVENT CID=WATER
215
216      BLOCK B5 MEMBRANE
217      PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3
218      GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=43.12 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=280 &
219      NMEM=1
220      PDROP DELP=.8
221      FLUX MODEL=MF-ZYDNEY
222      KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6
223      SOLVENT CID=WATER
224
225      BLOCK B6 MEMBRANE
226      PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3
227      GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=46.2 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=300 &
228      NMEM=1
229      PDROP DELP=.8
230      FLUX MODEL=MF-ZYDNEY
231      KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6
232      SOLVENT CID=WATER

```

```

233
234     BLOCK B8 MEMBRANE
235         PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3
236         GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=27.72 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=180 &
237             NMEM=1
238         PDROP DELP=.772
239         FLUX MODEL=MF-ZYDNEY
240         KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6
241         SOLVENT CID=WATER
242
243     BLOCK B9 MEMBRANE
244         PARAM PRES=3 P-PERM=1 RECYCLE=0 VISC=1.3
245         GEOMETRY TYPE=CIRCULAR AREA=24.64 LENGTH=.84 NPA-
RALLEL=160 &
246             NMEM=1
247         PDROP DELP=.772
248         FLUX MODEL=MF-ZYDNEY
249         KEY-COMP CID=CELLS GELC=400 PDIAM=1E-6
250         SOLVENT CID=WATER
251
252     BLOCK B7 MIXER
253         PARAM PRES=1 NPHASE=1 PHASE=L
254
255     SENSITIVITY SENSDPAR
256         DEFINE V1 BLOCK-VAR BLOCK=B22 VARIABLE=PDIAM &
257             SENTENCE=KEY-COMP
258         DEFINE V2 MASS-FLOW STREAM=PER22 SUBSTREAM=CONV &
259             COMPONENT=WATER
260         DEFINE V3 MASS-FLOW STREAM=PERMEAAT SUBSTREAM=CONV
&
261             COMPONENT=WATER

```

```

262      TABULATE 1 "V2" COL-LABEL="PER22"
263      TABULATE 2 "V3" COL-LABEL="PERMEAAT"
264      VARY BLOCK-VAR BLOCK=B22 VARIABLE=PDIAM SENTEN-
CE=KEY-COMP
265      RANGE LOWER="5E-7" UPPER="1E-5" NPOINT="25"
266
267      SENSITIVITY SENSF
268      DEFINE V1 MASS-FLOW STREAM=BROTH SUBSTREAM=CONV &
269      COMPONENT=WATER
270      DEFINE V2 MASS-FLOW STREAM=PERMEAAT SUBSTREAM=CONV
&
271      COMPONENT=WATER
272      TABULATE 1 "V2" COL-LABEL="PERMEAAT"
273      VARY MASS-FLOW STREAM=BROTH SUBSTREAM=CONV COMPO-
NENT=WATER
274      RANGE LOWER="20000" UPPER="100000" NPOINT="25"
275
276      SENSITIVITY SENSX
277      DEFINE V1 MASS-FLOW STREAM=BROTH SUBSTREAM=NONCONV
&
278      COMPONENT=CELLS
279      DEFINE V2 BLOCK-VAR BLOCK=B22 VARIABLE=PERM-FLUX
&
280      SENTENCE=RESULTS
281      DEFINE V3 MASS-FLOW STREAM=PERMEAAT SUBSTREAM=CONV
&
282      COMPONENT=WATER
283      TABULATE 1 "V2" COL-LABEL="FLUX"
284      TABULATE 2 "V3" COL-LABEL="PERMEAAT"
285      VARY MASS-FLOW STREAM=BROTH SUBSTREAM=NONCONV &
286      COMPONENT=CELLS
287      RANGE LOWER="250" UPPER="1250" NPOINT="25"
288      ;
289      ;
290      ;

```

291 ;

292 ;

\*\*\* INPUT TRANSLATOR MESSAGES \*\*\*

THIS VERSION OF ASPEN PLUS LICENSED TO TU DELFT

SENSITIVITY BLOCK: SENSDPAR WILL BE INTERPRETED  
SENSITIVITY BLOCK: SENSF WILL BE INTERPRETED  
SENSITIVITY BLOCK: SENSX WILL BE INTERPRETED

\*\*\* FLOWSHEET ANALYSIS MESSAGES \*\*\*

FLOWSHEET CONNECTIVITY BY STREAMS

| STREAM<br>DEST | SOURCE | DEST  | STREAM   | SOURCE |    |
|----------------|--------|-------|----------|--------|----|
| BROTH          | -----  | B22   | PER7     | B8     | B7 |
| RET7           | B8     | B9    | PER8     | B9     | B7 |
| RET8           | B9     | B10   | PER9     | B10    | B7 |
| RET9           | B10    | B11   | PER10    | B11    | B7 |
| RET10          | B11    | B12   | PER11    | B12    | B7 |
| RET11          | B12    | B13   | PER12    | B13    | B7 |
| RET12          | B13    | B14   | PER13    | B14    | B7 |
| RET13          | B14    | B15   | PER14    | B15    | B7 |
| RET14          | B15    | B16   | PER15    | B16    | B7 |
| RET15          | B16    | ----- | PERMEAAT | B7     |    |
| -----          |        |       |          |        |    |
| PER1           | B1     | B7    | RET1     | B1     | B8 |
| PER2           | B2     | B7    | RET2     | B2     | B1 |
| PER3           | B3     | B7    | RET3     | B3     | B2 |
| PER4           | B4     | B7    | RET4     | B4     | B3 |
| PER5           | B5     | B7    | RET5     | B5     | B4 |
| PER6           | B6     | B7    | RET6     | B6     | B5 |
| PER17          | B17    | B7    | RET17    | B17    | B6 |
| PER18          | B18    | B7    | RET18    | B18    |    |
| B17            |        |       |          |        |    |
| PER19          | B19    | B7    | RET19    | B19    |    |
| B18            |        |       |          |        |    |

|       |     |    |       |     |
|-------|-----|----|-------|-----|
| PER20 | B20 | B7 | RET20 | B20 |
| B19   |     |    |       |     |
| PER21 | B21 | B7 | RET21 | B21 |
| B20   |     |    |       |     |
| PER22 | B22 | B7 | RET22 | B22 |
| B21   |     |    |       |     |

# FLOWSHEET CONNECTIVITY BY BLOCKS

| BLOCK | INLETS                                                                                                                           | OUTLETS     |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| B8    | RET1                                                                                                                             | PER7 RET7   |
| B9    | RET7                                                                                                                             | PER8 RET8   |
| B10   | RET8                                                                                                                             | PER9 RET9   |
| B11   | RET9                                                                                                                             | PER10 RET10 |
| B12   | RET10                                                                                                                            | PER11 RET11 |
| B13   | RET11                                                                                                                            | PER12 RET12 |
| B14   | RET12                                                                                                                            | PER13 RET13 |
| B15   | RET13                                                                                                                            | PER14 RET14 |
| B16   | RET14                                                                                                                            | PER15 RET15 |
| B7    | PER7 PER8 PER9 PER10 PER11<br>PER12 PER13 PER14 PER15<br>PER1 PER2 PER3 PER4 PER5<br>PER6 PER17 PER18 PER19<br>PER20 PER21 PER22 | PERMEAAT    |
| B1    | RET2                                                                                                                             | PER1 RET1   |
| B2    | RET3                                                                                                                             | PER2 RET2   |
| B3    | RET4                                                                                                                             | PER3 RET3   |
| B4    | RET5                                                                                                                             | PER4 RET4   |
| B5    | RET6                                                                                                                             | PER5 RET5   |
| B6    | RET17                                                                                                                            | PER6 RET6   |
| B17   | RET18                                                                                                                            | PER17 RET17 |
| B18   | RET19                                                                                                                            | PER18 RET18 |
| B19   | RET20                                                                                                                            | PER19 RET19 |
| B20   | RET21                                                                                                                            | PER20 RET20 |

B21

RET22

PER21 RET21

B22

BROTH

PER22 RET22

## TABLE OF CONTENTS

|    |                                           |  |
|----|-------------------------------------------|--|
|    | RUN CONTROL SECTION.....                  |  |
| 1  |                                           |  |
|    | RUN CONTROL INFORMATION.....              |  |
| 1  |                                           |  |
|    | BLOCK STATUS.....                         |  |
| 1  |                                           |  |
|    | FLOWSHEET SECTION.....                    |  |
| 2  |                                           |  |
|    | FLOWSHEET CONNECTIVITY BY STREAMS.....    |  |
| 2  |                                           |  |
|    | FLOWSHEET CONNECTIVITY BY BLOCKS.....     |  |
| 2  |                                           |  |
|    | COMPUTATIONAL SEQUENCE.....               |  |
| 3  |                                           |  |
|    | OVERALL FLOWSHEET BALANCE.....            |  |
| 3  |                                           |  |
|    | SENSITIVITY BLOCK SECTION.....            |  |
| 4  |                                           |  |
|    | SENSITIVITY BLOCK:  SENSDPAR.....         |  |
| 4  |                                           |  |
|    | SENSITIVITY BLOCK:  SENSF.....            |  |
| 5  |                                           |  |
|    | SENSITIVITY BLOCK:  SENSX.....            |  |
| 6  |                                           |  |
|    | PHYSICAL PROPERTIES SECTION.....          |  |
| 9  |                                           |  |
|    | COMPONENTS.....                           |  |
| 9  |                                           |  |
|    | U-O-S BLOCK SECTION.....                  |  |
| 10 |                                           |  |
|    | BLOCK:  B1          MODEL:  MEMBRANE..... |  |
| 10 |                                           |  |
|    | BLOCK:  B10        MODEL:  MEMBRANE.....  |  |
| 11 |                                           |  |
|    | BLOCK:  B11        MODEL:  MEMBRANE.....  |  |
| 13 |                                           |  |
|    | BLOCK:  B12        MODEL:  MEMBRANE.....  |  |
| 14 |                                           |  |
|    | BLOCK:  B13        MODEL:  MEMBRANE.....  |  |
| 16 |                                           |  |
|    | BLOCK:  B14        MODEL:  MEMBRANE.....  |  |
| 17 |                                           |  |
|    | BLOCK:  B15        MODEL:  MEMBRANE.....  |  |

|    |            |                      |
|----|------------|----------------------|
| 19 | BLOCK: B16 | MODEL: MEMBRANE..... |
| 20 | BLOCK: B17 | MODEL: MEMBRANE..... |
| 22 | BLOCK: B18 | MODEL: MEMBRANE..... |
| 23 | BLOCK: B19 | MODEL: MEMBRANE..... |
| 25 | BLOCK: B2  | MODEL: MEMBRANE..... |
| 26 | BLOCK: B20 | MODEL: MEMBRANE..... |
| 28 | BLOCK: B21 | MODEL: MEMBRANE..... |
| 29 | BLOCK: B22 | MODEL: MEMBRANE..... |
| 31 | BLOCK: B3  | MODEL: MEMBRANE..... |
| 32 | BLOCK: B4  | MODEL: MEMBRANE..... |
| 34 | BLOCK: B5  | MODEL: MEMBRANE..... |
| 35 | BLOCK: B6  | MODEL: MEMBRANE..... |
| 37 | BLOCK: B7  | MODEL: MIXER.....    |
| 38 | BLOCK: B8  | MODEL: MEMBRANE..... |
| 39 | BLOCK: B9  | MODEL: MEMBRANE..... |
| 40 |            |                      |

STREAM SECTION.....

|    |                                    |
|----|------------------------------------|
| 43 | BROTH PER1 PER10 PER11 PER12.....  |
| 43 | PER13 PER14 PER15 PER17 PER18..... |
| 45 | PER19 PER2 PER20 PER21 PER22.....  |
| 46 | PER3 PER4 PER5 PER6 PER7.....      |
| 47 | PER8 PER9 PERMEAAT RET1 RET10..... |
| 48 | RET11 RET12 RET13 RET14 RET15..... |
| 50 | RET17 RET18 RET19 RET2 RET20.....  |
| 52 | RET21 RET22 RET3 RET4 RET5.....    |
| 54 | RET6 RET7 RET8 RET9.....           |
| 56 |                                    |

COMPUTATIONAL SEQUENCE  
-----

SEQUENCE USED WAS:

SENSX SENSF SENSDPAR B22 B21 B20 B19 B18 B17 B6 B5 B4 B3 B2  
 B1 B8 B9  
 B10 B11 B12 B13 B14 B15 B16 B7 SENSDPAR<--- SENSF<---  
 SENSX<---

OVERALL FLOWSHEET BALANCE

|                                      | *** MASS AND ENERGY BALANCE *** |               |
|--------------------------------------|---------------------------------|---------------|
|                                      | IN                              | OUT           |
| RELATIVE DIFF.                       |                                 |               |
| CONVENTIONAL COMPONENTS (KMOL/HR )   |                                 |               |
| WATER                                | 2743.94                         | 2743.94       |
| 0.165728E-15                         |                                 |               |
| SUBTOTAL(KMOL/HR )                   | 2743.94                         | 2743.94       |
| 0.165728E-15                         |                                 |               |
| (KG/HR )                             | 49432.0                         | 49432.0       |
| 0.147191E-15                         |                                 |               |
| NON-CONVENTIONAL COMPONENTS (KG/HR ) |                                 |               |
| CELLS                                | 568.000                         | 568.000       |
| 0.000000E+00                         |                                 |               |
| SUBTOTAL(KG/HR )                     | 568.000                         | 568.000       |
| 0.000000E+00                         |                                 |               |
| TOTAL BALANCE                        |                                 |               |
| MASS(KG/HR )                         | 50000.0                         | 50000.0       |
| 0.145519E-15                         |                                 |               |
| ENTHALPY(KCAL/HR )                   | -0.188031E+09                   | -0.188032E+09 |
| 0.673634E-05                         |                                 |               |

SENSITIVITY BLOCK SECTION

SENSITIVITY BLOCK: SENSDPAR

SAMPLED VARIABLES:

V1 : SENTENCE=KEY-COMP VARIABLE=PDIAM IN UOS BLOCK  
 B22  
 V2 : WATER MASSFLOW IN STREAM PER22 SUBSTREAM CONV  
 V3 : WATER MASSFLOW IN STREAM PERMEAAT SUBSTREAM  
 CONV

VARIED VARIABLES:

VARY 1: SENTENCE=KEY-COMP VARIABLE=PDIAM IN UOS BLOCK  
 B22  
 LOWER LIMIT = 5.0000-07 METER  
 UPPER LIMIT = 1.0000-05 METER  
 POINTS = 25

TABULATED VARIABLES:

COLUMN 2: V2

COLUMN 3: V3

|                       |           |               |
|-----------------------|-----------|---------------|
| ! VARY 1 !            | PER22     | ! PERMEAAT !  |
| ! B22 !               |           | ! !           |
| ! KEY-COMP !          |           | ! !           |
| ! PDIAM !             |           | ! !           |
| ! METER !             | KG/HR     | ! KG/HR !     |
| ! ===== !             | =====     | ===== !       |
| ! 5.0000-07 !         | 1183.8531 | ! 3.5024+04 ! |
| ! 8.9583-07 !         | 2553.7603 | ! 3.5619+04 ! |
| ! 1.2917-06 !         | 4117.1985 | ! 3.6289+04 ! |
| ! 1.6875-06 !         | 5812.3446 | ! 3.7004+04 ! |
| ! 2.0833-06 !         | 7600.1862 | ! 3.7766+04 ! |
| ! -----+-----+----- ! |           | ! !           |
| ! 2.4792-06 !         | 9452.2639 | ! 3.8539+04 ! |
| ! 2.8750-06 !         | 1.1346+04 | ! 3.9293+04 ! |
| ! 3.2708-06 !         | 1.3263+04 | ! 4.0037+04 ! |
| ! 3.6667-06 !         | 1.5187+04 | ! 4.0762+04 ! |
| ! 4.0625-06 !         | 1.7103+04 | ! 4.1466+04 ! |
| ! -----+-----+----- ! |           | ! !           |
| ! 4.4583-06 !         | 1.9000+04 | ! 4.2159+04 ! |
| ! 4.8542-06 !         | 2.0865+04 | ! 4.2799+04 ! |
| ! 5.2500-06 !         | 2.2690+04 | ! 4.3401+04 ! |
| ! 5.6458-06 !         | 2.4465+04 | ! 4.3963+04 ! |
| ! 6.0417-06 !         | 2.6181+04 | ! 4.4483+04 ! |
| ! -----+-----+----- ! |           | ! !           |

SENSITIVITY BLOCK SECTION

SENSITIVITY BLOCK: SENSDPAR (CONTINUED)

|                       |           |               |
|-----------------------|-----------|---------------|
| ! VARY 1 !            | PER22     | ! PERMEAAT !  |
| ! B22 !               |           | ! !           |
| ! KEY-COMP !          |           | ! !           |
| ! PDIAM !             |           | ! !           |
| ! METER !             | KG/HR     | ! KG/HR !     |
| ! ===== !             | =====     | ===== !       |
| ! 6.4375-06 !         | 2.7834+04 | ! 4.4960+04 ! |
| ! 6.8333-06 !         | 2.9415+04 | ! 4.5395+04 ! |
| ! 7.2292-06 !         | 3.0922+04 | ! 4.5794+04 ! |
| ! 7.6250-06 !         | 3.2351+04 | ! 4.6150+04 ! |
| ! 8.0208-06 !         | 3.3698+04 | ! 4.6466+04 ! |
| ! -----+-----+----- ! |           | ! !           |
| ! 8.4167-06 !         | 3.4963+04 | ! 4.6745+04 ! |
| ! 8.8125-06 !         | 3.6146+04 | ! 4.6991+04 ! |
| ! 9.2083-06 !         | 3.7247+04 | ! 4.7207+04 ! |
| ! 9.6042-06 !         | 3.8267+04 | ! 4.7395+04 ! |
| ! 1.0000-05 !         | 3.9209+04 | ! 4.7558+04 ! |
| ! -----+-----+----- ! |           | ! !           |

! 1.0000-06 ! 2949.5743 ! 3.5790+04 !  
-----

SENSITIVITY BLOCK: SENSF  
-----

SAMPLED VARIABLES:

V1 : WATER MASSFLOW IN STREAM BROTH SUBSTREAM CONV  
V2 : WATER MASSFLOW IN STREAM PERMEAAT SUBSTREAM  
CONV

VARIED VARIABLES:

VARY 1: WATER MASSFLOW IN STREAM BROTH SUBSTREAM CONV

LOWER LIMIT = 2.0000+04 KG/HR  
UPPER LIMIT = 1.0000+05 KG/HR  
POINTS = 25

TABULATED VARIABLES:

COLUMN 2: V2

SENSITIVITY BLOCK: SENSF (CONTINUED)

| VARY 1    | PERMEAAT  |
|-----------|-----------|
| BROTH     |           |
| CONV      |           |
| WATER MA  |           |
| SSFLOW    |           |
| KG/HR     | KG/HR     |
| 2.0000+04 | 1.6400+04 |
| 2.3333+04 | 1.8884+04 |
| 2.6667+04 | 2.1287+04 |
| 3.0000+04 | 2.3606+04 |
| 3.3333+04 | 2.5850+04 |
| 3.6667+04 | 2.8006+04 |
| 4.0000+04 | 3.0124+04 |
| 4.3333+04 | 3.2183+04 |
| 4.6667+04 | 3.4155+04 |
| 5.0000+04 | 3.6122+04 |
| 5.3333+04 | 3.8019+04 |
| 5.6667+04 | 3.9879+04 |
| 6.0000+04 | 4.1735+04 |
| 6.3333+04 | 4.3490+04 |
| 6.6667+04 | 4.5294+04 |
| 7.0000+04 | 4.6984+04 |
| 7.3333+04 | 4.8717+04 |
| 7.6667+04 | 5.0301+04 |
| 8.0000+04 | 5.1761+04 |
| 8.3333+04 | 5.3204+04 |
| 8.6667+04 | 5.4620+04 |
| 9.0000+04 | 5.5759+04 |

