

Virkninger på energibruk og utslipp av å stabilisere CO₂-konsentrasjonen*

Lars Lindholt og Knut Einar Rosendahl

Utformingen av et internasjonalt avgiftsscenario for å stabilisere CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren avhenger ikke bare av hvilket konsentrasjonsnivå man ønsker, men også av hvilket framtidssbilde man ser for seg uten klimatiltak. Både valget av framtidssbilde eller referansebane og målet for CO₂-konsentrasjonen er avgjørende for hvor høye avgifter som må til, og for hvordan tidsprofilen for CO₂-utslippsbanene ser ut. Våre resultater viser at en av de viktigste faktorene for framtidige utslipp og nødvendige politikktiltak er kostnader ved karbonfrie energikilder. Vi finner også at kostnadseffektive tiltak for å begrense CO₂-utslippene på lang sikt først og fremst vil redusere bruken av kull. Resultatene våre antyder videre at OPEC og andre oljeprodusenter bare vil tape en relativt liten andel av sin oljeformue så lenge det ikke settes temmelig ambisiøse mål for CO₂-konsentrasjonen i framtida. For et gitt mål på CO₂-konsentrasjonen er CO₂-avgifter mindre tapsbringende for oljeprodusenter enn økt konkurranse fra karbonfrie energikilder.

Innledning

Samtidig som verdens utslipp av klimagasser er stadig stigende, vokser erkjennelsen av at utslippene er i ferd med å påvirke klimaet på jorda. Temperaturen i atmosfæren har steget de siste tiårene, og vi har lagt bak oss et tiår som innehar 7 av de 10 høyeste årstemperaturene på 1900-tallet. Bedre datagrunnlag basert blant annet på data fra førhistorisk tid og resultater av analyser med forbedrede modellverktøy støtter opp under hypotesen om menneskeskapt klimaendring (CICERONE, 2000).

FNs klimakonvensjon (1992) satte som mål å stabilisere konsentrasjonen av drivhusgasser på et nivå som ville forhindre farlige, menneskeskapt forstyrrelser av klimaet. Hvorvidt et konsentrasjonsnivå er farlig eller ikke er imidlertid vanskelig å fastslå. For det første vet man for lite om de klimatiske konsekvensene av ulike konsentrasjonsnivåer. For det andre vil det være uenighet om hva som skal menes med "farlig".

I 1997 ble Kyotoprotokollen forhandlet fram av medlemslandene i FNs klimakonvensjon. Protokollen angir konkrete utslippsforpliktelser for de såkalte Annex B-land, dvs. de industrialiserte landene inkludert tidligere Øst Europa og Sovjetunionen. Forpliktelsen går

ut på at landene totalt sett må redusere sine årlige utslipp av CO₂ og fem andre klimagasser med 5,2 prosent i forhold til nivået i 1990. Dette gjelder som et gjennomsnitt for årene 2008-2012. Utslippsreduksjoner er imidlertid ikke noe mål i seg selv, men et middel for å hindre for høye konsentrasjoner av drivhusgasser i atmosfæren. Protokollen sier likevel ingenting om hvilket konsentrasjonsnivå det siktes mot.

I denne artikkelen ønsker vi å skue forbi Kyotoprotokollens forpliktelser, og diskutere ulike framtidsscenarier fram mot år 2100. Med scenarier mener vi her alternative, konsistente beskrivelser av framtida, der vi legger vekt på hvordan viktige drivkrefter bak utslipp av klimagasser kan utvikle seg. Sentrale drivkrefter er befolkningsvekst, økonomisk utvikling og teknologisk framgang, spesielt innen energisystemer. Vi tar utgangspunkt i en ny rapport laget av FNs klimapanel (IPCC, 2000). I rapporten presenteres alternative scenarier fram mot år 2100, der utviklingen i drivkreftene bestemmer utslippene av CO₂ og andre klimagasser. Alle scenariene beskriver en utvikling uten tiltak mot slike utslipp. Scenariene er inndelt i fire klasser eller "familier", og for hver familie er det plukket ut et representativt scenario kalt markørscenario. En illustrasjon på hva ulike antakelser om utviklingen i drivkrefter betyr, er at de globale CO₂-utslippene i år 2100 i markørscenariene varierer fra rundt dagens nivå til mer enn fire ganger så høye utslipp. Ingen av scenarie-familiene blir framstilt som mer realistisk enn de andre, og det er heller ingen såkalt midt-scenarier¹.

Lars Lindholt er konsulent ved Seksjon for ressurs- og miljøøkonomi. (lars.lindholt@ssb.no)

Knut Einar Rosendahl er forsker ved Seksjon for ressurs- og miljøøkonomi. (knut.einar.rosendahl@ssb.no)

* Takk til Torstein Bye og Knut Moum for mange gode kommentarer, og til Snorre Kverndokk for godt samarbeid i forbindelse med prosjektet.

¹ I 1992 la FNs klimapanel fram en rapport med ulike utslippsbaner. Her ble én av banene framstilt som et slags midt-scenario (IS92a), og denne banen har vært mye brukt i ulike studier av klimaproblemet, se f.eks. IPCC (1996).

Konsekvensene for konsentrasjonen av CO₂ og andre drivhusgasser er selsagt svært forskjellig i de ulike framtidsscenariene, noe som innebærer at klimavirkningene vil variere mye mellom scenariene. Nødvendige tiltak for å hindre en for høy CO₂ konsentrasjon vil derfor også være veldig forskjellige. I denne artikkelen presenterer vi beregninger av hvordan internasjonale CO₂-avgifter kan brukes til å stabilisere den atmosfæriske konsentrasjonen av CO₂ på bestemte nivåer, gitt to av de fire markørscenariene fra IPCC. Disse IPCC-scenariene vil vi kalle referansescenarier, fordi de beskriver en framtid uten ny klimapolitikk. Beregningene våre er basert på modellen Petro, som beskriver de globale markedene for fossile brensler (se f.eks. Berg m.fl., 1996 og Lindholt, 1998). I artikkelen ønsker vi å belyse følgende spørsmål:

- Hvor høye CO₂-avgifter må til for å stabilisere konsentrasjonen av CO₂ på ulike nivåer, gitt to forskjellige referansescenarier?
- Har valg av referansescenario stor betydning for hvilken utslippsbane som realiseres når målet for CO₂-konsentrasjonen er gitt og konstante CO₂-avgifter over tid benyttes for å nå målet?
- Hvordan påvirkes energimarkedene av at det innføres globale CO₂-avgifter?
- Blir OPEC og andre oljeeksportører hardt rammet av CO₂-avgifter, eller bør de heller frykte rask innføring av karbonfrie energikilder?

Vi vil først gi en nærmere presentasjon av de nye scenariene fra FN's klimapanel, og gjøre rede for hvordan de er implementert i Petro modellen. Deretter tar vi for oss spørsmålene over.

Framtidsscenarioer for utslipp av klimagasser – uten tiltak

Å si noe fornuftig om hva som vil skje med utslipp av klimagasser fram mot år 2100 er ikke lett. Et kort tilbakeblikk på hvordan utviklingen har vært de siste 100 årene tilsier at det i løpet av århundret vil skje strukturelle og teknologiske endringer som er umulige å beskrive i dag. Det kan likevel være hensiktsmessig å peke ut alternative retninger for framtidig utvikling av viktige drivkrefter bak utslipp av klimagasser, og på den måten spenne ut et rimelig mulighetsområde for framtidige utslipp. Slike scenarier kan danne grunnlag for å vurdere hvilke og hvor omfattende tiltak som bør iverksettes i nærmeste framtid. Denne tilnærmingen er valgt av FN's klimapanel i deres nye rapport (IPCC, 2000).

