

19/4/82

INTEGRATIE VAN DESTILLATIEKOLOMMEN

Opdracht in het kader van het college Chemische Fabriek
van Prof.Ir. A.G. Montfoort.

Uitgevoerd door: P.C. van den Berg
R.Versendaal

Laboratorium Apparatenbouw voor de Procesindustrie.

Delft, April 1982.

INHOUDSOPGAVE

| | |
|--|----|
| Samenvatting | 1 |
| 2. Inleiding. | 2 |
| 3. De destillatiekolommen G_1 , G_2 en G_3 . | 4 |
| 3.1 Mc Gabe-Thiele diagrammen. | 4 |
| 3.1.1 Kolom G_1 . | 4 |
| 3.1.2 Kolom G_2 . | 6 |
| 3.1.3 Kolom G_3 . | 8 |
| 3.2 Het computerprogramma Whendi. | 10 |
| 3.3 Dimensionering van de destillatiekolommen. | 11 |
| 4. Economische evaluatie. | 30 |
| 5. Conclusie. | 36 |
| Literatuurlijst. | 37 |

Samenvatting.

In dit verslag onderzoeken we of het economisch gezien voordelen oplevert om de twee destillatietreinen, beschreven in het verslag van de G-opdracht 1982 over de Esso aromatenfabriek, te combineren tot één trein.

Allereerst zijn met behulp van het McCabe-Thiele diagram startwaarden gezocht voor het computerprogramma Whendi. Hiermee is Whendi uitgevoerd en zijn de kolommen gedimensioneerd.

In de economische evaluatie vergelijken we de geïntegreerde kolommen dan op basis van zowel de investerings- als de energiekosten met de niet geïntegreerde. Het blijkt dat er veel bespaard kan worden als men *nauscha!* de twee kolommen combineert en wel 2,5 miljoen op de investeringskosten en per jaar 1 miljoen op de energiekosten.

Onze conclusie luidt dan ook dat we de kolommen moeten combineren.

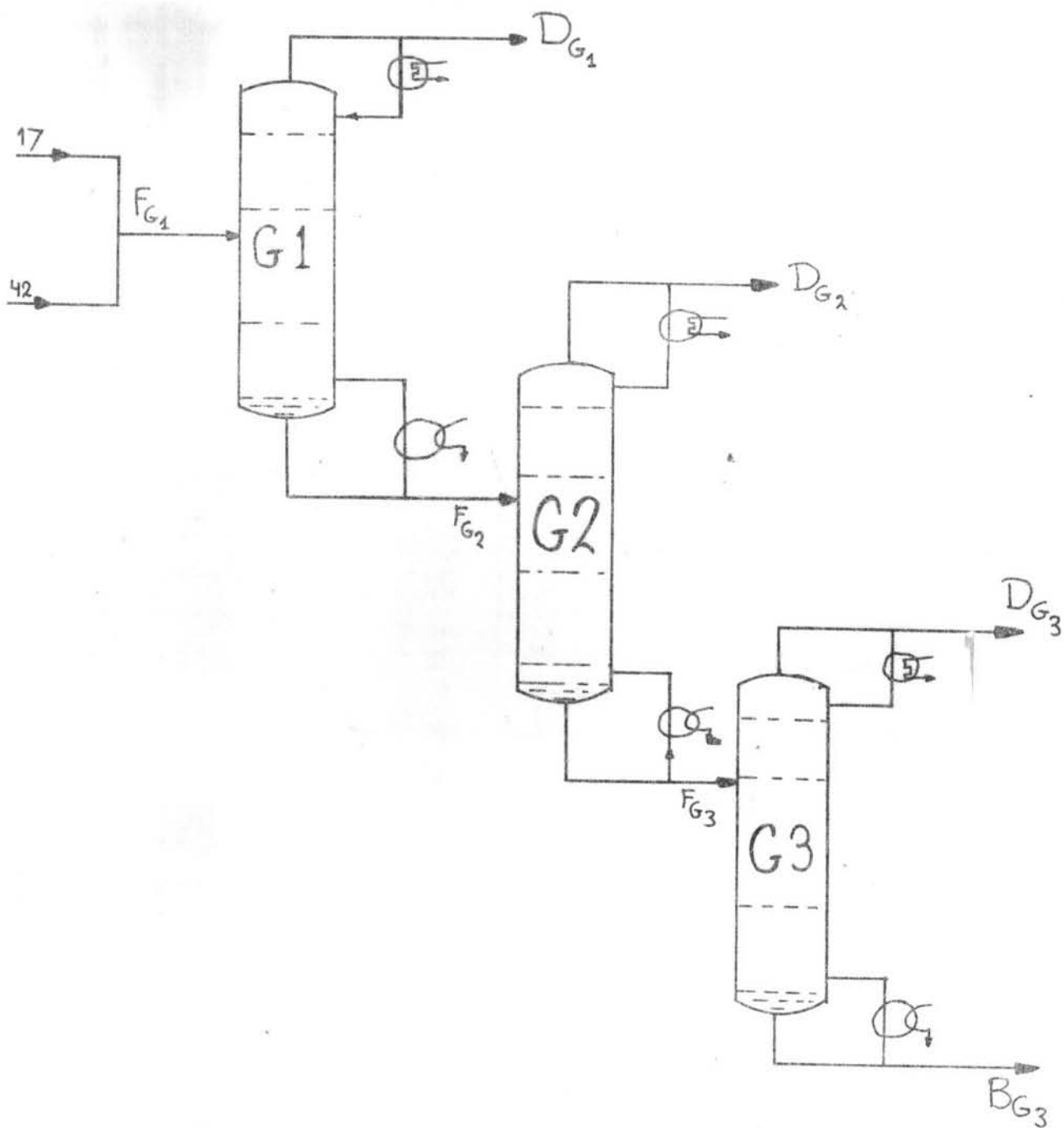
Inleiding.

In het kader van het college m17 Chemische Fabriek, hebben wij een vervolgoopdracht gekregen op de G-opdracht 1982. De opdracht houdt in, te onderzoeken of het economisch gezien voordelen kan opleveren om de twee destillatietreinen T_6 t/m T_8 en T_9 t/m T_{11} te combineren tot één trein. Dit combineren is mogelijk omdat de twee destillatietreinen exakt dezelfde scheiding uitvoeren, namelijk een scheiding van de stoffen benzeen, toluen en xyleen.

De twee scheidingstreinen krijgen hun voeding van de extractie- en van de transalkylerings-unit, respectievelijk de stroomnummers 17 en 42, zie stroomschema G-opdracht bladzijde 4. Deze twee stromen worden nu samengevoegd tot één en gevoerd naar de destillatietorens G_1 , G_2 en G_3 (zie stroomschema bladzijde 3). De destillatietorens G_1 , G_2 en G_3 zijn sommaties van de destillaten van respectievelijk T_6 en T_9 , T_7 en T_{10} , T_8 en T_{11} .

Om een goede vergelijking met de G-opdracht mogelijk te maken zijn de kolommen T_6 en T_7 gedeeltelijk opnieuw berekend. Kolom T_6 , omdat niet het meest economische materiaal gekozen was, kolom T_7 omdat er hierbij om de realiteit meer te benaderen met paraffines wordt gewerkt. De toluen wordt dan als sidestream afgetapt en de paraffines gaan over de top. Wij hebben de kolommen allen berekend met materiaal Fe E 255 kw en zonder paraffines.

In dit verslag zullen we nu de kolommen G_1 , G_2 en G_3 doorrekenen. Aan het einde komt dan de economische beschouwing aan bod. Hierin worden de investerings- en de energiekosten van de geïntegreerde en de niet geïntegreerde kolommen met elkaar vergeleken. De meeste berekeningen zijn uitgevoerd volgens de recepten die beschreven zijn in het verslag van de G-opdracht 1982. In dit verslag zullen we aangeven waar we de verschillende recepten gebruikt hebben.



figuur 1: Stroomschema van de geïntegreerde destillatietrein.

3. De destillatiekolommen G_1 , G_2 , en G_3 .

3.1 Mc Gabe-Thiele diagrammen.

De theorie van de Mc Gabe-Thiele diagrammen is uiteengezet in het verslag van de G-opdracht 1982, bladzijde 10. Wij geven hier drie diagrammen, namelijk voor de destillatie kolommen G_1 , G_2 en G_3 . Uit deze diagrammen volgt een beginwaarde voor het computerprogramma Whendi.

3.1.1 Kolom G_1 .

De sleutelcomponenten zijn Benzeen met $T_b = 353,1$ K

Tolueen met $T_b = 383,1$ K

Voedingsstroom op kookpunt $q=1$.