```

! 9.3333+04 ! 5.7003+04 !
! 9.6667+04 ! 5.8925+04 !
! 1.0000+05 ! 6.0864+04 !
!-----+-----!
! 4.9432+04 ! 3.5790+04 !
!-----+-----!

```

SENSITIVITY BLOCK: SENSX

SAMPLED VARIABLES:

```

V1      : CELLS MASSFLOW IN STREAM BROTH SUBSTREAM NON-
CONV
V2      : SENTENCE=RESULTS VARIABLE=PERM-FLUX IN UOS
BLOCK B22
V3      : WATER MASSFLOW IN STREAM PERMEAAT SUBSTREAM
CONV

```

VARIED VARIABLES:

```

VARY    1: CELLS MASSFLOW IN STREAM BROTH SUBSTREAM NON-
CONV

```

SENSITIVITY BLOCK: SENSX (CONTINUED)

```

      LOWER LIMIT = 250.0000 KG/HR
      UPPER LIMIT = 1250.0000 KG/HR
      POINTS      = 25

```

TABULATED VARIABLES:

```

COLUMN 2: V2
COLUMN 3: V3

```

| VARY 1   | FLUX     | PERMEAAT  |
|----------|----------|-----------|
| BROTH    |          |           |
| NONCONV  |          |           |
| CELLS MA |          |           |
| SSFLOW   |          |           |
| KG/HR    | L/SQM-HR | KG/HR     |
| 250.0000 | 57.2176  | 4.0938+04 |
| 291.6666 | 55.2656  | 4.0058+04 |
| 333.3333 | 53.5756  | 3.9263+04 |
| 375.0000 | 52.0859  | 3.8539+04 |
| 416.6666 | 50.7543  | 3.7864+04 |
| 458.3333 | 49.5507  | 3.7215+04 |
| 500.0000 | 48.4527  | 3.6645+04 |
| 541.6666 | 47.4434  | 3.6111+04 |
| 583.3333 | 46.5098  | 3.5608+04 |
| 625.0000 | 45.6413  | 3.5133+04 |
| 666.6666 | 44.8296  | 3.4682+04 |
| 708.3333 | 44.0678  | 3.4235+04 |
| 750.0000 | 43.3501  | 3.3799+04 |
| 791.6666 | 42.6719  | 3.3406+04 |
| 833.3333 | 42.0290  | 3.3035+04 |
| 875.0000 | 41.4180  | 3.2679+04 |

|   |           |   |         |   |           |   |
|---|-----------|---|---------|---|-----------|---|
| ! | 916.6666  | ! | 40.8359 | ! | 3.2336+04 | ! |
| ! | 958.3333  | ! | 40.2803 | ! | 3.2006+04 | ! |
| ! | 1000.0000 | ! | 39.7487 | ! | 3.1688+04 | ! |
| ! | 1041.6666 | ! | 39.2393 | ! | 3.1380+04 | ! |
| ! | -----!    |   |         |   |           |   |
| ! | 1083.3333 | ! | 38.7502 | ! | 3.1076+04 | ! |
| ! | 1125.0000 | ! | 38.2801 | ! | 3.0769+04 | ! |
| ! | 1166.6666 | ! | 37.8274 | ! | 3.0473+04 | ! |
| ! | 1208.3333 | ! | 37.3910 | ! | 3.0189+04 | ! |
| ! | 1250.0000 | ! | 36.9698 | ! | 2.9928+04 | ! |
| ! | -----!    |   |         |   |           |   |

SENSITIVITY BLOCK: SENSX (CONTINUED)

|   |          |   |          |   |           |   |
|---|----------|---|----------|---|-----------|---|
| ! | VARY 1   | ! | FLUX     | ! | PERMEAAT  | ! |
| ! | BROTH    | ! |          | ! |           | ! |
| ! | NONCONV  | ! |          | ! |           | ! |
| ! | CELLS MA | ! |          | ! |           | ! |
| ! | SSFLOW   | ! |          | ! |           | ! |
| ! | KG/HR    | ! | L/SQM-HR | ! | KG/HR     | ! |
| ! |          | ! |          | ! |           | ! |
| ! | =====!   |   |          |   |           |   |
| ! | 568.0000 | ! | 46.8452  | ! | 3.5790+04 | ! |
| ! | -----!   |   |          |   |           |   |

# U-O-S BLOCK SECTION

BLOCK: B1 MODEL: MEMBRANE (CONTINUED)

## \*\*\* RESULTS \*\*\*

### PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS |             | CONCENTRATION |
|-----------------------|----------------|-------------|---------------|
| RETAINED              | RETENTATE      | PERMEATE    | FACTOR        |
|                       | GM/L           |             |               |
| CELLS                 | 29.155         | 0.00000E+00 | 1.4260        |
| 1.0000                |                |             |               |

### CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                      |          |
|----------------------|----------|
| FIBER DIAMETER       | METER    |
| 1.1671               |          |
| FEED/RETEN VOL RATIO |          |
| 1.4260               |          |
| RETENTATE FLOW RATE  | L/HR     |
| 19482.               |          |
| PERMEATE FLOW RATE   | L/HR     |
| 8300.3               |          |
| PERMEATE FLUX        | L/SQM-HR |
| 13.474               |          |
| AVERAGE VELOCITY     | M/SEC    |
| 0.30188E-04          |          |
| REYNOLDS NUMBER      |          |
| 26.404               |          |
| DIFFUSIVITY          | SQCM/SEC |
| 0.13537E-02          |          |
| MASS TRANSFER COEFF. | L/SQM-HR |
| 4.8192               |          |
| AVERAGE WALL SHEAR   | 1/HR     |
| 0.77974E+11          |          |
| FRICTION FACTOR      |          |
| 0.63430E+11          |          |

### CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 0.81263          |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 0.81263          |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |
| 490.16           |         |

BLOCK: B10 MODEL: MEMBRANE

## \*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS |             | CONCENTRATION |
|-----------------------|----------------|-------------|---------------|
| RETAINED              | RETENTATE      | PERMEATE    | FACTOR        |
|                       | GM/L           |             |               |
| CELLS<br>1.0000       | 33.240         | 0.00000E+00 | 1.0414        |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                      |          |             |
|----------------------|----------|-------------|
| FIBER DIAMETER       | METER    |             |
| 0.58357E-01          |          |             |
| FEED/RETEN VOL RATIO |          |             |
| 1.0414               |          |             |
| RETENTATE FLOW RATE  | L/HR     |             |
| 17088.               |          |             |
| PERMEATE FLOW RATE   | L/HR     |             |
| 706.78               |          |             |
| PERMEATE FLUX        | L/SQM-HR |             |
| 32.782               |          |             |
| AVERAGE VELOCITY     | M/SEC    |             |
| 0.12936E-01          |          |             |
| REYNOLDS NUMBER      |          |             |
| 565.84               |          |             |
| DIFFUSIVITY          | SQCM/SEC | 0.65316E-04 |
| MASS TRANSFER COEFF. | L/SQM-HR |             |
| 13.071               |          |             |
| AVERAGE WALL SHEAR   | 1/HR     |             |
| 0.37622E+10          |          |             |
| FRICTION FACTOR      |          |             |
| 16664.               |          |             |

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 0.58302          |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 0.58302          |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |
| 481.43           |         |

BLOCK: B11      MODEL: MEMBRANE

\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS |          | CONCENTRATION |
|-----------------------|----------------|----------|---------------|
| RETAINED              | RETENTATE      | PERMEATE | FACTOR        |
|                       | GM/L           |          |               |

|        |        |             |        |
|--------|--------|-------------|--------|
| CELLS  | 34.491 | 0.00000E+00 | 1.0376 |
| 1.0000 |        |             |        |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                      |          |
|----------------------|----------|
| FIBER DIAMETER       | METER    |
| 0.58357E-01          |          |
| FEED/RETEN VOL RATIO |          |
| 1.0376               |          |
| RETENTATE FLOW RATE  | L/HR     |
| 16468.               |          |
| PERMEATE FLOW RATE   | L/HR     |
| 619.84               |          |
| PERMEATE FLUX        | L/SQM-HR |
| 33.541               |          |
| AVERAGE VELOCITY     | M/SEC    |
| 0.14518E-01          |          |
| REYNOLDS NUMBER      |          |
| 635.09               |          |
| DIFFUSIVITY          | SQCM/SEC |
| 0.65316E-04          |          |
| MASS TRANSFER COEFF. | L/SQM-HR |
| 13.583               |          |
| AVERAGE WALL SHEAR   | 1/HR     |
| 0.37622E+10          |          |
| FRICTION FACTOR      |          |
| 13229.               |          |

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 0.56085          |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 0.56085          |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |
| 464.78           |         |

BLOCK: B12      MODEL: MEMBRANE

-----  
\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS |             | CONCENTRATION |
|-----------------------|----------------|-------------|---------------|
| RETAINED              | RETENTATE      | PERMEATE    | FACTOR        |
|                       | GM/L           |             |               |
| CELLS<br>1.0000       | 35.649         | 0.00000E+00 | 1.0336        |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                      |          |
|----------------------|----------|
| FIBER DIAMETER       | METER    |
| 0.58357E-01          |          |
| FEED/RETEN VOL RATIO |          |
| 1.0336               |          |
| RETENTATE FLOW RATE  | L/HR     |
| 15933.               |          |
| PERMEATE FLOW RATE   | L/HR     |
| 534.85               |          |
| PERMEATE FLUX        | L/SQM-HR |
| 34.730               |          |
| AVERAGE VELOCITY     | M/SEC    |
| 0.16823E-01          |          |
| REYNOLDS NUMBER      |          |
| 735.93               |          |
| DIFFUSIVITY          | SQCM/SEC |
| 0.65316E-04          |          |
| MASS TRANSFER COEFF. | L/SQM-HR |
| 14.267               |          |
| AVERAGE WALL SHEAR   | 1/HR     |
| 0.37622E+10          |          |
| FRICTION FACTOR      |          |
| 9852.0               |          |

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 0.54156          |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 0.54156          |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |
| 450.56           |         |

BLOCK: B13      MODEL: MEMBRANE

\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS |             | CONCENTRATION |
|-----------------------|----------------|-------------|---------------|
| RETAINED              | RETENTATE      | PERMEATE    | FACTOR        |
|                       | GM/L           |             |               |
| CELLS<br>1.0000       | 36.686         | 0.00000E+00 | 1.0291        |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

FIBER DIAMETER METER  
0.58357E-01  
FEED/RETEN VOL RATIO  
1.0291  
RETENTATE FLOW RATE L/HR  
15483.  
PERMEATE FLOW RATE L/HR  
450.42  
PERMEATE FLUX L/SQM-HR  
36.560  
AVERAGE VELOCITY M/SEC  
0.20390E-01  
REYNOLDS NUMBER  
892.00  
DIFFUSIVITY SQCM/SEC  
0.65316E-04  
MASS TRANSFER COEFF. L/SQM-HR  
15.212  
AVERAGE WALL SHEAR 1/HR  
0.37622E+10  
FRICTION FACTOR  
6706.3

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

PUMP BRAKE HP KW  
0.52509  
PUMP ELECTRIC HP KW  
0.52509  
COOLER DUTY KCAL/HR  
438.76

BLOCK: B14 MODEL: MEMBRANE

\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT FRACTION | CONCENTRATIONS |             | CONCENTRATION |
|--------------------|----------------|-------------|---------------|
| RETAINED           | RETENTATE      | PERMEATE    | FACTOR        |
|                    | GM/L           |             |               |
| CELLS<br>1.0000    | 37.508         | 0.00000E+00 | 1.0224        |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

FIBER DIAMETER METER  
0.58357E-01  
FEED/RETEN VOL RATIO  
1.0224  
RETENTATE FLOW RATE L/HR  
15143.  
PERMEATE FLOW RATE L/HR

339.08  
 PERMEATE FLUX L/SQM-HR  
 36.697  
 AVERAGE VELOCITY M/SEC  
 0.26505E-01  
 REYNOLDS NUMBER  
 1159.5  
 DIFFUSIVITY SQCM/SEC  
 0.65316E-04  
 MASS TRANSFER COEFF. L/SQM-HR  
 15.432  
 AVERAGE WALL SHEAR 1/HR  
 0.37622E+10  
 FRICTION FACTOR  
 3968.8

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

PUMP BRAKE HP KW  
 0.51520  
 PUMP ELECTRIC HP KW  
 0.51520  
 COOLER DUTY KCAL/HR  
 433.31

BLOCK: B15 MODEL: MEMBRANE

\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS<br>RETENTATE | CONCENTRATION<br>PERMEATE | CONCENTRATION<br>FACTOR |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| RETAINED              | GM/L                        |                           |                         |
| CELLS<br>1.0000       | 38.278                      | 0.00000E+00               | 1.0205                  |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

FIBER DIAMETER METER  
 0.58357E-01  
 FEED/RETEN VOL RATIO  
 1.0205  
 RETENTATE FLOW RATE L/HR  
 14839.  
 PERMEATE FLOW RATE L/HR  
 304.66  
 PERMEATE FLUX L/SQM-HR  
 49.458  
 AVERAGE VELOCITY M/SEC 0.38921E-01  
 REYNOLDS NUMBER  
 1702.8  
 DIFFUSIVITY SQCM/SEC  
 0.65316E-04  
 MASS TRANSFER COEFF. L/SQM-HR

20.985  
AVERAGE WALL SHEAR 1/HR  
0.37622E+10  
FRICTION FACTOR  
1840.4

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

PUMP BRAKE HP KW  
0.50113  
PUMP ELECTRIC HP KW  
0.50113  
COOLER DUTY KCAL/HR  
422.24

BLOCK: B16 MODEL: MEMBRANE

\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS |             | CONCENTRATION |
|-----------------------|----------------|-------------|---------------|
| RETAINED              | RETENTATE      | PERMEATE    | FACTOR        |
|                       | GM/L           |             |               |
| CELLS<br>1.0000       | 38.959         | 0.00000E+00 | 1.0178        |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

FIBER DIAMETER METER  
0.58357E-01  
FEED/RETEN VOL RATIO  
1.0178  
RETENTATE FLOW RATE L/HR  
14580.  
PERMEATE FLOW RATE L/HR  
259.13  
PERMEATE FLUX L/SQM-HR  
84.132  
AVERAGE VELOCITY M/SEC  
0.76379E-01  
REYNOLDS NUMBER  
3341.6  
DIFFUSIVITY SQCM/SEC  
0.65316E-04  
MASS TRANSFER COEFF. L/SQM-HR  
35.988  
AVERAGE WALL SHEAR 1/HR  
0.37622E+10  
FRICTION FACTOR  
477.89

U-O-S BLOCK SECTION

BLOCK: B16      MODEL: MEMBRANE (CONTINUED)

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 0.49172          |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 0.49172          |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |
| 415.43           |         |

BLOCK: B17      MODEL: MEMBRANE

-----  
\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS |             | CONCENTRATION |
|-----------------------|----------------|-------------|---------------|
| RETAINED              | RETENTATE      | PERMEATE    | FACTOR        |
|                       | GM/L           |             |               |
| CELLS                 | 15.759         | 0.00000E+00 | 1.0583        |
| 1.0000                |                |             |               |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                      |          |
|----------------------|----------|
| FIBER DIAMETER       | METER    |
| 0.58357E-01          |          |
| FEED/RETEN VOL RATIO |          |
| 1.0583               |          |
| RETENTATE FLOW RATE  | L/HR     |
| 36043.               |          |
| PERMEATE FLOW RATE   | L/HR     |
| 2100.7               |          |
| PERMEATE FLUX        | L/SQM-HR |
| 42.628               |          |
| AVERAGE VELOCITY     | M/SEC    |
| 0.12034E-01          |          |
| REYNOLDS NUMBER      |          |
| 526.12               |          |
| DIFFUSIVITY          | SQCM/SEC |
| 0.67685E-04          |          |
| MASS TRANSFER COEFF. | L/SQM-HR |
| 13.066               |          |
| AVERAGE WALL SHEAR   | 1/HR     |
| 0.38987E+10          |          |
| FRICTION FACTOR      |          |
| 19964.               |          |

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 1.2848           |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 1.2848           |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |
| 1043.9           |         |

BLOCK: B18      MODEL: MEMBRANE

\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS |             | CONCENTRATION |
|-----------------------|----------------|-------------|---------------|
| RETAINED              | RETENTATE      | PERMEATE    | FACTOR        |
|                       | GM/L           |             |               |
| CELLS                 | 14.891         | 0.00000E+00 | 1.0595        |
| 1.0000                |                |             |               |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                      |          |
|----------------------|----------|
| FIBER DIAMETER       | METER    |
| 0.58357E-01          |          |
| FEED/RETEN VOL RATIO |          |
| 1.0595               |          |
| RETENTATE FLOW RATE  | L/HR     |
| 38144.               |          |
| PERMEATE FLOW RATE   | L/HR     |
| 2268.6               |          |
| PERMEATE FLUX        | L/SQM-HR |
| 43.326               |          |
| AVERAGE VELOCITY     | M/SEC    |
| 0.11993E-01          |          |
| REYNOLDS NUMBER      |          |
| 524.31               |          |
| DIFFUSIVITY          | SQCM/SEC |
| 0.67685E-04          |          |
| MASS TRANSFER COEFF. | L/SQM-HR |
| 13.052               |          |
