

Høgskolen i Østfold, Avdeling for ingeniørfag

**EKSAMENSOPPGAVE**

**Fag: IRM32513** Prosess- og energisystemer (10 studiepoeng)

**Foreleser og emneansvarlig: Ole Kr. Førriisdahl,**

Grupper: M3 og K3	Dato: 09.12.2015	Tid: 0900-1200
Antall oppgavesider: 9 (denne side inkludert)	Antall vedleggsider: 6	
Hjelpemidler: Kalkulator Hellsten og Mørstedt "Energi- og kjemiteknikk"		
Sensureringfrist: 10.01.2016		
KANDIDATEN MÅ SELV KONTROLLERE AT OPPGAVESETTET ER FULLSTENDIG CANDIDATE MUST CHECK THAT PROBLEM SET IS COMPLETE		

**Dersom du savner opplysninger som er nødvendige for at du skal kunne løse oppgavene, bruker du symboler eller rimelige verdier med begrunnelse.**

**Oppgi alle svar i SI-enheter hvis annet ikke er spesifisert.**

**Oppgavesettet består av oppgaver som til sammen utgjør 138%. Du trenger ikke å besvare flere oppgaver enn at summen av disse utgjør 100 %.**

Sagt på en annen måte: Du kan velge vekk en eller flere deloppgaver på til sammen 38 %.

Du kan ikke velge vekk oppgaver som må besvares (oppgave 1, 2a, 2b og 3a), disse utgjør til sammen 63 %.

Hvis du velger å besvare  $100+z$  % oppgaver, vil din karakter bli satt i forhold til det antall oppgaver du har besvart

$$x/100 + (37/100)(y/(37+z))$$

der x og y er antall poeng du har oppnådd på hhv må besvares oppgavene og på resten av oppgavene.

**Problem 1 (6 %) (MÅ BESVARES)**

**Besvarelsen på denne oppgaven skal leveres i Fronter senest mandag 21.12.2015 kl. 12.00.**

I faget Prosess- og energisystemer er det høsten 2015 gitt en teknisk rapport med temaet ulykker som skal leveres på eksamen.

Teknisk rapport nummer 1 Ulykker vil bli evaluert.

**Problem 2 (50 %) (MÅ BESVARES)**

**a) (45 %) (MÅ BESVARES)**

**Besvarelsen på denne oppgaven skal leveres i Fronter senest fredag 21.12.2015 kl. 12.00.**

I faget Prosess- og energisystemer er det høsten 2015 gitt en større prosjektoppgave, en skriftlig besvarelse av denne oppgaven vil bli evaluert.

**b) (5 %) (MÅ BESVARES)**

**Besvarelsen på denne oppgaven skal leveres i Fronter senest fredag 21.12.2015 kl. 12.00.**

I faget Prosess- og energisystemer er det høsten 2015 gitt en større prosjektoppgave. En elektronisk presentasjon av prosjektoppgaven blir evaluert.

### Problem 3 (19 %)

In a continuous process, both hot and cold process streams are needed. Data from the following four streams in a process section are given in the table 1.

Table 1 Stream number, mass flow  $m$  [kg/s], specific heat capacity  $c_p$  [kJ/kgK], supply temperature  $T_s$  [°C] and target temperature  $T_t$  [°C]

Stream nr.	$mc_p / \text{kWK}^{-1}$	$T_s / ^\circ\text{C}$	$T_t / ^\circ\text{C}$
H1	28	120	20
H2	20	220	60
C1	24	40	160
C2	16	50	180

The existing solution requires a supply of 1 MW of high pressure steam and 2 MW of cooling water. A better heat integration is desired.

An economic analysis shows that the minimum temperature difference in heat exchangers should be 10 K.

I en prosessbedrift med helkontinuerlig drift har man behov for både oppvarming og avkjøling av prosess-strømmer. Data for de fire strømmene i anlegget er gitt i tabell 1.

Tabell 1 Strøm nr., massestrøm  $m$  [kg/s], spesifikk varmekapasitet  $c_p$  [kJ/kgK], tilførsel temperatur  $T_s$  [°C] og målsetningstemperatur  $T_t$  [°C]

Den eksisterende løsningen krever en tilførsel på 1 MW med høytrykksdamp og 2 MW med kjølevann. En bedre varmeintegrasjon ønskes.

