

September 2013

SNS ANALYS

nr14

Klimatet och ekonomin

KIMATEKONOMIANALYS **BEHÖVS.**

Utifrån en naturvetenskaplig bakgrund dras slutsatsen att människan påverkar klimatet genom användande av fossila bränslen och att denna påverkan på klimatet i genomsnitt leder till icke försumbara skador i ekonomin.

För att analysera hur våra ekonomier kan förväntas påverka klimatet i framtiden och för att utvärdera olika former av klimatpolitik behövs en climatekonomimodell. För att kunna arbeta med en sådan behövs både en klimatmodell, en kolcykelmodell och en ekonomisk modell. Syftet här är att visa hur en climatekonomimodell kan se ut och utifrån den beräkna hur hög en optimal koldioxidskatt bör vara under olika antaganden om hur framtida konsumtion ska värderas. Utifrån det diskuteras effekter på ekonomisk tillväxt och välfärd.



FÖRFATTARE

John Hassler är professor i nationalekonomi vid Institutet för internationell ekonomi vid Stockholms universitet.
E-post: john.hassler@iies.su.se.



Per Krusell är professor i nationalekonomi vid Institutet för internationell ekonomi vid Stockholms universitet.
E-post: per.krusell@iies.su.se.

ÅTTA SATSER OM KLIMAT OCH EKONOMI

1. Förbränning av fossila bränslen leder till ett varmare klimat, men hur mycket varmare är osäkert.
2. Enligt tillgängliga, men osäkra, beräkningar kommer de sannolika kostnader som är förenade med klimatförändringarna att vara betydande, men inte katastrofala i ett globalt perspektiv.
3. Kunskap saknas för att rimligt värdera riskerna för osannolika, men potentiellt möjliga, stora globala skador.
4. Fördelningen av kostnaderna som kan komma att orsakas av klimatförändringarna är mycket ojämn. Vissa, typiskt sett fattiga, länder och regioner riskerar att drabbas av katastrofala skador.
5. Förbränning av fossila bränslen skapar en "externalitet" som marknaden inte på egen hand kan hantera. En global koldioxidskatt är det bästa policyinstrumentet för att hantera detta.
6. Givet tillgängliga beräkningar är den optimala koldioxidskatten modest och inte högre än den svenska.
7. Införandet av en global koldioxidskatt hotar inte ekonomisk tillväxt och välfärd.
8. Skatt på konventionell olja har i bästa fall blygsamma positiva klimateffekter. Skatt på kolanvändning och icke-konventionella fossila bränslen med höga utvinningskostnader fungerar, även om en dylik skatt bara genomförs regionalt.



SNS ANALYS En stor del av den forskning som bedrivs är vid sin publicering anpassad för vetenskapliga tidskrifter. Artiklarna är ofta teoretiska och inomvetenskapligt specialiserade. Det finns emellertid mycket forskning, framför allt empirisk och policyrelevant sådan, som är intressant för en bredare krets. Målet med SNS Analys är att göra denna forskning tillgänglig för beslutsfattare i politik, näringsliv och offentlig förvaltning och bidra till att forskningen når ut i medierna. Finansiellt bidrag har erhållits från Jan Wallanders och Tom Hedelius Stiftelse. Författarna svarar helt och hållet för analys, slutsatser och förslag.



Effekter av klimatförändringar och åtgärder för att motverka dessa kan inte analyseras korrekt utan ett långsiktigt och globalt helhetsperspektiv. Ett utsläpp eller en skatt i till exempel EU har effekter också i övriga delar av världen och effekterna är mycket långsiktiga.

Vi som skrivit denna SNS Analys har arbetat med klimatekonomi i cirka fem år. Vår forskningskompetens ligger inom området makroekonomi och långsiktig tillväxt i ett globalt perspektiv. Som makroekonomer anser vi oss ha ett antal nödvändiga kunskaper och redskap för att analysera frågor om klimatekonomi.

Vi har dock långt ifrån tillräckliga kunskaper. En klimatekonomisk analys kan förstås inte göras utan en förståelse för de naturvetenskapliga samband som driver klimatförändringarna. Här har vi ingen egen expertis alls. Vi har därför inom ramen för det tvärvetenskapliga projektet Mistra-SWECIA samarbetat med naturvetare från bland annat SMHI samt Lunds och Stockholms universitet.

Till skillnad från naturvetenskapen måste våra klimatekonomimodeller också beskriva mänskligt beteende. Människor tänker framåt och förväntningar om framtiden kan påverka vad som händer i dag. Ekonomiska modeller bör inkorporera detta, vilket ställer särskilda krav på analysen.

Speciellt måste tillgängliga klimatmodeller radikalt förenklas för att kunna användas i en klimatekonomimodell. Då har vi fått hjälp av våra naturvetarkollegor inom Mistra-SWECIA att kondensera kunskap från huvudfåran inom den naturvetenskapliga forskningen utan att göra alltför mycket våld på deras modeller och slutsatser.

Här ska vi beskriva ett antal slutsatser som vi dragit utifrån vårt arbete med klimatekonomi inom Mistra-SWECIA. Vi har också sammanfattat slutsatserna i åtta punkter på sidan 1. För oss var ingen av punkterna uppenbar innan vi började vårt forskningsprojekt.

Beroende på individuell bakgrund och kunskap är säkert en del punkter triviala för vissa av våra läsare. Vi tror dock att risken att samtliga punkter slår in öppna dörrar är ganska liten. Våra slutsatser är dessutom givetvis preliminära och ny forskning kan säkert komma att leda till att vi reviderar dem.

Vårt klimatekonomiprojekt är i högsta grad också pågående och vår egen syn på ämnet kan komma att ändras allteftersom vi lär oss mer från vår forskning. I listan ovan markerar vi denna osäkerhet genom att kalla punkterna ”satser” i stället för ”slutsatser”.

Den naturvetenskapliga bakgrunden

Koldioxid, liksom flera andra gaser som vattenånga och metan, har egenskapen att den lättare släpper igenom kortvågig elektromagnetisk strålning som ljus än mer långvågig som värme-strålning. Med mer koldioxid i atmosfären förändras därför balansen mellan ingående och utgående strålning.

Denna mekanism kan lätt verifieras med experiment och den svenske nobelpristagaren i kemi 1903, Svante Arrhenius, beskrev denna så kallade växthuseffekt redan 1896.¹ Enligt Arrhenius experiment leder ökad koldioxidhalt till en temperaturökning som är proportionell mot den procentuella ökningen av koldioxidhalten (ett så kallat loglinjärt samband).

Även om den direkta växthuseffekten är experimentellt kvantifierbar är den slutliga effekten på jordens temperatur av högre koldioxidhalt mycket svårare att bestämma. Detta beror på att den direkta effekten av mer koldioxid leder till en rad återkopplingsmekanismer som förstärker eller försvagar den direkta effekten.

Mer koldioxid leder via uppvärmningen till mer vattenånga i atmosfären och till att metan kan frigöras, vilket förstärker växthuseffekten. Minskad isbildning i Arktis minskar jordens förmåga att reflektera inkommande solljus, vilket också förstärker den direkta effekten. En ökning av den globala medeltemperaturen kan tänkas öka molnbildningen, vilket kan förstärka reflektionen av inkommande solljus och därmed försvaga den direkta effekten. Detta är några exempel av ett stort antal mer eller mindre väl kända återkopplingsmekanismer, varav en del kan förväntas förstärka och andra försvaga den direkta effekten.

Svårigheten att bedöma styrkan i återkopplingsmekanismerna skapar en betydande

Klimatekonomisk analys måste koppla ihop naturvetenskap och ekonomi.

Växthuseffekten beskrivs redan 1896.

¹ Arrhenius (1896).

de osäkerhet om hur stora klimatförändringar en given koldioxidökning leder till. Den vanligaste uppfattningen bland naturvetare är att dessa mekanismer sammantaget förstärker den direkta effekten av ökad koldioxidhalt.

En rimlig approximation som vi och andra ofta använder är att den bästa uppskattningen av effekten av en fördubblad koldioxidhalt är att den globala genomsnittstemperaturen ökar med 3 grader. Men analysen måste ta hänsyn till att det finns betydande osäkerhet om denna siffra.

