

Tentamen: Miljö och Matematisk Modellering (MVE347/MVE346) för TM Åk 3, klockan 08.30-12.30 den 28:e Augusti, 2024, sal HA1.

Tentamen består av 9 frågor uppdelat på tre delar. För att kunna få delpoäng vid felaktigt svar krävs att man är tydlig i sina resonemang (alternativt sin lösningsansats).

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

Tillåtna hjälpmedel vid tentamen: Chalmersgodkänd räknare (men behövs ej).

Lärarkontakt under tentamen: Daniel Johansson kommer till tentamenssalen vid kl 9.30 och vid kl 11.00, kan även nås via 0721907431 och daniel.johansson@chalmers.se.

Tentamensgranskning: Rum Analysen i EDIT huset tisdagen 20/8 kl 11-12.

Del 1. Hållbar utveckling – 6 p (För frågor kontakta Ulrika)

1. I kursen ingår det en beskrivning av tre begränsningar för en hållbar användning av naturens resurser och tjänster. Visa att du har förstått dessa begränsningar genom att beskriva dem samt genom att ge ett exempel för respektive begränsning på hur transportsystemet har en negativ inverkan på dessa begränsningar. (3p)

Exempelsvar:

- i. **Begränsad tillgång till lagerresurser**, så som metaller, fossila bränslen och andra mineraler. När vi utvinner lagerresurser från jordskorpan gör vi det från ställen där tillgängligheten är högst vilket t ex innebär hög koncentration av en metall i en malm. Allt eftersom vi bryter metaller kommer dock koncentrationen med tiden att minska vilket innebär att det krävs mer energi och blir mer kostsamt att utvinna metallen och då är frågan hur mycket vi är villiga att betala för utvinning av en metall. En annan begränsning är att tillgången till resurser och reserver i jordskorpan är ojämnt fördelad över världen, där reserver är den del som är tekniskt och ekonomisk möjligt att utvinna i dagsläget. Det innebär att det av geopolitiska och ekonomiska skäl kan vara svårt t ex för EU att importera en del metaller t ex från Kina och på så vis få tillgång till dessa metaller. Exempel: I batterier till elbilar används litium, vilket är en begränsad resurs i jordskorpan. För att säkerställa en god tillgång av litium behöver det byggas upp ett återvinningssystem av använda batterier som kan minska behovet av att utvinna litium från jordskorpan.
- ii. **Begränsad tillgång till yta**: Den yta som är särskilt värdefull är den som är bioproductiv och som vi kan använda för fiske, jordbruk, skogsbruk. Men yta är också viktig för att bevara biologisk mångfald och vi behöver den även för att bygga våra samhällen. Det här innebär att det finns en konkurrens om den begränsade yta som vi har och vi måste fundera på vilken användning som behöver prioriteras. Förutom att ytan är begränsad i kvantitet så är det viktigt att vi använder ytan på ett kvalitativt bra sätt så att vi inte förstör den långsiktiga produktionsförmågan och biodiversiteten. Exempel: Vid användningen av biobränslen till bilar, t ex etanol, behövs mark för att odla de grödor som behövs för att producera bränslen. Denna markanvändning konkurrerar med annan användning så som jordbruk eller bevarande av biodiversitet.
- iii. **Begränsad assimilationskapacitet** för ämnen som vi släpper ut i naturen: Det är svårt att undvika att ämnen släpps ut från samhället till naturen, dvs till luft, vatten och jord. Det är dock viktigt att begränsa utsläppen så att de inte leder till allt för stor negativ miljöpåverkan. I den mån vi känner till olika ämnens miljöpåverkan så ska vi använda oss av den kunskapen. En generell princip är dock att undvika att koncentrationen av ett ämne inte ska öka systematiskt i naturen. Med assimilationskapacitet menas här naturens förmåga att ta hand om utsläppen på ett sådant sätt att en systematisk ökning av koncentrationen undviks. Om de samhälleliga utsläppen är stora i förhållande till naturens egna flöden av samma ämne (som vittring av ämnen från jordskorpa till jord och vatten) så är det större risk att det sker en ökning av koncentrationen. Även om vi inte vet, eller är

överens om, vid vilken koncentration som det sker en miljöpåverkan som vi tycker är för hög (t ex för CO₂ i atmosfären) kan alla vara överens om principen att en systematisk ökning (d v s som fortsätter år efter år) av koncentrationen inte är hållbar, för till slut kommer det att ske en miljöpåverkan som vi inte tycker är ok (t ex klimatförändring på grund av CO₂-utsläpp). Exempel: Vid användningen av bensin och diesel släpps det ut koldioxid som leder till en ökad koncentration i atmosfären vilket kan leda till klimatförändringar.