Grunnlaget for de alternative scenariene som er presentert i IPCC (2000), er en formulering av fire ulike framtidsskildringer (kalt "storylines"). Det vil si at det angis en kvalitativ, konsistent framstilling av hvordan de ulike drivkreftene kan utvikle seg fram mot år 2100. Hvert av scenariene som presenteres er en kvantitativ tolkning av et av disse fire framtidsskildringene. Vi vil først presentere hva som ligger til grunn for hvert av de fire framtidsskildringene og deres respektive scenario-familie.

Boks 1. Nærmere om IPCC's framtidsskildringer

A1: Dette framtidsskildringen beskriver en verden med lav befolkningsvekst, rask økonomisk vekst og hurtig innføring av nye og mer effektive teknologier. Inntektsforskjeller mellom regionene blir mindre som følge av overføring av teknologier fra rike til fattige land. Den teknologiske framgangen gjør at tilgangen på billig energi er stor. For dette framtidsskildringen er det konstruert fire markørscenarier, der den teknologiske endringen i energisystemer går i ulike retninger. I denne artikkelen tas det utgangspunkt i scenariet med balansert utvikling for alle energikilder.

A2: Dette framtidsskildringen beskriver en heterogen verden der flere regioner er preget av høy befolkningsvekst, lav økonomisk vekst pr. innbygger og liten teknologisk utvikling. Andre regioner opplever økonomisk framgang. Teknologioverføring skjer imidlertid i et sakte tempo, slik at avhengigheten av fossile brensler fortsatt er stor mot slutten av dette århundret.

B1: Dette framtidsskildringen beskriver en verden med samme lave befolkningsvekst som A1, men med raske endringer i økonomiske strukturer i retning av tjeneste- og informasjonsøkonomi. Dette innebærer en mindre material-intensiv økonomi. Rene og ressurs-effektive teknologier blir introdusert i større omfang enn i de andre framtidsskildringene.

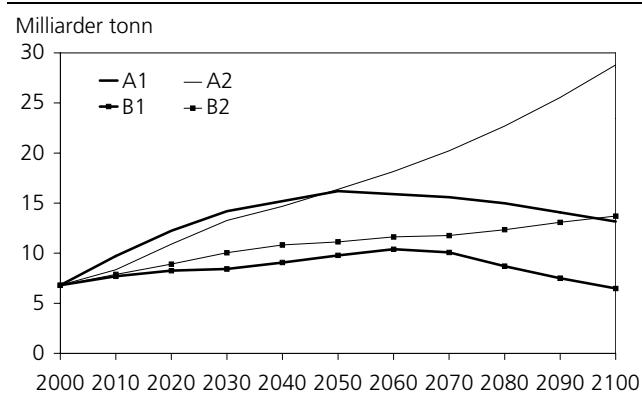
B2: Dette framtidsskildringen beskriver en verden med moderat befolkningsvekst og moderat økonomisk utvikling. Den teknologiske veksten er svakere og mer ulikt fordelt mellom regioner enn i A1 og B1, men den er i større grad rettet inn mot renere teknologier enn i A1 og A2.

Framtidsskildringene i IPCC sin rapport har fått betegnelsene A1, A2, B1 og B2. Som en første tilnærming kan de beskrives langs to dimensjoner. Den første dimensjonen skiller mellom en "materiell" utvikling ("A") og en "bærekraftig" utvikling ("B"), men uten klimatilnærming. Den andre dimensjonen skiller mellom en homogen verden med utstrakt globalt samarbeid ("1") og en heterogen verden kjennetegnet av lokale løsninger ("2"). I boks 1 er det beskrevet nærmere hvordan hvert av framtidsskildringene ser ut.

I figur 1 illustrerer vi hvordan utviklingen i globale CO₂-utslipp ser ut i de fire markørscenariene fram mot år 2100. Som vi ser er forskjellen mellom A1 og A2 på den ene siden, og B1 og B2 på den andre siden, stor fram mot 2050. Deretter faller utslippene i A1 ned mot nivået for B2, som følge av at den teknologiske utviklingen bringer på banen karbonfrie energiteknologier. Utslippene i A2 fortsetter imidlertid ufortrødent oppover og er i 2100 mer enn dobbelt så høye som i A1 og B2, og mer enn fire ganger så høye som i B1 (som er omtrent på dagens utslippsnivå).

Petro modellen – en kort beskrivelse

Petro er en modell som beskriver de internasjonale markedene for fossile brensler, dvs. olje, gass og kull. Siden fossile brensler er endelige og ikke-fornybare ressurser, vil utvinning av én enhet i dag redusere produksjonsmulighetene i framtiden. Derfor vil produ-

Figur 1. Globale CO₂-utslipp i fire markørscenarier fra IPCC (2000)

Kilde: IPCC (2000).

sentene kreve en méravkastning for å selge i dag. Det antas at produsentene har perfekt kunnskap, og de tar i modellen derfor ikke bare hensyn til eksisterende priser og markedsforhold, men også framtidig utvikling i disse størrelsene.² Produsentene søker å utvinne sine ressurser i et slikt tempo at det gir størst mulig petroleumsformue. Forbrukernes etterspørsel er derimot antatt å kun avhenge av inntekt og priser i den enkelte periode. Modellen tar hensyn til markedsinntekt i oljemarkedet, ved at OPEC opptrer som en samlet aktør. Gassmarkedet er delt inn i tre regioner som er modellert som frikonkurransemarkeder; OECD-Europa, Rest-OECD og Ikke-OECD. Kullmarkedet er modellert som et globalt frikonkurransemarked. Utvinningskostnadene for olje og gass i framtida stiger som følge av økt utvinning i dag, samtidig som teknologisk framgang har en dempende effekt på kostnadene. På grunn av store kullreserver i verden, er framtidige utvinningskostnader for kull upåvirket av dagens produksjon, mens teknologisk framgang fører til noe lavere kostnader over tid.

Det er fire etterpørselsregioner i modellen; OECD-Europa, Rest-OECD, en region bestående av de tidligere Sentral- og Øst-Europeiske landene, Russland og Ukraina, og en region bestående av resten av verden. De tre første regionene utgjør det som kalles Annex B i Kyoto protokollen, mens den siste regionen kalles Ikke-Annex B. Fossile brenslere antas å være imperfekte substitutter, dvs. at etterspørselen etter et fossilt brensel avtar med prisen på dette brenslere og øker med prisen på de to andre brenslere. Etterspørselen øker over tid på grunn av økonomisk vekst, som for hver region bestemmes utenfor modellen. På ethvert tidspunkt eksisterer det en karbonfri, alternativ energi-

kilde til en bestemt kostnad. Som følge av teknologisk framgang reduseres denne kostnaden over tid. Den karbonfrie energikilden antas å være et perfekt substitutt for fossile brenslere, dvs. at forbrukerne vil aldri etterspørre et fossilt brensel dersom prisen på brenslere er høyere enn prisen på det karbonfrie alternativet. Den alternative energien antas å foreligge i ubegrenset mengde og kan erstatte de fossile brenslere fullt ut en gang i framtida. Konsumentenes muligheter til å variere forbruket mellom de fossile brenslere er antatt å være små i A1, men forholdsvis store i A2. Dette henger sammen med at i framtidsbildet A2 er det antatt at kull erstatter olje i stort omfang når oljeresursene tømmes. Denne forskjellen mellom A1 og A2 er ikke minst viktig for hvordan CO₂-avgifter påvirker oljemarkedet.

