

Tentamen: Miljö och Matematisk Modellering (MVE346) för TM Åk 3, klockan 08.30-12.30 den 2:e Juni, 2020

Tentamen består av fyra frågor och svaren lämnas in för respektive uppgift i Canvas. Ni ska alltså göra 4 inlämningar, en för varje uppgift. För uppgifter som kräver en numerisk lösning så skriv ned ditt svar och lösningsgång, dvs hur du gick till väga för att lösa uppgiften (använd helst inte programkod, men om ni gör så måste den vara transparent och tydligt kommenterad). Lägg till eventuella grafer eller illustrationer och spara svaren som separata pdf-filer eller word-filer (eventuella figurer kan sparas som separata bildfiler om de inte går att klistra in i pdf- eller word-filen). Skicka även med eventuella matlab-filer (dessa beaktas bara vid tveksamma fall och ingår i regel inte i rättningen). Namnge svarsfilerna med dina initialer och vilken fråga det gäller (ex: DJ Fråga1). Skriv även ditt namn någonstans i varje fil.

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 kräver analytiska lösningar kan ni välja att antingen skriva dessa på datorn eller för hand och skanna in dessa.

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

Lärarkontakt under tentamen: Daniel Johansson nås via Zoom

Fråga 1 (6 poäng totalt)

a) Det finns olika åsikter om utvecklingsländerns användning av fossila bränslen. Två möjliga ställningstaganden är:

1. Utvecklingsländer bör inte använda fossila bränslen.
2. Utvecklingsländer har rätt att använda fossila bränslen.

För vardera av dessa ställningstaganden skall du skriva en förklarande text där du:

- motiverar varför det bör vara på det ena eller andra viset. Det räcker med ett relevant argument av stor betydelse för vardera ställningstagandet.
- för ett resonemang om hur denna motivering kan härledas från en etikteori, där syftet är att du skall visa förståelse för etikteorin. Du skall använda dig av en etikteori för respektive ställningstagande och det skall vara olika etikteorier för de två olika ställningstagandena. (4p)

Kortfattat svar:

Utvecklingsländer bör inte använda fossila bränslen

- Argument: Orsakar utsläpp av koldioxid som bidrar till växthuseffekt
- Etikteori: konsekvensetik (utilitarism)

Utvecklingsländer har rätt att använda fossila bränslen

- Argument: Tillgång till energi för att kunna utvecklas
- Etikteori: Pliktetik, de har rätt att få utvecklas etc

b) Det finns olika synsätt på hur man kan minska miljöpåverkan för att få ett mer hållbart samhälle. Ett av de "motsatspar" som beskrivs i kursen är skillnaden mellan *effektivitet* och *tillräcklighet*. Beskriv några relevanta exempel för att visa att du har förstått skillnaden. (2p)

Kortfattat svar: Se <https://www.youtube.com/watch?v=haCXFM5spKc&feature=youtu.be> 8 min 20 sek in i videon.

Fråga 2 (6 poäng totalt)

Två arter har en populationsdynamik som (ostört) kan beskrivas med de klassiska Lotka-Volterra ekvationerna för rovdjur (y) och byte (x)

$$\frac{dx}{dt} = a \cdot x + b \cdot x \cdot y$$

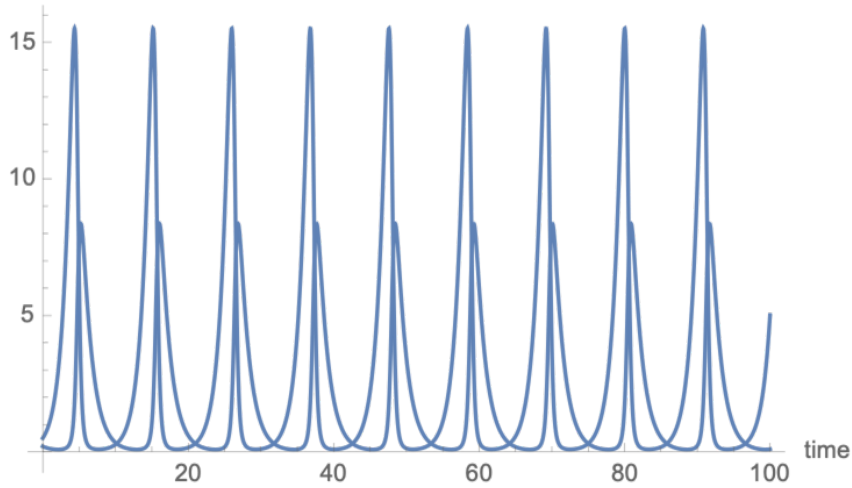
$$\frac{dy}{dt} = -c \cdot y + \delta \cdot x \cdot y$$

med parametrarna $a = 0.9$, $b = 0.5$, $c = 0.75$ och $\delta = 0.25$. Initialvärden är $x(0) = 0.5$ och $y(0) = 0.2$.

