

HØGSKOLEN
I SØR-TRØNDELAG**HØGSKOLEN I SØR-TRØNDELAG****AVDELING FOR MAT- OG
MEDISINSK TEKNOLOGI**

Kandidatnr:						
Eksamensdato:	29. mai 2006.					
Varighet:	Kl. 09.00-14.00 (5 timer)					
Fagnummer:	FO173N					
Fagnavn:	Prosessteknologi					
Klasse(r):	1N					
Studiepoeng:	9					
Faglærer(e):	Arild Heggset					
Hjelpemidler:	Godkjent kalkulator, type 1					
Oppgavesettet består av:	5 oppgaver på 6 sider (inkludert denne forsiden)					
Vedlegg består av:	Totalt 5 sider: Vedlegg 1: Formelsamling (2-sider) Vedlegg 2: Flytskjema for treningsmeieri Vedlegg 3: Pumpekarakteristikker Vedlegg 4: log p-h diagram for Ammoniakk					
Merknad: Vedlegg 4 legges ved besvarelsen. Oppgaveteksten kan beholdes av studenten.						
Lykke til!						

Oppgave 1 (20 %)

Et tidligere lagerrom i en matbedrift skal bygges om til et kjølerom som skal holde en temperatur på 4°C . Utenfor kjølerommet er det produksjonslokaler som holder en jevn temperatur på 20°C . Veggene til kjølerommet består av et 20 cm lag med betong som er dekket med et 1 cm tykt lag med PVC på innsiden (i kjølerommet). Arealet av veggene på kjølerommet er totalt 150 m^2 .

Varmeledningsevne for materialene i veggene:

Betong: $0,8\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

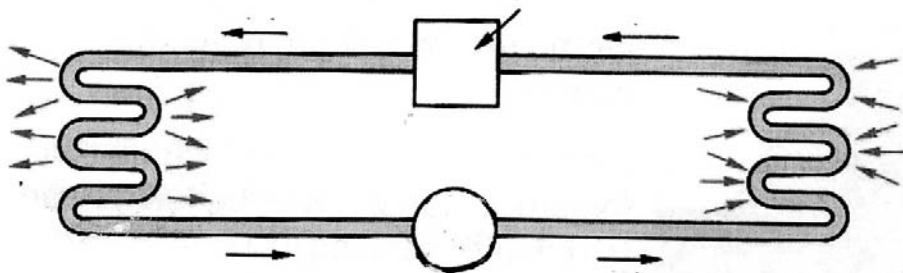
PVC: $0,16\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Varmeovergangskoeffisienten er $8\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ på begge sider av veggene.

- a) Vis at varmeoverføringskoeffisienten for veggene blir $K = 1,78\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
Beregn varmestrømmen gjennom veggene samt energimengden dette tilsvarer pr. døgn.
Ved hvilke mekanismer overføres varmen?

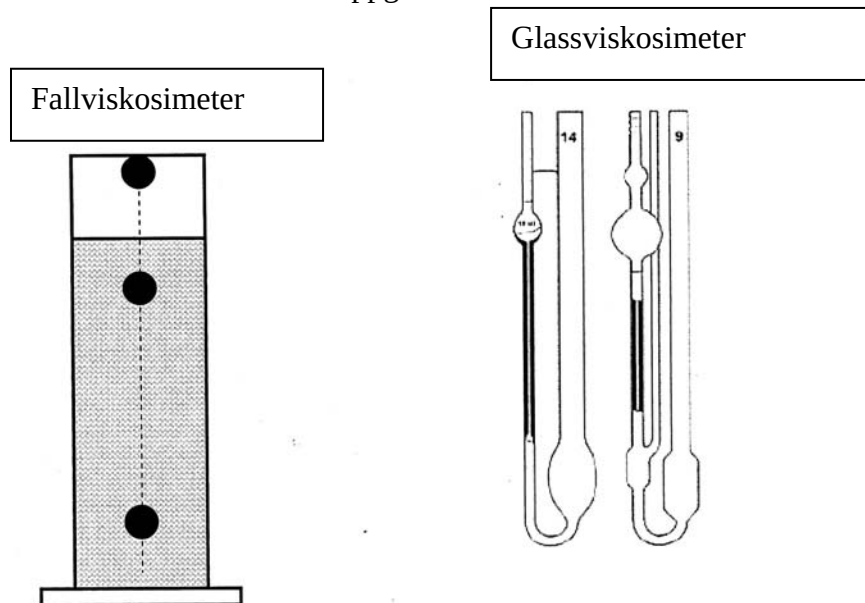
For å redusere varmestrømmen monteres et 15 cm lag med isopor mellom betongveggen og isoporlaget. Varmedningsevne til isopor er $0,01\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. I b) og c) regnes det på denne veggene som altså består av tre lag.