| AVERAGE WALL SHEAR   | 1/HR     |
| 0.38987E+10          |          |
| FRICITION FACTOR     |          |
| 20101.               |          |

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 1.3604           |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 1.3604           |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |

1104.2

BLOCK: B19 MODEL: MEMBRANE

\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS     | CONCENTRATION |
|-----------------------|--------------------|---------------|
| RETAINED              | RETENTATE PERMEATE | FACTOR        |
|                       | GM/L               |               |
| CELLS<br>1.0000       | 14.055 0.00000E+00 | 1.0605        |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                      |          |
|----------------------|----------|
| FIBER DIAMETER       | METER    |
| 0.58357E-01          |          |
| FEED/RETEN VOL RATIO |          |
| 1.0605               |          |
| RETENTATE FLOW RATE  | L/HR     |
| 40412.               |          |
| PERMEATE FLOW RATE   | L/HR     |
| 2445.1               |          |
| PERMEATE FLUX        | L/SQM-HR |
| 44.103               |          |
| AVERAGE VELOCITY     | M/SEC    |
| 0.12006E-01          |          |
| REYNOLDS NUMBER      |          |
| 524.88               |          |
| DIFFUSIVITY          | SQCM/SEC |
| 0.67685E-04          |          |
| MASS TRANSFER COEFF. | L/SQM-HR |
| 13.056               |          |
| AVERAGE WALL SHEAR   | 1/HR     |
| 0.38987E+10          |          |
| FRICTION FACTOR      |          |
| 20057.               |          |

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 1.4421           |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 1.4421           |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |
| 1169.3           |         |

BLOCK: B2 MODEL: MEMBRANE

-----  
 \*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS        | CONCENTRATION |
|-----------------------|-----------------------|---------------|
| RETENTATE             | PERMEATE              | FACTOR        |
| RETAINED              | GM/L                  |               |
| CELLS<br>1.0000       | 20.445<br>0.00000E+00 | 1.0496        |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                      |          |
|----------------------|----------|
| FIBER DIAMETER       | METER    |
| 0.58357E-01          |          |
| FEED/RETEN VOL RATIO |          |
| 1.0496               |          |
| RETENTATE FLOW RATE  | L/HR     |
| 27782.               |          |
| PERMEATE FLOW RATE   | L/HR     |
| 1376.8               |          |
| PERMEATE FLUX        | L/SQM-HR |
| 40.639               |          |
| AVERAGE VELOCITY     | M/SEC    |
| 0.13436E-01          |          |
| REYNOLDS NUMBER      |          |
| 587.52               |          |
| DIFFUSIVITY          | SQCM/SEC |
| 0.67685E-04          |          |
| MASS TRANSFER COEFF. | L/SQM-HR |
| 13.555               |          |
| AVERAGE WALL SHEAR   | 1/HR     |
| 0.38987E+10          |          |
| FRICTION FACTOR      |          |
| 16011.               |          |

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 0.98618          |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 0.98618          |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |
| 807.97           |         |

BLOCK: B20      MODEL: MEMBRANE

-----  
 \*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS | CONCENTRATION |
|-----------------------|----------------|---------------|
| RETENTATE             | PERMEATE       | FACTOR        |
| RETAINED              |                |               |

GM/L

|        |        |             |        |
|--------|--------|-------------|--------|
| CELLS  | 13.253 | 0.00000E+00 | 1.0614 |
| 1.0000 |        |             |        |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                      |          |
|----------------------|----------|
| FIBER DIAMETER       | METER    |
| 0.58357E-01          |          |
| FEED/RETEN VOL RATIO |          |
| 1.0614               |          |
| RETENTATE FLOW RATE  | L/HR     |
| 42858.               |          |
| PERMEATE FLOW RATE   | L/HR     |
| 2630.6               |          |
| PERMEATE FLUX        | L/SQM-HR |
| 44.951               |          |
| AVERAGE VELOCITY     | M/SEC    |
| 0.12067E-01          |          |
| REYNOLDS NUMBER      |          |
| 527.54               |          |
| DIFFUSIVITY          | SQCM/SEC |
| 0.67685E-04          |          |
| MASS TRANSFER COEFF. | L/SQM-HR |
| 13.079               |          |
| AVERAGE WALL SHEAR   | 1/HR     |
| 0.38987E+10          |          |
| FRICITION FACTOR     |          |
| 19855.               |          |

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 1.5300           |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 1.5300           |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |
| 1239.5           |         |

BLOCK: B21      MODEL: MEMBRANE

\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT FRACTION | CONCENTRATIONS |             | CONCENTRATION FACTOR |
|--------------------|----------------|-------------|----------------------|
| RETAINED           | RETENTATE      | PERMEATE    |                      |
|                    | GM/L           |             |                      |
| CELLS              | 12.487         | 0.00000E+00 | 1.0621               |
| 1.0000             |                |             |                      |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                |       |
|----------------|-------|
| FIBER DIAMETER | METER |
| 0.58357E-01    |       |

FEED/RETEN VOL RATIO  
 1.0621  
 RETENTATE FLOW RATE L/HR  
 45488.  
 PERMEATE FLOW RATE L/HR  
 2825.4  
 PERMEATE FLUX L/SQM-HR  
 45.867  
 AVERAGE VELOCITY M/SEC  
 0.12172E-01  
 REYNOLDS NUMBER  
 532.10  
 DIFFUSIVITY SQCM/SEC  
 0.67685E-04  
 MASS TRANSFER COEFF. L/SQM-HR  
 13.116  
 AVERAGE WALL SHEAR 1/HR  
 0.38987E+10  
 FRICTION FACTOR  
 19516.

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

PUMP BRAKE HP KW  
 1.6244  
 PUMP ELECTRIC HP KW  
 1.6244  
 COOLER DUTY KCAL/HR  
 1315.1

BLOCK: B22 MODEL: MEMBRANE

\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT FRACTION | CONCENTRATIONS |             | CONCENTRATION |
|--------------------|----------------|-------------|---------------|
| RETAINED           | RETENTATE      | PERMEATE    | FACTOR        |
|                    | GM/L           |             |               |
| CELLS<br>1.0000    | 11.756         | 0.00000E+00 | 1.0627        |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

FIBER DIAMETER METER  
 0.58357E-01  
 FEED/RETEN VOL RATIO  
 1.0627  
 RETENTATE FLOW RATE L/HR  
 48314.  
 PERMEATE FLOW RATE L/HR  
 3030.0  
 PERMEATE FLUX L/SQM-HR  
 46.845  
 AVERAGE VELOCITY M/SEC 0.12316E-01

REYNOLDS NUMBER  
 538.38  
 DIFFUSIVITY SQCM/SEC  
 0.67685E-04  
 MASS TRANSFER COEFF. L/SQM-HR  
 13.168  
 AVERAGE WALL SHEAR 1/HR  
 0.38987E+10  
 FRICTION FACTOR  
 19062.

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

PUMP BRAKE HP KW  
 4.3148  
 PUMP ELECTRIC HP KW  
 4.3148  
 COOLER DUTY KCAL/HR  
 3491.3

BLOCK: B3 MODEL: MEMBRANE

\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS<br>RETENTATE | CONCENTRATION<br>PERMEATE | CONCENTRATION<br>FACTOR |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| RETAINED              |                             |                           |                         |
|                       | GM/L                        |                           |                         |
| CELLS                 | 19.479                      | 0.00000E+00               | 1.0517                  |
| 1.0000                |                             |                           |                         |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

FIBER DIAMETER METER  
 0.58357E-01  
 FEED/RETEN VOL RATIO  
 1.0517  
 RETENTATE FLOW RATE L/HR  
 29159.  
 PERMEATE FLOW RATE L/HR  
 1507.7  
 PERMEATE FLUX L/SQM-HR  
 40.793  
 AVERAGE VELOCITY M/SEC  
 0.12940E-01  
 REYNOLDS NUMBER  
 565.82  
 DIFFUSIVITY SQCM/SEC  
 0.67685E-04  
 MASS TRANSFER COEFF. L/SQM-HR  
 13.387  
 AVERAGE WALL SHEAR 1/HR  
 0.38987E+10  
 FRICTION FACTOR

17263.

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 1.0361           |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 1.0361           |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |
| 847.16           |         |

BLOCK: B4            MODEL: MEMBRANE

-----  
\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS |             | CONCENTRATION |
|-----------------------|----------------|-------------|---------------|
| RETAINED              | RETENTATE      | PERMEATE    | FACTOR        |
|                       | GM/L           |             |               |
| CELLS                 | 18.522         | 0.00000E+00 | 1.0536        |
| 1.0000                |                |             |               |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                      |          |
|----------------------|----------|
| FIBER DIAMETER       | METER    |
| 0.58357E-01          |          |
| FEED/RETEN VOL RATIO |          |
| 1.0536               |          |
| RETENTATE FLOW RATE  | L/HR     |
| 30667.               |          |
| PERMEATE FLOW RATE   | L/HR     |
| 1645.1               |          |
| PERMEATE FLUX        | L/SQM-HR |
| 41.086               |          |
| AVERAGE VELOCITY     | M/SEC    |
| 0.12574E-01          |          |
| REYNOLDS NUMBER      |          |
| 549.79               |          |
| DIFFUSIVITY          | SQCM/SEC |
| 0.67685E-04          |          |
| MASS TRANSFER COEFF. | L/SQM-HR |
| 13.259               |          |
| AVERAGE WALL SHEAR   | 1/HR     |
| 0.38987E+10          |          |
| FRICTION FACTOR      |          |
| 18284.               |          |

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |    |
|------------------|----|
| PUMP BRAKE HP    | KW |
| 1.0907           |    |
| PUMP ELECTRIC HP | KW |

1.0907  
COOLER DUTY                      KCAL/HR  
890.15

BLOCK:    B5                      MODEL: MEMBRANE

-----  
\*\*\*    RESULTS    \*\*\*

PERFORMANCE    RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS |             | CONCENTRATION |
|-----------------------|----------------|-------------|---------------|
| RETAINED              | RETENTATE      | PERMEATE    | FACTOR        |
|                       | GM/L           |             |               |
| CELLS<br>1.0000       | 17.579         | 0.00000E+00 | 1.0554        |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                      |          |
|----------------------|----------|
| FIBER DIAMETER       | METER    |
| 0.58357E-01          |          |
| FEED/RETEN VOL RATIO |          |
| 1.0554               |          |
| RETENTATE FLOW RATE  | L/HR     |
| 32312.               |          |
| PERMEATE FLOW RATE   | L/HR     |
| 1789.4               |          |
| PERMEATE FLUX        | L/SQM-HR |
| 41.498               |          |
| AVERAGE VELOCITY     | M/SEC    |
| 0.12313E-01          |          |
| REYNOLDS NUMBER      |          |
| 538.33               |          |
| DIFFUSIVITY          | SQCM/SEC |
| 0.67685E-04          |          |
| MASS TRANSFER COEFF. | L/SQM-HR |
| 13.166               |          |
| AVERAGE WALL SHEAR   | 1/HR     |
| 0.38987E+10          |          |
| FRICTION FACTOR      |          |
| 19070.               |          |

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 1.1502           |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 1.1502           |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |
| 937.15           |         |

BLOCK: B6 MODEL: MEMBRANE

\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS<br>RETENTATE | PERMEATE    | CONCENTRATION<br>FACTOR |
|-----------------------|-----------------------------|-------------|-------------------------|
| RETAINED              | GM/L                        |             |                         |
| CELLS<br>1.0000       | 16.656                      | 0.00000E+00 | 1.0569                  |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                      |          |
|----------------------|----------|
| FIBER DIAMETER       | METER    |
| 0.58357E-01          |          |
| FEED/RETEN VOL RATIO |          |
| 1.0569               |          |
| RETENTATE FLOW RATE  | L/HR     |
| 34102.               |          |
| PERMEATE FLOW RATE   | L/HR     |
| 1941.1               |          |
| PERMEATE FLUX        | L/SQM-HR |
| 42.015               |          |
| AVERAGE VELOCITY     | M/SEC    |
| 0.12137E-01          |          |
| REYNOLDS NUMBER      |          |
| 530.64               |          |
| DIFFUSIVITY          | SQCM/SEC |
| 0.67685E-04          |          |
| MASS TRANSFER COEFF. | L/SQM-HR |
| 13.104               |          |
| AVERAGE WALL SHEAR   | 1/HR     |
| 0.38987E+10          |          |
| FRICTION FACTOR      |          |
| 19626.               |          |

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 1.2148           |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 1.2148           |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |
| 988.33           |         |

BLOCK: B8 MODEL: MEMBRANE

\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT<br>FRACTION | CONCENTRATIONS | CONCENTRATION |
|-----------------------|----------------|---------------|
|-----------------------|----------------|---------------|

| RETAINED        | RETENTATE | PERMEATE    | FACTOR |
|-----------------|-----------|-------------|--------|
|                 | GM/L      |             |        |
| CELLS<br>1.0000 | 30.552    | 0.00000E+00 | 1.0479 |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                      |          |
|----------------------|----------|
| FIBER DIAMETER       | METER    |
| 0.58357E-01          |          |
| FEED/RETEN VOL RATIO |          |
| 1.0479               |          |
| RETENTATE FLOW RATE  | L/HR     |
| 18591.               |          |
| PERMEATE FLOW RATE   | L/HR     |
| 890.42               |          |
| PERMEATE FLUX        | L/SQM-HR |
| 32.122               |          |
| AVERAGE VELOCITY     | M/SEC    |
| 0.10981E-01          |          |
| REYNOLDS NUMBER      |          |
| 480.28               |          |
| DIFFUSIVITY          | SQCM/SEC |
| 0.65316E-04          |          |
| MASS TRANSFER COEFF. | L/SQM-HR |
| 12.376               |          |
| AVERAGE WALL SHEAR   | 1/HR     |
| 0.37622E+10          |          |
| FRICTION FACTOR      |          |
| 23128.               |          |

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 0.65942          |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 0.65942          |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |
| 541.12           |         |

BLOCK: B9      MODEL: MEMBRANE

\*\*\* RESULTS \*\*\*

PERFORMANCE RESULTS :

| COMPONENT       | CONCENTRATIONS |             | CONCENTRATION |
|-----------------|----------------|-------------|---------------|
| FRACTION        | RETENTATE      | PERMEATE    | FACTOR        |
| RETAINED        | GM/L           |             |               |
| CELLS<br>1.0000 | 31.920         | 0.00000E+00 | 1.0448        |

CALCULATED FLOW PARAMETERS:

|                      |          |
|----------------------|----------|
| FIBER DIAMETER       | METER    |
| 0.58357E-01          |          |
| FEED/RETEN VOL RATIO |          |
| 1.0448               |          |
| RETENTATE FLOW RATE  | L/HR     |
| 17795.               |          |
| PERMEATE FLOW RATE   | L/HR     |
| 796.69               |          |
| PERMEATE FLUX        | L/SQM-HR |
| 32.333               |          |
| AVERAGE VELOCITY     | M/SEC    |
| 0.11806E-01          |          |
| REYNOLDS NUMBER      |          |
| 516.41               |          |
| DIFFUSIVITY          | SQCM/SEC |
| 0.65316E-04          |          |
| MASS TRANSFER COEFF. | L/SQM-HR |
| 12.679               |          |
| AVERAGE WALL SHEAR   | 1/HR     |
| 0.37622E+10          |          |
| FRICITION FACTOR     |          |
| 20006.               |          |

CALCULATED PUMP AND COOLER DUTIES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| PUMP BRAKE HP    | KW      |
| 0.60815          |         |
| PUMP ELECTRIC HP | KW      |
| 0.60815          |         |
| COOLER DUTY      | KCAL/HR |
| 500.54           |         |

# STREAM SECTION

BROTH PER1 PER10 PER11 PER12