a) Hur ser populationsdynamiken för de två arterna ut som en funktion av tiden? (2p)

Kortfattat svar:

$x(t)$ and $y(t)$



b) Antag nu att man vill "fiska" ur populationen med bytesdjur genom att göra ett uttag på $q \cdot x$ per tidsenhet. Hur ser differentialekvationerna för populationsdynamiken ut när man tar med "fiskning" med intensitet q ? (1p)

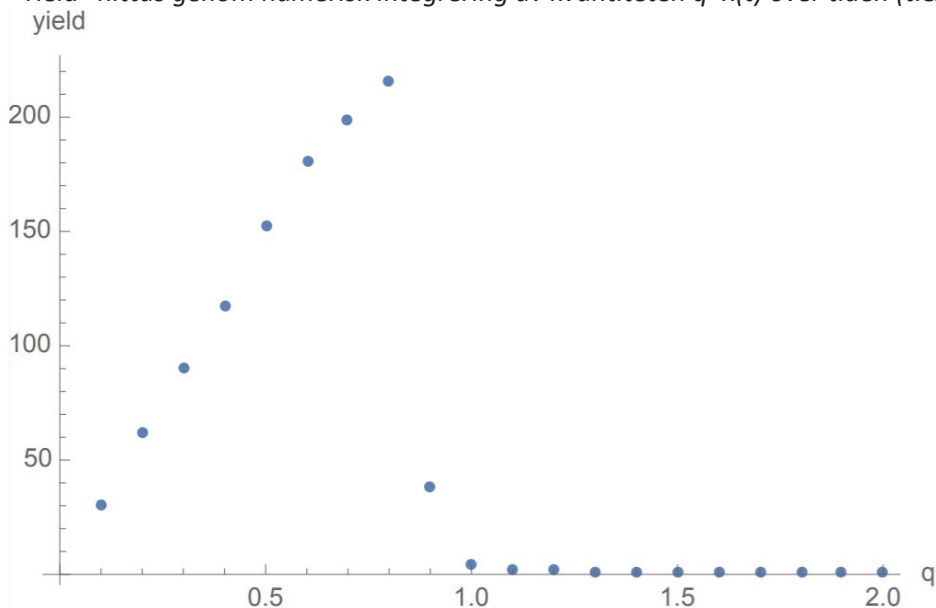
Kortfattat svar:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= a \cdot x + b \cdot x \cdot y - q \cdot x \\ \frac{dy}{dt} &= -c \cdot y + \delta \cdot x \cdot y \end{aligned}$$

c) Undersök numeriskt vad som händer när man vill optimera intensiteten q för att få så mycket uttag som möjligt över lång tid. (2p)

Kortfattat svar:

"Yield" hittas genom numerisk integrering av kvantiteten $q \cdot x(t)$ över tiden (t.ex. 100 tidsenheter)



d) Kommentera ditt resultat i uppgift c) och vad det kan betyda i praktiken. (1p)

Kortfattat svar:

Om man startat med låg intensitet q och höjer successivt ser det ut som avkastningen ökar hela tiden ända fram tills den plötsligen kollapsar (vid $q=1$). Man passerar en tipping point. Att maximera avkastningen genom att försöka hitta optimum baserat på successiv ökning av intensitet är därför väldigt förrädiskt i detta systemet.

Fråga 3 (1 poäng totalt)

a) Om priset på olja sjunker, vad händer med i) reserverna och ii) resurserna? (1p)

Kortfattat svar:

i) Sjunker, ii) oförändrade.

b) För förnybara bränslen diskuterar man potentialer snarare än resurser. Förklara kortfattat vilka potentialer som bäst motsvarar begreppen i) reserver och ii) resurser. (3p)

Kortfattat svar:

i) ekonomisk potential. Avgörs av priser och tillgång

ii) Teoretisk potential, avgörs av fysisk förekomst

Fråga 4: Klimatpåverkan av svenskers flygande. (8 poäng totalt)

Naturvårdsverket skriver följande på sin hemsida " Den uppskattade totala klimatpåverkan från svenska befolkningens flygresor år 2017 var cirka 10 miljoner ton koldioxidkvivalenter (inklusive höghöjdseffekten). Det är lika mycket utsläpp som för hela personbilstrafiken i Sverige."

