

## SAMMENDRAG

Hydro sin VCM-fabrikk på Rafnes er en del av et større fabrikk-kompleks, og produktet VCM blir benyttet som råstoff i PVC-produksjon. HCl-kolonna i fabrikk som fjerner saltsyra fra VCM og EDC ved destillasjon har hatt en del problemer med temperatureguleringene i topp og bunn på grunn av interaksjoner mellom dem. Målet med denne oppgaven er å se på muligheter for å minimere denne interaksjonen ved å optimalisere tuningene på regulatorene rundt kolonna, og mulig endring av målepunkter. I tillegg er det sett på om dagens fødepunktplassering er den optimale med hensyn på energiforbruk i koker og kondensator.

Simuleringer av kolonna er utført i prosess-simuleringsprogrammet HYSYS.Plant. Dette var ikke et program forfatterne av denne rapporten var kjent med på forhånd, så arbeidet med rapporten har vært preget av mye læring om datasimulering av prosesser underveis.

Mye av arbeidet har bestått i å skape en stabil dynamisk modell, og å gjenskape temperatur- og trykkprofil tilnærmet den reelle kolonna. Dette har vært gjort ved å sammenligne data fra HYSYS med faktiske data fra anlegget på Rafnes. Det har også vært tilgjengelig responser fra ulike steptester utført på kolonna på oppdrag av Hydro.

Det er funnet at en total platevirkningsgrad på 0.67 bestemt av Skogestad i 1981, ikke gir den beste modellen for temperaturprofilen på dagens kolonne. Dette på grunn av at modifikasjoner utført senere har endret profilet. En Murphree virkningsgrad på 0.885 gir en bedre modell av temperaturprofilet av kolonna slik den står i dag, i følge simuleringer i HYSYS.

Det har vært gjort studier på kolonna før, da spesielt rundt fødepunktplasseringen, og våre data konkluderer med at fødene er tilnærmet optimalt plassert i dag. Det er heller ikke store økonomiske tap på kolonna med hensyn på tapt produkt i topp. 10 ppm med VCM tilsvarer kun et tap på ca. 1500 kroner i året.

Det viste seg at fjerning av mikseren i 1998 har gitt en reell energigevinst, beregnet i HYSYS til å være på ca. 450 000 kroner årlig. I følge beregningene er det potensiale til å spare inn ytterligere ca. 60 000 kroner årlig ved flytting av føde F34 og F20Retur, i tillegg til å fjerne den siste mikseren. Dette vil være en økonomisk vurdering ut i fra kostnader på flytting av fødene. Tallene bør verifiseres med en simulering med mer nøyaktige driftsdata.

Fra en RGA-analyse ble det funnet at kolonnen har store interaksjoner mellom temperatur-reguleringene i topp og bunn som gir ustabilitet hvis ikke tuningene på de to regulatorene er tilpasset hverandre. Temperatursløyfen i bunn må tunes noe raskere enn den i topp. Dette ble også vist i simuleringer. Dette er ikke tilfelle i dagens anlegg, og det anbefales å forsøke dette for å få en mer stabil regulering.

---



# Innhold

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Innledning</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2. Teori</b>  | <b>5</b>  |
| 2.1 Regulering av destillasjonskolonnen .....                              | 5         |
| 2.2 Analyser av destillasjonskolonne.....                                  | 5         |
| 2.2.1 Relativ flyktighet og separasjonsfaktor .....                        | 5         |
| 2.2.2 Minimum antall trinn, $N_{\min}$ .....                               | 6         |
| 2.2.3 RGA-analyse .....  | 6         |
| 2.2.4 Strategi for å redusere interaksjoner mellom reguleringsløyper ..... | 7         |
| 2.3 Skogestads tuningregler .....  | 8         |
| 2.3.1 1. ordens prosess med dødtid .....                                   | 8         |
| 2.3.2 Integrerende prosess med dødtid .....                                | 9         |
| 2.4 Virkningsgrad .....  | 9         |
| 2.4.1 Total virkningsgrad .....  | 9         |
| 2.4.2 Murphree's platevirkningsgrad .....                                  | 10        |
| 2.4.3 Dynamisk simulering .....  | 10        |
| 2.5 Litt om optimal fødeplassing .....                                     | 11        |
| <b>3. Prosessbeskrivelse</b>   | <b>13</b> |
| 3.1 Generell beskrivelse av VCM-fabrikken .....                            | 13        |
| 3.2 Beskrivelse av HCl-kolonne .....                                       | 14        |
| 3.3 Drift av kolonnen siden 1981.....                                      | 15        |
| 3.4 Problemområde.....   | 15        |
| 3.5 Modifikasjoner foreslått av Sauar.....                                 | 15        |
| <b>4. Eksperimentelt</b>   | <b>17</b> |
| 4.1 Stasjonær simulering.....  | 17        |
| 4.1.1 Valg av termodynamisk modell med tilhørende parametere. ....         | 17        |
| 4.1.2 Tilpassing av tempprofil .....                                       | 17        |
| 4.2 Optimalisering av kolonnen.....  | 20        |
| 4.2.1 Vurdering av modifikasjoner anbefalt av Sauar .....                  | 20        |
| 4.2.2 Ytterligere optimalisering av kolonnen .....                         | 20        |
| 4.2.3 Vudering av besparelser ved endring av spesifikasjoner .....         | 21        |
| 4.3 Regulering av kolonnen, dynamisk simulering .....                      | 21        |
| 4.3.1 Tilpassing av stasjonær modell for dynamisk simulering .....         | 21        |
| 4.3.2 Dimensjonering av kolonnen. ....                                     | 23        |
| 4.3.3 Valg av reguleringsstruktur. ....                                    | 23        |
| 4.3.4 Tuning av regulatorer. ....  | 23        |
| 4.3.5 Raskhet på nedre sløyfe .....  | 23        |
| 4.3.6 Måleplassering. ....   | 24        |
| 4.3.7 Sammenligning med Hydros tuninger .....                              | 24        |
| 4.4 Steptester og endringer i føden .....                                  | 24        |
| 4.5 Steptester til RGA-analyser .....                                      | 25        |
| 4.6 Analyse av HCl-kolonnen.....   | 25        |
| <b>5. Resultater</b>   | <b>27</b> |
| 5.1 Teoretiske beregninger.....  | 27        |
| 5.1.1 Separasjon og minimum antall teoretiske trinn .....                  | 27        |
| 5.1.2 Transferfunksjoner til kolonna .....                                 | 27        |
| 5.1.3 RGA-analyser .....   | 28        |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.2 Stasjonær simulering .....   | 28        |
| 5.2.1 Energibesparelser ved modifikasjoner .....   | 28        |
| 5.2.2 Energi besparelser ved endring av spesifikasjoner .....  | 30        |
| 5.2.3 Sammensetningsprofil .....   | 31        |
| 5.3 Dynamisk simulering.....   | 32        |
| 5.3.1 PI-tuninger .....  | 32        |
| 5.3.2 Holdup .....   | 33        |
| 5.4 Temperaturregulering .....   | 33        |
| 5.4.1 Regulerbarhet .....  | 33        |
| 5.4.2 Simulering av forstyrrelser i fødestrøm F16 .....  | 34        |
| 5.4.3 Simuleringer av forstyrrelser i prosessstrøm H1404 .....   | 36        |
| 5.4.4 Forandring av målepunkt i topp. ....   | 37        |
| 5.4.5 Temperaturegulering med Hydro sine tuninger .....  | 38        |
| <b>6. Diskusjon</b>  | <b>41</b> |
| 6.1 Teoretiske beregninger .....   | 41        |
| 6.1.1 Minimum antall teoretiske trinn .....  | 41        |
| 6.1.2 RGA-analyse .....  | 41        |
| 6.2 Simulering av kolonnen.....  | 42        |
| 6.2.1 Temperaturprofil .....   | 42        |
| 6.2.2 Spesifikasjoner på renheter i topp og bunn av kolonnen .....   | 42        |
| 6.3 Optimalisering av kolonnen .....   | 43        |
| 6.3.1 Simulering 1 utgangspunktet .....  | 43        |
| 6.3.2 Bytting av F34 og F30, simulering 2 .....  | 43        |
| 6.3.3 Direkte føding av strøm fra V-1402 .....   | 43        |
| 6.3.4 Flytting av føder med eksisterende fødestusser som begrensning .....   | 43        |
| 6.3.5 Fjerning av den siste mixeren og direkte føding av strøm fra H-1404 ...                                      | 43        |
| 6.3.6 Optimalisering av anlegget med den siste blandingen, og uten eksisterende fødestusser som begrensning .....  | 44        |
| 6.3.7 Optimalisering av anlegget uten den siste blandingen, og uten eksisterende fødestusser som begrensning ..... | 44        |
| 6.4 Reguleringsstruktur .....  | 44        |
| 6.5 Dynamisk simulering.....   | 44        |
| 6.5.1 Implementering av dynamisk modell i HYSYS .....  | 44        |
| 6.5.2 Regulerings strategi for lukket sløyfe interaksjoner .....   | 45        |
| 6.5.3 Tuning .....   | 45        |
| 6.6 Temperaturreguleringen .....   | 45        |
| 6.6.1 Tuning .....   | 45        |
| 6.6.2 Regulerbarhet .....  | 46        |
| 6.6.3 Forandring av målepunkt .....  | 46        |
| 6.6.4 Temperaturegulering med Hydro sine tuninger .....  | 47        |
| <b>7. Konklusjon</b>   | <b>49</b> |
| <b>Symbolliste</b>   | <b>51</b> |
| <b>Litteraturliste</b>   | <b>53</b> |
| <b>Bilag</b>   | <b>55</b> |

# 1. INNLEDNING

Prosjektet er gjennomført som en del av faget 52073 Kjemiteknikk prosjekt ved Institutt for Kjemisk Prosessteknologi, Fakultet for Kjemi og Biologi, NTNU. Oppgaven innbefatter å se på design og regulering av HCl-kolonna i VCM-fabrikken ved Hydro Rafnes.

I VCM fabrikken ved Hydro Rafnes reagerer etylen og klor til EDC som videre spaltes ved cracking til VCM og HCl. I HCl-kolonna blir saltsyra fjernet fra VCM og uomsatt EDC ved destillasjon. HCl føres til oksykloreringsanlegget hvor HCl sammen med oksygen i tilført luft og etylen reagerer til mer EDC og vann. Etter rensing og utskillingen føres ren EDC sammen med EDC-strømmen fra direkte kloreringsanlegget til crackeravsnittet.

I oppgaven er det spesielt lagt vekt på fødepunkts plasseringen og temperaturreguleringen på kolonna. Fødepunkts plasseringen ble simulert stasjonært, mens reguleringen ble simulert dynamisk. Til simulering av kolonna ble prosess-simuleringsprogrammet HYSYS.Plant benyttet, og mye av arbeidet besto i å få implementert den stasjonære og dynamiske modellen av kolonna. Forfatterene av rapporten hadde lite erfaring med dette simuleringsprogrammet i forkant av prosjektet. Prosjektet er en videreføring av tidligere forskning på kolonna utført av Skogestad i 1981 og Sauar i 1995.

Det ble valgt å kun simulere et utdrag av prosessen. Selve kolonna og noe av prosessen før for å få reelle fødestrømmer.

Det er tatt utgangspunkt i Sauars diplomoppgave fra 1995<sup>[3]</sup>, som førte til en del ombygginger av anlegget i 1998. Modelleringen av kolonna har tatt utgangspunkt i Skogestad sine resultater fra 1981<sup>[1],[2]</sup>. Data benyttet i simuleringen er hentet fra en tidligere utført simulering i ASPEN, bilag P. Teori er hentet fra Skogestad et al.<sup>[4],[6],[7]</sup> og Roald<sup>[5]</sup>. En del reelle data er også innhentet fra Hydro som sammenligningsgrunnlag for egne resultater.

Det ble valgt å prioritere arbeidet med den dynamiske modellering- og reguleringsbiten da dette var mest interessant med tanke på det ønskede faglige utbyttet for forfatterene.



## 2. TEORI

### 2.1 Regulering av destillasjonskolonnen

En standard to-produktsdestillasjon kan stasjonært sees på som et 5x5 reguleringsproblem. I en slik kolonne har man typisk fem frihetsgrader representert ved:

- 1.Refluxventil, L.
- 2.Destillatventil, D.
- 3.Kjøling i kondensator,  $V_T$ .
- 4.Oppkok i koker, V.
- 5.Bunnproduktsventil, B.

Disse pådragene brukes til å regulere nivå i topp og bunn, sammensetning i topp og bunn og trykket i kolonnen. Antar her fødestrømmen som gitt, denne vil derfor ikke påvirke antall frihetsgrader. I et system som beskrevet har man 5! eller 120 mulige "single input", "singel output" kombinasjoner å regulere kolonnen med. På grunn av ulike begrensninger, står man igjen men noen få reguleringsstrukturer. Eksempler på dette er LV-konfigurasjon, DV-konfigurasjon, DB-konfigurasjon og  $(L/D) \cdot (V/B)^{[6]}$ .

Ved for eksempel å bruke destillatventil, bunnproduktsventil og kjølingen i kondensator til å regulere trykk og nivå i topp og bunn, har man oppkok, V, og refluxventilen, L, som gjenværende pådrag. Disse to pådragene er uavhengige og brukes til sammensetningskontroll, herav navnet LV-konfigurasjon.

Dynamisk vil nivå og trykk variere og en må regulere alle fem pådrag(L,V, $V_T$ ,D og B) for å holde de fem målingene nær ønsket verdi(nivå i topp og bunn, trykk, renhet i topp og bunn). Dynamisk har en dermed ingen frihetsgrader, men må derimot tilpasse regulatorinnstillinger for å oppnå ønskede reguleringsmål.

### 2.2 Analyser av destillasjonskolonne

#### 2.2.1 Relativ flyktighet og separasjonsfaktor

I kolonna er gass-væske likevekten gitt ved flyktigheten,  $\alpha$ , mellom tung og lett komponent:

$$\alpha = \frac{y_L}{x_L} \times \frac{x_H}{y_H} \quad (2.1)$$

I ideelle blandinger er  $\alpha$  lik forholdet mellom damptrykkene av de rene komponentene ved en gitt temperatur. Kreftene mellom alle molekylerne er her like store. Definisjonsmessig kan ingen blanding være ideell, avviket fra idealitet er imidlertid mindre jo nærmere beslektet stoffene er.

For å beskrive graden av separasjon mellom to komponenter i kolonna benyttes separasjonsfaktoren,  $S$ :

$$S = \frac{(x_L/x_H)_{topp}}{(x_L/x_H)_{bunn}} \quad (2.2)$$

### 2.2.2 Minimum antall trinn, $N_{min}$

Minimum antall teoretiske trinn i kolonna,  $N_{min}$  ved å anta uendelig refluks er gitt ved:

$$N_{min} = \frac{\ln S}{\ln \alpha} \quad (2.3)$$

Typisk vil antall teoretiske trinn i kolonna være  $N=2N_{min}$ .

### 2.2.3 RGA-analyse

RGA-analyse (relative gain array) ved stasjonære forhold kan brukes til å analysere ulike reguleringstrukturer i destillasjonskolonnen, dvs de beste parringene mellom pådrag og utganger. En RGA-analyse av de ulike konfigurasjonene kan også gi indikasjon på hvilke interaksjoner man kan få i kolonnen. Analysen kan utføres på ulike metoder, hvorav tre her er nevnt.

Den relative forsterkningen  $\lambda_{ij}$  mellom kontrollert variabel  $C_i$  og den manipulerede variabelen  $M_j$  er definert til å være et dimensjonsløst forhold mellom to stasjonære forsterkninger:

$$\lambda_{ij} = \frac{\left( \frac{\partial C_i}{\partial M_j} \right)_M}{\left( \frac{\partial C_i}{\partial M_j} \right)_C} = \frac{\text{åpen sløyfe regulering}}{\text{lukket sløyfe regulering}} \quad (2.4)$$

$i=1,2,\dots,n$  og  $j=1,2,\dots,n$

En RGA-matrise kan også beregnes utfra formelen:  $\Lambda(s) = G(s) \times (G^{-1}(s))^T$  (2.5)

hvor  $G$  er prosessens transferfunksjoner og  $x$  impliserer element til element produkt,  $s=0$  ved stasjonærtilstand.



En LV-konfigurasjon i stasjonær tilstand gir to frihetsgrader, L og V, til å regulere sammensetning i topp( $x_D$ ) og i bunn( $x_B$ ). Effekten av små endringer i L og V på sammensetningen kan uttrykkes lineært:

$$dx_D = g_{11}dL + g_{12}dV \quad (2.6)$$

$$dx_B = g_{21}dL + g_{22}dV \quad (2.7)$$

der f. eks  $g_{11}$  er effekten av en liten endring i L på  $x_D$  med V konstant. På matriseform kan dette skrives:

$$\begin{bmatrix} dx_D \\ dx_B \end{bmatrix} = G^{LV} \begin{bmatrix} dL \\ dV \end{bmatrix} \quad G^{LV} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

RGA inneholder de relative forsterkninger,  $\lambda_{ij}$  som forteller hvordan  $g_{ij}$  forandrer seg når de andre sløyfene lukkes. Summen av rader og kolonner i RGA blir alltid 1, og den kan derfor skrives:

$$RGA = \Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & 1 - \lambda_{11} \\ 1 - \lambda_{11} & \lambda_{11} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Det foretrekkes å parre element diagonalt som er nær 1. Negative element bør helst unngås da disse gir inversrespons. Element større enn 10 bør også unngås da disse gir store reguleringsproblemer(interaksjoner). En siste regel er å parre nært for å unngå store tidskonstanter grunnet dynamikk.

Verdier for  $\lambda_{11}$  kan approksimeres stasjonært for alle konfigurasjoner. For LV-konfigurasjon blir tilnærmelsen (her er F satt lik 1 og det antas ren væske i føde):

$$\lambda_{11}(G^{LV}) = \frac{(2/N)L(L+1)}{x_B B + D(1-x_D)} \quad (2.10)$$

#### 2.2.4 Strategi for å redusere interaksjoner mellom reguleringsløyfer

Seeborg et al<sup>[9]</sup> beskriver fire alternative strategier for å redusere interaksjoner mellom reguleringsløyfer:

1. "Detune" en eller flere tilbakekoblede regulatorer.
2. Velge andre pådrag eller målinger.
3. Vurdere bruk av dekobler
4. Vurdere å benytte multivariabel regulering.

Å "detune" vil si å bruke et konservativt valg av reguleringsparametere som gir langsommere responser. For de fleste sløyfer vil dette si å redusere  $K_c$  og å øke  $\tau_I$ .

## 2.3 Skogestads tuningregler

Da det kun er aktuelt med tuningregler for første ordens prosesser og integrerende prosesser er det kun reglene for disse som blir gjennomgått.

### 2.3.1 1. ordens prosess med dødtid

En 1. ordens prosess kan uttrykkes ved modellen

$$g(s) = \frac{k}{\tau_1 s + 1} e^{-\theta s} \quad (2.11)$$

der  $\tau_1$  = tidskonstanten til prosessen

$k$  = forsterkningen til prosessen

$\theta$  = dødtid

En PID-regulator kan uttrykkes ved modellen

$$C(s) = K_c \left( 1 + \frac{1}{\tau_I} + \tau_D s \right) \quad (2.12)$$

En ser at P- og D-virkningen vil øke med økende verdi av henholdsvis  $K_c$  og  $\tau_D$ , mens I-virkningen øker med avtagende  $\tau_I$ .

Følgende metode kan benyttes for å beregne PI-tuninger for prosessen (Skogestads tuningsregler):

#### A. Forsterkning

$$K_c = \frac{1}{k} \cdot \frac{\tau_1}{\tau_c + \theta} \quad (2.13)$$

der  $\tau_c$  er det lukkede systemets responstid. Denne blir anbefalt å være større eller lik dødtiden for å få en robust regulering. Settes den lik dødtiden gir det uttrykket,

$$K_c = \frac{0.5}{k} \cdot \frac{\tau_1}{\theta} \quad (2.14)$$

som er benyttet i beregningene i denne oppgaven.

Forsterkningen bør ikke overstige denne verdien noe særlig, men den kan reduseres for å få bedre robusthet eller for å redusere pådragsbruken.

#### B. Integraltid

Valg av integraltid avhenger av størrelsen på tidskonstanten. Hvis denne blir for stor i forhold til dødtiden kan integraltiden gi langsomme innsvingninger på forstyrrelsene. Integraltiden kan da reduseres til  $8\theta$ . En kan si som hovedregel at integraltiden velges som:

$$\tau_I = \min(\tau_1, 8\theta) \quad (2.15)$$

Dette vil gi en rask og robust regulering.

### 2.3.2 Integrerende prosess med dødtid

En integrerende prosess med dødtid gir responsen:

$$g(s) = k' \frac{e^{-\theta s}}{s} \quad (2.16)$$

Dette tilsvarer likning (2.11) med  $k' = k/\tau_1$  når  $k$  og  $\tau_1$  går mot uendelig.

Et step i pådraget på en integrerende prosess vil gi en lineær respons, med  $k'$  som stigningstall.

#### A. Forsterkning

Forsterkningen blir da gitt ved:

$$K_c = \frac{0.5}{k'} \cdot \frac{1}{\theta} \quad (2.17)$$

Der  $k'$  blir lest av fra den lineære responsen i et step i pådraget.

#### B. Integraltid

For å unngå langsomme svingninger bør en velge  $\tau_I = 8\theta$ .

## 2.4 Virkningsgrad

Det finnes flere definisjoner for virkningsgraden til en destillasjonskolonne, i dette kapittelet er to muligheter beskrevet. Generelt så avhenger virkningsgradene av bl.a. væskens viskositet, den relative flyktigheten av komponentene, væskehøyden på platene og størrelsen på gassboblene.

### 2.4.1 Total virkningsgrad

I McCabe Thieles trinnbestemmelses metode antas det likevekt mellom damp og væske som

forlater en plate, og ut ifra dette bestemmer man "antall teoretiske trinn". Den totale virkningsgraden  $\eta$  er her definert som:

$$\eta = \frac{\text{antall teoretiske plater i kolonnen}}{\text{antall reelle plater i kolonnen}} \quad (2.18)$$

Hvor "antall teoretiske plater i kolonnen" er definert som "antall teoretiske trinn-1", kokeren trekkes fra fordi man her har likevekt mellom væske og damp. Dersom det brukes en partiell kondensator må "antall teoretiske plater i kolonnen" defineres som "antall teoretiske trinn-2"

#### 2.4.2 *Murphree's platevirkningsgrad*

En annen metode å beregne virkningsgraden på er å bruke Murphree's platevirkningsgrad.

$$\eta_M = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}} \quad (2.19)$$

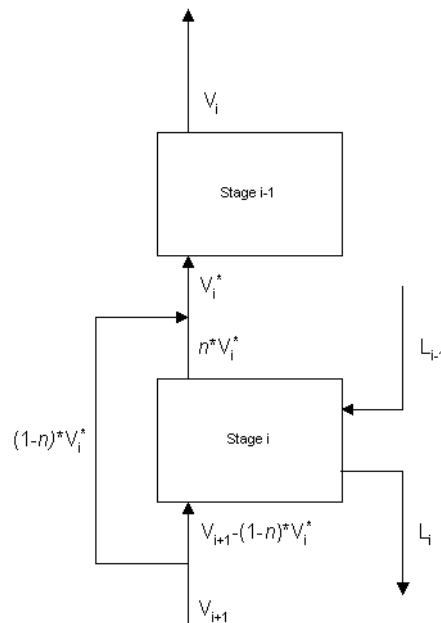
I likning (2.19) er  $y_n$  sammensetningen av damp som forlater en plate, mens  $y_n^*$  er sammensetningen som ville vært i likevekt med plate n. Virkningsgraden  $\eta_M$  blir da et mål på hvor nær man kommer likevekt på de ulike trinnene. Denne virkningsgraden kan være forskjellig fra plate til plate i samme kolonne, avhengig av sammensetningen i væsken og av strømningsforholdet på platen. Det er en modifisert Murphree virkningsgrad som benyttes av HYSYS.Plant. Det er dessverre ikke beskrevet nærmere i brukermanualen<sup>[10]</sup> hva denne modifikasjonen innebærer.

I følge litteraturen så ligger platevirkningsgraden i industrielle kolonner i området 0,6 - 0,9 når det gjelder Murphree virkningsgrad.

Det er viktig å merke seg at total virkningsgrad,  $\eta$ , og Murphree's platevirkningsgrad,  $\eta_M$ , ikke nødvendigvis er like for den samme kolonnen..

#### 2.4.3 *Dynamisk simulering*

Det er også mulig å bruke en virkningsgrad ved dynamiske simuleringer i HYSYS. Ved dynamiske simuleringer bruker HYSYS en annen modell for virkningsgraden<sup>[11]</sup>. I denne modellen føres en del av dampen forbi trinnet og er ikke i "kontakt" med væskefasen. Dampfraksjonen som går gjennom trinnet representerer virkningsgraden til trinnet som vist i figur 2.1.



Figur 2.1 Modell for virkningsgrad ved dynamisk simulering i Hysys Plant

## 2.5 Litt om optimal fødeplassering

Det er vanlig å benytte McThiele diagrammer ved design av kolonner<sup>[5]</sup>. McThiele diagrammer konstrueres ved hjelp av likevekts data. Molbrøken til den viktigste komponenten i gass plottes mot molbrøken i væske. Driftslinjene til kolonnen bestemmes ved likning (2.20)<sup>[12]</sup>.

$$\text{Topp: } y_n = \left(\frac{L}{V}\right)_T (x_{n+1} - x_D) + x_D \tag{2.20}$$

$$\text{Bunn: } y_n = \left(\frac{L}{V}\right)_B (x_{n+1} - x_B) + x_B$$

For et binært system vil det optimale fødepunktet ligge i driftslinjens skjæringspunkt. Dette gjelder tilnærmet for multikomponente systemer når det er den viktigste komponenten som betraktes<sup>[2]</sup>. Sammensetningen på den optimale fødeplaten vil tilsvare sammensetningen til føden ved flashing.



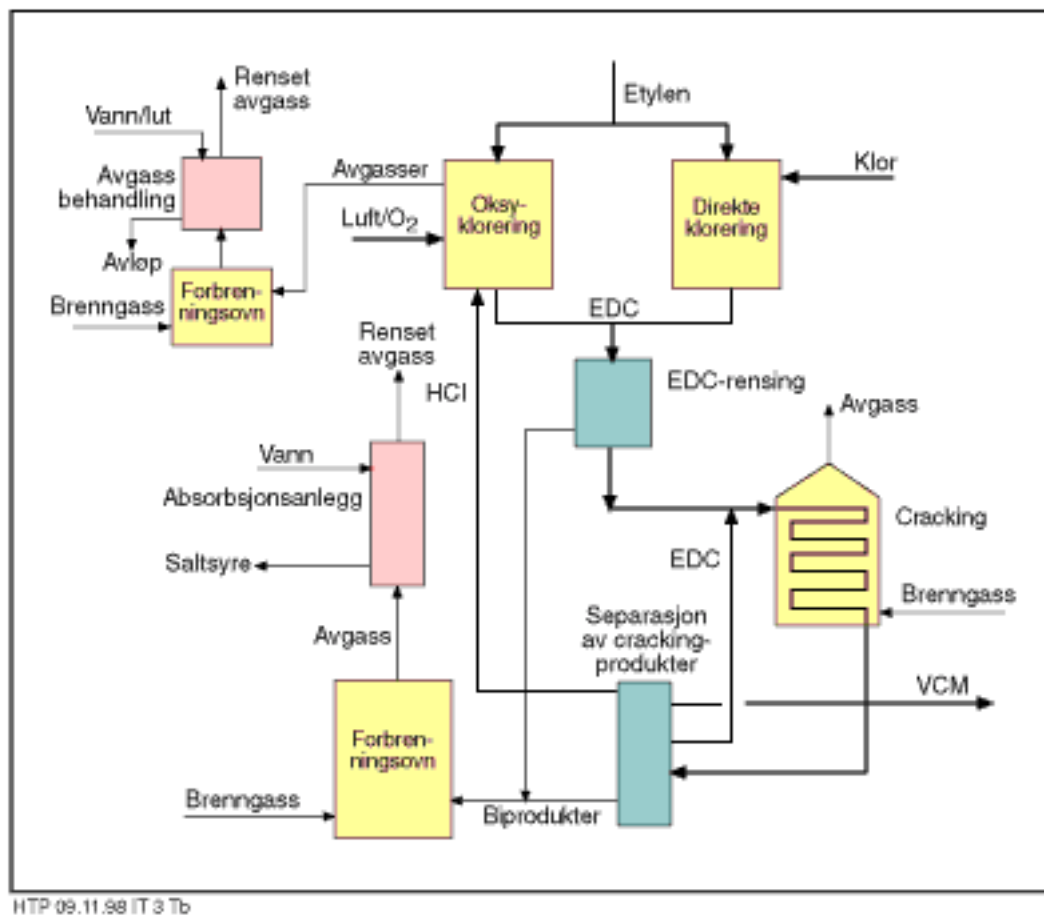
### 3. PROSESSBESKRIVELSE

#### 3.1 Generell beskrivelse av VCM-fabrikken

Etylen og klor tilføres direktekloreringsanlegget og reagerer til EDC. Dette føres videre via buffertank til crackeranlegget hvor EDC delvis spaltes til VCM og HCl. Crackingen er ikke fullstendig, og uomsatt EDC (ca.45% av føden) ledes til separasjonsanlegget hvor VCM, HCl og uomsatt EDC blir skilt fra hverandre.

HCl føres til oksykloreringsanlegget hvor HCl sammen med oksygen i tilført luft og etylen reagerer til mer EDC og vann. Etter rensing og utskillingen føres ren EDC sammen med EDC-strømmen fra direkte kloreringsanlegget til crackeravsnittet.

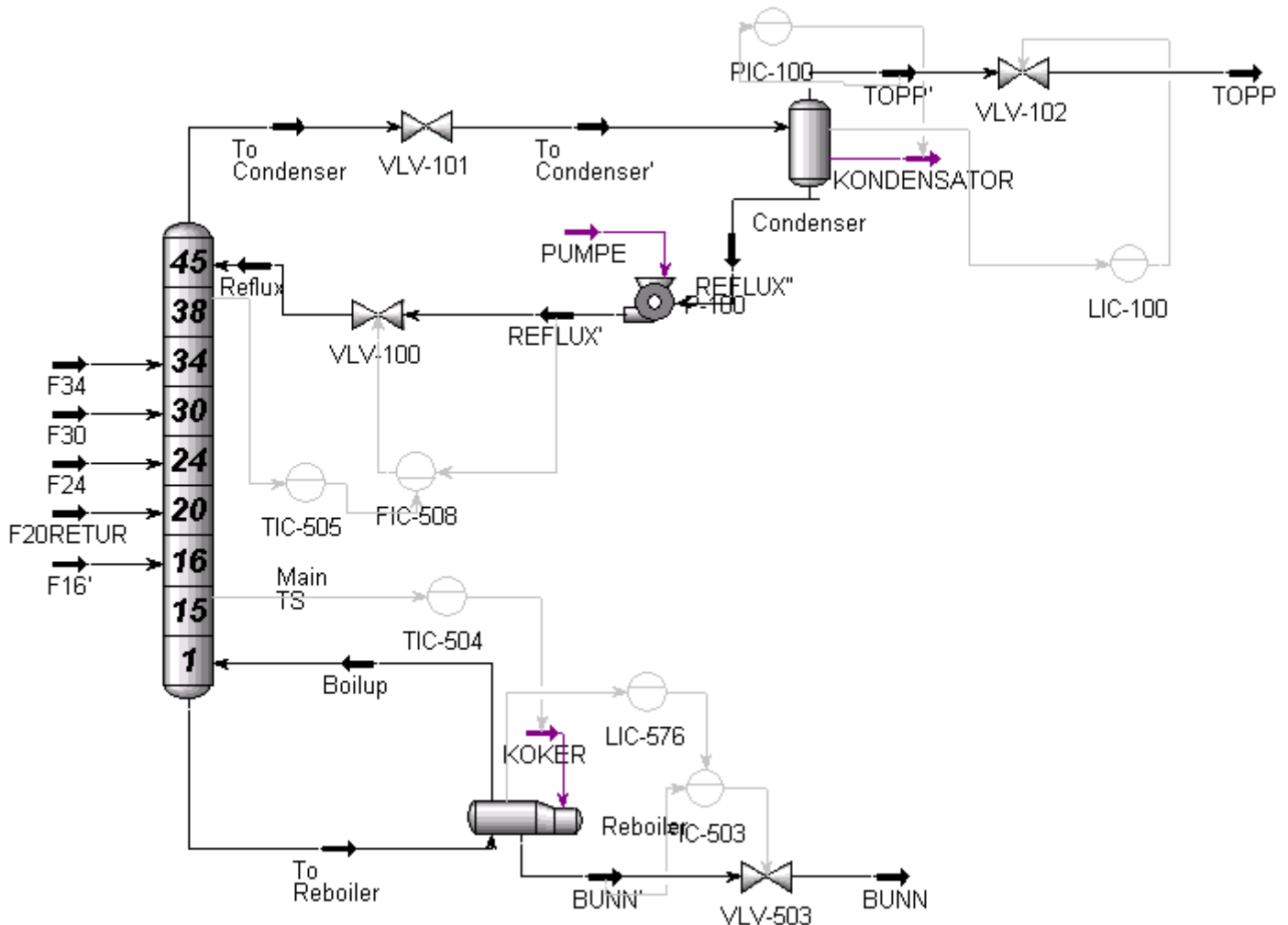
Rest-EDC etter crackere kloreres og tilbakeføres til crackeravsnittet via EDC-rensenlegget. Renset VCM fra crackeranlegget er fabrikkens hovedprodukt og føres til lagertanker, se figur 3.1.<sup>[8]</sup>



Figur 3.1 Oversikt over VCM fabrikken ved Hydro Rafnes

### 3.2 Beskrivelse av HCl-kolonne

HCl-kolonnen, figur 3.2, er en del av separasjonsanlegget hvor VCM, EDC og HCl blir skilt fra hverandre. Føden til kolonnen kommer inn på platene 16, 20, 24, 30 og 34.



Figur 3.2 HCl-kolonna med reguleringsstruktur implementert i HYSYS.Plant

Hensikten med kolonnen er å separere ut en toppstrøm med nesten ren HCl, denne strømmen blir delvis kondensert. HCl-gassen sendes videre til oksy-reaktor og kondensert HCl sendes til buffertank V-1501(250m<sup>3</sup>) hvor refluksstrømmen tas ut. Denne tanken er såpass stor for å kunne virke som en buffer til nedstrøms anlegg. Dette fører til at en slipper å kjøre ned oksy-reaktoren ved utfall av crackerne. Bunnstrømmen er en nærmest HCl-fri bunnstrøm med EDC og VCM som sendes til VCM-kolonnen for videre separasjon. Separasjonen i HCl-kolonnen er i hovedsak mellom VCM og HCl, EDC er såpass tung at denne går rett til bunn.

I kondensatoren ligger temperaturen på ca.-24°C på rørsiden og -31°C på skallsiden. Pga kapasitetsbegrensninger på kjøleanlegget blir toppstrømmen fra crackerbråkjølerne splittet opp ved delvis kondensering. Hovedsplitten foregår ved å regulere temperaturen inn på V-1401 til ca 65°C. Væskefasen går til plate 24, mens gassfasen kjøles i varmevekslerne H-1405A/B og separeres i V-1404. Væsken herfra går til plate 30, gassen varmeveksles i H-1403 med HCl-



gass fra kondensatoren til kolonnen. To-fase strøm fra H-1403 går til plate 34. Bunnstrømmen fra crackerbråkjølerne flashes i to trinn. Fra første flasher V-1402 går gassen til plate 16. Gass fra neste flasher V-140 kondenseres og blandes i hovedføden til plate 24, bilag R.

### 3.3 Drift av kolonnen siden 1981

1981: Omsetning i crackere ca. 52 % <sup>[1]</sup>.

1986: Større kapasitet på nedløpene spesielt, men også noen flere ventiler for å takle større last på platene 1 - 24.

1989: Antall crackere utvidet fra 2 til 3 - tillater høyere omsetning - ca. 55 %.(bilag Q-7)

1998: Varm gass fra V-1402 flyttes fra kombinert føde til plate 34 til egen føde på plate 16 i henhold til Sauar's anbefaling, samt flytte føde F16retur til trinn 20(nå kalt F20retur), bilag B.

Gevinst:

- \* mindre damp til koker
- \* mindre refluks
- \* større kapasitet på kolonna og kjøleanlegg relativt produksjon

### 3.4 Problemområde

Endringer i føden til plate 16 og 24 som følge av varierende flashing i flashtankene V-1402 og V-1403, bilag B, er de to største forstyrrelsene som påvirker kolonnen. Disse variasjonene virker direkte inn på TIC505(plate 38) og TIC504(plate 15), figur 3.2. Dette fører til interaksjoner mellom temperatursløyvene, noe som igjen får temperaturgradienten i kolonnen til å variere. Andre forstyrrelser er variasjoner i trykket pga kjøleanleggets evne til å kjøle i kondensator H-1502, denne forstyrrelsen påvirker TIC505.

### 3.5 Modifikasjoner foreslått av Sauar

Høsten 1994 ble det i forbindelse med diplomoppgaven til Erik Sauar<sup>[3]</sup> gjort et studie av kolonnen og energioptimalisering rundt denne vha ekvipartisjonsprinsippet. Sauar kom med følgende anbefalinger:

- forandre plate design til mere "cross-current" flow ved trinn 4-6 og trinn 15 (30 ideelle trinn koker og kondensatornummerert pluss ovenfra og ned)
- bytte føde F-34 med F-30 eller å føde strøm fra V-1402 til trinn 21
- føde strøm fra H-1404 til trinn 8 eller 12
- introdusere en koker et sted ved trinn 17-20



## 4. EKSPERIMENTELT

### 4.1 Stasjonær simulering

Kolonnen med de mest nærliggende prosessenhetene oppstrøms ble implementert i HYSYS. Det ble tatt utgangspunkt i input filer fra simuleringer gjennomført av Hydro, bilag P. Modellen ble i første omgang implementert stasjonært før den deretter ble tilpasset for å kjøres dynamisk.

#### 4.1.1 Valg av termodynamisk modell med tilhørende parametere.

Skogestad<sup>[1],[2]</sup> benyttet SRK (Souve, Redlich og Kwong) som termodynamisk modell med tilfredstillende resultater. SRK var også benyttet i simuleringen gjennomført av Hydro. Det viste seg at default SRK parametere som fantes i HYSYS divergerte noe fra de som ble benyttet av Skogestad. Dette ga noe forskjellig resultater på splitfaktoren ved simulering av f.eks. en flash. Det ble derfor valgt å benytte SRK parametere som oppgitt i Skogestad.