Utslippene av CO₂ fram til 2100 framkommer i en etterberegning i Petro. Deretter benyttes en separat modell til å undersøke om det er mulig å stabilisere konsentrasjonen av CO₂ på det ønskede nivå uten totalt urealistiske reduksjoner i CO₂-utslipp etter år 2100.³ Et stabiliseringskrav er at konsentrasjonen av CO₂ ikke skal være mer enn 5 prosent fra stabiliseringsnivået i 2150. Petro har vært brukt i en rekke analyser tidligere (se f.eks. Berg m.fl., 1996, 1997a, 1999, og Lindholt, 1998), og en mer detaljert beskrivelse kan finnes i Berg m.fl. (1997b) og Lindholt (1999).

For å svare på spørsmålene i innledningen har vi tilpasset modellen Petro slik at den beskriver to ulike referansescenarier som samsvarer med markørscenariene A1 og A2 fra IPCC. Scenariene i Petro er ikke identiske med markørscenariene, men viktige trekk er like. Det gjelder f.eks. drivkrefter som økonomisk vekst, endringer i energiintensitet og teknologisk framgang i energiproduksjon. I tillegg er modellen kalibrert slik at CO₂-utslippene i år 2100 er like høye som i markørscenariene, og utslippsprofilen over århundret er forholdsvis lik. En nærmere beskrivelse av dette er gitt i Kverndokk m.fl. (2000).

Nærmere beskrivelse av referansescenariene

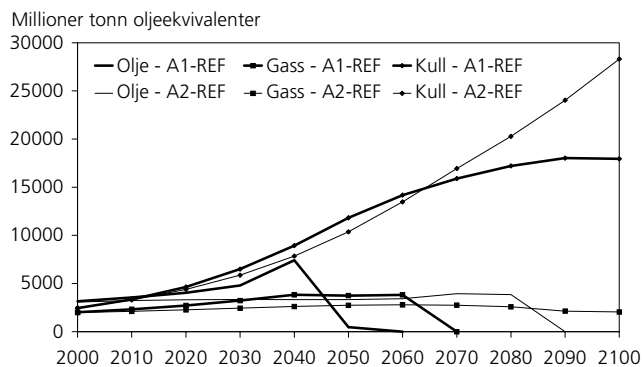
Figur 1 viste hvordan CO₂-utslippene i markørscenariene til IPCC ser ut. Som nevnt over er utslippene i referansescenariene A1 og A2 i Petro like, men ikke identiske med disse (se figur 3). Konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren vokser jevnt i begge de to referansescenariene som følge av utslippene som er vist i figur 1, og når henholdsvis 685 og 760 ppmv⁴ i år 2100. Til sammenligning var konsentrasjonen før den industri-

2 Det kan virke paradoksalt å studere alternative framtidsbilder når modellen forutsetter at produsentene har perfekt framsyn. Dette paradokset rammer også vår bruk av konstante CO₂-avgifter over tid, som forutsetter at framtida er kjent. Vi tror likevel at analysene gir interessant innsikt i hvor store forskjeller det er mellom avgiftsbanene i A1 og A2 - mangelen på perfekt framsyn vil dessuten etter alt å dømme trekke i retning av enda større forskjeller i avgifter mellom de to framtidsbildene.

3 Konsentrasjonsmodulen forsøker å lage en hypotetisk utslippsprofil etter 2100 som stabiliserer konsentrasjonen på ønsket nivå, gitt visse restriksjoner på hvordan utslippsprofilen skal se ut (bl.a. ekstrapoleres utslippsendringen i 2090-2100 til 2100-2110). Modulen er hentet fra modellen AIM, og er basert på Bern Carbon Cycle Model (Joos m.fl., 1996).

4 ppmv = parts per million (10⁶) by volume, se f.eks. IPCC (1996).

Figur 2. Bruk av fossile brenslere i referansescenariene A1 og A2



Kilde: Statistisk sentralbyrå.

elle revolusjonen rundt 270 ppmv og er i dag rundt 365 ppmv. Konsentrasjonen av CO₂ stiger raskere i referansescenariet A2 enn i A1 rundt neste århundreskiftet som følge av langt høyere utslippsnivå, slik at forskjellen mellom de to framtidbildene ligger an til å forsterke seg etter år 2100.

Vi vil nå beskrive hvordan denne utviklingen i CO₂-utslipp og -konsentrasjon henger sammen med energi- bruk og drivkreftene bak dette. Framtidbildet A1 er preget av høy økonomisk vekst kombinert med rask teknologisk endring og stor nedgang i energiintensiteten. Den økonomiske veksten er antatt å være såpass høy at bruken av energi vokser raskt. I starten betyr det at bruken av fossile brenslere øker sterkt, se figur 2. Som vist i figur 1 har dette konsekvenser for CO₂-utslippene. Etter hvert fører imidlertid den raske teknologiske framgangen til at karbonfrie energikilder blir billigere og mer konkurransedyktige i forhold til fossile brenslere. Bruken av olje, gass og kull vil derfor falle eller vokse saktere fra rundt midten av dette århundret i dette referansescenariet.

I framtidbildet A2 er den økonomiske veksten svakere, samtidig som energiintensiteten avtar i mindre grad enn i A1. Som følge av den svakere økonomiske veksten øker bruken av fossile brenslere i noe mindre tempo enn i A1. Den teknologiske framgangen er også mindre, slik at karbonfrie energikilder fortsatt er relativt dyre rundt midten av dette århundret. Tilgangen på olje- og gassressurser er imidlertid begrenset, slik at disse ressursene blir mer eller mindre uttømt i løpet av århundret (først og fremst olje). Det vil si at bruken av kull får et stadig større omfang, og dette gjør at CO₂-utslippene stadig stiger i raskt tempo.

Virkninger av å stabilisere CO₂-konsentrasjonen

De ulike avgiftsbanene

I de to referansebanene uten tiltak blir ikke nivået på CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren stabilisert på 750 ppmv eller lavere på lang sikt. Derfor ønsker vi å beskrive og sammenligne de ulike avgiftsbanene i A1 og A2 som er i stand til å stabilisere konsentrasjonen på 450, 550, 650, og 750 ppmv. Avgiftsbanene benevnes etter referansebane og ønsket konsentrasjonsnivå, som f.eks. A1-550.

Som nevnt over, setter vi som krav at CO₂-konsentrasjonen skal være maksimalt 5 prosent fra ønsket nivå i 2150 og senere. Det finnes ulike utslippsprofiler, både mellom regioner og over tid, som gjør at et bestemt konsentrasjonsnivå nås. Siden Petro kun omfatter energimarkedene er det ikke mulig å finne frem til strategier som gjør at CO₂-konsentrasjonen stabiliseres på den billigste måten. Vi velger derfor i stedet å anta at det benyttes konstante avgifter over tid, og forsøker å finne den laveste avgiften som må til for å nå stabiliseringsmålet. CO₂-avgiften innføres først i Annex B-området.⁵ Avgiften innføres utenfor Annex B 10 år tidligere i A1 enn i A2, da dette framtidsscenariet innebærer en større grad av globalisering.