```

-----
STREAM ID          BROTH      PER1      PER10      PER11
  PER12
FROM :            -----      B1          B11         B12
  B13
TO   :            B22         B7          B7          B7
  B7
CLASS:              CONV-NC      CONV-NC      CONV-NC
CONV-NC  CONV-NC
TOTAL STREAM:
  KG/HR              5.0000+04    8080.9075    603.4671
520.7223    438.5272
  KCAL/HR              -1.8803+08   -3.0469+07   -2.2754+06
-1.9634+06  -1.6535+06
SUBSTREAM: CONV
PHASE:              LIQUID      LIQUID      LIQUID      LI-
QUID      LIQUID
COMPONENTS: KMOL/HR
  WATER              2743.9356    448.5655    33.4980
28.9049    24.3423
TOTAL FLOW:
  KMOL/HR              2743.9356    448.5655    33.4980
28.9049    24.3423
  KG/HR              4.9432+04    8080.9075    603.4671
520.7223    438.5272
  L/HR              5.0776+04    8300.3440    619.8448
534.8520    450.4244
STATE VARIABLES:
  TEMP      C              44.9955    44.9718    44.9568
44.9523    44.9478
  PRES      ATM              1.0000    1.0000    1.0000
1.0000    1.0000
  VFRAC              0.0          0.0          0.0          0.0
0.0
  LFRAC              1.0000    1.0000    1.0000
1.0000    1.0000
  SFRAC              0.0          0.0          0.0          0.0
0.0
ENTHALPY:
  CAL/MOL              -6.7924+04   -6.7925+04   -6.7925+04
-6.7925+04  -6.7925+04
  CAL/GM              -3770.4396   -3770.4630   -3770.4778
-3770.4823  -3770.4867
  KCAL/HR              -1.8638+08   -3.0469+07   -2.2754+06
-1.9634+06  -1.6535+06
ENTROPY:
  CAL/MOL-K              -42.4054    -42.4092    -42.4115
-42.4123    -42.4130
  CAL/GM-K              -2.3539    -2.3541    -2.3542
-2.3542    -2.3543
DENSITY:
  MOL/CC              5.4040-02    5.4042-02    5.4043-02
5.4043-02    5.4043-02
  GM/CC              0.9735    0.9735    0.9735
  
```

|         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0.9735  | 0.9735  |         |         |         |
| AVG MW  |         | 18.0150 | 18.0150 | 18.0150 |
| 18.0150 | 18.0150 |         |         |         |

PER13 PER14 PER15 PER17 PER18

| STREAM ID             | PER13      | PER14      | PER15      | PER17   |
|-----------------------|------------|------------|------------|---------|
| PER18                 |            |            |            |         |
| FROM :                | B14        | B15        | B16        | B17     |
| B18                   |            |            |            |         |
| TO :                  | B7         | B7         | B7         | B7      |
| B7                    |            |            |            |         |
| CLASS:                | CONV-NC    | CONV-NC    | CONV-NC    | CONV-NC |
| CONV-NC CONV-NC       |            |            |            |         |
| TOTAL STREAM:         |            |            |            |         |
| KG/HR                 | 330.1286   | 296.6180   | 252.2874   |         |
| 2045.1126 2208.5169   |            |            |            |         |
| KCAL/HR               | -1.2448+06 | -1.1184+06 | -9.5126+05 |         |
| -7.7111+06 -8.3272+06 |            |            |            |         |
| SUBSTREAM: CONV       |            |            |            |         |
| PHASE:                | LIQUID     | LIQUID     | LIQUID     | LI-     |
| QUID LIQUID           |            |            |            |         |
| COMPONENTS: KMOL/HR   |            |            |            |         |
| WATER                 | 18.3252    | 16.4650    | 14.0043    |         |
| 113.5227 122.5932     |            |            |            |         |
| TOTAL FLOW:           |            |            |            |         |
| KMOL/HR               | 18.3252    | 16.4650    | 14.0043    |         |
| 113.5227 122.5932     |            |            |            |         |
| KG/HR                 | 330.1286   | 296.6180   | 252.2874   |         |
| 2045.1126 2208.5169   |            |            |            |         |
| L/HR                  | 339.0836   | 304.6625   | 259.1285   |         |
| 2100.7136 2268.5708   |            |            |            |         |
| STATE VARIABLES:      |            |            |            |         |
| TEMP C                | 44.9435    | 44.9388    | 44.9343    |         |
| 45.0029 45.0074       |            |            |            |         |
| PRES ATM              | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |         |
| 1.0000 1.0000         |            |            |            |         |
| VFRAC                 | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0     |
| 0.0                   |            |            |            |         |
| LFRAC                 | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |         |
| 1.0000 1.0000         |            |            |            |         |
| SFRAC                 | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0     |
| 0.0                   |            |            |            |         |
| ENTHALPY:             |            |            |            |         |
| CAL/MOL               | -6.7925+04 | -6.7925+04 | -6.7926+04 |         |
| -6.7924+04 -6.7924+04 |            |            |            |         |
| CAL/GM                | -3770.4909 | -3770.4956 | -3770.5000 |         |
| -3770.4324 -3770.4279 |            |            |            |         |
| KCAL/HR               | -1.2448+06 | -1.1184+06 | -9.5126+05 |         |
| -7.7111+06 -8.3272+06 |            |            |            |         |
| ENTROPY:              |            |            |            |         |
| CAL/MOL-K             | -42.4136   | -42.4144   | -42.4151   |         |
| -42.4043 -42.4036     |            |            |            |         |
| CAL/GM-K              | -2.3543    | -2.3543    | -2.3544    |         |
| -2.3538 -2.3537       |            |            |            |         |
| DENSITY:              |            |            |            |         |
| MOL/CC                | 5.4043-02  | 5.4044-02  | 5.4044-02  |         |

|           |           |         |         |         |
|-----------|-----------|---------|---------|---------|
| 5.4040-02 | 5.4040-02 |         |         |         |
| GM/CC     |           | 0.9735  | 0.9736  | 0.9736  |
| 0.9735    | 0.9735    |         |         |         |
| AVG MW    |           | 18.0150 | 18.0150 | 18.0150 |
| 18.0150   | 18.0150   |         |         |         |

STREAM SECTION

PER19 PER2 PER20 PER21 PER22

| STREAM ID               | PER19      | PER2       | PER20      | PER21   |
|-------------------------|------------|------------|------------|---------|
| PER22                   |            |            |            |         |
| FROM :                  | B19        | B2         | B20        | B21     |
| B22                     |            |            |            |         |
| TO :                    | B7         | B7         | B7         | B7      |
| B7                      |            |            |            |         |
| CLASS:                  | CONV-NC    | CONV-NC    | CONV-NC    | CONV-NC |
| CONV-NC      CONV-NC    |            |            |            |         |
| TOTAL STREAM:           |            |            |            |         |
| KG/HR                   | 2380.3343  | 1340.4350  | 2560.9112  |         |
| 2750.5736    2949.5743  |            |            |            |         |
| KCAL/HR                 | -8.9750+06 | -5.0541+06 | -9.6558+06 |         |
| -1.0371+07   -1.1121+07 |            |            |            |         |
| SUBSTREAM: CONV         |            |            |            |         |
| PHASE:                  | LIQUID     | LIQUID     | LIQUID     | LI-     |
| QUID      LIQUID        |            |            |            |         |
| COMPONENTS: KMOL/HR     |            |            |            |         |
| WATER                   | 132.1306   | 74.4066    | 142.1543   |         |
| 152.6824    163.7288    |            |            |            |         |
| TOTAL FLOW:             |            |            |            |         |
| KMOL/HR                 | 132.1306   | 74.4066    | 142.1543   |         |
| 152.6824    163.7288    |            |            |            |         |
| KG/HR                   | 2380.3343  | 1340.4350  | 2560.9112  |         |
| 2750.5736    2949.5743  |            |            |            |         |
| L/HR                    | 2445.0714  | 1376.8464  | 2630.5716  |         |
| 2825.4060    3029.9730  |            |            |            |         |
| STATE VARIABLES:        |            |            |            |         |
| TEMP      C             | 45.0120    | 44.9804    | 45.0165    |         |
| 45.0211    45.0707      |            |            |            |         |
| PRES      ATM           | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |         |
| 1.0000    1.0000        |            |            |            |         |
| VFRAC                   | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0     |
| 0.0                     |            |            |            |         |
| LFRAC                   | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |         |
| 1.0000    1.0000        |            |            |            |         |
| SFRAC                   | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0     |
| 0.0                     |            |            |            |         |
| ENTHALPY:               |            |            |            |         |
| CAL/MOL                 | -6.7924+04 | -6.7925+04 | -6.7924+04 |         |
| -6.7924+04   -6.7923+04 |            |            |            |         |
| CAL/GM                  | -3770.4234 | -3770.4546 | -3770.4189 |         |
| -3770.4145   -3770.3654 |            |            |            |         |
| KCAL/HR                 | -8.9750+06 | -5.0541+06 | -9.6558+06 |         |
| -1.0371+07   -1.1121+07 |            |            |            |         |
| ENTROPY:                |            |            |            |         |
| CAL/MOL-K               | -42.4029   | -42.4078   | -42.4021   |         |
| -42.4014    -42.3936    |            |            |            |         |
| CAL/GM-K                | -2.3537    | -2.3540    | -2.3537    |         |

|           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| -2.3536   | -2.3532   |           |           |           |
| DENSITY:  |           |           |           |           |
| MOL/CC    |           | 5.4040-02 | 5.4041-02 | 5.4039-02 |
| 5.4039-02 | 5.4036-02 | 0.9735    | 0.9735    | 0.9735    |
| GM/CC     |           |           |           |           |
| 0.9735    | 0.9734    | 18.0150   | 18.0150   | 18.0150   |
| AVG MW    |           |           |           |           |
| 18.0150   | 18.0150   |           |           |           |

# STREAM SECTION

| PER3 PER4 PER5 PER6 PER7 |            |            |            |         |
|--------------------------|------------|------------|------------|---------|
| STREAM ID                | PER3       | PER4       | PER5       | PER6    |
| PER7                     |            |            |            |         |
| FROM :                   | B3         | B4         | B5         | B6      |
| B8                       |            |            |            |         |
| TO :                     | B7         | B7         | B7         | B7      |
| B7                       |            |            |            |         |
| CLASS:                   | CONV-NC    | CONV-NC    | CONV-NC    | CONV-NC |
| CONV-NC CONV-NC          |            |            |            |         |
| TOTAL STREAM:            |            |            |            |         |
| KG/HR                    | 1467.8581  | 1601.5633  | 1742.0434  |         |
| 1889.7527 866.8787       |            |            |            |         |
| KCAL/HR                  | -5.5346+06 | -6.0387+06 | -6.5684+06 |         |
| -7.1253+06 -3.2686+06    |            |            |            |         |
| SUBSTREAM: CONV          |            |            |            |         |
| PHASE:                   | LIQUID     | LIQUID     | LIQUID     | LI-     |
| QUID LIQUID              |            |            |            |         |
| COMPONENTS: KMOL/HR      |            |            |            |         |
| WATER                    | 81.4797    | 88.9016    | 96.6996    |         |
| 104.8988 48.1198         |            |            |            |         |
| TOTAL FLOW:              |            |            |            |         |
| KMOL/HR                  | 81.4797    | 88.9016    | 96.6996    |         |
| 104.8988 48.1198         |            |            |            |         |
| KG/HR                    | 1467.8581  | 1601.5633  | 1742.0434  |         |
| 1889.7527 866.8787       |            |            |            |         |
| L/HR                     | 1507.7376  | 1645.0828  | 1789.3884  |         |
| 1941.1209 890.4185       |            |            |            |         |
| STATE VARIABLES:         |            |            |            |         |
| TEMP C                   | 44.9849    | 44.9894    | 44.9939    |         |
| 44.9984 44.9715          |            |            |            |         |
| PRES ATM                 | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |         |
| 1.0000 1.0000            |            |            |            |         |
| VFRAC                    | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0     |
| 0.0                      |            |            |            |         |
| LFRAC                    | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |         |
| 1.0000 1.0000            |            |            |            |         |
| SFRAC                    | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0     |
| 0.0                      |            |            |            |         |
| ENTHALPY:                |            |            |            |         |
| CAL/MOL                  | -6.7925+04 | -6.7925+04 | -6.7925+04 |         |
| -6.7924+04 -6.7925+04    |            |            |            |         |
| CAL/GM                   | -3770.4501 | -3770.4457 | -3770.4413 |         |
| -3770.4368 -3770.4634    |            |            |            |         |
| KCAL/HR                  | -5.5346+06 | -6.0387+06 | -6.5684+06 |         |
| -7.1253+06 -3.2686+06    |            |            |            |         |
| ENTROPY:                 |            |            |            |         |
| CAL/MOL-K                | -42.4071   | -42.4064   | -42.4057   |         |
| -42.4050 -42.4092        |            |            |            |         |
| CAL/GM-K                 | -2.3539    | -2.3539    | -2.3539    |         |
| -2.3538 -2.3541          |            |            |            |         |
| DENSITY:                 |            |            |            |         |

|           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| MOL/CC    |           | 5.4041-02 | 5.4041-02 | 5.4041-02 |
| 5.4040-02 | 5.4042-02 |           |           |           |
| GM/CC     |           | 0.9735    | 0.9735    | 0.9735    |
| 0.9735    | 0.9735    |           |           |           |
| AVG MW    |           | 18.0150   | 18.0150   | 18.0150   |
| 18.0150   | 18.0150   |           |           |           |

# STREAM SECTION

PER8 PER9 PERMEAAT RET1 RET10

| STREAM ID             | PER8       | PER9       | PERMEAAT   | RET1 |
|-----------------------|------------|------------|------------|------|
| RET10                 |            |            |            |      |
| FROM :                | B9         | B10        | B7         | B1   |
| B11                   |            |            |            |      |
| TO :                  | B7         | B7         | ----       | B8   |
| B12                   |            |            |            |      |
| CLASS:                | CONV-NC    | CONV-NC    | CONV-NC    |      |
| CONV-NC CONV-NC       |            |            |            |      |
| TOTAL STREAM:         |            |            |            |      |
| KG/HR                 | 775.6332   | 688.1008   | 3.5790+04  |      |
| 1.8982+04 1.6048+04   | -2.9245+06 | -2.5945+06 | -1.3495+08 |      |
| KCAL/HR               |            |            |            |      |
| -7.1080+07 -6.0017+07 |            |            |            |      |
