

# Klimapolitikk og klimavennlige teknologier – ingeniørkunnskap i en makromodell

Taran Fæhn og Karl Jacobsen

*Artikkelen presenterer en empirisk basert modell for Norge, der kunnskap om økonomisk atferd og utslippsreducerende teknologier kombineres. Vi benytter modellen til å illustrere betydningen av å åpne for teknologivalg i analyser av klimapolitikk. Marginalkostnaden ved tiltak for å redusere nasjonale utslipp mer enn halveres når man tar hensyn til at aktørene innenfor prosessindustri, olje- og gassproduksjon og veitransport har mulighet til å velge mellom flere alternative teknologiske løsninger.*

## Innledning

Den globale klimautfordringen vil kreve store endringer i næringsstruktur og forbruksmønster. Det er også klart at det ikke vil være mulig å begrense den globale oppvarmingen til akseptable nivåer uten et betydelig teknologiskifte. Fra myndigheter på alle nivåer er det en stor etterspørsel etter analyser av hvordan og til hvilken kostnad klimautslipp kan reduseres. Det er viktig at slike studier både kan gi et representativt bilde av den økonomiske utviklingen i næringsstruktur og forbruk og av de teknologiske mulighetene for å redusere klimautslipp.

Tradisjonelt har to hovedverktøy vært brukt i slike studier. I såkalte *bottom-up*-modeller beskrives et sett av klimavennlige teknologiske løsninger med tilhørende forventede kostnader og utslippsreducerende potensial. Slike modeller kan fremstille scenarier med svært ulike forutsetninger og få frem kostnadsforskjellene mellom dem. Imidlertid begrenser *bottom-up*-modeller seg vanligvis til å se på energisystemet partielt, mens de omliggende økonomiske betingelsene må legges inn som gitte premisser. Endringer i øvrig økonomi og tilbakevirkninger på energisystemet gjennom etterspørsels- og prisseffekter er således utelatt fra kostnadsberegningene.

Den andre retningen, *top-down*-analyser, bruker modeller av hele makroøkonomien, slik at en større del av endringene i utslipp og kostnadsforhold kan fanges opp. Modeller av denne typen kalibreres og estimeres på grunnlag av faktiske og historiske data for økonomiene de skal gjenspeile. Ulempen ved å fundamenter modellene empirisk på denne måten, er at de får dårlig frem hvordan de teknologiske betingelsene og mulighetene vil være i fremtiden. Selv om det alltid er

usikkerhet knyttet til fremskrivninger, vet vi mer om fremtidens teknologier enn det som kommer frem med tilbakeskuende metoder.

Begge de tradisjonelle analysemetodene ser bort fra deler av potensialet for utslippsreduksjoner. *Top-down*-analysene fanger ikke opp teknologiomlegginger som kan befinne seg blant de mest kostnadseffektive tiltakene. *Bottom-up*-analysene, på sin side, overser at det kan være lønnsomt å nedskalere økonomisk aktivitet og energibruk når klimavirkemidler settes inn. Begge tilnærmingene vil dermed sannsynligvis anslå for høye kostnader ved å redusere klimautslipp.

Disse utilstrekkelighetene har siden midten av 90-tallet inspirert først ingeniører, så økonomer, til å utvikle hybridvarianter av de tradisjonelle modellene. Denne artikkelen beskriver hvordan ingeniørkunnskap om nåværende og fremtidige renseteknologier har blitt inkorporert i en generell likevektsmodell for den norske økonomien, modellen MSG-TECH. Målet er å få et verktøy egnet til å studere effekter av ulike virkemidler i klimapolitikken. Artikkelen illustrerer hvilke følger en avgift på klimautslipp for å nå et gitt nasjonalt utslipps-tak har i en slik modell.

## Modellen

MSG-TECH bygger på den generelle likevektsmodellen MSG-6. Bye (2008) presenterer relevante trekk for energi-, utslipps- og klimaanalyser i tidligere MSG-6-versjoner. Den nye MSG-TECH-versjonen skiller seg fra disse ved at vi har modellert valgmuligheter hos husholdninger, bedrifter og offentlige virksomheter for å investere i helt nye klimateknologier. Slike tiltak bestemmes simultant med andre tilpasninger bedriftene og konsumentene gjør til endringer i virkemidler og andre rammebetingelser. I sine valg sammenligner aktørene tre alternative marginalkostnader:

1. Kostnadene ved å betale for å slippe ut en ekstra enhet,

Taran Fæhn er forsker i Gruppe for økonomisk vekst og miljø (tfn@ssb.no)

Karl Jacobsen er forskerrekruert i Gruppe for økonomisk vekst og miljø (jac@ssb.no)

2. kostnadene ved å unngå å slippe ut enheten gjennom teknologiinvesteringer og
3. kostnadene ved å unngå den gjennom andre tilpasninger.