- b) Beregn varmestrømmen for denne situasjonen. Er isolasjonseffekten tilfredsstillende?
- c) Beregn overflatetemperaturen på innsida av veggene og temperaturen i grenseflata mellom isopor og PVC.
- d) Kuldekretsen i kjølerommet arbeider med ammoniakk som kuldemedium. Fordampertemperaturen er -30°C og kondensatortemperaturen er $+30^{\circ}\text{C}$.
i) Betrakt kuldeprosessen som ideell og skisser denne i vedlagte log p-h diagram (vedlegg 4). Angi tydelig de ulike trinnene i kuldekretsen. Diagrammet legges ved besvarelsen.
ii) Bestem fra log p-h diagrammet trykk i fordamper og kondensator, og bestem endring i spesifikk entalpi i fordamper og kondensator. Beregn prosessens kuldefaktor.
- e) Forklar prinsippet for kuldekretsen og sett navn på de ulike enhetene i figuren under (tegn av figuren på innføringsarket):



Oppgave 2 (10 %)

- a) I en laboratorieoppgave ble du kjent med måling av viskositet ved bruk av fallviskosimeter og glassviskosimeter som vist i figuren under.
- Forklar hvordan viskositet kan måles og beregnes ved hjelp av disse viskosimetrene.
 - Sett opp ligninga som brukes for å beregne viskositeten i et fallviskosimeter, der egenskaper til kula og fluidet inngår. Forklar symbolene som inngår i ligningen og hvilke enheter de oppgis i.



- b) Varmt vann strømmer gjennom en rørledning med indre diameter 4 cm med en hastighet på 0,5 m/s og et trykk på 3,0 atm i kjelleren i en matbedrift.
- Hva blir strømningshastigheten og trykket i røret når det kommer opp i produksjonslokalene 5 meter høyere når røret snevres inn til indre diameter 2,6 cm?
 - Bestem om strømmingen er laminær eller turbulent på de to stedene. Hva karakteriserer laminære og turbulente strømninger?

Massetetthet for vann er: $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Viskositet for vann er: $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Pas}$

Oppgave 3 (20 %)

En en-atomig idealgas, i en lukket beholder gjennomløper en tredelt prosess representert i pV-diagrammet under til høyre. Først adiabatisk kompresjon fra tilstand a til b, utvidelse ved konstant trykk til tilstand c, og avkjøling ved konstant volum tilbake til starttilstanden a.

Følgende verdier er kjent:

$$n = 2,2 \text{ mol}$$

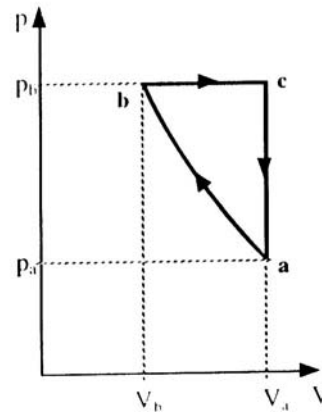
$$V_a = 0,08 \text{ m}^3$$

$$p_a = 60 \text{ kPa}$$

$$V_b = 0,05 \text{ m}^3$$

$$C_{mV} = 12,5 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$C_{mp} = 20,8 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

