

Tentamen: Miljö och Matematisk Modellering (MVE346) för TM Åk 3, klockan 08.30 den 4:e Juni, 2019.

För uppgifter som kräver en numerisk lösning så skriv ned ditt svar och hur du gick till väga för att lösa uppgiften (använd helst inte programkod), lägg till eventuella grafer eller illustrationer och spara svaren som separata pdf-filer, word-filer eller text-filer (eventuella figurer kan sparas som separata bildfiler om de inte går att klistra in i textfilen) i mapparna C:__EXAM__\Assignments\Uppgift1, C:__EXAM__\Assignments\Uppgift2, osv. Namnge svarsfilerna med din anonyma kod som prefix t ex 23SvarUppgift2.

Skriv ditt datornamn på tentamensmappen.

För att kunna få delpoäng vid felaktigt svar krävs att man beskriver lösningsansatsen, delsteg (exempelvis m.h.a. "pseudokod" dvs konceptuell implementeringsbeskrivning) och att man resonerar om de erhållna resultaten, är de rimliga m.m.. För uppgifter som endast kräver analytiska lösningar eller ett resonerade svar kan ni välja att antingen skriva dessa på datorn eller för hand.

Betygsgränser: 12 p för 3:a, 16p för 4:a, 20p för 5:a. Max är 24p.

Lärarkontakt under tentamen: Daniel Johansson, telefonnummer: 031-772 28 16

1. Förklara de tre olika strategierna för **dematerialisering** samt strategin för **transmaterialisering** (fyra strategier tillsammans), samt ge ett relevant exempel för var och en av dem för hur de skulle kunna tillämpas för att få en mer hållbar transportsektor. Visa med dessa förklaringar och exempel att du förstår vad strategierna innebär. (4p)
2. Solkraft och vindkraft pekas ofta ut som viktiga energikällor för övergången till ett koldioxid neutralt elsystem. Elproduktionen från solceller och vindkraftverk varierar över tid, på ett sätt som ofta inte överensstämmer med elanvändningen. Detta kan skapa problem för elsystemet och begränsa möjligheterna för en omställning till ett koldioxidneutralt elsystem. Under kursen nämndes flera olika sätt man kan motverka dessa problem och möjliggöra mer variabel elproduktion. Nämn fyra av dessa metoder och förklara kortfattat hur de möjliggör mer sol- och/eller vindenergi i ett elsystem. (4p)
3. De kumulativa antropogena utsläppen av koldioxid har varit cirka 2200 GtCO₂ över perioden 1750-2018. Utsläppen idag (2018) är cirka 42 GtC O₂/per år. Vi kan approximera de historiska utsläppen med en funktion enligt följande

$$E_{CO_2}(t) = A \cdot e^{(t-1750)r}$$

där A är utsläppen 1750, r den årliga tillväxten av utsläppen och t tiden mätt i år (där $1750 \leq t \leq 2018$). $A=0.26$ [GtCO₂/år] och $r=0.019$ [1/år] ger en bra approximation till de faktiska historiska utsläppen.

Ni ska beräkna hur stora de kumulativa utsläppen kan vara under resten av det tjugoförsta århundradet givet att vi ska klara av att hålla den globala uppvärmningen under 1.5°C över den förindustriella nivån fram till 2100. Till er hjälp har ni ett antal modeller.

Vi har ett impulssvar som ger hur ett utsläpp av CO₂ klingar av i atmosfären över tid. Du vet även att 1 Gton CO₂ i atmosfären motsvarar 0.128 ppm CO₂ [ppm·Gt⁻¹]. Anta att impulssvaret består av en summation av exponentialfunktioner med olika relaxationstider (τ_i)

$$f(t) = A_0 + \sum_i A_i e^{-t/\tau_i}$$

	CO ₂	CO ₂
i	A_i	τ_i [år]
0	0.22	NA
1	0.28	2.37
2	0.28	20.1
3	0.22	217

CO₂ koncentrationen ($C(t)$) fås m.h.a. av faltning och vi vet att den förindustriella koncentrationen (C_0) var 278 ppm.

Radiative forcing RF_{CO_2} [$W \cdot m^{-2}$] ges av följande formel

$$RF_{CO_2} = 5.35 \cdot \ln\left(\frac{C(t)}{C_0}\right)$$

Påverkan på den globala medeltemperaturen kan i sin tur beräknas med följande energibalansmodell

$$C_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = RF_{CO_2} - \frac{T_1}{\lambda} - \kappa_1(T_1 - T_2)$$

$$C_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \kappa_1(T_1 - T_2)$$

T_1 är jordens medeltemperatur vid ytan [K], T_2 är representativa temperaturer i djuphavet [K], C_1 och C_2 är värmekapaciteten [$W \cdot yr \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$] för yt-boxen respektive djuphavsboxen. κ_1 värmeledningskoefficient [$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$], samt λ är klimatkänslighetsparametern [$K \cdot W^{-1} \cdot m^2$].

Använd följande parametervärden: $C_1=5$ [$W \cdot yr \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$], $C_2=120$ [$W \cdot yr \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$], $\lambda=0.6$ [$K \cdot W^{-1} \cdot m^2$], $\kappa_1=0.9$ [$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$].