**Tabell 4.1 Benyttede SRK parametere for komponentene**

|     | T <sub>c</sub><br>(°C) | P <sub>c</sub><br>(atm) | $\omega_{\text{SRK}}$ |
|-----|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| HCL | 51,4                   | 81,5                    | 0,1167                |
| VCM | 152,0                  | 50,9                    | 0,1384                |
| EDC | 293,0                  | 52,8                    | 0,2425                |

#### 4.1.2 Tilpassing av tempprofil

Både i Skogestad<sup>[1],[2]</sup> og i simuleringen fra Hydro er det brukt en total virkningsgrad på 0.67. Det er dermed simulert med 30 ideelle trinn. Da det med tanke på dynamikken i kolonnen er viktig å ha like mange plater i simuleringen som det er i virkeligheten ble det valgt i denne oppgaven å simulere med 45 plater slik det er i den virkelige kolonnen. Det er avgjørende å få en temperatur profil i kolonnen som i størst mulig grad er lik den virkelige. For å verifisere modellen som var implementert i HYSYS ble det i første omgang valgt å benytte de samme driftsdata som er benyttet av Skogestad. Modellen med 30 trinn i HYSYS stemte godt overens med resultatene til Skogestad. Ved implementering av kolonnen med 45 trinn og 0.67 i virkningsgrad stemte ikke resultatene like godt overens. Dette vises tydelig i figur E.1. hvor temperatur profilene til de to modellene er plottet. Skal modellen med total virkningsgrad på 0.67 få riktig profil så må vi redusere renhetene i toppen og bunnen av kolonnen til henholdsvis 35 vol-ppm VCM og 100 vol-ppm HCl.

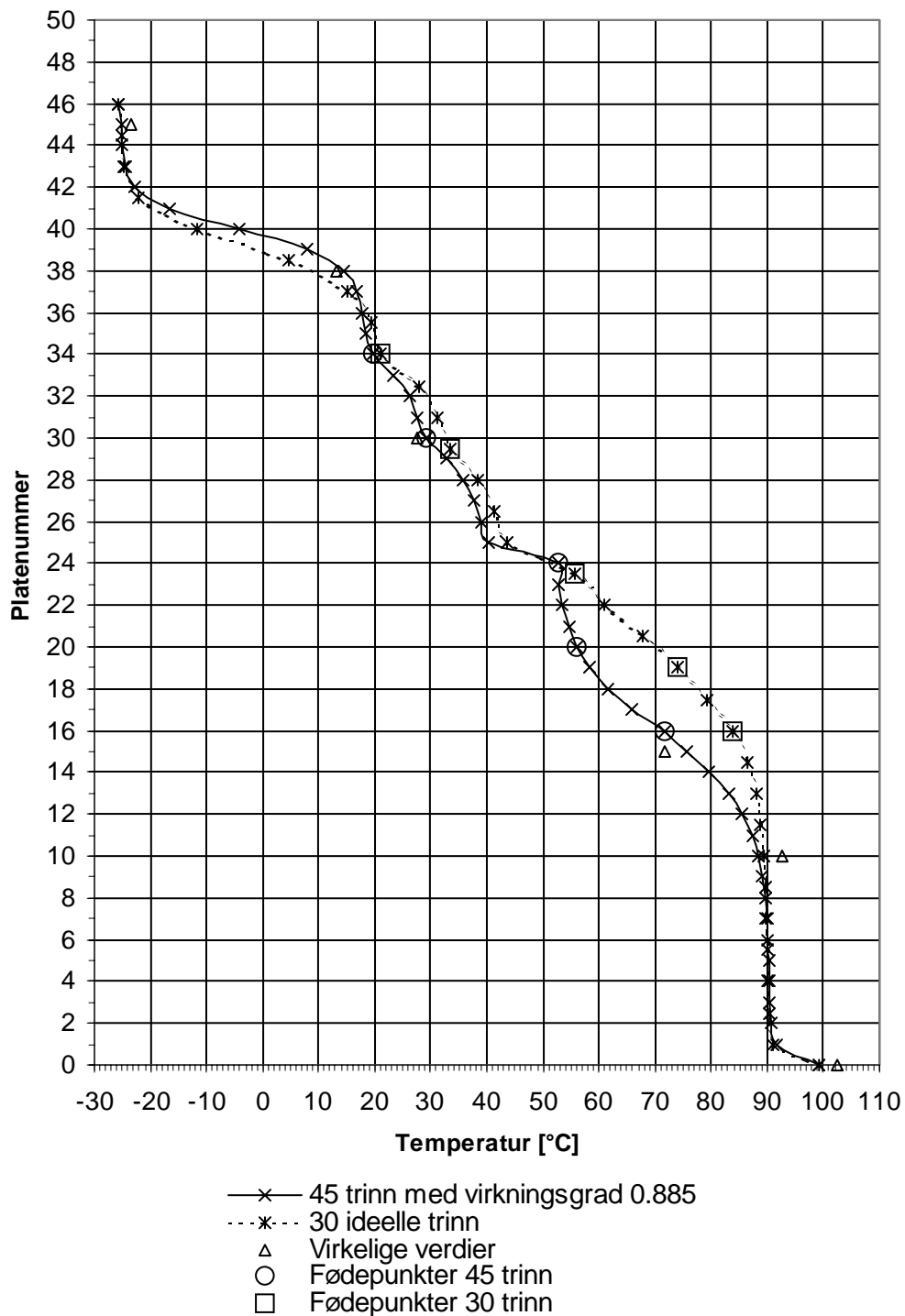
For simuleringene i figur E.1 er det renheten i toppen og bunnen av kolonnen som er spesifisert til å være henholdsvis 0.9 wt-ppm VCM i toppen og 5-vol-ppm HCl i bunnen. Reflux ratio er beregnet av Skogestad til å være 0.87, men målingene i kolonnen viste 1.07. Skogestad

konkluderte dermed at denne målingen ikke var riktig noe som ble bekreftet ved driftstans da målingen på refluxforholdet ikke sank ned til null. I simulering i HYSYS med 30 trinn beregnes den til å være 0.92 og i simuleringen med 45 trinn og 0.67 i virkningsgrad beregnes den til 0.85.

Hysys benytter en modifisert Murpree virkningsgrad i statiske simuleringer og det er dermed ikke nødvendigvis den samme platevirkningsgraden som den totale virkningsgraden på 0.67 som skal benyttes, kapittel 2.4. For å tilpasse temperatur profilen til modellen med 45 plater ble det forsøkt å justere virkningsgraden til platene. Det poengteres at dette også er gjort i Skogestad og den totale virkningsgraden han oppgir hører derfor sammen med SRK parameterene. Ved å justere virkningsgraden på platene til 0.885 ble resultatet bedre i toppen av kolonnen, figur E.2. Refluksen med virkningsgrad 0.885 beregnes til å være 0.78. Det er tydelig at temperatur profilen i øvre del av kolonnen blir bedre, men profilen blir tilsvarende dårlig i bunnen av kolonnen. Hovedfoden går inn på plate 24, og det er forskjellige plater over og under hovedfoden. Murpree virkningsgraden trenger ikke å være den samme for alle plater, og det ble derfor også prøvd forskjellig virkningsgrad i topp og bunn av kolonnen. I figur E.3 er kolonnen simulert med 0.81 i virkningsgrad for plate 25-45 og 0.6 for plate 1-24. Refluksen ble der beregnet til å være 0.93.

Det er imidlertid stor forskjell på temperatur profilen fra 1981 og den som er i kolonnen i dag, bilag D. Dette er lettest å se på plate 15 hvor temperaturen tidligere var opp mot 90° og hvor den nå faktisk er ca 75°.

Hverken modellen med 30 ideelle trinn eller modellen med delt virkningsgrad og 45 trinn kunne gi en temperatur profil slik den har vært de siste årene uten å senke spesifikasjonene radikalt. Det viste seg derimot at simuleringen med 0.885 i virkningsgrad gav en temperatur profil langt nærmere den virkelige for modellen før ombyggingene i 1998, figur E.4. Tilsvarende plot for kolonnen slik den er i dag er vist i figur 4.1.



Figur 4.1 Temperaturprofil for kolonnen etter 1989 med 30 trinn og 45 trinn med virkningsgrad lik 0.885.

Reflux ratio er oppgitt av Hydro,mail i bilag Q-6, til å være 0.6 til 0.65 og renheten i toppen ligger i området 5 - 12 vol-ppm VCM. I simuleringene i figur 4.1 er renheten spesifisert til å være 10 vol-ppm for VCM og HCl i henholdsvis toppen og bunnen av kolonnen. I simulering med 30 ideelle trinn beregnes reflux til å være 0.68 og i simulering med 45 plater og virkningsgrad 0.885 berenges den til 0.61.

Det ble med grunnlag i dette valgt å gjennomføre de stasjonære simuleringene med 45 trinn og en virkningsgrad på 0.885.

## 4.2 Optimalisering av kolonnen

### 4.2.1 Vurdering av modifikasjoner anbefalt av Sauar

Noen av modifikasjonene anbefalt av Sauar, kapittel 3.5, ble vurdert. Først ble gevinsten ved å bytte F34 og F30 vurdert. Deretter ble blandingen av strømmen fra V1402 og F34 fjernet, bilag B, og strømmen fra V1402 ble fødet til plate 16. Det er denne modifikasjonen som ble gjennomført i 1998. Videre ble det vurdert å føde strømmen fra H1404 direkte til kolonnen.

Det ble ikke vurdert å introdusere andre plater eller en sidekoker.

### 4.2.2 Ytterligere optimalisering av kolonnen

Det ble deretter gjennomført simuleringer for å finne om det var et ytterligere forbedringspotensiale når det gjaldt energi forbruk. Dette ble gjort ved å flytte fødeplassing til de forskjellige fødene.

Kolonnen har i dag fødestusser ved plate 16, 20, 22, 24, 28, 30, 34. Det ble i første omgang optimalisert med hensyn på energi med eksisterende fødestusser som begrensning. Hovedføden kan per i dag ikke fødes høyere enn plate 24 grunnet hydrauliske begrensinger i kolonnen.

Ved flytting av av føder ble føde sammensetning og føde temperatur vurdert opp mot sammensetning og temperatur på hver plate i kolonnen i hht teori i kapittel 2.5 .

Det ble gjennomført totalt 7 statiske simuleringer som vist i tabell 4.2. Flytskjema kan finnes i bilag A, B og C.

**Tabell 4.2 Gjennomførte statiske simuleringer.**

|   |  |
|---|--|
| 1 | Før 1998   |
| 2 | Før 1998 med bytting av F34 og F30   |
| 3 | Etter Sauar 1998   |
| 4 | Optimalisert med hensyn på eksisterende fødestusser                          |
| 5 | Siste mixer fjernet  |
| 6 | Optimalisert uavhengig av eksisterende fødestusser                           |
| 7 | Siste mixer fjernet og optimalisert uten hensyn til eksisterende fødestusser |

### 4.2.3 *Vurdering av besparelser ved endring av spesifikasjoner*

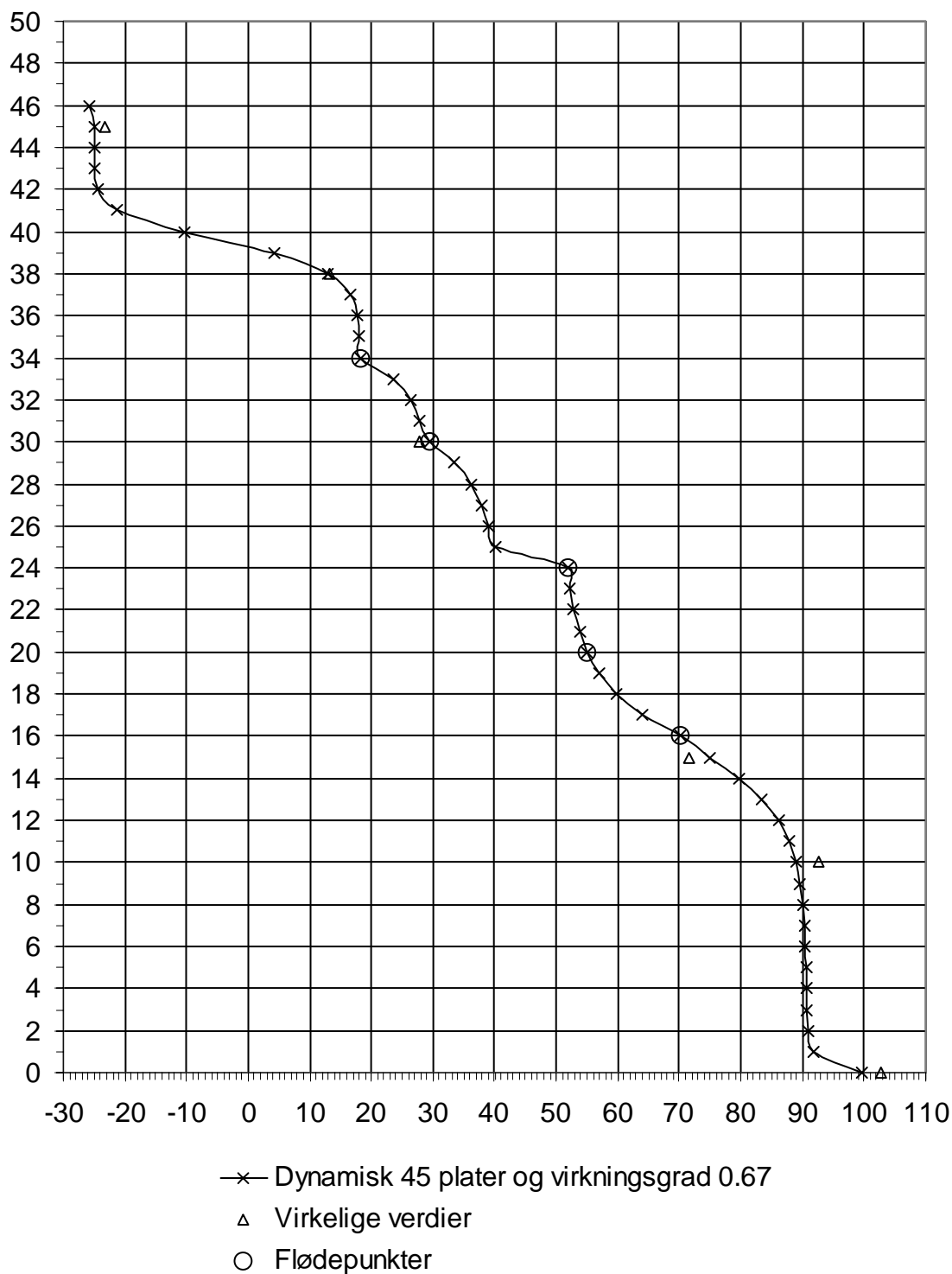
Videre ble det vurdert hvorvidt det var mulig å spare energi ved å senke spesifikasjonen i toppen av kolonnen. Spesifikasjonen i bunnen av kolonnen anses som den viktigste og den bør derfor ikke reduseres, bilag Q-1. Det ble gjennomført simuleringer med spesifikasjoner fra 10 ppm til  $1.0 \cdot 10^5$  ppm.

## 4.3 **Regulering av kolonnen, dynamisk simulering**

### 4.3.1 *Tilpassing av stasjonær modell for dynamisk simulering*

Den dynamiske modellen av prosessen ble utformet ved å benytte den stasjonære løsningen for kolonnen slik den er i dag, bilag B, som initialisering. HYSYS må kjenne alle trykk-strømnings relasjoner slik at det blant annet er nødvendig å sette inn ventiler med flow kontrollere på alle strømmer inn på flytskjemaet.

HYSYS benytter som tidligere nevnt en annen modell for virkningsgraden ved dynamisk simulering, kapittel 2.4.3. Dette resulterte i at renhetene ble noe høyere ved dynamisk simulering enn ved stasjonære simuleringer. Det ble tidlig besluttet å benytte en virkningsgrad på 0.67 i de dynamiske simuleringene og resultatene fra den stasjonære delen var ennå ikke kjent. Det ble heller ikke oppdaget før sent i prosjektet at HYSYS sannsynligvis benytter en annen modell ved dynamiske simuleringer. Temperaturprofilen blir som vist i figur 4.2.



Figur 4.2 Temperaturprofil ved dynamisk simulering med 0.67 i virkningsgrad

Renheter i topp og bunn er henholdsvis 4.1 ppm HCl og 5.5 ppm VCM. Refluksen beregnes til 0.61.



#### 4.3.2 *Dimensjonering av kolonnen.*

Dimensjoneringen av kolonnen ble i hovedsak utført av HYSYS. Diameteren ble justert noe manuelt slik at denne stemte bedre overens med den virkelige kolonnen. Diameteren i kolonnen ble justert slik at ønsket trykkfall ble oppnådd.

#### 4.3.3 *Valg av reguleringsstruktur.*

Reguleringsstrukturen som er satt opp rundt HCl-kolonna i HYSYS er noe forenklet i forhold til den virkelige kolonnen. Kolonnen har fortsatt en LV-konfigurasjon, men med regulering av effekten i koker istedenfor pådrag av dampstrøm. Det vil si at denne reguleringen endres fra en 2. ordens respons til en 1. ordens. For å hindre at denne reguleringen blir for rask er det lagt til en dødtid på 1 min i reguleringsløyfen. Trykkreguleringen av kolonnen er blitt forenklet på samme måte som for kokeren. Det er her egentlig regulering av et kjøleanlegg, som i seg selv er et lite prosessavsnitt, som regulerer trykket. For enkelthetsskyld er det derfor valgt å se bort fra dette, og istedenfor regulere trykket ved hjelp av effekten/kjøling i kondensatoren. Topp produktet i kolonne går til oksyreaktoren. Dette prosessavsnittet er ikke med i simuleringen, og det er derfor valgt å regulere nivået i kondensatoren med denne strømmen.

#### 4.3.4 *Tuning av regulatorer.*

Regulatorene rundt HCl-kolonnen som regulerer hhv nivå i kondensator, nivå i koker og trykk i kolonne ble tunet i nevnte rekkefølge. I kaskade reguleringen på nivået til kondensatoren ble først den indre sløyfen tunet og deretter den ytre.

Følgende fremgangsmåte ble benyttet: Det ble utført stependringer i regulatorens pådrag og tilhørende prosessutgang ble målt. Parameterene til en 1.ordens prosessrespons ble funnet vha programmet "Control station", og Skogestad's tuningsregler ble benyttet for å beregne forsterkning og integraltid. De enkelte sløyfene ble lukket etterhvert som tuningsparametrene ble funnet. Deretter ble simuleringen startet og kjørt til systemet stabiliserte seg, før neste tuning ble gjennomført.

Temperatursløyfene i HCl-kolonnen har store interaksjoner seg imellom, se resultat RGA-analyser kapittel 5.1.3, noe som vil føre til at kolonnen fort kan bli ustabil.

Nivåreguleringene er rene integrerende prosesser, og har en noe annen fremgangsmåte mhp å bestemme tuningparametere for regulatoren. Denne er beskrevet i teoridelen kapittel 2.3.2.

På noen av responsene ble dødtiden lik null. Den ble i disse tilfellene satt til å være 3 sekunder, som er samplingstiden som ble benyttet.

#### 4.3.5 *Raskhet på nedre sløyfe*

Temperatursløyfen som regulerer temperaturen på plate 38 bør tunes raskt i forhold til temperatursløyfen på trinn 15. Dette på grunn av at det er viktigere å overholde renheten i bunn. Samtidig bør også holdup i kolonnen være stor nok, slik at ved endring i oppkoket så skal temperaturen på trinn 38 ha stilt seg inn på setpunkt innen den øvre temperatursløyfen rekker å påvirke nedre del av kolonnen. Med det menes at man ikke ønsker en brå endring i væskestrøm nedad i kolonnen/reflux, men heller at temperaturen i topp skal få lov til å variere innenfor akseptable grenser.

På grunnlag av dette ble temperatursløyfen i bunn tunet først og gjort så rask som mulig. Skogestads tuningregler ble benyttet da disse representerer rask regulering. Det ble lagt til en dødtid på ett minutt for å kompensere for dynamikk i koker og regulator i forhold til virkeligheten. Temperatursløyfen i topp ble så tunet, men det viste seg at PI-parameterene for toppsløyfen ble omtrent de samme som for den i bunn etter tuningreglene. Det ble utført en simulering med disse parameterene for å påvise ustabilitet.

Reguleringen i topp ble gjort langsommere ved å ta utgangspunkt i de første tuningparameterene, og så halvere forsterkningen og tilordne integraltiden til den største av verdiene av  $\tau_1$  og  $8\theta$  i stedet for den minste. Parameterene i toppsløyfen ble forandret ytterligere ut i fra tolking av responsene.

#### **4.3.6 Måleplassering.**

I kolonnen er det to målepunkt som benyttes til regulering, temperatur på plate 15 og 38. Temperaturgradienten fra simuleringene, som forøvrig stemmer bra overens med virkelige målinger, viser at målepunktet på trinn 38 ligger på en "skulder", bilag E. Dette målepunktet er ikke godt egnet for regulering da temperaurgradienten vil kunne flytte seg ca. fire trinn oppover i dette tilfellet, uten at målingen vil kunne registrere dette i større grad. Hvis man da derimot flytter målepunktet noe høyere opp i kolonnen, eks. trinn 40, vil man få en respons som er like følsom for step i begge retninger og dermed bedre regulering/oversikt over kolonnen. Det ble derfor gjennomført en simulering med målepunkt for toppsløyfen på trinn 40, og regulatoren ble tunet på nytt. Setpunktstemperaturen på trinn 40 blir da  $-10.4^{\circ}\text{C}$ , se figur 4.2, for å beholde det samme temperaturprofil i kolonna som før. En setpunktssending ble gjennomført i føde H1404 for å sammenligne reguleringen.

#### **4.3.7 Sammenligning med Hydros tuninger**

Det ble også utført en sammenligning med virkning av de reelle regulatorene ved å implementere de oppgitte tuningparameterene på temperaturegulatorene fra anlegget. Forsterkningen måtte korrigeres noe siden enhetene på flowen er ulik i HYSYS og regulatorene benyttet på Rafnes. I tillegg har bunnsløyfen derivatvirkning, som gjør den noe raskere enn det som simuleres i dette tilfellet.

### **4.4 Steptester og endringer i føden**

Etter at temperatursløyfe var tunet, ble det gjennomført steptester i de to forstyrrelsene som Hydro påpekte som de viktigste, nemlig variasjoner i fødene H1404 (som går sammen med LIQ til føde F24) og føde F16. Begge disse er forholdsvis små føder. Det ble simulert et gitt scenario fra fabrikk. Det ble oppgitt av Hydro at en fortetning av føden til oppstrøms flasher kan skape en reduksjon i strøm H1404 på 80% for deretter å øke til 130% av normal strømning når fortetningen åpnes. Dette ble simulert for å gi et reelt bilde av forstyrrelsene som regulatorene må motvirke.

Et lignende scenario ble gjennomført for føde F16.

## 4.5 Steptester til RGA-analyser

Det ble gjennomført steptester for å finne RGA-matrisene som beskrevet under teoridelen, kapittel 2.2.3. Metoden som baserer seg på definisjonen av den relative forsterkningen,  $\lambda_{ij}$ , ble utført på følgende vis:

Åpen-sløyfe forsterkning ble beregnet ved at temperatursløyfene i topp og bunn ble satt i manuell, resten av reguleringssløyfene rundt kolonnen ble satt i auto, og det ble utført et step i reflux ved å regulere ventilåpningen. Simuleringen pågikk til temperaturen i topp stabiliserte seg. Ved beregning av lukket-sløyfe forsterkning ble temperatursløyfen i bunn satt i auto ellers som i åpen-sløyfe forsterkning. Den relative forsterkningen ble også funnet ved å kjøre prosedyren beskrevet over men her med å lukke temperatursløyfen i topp istedenfor.

## 4.6 Analyse av HCl-kolonnen

Transferfunksjoner for kolonnen ble funnet ved å gjøre stependringer i reflux og damp til koker, og deretter registrere responsen som det gav på temperatur i topp og bunn. I tillegg ble holdup i kolonna funnet. Den ble estimert ved å utføre en step i refluxstrømmen, og måle tiden det tar før en ser en endring i væskestrømmen i bunn.



## 5. RESULTATER

### 5.1 Teoretiske beregninger

#### 5.1.1 Separasjon og minimum antall teoretiske trinn

Relativ flyktighet,  $\alpha$ , ble beregnet fra likning 2.1. Det ble beregnet en aritmetisk middelværdi av relativ flyktighet i kolonnen ut i fra sammensetningene på platene, bilag G. Tung komponent er VCM, lett er HCl.

Aritmetisk middelværdi ble beregnet til :  $\alpha_{\text{middel}} = 5.6$

Separasjonsfaktoren,  $S$ , ble beregnet fra ligning 2.3:

$$S = 2.45 \cdot 10^7$$

Resultatene viser at separasjonen er god gjennom hele kolonna.

Minimum antall trinn blir da fra ligning 2.4:

$$N_{\text{min}} = 10$$

Med så god separasjon vil det være tilfredsstillende med  $2 \cdot N_{\text{min}} = 20$  trinn i kolonna, så siden det er 30 trinn reelt i kolonna, bør det ikke være problemer med å nå de spesifiserte renheter i topp og bunn på 10 vol. ppm.

#### 5.1.2 Transferfunksjoner til kolonna

Fra stependringer utført som beskrevet i kapittel 4.5 ble følgende tilnærmede transferfunksjoner funnet vha programmet Control station.

$$G = \begin{bmatrix} \frac{-47e^{-999s}}{4074s + 1} & \frac{-33e^{-207s}}{25686s + 1} \\ \frac{9}{7361s + 1} & \frac{15e^{-146s}}{2973s + 1} \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

hvor  $g_{11} = \Delta T_{\text{topp}} / \Delta u_1$ ,  $g_{12} = \Delta T_{\text{bunn}} / \Delta u_2$ ,  $g_{21} = \Delta T_{\text{topp}} / \Delta u_2$ ,  $g_{22} = \Delta T_{\text{bunn}} / \Delta u_1$

$u_1$  = pådrag i reflux,  $u_2$  = effekt i koker.

### 5.1.3 RGA-analyser

For å finne elementene i RGA-matrisa for LV-konfigurasjonen benyttes det tilnærmede uttrykket i ligning 2.9. Her er  $F$  skalert og satt lik 1.  $N$  er antall teoretiske trinn i kolonna + koker og kondensator = 32. I tillegg antas det her at føden er ren væske. Data benyttet for strømmene er gitt i bilag G. Dette gir en verdi på  $\lambda_{11}(G^{LV})$  lik 1617. En så høy verdi vil si at det er store interaksjoner mellom sløyfene i topp og bunn i kolonna, og at det kan dermed være svært vanskelig å få en tilfredstillende regulering av temperaturene. En ser at ettersom en senker kravet til renhet i topp vil verdien av  $\lambda_{11}$  synke. I tabell 5.1 er det vist et overslag for hva lavere renheter i topp har å si på forsterkningen:

**Tabell 5.1 Endringer i  $\lambda_{11}$  ved lavere renheter**

| $X_D$  | $\lambda_{11}(G^{LV})$ |
|--------|------------------------|
| 0.9999 | 388                    |
| 0.999  | 45                     |
| 0.99   | 5                      |

En ser at renheten må synke helt til 0.99 for å få en "akseptabel" verdi av  $\lambda_{11}$ , men tap i renhet i topp er tapt produkt(VCM), og bør dermed holdes så lavt som mulig.

Ved å bruke de tilnærmede transferfunksjonene over kolonna ble den stasjonære RGA-matrisa bestemt fra metode beskrevet i kapittel 2.2.3, likning (2.5).

$$G = \begin{bmatrix} 1.73 & -0.73 \\ -0.73 & 1.73 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

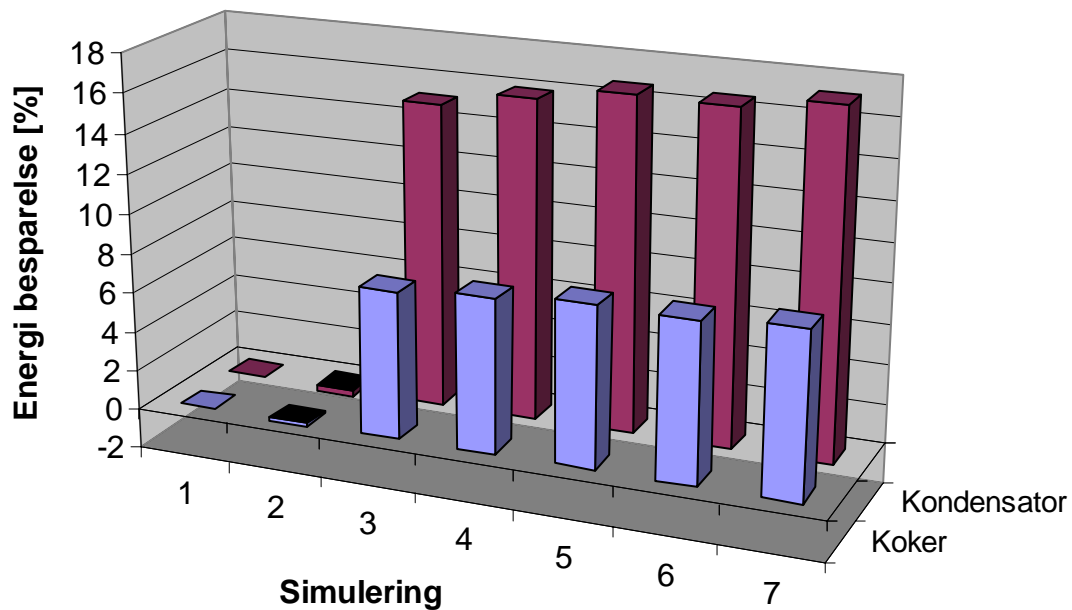
Ved å bruke metoden beskrevet i likning (2.4) ble RGA-matrisa bestemt til:

$$G = \begin{bmatrix} 1.56 & -0.56 \\ -0.56 & 1.56 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

## 5.2 Stasjonær simulering

### 5.2.1 Energibesparelser ved modifikasjoner

Energibesparelsene ved modifikasjoner av kolonnen er vist i figur 5.1, tabeller er å finne i bilag F.



Figur 5.1 Energibesparelser i prosent i forhold til de forskjellige simuleringene i tabell 4.2

Simulering 1: Det forbrukes 5072kWh i kokeren og 2453kWh i kondensatoren

Simulering 2: Fødeplasseringen til F34 og F30 er byttet og belastningen på koker og kondensator økte med 8 kWh.

Simulering 3: Belastningen på koker og kondensator reduseres med 370 kWh. Denne besparelsen utgjør 15,2% i kondensator og 7,4% i koker.

Simulering 4: Det oppnås en ytterligere forbedring i forhold til simulering 3, og forbruket i både koker og kondensator reduseres med 19 kWh. Dette gjøres ved å flytte F30 opp til plate 34 og F20Retur ned til plate 16.

Simulering 5: Den siste mixeren er fjernet og det oppnås en ytterligere reduksjon med 18 kWh i både kokeren og kondensatoren. Her fødes da, som i simulering 4, F30 til plate 34 og F20Retur til plate 16. Den nye føden H1404 fødes til plate 34.

Simulering 6: Simulering 4 er utgangspunktet, men det er ikke lenger tatt hensyn til eksisterende fødestusser. F34 og F37 flyttes høyere opp i kolonnen til henholdsvis plate 38 og 37. F24 flyttes to plater opp til plate 26. F20Retur flyttes nesten helt ned til plate 4 og F16 flyttes ned to plater til plate 14. Dette gir ytterligere en innsparing på 15 kWh i både koker og kondensator i forhold til simulering 4.

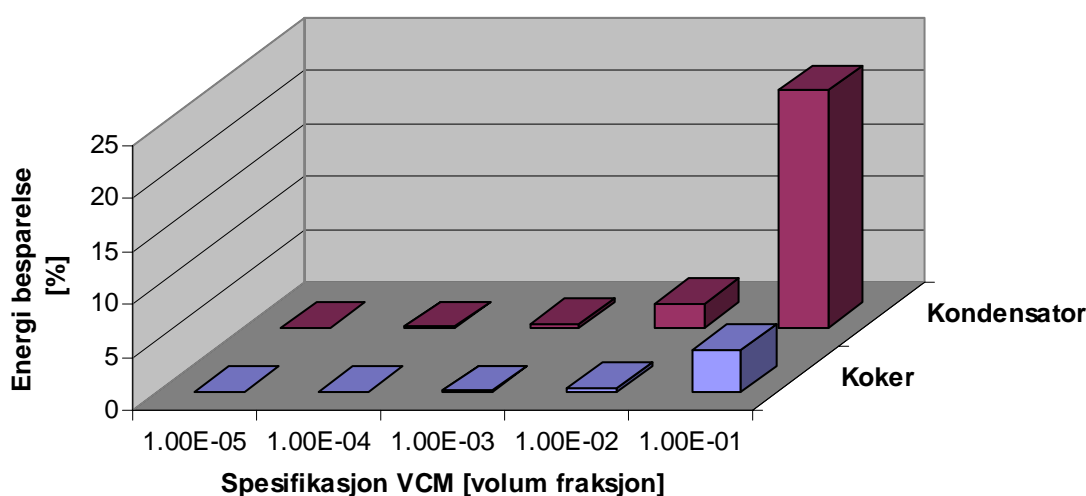
Simulering 7: Her er simulering 5 utgangspunktet, og det ikke tatt hensyn til fødestusser. F34 flyttes opp til plate 38. F20Retur flyttes ned til plate 4 og F16 til plate 14. Den nye føden går fortsatt inn på plate 34 som i simulering 5. Det spares 12 kWh i koker og kondensator i forhold

til simulering 5.

Totalt er dermed 49 kWh i koker og kondensator den beste besparelsen som er oppnådd utover det som kommer av ombyggingen i 1998 på 370 kWh i koker og kondensator. Basert på 7000 driftstimer gir dette en økonomisk innsparing på totalt 453250kr for ombyggingen i 1998, med potensiale for 60025kr i ytterligere innsparing.

### 5.2.2 Energi besparelser ved endring av spesifikasjoner

Energibesparelsene ved å redusere spesifikasjon i toppen av kolonnen er vist i figur 5.2. Først når spesifikasjonen er senket til 0.01[volum fraksjon] er det noe særlig endring og energiforbruket reduseres til 2,2% i kondensator og 0,4% i koker. Ved 0.1[volum fraksjon] skjer det en betydelig reduksjon og forbruket reduseres med 22,3% i kondensator og 3,9% i koker. Dette blir 53.2 kr/t i sparte energi kostnader, men i "tapt" produkt utgjør det en kostnad på 13519 kr/t.

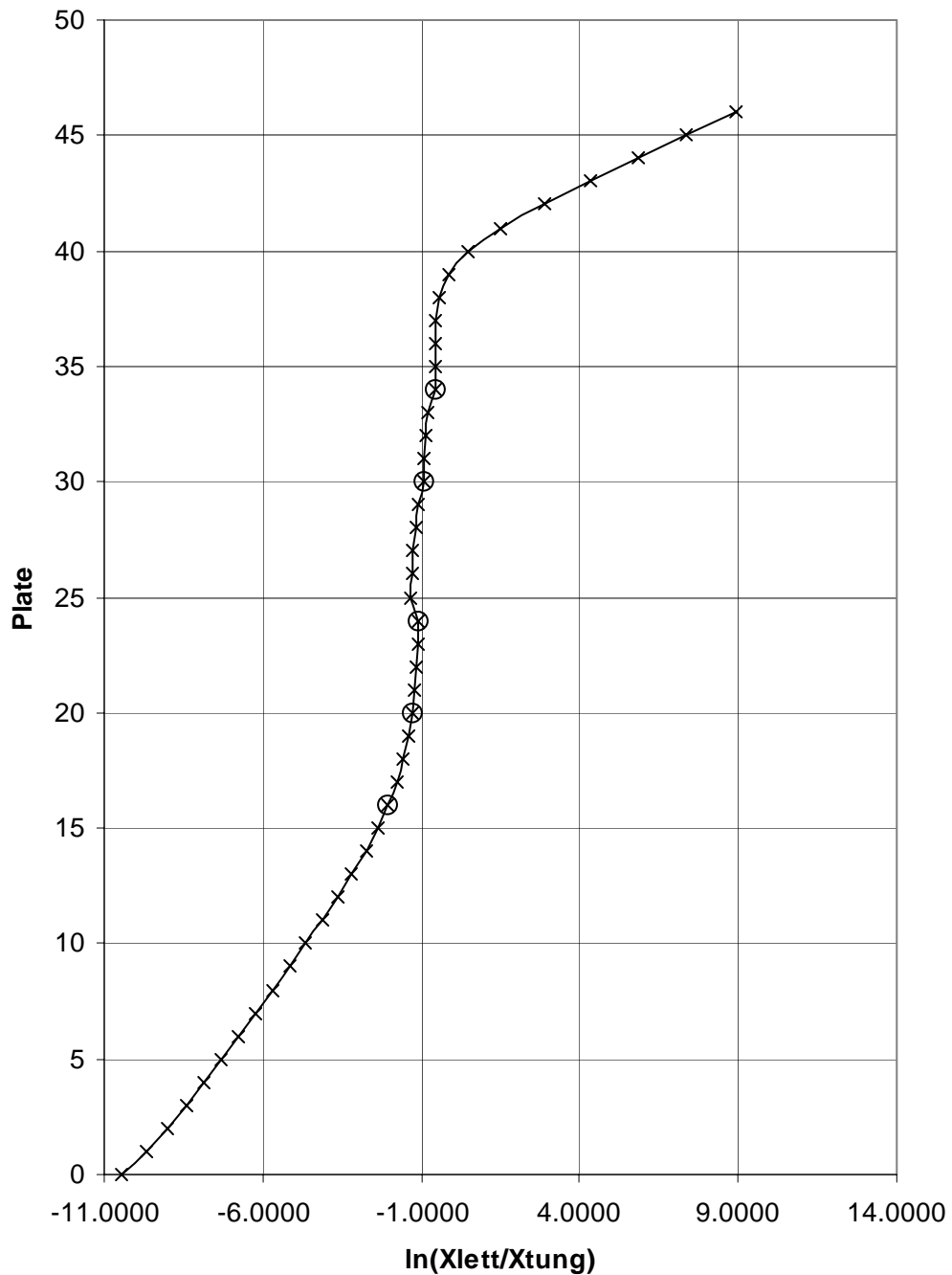


Figur 5.2 Energi besparelse ved å redusere spesifikasjon på VCM i toppen av kolonnen.



### 5.2.3 Sammensetningsprofil

Ved å plote den naturlige logaritmen til forholdet mellom lett og tung komponent mot platene kan en vurdere om fødepunktplasseringen er korrekt. Denne profilen for kolonnen slik den er i dag er vist i figur 5.3.



Figur 5.3 Profil av logaritmen til forholdet mellom molbrøk av lett og tung komponent på hvert trinn i kolonna. Føder er merket med sirkel.

En ser at profilet er veldig bratt i området der fødene kommer inn, noe som er naturlig, men det

som er viktig at profilet hele tiden faller mot venstre. Dette er ikke tilfelle på plate 24 der hovedføden kommer inn. Dette tyder på at plasseringen av denne føden ikke gir optimal sammensetning på platen. Det er også tydelig at kolonnen er overspesifisert når en der det store området mellom plate 15 og 38 der det skjer svært lite separasjon.

### 5.3 Dynamisk simulering

#### 5.3.1 PI-tuning

I tabell 5.2 er tuningparameterene for de ulike regulatorene som ble funnet til å være optimale for en stabil kjøring av prosessen gitt. Regulatorene som det henvises til har en plassering som vist i figur 3.2.

**Tabell 5.2 Optimale PI-parametere fra HYSYS- simulering**

| Regulator | Forsterkning( $K_c$ ) | Integraltid( $\tau_I$ )<br>[min] |
|-----------|-----------------------|----------------------------------|
| FIC-508   | 0.3                   | 0.05                             |
| TIC505    | 0.2                   | 45                               |
| TIC504    | 0.5                   | 17                               |

Det som er interessant å merke seg er forholdet mellom parameterene i TIC505(topp) og TIC504(bunn). Dette gjør sløyfe TIC504 noe raskere. Tuningsresponsene benyttet for å beregne parameterene er gitt i bilag J . Fullstendig oversikt over tuningsparametere på regulatorene rundt kolonna er gitt i bilag H.