En økonomisk analyse viser at minimum temperaturdifferanse i varmevekslerne bør være 10 K.

#### a) (7 %) (You must answer this question)

Construct a composite curve for the streams and an estimated minimum use of steam and cooling water for the given process.

Use Appendix 4 to estimate the annual savings with optimal heat integration

Sett opp en samlekurve for strømmene og estimer minimum damp og kjølevannbehov ved best mulig varmeveksling av de gitte strømmene.

Bruk vedlegg 4 til å estimere de årlige besparelsene med optimal varmeintegrasjon.

**Problem 3 (19 %) (continue)**

**b) (2 %)**

What are the system's pinch temperatures?

Hva er systemets pinch temperaturer?

**c) (5 %)**

Design a "MER" (Maximum Energy Recovery) heat exchanger network for the given system.

Design et "MER" (Maximum Energy Recovery) varmevekslernetverk for de gitte strømmene.

**d) (5 %)**

View by calculations that the temperature between the warm and cold side is at least 10 K on both sides of all heat exchangers.

Vis ved beregninger at temperaturen mellom varm og kald side er minst 10 K på begge sider av alle varmevekslere.

#### **Problem 4 (21 %)**

##### **a) (6 %)**

20 000 kg/h av en blanding av 40 vekt % etanol og resten isopropanol skal rektifiseres i destillasjonskolonnen ved atmosfæretrykk slik at destillatet inneholder 90 vekt % etanol og bunnproduktet 95 vekt % isopropanol.

Fødeblandingen består av 25 % væske og 75 % damp.

Likevektsdata for systemet er gitt i vedlegg 1.

Tilbakeløpsforholdet (reflux) under destillasjonen er 4.

Beregn antall trinn i kolonnen når virkningsgraden til hvert trinn i kolonnen er på 75 %.

Vedlegg 1 kan legges ved besvarelsen

##### **b) (3 %)**

Sett opp masse, Komponent og energibalanser for rektifikasjonskolonnen, spesifiser alle antagelser.

##### **c) (3 %)**

Hvilke heuristiske regler brukes for å finne frem til de mest optimale separasjonssekvensene for destillasjon av flerkomponentsystemer?

##### **d) (3 %)**

Hvilke praktiske restriksjoner må man ta hensyn til ved destillasjon av multikomponentsystemer?

#### Problem 4 (21 %) continue

e) (6 %)

I en etylenfabrikk skal rågassen fra crackeravsnittet separeres.

Sammensetningen, K-verdier og den relative flyktigheten (relativt til  $C_3H_6$ ) ved de aktuelle driftsbetingelsene til rågassen er gitt i tabell 1.

Tabell 1. Rågassen fra crackeravsnittet.

Komponent	Molfraksjon	K-verdi	$\alpha_{i,C_3H_6}$
$H_2$	33.02	23.470	180.53
$CH_4$	8.49	2.754	21.18
$C_2H_4$	36.04	0.658	5.06
$C_2H_6$	21.39	0.432	3.32
$C_3H_6$	1.06	0.130	1

Foreslå en separasjons sekvens bestående av separatorer (flash) eller destillasjonskolonner.

Hydrogen og metan skal gå til et felles brenngassnett og kan derfor behandles som en komponent.

Etylen ( $C_2H_4$ ) er hovedproduktet og skal derfor gjenvinnes med høy renhet.

**Problem 5 (9 %)**

**a) (6 %)**

En væske strømmer rundt en sfærisk katalysatorpartikkel.

Kraften som virker på katalysatorpartikkelen er en funksjon av:  
katalysatorpartikkelens diameter, væskens hastighet, tetthet og viskositet.

Ved hjelp av dimensjonsanalyse utled en funksjon for kraften som virker på katalysatorpartikkelen.

