

## EKSAMENSOPPGAVE

Fag: IRB 34514 Energi og Miljø i Bygg

Lærere: Ole Kristian Førriald, Kjetil Gulbrandsen

Grupper: A3A	Dato: 14.12.2015 Sensurfrist: 13.1.2016	Tid: 0900 – 1200
Antall oppgavesider: 8	Antall vedleggsider: 5	
Hjelpemidler: Utdelt kalkulator og kontrollerte egne Norske Standarder – NS 3031 og NS 3701		
<b>KANDIDATEN MÅ SELV KONTROLLERE AT OPPGAVESETTET ER FULLSTENDIG</b>		

**Veiledende vektning:**

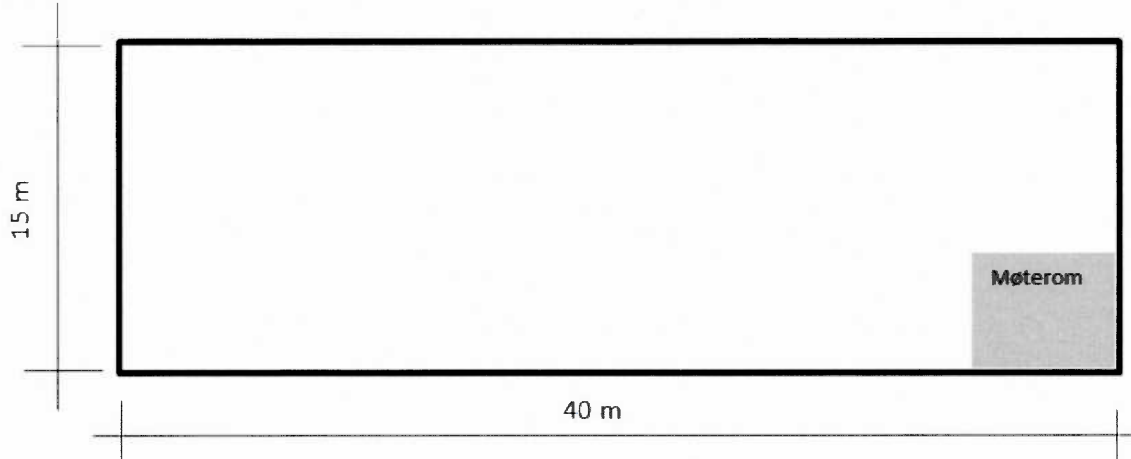
Samlet vektning, Energi og Miljø: 67 % (oppgaver merket kng)

Samlet vektning, Termodynamikk: 33 % (oppgaver merket okf)

Underdelingen i oppgavevis vektning er kun orienterende for å planlegge egen arbeidstid på eksamen.

**Dersom du mener det mangler opplysninger: Gjør nødvendige antagelser og begrunn dette i besvarelsen.**

### Oppgave 1: (16 %) (kng)



Figur 1

### Faktaramme: Opplysninger om bygget:

Figuren over viser en barnehage i Fredrikstad i 1 etasje, og med gulv på grunn. Opplysninger i denne ramme på figur 1 gjelder for ALLE «kng-merkede» oppgaver med mindre andre opplysninger er gitt i respektive oppgave.

1. Etasjehøyde (varm flate): 3m
2. Oppvarmet BRA: 15m x 40m - varme flater.
3. Energiambisjon:
  - a. «Passivhusnivå» etter krav gitt i NS 3701 Tabell 9. Eksempler på typiske U-verdier gitt i NS 3701, Tabell B.1.
  - b. Energimerke A
  - c. 9 poeng i BREEAM Ene 1
4. Graddagtall = 3 780 K · døgn
5. EMO krav til levert energi, klasse C: 145 kWh/m<sup>2</sup> pr. år.

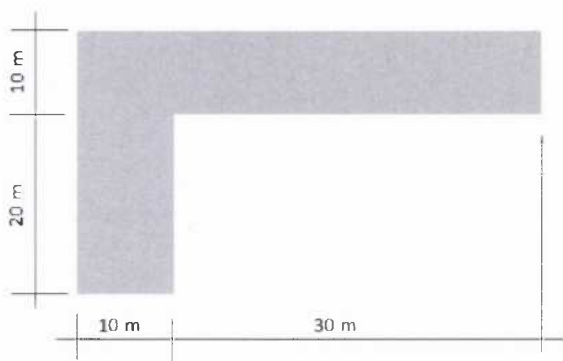
Barnehagen vist i Figur 1 er i skisseprosjektfasen. Det vil si at man vurderer ulike konsepter og alternativer innen mange tema som har konsekvenser for energi og miljø.

a) Gitt at:

- Gulvisolasjon: 200mm XPS kl. 35
- $\lambda_{\text{jord}} = 1,8 \text{ W/mK}$
- Tykkelse på ringmur = 200mm
- Total varmemotstand – overslagsberegning - antas å kun inkludere isolasjonens varmemotstand. Alle andre bidrag til gulvets varmemotstand ser du bort fra.