Til sammenligning viser tabell 5.3 tuningparameterene benyttet i reguleringen av den virkelige kolonna. Forsterkningen er ikke helt sammenlignbar, da enhetene benyttet hos Hydro på flow er tonn/h, mens det i HYSYS har blitt benyttet kmol/h. Forholdet mellom forsterkningen i temperatursløyfene vil uansett kunne sammenlignes. Integraltiden er oppgitt i minutt begge steder. Fullstendig oversikt over parametere på regulatorene på det reelle anlegget kan finnes i bilag H.

Tabell 5.3 PI-parametere fra Hydro.

| Regulator | Forsterkning( $K_c$ ) | Integraltid( $\tau_I$ )<br>[min] | Derivattid( $\tau_D$ )<br>[min] |
|-----------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| FIC-508   | 0.15                  | 0.1                              |                                 |
| TIC505    | 0.4                   | 20                               |                                 |
| TIC504    | 0.25                  | 15                               | 2                               |

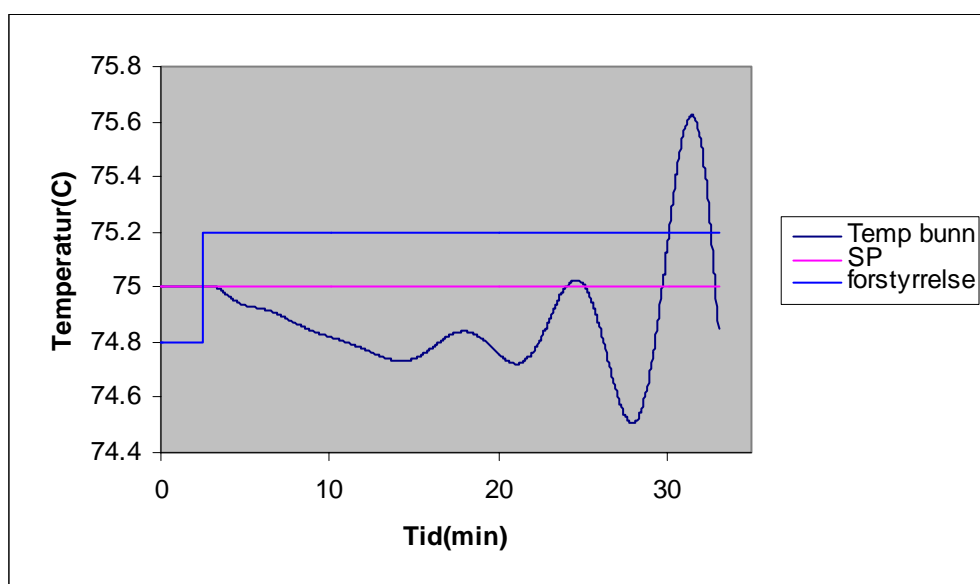
### 5.3.2 Holdup

Fra bilag I ble holdup i kolonnen beregnet til å være ca. 2.5 minutter.

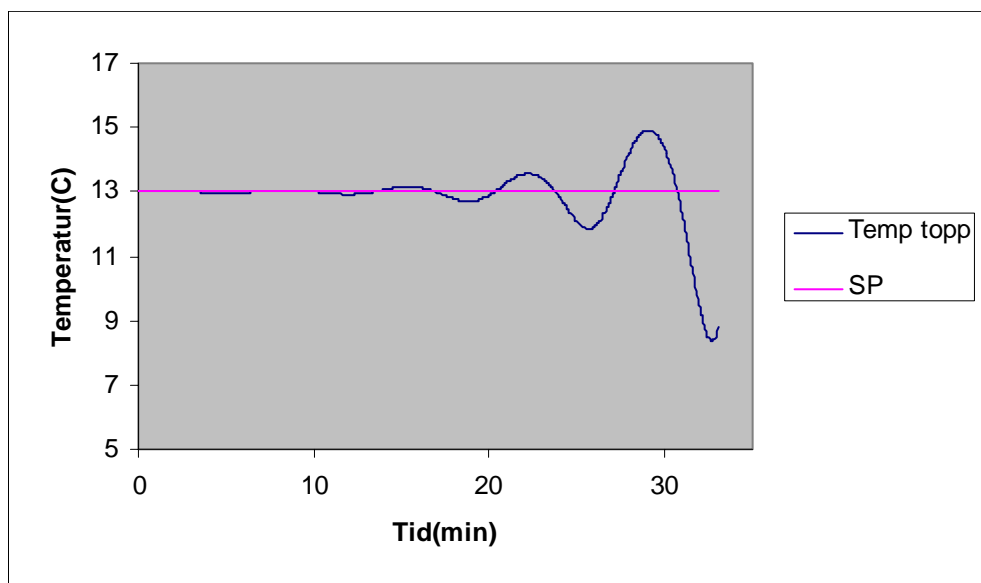
## 5.4 Temperaturregulering

### 5.4.1 Regulerbarhet

Det ble først utført en kjøring med de beregnede PI-parametere for begge temperatursløyvene. Disse ble som forventet ustabile allerede ved små stependringer. Resultater er vist i figur 5.4 og figur 5.5.



Figur 5.4 Temperatur trinn 15 etter 5% step i strøm H1404. Tuninger beregnet med Skogestads tuningregler.



Figur 5.5 Temperatur trinn 38 etter 5% step i strøm H1404. Tuninger bergnet med Skogestads regler.

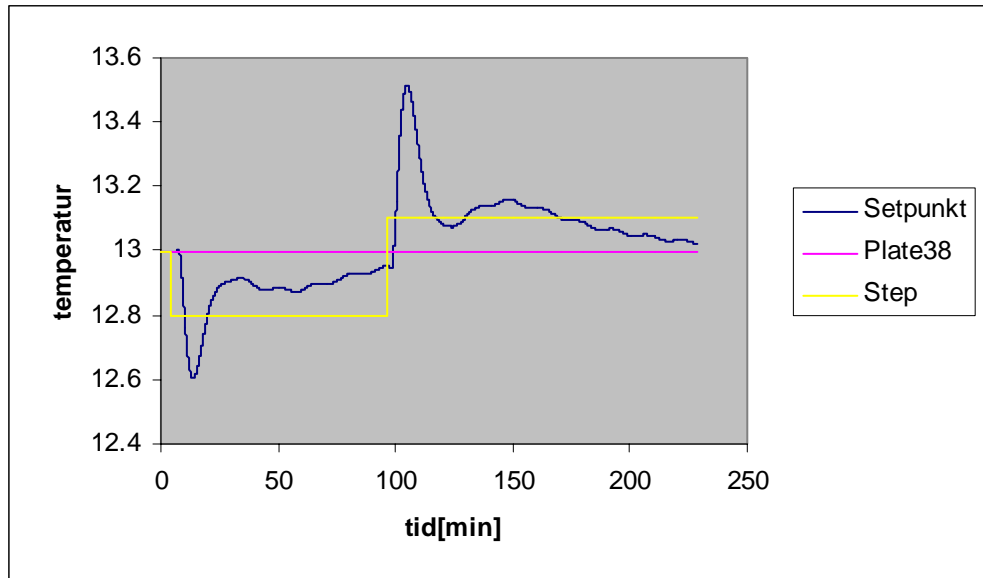
Det er tydelig at disse tuningene, som forutsett, gir ustabil temperaturegulering.

#### 5.4.2 Simulering av forstyrrelser i fødestrøm F16

Det ble oppgitt av Hydroi mail, bilag Q, at en fortetning av føden til oppstrøms flasher kan skape en reduksjon i strøm H1404 på 80% for deretter å øke til 130% av normal strømning når fortetningen åpnes.

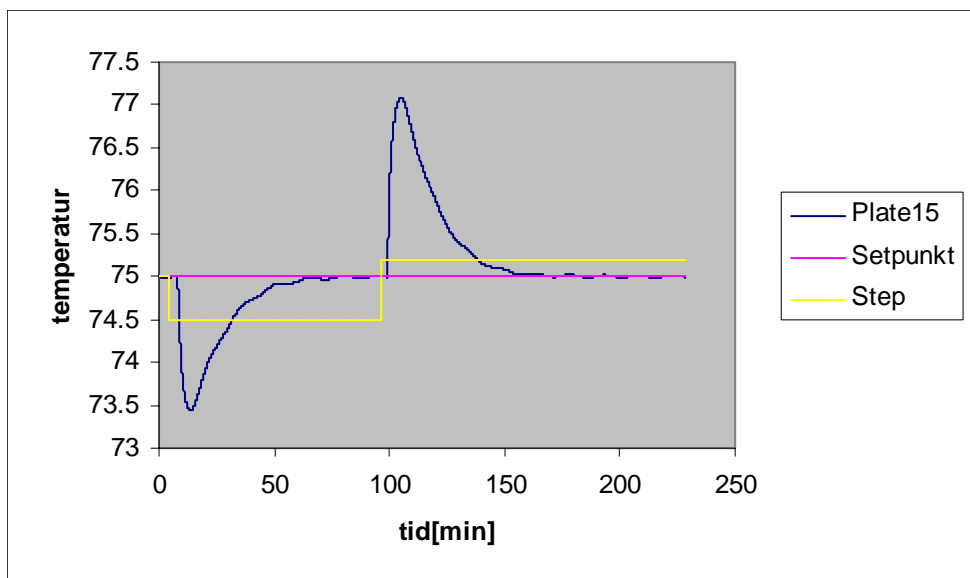
Dette er simulert ved å endre setpunkt på FICH1404 i to trinn, til hhv 7.7kmol/h og 49.9kmol/h av en stabil verdi på 38.4kmol/h. Resultatene er vist i figur 5.6 og figur 5.7.

:



Figur 5.6 Temperatur på plate 38 etter step i strøm F16 fra 20% til 130% av normal strømning. Optimale tuningparametre benyttes.

Ved å senke strøm F16 med 80% får man en øyeblikkelig temperatur reduksjon på  $0,4^{\circ}\text{C}$ . Regulatoren bruker ca 80 minutter til å redusere avviket til  $0,05^{\circ}\text{C}$ , før den simulerte forstyrrelsen stiger til 130% av normal strømning. Denne endringen i F16 fører til en økning i temperatur på  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Det tar ca 115 minutter før dette avviket reguleres inn.



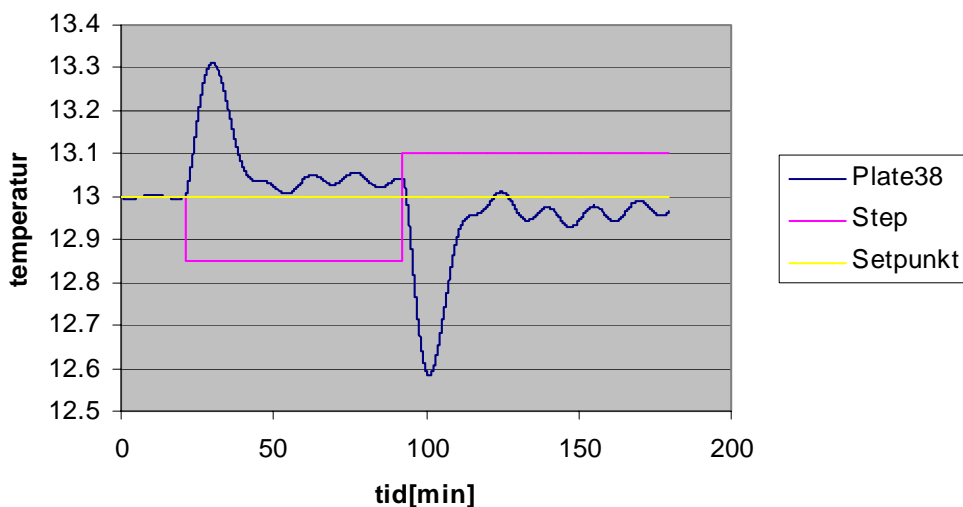
Figur 5.7 Temperatur på plate 15 etter step i strøm F16 fra 20% til 130% av normal strømning. Optimale tuningparametre benyttes.

Temperaturen på plate 15 synker til  $73,5^{\circ}\text{C}$  ved reduksjon av F16. Regulatoren bruker ca 55 minutter på å ta inn dette avviket. Forstyrrelse nummer to får temperaturen til å stige til  $77,1^{\circ}\text{C}$ , dette avviket reguleres inn på 55 minutter.

Sammensetningen i toppen av kolonna er tilnærmet upåvirket av endringene i F16, og ligger konstant på 4.2 ppm VCM. Sammensetningen i bunn av kolonna derimot, varierer fra 2.5 ppm HCl til 5.7 ppm HCl, bilag K.

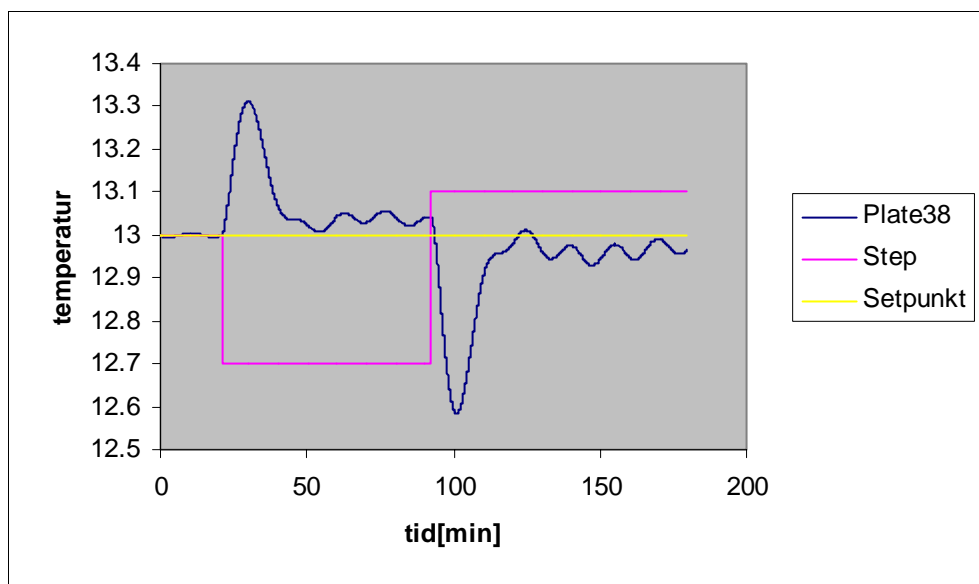
### 5.4.3 Simuleringer av forstyrrelser i prosesstrøm H1404

Forstyrrelsene her har et tilsvarende mønster som for fødestrøm F16. Føden ble varieret ved setpunktets endring i FICH1404, til hhv 7.2 kmol/h og 46.7 kmol/h av en stabil verdi på 35.9 kmol/h. Resultater er vist i figur 5.8 og figur 5.9.



Figur 5.8 Temperatur på plate 38 etter step i prosesstrøm H1404 fra 20% til 130% av normal strømning. Optimale tuningparametre benyttes.

Ved reduksjon i strøm H1404 som oppgitt ovenfor økte temperaturen med 0.3°C. Regulatoren bruker ca 30 minutter for å oppnå nogenlunde konstant temperatur. Når strømmen igjen stiger endres temperaturen til 12.6°C. Det tar også her ca 30 minutter før avviket er tatt inn.



Figur 5.9 Temperatur på plate 15 etter step i prosesstrøm H1404 fra 20% til 130% av normal strømning.

**Optimale tuningparametre benyttes.**

Temperaturen stiger til 75.7°C ved reduksjon av prosesstrømmen og synker til 73.9°C når strømmen øker. Regulatorne bruker hhv 40 og 45 minutter på å ta inn avviket.

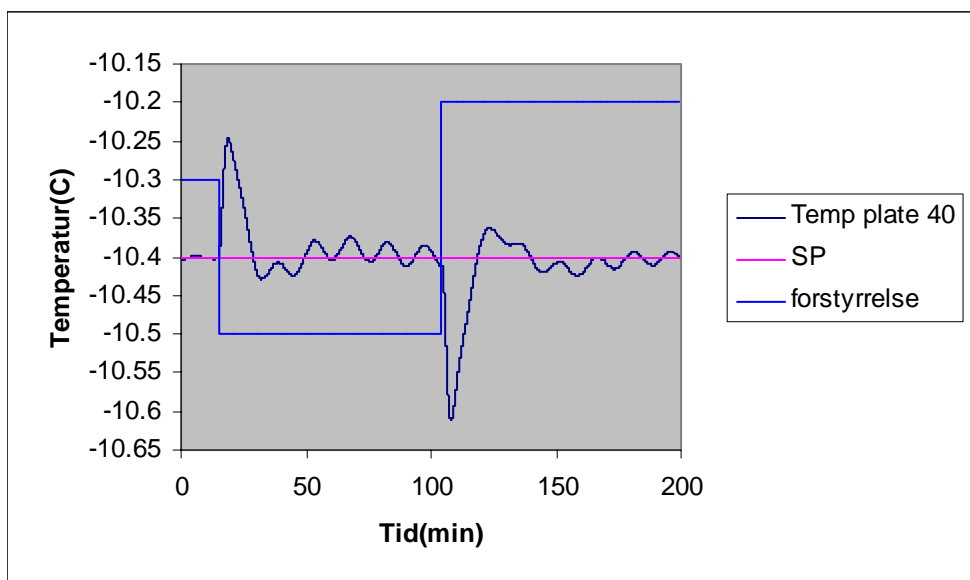
Sammensetningen i topp er tilnærmet konstant lik 4.2ppm VCM. I motsetning til VCM i topp varierer HCl-fraksjonen i bunn øyeblikkelig når H1404 endres. Utslagene her varierer fra 4.15ppm til 5.3 ppm, bilag K.

**5.4.4 Forandring av målepunkt i topp.**

Det ble utført samme stependringer i strøm H1404 som ved det gamle målepunktet. Først reduksjon til 20% og deretter økning til 130% av en normal strøm på 100%. De nye tuningparameterne for temperaturegulatoren i topp er vist i tabell 5.4.

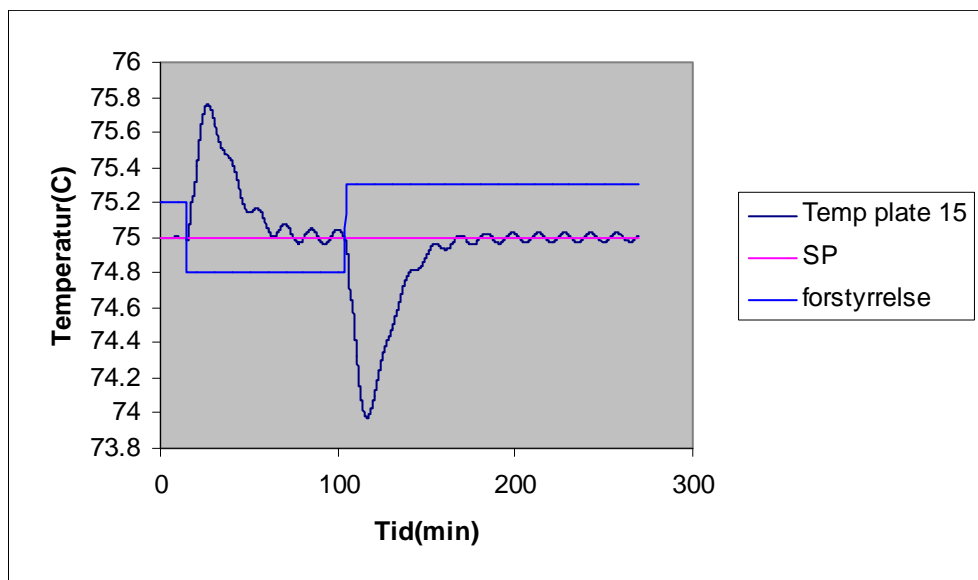
**Tabell 5.4 PI-parametre for TIC505 ved temp. måling på trinn 40**

| Regulator | $K_c$ | $\tau_I(\text{min})$ |
|-----------|-------|----------------------|
| TIC505    | 0.37  | 20                   |



**Figur 5.10 Temperatur på plate 40 etter step i strøm H1404 fra 20% til 130% av normal strømning. Optimale tuningparametre benyttes.**

Figuren viser at reguleringa i topp er noe raskere enn ved regulering av temperaturen på trinn 38(omtrent 5 minutt forskjell på tida det tar fra forstyrrelsen inntreffer til den er tilbake på setpunkt), og at utslaget er noe mindre(ca  $0.05^{\circ}\text{C}$ ).



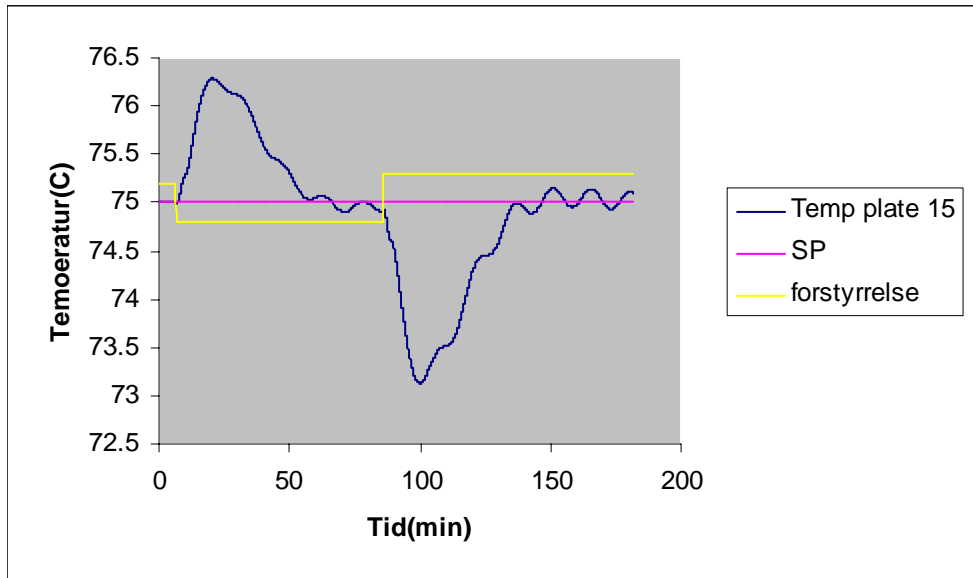
Figur 5.11 Temperatur på plate 15 etter step i strøm H1404 fra 20% til 130% av normal strømning. Optimale tuningparametre benyttes. Målepunkt på plate 40 i topp.

Reguleringa i bunn er omtrent uforandret. Renhetene forandrer seg svært lite(bilag L).

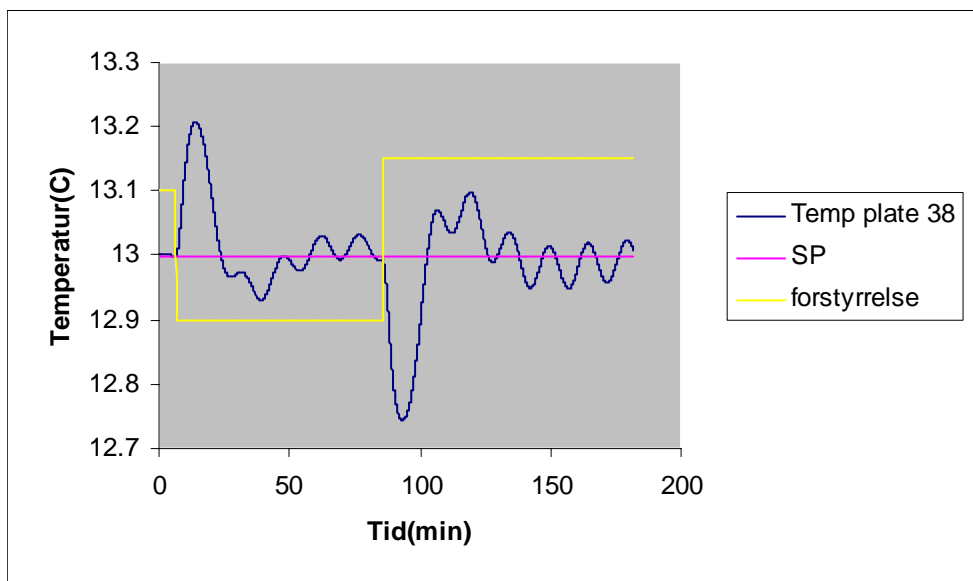
#### 5.4.5 Temperaturegulering med Hydro sine tuninger

Til sammenligning ble det gjennomført en simulering av forstyrrelse i strøm H1404 med tilnærmet de samme tuninger som Hydro har i dagens anlegg på temperatursløyvene. Resultatene er vist i figur 5.12 og figur 5.13.





Figur 5.12 Temperatur på plate 15 etter step i strøm H1404 fra 20% til 130% av normal strømning. Hydro sine tuningparametre benyttes.



Figur 5.13 Temperatur på plate 38 etter step i strøm H1404 fra 20% til 130% av normal strømning. Hydro sine tuningparametre benyttes.

Temperaturegulering i topp er ikke overraskende god. Den regulerer temperaturen tilbake på setpunkt i løpet av ca 25. min. I bunnen derimot tar det ca. 50 minutt å regulere inn på setpunkt etter step i forstyrrelsen. I tillegg er avviket fra setpunkt mye større (mellom 1 og 2°C). Endringene i renhet er omtrent tilsvarende som ved målepunkt på trinn 40(bilag L).



## 6. DISKUSJON

### 6.1 Teoretiske beregninger

#### 6.1.1 *Minimum antall teoretiske trinn*

Kolonna er helt klart overspesifisert når det gjelder antall trinn for å oppnå den ønskede separasjon i følge de teoretiske beregningene. Dette kan virke unødvendig, men det gjør det billig å overfraksjonere. Det tillater dermed en del variasjoner i temperaturen uten at det fører til at renhetskravene i topp og bunn overskrides. Med interaksjonene mellom temperaturreguleringene i topp og bunn som kan gi svingninger i temperaturen er det gunstig å ha et høyt antall trinn. Dette skaper også en dekopling mellom topp og bunn, og bidrar dermed til å minske interaksjonene mellom temperatursløyfene. Dette dekoplingsområdet, der det skjer svært lite separasjon, sees tydelig ut i fra sammensetningsprofilen i resultatdelen.

#### 6.1.2 *RGA-analyse*

Det ble gjennomført forskjellige stasjonære RGA-analyser av kolonna. De ulike analysene førte til samme resultat når det gjelder parring av pådrag og utganger, men størrelsen på RGA-elementene varierte endel. Transferfunksjonene som ble funnet for temperaturene på plate 15 og 38 i kolonna viser at responsen temperaturene har på endringer i refluks eller effekt i koker er svært langsomme. Disse transferfunksjonene blir benyttet for å beregne elementene i RGA-matrisa (metode 2), men gir mye lavere verdier enn for beregningen som baserer seg på antall teoretiske trinn (metode 1). Metode 1 gir verdier for  $\lambda$  på over 1600 for LV-konfigurasjonen, mens metode 2 gir verdier på 1.73. Ved å benytte en tredje metode, nemlig å kjøre step i pådrag med open loop og closed loop, fås det verdier på ca. 1.5, noe som stemmer godt overens med metode 2. Dette er ikke i overensstemmelse med de observerte interaksjoner ved simulering av temperaturreguleringen på disse platene. Simuleringen viser at interaksjonene mellom reguleringene gir ustabilitet hvis man ikke tuner sløyfene i forhold til hverandre. Det er tydelig at RGA-matrisen funnet fra metode 2 og 3 gir mye lavere verdier enn forventet. En verdi av  $\lambda > 1$  vil uansett antyde interaksjoner, men graden er svært ulik for de tre beregningene. Ut fra observasjonene er det tydelig at det er metode 1 som gir et mest riktig bilde av de faktiske forholdene for regulering i kolonna.

En forklaring på dette kan være at følsomheten, spesielt i topp, av temperaturmålingen er så stor at det ikke registreres forskjell i stasjonærverdien når det ble simulert step på 1 og 2%. Det er tydelig at temperaturen havner i et nytt stabilt område. Man måtte helt ned i step på 0.02% for å registrere en lavere stasjonærverdi. Forsterkningene i transferfunksjonene benyttet i metode 2 vil derfor være altfor lave, da disse er funnet fra simulering med step på 1%. Et annet problem kan være at HYSYS har en numerisk unøyaktighet for så høye renheter kombinert med følsomme temperaturområder. En annen mulighet kan være at man i metode 1 ser på strømmene i kolonnen og sammensetningene i topp og bunn, til forskjell fra de to andre hvor ventil på refluxstrøm og effekt i koker brukes til å regulere strømmene. Disse forskjellen anses allikevel som neglisjerbar da strømmingen er tilnærmet lineært avhengig av ventilåpningen.

## 6.2 Simulering av kolonnen

### 6.2.1 Temperaturprofil

Det er tydelig at endringene som har skjedd i driften av kolonnen siden Skogestad gjennomførte sin analyse 1981 har påvirket temperaturprofilen. Den gangen gav modellen, med en totalvirkningsgrad på 0.67, temperaturprofiler som var i god overenstemmelse med driftsdata. Denne modellen var derimot ikke i stand til å gi gode temperaturprofiler for kolonnen slik den er idag. Det bekreftes også av Hydro at de har problemer med temperaturprofilen i simulering av kolonnen. Den simuleres av Hydro med en totalvirkningsgrad på 0.67 slik at de kjører med 30 ideelle trinn pluss en koker og en kondensator slik som Skogestad..

Som nevnt tidligere er det tre modifikasjoner som har skjedd siden 1981: Større kapasitet på nedløpene spesielt, men også noen flere ventiler for å takle større last på platene 1 - 24. Antall crackere utvidet fra 2 til 3 - tillater høyere omsetning - fra ca. 52% til ca. 55 %. Varm gass fra V-1402 flyttes fra kombinert føde til plate 34 til egen føde på plate 16 i henhold til Sauar's anbefaling, samt flytting av føde F16retur til trinn 20(nå kalt F20retur).

Videre hadde Skogestad i sin rapport høyere renhet, ned mot 1 ppm, i toppen og bunnen av kolonnen. I dag ligger renheten i 5 - 15 ppm området.

I samtaler med Hydro har det kommet fram at det ikke er skjedd vesentlige endringer i de senere årene når det gjelder måten kolonnen kjøres på. Temperatur profilen var så langt vi vet den samme før ombyggingen i 1989. Det er derfor lite sannsynlig at den endrede temperaturprofilen skyldes denne ombyggingen. Når det gjelder omsetningen i crackeren så medfører mindre EDC en lavere temperatur i bunnen, men dette slår i hovedsak ut i kokeren hvor temperaturen er sterkt avhengig av forholdet mellom EDC og VCM. Dette kommer også tydelig fram i modellen. Det er altså lite trolig at det er omsetningen i crackeren som slår så kraftig ut høyere opp i kolonnen. Da gjenstår ombyggingen på 80 tallet og evt. spesifikasjonene i bunnen. Skal modellen med total virkningsgrad på 0.67 få riktig profil så må renhetene, som tidligere nevnt i eksperimentelldelen, reduseres i toppen og bunnen av kolonnen til henholdsvis 35 vol-ppm VCM og 100 vol-ppm HCl.

Da gjenstår kun ombyggingen på 80 tallet. Når det simuleres med 45 plater og delt Murphree virkningsgrad må det benyttes en lavere virkningsgrad i bunnen (plate 24 og nedover) enn i toppen. Dette er ikke helt usannsynlig da det var nettopp i bunnen de hadde størst problemer med hydraulisk kapasitet. Etter at kolonnen ble modifisert for å øke den hydrauliske kapasiteten ser det ut til at virkningsgraden har økt over hele kolonnen, men klart mest i bunnen. Vi kommer derfor ut med en Murphree virkningsgrad på den stasjonære modellen lik 0.885 i HYSYS.

Det var tydelig at temperaturprofilen var svært følsom for virkningsgraden. Inndata som er brukt i simuleringen er fra ASPEN innfil som er brukt av Hydro. Det har ikke vært mulig å skaffe til veie en temperatur profil med tilhørende driftsdata. Det kan være interessant å følge opp dette, men da trenges langt mere driftsdata enn vi har hatt tilgjengelig.

### 6.2.2 Spesifikasjoner på renheter i topp og bunn av kolonnen

Renhetskravene er oppgitt fra Hydro til å være 10ppm(vol) av VCM i topp(tapt produkt) og

10ppm(vol) HCl i bunn. Det er spesielt kravet i bunn som må overholdes, da renheten på produktet må være høyt. Da kolonnen er såpass overdimensjonert med antall plater, koster det lite å overfraksjonere. Det er også trolig grunnen til at renheten må senkes helt til 0.01 i volum fraksjon før det slår nevneverdig ut på energi forbruket. Med så lav renhet overgår klart kostnaden i tapt produkt besparelsen på energi forbruket.

### 6.3 Optimalisering av kolonnen

#### 6.3.1 *Simulering 1 utgangspunktet*

Simuleringen gir verdier for refluks og duty i koker og kondensator som er i samme størrelses orden som simuleringer gjennomført av Sauar.

#### 6.3.2 *Bytting av F34 og F30, simulering 2*

Bytting av F34 og F30 gir ingen gevinst, men et lite tap. Dette skyldes her at F34 som er gass føde har en sammensetning og temperatur som stemmer mye bedre med plate 34 enn plate 30. Dette var ikke tilfelle for Sauar hvor F34 hos han er ca. 15°C varmere en temperaturen på plate 34. Hoved forskjellen i simuleringen her og hos Sauar er temperaturen på plate 38, her er den 26,7°C og hos Sauar er den 15,6°C. Temperaturen i kolonnen ligger trolig nærmere 26°C og Sauar har trolig brukt simuleringens verdier som ikke stemte særlig godt med den virkelige verden. F30 passer derimot bedre på plate 34 men klarer tydeligvis ikke å oppveie for den ugunstige effekten av å flytte F34.

#### 6.3.3 *Direkte føding av strøm fra V-1402*

Dette gir åpenbart en stor gevinst. Strømmen fra V-1402 som gikk sammen med F34 har høyt innhold av EDC, 0,66 i molbrøk, og en høy temperatur. Det er klart ugunstig å blande en slik strøm i en strøm som går inn i kolonnen helt oppe på plate 34 hvor molbrøken i både væske og damp fasen er under 0,06. Det har trolig vært andre årsaker, fare for væskeslag, som er grunnen til at det opprinnelig ble designet på denne måten.

#### 6.3.4 *Flytting av føder med eksiterende fødestusser som begrensning*

Det oppnås her relativt beskjedne innsparinger. F30, væske føde, flyttes opp til plate 34 som både har en temperatur og en sammensetning som i væske fasen som passer bedre sammen en hva det gjør på plate 30. Det samme gjelder F20Retur som er væske med høyt innhold av VCM, 0,9997 i molbrøk, som flyttes fra plate 20 til plate 16.

#### 6.3.5 *Fjerning av den siste mixeren og direkte føding av strøm fra H-1404*

Strømmen fra H-1404 er kald, 3°C, og har et høyt innhold av EDC, 0,9028 i molbrøk, og det er dermed ugunstig og blande den sammen med F24 som er 58°C og har 0,4 i molbrøk for EDC.

Besparelsen er riktignok langt mindre enn den som oppnås ved å fjerne den andre blandingen. Dette skyldes at temperatur differansen ikke er så stor og sammensetnings differansen er heller ikke så stor som i det andre tilfellet.

### **6.3.6 *Optimalisering av anlegget med den siste blandingen, og uten eksisterende fødetusser som begrensning***

Her oppnås den lille ekstra gevinsten ved at F34 og F30 kan flyttes ennå høyere opp i kolonnen hvor sammensetningene og temperatur passer bedre. F24 flyttes opp to plater til plate 26 da sammensetningsprofilen har skjøvet seg noe i kolonnen. F20Retur og F16 kan flyttes ytterligere nedover der de hører hjemme.

### **6.3.7 *Optimalisering av anlegget uten den siste blandingen, og uten eksisterende fødetusser som begrensning***

I hovedsak som for med blander, men F24 flyttes ikke opp i kolonnen, noe som er i samsvar med de hydrauliske begrensningene.

## **6.4 Reguleringsstruktur**

I denne oppgaven er det modellert en destillasjonskolonne som befinner seg på Hydro Rafnes i Porsgrunn. Reguleringsstrukturen var derfor allerede gitt, men det ble allikevel foretatt en del beregninger på regulerbarheten for å få en viss indikasjon på hvorfor denne strukturen ble valgt. Ut fra resultatene er det tydelig at en LV-konfigurasjon er det beste valget selv om den har svært høye verdier i den stasjonære RGA-matrissa. DB og DV-konfigurasjonene er i seg selv uaktuelle å bruke da disse reguleringsstrukturene krever meget god nivåregulering. Dette kan bli meget vanskelig da kondensat tanken er meget stor, og er i grunn uaktuelt da destillat mengden blir bestemt av oksy-reaktoren. (L/D)/(V/B)-konfigurasjonen gitt i litteraturen er heller ikke uaktuell å bruke da nivået også her reguleres av destillatmengden. Høye RGA-elementer i LV-konfigurasjonen vil resultere i store interaksjoner mellom temperaturregulering i topp og bunn, noe som også ble resultatet i de dynamiske simuleringene. Separasjonen i kolonna er derimot så god, at den tåler en del svingninger i temperaturen uten at renhetene i topp og bunn overstiger kravene. Ut i fra sammensetningsprofilen er det tydelig at det er et stort område mellom trinn 15 og 38 der det foregår svært lite separasjon. Området kan allikevel fungere som en dekobler for å minske interaksjonene mellom temperatursløyfene i topp og bunn av kolonna.

## **6.5 Dynamisk simulering**

### **6.5.1 *Implementering av dynamisk modell i HYSYS***

Modellen er som tidligere nevnt noe forenklet. Det er i hovedsak benyttet default dimensjonerings verdier fra HYSYS da det er muligheter for å dimensjonere meget detaljert. Da det er lagt mest vekt på å få et realistisk trykkfall antas det at de resterende default verdiene er

tilfredstillende.

Trykkreguleringen i toppen av kolonnen er noe av det som er mest forenklet. Den reguleres av kondensatoren som i simuleringene er forenklet, og det er ikke tatt høyde for dette i reguleringen av kondensatoren ved å legge til dødtid, slik som det er gjort i kokeren. I den virkelige kolonnen har de noe problemer med fluktuasjoner av trykket i toppen som påvirker temperaturen på plate 38. Dette har ikke kommet fram i simuleringene her. Reguleringen av trykket er nok for ideel i våre simuleringer.

Modellen HYSYS bruker for virkningsgraden i dynamiske simuleringer er ikke den samme som i de stasjonære simuleringene. Dette førte til at renhetene i kolonnen ble høyere og det tyder på at den dynamiske virkningsgraden er noe høy. Det burde derfor vært gjennomført nye simuleringer for å bestemme den dynamiske virkningsgraden i HYSYS. Dette er beklageligvis ikke gjennomført da de dynamiske simuleringene er forholdsvis tidkrevende.

### **6.5.2 *Regulerings strategi for lukket sløyfe interaksjoner***

På grunn av store interaksjonene som oppsto ved å bruke regulatorer tunet etter Skogestads regler måtte alternative metoder benyttes. Metoden som ble benyttet var å "detune" temperatursløyfen i topp ved å senke forsterkningen og øke integraltiden. Dette er en konservativ bruk av regulator parametre som vil kunne føre til noe slakk regulering i topp, men siden kravet i topp ikke er så strengt ble denne metoden likevel brukt.