**b) (3 %)**

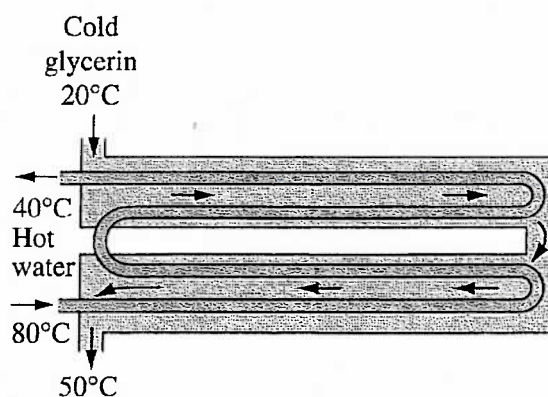
Hva menes med immaterielle rettigheter?

**Problem 6 (14 %)**

$$\text{Gitt: } \frac{1}{U} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{h_i} + \sum_{j=1}^M \frac{\Delta x_j}{k_j} + \sum R_{fi}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)},$$

En 2-shell 4-tube varmeveksleren blir brukt til å varme glykol (glyserin) fra 20 °C til 50 °C ved varmt vann. Vannet går inn i tynnveggede rør med en diameter på 3 cm ved 80 °C og ut ved 40 °C, se figur. Den totale lengden av rørene i varmeveksleren er 100 m. Varmerovergangstallet på glyserolsiden av røret er 30 W/m<sup>2</sup>K og 200 W/m<sup>2</sup>K på vannsiden av røret. Anta varmemotstand i røret er ubetydelig da røret er tynt og med meget god varmeledning.

**a) (2 %)**

Bruk vedlegg 3 til å beregne korreksjonsfaktoren  $F$  for den gitte varmeveksleren.

**b) (4 %)**

Beregn varmestrømmen i varmeveksleren, anta at det ikke er noen beleggdannelse i varmeveksleren.

**c) (4 %)**

Beregn varmestrømmen i varmeveksleren der beleggdannelse gir en motstand mot varmeoverføring på 0.0006 m<sup>2</sup>K/W.

**d) (4 %)**

En ingeniør som går gjennom kataloger fra varmevekslerprodusenter vil bli overveldet av type og antall lett tilgjengelig varmevekslere. Et riktig valg av varmevekslere avhenger av flere faktorer.

Gi 4 viktige utvalgs faktorer ved innkjøp av varmevekslere å forklare hvorfor faktorene er viktige.



### Problem 7 (19 %)

#### a) (4 %)

Diskuter sikkerhetsaspekter rundt dannelse av naturgasshydrater i transportsystemer for olje og gass.

#### b) (2 %)

Hvilket flytskjema vil du bruke for å gjøre et grovt kostnadsestimat på en prosess?

Det har oppstått problemer i en reguleringsløyfe, hvilket flytskjema tar du frem for å finne feilen?

#### c) (4 %)

Explain short one method to remediate contaminated soil

Forklar kort en metode for å rense forurenset jord.

#### d) (6 %)

Et gasskraftverk med gassturbin og dampturbiner leverer en effekt på 500 MW uten CO<sub>2</sub>-fangst. Et CO<sub>2</sub>-fangst-anlegg vil kreve 200 MW damp (lavverdig varmeenergi) fra kraftverket som ellers ville blitt benyttet til å produsere elektrisitet med en virkningsgrad på 25 %.

Hva blir levert elektrisitet (i MW) fra gasskraftverket inkludert CO<sub>2</sub>-fangst?

Hvordan kan man lagre CO<sub>2</sub> som er fanget? Anta at CO<sub>2</sub>-en som er fanget har en høy grad av renhet.