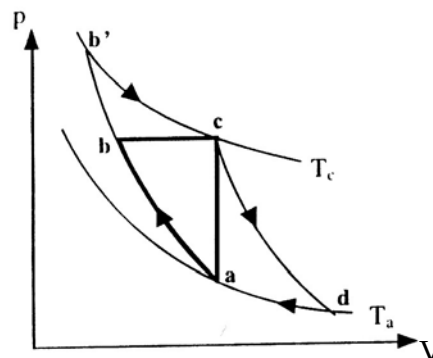


- Bruk opplysningene fra figur og tekst ovenfor til å bestemme gassens volum, trykk og temperatur i hver av tilstandene a, b og c.
- Bestem arbeid, varme og endring i indre energi i hver av delprosessene a-b, b-c og c-a. Skriv også opp formen på termodynamikkens første hovedsetning for hver av delprosessene.
- Betrakt den sykliske prosessen a-a. Bestem mottatt varme og avgitt mekanisk energi i prosessen. Lag en skisse som viser størrelsen av arbeidet i prosessen. Bestem prosessens virkningsgrad.

d)

Carnot-syklus:

- adiabatisk kompresjon fra a til temperatur T_c (tilstand b')
- isoterm ekspansjon til tilstand c
- adiabatisk ekspansjon til temperatur T_a (tilstand d)
- isoterm kompresjon til tilstand a.



Figuren ovenfor viser en Carnot-syklus som arbeider mellom tilstandene a og c. Hva er virkningsgraden til denne prosessen (a - b'- c - d - a)? Sammenlign denne virkningsgraden med den du beregnet for den første prosessen (a - b- c- a).

Oppgave 4 (35 %)

Vedlagte flytskjema (vedlegg 2) viser treningsmeieriet ved Ladejarlen videregående skole. Melka har massetetthet 1030 kg/m^3 og viskositet $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ Pas}$. Spesifikk varmekapasitet for melk: $c = 3,88 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$. Råmelka leveres med tankbil og strømmer gjennom en plastslange med indre diameter 60 mm og ytre diameter 80 mm til en sylindrisk råmelkstank med indre diameter 100 cm og høyde på 76 cm. Det tar 10 minutter å fylle opp denne tanken.

- a) Beregn volumstrømmen av melka gjennom plastslangen. Oppgi svaret i både m^3/s og liter/time.
- b) Melka har ved levering en temperatur på 4°C . Temperaturen på den ytre overflata av slangen er 20°C . Slangen er lagd av et plastmateriale som har varmeledningsevne på $0,05 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Beregn varmestrømmen til innsida av slangen pr. m.

Alle rør etter balansetanken har indre radius 13 mm. Det ses bort fra friksjon i rørene.

- c) Fra bunnen av råmelkstanken til toppen av den etterfølgende balansetanken (200 liter) strømmer melka uten pumpe når ventilen åpnes. Det er 15 cm fra bunnen av råmelkstanken til toppen av balansetanken. Væskespeilet i råmelkstanken er 76 cm over bunnen i tanken når den er full. Begge tankene er åpne. Bestem væskehastigheten i røret inn til balansetanken i starten fra en full råmelkstank.
- d) Bestem trykket på bunnen av balansetanken når den er full. Høyden på væskeoverflaten er 71 cm over bunnen. Atmosfæretrykket er 1 atm.

Fra balansetanken pumpes melka gjennom et rør til pasteuren (platevarmeveksleren) der den varmes opp før den går videre til separatoren. Melka pumpes med en hastighet på 200 liter pr. time. Lengden av røret fra balansetanken til pasteuren er 4 meter. Innløpet til pasteuren er 120 cm høyere enn utløpet fra balansetanken (i bunnen) og pumpa. Anta at balansetanken etterfylles slik at den er full hele tida. Pumpeeffekten er 5 W.