Molaire fractie van Benzeen in voedingstroom 0,2639

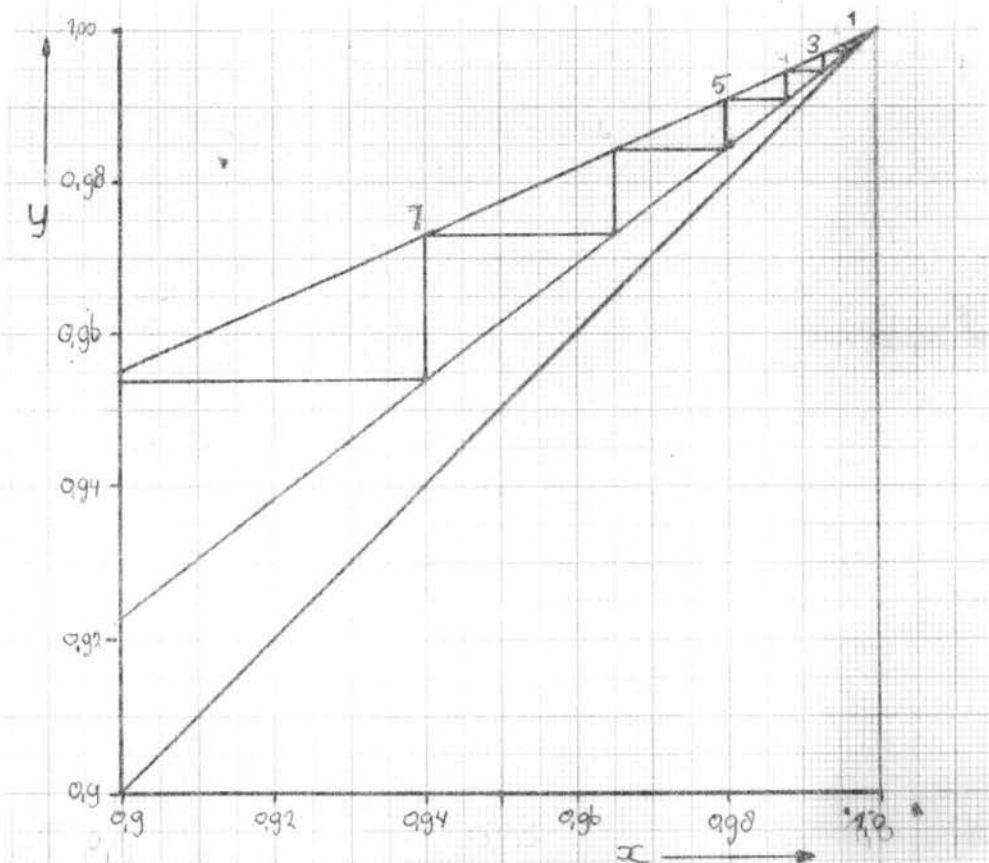
destillaatstroom 0,999

bodemstroom 0,00023

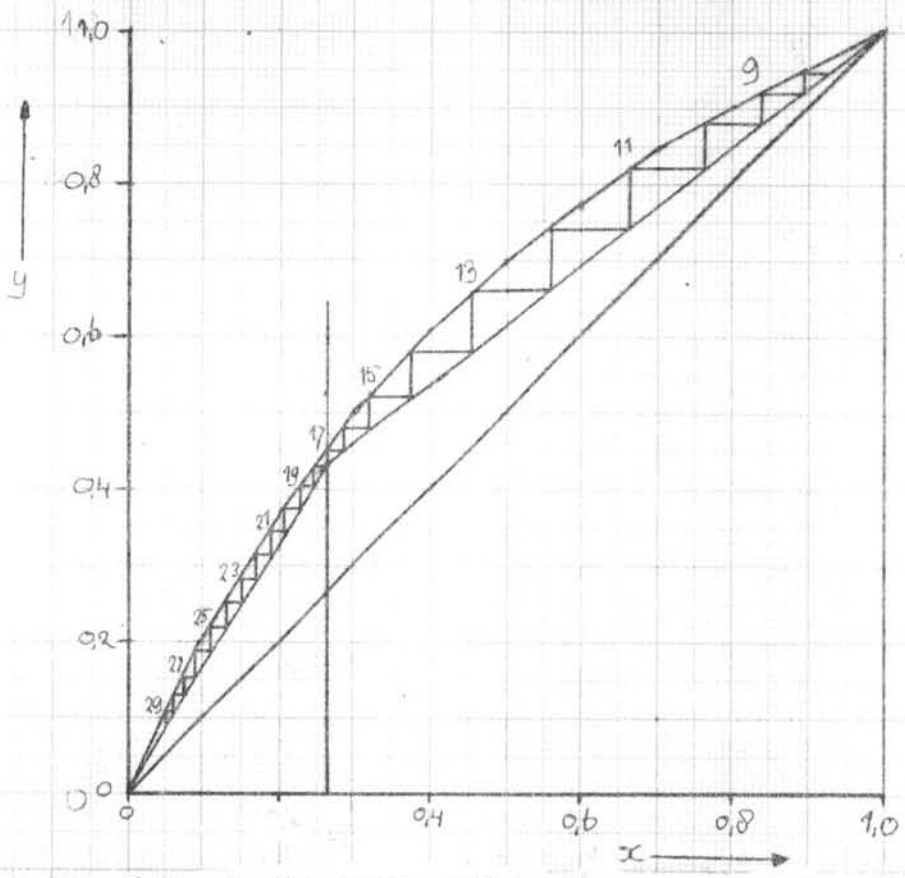
Relatieve vluchtigheid $\alpha=2,35$

Refluxverhouding $R=3,4$

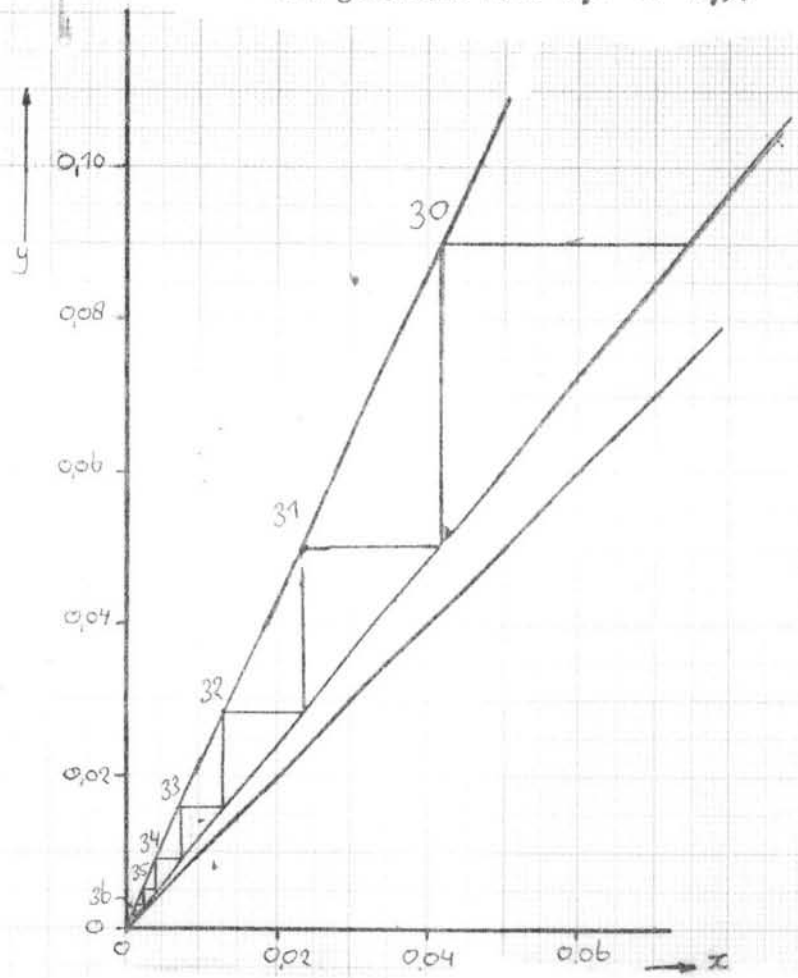
Aantal schotels, hetgeen volgt uit de figuren 2,3 en 4 is $N=36$



figuur 2: Het McGabe-Thiele diagram voor kolom G_1 .
Het gedeelte voor $0,9 \times 1,0$



figuur 3: Het McGabe-Thiele diagram voor kolom G1.
 Het gedeelte voor 0,1 x 0,9.



figuur 4: Het McGabe-Thiele diagram voor kolom G1.
 Het gedeelte voor 0 x 0,1.