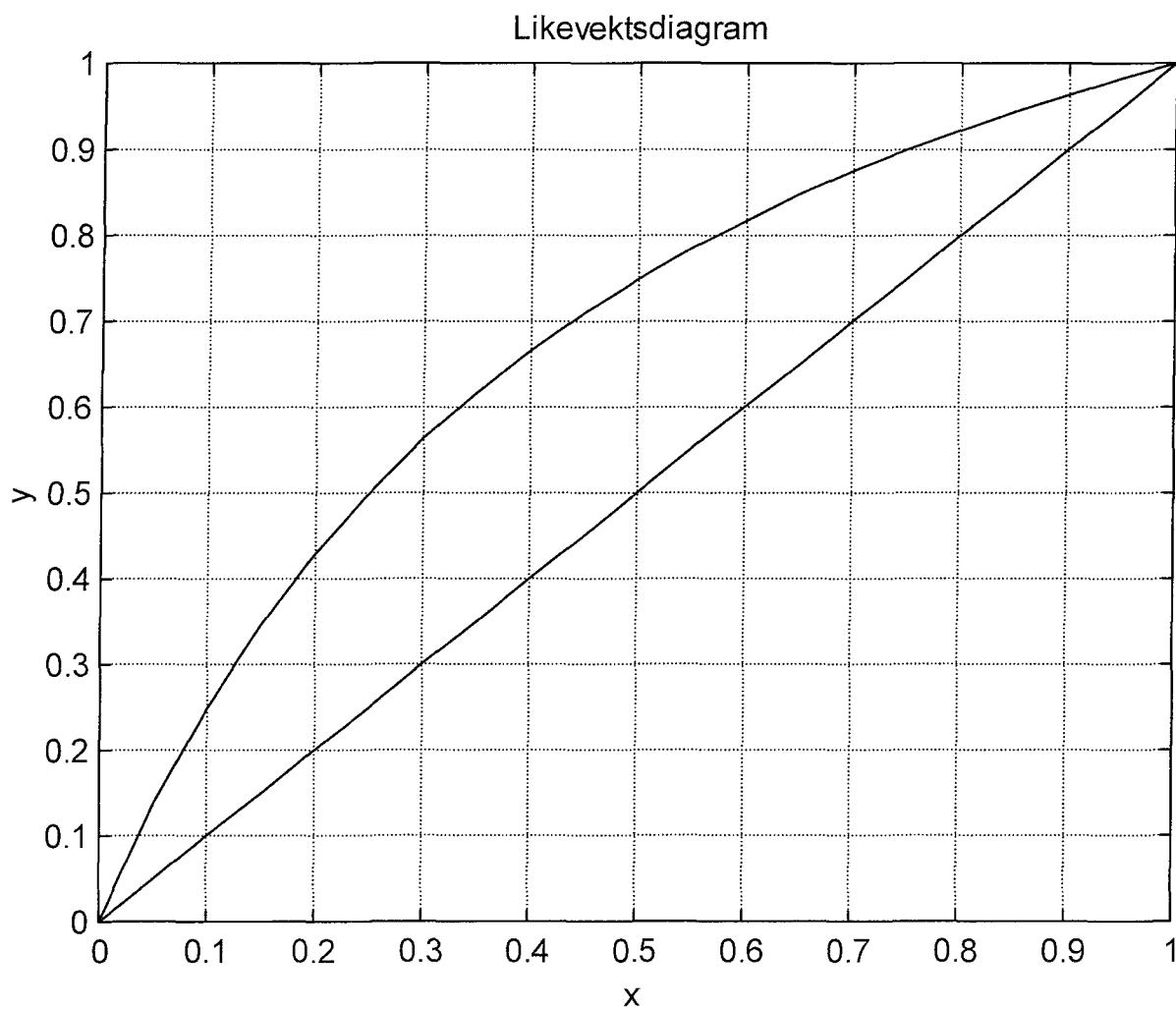
#### e) (3 %)

Vis kort at du har lært deg noe (relatert til faget) i løpet av kurset i prosess- og energisystemer, som du ikke har fått spørsmål om på denne eksamen.