- e) Bestem om strømmingen er laminær eller turbulent og bestem trykket på melka inn til pasteuren.
- f) Melka ut fra balansetanken har en temperatur på 4°C og varmes opp til 60°C før den går inn på separatoren. Dette skjer ved motstrøms varmeveksling med ferdig pasteurisert melk som holder 74°C og kjøles ned til 16°C i regenerativ sone (P1). Tegn en skisse som viser temperaturforløpet gjennom varmeveksleren for begge melkestrømmene. Beregn logaritmisk midlere temperaturdifferens og varmestrømmen gjennom varmeveksleren. Varmeforoverføringskoeffisient $K = 190 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Beregn platearealet.
- g) Flytskjemaet for treningsmeieriet (vedlegg 2) viser en tilbakekoplet reguleringsløype hvor damp tilføres for å varme opp melka fra separatoren fra 60°C til 72°C .
 - i) Tegn blokkdiagrammet for reguleringsløyfen. Beskriv hva hver blokk i diagrammet representerer, og hva som kommer ut av hver blokk.
 - ii) Nevn fordeler og ulemper ved å bruke en av/på regulator for å opprettholde ønsket temperatur på 72°C .
 - iii) Hvilke fordeler kan man oppnå ved å bruke en P-regulator (Proporsjonal) eller PI-regulator (Proporsjonal og Integral) for å styre temperaturen?

Oppgave 5 (15 %)

NB! Velg 3 av 6 deloppgaver. Det gir ikke ekstrapoeng å besvare flere enn 3. Hvis 4-6 oppgaver besvares, vil de 3 oppgavene med best skår bli tellende i bedømmelsen.

- a) Radioaktivitet
- Forklar hva som menes med:
 - Bequerell (Bq)
 - Radioaktive α -, β - og γ -stråler.
 - Hva er forskjellen på fysisk og biologisk halveringstid?
 - Mengden av ^{226}Ra er 260,8 mg. Beregn tiden det vil ta før kun 16,3 mg vil være tilbake. Halveringstiden for ^{226}Ra er 1600 år.
- b) I pasteuriser (platevarmevekslere) er det viktig at ikke det oppstår lekkasjer slik at pasteurisert melk som skal avkjøles kontamineres av den upasteuriserte melken som det varmeveksles mot. Forklar to metoder som brukes for sikring mot kontaminering selv om det oppstår lekkasjer i platene i en platevarmeveksler.
- c) Forklar virkemåten og nevnt eksempler på bruken av følgende typer varmevekslere i matindustrien.
- Platevarmevekslere.
 - Rørvarmevekslere.
 - Skrapevarmevekslere.
- d) Forklar forskjellen på skjærtynnende og skjærtykkende fluider, og nevnt minst to eksempler på et skjærtynnende og to eksempler på et skjærtykkende fluid. Hvilke hensyn må tas ved valg av pumpe og rørdiameter for henholdsvis et skjærtykkende og skjærtynnende fluid? Begrunn svaret.
- e) Vis at følgende formel for varmegjennomgangskoeffisienten, k , gjelder ved varmestrøm gjennom en vegg med fire lag med ulike materialer og tykkelser:
- $$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4}$$
- der k_1 , k_2 , k_3 og k_4 er varmegjennomgangskoeffisientene for hvert av lagene i vegg.
- f) Pumpekarakteristikk for noen sentrifugalpumper er vedlagt (vedlegg 3). Løftehøyde skal være 15 m og levert mengde vann skal være 200 liter/min.
- Velg og begrunn valget av pumpe. Beskriv hvordan volumstrømmen kan tilpasses.
 - Kan det være aktuelt å serie- eller parallellkoble to pumper? Begrunn svaret.
 - Hva ble energiforbruket (anslag fra pumpediagram) for i) og event. ii).

