

# UNIVERSITETET I OSLO

## Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

**Eksamen i: GEF1100**

**Eksamensdag: 10. desember 2015**

**Tid for eksamen: 09:00-13:00**

**Oppgavesettet er på sider 7**

**Vedlegg: Ingen**

**Tillatte hjelpemidler: Kalkulator, Fysiske størrelser og enheter og Karl Rottmans matematiske formelsamling**

*Kontroller at oppgavesettet er komplett før du begynner å besvare spørsmålene.*

Poengberegning for flervalgsoppgavene (oppgave 1-10)

Pluss 2 poeng for hvert korrekt svar, minus 1 for hvert feil svar.

NB! For noen av oppgavene er det flere korrekte svar.

Løsningsforslag Flervalg: Riktig svar er gitt i **fete typer (Bold)**

### Oppgave 1

Drivhuseffekten skyldes:

- a) Drivhusgasser i nedre atmosfære som absorberer solstråling
- b) Drivhusgasser i nedre atmosfære som absorberer stråling fra Jordas overflate**
- c) For mye varme i atmosfæren
- d) For mye solstråling som treffer Jordas overflate
- e) Transport av varme og fuktighet i fra tropene til midlere breddegrader i Hadleycellen

### Oppgave 2a.

Hvilken av disse drivhusgassene er det mest av (størst total masse) i atmosfæren?

- a) Karbondioksid ( $\text{CO}_2$ )
- b) Metan ( $\text{CH}_4$ )
- c) Lystgass ( $\text{N}_2\text{O}$ )
- d) Vanndamp ( $\text{H}_2\text{O}$ )**

### Oppgave 2b.

Hvilken av disse drivhusgassene er det nest mest av (i total masse) i atmosfæren?

- a) Karbondioksid ( $\text{CO}_2$ )**

- b) Metan (CH<sub>4</sub>)
- c) Lystgass (N<sub>2</sub>O)
- d) Vanndamp (H<sub>2</sub>O)

### Oppgave 2c.

Hvilken av disse gassene har sterkest oppvarmende effekt pr. kg i atmosfæren.

- a) Karbondioksid (CO<sub>2</sub>)
- b) Metan (CH<sub>4</sub>)
- c) Lystgass (N<sub>2</sub>O)
- d) **Svovelhexafluorid (SF<sub>6</sub>)**

### Oppgave 3

Anta at vi slipper ut 100 kg CO<sub>2</sub> fra fossilt brennstoff ved tiden t=0. I alternativene under er det oppgitt kombinasjoner av gjenværende ekstra mengde CO<sub>2</sub> i atmosfæren (X i kg) etter Y (år etter utslippet). Identifiser hvilke som er korrekte.

Alternativ	Tid etter utslipp (år)	Gjenværende ekstra mengde CO <sub>2</sub> (kg)
<b>A</b>	<b>10</b>	<b>70</b>
B	5	30
C	100	80
<b>D</b>	<b>5000</b>	<b>15</b>
E	500	2
F	40	30
<b>G</b>	<b>40</b>	<b>50</b>

### Oppgave 4

Transporten av energi nordover i tropene er dominert av:

- a. Atmosfæren
- b. **Havet**
- c. Langbølget stråling fra drivhusgasser
- d. Kryosfæren

### Oppgave 5

Fullfør setningen: Netto eksport av spinn (angulært momentum) ut av tropene er balansert av en økning i spinn gjennom...”

- a. lavtrykk/høytrykk (virvler) på midlere breddegrader
- b. **en svekking av østavinder ved overflaten (i Hadley cellen)**
- c. den subtropiske jetstrømmen
- d. dyp konveksjon i tropene
- e. en reduksjon i utgående langbølget stråling pga. kalde skytopper.

## Oppgave 6

Fullfør setningen: ”Transporten nordover av vestlig spinn (angulært moment) på midlere breddegrader ....”

- a. blir balansert av tapet av spinn fra atmosfæren til overflaten pga. av friksjon
- b. blir påvirket av ”banan-formede” virvler (eddies)
- c. fører til forskyvning av vestavind fra lave til midlere breddegrader
- d. fører til kraftig nedbør

## Oppgave 7

Hvilken vindbalanse beskriver best den sonale vinden i den frie troposfæren?

- a. Gradient vind.
- b. **Geostrofisk vind**
- c. Syklostrofisk vind.
- d. Overflatevind.

## Oppgave 8

Hvorfor har vi en sirkulasjon i troposfæren med tre celler på hver halvkule på Jorda?

- a. Fordi Jorda roterer
- b. På grunn av solinnstrålingen.
- c. På grunn av variasjoner i Jordas bane rundt Sola
- d. **På grunn av solinnstrålingen kombinert med at Jorda roterer.**

## Oppgave 9

Hva er en okklusjon?

- a. En kaldfront nært lavtrykkssenteret.
- b. **En kombinasjon av en kald- og en varmfront.**
- c. Tykt skydekke som stenger for innkommende solstråling
- d. En varmfront som beveger seg foran en kaldfront.
- e. Brytende gravitasjonsbølger i stratosfæren

## Oppgave 10

Hvor er det slik at den aksesymmetriske modellen for den generelle sirkulasjonen i atmosfæren ikke gir en god beskrivelse?

- a. Ved Nordpolen.
- b. Ved Sydpolen.
- c. Ved Ekvator.
- d. **På midlere breddegrader.**

## Oppgave 11

Ulike naturlige og antropogene (menneskeskapte) kilder fører til utslipp av CO<sub>2</sub> fra Jordas overflate til atmosfæren. Ranger de ulike kildene etter størrelse (størst til minst)

- a. Utveksling med havet
- b. Forbrenning av fossilt brensel
- c. Produksjon av sement
- d. Respirasjon og råtning fra vegetasjon på land
- e. Avskoging
- f. Utslipp fra vulkaner

**LF:**

<b>D</b>	Respirasjon og råtning fra vegetasjon på land (ca 120 Pg(C)/år)
<b>A</b>	Utteksling med havet (ca 78 Pg(C)/år)
<b>B</b>	Forbrenning av fossilt brensel (ca 9 Pg(C)/år)
<b>E</b>	Avskoging (ca 1 Pg(C)/år)
<b>C</b>	Produksjon av sement (ca 0.5 Pg(C)/år)
<b>F</b>	Utslipp fra vulkaner (ca 0.1 Pg(C)/år)
	Kilde: IPCC, 2013 1Pg = 1 milliard tonn (10 <sup>15</sup> g)

**Bedømming: 0-10**

**4: D eller A som størst**

**2: B som nr. 2 eller 3**

**2: E,C,F som de 3 minste**

**2: Alt riktig**

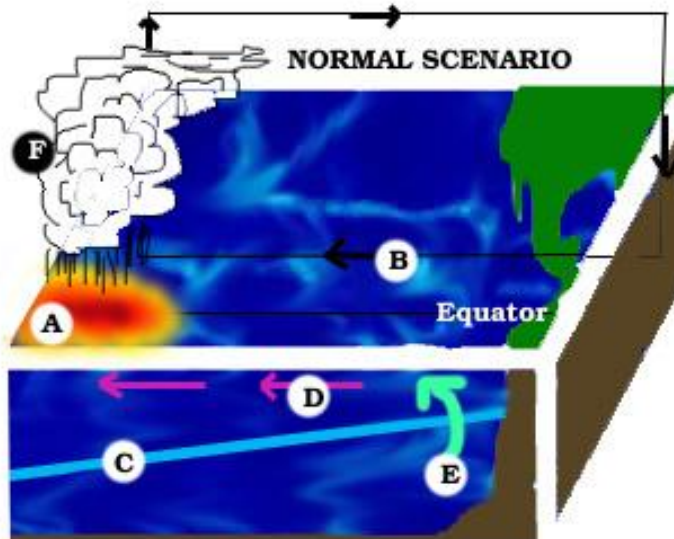
## Oppgave 12

Gi en definisjon av Global Warming Potential (GWP).  
Hva brukes GWP til?

LF: GWP allow comparisons of the global warming impacts of different gases. It is a measure of how much energy the emissions of one ton of a gas will absorb over a given period of time, relative to the emissions of one ton of carbon dioxide. Using the GWP allows for legal trading of emissions of different gases in international agreements.

## Oppgave 13

Figur 1 under viser ulike fenomen/prosesser i havet og atmosfæren i Stillehavsområdet. Forklar helt kort hvordan hvert av fenomenene/prosessen (A-F) vil endres under El Niño.



- A. område med varmt overflatevann
- B. den normale sirkulasjonen i atmosfæren
- C. termoklinen.
- D. en havstrøm
- E. oppvelling av dypvann
- F. konveksjon

LF:

Under en El Nino vil:

A: Området med varmt vann vest i Stillehavet vil førskyves mot øst langs Ekvator

B: Den normale sirkulasjonen i atmosfæren med dominerende østlige passatvinder langs Ekvator og dyp konveksjon og oppstigende luft over øyene vest i Stillehavet vil svekkes (men ikke stoppe opp)

C: Termoklinen (Skille mellom varmt godt blandet overflatevann og kaldere dypvann) heller vanligvis mot vest (dypere termoklin i vest). Fordi sirkulasjonen i i atmosfæren og havet (se pkt D og E) svekkes termoklinen dypere i øst og hellingen mot vest blir mindre.

D: Havstrømmene langs Ekvator drives i stor grad av passatvindene. Når diss svekkes vil også havstrømmene svekkes.

E: Oppvellingen av vann langs vestkysten av Sør-Amerika svekkes under en El Nino. Lngs Sør-Amerika har vi en kald havstrøm mot nord. Oppvellingen skyldes ekmanstransport av vann mot vest, som erstattes av vann fra dypere lag : oppvelling.

#### Oppgave 14

Beregn den totale massen til atmosfæren på Venus, gitt følgende data for Venus:

Radius=6052 km, Tyngdens akselerasjon=8.87 m/s<sup>2</sup>, atmosfærisk trykk ved overflaten = 9.3•10<sup>6</sup> Pa, overflatetemperatur=470°C.

LF:

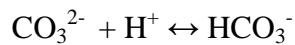
Here we use the hydrostatic relation to get the column density; then multiply by the surface area of the planet.

$$M = 4\pi R^2 \left(\frac{P}{g}\right) = 4\pi(6052000)^2 \left(\frac{9300000}{8.87}\right) = 482.6 \times 10^{18} \text{kg}$$

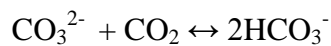
### Oppgave 15

Forklar kort hvorfor forvitring av  $\text{CaCO}_3$  (kalsium karbonat) i sedimenter vil føre til økt opptak av  $\text{CO}_2$  fra atmosfæren til havet.

LF: Ved forvitring av  $\text{CaCO}_3$  tilføres karbonationer ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) til havet. Likevekten mellom karbonat og bikarbonat forskyves i retning bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) og pH øker:



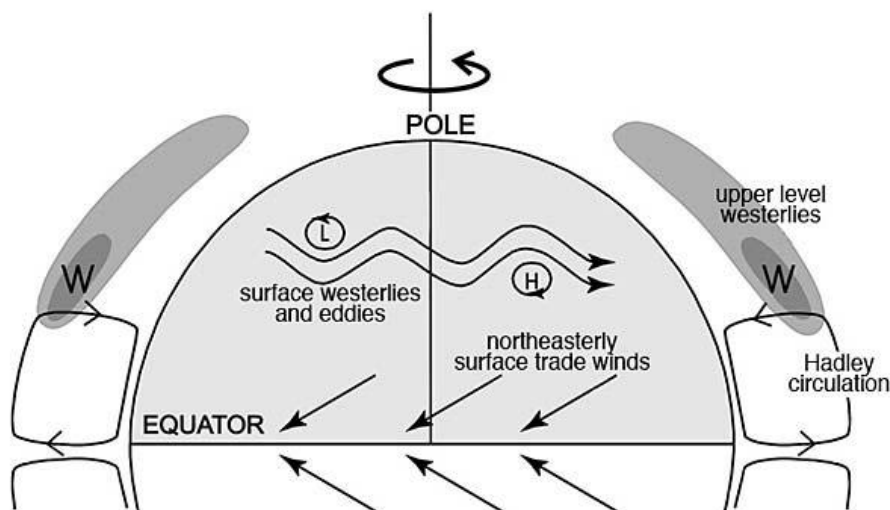
Det gjør at mer  $\text{CO}_2$  fra atmosfæren kan løses i havet. Dette kan uttrykkes ved bufferlikningen:

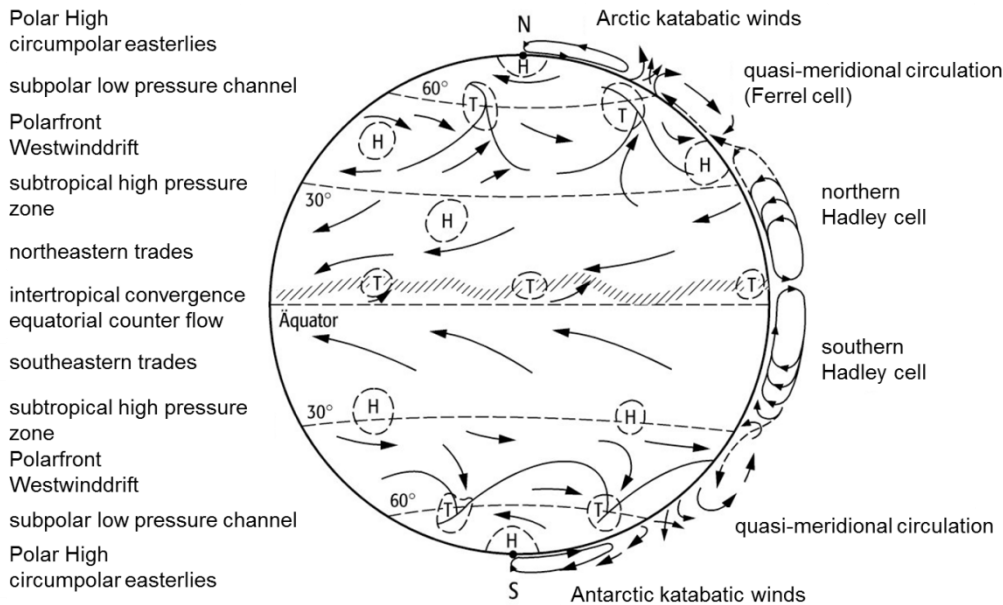


### Oppgave 16

Beskriv kort og tegn en skisse av atmosfærens generelle sirkulasjon, inkludert de viktigste værssystemene.

LF:





### Oppgave 17

Vi ser på et område hvor overflaten av havet er forhøyet. Regionen er sirkulær, med en diameter på 100 km, og har en høyde på 5 cm i sentrum av forhøyningen.

Anslå geostrofisk hastighet forbundet med denne forhøyningen. Spesifiserer hastigheten og retningen av strømmen.

Anta at vi er på den nordlige halvkulen, og at  $f = 10^{(-4)} \text{sec}^{(-1)}$

Solution:

The flow is clockwise around the feature, with a magnitude of :

$$v = \frac{g}{f} \frac{dn}{dx} = \frac{10}{10^{(-4)}} \frac{-0.05}{5 \times 10^{(4)}} = -0.1 \text{ m/sec}$$

### Oppgave 18

Vinden blåser mot øst (fortsatt i den nordlige halvkule). Vindstresset på havet er  $\tau^{wx} = 1 \text{ N/m}^2$ .

Hvor stor er den (vertikalt-integrerte) Ekmantransporten i Ekmanlaget? Hvilken vei går strømmen?

Anta at tettheten av vann er  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

Solution:

$$V_E = \frac{-1}{\rho_c f} \tau^{(wx)} = \frac{-1}{1000(10^{(-4)})} 1 = -10 \text{ m}^2/\text{sec}$$

To the south.

### Oppgave 19a

- a. Vindfeltet over et havbasseng er slik at stresset øker lineært fra null ved den sørlige grensen til  $\tau^{wx} = 1 \text{ N/m}^2$  på den nordlige grensen.

Hva er Sverdruptransporten i bassenget?

Anta at bassenget er på 1000 km fra nord til sør, og at  $\beta = 2.1 \times 10^{(-11)} (\text{msec})^{(-1)}$ .  
Hvilken retning har strømmen?

Solution:

$$V_s = \frac{-1}{\rho_c \beta} \frac{d}{dy} \tau^{(wx)} = \frac{-1}{1000(2.1 \times 10^{(-11)})} \frac{1}{10^6} = -47.6 \text{ m}^2/\text{sec}$$

To the south.

- b. Transporten er den samme over hele bassenget.

Forklar hvordan strømmen returnerer til den andre siden av bassenget. Forklar hvorfor.

Solution:

The flow returns in a western boundary current. Here friction is important, and the shear, which decreases going offshore, is consistent with northward flow. Note the answer will be a western boundary current regardless of whether there is southward or northward flow in the basin.

### Oppgave 20

- a. Vis at Jordas strålingstemperatur  $T_e$  er gitt ved

$$T_e = \left[ \frac{S_0(1 - \alpha_p)}{4\sigma} \right]^{1/4}$$

Hvilken av kombinasjonene (A-E) under er korrekt som forklaring på variablene  $S_0$ ,  $\alpha_p$ , og  $\sigma$ .

A	$S_0$ : Midlere skydekke	$\alpha_p$ : Solarkonstanten	$\sigma$ : Solarkonstanten
B	$S_0$ : Varmefluksen fra hav til atmosfære	$\alpha_p$ : Stefan-Boltzmanns konstant	$\sigma$ : Jordas radius



C	$S_o$ : Jordas radius	$\alpha_p$ : Coriolis parameteren	$\sigma$ : Planetær albedo
D	<b><math>S_o</math>: Solarkonstanten</b>	<b><math>\alpha_p</math>: Planetær albedo</b>	<b><math>\sigma</math>: Stefan-Boltzmanns konstant</b>
E	$S_o$ : Planetær albedo	$\alpha_p$ : Midlere skydekke	$\sigma$ : Varmefluksen fra hav til atmosfære

LF:

Ved strålingsbalanse er innkommende absorbert stråling balansert av utgående langbølget stråling på toppen av atmosfæren.

Innkommende absorbert stråling (total energi globalt):  $\pi R^2 S_o (1 - \alpha_p)$

Utgående langbølget stråling (total energi globalt):  $4\pi R^2 \sigma T_e^4$  (Stefan-Boltzmanns lov)

R er Jordas radius.

$$\Rightarrow \pi R^2 S_o (1 - \alpha_p) = 4\pi R^2 \sigma T_e^4$$

$$\Rightarrow T_e = \left[ \frac{S_o (1 - \alpha_p)}{4\sigma} \right]^{1/4}$$

Kombinasjonen D i tabellen er korrekt

b. Klimafølsomheten for tilbakekobling ved svartlegemestråling kan uttrykkes ved

$$\frac{\partial T_s}{\partial Q_{BB}} = (4\sigma T_e^3)^{-1} \quad (1)$$

Forklar hvordan man kommer frem til dette uttrykket.

LF (Fra læreboka):

### 2.3.4. Climate feedbacks

The greenhouse models described previously illustrate several important radiative feedbacks that play a central role in regulating the climate of the planet. Following Hartmann (1994) we suppose that a perturbation to the climate system can be represented as an additional energy input  $dQ$  (units  $\text{W m}^{-2}$ ) and study the resultant change in global-mean surface temperature,  $dT_s$ . Thus we define  $\partial T_s / \partial Q$  to be a measure of climate sensitivity.

The most important negative feedback regulating the temperature of the planet is the dependence of the outgoing long-wave radiation on temperature. If the planet warms up, then it radiates more heat back out to space. Thus using Eq. 2-2 and setting  $\delta Q = \delta(\sigma T_e^4) = 4T_e^3 \delta T_e$ , where it has been assumed that  $T_e$  and  $T_s$  differ by a constant, implies a climate sensitivity associated with blackbody radiation of

$$\frac{\partial T_s}{\partial Q_{\text{BB}}} = (4\sigma T_e^3)^{-1} = 0.26 \frac{\text{K}}{\text{W m}^{-2}}, \quad (2-15)$$

c.

Strålingspådrivet ( $\delta Q$  i  $\text{W m}^{-2}$ ) ved en endring av  $\text{CO}_2$  konsentrasjonen i atmosfæren kan uttrykkes ved

$$\delta Q = 5.35 \cdot \ln \left( \frac{C}{C_0} \right) \quad (2)$$

Der  $C$  er blandingsforholdet av  $\text{CO}_2$  (i ppm),  $C_0$  er det pre-industrielle blandingsforholdet ( $C_0=270$  ppm).

Beregn endringen i overflatetemperatur ved en dobling av  $\text{CO}_2$  i forhold til den pre-industrielle blandingsforholdet basert på likning 1 og 2 over.

LF:

Fra (2) har vi at strålingspådrivet fra en dobling av  $\text{CO}_2$  er:

$$\delta Q_{\text{CO}_2} = 5.35 \ln(2 \cdot 270 / 270) = 5.35 \cdot \ln 2 = 3.71 \text{ W/m}^2$$

Fra oppgave a har vi at  $T_e = \left[ \frac{S_0(1-\alpha_p)}{4\sigma} \right]^{1/4}$ , setter inn verdier for  $S_0$ ,  $\alpha_p$  og  $\sigma$  og finner  $T_e=254.5\text{K}$

Fra likning (1) finner vi da klimafølsomheten

$$\frac{\partial T_s}{\partial Q_{BB}} = (4\sigma T_e^3)^{-1} = 0.26 \text{ K/Wm}^{-2}$$

Økningen i overflatetemperatur blir da

$$\Delta T_s = 0.26 \text{ K/Wm}^{-2} \cdot 3.71 \text{ W/m}^2 = 0.99 \text{ K}$$

d. Dersom vi tenker oss at blandingsforholdet av CO<sub>2</sub> momentant hadde blitt doblet i 1750 og holdt det konstant etter det, hvordan ville overflatetemperaturen utviklet seg over tid i forhold til svaret i oppgave c over? Begrunn svaret.

I oppgave d skal du ikke regne ut selve temperaturendringen, men gjøre en vurdering temperaturendringen (over tid og i størrelse i forhold til svaret i oppgave c).

LF:

Det er to forhold vi må ta hensyn til i denne vurderingen.

Tilbakekoblinger: Beregningene over er rene svart-legeme beregninger og tar ikke hensyn til at det vil være betydelige tilbakekoblinger i klimasystemet. Disse er usikre, men alle estimater viser at netto effekten er en betydelig positiv (forsterkende) effekt. Dvs. at ved likevekt vil vi forvente en betydelig høyere oppvarming enn det vi fant i oppgave c. IPCC oppgir et intervall på 1.5-4.5 grader for temperaturøkningen ved likevekt for en dobling av CO<sub>2</sub>.

Tregheten i klimasystemet: Pga av havets store varmekapasitet og de lange tidsskalene for blanding i havet vil det ta temperaturøkningen ved overflaten være langt fra (lavere enn) den forventede likevektstemperaturen i dagens situasjon.

Størrelser som trengs for oppgave 20

$$S_0 = 1367 \text{ Wm}^{-2}$$

$$\alpha_p = 0.3$$

$$\sigma = 5.7 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$$

## Oppgave 21

a. Varm luft har lavere tetthet enn kald luft ved samme trykk. Hvorfor er det da slik at lufttemperaturen (nesten) alltid avtar med høyden i troposfæren?

LF: Luften i troposfæren absorberer lite solstråling, dvs. at det meste av energien absorberes av overflaten og varmer opp luften nedenfra. Når en luftpakke stiger i atmosfæren avtar

trykket og i en adiabatisk prosess vil den potensielle temperaturen være bevart og temperaturen i luftpakken er da gitt ved likning 4.17 i læreboka

$$\theta = T \left( \frac{p_0}{p} \right)^\kappa \quad (4.17)$$

Temperaturen i luftpakken vil derfor generelt være kaldere (og dermed tyngere) enn luften omgivelsene og luftpakken vil synke ned igjen. Vi har derfor en stabil skiktning i selv om temperature avtar med høyden i troposfæren.

$$\kappa = R/c_p = 2/7$$

b. Hvorfor er det ikke slik at stratosfæren?

LF: I stratosfæren finner vi ozonlaget. Ozon absorberer UV-stråling fra sola og noe som gir lokal oppvarming av luften. Dette gjør at temperaturen øker med høyden i stratosfæren og skiktningen blir veldig stabil.

c. Anta at temperaturen er konstant lik 20°C gjennom hele troposfæren. Hva vil temperaturen i luftpakker som starter på trykknivåene 300, 600 og 850 hPa og senkes adiabatisk til overflaten (lufttrykk ved overflaten 1013 hPa) bli?

LF: Ut fra likning 4.17 over finner vi temperaturen ved overflaten ( $T_s = \theta$ )

$$p=300 \text{ hPa: } \theta=415\text{K}$$

$$p=600 \text{ hPa: } \theta=340\text{K}$$

$$p=850 \text{ hPa: } \theta=308\text{K}$$

*Konstanter:*

$$\text{Gasskonstanten for tørr luft: } R=287 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$$

$$\text{Spesifikk varmekapasitet ved konstant trykk: } c_p=1004 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$$