Bruk av dekobler i dette tilfelle ble det sammen med veileder avgjort ikke ville fungere tilfredstillende. Parringene som ble gjort er ut fra RGA-analysene de eneste mulige både fra en stasjonær synsvinkel, da RGA-elementene her var de eneste positive, og fra en dynamisk synsvinkel, da tidskonstantene til transferfunksjonene her er mindre enn for de to andre mulighetene. Parringen stemmer da også bra overens med hva sunn fornuft tilsier. En fjerde mulighet hadde vært å bruke multivariabel prediktiv kontroll(MPC), men dette er vurdert å ligge utenfor denne oppgaven og det er derfor valgt å se bort fra dette alternativet.

### **6.5.3 *Tuning***

Alle regulatorene ble implementert som PI-regulatorer da alle responsene i simuleringene ble tilnærmet å være av 1.orden. Som nevnt under resultatdelen ble PI-parameterene funnet ved hjelp av Skogestads tuningregler. Noen av disse ble korrigert noe i forhold til de beregnede verdiene fordi det kreves et visst forhold i raskheten i reguleringa mellom noen av regulatorene. I tillegg ble integralvirkningen på flowregulatorene svært stor, så denne ble redusert noe.

## **6.6 *Temperaturreguleringen***

### **6.6.1 *Tuning***

I det eksisterende anlegget brukes det en PID-regulatorer på reguleringen av damp til kokeren. Dette kommer av at varmevekslingen mellom væsken og dampen gir to tidskonstanter og

dermed en 2. ordens respons, derivattiden tilordnes da til den minste tidskonstanten i følge Skogestads tuningregler. Dette blir ikke benyttet i vår simulering fordi det her blir regulert rett på energitilførselen til kokeren, altså en 1. ordens respons. Det blir på grunn av dette lagt til 1 minutt på dødtiden i kokeren, for å skape en mer realistisk verdi på forsterkningen.

Størst problemer lå det i å finne PI-parameterene for temperaturreguleringssløyfene. Forholdet mellom disse to reguleringene er kritisk for å få stabilitet i kolonna. Det ble benyttet en enkel framgangsmåte for å tune temperatursløyfa i topp. Etter at bunnsløyfa var tunet så rask som mulig, ble den beregnede forsterkning fra Skogestads regler på toppsløyfa korrigert ved å halvere forsterkningen og øke integraltida fra den minste verdien av  $\tau_1$  og  $8\theta$  til den største. Ut i fra dette ble det prøvd å lese ut fra responsene på step i forstyrrelser om det var integraltid eller forsterkning som var for høy/lav. Ved å benytte tuningreglene direkte ville denne normalt hatt omtrent samme parametre som bunnsløyfa. Det ble gjort forsøk med å benytte de beregnede verdiene direkte, men som ventet ga dette ustabilitet ved step i forstyrrelsene.

### 6.6.2 *Regulerbarhet*

Det ble gjennomført en del steptester i forstyrrelsene for å kontrollere hvor bra reguleringssløyfene virket. Helt ideell regulering blir umulig i en kolonne der interaksjonene er såpass store, men reguleringen synes å virke tilfredstillende. Pga den nevnte overspesifisering, noe som nok var tatt med i beregningen da kolonnen ble dimensjonert, er renhetene ganske robuste mot temperaturendringer. Det er tydelig av disse resultatene at reguleringen er bedre med de korrigerede PI-parametrene i toppsløyfa, men at det ennå er interaksjoner. Topptemperaturen henter seg inn til setpunkt etter ca 30 minutt, mens bunntemperaturen ikke er tilbake på setpunkt før etter ca. 50 minutt.

Det ble oppgitt fra Hydro at de har problemer med at topptemperaturen driver noe. I våre simuleringer regulerer topptemperaturen svært bra selv om den som nevnt er tunet til å være relativt langsom. Bunnsløyfen bruker noe lenger tid på å regulere inn forstyrrelsene. Det ble gjort forsøk på å øke integralvirkningen, uten at dette ga bedre regulering. En forklaring på dette kan være at det kun er gjennomført stependringer i væskeføder, som vil ha større innvirkning på nedre del av kolonnen. Effekten på endringen vil bli mindre etterhvert som den beveger seg oppover i kolonnen, og slår dermed mindre ut på topptemperaturen.

### 6.6.3 *Forandring av målepunkt*

Å flytte målepunktet i topp til plate 40 gir en mer lik følsomhet for målepunktet på endringer i pådraget i begge retninger. Det blir dermed enklere å finne tuningparameter for toppsløyfen. Ut i fra resultatene ser en at reguleringa i topp nå bli raskere. Reguleringa i bunn er omtrent uforandret siden interaksjonene mellom sløyfene fortsatt vil være stor, og forstyrrelsen har like stor effekt som før.



#### 6.6.4 *Temperaturegulering med Hydro sine tuninger*

Å få sammenlignet raskheten av reguleringen i de to kolonnene blir ikke helt reellt, da bunnsløyfen i det virkelige anlegget er en PID-regulator, mens det her er et noe forenklet oppsett med en PI-regulator. Det som er vanskelig å kvantifisere er effekten som derivatvirkningen har på raskheten av reguleringen i bunn. Det antas at derivatvirkningen kun påvirker de dynamiske effektene den 2. ordens responsen gir, og dermed kun sammenligner P- og I-virkningen på regulatorene.

Det som er en tydelig forskjell er at proposjonalvirkningen er større i toppsløyfen enn i bunnsløyfen hos Hydro. For å få en raskere regulering i bunn vil det være naturlig at P-virkningen er størst i bunn.

Integralvirkningen er forholdsvis lik i begge sløyfene hos Hydro(15 min. i bunn, 20 min. i topp), mens vi har valgt å ha så stor integralvirkning som mulig ut i fra tuningreglene i bunn(17 min), og redusert den i topp(45 min).

Ut fra at det er reguleringen av temperaturen i bunn som bør være raskest mulig, anbefales det Hydro å prøve å endre parameterene på disse to regulatorene slik at bunnsløyfen blir raskere relativt til toppsløyfen.



## 7. KONKLUSJON

Denne oppgaven er en studie rundt HCl-kolonnen i VCM-fabrikken ved Hydro Rafnes. Kolonnen er simulert i prosess-simuleringsprogrammet HYSYS. Den ble først simulert stasjonært for å se på muligheter for energibesparelser. Den dynamiske simuleringen ble benyttet for å optimalisere reguleringen på kolonnen, spesielt med tanke på temperatursløyvene i topp og bunn.

Kolonnen som er implementert i HYSYS er dimensjonert for å gi et mest mulig likt temperatur- og trykkprofil som den reelle kolonnen. Det er funnet at en total platevirkningsgrad på 0.67 funnet av Skogestad i 1981, ikke gir den beste modellen for temperaturprofilen på dagens kolonne. Dette på grunn av at modifikasjoner utført senere har endret profilet. En Murphree platevirkningsgrad på 0.885 gir en bedre modell av kolonna i HYSYS.

Det viste seg at fjerning av mikseren i 1998 har gitt en reell energigevinst, beregnet i HYSYS til å være på ca. 450 000 kroner årlig. I følge beregningene er det potensiale til å spare inn ytterligere ca. 60 000 kroner årlig ved flytting av føde F34 og F20Retur, i tillegg til å fjerne den siste mikseren. Dette vil være en økonomisk vurdering ut i fra kostnader på flytting av fødene. Tallene bør verifiseres med en simulering med mer nøyaktige driftsdata.

Fra en RGA-analyse ble det funnet at kolonnen har store interaksjoner mellom temperatur-reguleringene i topp og bunn som gir ustabilitet hvis ikke tuningene på de to regulatorene er tilpasset hverandre. Temperatursløyfen i bunn må tunes noe raskere enn den i topp. Dette ble også vist i simuleringer. Dette er ikke tilfelle i dagens anlegg, og det anbefales å forsøke dette for å få en mer stabil regulering.



## SYMBOLLISTE

| Symbol         | Beskrivelse   | Enhet |
|----------------|---|-------|
| $\alpha$       | Relativ flyktighet  |       |
| $x$            | Molfraksjon i væskefase   |       |
| $y$            | Molfraksjon i gassfase  |       |
| $S$            | Separasjonsgrad   |       |
| $N$            | Antall trinn  |       |
| $g_{ij}$       | Effekten i måling i ved endring i pådrag $j$                              |       |
| $F$            | Fødestrøm   | mol/h |
| $L$            | Refluksstrøm  | mol/h |
| $V$            | Gass-strøm fra koker  | mol/h |
| $D$            | Destillatstrøm  | mol/h |
| $B$            | Væskestrøm i bunn   | mol/h |
| $x_D$          | Molfraksjon tung komponent i destillatstrøm                               |       |
| $x_B$          | Molfraksjon lett komponent i bunnstrøm                                    |       |
| $\lambda_{ij}$ | relativ forsterkning, gir endring i $g_{ij}$ når de andre sløyfene lukkes |       |
| $\tau$         | Tidskonstant  | min   |
| $k$            | Forsterkning  |       |
| $\theta$       | Dødtid  | min   |
| $K_c$          | Forsterkning i regulator(P-virkning)                                      |       |
| $\tau_I$       | Integraltid i regulator (I-virkning)                                      | min   |
| $\tau_D$       | Derivattid i regulator(D-virkning)  | min   |
| $\tau_c$       | Lukket systems responstid   | min   |
| $\eta$         | Platevirkningsgrad  |       |
| $\eta_M$       | Murphree's platevirkningsgrad   |       |
| $C_i$          | kontrolert variabel   |       |
| $M_j$          | manipulert variabel   |       |



## LITTERATURLISTE

- [1] Skogestad, S., Rapport 53/81, "Simulering av HCl kolonnen(C1501) og oppstrøms separasjonsanlegg(1400-del), del 1", *Hydro Forskningscenter*, 1981.
- [2] Skogestad, S., Rapport 53/81, "Simulering av HCl kolonnen(C1501) og oppstrøms separasjonsanlegg(1400-del), del 2", *Hydro Forskningscenter*, 1981.
- [3] Sauar, E., " Process Design based on Optimum Entropy Production", Diplomoppgave, *Institutt for Fysikalsk Kjemi, NTNU*, 1995.
- [4] Skogestad, S., "Tillegg til fag 52041 Prosessregulering", *Institutt for Kjemisk Prosess teknologi, NTNU*,1999.
- [5] Roald, A. S., "Kjemiteknikk II", 1997.
- [6] Skogestad, S., Lundstrøm, P. og Jacobsen, E. W., " Selecting the Best Distillation Control Configuration", *AIChE J.*, **36**, 753 (Mai 1990).
- [7] Skogestad, S., "Dynamics and Control of Distillation Columns: A Tutorial Introduction", *Trans IChemE*, **75**, A539 (September 1997).
- [8] <http://www2.hydro.com/petro/no/rafnes/053.html>, lastet ned fra nett 20.02.2000.
- [9] Seeborg, D. E, Edgard, T. F og Mellichamp, D. A., "Process dynamics and control", John Wiley & Sons, Inc. New York (1989).
- [10] HYSYS Manual, steady state, [http://kikp.chembio.ntnu.no/drift/documentation/hysys\\_plant/doc/s\\_state.pdf](http://kikp.chembio.ntnu.no/drift/documentation/hysys_plant/doc/s_state.pdf).
- [11] HYSYS Manual, dynamisk, [http://kikp.chembio.ntnu.no/drift/documentation/hysys\\_plant/doc/dynamics.pdf](http://kikp.chembio.ntnu.no/drift/documentation/hysys_plant/doc/dynamics.pdf).
- [12] Halvorsen, I. J. og Skogestad, S., " Distillation Theory", *Institutt for kjemiteknikk, NTNU*, September 1999.





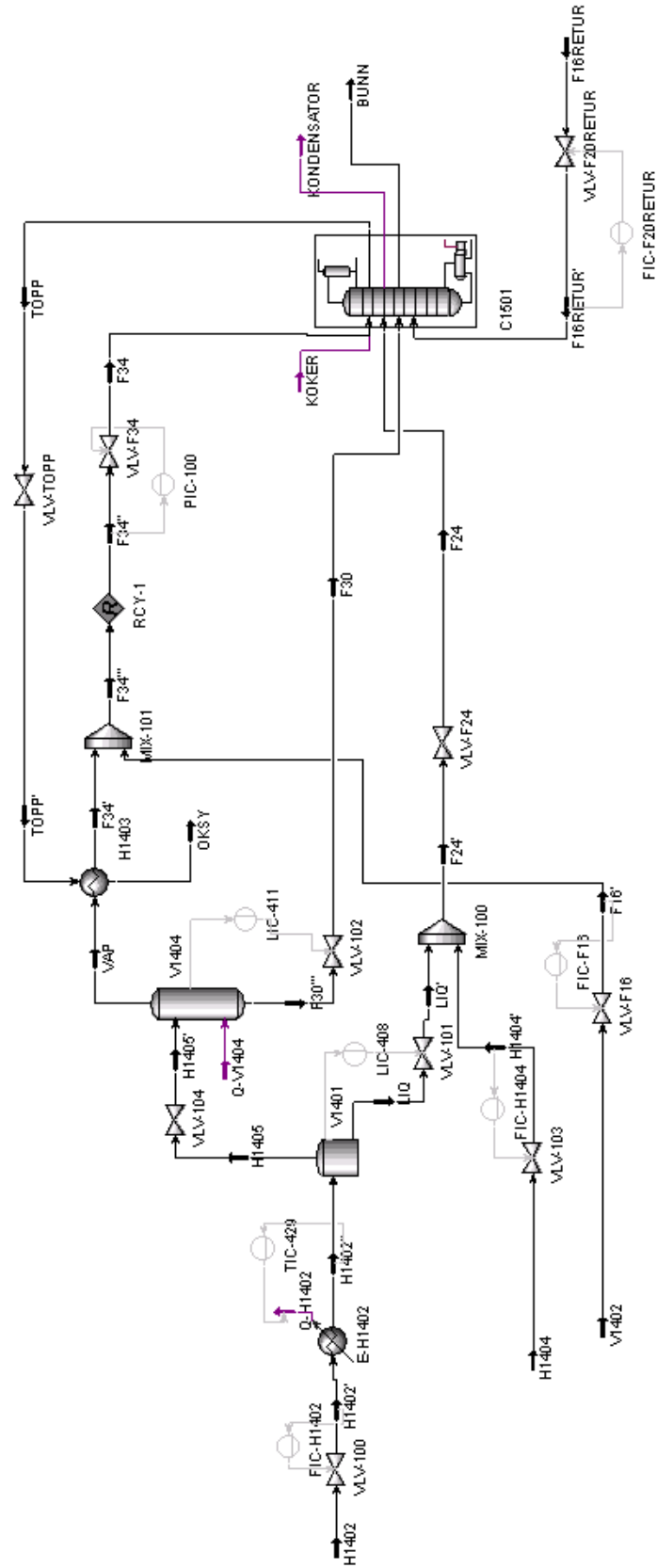
---

## BILAG

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>A</b> | <b>Flytskjema for kolonnen før ombygginger i 1998</b>   | <b>57</b>  |
|          | A-1 Forklaring til Flytskjema .....                     | 58         |
| <b>B</b> | <b>Flytskjema for kolonnen etter ombygginger i 1998</b> | <b>59</b>  |
|          | B-1 Forklaring til flytskjema.....                      | 60         |
| <b>C</b> | <b>Flytskjema for kolonnen siste mixer fjernet</b>      | <b>61</b>  |
|          | C-1 Forklaring til flytskjema.....                      | 62         |
| <b>D</b> | <b>Driftsdata</b>                                       | <b>63</b>  |
| <b>E</b> | <b>Temperatur profiler</b>                              | <b>65</b>  |
| <b>F</b> | <b>Energibesparelser</b>                                | <b>69</b>  |
| <b>G</b> | <b>Føder og sammensetning</b>                           | <b>72</b>  |
| <b>H</b> | <b>Tuningsparametere</b>                                | <b>84</b>  |
| <b>I</b> | <b>Holdup i kolonna</b>                                 | <b>85</b>  |
| <b>J</b> | <b>Tuningsrespons</b>                                   | <b>86</b>  |
| <b>K</b> | <b>Simulering av forstyrrelser</b>                      | <b>92</b>  |
| <b>L</b> | <b>Renheter</b>   | <b>93</b>  |
| <b>M</b> | <b>Økonomi beregninger</b>                              | <b>94</b>  |
| <b>N</b> | <b>RGA-beregninger</b>                                  | <b>95</b>  |
| <b>O</b> | <b>Transferfunksjoner i kolonna</b>                     | <b>96</b>  |
| <b>P</b> | <b>Inputfil for aspen simuleringer</b>                  | <b>99</b>  |
| <b>Q</b> | <b>Korrespondanse med Hydro</b>                         | <b>100</b> |
|          | Q-1 Mail: Definerings av oppgave.....                   | 100        |
|          | Q-2 Mail: Prosessforklaring .....                       | 102        |
|          | Q-3 Mail: Svar på spørsmål rundt energidelen.....       | 103        |
|          | Q-4 Mail: Forstyrrelser, data fra Honeywell .....       | 105        |
|          | Q-5 Mail: Regulatorparametere.....                      | 107        |
|          | Q-6 Mail: Svar på spørsmål, renheter, priser.....       | 110        |
|          | Q-7 Mail: Modifikasjoner.....                           | 112        |
| <b>R</b> | <b>Flytskjema av det virkelige anlegget</b>             | <b>113</b> |

---

# A FLYTSKJEMA FOR KOLONEN FØR OMBYGGINGER I 1998



## **A-1 Forklaring til Flytskjema**

Strømmene inn på flytskjemaet kommer fra andre deler av anlegget:

Strøm H1402 : Gass-strøm fra toppen av bråkjølerne C-1401A/B/C.

Strøm H1404 : Væske strøm fra tank V-1403.

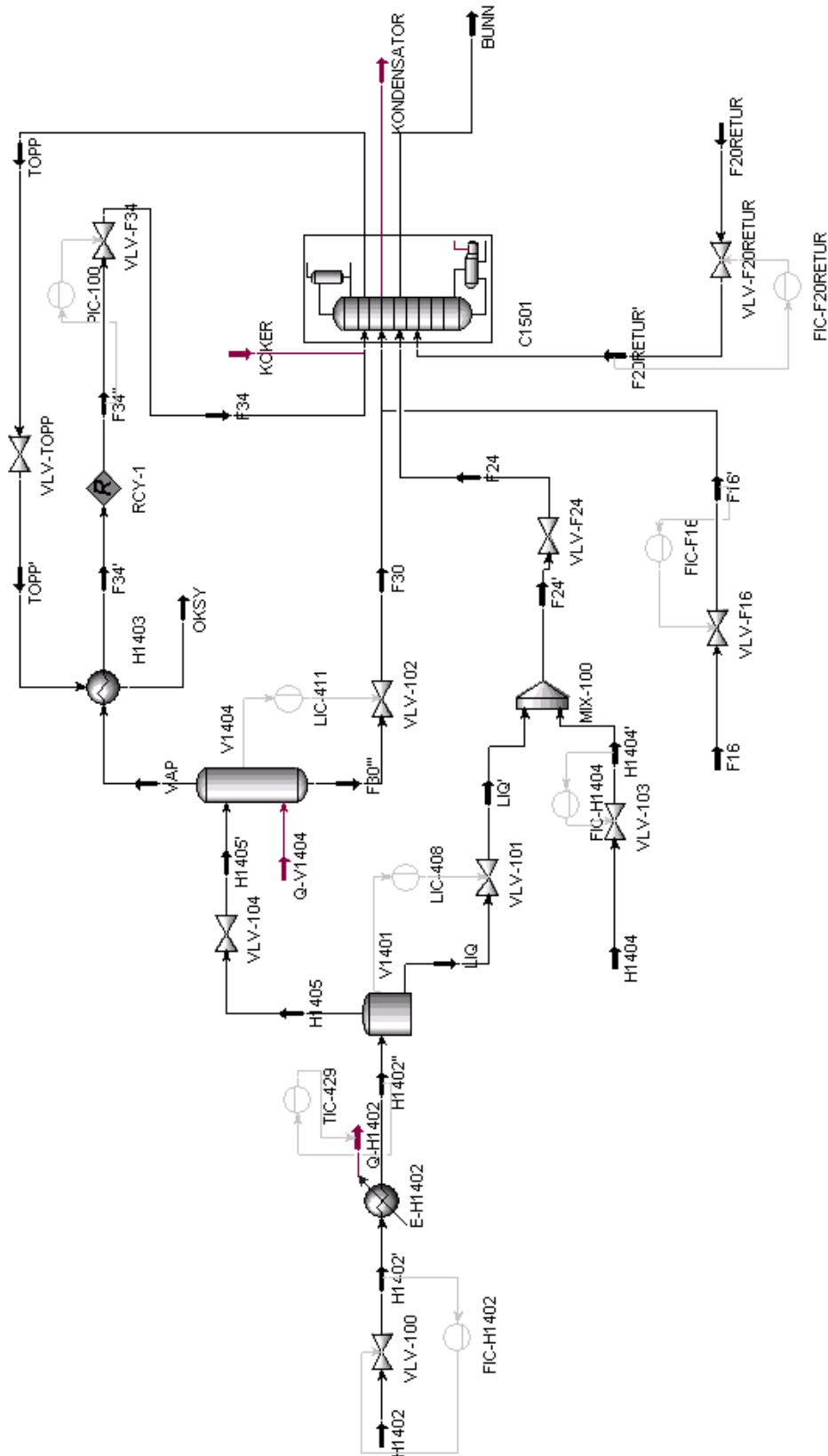
Strøm V1402 : Gass-strøm fra tank V-1402.

Strøm F16Retur: Væske fra kondensator for HCl-stripper, H-1509.

Det er gjort en del forenklinger/sammenslåinger i flytskjemaet i forhold til det virkelige anlegget:

- 1) Det er to varmevekslere mellom flashtank V-1401 og flashtank V-1404, H-1405A/B. Disse inngår i flashtank V-1404 på flytskjemaet.
- 2) Varmeveksler H-1402 består egentlig av to varmevekslere i parallell, H-1402A og B. TIC-429 styrer dermed splitten over begge disse to, og ikke effekt slik som på flytskjemaet.
- 3) Det er lagt inn FIC'er på strøm på alle strømmer inn på flytskjemaet, for å kunne kontrollere mengden som strømmer inn på prosessen. Disse eksisterer ikke på det reelle anlegget.

# B FLYTSKJEMA FOR KOLONNEN ETTER OMBYGGINGER I 1998



### B-1 Forklaring til flytskjema

Strømmene inn på flytskjemaet kommer fra andre deler av anlegget:

Strøm H1402 : Gass fra toppen av bråkjølerne C-1401A/B/C.

Strøm H1404 : Væske fra tank V-1403.

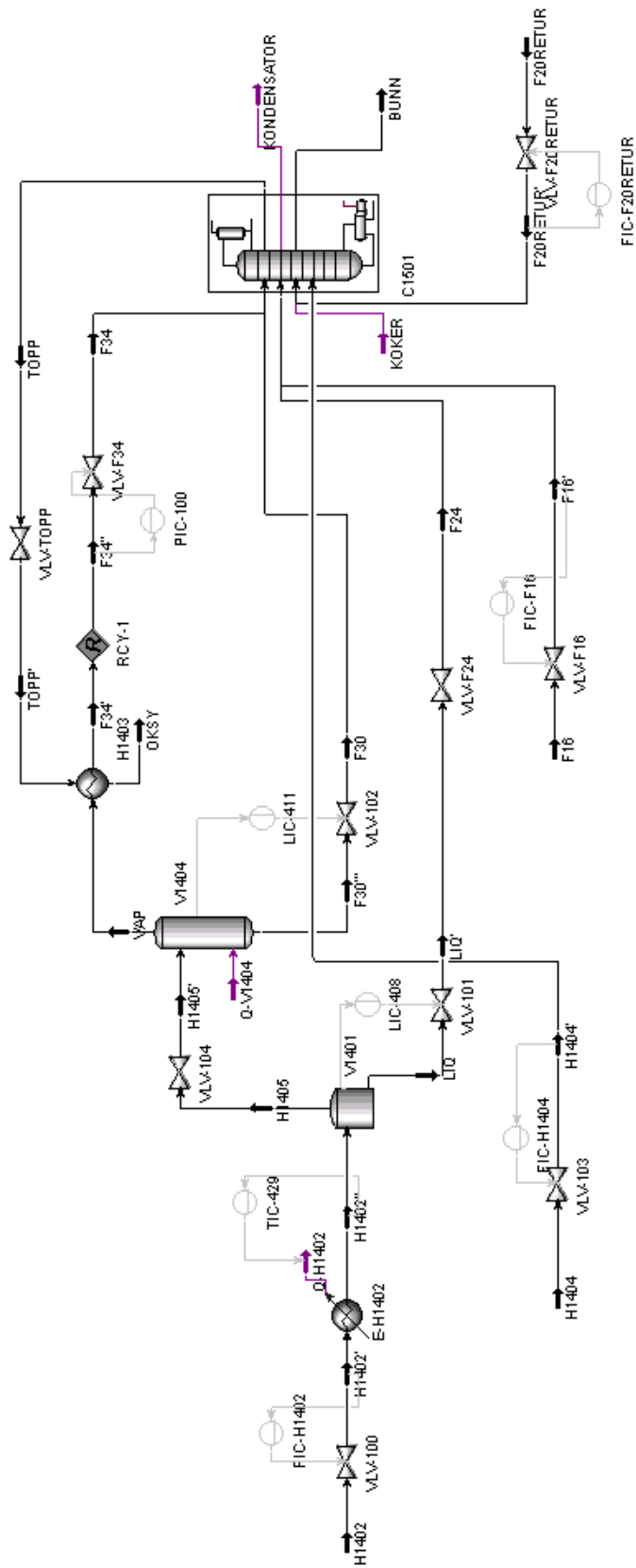
Strøm F16 : Gass fra tank V-1402.

Strøm F20Retur: Væske fra kondensator for HCl-stripper, H-1509.

Det er gjort en del forenklinger/sammenslåinger i flytskjemaet i forhold til det virkelige anlegget:

- 4) Det er to varmevekslere mellom flashtank V-1401 og flashtank V-1404, H-1405A/B. Disse inngår i flashtank V-1404 på flytskjemaet.
- 5) Varmeveksler H-1402 består egentlig av to varmevekslere i parallell, H-1402A og B. TIC-429 styrer dermed splitten over begge disse to, og ikke effekt slik som på flytskjemaet.
- 6) Det er lagt inn FIC'er på strøm på alle strømmen inn på flytskjemaet, for å kunne kontrollere mengden som strømmer inn på prosessen. Disse eksisterer ikke på det reelle anlegget.

# C FLYTSKJEMA FOR KOLONNEN SISTE MIXER FJERNET



### C-1 Forklaring til flytskjema

Strømmene inn på flytskjemaet kommer fra andre deler av anlegget:

Strøm H1402 : Gass fra toppen av bråkjølerne C-1401A/B/C.

Strøm H1404 : Væske fra tank V-1403.

Strøm F16 : Gass fra tank V-1402.

Strøm F20Retur: Væske fra kondensator for HCl-stripper, H-1509.

Det er gjort en del forenklinger/sammenslåinger i flytskjemaet i forhold til det virkelige anlegget:

- 7) Det er to varmevekslere mellom flashtank V-1401 og flashtank V-1404, H-1405A/B. Disse inngår i flashtank V-1404 på flytskjemaet.
- 8) Varmeveksler H-1402 består egentlig av to varmevekslere i parallell, H-1402A og B. TIC-429 styrer dermed splitten over begge disse to, og ikke effekt slik som på flytskjemaet.
- 9) Det er lagt inn FIC'er på strøm på alle strømmer inn på flytskjemaet, for å kunne kontrollere mengden som strømmer inn på prosessen. Disse eksisterer ikke på det reelle anlegget.



## D DRIFTSDATA

Tabell D-1 Driftsdata fra 26/8-81<sup>[2]</sup>

| Målepunkt. | Temperatur [°C] |
|------------|-----------------|
| Bunn       | 101             |
| Plate 10   | 88              |
| Plate 15   | 89              |
| Plate 30   | 32              |
| Plate 38   | 14              |
| Topp       | -25             |

Tabell D-2 Driftsdata fra 26/8-81<sup>[2]</sup>

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| Cracker omsetning | 51.9%       |
| Trykk i topp      | 12.1bar     |
| Trykk i bunn      | 12.4bar     |
| HCl i bunn        | 0.9ppm.vekt |
| VCM i topp        | 5ppm.vol    |

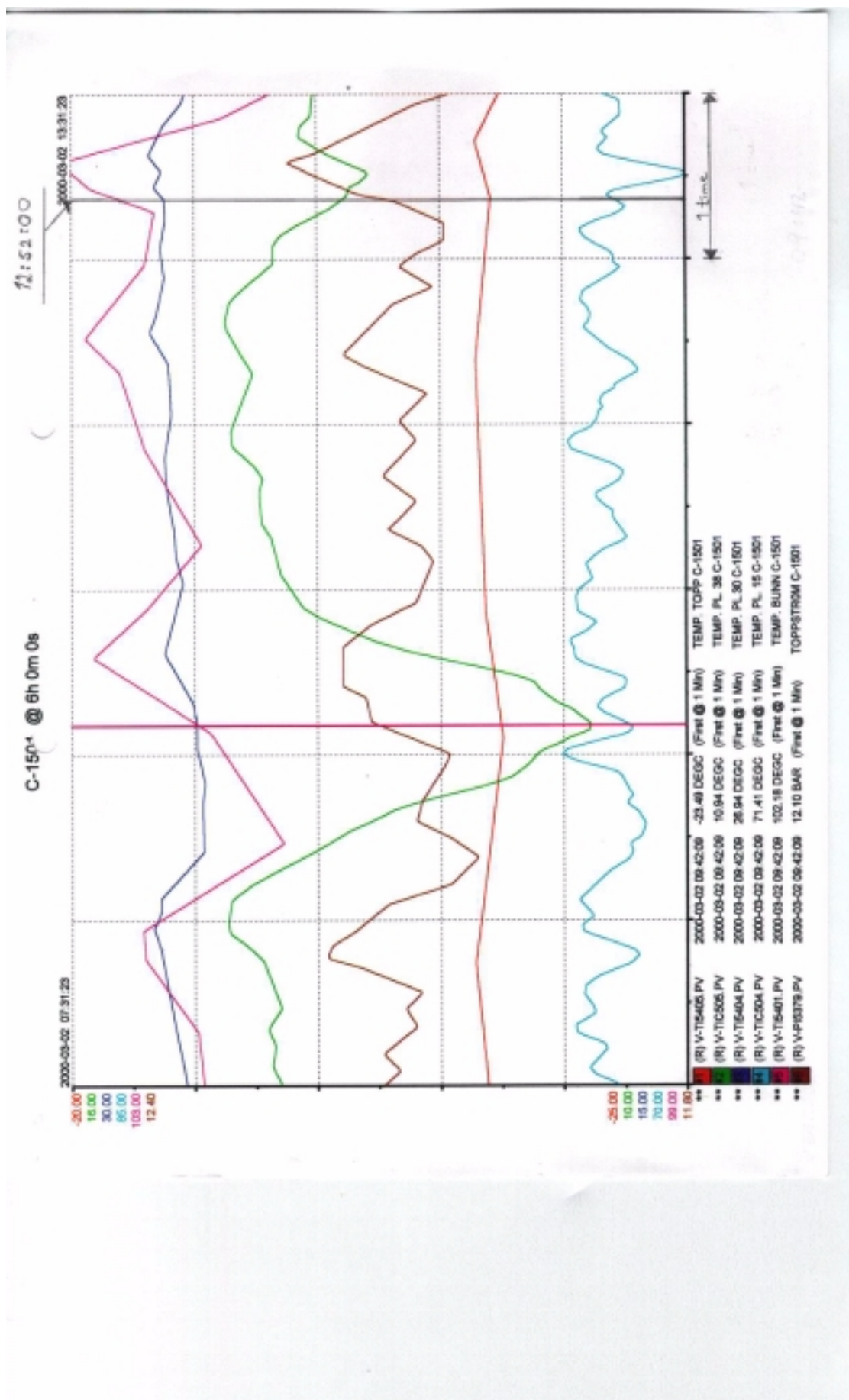
Driftsdataene fra 1981 er hentet fra et studie utført av Skogestad<sup>[2]</sup>. Dataene fra 2/3-2000 er oppgitte data fra Hydro Rafnes.

Tabell D-3 Driftsdata fra 2/3-00

| Målepunkt | Temperatur [°C] |
|-----------|-----------------|
| Bunn      | 102.6           |
| Plate 10  | 92.5            |
| Plate 15  | 71.7            |
| Plate 30  | 27.7            |
| Plate 38  | 13.3            |
| Topp      | -23.4           |

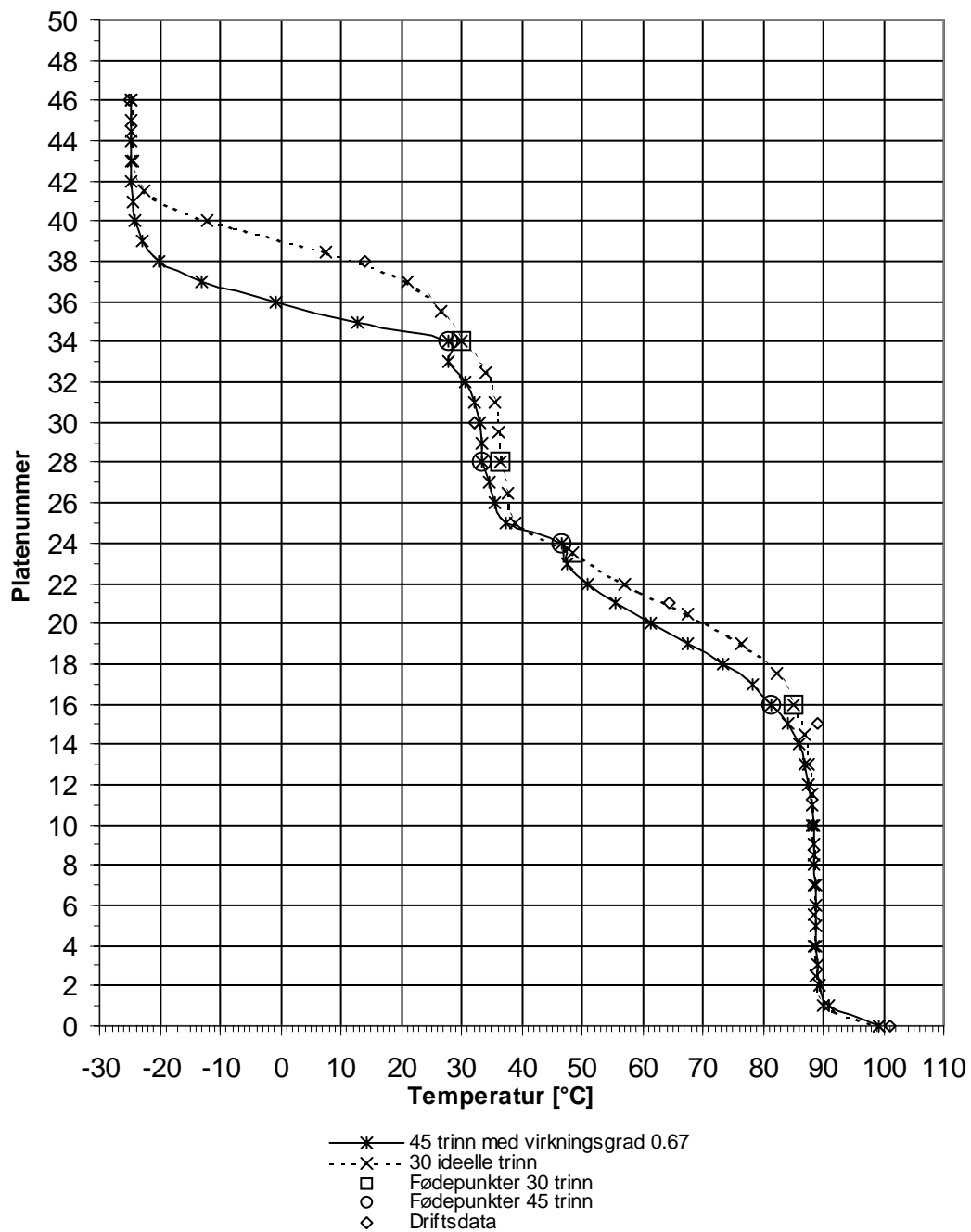
Tabell D-4 Driftsdata fra 2/3-00

|                   |          |
|-------------------|----------|
| Cracker omsetning | 55%      |
| Trykk i topp      | 12.1bar  |
| Trykk i bunn      | 12.45bar |

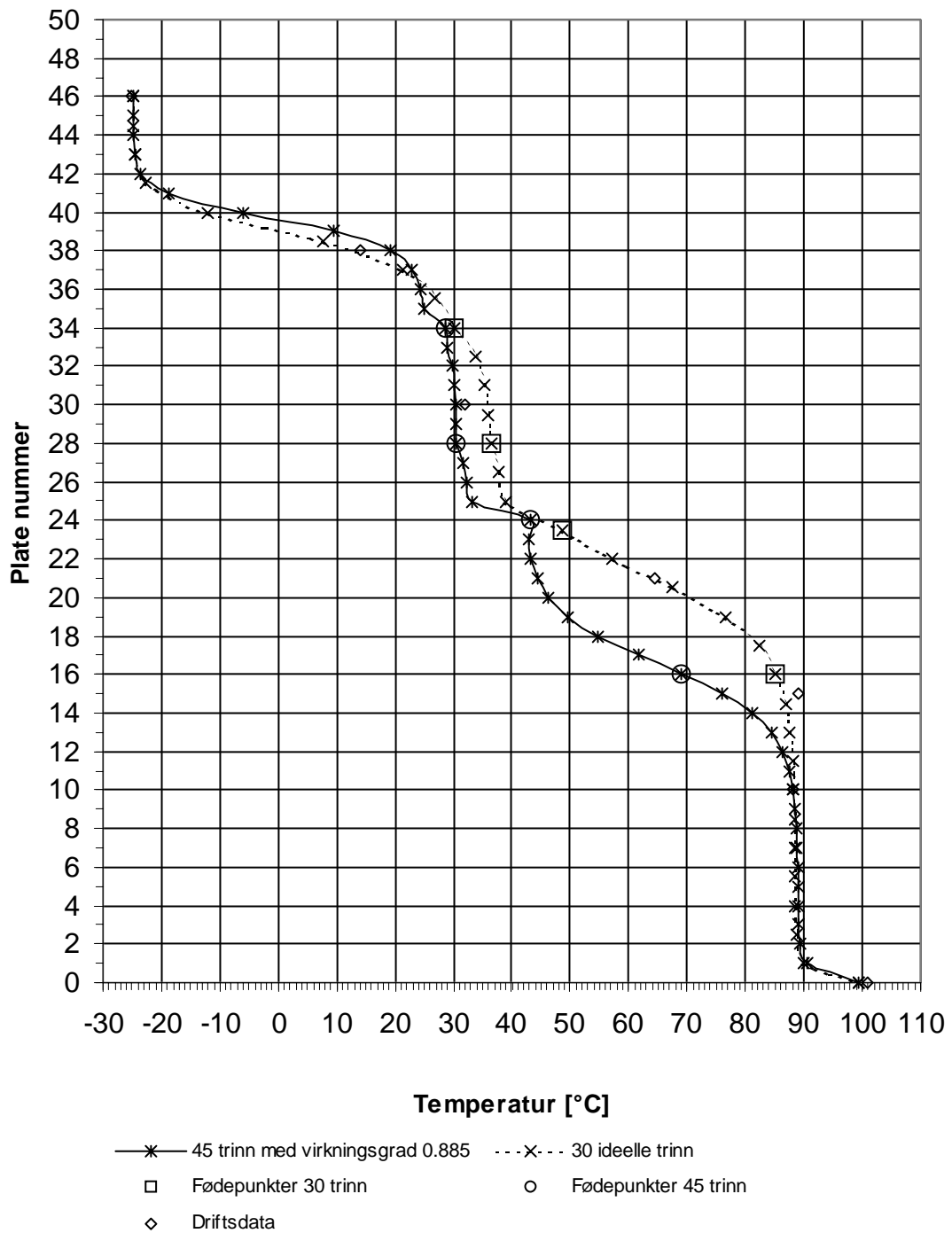


Figur D.1 Utskrift av driftsdata over 6 timer av trykk og temperatur i kolonnen.