Återkopplingsmekanismerna behöver inte heller vara av konstant styrka. Det är tänkbart att vissa förstärkande mekanismer sätter in först efter att en viss uppvärmning redan skett. I så fall skulle vi först inte se så stora effekter av en högre koldioxidhalt, men när den nått en viss kritisk nivå skulle temperaturhöjningen accelerera.

Det är även möjligt att detta skulle leda till så kallade *tipping points*, det vill säga att om den globala temperaturen kommer över en viss kritisk nivå uppstår en ny högre jämviktsnivå så att jordens klimat utan ytterligare utsläpp ”tippar över” till ett nytt jämviktsläge med mycket högre global temperatur.

Om sådana kritiska nivåer kan identifieras är det förstås extra viktigt att de inte överskrids. Ännu så länge finns dock så vitt vi kan förstå inte någon konsensus bland klimatforskarna om hur höga dessa kritiska nivåer är och om de ens existerar på en global nivå.² Med andra ord kan det finnas många lokala *tipping points* som leder till radikalt ändrade lokala klimatförhållanden utan att dessa sammantaget kan beskrivas som annat än ett approximativt (log)linjärt globalt samband.

En annan väsentlig källa till osäkerhet kommer från vad som händer med utsläppt koldioxid över tiden. Det finns stora mängder kol i växter, i jorden och i haven. Kontinuerligt sker flöden av kol mellan dessa reservoarer som är många gånger större än utsläppen av kol från eldning av fossila bränslen.

Också här skapas återkopplingsmekanismer vars effekt är osäker. Såväl högre koldioxidhalt som ett förändrat klimat påverkar till

exempel växternas förmåga att växa och därmed lagra atmosfäriskt kol. Hittills har drygt hälften av det fossila kol som vi släppt ut lämnat atmosfären och lagrats i haven och i en större biomassa. Mycket talar för att dessa reservoars förmåga att lagra mer kol avtar i takt med att de ackumulerade utsläppen växer.³

Klimatskador

Vore det inte för att klimatförändringar påverkar människans välfärd på ett betydelsefullt sätt skulle ämnet climatekonomi inte vara så intressant. Hur kan denna påverkan mätas, och är det självklart att klimatskadorna är stora, eller ens är skador – skulle de inte också kunna innebära en välfärdshöjning?

Dessa frågor är helt centrala och speciellt för oss, eftersom vårt mål är att komma fram till hur ekonomisk-politiska ingrepp i marknads-ekonomin skulle kunna göra det globala utfallet bättre för människan.

Jämfört med hur mycket resurser som används inom den naturvetenskapliga delen av klimatforskningen är insatserna när det gäller forskning om de ekonomiska konsekvenserna mycket blygsamma. Det är därför inte förvånande att kunskapen här är förhållandevis ytlig och fragmenterad.

Två olika ansatser

Den forskning som finns kan delas in i två distinkta ansatser – den ena kan kallas *bottom-up* och den andra *reducerad form*.

Inom *bottom-up* är idén att först göra en lista med områden där klimatförändringar kan tänkas påverka ekonomin. Självklara områden att inkludera är till exempel jordbruk, översvämningar, kusterosion och hälsoeffekter.

Varje sådant område studeras sedan separat för att man därigenom ska kunna göra en bedömning av vilka kostnader som kan förväntas för tänkbara klimatförändringar.

När detta arbete är avslutat kan summan av alla studerade klimatskador beräknas och presenteras i form av en skadefunktion som talar om hur stor skadan blir globalt (och för enskilda

Återkopplingsmekanismer verkar förstärka den direkta växthuseffekten.

Forskningen om ekonomiska konsekvenser av klimatförändringar är eftersatt.

² Se till exempel Lenton med flera (2008), eller för en mer populärvetenskaplig beskrivning Levitan (2013).

³ Se till exempel Matthews, Gillet, Stott och Zickfeld (2009).



regioner) för olika nivåer på klimatförändringarna. De senare mäts oftast i form av förändringen i den globala medeltemperaturen.

Det är här viktigt att notera att skadeeffekterna inte ska begränsas till sådana som direkt kan mätas i kronor och ören. Klimatförändringar påverkar hälsa, värdet av fritid och många värden som inte handlas på en marknad.

För att kunna beräkna den samhällsekonomiska kostnaden av klimatförändringar måste dock dessa effekter värderas i samma enhet som skador på värden som är prissatta på en marknad. En sådan värdering sker standardmässigt i samhällsekonomiska kalkyler; till exempel åsätts ett sparad liv i trafikolyckor ett visst monetärt värde.⁴

Idealiskt skulle ett sätt att få reda på hur klimatförändringar påverkar den globala ekonomin vara att genomföra experiment där enskilda länder "tilldelades" olika klimatförändringar slumpmässigt. Då skulle en trovärdig funktion mellan klimat och ekonomiska effekter kunna skattas.

Eftersom många av de mekanismer som sammanbinder klimat och ekonomi sker på en global nivå kanske man rent av skulle behöva experimentera med ett stort antal olika planeter! Givetvis är detta inte möjligt, men så kallade naturliga experiment, det vill säga slumpmässiga variationer i klimatet, kan under vissa omständigheter användas i stället.

Detta är grunden för den alternativa ansatsen reducerad form. Här studeras historiska fluktuationer i klimatet och statistiska metoder används för att relatera dem till förändringar i ekonomin. Är det till exempel så att länder som av en slump drabbats av ovanligt varmt klimat under en tid också upplevt en dålig BNP-utveckling?

Fördelen med bottom-up är att denna ansats ger kunskap om de direkta mekanismerna bakom relationen mellan ekonomi och klimat. Detta kan ge tillförlitlighet till resultaten och i bästa fall också skapa möjlighet till extrapolering, det vill säga en analys av starkare klimatförändringar än dem som hittills observerats.

En stor nackdel är förstås att det är svårt att veta om listan med tänkbara mekanismer är tillräckligt lång. Ofta fokuseras på lokala effekter och kostnader för till exempel konflikter och globala förändringar i djur- och växtlivet är också normalt utelämnade på grund av brist på underliggande studier.

Ansatsen med reducerad form bör ha större möjlighet att fånga in de väsentliga mekanismerna. Å andra sidan är det svårare att veta vad orsaken bakom de statistiska sambanden då är, och därmed är det svårare att generalisera och extrapolera. Historiska fluktuationer i klimatet omfattar förstås inte alla tänkbara framtida klimatscenarier. Eftersom de två metoderna har olika styrkor och svagheter har de möjlighet att komplettera varandra.

Klimatskadestudier

Pionjären inom climatekonomimodellering, William Nordhaus, har också genomfört några av de första studierna av klimatskador utifrån ansatsen bottom-up.

Sju olika typer av klimatskador specificeras⁵: i) jordbruk, ii) andra produktionssektorer som energiproduktion, skogsbruk och turism, iii) havsnivåhöjning, iv) hälsa, v) fritid och rekreation, vi) folkomflyttning och ekosystem samt vii) katastrofer.

Efter att ett stort antal studier om skador på dessa områden samlats sammanfattas de i en funktion som beskriver de samlade globala skadorna uttryckta som procent av BNP.

Den senaste versionen av Nordhaus skadefunktion visas i figur 1.⁶ Som vi ser ökar lutningen på kurvan när temperaturen stiger. Detta innebär att skadorna ökar mer än proportionellt med temperaturen. Detta är ett vanligt resultat i litteraturen, men självklart har vi mycket liten kunskap om konsekvenserna av stora ökningar av temperaturen, eftersom dylika inte observerats i historiska data.