Med höghöjdseffekten menas den extra klimatpåverkan som flyget orsakar genom kondensstrimmor och ozonformation i övre troposfären som i sin tur bidrar till uppvärmningen av jorden. Grovt räknat brukar man utgå från att höghöjdseffekten leder till cirka dubbelt så stor klimatpåverkan jämfört med de faktiska utsläppen av koldioxid från flygets bränsleförbränning (denna kvot brukar benämnas höghöjdsfaktorn). Uppskattningen baseras på den globala uppvärmningspotentialen med en tidshorisont på 100 år (Global Warming Potentials – GWP-100), som används när man räknar ut motsvarande koldioxidutsläpp utifrån klimatpåverkan från andra källor och anges i enheten koldioxidkvivalenter. GWP-100 har blivit det vedertagna måttet för att summera klimatpåverkan och används därför både inom de internationella klimatförhandlingarna och i forskarvärlden.

Uppskattningen av höghöjdsfaktorn till 2 är dock ingen självklarhet. Faktorn är känslig för antaganden, speciellt gällande integreringstiden man använder när man räknar ut den globala uppvärmningspotentialen (GWP). En av svårigheterna ligger i att höghöjdseffekten har en stark klimatpåverkan under kort tid i atmosfären medan utsläpp av koldioxid har en jämförelsevis svag klimatpåverkan (per utsläppenhet) men påverkar klimatet under en väldigt lång tid.

Ni ska i denna uppgift beräkna den faktiska klimatpåverkan över tid av flygresandet för en medelsvensk. Ni ska modellera höghöjdseffekten explicit och inte förenkla genom att använda den globala uppvärmningspotentialen över en tidshorisont på 100 år (GWP-100), såsom Naturvårdsverket gör på sin hemsida.

Ni kan anta att utsläppen av koldioxid för medelsvenskens flygresande motsvarar **0.5 ton CO₂/år** (exklusive höghöjdseffekten), vilket benämns medelflygreseaktiviteten hädanefter. Det kan jämföras med medelsvenskens bilresande som motsvarar **1 ton CO₂/år** och benämns medelbilreseaktiviteten hädanefter. Medelflygreseaktiviteten motsvarar ungefärligen en tur och retur resa Göteborg – Lissabon per år och medelbilreseaktiviteten motsvarar omkring 800 mil per år för en genomsnittlig bensinbil.

Till er hjälp har ni följande information:

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 impulsvaret 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	0.3	NA
1	0.35	10
2	0.35	100

Påverkan på CO₂ koncentrationen ($C(t)$) fås m.h.a. av faltning.

Strålningsdrivningen (radiative forcing) för CO₂ ges av följande formel

$$RF_{CO_2}(t) = C(t) \cdot \alpha$$

där α är 13 (mW/m²)/ppm.

Strålningsdrivningen för höghöjdseffekten fås av

$$RF_{höghöjd}(t) = D(t) \cdot h$$

Där $h=4.6 \cdot 10^{-11}$ W/m² per medelflygreseaktivitet per år och person (motsvarande värde för medelbilreseaktiviteten är noll då biltrafiken inte har någon höghöjdseffekt). Höghöjdseffektens bidrag till strålningsdrivningen finns alltså bara kvar under det år då medelflygreseaktiviteten sker. Medelreseaktivitet per person och år betecknas $D(t)$ för flyg, där $D(t)$ i vårt fall är 1 eller 0 under ett visst år beroende på om en medelreseaktivitet sker eller inte under det specifika år.

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

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

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

T_1 är förändringen av jordens medeltemperatur vid ytan [K] jämfört med medeltemperaturen utan vår reseaktivitet, T_2 är förändringen av temperaturer i djuphavet [K] jämfört med den utan vår reseaktivitet, C_1 och C_2 är värmekapaciteten [W·yr·K⁻¹·m⁻²] för yt-boxen respektive djuphavsboxen. κ värmeledningskoefficient [W·K⁻¹·m⁻²], samt λ är klimatkänslighetsparametern [K·W⁻¹·m²].

Använd följande parametervärden: $C_1=10$ [W·yr·K⁻¹·m⁻²], $C_2=100$ [W·yr·K⁻¹·m⁻²], $\lambda=1$ [K·W⁻¹·m²], $\kappa=0.5$ [W·K⁻¹·m⁻²].