Med opprinnelig planlagt utforming – Figur 1 – er  $U_g = 0,117 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Finn U-verdi –  $U_g$  – for gulvet med utgangspunkt i endringsforslaget gitt under. Beregninger skal vises.

Vil du si at forskjell er så vesentlig at varmetap bør være avgjørende for utformingen av bygget? Begrunn svaret.



Figur 2

b) Hvordan ivaretas effekten av kantisolering i NS 3031? (Du skal IKKE regne i denne deloppgaven.)

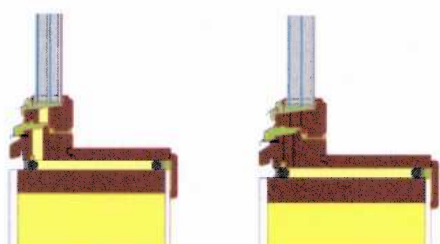
c) Heat og Prosjektrapport fra Byggforsk angir resultatet av kuldebro-beregninger som  $L^{2D}$  [W/K]. Hva angir  $L^{2D}$ ?

d) Tegn prinsippskisse som forklarer hvordan man kan bruke Heat til å beregne effekten av kantisolering. (Skissen(e) må vise elementene gulv, vegg, ringmur, kantisolasjon og jordvolum, samt adiabatisk snitt, og varme og kalde flater. Oppbygging av gulv og vegg er IKKE interessant i denne sammenhengen, og kan tegnes uten å angi oppbygging.)

## Oppgave 2: ( 13 %) (kng)

"Faktaramma" gjelder også for denne oppgaven.

- Prosjektet har ved energiberegninger valgt å benytte standardverdier for normalisert kuldebro fra NS 3031. Du har fått oppgaven med å kontrollere beregningene opp mot kravspesifikasjonen for bygget. Vil du godkjenne dette valget? Begrunn svaret.
- I forbindelse med kontroll av energiberegninger, har du estimert samlet varmetap fra kuldebroer til å være 30 W/K. Hvor mye må du senke kuldebroverdien på vinduene for å oppnå en normalisert kuldebroverdi - NKV - på 0,03 W/m<sup>2</sup>K når samlet vindusomkrets er 360m?
- Under er vist en tabell fra prosjektrapport 25 som viser at kuldebroverdien er større med isolert karm enn med uisolert karm. Forklar hva som er årsaken til dette.



Avstand fra utsiden av vindspeiren (gipeplate) til utvendig kant av vinduskarmen mm	Vindustype	
	Isolert	Ikke isolert
-42 (vinduet stikker ut)	0,042	0,035
0	0,012	0,007
35	0,008	0,003

Figur 40. Kuldebroverdi for trevindu med og uten isolert karm/ramme.

- Barnehagen har energisentral og ventilasjonsanlegg plassert i teknisk rom på taket. Arealet for teknisk rom er 150m<sup>2</sup>. Hvilke 2 alternativ løsninger kan prosjektet velge i forhold til hvordan man tar hensyn til teknisk rom ved beregning av netto energibehov etter TEK 10? Beskriv de 2 alternativene, og påpek spesielt forskjellen på disse 2 prinsippene. (Du skal IKKE regne i denne oppgaven).
- Finn 1 feil i denne uttalelsen fra møte i prosjekteringsgruppa: "Valget mellom fjernvarme og varmepumpe som energiforsyning, vil være helt avgjørende for hvor vanskelig det vil være å tilfredstille prosjektets energiambisjoner om 9 poeng i BREEM Ene 1, energimerke A og passivhusnivå.". Begrunn svaret.
- Hvilken av disse kravspesifikasjonene tar hensyn til hvor i landet bygget er ligger?
  - Energimerkeordningen
  - TEK 10
  - NS 3701
  - BREEAM Ene 1