Vedlegg 1: Formelsamling Prosessteknologi

Strømningslære

Trykk:

$$p = F/A \quad p = p_0 + \rho gh$$

Masse- og volumstrøm og kontinuitetsligningen:

$$q_v = V/t \quad q_m = m/t$$

$$q_v = Av \quad q_m = \rho Av$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (\text{kompresible fluider: } \rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2)$$

Bernoullis ligning:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gy = \text{konst.} \quad (\text{friksjonsfri strømning})$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gy_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gy_2 + \Delta p \quad (\text{med friksjonstap})$$

Hagen-Poiseuilles formel:

$$q_v = \frac{\pi (p_1 - p_2)}{8\eta l} R^4 = \frac{\pi R^4 \cdot \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

Reynolds tall:

$$Re = \frac{\rho D v}{\eta}$$

$$Re < 2000 \Rightarrow \text{laminær strøm}$$

$$Re > 3000 \Rightarrow \text{turbulent strøm}$$

Sedimentering:

$$v = \frac{2g(\rho_k - \rho_f)r^2}{9\eta}$$

Sentrifugering:

$$v = \frac{2\omega^2 R_s(\rho_k - \rho_f)r^2}{9\eta} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

Anlegg med pumpe:

$$H_p + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + y_2 + h_{up} \quad (H_g = y_2 - y_1)$$

$$P = \rho g q_v H_p = q_v \cdot \Delta p$$

$$h_{up} = \frac{32 \eta l v}{g \rho d^2} \quad (\text{laminær strøm})$$

$$h_{up}^* = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} + \sum \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (\text{turbulent strøm})$$

Varme

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$Q = C_m \cdot n \cdot \Delta T$$

$$Q = l_s \cdot m$$

$$Q = l_f \cdot m$$

$$Q = \Delta h \cdot m$$

Varmestrøm

Varmestrøm:

$$\Phi = Q/t$$

Varmedledning:

$$\Phi = \lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Radiell varmestrøm:

$$\Phi = \frac{2\pi\lambda L}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \Delta T$$

Varmegjennomgang:

$$\Phi = kA\Delta T \quad \frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n} \quad k_i = \frac{\lambda_i}{l_i} \quad i = 1..n$$

Varmeovergang:

$$\Phi = hA\Delta T$$

Varmeoverføring:

$$\Phi = KA\Delta T \quad \frac{1}{K} = \frac{1}{h_a} + \frac{1}{k} + \frac{1}{h_b}$$

Varmevekslere:

$$\Phi = KA\Delta T_m \quad \Delta T_m = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Phi = c q_m \Delta T$$

Termisk stråling:

$$\Phi = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (0 < \varepsilon < 1)$$

Temperatur

$$T[\text{K}] = t[^\circ\text{C}] + 273 \text{ K}$$

Idealgasser

$$pV = nRT, \quad pV = NkT \quad (n = N/N_A)$$

$$\frac{pV}{T} = \text{konst.}$$

$$U = \frac{3}{2} nRT \quad (\text{en-atomig}) \quad U = \frac{5}{2} nRT \quad (2\text{-atomig}) \dots$$

Termodynamikkens 1. hovedsetning

$\Delta U = Q + W$ endring i indre energi (ΔU) til et system som har gjennomgått en prosess er lik summen av overført varme (Q) og utført arbeid (W) i prosessen.

Fortegn: Q + når varmen er overført fra omgivelser til system

- når varmen er overført fra system til omgivelser

W + når omgivelser har utført arbeid på systemet

- når system har utført arbeid på omgivelser

Termodynamiske prosesser

isokor:

$$W = 0 \quad Q = n \cdot C_{mV} \cdot \Delta T \quad \Delta U = Q$$

$$p/T = \text{konst.}$$

isobar:

$$W = -p \Delta V \quad Q = n \cdot C_{mp} \cdot \Delta T \quad \Delta U = Q + W$$

$$V/T = \text{konst.}$$

isoterm:

$$W = -nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \quad Q = -W \quad \Delta U = 0$$

$$pV = \text{konst.}$$

adiabatisk:

$$\Delta U = n \cdot C_{mV} \cdot \Delta T \quad W = \Delta U \quad Q = 0$$

$$pV^\gamma = \text{konst.} \quad TV^{\gamma-1} = \text{konst.} \quad \gamma = \frac{C_{mp}}{C_{mV}}$$