2. 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. **(3p)**
- Exempelsvar:** Med **effektivitet** avses en effektiv resursanvändning t ex av material, energi och yta som innebär att det behövs en mindre mängd resurser för att tillgodose samma tjänst. Exempel är bränslesnåla bilar där det behövs en mindre mängd bränsle för samma tjänst att transportera sig en viss sträcka eller mer välisolerat hus som innebär att man kan ha samma boyta men med lägre energibehov för uppvärmning.
- Med **tillräcklighet** avses förnöjsamhet med hur mycket av en tjänst man väljer att konsumera, vilket kan leda till en lägre resursanvändning. Det kan t ex handla om att man nöjer sig med att bo i ett mindre hus (vilket kan ge mindre mängd energi till uppvärmning) eller väljer att inte resa lika långt bort på semestern (vilket kräver mindre mängd bränsle för transporten).

Del 2. Energisystem – 8p (För frågor kontakta Fredrik)

3. I ett elsystem på 10 GW, finns installerad kapacitet av 4 GW vindkraft, 4 GW kärnkraft 6 GW naturgas.
- a) Vilken kostnad för vilket energislag avgör elpriset flest antal timmar per år?

Exempelsvar: Det är den rörliga kostnaden för naturgas som oftast avgör elpriset om vi antar att det är medelefterfrågan som är på 10 GW. (Om vi antar att det är en konstant efterfrågan på 10 GW är det t.o.m. alltid den rörliga kostnaden för naturgas som sätter elpriset).

- b) Andelen vindkraftskapacitet minskar till 0 GW, och naturgas ökar motsvarande. Vad händer med det genomsnittliga elpriset, och varför?

Exempelsvar: Om vi antar att det är konstant efterfrågan på 10 GW så förändras inte genomsnittselpriset eftersom naturgas fortfarande alltid ligger på marginalen. Om vi antar att det var medelefterfrågan som är 10 GW så kommer genomsnittselpriset att öka något, för det blir färre timmar där kärnkraft och vind täcker hela efterfrågan och kärnkraftens marginalkostnad sätter elpriset och naturgas blir oftare prissättaren.

- c) Man ersätter ett av kärnkraftverken med ett nybyggt kärnkraftverk, som dock blir mycket billigare än planerat. Vad händer med medelpriset? **(4p)**

Exempelsvar: Ingenting händer med priset. Investeringskostnaderna påverkar inte elpriset, bara de rörliga kostnaderna.

4. Definiera begreppen reserver och resurser. Vad sker med oljereserverna om oljepriset stiger? **(2p)**

Exempelsvar: Resurser är den fysiska förekomsten av en ändlig naturresurs på jorden, reserver vad som vi känner till finns och som är ekonomiskt lönsamt att utvinna med dagens teknik och priser.

Om oljepriset stiger så blir därmed oljereserverna större eftersom mer är ekonomiskt lönsamt att utvinna.

5. I ett kostnads-optimerat elsystem baserat på sol och vind för två regioner blir den totala installerade kapaciteten ofta högre när regionerna är isolerade, jämfört med när de är ihopkopplade med varandra. Förklara varför. (2p)

Exempelsvar: När de är isolerade behöver de möta efterfrågan med sin egen installerade kapacitet varje timme, så t.ex. när det blåser dåligt behövs mycket installerad vindkraft för att täcka behovet de timmarna. Om istället två regioner kopplas ihop kan de dela resurser, så om det blåser i den ena regionen kan de exportera vind till den andra. På det sättet kan den totala installerade kapaciteten minskas.

Del 3. Klimat och klimatpolitik –10p (för frågor på fråga 6 kontakta Johannes, på övriga Daniel)

6. Staten kan påverka marknaden genom politiska styrmedel under vissa förutsättningar.
- a. Vilka är dessa förutsättningar? Beskriv de tre typerna av marknadsmisslyckanden. (2p)

Exempelsvar: Förutsättningarna för att staten ska gå in och påverka marknaden kallas för marknadsmisslyckanden och kan delas in i tre olika typer:

Externa effekter (eller externaliteter): I det här fallet har marknaden misslyckats med att hantera den effekt som kan uppstå hos en tredje part då den inte reflekteras i priset på en vara eller en tjänst. Externa effekter kan vara både positiva och negativa. Ett exempel på detta marknadsmisslyckande är att priset på fossila bränslen inte reflekterar den externa effekt som utsläppen från bränslet orsakar för framtida generationer genom ett förändrat klimat (tredje parten är i detta fall framtida generationer).