Tabell 1 viser størrelsen på avgiften gitt at de ulike målsettingene akkurat oppfylles. For å nå et konsentrasjonsnivå på 550 ppmv, som om lag tilsvarer en fordobling av det førindustrielle nivået, er det nødvendig med en CO₂-avgift på henholdsvis 92 Nkr og 370 Nkr i A1 og A2 (100 Nkr per tonn CO₂ = ca. \$ 5,4 per fat olje). Legg merke til at hver gang det ønskede konsentrasjonsnivået reduseres med 100 ppmv, så doubles om lag den nødvendige avgiften. I tillegg er den nødvendige avgiften 4-6 ganger større i de ulike avgiftsbanene i A2 enn i de tilsvarende scenariene i A1. En del av forklaringen er at de akkumulerte utslippene over det kommende århundret er større i A2 enn i A1 (1787 mrd. tonn karbon og 1535 mrd. tonn karbon), i tillegg til at avgiften innføres senere utenfor Annex B i A2. Hovedårsaken er likevel at den alternative, karbonfrie energikilden er dyrere i A2 enn i A1. Dermed er det vanskeligere å redusere utslippene fra et gitt nivå i A2, og en høyere avgift er nødvendig for å gjøre den alternative energikilden mer konkurransedyktig.

Når bør CO₂-utslippene reduseres?

Et viktig spørsmål som de siste årene har vært mye diskutert i internasjonal litteratur, er *når* man bør redusere utslippene av klimagasser. Selv om man skulle bli enige om å stabilisere konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren på et bestemt nivå, er det langt fra gitt hvor høye utslippene bør være på hvert enkelt tidspunkt. Det kan konstrueres en lang rekke utslipps-

⁵ Med et effektivt internasjonalt kvotemarked kan CO₂-avgiften (under visse betingelser) tolkes som en kvotepris på CO₂.

Tabell 1. Den nødvendige CO₂-avgift i ulike scenarier

Avgiftsscenario	Konstant CO ₂ avgift (1994-Nkr/tonn CO ₂)	År med global CO ₂ avgift
A1-750	18	2025
A1-650	49	
A1-550	92	
A1-450	203	
A2-750	121	2035
A2-650	203	
A2-550	370	
A2-450	738	

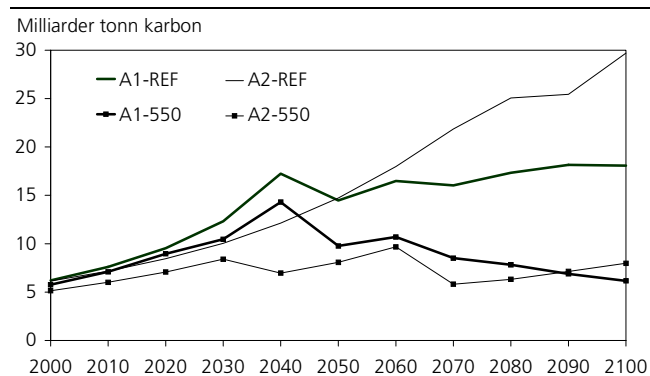
Kilde: Statistisk sentralbyrå

profiler som gir den samme CO₂-konsentrasjonen på lang sikt. Flere forskere har uttrykt ønske om fleksibilitet i forhold til dette, slik at de nødvendige utslippsreduksjonene kan skje på en billigst mulig måte (gjerne kalt "when flexibility"). Et eksempel er Wigley m.fl. (1996), som konkluderte at det vil være kostnadsbesparende å utsette mesteparten av utslippsreduksjonene i et par tiår, med mindre man sikter mot svært lave konsentrasjonsnivåer. Konklusjonen henger blant annet sammen med at det på kort sikt er omstillingskostnader ved å redusere utslipp. Forutsetningen for en slik fleksibilitet mellom perioder er imidlertid at investeringsbeslutninger i dag er tilpasset utslippsrestriksjoner som vil komme om noen tiår. Med tanke på prosessen rundt Kyotoprotokollen, som etter planen skal gjelde fra og med 2008, og som tidligst blir ratifisert om et par år, kan en slik forutsetning synes i overkant optimistisk. Når det samtidig gir et inntrykk av at byrden for utslippsreduksjoner i stor grad overlates til framtidige generasjoner, har flere uttrykt skepsis til full fleksibilitet.

I denne artikkelen vil vi fokusere på et annet moment som taler mot full fleksibilitet mellom perioder. I Wigley m.fl. (1996) og de fleste andre lignende studier bruker man kun ett enkelt referansescenario for å trekke konklusjoner. I vårt arbeid har vi lagt vekt på å se på ulike framtidsbilder fram mot år 2100, og studere forskjeller mellom disse. Vi vil nå diskutere utslippsprofiler for de to framtidsbildene A1 og A2, dersom vi ønsker å stabilisere CO₂-konsentrasjonen på 550 ppmv, noe som altså tilsvarer en fordobling av det førindustrielle nivået.⁶ Disse er illustrert i figur 3, sammen med CO₂-utslippene i referansescenariene i Petro. For en drøfting av de andre CO₂-konsentrasjonene henvises det til Kverndokk m.fl. (2000).

Figur 3 viser at avgiften i A1-550 fører til et moderat fall i utslippene i starten. I 2025 legges det avgifter på landene utenfor Annex B-området, og dette fører til en ny reduksjon i utslippsnivået. Fram til 2040 endres utslippsveksten likevel lite av at avgiften innføres. Men rundt 2100 ser vi at for A1-550 ligger de globale

Figur 3. Globale karbonutslipp i A1-550, A2-550 og de to referansebanene



Kilde: Statistisk sentralbyrå.

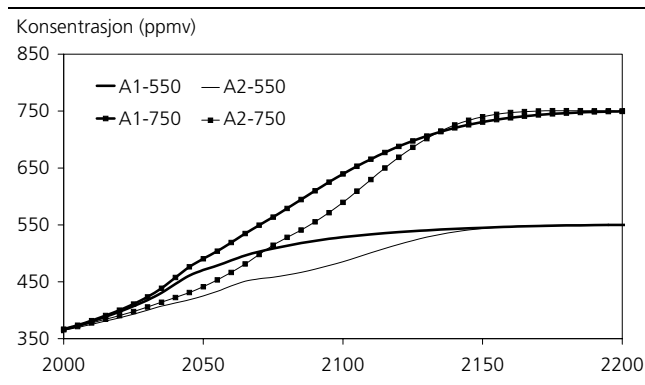
utslippene på omlag 6 mrd. tonn karbon, omlag en tredjedel av nivået i referansebanen uten avgift. Vi ser at utslippene er klart *avtakende* mot slutten av århundret i A1-550, i motsetning til det som er tilfellet i referansebanen.

Innføringen av CO₂-avgifter fører til en sterkere reduksjon i utslippene i de første periodene i A2 enn i A1. Årsaken er rimeligvis at avgiften er høyere i A2 enn i A1. Men den mer grunnleggende forklaringen er at de samlede utslippene *over hele århundret* er større i referansebanen i A2 enn i A1. Med konstante avgifter over tid medfører dette at det blir et større fall i utslippene i A2 enn i A1 i de første periodene, selv om utslippsnivået i referansebanen i A2 da er noe lavere enn i A1. I A2 innføres avgiften utenfor Annex B først i 2035, som er en periode senere enn i A1, og dette gir et ytterligere markert fall i de årlige utslippene. For øvrig viser figur 3 at de årlige karbonutslippene i A2-550 ligger rundt 8 mrd. tonn karbon i 2100, en fjerdedel av nivået i referansebanen. Et sentralt trekk ved A2-550 er at karbonutslippene er klart *stigende* mot slutten av neste århundre. Årsaken til dette vil bli klarere i det følgende.