# Appendix 1

Kandidat nummer: \_\_\_\_\_

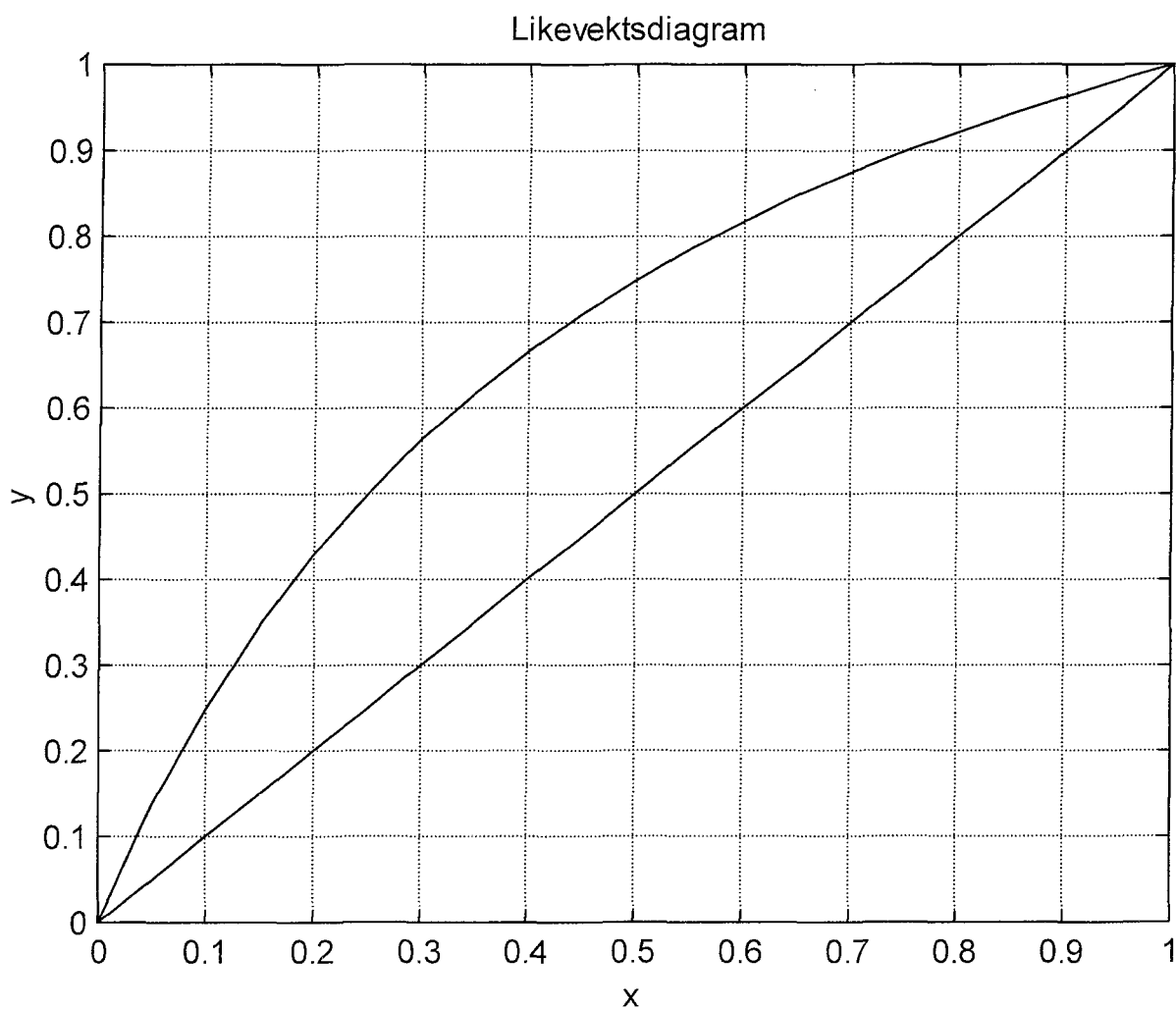
## Equilibrium diagram



# Appendix 1

Kandidat nummer: \_\_\_\_\_

## Equilibrium diagram



## Appendix 2

### Destillasjon

$$\text{Relativ flyktighet: } \alpha_A = \frac{P_A}{P_B} \frac{x_B}{x_A}$$

$$\text{eller: } \alpha = \frac{y}{x} \frac{(1-x)}{(1-y)}$$

$$\text{For ideelle blandinger: } p_A = P_A^v x_A \quad p_B = P_B^v x_B \quad \alpha = \frac{P_A^v}{P_B^v}$$

$$x = \frac{P - P_B^v}{P_A^v - P_B^v} \quad y = \frac{p_A}{P} = \frac{P_A^v x}{P} \quad y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}$$