Kretsprosesser

Virkningsgrad varmekraftmaskin:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{arbeid avgitt i et omløp} \\ \text{varme mottatt fra reservoir med høy temp.} \end{array} \right.$$

Carnotvirkningsgrad:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Termodynamikkens 2. hovedsetning:

Virkningsgraden til en varmekraftmaskin kan aldri bli større enn carnotmaskinens virkningsgrad.

Kuldefaktor:

$$\epsilon_k = \frac{Q_{kutt}}{W} = \frac{\Delta h_{kutt}}{\Delta h_{kutt}}$$

Varnefaktor:

$$\epsilon_v = \frac{Q_v}{W} = \frac{\Delta h_{vutt}}{\Delta h_{kutt}}$$

Oppvarmingstid

$$t = \mu \ln\left(\frac{T_a - T_1}{T_a - T_2}\right) \quad \mu = \frac{cm}{KA}$$

Regulatorer (kontinuerlige)

symbol / beskrivelse	matematisk uttrykk
P proporsjonal	$u = K_p e$
I integral	$u = 1/T_i \int e \, dt$
PI proporsjonal+ integral	$u = K_p (e + 1/T_i \int e \, dt)$
PD proporsjonal+ derivat	$u = K_p (e + T_d e')$
PID proporsjonal+ integral + derivat	$u = K_p (e + 1/T_i \int e \, dt + T_d e')$

KONSTANTER

tyngdens akselerasjon	$g_n = 9,80665 \, \text{m/s}^2$
standard atmosfære	1 atm = 101,325 kPa
Boltzmanns konstant	$k = 1,3807 \cdot 10^{-23} \, \text{J/K}$
Plancks konstant	$h = 6,6261 \cdot 10^{-34} \, \text{Js}$
Molar gasskonstant	$R = 8,3145 \, \text{J/(mol} \cdot \text{K)}$
Stefan/Bolztm.	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \, \text{W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$
Avogados konstant	$N_A = 6,0221 \cdot 10^{23} \, \text{mol}^{-1}$

ENHETER

1 J = 1 kg m ² /s ²	1 J = 1 Ws	1 J = 1 VAs
1 kWh = 3,6 · 10 ⁶ J	1 kJ = 1000 J	
1 cal = 4,2 J	1 J = 1/3,6 · 10 ⁶ kWh	
1 W = 1J/s (= 1 kg m ² /s ³)	1 W = 1 VA	
1 kW = 1000 W (= 1kJ/s)	1 Hk = 735 W	
1 Pa = 1 N/m ² = 1 kg / s ² m	1 kPa = 1000 Pa	

$$1 \, \text{atm.} = 101,3 \, \text{kPa} \quad 1 \, \text{bar} = 100 \, \text{kPa} \quad (= 100.000 \, \text{Pa} = 1 \, \text{atm.})$$