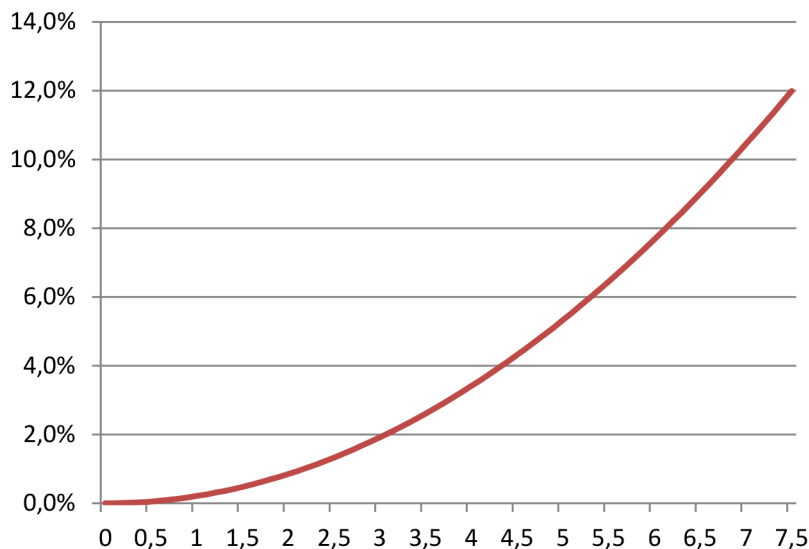
⁵ Nordhaus och Boyer (2000). Nordhaus har utvecklat de mycket använda DICE- (Dynamic Integrated model of Climate and the Economy) och RICE- (Regional Integrated model of Climate and the Economy) modellerna. De finns beskrivna och tillgängliga för vem som helst på Nordhaus webbplats <http://aida.wss.yale.edu/~nordhaus/>.

⁶ Denna ingår i Nordhaus modell DICE 2013 och har en mycket enkel form. Skadan är lika med $1 - 1/(1 + 0,002131 \cdot T^2)$ där T är höjningen av den globala medeltemperaturen.

⁴ Se till exempel Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2012).

Klimatskadeanalys: bottom-up och reducerad form kompletterar varandra.

Vid stigande temperatur ökar skadorna mer än proportionellt.



Figur 1. Klimatskada i procent av BNP som en funktion av ökningen av den globala medeltemperaturen.
Källa: Se not 5 och 6.

Den så kallade PAGE-modellen, som bland annat användes i Stern-rapporten⁷, använder också en skadefunktion som ökar mer än proportionellt. Till skillnad från många andra modeller försöker man i denna modell ta hänsyn till att vi inte vet exakt vilka värden som olika parametrar ska ha för att modellen ska bli så realistisk som möjligt.

Detta görs genom att man åsätter ett intervall inom vilket parametrarna i modellen slumpmässigt dras. Till exempel antas att skadorna beror på faktisk temperatur upphöjt till en exponent vars värde slumpmässigt dras från ett givet intervall.⁸ Ett stort antal simuleringar körs sedan där olika parametrar dras varje gång. Detta är ett sätt att uppskatta osäkerheten i modellens prognoser.

Europeiska kommissionen har genomfört en bottom-up-studie för EU. I det så kallade PESETA-projektet⁹ har effekterna av klimatförändringarna inom ett antal områden beräknats för olika delar av Europa. De skador som beräknas omfattar kustområden, skador vid översvämningar samt skador inom jordbruk, turism och hälsa.

EU har delats in i fem regioner och Sverige tillhör tillsammans med Finland och de baltiska staterna regionen Norra Europa. För denna

region beräknas faktiskt en *positiv* effekt av klimatförändringarna 2080 motsvarande cirka 0,5 procent av total konsumtion för en ökning av medeltemperaturen i Europa med cirka 5 grader och globalt med 3 grader. För södra Europa beräknas en negativ effekt motsvarande 1,5 procent av den årliga konsumtionen.

När det gäller ansatsen reducerad form finns ännu mycket få studier med ett globalt perspektiv. En uppmärksam studie¹⁰ relaterar den ekonomiska tillväxten i 136 länder under perioden 1950–2003 till förändringar i årsmedeltemperaturen. Studien gör skillnad mellan förändringar i nivå och tillväxttakt för BNP, och resultatet är att det finns ett starkt negativt samband mellan temperatur och ekonomisk tillväxt. En grads höjning av temperaturen leder till en procentenhets lägre tillväxt per år, *men bara i fattiga länder*.

Effekten förefaller inte avta över tiden, även om det inte från dryga 50 års tillväxtdata går att dra klara slutsatser om ännu mer långsiktiga konsekvenser. Dessa resultat är dock inte oomtvistade. Preliminära resultat från forskning som en av oss (Per Krusell) bedriver med Anthony Smith vid Yale University indikerar betydande nivåeffekter, men inga effekter på tillväxt.

På lång sikt har klimatförändringarna positiv effekt på Norra Europa, ...

... men i fattiga länder finns resultat som tyder på att det blir lägre tillväxt.

⁷ Stern (2007).

⁸ Typiskt antas en triangulär fördelning mellan 1,5 och 3 med 2 som typvärde.

⁹ Se <http://peseta.jrc.ec.europa.eu>.

¹⁰ Dell, Jones och Olken (2012).



Konstant skada per ton kol

Som nämnts förefaller det rimligt att klimatskadorna ökar mer än proportionellt mot temperaturen, alltså att exponenten på temperatur i skadefunktionen är högre än ett.

Å andra sidan vet vi att den direkta växthus-effekten orsakad av koldioxid innebär att temperaturen (på sikt) beror på den procentuella ökningen av koldioxid. Det senare betyder att en given ökning av koldioxidhalten mätt i form av antalet ton kol i atmosfären får *mindre* effekt på temperaturen ju högre koldioxidhalten och temperaturen redan är, eftersom ett ytterligare ton innebär en mindre *procentuell* ökning om koldioxidhalten är hög än om den är låg.

Under normalt antagna betingelser, till exempel i Nordhaus skadefunktion, tar dessa två effekter ut varandra, det vill säga om koldioxidhalten är låg (hög) så blir effekten av ytterligare ett ton kol i atmosfären hög (låg) på temperaturen, medan varje grads temperaturhöjning har en låg (hög) effekt på ekonomin. Den sammanlagda effekten på ekonomin uttryckt i procent av BNP av ytterligare ett ton kol i atmosfären blir då en konstant som är oberoende av temperaturen.

Utifrån Nordhaus kalibreringsarbete har vi genom denna insikt beräknat att ytterligare ett gigaton (en miljard ton) kol minskar global BNP med 2,4 tusendels procent varje år. Dagens koldioxidhalt mätt på detta sätt är ungefär 800

gigaton kol, vilket är cirka 200 gigaton högre än innan den fossila eran startade. Enligt kalkylen leder det till skador i storleksordningen 0,5 procent av global BNP, eller cirka 400 miljarder dollar per år.¹¹

Klimatekonomimodeller

Av diskussionen ovan är två slutsatser tydliga: människan påverkar klimatet genom användande av fossila bränslen och denna påverkan på klimatet leder i genomsnitt till icke försumbara skador i ekonomin.

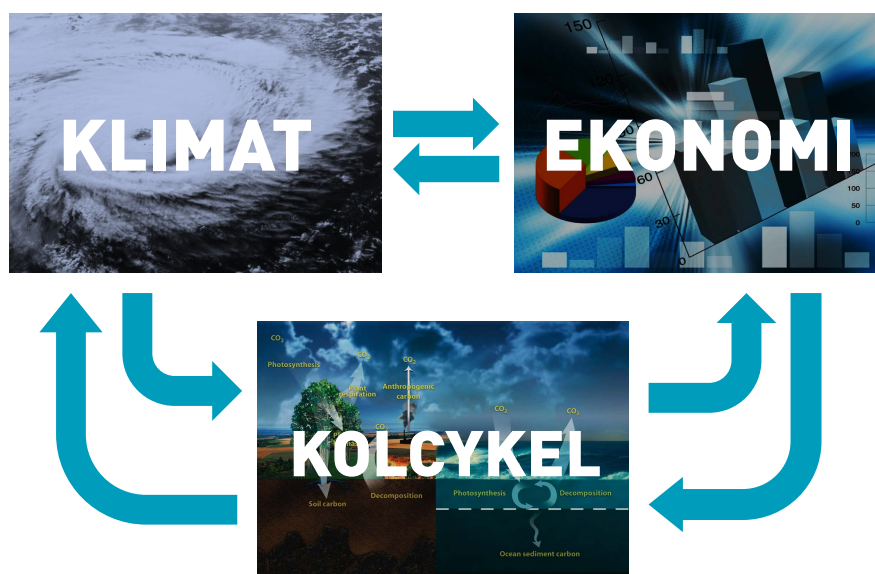
Klimatekonomimodeller, som är centrala i vår forskning, används främst för två syften: de kan vara prognosverktyg, det vill säga användas för att se hur våra ekonomier kan förväntas påverka klimatet i framtiden, och de kan användas för att utvärdera olika former av klimatpolitik.