Differensialdestillasjon:

$$\text{Raleighs ligning: } \ln \frac{L_0}{L} = \int_x^{x_0} \frac{dx}{y-x}$$

Når  $\alpha$  for blandingen er konstant:

$$\ln \frac{L_0}{L} = \frac{-1}{\alpha - 1} \left( \ln \frac{x}{x_0} - \alpha \ln \frac{1-x}{1-x_0} \right)$$

Likevektsdestillasjon:

Materialbalanse over flyktigst komponent:

$$F x_F = D x_D + B x_B = D x_D + (F - D) x_B$$

$$\text{som gir: } \frac{D}{F} = \frac{x_F - x_B}{x_D - x_B}$$

Vanndampdestillasjon:

$$\frac{w_A}{w_{H_2O}} = \frac{P_A^v M_A}{(P - P_A^v) 18} \quad \text{idet } P = P_A^v + P_{H_2O}^v$$

Rektifikasjon:

$$q = \frac{H_D - H_F}{\lambda_m} \quad \text{eller: } q = \text{den del av f\u00f8dingen som g\u00e5r nedover som v\u00e6ske}$$

der  $H_F$  er f\u00f8dingens entalpi

$H_D$  er entalpien av f\u00f8dingen n\u00e5r den foreligger som mettet damp

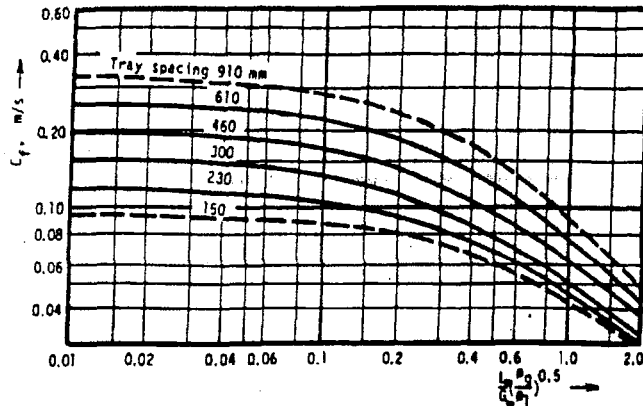
$$\text{Forsterkerens arbeidslinje: } y = \frac{R}{R+1} x + \frac{x_D}{R+1}$$

$$\text{Avdriverens arbeidslinje: } y = \frac{L'}{V'} x - \frac{B}{V'} x_B$$

$$q\text{-linjen: } y = \frac{q}{q-1} x - \frac{x_F}{q-1}$$

Avdriverens driftslinje ved direkte dampinnbl\u00e5sing:

$$y = \frac{B}{S} x - \frac{B}{S} x_B$$



Konstanten  $C_f$  som funksjon av plateavstanden og av en parameter der  $L/G$  er masseforholdet mellom væske og gass i kg/kg.  $\rho_l$  og  $\rho_g$  er væskens og gassens densitet

Floodinghastigheten av dampen,  $V_f$ , i m/s:

$$V_f = C_f \gamma^{0,2} \left[ \frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right]^{0,5}$$

der  $\gamma$  er væskeblandingsens overflatespenning

Normal damphastighet,  $v$  i  $\frac{m}{s}$ :

$$v = a \cdot \phi \cdot V_f$$

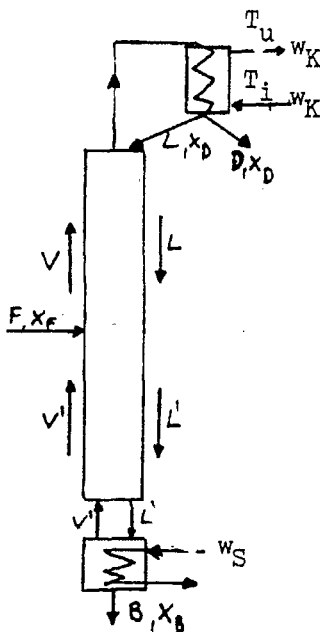
der  $\phi$  er en korreksjonsfaktor, normalt 0,6-0,7

$a$  er en faktor som tar hensyn til skummingen:

$a = 1$  for ikke-skummende væsker

$a = 0,3$  for sterkt skummende væsker

Densitet av ideelle gasser:  $\rho = \frac{MP}{RT}$



Fra materialbalanser får man:

$$L = R \cdot D$$

$$V = L + D = D \cdot (1+R)$$

$$V = V' + (1-q) F$$

$$L' = L + q F$$

$$L' = B + V'$$

Fra energibalanser får man:

$$w_K \cdot c_p \cdot (T_u - T_i) = V \lambda_V$$

$$w_S \lambda_S = V' \lambda_{V'}$$

der  $w_K = \text{kg kjølevann/s}$

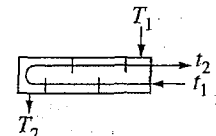
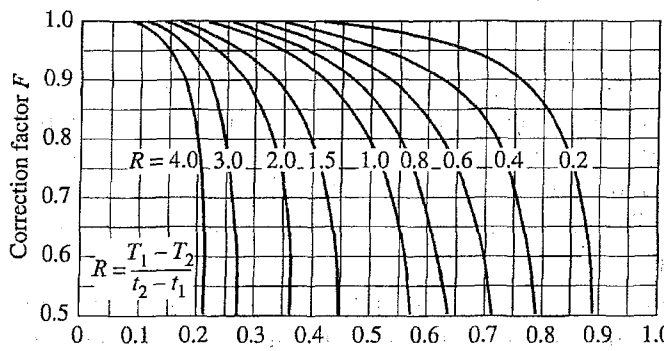
$w_S = \text{kg varmedamp/s}$

$\lambda_S = \text{varmedampens kondensasjonsvarme J/kg}$

$\lambda_V$  og  $\lambda_{V'}$  = kondensasjonsvarmen for  $V$  og  $V'$  i J/mol

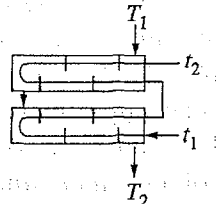
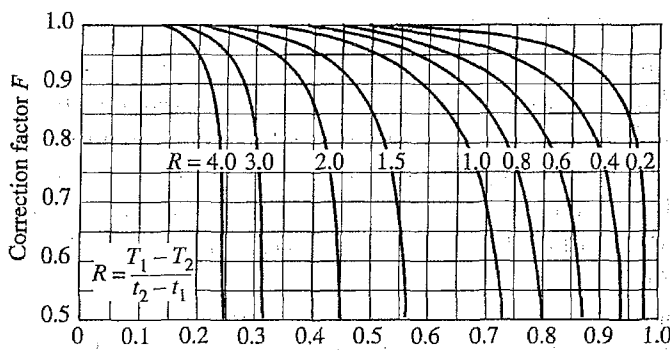
$c_p = \text{kjølevannets spesifikke varmekapasitet}$

$T_i$  og  $T_u$  = kjølevannets temperatur inn i og ut av kondensatoren



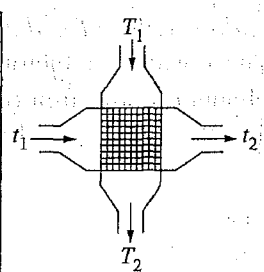
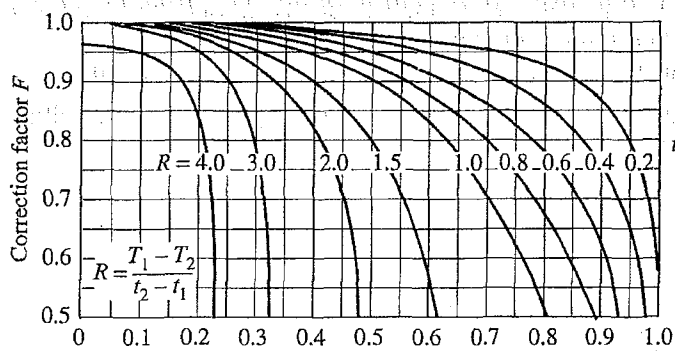
$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