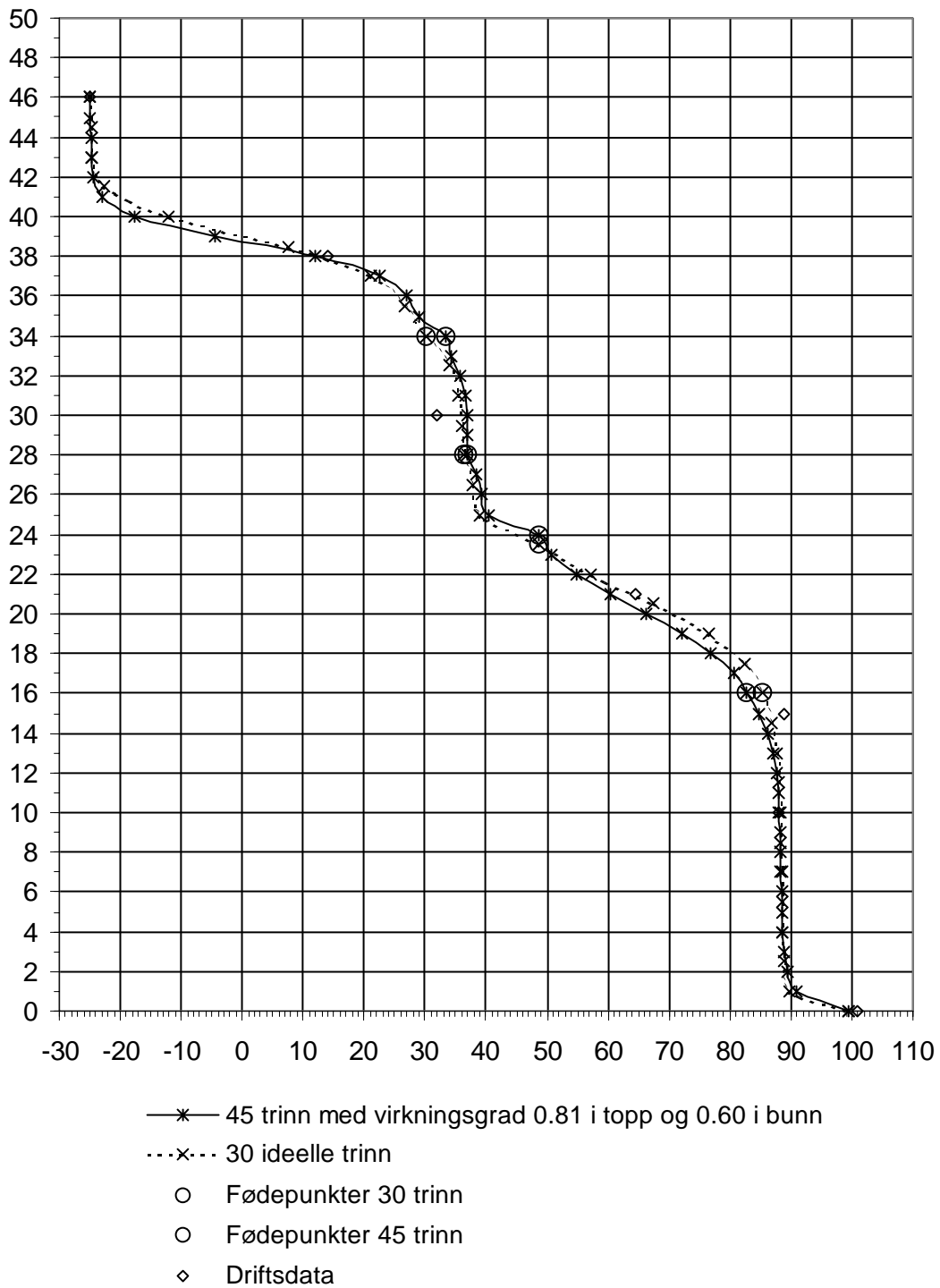
# E TEMPERATUR PROFILER



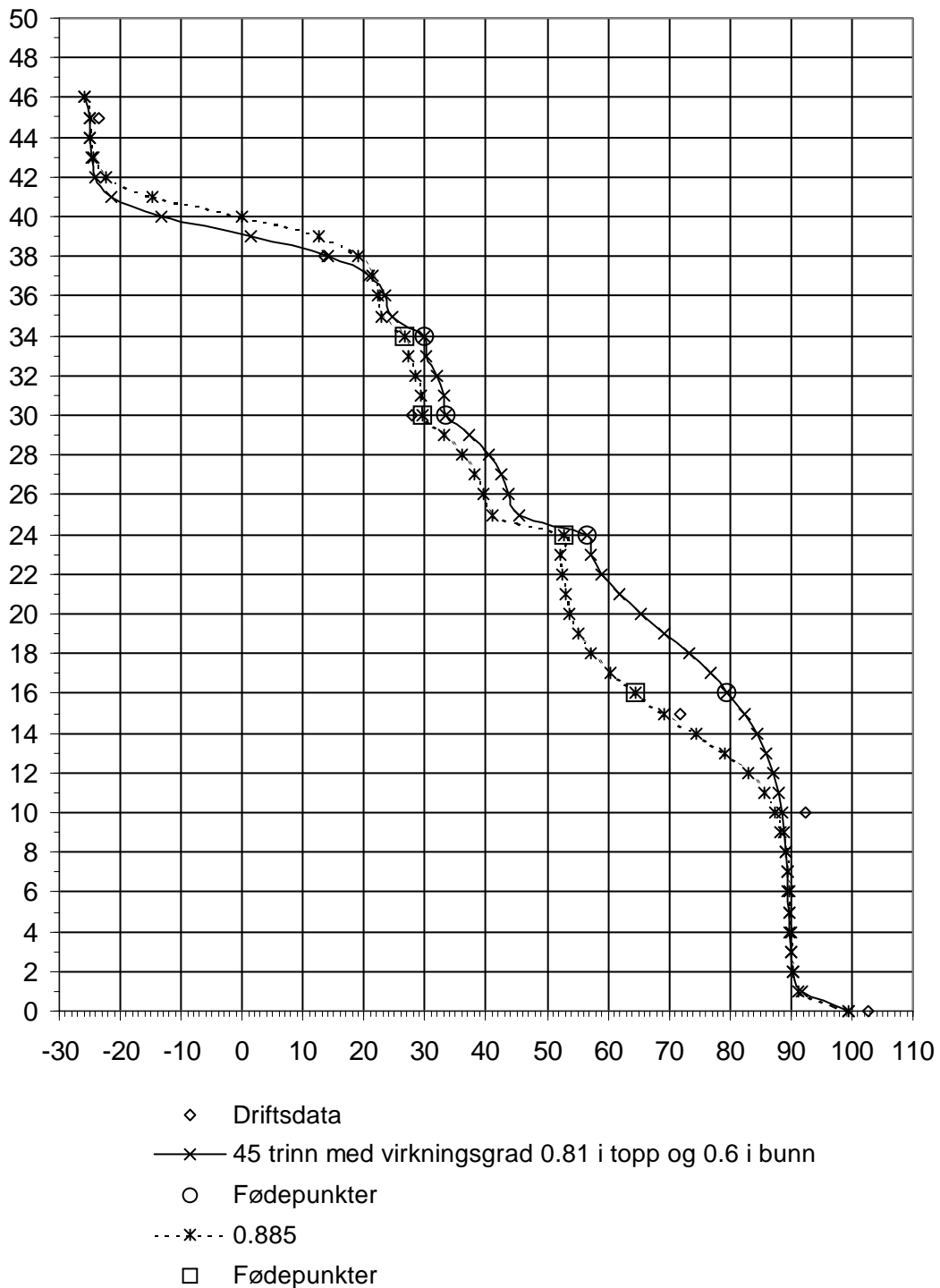
Figur E.1 Temperaturprofil for kolonnen før 1998, simulering med 30 trinn og 45 trinn med virkningsgrad lik 0.67. Driftsdata fra 1981, tabell D-2.



**Figur E.2** Temperaturprofil for kolonnen før 1998 ved simulering med 30 trinn og 45 trinn med virkningsgrad lik 0.885. Driftsdata fra 1981, tabell D-2.



**Figur E.3** Temperaturprofil for kolonnen før 1998 ved simulering med 30 trinn og 45 trinn med virkningsgrad lik 0.81 i toppen og 0.60 i bunnen. Driftsdata fra 1981, tabell D-2.



**Figur E.4** Temperaturprofil for kolonnen før 1989 ved simulering med 30 trinn og 45 trinn med virkningsgrad lik 0.81 i toppen og 0.60 i bunnen. Driftsdata fra 2000, tabell D-3. Før Sauar med delt og 0.885.

## F ENERGIBESPARELSER

**Tabell F-1 Anlegget uten modifikasjoner (før 98)**

|          | plate | Energi koker [kJ/h] | Energi kondensator [kJ/h] |
|----------|-------|---------------------|---------------------------|
| F34      | 34    | 5072                | 2453                      |
| F24      | 24    |                     |                           |
| F30      | 30    |                     |                           |
| F16RETUR | 16    |                     |                           |

**Tabell F-2 Anlegget med F34 og F30 byttet (før 98)**

|          | plate | Energi koker [kJ/h] | Energi kondensator [kJ/h] |
|----------|-------|---------------------|---------------------------|
| F34      | 34    | 5080                | 2461                      |
| F24      | 24    |                     |                           |
| F30      | 30    |                     |                           |
| F16RETUR | 16    |                     |                           |

**Tabell F-3 Anlegget etter modifikasjoner foreslått av Sauar implementer i 98.**

|          | Trinn (plate) | Energi koker [kW] | Energi kondensator [kW] |
|----------|---------------|-------------------|-------------------------|
| F34      | 34            | 4699              | 2079                    |
| F24      | 24            |                   |                         |
| F30      | 30            |                   |                         |
| F20RETUR | 20            |                   |                         |
| F16      | 16            |                   |                         |

**Tabell F-4 Anlegget etter modifikasjoner optimalisert med hensyn på fødepunkts plassering basert på mulige fødestusser.**

|          | plate | Energi koker [kW] | Energi kondensator [kW] |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|
| F34      | 34    | 4680              | 2060                    |
| F24      | 24    |                   |                         |
| F30      | 34    |                   |                         |
| F20RETUR | 16    |                   |                         |
| F16      | 16    |                   |                         |

**Tabell F-5 Anlegget etter modifikasjoner optimalisert med hensyn på fødepunkts plassering basert på mulige fødestusser. Siste mixer er fjernet.**

|          | plate | Energi koker [kW] | Energi kondensator [kW] |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|
| F34      | 34    | 4662              | 2042                    |
| F24      | 24    |                   |                         |
| F30      | 34    |                   |                         |
| F20RETUR | 16    |                   |                         |
| F16      | 16    |                   |                         |
| H1404    | 34    |                   |                         |

**Tabell F-6 Anlegget etter modifikasjoner optimalisert med hensyn på fødepunkts plassering uten å ta hensyn til fødestusser.**

|          | plate | Energi koker [kW] | Energi kondensator [kW] |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|
| F34      | 38    | 4665              | 2045                    |
| F24      | 26    |                   |                         |
| F30      | 37    |                   |                         |
| F20RETUR | 4     |                   |                         |
| F16      | 14    |                   |                         |



**Tabell F-7** Anlegget etter modifikasjoner optimalisert med hensyn på fødepunkts plassering uten å ta hensyn til fødestusser. Siste mixer er fjernet.

|          | plate | Energi koker [kW] | Energi kondensator [kW] |
|----------|-------|-------------------|-------------------------|
| F34      | 38    | 4650              | 2030                    |
| F24      | 24    |                   |                         |
| F30      | 34    |                   |                         |
| F20RETUR | 4     |                   |                         |
| F16      | 14    |                   |                         |
| H1402    | 34    |                   |                         |

## G FØDER OG SAMMENSETNING

Tabell G-1 Føder i anlegget uten modifikasjoner (før 98)

| Føde     | Temperatur [°C] | Flow [kmol/t] | HCl    | VCM    | EDC    | Damp fraksjon |
|----------|-----------------|---------------|--------|--------|--------|---------------|
| F34      | 26.54           | 599.35        | 0.7783 | 0.1779 | 0.0438 | 0.9192        |
| F30      | 19.71           | 328.83        | 0.3916 | 0.5471 | 0.0613 | 0.0659        |
| F24      | 58.07           | 1557.57       | 0.1976 | 0.3960 | 0.4064 | 0.0640        |
| F16Retur | 35.01           | 80.02         | 0.0003 | 0.9997 | 0.0000 | 0.0000        |

Tabell G-2 Sammensetning og temperatur for kolonnen uten modifikasjoner (før 98), simulering 1

| Plate       | Temperatur [°C] | Damp   |        |        |            | Væske  |        |        |            |
|-------------|-----------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|------------|
|             |                 | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow |
| Kondensator | -25.86          | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 902.9995   | 0.9999 | 0.0001 | 0.0000 | 645.9113   |
| 45          | -25.07          | 0.9999 | 0.0001 | 0.0000 | 1548.9107  | 0.9993 | 0.0007 | 0.0000 | 647.9091   |
| 44          | -24.95          | 0.9997 | 0.0003 | 0.0000 | 1550.9085  | 0.9968 | 0.0032 | 0.0000 | 645.5622   |
| 43          | -24.48          | 0.9987 | 0.0013 | 0.0000 | 1548.5617  | 0.9854 | 0.0146 | 0.0000 | 634.6697   |
| 42          | -22.41          | 0.9940 | 0.0060 | 0.0000 | 1537.6691  | 0.9361 | 0.0639 | 0.0000 | 595.0685   |
| 41          | -14.84          | 0.9746 | 0.0254 | 0.0000 | 1498.0680  | 0.7830 | 0.2170 | 0.0000 | 519.8900   |
| 40          | -0.13           | 0.9207 | 0.0793 | 0.0000 | 1422.8895  | 0.5587 | 0.4413 | 0.0000 | 463.0480   |
| 39          | 12.66           | 0.8504 | 0.1496 | 0.0000 | 1366.0474  | 0.4122 | 0.5878 | 0.0000 | 444.2032   |
| 38          | 18.98           | 0.8062 | 0.1938 | 0.0000 | 1347.2026  | 0.3519 | 0.6480 | 0.0000 | 440.2400   |
| 37          | 21.40           | 0.7876 | 0.2124 | 0.0000 | 1343.2394  | 0.3308 | 0.6691 | 0.0001 | 439.3817   |
| 36          | 22.27           | 0.7810 | 0.2190 | 0.0000 | 1342.3812  | 0.3237 | 0.6758 | 0.0005 | 438.4804   |
| 35          | 22.77           | 0.7789 | 0.2209 | 0.0002 | 1341.4799  | 0.3208 | 0.6758 | 0.0034 | 425.9220   |
| 34          | 26.66           | 0.7823 | 0.2166 | 0.0011 | 1328.9215  | 0.3226 | 0.6200 | 0.0573 | 473.9045   |
| 33          | 27.15           | 0.7580 | 0.2408 | 0.0012 | 777.5495   | 0.2964 | 0.6454 | 0.0582 | 467.7834   |
| 32          | 28.54           | 0.7456 | 0.2531 | 0.0013 | 771.4284   | 0.2854 | 0.6563 | 0.0583 | 467.9060   |
| 31          | 29.31           | 0.7388 | 0.2598 | 0.0013 | 771.5509   | 0.2797 | 0.6619 | 0.0584 | 468.3570   |
| 30          | 29.57           | 0.7351 | 0.2635 | 0.0014 | 772.0020   | 0.2800 | 0.6587 | 0.0614 | 776.7173   |
| 29          | 33.11           | 0.6988 | 0.2995 | 0.0017 | 751.5272   | 0.2524 | 0.6862 | 0.0615 | 778.2454   |
| 28          | 35.94           | 0.6695 | 0.3286 | 0.0019 | 753.0553   | 0.2325 | 0.7060 | 0.0615 | 780.6339   |
| 27          | 37.98           | 0.6476 | 0.3503 | 0.0021 | 755.4438   | 0.2188 | 0.7196 | 0.0617 | 782.5201   |
| 26          | 39.45           | 0.6324 | 0.3652 | 0.0024 | 757.3300   | 0.2096 | 0.7273 | 0.0632 | 782.1591   |
| 25          | 41.11           | 0.6231 | 0.3729 | 0.0040 | 756.9690   | 0.2025 | 0.7230 | 0.0745 | 759.0859   |
| 24          | 52.69           | 0.6288 | 0.3574 | 0.0138 | 733.8958   | 0.1790 | 0.5107 | 0.3103 | 2217.9759  |
| 23          | 52.28           | 0.6249 | 0.3612 | 0.0139 | 635.2192   | 0.1763 | 0.5123 | 0.3114 | 2209.9421  |
| 22          | 52.49           | 0.6213 | 0.3647 | 0.0140 | 627.1854   | 0.1748 | 0.5139 | 0.3114 | 2210.7705  |

Tabell G-2 Sammensetning og temperatur for kolonnen uten modifikasjoner (før 98), simulering 1

| Plate | Temperatur<br>[°C] | Damp   |        |        |            | Væske  |        |        |            |
|-------|--------------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|------------|
|       |                    | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow |
| 21    | 52.95              | 0.6153 | 0.3705 | 0.0143 | 628.0139   | 0.1723 | 0.5166 | 0.3111 | 2213.6445  |
| 20    | 53.75              | 0.6046 | 0.3807 | 0.0148 | 630.8879   | 0.1680 | 0.5213 | 0.3107 | 2218.6960  |
| 19    | 55.09              | 0.5862 | 0.3983 | 0.0156 | 635.9393   | 0.1608 | 0.5293 | 0.3099 | 2227.3858  |
| 18    | 57.25              | 0.5556 | 0.4275 | 0.0169 | 644.6292   | 0.1492 | 0.5422 | 0.3086 | 2242.0576  |
| 17    | 60.50              | 0.5075 | 0.4735 | 0.0190 | 659.3009   | 0.1322 | 0.5616 | 0.3061 | 2266.7114  |
| 16    | 64.36              | 0.4382 | 0.5405 | 0.0213 | 683.9548   | 0.1100 | 0.5983 | 0.2917 | 2391.5581  |
| 15    | 69.29              | 0.3610 | 0.6140 | 0.0250 | 728.7798   | 0.0871 | 0.6246 | 0.2883 | 2434.6424  |
| 14    | 74.43              | 0.2747 | 0.6961 | 0.0292 | 771.8642   | 0.0637 | 0.6517 | 0.2846 | 2483.0255  |
| 13    | 79.12              | 0.1928 | 0.7739 | 0.0334 | 820.2472   | 0.0432 | 0.6757 | 0.2810 | 2531.2173  |
| 12    | 82.86              | 0.1259 | 0.8372 | 0.0369 | 868.4390   | 0.0275 | 0.6944 | 0.2780 | 2572.6556  |
| 11    | 85.53              | 0.0779 | 0.8827 | 0.0394 | 909.8773   | 0.0168 | 0.7075 | 0.2758 | 2603.9658  |
| 10    | 87.28              | 0.0463 | 0.9125 | 0.0411 | 941.1875   | 0.0099 | 0.7159 | 0.2742 | 2625.4085  |
| 9     | 88.36              | 0.0269 | 0.9309 | 0.0422 | 962.6303   | 0.0057 | 0.7210 | 0.2733 | 2639.1622  |
| 8     | 89.02              | 0.0154 | 0.9418 | 0.0429 | 976.3839   | 0.0033 | 0.7241 | 0.2727 | 2647.6700  |
| 7     | 89.42              | 0.0087 | 0.9480 | 0.0432 | 984.8917   | 0.0018 | 0.7258 | 0.2723 | 2652.8742  |
| 6     | 89.66              | 0.0049 | 0.9516 | 0.0435 | 990.0959   | 0.0010 | 0.7269 | 0.2721 | 2656.0908  |
| 5     | 89.81              | 0.0027 | 0.9537 | 0.0436 | 993.3126   | 0.0006 | 0.7275 | 0.2720 | 2658.1221  |
| 4     | 89.91              | 0.0015 | 0.9548 | 0.0437 | 995.3439   | 0.0003 | 0.7277 | 0.2720 | 2659.3428  |
| 3     | 90.02              | 0.0008 | 0.9552 | 0.0440 | 996.5645   | 0.0002 | 0.7275 | 0.2723 | 2659.4315  |
| 2     | 90.25              | 0.0004 | 0.9545 | 0.0451 | 996.6533   | 0.0001 | 0.7252 | 0.2747 | 2655.1903  |
| 1     | 91.32              | 0.0002 | 0.9494 | 0.0504 | 992.4120   | 0.0000 | 0.7128 | 0.2871 | 2621.9488  |
| Koker | 99.30              | 0.0001 | 0.9234 | 0.0765 | 959.1705   | 0.0000 | 0.5914 | 0.4086 | 1662.7783  |

Tabell G-3 Sammensetning og temperatur for kolonnen med F34 og F30 byttet (før 98), simulering 2

|             |                 | Damp   |        |        |            | Væske  |        |        |            |
|-------------|-----------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|------------|
| Plate       | Temperatur [°C] | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow |
| Kondensator | -25.8597        | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 902.9995   | 0.9999 | 0.0001 | 0.0000 | 647.9636   |
| 45          | -25.0706        | 0.9999 | 0.0001 | 0.0000 | 1550.9631  | 0.9993 | 0.0007 | 0.0000 | 649.9681   |
| 44          | -24.9458        | 0.9997 | 0.0003 | 0.0000 | 1552.9675  | 0.9968 | 0.0032 | 0.0000 | 647.6112   |
| 43          | -24.4750        | 0.9987 | 0.0013 | 0.0000 | 1550.6106  | 0.9853 | 0.0147 | 0.0000 | 636.6630   |
| 42          | -22.4020        | 0.9939 | 0.0061 | 0.0000 | 1539.6625  | 0.9359 | 0.0641 | 0.0000 | 596.8505   |
| 41          | -14.8078        | 0.9745 | 0.0255 | 0.0000 | 1499.8500  | 0.7823 | 0.2177 | 0.0000 | 521.3588   |
| 40          | -0.0535         | 0.9203 | 0.0797 | 0.0000 | 1424.3582  | 0.5577 | 0.4423 | 0.0000 | 464.4273   |
| 39          | 12.7457         | 0.8498 | 0.1502 | 0.0000 | 1367.4268  | 0.4113 | 0.5887 | 0.0000 | 445.6314   |
| 38          | 19.0637         | 0.8055 | 0.1945 | 0.0000 | 1348.6309  | 0.3512 | 0.6488 | 0.0000 | 441.7174   |
| 37          | 21.4829         | 0.7869 | 0.2131 | 0.0000 | 1344.7169  | 0.3301 | 0.6699 | 0.0000 | 440.9220   |
| 36          | 22.3441         | 0.7802 | 0.2198 | 0.0000 | 1343.9215  | 0.3230 | 0.6767 | 0.0003 | 440.4934   |
| 35          | 22.7138         | 0.7780 | 0.2219 | 0.0001 | 1343.4929  | 0.3205 | 0.6779 | 0.0016 | 437.3476   |
| 34          | 23.7040         | 0.7783 | 0.2212 | 0.0005 | 1340.3470  | 0.3188 | 0.6532 | 0.0280 | 744.3969   |
| 33          | 24.9618         | 0.7671 | 0.2323 | 0.0005 | 1318.5614  | 0.3077 | 0.6641 | 0.0281 | 743.9116   |
| 32          | 25.6983         | 0.7611 | 0.2384 | 0.0006 | 1318.0760  | 0.3020 | 0.6696 | 0.0283 | 743.5116   |
| 31          | 26.2165         | 0.7580 | 0.2413 | 0.0007 | 1317.6760  | 0.2988 | 0.6714 | 0.0298 | 734.1390   |
| 30          | 29.3516         | 0.7594 | 0.2393 | 0.0013 | 1308.3035  | 0.3027 | 0.6368 | 0.0604 | 787.5431   |
| 29          | 31.4214         | 0.7164 | 0.2820 | 0.0015 | 762.3530   | 0.2654 | 0.6732 | 0.0613 | 778.9516   |
| 28          | 34.6904         | 0.6826 | 0.3156 | 0.0018 | 753.7616   | 0.2413 | 0.6974 | 0.0614 | 781.0629   |
| 27          | 37.1670         | 0.6564 | 0.3416 | 0.0020 | 755.8728   | 0.2243 | 0.7142 | 0.0616 | 783.1982   |
| 26          | 38.9693         | 0.6377 | 0.3599 | 0.0024 | 758.0081   | 0.2128 | 0.7242 | 0.0631 | 783.1341   |
| 25          | 40.8507         | 0.6258 | 0.3702 | 0.0039 | 757.9440   | 0.2042 | 0.7215 | 0.0743 | 760.2754   |
| 24          | 52.5962         | 0.6298 | 0.3565 | 0.0137 | 735.0853   | 0.1795 | 0.5104 | 0.3101 | 2218.9074  |
| 23          | 52.1776         | 0.6260 | 0.3602 | 0.0138 | 636.1508   | 0.1769 | 0.5119 | 0.3113 | 2210.8607  |
| 22          | 52.3818         | 0.6225 | 0.3636 | 0.0139 | 628.1040   | 0.1753 | 0.5135 | 0.3112 | 2211.7086  |
| 21          | 52.8329         | 0.6165 | 0.3693 | 0.0142 | 628.9519   | 0.1729 | 0.5161 | 0.3110 | 2214.6340  |
| 20          | 53.6189         | 0.6060 | 0.3793 | 0.0147 | 631.8773   | 0.1687 | 0.5208 | 0.3105 | 2219.7593  |
| 19          | 54.9462         | 0.5878 | 0.3967 | 0.0155 | 637.0027   | 0.1615 | 0.5287 | 0.3097 | 2228.4905  |
| 18          | 57.0986         | 0.5575 | 0.4257 | 0.0168 | 645.7339   | 0.1500 | 0.5415 | 0.3084 | 2243.1400  |
| 17          | 60.3353         | 0.5096 | 0.4715 | 0.0189 | 660.3834   | 0.1330 | 0.5610 | 0.3060 | 2267.6834  |
| 16          | 64.2079         | 0.4404 | 0.5384 | 0.0212 | 684.9268   | 0.1108 | 0.5977 | 0.2915 | 2392.3782  |
| 15          | 69.1395         | 0.3633 | 0.6119 | 0.0248 | 729.5999   | 0.0878 | 0.6240 | 0.2882 | 2435.3527  |
| 14          | 74.3026         | 0.2767 | 0.6942 | 0.0291 | 772.5744   | 0.0642 | 0.6513 | 0.2845 | 2483.7398  |
| 13          | 79.0290         | 0.1943 | 0.7725 | 0.0333 | 820.9615   | 0.0436 | 0.6755 | 0.2809 | 2532.0640  |
| 12          | 82.7997         | 0.1269 | 0.8363 | 0.0368 | 869.2857   | 0.0278 | 0.6943 | 0.2779 | 2573.7037  |
| 11          | 85.4859         | 0.0785 | 0.8822 | 0.0394 | 910.9254   | 0.0169 | 0.7075 | 0.2756 | 2605.2085  |
| 10          | 87.2483         | 0.0467 | 0.9122 | 0.0411 | 942.4302   | 0.0100 | 0.7159 | 0.2741 | 2626.7974  |

**Tabell G-3 Sammensetning og temperatur for kolonnen med F34 og F30 byttet (før 98), simulering 2**

| Plate | Temperatur<br>[°C] | Damp   |        |        |            | Væske  |        |        |            |
|-------|--------------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|------------|
|       |                    | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow |
| 9     | 88.3449            | 0.0271 | 0.9307 | 0.0422 | 964.0192   | 0.0057 | 0.7211 | 0.2731 | 2640.6450  |
| 8     | 89.0078            | 0.0155 | 0.9417 | 0.0428 | 977.8667   | 0.0033 | 0.7242 | 0.2725 | 2649.2073  |
| 7     | 89.4053            | 0.0088 | 0.9480 | 0.0432 | 986.4290   | 0.0018 | 0.7260 | 0.2722 | 2654.4411  |
| 6     | 89.6463            | 0.0049 | 0.9516 | 0.0434 | 991.6628   | 0.0010 | 0.7270 | 0.2719 | 2657.6730  |
| 5     | 89.7980            | 0.0027 | 0.9537 | 0.0436 | 994.8948   | 0.0006 | 0.7276 | 0.2718 | 2659.7120  |
| 4     | 89.9037            | 0.0015 | 0.9548 | 0.0437 | 996.9337   | 0.0003 | 0.7279 | 0.2718 | 2660.9358  |
| 3     | 90.0086            | 0.0008 | 0.9552 | 0.0440 | 998.1576   | 0.0002 | 0.7276 | 0.2722 | 2661.0233  |
| 2     | 90.2449            | 0.0004 | 0.9545 | 0.0450 | 998.2450   | 0.0001 | 0.7254 | 0.2746 | 2656.7671  |
| 1     | 91.3145            | 0.0002 | 0.9494 | 0.0504 | 993.9888   | 0.0000 | 0.7130 | 0.2870 | 2623.4356  |
| Koker | 99.3046            | 0.0001 | 0.9234 | 0.0765 | 960.6573   | 0.0000 | 0.5914 | 0.4086 | 1662.7783  |

**Tabell G-4 Føder i anlegget etter modifikasjoner i 1998**

| Føde     | Temperatur<br>[°C] | Flow<br>[kmol/t] | HCL    | VCM    | EDC    | Damp fraksjon |
|----------|--------------------|------------------|--------|--------|--------|---------------|
| F34      | 10.16              | 560.98           | 0.8233 | 0.1756 | 0.0011 | 0.8802        |
| F30      | 19.71              | 328.83           | 0.3916 | 0.5471 | 0.0613 | 0.0659        |
| F24      | 58.07              | 1557.57          | 0.1976 | 0.3960 | 0.4064 | 0.0640        |
| F20Retur | 35.01              | 80.02            | 0.0003 | 0.9997 | 0.0000 | 0.0000        |
| F16      | 173.91             | 38.36            | 0.1205 | 0.2120 | 0.6675 | 1.0000        |

Tabell G-5 Sammensetning og temperatur for kolonnen etter modifikasjoner i 1998, simulering 3

| Plate      | Temperatur<br>[°C] | Damp   |        |        |            | Væske  |        |        |            |
|------------|--------------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|------------|
|            |                    | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow |
| Kondesator | -25.85969764       | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 902.9933   | 0.9999 | 0.0001 | 0.0000 | 547.3329   |
| 45         | -25.07083372       | 0.9999 | 0.0001 | 0.0000 | 1450.3262  | 0.9994 | 0.0006 | 0.0000 | 549.0095   |
| 44         | -24.95605681       | 0.9998 | 0.0002 | 0.0000 | 1452.0028  | 0.9971 | 0.0029 | 0.0000 | 547.1365   |
| 43         | -24.54823593       | 0.9989 | 0.0011 | 0.0000 | 1450.1298  | 0.9871 | 0.0129 | 0.0000 | 538.8348   |
| 42         | -22.84705189       | 0.9952 | 0.0048 | 0.0000 | 1441.8281  | 0.9460 | 0.0540 | 0.0000 | 509.0741   |
| 41         | -16.72769889       | 0.9805 | 0.0195 | 0.0000 | 1412.0674  | 0.8174 | 0.1826 | 0.0000 | 448.9717   |
| 40         | -4.127089432       | 0.9394 | 0.0606 | 0.0000 | 1351.9650  | 0.6121 | 0.3879 | 0.0000 | 397.0875   |
| 39         | 7.90703203         | 0.8815 | 0.1185 | 0.0000 | 1300.0808  | 0.4621 | 0.5379 | 0.0000 | 376.2449   |
| 38         | 14.34422629        | 0.8418 | 0.1582 | 0.0000 | 1279.2382  | 0.3952 | 0.6048 | 0.0000 | 370.6617   |
| 37         | 16.93549788        | 0.8240 | 0.1760 | 0.0000 | 1273.6550  | 0.3707 | 0.6293 | 0.0000 | 369.2184   |
| 36         | 17.87910775        | 0.8174 | 0.1826 | 0.0000 | 1272.2117  | 0.3623 | 0.6377 | 0.0000 | 368.7000   |
| 35         | 18.25685681        | 0.8151 | 0.1849 | 0.0000 | 1271.6933  | 0.3593 | 0.6406 | 0.0001 | 364.3242   |
| 34         | 19.83936145        | 0.8158 | 0.1842 | 0.0000 | 1267.3175  | 0.3684 | 0.6301 | 0.0015 | 441.6877   |
| 33         | 23.25579692        | 0.7705 | 0.2295 | 0.0000 | 783.7037   | 0.3168 | 0.6816 | 0.0016 | 435.0686   |
| 32         | 26.1500291         | 0.7451 | 0.2549 | 0.0000 | 777.0845   | 0.2930 | 0.7053 | 0.0017 | 434.7650   |
| 31         | 27.67582885        | 0.7319 | 0.2680 | 0.0001 | 776.7810   | 0.2814 | 0.7159 | 0.0027 | 433.3913   |
| 30         | 29.06852595        | 0.7262 | 0.2731 | 0.0007 | 775.4073   | 0.2775 | 0.6936 | 0.0289 | 741.9896   |
| 29         | 32.89000395        | 0.6863 | 0.3129 | 0.0008 | 755.1705   | 0.2477 | 0.7234 | 0.0289 | 743.4647   |
| 28         | 35.72200638        | 0.6562 | 0.3428 | 0.0009 | 756.6457   | 0.2277 | 0.7433 | 0.0290 | 745.6668   |
| 27         | 37.6272303         | 0.6354 | 0.3636 | 0.0010 | 758.8478   | 0.2149 | 0.7559 | 0.0292 | 747.2405   |
| 26         | 38.92763866        | 0.6220 | 0.3767 | 0.0013 | 760.4215   | 0.2068 | 0.7623 | 0.0309 | 746.3963   |
| 25         | 40.45936624        | 0.6145 | 0.3826 | 0.0029 | 759.5773   | 0.2009 | 0.7564 | 0.0428 | 720.7096   |
| 24         | 52.80561643        | 0.6229 | 0.3635 | 0.0137 | 733.8905   | 0.1773 | 0.5188 | 0.3039 | 2180.3246  |
| 23         | 52.67281709        | 0.6150 | 0.3711 | 0.0139 | 635.9390   | 0.1730 | 0.5222 | 0.3049 | 2174.1268  |
| 22         | 53.37153601        | 0.6046 | 0.3811 | 0.0143 | 629.7412   | 0.1687 | 0.5268 | 0.3045 | 2178.1057  |
| 21         | 54.60656133        | 0.5871 | 0.3979 | 0.0150 | 633.7201   | 0.1618 | 0.5347 | 0.3035 | 2187.1873  |
| 20         | 56.08761803        | 0.5579 | 0.4266 | 0.0155 | 642.8017   | 0.1512 | 0.5585 | 0.2903 | 2290.2359  |
| 19         | 58.35103191        | 0.5268 | 0.4563 | 0.0168 | 665.8287   | 0.1400 | 0.5710 | 0.2890 | 2307.0602  |
| 18         | 61.50949826        | 0.4799 | 0.5012 | 0.0189 | 682.6530   | 0.1239 | 0.5889 | 0.2872 | 2330.3011  |
| 17         | 65.72387836        | 0.4154 | 0.5625 | 0.0221 | 705.8939   | 0.1033 | 0.6113 | 0.2854 | 2360.2073  |
| 16         | 71.84012206        | 0.3375 | 0.6354 | 0.0271 | 735.8001   | 0.0796 | 0.6262 | 0.2941 | 2385.6065  |
| 15         | 75.73373371        | 0.2628 | 0.7063 | 0.0308 | 722.8343   | 0.0600 | 0.6485 | 0.2916 | 2419.6629  |
| 14         | 79.70128469        | 0.1916 | 0.7738 | 0.0346 | 756.8907   | 0.0425 | 0.6690 | 0.2885 | 2459.4350  |
| 13         | 83.04890232        | 0.1312 | 0.8310 | 0.0378 | 796.6628   | 0.0285 | 0.6858 | 0.2857 | 2495.5223  |
| 12         | 85.57244676        | 0.0853 | 0.8744 | 0.0403 | 832.7501   | 0.0182 | 0.6983 | 0.2835 | 2524.2640  |
| 11         | 87.32693233        | 0.0534 | 0.9045 | 0.0421 | 861.4918   | 0.0113 | 0.7067 | 0.2819 | 2545.0876  |
| 10         | 88.48134452        | 0.0326 | 0.9241 | 0.0433 | 882.3154   | 0.0069 | 0.7123 | 0.2809 | 2559.2083  |

**Tabell G-5 Sammensetning og temperatur for kolonnen etter modifikasjoner i 1998, simulering 3**

| Plate | Temperatur<br>[°C] | Damp   |        |        |            | Væske  |        |        |            |
|-------|--------------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|------------|
|       |                    | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow |
| 9     | 89.21613402        | 0.0196 | 0.9364 | 0.0440 | 896.4361   | 0.0041 | 0.7157 | 0.2802 | 2568.4021  |
| 8     | 89.67697477        | 0.0116 | 0.9439 | 0.0445 | 905.6299   | 0.0024 | 0.7178 | 0.2798 | 2574.2788  |
| 7     | 89.96647126        | 0.0068 | 0.9484 | 0.0448 | 911.5066   | 0.0014 | 0.7191 | 0.2795 | 2578.0404  |
| 6     | 90.15170985        | 0.0040 | 0.9510 | 0.0450 | 915.2682   | 0.0008 | 0.7199 | 0.2793 | 2580.4940  |
| 5     | 90.27526045        | 0.0023 | 0.9526 | 0.0451 | 917.7218   | 0.0005 | 0.7203 | 0.2792 | 2582.1366  |
| 4     | 90.36655817        | 0.0013 | 0.9535 | 0.0452 | 919.3645   | 0.0003 | 0.7205 | 0.2792 | 2583.1878  |
| 3     | 90.46154755        | 0.0008 | 0.9538 | 0.0454 | 920.4156   | 0.0002 | 0.7203 | 0.2795 | 2583.3257  |
| 2     | 90.67873275        | 0.0004 | 0.9531 | 0.0464 | 920.5535   | 0.0001 | 0.7183 | 0.2816 | 2579.7741  |
| 1     | 91.67375749        | 0.0002 | 0.9483 | 0.0515 | 917.0019   | 0.0000 | 0.7070 | 0.2930 | 2550.7383  |
| Koker | 99.30466393        | 0.0001 | 0.9234 | 0.0765 | 887.9661   | 0.0000 | 0.5914 | 0.4086 | 1662.7722  |