| SUBSTREAM: CONV       |            |            |            |      |
| PHASE:                | LIQUID     | LIQUID     | LIQUID     | LI-  |
| QUID LIQUID           |            |            |            |      |
| COMPONENTS: KMOL/HR   |            |            |            |      |
| WATER                 | 43.0548    | 38.1959    | 1986.6748  |      |
| 1022.1713 859.3026    |            |            |            |      |
| TOTAL FLOW:           |            |            |            |      |
| KMOL/HR               | 43.0548    | 38.1959    | 1986.6748  |      |
| 1022.1713 859.3026    |            |            |            |      |
| KG/HR                 | 775.6332   | 688.1008   | 3.5790+04  |      |
| 1.8414+04 1.5480+04   | 796.6906   | 706.7786   | 3.6763+04  |      |
| L/HR                  |            |            |            |      |
| 1.8914+04 1.5900+04   |            |            |            |      |
| STATE VARIABLES:      |            |            |            |      |
| TEMP C                | 44.9659    | 44.9613    | 44.9958    |      |
| 44.9412 44.9229       |            |            |            |      |
| PRES ATM              | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |      |
| 2.2000 2.2280         |            |            |            |      |
| VFRAC                 | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0  |
| 0.0                   |            |            |            |      |
| LFRAC                 | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |      |
| 1.0000 1.0000         |            |            |            |      |
| SFRAC                 | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0  |
| 0.0                   |            |            |            |      |
| ENTHALPY:             |            |            |            |      |
| CAL/MOL               | -6.7925+04 | -6.7925+04 | -6.7924+04 |      |
| -6.7925+04 -6.7926+04 |            |            |            |      |
| CAL/GM                | -3770.4689 | -3770.4734 | -3770.4394 |      |
| -3770.4932 -3770.5113 |            |            |            |      |
| KCAL/HR               | -2.9245+06 | -2.5945+06 | -1.3495+08 |      |
| -6.9432+07 -5.8370+07 |            |            |            |      |
| ENTROPY:              |            |            |            |      |
| CAL/MOL-K             | -42.4101   | -42.4108   | -42.4054   |      |
| -43.9797 -44.0078     |            |            |            |      |
| CAL/GM-K              | -2.3541    | -2.3542    | -2.3539    |      |
| -2.4412 -2.4428       |            |            |            |      |
| DENSITY:              |            |            |            |      |

|           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| MOL/CC    |           | 5.4042-02 | 5.4042-02 | 5.4040-02 |
| 5.4043-02 | 5.4044-02 |           |           |           |
| GM/CC     |           | 0.9735    | 0.9735    | 0.9735    |
| 0.9735    | 0.9736    |           |           |           |
| AVG MW    |           | 18.0150   | 18.0150   | 18.0150   |
| 18.0150   | 18.0150   |           |           |           |

# STREAM SECTION

RET11 RET12 RET13 RET14 RET15

| STREAM ID             | RET11      | RET12      | RET13      | RET14   |
|-----------------------|------------|------------|------------|---------|
| RET15                 |            |            |            |         |
| FROM :                | B12        | B13        | B14        | B15     |
| B16                   |            |            |            |         |
| TO :                  | B13        | B14        | B15        | B16     |
| -----                 |            |            |            |         |
| CLASS:                | CONV-NC    | CONV-NC    | CONV-NC    | CONV-NC |
| CONV-NC CONV-NC       |            |            |            |         |
| TOTAL STREAM:         |            |            |            |         |
| KG/HR                 | 1.5528+04  | 1.5089+04  | 1.4759+04  |         |
| 1.4462+04 1.4210+04   |            |            |            |         |
| KCAL/HR               | -5.8054+07 | -5.6401+07 | -5.5156+07 |         |
| -5.4038+07 -5.3086+07 |            |            |            |         |
| SUBSTREAM: CONV       |            |            |            |         |
| PHASE:                | LIQUID     | LIQUID     | LIQUID     | LI-     |
| QUID LIQUID           |            |            |            |         |
| COMPONENTS: KMOL/HR   |            |            |            |         |
| WATER                 | 830.3976   | 806.0553   | 787.7301   |         |
| 771.2650 757.2607     |            |            |            |         |
| TOTAL FLOW:           |            |            |            |         |
| KMOL/HR               | 830.3976   | 806.0553   | 787.7301   |         |
| 771.2650 757.2607     |            |            |            |         |
| KG/HR                 | 1.4960+04  | 1.4521+04  | 1.4191+04  |         |
| 1.3894+04 1.3642+04   |            |            |            |         |
| L/HR                  | 1.5365+04  | 1.4915+04  | 1.4575+04  |         |
| 1.4271+04 1.4012+04   |            |            |            |         |
| STATE VARIABLES:      |            |            |            |         |
| TEMP C                | 44.9183    | 44.9138    | 44.9092    |         |
| 44.9047 44.9047       |            |            |            |         |
| PRES ATM              | 2.2280     | 2.2280     | 2.2280     |         |
| 2.2280 2.2280         |            |            |            |         |
| VFRAC                 | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0     |
| 0.0                   |            |            |            |         |
| LFRAC                 | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |         |
| 1.0000 1.0000         |            |            |            |         |
| SFRAC                 | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0     |
| 0.0                   |            |            |            |         |
| ENTHALPY:             |            |            |            |         |
| CAL/MOL               | -6.7926+04 | -6.7926+04 | -6.7926+04 |         |
| -6.7926+04 -6.7926+04 |            |            |            |         |
| CAL/GM                | -3770.5158 | -3770.5203 | -3770.5248 |         |
| -3770.5292 -3770.5292 |            |            |            |         |
| KCAL/HR               | -5.6406+07 | -5.4753+07 | -5.3508+07 |         |
| -5.2390+07 -5.1438+07 |            |            |            |         |
| ENTROPY:              |            |            |            |         |
| CAL/MOL-K             | -44.0085   | -44.0092   | -44.0099   |         |
| -44.0106 -44.0106     |            |            |            |         |
| CAL/GM-K              | -2.4428    | -2.4429    | -2.4429    |         |
| -2.4430 -2.4430       |            |            |            |         |
| DENSITY:              |            |            |            |         |

|           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| MOL/CC    |           | 5.4045-02 | 5.4045-02 | 5.4045-02 |
| 5.4045-02 | 5.4045-02 |           |           |           |
| GM/CC     |           | 0.9736    | 0.9736    | 0.9736    |
| 0.9736    | 0.9736    |           |           |           |
| AVG MW    |           | 18.0150   | 18.0150   | 18.0150   |
| 18.0150   | 18.0150   |           |           |           |

SUBSTREAM: NONCONV  
COMPONENTS: KG/HR  
CELLS

568.0000 568.0000

TOTAL FLOW:

KG/HR

568.0000 568.0000

STATE VARIABLES:

TEMP C

44.9047 44.9047

PRES ATM

2.2280 2.2280

VFRAC

0.0

LFRAC

0.0

SFRAC

1.0000 1.0000

ENTHALPY:

CAL/GM

-2901.0785 -2901.0785

KCAL/HR

-1.6478+06 -1.6478+06

DENSITY:

GM/CC

1.0000 1.0000

AVG MW

1.0000 1.0000

COMPONENT ATTRIBUTES:

CELLS BIOCOMP

CARBON

54.0000 54.0000

STRUCTURE: NON CONVENTIONAL

568.0000 568.0000 568.0000

568.0000 568.0000 568.0000

44.9183 44.9138 44.9092

2.2280 2.2280 2.2280

0.0 0.0 0.0 0.0

0.0 0.0 0.0 0.0

1.0000 1.0000 1.0000

-2901.0649 -2901.0694 -2901.0740

-1.6478+06 -1.6478+06 -1.6478+06

1.0000 1.0000 1.0000

1.0000 1.0000 1.0000

54.0000 54.0000 54.0000

# STREAM SECTION

RET11 RET12 RET13 RET14 RET15 (CONTINUED)

| STREAM ID |          | RET11   | RET12   | RET13 | RET14   |
|-----------|----------|---------|---------|-------|---------|
| RET15     |          |         |         |       |         |
|           | HYDROGEN | 5.0000  | 5.0000  |       | 5.0000  |
| 5.0000    | 5.0000   |         |         |       |         |
|           | OXYGEN   | 22.0000 | 22.0000 |       | 22.0000 |
| 22.0000   | 22.0000  |         |         |       |         |
|           | NITROGEN | 11.0000 | 11.0000 |       | 11.0000 |
| 11.0000   | 11.0000  |         |         |       |         |
|           | ASH      | 8.0000  | 8.0000  |       | 8.0000  |
| 8.0000    | 8.0000   |         |         |       |         |
|           | MOISTURE | 75.0000 | 75.0000 |       | 75.0000 |
| 75.0000   | 75.0000  |         |         |       |         |

# STREAM SECTION

RET17 RET18 RET19 RET2 RET20

| STREAM ID             | RET17      | RET18      | RET19      | RET2 |
|-----------------------|------------|------------|------------|------|
| RET20                 |            |            |            |      |
| FROM :                | B17        | B18        | B19        | B2   |
| B20                   |            |            |            |      |
| TO :                  | B6         | B17        | B18        | B1   |
| B19                   |            |            |            |      |
| CLASS:                | CONV-NC    | CONV-NC    | CONV-NC    |      |
| CONV-NC CONV-NC       |            |            |            |      |
| TOTAL STREAM:         |            |            |            |      |
| KG/HR                 | 3.5105+04  | 3.7150+04  | 3.9359+04  |      |
| 2.7063+04 4.1739+04   |            |            |            |      |
| KCAL/HR               | -1.3187+08 | -1.3958+08 | -1.4791+08 |      |
| -1.0155+08 -1.5688+08 |            |            |            |      |
| SUBSTREAM: CONV       |            |            |            |      |
| PHASE:                | LIQUID     | LIQUID     | LIQUID     | LI-  |
| QUID LIQUID           |            |            |            |      |
| COMPONENTS: KMOL/HR   |            |            |            |      |
| WATER                 | 1917.1233  | 2030.6461  | 2153.2393  |      |
| 1470.7368 2285.3700   |            |            |            |      |
| TOTAL FLOW:           |            |            |            |      |
| KMOL/HR               | 1917.1233  | 2030.6461  | 2153.2393  |      |
| 1470.7368 2285.3700   |            |            |            |      |
| KG/HR                 | 3.4537+04  | 3.6582+04  | 3.8791+04  |      |
| 2.6495+04 4.1171+04   |            |            |            |      |
| L/HR                  | 3.5475+04  | 3.7576+04  | 3.9844+04  |      |
| 2.7214+04 4.2289+04   |            |            |            |      |
| STATE VARIABLES:      |            |            |            |      |
| TEMP C                | 44.9682    | 44.9728    | 44.9773    |      |
| 44.9457 44.9819       |            |            |            |      |
| PRES ATM              | 2.2000     | 2.2000     | 2.2000     |      |
| 2.2000 2.2000         |            |            |            |      |
| VFRAC                 | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0  |
| 0.0                   |            |            |            |      |
| LFRAC                 | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |      |
| 1.0000 1.0000         |            |            |            |      |
| SFRAC                 | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0  |
| 0.0                   |            |            |            |      |
| ENTHALPY:             |            |            |            |      |
| CAL/MOL               | -6.7925+04 | -6.7925+04 | -6.7925+04 |      |
| -6.7925+04 -6.7925+04 |            |            |            |      |
| CAL/GM                | -3770.4666 | -3770.4621 | -3770.4576 |      |
| -3770.4888 -3770.4531 |            |            |            |      |
| KCAL/HR               | -1.3022+08 | -1.3793+08 | -1.4626+08 |      |
| -9.9902+07 -1.5524+08 |            |            |            |      |
| ENTROPY:              |            |            |            |      |
| CAL/MOL-K             | -43.9755   | -43.9748   | -43.9741   |      |
| -43.9791 -43.9733     |            |            |            |      |
| CAL/GM-K              | -2.4410    | -2.4410    | -2.4409    |      |
| -2.4412 -2.4409       |            |            |            |      |
| DENSITY:              |            |            |            |      |

|           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| MOL/CC    |           | 5.4042-02 | 5.4042-02 | 5.4041-02 |
| 5.4043-02 | 5.4041-02 |           |           |           |
| GM/CC     |           | 0.9735    | 0.9735    | 0.9735    |
| 0.9735    | 0.9735    |           |           |           |
| AVG MW    |           | 18.0150   | 18.0150   | 18.0150   |
| 18.0150   | 18.0150   |           |           |           |

SUBSTREAM: NONCONV  
COMPONENTS: KG/HR

STRUCTURE: NON CONVENTIONAL

CELLS  
568.0000 568.0000

568.0000 568.0000 568.0000

TOTAL FLOW:

KG/HR  
568.0000 568.0000

568.0000 568.0000 568.0000

STATE VARIABLES:

TEMP C  
44.9457 44.9819

44.9682 44.9728 44.9773

PRES ATM  
2.2000 2.2000

2.2000 2.2000 2.2000

VFRAC  
0.0

0.0 0.0 0.0 0.0

LFRAC  
0.0

0.0 0.0 0.0 0.0

SFRAC  
1.0000 1.0000

1.0000 1.0000 1.0000

ENTHALPY:

CAL/GM  
-2901.0376 -2901.0014

-2901.0150 -2901.0104 -2901.0059

KCAL/HR  
-1.6478+06 -1.6478+06

-1.6478+06 -1.6478+06 -1.6478+06

DENSITY:

GM/CC  
1.0000 1.0000

1.0000 1.0000 1.0000

AVG MW  
1.0000 1.0000

1.0000 1.0000 1.0000

# STREAM SECTION

RET21 RET22 RET3 RET4 RET5

| STREAM ID             | RET21      | RET22      | RET3       | RET4 |
|-----------------------|------------|------------|------------|------|
| RET5                  |            |            |            |      |
| FROM :                | B21        | B22        | B3         | B4   |
| B5                    |            |            |            |      |
| TO :                  | B20        | B21        | B2         | B3   |
| B4                    |            |            |            |      |
| CLASS:                | CONV-NC    | CONV-NC    | CONV-NC    |      |
| CONV-NC CONV-NC       |            |            |            |      |
| TOTAL STREAM:         |            |            |            |      |
| KG/HR                 | 4.4300+04  | 4.7050+04  | 2.8404+04  |      |
| 2.9872+04 3.1473+04   |            |            |            |      |
| KCAL/HR               | -1.6654+08 | -1.7691+08 | -1.0660+08 |      |
| -1.1214+08 -1.1818+08 |            |            |            |      |

SUBSTREAM: CONV  
 PHASE:  
 QUID LIQUID  
 COMPONENTS: KMOL/HR  
 WATER  
 1626.6232 1715.5248  
 TOTAL FLOW:  
 KMOL/HR  
 1626.6232 1715.5248  
 KG/HR  
 2.9304+04 3.0905+04  
 L/HR  
 3.0099+04 3.1744+04  
 STATE VARIABLES:  
 TEMP C  
 44.9547 44.9592  
 PRES ATM  
 2.2000 2.2000  
 VFRAC  
 0.0  
 LFRAC  
 1.0000 1.0000  
 SFRAC  
 0.0  
 ENTHALPY:  
 CAL/MOL  
 -6.7925+04 -6.7925+04  
 CAL/GM  
 -3770.4800 -3770.4755  
 KCAL/HR  
 -1.1049+08 -1.1653+08  
 ENTROPY:  
 CAL/MOL-K  
 -43.9776 -43.9769  
 CAL/GM-K  
 -2.4411 -2.4411  
 DENSITY:  
 MOL/CC  
 5.4043-02 5.4042-02  
 GM/CC  
 0.9735 0.9735  
 AVG MW  
 18.0150 18.0150

| LIQUID     | LIQUID     | LIQUID     | LI- |
|------------|------------|------------|-----|
| 2427.5244  | 2580.2068  | 1545.1434  |     |
| 2427.5244  | 2580.2068  | 1545.1434  |     |
| 4.3732+04  | 4.6482+04  | 2.7836+04  |     |
| 4.4920+04  | 4.7746+04  | 2.8591+04  |     |
| 44.9864    | 44.9910    | 44.9502    |     |
| 2.2000     | 2.2000     | 2.2000     |     |
| 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0 |
| 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |     |
| 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0 |
| -6.7925+04 | -6.7925+04 | -6.7925+04 |     |
| -3770.4486 | -3770.4441 | -3770.4844 |     |
| -1.6489+08 | -1.7526+08 | -1.0496+08 |     |
| -43.9726   | -43.9719   | -43.9783   |     |