## Oppgave 3: ( 12 %) (kng)

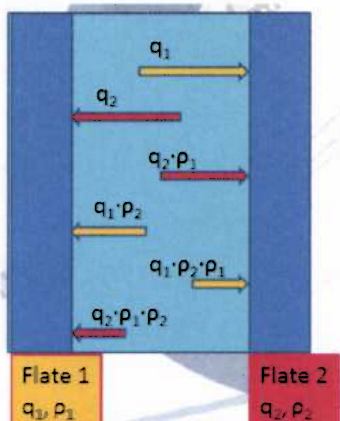
Ta utgangspunkt i Fouriers lov for varmetransmisjon, og utled følgende sentrale formel for temperaturfordeling over et konstruktivt element ved stasjonære forhold.

$$\Delta T_j = (T_i - T_e) \cdot \frac{R_j}{\sum R}$$

Indeksen «j» angir sjikt nr j i oppbygging av tverrsnittet, mens indeks «i» og «e» er henholdsvis utvendig innvendig og utvendig side.

### Oppgave 4: ( 13 %) (kng)

- a) Hva betyr det at et materiale har en emisjonsfaktor på 1,0?  
 b) Figuren under illustrerer strålingsutvekslingen mellom 2 flater.



Ligningen under angir resulterende varmeoverføring -  $q_{12} [W/m^2]$  - mellom de 2 flatene ved likevekt. Det vil si når den ene flaten avgir like mye netto strålingsenergi som den andre flaten mottar:

$$q_{12} = C_{12} \cdot \beta \cdot (\theta_1 - \theta_2)$$

Prosjektet har en 50mm innvendig utlekting uten isolering, og vurderer å bruke en dampsperre med en overflate som har egenskaper tilsvarende «aluminium – polert». (Se vedlegg.) Bruk formler og rammebetingelser gitt under, og bestem hvor stor reduksjon i varmemestrøm over hulrommet man vil få ved bruk av denne folien i stedet for standard dampsperre.

Vurdér resultatet av tiltaket i forhold til opprinnelig situasjon.

Rammebetingelser:

- Vanlig dampsperre – PE-folie – antas å ha emisjonsfaktor på 0,8.
- Motsatt side i spalten – mot varm side - antas å ha overflate av treverk.
- Middel-temperatur for flatene i spalten antas å være +20 grader
- Temperaturforskjell mellom de 2 flatene i hulrommet settes til 2 grader.
- Varmestrøm –  $q_{12}$  - for opprinnelig løsning er beregnet til 8,3 W/m<sup>2</sup>

$C_{12}$  - materialavhengig konstant – er gitt ved:

$$C_{12} = \frac{C_0}{\frac{1}{\epsilon_1} + \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1\right)}$$

$$C_0 = 5,672 \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

Og temperaturfaktoren  $\beta$  er gitt ved:

$$\beta = \frac{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{(\theta_1 - \theta_2)} \approx 4 \cdot 10^{-8} \cdot (T_m)^3$$

### Oppgave 5: ( 13 %) (kng)

"Faktaramma" gjelder også for denne oppgaven.

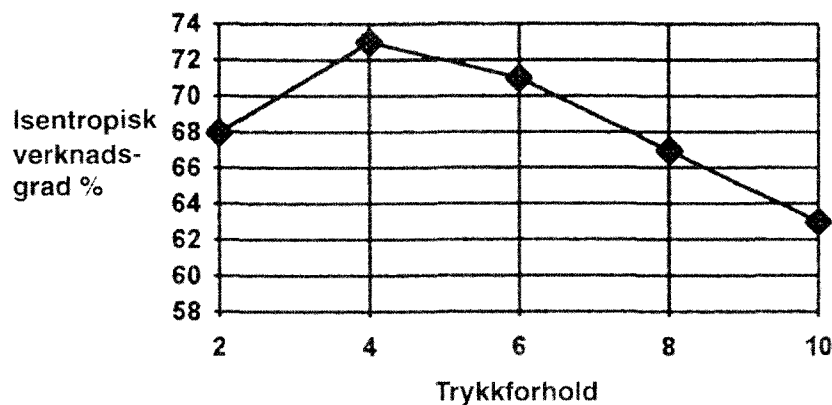
- a) Vil det være øst- eller vestsiden av bygget som vil være mest problematisk i forhold til overtemperatur i lokalene i driftstiden. Begrunn svaret.
- b) Barnehagen ønsker seg store glassflater mot øst, vest og sør. Hvilke anbefalinger vil du gjøre for valg av totalløsning for vinduer i forhold til utfordringer både sommer og vinter?
- c) Barnehagen har et møterom der de ønsker seg 2 vinduer på 2 x 2m ~~både~~ på yttervegg mot sør. De ansatte ønsker i utgangspunktet ikke automatisk solskjerming. Vis ved beregning hvor stor forskjell det vil være i solinnstrålingen [W] mellom automatisk og manuell skjerming for i juni. Bruk månedsstasjonære verdier fra NS 3031. Beregninger skal vises.
- d) Hvilke internlaste vil du legge til grunn for din temperatursimulering i møterommet denne juni-dagen?
- e) Ved en spørreundersøkelse blant de ansatte kartlegges pmv for møterommet. Barnehagen lurer på om den kartlagte verdien samsvarer med det kravet som er satt til termisk ppd for lokalet, men rådgiveren som har beregnet forventet ppd sier at han har ikke noe tallkrav for pmv. Hva sier du til dette?
- f) Barnehagen kontakter deg fordi de mener at termisk komfort i møterommet på vinterstid ikke er tilfredsstillende selv om innetemperatur er 21 grader. Hva vil du gjøre for å dokumentere hvorvidt det er grunnlag for en klage til entreprenøren?
- g) Hvor stort tillegg i luftmengde må til for å fjerne det ekstra varmetilskuddet i deloppgave c)? Anta at tilluften leveres med 18 grader, og at innetemperaturen holdes på 24 grader.