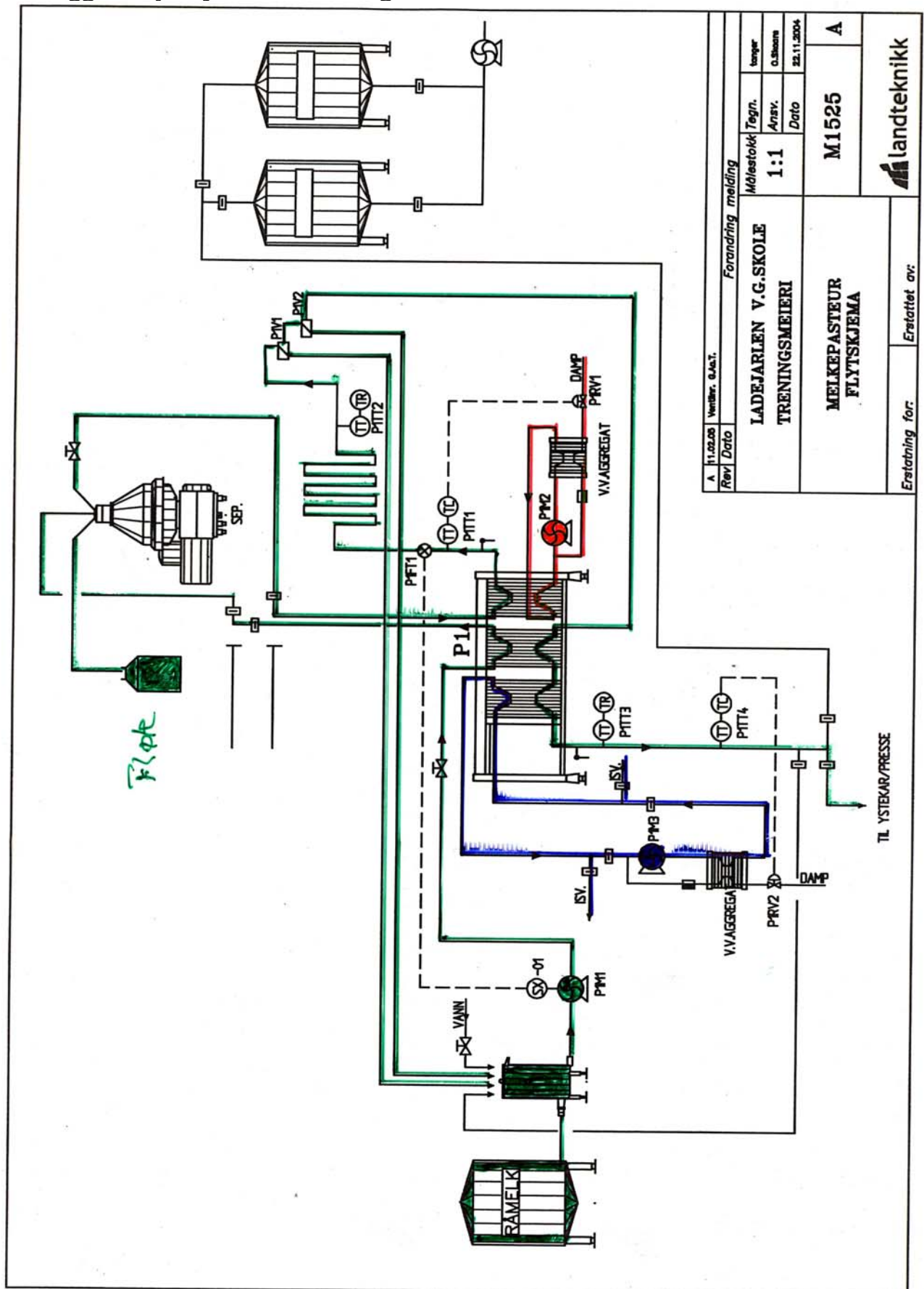
$$1 \, \text{mbar} = 100 \, \text{Pa}$$

$$1 \, \text{mmHg} = 133,3 \, \text{Pa} \quad (1 \, \text{torr} = 1 \, \text{mmHg})$$