| -2.4408    | -2.4408    | -2.4412    |     |
| 5.4041-02  | 5.4041-02  | 5.4043-02  |     |
| 0.9735     | 0.9735     | 0.9735     |     |
| 18.0150    | 18.0150    | 18.0150    |     |

SUBSTREAM: NONCONV  
 COMPONENTS: KG/HR  
 CELLS  
 568.0000 568.0000  
 TOTAL FLOW:  
 KG/HR  
 568.0000 568.0000  
 STATE VARIABLES:  
 TEMP C  
 44.9547 44.9592  
 PRES ATM  
 2.2000 2.2000  
 VFRAC  
 0.0

STRUCTURE: NON CONVENTIONAL

|          |          |          |     |
|----------|----------|----------|-----|
| 568.0000 | 568.0000 | 568.0000 |     |
| 568.0000 | 568.0000 | 568.0000 |     |
| 44.9864  | 44.9910  | 44.9502  |     |
| 2.2000   | 2.2000   | 2.2000   |     |
| 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0 |

|            |            |            |            |            |     |
|------------|------------|------------|------------|------------|-----|
| LFRAC      |            | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0 |
| 0.0        |            |            |            |            |     |
| SFRAC      |            | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |     |
| 1.0000     | 1.0000     |            |            |            |     |
| ENTHALPY:  |            |            |            |            |     |
| CAL/GM     |            | -2900.9968 | -2900.9922 | -2901.0331 |     |
| -2901.0285 | -2901.0240 |            |            |            |     |
| KCAL/HR    |            | -1.6478+06 | -1.6478+06 | -1.6478+06 |     |
| -1.6478+06 | -1.6478+06 |            |            |            |     |
| DENSITY:   |            |            |            |            |     |
| GM/CC      |            | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |     |
| 1.0000     | 1.0000     |            |            |            |     |
| AVG MW     |            | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |     |
| 1.0000     | 1.0000     |            |            |            |     |

# STREAM SECTION

| RET6                | RET7       | RET8       | RET9       |      |
|---------------------|------------|------------|------------|------|
| -----               |            |            |            |      |
| STREAM ID           | RET6       | RET7       | RET8       | RET9 |
| FROM :              | B6         | B8         | B9         | B10  |
| TO :                | B5         | B9         | B10        | B11  |
| CLASS:              | CONV-NC    | CONV-NC    | CONV-NC    |      |
| CONV-NC             |            |            |            |      |
| TOTAL STREAM:       |            |            |            |      |
| KG/HR               | 3.3215+04  | 1.8116+04  | 1.7340+04  |      |
| 1.6652+04           |            |            |            |      |
| KCAL/HR             | -1.2474+08 | -6.7812+07 | -6.4887+07 |      |
| -6.2293+07          |            |            |            |      |
| SUBSTREAM: CONV     |            |            |            |      |
| PHASE:              | LIQUID     | LIQUID     | LIQUID     | LI-  |
| QUID                |            |            |            |      |
| COMPONENTS: KMOL/HR |            |            |            |      |
| WATER               | 1812.2244  | 974.0515   | 930.9966   |      |
| 892.8006            |            |            |            |      |
| TOTAL FLOW:         |            |            |            |      |
| KMOL/HR             | 1812.2244  | 974.0515   | 930.9966   |      |
| 892.8006            |            |            |            |      |
| KG/HR               | 3.2647+04  | 1.7548+04  | 1.6772+04  |      |
| 1.6084+04           |            |            |            |      |
| L/HR                | 3.3533+04  | 1.8023+04  | 1.7227+04  |      |
| 1.6520+04           |            |            |            |      |
| STATE VARIABLES:    |            |            |            |      |
| TEMP C              | 44.9637    | 44.9366    | 44.9320    |      |
| 44.9275             |            |            |            |      |
| PRES ATM            | 2.2000     | 2.2280     | 2.2280     |      |
| 2.2280              |            |            |            |      |
| VFRAC               | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0  |
|                     |            |            |            |      |
| LFRAC               | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |      |
| 1.0000              |            |            |            |      |

|                    |                             |            |            |     |
|--------------------|-----------------------------|------------|------------|-----|
| SFRAC              | 0.0                         | 0.0        | 0.0        | 0.0 |
| ENTHALPY:          |                             |            |            |     |
| CAL/MOL            | -6.7925+04                  | -6.7926+04 | -6.7926+04 |     |
| -6.7926+04         |                             |            |            |     |
| CAL/GM             | -3770.4710                  | -3770.4978 | -3770.5023 |     |
| -3770.5068         |                             |            |            |     |
| KCAL/HR            | -1.2310+08                  | -6.6164+07 | -6.3239+07 |     |
| -6.0645+07         |                             |            |            |     |
| ENTROPY:           |                             |            |            |     |
| CAL/MOL-K          | -43.9762                    | -44.0056   | -44.0063   |     |
| -44.0070           |                             |            |            |     |
| CAL/GM-K           | -2.4410                     | -2.4427    | -2.4427    |     |
| -2.4428            |                             |            |            |     |
| DENSITY:           |                             |            |            |     |
| MOL/CC             | 5.4042-02                   | 5.4044-02  | 5.4044-02  |     |
| 5.4044-02          |                             |            |            |     |
| GM/CC              | 0.9735                      | 0.9736     | 0.9736     |     |
| 0.9736             |                             |            |            |     |
| AVG MW             | 18.0150                     | 18.0150    | 18.0150    |     |
| 18.0150            |                             |            |            |     |
| SUBSTREAM: NONCONV | STRUCTURE: NON CONVENTIONAL |            |            |     |
| COMPONENTS: KG/HR  |                             |            |            |     |
| CELLS              | 568.0000                    | 568.0000   | 568.0000   |     |
| 568.0000           |                             |            |            |     |
| TOTAL FLOW:        |                             |            |            |     |
| KG/HR              | 568.0000                    | 568.0000   | 568.0000   |     |
| 568.0000           |                             |            |            |     |
| STATE VARIABLES:   |                             |            |            |     |
| TEMP C             | 44.9637                     | 44.9366    | 44.9320    |     |
| 44.9275            |                             |            |            |     |
| PRES ATM           | 2.2000                      | 2.2280     | 2.2280     |     |
| 2.2280             |                             |            |            |     |
| VFRAC              | 0.0                         | 0.0        | 0.0        | 0.0 |
|                    |                             |            |            |     |
| LFRAC              | 0.0                         | 0.0        | 0.0        | 0.0 |
|                    |                             |            |            |     |
| SFRAC              | 1.0000                      | 1.0000     | 1.0000     |     |
| 1.0000             |                             |            |            |     |
| ENTHALPY:          |                             |            |            |     |
| CAL/GM             | -2901.0195                  | -2901.0466 | -2901.0512 |     |
| -2901.0557         |                             |            |            |     |
| KCAL/HR            | -1.6478+06                  | -1.6478+06 | -1.6478+06 |     |
| -1.6478+06         |                             |            |            |     |
| DENSITY:           |                             |            |            |     |
| GM/CC              | 1.0000                      | 1.0000     | 1.0000     |     |
| 1.0000             |                             |            |            |     |
| AVG MW             | 1.0000                      | 1.0000     | 1.0000     |     |
| 1.0000             |                             |            |            |     |

**BIJLAGE III** (behorende bij hfst. 6)

\* Structure and parameters of present model \*\*

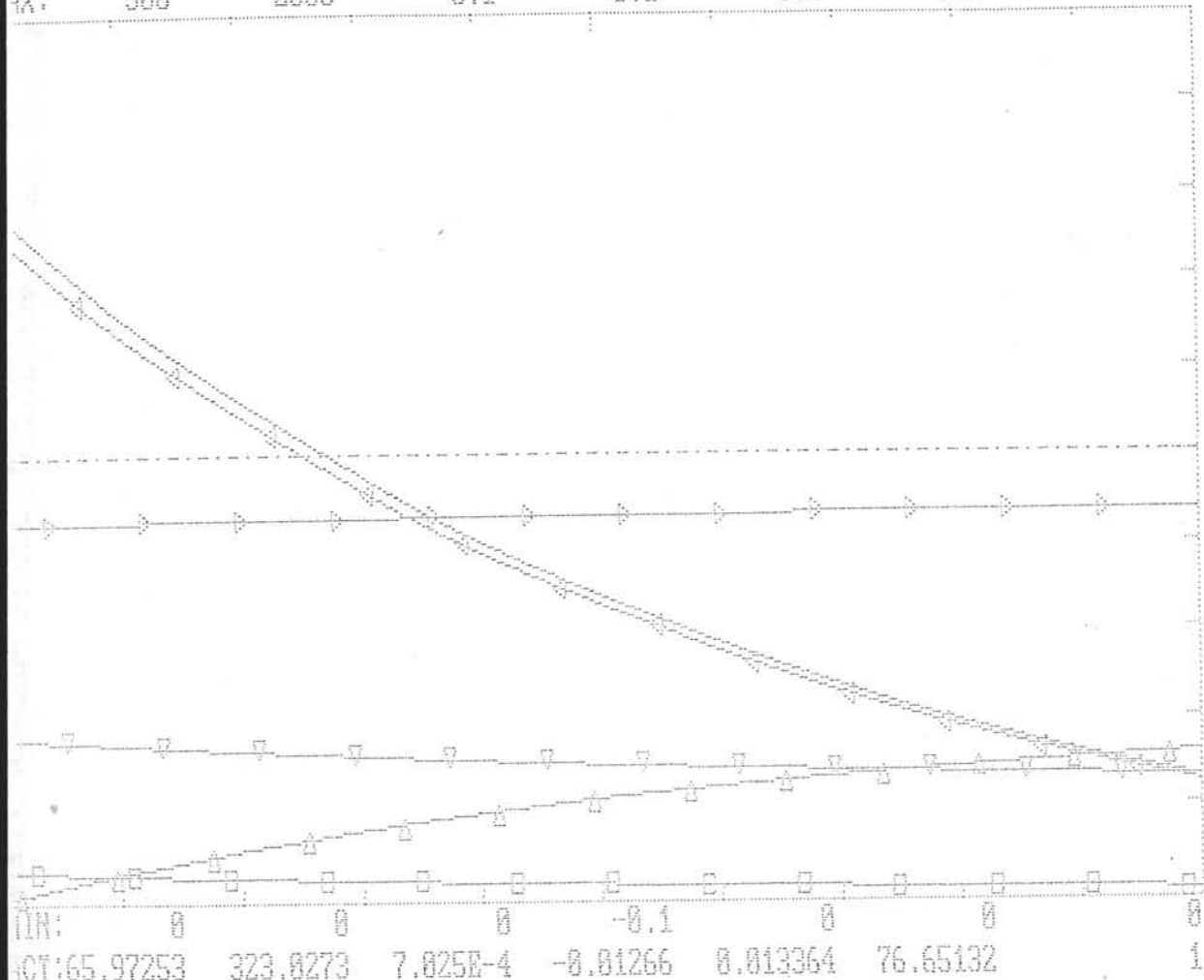
| lock   | Type | Inputs/Comment                                  | Par1  | Par2 | Par3 |
|--------|------|-------------------------------------------------|-------|------|------|
|        | INT  | DCDX                                            | CB0   |      |      |
| C      | INT  | DCCDX                                           | .0000 |      |      |
| GEM'   | INT  | C                                               | .0000 |      |      |
| N      | INT  | DCNDX                                           | CB0   |      |      |
| CB0    | PAR  | 389                                             |       |      |      |
|        | VAR  | 1                                               |       |      |      |
| AL     | VAR  | 1E-3                                            |       |      |      |
| CKG    | VAR  | CC*90/1000                                      |       |      |      |
| CKG    | VAR  | C*90/1000                                       |       |      |      |
| CM     | VAR  | 0                                               |       |      |      |
| CMC    | VAR  | 2000                                            |       |      |      |
|        | VAR  | 1E-3                                            |       |      |      |
| DCCDX  | VAR  | (J/QCC)*A                                       |       |      |      |
| DCDX   | VAR  | -J*A/Q                                          |       |      |      |
| DCNDX  | VAR  | -JN*A/Q                                         |       |      |      |
| DI     | VAR  | 1E-9                                            |       |      |      |
| EPAC   | VAR  | I <sup>2</sup> *N*R*(AL/QF)                     |       |      |      |
|        | VAR  | 9.652E4                                         |       |      |      |
|        | VAR  | .8*77                                           |       |      |      |
| ELIM   | VAR  | (C*Z*F*K)/(T'-T)                                |       |      |      |
| ITOT   | VAR  | (Z*F*(2*QF+QCCF)*(450-76))/ZETA                 |       |      |      |
| J      | VAR  | (I*T)/(Z*F)-K*(CM-C)                            |       |      |      |
| JN     | VAR  | (I*TN)/(Z*F)-K*(CM-CN)                          |       |      |      |
| JNETTO | VAR  | J-JTEGEN                                        |       |      |      |
| JTEGEN | VAR  | K*(CC-CMC)-I*T/(Z*F)                            |       |      |      |
| K      | VAR  | SH*DI/D                                         |       |      |      |
| N      | VAR  | 6250                                            |       |      |      |
| NU     | VAR  | 1E-6                                            |       |      |      |
| Q      | VAR  | 5E-6                                            |       |      |      |
| QCC    | VAR  | 5E-6                                            |       |      |      |
| QCCF   | VAR  | .5*QF                                           |       |      |      |
| QF     | VAR  | .01042                                          |       |      |      |
| R      | VAR  | 100                                             |       |      |      |
| RE     | VAR  | Q*D/(AL*NU)                                     |       |      |      |
| SC     | VAR  | NU/DI                                           |       |      |      |
| SH     | VAR  | .332*(RE) <sup>.5</sup> *(SC) <sup>.33333</sup> |       |      |      |
| T      | VAR  | .3333                                           |       |      |      |
| T'     | VAR  | .95                                             |       |      |      |
| TN     | VAR  | .666667                                         |       |      |      |
| TS     | VAR  | .186                                            |       |      |      |
| X      | VAR  | TIME                                            |       |      |      |
| Z      | VAR  | 1                                               |       |      |      |
| ZETA   | VAR  | .9                                              |       |      |      |

\*\*\*\*\*

28-Apr-1993 19:57 File: A:DIALYSE

SEApp10093 19:57 File: A:DIALYSE

| AM: | C   | CC            | J             | JTEGEN               | JNETTO       | ILIN                | TIME |
|-----|-----|---------------|---------------|----------------------|--------------|---------------------|------|
| X:  | 500 | 2000 $\Delta$ | 0.1 $\square$ | 0.1 $\triangleright$ | 0.1 $\nabla$ | 600 $\triangleleft$ | 1    |



BIJLAGE IV (behorende bij hfst. 7)

IN-UNITS MET VOLUME-FLOW='L/HR' ENTHALPY-FLO='KCAL/HR' &  
HEAT-TRANS-C='KCAL/HR-SQM-K' TEMPERATURE=C DEL-  
TA-T=C &  
HEAD=METER FILTER-RESIS='1/CM' HEAT=KCAL  
FLUX='L/SQM-HR' &  
MOLE-CONC='MOL/L'

DEF-STREAMS CONV-NC

DATABANKS ASPENPCD / BPS

PROP-SOURCES ASPENPCD / BPS

COMPONENTS

WATER H2O WATER /

CELLS \* CELLS

FLOWSHEET

BLOCK B1 IN=BLEED OUT=FILTRAAT CAKE

PROPERTIES BPSOP0

NC-COMPS CELLS BIOCOMP

NC-PROPS CELLS ENTHALPY BIOENTH / DENSITY BIODEN

STREAM BLEED

SE=1 &  
SUBSTREAM CONV TEMP=45 PRES=1 MASS-FLOW=464.87 NPHA-  
PHASE=L

MASS-FLOW WATER 464.87

SUBSTREAM NONCONV TEMP=45 PRES=1 MASS-FLOW=17.565

MASS-FLOW CELLS 17.565

COMP-ATTR CELLS BIOCOMP ( 54 5 22 11 8.0 75 )

BLOCK B1 FILTER

DESIGN MAX-PDROP=0.9

OPERATION REVS=3

CAKE-PROPS SOLID-FRAC=.6 CAKE-RES=3.9063E11 DI-  
AM-PART=1E-6

FLOWSHEET CONNECTIVITY BY STREAMS

| STREAM | SOURCE | DEST | STREAM   | SOURCE |
|--------|--------|------|----------|--------|
| DEST   |        |      |          |        |
| BLEED  | ----   | B1   | FILTRAAT | B1     |

-----  
CAKE                    B1                    -----

FLWSHEET CONNECTIVITY BY BLOCKS

BLOCK                    INLETS  
B1                        BLEED

OUTLETS  
FILTRAAT CAKE

COMPUTATION ORDER FOR THE FLOWSHEET IS:

B1

MODULE ROTARY      WILL BE GENERATED 04/27/93 13:54:51:44

LOCATED IN:E:\ROTARY

IN-CORE-PLEX SIZE =      47 RECORDS,      WORK SIZE =              380 IN-  
TEGER WORDS

NO ERRORS OR WARNINGS GENERATED

SIMULATION PROGRAM MAY BE EXECUTED

\*\*\*\*\*

\* ASPEN PLUS INPUT TRANSLATOR ENDS EXECUTION \*

\*\*\*\*\*

\*\*\* CALCULATION TRACE \*\*\*

SIMULATION CALCULATIONS BEGIN

TIME =              0.06

ENTHALPY CALCULATION FOR INLET STREAM BLEED      OF BLOCK B1

TIME =              0.11

SUBSTREAM CONV

KODE = 2      NO. TEMP ITER =      1              TEMP =      318.15

KPHASE =      2      KODE =      2      T =      318.15              P =

0.10133E+06 Q =      0.00000E+00

SUBSTREAM NONCONV

KODE =      2      T =      318.15              P =      0.10133E+06      Q =

0.00000E+00 HNCS = -0.12146E+08

UOS BLOCK B1              MODEL: FILTER

TIME =              0.11

\*      WARNING WHILE EXECUTING UNIT OPERATIONS BLOCK: "B1"  
(MODEL: "FILTER")

(USS08.5)

CAKE THICKNESS (0.2097E-02) IS LESS THAN 0.00635 M.

SOLIDS MASS FLOW = 0.488E-02      PRESSURE DROP =      91192.5

FILTER DIAMETER = 0.2909              FILTER WIDTH = 0.582

KODE = 1      NO. TEMP ITER =      5              TEMP =      318.15

KPHASE =      2      KODE =      1      T =      318.15              P =      10133.

Q =      0.00000E+00

KODE = 1      NO. TEMP ITER =      5              TEMP =      318.15

KPHASE =      2      KODE =      1      T =      318.15              P =      10133.

Q =      0.00000E+00

\*\*\* SUMMARY OF ERRORS \*\*\*

PHYSICAL

PROPERTY      SYSTEM      SIMULATION

|                 |   |   |   |
|-----------------|---|---|---|
| TERMINAL ERRORS | 0 | 0 | 0 |
| SEVERE ERRORS   | 0 | 0 | 0 |
| ERRORS          | 0 | 0 | 0 |
| WARNINGS        | 0 | 0 | 1 |

# OVERALL FLOWSHEET BALANCE