### Oppgave 6. (20 %) OKF

Gitt:  $\Delta H = Q - W$ ,  $COP_{R,rev} = T_L / (T_H - T_L)$ ,  $COP_{HP,rev} = T_H / (T_H - T_L)$

$COP_R = Q_L / W$ ,  $COP_{HP} = Q_H / W$ ,  $\eta_{isentropisk} = (H_{2s} - H_1) / (H_{2a} - H_1)$

Du har fått i oppdrag å prosjektere en varmepumpe som skal yte 100 kW. Kuldemediet skal være R-134a. Alle trykktap i varmepumpen kan i første omgang neglisjeres. Fordampertemperaturen skal ligge på  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  og kondensasjonstemperaturen på  $30\text{ }^\circ\text{C}$ . Kondensatoren avkjøles med vann som ved innløpet holder en temperatur på  $10\text{ }^\circ\text{C}$ . Kuldemediet kondenserer til mettet væske i kondensatoren. Kompressoren suger in lavtrykksdamp som er  $10\text{ }^\circ\text{C}$  overhettet. Den isentropiske virkningsgraden på kompressoren er gitt i figuren under der trykkforhold  $= p_{kondensator} / p_{fordamper}$ .



a) (2 %)

Beregn den reversible Carnot varmefaktoren for varmepumpen.

b) (2 %)

Finn trykkforholdet og den isentropiske virkningsgraden til kompressoren.

c) (3 %)

Tegn in prosessen i et pH-diagram (vedlegg X).

d) (2 %)

Beregn den spesifikke entalpidifferansen i kondensator.

e) (2 %)

Vis at massestrømmen til kuldemediet er omtrent 0,5 kg/s.

f) (2 %)

Vis effektforbruket til kompressoren er omtrent 22 kW.

g) (2 %)

Beregn effekt faktoren ( $COP_{HP}$ ) til varmepumpen.

i) (2 %)

Forklar meget kort begrepene isentalpisk, isentropisk og adiabatisk.

j) (3 %)

Hva skiller en ideell og en reell dampkomprimeringskjølesyklus?

### Oppgave 7 (13 %) OKF

$$\text{Gitt: } \dot{Q} = UA\Delta T, \quad \frac{1}{U} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{h_i} + \sum_{j=1}^M \frac{\Delta x_j}{k_j}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}, \quad \Delta \tilde{H} = \tilde{C}_p \Delta T, \quad \Delta H = Q - W,$$

En varmepumpe brukes til å varme vann fra 10 °C til 25 °C i en varmeveksler. Varmepumpen har en varmeeffekt på 100 kW. Kuldemediet i varmepumpen er R-134a. Driftstrykket til kondensatoren i varmepumpa er 0,8 MPa. Den spesifikke varmekapasiteten til vann er gitt lik 4,2 kJ/kg°C. Vannet strømmer gjennom et meget tynt sirkulært kobberør med diameter på 0,02 m, røret er så tynt at man kan se bort fra motstand mot varmetransport i selve kobberøret.

En R-134a tabell er vedlagt i vedlegg Y. Varmerovergangstallet på R-134a-siden er 4000 W/m<sup>2</sup>K og 1000 W/m<sup>2</sup>K på vann-siden i varmeveksleren.