3.1.2 Kolom G2.

De sleutelcomponenten zijn Tolueen met $T_b = 383,1$ K

Xyleen met $T_b = 410,0$ K

Voedingsstroom op kookpunt $q=1$

Molaire fractie van Tolueen in voedingsstroom 0,5125

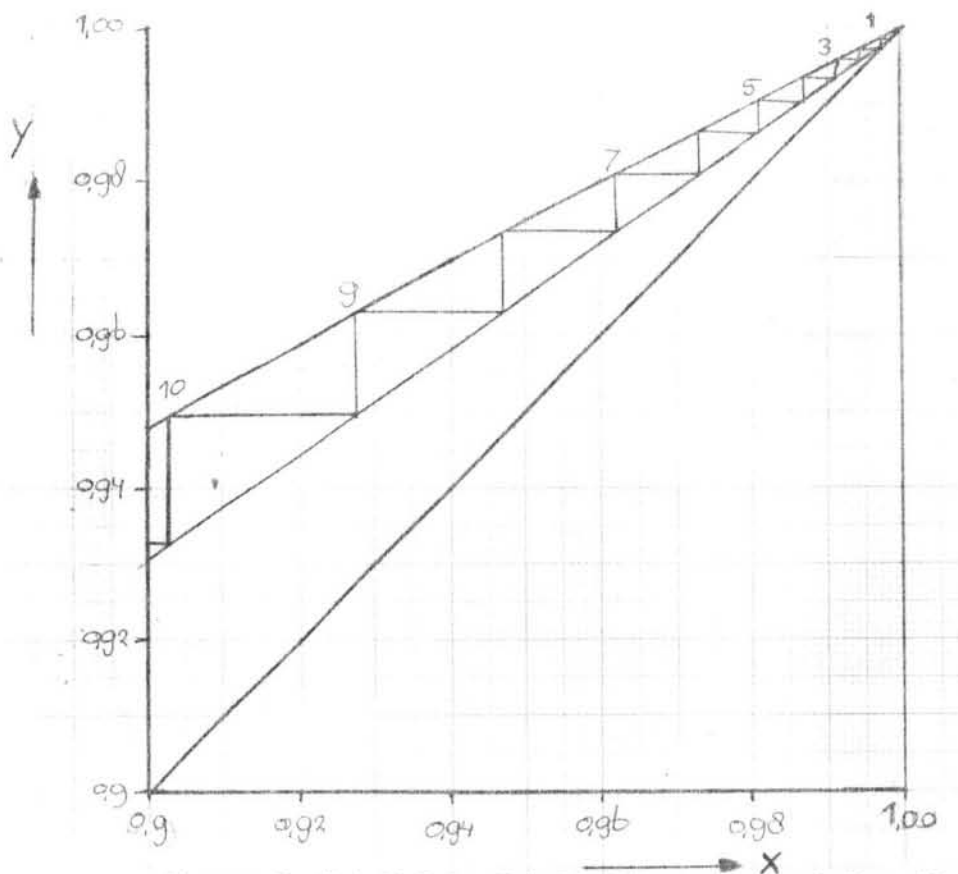
destillaatstroom 0,9985

bodemstroom 0,00081

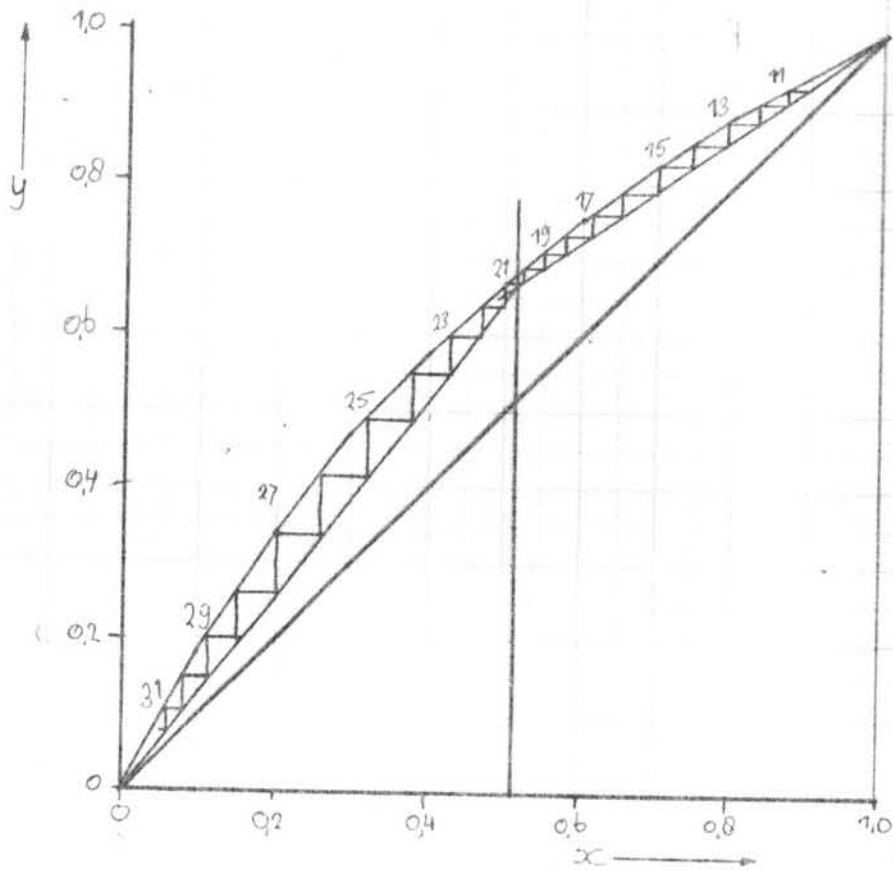
Relatieve vluchtigheid $\alpha = 2,04$

Refluxverhouding $R = 2,24$

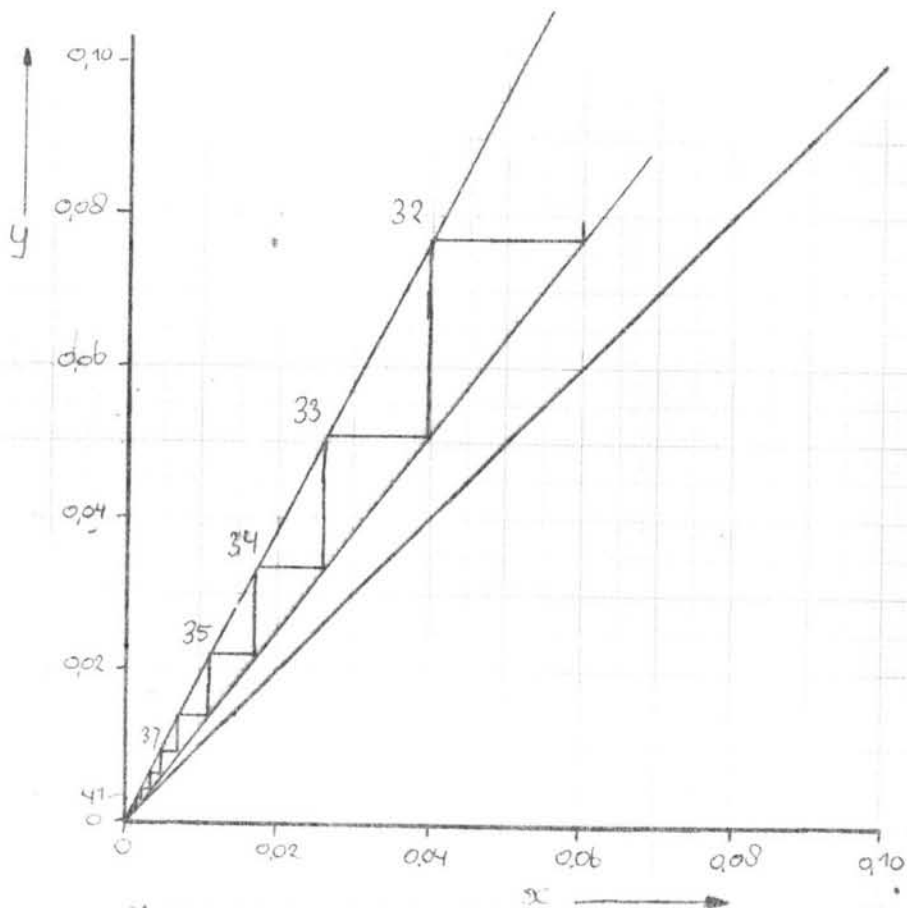
Aantal schotels, hetgeen volgt uit de figuren 5, 6 en 7 is $N = 41$



figuur 5: Het McCabe-Thiele diagram voor kolom G2.
het gedeelte voor 0,9 x 1,0.



figuur 6: Het McGabe-Thiele diagram voor kolom G2.
Het gedeelte voor 0,1 x 0,9.



figuur 7: Het McGabe-Thiele diagram voor kolom G2.
Het gedeelte voor 0 x 0,1.