Kollektiva varor: För att något ska räknas som kollektiv vara så behöver den uppfylla kriterierna icke-exkluderbarhet (att en aktör inte kan förhindra andra från att använda varan) och icke-rivalitet (att en aktörs konsumtion av varan inte påverkar andra). Eftersom privata företag sällan har ekonomiska incitament för att producera dessa varor så tillhandahålls de ofta av det offentliga (ex. staten) och ett exempel kan vara nationellt försvar (där alla i ett land skyddas oavsett om de bidrar ekonomiskt eller inte, en person kan inte uteslutas och en persons säkerhet påverkar inte andras).

Informationsmisslyckanden: Den här typen av marknadsmisslyckande omfattar flera olika sammanhang där alla aktörer på en marknad inte har tillgång till samma information om marknadens varor. Några exempel är asymmetrisk information – där ena parten i en transaktion har mer/bättre information än den andra (ex. köp av en försäkring), kunskap- och innovationsrelaterade marknadsmisslyckanden – där marknaden inte ger tillräckliga incitament för investering i ny kunskap som har högt värde ur samhällsligt perspektiv (ex. forskning och utveckling inom områden som miljö och hälsa).

Kommentar: Exempel är på varje typ av marknadsmisslyckande är inte ett krav om det är tydligt från den beskrivande texten att studenten förstått vad marknadsmisslyckandet innebär.

- b. Välj ett marknadsmisslyckande och beskriv ett exempel vardera för hur försiktighetsprincipen och proaktivitetsprincipen kan appliceras för att styra marknaden. (2p)

Exempelsvar: Försiktighetsprincipen menar att det finns skäl för att begränsa en aktivitet trots att det inte går att vetenskapligt bevisa att den är farlig för människa och miljö. Det räcker med att det finns en misstänkt risk att aktiviteten skulle leda till allvarlig eller oåterkallelig skada på miljö och hälsa för att aktiviteten regleras. Proaktivitetsprincipen menar istället att staten ska röja undan hinder och främja ny teknik som kan vara till stor samhällsnytta (ex. minskad miljöpåverkan eller leda till hållbar utveckling). I detta fall ska

begränsningar av ny teknik undvikas förutom om det finns bevis på risker med tekniken. En viktig distinktion mellan försiktighets- och proaktivitetsprinciperna är att bevisbördan ligger hos den som vill införa en ny teknik för försiktighetsprincipen men hos den som vill begränsa införandet av en ny teknik för proaktivitetsprincipen.

Om vi tar marknadsmisslyckandet externa effekter som exempel så innebär försiktighetsprincipen en aktiv reglering, exempelvis ett förbud, av en ny teknik om det misstänks att den kan få stor skada på miljö och hälsa. Denna reglering finns kvar till dess att man kan bevisa att tekniken är säker. För proaktivitetsprincipen så främjar vi snarare utvecklingen av tekniken om den har positiva samhällseliga effekter, exempelvis att den minskar andra typer av miljöpåverkan, och reglerar den först när det är fastställt att risken för skada på miljö och hälsa är stor.

7. Ange och förklara tre återkopplingsmekanismer i klimatsystemet som avgör värdet på klimatkänsligheten. (3p)

Exempelsvar: Klimatkänsligheten bestäms av snabba återkopplingar i klimatsystemet. Fyra olika mekanismer brukar räknas in i klimatkänsligheten.