```

***      MASS AND ENERGY BALANCE      ***
                                IN          OUT
RELATIVE DIFF.
  CONVENTIONAL COMPONENTS (KMOL/HR )
    WATER                    25.8046      25.8046
0.000000E+00
  SUBTOTAL (KMOL/HR )      25.8046      25.8046
0.000000E+00
    (KG/HR )                464.870      464.870
0.000000E+00
  NON-CONVENTIONAL COMPONENTS (KG/HR )
    CELLS                    17.5650      17.5650
0.000000E+00
  SUBTOTAL (KG/HR )        17.5650      17.5650
0.000000E+00
  TOTAL BALANCE
    MASS (KG/HR )           482.435      482.435
0.000000E+00
    ENTHALPY (KCAL/HR )     -0.180374E+07  -0.180374E+07
0.240170E-11

```

```

***      MASS AND ENERGY BALANCE      ***
                                IN          OUT
RELATIVE DIFF.
  CONV. COMP. (KMOL/HR )    25.8046      25.8046
0.000000E+00
    (KG/HR )                464.870      464.870
0.000000E+00
  NONCONV. COMP (KG/HR )    17.5650      17.5650
0.000000E+00
  TOTAL BALANCE
    MASS (KG/HR )           482.435      482.435
0.000000E+00
    ENTHALPY (KCAL/HR )     -0.180374E+07  -0.180374E+07
0.240170E-11

```

## \*\*\* INPUT DATA \*\*\*

```

MAXIMUM PRESSURE DROP  ATM
0.90000
FILTER WIDTH TO DIAMETER RATIO
2.00000
ANGULAR VELOCITY  RPM
3.00000
CAKE FORMATION ANGLE  DEG
120.006
MASS FRACTION OF SOLIDS IN CAKE
0.60000

```

AVERAGE POROSITY  
 0.45000  
 FILTRATION RESISTANCE METER/KG MIS-  
 SING  
 UNIT PRESSURE CAKE RESISTANCE METER/KG  
 0.390630+12  
 CAKE COMPRESSIBILITY 0.0  
  
 AVERAGE PARTICLE DIAMETER METER  
 0.100000-05  
 PARTICLE SPHERICITY  
 0.75000

\*\*\* RESULTS \*\*\*

FILTER DIAMETER METER  
 0.29090  
 FILTER WIDTH METER  
 0.58181  
 AVERAGE PARTICLE DIAMETER METER MIS-  
 SING  
 AVERAGE SOLID DENSITY GM/CC  
 1.00000  
 TOTAL SOLIDS MASS FLOW RATE KG/HR  
 17.5650  
 SURFACE TENSION DYNE/CM  
 93.6379  
 VOLUME FLOW RATE OF FILTRATE L/HR  
 465.479  
 MASS FRACTION OF SOLIDS IN CAKE  
 0.60000  
 CAKE THICKNESS METER  
 0.0020966  
 FILTRATION RESISTANCE METER/KG  
 0.390630+12  
 AVERAGE POROSITY  
 0.45000  
 CAKE COMPRESSIBILITY 0.0

STREAM SECTION

BLEED CAKE FILTRAAT

| STREAM ID           | BLEED      | CAKE       | FILTRAAT   |
|---------------------|------------|------------|------------|
| FROM :              | ----       | B1         | B1         |
| TO :                | B1         | ----       | ----       |
| CLASS:              | CONV-NC    | CONV-NC    | CONV-NC    |
| TOTAL STREAM:       |            |            |            |
| KG/HR               | 482.4350   | 29.2750    | 453.1600   |
| KCAL/HR             | -1.8037+06 | -9.5109+04 | -1.7086+06 |
| SUBSTREAM: CONV     |            |            |            |
| PHASE:              | LIQUID     | LIQUID     | LIQUID     |
| COMPONENTS: KMOL/HR |            |            |            |
| WATER               | 25.8046    | 0.6500     | 25.1545    |
| TOTAL FLOW:         |            |            |            |

|                  |            |            |            |
|------------------|------------|------------|------------|
| KMOL/HR          | 25.8046    | 0.6500     | 25.1545    |
| KG/HR            | 464.8700   | 11.7100    | 453.1600   |
| L/HR             | 477.5071   | 12.0283    | 465.4787   |
| STATE VARIABLES: |            |            |            |
| TEMP C           | 45.0000    | 45.0000    | 45.0000    |
| PRES ATM         | 1.0000     | 0.1000     | 0.1000     |
| VFRAC            | 0.0        | 0.0        | 0.0        |
| LFRAC            | 1.0000     | 1.0000     | 1.0000     |
| SFRAC            | 0.0        | 0.0        | 0.0        |
| ENTHALPY:        |            |            |            |
| CAL/MOL          | -6.7924+04 | -6.7924+04 | -6.7924+04 |
| CAL/GM           | -3770.4353 | -3770.4353 | -3770.4353 |
| KCAL/HR          | -1.7528+06 | -4.4152+04 | -1.7086+06 |
| ENTROPY:         |            |            |            |
| CAL/MOL-K        | -42.4047   | -37.8322   | -37.8322   |
| CAL/GM-K         | -2.3538    | -2.1000    | -2.1000    |
| DENSITY:         |            |            |            |
| MOL/CC           | 5.4040-02  | 5.4040-02  | 5.4040-02  |
| GM/CC            | 0.9735     | 0.9735     | 0.9735     |
| AVG MW           | 18.0150    | 18.0150    | 18.0150    |

|                       |            |                             |         |
|-----------------------|------------|-----------------------------|---------|
| SUBSTREAM: NONCONV    |            | STRUCTURE: NON CONVENTIONAL |         |
| COMPONENTS: KG/HR     |            |                             |         |
| CELLS                 | 17.5650    | 17.5650                     | 0.0     |
| TOTAL FLOW:           |            |                             |         |
| KG/HR                 | 17.5650    | 17.5650                     | 0.0     |
| STATE VARIABLES:      |            |                             |         |
| TEMP C                | 45.0000    | 45.0000                     | MISSING |
| PRES ATM              | 1.0000     | 0.1000                      | 0.1000  |
| VFRAC                 | 0.0        | 0.0                         | MISSING |
| LFRAC                 | 0.0        | 0.0                         | MISSING |
| SFRAC                 | 1.0000     | 1.0000                      | MISSING |
| ENTHALPY:             |            |                             |         |
| CAL/GM                | -2900.9833 | -2900.9833                  | MISSING |
| KCAL/HR               | -5.0957+04 | -5.0957+04                  | MISSING |
| DENSITY:              |            |                             |         |
| GM/CC                 | 1.0000     | 1.0000                      | MISSING |
| AVG MW                | 1.0000     | 1.0000                      | 1.0000  |
| COMPONENT ATTRIBUTES: |            |                             |         |
| CELLS                 | BIOCOMP    |                             |         |
|                       | CARBON     | 54.0000                     | 54.0000 |
|                       |            |                             | MISSING |

# STREAM SECTION

| BLEED CAKE FILTRAAT (CONTINUED) |          |         |          |
|---------------------------------|----------|---------|----------|
| STREAM ID                       | BLEED    | CAKE    | FILTRAAT |
|                                 | HYDROGEN | 5.0000  | 5.0000   |
|                                 | OXYGEN   | 22.0000 | 22.0000  |
|                                 |          |         | MISSING  |
|                                 |          |         | MISSING  |

|          |         |         |         |
|----------|---------|---------|---------|
| NITROGEN | 11.0000 | 11.0000 | MISSING |
| ASH      | 8.0000  | 8.0000  | MISSING |
| MOISTURE | 75.0000 | 75.0000 | MISSING |

# BIJLAGE V (behorende bij hfst. 9)

```

Stream-Sum.Main
Display ALLSTREAMS DIALAC LACTAAT MELKZUUR WATER
Units: From B1 B2 B1
TFF: *SYSTEM* To B1 B2 B1
Phase LIQUID LIQUID LIQUID VAPOR
Substream: MIXED
Mole Flow KMOL/SEC
WATER .245192E-3 9.45394E-3 9.45394E-3 .235518E-3
LACTAAT 9.94308E-3 9.94308E-3 9.94308E-3 1.4475E-10
AZION 4.44070E-4 2.81225E-4 2.81225E-4 1.4284E-4
MIEREZ 3.75409E-4 2.74042E-5 2.74042E-5 5.52605E-4
Total Flow KMOL/SEC .256178E-3 .019925E-3 .019925E-3 .236253E-3
Total Flow KG/SEC 5.34793E-3 1.06952E-3 1.06952E-3 4.27840E-3
Total Flow CUM/SEC 5.33346E-3 1.02908E-3 1.02908E-3 7.32378E-3
Temp K 318.1500 392.7599 300.0000 372.8473
Press N/SEC 1.00000E+5 1.00000E+5 1.00000E+5 1.00000E+5
Vfrac 0.0 0.0 0.0 1.000000
Lfrac 1.000000 1.000000 1.000000 0.0
Cfrac 0.0 0.0 0.0 0.0
K:Help/MM K2:Field Edit K3:Browse Input/Results K4:Next K5:List RunID:
K6:Services K7: K8:Edit Menu/Comments K9:Prev Menu K0:Cond DEST:
Select display option. ALLSTREAMS - Display all streams; STREAMS - Enter
display streams. List field

```

14 47

```

Report for Block: B1 Model:Dial
Description: Units:
Dial.Results
Convergence Status: Block Completed Normally
Property Status: OK
Reboiler Duty 2.04372E+7 WATT
Condenser Duty 9.45394E+6 WATT
Feed Stage Temperature 318.1548 K
Top Stage Temperature 372.8473 K
Bottom Stage Temperature 392.7599 K
Feed Quality -.1092249
K:Help/MM K2:Field Edit K3:Browse Input/Results K4:Next K5:List RunID:
K6:Services K7: K8:Edit Menu/Comments K9:Prev Menu K0:Cond DEST:

```