Givet en resa som sker i år 0, och att ingen resa sker år 1 till och med år τ kan man beräkna **höghöjdsfaktorn H** (baserat på GWP) på följande vis:

$$H = \frac{\int_0^\tau RF_{höghöjd}(t) dt + \int_0^\tau RF_{CO_2}(t) dt}{\int_0^\tau RF_{CO_2}(t) dt}$$

a) Verifiera att höghöjdsfaktorn H blir ca 2 givet att integreringstiden (τ) är 100 år. (Ni kan integrera numeriskt eller lösa integralerna analytiskt). **(1p)**

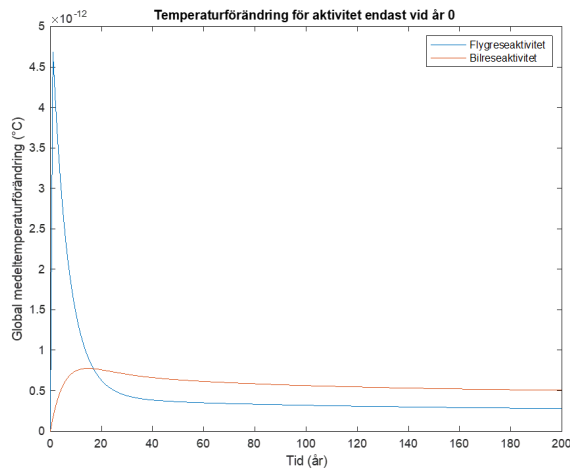
Kortfattat svar:

$$H = \frac{4.6 \cdot 10^{-11} + 1 \cdot 10^{-9} \cdot 0.128 \cdot 0.013 \cdot (0.3 + 0.35 \cdot 10 \cdot (1 - e^{-10}) + 0.35 \cdot 100 \cdot (1 - e^{-1}))}{1 \cdot 10^{-9} \cdot 0.128 \cdot 0.013 \cdot (0.3 + 0.35 \cdot 10 \cdot (1 - e^{-10}) + 0.35 \cdot 100 \cdot (1 - e^{-1}))} \approx 2$$

b) Implementera er simuleringsmodell, beskriv hur ni går tillväga angående diskretisering, faltning m.m. och svara på följande frågor. **(5p)**

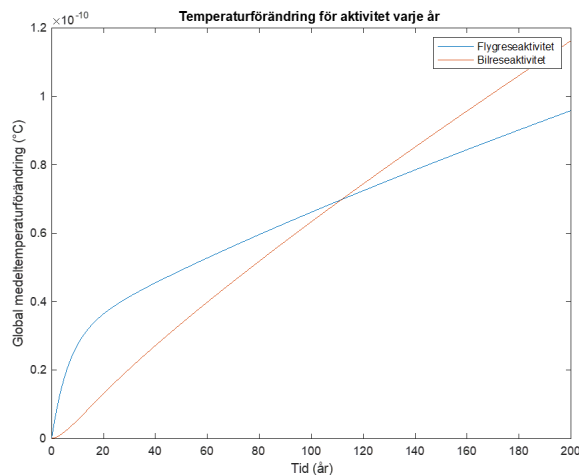
- Givet en medelflygreseaktivitet i år 0 respektive en medelbilreseaktivitet i år 0 (och inget resande år 1 och senare) vad blir temperaturpåverkan över de första 200 åren (dvs från år 0 till och med år 200)? Visa i figur och resonera kort om likheterna/olikheterna i klimatpåverkan för genomsnittlig bilresande kontra genomsnittligt flygresande.

Kortfattat svar:



- Givet en medelflygreseaktivitet varje år från år 0 till år 200 respektive en medelbilreseaktivitet varje år från år 0 till år 200 vad blir temperaturpåverkan över de första 200 åren (dvs från år 0 till och med år 200). Visa i figur och resonera kort om likheterna/olikheterna i klimatpåverkan för genomsnittlig bilresande kontra genomsnittligt flygresande.

Kortfattat svar:



c) Resonera kring konsekvensen av att använda förenklade metoder för att uppskatta klimatpåverkan från andra källor än koldioxid. Finns det andra exempel på aktiviteter som ger klimatpåverkan som är stark, men endast påverkar klimatet under en kortare tid jämfört med motsvarande koldioxidutsläpp? (2p)

Kortfattat svar: Andra exempel är produkter och aktiviteter som leder till utsläpp av metan (CH₄), sot (black carbon - BC), och fluorerade växthusgaser (hydrofluorocarbons – HFCs). Metanutsläpp uppstår bland annat i produktionen nötkött och mejeriprodukter eller vid rötning av organiskt material (vid produktion av biogas eller när organiskt material läggs på soptippar). Sotutsläpp uppstår exempelvis i vedeldning och utsläpp av HFCs uppstår bland annat i läckande kylsystem.

Eventuella konsekvenser är att påverkan på klimatet blir olika över tid trots att de sammanlagda utsläppen enligt GWP-100 är lika stora. T.ex. om bilresande ersätter flygresande med lika stora sammanlagda utsläpp i koldioxidekvivalenter så kommer klimatpåverkan de kommande decennierna att bli lägre, men vi kommer binda upp oss för en större klimatpåverkan på sikt (givet inga andra förändringar i bränsle m.m.).

Lycka till!