- Vattenångaåterkopplingen. Principen bakom den är som följer: ökad temperatur ökar mätnadsångtrycket i atmosfären. Detta leder i sin tur till ökad avdunstning, vilket ger en högre halt vattenånga i atmosfären. Eftersom vattenånga är en växthusgas leder detta till ytterligare uppvärmning. Så småningom uppnås en ny jämvikt. Vattenångaåterkopplingen är en positiv återkoppling.
- Snö- och havsisalbedoåterkopplingen. Ökad temperatur leder till ökad smältning av snö och havsis. Det innebär att jordens albedo minskar, alltså att mindre solstrålning reflekteras tillbaka ut i rymden. Mer strålning absorberas i stället vid jordens och havets yta, vilket ytterligare ökar uppvärmningen. Så småningom uppnås en ny jämvikt. Snö- och havsisalbedoåterkopplingen är en positiv återkoppling.
- Molnåterkopplingen. Ökad temperatur i atmosfären påverkar molnens egenskaper och fördelning. Moln påverkar klimatet både genom att reflektera solstrålning (vilket kyler) och genom att absorbera och återstråla värmestrålning från jorden (vilket värmer). För klimatkänsligheten är molnens effekt på solinstrålningen till marken, och på hur mycket värmestrålning som når ut i rymden, avgörande. Klimatmodeller visar att molnåterkopplingen som helhet sannolikt är en positiv återkoppling, även om osäkerheten är stor.
- Lapse rate-återkopplingen (den vertikala temperaturprofilen i atmosfären). När klimatet blir varmare förändras temperaturfördelningen i höjddled. I tropikerna tenderar den övre troposfären att värmas snabbare än markytan. Detta ökar jordens utstrålning av värme till rymden och leder därmed till en dämpning av uppvärmningen – en negativ återkoppling. I kallare områden, som Arktis, är denna effekt svagare eller till och med positiv. Sammantaget är lapse rate-återkopplingen negativ.

Kommentar: Det räcker om svaret innehåller tre av dessa fyra mekanismer

8. Låt oss anta att förändringen i jordens temperatur sedan förindustriell tid (år 1750) kan beskrivas av en en-box energibalansmodell:

$$C \frac{\partial T(t)}{\partial t} = RF(t) - \frac{T(t)}{\lambda}$$

där RF är radiative forcing [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] med referensåret 1750, T är förändringen i ytemperaturen [K] jämfört med 1750, C är jordens effektiva värmekapacitet [$\text{W}\cdot\text{år}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$] och λ är klimatkänslighetsparametern [$\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\cdot\text{m}^2$]. Vi antar att klimatsystemet var i jämvikt år 1750.

Använd följande parametervärden för att kalibrera modellen:

$$C=50 [\text{W}\cdot\text{år}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}]$$

$$\lambda=0.8 \text{ [K}\cdot\text{W}^{-1}\text{m}^2\text{]}$$

Från satellitmätningar och andra modeller vet vi att $RF(t)=2 \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}\text{]}$ år t och att jordens energiobalans vid samma tidpunkt är $0.9 \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}\text{]}$.

Besvara följande frågor.

- a. Vad är ytemperaturens förändring (T) sedan 1750 år t ? **(1p)**
- b. Vad är det ackumulerade energiupptaget sedan år 1750 vid år t ? **(1p)**

Exempelsvar:

- a) Vi har $C=50 \text{ [W}\cdot\text{år}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\text{]}$, $\lambda=0.8 \text{ [K}\cdot\text{W}^{-1}\text{m}^2\text{]}$, $RF(t)=2 \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}\text{]}$ och $C \frac{\partial T(t)}{\partial t}=0.9 \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}\text{}] \Rightarrow$

$$T(t) = \lambda \cdot \left(RF(t) - C \frac{\partial T(t)}{\partial t} \right) = 0.8 \cdot (2 - 0.9) = 0.88 \text{ K.}$$
- b) Det ackumulerade energiupptaget bestäms av jordens effektiva värmekapacitet och den globala temperaturökningen, och ges av produkten $C \cdot T(t)$. Med värden som ges i uppgiften blir svaret $50 \cdot 0.88 = 44 \text{ [W}\cdot\text{år}\cdot\text{m}^{-2}\text{]}$ (detta räcker för korrekt svar). Över hela jordens yta motsvarar detta cirka 708 ZJ.

9. Vad är den naturliga växthuseffekten och ungefär hur stor påverkan har den på jordens medeltemperatur? **(1p)**

Exempelsvar: Den naturliga växthuseffekten är den uppvärmande effekt som uppstår till följd av att växthusgaser naturligt finns i atmosfären. De viktigaste av dessa är vattenånga, koldioxid, ozon och metan. Tillsammans gör de att jordens medeltemperatur är ungefär 33 grader Celsius högre än den skulle vara utan växthusgaser, givet ett konstant värde på albedo.