```

Report for Block: B2 Model:Heater
Description: Units:
Heater.Results
Convergence Status: Block Completed Normally
Property Status: OK
Two phase calculation, TP spec'd
Outlet Temperature 300.0000 K
Outlet Pressure 1.00000E+5 N/SEC
Heat Duty -2.7080E+5 WATT
Vapor Fraction 0.0
1st Liquid/Total Liquid 1.000000
K:Help/MM K2:Field Edit K3:Browse Input/Results K4:Next K5:List RunID:
K6:Services K7: K8:Edit Menu/Comments K9:Prev Menu K0:Cond DEST:

```

# BIJLAGE VI (behorende bij hfst. 10)

## TABLE OF CONTENTS

|                                        |   |
|----------------------------------------|---|
| RUN CONTROL SECTION.....               | 1 |
| RUN CONTROL INFORMATION.....           | 1 |
| BLOCK STATUS.....                      | 1 |
| FLOWSHEET SECTION.....                 | 2 |
| FLOWSHEET CONNECTIVITY BY STREAMS..... | 2 |
| FLOWSHEET CONNECTIVITY BY BLOCKS.....  | 2 |
| COMPUTATIONAL SEQUENCE.....            | 2 |
| OVERALL FLOWSHEET BALANCE.....         | 2 |
| PHYSICAL PROPERTIES SECTION.....       | 3 |
| COMPONENTS.....                        | 3 |
| U-O-S BLOCK SECTION.....               | 4 |
| BLOCK: P8    MODEL: PUMP.....          | 4 |
| STREAM SECTION.....                    | 5 |
| IN UIT.....                            | 5 |

### RUN CONTROL SECTION

#### RUN CONTROL INFORMATION

### FLOWSHEET SECTION

#### FLOWSHEET CONNECTIVITY BY STREAMS

| STREAM | SOURCE | DEST | STREAM | SOURCE | DEST |
|--------|--------|------|--------|--------|------|
| IN     | ---    | P8   | UIT    | P8     | ---  |

#### FLOWSHEET CONNECTIVITY BY BLOCKS

| BLOCK | INLETS | OUTLETS |
|-------|--------|---------|
| P8    | IN     | UIT     |

#### COMPUTATIONAL SEQUENCE

#### SEQUENCE USED WAS:

P8

#### OVERALL FLOWSHEET BALANCE

#### \*\*\* MASS AND ENERGY BALANCE \*\*\*

|                                      | IN            | OUT           | RELATIVE DIFF. |
|--------------------------------------|---------------|---------------|----------------|
| CONVENTIONAL COMPONENTS (KMOL/HR )   |               |               |                |
| WATER                                | 3080.29       | 3080.29       | 0.000000E+00   |
| SUBTOTAL(KMOL/HR )                   | 3080.29       | 3080.29       | 0.000000E+00   |
| (KG/HR )                             | 55491.5       | 55491.5       | 0.000000E+00   |
| NON-CONVENTIONAL COMPONENTS (KG/HR ) |               |               |                |
| CELLS                                | 0.000000E+00  | 0.000000E+00  | 0.000000E+00   |
| SUBTOTAL(KG/HR )                     | 0.000000E+00  | 0.000000E+00  | 0.000000E+00   |
| TOTAL BALANCE                        |               |               |                |
| MASS(KG/HR )                         | 55491.5       | 55491.5       | 0.000000E+00   |
| ENTHALPY(KCAL/HR )                   | -0.209230E+09 | -0.209228E+09 | -0.102274E-04  |

### PHYSICAL PROPERTIES SECTION

#### COMPONENTS

|       |                 |         |               |  |             |
|-------|-----------------|---------|---------------|--|-------------|
| ----- |                 |         |               |  |             |
| ID    | TYPE            | FORMULA | NAME OR ALIAS |  | REPORT NAME |
| WATER | C               | H2O     | H2O           |  | WATER       |
| CELLS | NC              |         | MISSING       |  | CELLS       |
| ID    | ATTRIBUTE TYPES |         |               |  |             |
| CELLS | BIOCOMP         |         |               |  |             |

# U-O-S BLOCK SECTION

BLOCK: P8      MODEL: PUMP

-----

INLET STREAM:      IN  
 OUTLET STREAM:      UIT  
 PROPERTY OPTION SET: BPSOP0    IDEAL LIQUID / IDEAL GAS

## \*\*\* MASS AND ENERGY BALANCE \*\*\*

|                       | IN            | OUT           | RELATIVE DIFF. |
|-----------------------|---------------|---------------|----------------|
| CONV. COMP.(KMOL/HR ) | 3080.29       | 3080.29       | 0.000000E+00   |
| (KG/HR )              | 55491.5       | 55491.5       | 0.000000E+00   |
| NONCONV. COMP(KG/HR ) | 0.000000E+00  | 0.000000E+00  | 0.000000E+00   |
| TOTAL BALANCE         |               |               |                |
| MASS(KG/HR )          | 55491.5       | 55491.5       | 0.000000E+00   |
| ENTHALPY(KCAL/HR )    | -0.209230E+09 | -0.209228E+09 | -0.102274E-04  |

## \*\*\* INPUT DATA \*\*\*

|                        |         |
|------------------------|---------|
| PRESSURE CHANGE (ATM ) | 1.00000 |
| DRIVER EFFICIENCY      | 1.00000 |

FLASH SPECIFICATIONS:  
 LIQUID PHASE CALCULATION  
 NO FLASH PERFORMED  
 MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS      30  
 TOLERANCE      0.000100000

## \*\*\* RESULTS \*\*\*

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| VOLUMETRIC FLOW RATE (L/HR ) | 57,000.0 |
| PRESSURE CHANGE (ATM )       | 1.00000  |
| FLUID POWER (KW )            | 1.60431  |
| BRAKE POWER (KW )            | 2.48865  |
| ELECTRICITY (KW )            | 2.48865  |
| PUMP EFFICIENCY USED         | 0.64465  |
| NET WORK (KW )               | -2.48865 |

# STREAM SECTION

IN UIT

-----

|               |           |           |
|---------------|-----------|-----------|
| STREAM ID     | IN        | UIT       |
| FROM :        | ----      | P8        |
| TO :          | P8        | ----      |
| CLASS:        | CONV-NC   | CONV-NC   |
| TOTAL STREAM: |           |           |
| KG/HR         | 5.5492+04 | 5.5492+04 |

|                     |            |            |
|---------------------|------------|------------|
| KCAL/HR             | -2.0923+08 | -2.0923+08 |
| SUBSTREAM: CONV     |            |            |
| PHASE:              | LIQUID     | LIQUID     |
| COMPONENTS: KMOL/HR |            |            |
| WATER               | 3080.2949  | 3080.2949  |
| TOTAL FLOW:         |            |            |
| KMOL/HR             | 3080.2949  | 3080.2949  |
| KG/HR               | 5.5492+04  | 5.5492+04  |
| L/HR                | 5.7000+04  | 5.7002+04  |
| STATE VARIABLES:    |            |            |
| TEMP C              | 45.0000    | 45.0390    |
| PRES ATM            | 1.0000     | 2.0000     |
| VFRAC               | 0.0        | 0.0        |
| LFRAC               | 1.0000     | 1.0000     |
| SFRAC               | 0.0        | 0.0        |
| ENTHALPY:           |            |            |
| CAL/MOL             | -6.7924+04 | -6.7924+04 |
| CAL/GM              | -3770.4353 | -3770.3967 |
| KCAL/HR             | -2.0923+08 | -2.0923+08 |
| ENTROPY:            |            |            |
| CAL/MOL-K           | -42.4047   | -43.7751   |
| CAL/GM-K            | -2.3538    | -2.4299    |
| DENSITY:            |            |            |
| MOL/CC              | 5.4040-02  | 5.4038-02  |
| GM/CC               | 0.9735     | 0.9735     |
| AVG MW              | 18.0150    | 18.0150    |

# TABLE OF CONTENTS

|                                        |   |
|----------------------------------------|---|
| RUN CONTROL SECTION.....               | 1 |
| RUN CONTROL INFORMATION.....           | 1 |
| BLOCK STATUS.....                      | 1 |
| FLowsheet SECTION.....                 | 2 |
| FLowsheet CONNECTIVITY BY STREAMS..... | 2 |
| FLowsheet CONNECTIVITY BY BLOCKS.....  | 2 |
| COMPUTATIONAL SEQUENCE.....            | 2 |
| OVERALL FLOWSHEET BALANCE.....         | 2 |
| PHYSICAL PROPERTIES SECTION.....       | 3 |
| COMPONENTS.....                        | 3 |
| U-O-S BLOCK SECTION.....               | 4 |
| BLOCK: B1    MODEL: CSTERILE.....      | 4 |
| STREAM SECTION.....                    | 6 |
| FEED PRODUKT.....                      | 6 |

## OVERALL FLOWSHEET BALANCE

\*\*\* MASS AND ENERGY BALANCE \*\*\*

|                                    | IN            | OUT           | RELATIVE DIFF. |
|------------------------------------|---------------|---------------|----------------|
| CONVENTIONAL COMPONENTS (KMOL/HR ) |               |               |                |
| WATER                              | 1108.03       | 1108.03       | 0.000000E+00   |
| SUBTOTAL(KMOL/HR )                 | 1108.03       | 1108.03       | 0.000000E+00   |
| (KG/HR )                           | 19961.2       | 19961.2       | 0.000000E+00   |
| TOTAL BALANCE                      |               |               |                |
| MASS(KG/HR )                       | 19961.2       | 19961.2       | 0.000000E+00   |
| ENTHALPY(KCAL/HR )                 | -0.757488E+08 | -0.755564E+08 | -0.253961E-02  |

## PHYSICAL PROPERTIES SECTION

BLOCK: B1    MODEL: CSTERILE

-----  
 INLET STREAM:    FEED  
 OUTLET STREAM:    PRODUKT  
 PROPERTY OPTION SET: BPSOP0

\*\*\* MASS AND ENERGY BALANCE \*\*\*

| REAL COMPONENTS (KG/HR ) | IN            | OUT           | PRODUCED     |
|--------------------------|---------------|---------------|--------------|
| TOTAL                    | 19961.2       | 19961.2       | 0.279464E-12 |
| ENTHALPY (KCAL/HR )      | -0.757488E+08 | -0.755564E+08 | 192372.      |
| DUTY (KCAL/HR )          |               |               | -192372.     |

## \*\*\* INPUT DATA \*\*\*

|                     |       |             |
|---------------------|-------|-------------|
| HOLDING TEMPERATURE | C     | 125.00      |
| OUTLET TEMPERATURE  | C     | 30.000      |
| PRESSURE            | ATM   | 1.0000      |
| TYPE                |       | PLUG        |
| DIAMETER            | METER | 0.25000E-01 |

|                            |             |
|----------------------------|-------------|
| INLET MICROORG. CONC. NO/L | 0.10000E+10 |
| INTERVAL HR                | 10.000      |
| NUMBER OF POINTS           | 10          |

DEATH KINETICS :  
DEATH MODEL: LOG

|                     |      |          |         |
|---------------------|------|----------|---------|
|                     | K    | LN(A)    | E       |
|                     | 1/HR | LN(1/HR) | CAL/MOL |
| DEATH REACTION RATE | ---  | 96.500   | 71000.  |

\*\*\* RESULTS \*\*\*

|                         |             |
|-------------------------|-------------|
| CALCULATED PRESSURE ATM | 2.2832      |
| LENGTH METER            | 1853.6      |
| EXIT STERILITY LEVEL    | 0.44612E-14 |
| FLUID VELOCITY M/SEC    | 12.685      |
| RESIDENCE TIME HR       | 0.40592E-01 |
| REYNOLDS NUMBER         | 0.13251E+07 |
| HEAT DUTY KCAL/HR       | 0.21502E+07 |
| COOLING DUTY KCAL/HR    | 0.19578E+07 |

\*\*\*\*\* RESULTS PROFILES \*\*\*\*\*

\*\* STERILITY PROFILE \*\*

| LENGTH<br>METER | STERILITY LEVEL<br>N/NFEED |
|-----------------|----------------------------|
| 0.00000E+00     | 1.0000                     |
| 185.36          | 0.36724E-01                |
| 370.72          | 0.13486E-02                |
| 556.08          | 0.49526E-04                |
| 741.44          | 0.18188E-05                |
| 926.79          | 0.66792E-07                |
| 1112.2          | 0.24529E-08                |
| 1297.5          | 0.90078E-10                |
| 1482.9          | 0.33080E-11                |
| 1668.2          | 0.12148E-12                |
| 1853.6          | 0.44612E-14                |

STREAM SECTION

FEED PRODUKT

-----

|               |            |            |
|---------------|------------|------------|
| STREAM ID     | FEED       | PRODUKT    |
| FROM :        | ----       | B1         |
| TO :          | B1         | ----       |
| CLASS:        | CONV-NC    | CONV-NC    |
| TOTAL STREAM: |            |            |
| KG/HR         | 1.9961+04  | 1.9961+04  |
| KCAL/HR       | -7.5749+07 | -7.5556+07 |

SUBSTREAM: CONV

PHASE: LIQUID LIQUID

COMPONENTS: KMOL/HR

|       |           |           |
|-------|-----------|-----------|
| WATER | 1108.0340 | 1108.0340 |
|-------|-----------|-----------|

TOTAL FLOW:

|         |           |           |
|---------|-----------|-----------|
| KMOL/HR | 1108.0340 | 1108.0340 |
|---------|-----------|-----------|

|       |           |           |
|-------|-----------|-----------|
| KG/HR | 1.9961+04 | 1.9961+04 |
|-------|-----------|-----------|

|      |           |           |
|------|-----------|-----------|
| L/HR | 2.0005+04 | 2.0200+04 |
|------|-----------|-----------|

STATE VARIABLES:

|        |         |         |
|--------|---------|---------|
| TEMP C | 20.0000 | 30.0000 |
|--------|---------|---------|

|          |        |        |
|----------|--------|--------|
| PRES ATM | 1.0000 | 1.0000 |
|----------|--------|--------|

|       |     |     |
|-------|-----|-----|
| VFRAC | 0.0 | 0.0 |
|-------|-----|-----|

|       |        |        |
|-------|--------|--------|
| LFRAC | 1.0000 | 1.0000 |
|-------|--------|--------|

|       |     |     |
|-------|-----|-----|
| SFRAC | 0.0 | 0.0 |
|-------|-----|-----|

ENTHALPY:

|         |            |            |
|---------|------------|------------|
| CAL/MOL | -6.8362+04 | -6.8189+04 |
|---------|------------|------------|

|        |            |            |
|--------|------------|------------|
| CAL/GM | -3794.7397 | -3785.1025 |
|--------|------------|------------|

|         |            |            |
|---------|------------|------------|
| KCAL/HR | -7.5749+07 | -7.5556+07 |
|---------|------------|------------|

ENTROPY:

|           |          |          |
|-----------|----------|----------|
| CAL/MOL-K | -46.6276 | -44.8665 |
|-----------|----------|----------|

|          |         |         |
|----------|---------|---------|
| CAL/GM-K | -2.5882 | -2.4905 |
|----------|---------|---------|

DENSITY:

|        |           |           |
|--------|-----------|-----------|
| MOL/CC | 5.5388-02 | 5.4853-02 |
|--------|-----------|-----------|

|       |        |        |
|-------|--------|--------|
| GM/CC | 0.9978 | 0.9881 |
|-------|--------|--------|

|        |         |         |
|--------|---------|---------|
| AVG MW | 18.0150 | 18.0150 |
|--------|---------|---------|

SUBSTREAM: CONV

PHASE: LIQUID LIQUID

COMPONENTS: KMOL/HR

WATER 1108.0340 1108.0340

TOTAL FLOW:

KMOL/HR 1108.0340 1108.0340

KG/HR 1.9961+04 1.9961+04

L/HR 2.0005+04 2.0200+04

STATE VARIABLES:

TEMP C 20.0000 30.0000

PRES ATM 1.0000 1.0000

VFRAC 0.0 0.0

LFRAC 1.0000 1.0000

SFRAC 0.0 0.0

ENTHALPY:

CAL/MOL -6.8362+04 -6.8189+04

CAL/GM -3794.7397 -3785.1025

KCAL/HR -7.5749+07 -7.5556+07

ENTROPY:

CAL/MOL-K -46.6276 -44.8665

CAL/GM-K -2.5882 -2.4905

DENSITY:

MOL/CC 5.5388-02 5.4853-02

GM/CC 0.9978 0.9881

AVG MW 18.0150 18.0150