(a) One-shell pass and 2, 4, 6, etc. (any multiple of 2), tube passes



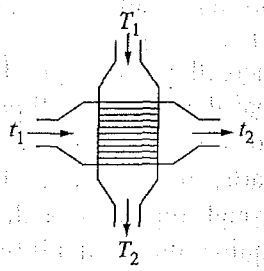
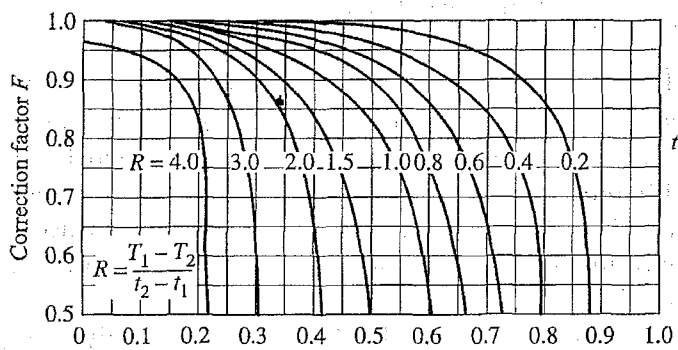
$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

(b) Two-shell passes and 4, 8, 12, etc. (any multiple of 4), tube passes



$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

(c) Single-pass cross-flow with both fluids *unmixed*



$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

(d) Single-pass cross-flow with one fluid *mixed* and the other *unmixed*

Correction factor F charts for common shell-and-tube and cross-flow heat exchangers.

## Appendix 4

Assume that the table give 2015 cost and  $1.0 \text{ USD}_{2015} = 7.0 \text{ NOK}_{2015}$

**Table 3.4 Utilities Provided by Off-Sites for a Plant with Multiple Process Units**  
(costs represent charges for utilities delivered to the battery limit of a process)

Utility	Description	Cost \$/GJ	Cost \$/ Common Unit
Air Supply	Pressurized and dried air		
	a. Process		\$2.3/100 m <sup>3</sup>
	b. Instrument		\$4.7/100 m <sup>3</sup>
Steam from Boilers	Process steam: Latent heat only		
	a. Low pressure (5 barg, 160°C)	3.17	\$6.62/1000 kg
	b. Medium pressure (10barg, 184°C)	3.66	\$7.31/1000 kg
	c. High pressure (41 barg, 254°C)	5.09	\$8.65/1000 kg
Cooling Tower Water	Processes cooling water: 30°C to 40°C or 45°C	0.16	\$6.7/1000 m <sup>3</sup> <sup>1</sup>
Other Water	High purity water for		
	a. Process use		\$0.04/1000 kg
	b. Boiler feed water <sup>2</sup>		\$2.54/1000 kg
	c. Potable (drinking)		\$0.26/1000 kg
	d. Deionized water		\$1.00/1000 kg
Electrical Substation	Electric Distribution	16.8	\$0.06/kWh
	a. 110 V		
	b. 220 V		
	c. 440 V		
Fuels	a. Fuel Oil (no. 2)	4.0	\$170/m <sup>3</sup>
	b. Natural Gas	2.5 <sup>3</sup>	\$0.085/std. m <sup>3</sup>
	c. Coal (FOB mine mouth)	1.2	\$31/tonne
Refrigeration	a. Moderately low T: 5°C <sup>4</sup>	20	Based on Process
	b. Low T: -20°C	32	Cooling Duty
	c. Very low T: -50°C	60	
Thermal Systems	a. Moderately high T: to 330°C	4.9	Based on Process
	b. High T: to 400°C	5.2	Heating Duty
	c. Very high T: to 600°C	5.9	
Waste Disposal (solid and liquid)	(a) Non-Hazardous		\$36/tonne
	(b) Hazardous		\$145/tonne
Waste Water Treatment	(a) Primary (filtration)		\$39/1000 m <sup>3</sup>
	(b) Secondary (filtration + activated sludge)		\$41/1000 m <sup>3</sup>
	(c) Tertiary (filtration, activated sludge, and chemical processing)		\$53/1000 m <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Based on  $\Delta T_{\text{cooling water}} = 10^\circ\text{C}$ . Cooling water return temperatures should not exceed 45°C due to excess scaling at higher temperatures.

<sup>2</sup>Approximately equal credit is given for condensate returned from exchangers using steam.

<sup>3</sup>Based on Lower Heating Value of Natural Gas.

<sup>4</sup>Cost for refrigerated water supplied at 5°C and returned at 15°C.