En typisk klimatekonomimodell består av tre komponenter: en klimatmodell, en kolcykelmodell och en ekonomisk modell. De tre komponenterna samverkar på ett mer eller mindre komplicerat sätt, se figur 2.

Kolcykelmodellen påverkas av utsläpp som genereras i ekonomimodellen. Kolcykeln beskriver vad som händer över tiden med kol-

¹¹ Detta är egentligen ett väntevärde eftersom Nordhaus inkluderar ett katastrofscenario när skadorna blir ungefär åtta gånger så stora. I detta fall blir då skadorna per gigaton två hundra procent.

Klimatekonomimodeller består av en klimatmodell, en kolcykelmodell och en ekonomisk modell.



Figur 2. Samverkan i en klimatekonomimodell.

dioxidhalten, vilken påverkar energibalansen i klimatmodellen. Klimatet påverkar sedan i sin tur ekonomin. Givetvis kan dessa samband likasom de ingående modellerna göras mer eller mindre komplexa, men de just beskrivna påverkansmekanismerna är rimligen ett minimum för att man ska kunna tala om en integrerad klimatekonomimodell.¹²

Många modeller är dock inte integrerade och saknar därför den interna konsistens som kan anses önskvärd. Det är till exempel vanligt att naturvetenskapliga modeller tar en utsläppsbana som given och beräknar klimat-effekter av denna utan att ta hänsyn till hur dessa effekter påverkar ekonomin, vilket i sin tur borde leda till andra utsläppsbånar än dem som antagits.

Integrerad klimatmodell

Vi har utvecklat en mycket enkel men användbar integrerad klimatmodell.¹³ Den beskriver den globala medeltemperaturen i en ekvation och bygger på Arrhenius arbete som nämnts ovan.

Ekvationen säger att temperaturen är proportionell mot logaritmen på atmosfärens koldioxidhalt med en proportionalitetskonstant som innebär att en fördubbling av koldioxidhalten leder till 3 graders ökning i den globala medeltemperaturen.

Denna konstant brukar kallas klimatkänslighet och kan modelleras som en osäker parameter, det vill säga att den med viss sannolikhet är större eller mindre än sitt förväntade värde.

Kolcykelmodellen

Kolcykelmodellen måste minimalt beskriva hur koldioxidhalten i atmosfären utvecklas över tiden givet en viss utsläppsbana för koldioxidhalten.

I vårt arbete använder vi en enkel approximation som innebär att en andel (hälften) av utsläppt fossilt kol tas upp av växter och ythav inom ett par decennier, en annan andel (en femtedel) stannar i atmosfären under tusentals år

medan den återstående andelen sakta sipprar ner till djuphaven.¹⁴

Mer komplicerade modeller används också, där till exempel en återkoppling från klimat till kolcykel såsom beskrivits ovan inkluderas.

Ekonomiska modellen

Den ekonomiska modellen måste beskriva hur ekonomin utvecklas på lång sikt eftersom klimatförändringarna är långsiktiga och varaktiga. Den måste också kunna beskriva den fossila bränsleanvändningen och hur den påverkas över tiden av till exempel skatter eller andra åtgärder.

Också här kan förstås mer eller mindre komplicerade modeller användas. I många fall används förhållandevis detaljerade beskrivningar av särskilt energisektorn. Nackdelen med detta är att dessa modeller är byggda för just energiförsörjning utan att på ett bra sätt modellera tillväxt i mer allmän mening.

Vi har i stället här valt att bygga på en rättfram utvidgning av den enkla och välkända Solow-modellen som sedan länge utgjort basen i tillväxtmodellering. Utvidgningen innebär huvudsakligen att produktionsfunktionen utöver kapital och arbetskraft inkluderar bränsle som en produktionsfaktor, men också att sparkvoten bestäms genom framåtblickande nyttomaximering. En viktig aspekt i den ekonomiska modellen är förstås skadefunktionen, som diskuterats ovan, vilken fångar produktivitetsbortfall orsakade av högre global temperatur.

Tillväxtmodellen har bränsle som produktionsfaktor och fångar upp produktivitetsbortfall genom skadefunktionen.

Optimal skatt

Åtminstone sedan Arthur Pigous bok om välfärdsekonomi,¹⁵ som gavs ut 1920, är det välkänt att en skatt som motsvarar den externalitet, i detta fall skador, som ett utsläpp orsakar gör att användningen av en förorenande vara som fossilt bränsle blir samhällsekonomiskt korrekt avvägd på en i övrigt välfungerande marknad.

¹² På engelska kallas sådana modeller "Integrated Assessment Models", IAM.

¹³ Se Golosov, Hassler, Krusell och Tsyvinski (2014) och, för en regional analys, Hassler och Krusell (2012).

¹⁴ Vi bygger här på IPCC (2007, s. 25) som sammanfattar "About half of a CO₂ pulse to the atmosphere is removed over a time scale of 30 years; a further 30% is removed within a few centuries; and the remaining 20% will typically stay in the atmosphere for many thousands of years."

¹⁵ Pigou (1920).



Koldioxidutsläpp har global externalitet och verkar under mycket lång tid.

Konceptuellt är det därför inget speciellt med frågan om hur fossila bränslen ska beskattas. I praktiken är dock saken lite annorlunda än för många andra föroreningar eftersom externaliteten är global och verkar under mycket lång tid.

Ovan har vi visat att en inte orimlig approximation av koldioxidens effekter är att en extra enhet koldioxid i atmosfären skapar en skada som, uttryckt i procent av BNP, är oberoende av såväl BNP-nivån som den globala medeltemperaturen. Givetvis är detta inte mer än en approximation och ny kunskap kan kullkasta resultatet. Dessutom måste vi tillåta en betydande osäkerhet om värdet på denna konstanta skada. Som utgångspunkt för en transparent analys om vad som är en rimlig nivå på en global koldioxidskatt är approximationen dock värdefull.

Ovan visade vi att ett ytterligare gigaton kol i atmosfären kan förväntas minska global BNP med 2,4 tusendels procent per år. Vi använder den grekiska bokstaven γ för denna konstant. Med en global BNP på för närvarande cirka 75 000 miljarder dollar motsvarar denna skada 1,8 miljarder dollar per gigaton eller 1,8 dollar per ton kol.

Om ett utsläppt ton kol i atmosfären stannade där i exakt ett år för att sedan försvinna skulle därmed en skatt på 1,8 dollar per ton göra att externaliteten internaliserades på marknaden. Men eftersom ett utsläppt ton kol stannar i atmosfären mycket längre än ett år måste också framtida skador inkluderas i skatten.

För att rätt beskatta utsläpp av fossilt kol måste vi alltså beräkna värdet av *alla* de skador, nu och i framtiden, som extra utsläpp i dag genererar.

Två aspekter måste då beaktas. För det första är det viktigt hur länge ett ton utsläppt kol stannar i atmosfären. Ju längre det stannar, desto mer skador kommer det att orsaka. Mer specifikt, vi behöver veta hur mycket av ett utsläppt ton som finns kvar i atmosfären vid alla framtida tidpunkter.

För det andra, även om skadan per ton är konstant mätt som procent av BNP måste vi ta ställning till hur mycket en viss given procentuell skada på BNP vid en viss tidpunkt i framtiden ska värderas *i dag*.

Kolets depreciering

För att bestämma hur snabbt ett utsläppt ton kol stannar i atmosfären använder vi kolcykelmodellen, som ju beskriver hur ett ytterligare utsläppt ton kol påverkar den framtida banan för koldioxidhalten i atmosfären. De flesta kolcykelmodeller är dock så komplicerade att de inte låter sig representeras av ett fåtal parametrar.

För att tydliggöra hur koldeprecieringen påverkar nivån på den optimala skatten har vi därför i stället valt den approximationsform som beskrivits ovan.

Vi antar alltså för det första att en andel φ_L (till exempel 20 procent) av ett utsläppt ton stannar kvar för alltid.¹⁶

För det andra antar vi att en andel $1 - \varphi_o$ (till exempel 50 procent) försvinner direkt och för det tredje att resterande andel $\varphi_o(1 - \varphi_L)$ försvinner till djuphaven med en konstant deprecieringstakt φ (till exempel 2,3 procent, vilket ger en halveringstakt på 300 år) per decennium.