3.1.3 Kolom G3.

De sleutelcomponenten zijn Xyleen met $T_b = 410$ K

C_9+ met $T_b = 438$ K

Voedingsstroom op kookpunt $q=1$

Molaire fractie van Xyleen in voedingsstroom 0,7994

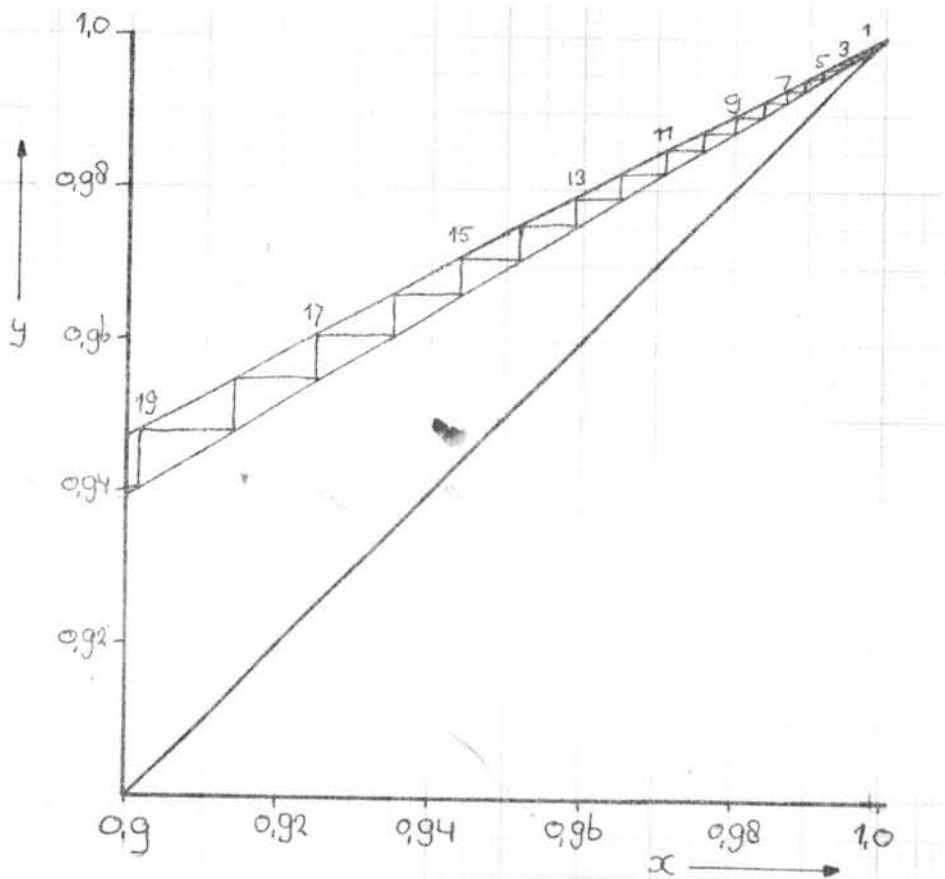
destillaatstroom 0,999

bodemstroom 0,001

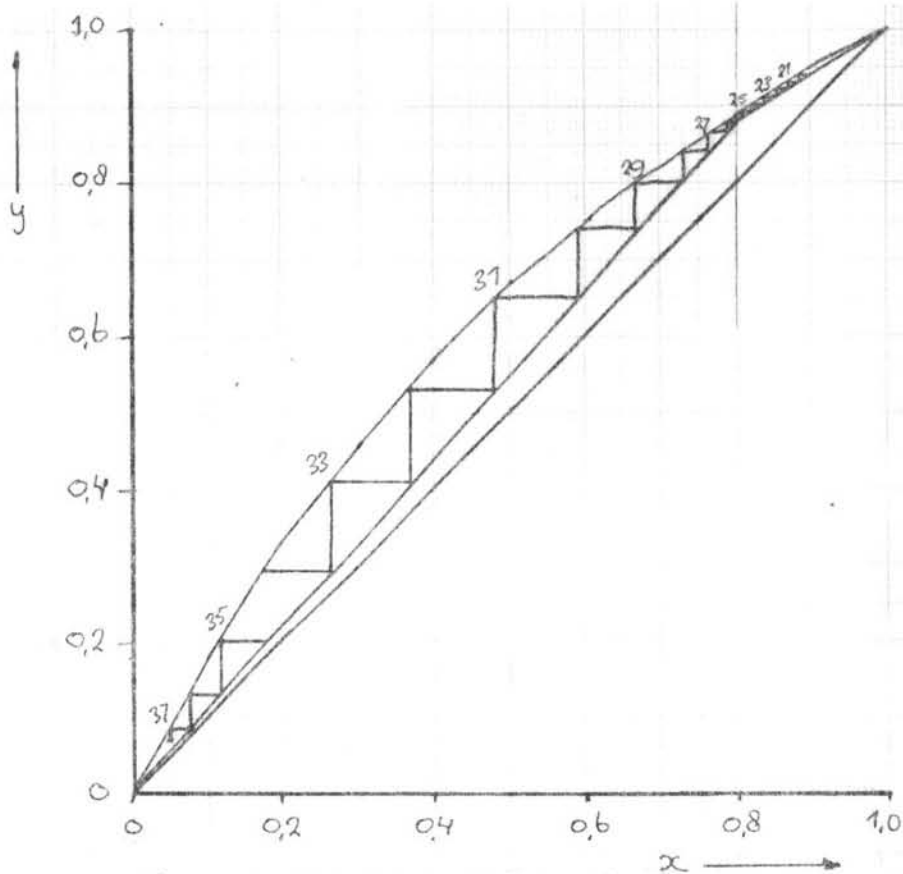
Relatieve vluchtigheid $\alpha = 2,0$

Refluxverhouding $R = 1,5$

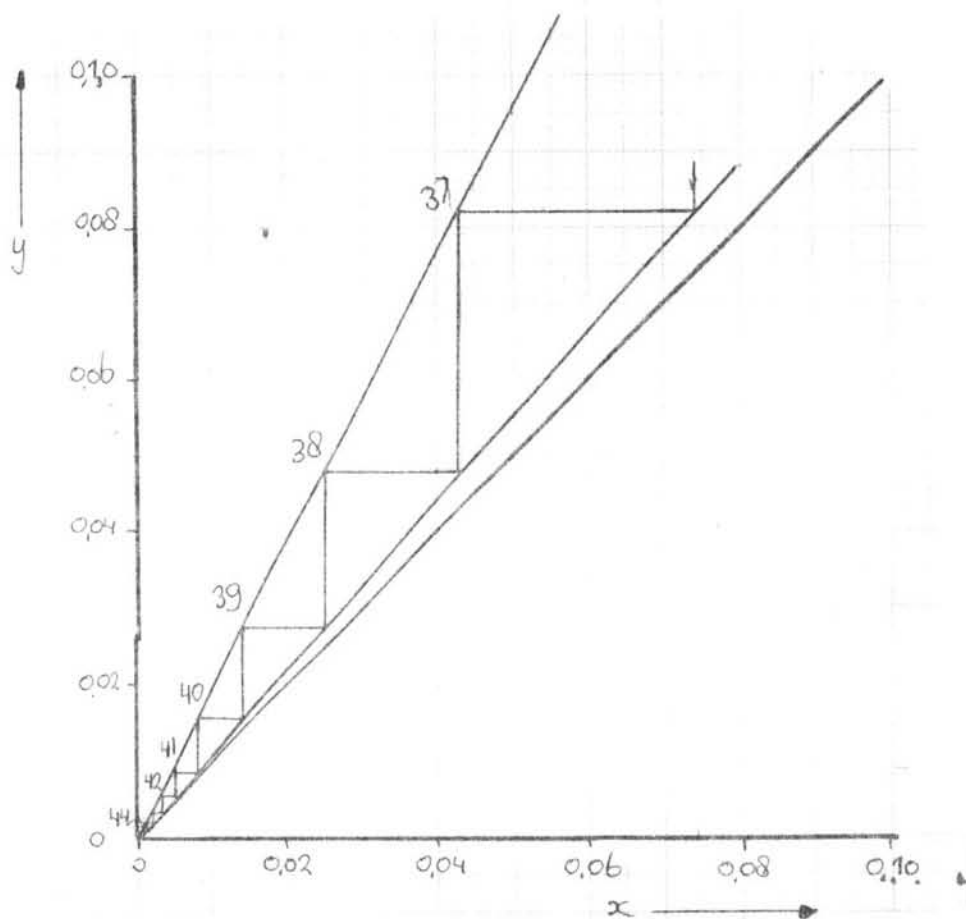
Aantal schotels, hetgeen volgt uit de figuren 8, 9 en 10 is $N = 44$



figuur 8: Het McCabe-Thiele diagram voor kolom G3.
Het gedeelte voor 0,9 x 1,0.



figuur 9: Het McGabe-Thiele diagram voor kolom G3.
Het gedeelte voor 0,1 x 0,9.



figuur 10: Het McGabe-Thiele diagram voor kolom G3.
Het gedeelte voor 0 x 0,1.

3.2 Het computerprogramma Whendi.

In het verslag van de G-opdracht 1982 staat op bladzijde 13 en verder beschreven hoe het Whendi programma werkt. Dit programma is door ons nogmaals uitgevoerd met vernieuwde invoergegevens, die samengesteld zijn uit de gegevens van de kolommen T₆ t/m T₁₁. In tabel 1 is de uitvoer van het programma, zoals uitgevoerd voor de destillatiekolommen G₁, G₂ en G₃ vermeld.

| kolom | G ₁ | | G ₂ | | G ₃ | |
|--------------------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| | destillaat | bodemstroom | destillaat | bodemstroom | destillaat | bodemstroom |
| stroom(mol/s) | 46,17 | 282,26 | 128,96 | 153,31 | 122,61 | 30,69 |
| temperatuur(°C) | 85,1 | 135,9 | 121,5 | 153,8 | 150,1 | 171,9 |
| x _{benzeen} | 0,99939 | 0,00022 | 0,00049 | - | - | - |
| x _{tolueen} | 0,00061 | 0,45662 | 0,99889 | 0,00025 | 0,00036 | - |
| x _{o-xyleen} | - | 0,14476 | - | 0,26656 | 0,33320 | 0,00062 |
| x _{m-xyleen} | - | 0,14476 | 0,00020 | 0,26642 | 0,33314 | - |
| x _{p-xyleen} | - | 0,14476 | 0,00042 | 0,26622 | 0,33250 | - |
| x _{meb} | - | 0,09075 | - | 0,16711 | 0,00039 | 0,82958 |
| x _{thb} | - | 0,01813 | - | 0,03340 | 0,00001 | 0,16980 |
| condensor duty (W) | 8,36 · 10 ⁶ | | 1,45 · 10 ⁷ | | 1,47 · 10 ⁷ | |
| reboiler duty (W) | 8,81 · 10 ⁶ | | 1,48 · 10 ⁷ | | 1,47 · 10 ⁷ | |
| schotels N _{th} | 55 | | 60 | | 60 | |
| voedingsplaatsen | 18/24/30 | | 33/37 | | 26/30 | |
| reflux | 5,0 | | 2,4 | | 2,3 | |

hoger dan eerst opgegeven

Tabel 1

De uitvoer van het computerprogramma Whendi voor de drie destillatiekolommen G₁, G₂, G₃.

3.3 Dimensionering van de kolommen.

Met behulp van de uitvoer van het computerprogramma Whendi zijn de drie kolommen gedimensioneerd. Deze dimensionering is uitgevoerd volgens het recept dat beschreven is in het verslag van de G-opdracht 1982, op bladzijde 24 en verder. De hoofdafmetingen die hieruit volgen staan vermeld in tabel 2.

tabel 2: De resultaten van de dimensionering van de drie destillatie kolommen G_1 , G_2 en G_3 .

| kolom | G_1 | G_2 | G_3 |
|--------------|----------|----------|----------|
| Hoogte m | 30,5 | 35,0 | 34,5 |
| Diameter mm | 3190 | 3980 | 3900 |
| Materiaal | FeE255kw | FeE255kw | FeE255kw |
| Wanddikte mm | 13,5 | 17,0 | 16,5 |

De berekeningen zijn samengevat in de volgende tabellen. In de laatste tabellen staan de vernieuwde berekeningen van de kolommen T_6 en T_7 .

Resultaten van kolom G1

Dimensionering :

Aanname's :

| | | | | | |
|---------------------------|-------|--------------|------------|--------------|------------|
| N_{th} | = 55 | F | = 10 % | H_w | = 0,05 m |
| F op schotel 18/24/30 b | = 0,5 | $U_{1,sp,t}$ | = 0,35 m/s | | |
| R | = 5,0 | H_s | = 0,5 m | $U_{1,sp,b}$ | = 0,70 m/s |
| | | d_p | = 12,6 mm | $C_D(p)$ | = 0,67 |
| | | s | = 37,9 mm | $C_D(sp)$ | = 0,55 |

| | Top. | Roдем. |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|
| ρ_1 [kg/m ³] | 869,4 | 864,4 |
| ρ_g [kg/m ³] | 3,70 | 3,92 |
| \tilde{M} | 88,07 | 99,66 |
| Φ | 0,0544 | 0,1360 |
| σ [N/m] | $1,92 \cdot 10^{-2}$ | $1,72 \cdot 10^{-2}$ |
| τ [Ns/m ²] | $2,7 \cdot 10^{-4}$ | $2,7 \cdot 10^{-4}$ |
| L [mol/s] | 230,8 | 559,3 |
| G [mol/s] | 277,0 | 277,0 |
| $\lambda_{s,max}$ (bedexp.) | - | 0,079 |
| $\lambda_{s,max}$ (entr.) | 0,0896 | 0,0874 |
| $U_{g,s,max}$ [m/s] | - | 1,17 |
| $U_{g,s,werk}$ [m/s] | - | 0,88 |
| $\Phi_{v,g}$ [m ³ /s] | - | 7,04 |
| D_k [m] | - | 3,19 |
| Opp. valpijp in % | - | 12 |
| Ψ | 0,0827 | 0,2087 |
| h_1 [m] | 0,0317 | 0,0399 |
| ΔP_s [N/m ²] | 589,1 | 676,1 |
| Λ_k [m] | - | 8,0 |
| Λ_{bba} [m] | - | 6,08 |
| b_{bba} [m/m] | - | 0,658 |
| $\Delta H_{downc.}$ [m] | 0,1218 | 0,2026 |
| $\Delta H < \frac{1}{2} H_s$ | ja | ja |

Rendement .

| | Top. | Bodem. |
|---|----------------------|----------------------|
| $K = \frac{dy}{dx} \cdot G$ | 1,1 | 2,2 |
| $S = K \cdot L$ | 1,32 | 1,09 |
| k_g [m/s] | 0,0351 | 0,0332 |
| k_l [m/s] | $2,03 \cdot 10^{-4}$ | $2,09 \cdot 10^{-4}$ |
| m | 0,0047 | 0,0100 |
| k_{og} [m/s] | $1,94 \cdot 10^{-2}$ | $1,28 \cdot 10^{-2}$ |
| $v_{l,1}$ [m/s] | $2,34 \cdot 10^{-1}$ | $6,44 \cdot 10^{-2}$ |
| $U_{l,bba}$ [m/s] | $3,85 \cdot 10^{-2}$ | $1,06 \cdot 10^{-2}$ |
| $U_{g,bba}$ [m/s] | 1,16 | 1,16 |
| Regime : | froth | froth |
| a [m ² /m ²] | 51,6 | 103,4 |
| N_{og} | 0,863 | 1,141 |
| $E_{p,og}$ | 0,578 | 0,680 |
| Bo | 31,6 | 62,8 |
| $E_{m,og}$ | 0,867 | 1,008 |
| E_o | 0,882 | 1,008 |
| N_{pr} | 25 | 32 |
| ΔP_t [N/m ²] | $0,147 \cdot 10^5$ | $0,216 \cdot 10^5$ |
| F_{bba} [m ² /m ²] | 0,132 | 0,132 |

Resultaten : $\Delta P_{kolom} = 0,364 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
 $N_{pr} = 57$
isla schotel
 $H_{kolom} = 30,5 \text{ m.}$
 $D_{kolom} = 3,19 \text{ m.}$
gohng?
 F op schotel 18,24 en 30

Wanddikte berekening .