**a) (2 %)**

Beregn massestrømmen til vannet som blir varmet opp.

**b) (2 %)**

Anta at all varmeoverføring skjer i den delen av varmeveksleren der det skjer en kondensering av kjølemediet.

Skisser temperaturprofilen for varmeveksleren. Alle temperaturer skal føres på figuren.

**c) (3 %)**

Beregn varmegjennomgangstallet i W/m<sup>2</sup>K. Spesifiser eventuelle antagelser.

**d) (3 %)**

Hvor langt må kobberøret være?

**e) (3 %)**

I spørsmål b) ble det gjort en antagelse i oppgaveteksten. Diskuter korektheten av denne antagelsen.



## Vedlegg Oppgave 4:

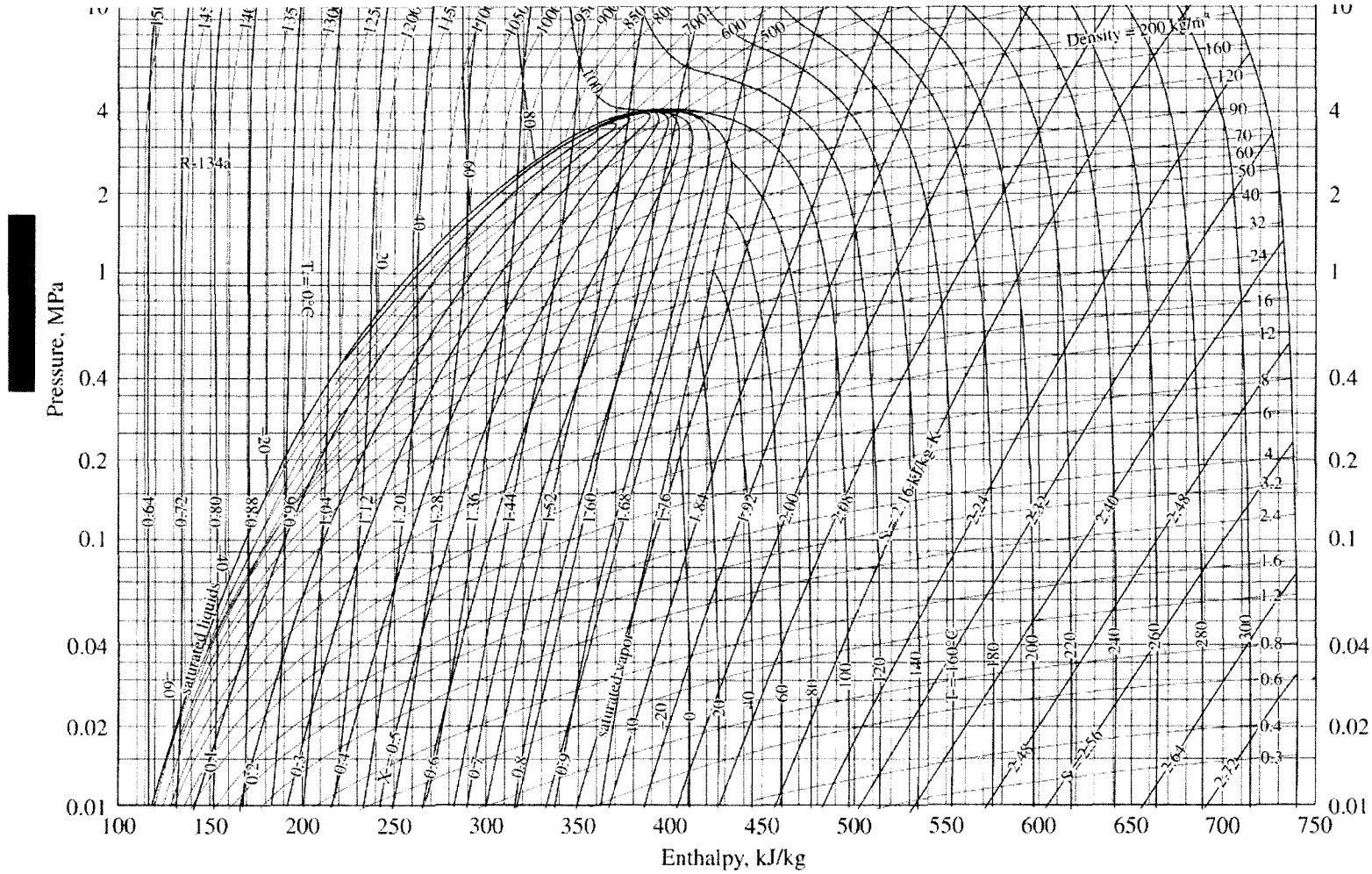
Tabell 4.2.2

Emisjons- og absorpsjonsfaktor for ulike materialer ved solstråling (kortbølget stråling) og varmestråling (bølgelengde = 10  $\mu\text{m}$ )