**Tabell G-6 Sammensetning og temperatur for kolonnen optimalisert med hesyn på mulige fødestusser, simulering 4**

| Plate       | Temperatur<br>[°C] | Damp   |        |        |            | Væske  |        |        |            |
|-------------|--------------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|------------|
|             |                    | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow |
| Kondensator | -25.8597           | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 902.9933   | 0.9999 | 0.0001 | 0.0000 | 542.2926   |
| 45          | -25.0709           | 0.9999 | 0.0001 | 0.0000 | 1445.2859  | 0.9994 | 0.0006 | 0.0000 | 543.9527   |
| 44          | -24.9567           | 0.9998 | 0.0002 | 0.0000 | 1446.9460  | 0.9971 | 0.0029 | 0.0000 | 542.1030   |
| 43          | -24.5524           | 0.9989 | 0.0011 | 0.0000 | 1445.0963  | 0.9872 | 0.0128 | 0.0000 | 533.9271   |
| 42          | -22.8714           | 0.9953 | 0.0047 | 0.0000 | 1436.9204  | 0.9466 | 0.0534 | 0.0000 | 504.6446   |
| 41          | -16.8314           | 0.9808 | 0.0192 | 0.0000 | 1407.6379  | 0.8194 | 0.1806 | 0.0000 | 445.2931   |
| 40          | -4.3538            | 0.9403 | 0.0597 | 0.0000 | 1348.2864  | 0.6153 | 0.3847 | 0.0000 | 393.6638   |
| 39          | 7.6301             | 0.8832 | 0.1168 | 0.0000 | 1296.6571  | 0.4651 | 0.5349 | 0.0000 | 372.7219   |
| 38          | 14.0731            | 0.8437 | 0.1563 | 0.0000 | 1275.7153  | 0.3979 | 0.6021 | 0.0000 | 367.0678   |
| 37          | 16.6781            | 0.8260 | 0.1740 | 0.0000 | 1270.0611  | 0.3731 | 0.6268 | 0.0000 | 365.5859   |
| 36          | 17.6385            | 0.8193 | 0.1806 | 0.0000 | 1268.5792  | 0.3645 | 0.6352 | 0.0002 | 364.8392   |
| 35          | 18.0869            | 0.8171 | 0.1828 | 0.0001 | 1267.8326  | 0.3613 | 0.6372 | 0.0015 | 357.4634   |
| 34          | 20.6216            | 0.8189 | 0.1807 | 0.0004 | 1260.4567  | 0.3679 | 0.6037 | 0.0284 | 747.3399   |
| 33          | 23.9468            | 0.7722 | 0.2272 | 0.0005 | 760.5208   | 0.3170 | 0.6540 | 0.0289 | 736.7914   |
| 32          | 28.6996            | 0.7280 | 0.2714 | 0.0007 | 749.9724   | 0.2784 | 0.6925 | 0.0290 | 737.3407   |
| 31          | 32.5364            | 0.6897 | 0.3094 | 0.0008 | 750.5217   | 0.2498 | 0.7211 | 0.0291 | 739.3365   |
| 30          | 35.3068            | 0.6605 | 0.3386 | 0.0009 | 752.5175   | 0.2302 | 0.7407 | 0.0291 | 741.4784   |
| 29          | 37.1747            | 0.6401 | 0.3589 | 0.0010 | 754.6593   | 0.2175 | 0.7534 | 0.0290 | 743.2423   |
| 28          | 38.3830            | 0.6267 | 0.3723 | 0.0010 | 756.4233   | 0.2096 | 0.7614 | 0.0291 | 744.4925   |
| 27          | 39.1566            | 0.6182 | 0.3807 | 0.0011 | 757.6735   | 0.2047 | 0.7660 | 0.0293 | 745.1022   |
| 26          | 39.7220            | 0.6131 | 0.3856 | 0.0014 | 758.2832   | 0.2016 | 0.7674 | 0.0310 | 743.5146   |

**Tabell G-6 Sammensetning og temperatur for kolonnen optimalisert med hesyn på mulige fødestusser, simulering 4**

| Plate | Temperatur<br>[°C] | Damp   |        |        |            | Væske  |        |        |            |
|-------|--------------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|------------|
|       |                    | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow |
| 25    | 40.7952            | 0.6109 | 0.3861 | 0.0030 | 756.6956   | 0.1987 | 0.7583 | 0.0429 | 717.4117   |
| 24    | 52.8681            | 0.6227 | 0.3636 | 0.0137 | 730.5927   | 0.1770 | 0.5186 | 0.3043 | 2176.9783  |
| 23    | 52.6134            | 0.6165 | 0.3696 | 0.0139 | 632.5927   | 0.1735 | 0.5212 | 0.3054 | 2170.0390  |
| 22    | 53.1060            | 0.6090 | 0.3768 | 0.0142 | 625.6534   | 0.1703 | 0.5245 | 0.3052 | 2172.6390  |
| 21    | 54.0336            | 0.5964 | 0.3889 | 0.0147 | 628.2534   | 0.1653 | 0.5301 | 0.3047 | 2178.5019  |
| 20    | 55.5695            | 0.5751 | 0.4093 | 0.0157 | 634.1163   | 0.1570 | 0.5392 | 0.3038 | 2188.4302  |
| 19    | 57.9840            | 0.5407 | 0.4421 | 0.0172 | 644.0446   | 0.1442 | 0.5534 | 0.3024 | 2204.5686  |
| 18    | 61.5100            | 0.4886 | 0.4918 | 0.0196 | 660.1830   | 0.1261 | 0.5736 | 0.3003 | 2229.4017  |
| 17    | 66.1621            | 0.4171 | 0.5599 | 0.0230 | 685.0161   | 0.1032 | 0.5992 | 0.2976 | 2263.3885  |
| 16    | 72.0849            | 0.3314 | 0.6411 | 0.0274 | 719.0029   | 0.0779 | 0.6276 | 0.2945 | 2383.0291  |
| 15    | 76.0345            | 0.2577 | 0.7111 | 0.0312 | 720.2569   | 0.0586 | 0.6496 | 0.2918 | 2418.4996  |
| 14    | 79.9504            | 0.1876 | 0.7776 | 0.0348 | 755.7274   | 0.0415 | 0.6698 | 0.2887 | 2457.9821  |
| 13    | 83.2315            | 0.1283 | 0.8337 | 0.0380 | 795.2099   | 0.0278 | 0.6862 | 0.2860 | 2493.4547  |
| 12    | 85.6980            | 0.0834 | 0.8761 | 0.0405 | 830.6826   | 0.0178 | 0.6984 | 0.2838 | 2521.5915  |
| 11    | 87.4114            | 0.0523 | 0.9055 | 0.0422 | 858.8193   | 0.0111 | 0.7067 | 0.2823 | 2541.9431  |
| 10    | 88.5394            | 0.0320 | 0.9246 | 0.0434 | 879.1709   | 0.0067 | 0.7120 | 0.2812 | 2555.7434  |
| 9     | 89.2585            | 0.0192 | 0.9367 | 0.0441 | 892.9712   | 0.0040 | 0.7154 | 0.2806 | 2564.7392  |
| 8     | 89.7104            | 0.0114 | 0.9440 | 0.0446 | 901.9670   | 0.0024 | 0.7175 | 0.2801 | 2570.5011  |
| 7     | 89.9951            | 0.0067 | 0.9484 | 0.0449 | 907.7289   | 0.0014 | 0.7187 | 0.2799 | 2574.1987  |
| 6     | 90.1777            | 0.0040 | 0.9510 | 0.0450 | 911.4265   | 0.0008 | 0.7195 | 0.2797 | 2576.6178  |
| 5     | 90.2999            | 0.0023 | 0.9525 | 0.0452 | 913.8456   | 0.0005 | 0.7199 | 0.2796 | 2578.2425  |
| 4     | 90.3905            | 0.0013 | 0.9534 | 0.0453 | 915.4703   | 0.0003 | 0.7202 | 0.2796 | 2579.2856  |
| 3     | 90.4850            | 0.0007 | 0.9537 | 0.0455 | 916.5134   | 0.0002 | 0.7199 | 0.2799 | 2579.4260  |
| 2     | 90.7012            | 0.0004 | 0.9531 | 0.0465 | 916.6538   | 0.0001 | 0.7179 | 0.2820 | 2575.9087  |
| 1     | 91.6924            | 0.0002 | 0.9483 | 0.0515 | 913.1365   | 0.0000 | 0.7067 | 0.2933 | 2547.0848  |
| Koker | 99.3047            | 0.0001 | 0.9234 | 0.0765 | 884.3126   | 0.0000 | 0.5914 | 0.4086 | 1662.7722  |



Tabell G-7 Siste mixer fjernet

| Føde     | Temperatur [°C] | Flow [kmol/t] | HCL    | VCM    | EDC    | Damp fraksjon |
|----------|-----------------|---------------|--------|--------|--------|---------------|
| F34      | 10.16           | 560.98        | 0.8233 | 0.1756 | 0.0011 | 0.8802        |
| F30      | 19.71           | 328.83        | 0.3916 | 0.5471 | 0.0613 | 0.0659        |
| F24      | 58.11           | 1521.62       | 0.2015 | 0.4024 | 0.3960 | 0.0756        |
| F20Retur | 35.01           | 80.02         | 0.0003 | 0.9997 | 0.0000 | 0.0000        |
| F16      | 173.91          | 38.36         | 0.1205 | 0.2120 | 0.6675 | 1.0000        |
| H1404    | 3.00            | 35.94         | 0.0118 | 0.0854 | 0.9028 | 0.0000        |

Tabell G-8 Sammensetning og temperatur for kolonnen med den siste mixeren fjernet, simulering 5

| Plate       | Temperatur [°C] | Damp   |        |        |            | Væske  |        |        |            |
|-------------|-----------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|------------|
|             |                 | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow |
| Kondensator | -25.85969769    | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 902.9933   | 0.9999 | 0.0001 | 0.0000 | 534.3700   |
| 45          | -25.07087487    | 0.9999 | 0.0001 | 0.0000 | 1437.3632  | 0.9994 | 0.0006 | 0.0000 | 536.0044   |
| 44          | -24.95753551    | 0.9998 | 0.0002 | 0.0000 | 1438.9976  | 0.9971 | 0.0029 | 0.0000 | 534.1930   |
| 43          | -24.55848402    | 0.9989 | 0.0011 | 0.0000 | 1437.1863  | 0.9874 | 0.0126 | 0.0000 | 526.2213   |
| 42          | -22.9074636     | 0.9954 | 0.0046 | 0.0000 | 1429.2146  | 0.9474 | 0.0526 | 0.0000 | 497.7161   |
| 41          | -16.98720511    | 0.9813 | 0.0187 | 0.0000 | 1400.7094  | 0.8223 | 0.1777 | 0.0000 | 439.6328   |
| 40          | -4.694206164    | 0.9418 | 0.0582 | 0.0000 | 1342.6261  | 0.6200 | 0.3800 | 0.0000 | 388.3770   |
| 39          | 7.264657593     | 0.8857 | 0.1143 | 0.0000 | 1291.3703  | 0.4694 | 0.5305 | 0.0001 | 362.6431   |
| 38          | 15.33674482     | 0.8480 | 0.1520 | 0.0000 | 1265.6364  | 0.4101 | 0.5883 | 0.0015 | 434.3233   |
| 37          | 19.93030955     | 0.7977 | 0.2023 | 0.0000 | 776.3392   | 0.3445 | 0.6538 | 0.0016 | 426.0053   |
| 36          | 23.82791765     | 0.7655 | 0.2344 | 0.0001 | 768.0212   | 0.3110 | 0.6871 | 0.0020 | 424.8766   |
| 35          | 26.04867329     | 0.7475 | 0.2522 | 0.0003 | 766.8925   | 0.2939 | 0.7019 | 0.0043 | 420.6743   |
| 34          | 29.06421354     | 0.7405 | 0.2580 | 0.0015 | 762.6902   | 0.2831 | 0.6494 | 0.0675 | 777.8648   |
| 33          | 32.77483813     | 0.7039 | 0.2943 | 0.0018 | 755.1029   | 0.2550 | 0.6774 | 0.0675 | 779.8059   |
| 32          | 35.69776051     | 0.6739 | 0.3241 | 0.0020 | 757.0441   | 0.2344 | 0.6981 | 0.0675 | 782.2955   |
| 31          | 37.80829276     | 0.6513 | 0.3465 | 0.0022 | 759.5337   | 0.2202 | 0.7124 | 0.0675 | 784.5053   |
| 30          | 39.25733783     | 0.6354 | 0.3623 | 0.0024 | 761.7435   | 0.2107 | 0.7219 | 0.0674 | 786.2234   |
| 29          | 40.2216869      | 0.6247 | 0.3729 | 0.0024 | 763.4616   | 0.2046 | 0.7281 | 0.0674 | 787.4621   |
| 28          | 40.85396714     | 0.6177 | 0.3798 | 0.0025 | 764.7003   | 0.2007 | 0.7320 | 0.0674 | 788.2934   |
| 27          | 41.27581474     | 0.6133 | 0.3842 | 0.0026 | 765.5315   | 0.1982 | 0.7342 | 0.0676 | 788.6367   |
| 26          | 41.6273788      | 0.6105 | 0.3866 | 0.0028 | 765.8749   | 0.1966 | 0.7343 | 0.0691 | 787.0404   |
| 25          | 42.52270147     | 0.6097 | 0.3860 | 0.0043 | 764.2786   | 0.1945 | 0.7251 | 0.0804 | 763.6531   |
| 24          | 53.19116057     | 0.6206 | 0.3655 | 0.0138 | 740.8912   | 0.1761 | 0.5192 | 0.3048 | 2173.8218  |
| 23          | 52.78588928     | 0.6154 | 0.3707 | 0.0140 | 629.4362   | 0.1727 | 0.5213 | 0.3060 | 2165.3501  |
| 22          | 53.12662911     | 0.6098 | 0.3760 | 0.0142 | 620.9645   | 0.1704 | 0.5237 | 0.3059 | 2166.9707  |
| 21          | 53.81182475     | 0.6005 | 0.3849 | 0.0146 | 622.5851   | 0.1667 | 0.5278 | 0.3055 | 2171.3237  |

Tabell G-8 Sammensetning og temperatur for kolonnen med den siste mixeren fjernet, simulering 5

|       |                 | Damp   |        |        |            | Væske  |        |        |            |
|-------|-----------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|------------|
| Plate | Temperatur [°C] | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow |
| 20    | 54.96449948     | 0.5847 | 0.4000 | 0.0153 | 626.9381   | 0.1605 | 0.5346 | 0.3049 | 2178.7574  |
| 19    | 56.8237504      | 0.5585 | 0.4250 | 0.0165 | 634.3718   | 0.1506 | 0.5456 | 0.3038 | 2191.0000  |
| 18    | 59.65664669     | 0.5174 | 0.4643 | 0.0183 | 646.6144   | 0.1358 | 0.5621 | 0.3021 | 2210.4256  |
| 17    | 63.61614032     | 0.4576 | 0.5213 | 0.0211 | 666.0400   | 0.1158 | 0.5845 | 0.2997 | 2239.2905  |
| 16    | 68.53735993     | 0.3799 | 0.5952 | 0.0249 | 694.9049   | 0.0921 | 0.6113 | 0.2965 | 2277.9080  |
| 15    | 73.90244919     | 0.2924 | 0.6780 | 0.0296 | 733.5224   | 0.0679 | 0.6384 | 0.2937 | 2320.3769  |
| 14    | 80.02169199     | 0.2089 | 0.7553 | 0.0358 | 775.9913   | 0.0463 | 0.6518 | 0.3019 | 2351.1855  |
| 13    | 83.31152487     | 0.1417 | 0.8188 | 0.0395 | 768.4349   | 0.0306 | 0.6700 | 0.2994 | 2382.7030  |
| 12    | 86.03800507     | 0.0913 | 0.8664 | 0.0424 | 799.9525   | 0.0194 | 0.6837 | 0.2969 | 2412.1462  |
| 11    | 87.95178757     | 0.0564 | 0.8992 | 0.0444 | 829.3956   | 0.0119 | 0.6930 | 0.2951 | 2433.9365  |
| 10    | 89.20016705     | 0.0339 | 0.9203 | 0.0458 | 851.1859   | 0.0071 | 0.6990 | 0.2939 | 2448.6393  |
| 9     | 89.98327498     | 0.0201 | 0.9334 | 0.0466 | 865.8887   | 0.0042 | 0.7027 | 0.2932 | 2458.0877  |
| 8     | 90.46577074     | 0.0117 | 0.9412 | 0.0471 | 875.3371   | 0.0024 | 0.7049 | 0.2927 | 2464.0385  |
| 7     | 90.76119087     | 0.0068 | 0.9458 | 0.0474 | 881.2879   | 0.0014 | 0.7063 | 0.2923 | 2467.8377  |
| 6     | 90.93432116     | 0.0039 | 0.9486 | 0.0475 | 885.0871   | 0.0008 | 0.7072 | 0.2919 | 2470.5951  |
| 5     | 90.97238777     | 0.0023 | 0.9505 | 0.0472 | 887.8445   | 0.0005 | 0.7087 | 0.2908 | 2474.9934  |
| 4     | 90.29747657     | 0.0013 | 0.9533 | 0.0454 | 892.2429   | 0.0003 | 0.7193 | 0.2804 | 2570.7864  |
| 3     | 90.50415296     | 0.0007 | 0.9536 | 0.0456 | 908.0142   | 0.0002 | 0.7193 | 0.2805 | 2572.9807  |
| 2     | 90.73427728     | 0.0004 | 0.9530 | 0.0466 | 910.2085   | 0.0001 | 0.7173 | 0.2826 | 2569.7973  |
| 1     | 91.72153836     | 0.0002 | 0.9482 | 0.0516 | 907.0251   | 0.0000 | 0.7062 | 0.2938 | 2541.3421  |
| Koker | 99.30466311     | 0.0001 | 0.9234 | 0.0765 | 878.5699   | 0.0000 | 0.5914 | 0.4086 | 1662.7722  |

Tabell G-9 Sammensetning og temperatur for kolonnen optimalisert uten eksisterende fødestusser som begrensning, simulering 6

|             |                 | Damp   |        |        |            | Væske  |        |        |            |
|-------------|-----------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|------------|
| Plate       | Temperatur [°C] | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow |
| Kondensator | -25.8597        | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 902.9933   | 0.9999 | 0.0001 | 0.0000 | 538.3624   |
| 45          | -25.0709        | 0.9999 | 0.0001 | 0.0000 | 1441.3557  | 0.9994 | 0.0006 | 0.0000 | 540.0098   |
| 44          | -24.9571        | 0.9998 | 0.0002 | 0.0000 | 1443.0031  | 0.9971 | 0.0029 | 0.0000 | 538.1795   |
| 43          | -24.5553        | 0.9989 | 0.0011 | 0.0000 | 1441.1728  | 0.9873 | 0.0127 | 0.0000 | 530.1066   |
| 42          | -22.8887        | 0.9953 | 0.0047 | 0.0000 | 1433.0999  | 0.9470 | 0.0530 | 0.0000 | 501.2163   |
| 41          | -16.9067        | 0.9811 | 0.0189 | 0.0000 | 1404.2096  | 0.8208 | 0.1792 | 0.0000 | 442.5109   |
| 40          | -4.5165         | 0.9411 | 0.0589 | 0.0000 | 1345.5042  | 0.6175 | 0.3824 | 0.0000 | 391.0025   |
| 39          | 7.4865          | 0.8844 | 0.1156 | 0.0000 | 1293.9958  | 0.4670 | 0.5328 | 0.0002 | 365.2199   |
| 38          | 15.5832         | 0.8465 | 0.1534 | 0.0001 | 1268.2132  | 0.4079 | 0.5897 | 0.0023 | 435.1072   |
| 37          | 21.2231         | 0.7961 | 0.2035 | 0.0005 | 777.1231   | 0.3405 | 0.6305 | 0.0289 | 734.6146   |

**Tabell G-9 Sammensetning og temperatur for kolonnen optimalisert uten eksisterende fødestusser som begrensning, simulering 6**

| Plate | Temperatur<br>[°C] | Damp   |        |        |            | Væske  |        |        |            |
|-------|--------------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|------------|
|       |                    | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow |
| 36    | 26.0572            | 0.7522 | 0.2471 | 0.0006 | 747.7956   | 0.2984 | 0.6725 | 0.0291 | 733.5585   |
| 35    | 30.3360            | 0.7114 | 0.2878 | 0.0007 | 746.7394   | 0.2652 | 0.7056 | 0.0292 | 735.0059   |
| 34    | 33.6031            | 0.6780 | 0.3211 | 0.0009 | 748.1868   | 0.2414 | 0.7294 | 0.0292 | 737.0908   |
| 33    | 35.8959            | 0.6535 | 0.3455 | 0.0009 | 750.2718   | 0.2255 | 0.7454 | 0.0292 | 739.0302   |
| 32    | 37.4187            | 0.6368 | 0.3622 | 0.0010 | 752.2112   | 0.2153 | 0.7556 | 0.0291 | 740.5126   |
| 31    | 38.3953            | 0.6259 | 0.3730 | 0.0010 | 753.6935   | 0.2089 | 0.7620 | 0.0291 | 741.5607   |
| 30    | 39.0127            | 0.6191 | 0.3798 | 0.0011 | 754.7417   | 0.2050 | 0.7658 | 0.0292 | 742.1976   |
| 29    | 39.4103            | 0.6149 | 0.3839 | 0.0011 | 755.3785   | 0.2026 | 0.7680 | 0.0294 | 742.3691   |
| 28    | 39.7416            | 0.6125 | 0.3861 | 0.0014 | 755.5500   | 0.2011 | 0.7678 | 0.0311 | 740.5158   |
| 27    | 40.6696            | 0.6120 | 0.3850 | 0.0030 | 753.6968   | 0.1991 | 0.7579 | 0.0430 | 714.3342   |
| 26    | 52.6957            | 0.6249 | 0.3615 | 0.0136 | 727.5151   | 0.1778 | 0.5174 | 0.3048 | 2172.7180  |
| 25    | 52.2007            | 0.6220 | 0.3644 | 0.0136 | 628.3324   | 0.1755 | 0.5185 | 0.3060 | 2164.3256  |
| 24    | 52.2804            | 0.6202 | 0.3661 | 0.0137 | 619.9400   | 0.1747 | 0.5193 | 0.3060 | 2164.4120  |
| 23    | 52.5099            | 0.6173 | 0.3689 | 0.0138 | 620.0264   | 0.1735 | 0.5206 | 0.3059 | 2165.9328  |
| 22    | 52.9086            | 0.6121 | 0.3738 | 0.0141 | 621.5472   | 0.1715 | 0.5229 | 0.3056 | 2168.5475  |
| 21    | 53.5849            | 0.6031 | 0.3824 | 0.0145 | 624.1619   | 0.1679 | 0.5269 | 0.3053 | 2172.9010  |
| 20    | 54.7147            | 0.5877 | 0.3972 | 0.0151 | 628.5153   | 0.1618 | 0.5336 | 0.3046 | 2180.1721  |
| 19    | 56.5432            | 0.5620 | 0.4217 | 0.0163 | 635.7865   | 0.1520 | 0.5444 | 0.3036 | 2192.1687  |
| 18    | 59.3433            | 0.5216 | 0.4603 | 0.0181 | 647.7831   | 0.1373 | 0.5607 | 0.3019 | 2211.2876  |
| 17    | 63.2807            | 0.4623 | 0.5168 | 0.0209 | 666.9019   | 0.1174 | 0.5831 | 0.2995 | 2239.8571  |
| 16    | 68.2076            | 0.3848 | 0.5906 | 0.0246 | 695.4715   | 0.0936 | 0.6100 | 0.2964 | 2278.3333  |
| 15    | 73.6134            | 0.2968 | 0.6738 | 0.0294 | 733.9477   | 0.0691 | 0.6373 | 0.2936 | 2320.9586  |
| 14    | 79.7976            | 0.2125 | 0.7520 | 0.0355 | 776.5729   | 0.0472 | 0.6511 | 0.3017 | 2352.1821  |
| 13    | 83.1481            | 0.1443 | 0.8165 | 0.0393 | 769.4315   | 0.0312 | 0.6696 | 0.2991 | 2384.2347  |
| 12    | 85.9262            | 0.0929 | 0.8649 | 0.0422 | 801.4841   | 0.0198 | 0.6836 | 0.2967 | 2414.1920  |
| 11    | 87.8772            | 0.0574 | 0.8983 | 0.0443 | 831.4414   | 0.0121 | 0.6931 | 0.2948 | 2436.3839  |
| 10    | 89.1494            | 0.0345 | 0.9199 | 0.0457 | 853.6333   | 0.0072 | 0.6992 | 0.2936 | 2451.3566  |
| 9     | 89.9465            | 0.0203 | 0.9331 | 0.0465 | 868.6060   | 0.0042 | 0.7029 | 0.2928 | 2460.9707  |
| 8     | 90.4368            | 0.0119 | 0.9411 | 0.0470 | 878.2201   | 0.0025 | 0.7052 | 0.2923 | 2467.0171  |
| 7     | 90.7364            | 0.0069 | 0.9458 | 0.0473 | 884.2665   | 0.0014 | 0.7066 | 0.2920 | 2470.8691  |
| 6     | 90.9117            | 0.0040 | 0.9486 | 0.0474 | 888.1185   | 0.0008 | 0.7076 | 0.2916 | 2473.6552  |
| 5     | 90.9510            | 0.0023 | 0.9506 | 0.0471 | 890.9046   | 0.0005 | 0.7090 | 0.2905 | 2478.0711  |
| 4     | 90.2788            | 0.0013 | 0.9534 | 0.0453 | 895.3206   | 0.0003 | 0.7196 | 0.2801 | 2573.8801  |
| 3     | 90.4856            | 0.0007 | 0.9537 | 0.0456 | 911.1079   | 0.0002 | 0.7196 | 0.2802 | 2576.0694  |
| 2     | 90.7164            | 0.0004 | 0.9530 | 0.0466 | 913.2972   | 0.0001 | 0.7176 | 0.2823 | 2572.8578  |
| 1     | 91.7067            | 0.0002 | 0.9482 | 0.0516 | 910.0856   | 0.0000 | 0.7064 | 0.2935 | 2544.2354  |
| Koker | 99.3047            | 0.0001 | 0.9234 | 0.0765 | 881.4632   | 0.0000 | 0.5914 | 0.4086 | 1662.7722  |

**Tabell G-10 Sammensetning og temperatur for kolonnen optimalisert uten eksisterende fødestusser som begrensning og siste mixer fjernet, simulering 7**

|             |                 | Damp   |        |        |            | Væske  |        |        |            |
|-------------|-----------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|------------|
| Plate       | Temperatur [°C] | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow |
| Kondensator | -25.8597        | 0.9999 | 0.0001 | 0.0000 | 902.9933   | 0.9999 | 0.0001 | 0.0000 | 534.3700   |
| 45          | -25.0709        | 0.9998 | 0.0002 | 0.0000 | 1437.3632  | 0.9994 | 0.0006 | 0.0000 | 536.0044   |
| 44          | -24.9575        | 0.9989 | 0.0011 | 0.0000 | 1438.9976  | 0.9971 | 0.0029 | 0.0000 | 534.1930   |
| 43          | -24.5585        | 0.9954 | 0.0046 | 0.0000 | 1437.1863  | 0.9874 | 0.0126 | 0.0000 | 526.2213   |
| 42          | -22.9075        | 0.9813 | 0.0187 | 0.0000 | 1429.2146  | 0.9474 | 0.0526 | 0.0000 | 497.7161   |
| 41          | -16.9872        | 0.9418 | 0.0582 | 0.0000 | 1400.7094  | 0.8223 | 0.1777 | 0.0000 | 439.6328   |
| 40          | -4.6942         | 0.8857 | 0.1143 | 0.0000 | 1342.6261  | 0.6200 | 0.3800 | 0.0000 | 388.3770   |
| 39          | 7.2647          | 0.8480 | 0.1520 | 0.0000 | 1291.3703  | 0.4694 | 0.5305 | 0.0001 | 362.6431   |
| 38          | 15.3367         | 0.7977 | 0.2023 | 0.0000 | 1265.6364  | 0.4101 | 0.5883 | 0.0015 | 434.3233   |
| 37          | 19.9303         | 0.7655 | 0.2344 | 0.0001 | 776.3392   | 0.3445 | 0.6538 | 0.0016 | 426.0053   |
| 36          | 23.8279         | 0.7475 | 0.2522 | 0.0003 | 768.0212   | 0.3110 | 0.6871 | 0.0020 | 424.8766   |
| 35          | 26.0487         | 0.7405 | 0.2580 | 0.0015 | 766.8925   | 0.2939 | 0.7019 | 0.0043 | 420.6743   |
| 34          | 29.0642         | 0.7039 | 0.2943 | 0.0018 | 762.6902   | 0.2831 | 0.6494 | 0.0675 | 777.8648   |
| 33          | 32.7748         | 0.6739 | 0.3241 | 0.0020 | 755.1029   | 0.2550 | 0.6774 | 0.0675 | 779.8059   |
| 32          | 35.6978         | 0.6513 | 0.3465 | 0.0022 | 757.0441   | 0.2344 | 0.6981 | 0.0675 | 782.2955   |
| 31          | 37.8083         | 0.6354 | 0.3623 | 0.0024 | 759.5337   | 0.2202 | 0.7124 | 0.0675 | 784.5053   |
| 30          | 39.2573         | 0.6247 | 0.3729 | 0.0024 | 761.7435   | 0.2107 | 0.7219 | 0.0674 | 786.2234   |
| 29          | 40.2217         | 0.6177 | 0.3798 | 0.0025 | 763.4616   | 0.2046 | 0.7281 | 0.0674 | 787.4621   |
| 28          | 40.8540         | 0.6133 | 0.3842 | 0.0026 | 764.7003   | 0.2007 | 0.7320 | 0.0674 | 788.2934   |
| 27          | 41.2758         | 0.6105 | 0.3866 | 0.0028 | 765.5315   | 0.1982 | 0.7342 | 0.0676 | 788.6367   |
| 26          | 41.6274         | 0.6097 | 0.3860 | 0.0043 | 765.8749   | 0.1966 | 0.7343 | 0.0691 | 787.0404   |
| 25          | 42.5227         | 0.6206 | 0.3655 | 0.0138 | 764.2786   | 0.1945 | 0.7251 | 0.0804 | 763.6531   |
| 24          | 53.1912         | 0.6154 | 0.3707 | 0.0140 | 740.8912   | 0.1761 | 0.5192 | 0.3048 | 2173.8218  |
| 23          | 52.7859         | 0.6098 | 0.3760 | 0.0142 | 629.4362   | 0.1727 | 0.5213 | 0.3060 | 2165.3501  |
| 22          | 53.1266         | 0.6005 | 0.3849 | 0.0146 | 620.9645   | 0.1704 | 0.5237 | 0.3059 | 2166.9707  |
| 21          | 53.8118         | 0.5847 | 0.4000 | 0.0153 | 622.5851   | 0.1667 | 0.5278 | 0.3055 | 2171.3237  |
| 20          | 54.9645         | 0.5585 | 0.4250 | 0.0165 | 626.9381   | 0.1605 | 0.5346 | 0.3049 | 2178.7574  |
| 19          | 56.8238         | 0.5174 | 0.4643 | 0.0183 | 634.3718   | 0.1506 | 0.5456 | 0.3038 | 2191.0000  |
| 18          | 59.6566         | 0.4576 | 0.5213 | 0.0211 | 646.6144   | 0.1358 | 0.5621 | 0.3021 | 2210.4256  |
| 17          | 63.6161         | 0.3799 | 0.5952 | 0.0249 | 666.0400   | 0.1158 | 0.5845 | 0.2997 | 2239.2905  |
| 16          | 68.5374         | 0.2924 | 0.6780 | 0.0296 | 694.9049   | 0.0921 | 0.6113 | 0.2965 | 2277.9080  |
| 15          | 73.9024         | 0.2089 | 0.7553 | 0.0358 | 733.5224   | 0.0679 | 0.6384 | 0.2937 | 2320.3769  |
| 14          | 80.0217         | 0.1417 | 0.8188 | 0.0395 | 775.9913   | 0.0463 | 0.6518 | 0.3019 | 2351.1855  |
| 13          | 83.3115         | 0.0913 | 0.8664 | 0.0424 | 768.4349   | 0.0306 | 0.6700 | 0.2994 | 2382.7030  |
| 12          | 86.0380         | 0.0564 | 0.8992 | 0.0444 | 799.9525   | 0.0194 | 0.6837 | 0.2969 | 2412.1462  |
| 11          | 87.9518         | 0.0339 | 0.9203 | 0.0458 | 829.3956   | 0.0119 | 0.6930 | 0.2951 | 2433.9365  |
| 10          | 89.2002         | 0.0201 | 0.9334 | 0.0466 | 851.1859   | 0.0071 | 0.6990 | 0.2939 | 2448.6393  |

**Tabell G-10 Sammensetning og temperatur for kolonnen optimalisert uten eksisterende fødestusser som begrensning og siste mixer fjernet, simulering 7**

|       |                 | Damp   |        |        |            | Væske  |        |        |            |
|-------|-----------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|------------|
| Plate | Temperatur [°C] | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow | HCl    | VCM    | EDC    | Molar flow |
| 9     | 89.9833         | 0.0117 | 0.9412 | 0.0471 | 865.8887   | 0.0042 | 0.7027 | 0.2932 | 2458.0877  |
| 8     | 90.4658         | 0.0068 | 0.9458 | 0.0474 | 875.3371   | 0.0024 | 0.7049 | 0.2927 | 2464.0385  |
| 7     | 90.7612         | 0.0039 | 0.9486 | 0.0475 | 881.2879   | 0.0014 | 0.7063 | 0.2923 | 2467.8377  |
| 6     | 90.9343         | 0.0023 | 0.9505 | 0.0472 | 885.0871   | 0.0008 | 0.7072 | 0.2919 | 2470.5951  |
| 5     | 90.9724         | 0.0013 | 0.9533 | 0.0454 | 887.8445   | 0.0005 | 0.7087 | 0.2908 | 2474.9934  |
| 4     | 90.2975         | 0.0007 | 0.9536 | 0.0456 | 892.2429   | 0.0003 | 0.7193 | 0.2804 | 2570.7864  |
| 3     | 90.5042         | 0.0004 | 0.9530 | 0.0466 | 908.0142   | 0.0002 | 0.7193 | 0.2805 | 2572.9807  |
| 2     | 90.7343         | 0.0002 | 0.9482 | 0.0516 | 910.2085   | 0.0001 | 0.7173 | 0.2826 | 2569.7973  |
| 1     | 91.7215         | 0.0001 | 0.9234 | 0.0765 | 907.0251   | 0.0000 | 0.7062 | 0.2938 | 2541.3421  |
| Koker | 99.3047         | 0.0001 | 0.9234 | 0.0765 | 878.5699   | 0.0000 | 0.5914 | 0.4086 | 1662.7722  |

## **H TUNINGSPARAMETERE**

I tabell H-1 er det vist tuningsparametere som ble funnet for regulatorene rundt kolonna. Plassering er vist i figur 3.2.

**Tabell H-1 PI-parametere funnet for regulatorer i HYSYS**

| Regulator | $K_c$ | $\tau_I(\text{min})$ |
|-----------|-------|----------------------|
| TIC505    | 0.2   | 45                   |
| FIC508    | 0.3   | 0.05                 |
| TIC504    | 0.5   | 17                   |
| LIC576    | 0.5   | 5                    |
| FIC503    | 0.01  | 0.05                 |
| LIC100    | 33    | 6.7                  |
| PIC100    | 8.5   | 4.9                  |

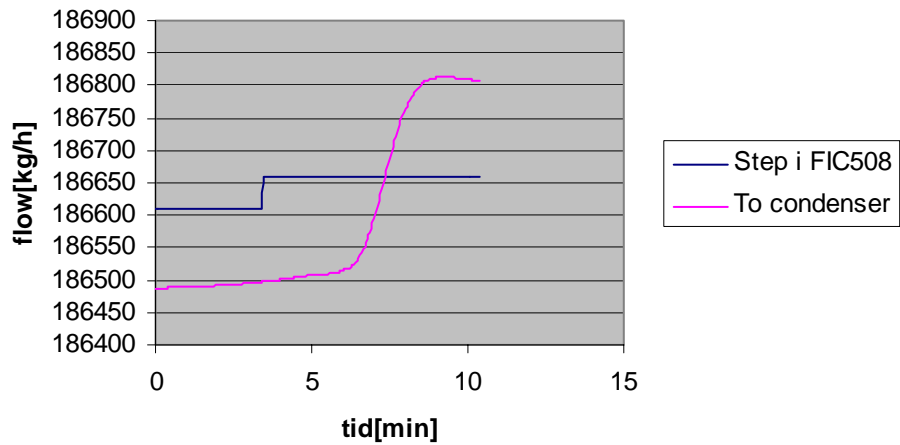
I tabell H-2 er det gitt de tuningparameterene som blir benyttet av Hydro i tilsvarende regulatorer

**Tabell H-2 PID-parametere benyttet av Hydro**

| Regulator | $K_c$ | $\tau_I(\text{min})$ | $\tau_D(\text{min})$ |
|-----------|-------|----------------------|----------------------|
| TIC505    | 0.4   | 20                   |                      |
| FIC508    | 0.15  | 0.1                  |                      |
| TIC504    | 0.25  | 0.15                 | 2                    |
| LIC576    | 1.66  | 8.66                 |                      |
| FIC503    | 0.3   | 0.3                  |                      |

Nivå- og trykkregulering på kondensator er implementert noe annerledes enn i anlegget hos Hydro, og parameterene er ikke sammenlignbare.