Ni kan välja formen för ert scenario för framtida CO₂ utsläpp själva (t.ex. starta i dagens utsläpp och låt de ändras linjärt, exponentiellt m.m.)

a. Implementera modellen, uppskatta de maximala kumulativa utsläppen av CO₂ över perioden 2019-2100 som är förenliga med att begränsa den globala medeltemperaturökningen till max 1.5°C över den förindustriella nivån. Visa även hur CO₂ koncentrationen och temperaturen över den förindustriella nivån utvecklas under perioden 1750-2100 (5p).

b. Enligt IPCC kan vi släppa ut ytterligare 580GtCO₂ framöver (låt oss anta de menar över perioden 2019-2100) och fortfarande klara av att hålla temperaturen under 1.5 °C över den förindustriella nivån med 50 % sannolikhet. Ge två rimliga fysikaliska, kemiska och/eller biologiska förklaringar till varför er uppskattning skiljer sig från IPCCs uppskattning, dvs vad missar vi att beakta eller vad gör vi för antaganden som gör att våra utsläpp blir annorlunda än IPCCs. (2p)

4. Antag att vi har $\dot{x} = f(x)$, där $f(x)$ är en kontinuerlig funktion.

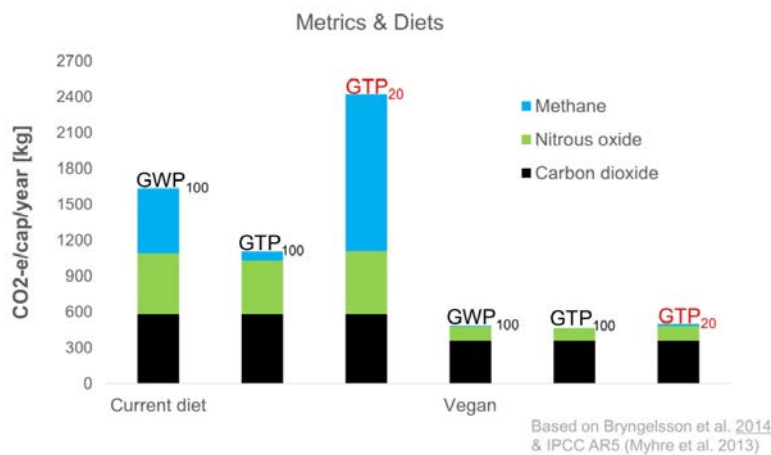
a. Vilka kriterier bör $f(x)$ uppfylla för att beskriva en rimlig populationsdynamik? (1p)

b. Ge/skissa ett förslag på $f(x)$ för en dynamik med en stabil fixpunkt. (1p)

c. Ge/skissa ett förslag på $f(x)$ för en dynamik med flera stabila fixpunkter. (1p)

d. Antag att vi har en populationsdynamik med flera stabila fixpunkter från vilket vi skördar $\dot{x} = f(x) - q \cdot x = h(x)$, där q är skördeintensiteten. Om vi ökar skördeintensiteten kan vissa fixpunkter till $h(x)$ försvinna. Om populationen befinner sig i en sådan fixpunkt kommer den alltid att röra sig till en ny fixpunkt med *mindre* population, när den ursprungliga fixpunkten upphör. Visa genom matematiska resonemang varför detta är sant. (2p)

5. **Metriker och klimatpåverkan från olika klimatåtgärder.** När man analyserar klimatvinster av åtgärder för att minska utsläpp av klimatpåverkande ämnen kan man i många fall behöva använda metriker (ibland kallade utsläppsmetriker). Figuren nedan visar ett sådant fall där man jämför en genomsnittlig svensk diet och en vegansk diet.



Uppgiftens syfte är att förklara vad metriker som Global Warming Potential (GWP) och Global Temperature change Potential (GTP) används till vid bedömningen av klimatpåverkan från olika aktiviteter/åtgärder, vad det spelar för roll vilken klimatvariabel (egentligen vilken indikator på klimatpåverkan) metriken använder samt vilken tidshorisont man väljer att använda vid bedömning av klimatpåverkan.

För ditt svar - föreställ dig att du ska förklara för en tänkt målgrupp av personer som har läst naturvetenskapligt program på gymnasiet, men sen inte utbildat sig vidare inom varken naturvetenskap eller miljöämnen. Ditt svar ska alltså gå att följa för personer tillhörande denna målgrupp. Svaret bedöms både utifrån dess övergripande begriplighet och utifrån sin korrekthet. Punkterna A-E nedan kan bidra som en vägledning för dig, men behöver inte följas till punkt och pricka om syftet (enligt ovan) kan uppnås på annat sätt.

(OBS! Dessa punkter nedan A-E är exempel på vad som kan ingå i din förklaring!)

A) Koldioxidekvivalenter (CO₂-e) används på y-axeln i figuren. Vad är innebörden av denna term och varför behövs den i detta sammanhang?

B) Metriken GWP beskriver klimatpåverkan i termer av den sammanlagda (integrerade) radiative forcing som ett utsläpp ger upphov till (och förhåller det till ett lika stort utsläpp av CO₂). Vad är radiative forcing?

C) Varför spelar tidshorisonten en sådan stor roll i bedömningen av klimatpåverkan från metan? (I figuren har två olika tidshorisonter använts - 20 år resp. 100 år).

D) Nämn ytterligare en klimatvariabel som hade kunnat användas (vid sidan av de som används i GWP och GTP) för att bedöma klimatpåverkan från olika aktiviteter.

E) Kom på en analogi eller ett förtydligande exempel som kan göra det lättare att följa något av resonemangen som du använder i din förklaring.

(4p)

Lycka till!