Med hjälp av denna parametrisering kan vi sedan direkt se hur förändringar i de olika parametrarna påverkar nivån på den optimala skatten.

Diskontering

Hur man ska värdera framtida välfärd är en klassisk, mångfacetterad och kontroversiell fråga. William Nordhaus¹⁷ hävdar att man bör använda marknadsdata som utgångspunkt. Genom att helt enkelt se hur marknaden värderar ett värdepapper som ger en viss utbetalning i framtiden, till exempel en obligation, kan vi få en uppfattning om hur marknaden värderar framtida konsumtionsmöjligheter.

Nicholas Stern¹⁸ hävdar å andra sidan att marknaden inte ger någon bra vägledning om hur man *bör* värdera framtida inkomster/skador eftersom detta är en värderingsfråga där vi inte nödvändigtvis bör ha samma uppfattning som marknadsaktörerna.

Diskontera framtida konsumtion med marknadsräntor eller...

... utifrån moraliska värderingar?

¹⁶ I verkligheten handlar det om tusentals år eller mer, vilket i ekonomiska kalkyler kan approximeras med "för alltid".

¹⁷ Nordhaus (2008).

¹⁸ Stern (2007).

Dessutom behandlar vi nu effekter som kan ligga flera hundra år in i framtiden och så långa obligationer handlas inte på marknaden. Även om vi från marknaden kan få fram att människor använder en viss diskonteringsränta för inkomster några år framåt i tiden är det inte alls säkert att samma ränta ska användas när vi diskonterar skador flera hundra år in i framtiden. På marknaden handlas värdepapper som ger rätt till framtida inkomster. Räntan på dessa är normalt inte densamma som den diskonteringsränta som bör användas för att diskontera andra framtida värden, till exempel hälsa eller biologisk mångfald.

Även om valet av diskontering alltså har att göra med moralfrågor finns det vissa aspekter som kan analyseras med en betydande grad av objektivitet. En sådan är hur vi ska se på det faktum att framtida generationer inte nödvändigtvis har samma inkomstnivå som vi själva. Ur ett välfärdsperspektiv är det rimligen värre om en fattig individ förlorar en krona eller ett äpple än om förlusten drabbar en rik person. Här kommer dock vårt antagande om att skadorna är proportionella mot BNP in på ett behjälpligt sätt.

Hur påverkas då vår värdering av skadan av ett ton kol i atmosfären vid en viss framtida tidpunkt av den inkomstnivå man då har? Å ena sidan kommer en högre inkomstnivå (högre BNP) göra att skadan blir större eftersom vi antagit att skadan är proportionell mot BNP. Detta skulle leda till en högre värdering i dag av skadan.

Å andra sidan innebär en högre inkomstnivå att välfärdsförlusten av en förlorad krona eller ett förlorat äpple inte är så stor, vilket minskar dess värdering.

Dessa två effekter drar alltså åt motsatt håll och under antaganden som är standard i makroteorin kan vi visa att de tar ut varandra exakt. I detta fall beror alltså inte värderingen av skadan av ett ton kol i atmosfären i en framtida tidpunkt på inkomstnivån vid denna tidpunkt.¹⁹

19 Det centrala antagandet är att nyttan är logaritmisk i konsumtionen. Då blir marginalnyttan omvänt proportionell mot konsumtionen, vilket balanserar med antagandet att skadan är proportionell mot inkomsten. För att detta ska vara exakt måste också konsumtionen vara proportionell mot inkomsten, men eftersom sparkvoten i de flesta långsiktiga tillväxtmodeller inte varierar särskilt mycket är detta inte av stor betydelse kvantitativt. Om nyttofunktionen har mer kurvatur än den logaritmiska kommer en högre (lägre)

En formel för skatten

Vi har nu alla ingredienser som behövs för att beräkna den optimala koldioxidskatten. För varje framtida tidpunkt beräknar vi skadan av ett extra ton kol i atmosfären. Denna ges av konstanten γ gånger BNP vid den tidpunkten. Om vi vid varje tidpunkt sedan multiplicerar med hur stor andel av ett i dag utsläppt ton kol som finns kvar får vi den skada som uppstår vid den framtida tidpunkten av ett ton kol som släpps ut i dag.

Genom att sedan beräkna den diskonterade summan av alla dessa skador får vi den optimala skatten. Givet de antaganden vi gjort ovan kan vi visa att denna skatt ges av följande formel:²⁰

$$T_t = Y_t \gamma \left(\frac{\varphi_L}{\rho} + \frac{(1 - \varphi_L)\varphi_0}{\rho + \varphi(1 - \rho)} \right).$$

I formeln är T_t den optimala skatten per ton kol i tidpunkt t , Y_t är global BNP i tidpunkt t , φ_L är andelen av ett utsläppt ton kol som stannar i atmosfären ”för alltid”, $1 - \varphi_0$ är andelen som försvinner direkt och φ är den takt med vilken övrigt kol absorberas av djuphaven. Den andel av ett utsläppt ton kol som sakta absorberas av djuphaven är alltså $(1 - \varphi_L)\varphi_0$, vilket utgör täljaren i den andra termen inom parentes.

Avslutningsvis är ρ vad som brukar kallas den *subjektiva diskonteringsräntan*. Den senare är den del av diskonteringsräntan som inte beror på att konsumtionen förändras över tiden. Den mäter alltså hur mycket vi – *allt annat lika* – föredrar att konsumera nu i förhållande till att skjuta konsumtionen på framtiden.

Som diskuterats ovan finns det här ett betydande inslag av moraliskt och kanske subjektivt övervägande. Vi avstår därför från att sätta ned foten i frågan om vad som är ”rätt” värde på ρ , men vi noterar att de värden som brukar användas i den allmänna diskussionen ligger i intervallet 0,1–2 procent. Notera att detta ska ses som ett mycket stort intervall när vi behandlar långa tidshorisonter.

Vi kan se det genom att beräkna hur långt

tillväxt att leda till större (mindre) diskontering och tvärtom.

20 Se Golosov, Hassler, Krusell och Tsyvinski (2014).

Att framtida generationer har högre inkomstnivå både ökar och minskar värderingen i dag av klimatskadan, ...

... men effekterna kan antas ta ut varandra.



in i framtiden vi behöver gå för att värdera nytan hälften så mycket som nytta i dag. Med 0,1 procent subjektiv diskonteringsränta är halveringstakten i vår värdering cirka 700 år, eller ungefär 20 generationer.

Med en ränta på 2 procent är halveringstakten ungefär 35 år, det vill säga en generation. Med den senare räntan bryr vi oss nästan inte alls om vad som händer om 700 år. Vår värdering av nytta i dag är mer än en miljon gånger högre.²¹

Från formeln kan vi direkt se att allt annat lika är skatten proportionell mot BNP. Det innebär att den ska stiga i takt med BNP.

Skatten är också proportionell mot klimatskadan, γ . Som vi tidigare noterat har vi en långt ifrån exakt kunskap om klimatskadorna. Det kan förstås mycket väl visa sig att vi skulle behöva uppdatera värdet på γ . I så fall ska skatten ändras i samma proportion som vi ändrar γ .

På samma sätt kan värdena som åsätts de parametrar som styr kolets depreciering komma att ändras med ny kunskap. Om en större andel av utsläppt kol stannar i atmosfären för alltid (går upp) så ska skatten höjas. Om en mindre andel försvinner direkt (ökar) eller takten som kolet sipprar ned i djuphaven faller (går ned) ökar också skatten. Givet vår tidigare diskussion är dessa effekter de väntade men vi kan nu utvärdera dem kvantitativt.

²¹ $1,02^{-700}$ är ungefär $1/1\,000\,000$.