1. Uitwendige druk . (Vacuum in de kolom)

Materiaal **staal** Fe 255 kw

| | | |
|----------------|-----------------------|----------------------|
| p_d | [MPa .] | -0,1 |
| T | [°C]. | 135,9 |
| $Re(\sigma_m)$ | [N/mm ²]. | 196 |
| f | [N/mm ²]. | 148,9 |
| z | | 1 |
| $p_d/z.f$ | | $0,67 \cdot 10^{-3}$ |
| D_i | [mm]. | 3190 |
| l/D_u | | 1 |
| d/D_u | | $3 \cdot 10^{-3}$ |
| d | [mm]. | 10 |

2. Windbelasting .

| dikte mm . | 10 |
|---------------------------------------|--------------------|
| gegevens. | |
| p_w [N/m ²]. | 1305 |
| A_{tot} [m ²]. | 119,5 |
| F_{tot} [N]. | $233,9 \cdot 10^3$ |
| H' [m]. | 33 |
| $M_{b,y}$ [Nmmp]. | $3,57 \cdot 10^9$ |
| P_y [N]. | 334637 |
| D_u [mm]. | 3214 |
| σ_t [N/mm ²]. | -16,0 |
| $\sigma_{ax:p}$ [N/mm ²]. | -8,0 |
| $\sigma_{ax:P}$ [N/mm ²]. | 3,3 |
| $\sigma_{ax:M}$ [N/mm ²]. | 44,4 |
| $\sigma_{ax:1}$ [N/mm ²]. | 33,1 |
| $\sigma_{ax:2}$ [N/mm ²]. | -55,7 |
| $\sigma_t - \sigma_{ax:1}$ | -49,1 |
| $\sigma_t - \sigma_{ax:2}$ | 39,7 |
| σ_v [N/mm ²]. | 55,7 |
| $\sigma_v \leq z.f$ | ja |

3. Knikberekening. ($\sigma_{ax:2} < 0$)

$$E(\sigma_m) \quad \text{N/mm}^2 \quad = 1,88 \cdot 10^5$$

$$\text{Bereik} \quad 1.5 f \leq \sigma_k \leq 7.5 f$$

$$\text{dan moet gelden} \quad |\sigma_{ax:2}| \leq (0.067 \sigma_k + 0.4 f)$$

| dikte mm. gegevens. | 10 zie pt.2 |
|---------------------------------------|----------------|
| σ_t [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:p}$ [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:P}$ [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:M}$ [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:1}$ [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:2}$ [N/mm ²]. | 46,4 |
| $\sigma_t - \sigma_{ax:1}$ | |
| $\sigma_t - \sigma_{ax:2}$ | |
| $\sigma_v \leq z.f.$ | |
| σ_k [N/mm ²]. | 229,3 |
| Voldaan aan v.w: | ja |
| $ \sigma_{ax:2} $ nl. \leq | 59,7 |

De dikte van de kolom wordt 10 mm .

Corrosie-toeslag 3 mm .

Wals-toeslag 0.5 mm .

De totale dikte wordt $10 + 3 + 0.5 = 13,5$ mm.

Contrôle op verplaatsing van de top van de kolom :

$$\phi_{\max} \quad [\text{Rad}]. \quad = 9,3 \cdot 10^{-4}$$

$$f_{\max, \text{top}} \quad [\text{mm}]. \quad = 16,2$$

$$f_{\% H} \quad [\text{mm}]. \quad = 152$$

$h_{l, \text{spleet}}$ is $>$ h_{spleet} , zodat deze niet droog valt .

Resultaten van kolom G2

Dimensionering :

Aanname's :

$$\begin{array}{llll}
 N_{th} & = & 60 & F = 10 \% & H_w & = & 0,05 & \text{m} \cdot \\
 F \text{ op schotel } & 33/37 & b & = & 0,5 & \text{m/m}^2 & U_{l,sp,t} & = & 0,35 & \text{m/s} \cdot \\
 R & = & 2,4 & H_s & = & 0,5 & \text{m} \cdot & U_{l,sp,b} & = & 0,70 & \text{m/s} \cdot \\
 & & & d_p & = & 12,6 & \text{cm} \cdot & C_D(p) & = & 0,67 & \\
 & & & s & = & 37,9 & \text{mm} \cdot & C_D(sp) & = & 0,55 &
 \end{array}$$

| | | Top. | Bodem. |
|------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| ρ_l | $[\text{kg/m}^3]$ | 863,1 | 864,0 |
| ρ_g | $[\text{kg/m}^3]$ | 3,81 | 3,98 |
| \tilde{M} | | 96,65 | 105,07 |
| Φ | | 0,0469 | 0,0916 10^{-2} |
| σ | $[\text{N/m}]$ | $1,69 \cdot 10^{-2}$ | $1,61 \cdot 10^{-2}$ |
| τ | $[\text{Ns/m}^2]$ | $2,3 \cdot 10^{-4}$ | $2,3 \cdot 10^{-4}$ |
| L | $[\text{mol/s}]$ | 309,5 | 591,8 |
| G | $[\text{mol/s}]$ | 438,5 | 438,5 |
| $\lambda_{s,max}$ (bedexp.) | | - | 0,084 |
| $\lambda_{s,max}$ (entr.)* | | 0,0870 | 0,0859 |
| $U_{g,s,max}$ | $[\text{m/s}]$ | - | 1,24 |
| $U_{g,s,werk}$ | $[\text{m/s}]$ | - | 0,93 |
| $\bar{D}_{v,g}$ | $[\text{m}^3/\text{s}]$ | - | 11,58 |
| D_k | $[\text{m}]$ | - | 3,98 |
| Opp. valpijp in % | | - | 10 |
| Ψ | | 0,0750 | 0,1466 |
| h_l | $[\text{m}]$ | 0,0310 | 0,0366 |
| ΔP_s | $[\text{N/m}^2]$ | 629,5 | 693,6 |
| A_k | $[\text{m}^2]$ | 12,45 | 12,45 |
| A_{bba} | $[\text{m}^2]$ | 9,96 | 9,96 |
| b_{bba} | $[\text{m/m}^2]$ | 0,625 | 0,625 |
| $\Delta H_{downc.}$ | $[\text{m}]$ | 0,1263 | 0,2014 |
| $\Delta H < \frac{1}{2} H_s$ | | ja | ja |

Rendement .

| | Top. | Bodem. |
|---|----------------------|----------------------|
| $K = \frac{dy}{dx} \cdot G$ | 0,718 | 1,392 |
| $S = K \cdot \frac{G}{L}$ | 1,02 | 1,03 |
| k_g [m/s] | 0,0341 | 0,0327 |
| k_l [m/s] | $2,11 \cdot 10^{-4}$ | $2,11 \cdot 10^{-4}$ |
| m | 0,00325 | 0,00641 |
| k_{og} [m/s] | $2,24 \cdot 10^{-2}$ | $1,64 \cdot 10^{-2}$ |
| $v_{v,1}$ [m/s] | $3,45 \cdot 10^{-2}$ | $7,25 \cdot 10^{-2}$ |
| $U_{l,bba}$ [m/s] | $3,48 \cdot 10^{-3}$ | $7,28 \cdot 10^{-3}$ |
| $U_{g,bba}$ [m/s] | 1,16 | 1,16 |
| Regime : | froth | froth |
| a [m ² /m ²] | 52,0 | 82,9 |
| N_{og} | 1,004 | 1,172 |
| $E_{p,og}$ | 0,634 | 0,690 |
| Bo | 38,7 | 64,1 |
| $E_{m,og}$ | 0,891 | 1,005 |
| E_o | 0,892 | 1,005 |
| N_{pr} | 40 | 26 |
| ΔP_t [N/m ²] | $0,252 \cdot 10^5$ | $0,173 \cdot 10^5$ |
| F_{bba} [m ² /m ²] | 0,125 | 0,125 |

Resultaten :

$\Delta P_{kolom} = 0,425 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

$N_{pr} = 66$

$H_{kolom} = 35 \text{ m.}$

$D_{kolom} = 3,98 \text{ m.}$

F op schotel 33/37

Wanddikte berekening .

1. Uitwendige druk . (Vacuum in de kolom)

Materiaal staal Fe 255 kw

| | | |
|-----------|-----------------------|----------------------|
| p_d | [MPa .] | -0,1 |
| T | [°C]. | 153,8 |
| $Re(m)$ | [N/mm ²]. | 194,5 |
| f | [N/mm ²]. | 130,3 |
| z | | 1 |
| $p_d/z.f$ | | $0,77 \cdot 10^{-3}$ |
| D_1 | [mm]. | 3980 |
| l/D_u | | 1 |
| d/D_u | | $3,25 \cdot 10^{-3}$ |
| d | [mm]. | 13,5 |

2. Windbelasting .

| dikte mm . | | 13,5 |
|----------------------------|-----------------------|--------------------|
| gegevens. | | |
| p_w | [N/m ²]. | 134,9 |
| A_{tot} | [m ²]. | 164,9 |
| F_{tot} | [N]. | $333,7 \cdot 10^3$ |
| H' | [m]. | 37,5 |
| $M_{b,y}$ | [Nm]. | $5,84 \cdot 10^9$ |
| P_y | [N]. | $450 \cdot 10^3$ |
| D_u | [mm]. | 4007 |
| σ_t | [N/mm ²]. | -14,8 |
| $\sigma_{ax:p}$ | [N/mm ²]. | -7,4 |
| $\sigma_{ax:P}$ | [N/mm ²]. | 3,2 |
| $\sigma_{ax:M}$ | [N/mm ²]. | 34,5 |
| $\sigma_{ax:1}$ | [N/mm ²]. | 23,9 |
| $\sigma_{ax:2}$ | [N/mm ²]. | -45,1 |
| $\sigma_t - \sigma_{ax:1}$ | | -38,7 |
| $\sigma_t - \sigma_{ax:2}$ | | 30,3 |
| σ_v | [N/mm ²]. | 45,1 |
| $\sigma_v \leq z.f$ | | ja |

3. Knikberekening. ($\sigma_{ax:2} < 0$)

$E (\sigma_m)$ N/mm² = 1,86 10⁵

Bereik $\sigma_k \leq 1.5 f$

dan moet gelden $|\sigma_{ax:2}| \leq (0.33z \cdot \sigma_k)$

| dikte mm. gegevens. | 13,5 zie punt ₂ |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| σ_t [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:p}$ [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:P}$ [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:M}$ [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:1}$ [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:2}$ [N/mm ²]. | -45,1 |
| $ \sigma_t - \sigma_{ax:1} $ | |
| $ \sigma_t - \sigma_{ax:2} $ | |
| $\sigma_v \leq z.f$ | |
| σ_k [N/mm ²]. | 202,8 |
| Voldaan aan v.w: | ja |
| $ \sigma_{ax:2} $ | |
| n.l. \leq | 65,7 |

De dikte van de kolom wordt 13,5 mm.

