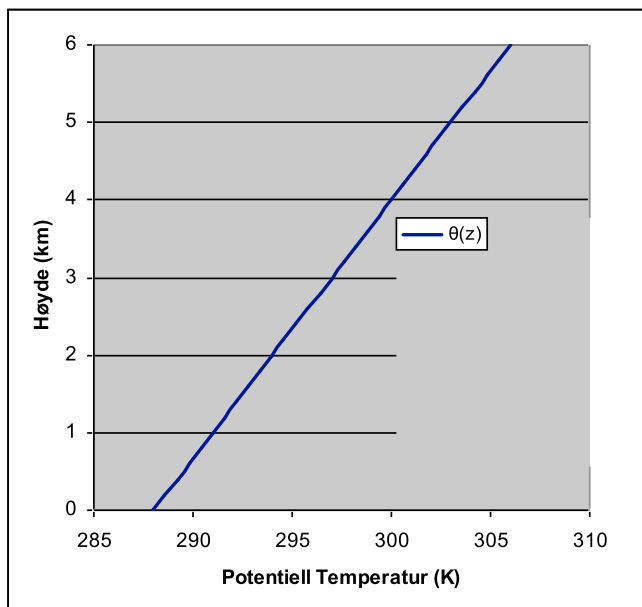


## Eksamen GEF2200



Figur 1. Skisse over initialprofilen av  $\theta(z)$  før grenselagsblanding

### Oppgave 1.

- Anta at potensiell temperatur ( $\theta(z)$ ) er som gitt på figur 1 ( $d\theta/dz = 3$  K/km) fra bakken og oppover. Anta at det begynner å blåse en vind slik at det dannes mekanisk turbulens pga. friksjon ved bakken. Forklar hvordan det dannes et grenselag (anta at toppen av dette laget ligger i 2 km høyde). Tegn inn et nytt profil for  $\theta(z)$  etter at grenselaget er dannet.
- Forklar hva vi mener med størrelsen turbulent kinetisk energi (TKE). Hvilke prosesser bidrar til dannelse og tap av TKE?
- Før blandingen var spesifikk fuktighet,  $q$  (g/kg), konstant under 2 km, og det var skyfritt. Etter dannelsen av grenselaget dannes det skyer i toppen av grenselaget. Forklar hvorfor det dannes skyer. Oppgi ut fra avlesning på sondediagrammet intervallet for mulig spesifikk fuktighet før blandingen.

*Løsning: Etter blandingen blir  $\theta$  konstant i blandingslaget.  $\theta$  blir her ca. 291 K. Før blanding er temperaturen i 2 km høyde ca.  $+2^\circ\text{C}$ , dvs. at spesifikk fuktighet må være mindre enn ca 5 g/kg, ellers vil det være overmetning og skyer. For at det skal kunne dannes skyer etter blanding må vi da ha overmetning. Temp. i toppen av blandingslaget er da ca.  $-3^\circ\text{C}$  (ser bort fra frigjøring av latent varme). Overmetning krever at  $q > 4$  g/kg. Intervallet er da mellom 4 og 5 g/kg.*

- d. Fra observasjoner av vertikalbevegelse, temperatur og spesifikk fuktighet har vi en tidsserie gitt i tabell 1. For  $w$  og  $q$  er det avviket fra middelet som er gitt, mens for  $T$  er det temperaturen selv som er gitt. Beregn de turbulente vertikale fluksene av følbare og latent varme.

$w'$ (m/s)	-0.6	0.4	0.8	-0.3	0.3	-0.5	0.3	0.7	-0.5
$T$ (K)	288	288.4	288.6	287.5	287.3	288.6	289	288.4	288
$q'$ (g/kg)	-0.05	0.04	0.14	-0.18	0.15	-0.06	-0.5	-0.09	-0.08

Løsning:

Må først beregne temperaturavvikene  $T'$  og deretter gjøre en Reynoldsmidling for å finne  $\overline{w'T'}$  og  $\overline{w'q'}$ .

$$\overline{w'T'} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 w'_i T'_i \quad \text{og tilsvarende for } \overline{w'q'}$$

Den vertikale turbulente fluksen av følbare varme (likning 9.9 i W&H) er gitt ved

$$Q_{SH} = \rho \times c_p \times \overline{w'T'}$$

Setter inn og finner  $Q_{SH}=99 \text{ Wm}^{-2}$

Fluksen av latent varme er gitt ved

$$Q_{LH} = \rho \times L_v \times \overline{w'q'}$$

Setter inn og finner  $Q_{LH}=125 \text{ Wm}^{-2}$

I oppgaven over trenger du:

$$c_p = 1004 \text{ J/(K*kg)}$$

Spesifikk varmekapasitet for luft ved konstant trykk

$$\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$$

Tettheten til luft.

$$L_v = 2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}$$

Spesifikk fordampningsvarme for vann

## Oppgave 2

Figur 2. Skisse av atmosfærelaget og relevante strålingsflukser for bruk i oppgave 2.

Temperaturen i atmosfærelaget er  $T=T_a$ .  $T_a$  er initialt 260K.

- a. Anta de eneste energifluksene som påvirker atmosfærelaget mellom  $z_1$  og  $z_2$  er absorpsjon av langbølget stråling fra bakken ( $F_s \uparrow$ ) og utsendelse av langbølget stråling fra laget selv. Vis at temperaturendringen i atmosfærelaget blir  $-0.46$  K/h.

Løsning: Netto energitap pga. stråling  $\left[ -\frac{dF}{dz} \right]$  er  $-38.4 \text{ Wm}^{-2}$

Oppvarmingsraten er gitt ved likning 4.52 i W&H

$$\rho \times c_p \times \frac{dT}{dt} = -\frac{dF}{dz} \quad \text{Løser mhp. } \frac{dT}{dt} \quad \text{og finner} \quad \frac{dT}{dt} = -0.46 \text{ K/h}$$

- b. Dersom bakketemperaturer er konstant, hvordan vil temperaturendringen endre seg med tiden. Begrunn svaret.
- c. Videre i oppgaven skal vi anta at temperaturendringen i laget konstant lik  $-0.46$  K/h som vi fant i oppgave a, selv om den i virkeligheten vil endre seg med tiden. Med denne antagelsen, hvor lang tid går det før vi får overmetning og hva er temperaturen i atmosfærelaget da.

Løsning: Fra sondediagrammet finner vi at metningsblandingsforholdet ved  $T_a=260\text{K}$  er ca.  $2.2$  g/kg, dvs. luften er i utgangspunktet undermettet. Ved  $p=600\text{hPa}$  finner vi fra sondediagrammet at for  $w=1.5$  g/kg vil metning finne sted ved  $T_a=255\text{K}$  ( $-18^\circ\text{C}$ ), som er duggpunktstemperaturen. Med avkjølingsrate på  $-0.46\text{K/h}$  tar det  $5/0.46=10.9$  timer til metning inntreffer.

- d. Likningen under beskriver en viktig sammenheng i skyfysikken, forklar hva likningen beskriver.

$$\frac{e'}{e_s} = \left[ \exp \frac{2\sigma'}{n'kTr} \right] \left[ 1 + \frac{imM_w}{M_s \left( \frac{4}{3} \pi r^3 \rho' - m \right)} \right]$$

- e. Vi antar at vi i luften har fuktige aerosoler som hver inneholder  $1.0\text{E}-19\text{kg}$  ( $\text{NH}_4$ )<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Konsentrasjonen ( $n_p$ ) av disse partiklene er  $10^6$  pr. liter luft. Forklar ut fra figur 3 hvor stor overmetningen må være for at disse aerosolene skal aktiveres til skydråper. Hvor stor vil radiusen til dråpene være 10 timer etter aktiveringen?

Løsning: 10 timer etter aktiveringen er temperaturen i laget  $T_a=255-0.46*10=250.4\text{K}$  ( $-22.7^\circ\text{C}$ ) Ved denne temperaturen er  $w_s$  ca.  $1.1\text{g/kg}$  (fra sondediagrammet).

Masse vann pr.  $\text{m}^3$  luft som har kondensert blir da  $0.4$  g/kg.

Multipliserer med tettheten til luften for å få masse vann pr.  $m^3$  luft ( $\rho_{LW}$ ).  
 $\rho_{LW} = 0.4 \text{ g/kg} * 0.6 \text{ kg/m}^3 = 0.24 \text{ g/m}^3$

Volumet av vann i dråpene pr.  $m^3$  ( $V_{LW}$ ) er gitt ved

$$V_{LW} = n_p \times 1000 \times \frac{4}{3} \pi r^3$$

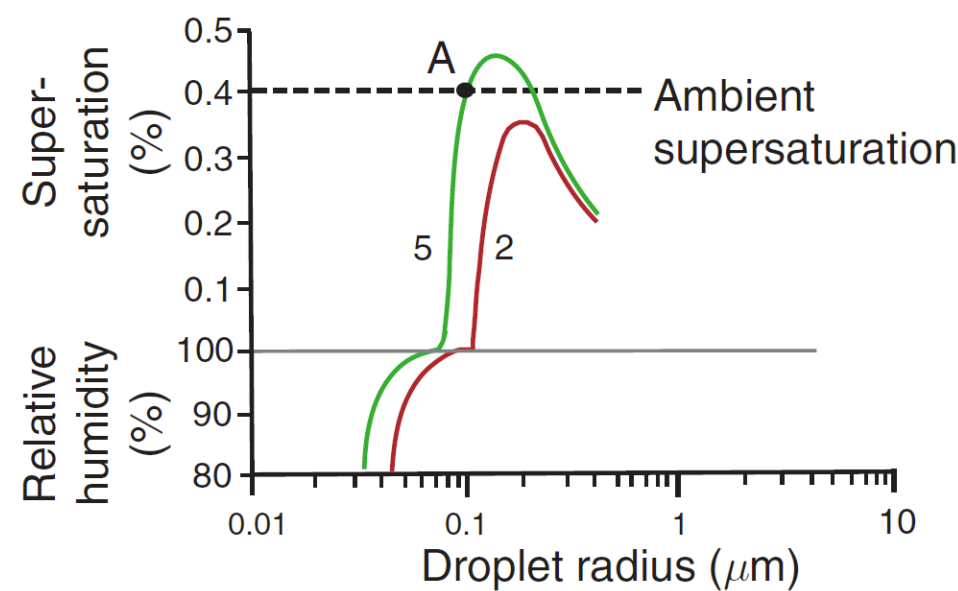
Bruker tettheten av vann  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$

Får da en likning som kan løses mhp. dråperadius  $r$ .

$$n_p \times \frac{4}{3} \pi r^3 \times 1000 \times \rho_w = 0.24 \text{ g/m}^3$$

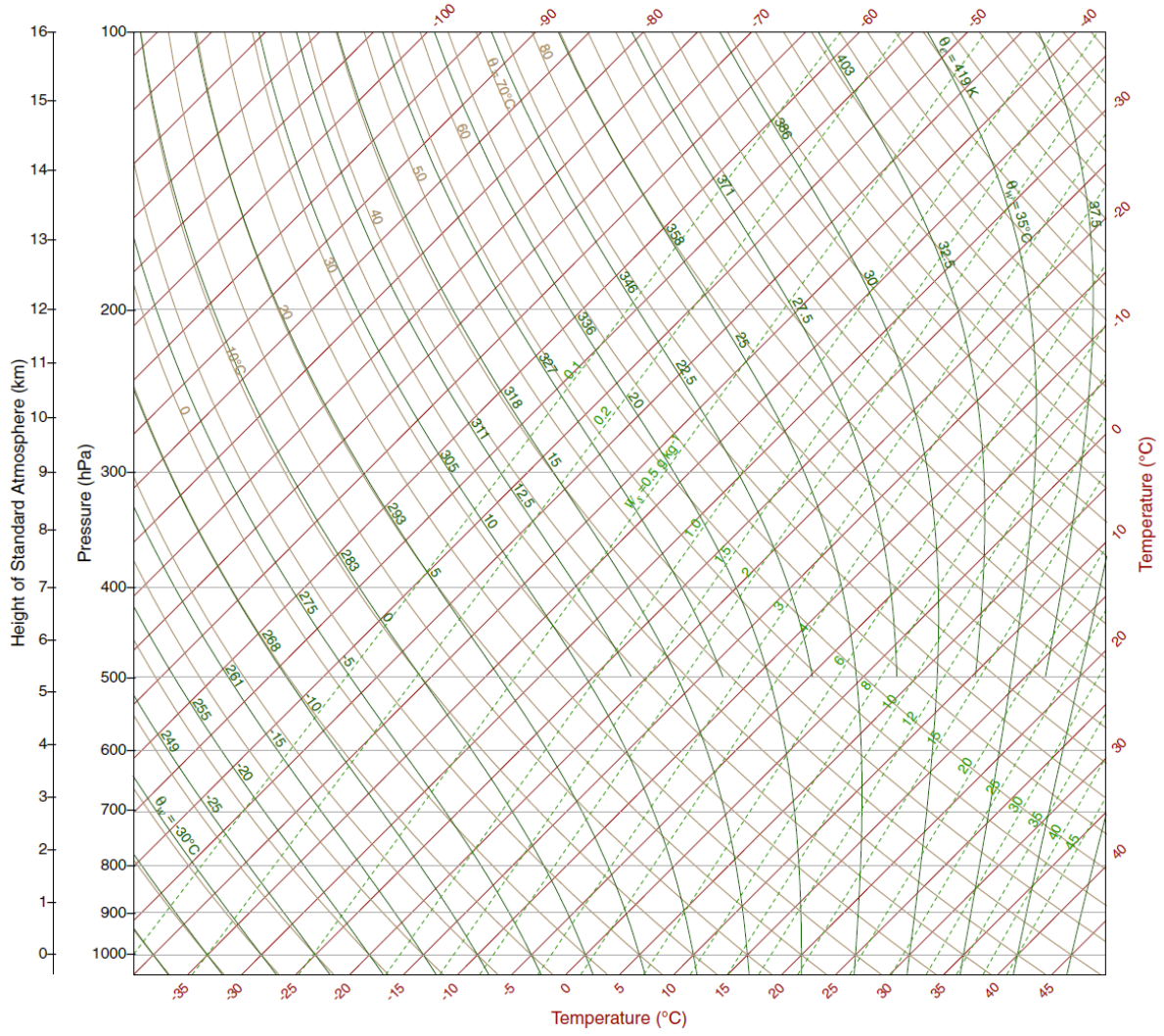
$$\Rightarrow r = 38.6 \mu\text{m}$$

- f. For at det skal dannes nedbør effektivt er det vanligvis nødvendig at det først dannes ispartikler. Forklar hvordan denne mekanismen virker.



Figur 3. Köhler-kurver for fuktige aerosoler som inneholder hhv.  $1.0\text{E-}19\text{kg}$   $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (rød kurve merket 2) og  $1.0\text{E-}19\text{kg}$   $\text{NaCl}$  (grønn kurve merket 5).

# Skew T - ln p Chart



Courtesy of Jennifer Adams, COLA