Vi ser av figuren at selv om det langsiktige stabiliseringsmålet er gitt, ligger utslippsbanen til A1 godt over banen til A2 mesteparten av århundret. Først i 2090 krysser utslippsbanene. Totale utslipp over hele århundret er så mye som 23 prosent høyere i A1 enn i A2. Når man legger til at de totale utslippene i referansescenariene er 14 prosent *lavere* i A1 enn i A2, ser man at utslippsendringen er langt større i A2 enn i A1. Hva er forklaringen på dette?

Forklaringen ligger i utviklingen av prisforholdet mellom de fossile brensler og den karbonfrie energikilden. Etterspørselen etter energi øker mer i A1 enn i A2, men samtidig er den teknologiske framgangen for den alternative energikilden større. Dette gjør at

6 Som nevnt over, er avgiftsscenariene som vi kommer fram til ikke kostnadseffektive. De er imidlertid sammenlignbare siden samme politikk-tiltak er benyttet, nemlig en konstant CO₂-avgift over tid.

Figur 4. CO₂-konsentrasjonen i avgiftsbanene A1 og A2, 550 og 750 ppmv

Kilde: Statistisk sentralbyrå.

prisen på denne energikilden faller raskere i A1 enn i A2 og blir konkurransedyktig med de fossile brenslene på et tidligere tidspunkt. Dette fører til at forbrukerne i en tidligere periode enn i A2 vrir forbruket fra de fossile brenslene og over til den karbonfrie energikilden. Dette er forklaringen på at de globale CO₂-utslippene i A1 er på vei ned ved neste århundreskifte, mens utslippene i A2 er på vei opp. En konsistent videreføring av utslippsbanene etter 2100, dvs. en ikke altfor rask endring i utslippene (se fotnote 3), vil derfor medføre klart høyere utslipp i A2 enn i A1 også etter 2100. For å klare å stabilisere konsentrasjonen av CO₂ på 550 ppmv kreves det som følge av dette mindre utslipp i A2 enn i A1 fram til år 2100.

Dette blir bekreftet når vi ser på konsentrasjonsbanene for CO₂ i atmosfæren (figur 4). Her ser vi at CO₂-konsentrasjonen i 2100 er klart større i A1-550 enn i A2-550 som følge av høyere utslipp over århundret i A1 enn i A2. Samtidig øker konsentrasjonen tre ganger så raskt i A2 som i A1 rundt århundreskiftet ettersom utslippene i A2 da er betydelig høyere enn i A1. Vi legger også merke til at konsentrasjonsbanen for A1-550 faktisk ligger over banen for A2-750 fram til 2075. Dvs. at i løpet av de nærmeste 75 årene tilsier den samme politikk-strategien like høye CO₂-utslipp i framtidens A1 med et konsentrasjonsmål som er 50 prosent høyere enn dagens nivå (dvs. 550 ppmv.), som i framtidens A2 med et konsentrasjonsmål som er mer enn dobbelt så høyt som dagens nivå (dvs. 750 ppmv.).

Hva betyr dette? Resultatene våre tyder på at dersom man ønsker konstante rammebetingelser over tid, er hensiktsmessige utslippsnivåer på mellomlang sikt i like stor grad avhengig av hvordan drivkreftene bak utslipp av CO₂ utvikler seg i framtida som av hvilket nivå man ønsker å stabilisere CO₂-konsentrasjonen på. Selv om modellen vår ikke kan si noe om kostnads-effektive baner, er det grunn til å tro at også disse banene vil være svært avhengig av hvilket referanse-scenario som benyttes. Siden den framtidige utviklingen i drivkreftene er uvis, kan man ikke trekke gene-

relle konklusjoner om utslippsbaner med utgangspunkt i et enkelt referansescenario. I stedet må man i prinsippet gjøre følgende vurdering: Små utslippsreduksjoner i dag med risiko for negative overraskelser i framtida må settes opp mot større utslippsreduksjoner i dag med risiko for etterpåklokskap om sløsing (se f.eks. Brekke og Lystad, 2000). Vår analyse gir innsikt i hva konsekvensene av ulike framtidensbilder kan være, og gir dermed et bedre grunnlag for å gjøre denne vurderingen.

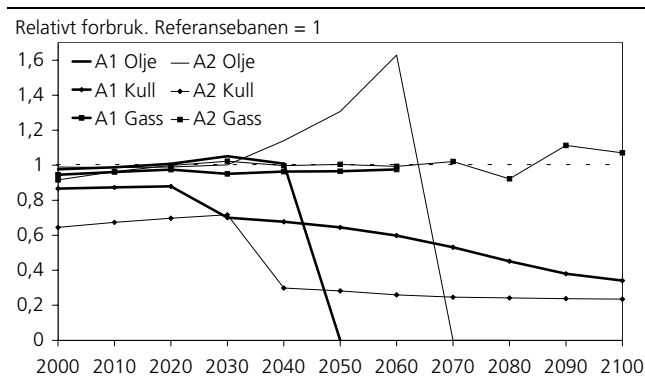
I virkeligheten vil heller ikke konsentrasjonsmålet være upåvirket av den framtidige utviklingen. For det første er det grunn til å tro at høyere kostnader ved å redusere utslipp vil føre til at et høyere konsentrasjonsnivå vil aksepteres (som følge av en full kostnytte vurdering). Selv om Klimakonvensjonen fastslår at målet er et konsentrasjonsnivå som forhindrer farlige, menneskeskaptede forstyrrelser av klimaet (se innledningen), er formuleringen såpass vag at tiltakskostnadene sannsynligvis vil bli tatt hensyn til. For det andre vil ny forskning om klimasystemet gi stadig økt kunnskap om farligheten ved ulike konsentrasjonsnivåer.

Virkninger i energimarkedene

Hvordan er så virkningene på brenselforbruket i de ulike avgiftsbanene? I dette avsnittet diskuterer vi virkningene i energimarkedene generelt, og i neste avsnitt tar vi for oss oljemarkedet spesielt. Figur 5 viser hvordan forbruket av olje, kull, gass og den alternative energikilden endres fra referansebanen som følge av innføringen av avgifter. Et viktig spørsmål er i hvilken grad CO₂-avgiftene fører til redusert energibruk, og i hvilken grad de bidrar til å vri etterspørselen mellom brenslene. Det er også viktig å svare på disse spørsmålene i et dynamisk perspektiv, f.eks. når skjer det en markant overgang fra fossile brenslere til karbonfrie energikilder.