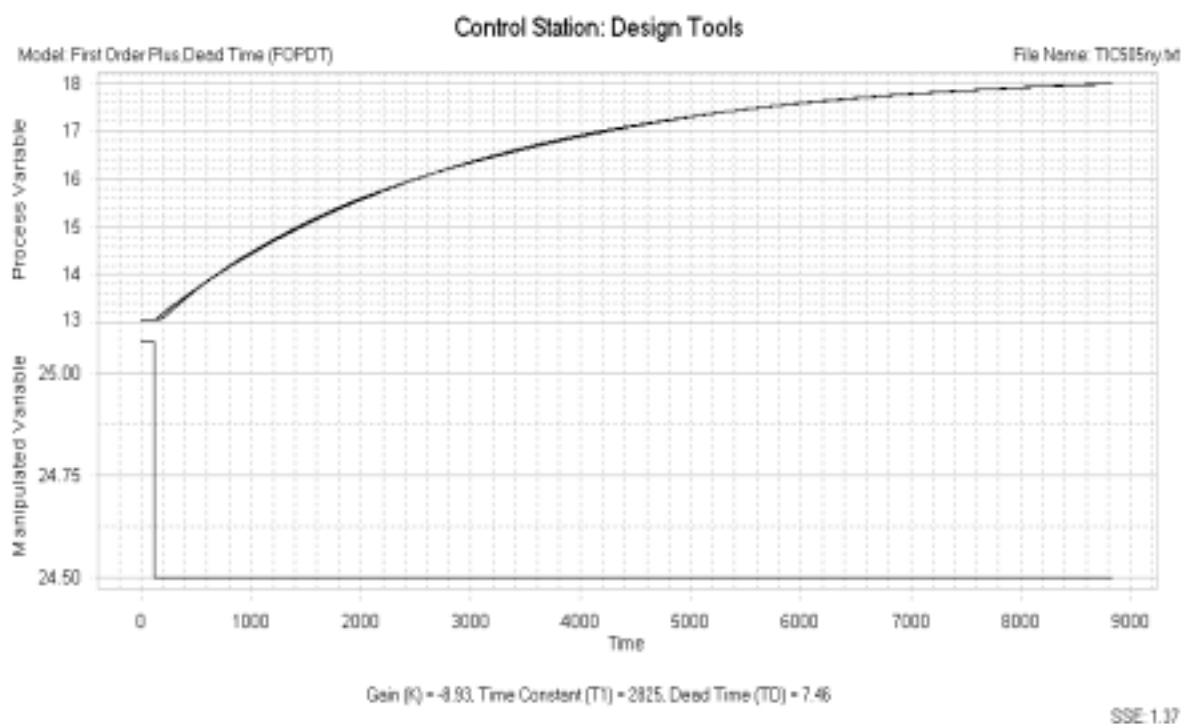
## I HOLDUP I KOLONNA



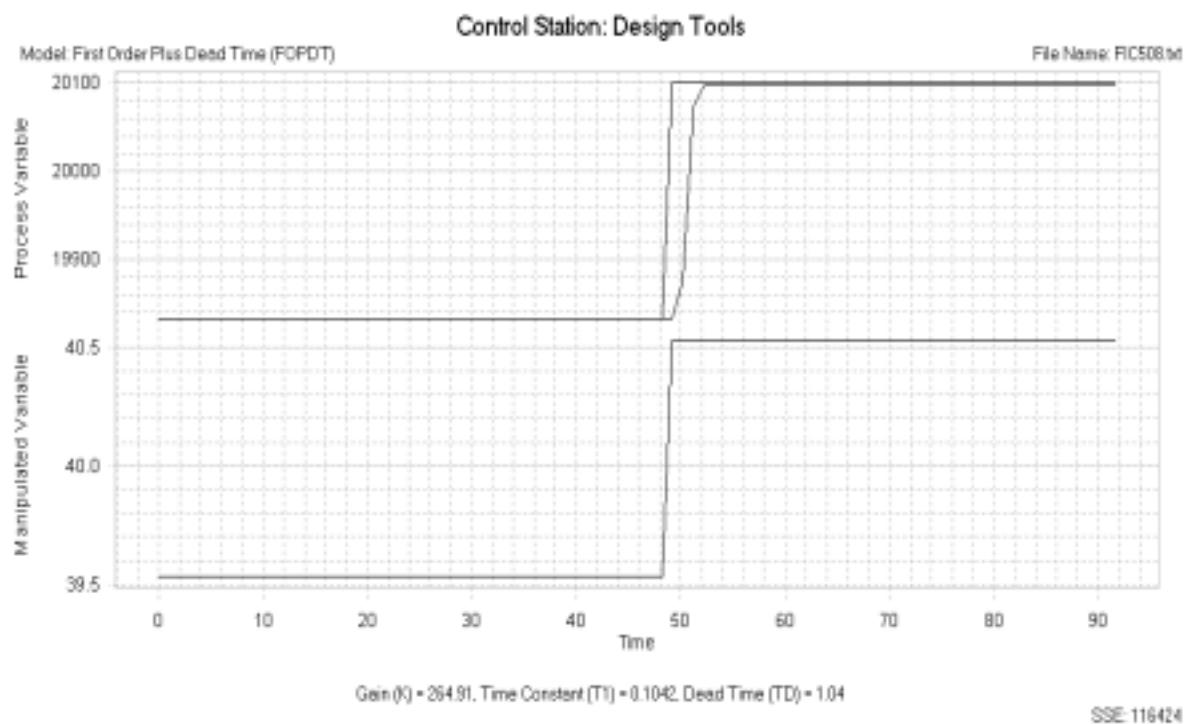
**Figur I.1** Måler endring i strøm "To condenser" ved 0.1% step i FIC508 (reflux)

Holdup tiden måles her til å være ca. 2.5 minutter. Fra Hydro er det oppgitt at det tar 3 minutter fra det gjøres step i reflux til det registreres ved pådrag i kokeren.

## J TUNINGSRESPONSER

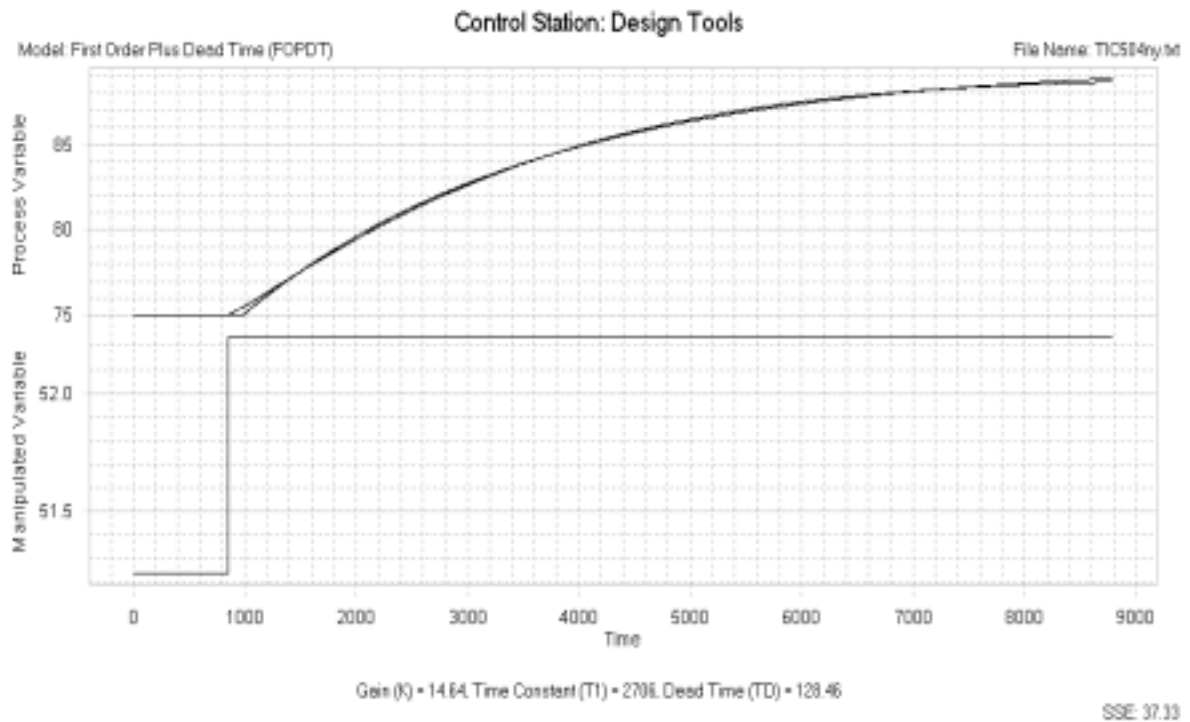


Figur J.1 Respons ved tuning av TIC505. Pådrag er refluks gjennom indre sløyfe i kaskade, FIC508.

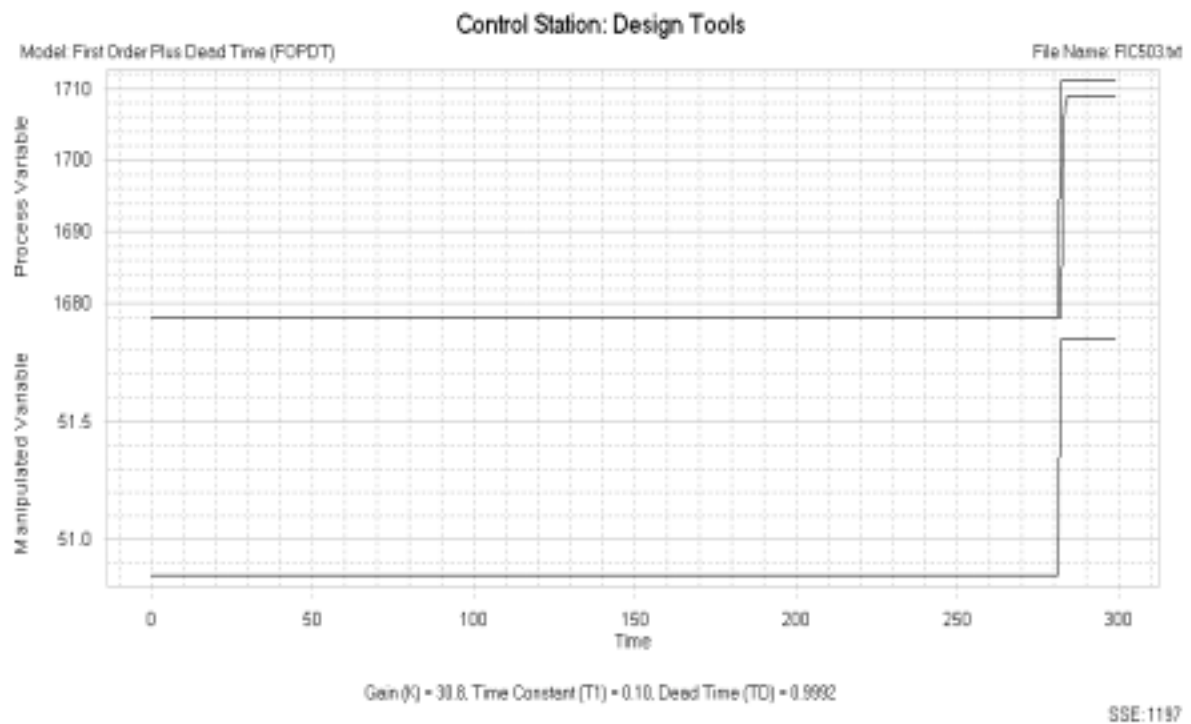


Figur J.2 Respons ved tuning av FIC508. Pådrag er refluks.

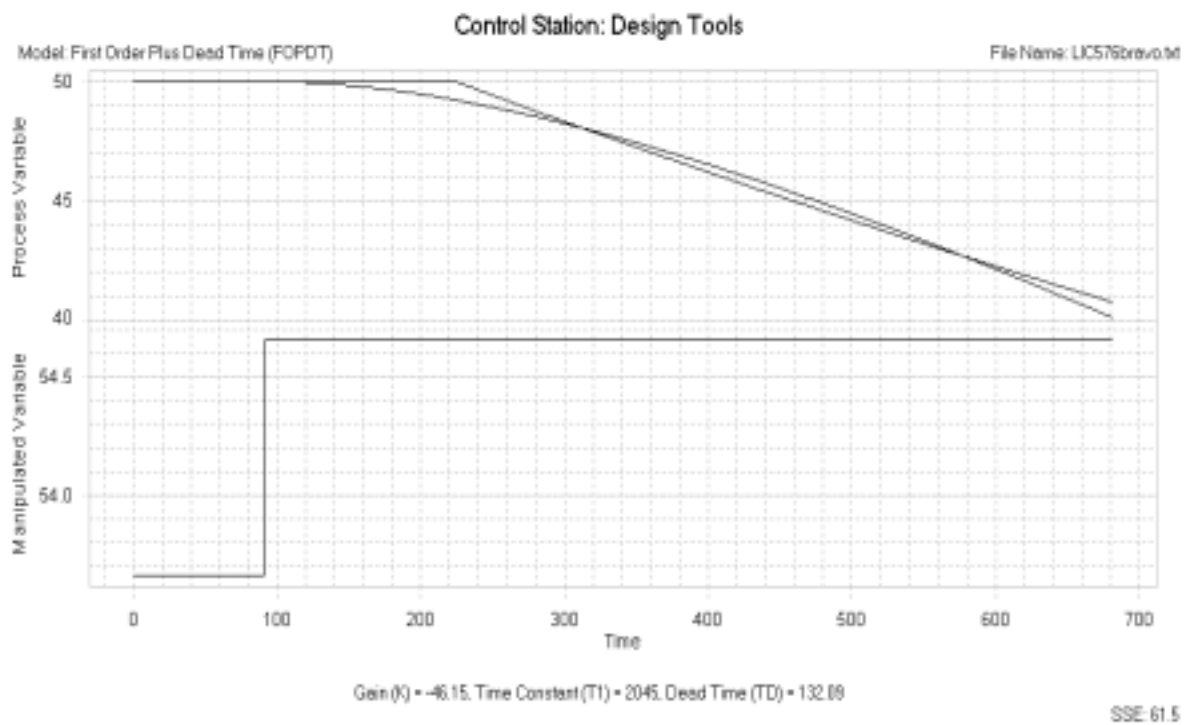




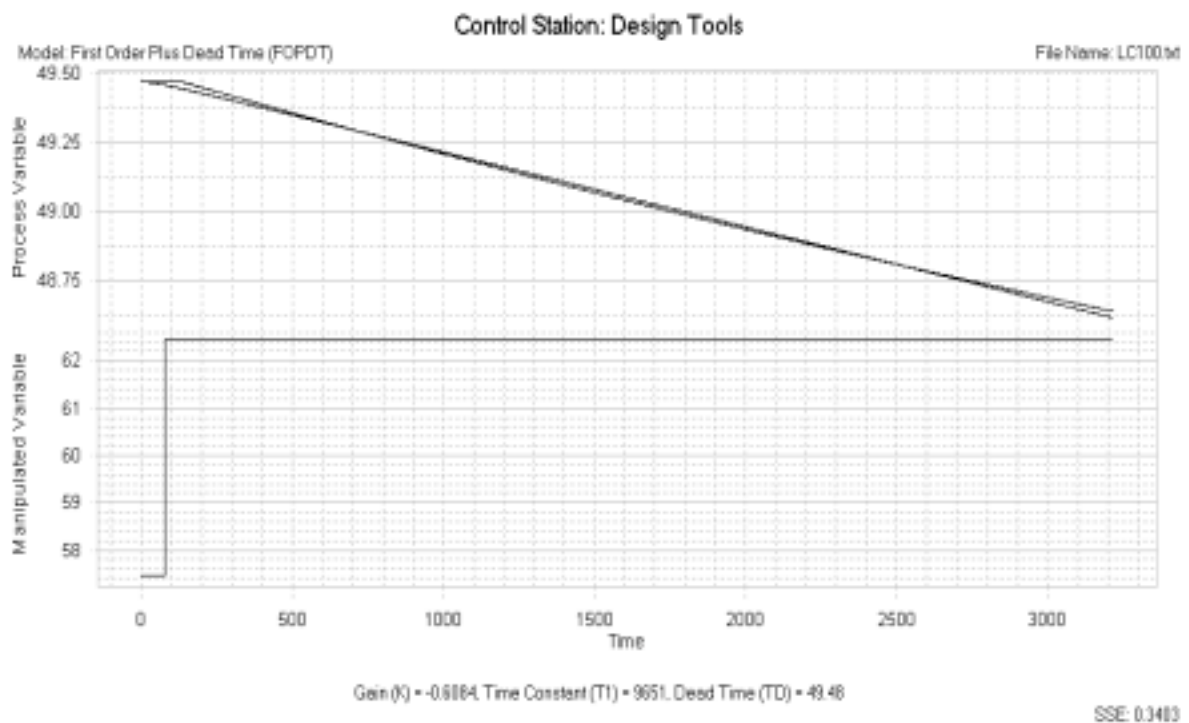
Figur J.3 Respons ved tuning av TIC504. Pådrag er effekt til koker.



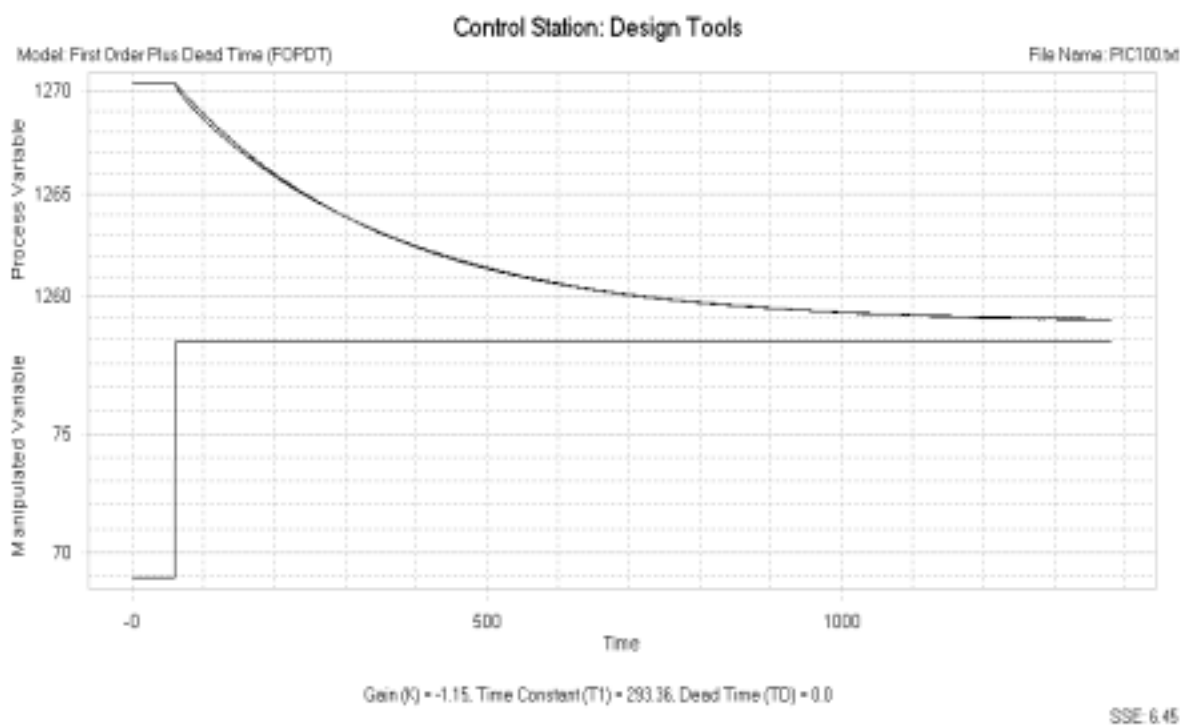
Figur J.4 Respons ved tuning av FIC503. Pådrag er bunnstrøm.



Figur J.5 Respons ved tuning av LIC576. Pådrag er bunnstrøm gjennom kaskade med indre sløyfe, FIC503.



Figur J.6 Respons ved tuning av LIC100, Pådrag er toppstrøm.

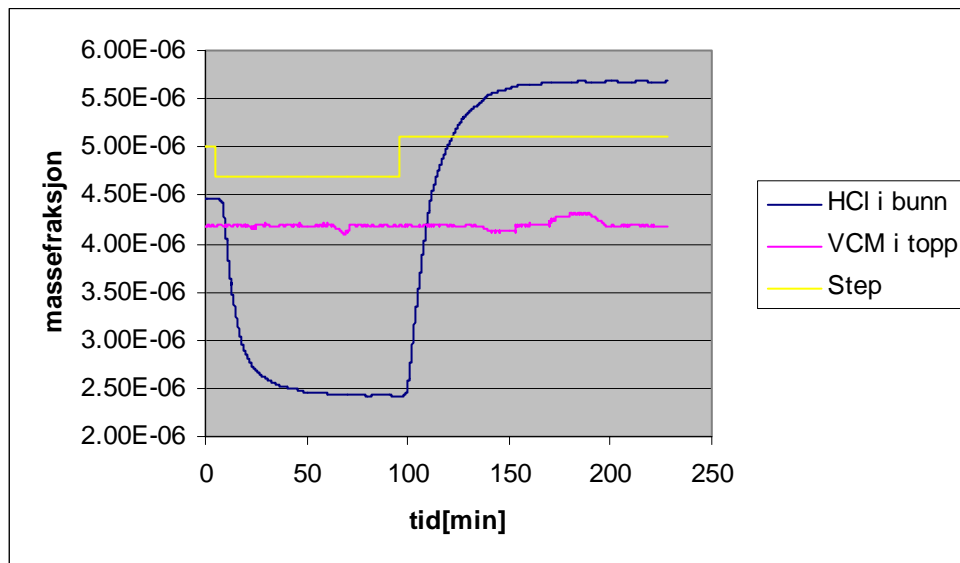


**Figur J.7 Respons ved tuning av PIC100. Pådrag er kjøling til kondensator.**

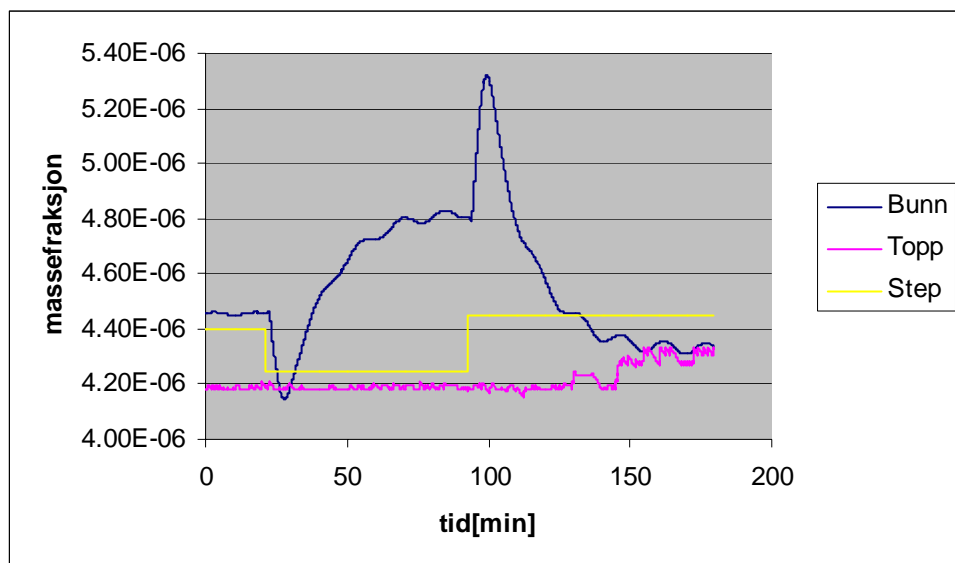




## K SIMULERING AV FORSTYRRELSER



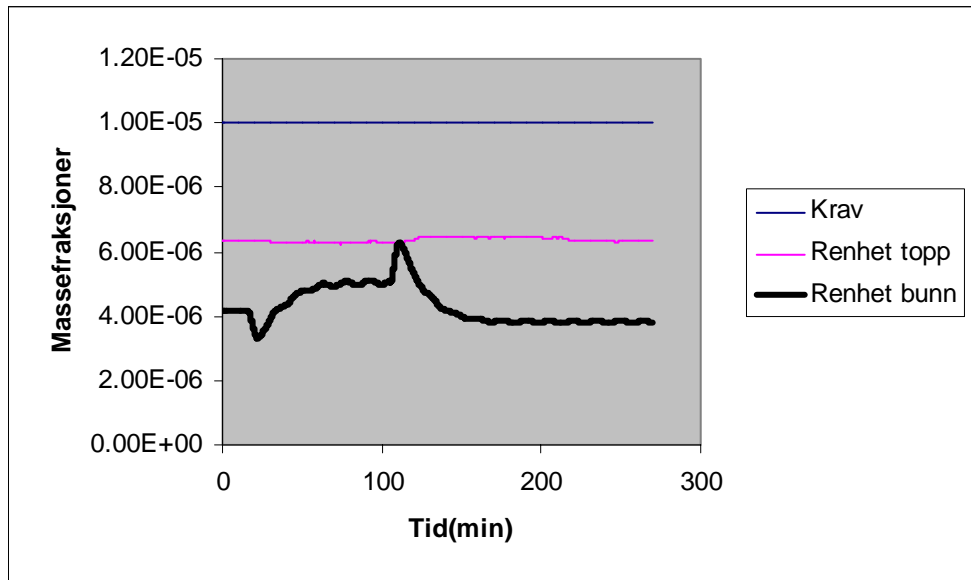
Figur K.1 Simulering av forstyrrelse i fødestrøm F16



Figur K.2 Simulering av forstyrrelse i H-1404

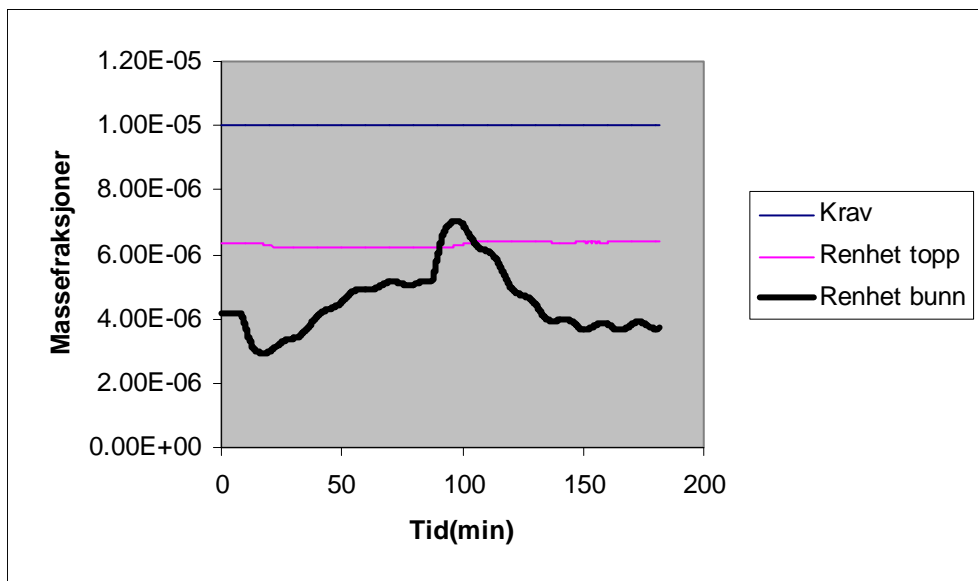
## L RENHETER

I figur L.1 vises hvordan renheten endrer seg ved simuleringen gjennomført med målepunkt på plate 40. (Simulering i kapittel 5.4.4).



**Figur L.1** Endringer i renhet i topp og bunn ved simulering i kapittel 5.4.4.

I figur L.2 vises hvordan renhetene endrer seg ved simuleringene gjennomført med Hydro sine tuninger. (Simulering i kapittel 5.4.5)



**Figur L.2** Endringer i renhet i topp og bunn ved simulering i kapittel 5.4.5.

## M ØKONOMI BEREGNINGER

I kokeren benyttes 8 bar mettet damp som tas ut som kondensat ved 3.5 bar. Dette gir følgende beregninger:

8 bar mettet damp - 1190.46 Btu/lb  
3.5 bar kondensat - 251.14 Btu/lb

Verdier er hentet fra Operations of Chemical Engineering, McCabe et.al. .... ved interpolasjon

Dette gir 939.32 Btu/lb damp

Det er 2.2 lb/kg og 3412.14 Btu/kWh som tilslutt gir 605.6 kWh/tonn damp. internprisen for damp er oppgitt av Hydro til å være 60 kr/tonn og dett gir da ca. 0.10 kr/kWh i kokeren. Det regnes med tilnærmet 100% virkningsgrad i kokeren.

Det er oppgitt av Hydro at temperaturen i kondensatoren er ca. -24 °C på rørsiden og -31 °C på skallsiden og kjølemediet er R134a. det anslås en kuldefaktor i kondensatorer på 2. Med strøm pris på 15 øre/kWh blir dette 7.5 øre/kWh varme som fjernes i kondensatoren.

Ved ombygging i 1998 er det beregnet at det spares 370 kWh i både kondensator og koker. Dette gir for 7000 driftstimer en innsparing på 259 000 kr i koker og 194 250 kr i kondensator. Totalt 453250kr i året.

Den totale innsparing på 49 kWh utover dette gir med 7000 driftstimer en ekstra innsparing på 34300kr i koker og 25725kr i kondensator. Totalt 60025kr i året.

Salgsprisen på VCM varierer mye men er typisk 3500 kr/tonn. Topp strømmen blir 36789 kg/t med volum fraksjon lik 0.1 for VCM i toppen. Massefraksjonen for VCM er da 0.105. Ved 10 ppm i topp er strømmen på 32924 kg/t og massefraksjon er 11ppm.

Dette gir 13519 kr/t i topp ved 0.1 volumfraksjon og 1.3 kr/t ved 11 ppm. Besparelsen på å redusere til 0.1 i topp er 464kWh i kondensator og 184kWh i koker. Dette blir 53.2 kr/t i sparte energi kostnader.

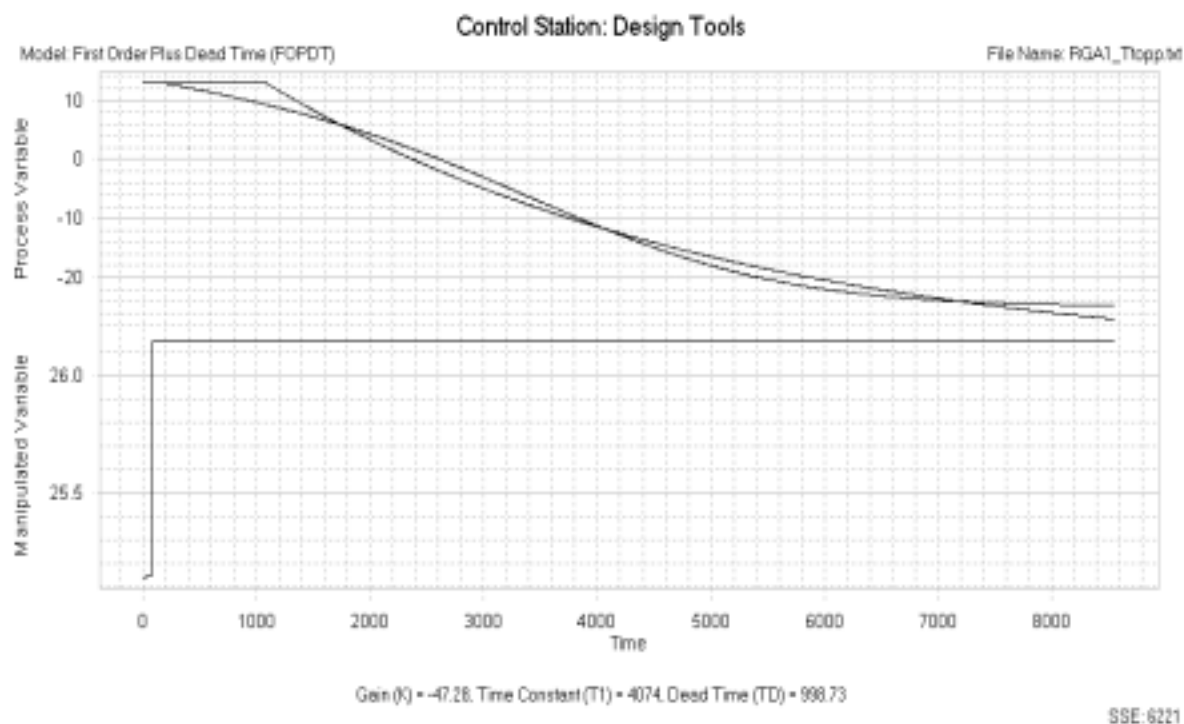


# N RGA-BEREGNINGER

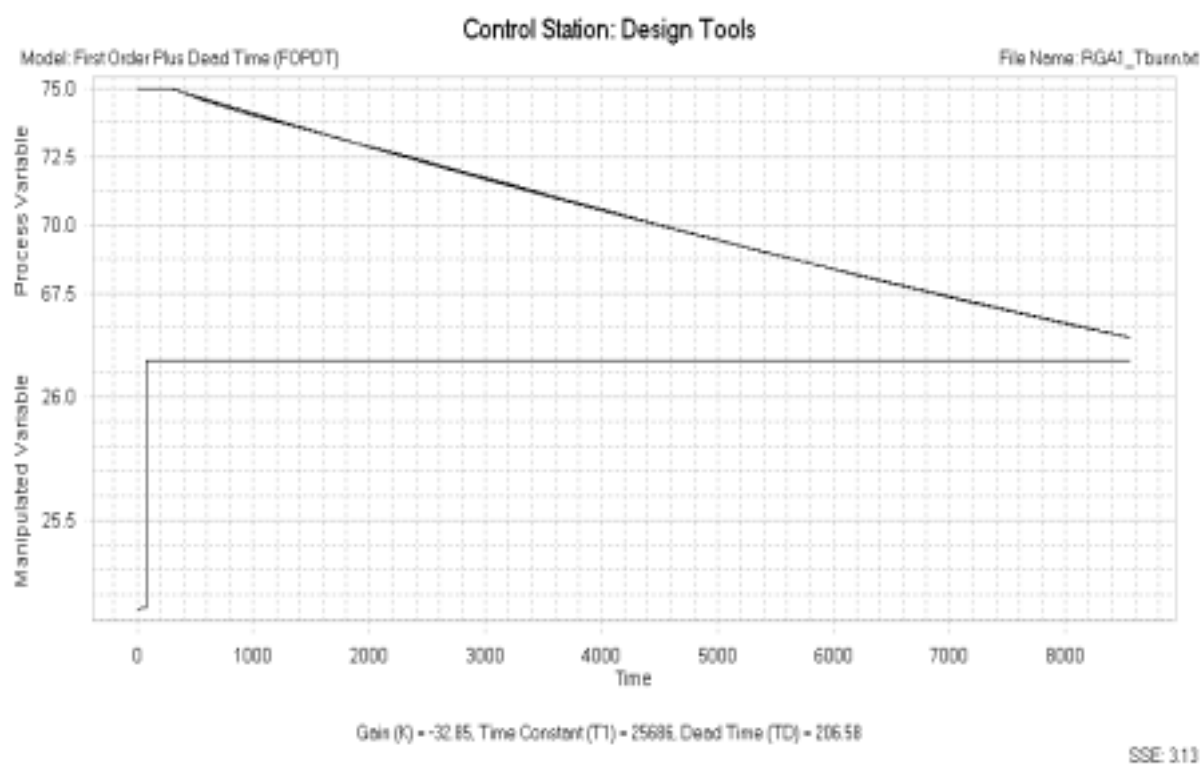
Tabell N-1 RGA-analyse ved bruk av likning (2.10) , data er hentet fra bilag G

| Data er hentet fra "Sauar etter"         |           |                           |                    |                      |                      |
|--|-----------|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Føde strømmer</b>                     |           |                           |                    |                      |                      |
|  |           |                           | <b>totalflow/h</b> | <b>totalflow/min</b> | <b>Total føde, F</b> |
| F34                                      |           |                           | 560.98             | 9.349666667          | 42.76266667          |
| F30                                      |           |                           | 328.83             | 5.4805               |                      |
| F24                                      |           |                           | 1557.57            | 25.9595              |                      |
| F20retur                                 |           |                           | 80.02              | 1.333666667          |                      |
| F16                                      |           |                           | 38.36              | 0.639333333          |                      |
| <b>Bunnprodukt, B</b>                    |           |                           |                    |                      |                      |
|  |           |                           | 1662.77            | 27.71283333          |                      |
| <b>Destilat, D</b>                       |           |                           | 903                | 15.05                |                      |
| <b>Reflux, L</b>                         |           |                           | 547                | 9.116666667          |                      |
| <b>bunnfraksjon</b>                      | 1.00E-05  |                           |                    |                      |                      |
| <b>toppfraksjon</b>                      | 0.99999   | (blir variert i analysen) |                    |                      |                      |
| <b>antall trinn</b>                      | 31        |                           |                    |                      |                      |
| <b>Skalerte verdier som brukes i RGA</b> |           |                           |                    |                      |                      |
| B', (B/F)                                | 0.6480614 |                           |                    |                      |                      |
| D', (D/F)                                | 0.3519425 |                           |                    |                      |                      |
| L', L/D)                                 | 0.2131922 |                           |                    |                      |                      |
| <b>RGA-element</b>                       | 1668.6587 |                           |                    |                      |                      |

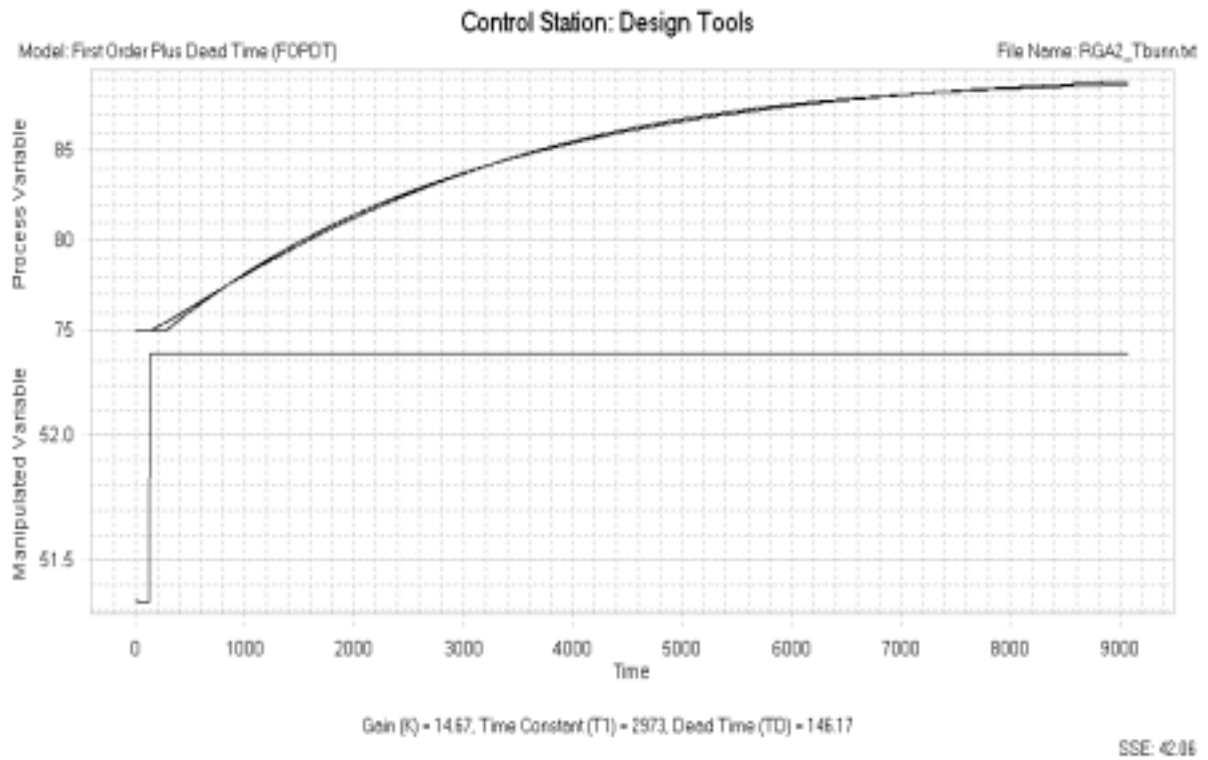
## O TRANSFERFUNKSJONER I KOLONNA



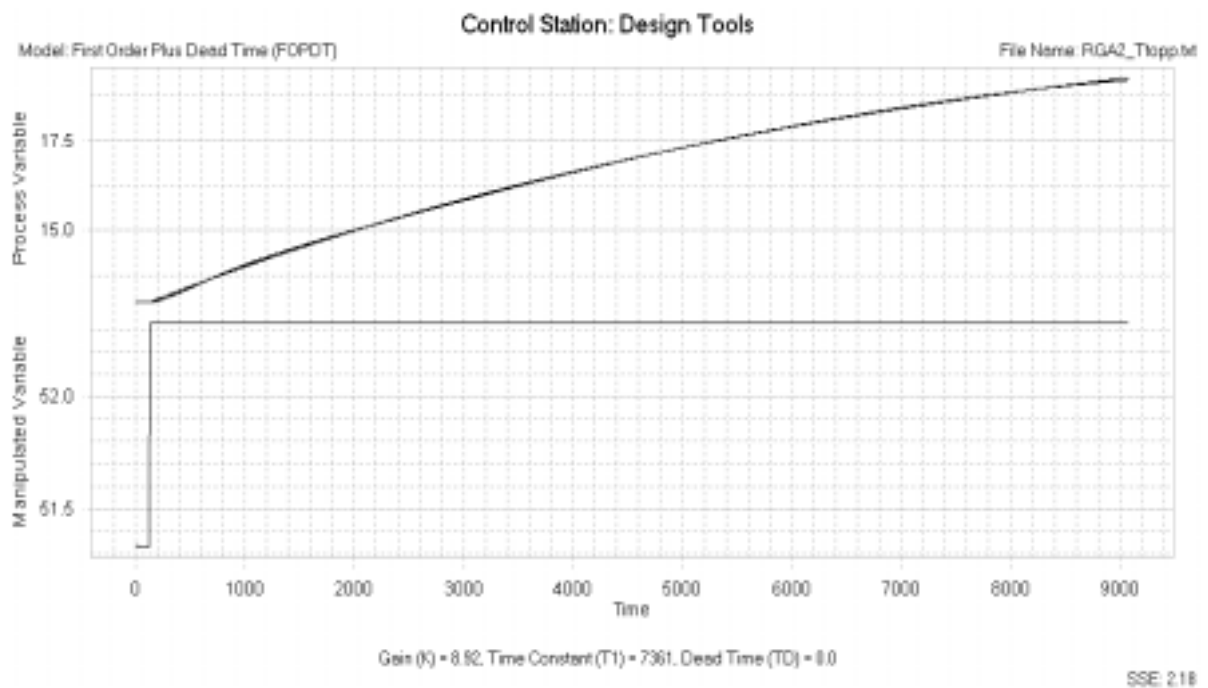
Figur O.1 Respons i temperatur på plate 38 ved stependring i reflux .