Corrosie-toeslag 3 mm.

Wals-toeslag 0.5 mm

De totale dikte wordt $13,5 + 3 + 0.5 = 16,5$ mm.

Afronden naar handelsmaat $d = 16,5$ mm.

4. Contrôle op verplaatsing van de top van de kolom:

ϕ_{max} Rad = 6,0 10⁻⁴

$f_{max,top}$ mm = 100

$f_{\frac{1}{2} \% H}$ mm = 175

$h_{l,spleet}$ is h_{spleet} , zodat deze niet droogvalt.

Resultaten van kolom G 3

Dimensionering :

Aanname's :

| | | | | |
|--------------|-------|-------------------------|--------------|--------------|
| N_{th} | = 60 | F = 10 % | H_w | = 0,05 m . |
| F op schotel | 30/26 | $b = 0,5 \text{ m/m}^2$ | $U_{1,sp,t}$ | = 0,35 m/s . |
| R | = 2,3 | $H_s = 0,5 \text{ m}$ | $U_{1,sp,b}$ | = 0,70 m/s . |
| | | $d_p = 12,6 \text{ mm}$ | $C_D (p)$ | = 0,67 |
| | | $s = 36,9 \text{ mm}$ | $C_D (sp)$ | = 0,55 |

| | Top. | Bodem. |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------|
| ρ_l [kg/m ³]. | 864,2 | 865,4 |
| ρ_g [kg/m ³]. | 4,01 | 4,17 |
| \bar{M} | 107,57 | 114,58 |
| Φ | 0,0475 | 0,0747 |
| σ [N/m]. | $1,59 \cdot 10^{-2}$ | $1,52 \cdot 10^{-2}$ |
| τ [Ns/m ²]. | $2,2 \cdot 10^{-4}$ | $2,1 \cdot 10^{-4}$ |
| L [mol/s]. | 282,0 | 435,3 |
| G [mol/s]. | 404,6 | 404,6 |
| $\lambda_{s,max}$ (bedexp.) | - | 0,086 |
| $\lambda_{s,max}$ (entr.) | 0,0857 | 0,0846 |
| $U_{g,s,max}$ [m/s]. | - | 1,24 |
| $U_{g,s,werk}$ [m/s]. | 0,93 | 0,93 |
| $D_{v,g}$ [m ³ /s]. | 11,12 | 11,12 |
| D_k [m]. | 3,90 | 3,90 |
| Opp. valpijp in % . | 8 | 8 |
| Ψ | 0,0798 | 0,1255 |
| h_l [m]. | 0,0315 | 0,0352 |
| ΔP_s [N/m ²]. | 696,01 | 744,91 |
| A_k [m ²]. | 11,95 | 11,95 |
| A_{bba} [m ²]. | 10,04 | 10,04 |
| b_{bba} [m/m ²]. | 0,595 | 0,595 |
| $\Delta H_{downc.}$ [m]. | 0,1346 | 0,2059 |
| $\Delta H < \frac{1}{2} H_s$ | ja | ja |

Rendement .

| | Top. | Bodem. |
|---------------------------------------|----------------------|----------------------|
| $K = \frac{dy}{dx} \cdot G$ | 0,65 | 1,30 |
| $S = K \cdot \frac{G}{L}$ | 0,93 | 1,21 |
| k_g [m/s] | 0,0325 | 0,0312 |
| k_l [m/s] | $2,13 \cdot 10^{-4}$ | $2,20 \cdot 10^{-4}$ |
| m | 0,0043 | 0,0058 |
| k_{og} [m/s] | $1,96 \cdot 10^{-2}$ | $1,71 \cdot 10^{-2}$ |
| $v_{l,1}$ [m/s] | 3,51 | 5,76 |
| $U_{l,bba}$ [m/s] | $3,50 \cdot 10^{-3}$ | $5,74 \cdot 10^{-3}$ |
| $U_{g,bba}$ [m/s] | 1,11 | 1,11 |
| Regime : | froth | froth |
| a [m ² /m ²] | 54,3 | 76,6 |
| N_{og} | 0,959 | 1,180 |
| $E_{p,og}$ | 0,617 | 0,693 |
| Bo | 25,3 | 35,7 |
| $E_{m,og}$ | 0,833 | 1,085 |
| E_o | 0,828 | 1,077 |
| N_{pr} | 32 | 33 |
| ΔP_t [N/m ²] | $0,223 \cdot 10^5$ | $0,246 \cdot 10^5$ |
| F_{bba} [m/m ²] | 0,119 | 0,119 |

Resultaten :

$\Delta P_{kolom} = 0,469 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

$N_{pr} = 65$

$H_{kolom} = 34,5 \text{ m}$

$D_{kolom} = 3,90 \text{ m}$

F op schotel 30 en 26

Wanddikte berekening .

1. Uitwendige druk . (Vacuum in de kolom)

Materiaal **staal** Fe E 255 KW

| | | |
|-----------|------------------------|----------------------|
| p_d | [MPa .] | -0,1 |
| T | [°C] . | 172 |
| $Re(m)$ | [N/mm ²] . | 188 |
| f | [N/mm ²] . | 125,7 |
| z | | 1 |
| $P_d/z.f$ | | $0,80 \cdot 10^{-3}$ |
| D_i | [mm] . | 3900 |
| l/D_u | | 1 |
| d/D_u | | $3,3 \cdot 10^{-3}$ |
| d | [mm] . | 13 |

2. Windbelasting .

| dikte mm . | 13 | |
|----------------------------|------------------------|-------------------|
| gegevens. | | |
| p_w | [N/m ²] . | 1422 |
| A_{tot} | [m ²] . | 149,2 |
| F_{tot} | [N] . | $3,18 \cdot 10^5$ |
| H' | [m] . | 37 |
| $M_{b,y}$ | [Nm] . | $5,5 \cdot 10^9$ |
| P_y | [N] . | $4,17 \cdot 10^5$ |
| D_u | [mm] . | 3926 |
| σ_t | [N/mm ²] . | -15,1 |
| $\sigma_{ax:p}$ | [N/mm ²] . | -7,5 |
| $\sigma_{ax:P}$ | [N/mm ²] . | 3,1 |
| $\sigma_{ax:M}$ | [N/mm ²] . | 35,2 |
| $\sigma_{ax:1}$ | [N/mm ²] . | 24,6 |
| $\sigma_{ax:2}$ | [N/mm ²] . | -45,8 |
| $\sigma_t - \sigma_{ax:1}$ | | -39,7 |
| $\sigma_t - \sigma_{ax:2}$ | | 30,7 |
| σ_v | [N/mm ²] . | 45,8 |
| $\sigma_v \leq z.f$ | | 125,7 |

3. Knikberekening. ($\sigma_{ax:2} < 0$)

$$E \left(\frac{N}{mm^2} \right) = 1,9 \cdot 10^5$$

$$\text{Bereik } 1,5 f \leq \sigma_k \leq 7,5 f$$

$$\text{dan moet gelden } |\sigma_{ax:2}| \leq (0,067 \sigma_k + 0,4 f)$$

| | |
|---------------------------------------|---------------|
| dikte mm. gegevens. | 13 zie pt2 |
| σ_t [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:p}$ [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:P}$ [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:M}$ [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:1}$ [N/mm ²]. | |
| $\sigma_{ax:2}$ [N/mm ²]. | 45,8 |
| $ \sigma_t - \sigma_{ax:1} $. | |
| $ \sigma_t - \sigma_{ax:2} $. | |
| $\sigma_v \leq z.f$ | |
| σ_k [N/mm ²]. | 203,2 |
| Voldaan aan v.w: | |
| $ \sigma_{ax:2} $ | ja |
| n.l. \leq | 63,9 |

De dikte van de kolom wordt 13 mm .

Corrosie-toeslag 3 mm .

Wals-toeslag 0.5 mm .

De totale dikte wordt $13 + 3 + 0,5 = 16,5$ mm .

Afronden naar handelsmaat $d = 16,5$ mm.

4. Contrôle op verplaatsing van de top van de kolom :

$$\phi_{max} \text{ Rad.} = 6,9 \cdot 10^{-7}$$

$$f_{max,top} \text{ mm.} = 16$$

$$f_{\frac{1}{2} \% H} \text{ mm.} = 185$$

$h_{1,spleet} \text{ is } > h_{spleet}$, zodat deze niet droogvalt .

Resultaten van kolom T 7

Dimensionering :

Aanname's :

| | | | | | |
|--------------|-------|----------------------------|--------------|--------|-------|
| N_{th} | = 60 | F = 10 % | H_w | = 0,05 | m . |
| F op schotel | 30 | $b = 0,5$ m/m ² | $U_{1,sp,t}$ | = 0,35 | m/s . |
| R | = 2,5 | $H_s = 0,5$ m . | $U_{1,sp,b}$ | = 0,70 | m/s . |
| | | $d_p = 12,6$ mm . | $C_D (p)$ | = 0,67 | |
| | | $s = 37,9$ mm . | $C_D (sp)$ | = 0,55 | |

| | Top. | Bodem. |
|---|----------------------|----------------------|
| β_1 [kg/m ³]. | 861,8 | 860,2 |
| β_g [kg/m ³]. | 3,79 | 3,93 |
| \tilde{M} | 95,91 | 103,13 |
| Φ | 0,0474 | 0,0888 |
| σ [N/m]. | $1,67 \cdot 10^{-2}$ | $1,61 \cdot 10^{-2}$ |
| τ [Ns/m ²]. | $2,3 \cdot 10^{-4}$ | $2,3 \cdot 10^{-4}$ |
| L [mol/s]. | 139,0 | 255,8 |
| G [mol/s]. | 194,6 | 194,6 |
| $\lambda_{s,max}$ (bedexp.) | - | 0,084 |
| $\lambda_{s,max}$ (entr.) | 0,0868 | 0,0860 |
| $U_{g,s,max}$ [m/s]. | - | 1,24 |
| $U_{g,s,werk}$ [m/s]. | 0,93 | 0,93 |
| $\mathfrak{D}_{v,g}$ [m ³ /s]. | 5,11 | 5,11 |
| D_k [m]. | 2,64 | 2,64 |
| Opp. valpijp in % . | 9,5 | 9,5 |
| Ψ | 0,0768 | 0,1440 |
| h_1 [m]. | 0,0312 | 0,0365 |
| ΔP_s [N/m ²]. | 628,9 | 682,8 |
| A_k [m ²]. | 5,49 | 5,49 |
| A_{bba} [m ²]. | 4,45 | 4,45 |
| b_{bba} [m/m ²]. | 0,617 | 0,617 |
| $\Delta H_{downc.}$ [m]. | 0,1266 | 0,2004 |
| $\Delta H < \frac{1}{2} H_s$ | ja | ja |