Vi ser at forbruket av olje er om lag uendret over de første 40 årene i A1-550 i forhold til referansebanen, mens forbruket av gass viser en liten reduksjon. Det viser seg at konsumentene begynner å etterspørre karbonfri energi omtrent i samme periode som i referansebanen, men i noe sterkere grad, se figur 5. Selv om den teknologiske framgangen gir stadig lavere pris på den alternative energikilden, endres forbruket av olje og gass lite fram til 2040. Årsaken er at selv etter innføringen av avgifter er olje- og gass-prisene likevel lavere enn prisen for den alternative energikilden i denne perioden. I de første periodene i A1-550, når avgiften bare er innført i Annex B-landene, blir kullforbruket redusert med noe over 10 prosent. Når avgiften blir global, er reduksjonen om lag en tredjedel. Forbruket av kull faller ytterligere fram mot 2100. Dette viser at CO₂-avgiftene klart reduserer forbruket av det mest karbonrike brenslene mest. Årsaken er selvfølgelig at avgiften er høyere for kull enn for olje og gass (målt per energi-enhet). I tillegg er konsument-

Figur 5. Forbruk av olje, gass og kull i A1-550 og A2-550. Forbruk i referansebanen = 1

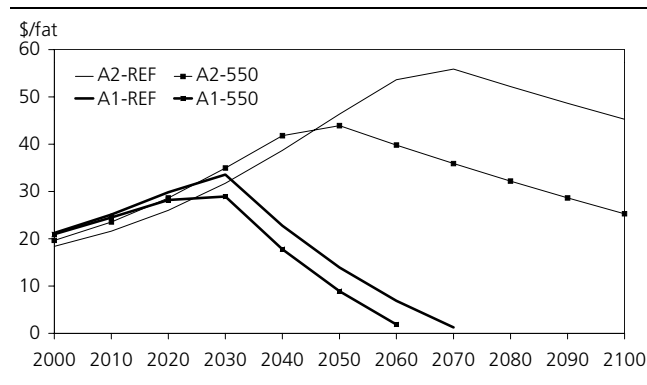


Kilde: Statistisk sentralbyrå.

prisen per energienhet lavere for kull enn for gass og spesielt olje, slik at den relative prisøkningen blir høyere. Rundt århundreskiftet blir omlag 75 prosent av reduksjonen i kullforbruket (målt per energienhet) kompensert med økt bruk av den alternative, karbonfrie energikilden, som øker sin markedsandel fra 80 til 93 prosent etter at avgiftene er innført.

Som følge av de høyere avgiftene i A2-scenariene skulle man forvente sterkere utslag på brenselforbruket. I A2-550 fører avgiftene til at oljeforbruket forskyver seg nærmere i tid, og figur 5 viser at forbruket faktisk er høyere fra 2040 til 2060 enn i referansebanen. Den alternative energikilden erstatter oljeforbruket i 2070, noe som er to perioder tidligere enn i referansebanen i A2. Årsaken er at oljeprisen da er såpass høy at den karbonfrie energikilden er rimeligere. I likhet med i A1 endres gassforbruket i liten grad gjennom århundret, fordi konsumentprisen for gass er lavere enn for den nye energikilden. Igjen er det slik at nesten all reduksjon av utslipp skyldes redusert kullbruk. Figuren viser at den høyere CO₂-avgiften i A2-550 enn i A1-550 gjennomgående fører til en sterkere reduksjon i forbruket av kull. Fordi den alternative energikilden er dyrere i A2, resulterer de høye avgiftene likevel ikke i at kull erstattes i den perioden vi ser på. Den relative reduksjonen i kullforbruket er noenlunde konstant etter 2040, og det viser seg at det absolutte forbruket er stigende i siste halvdel av århundret. Selv etter at avgiften er innført er kull fortsatt relativt rimelig i forhold til den alternative energikilden. Den noe svakere teknologiske framgangen for den karbonfrie energikilden i A2 gjør at prisen på denne bare til en viss grad faller. Dette er den bakenforliggende forklaringen på hvorfor utslippsbanen i A2-550 er stigende rundt neste århundreskiftet. I 2100 er kun 30 prosent av reduksjonen i bruken av kull kompensert med økt bruk av den alternative energikilden (målt i energinnhold). Likevel har denne energikilden nå en markedsandel på 63 prosent, mot 22 prosent i referansebanen.

Figur 6. Produsentprisen på olje i A1-550, A2-550 og de to referansebanene



Kilde: Statistisk sentralbyrå.

I avgiftsbanene i A1 og A2 er det altså hovedsakelig redusert forbruk av kull som gir reduserte utslipp. Det viser seg at denne reduksjonen til en viss grad blir kompensert av økt forbruk av den karbonfrie, alternative energikilden. I A1 er denne energikilden konkurransedyktig på et tidligere stadium enn i A2, og dette gjør at overgangen fra kull blir lettere. Dermed er det ikke nødvendig med spesielt sterke politikktiltak for å fremskynde dette skiftet i A1. Utslippsreduksjonene i A1 skjer dermed først og fremst ved at karbonholdig energi erstattes av karbonfri energi. I A2 er det derimot nødvendig med høye karbonavgifter for å redusere utslippene over århundret, fordi den alternative energikilden er dyrere. Dette gjør at spesielt forbruket av kull blir mindre over hele perioden. Utslippsreduksjonene i A2 skjer dermed først og fremst ved at total energibruk, i første rekke kull, reduseres.

Virkinger i oljemarkedet og konsekvenser for oljeprodusentene

I dette avsnittet vil vi undersøke konsekvensene for oljemarkedet og spesielt for oljeformuen til ulike produsenter av at det innføres CO₂-avgifter som i tabell 1. Men først vil vi kort beskrive hvordan oljepris og -produksjon utvikler seg i de to referansebanene A1 og A2. Figur 6 viser at produsentprisen på olje starter rundt 20 dollar fatet i referansebanene. Deretter stiger oljeprisen fram til den når den maksimale produsentprisen, som er bestemt av prisen på den alternative energikilden. I A1 skjer dette allerede i 2030 når oljeprisen er 34 dollar fatet på grunn av en sterk teknologisk framgang for denne energikilden. I A2 stiger oljeprisen i ytterligere 40 år før den når 56 dollar per fat i 2070. Bak en slik prisutvikling ligger OPEC som tar hensyn til at deres egen produksjon påvirker prisen. Produsentene utenfor OPEC (kalt "Ikke-OPEC") tilpasser sin produksjon til den gitte prisen. Det viser seg at Ikke-OPEC i A1 har en markedsandel på omlag to tredjedeler fram til 2030, som er noe i overkant av deres markedsandel på rundt 60 prosent i dag. Deretter blir OPEC monopolist i 20-30 år, før den alternative energikilden blir så billig at det heller ikke er lønnsomt for kartellet å produsere olje. I A2 er produk-

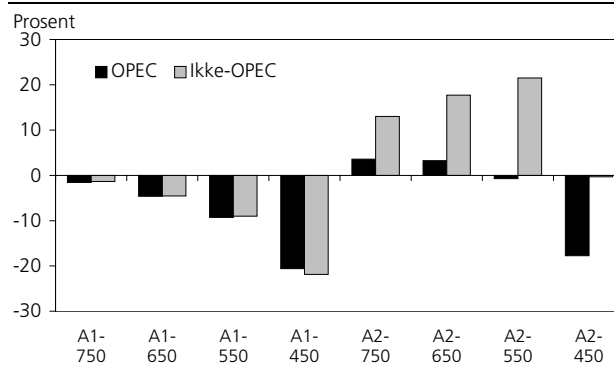
sjonsperioden lenger enn i A1. Ikke-OPEC har en markedsandel på rundt 50 prosent fram til 2060, før OPEC går inn i rollen som monopolist en ti års tid. I A2 vil en prisøkning på et brensel føre til en sterkere vridning i etterspørselen mot de to andre brenslene enn i A1. Dette gjør at det ikke er like lønnsomt for kartellet å redusere produksjonen for å holde en høy pris, fordi en økt oljepris i større grad fører til at forbruket vris mot gass og kull.