Overflate	Absorpsjonsfaktor/emisjonsfaktor	
	Solstråling	Termisk stråling
Gull, polert		0,02
Aluminium, polert		0,05
Stål, varmforsinket		0,25
Nysnø	0,15	
Glass, 4 mm, vanlig	0,01–0,03	0,84
Tegl	0,70	0,90
Tre	0,70	0,90
Asfalttakbelegg	0,90	0,90
Lys grå takfolie	0,40	
Oljemaling, hvit og blank	0,30	0,90
Oljemaling, gul	0,50	0,90
Oljemaling, rød	0,65	0,90
Absolutt svart legeme (referanse)	1,00	1,00

# Vedlegg X

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



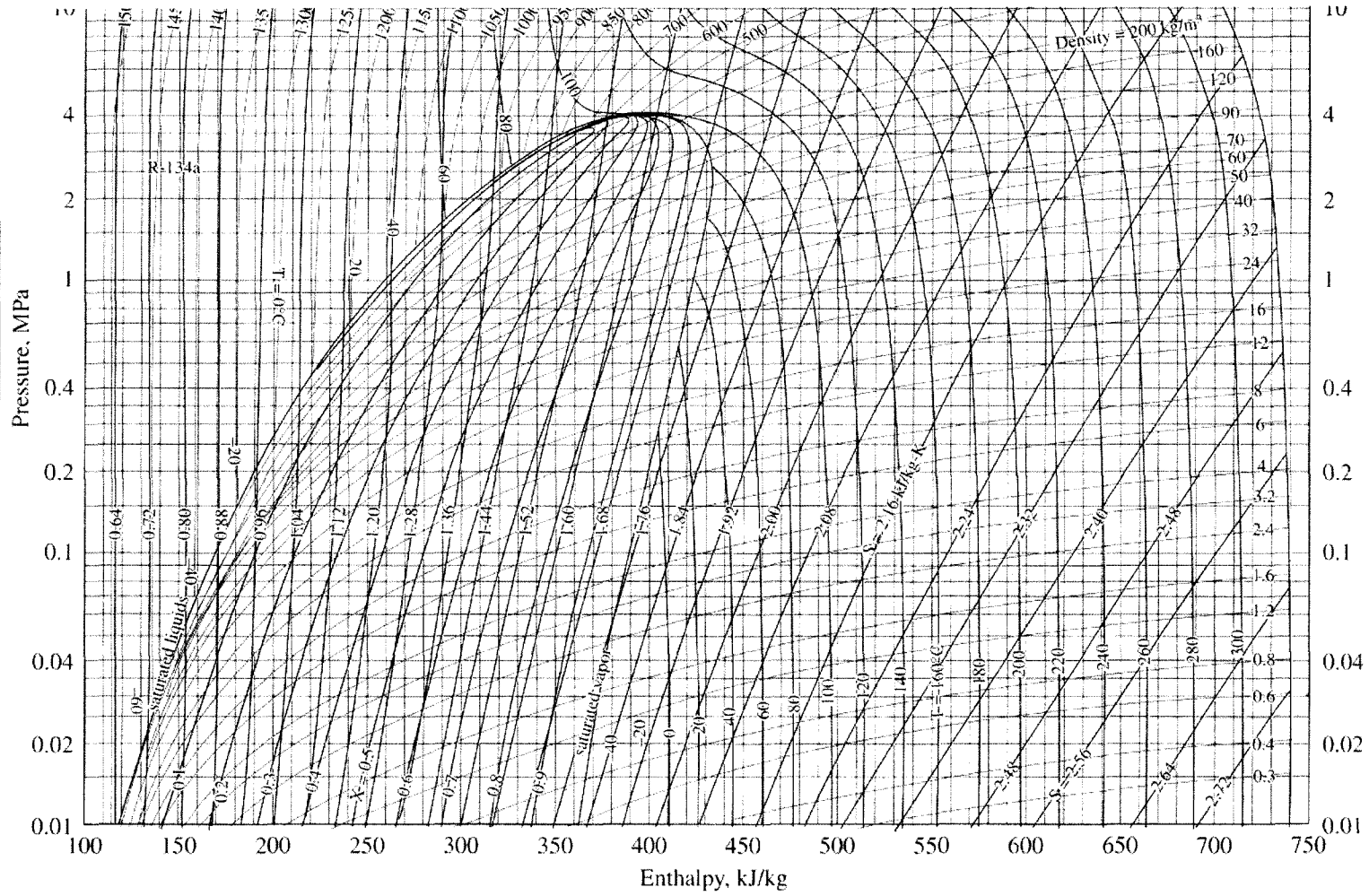
Note: The reference point used for the chart is different than that used in the R-134a tables. Therefore, problems should be solved using all property data either from the tables or from the chart, but not from both.