Rendement .

| | Top. | Bodem. |
|---|----------------------|----------------------|
| $K = \frac{dy}{dx} \cdot G$ | 0,71 | 1,36 |
| $S = K \cdot L$ | 0,994 | 1,03 |
| k_g [m/s] | 0,0343 | 0,0331 |
| k_l [m/s] | $2,11 \cdot 10^{-4}$ | $2,11 \cdot 10^{-4}$ |
| m | 0,0031 | 0,0062 |
| k_{og} [m/s] | $2,28 \cdot 10^{-2}$ | $1,68 \cdot 10^{-2}$ |
| $\bar{v}_{v,1}$ [m ³ /s] | $1,55 \cdot 10^{-2}$ | $3,06 \cdot 10^{-2}$ |
| $U_{l,bba}$ [m/s] | $3,48 \cdot 10^{-3}$ | $6,87 \cdot 10^{-3}$ |
| $U_{g,bba}$ [m/s] | 1,15 | 1,15 |
| Regime : | froth | froth |
| a [m ² /m ²] | 42,2 | 82,6 |
| N_{og} | 0,837 | 1,207 |
| $E_{p,og}$ | 0,567 | 0,701 |
| Bo | 26,2 | 42,0 |
| $E_{m,og}$ | 0,762 | 1,03 |
| E_o | 0,761 | 1,03 |
| N_{pr} | 28 | 31 |
| ΔP_t [N/m ²] | $0,233 \cdot 10^5$ | $0,212 \cdot 10^5$ |
| F_{bba} [m ² /m ²] | 0,123 | 0,123 |

Resultaten :

$\Delta P_{kolom} = 0,45 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

$N_{pr} = 59$

$H_{kolom} = 36 \text{ m.}$

$D_{kolom} = 2,64 \text{ m.}$

F op schotel 30

Amidant
N.H.

Wanddikte berekening .

1. Uitwendige druk . (Vacuum in de kolom)

Materiaal staal Fe E 255 KW

| | | |
|-----------|-----------------------|---------------------|
| P_d | [MPa .] | -0,1 |
| T | [°C]. | 121,5 |
| $Re(m)$ | [N/mm ²]. | 213 |
| f | [N/mm ²]. | 142,7 |
| z | | 1 |
| $P_d/z.f$ | | $0,7 \cdot 10^{-3}$ |
| D_i | [mm]. | 2640 |
| l/D_u | | 1 |
| d/D_u | | $3,1 \cdot 10^{-3}$ |
| d | [mm]. | 8,5 |

2. Windbelasting .

| dikte mm . | |
|----------------------------|-----------------------|
| gegevens. | 8,5 |
| p_w | [N/m ²]. |
| A_{tot} | [m ²]. |
| F_{tot} | [N]. |
| H' | [m]. |
| $M_{b,y}$ | [Nmm]. |
| P_y | [N]. |
| D_u | [mm]. |
| σ_t | [N/mm ²]. |
| $\sigma_{ax:p}$ | [N/mm ²]. |
| $\sigma_{ax:P}$ | [N/mm ²]. |
| $\sigma_{ax:M}$ | [N/mm ²]. |
| $\sigma_{ax:1}$ | [N/mm ²]. |
| $\sigma_{ax:2}$ | [N/mm ²]. |
| $\sigma_t - \sigma_{ax:1}$ | |
| $\sigma_t - \sigma_{ax:2}$ | |
| σ_v | [N/mm ²]. |
| $\sigma_v \leq z.f$ | |

3. Knikberekening. ($\sigma_{ax:2} < 0$)

$$E (\varphi_m) \quad N/mm^2 \quad = 1,9 \cdot 10^5$$

$$\text{Bereik} \quad 1.5 f \leq \sigma_k \leq 7.5 f$$

$$\text{dan moet gelden} \quad |\sigma_{ax:2}| \leq (0.067 \sigma_k + 0.4 f)$$

| dikte mm. gegevens. | 8,5 zie pt2 | 10 | 11,5 |
|---------------------------------------|----------------|-------|-------|
| σ_t [N/mm ²]. | | -13,3 | -11,5 |
| $\sigma_{ax:p}$ [N/mm ²]. | | -6,6 | -5,8 |
| $\sigma_{ax:P}$ [N/mm ²]. | | 3,3 | 3,3 |
| $\sigma_{ax:M}$ [N/mm ²]. | | 75,4 | 65,5 |
| $\sigma_{ax:1}$ [N/mm ²]. | | 65,5 | 56,4 |
| $\sigma_{ax:2}$ [N/mm ²]. | -99,9 | -85,3 | -74,6 |
| $ \sigma_t - \sigma_{ax:1} $. | | -78,8 | -67,9 |
| $ \sigma_t - \sigma_{ax:2} $. | | 72,0 | 63,1 |
| $\sigma_v \leq z.f$ | ja | ja | ja |
| σ_k [N/mm ²]. | 194,7 | 232,1 | 269,4 |
| Voldaan aan v.w: | | | |
| $ \sigma_{ax:2} $ | nee | nee | ja |
| n.l. \leq | 64,3 | 72,6 | 75,1 |

De dikte van de kolom wordt 11,5 mm .

Corrosie-toeslag 3 mm .

Wals-toeslag 0.5 mm .

De totale dikte wordt $11,5 + 3 + 0.5 = 15$ mm .

Afronden naar handelsmaat $d = 15$ mm.

4. Contrôle op verplaatsing van de top van de kolom :

$$\phi_{max} \quad \text{Rad} \quad = \quad 3,15 \cdot 10^{-3}$$

$$f_{max,top} \quad \text{mm} \quad = \quad 52$$

$$f_{\frac{1}{2} \% H} \quad \text{mm} \quad = \quad 180$$

$h_{1,spleet} \text{ is } > h_{spleet}$, zodat deze niet droogvalt .

Wanddikte berekening van kolom T6.

1. Uitwendige druk . (Vacuum in de kolom)

Materiaal **staal Fe E 255 kw.**

| | | |
|-----------|-----------------------|----------------------|
| p_d | [MPa .] | -0,1 |
| T | [°C]. | 135 |
| $Re(m)$ | [N/mm ²]. | 205 |
| f | [N/mm ²]. | 137,4 |
| z | | 1 |
| $p_d/z.f$ | | $0,73 \cdot 10^{-3}$ |
| D_i | [mm]. | 1970 |
| 1/Du | | 1 |
| d/Du | | $3,15 \cdot 10^{-3}$ |
| d | [mm]. | 6,5 |

2. Windbelasting .

| dikte mm . gegevens. | 10 | 15 |
|---------------------------------------|--------------------|--------|
| p_w [N/m ²]. | 1458 | |
| A_{tot} [m ²]. | 102,0 | |
| F_{tot} [N]. | $223,1 \cdot 10^3$ | |
| H' [m]. | 43 | |
| $M_{b,y}$ [Nmm]. | $4,52 \cdot 10^9$ | |
| P_y [N]. | $160,1 \cdot 10^3$ | |
| D_u [mm]. | 1990 | 2000 |
| σ_t [N/mm ²]. | -9,9 | -6,6 |
| $\sigma_{ax:p}$ [N/mm ²]. | -5,0 | -3,3 |
| $\sigma_{ax:P}$ [N/mm ²]. | 3,7 | 3,7 |
| $\sigma_{ax:M}$ [N/mm ²]. | 146,8 | 97,4 |
| $\sigma_{ax:1}$ [N/mm ²]. | 138,1 | 90,4 |
| $\sigma_{ax:2}$ [N/mm ²]. | -155,5 | -104,4 |
| $\sigma_t - \sigma_{ax:1}$ | -148,0 | -97,0 |
| $\sigma_t - \sigma_{ax:2}$ | 145,6 | 97,8 |
| σ_v [N/mm ²]. | 155,5 | 104,4 |
| $\sigma_v \leq z.f$ | ja | ja |

3. Knikberekening. ($\sigma_{ax:2} < 0$)

$$E \left(\frac{N}{mm^2} \right) = 1,9 \cdot 10^5$$

$$\text{Bereik } 1,5f \text{ tot } 7,5f$$

$$\text{dan moet gelden } |\sigma_{ax:2}| \leq (0,067 k + 0,4 f)$$

| dikte mm. gegevens. | 15 zie punt 2 | 17,5 |
|---------------------------------------|---------------------|-------|
| σ_t [N/mm ²]. | | -5,7 |
| $\sigma_{ax:p}$ [N/mm ²]. | | -2,8 |
| $\sigma_{ax:P}$ [N/mm ²]. | | 3,7 |
| $\sigma_{ax:M}$ [N/mm ²]. | | 83,3 |
| $\sigma_{ax:1}$ [N/mm ²]. | | 76,8 |
| $\sigma_{ax:2}$ [N/mm ²]. | -104,4 | -89,8 |
| $ \sigma_t - \sigma_{ax:1} $ | | -82,5 |
| $ \sigma_t - \sigma_{ax:2} $ | | 84,1 |
| $\sigma_v \leq z.f$ | ja | ja |
| σ_k [N/mm ²]. | 481,3 | 563,5 |
| Voldaan aan v.w: $ \sigma_{ax:2} $ | neen | ja |
| n.l. \leq | 87,2 | 92,7 |

De dikte van de kolom wordt 17,5 mm.

Corrosie-toeslag 3 mm.

Wals-toeslag 0.5 mm.

De totale dikte wordt $17,5 + 3 + 0.5 = 21$ mm.

Afronden naar handelsmaat $d = 21$ mm.

4. Contrôle op verplaatsing van de top van de kolom:

$$\phi_{\max} \text{ Rad.} = 3,3 \cdot 10^{-3}$$

$$f_{\max, \text{top}} \text{ mm.} = 68$$

$$f_{\frac{1}{2} \% H} \text{ mm.} = 215$$

$h_{1, \text{spleet}} \text{ is } > h_{\text{spleet}}$, zodat deze niet droogvalt.

4. Economische evaluatie.

De economische evaluatie van de geïntegreerde kolommen is uitgevoerd voor de combinatie warmtepomp met een turbine, waarin stoom expandeert van 40 naar 9 bar. (combinatie C, volgens G-opdracht) Omdat deze combinatie het meest voordelig is gebleken.

De kostprijs van de geïntegreerde kolommen is bepaald via dezelfde procedure die gebruikt is in de G-opdracht. Dit is gedaan om vergelijking van de resultaten mogelijk te maken. Hierna wordt aangegeven hoe, of volgens welk hoofdstuk van de G-opdracht, de kostprijs van de verschillende onderdelen van de destillatietrein bepaald wordt.