Figur 6 viser at når avgiften innføres i A1-550, faller oljeprisen i starten med 0,25 dollar per fat, mens 20 år senere er reduksjonen 1,6 dollar. Årsaken er at OPEC reduserer produksjonen for å holde oljeprisen oppe på noenlunde samme nivå som før avgiften ble innført. Dermed vil konsumentene bære nesten hele avgiftsbyrden i begynnelsen. Når oljeprisen når sin toppverdi i 2030 betaler produsentene hele avgiften, mens konsumentprisen er uendret. Ikke-OPEC tar oljeprisen for gitt og finner det optimalt å øke produksjonen i de to første periodene når reduksjonen i produsentprisen er minimal. Dette gjør det mulig for OPEC å øke sin markedsandel i 2030, selv om de stanser produksjonen noe tidligere.

I A2-550 fører faktisk innføringen av avgiften til at produsentprisen stiger med mellom 1,3 og 3,2 dollar fatet i de første 50 årene. Så faller oljeprisen tidligere enn i referansebanen og fra 2070 bærer produsentene hele avgiftsbyrden. Årsaken er som sagt over at konsumentene i større grad endrer forbruket av de ulike brenslene i A2 enn i A1 når prisene endrer seg. Som tidligere nevnt har CO₂-avgiften en relativt sterkere effekt på konsumentprisen på kull enn på olje. I A2 har den økte kullprisen i enda større grad enn i A1 en positiv effekt på oljeetterspørselen og dette fører til et strammere oljemarked med høyere oljepriser enn i referansebanen. Dette gjør at avgiften fører til en periode med økt oljekonsum i forhold til referansebanen som vist i figur 5. I de fire første periodene reduserer OPEC produksjonen for å holde prisen så høy som mulig, mens Ikke-OPEC øker produksjonen i samme periode fordi oljeprisen nå er høyere enn i referansebanen. Begge produsenter stanser sin produksjon to perioder tidligere enn i referansebanen.

Oljeformuen defineres gjerne som nåverdien av framtidig oljerente. Med oljerente menes forskjellen mellom produksjonsinntektene og kostnadene. Oljeutvinningen gir normalt en meravkastning sammenlignet med annen økonomisk aktivitet, fordi ressursene er endelige. Figur 7 viser hvordan formuen til OPEC og Ikke-OPEC påvirkes i de ulike avgiftsscenariene. Først må det påpekes at OPECs oljeformue er omlag 7 prosent høyere i A2-REF enn i A1-REF, mens Ikke-OPECs formue faktisk er 43 prosent lavere. Hovedårsaken er at OPECs produksjon er høyere i A2-REF enn i A1-REF i de tre første periodene. Forklaringen er at det ikke er like lønnsomt for kartellet å redusere produksjonen for å heve oljeprisen, da dette i større grad enn i A1

Figur 7. Reduksjon i oljeformue for OPEC og Ikke-OPEC i ulike avgiftsscenariene. Prosentvis reduksjon fra referansebanene uten tiltak



Kilde: Statistisk sentralbyrå.

fører til at konsumentene virr sitt forbruk over mot gass og kull.

Vi ser at i avgiftsscenariene i A1 har de to produsentgruppene mer eller mindre det samme relative tapet i oljeformue, og at tapet øker med strengere krav til CO₂-konsentrasjonen. For eksempel er tapet i A1-550 omlag 9 prosent både for OPEC og Ikke-OPEC. OPEC taper mest i starten når det er optimalt å redusere produksjonen, mens Ikke-OPEC taper mest på reduserte priser i senere perioder. I avgiftsbanene i A2 blir produsentene påvirket på svært forskjellig måte. I A2-750 og A2-650 får OPEC noe høyere oljeformue enn i referansebanen, i A2-550 er den omtrent uendret, mens i A2-450 opplever kartellet en sterk reduksjon i formuen. Ikke-OPEC opplever en klar økning i formue i alle avgiftsscenariene, bortsett fra A2-450 der den er mer eller mindre uendret. I A2-550 opplever Ikke-OPEC en økning i oljeformue på 22 prosent. Dette betyr at innføringen av avgifter for å begrense CO₂-utslippene faktisk er lønnsomt for oljeprodusentene så lenge ønsket nivå på CO₂-konsentrasjonen ikke er for ambisiøst. Dette står i klar motsetning til hva oljeprodusentene synes å forvente. Hovedforklaringen er knyttet til den tidligere nevnte effekten at avgiftene gjør at etterspørselen i stor grad vris fra kull mot olje, noe som fører til en oljeprisøkning over en periode på 50 år. Siden prisøkningen til dels også skyldes redusert OPEC-produksjon, kommer Ikke-OPEC gunstigst ut.

Diskusjonen hittil har vist at et ønsket nivå på CO₂-konsentrasjonen kan nås med en kombinasjon av CO₂-avgifter og økt konkurranse fra en karbonfri, alternativ energikilde. Når den teknologiske framgangen for denne energikilden er relativt sterk som i A1, er det tilstrekkelig med relativt lave avgifter. I A2 trengs det høyere avgifter fordi den teknologiske framgangen er svak. Et interessant spørsmål er hvorledes oljeformuen til de ulike produsentene påvirkes av de to ulike måtene å redusere utslippene på? Bør de oppmuntre til teknologisk framgang for nye energikilder, eller bør de foretrekke avgifter dersom det er internasjonal

Tabell 2. Oljeformue for OPEC og Ikke-OPEC i ulike 550 ppmv scenarier. Indeks = 1 for Alternativ energi scenariet i A1

	Ikke-OPEC	OPEC
A1 Alternativ energi scenario ^a	1	1
A1 Avgiftsscenario ^b	1.31	0.99
A2 Alternativ energi scenario ^c	0.61	1.05
A2 Avgiftsscenario ^d	0.91	1.20

^a Teknologisk framgang for den alternative energikilden er 3,2 prosent. Ingen CO₂-avgift.

^b Teknologisk framgang for den alternative energikilden er 1,0 prosent. Avgiften er 389 Nkr per tonn CO₂.

^c Teknologisk framgang for den alternative energikilden er 2,3 prosent. Ingen CO₂-avgift.

^d Teknologisk framgang for den alternative energikilden er 0,5 prosent. Avgiften er 370 Nkr per tonn CO₂.

enighet om at CO₂-konsentrasjonen skal stabiliseres på et bestemt nivå?

For å svare på dette har vi konstruert et scenario hvor ønsket konsentrasjonsnivå kun nås gjennom teknologisk framgang for den alternative energikilden ("Alternativ energi scenario") og et scenario der målet kun nås ved bruk av CO₂-avgifter ("Avgiftsscenario"). Virkningene på oljeformuen er vist i tabell 2 som indekser i forhold til Alternativ energi scenariet i A1.

Tabell 2 viser at i både A1 og A2 får Ikke-OPEC klart høyere oljeformue når målet nås ved hjelp av avgifter enn ved karbonfri energi. Dette kan synes som et noe overraskende resultat da man får inntrykk av at oljeprodusenter er mer positivt innstilt overfor ny, alternativ energi, enn til CO₂-avgifter. En forklaring på at formuen reduseres minst med en avgift er at denne har mindre effekt på olje enn på de andre fossile brenslene, mens en alternativ energikilde i større grad får konsekvenser for oljeprodusentene (i hvert fall i første halvdel av århundret). Total oljeproduksjon over hele perioden blir i større grad redusert med en ny energikilde enn med avgifter. For OPEC er resultatene mer tvetydige. Kartellet forsøker i de første periodene å holde oljeprisen oppe på et høyt nivå ved å redusere produksjonen. Dette er i større grad nødvendig med avgifter enn med en alternativ energikilde. Årsaken er at avgifter påvirker dagens konsum, mens økt teknologisk framgang bare påvirker framtidig konsum.