**FIGURE A-14**

P-h diagram for refrigerant-134a. (Reprinted by permission of American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA.)

# Vedlegg X

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



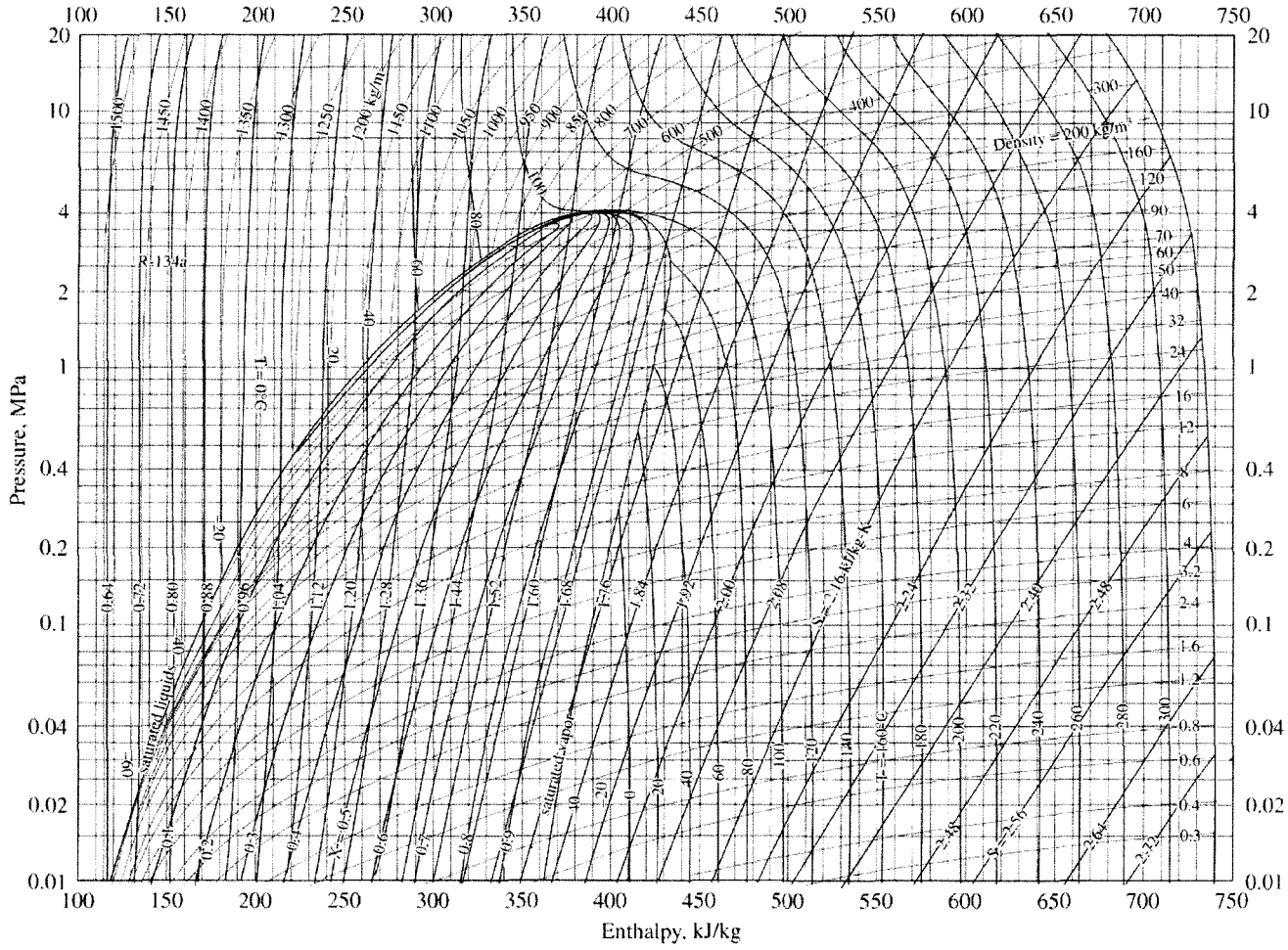
Note: The reference point used for the chart is different than that used in the R-134a tables. Therefore, problems should be solved using all property data either from the tables or from the chart, but not from both.