Vi går mer detaljert inn på dataene, modelleringen og estimeringene av de potensielle teknologiomleggingene nedenfor. For ytterligere dokumentasjon viser vi til Fæhn mfl. (2010).

Likevektsmodeller beregner økonomiske forhold under forutsetning av at det er likhet mellom tilbud og etterspørsel i markedene for varer, tjenester og innsatsfaktorer. Normalt er prisene fleksible og sørger for denne balanseringen. I modellen konkurrerer norske bedrifter med utenlandske i eksportmarkedene og innenlands, men det er antatt at verdensmarkedsprisene ikke blir påvirket av endringer i norsk tilbud og etterspørsel, fordi Norge er en liten økonomi. Modellen er empirisk forankret og kalibrert ved hjelp av data fra nasjonalregnskapet og utslippsregnskapet for 2004, samt ved økonomiske estimeringer av økonomisk atferd. Den gir en detaljert beskrivelse av energibruk og andre økonomiske aktiviteter som forårsaker utslipp. De utslippsgenererende aktivitetene inkluderer vareinnsats, energiinnsats, konsumaktiviteter, prosesser og avfallsdeponier. Alle de seks drivhusgassene som inngår i Kyoto-avtalen er inkludert i modellen: CO<sub>2</sub> (karbondioksid), CH<sub>4</sub> (metan), N<sub>2</sub>O (lystgass) og fluorforbindelsene SF<sub>6</sub>, KFK og HFK. Utslippene måles i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, dvs. deres CO<sub>2</sub>-ekvivalente globale oppvarmingspotensial.

### Konsum

Konsumentene er representert ved én gjennomsnittskonsument, hvis nytte i hver periode avhenger av konsumet av fritid og av 26 ulike konsumgoder. Den representative konsumenten bestemmer forbruksnivå og -sammensetning slik at velferden maksimeres. Velferden er definert som nåverdien av nytten av konsum og fritid over tid. Konsumet av energivarene transportdrivstoff, fyringsoljer og elektrisitet er modellert. Alternative transportformer, så vel forurensende som miljøvennlige, er spesifisert og kan erstatte hverandre. Elektrisitet benyttes til maskiner og apparater eller til oppvarming, med ulike substitusjonsmuligheter. Analyser av endringer i klimavirkemidler vil dermed fange opp endringer i konsumnivået, energibruken og energisammensetningen. I tillegg kan husholdningene velge å investere i helt nye former for transportutstyr – se nedenfor.

### Produksjon

Produksjonssiden av modellen spesifiserer rundt 40 næringer og 60 produkter som er klassifisert med tanke på å få fram forskjeller i utslipp og substitusjonsmuligheter som påvirker utslippene. Bedriftene maksimerer nåverdien av kontantstrømmen når de fastsetter produksjonsnivået og sammensetningen av innsatsfaktorer. Innsatsfaktorene omfatter ulike kapitalarter, varer

og tjenester, energivarer, deriblant fossile brensler, samt én type arbeidskraft. Trappes produksjonen ned, faller også kostnadene per produsert enhet (fallende skalautbytte). Bedriftene kan også velge å investere i mer klimavennlige teknologiløsninger både for utslipp fra energibruk i prosesser og fra veitransport, som nærmere beskrevet nedenfor.

I representasjonen av elektrisitetsforsyningen skiller modellen mellom produksjon av vannkraft, produksjon av gasskraft, transmisjon og distribusjon. I modellversjonen vi bruker her er imidlertid vannkraft- og gasskraftproduksjonen, samt graden av karbonfangst og -lagring (CCS) i gasskraftproduksjonen forutsatt å være gitt.<sup>1</sup> Også produksjonen i offentlig sektor, jordbruk, skogbruk, fiske og fangst, samt olje- og gasseksporten, forblir per forutsetning upåvirket av endringene i klimaavgifter. Selv om dette begrenser aktivitetsjusteringene i olje- og gassektoren, er det tatt hensyn til at klimapolitikk vi kunne utløse teknologiinvesteringer i denne sektoren og gi utslippsreduksjoner.

### Rensekurver og renskostnader for klimateknologier

Kostnadene ved å innføre nye og renere teknologier og hvilke utslippsreduksjoner dette vil gi, vil variere mellom sektorer avhengig av de mulighetene som finnes eller forventes å komme fremover. Informasjon om dette har vi hentet fra foreliggende fagartikler og prosjektrapporter; se nedenfor. Materialet dekker kostnader og utslippsreducerende potensial for en lang rekke alternative teknologiløsninger innenfor energiforbruk og energiproduksjon.