Konklusjon

Vår studie viser at utformingen av et avgiftsscenario for å stabilisere CO₂-konsentrasjonen ikke bare avhenger av hvilket konsentrasjonsnivå man ønsker, men også av hvilket framtidssbilde eller referansebane man går ut ifra. Denne studien fokuserer på to ulike framtidssbilder. Vi finner at både valget av referansebane og målet for konsentrasjonen er avgjørende for hvor høye avgifter som må til, og for hvordan tidsprofilen for utslipps- og konsentrasjonsbanene ser ut. I tråd med dette må man være varsom med å trekke bastante konklusjoner om sammenhengen mellom CO₂-kon-

sentrasjonen på lang sikt og mer kortsiktige målsettinger om utslippsnivået, som for eksempel Kyoto-protokollen.

Våre to framtidssbilder eller referansebaner er basert på IPCC (2000), som presenterer flere alternative scenarier fram mot år 2100. Utslippene av CO₂ og andre klimagasser bestemmes langt på vei av økonomisk vekst og teknologisk framgang. De to scenariene som vi har valgt, kalt A1 og A2 i IPCC (2000), er først og fremst ulike i den forstand at A1 er preget av høy økonomisk vekst og rask teknologisk framgang, mens A2 er preget av moderat økonomisk vekst og svakere teknologisk framgang. Forskjellen mellom A1 og A2 har spesielt stor betydning for når alternative, karbonfrie energikilder blir lønnsomme.

Våre resultater viser at en av de viktigste faktorene for framtidige utslipp og nødvendige politikktiltak er kostnaden ved å tilby energi fra karbonfrie energikilder. Med en svak teknologisk utvikling i slike energikilder er høye avgifter (eller andre tiltak) nødvendige for å stabilisere konsentrasjonen på et bestemt nivå. På den annen side vil en rask teknologisk utvikling i alternative energikilder gjøre at lavere CO₂-avgifter er tilstrekkelig for å oppnå samme konsentrasjonsnivå. Våre resultater viser for eksempel at den samme konstante avgiften (203 Nkr per tonn CO₂) stabiliserer konsentrasjonen på 450 ppmv i A1 og på 650 ppmv i A2. For et gitt konsentrasjonsnivå må avgiften være 4-6 ganger høyere i A2 enn i A1. Dessuten må avgiften om lag dobles for hver reduksjon i det ønskede nivået på 100 ppmv.

For gitt stabiliseringsmål ser utslipps- og konsentrasjonsbanene nokså forskjellig ut i A1 og A2. Med forventninger om at en billig karbonfri energikilde blir tilgjengelig fra midten av århundret (A1), kan de globale utslippene være høyere i starten i forhold til en situasjon med mer pessimistiske forventninger (A2). Resultatene viser at utslippsbanene i A1 er høyere enn de tilsvarende utslippsbanene i A2 inntil 2090. Grunnen er at dersom utslippsbanene er avtakende ved slutten av århundret (som i A1), så kan større utslipp tillates i starten enn hvis utslippene er stigende (som i A2). Dette impliserer at konsentrasjonsnivået i 2100 er mye høyere i avgiftsbanene i A1 enn i A2 for det samme langsiktige konsentrasjonsmålet. Man kan derfor ikke uten videre trekke konklusjoner om hvordan utslippsbanene bør ser ut basert på én enkelt referansebane.

Et fellestrekk ved de ulike avgiftsbanene er at nesten all reduksjon av utslipp skyldes redusert kullbruk. Det er ulike årsaker til dette. For det første har kull et høyere karboninnhold enn olje og gass, slik at kullprisen øker mer etter innføring av en karbonavgift. I tillegg er konsumentprisen for kull lavere enn for gass og spesielt olje, slik at den relative prisøkningen blir større. Et tredje forhold er at konvensjonelle olje- og

gassressurser forventes å bli mer eller mindre uttømt i løpet av det neste århundret. Størstedelen av ressursene er lønnsomme å utvinne selv om prisene faller noe. Så lenge CO₂-avgiften ikke er for høy, reduseres derfor den totale ekstraheringen av disse ressursene bare til en viss grad over det neste århundret. Dette impliserer at tiltak for å redusere CO₂-utslippene på lang sikt må inkludere tiltak mot kull. I og med at den alternative energikilden er dyrere, må kullforbruket reduseres mer i A2 for å nå et gitt konsentrasjonsnivå.

Et annet viktig resultat er at OPEC og andre oljeprodusenter bare vil tape en relativ liten andel av sin oljeformue så lenge ønsket konsentrasjonsnivå ikke settes for lavt. For produsentene utenfor OPEC kan oljeformuen faktisk bli større som følge av at oljekonsumet øker på bekostning av kull etter at avgiftene er innført. I valget mellom avgifter eller økt konkurranse fra en karbonfri energikilde som måter å stabilisere CO₂-konsentrasjonen på, er avgifter å foretrekke for oljeprodusentene. Dette gjelder i det minste for landene utenfor OPEC. Avgifter vil i mindre grad redusere forbruket av olje enn av gass og kull, mens den karbonfrie energikilden har sterkere effekt på oljeforbruket.

Referanser

- Berg, E., S. Kverndokk og K.E. Rosendahl (1996): Markedsmakt, internasjonale CO₂-avgifter og petroleumformue, *Økonomiske analyser* 2/96, Statistisk sentralbyrå.
- Berg, E., S. Kverndokk og K.E. Rosendahl (1997a): Kartellgevinster i oljemarkedet, *Økonomiske analyser* 3/97, Statistisk sentralbyrå.
- Berg, E., S. Kverndokk og K.E. Rosendahl (1997b): Market Power, International CO₂ Taxation and Petroleum Wealth, *Energy Journal* **18** (4), 33-71.
- Berg, E., S. Kverndokk og K.E. Rosendahl (1999): Påvirkes oljeletingen av klimaavtaler?, *Sosialøkonomen* Nr. 5, Mai 1999, 14-21.
- Brekke, K.A. og T. Lystad (2000): Optimal CO₂-emissions with irreversible but depreciating abatement capital, kommer i serien Discussion Papers, Statistisk sentralbyrå.
- CICERONE (2000): CICERONE Nr 1 februar 2000, Nyhetsbrev fra CICERO, s. 2 og 9.
- FN (1992): *UN Framework Convention on Climate Change*. United Nations, Climate Change Secretariat, Geneva.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1996): *Climate Change 1995 - The Science of Climate Change*, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2000): *IPCC Special Report on Emission Scenarios*, Cambridge, London (to be published).
- Joos m.fl. (1996) An efficient and accurate representation of complex oceanic and biospheric models of anthropogenic carbon uptake. *Tellus*, 48B, 389-417.
- Kverndokk, S., L. Lindholt og K.E. Rosendahl (2000): Stabilisation of CO₂ concentrations: Mitigation scenarios using the Petro model, Discussion Papers 267, Statistisk sentralbyrå.
- Lindholt, L. (1998): Kyotoprotokollen, prisen på CO₂-kvoter og konsekvenser for norsk petroleumssektor, *Økonomiske analyser* 7/98, Statistisk sentralbyrå.
- Lindholt L. (1999): Beyond Kyoto: CO₂ permit prices and the market for fossil fuels. Discussion Papers 258, Statistisk sentralbyrå.
- Wigley T.M.L., Richels R., Edmonds J.A. (1996): Economic and environmental choices in the stabilization of atmospheric CO₂ concentrations. *Nature*, 379, 240-243, 18 januar.