**FIGURE A-14**

P-h diagram for refrigerant-134a. (Reprinted by permission of American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA.)

# Vedlegg X

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



Note: The reference point used for the chart is different than that used in the R-134a tables. Therefore, problems should be solved using all property data either from the tables or from the chart, but not from both.

**FIGURE A-14**

P-h diagram for refrigerant-134a. (Reprinted by permission of American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA.)

## Vedlegg Y

**TABLE A-12**

Saturated refrigerant-134a—Pressure table

Press., P MPa	Temp., $T_{sat}$ °C	Specific Volume, $m^3/kg$		Internal Energy, kJ/kg		Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K	
		Sat. liquid, $v_f$	Sat. vapor, $v_g$	Sat. liquid, $u_f$	Sat. vapor, $u_g$	Sat. liquid, $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Sat. vapor, $h_g$	Sat. liquid, $s_f$	Sat. vapor, $s_g$
0.06	-37.07	0.0007097	0.3100	3.41	206.12	3.46	221.27	224.72	0.0147	0.9520
0.08	-31.21	0.0007184	0.2366	10.41	209.46	10.47	217.92	228.39	0.0440	0.9447
0.10	-26.43	0.0007258	0.1917	16.22	212.18	16.29	215.06	231.35	0.0678	0.9395
0.12	-22.36	0.0007323	0.1614	21.23	214.50	21.32	212.54	233.86	0.0879	0.9354
0.14	-18.80	0.0007381	0.1395	25.66	216.52	25.77	210.27	236.04	0.1055	0.9322
0.16	-15.62	0.0007435	0.1229	29.66	218.32	29.78	208.18	237.97	0.1211	0.9295
0.18	-12.73	0.0007485	0.1098	33.31	219.94	33.45	206.26	239.71	0.1352	0.9273
0.20	-10.09	0.0007532	0.0993	36.69	221.43	36.84	204.46	241.30	0.1481	0.9253
0.24	-5.37	0.0007618	0.0834	42.77	224.07	42.95	201.14	244.09	0.1710	0.9222
0.28	-1.23	0.0007697	0.0719	48.18	226.38	48.39	198.13	246.52	0.1911	0.9197
0.32	2.48	0.0007770	0.0632	53.06	228.43	53.31	195.35	248.66	0.2089	0.9177
0.36	5.84	0.0007839	0.0564	57.54	230.28	57.82	192.76	250.58	0.2251	0.9160
0.4	8.93	0.0007904	0.0509	61.69	231.97	62.00	190.32	252.32	0.2399	0.9145
0.5	15.74	0.0008056	0.0409	70.93	235.64	71.33	184.74	256.07	0.2723	0.9117
0.6	21.58	0.0008196	0.0341	78.99	238.74	79.48	179.71	259.19	0.2999	0.9097
0.7	26.72	0.0008328	0.0292	86.19	241.42	86.78	175.07	261.85	0.3242	0.9080
0.8	31.33	0.0008454	0.0255	92.75	243.78	93.42	170.73	264.15	0.3459	0.9066
0.9	35.53	0.0008576	0.0226	98.79	245.88	99.56	166.62	266.18	0.3656	0.9054
1.0	39.39	0.0008695	0.0202	104.42	247.77	105.29	162.68	267.97	0.3838	0.9043
1.2	46.32	0.0008928	0.0166	114.69	251.03	115.76	155.23	270.99	0.4164	0.9023
1.4	52.43	0.0009159	0.0140	123.98	253.74	125.26	148.14	273.40	0.4453	0.9003
1.6	57.92	0.0009392	0.0121	132.52	256.00	134.02	141.31	275.33	0.4714	0.8982
1.8	62.91	0.0009631	0.0105	140.49	257.88	142.22	134.60	276.83	0.4954	0.8959
2.0	67.49	0.0009878	0.0093	148.02	259.41	149.99	127.95	277.94	0.5178	0.8934
2.5	77.59	0.0010562	0.0069	165.48	261.84	168.12	111.06	279.17	0.5687	0.8854
3.0	86.22	0.0011416	0.0053	181.88	262.16	185.30	92.71	278.01	0.6156	0.8735