Skattens nivå

I figur 3 visar vi den optimala skatten för de parametervärden vi valt ovan och för en global BNP på 75 000 miljarder dollar. På x-axeln visas den subjektiva diskonteringsräntan. I den vänstra y-axeln presenteras skatten i dollar per ton kol och till höger visas den i stället i svenska kronor per ton koldioxid. Notera att när ett ton kol förbränns förenas kolet med 2,67 ton syre och bildar 3,67 ton koldioxid. En skatt på 1 000 kronor per ton koldioxid motsvarar därför en skatt på 3 670 kronor om det i stället beräknas per ton kol.²²

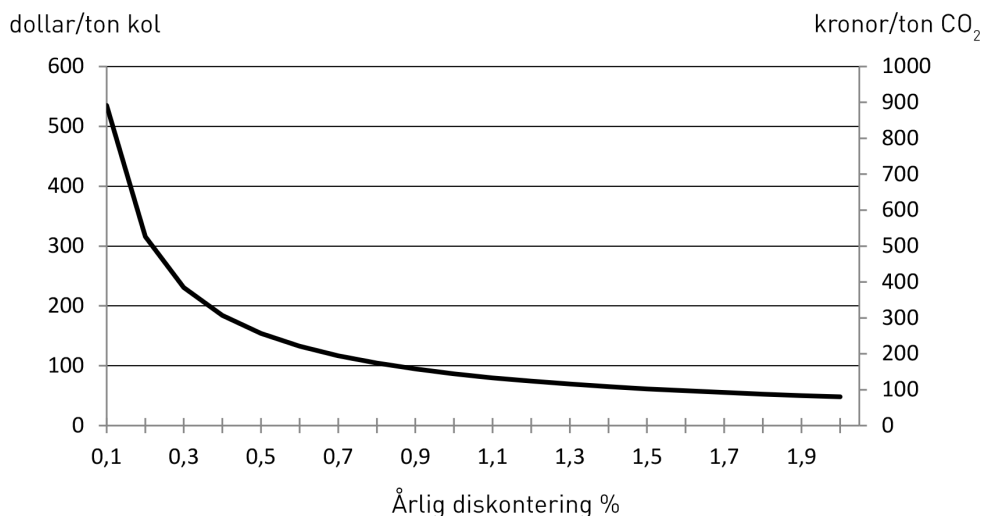
Som väntat är skatten lägre ju mindre vi bryr oss om framtiden, det vill säga ju högre diskonteringsräntan är. Jämfört med den årliga skadan, som vi ovan beräknade till 1,8 dollar per ton, är dock skatten mycket högre för alla visade diskonteringsräntor. Skatten är alltså i huvudsak orsakad av framtida skador.

Vi noterar också att vår formel genererar resultat som inte ligger långt ifrån Stern och Nordhaus. Även om de två använder olika modeller ligger den stora skillnaden i valet av subjektiv diskonteringsfaktor.

Stern använder sig av 0,1 procent per år, vilket med vår formel ger en skatt på 890 kronor per ton koldioxid. Det är nära den skatt som

²² Molvikten för kol är 12 och för syre 16. Kvoten mellan vikten på en koldioxidmolekyl och en kolatom är därmed $(12+2*16)/12$, vilket är ungefär 3,67.

Optimal skatt



Figur 3. Optimal skatt.
Källa: Egna beräkningar.

Ju högre diskonteringsränta, desto lägre optimal skatt.

Stern förespråkar. Med en diskonteringsränta på 1,5 procent per år säger vår formel att skatten ska vara 102 kronor per ton koldioxid eller 57 dollar per ton kol, vilket är ungefärligen konsistent med Nordhaus analys.²³

Det är också intressant att jämföra med den svenska koldioxidskatten som ligger på 1 100 kronor per ton, alltså till och med högre än för den mycket låga diskonteringsränta som Stern förespråkar. Priset på utsläppsrätter i EU har den senaste tiden fallit till drygt 4 euro per ton, vilket är betydligt mindre än den optimala skatten också om vi bryr oss lite om framtiden.

Priset på utsläppsrätter har fluktuerat betydligt under den tid systemet funnits i Europa. Dessa fluktuationer har inget att göra med förändringar i uppskattningen av koldioxidens skadeverkningar. De illustrerar en nackdel om kvantitetsrestriktioner används som policy-instrument i stället för skatter.

Om kvantitetsrestriktioner används måste den som bestämmer policy inte bara uppskatta koldioxidens skadeverkningar utan också kostnaden av att minska användningen. Den senare varierar över konjunkturcykeln och är olika på kort och lång sikt.

En optimal kvantitetsrestriktion kommer därför att variera över tiden även om koldioxidens samhällsekonomiska skadeverkningar är konstanta. Enligt vår mening är detta en allvarlig nackdel med att använda kvantitetsrestriktioner. Om däremot tipping points eller kritiska nivåer för koldioxidhalten identifieras skulle argumentet för kvantitetsrestriktioner stärkas.

Klimatskador och tillväxt

De flesta klimatekonomimodeller, liksom vårt resonemang ovan, utgår ifrån att klimatskadorna påverkar *nivån* på BNP men inte *tillväxttakten*.

Det är lätt att inkludera tillväxteffekter i vår formel för den optimala skatten, och finns sådana får de stora effekter på kalkylen, särskilt om de är permanenta eller åtminstone långsiktiga.

Vi har ovan räknat med att koldioxidutsläppen ökat mängden kol i atmosfären med cirka 200 gigaton och att detta leder till att global BNP blir 0,5 procent lägre. Med en diskonteringsränta på 1 procent behövs bara en hundradels så stor effekt på permanent tillväxt för att motivera samma skatt.

Med andra ord, om nuvarande 200 gigaton extra skulle sänka tillväxten permanent med en tiondel av nivåeffekten, alltså med 0,05 procent per år, skulle skatten behöva vara 10 gånger så stor som vad vi kalkylerat med. Det är lätt att inse att det är ytterligt svårt att mäta så små effekter. Detta ökar betydligt osäkerheten i kalkylen av den optimala skatten.²⁴

Betydelsen av koldioxidhalten i utgångsläget

I vår kalkyl har vi antagit att hur fort ett kolöverskott försvinner från atmosfären är oberoende av hur hög koldioxidhalten i atmosfären och haven är. Särskilt om utsläppen är stora kan detta antagande vara problematiskt såtillvida att stora utsläpp kan leda till att kolet stannar längre i atmosfären.²⁵

I en uppmärksammat artikel i tidskriften *Nature*²⁶ visar författarna att denna effekt dock neutraliseras av att högre koldioxidhalt har en avtagande effekt på energibalansen och att uppvärmningen av atmosfären fördröjs av att haven värms långsamt.

Kontentan är att ökningen i jordens medeltemperatur både på kort och lång sikt ungefärligen är proportionell mot den ackumulerade mängden kol som släppts ut. Den förväntade effekten enligt artikeln är att temperaturen stiger med 1,5 grader per 1 000 gigaton utsläpp.²⁷

Vi har hittills släppt ut cirka 500 gigaton i atmosfären, vilket alltså skulle leda till en ökning av temperaturen med cirka 0,75 grader. Detta resultat kan också användas som utgångspunkt i en kalkyl om den optimala skatten givet ett antagande om relationen mellan

Den svenska koldioxidskatten är högre än den optimala även vid mycket låga diskonteringsräntor.

²³ Ironiskt noterar vi att de globala *subventionerna* till konsumtion av fossila bränslen 2011 var 523 miljarder dollar (World Energy Outlook 2012 Factsheet). Med globala utsläpp på drygt 9 gigaton per år betyder det att användningen av fossilt bränsle *subventioneras* med ungefär lika mycket som den borde beskattas. Politiken har hittat rätt siffra, men fel tecken!

²⁴ Det visar också att andra åtgärder som kan ha långsiktiga effekter på tillväxten, till exempel skatter och utbildningspolitik, kan skapa eller förstöra mycket stora samhällsekonomiska värden.

²⁵ Inom vårt projekt Mistra-SWECIA pågår omfattande forskning om detta.

²⁶ Matthews, Gillet, Stott och Zickfeld (2009).

²⁷ Författarna anger också ett 95 procents konfidensintervall om 1 till 2,1 grader per 1 000 gigaton kol.



skada och temperatur. Detta är enkelt om vi antar att en ökning av temperaturen ger samma skada på ekonomin oavsett hur hög temperaturen är.

Om vi i stället antar att skadan på marginalen blir större ju högre temperaturen blir, så blir den optimala skatten, till skillnad från kalkylen ovan, beroende av vilka prognoser vi gör av framtida utsläpp. Om användningen av fossila bränslen i framtiden blir hög, ökar framtida marginalkostnader, vilket motiverar en högre skatt i dag – och vice versa.

Optimal koldioxidskatt – ett hot mot välfärden?

Införandet av en koldioxidskatt på rimlig nivå får konsekvenser för ekonomin. Högre energipriser har effekter på BNP eftersom energi är en viktig input i produktionsprocessen.