De kostprijs van de destillatiekolommen is bepaald volgens hoofdstuk VIII.1 van de G-opdracht. De resultaten van deze berekening zijn weergegeven in onderstaande tabel 3.

| kolom | G 1 | G 2 | G 3 |
|--------------|---------|---------|---------|
| zeefplaten | 114.000 | 205.000 | 194.000 |
| kolom | 190.000 | 330.000 | 310.000 |
| pijpen | 63.000 | 68.000 | 68.000 |
| L-D-scheider | 33.000 | 33.000 | 33.000 |
| isolatie | 23.000 | 35.000 | 33.600 |
| totaal | 423.000 | 671.000 | 638.600 |

Tabel 3

Schatting van de kolomkosten in guldens, op basis van WEBCI prijzenboek 1980.

gewicht?

Voor de kostenraming van de compressor, reboiler/condensor, start-up reboiler en luchtkoeler zijn eerst de relevante dimensies bepaald. Deze zijn bepaald volgens hoofdstuk VI.6 van de G-opdracht. De resultaten voor de dimensionering van de compressor zijn weergegeven in tabel 4.

| kolom | G ₁ | G ₂ | G ₃ |
|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| G (kg/s) | 21,64 | 40,40 | 42,96 |
| P ₂ (bar) | 5,4 | 3,76 | 2,4 |
| T ₁ (°C) | 85,13 | 121,5 | 150,12 |
| T ₂ [*] (°C) | 144 | 164 | 179 |
| T ₂ (°C) | 146 | 169 | 182 |
| C _p (kJ/kg°C) | 1,32 | 1,66 | 1,84 |
| P (MW) | 1,983 | 3,736 | 2,697 |

Tabel 4

Berekening van de benodigde compressorvermogens.

$$P_1 = 1,3 \text{ bar} \quad \eta_{\text{comp.}} = 0,85$$

$$K = 1,12 \quad T_2 = T_{\text{reboiler}} + 10$$

De kostprijs van de compressors en de turbine's is bepaald volgens:

$$\text{kostprijs compressor} = \left(\frac{P-P_0}{2} + 1 \right) K_1$$

$$\text{kostprijs turbine} = \left(\frac{P-P_0}{2} + 1 \right) K_2$$

waarin: P₀ = vermogen 1 MW

K₁ = kostprijs f900.000 compressor

K₂ = kostprijs f700.000 turbine

P = vermogen te bepalen compressor/turbine (MW)

} gegevens
Delaval Sterk

Het oppervlak van de reboilers is bepaald volgens hoofdstuk VI.2.2 van de G-opdracht.

Het oppervlak van de luchtkoelers is bepaald d.m.v. de G-opdracht bijlage VI.1.

De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in tabel 5.

| kolom | G 1 | G 2 | G 3 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| P_{comp} (KW) | 1,98 | 3,74 | 2,70 |
| $\dot{m}_{stoom\ comp}$ (kg/s) | 6,96 | 13,11 | 9,46 |
| $\dot{m}_{stoom\ reb}$ (kg/s) | 0,267 | 0,166 | 0,027 |
| reboiler opp. (m ²) | 1520 | 2690 | 2670 |
| start-up reb. (m ²) | 67 | 168 | 75 |
| luchtkoeler opp. (m ²) | 1545 | 1950 | 1122 |

Tabel 5

Warmtewisselende oppervlakken en stroomstromen.

De kostprijs van de reboilers (condensors) is bepaald aan de hand van WEBCI prijzenboekje (lit. 3).

De kostprijs van de luchtkoelers is bepaald d.m.v. het oppervlak maal de kostprijs per m²; deze is ca. f 43,-- per m².

De hoeveelheid stoom, nodig voor het aandrijven van de turbine's, wordt bepaald volgens hoofdstuk VI.3.2 van de G-opdracht. Met dit hoofdstuk is ook de benodigde hoeveelheid stoom voor het reboilen te berekenen. De resultaten zijn weergegeven in tabel 5. Hiermee zijn de energiekosten voor het aandrijven van de turbine en voor het reboilen te bepalen.

Voor het aandrijven van de turbine's wordt gebruik gemaakt van 40 bar stoom (van f38,- per ton), welke in de turbine expandeert naar 9 bar. Deze stoom wordt dan aan het 9 bar stoomnet geleverd à f32,- per ton , zodat het aandrijven van de turbine f6,- per ton stoom kost.

In de reboilers van kolom G_1 en G_2 wordt stoom van 12 bar gecondenseerd à f32,- per ton.

In de reboiler van kolom G_3 wordt stoom van 40 bar à f38,- per ton gecondenseerd.

De resultaten van kolom G_1 , G_2 en G_3 zijn weergegeven in de tabellen 6,7 en 8 en tevens vergeleken met de niet-geïntegreerde kolommen.

| kolom | T6 | T9 | T6+T9 | G1 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| diameter (m) | 1,97 | 2,40 | - | 3,19 |
| hoogte (m) | 39,0 | 20,0 | - | 30,5 |
| wanddikte (mm) | 21,0 | 12,0 | - | 13,5 |
| reflux | 5,3 | 4,5 | - | 5,0 |
| investeringen (Mfl.) | | | | |
| kolom | 0,422 | 0,292 | 0,714 | 0,423 |
| compressor | 0,45 | 0,90 | 1,35 | 1,2 |
| turbine | 0,45 | 0,90 | 1,35 | 1,0 |
| reboiler | 0,131 | 0,217 | 0,348 | 0,356 |
| start-up reboiler | 0,021 | 0,024 | 0,045 | 0,035 |
| luchtkoeler | 0,117 | 0,048 | 0,165 | 0,066 |
| totale investering | 1,59 | 2,38 | 3,97 | 3,08 |
| energiekosten (Mfl.) | | | | |
| turbine (stoom) | 0,54 | 0,80 | 1,34 | 1,32 |
| start-up reboiler (stoom) | 0,137 | 0,200 | 0,337 | 0,27 |
| totale energiekosten | 0,68 | 1,00 | 1,68 | 1,59 |

Tabel 6

Resultaten kolom G_1 en ter vergelijking die van T_6 en T_9 .

| kolom | T7 | T10 | T7+T10 | G 2 |
|---------------------------|-------|-------|--------|-------|
| diameter (m) | 2,64 | 2,95 | - | 3,98 |
| hoogte (m) | 36,0 | 19,0 | - | 35,0 |
| wanddikte (mm) | 15,0 | 14,0 | - | 17,0 |
| reflux | 2,5 | 2,4 | - | 2,4 |
| investeringen (Mfl.) | | | | |
| kolom | 0,481 | 0,370 | 0,851 | 0,671 |
| compressor | 1,20 | 0,90 | 2,1 | 1,7 |
| turbine | 0,80 | 0,77 | 1,57 | 1,4 |
| reboiler | 0,246 | 0,332 | 0,578 | 0,629 |
| start-up reboiler | 0,033 | 0,037 | 0,07 | 0,081 |
| luchtkoeler | 0,051 | 0,056 | 0,107 | 0,084 |
| totale investering | 2,81 | 2,47 | 5,28 | 4,57 |
| energiekosten (Mfl.) | | | | |
| turbine (stoom) | 1,39 | 1,44 | 2,83 | 2,48 |
| start-up reboiler (stoom) | 0,051 | 0,140 | 0,191 | 0,17 |
| totale energiekosten | 1,44 | 1,58 | 3,02 | 2,65 |

Tabel 7

Resultaten kolom G₂ en ter vergelijking die van T₇ en T₁₀.

| kolom | T8 | T11 | T8+T11 | G3 |
|---------------------------|--------|-------|--------|-------|
| diameter (m) | 2,66 | 3,0 | - | 3,90 |
| hoogte (m) | 34,0 | 19,5 | - | 34,5 |
| wanddikte (mm) | 16,0 | 14,0 | - | 16,5 |
| reflux | 2,0 | 2,5 | - | 2,3 |
| investeringen (Mfl.) | | | | |
| kolom | 0,427 | 0,370 | 0,797 | 0,639 |
| compressor | 0,90 | 0,90 | 1,8 | 1,3 |
| turbine | 0,70 | 0,77 | 1,47 | 1,1 |
| reboiler | 0,246 | 0,320 | 0,566 | 0,629 |
| start-up reboiler | 0,0235 | 0,021 | 0,045 | 0,036 |
| luchtkoeler | 0,043 | 0,037 | 0,08 | 0,048 |
| totale investering | 2,34 | 2,42 | 4,76 | 3,75 |
| energiekosten (Mfl.) | | | | |
| turbine (stoom) | 0,89 | 1,38 | 2,27 | 1,79 |
| start-up reboiler (stoom) | - | 0,060 | 0,06 | 0,03 |
| totale energiekosten | 0,89 | 1,44 | 2,33 | 1,82 |

Tabel 8

Resultaten kolom G₃ en ter vergelijking die van T₈ en T₁₁.

De totale investeringskosten en energiekosten van de geïntegreerde unit en niet-geïntegreerde unit zijn weergegeven in tabel 9.

| kolom | investering (Mfl) | energiekosten (Mfl) |
|-------------|-------------------|---------------------|
| T6 t/m T 11 | 14,01 | 7,03 |
| G 1 t/m G 3 | 11,4 | 6,06 |

Tabel 9

Totale investeringskosten en energiekosten.

Conclusie.

Uit onze berekeningen, die uitgevoerd zijn volgens het recept beschreven in de G-opdracht, volgt dat de geïntegreerde kolommen veel goedkoper zijn, zowel op basis van de investerings- als de energiekosten.

Wij vinden dan ook dat het serieus bekeken moet worden om de twee destillatietreinen te combineren tot één.

N.B De energiekosten van de geïntegreerde kolommen kunnen minder zijn dan van de niet geïntegreerde, omdat de refluxen van hun oorspronkelijken niet gelijk zijn. Met de geïntegreerde kolommen zit je lager dan de hoogste reflux, zodat het door de verschillende massastromen mogelijk moet zijn dat je door het combineren minder energie verbruikt. Dit blijkt dan ook uit de berekeningen.

Literatuurlijst.

1. G-groep verslag 1982, De Esso aromatenfabriek, Laboratorium Apparatenbouw voor de procesindustrie, Delft 1982.
2. R.W. Gallant, Physical properties of hydrocarbons, Gulf publishing company, Houston 1968.
3. Nederlandse stichting voor kostentechniek, WEBCI prijzenboekje, Stichting Nederlandse apparaten voor de procesindustrie, 9e druk, Den Haag 1980.
4. F.J. Zuiderweg, Collegedictaat Fysische scheidingsmethoden, deel 1 en 2, Technische hogeschool Delft 1980.
5. Nederlands Normalisatie instituut, Normen voor staal en staalprodukten (NEN- bundel 3), 4e druk 1976.