Figur O.2 Respons i temperatur på plate 15 ved stependring i reflux.



Figur O.3 Respons i temperatur på plate 15 ved step i duty til koker.



Figur O.4 Respons i temperatur på plate 38 ved step i duty til koker.



**P INPUTFIL FOR ASPEN SIMULERINGER**

## Q KORRESPONDANSE MED HYDRO

### Q-1 Mail: Definerings av oppgave

From: Tor.Ausen@hydro.com Sun Feb 6 15:28:01 2000  
Date: Wed, 26 Jan 2000 10:22:27 +0100  
From: Tor.Ausen@hydro.com  
To: hanssu@stud.ntnu.no  
Cc: skoge@chembio.ntnu.no  
Subject: Re: Prosjekt med Skogestad om HCl- kolonnen

Hei

Det dreier seg om en kolonne i VCM-fabrikken på Rafnes, C-1501, som vi kaller HCl-kolonna. Den ble tidligere bearbeidet av Erik Sauar i diplom (1995?). Den ble også bearbeidet av Skogestad i 1981.

På 80-tallet ble det gjort ombygginger innvendig for å bedre hydraulisk kapasitet i nedre del. Hovedfoden går inn på plate 24 (Nr. nedenfra), og plate 1 - 24 har større nedløp og er tilpasset større væskemengder. Disse platene har bevegelige ventiler (Koch).

I revisjonsstansen våren 2000, planlegger vi renovering av platene 25 - 45 for å fjerne asbestpakninger (fra 70-åra). Dagens plater blir da byttet ut med nye av type faste ventiler (Koch - Glitsch) og tilpasset større kapasitet.

Ellers har vi byttet kjølemedium på kjøleanlegget som betjener kondensatoren til kolonna, fra R500 til R134a. Kapasiteten ble øket litt, men ikke vesentlig.

Det er trolig bare modifikasjonen i rev.stansen våren 1998 som har betydning for energioptimaliseringen dere skal se på.

I starten kan det trolig være greit å gi en kort oversikt over kolonna:

Hovedkomponenter: HCl, VCM og EDC (EDC = Ethylene-Di-Chloride, korrekt nomenklatur - 1,2 dikloretan). Separasjon mellom HCl (topp) og VCM + EDC (bunn). Krav til renhet - VCM i HCl < 10 ppm (vol) - HCl i (VCM + EDC) < 10 ppm (vol). Kravet i bunnen er viktigst. Vær oppmerksom på at vann < 10 ppm (utstyr i karbonstål).

Trykk i toppen av kolonna er 12 barg (OBS alle trykkmålinger i overtrykk). Trykk i reflukstanken er 11.7 barg og dette trykket styrer kapasitetsreguleringen på kjølekompressoren. Kondensatoren er partiell og kondenserer ut det vi trenger som reflux. Destillatet er HCl-gass (11,7 barg) som går til vår oksy-reaktor. På veien varmeveksles det i H-1403 med føde til plate 34. Temperaturen i kondensatoren er ca. -24 oC på rørsiden og -31 oC på skallsiden (R134a).

Kolonna har en meget stor temperaturgradient med - 24 °C i toppen og +99 °C i bunnen.

Reguleringen av kolonna benytter nettopp denne gradienten. Plate 38 holdes på ca. 13 oC og plate 15 på ca. 75 oC. Det er en del forstyrrelser i fødene som gjør at kolonna er meget vanskelig å regulere.

For å unngå for mye last på kjøleanlegget (kapasitetsbegrensning), er føden splittet opp ved trinnvis kondensering av toppstrømmen fra cracker bråkjølere (kondensering med kjølevann er billigere). Hovedsplitten foregår ved å regulere temperaturen inn på V-1401 (fra H-1402). Denne temperaturen ligger på ca. 65 oC og væske fra V-1401 går til plate 24. Gassen fra V-1401 går til H-1405A/B (kjølevann) og gass/væske separeres i V-1404. Væske går til plate 30 og gass til H-1403 hvor den varmeveksles med HCl-gass fra kondensatoren til kolonna. Fra H-1403 går to-fase til plate 34.

Bunnstrømmen fra nevnte bråkjølere (ca. 185 oC) er på ca. 12 t/h og går gjennom to flashtanker hvor trykket tas ned trinnvis og gass flasher av. Fra første flashtank går varm gass til plate 16. Det var denne gassen som ble lagt om fra å gå sammen med to-fase til plate 34, til å gå inn som sagt på plate 16 (kfr. diplom Erik Sauar). (Trolig har Badger i 70-åra vært redd for væskeslag i den vertikale ledningen til plate 34.) Flashgass fra andre trinn kondenseres og væsken pumpes til innblanding i hovedføden til plate 24.

Returstrøm fra nedstrømsanlegg, væske på ca. 5 t/h, går som føde til plate 20.

Koker, H-1501, bruker normalt ca. 8 t/h damp med trykk 7 barg. Kondensator, H-1502, leverer inntil 23 t/h reflux til kolonna.

Energi som damp til koker, slår sterkere ut økonomisk enn strøm til kjølekompressor (varmepumpe). Vi forsøker derfor å la kjøleanlegget gå nær kapasitetsbegrensningen. Justeres av temp. i V-1401 (gass/væske splitt).

Fysikalske data i simulering i Aspen Plus: Anbefaler Soave Redlich Kwong med binærkoeff:

EDC/VCM: 0,02

EDC/HCl: -0,05

VCM/HCl: -0,03

I modellen er brukt 30 teor. trinn for simulering av 45 reelle plater. I tillegg ett trinn hver for henholdsvis kondensator og koker. Temp. på plater stemmer bedre i nedre del av kolonna enn i øvre del.

Med hilsen

Tor Ausen

From: hanssu@stud.ntnu.no on 2000-01-25 12:13 GMT

To: Tor Ausen/HRA/NHP/Hydro@Hydro

cc:

Subject: Prosekt med Skogestad om VCM kolonnen

Hei,

Vi jobber på prosjektet for Skogestad om VCM kolonnen. I den forbindelse har vi fått utskrift fra Skogestad av to Aspen kjøringene som er oversendt i en mail fra Knut Wiig Mathisen. Vi lurer på følgende:

Har det blitt gjennomført andre ombygginger før den i høsten 1998 som omtales i denne mailen. Vi bruker en rapport som Skogestad lagde i 1981 og forsøker å finne ut om det er det samme anlegget han så på som var operativ fram til 98.

Simuleringene vi har fått utskrift fra er utført i Aspen. Vi lurer på hvilken termodynamikk som er brukt og evt. hvilke termodynamiske parametere som ligger inn i Aspen.

Med vennlig hilsen

Hans Kristian Sundt og Thomas Realfsen

-----  
Hans Kristian Sundt  
Institutt for Kjemisk prosess teknologi  
Tlf. arb: 73 59 07 29  
-----

### Q-2 Mail: Prosessforklaring

From: Tor.Ausen@hydro.com Sun Feb 6 15:20:43 2000  
Date: Thu, 3 Feb 2000 08:18:45 +0100  
From: Tor.Ausen@hydro.com  
To: thomare@stud.ntnu.no  
Cc: skoge@chembio.ntnu.no  
Subject: Re: Prosjekt, HCl-kolonne

Hei

Jeg vet ikke hva Erik Sauar har brukt av data, se hans diplom. Når vi benytter Aspen Plus, hentes de nødvendige data fra innebygd databank. Data for HCl, VCM og EDC er godt kjent og fins sikkert også i Hysys.

Spesifikasjonene på 10 ppm av VCM i HCl er basert på at VCM som går til oksyreaktor, tapes. (Tapt produkt)



10 ppm HCl i (VCM + EDC) har til grunn at HCl vil gå sammen med VCM til siste kolonne som er en stripper for HCl. Kundespesifikasjon i bunnen krever HCl i VCM-prod. < 1 ppm.

To flytskjema ble sendt til prof. Skogestad på tirsdag. Behandles konfidensielt. De endringer som er planlagt fremover går bare på innvendige detaljer i kolonna, og endrer ikke flytskjema.

Vær imidlertid klar over at før 1998 var flytskjemaet til kolonna annerledes på følgende punkter:

Gass fra V-1402 gikk sammen med føde fra H-1403 til plate 34. (I dag til plate 16 - laveste fødestuss.)

Resirkulasjon fra C-1504 (HCl stripper) gikk til plate 16. (I dag flyttet til plate 20 - ledig fødestuss.)

Fødestusser fins på følgende plater: 16, 20, 22, 24, 28, 30, 34. I dag brukes ikke 22 og 28. Hovedføden kan ikke gå inn høyere enn plate 24 p.gr.a. tilstrekkelig hydraulisk kapasitet bare fins på plate 1 - 24.

Med hilsen

Tor Ausen

From: thomare@stud.ntnu.no on 2000-01-31 13:59 GMT

To: Tor Ausen/HRA/NHP/Hydro@Hydro

cc:

Subject: Prosjekt, HCl-kolonne

Hei

Vi har nå startet litt med simulering ( i Hysys) av det anlegget Erik Sauer forbedret i sin diplom. I forbindelse med dette lurte vi på hva slags termodynamiske data han har brukt( kritisk trykk/temperatur og acentricity). Lurte også på hva som ligger til grunn for spesifikasjonene i topp/bunn av HCl-kolonnen (prod.spesifikasjon etc.??). Til slutt ønsker vi hvis det er mulig å få flytskjema (forenklet +TFS m/reg.sløyfer) over HCl-kolonna med 1400 anlegget slik det er nå, og i tillegg et som inneholder eventuelle forbedringer som skal gjøres.

Vennlig hilsen Thomas Realfsen

### **Q-3 Mail: Svar på spørsmål rundt energidelen**

Date: Thu, 10 Feb 2000 13:20:55 +0100

From: Tor.Ausen@hydro.com

To: thomare@stud.ntnu.no

Cc: skoge@chembio.ntnu.no

Subject: Re: Prosjekt, HCl-kolonne

Hei

Først praktisk - vår Acrobat Reader (3.01) nekter å skrive ut tilsendt fil - det er noe med farger den ikke forstår. Tilgjengelig programvare for tekst er: Lotus Word Pro og MS Word + Windows 95 utstyr.

Så til spørsmål:

Trykk:

Reguleres fra trykkmåling på reflukstanken som holdes på 11.7 barg (12.7 bara). Trykkfall til kolonna normalt 0.3 bar. Kolonna vil normalt ha 12.0 i toppen og 12.4 barg i bunnen. Det gir tilsvarende -24 og +99 oC i topp og bunn.

Temp.:

Det er noen temp.målinger på plater i kolonna, men på grunn av forstyrrelser så vandrer de - vi klarer ikke å låse den store gradienten slik at måledata kan verifisere beregninger. Det som holder gradienten fast, er TIC på plate 15 og 38. Normalt blir disse låst til henholdsvis 75 og 13 oC. (Simulering av plate 38 blir godt under null på Aspen.) I våre simuleringer har vi avvik på beregnede temp. i øvre del av kolonna, mens de stemmer bedre på og under plate 15. Topp og bunn samsvarer bra.

Gevinst av modifikasjon:

Vi har ikke gjort noe forsøk på å måle dette, vesentlig pgra. problemer med referanse som ikke ble målt på forhånd. Antar derfor at simulerte verdier er beste svar. Vi har skjøvet gevinsten mot damp ved å legge temp. i V-1401 så høyt som mulig - dvs. la kjølekretsen lage så mye reflux som den kan (strøm billigere enn damp).

Den viktigste gevinsten for fremtiden er imidlertid at flaskehals (hydraulisk kapasitet og kjølekapasitet) har blitt utvidet. For tiden ligger imidlertid fabrikkens flaskehals et annet sted.

Hovedføde:

Kan ikke flyttes høyere enn plate 24 uten ny modifikasjon. (Rev.stans 2000 vil ikke endre dette.) Som nevnt justerer vi temp. i V-1401 for optimalisering.

Nye plater 25 - 45:

Forventes ikke å endre platevirkningsgrad. (Fra bevegelige til faste ventiler - gevinst på vedlikehold.)

Retur fra C-1504:

Det er ingen stuss under plate 16. Valgte plate 20 for å unngå å blande dem. Returstrøm er liten ( ca. 5 t/h).

Dynamisk:

Forstyrrelser kommer stort sett fra gasstrømmer fra flashtankene V-1402 (175 oC) og V-1403 (kondenseres). Det skyldes at føden til begge flashtankene inneholder koks som setter seg i

reg.ventil og plugges igjen ventilene.

Dessuten har TIC på plate 15 og 38 en tendens til å sloss (innbyrdes påvirkning).

Vi har i 1999 i samarbeid med Honeywell HiSpec installert deres RMPCT-produkt for avansert regulering av kolonna. Det har vist seg å være meget vanskelig. Pr. idag har vi ikke overbevisende bedring i stabilitet. Det er imidlertid visse indikasjoner på at vi vil lykkes bedre i nær fremtid.

Mvh

Tor Ausen

From: thomare@stud.ntnu.no on 2000-02-09 10:17 GMT  
To: Tor Ausen/HRA/NHP/Hydro@Hydro  
cc: skoge@chembio.ntnu.no

Subject: Prosjekt, HCl-kolonne

Hei

Vi sender deg en foreløpig oppsummering av vårt arbeide, samt noen spørsmål. Ringer deg i morgen for å høre dine synspunkter. Har du eventuelle spørsmål til notatet, kan vi nåes på tlf:73590729 eller pr mail.

mvh

Arild, Hans Kristian og Thomas

### **Q-4 Mail: Forstyrrelser, data fra Honeywell**

Date: Wed, 16 Feb 2000 10:05:48 +0100  
From: Tor.Ausen@hydro.com  
To: arildgr@stud.ntnu.no  
Cc: skoge@chembio.ntnu.no  
Subject: Re: Regulering av HCl-kolonne

Hei

Som nevnt tidligere så er det variasjoner i føden til plate 16 og 24 som følge av varierende avflashing i flashtankene V-1402 og V-1403 som gir mest forstyrrelser. Ellers er det også variasjoner i topptrykket som henger sammen med kjøleanleggets evne til å kjøle i kondensator

H-1502 (temp. skallside avhengig av sugetrykk på kompressor). Trykkvariasjoner slår direkte inn på TIC505 på plate 38. Fødevariasjoner virker både inn på TIC504 (pl. 15) og TIC505. Dessuten virker TIC504 og TIC505 inn på hverandre (mer damp til koker skyver T-gradienten oppover - først på pl. 15, men litt senere også på pl. 38. TIC505 svarer med mer refluks - som også berører pl. 15.).

Jeg har bedt Magne Mogård om å hente ut data for regulatorene fra Honeywell. De kommer i egen e-mail med vedlagte filer. For å kunne finne de spesifikke sløyfene dere trenger, så gir jeg her de aktuelle tag-numre:

C-1501:

Damp til koker: Kaskade FIC501 - TIC504(master) (pl. 15)

Refluks: Kaskade FIC508 - TIC505 (master) (pl. 38)

Bunnstrøm: Kaskade FIC503 - LIC504 (master) (sump)

Toppstrøm: Gass fra V-1501 reguleres av fødebehov på Oksy-reaktor - mengderegulert. Ikke i liste.

V-1501:

Trykk: Kaskade PIC514Y - PISC5300 (kompressorstyring - komplisert) (Y = York kompr. - Carrier ute av drift)

H-1403 (nedstrøms):

Trykk oppstrøms reg.ventil - styrer trykket helt tilbake til crackerne: PIC4102 - leverer føde til pl. 34. - vesentlig gass.

V-1404:

Nivå: LIC411 - leverer føde til plate 30.

H-1405A/B:

Kjølevann til kondensatorene: TIC441/TIC443 (står stort sett 100% åpne - Kond. leverer kondensert væske til V-1404)

V-1401:

Nivå: LIC450 - leverer føde til plate 24. Nedstrøms ventil kommer tilførsel fra kondensert flashgass fra V-1403.

Temp.: TIC429 - bestemmer temp. i V-1401 ved å regulere kondensering i oppstrøms kond. H-1402A (B ute av drift)

Føde til plate 16: Gass fra V-1402 går i åpent rør rett inn i C-1501 - ingen regulering untatt på føde til V-1402 (OBS - koks)

Føde til plate 20: Væske fra FIC550 - står på konstant mengde.

Mvh

Tor Ausen

## Q-5 Mail: Regulatorparametere

----- Forwarded message -----

Date: Wed, 16 Feb 2000 10:08:37 +0100  
From: Tor.Ausen@hydro.com  
To: arildgr@stud.ntnu.no  
Cc: skoge@chembio.ntnu.no  
Subject: Regulatorer C-1501 ++

----- Forwarded by Tor Ausen/HRA/NHP/Hydro on 2000-02-16 10:06  
From: Magne Vidar Mogard/HRA/NHP/Hydro on 2000-02-16 08:04

To: Tor Ausen/HRA/NHP/Hydro@Hydro  
cc:

Subject: Regulatorer C-1501 ++

Hei.

Vedlagt er det noen filer med konfigureringsparameter for regulatorer tilhørende OperasjonsUnit 4E, 5A og 5D. K=forsterkning, T1=integraltid i min. og T2=derivattid i min. Dette er 3 tekstfiler som enklest lar seg lese av f.eks. NotePad. De kan også hentes inn i Excel.

(See attached file: Reg3ntnu.xx)(See attached file: Reg2ntnu.xx)(See attached file: Reg1ntnu.xx)

Studentene kan hente ut den informasjonen de måtte trenge.

Jeg har også klippet ut noe fra Honeywells dokumentasjon av regulatorer. Dette kan leses med acrobat reader. De 2 filene er "Zipet". Denne dokumentasjonen må slettes, når studentene er ferdig med den.

(See attached file: AP09500.zip)(See attached file: 01README.zip)

### Vedlegg 1 Reg1ntnu.xx

```
.DEFINE_FIELD ENTITY 20 STRING   SHOW 2
.DEFINE_FIELD K 13 NUMBER   SHOW 3
.DEFINE_FIELD T1 13 NUMBER   SHOW 4
.DEFINE_FIELD T2 13 NUMBER   SHOW 5
.DEFINE_FIELD PTDESC 25 STRING   SHOW 6
.DEFINE_FIELD CTLALGID 10 STRING   SHOW 7
.DEFINE_FIELD UNIT 10 STRING   SHOW 8
.END
FIC423      0.5000000000 0.6000000000 0.0000000000 VANN TIL H-1401      PID    4E
FIC450      0.7000000000 1.5000000000 0.0000000000 VESKE V-1401 TIL C-1501 PID    4E
LIC408      0.3500000000 17.0000000000 0.0000000000 NIVAA V-1401      PID    4E
LIC411      1.0000000000 0.8333000000 0.0000000000 NIVAA V-1404      PID    4E
LIC422      0.5000000000 8.0000000000 0.0000000000 VANN NIVAA H-1401  PIDFF  4E
```

## Bilag Q

---

|         |              |               |              |                                |         |    |
|---------|--------------|---------------|--------------|--------------------------------|---------|----|
| LIC425  | 2.0000000000 | 0.1000000000  | 0.0000000000 | REFLUX-TANK V-1406             | PID     | 4E |
| PIC4102 | 0.8000000000 | 3.0000000000  | 0.0000000000 | GASSFØDE TIL C-1501            | PID     | 4E |
| PIC465  | 1.0000000000 | 1.0000000000  | 0.0000000000 | LPS FRA H-1401                 | PID     | 4E |
| TIC429  | 1.3000000000 | 8.0000000000  | 0.0000000000 | TEMPERATUR V-1401              | PID     | 4E |
| TIC441  | 1.2500000000 | 6.6700000000  | 0.0000000000 | GASSFØDE TIL C-1501            | PID     | 4E |
| TIC443  | 1.2500000000 | 6.6700000000  | 0.0000000000 | GASSFØDE TIL C-1501            | PID     | 4E |
| TY429A  | @@@          | @@@           | @@@          | MELLOMLEDD REG/UTG.            | AUTOMAN | 4E |
| TY429B  | @@@          | @@@           | @@@          | MELLOMLEDD REG/UTG.            | AUTOMAN | 4E |
| FIC501  | 0.3000000000 | 0.3000000000  | 0.0000000000 | DAMP TIL H-1501                | PID     | 5A |
| FIC503  | 0.3000000000 | 0.3000000000  | 0.0000000000 | BUNNSTROM C-1501               | PID     | 5A |
| FIC508  | 0.1500000000 | 0.1000000000  | 0.0000000000 | REFLUX C-1501                  | PID     | 5A |
| LIC509  | 0.8000000000 | 3.0000000000  | 0.0000000000 | KJØLEMEDIUM H-1502             | PID     | 5A |
| LIC575  | 0.6600000000 | 0.5000000000  | 0.0000000000 | KONDENSAT POTTE Z-1501         | PID     | 5A |
| LIC576  | 1.6600000000 | 8.6600000000  | 0.0000000000 | NIVA C-1501                    | PID     | 5A |
| PIC512  | 1.0000000000 | 1.0000000000  | 0.0000000000 | M KONDENS. KJØLEMEDIUM         | PID     | 5A |
| PIC514C | 1.0000000000 | 8.0000000000  | 0.0000000000 | TRYKK V-1501                   | PID     | 5A |
| PIC514Y | 1.4000000000 | 20.0000000000 | 0.0000000000 | TRYKK V-1501                   | PID     | 5A |
| TIC504  | 0.2500000000 | 15.0000000000 | 2.0000000000 | TEMP. PL. 15 C-1501            | PID     | 5A |
| TIC505  | 0.4000000000 | 20.0000000000 | 0.0000000000 | TEMP. PL. 38 C-1501            | PID     | 5A |
| FIC5102 | 0.3000000000 | 0.4000000000  | 0.0000000000 | CWR MINIMUM KOND.X1501/7       | PID     | 5D |
| HIC5300 | @@@          | @@@           | @@@          | PRV LEDESKOVLER X-1501Y        | AUTOMAN | 5D |
| IIC501  | 3.0000000000 | 1.0000000000  | 0.0000000000 | M STROM KJØLEKOMPR.MOTOR       | PID     | 5D |
| IIC503  | 0.8000000000 | 0.2500000000  | 0.0000000000 | STROM KJØLEKOMPR. X1501Y       | PID     | 5D |
| IIC5176 | 2.0000000000 | 3.0000000000  | 0.0000000000 | M MIN STROM KJØLEKOMPR.        | PID     | 5D |
| LIC562  | 2.0000000000 | 20.0000000000 | 0.0000000000 | DRAPEUTSKILLER X-1501/6        | PID     | 5D |
| LIC568  | 1.7000000000 | 2.0000000000  | 0.0000000000 | 1.UNDERKJØLER X-1501/9         | PID     | 5D |
| LIC571  | 1.2000000000 | 2.0000000000  | 0.0000000000 | 2.UNDERKJØLER X-1501/10        | PID     | 5D |
| LIC606  | 1.0000000000 | 1.5000000000  | 0.0000000000 | AVGASSKOND. H-1602             | PID     | 5D |
| PIC5300 | 0.4000000000 | 0.4000000000  | 0.0000000000 | SUGETRYKK KJØL.K X-1501Y       | PID     | 5D |
| PIC5352 | 1.0000000000 | 5.0000000000  | 0.0000000000 | TRYKK KONDENS. X-1501/7        | PID     | 5D |
| PX5300  | @@@          | @@@           | @@@          | PRV MAKS.VELGER X-1501         | ORSEL   | 5D |
| PY512   | @@@          | @@@           | @@@          | M STROMBEGRENSNING             | ORSEL   | 5D |
| PY5352  | @@@          | @@@           | @@@          | MAX.SEL MIN.KJØL X1501/7       | ORSEL   | 5D |
| PZ5300  | @@@          | @@@           | @@@          | STROMBEGRENSNING X-1501        | ORSEL   | 5D |
| PZ5302  | @@@          | @@@           | @@@          | VARMGASS TIL X-1501-Y/C SWITCH | 5D      |    |

### Vedlegg 2 Reg2ntnu.xx

```
.DEFINE_FIELD ENTITY 20 STRING SHOW 2
.DEFINE_FIELD PVEUHI 13 NUMBER SHOW 3
.DEFINE_FIELD PVEULO 13 NUMBER SHOW 4
.DEFINE_FIELD SPHILM 13 NUMBER SHOW 5
.DEFINE_FIELD SPLOLM 13 NUMBER SHOW 6
.DEFINE_FIELD OPHILM 13 NUMBER SHOW 7
.DEFINE_FIELD OPLOLM 13 NUMBER SHOW 8
.DEFINE_FIELD UNIT 10 STRING SHOW 9
.END
FIC423 35.00000000 0.00000000 35.00000000 0.00000000 100.00000000 0.00000000 4E
FIC450 150.00000000 0.00000000 150.00000000 0.00000000 100.00000000 0.00000000 4E
LIC408 100.00000000 0.00000000 100.00000000 0.00000000 100.00000000 0.00000000 4E
LIC411 100.00000000 0.00000000 100.00000000 0.00000000 100.00000000 0.00000000 4E
LIC422 100.00000000 0.00000000 100.00000000 0.00000000 100.00000000 0.00000000 4E
LIC425 100.00000000 0.00000000 100.00000000 0.00000000 100.00000000 0.00000000 4E
PIC4102 20.00000000 0.00000000 20.00000000 0.00000000 100.00000000 0.00000000 4E
PIC465 6.0000000000 0.0000000000 6.0000000000 0.0000000000 100.00000000 0.0000000000 4E
TIC429 100.00000000 0.0000000000 100.00000000 0.0000000000 100.00000000 0.0000000000 4E
TIC441 50.00000000 0.0000000000 50.00000000 0.0000000000 100.00000000 0.0000000000 4E
TIC443 50.00000000 0.0000000000 50.00000000 0.0000000000 100.00000000 0.0000000000 4E
```

## Bilag Q

---

|         |              |              |              |              |              |              |    |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----|
| TY429A  | @@@          | @@@          | @@@          | @@@          | 105.00000000 | -5.000000000 | 4E |
| TY429B  | @@@          | @@@          | @@@          | @@@          | 105.00000000 | -5.000000000 | 4E |
| FIC501  | 15.000000000 | 0.000000000  | 11.000000000 | 0.000000000  | 100.00000000 | 0.000000000  | 5A |
| FIC503  | 200.00000000 | 0.000000000  | 200.00000000 | 0.000000000  | 100.00000000 | 0.000000000  | 5A |
| FIC508  | 30.600000000 | 0.000000000  | 30.00000000  | 11.00000000  | 100.00000000 | 0.000000000  | 5A |
| LIC509  | 100.00000000 | 0.000000000  | 60.00000000  | 10.00000000  | 100.00000000 | 0.000000000  | 5A |
| LIC575  | 100.00000000 | 0.000000000  | 100.00000000 | 0.000000000  | 100.00000000 | 0.000000000  | 5A |
| LIC576  | 100.00000000 | 0.000000000  | 100.00000000 | 0.000000000  | 100.00000000 | 0.000000000  | 5A |
| PIC512  | 0.600000000  | -1.000000000 | 0.000000000  | -0.400000000 | 100.00000000 | 15.000000000 | 5A |
| PIC514C | 16.000000000 | 0.000000000  | 16.000000000 | 8.000000000  | 100.00000000 | 0.000000000  | 5A |
| PIC514Y | 16.000000000 | 0.000000000  | 16.000000000 | 0.000000000  | 101.00000000 | 0.000000000  | 5A |
| TIC504  | 150.00000000 | 0.000000000  | 150.00000000 | 0.000000000  | 100.00000000 | 0.000000000  | 5A |
| TIC505  | 25.000000000 | -25.00000000 | 25.00000000  | -25.00000000 | 100.00000000 | 0.000000000  | 5A |
| FIC5102 | 500.00000000 | 0.000000000  | 200.00000000 | 40.00000000  | 100.00000000 | -2.000000000 | 5D |
| HIC5300 | @@@          | @@@          | @@@          | @@@          | 100.00000000 | 20.000000000 | 5D |
| IIC501  | 200.00000000 | 0.000000000  | 126.00000000 | 126.00000000 | 100.00000000 | 0.000000000  | 5D |
| IIC503  | 200.00000000 | 0.000000000  | 155.00000000 | 155.00000000 | 102.00000000 | 0.000000000  | 5D |
| IIC5176 | 200.00000000 | 0.000000000  | 120.00000000 | 60.00000000  | 106.00000000 | 0.000000000  | 5D |
| LIC562  | 100.00000000 | 0.000000000  | 15.00000000  | 0.000000000  | 10.00000000  | -2.000000000 | 5D |
| LIC568  | 100.00000000 | 0.000000000  | 40.00000000  | 15.00000000  | 105.00000000 | -5.000000000 | 5D |
| LIC571  | 100.00000000 | 0.000000000  | 40.00000000  | 15.00000000  | 105.00000000 | -5.000000000 | 5D |
| LIC606  | 100.00000000 | 0.000000000  | 100.00000000 | 0.000000000  | 105.00000000 | -5.000000000 | 5D |
| PIC5300 | 1.000000000  | -1.000000000 | -0.150000000 | -0.400000000 | 100.00000000 | 0.000000000  | 5D |
| PIC5352 | 10.000000000 | 0.000000000  | 5.500000000  | 2.500000000  | 102.00000000 | 0.000000000  | 5D |
| PX5300  | @@@          | @@@          | @@@          | @@@          | 105.00000000 | -2.000000000 | 5D |
| PY512   | @@@          | @@@          | @@@          | @@@          | 100.00000000 | 0.000000000  | 5D |
| PY5352  | @@@          | @@@          | @@@          | @@@          | 102.00000000 | -2.000000000 | 5D |
| PZ5300  | @@@          | @@@          | @@@          | @@@          | 100.00000000 | 0.000000000  | 5D |
| PZ5302  | @@@          | @@@          | @@@          | @@@          | 102.00000000 | -2.000000000 | 5D |

### Vedlegg 3 Reg3ntnu.xx

```
.DEFINE_FIELD ENTITY 20 STRING SHOW 2
.DEFINE_FIELD CTLALGID 10 STRING SHOW 3
.DEFINE_FIELD CTLEQN 10 STRING SHOW 4
.DEFINE_FIELD CTLACTN 10 STRING SHOW 5
.DEFINE_FIELD OPROCLM 13 NUMBER SHOW 6
.DEFINE_FIELD UNIT 10 STRING SHOW 7
.END
FIC423 PID EQA REVERSE ----- 4E
FIC450 PID EQB REVERSE ----- 4E
LIC408 PID EQB DIRECT ----- 4E
LIC411 PID EQA DIRECT ----- 4E
LIC422 PIDFF EQA REVERSE ----- 4E
LIC425 PID EQA DIRECT ----- 4E
PIC4102 PID EQA DIRECT ----- 4E
PIC465 PID EQA DIRECT ----- 4E
TIC429 PID EQB REVERSE ----- 4E
TIC441 PID EQA DIRECT ----- 4E
TIC443 PID EQA DIRECT ----- 4E
TY429A AUTOMAN EQA @@@ ----- 4E
TY429B AUTOMAN EQA @@@ ----- 4E
FIC501 PID EQB REVERSE ----- 5A
FIC503 PID EQB REVERSE ----- 5A
FIC508 PID EQA REVERSE ----- 5A
LIC509 PID EQB REVERSE ----- 5A
LIC575 PID EQC DIRECT ----- 5A
LIC576 PID EQC DIRECT ----- 5A
```

|         |         |     |         |               |    |
|---------|---------|-----|---------|---------------|----|
| PIC512  | PID     | EQB | DIRECT  | -----         | 5A |
| PIC514C | PID     | EQC | REVERSE | -----         | 5A |
| PIC514Y | PID     | EQC | REVERSE | 20.000000000  | 5A |
| TIC504  | PID     | EQB | REVERSE | 50.000000000  | 5A |
| TIC505  | PID     | EQB | DIRECT  | 50.000000000  | 5A |
| FIC5102 | PID     | EQB | REVERSE | -----         | 5D |
| HIC5300 | AUTOMAN | EQA | @@@     | -----         | 5D |
| IIC501  | PID     | EQB | REVERSE | -----         | 5D |
| IIC503  | PID     | EQB | REVERSE | 600.000000000 | 5D |
| IIC5176 | PID     | EQB | REVERSE | -----         | 5D |
| LIC562  | PID     | EQB | DIRECT  | -----         | 5D |
| LIC568  | PID     | EQB | REVERSE | -----         | 5D |
| LIC571  | PID     | EQB | REVERSE | -----         | 5D |
| LIC606  | PID     | EQC | REVERSE | -----         | 5D |
| PIC5300 | PID     | EQB | DIRECT  | 20.000000000  | 5D |
| PIC5352 | PID     | EQB | DIRECT  | 600.000000000 | 5D |
| PX5300  | ORSEL   | EQA | @@@     | -----         | 5D |
| PY512   | ORSEL   | EQB | @@@     | -----         | 5D |
| PY5352  | ORSEL   | EQA | @@@     | -----         | 5D |
| PZ5300  | ORSEL   | EQB | @@@     | -----         | 5D |
| PZ5302  | SWITCH  | EQB | @@@     | -----         | 5D |

### Q-6 Mail: Svar på spørsmål, renheter, priser.

From: Tor.Ausen@hydro.com  
Sent: Wednesday, March 22, 2000 10:26 AM  
To: hanssu@stud.ntnu.no  
Subject: Re: Prosjekt, regulering av HCl kollonne.

Hei

Svar på spørsmål:

1) Refluks/(HCl - gass til oksy) er normalt = 0.6 til 0.65

2) Føde til plate 16: Hvis 100 % er normalen - varierer mellom 20 % og 130 %. Typisk faller når tilførselen til flashtanken går tett. Skyter over 100% når åpnet igjen.

Føde fra 2. flashtank, væske som blandes inn i hovedstrøm til plate 24, har et tilsvarende mønster. Innblanding jevner ut, men temp. i varierende strøm fra 2. flashtank er ca. 0 oC. Dette slår ut på temp. i strøm til plate 24.

3) I HCl-gass til oksy er vanligvis VCM innenfor 5 - 12 ppm(vol). I bunnen tar vi ikke prøver.

4) Damp = 60 kr/tonn, Strøm = 150 kr/MWh (15 øre/kWh)  
VCM = varierer mye, men sett som typisk 3500 kr/tonn (salgspris ut).

Kostnader forbundet med krav til HCl i bunnen er ikke beregnet. Det vil typisk være slik at en liten overskridelse gir større returstrøm fra stripper til plate 20 (normalt ca. 5 t/h). Større



overskridelse vil føre til "off spec VCM" fra stripper og "rework strøm" tilbake fra produkt småkule (i tillegg til returstrøm til HCl-kolonna). Vi har tre småkuler som fylles opp og prøvetas før vi pumper den over på en storkule (spec. < 1 ppm HCl).

Vi regner kravet i bunnen av HCl-kolonna som viktigere enn kravet i toppen, men det er sjelden vi har problemer med det.

5) Ja, det er måling på plate 10.

Mvh

Tor Ausen

From: hanssu@stud.ntnu.no on 2000-03-21 08:56 GMT

To: Tor Ausen/HRA/NHP/Hydro@Hydro

cc:

Subject: Prosjekt, regulering av HCl kollonne.

Hei,

Nå er vi kommet et godt stykke på vei og nærmer oss slutten av prosjektet.

Vi har noen spørsmål som vi håper vi kan få litt hjelp med.

1. Hva er vanligvis reflux ratio?
2. Hvor mye varierer de to fødene som du sier er de viktigste forstyrrelsene?
3. Kan du si noe om hva renhetene i topp og bunn faktisk er, tar dere noen gang prøver?
4. Kan vi få internpriser på damp, strøm, VCM og eventuelt noen kostnadsberegninger knyttet til for lav renhet i bunnen av kolonnen hvis de finnes?
5. På utskriften vi fikk fra kontroll rommet har vi en temperatur måling på 92.5°, vi er noe usikre på hvilken plate dette er (10)?

På forhånd takk

Med vennlig hilsen

Aril, Hans Kristian og Thomas

## Q-7 Mail: Modifikasjoner

From: Tor.Ausen@hydro.com  
Sent: Wednesday, March 29, 2000 9:22 AM  
To: hanssu@stud.ntnu.no  
Subject: Re: HCl kolonnen

Hei

Bare noen få kommentarer:

1981: Omsetning i crackere ca. 52 % (Skogestad)

1986: Større kapasitet på nedløpene spesielt, men også noen flere ventiler for å takle større last på platene 1 - 24.

1989: Antall crackere utvidet fra 2 til 3 - tillater høyere omsetning - ca. 55 %.

1998: Varm gass fra V-1402 flyttes fra kombinert føde til plate 34 til egen føde på plate 16.  
Gevinst:  
\* mindre damp til koker  
\* mindre refluks  
\* større kapasitet på kolonna og kjøleanlegg relativt produksjon

Med hensyn til renhet i bunnen:

Vi tar ingen analyser her fordi C-1504 (nedstrøms stripper) ordner HCl-nivået i det ferdige produktet (< 1 ppm)

Vår Aspenmodell gir rimelige temperaturer fra bunnen og opp til plate 15 (nedre regulering av T-profil). Øvre regulering av T-profil (plate 38) stemmer dårlig, men topp-temp. blir riktig (gode data for ren HCl).

Aspen-modellen gir 1 ekstra trinn for koker og for kondensator + 30 trinn for kolonna = 32 teoretiske trinn.

Aspen-modellen justerer damp og refluks inntil renhet i topp og bunn (10 ppm) er oppfylt. Dampmengde og refluks mengde stemmer rimelig godt med målinger.

Temp. i bunnen gjenspeiler omsetning i crackere (brukes i praksis for egenkontroll).

Kondensator: Vi har ikke målt virkningsgrad. Antar 1 trinn.

Mvh

Tor Ausen

**R FLYTSKJEMA AV DET VIRKELIGE ANLEGGET**

**Konfidensielt**