Atomfysikk:

$$\Delta E = h \cdot f$$

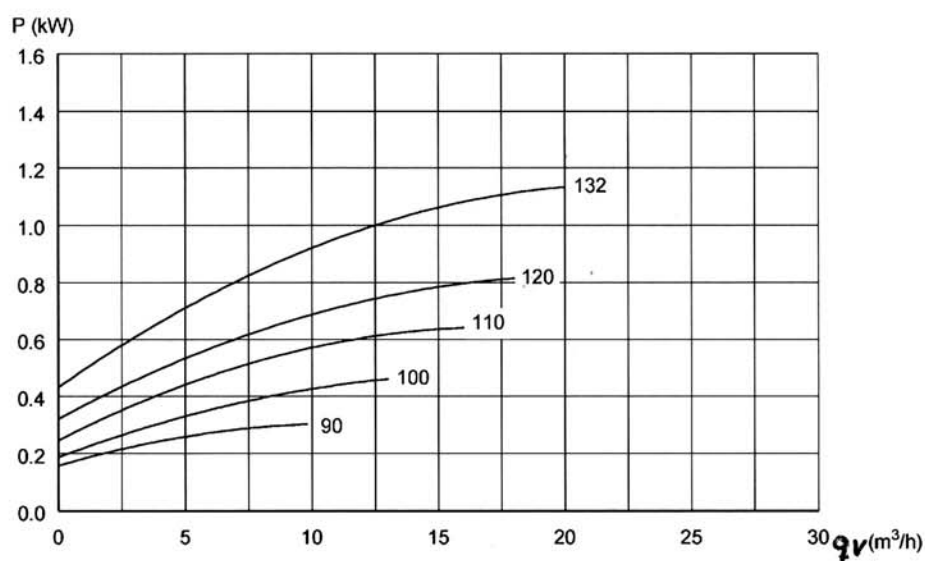
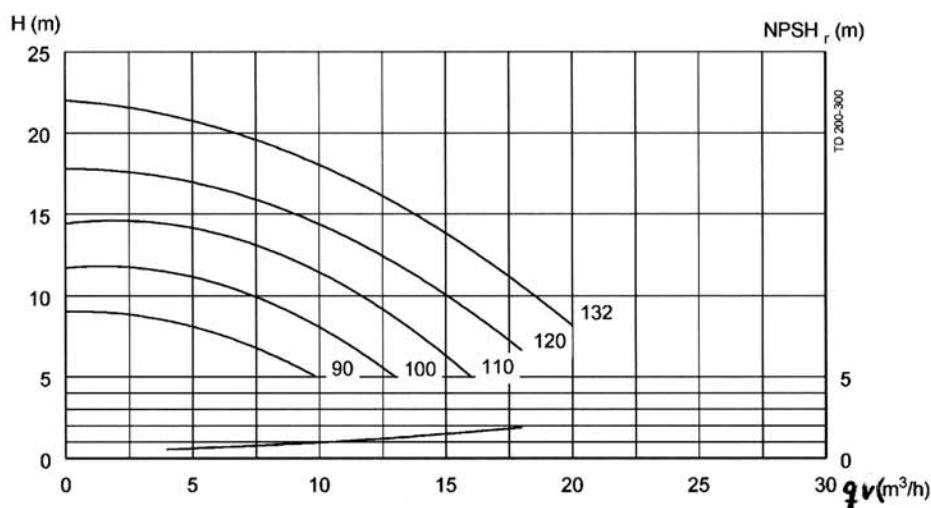
$$f = c / \lambda$$

Vedlegg 2: Flytskjema for treningsmeieri

Vedlegg 3: Pumpekarakteristikker.**LKH-5 og LKHP-5 pumpediagram****Alfa Laval****Sentrifugalpumper LKH**

Types: LKH-5/LKHP-5	Løpehjul: Max. dia.: 132 mm
Motor: 3000 o/m. synkr. 50 Hz	Min. dia.: 90 mm
Toleranse: ±5%	Pumpeinnløp: Dia.: 51 mm, DN 50
	Pumpeutløp: Dia.: 38 mm, DN 40
Kapasitetsdiagram for vann ved 20°C.	

NB! Diagrammene refererer til max motorstørrelse: 1.5 kW, 22870 o/m. asynkr., 50 Hz.
For mindre motor, reduser løftehøyden med: 3%.

HUSK Å BEREGNE SIKKERHETSMARGIN.

Vedlegg 4: log p-h diagram for ammoniakk.kand. nr.: