

UNIVERSITETET I OSLO

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Eksamen i:	GEF 1100 Klimasystemet
Eksamensdag:	Torsdag 11. desember 2014
Tid for eksamen:	9:00 – 13:00
Tillatte hjelpemidler:	Kalkulator
Oppgavesettet er på 5 sider	

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

Oppgavesettet består av oppgaver med gitte svaralternativer (multiple choice, teller 40%) og oppgaver der svaralternativer ikke er gitt (teller 60%).

Oppgaver med svaralternativer (multiple choice)

I hver oppgave er det kun ett svaralternativ som er riktig. Sett ring rundt bokstaven som angir riktig svar. Oppgavearkene skal derfor leveres. Det gis ikke minuspoeng for gale svar.

1 Hvor stor del av atmosfæren er O₂?

a: 1% b: 21% c: 61% d: 81% e: 98%

2 Hvor stor del av atmosfæren er CO₂?

a: 0,004% b: 0,01% c: 0,04% d: 0,4% e: 4%

3 Hva er atmosfærens trykk (pressure) på bakken globalt midlet?

a: 300 Wm⁻² b: 1013 Wm⁻² c: 300 hPa d: 1013 hPa e: 300 tonn

4 Atmosfærens trykk (pressure) på bakken utgjøres av vekten av

a: blandingslaget (mixed layer) i havet b: atmosfærens grenselag (boundary layer)
c: troposfæren d: stratosfæren e: hele atmosfæren

5 Kortbølget stråling emitteres mest av

a: sola b: skyer c: karbondioksid d: ozon e: vanndamp

6 Langbølget stråling

a: er viktig for drivhuseffekten (greenhouse effect) b: er ikke viktig for drivhuseffekten
c: reflekteres av skyer d: reflekteres av karbondioksid e: reflekteres av ozon

7 Tilbakekoplinger (feedbacks) i klimasystemet

a: er uvesentlig (negligible) for klimautviklingen b: vil alltid gjøre det varmere
c: vil aldri gjøre det varmere d: kan forsterke en avkjøling e: vil alltid føre til økt nedbør

8 Atmosfæren er ustabil (unstable) i vertikalretningen når

- a: den potensielle temperaturen øker med høyden
- b: den potensielle temperaturen er konstant med høyden
- c: temperaturen er konstant med høyden
- d: den potensielle temperaturen avtar med høyden
- e: det er tørt i troposfæren

9 Meridional transport av varme

- a: skjer bare i havet
- b: skjer bare i atmosfæren
- c: transporterer alltid varme mot nord
- d: transporterer alltid varme mot sør
- e: transporterer varme fra tropene mot høyere bredder

10 Passatvindene (trade winds)

- a: blåser alltid mot nord
- b: blåser alltid mot sør
- c: opptrer i subtropene
- d: er ikke påvirket av corioliskraften
- e: opptrer i polområdene

11 Trykkgradientkraften (pressure gradient force) i atmosfæren

- a: virker fra lave mot høye trykk
- b: virker fra høye mot lave trykk
- c: er bare horisontal
- d: virker alltid mot øst
- e: er bare vertikal

12 Den termodynamiske energilikningen sier at den indre energien

- a: er alltid konstant
- b: endres kun ved diabatisk varmeutveksling (heat exchange)
- c: endres ved diabatisk varmeutveksling og ekspansjonsarbeid (expansion work)
- d: endres kun ved ekspansjonsarbeid
- e: er alltid økende

13 Jordens rotasjon rundt sin egen akse gir opphav til

- a: årstidsvariasjoner
- b: økende temperatur med høyden i stratosfæren
- c: trykkgradientkraft
- d: Corioliskraft
- e: nedbør i Arktis

14 Southern Oscillation Index (SOI) er definert som en

- a: øst-vest trykkdifferanse i Stillehavet
- b: nord-sør trykkdifferanse i Stillehavet
- c: øst-vest trykkdifferanse i Atlanterhavet
- d: nord-sør trykkdifferanse i Atlanterhavet
- e: vertikal trykkdifferanse i stratosfæren

15 For 4 milliarder (4 billion year, 4B y) år siden var solstrålingen

- a: bare i den synlige delen av spekteret
- b: bare i den ultraviolette delen av spekteret
- c: 25-30% sterkere enn i dag
- d: 25-30% svakere enn i dag
- e: ennå ikke kommet til jorda

16 I følge Milankovitch-teorien er det viktigst for klimaet at

- a: den infrarøde strålingen endrer seg på høye breddegrader
- b: solstrålingen endrer seg på høye breddegrader
- c: den infrarøde strålingen endrer seg ved ekvator
- d: solstrålingen endrer seg ved ekvator
- e: den infrarøde strålingen endrer seg globalt

17 (i) Kuroshiostrømmen tilsvarer Golfstrømmen in det nordlige Stillehavet. På hvilken side av det nordlige Stillehavet finner vi Kuroshiostrømmen?

a: nord b: sør c: øst d: vest

(ii) Vindstresset øker mot nord i det nordlige Stillehavet. Hvilken vei strømmer Kuroshiostrømmen?

a: mot polen og vinkelrett (perpendicular) på kysten
b: mot polen og langs (along) kysten
c: mot ekvator og langs kysten
d: mot ekvator og vinkelrett på kysten

(iii) Den maksimale hastigheten er omtrent 1 m/s og strømmen er omtrent 100 km bred. Hvor stor er trykkendringen på tvers av strømmen? Anta konstant tetthet 1000 kg/m^3 , at det er geostrofisk balanse og at Coriolis-parameteren er 10^{-4} s^{-1} .

a: $10 \text{ kg/(m s}^2)$ b: $100 \text{ kg/(m s}^2)$ c: $1000 \text{ kg/(m s}^2)$ d: $10^4 \text{ kg/(m s}^2)$

(iv) Hvor mye endrer overflatehøyden seg på tvers av strømmen? Vi antar både geostrofisk og hydrostatisk balanse. Bruk $g=10 \text{ m/s}^2$ til å estimere.

a: 1 cm b: 10 cm c: 1 m d: 10 m

Oppgaver uten svaralternativer

Oppgave 1

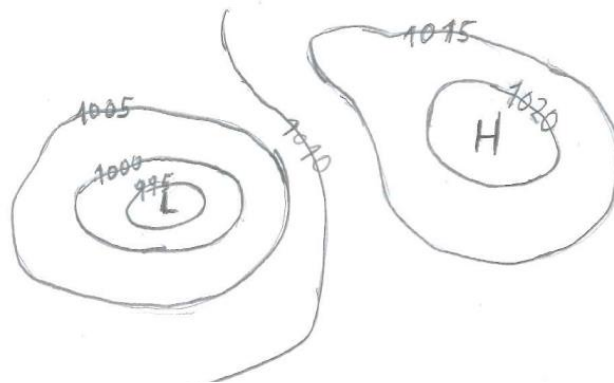
Den horisontale bevegelseslikningen for atmosfæren kan skrives som

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -f \hat{\mathbf{z}} \times \mathbf{u} - \frac{1}{\rho} \nabla_H p + \mathbf{F}$$

der \mathbf{u} er horisontal vind.

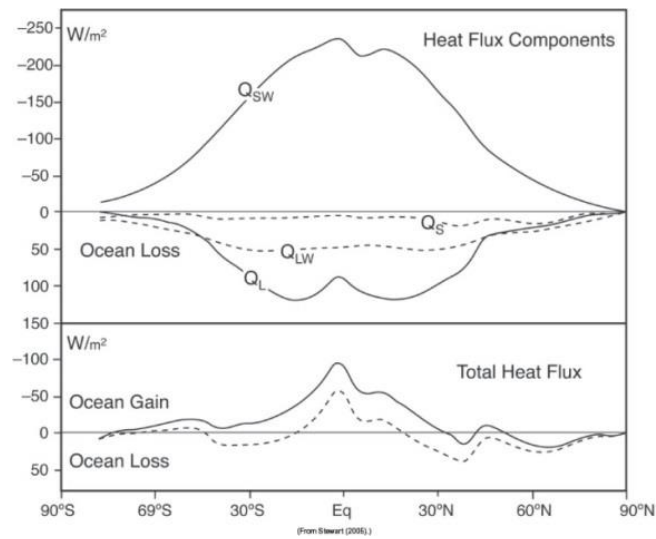
- Hva beskriver leddene i likningen?
- Hvilke ledd neglisjeres når det er geostrofisk balanse?

En vær-situasjon på den nordlige halvkule (northern hemisphere) er gitt ut fra mønster for bakketrykket skissert her:



- Tegn vindpiler som viser vindfeltet nær bakken.
- Hvor stiger (rise) og hvor synker (sink) luften? Forklar kort hvorfor.

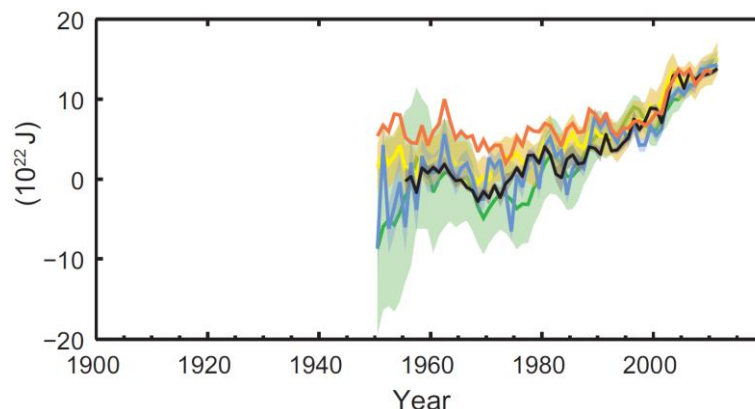
Oppgave 2



Se bort fra den heltrukne kurven i det nedre panelet. Den gjelder ukorrigerte data. Resoner ut fra den stiplede kurven.

- Forklar kort årsaken til breddegradfordelingen av de enkelte kildene og tapene av energi ved havets overflate slik de er gitt i øvre panel i figuren ovenfor.
- Hvordan kan vi utlede fra figuren hvordan havet transporterer energi meridionalt?
- På en serie tokt i Oslofjorden i løpet av en uke i september 2014 ble det målt flukser av kortbølget stråling som varierte mellom 120 og $360 Wm^{-2}$. Hvordan kan den store variasjonen forklares?
- To faktorer bestemmer havvannets tetthet og dermed bunnvannsdannelse. Hvilke? En av de to er en viktig faktor for fluksen av langbølget stråling. Hvilken? Forklar kort hvorfor.

Change in global average upper ocean heat content



- Figuren her (fra IPCC AR5) viser at varmeinnholdet i havets øvre lag (0-700m) har økt siden 1980. Hvor mye har atmosfærens bakketemperatur økt i samme periode?
- Både havet og atmosfæren er varmet opp siden 1980. I hvilke av disse er mesteparten av energien akkumulert? Forklar kort hvorfor det er slik.

Oppgave 3

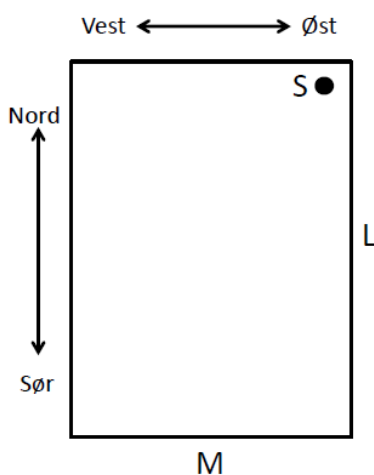
- CO₂ utveksles hele tiden mellom atmosfæren og overflaten (hav og bakke). Hvor stor er utvekslingen pga naturlige prosesser i forhold til hvor mye vi mennesker slipper ut gjennom bruk av fossilt brennstoff og avskoging? (forholdet mellom det naturlige og det menneskeskapte er viktigst).
- En gjennomsnittlig oppholdstid for CO₂ i atmosfæren kan defineres som

$$\tau(\text{år}) = \frac{\text{masse av CO}_2 \text{ i atmosfæren (kg)}}{\text{totalt opptak av CO}_2 \left(\frac{\text{kg}}{\text{år}}\right)}$$

Omtrent hvor lang er oppholdstiden τ ?

- Tar det kortere eller lengre tid (enn τ) å fjerne en ekstra tilførsel av CO₂ (f.eks. fra fossilt brensel)? Begrunn svaret kort.
- Hvordan varierer CO₂-innholdet i atmosfæren mellom istider og mellomistider? Hva er sannsynligvis den viktigste årsaken til denne variasjonen?

Oppgave 4



Stommel og Arons (1960) utviklet en enkel modell som representerer den termohaline sirkulasjonen. Vi antar et rektangulært havbasseng med vertikale vegger langs alle grensene (se figuren til venstre) der vi skal studere det indre laget fra bunnen ($z=0$) opp til dybden $z=H_A$. De horisontale dimensjonene er L og M . Videre antas geostrofisk balanse. Sirkulasjonen i havet drives av en konvektiv kilde, S (enhet m^3/s), ved høye breddegrader. Kilden driver en strøm i det indre laget som gir en oppstrømning (upwelling) som fordeler seg jevnt horisontalt i bassenget.

- Sett opp et uttrykk for den vertikale hastigheten i bassenget.
- Integrer virvlingsbalansen (vorticity balance)

$$\beta v = f \frac{\partial w}{\partial z}$$

i det indre laget. f og β er henholdsvis Coriolis-parameteren og dens meridionale gradient, og v er meridional og w vertikal hastighet. Anta at $\frac{\partial v}{\partial z} = 0$ og $w_{z=0}=0$.

- Bruk resultatet fra b) til å finne et uttrykk for meridional hastighet, v , i det indre laget. Hvilken vei går strømmen her?
- Tegn på figuren sirkulasjonen i det indre laget. Langs hvilken grense går grensestrømmen (boundary current)?
- Integrer resultatet for v horisontalt fra $x=0$ til $x=M$, og fra $z=0$ til $z=H_A$, langs bassengets midtlinje ($y=L/2$). Bruk dette anslaget, og total oppstrømning (upwelling) sør for linjen, til å utlede et uttrykk for transporten i grensestrømmen gjennom (across) midtlinjen.