På kort sikt är energianvändningen nära nog proportionell mot BNP och det enda sättet att radikalt minska användningen av energi är att stänga av maskiner och konsumera mindre av till exempel transporttjänster.

På grund av detta är det lätt att få uppfattningen att energiskatter skulle kunna vara ett hot mot välfärd och tillväxt. Vi menar att det är ett felslut och att införandet av en rimlig global koldioxidskatt skulle ha mycket små effekter på den ekonomiska tillväxten.

Att energianvändningen är proportionell

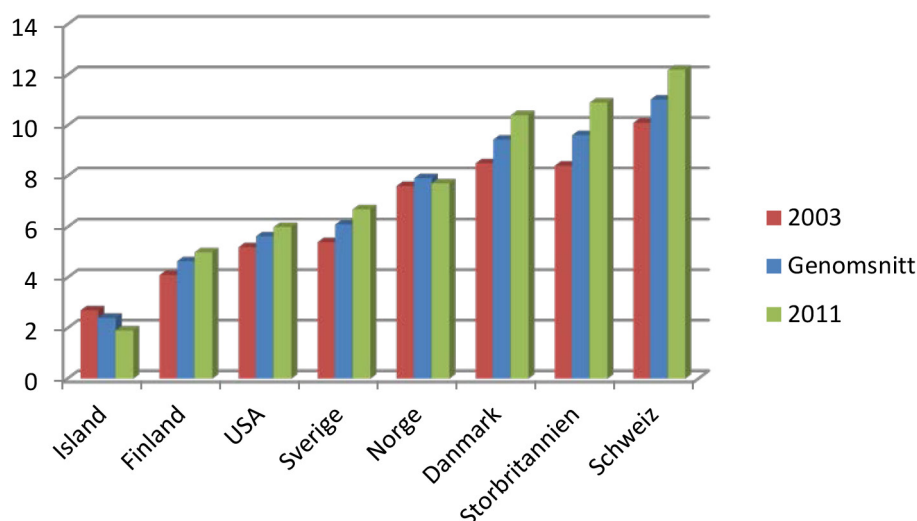
mot BNP är inte en bra approximation på lite längre sikt. I stället finns det mycket som talar för att det finns stora möjligheter att ersätta energi med andra produktionsfaktorer och ny teknik och därmed öka mängden producerad BNP per energienhet.

I ett längre perspektiv verkar den andel av BNP som vi spenderar på energi vara stabil på några procent. På kort sikt (några år) varierar denna andel kraftigt i takt med förändrade energipriser, men inte på längre sikt. Det talar för att möjligheterna att öka energieffektiviteten om priserna går upp, till exempel på grund av en skatt, är stora och att detta kan ske utan särskilt stora tapp i produktionen.

Också ett jämförande internationellt perspektiv talar för att substitutionsmöjligheterna är stora. I figur 4 visas energieffektiviteten i ett antal länder på ungefärligen samma utvecklingsnivå och med samma klimat. Måttet är BNP i dollar per energienhet (alla slag av energi är omräknade till energimässigt motsvarande kilogram olja). Den blå stapeln visar den genomsnittliga energieffektiviteten för varje land under perioden 2003–2011.

Som vi ser är variationen mycket stor, mer än en faktor 1:5 mellan den minst respektive mest energieffektiva nationen. Vi ser också betydande skillnader inom de skandinaviska länderna plus Finland. Danmark är mer än dubbelt så energieffektivt som Finland och Sverige är 30 procent mer effektivt än Finland men mer

En rimlig global koldioxidskatt skulle ha mycket små effekter på ekonomisk tillväxt.



Figur 4. Energieffektivitet BNP (i köpkraftsjusterade dollar 2005) per energienhet (kilogram oljeekvivalenter). Källa: Världsbanken.

än 20 procent mindre effektivt än Norge. Vi menar att dessa skillnader rimligen avspeglar skillnader i energipriser, orsakade av skillnader i tillgång och politik.

Hur effektiv är policy?

Som vi diskuterat finns det starka argument för att kostnaderna för klimatförändringar är mycket ojämnt fördelade över världen. Det betyder att olika länder bör förväntas ha olika syn på vad som är en rimlig koldioxidskatt.

I teorin skulle denna skillnad i synsätt kunna undanröjas genom kompenserande internationella transfereringar som skulle kunna göra att alla har mest att tjäna på att den globalt optimala skatten införs.

Av flera olika skäl, inte minst politiska, är det inte sannolikt att ett sådant system kommer att införas. Det är därför viktigt att analysera effekten av att skatter införs i enskilda regioner, men inte i andra.

Också om en global skatt skulle införas är det intressant att veta hur en sådan skulle påverka användningen av fossila bränslen. En nära relaterad fråga är vad som händer med användningen av fossila bränslen om teknisk utveckling ökar energieffektiviteten i ekonomin.

Konventionell olja: givet utbud

För att analysera dessa frågor är det centralt att beakta utbudsfaktorer. Priset på konventionell olja sätts på världsmarknaden. Det har lite att göra med producenternas extraktionskostnader utan reflekterar det faktum att mängden konventionell olja är begränsad.

På en marknad som denna är utbudet i ett långsiktigt perspektiv givet och kommer inte att påverkas om inte skatten redan i dag sätts så högt att det inte längre blir lönsamt att pumpa upp olja.

En global skatt på en realistisk nivå påverkar med denna utbudssituation inte priset för konsumenten utan bärs av producenterna i form av lägre vinster. Därmed påverkas inte konsumtionen nämnvärt.

Det senare gäller även teknisk utveckling som liksom en skatt minskar efterfrågan – skiftar efterfrågekurvan inåt. Om utbudet är oelas-

tiskt, det vill säga inte är priskänsligt, kommer sådana skift i efterfrågan bara att påverka priset till producenterna och inte den använda kvantiteten.

Vårt resonemang kan illustreras i figur 5. En skatt eller ny energisparande teknik skiftar efterfrågan inåt/nedåt från linje D_1 till D_2 . Eftersom utbudet (linje S) är vertikalt påverkas inte jämviktskvantiteten utan priset faller till en sådan nivå att samma kvantitet som tidigare efterfrågas.

Skatter eller teknisk utveckling påverkar i detta fall alltså inte den totala användningen i ett längre tidsperspektiv. Så länge priset på olja inte vid varje tidpunkt drivits ned till extraktionskostnaden kommer all olja att användas förr eller senare. Med tidsvarierande skatter kan tidsprofilen av oljeanvändningen ändras och det finns ett visst, men förhållandevis modest, samhällsekonomiskt värde i att skjuta oljeanvändningen på framtiden genom fallande skatter.²⁸

Med denna utbudssituation har skatter i vissa regioner en ännu mindre effekt och samma sak gäller regionspecifik teknisk utveckling, till exempel införandet av energisnåla bilar.

Om en region, säg EU, ökar skatten eller inför snåla bilar kommer det att leda till ett något lägre världsmarknadspris. Fallet blir exakt så stort att fallet i efterfrågan på olja i den region som infört skatten kompenseras av ökad efterfrågan i resten av världen.

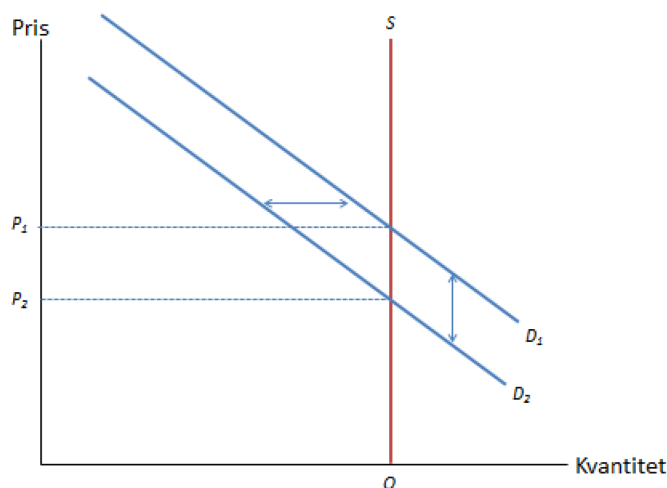
Man skulle kunna tro att kvantitetsrestriktioner får annorlunda konsekvenser, men så är inte fallet. Om en region med hjälp av kvantitetsrestriktioner skulle minska sin efterfrågan leder det också till att världsmarknadspriset faller exakt så mycket att den globala efterfrågan förblir oförändrad.

Resonemanget har hittills handlat om konventionell olja, som vi definierat som en vara med begränsat utbud och låga extraktionskostnader i förhållande till varans pris. När det gäller andra fossila bränslen, bland annat kol, är situationen helt annorlunda.

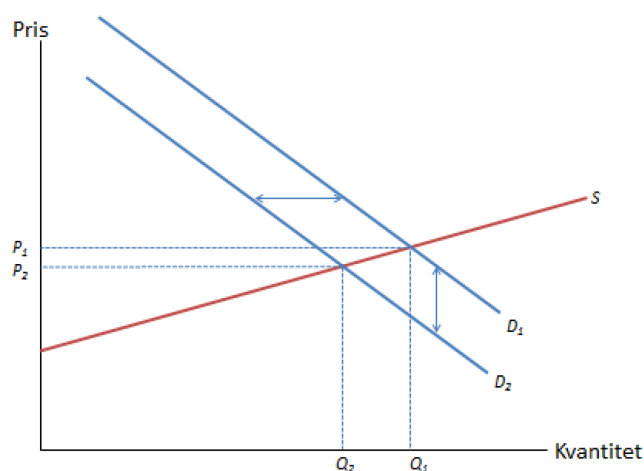
Länder påverkas olika av klimatförändringar och kan förväntas ha olika syn på vad som är en rimlig koldioxidskatt.

I och med att utbudet av olja är givet har regionala skatter ingen effekt på den globala användningen.

²⁸ Eftersom våra ekonomiska modeller bygger på att vi värderar framtida inkomster och kostnader lägre är det en ekonomisk fördel att skjuta kostnader på framtiden.



Figur 5. Utbud och efterfrågan då utbudet inte är priskänsligt.



Figur 6. Utbud och efterfrågan då utbudet är priskänsligt.

Kol: prisberoende utbud

Jämfört med mängden konventionell olja finns det enorma mängder kol. Kolpriset avspeglar därför i första hand producenternas extraktionskostnader. Om ett land hittar konventionell olja kan det bli rikt på detta men inte om det hittar en kolgruva. Eftersom kol är förhållandevis dyrt att transportera i förhållande till sitt pris konsumeras också merparten i den region där det produceras.

Med denna utbudssituation blir effekten av koldioxidskatter helt annorlunda, vare sig de är globala eller regionala. Eftersom kolpriset ligger nära extraktionskostnaden finns inte mycket utrymme för att sänka priset om en skatt införs. En skatt behöver därför inte vara särskilt hög för att en stor del av dagens kolbrytning skulle upphöra att vara lönsam.

En skatt på 50 dollar per ton kol skulle vara

ungefärligen lika hög som dagens extraktionskostnader och därför kunna ha en betydande effekt på kolanvändningen. Eftersom kolmarknaden inte är global bör en skatt i Europa inte leda till att kolanvändningen i till exempel Kina ökar.

Analysen är densamma om teknisk utveckling gör att energieffektiviteten ökar eller om alternativ grön energiproduktion ersätter kol.

Här kan marknadssjämvikten illustreras i figur 6. Den enda skillnaden mot figur 5 är att utbudet här antas vara prisberoende. Lägre priser kommer nu att göra att det inte blir lönsamt att sälja lika mycket. En skatt eller teknisk utveckling leder till ett fall i efterfrågan på samma sätt som i figur 5 men, eftersom utbudet är prisberoende faller jämviktskvantiteten från Q_1 till Q_2 .

Slutsatsen av våra resonemang är alltså att

För kol behöver skatten inte vara särskilt hög för att kolbrytning ska bli olönsam.

det är svårt eller omöjligt att påverka användningen av konventionell olja medan användningen av kol definitivt kan påverkas av koldioxidskatter eller andra policyinstrument.²⁹

Men mängden konventionell olja är inte tillräcklig för att svårigheten att påverka den ska ha någon större betydelse ur klimatsynpunkt. Vi har tidigare noterat att mängden kol i atmosfären ökat från cirka 600 gigaton till 800 gigaton.

Mängden konventionell olja som fortfarande finns kvar i marken kan uppskattas till cirka 200 gigaton. Även om all denna olja förbränns får det förhållandevis blygsamma effekter på klimatet.³⁰

Mängden kol kan uppskattas till åtminstone 20 gånger så mycket, vilket gör kol till ett stort klimathot. Det är därför oroande att så mycket av politiken mot klimathotet riktas mot fruktlösa försök att påverka användningen av konventionell olja och dess slutprodukter, till exempel bensin och flygbränsle.

Nya fossila bränslen

Vi har hittills diskuterat kol och konventionell olja som kan ses som ytterligheter i termer av deras utbudsstruktur. Höga oljepriser i kombination med teknisk utveckling har lett till att fossila bränslen mellan dessa ytterligheter har kommit fram under senare år.

Några exempel är djup offshoreolja, tjär-sand och hydraulisk spräckning (*fracking*). Från klimatsynpunkt finns det anledning att se med stor oro på framväxten av dessa nya fossila bränslen eftersom mängden av dem potentiellt är stor.

Å andra sidan är de åtminstone tills vidare dyra att utvinna, vilket innebär att användningen kan påverkas med skatter. Till skillnad från fallet med konventionell olja torde en rimlig koldioxidskatt och avskaffande av subventioner kunna leda till att en del av dessa tekniker inte kommer i storskaligt bruk.

²⁹ Den enda möjliga lösningen skulle vara att någon köper upp existerande oljekällor och förbinder sig att aldrig utvinna oljan i dem.

³⁰ Om vi använder våra överslagsberäkningar från ovan och antar att hälften av kolet från den förbrända oljan tas upp snabbt av ythav och växter och att klimatkänsligheten är 3 grader, skulle den ytterligare uppvärmningen bli $3 \cdot \ln(900/800) = 0,35$ grader.

Vi tackar våra kollegor inom Mistra-SWECIA och särskilt Markku Rummukainen för kommentarer på denna SNS Analys.

Referenser

- Arrhenius, Svante (1896), "On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground", *Philosophical Magazine and Journal of Science*, vol. 41, nr 5, s. 237–276.
- Dell, Melissa, Benjamin F. Jones och Benjamin A. Olken (2012), "Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century", *American Economic Journal: Macroeconomics*, vol. 4, nr 3, s. 66–95.
- Golosov, Mikhail, John Hassler, Per Krusell och Aleh Tsyvinski (2014), "Optimal taxes on fossil fuel in general equilibrium", *Econometrica*, under utgivning.
- Hassler, John och Per Krusell (2012), "Economics and Climate Change: Integrated Assessment in a Multi-Region World", *Journal of the European Economic Association*, vol. 10, nr 5, s. 974–1000.
- IPCC (2007), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge och New York: Cambridge University Press.
- Lenton, Timothy M., Hermann Held, Elmar Kriegler, Jim W. Hall, Wolfgang Lucht, Stefan Rahmstorf och Hans Joachim Schnellhuber (2008), "Tipping elements in the Earth's climate system", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 105, nr 6, s. 1786–1793.
- Leviton, Dave (2013), "Quick-Change Planet: Do Global Climate Tipping Points Exist?", *Scientific American*, 25 mars 2013.
- Matthews, H. Damon, Nathan P. Gillett, Peter A. Stott och Kirsten Zickfeld (2009), "The proportionality of global warming to cumulative carbon emissions", *Nature*, vol. 459, s. 829–832, 11 juni.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2012), "Riskvärdering. Ekonomisk

Politiken mot klimathotet borde inriktas på kol snarare än konventionell olja, ...

... men även framväxten av nya fossila bränslen oroar.



värdering av hälsorisker idag och i framtiden”, <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/26246.pdf>.

Nordhaus, William D. (2008), *A Question of Balance. Weighing the Options on Global Warming Policies*, New Haven, CT: Yale University Press.

Nordhaus, William D. och Joseph Boyer (2000), *Warming the World: Economic Modeling of Global Warming*, Cambridge, MA: MIT Press.

Pigou, Arthur (1920), *The Economics of Welfare*, London: Macmillan.

Stern, Nicholas (2007), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge och New York: Cambridge University Press.