På dette grunnlaget har vi estimert marginale renskurver, dvs. sammenhengen mellom nivået på utslippsreduksjonene og kostnadene ved å rense den dyreste, siste enheten. Renskostnadene er målt som annuiteter, dvs. prosjektkostnadene over hele levetiden er omgjort til et tilsvarende konstant, årlig beløp. Anslagene gjelder under antatte teknologiske og økonomiske forhold det neste tiåret. Slike renskurver for CO<sub>2</sub>-utslipp har vi laget for olje- og gassproduksjonen og for prosessindustriene, som omfatter kjemisk og mineralsk industri, kjemiske råvareindustri, treforedling, metallproduksjon og raffinering, og for olje- og gassektoren. For alle sektorer, inkludert offentlig produksjon og husholdninger, har vi i tillegg modellert muligheter for å skifte til klimavennlige kjøretøyteknologier.

I prosessindustrien har vi basert den estimerte renskurven på 15 ulike tiltak som kan innføres uavhengig av hverandre, med hver sine potensial for utslippsreduksjoner og kostnader per redusert utslippsenhet. Tiltakene omfatter overgang fra koks til trekull i industriprosesser, overgang til biobrensel, energieffektivisering, prosessoptimalisering og CCS. Tiltakene er utredet av Klimakur 2020, se Klima- og forurensningsdirektoratet (KLIF) (2010) og Klimakur 2020 (2010a).

<sup>1</sup> Dette er begrunnet med at utslipp fra gasskraft er lovregulert.

I figur 1 er tiltakene plottet, med akkumulert rensing på vertikalaksen og rangert etter enhetskostnader målt som annuiteter på horisontalaksen. Figuren viser blant annet at de billigste tiltakene, anslått til 50 kroner/tonn, bidrar med CO<sub>2</sub>-reduksjoner på til sammen 1,2 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, mens det dyreste, som koster over 2000 kroner/tonn, omtrent ikke gir noe rensesbidrag. Vi har estimert en renseskurve basert på disse punktene, som også er vist i figur 1.

Tiltakene som er utredet for olje- og gassproduksjonen er på tilsvarende måte plottet i figur 2. Kvantifisering av ni tiltak er gjort av Petroleumsgruppen i Klimakur 2020; se Klimakur 2020 (2010b). Tiltakene omfatter ENØK-tiltak, elektrifisering og CCS.

Figur 3 viser åtte tiltakspunkt for veitransport og kurven som er estimert på dette grunnlaget. Informasjonen om reduksjonspotensial og kostnader hentet fra Statens forurensningstilsyn (2007) og Kanenergi/INSA (2009). Tiltakene i transportsektoren omfatter videre effektivisering av person- og varebiler, private og kollektive nullutslippskjøretøy, samt drivstoffinnblanding av etanol og biodiesel. I tilfeller der potensial og kostnader avhenger av rekkefølgen på tiltak, har vi lagt til grunn at de billigste fases inn først.

For grensekostnadsnivåer utover dem som dekkes av datapunktene er det ikke opplagt hvordan kurvene skal gå. To ekstremtilfeller kan tenkes: Ett hvor det ikke er mulig å rense mer enn det som er kvantifisert i bakgrunnsrapportene vi har brukt, uansett hva en er villig til å betale, og ett annet hvor det dyreste tiltaket kan antas å kunne eliminere alle utslipp. Sannheten ligger sannsynligvis et sted imellom, slik kurvene vi har estimert gjør, men akkurat hvordan de går er svært usikkert og kan være svært utslagsgivende i analyser som involverer svært høye grensekostnader.

De estimerte renseskurvene som funksjon av grensekostnadene i figur 1-3 er lagt inn som ligninger i modellen.<sup>2</sup>

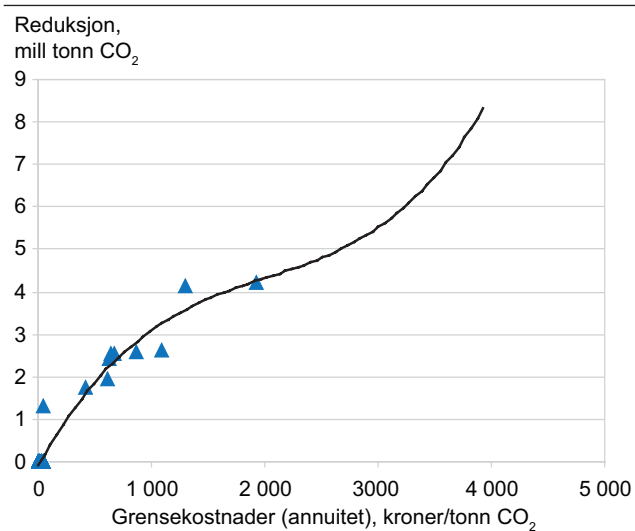
Rensingen bidrar til å redusere utslippene. Endringene i utslipp legges inn som induserte endringer i utslippskoeffisientene i modellen, som angir utslippintensiteten til de ulike kildene.<sup>3</sup>

Jo mer rensing jo lavere blir utslippskoeffisienten for et gitt aktivitetsnivå ved kilden. Arealet over de estimerte rensesfunksjonene i figurene 1-3, representerer de

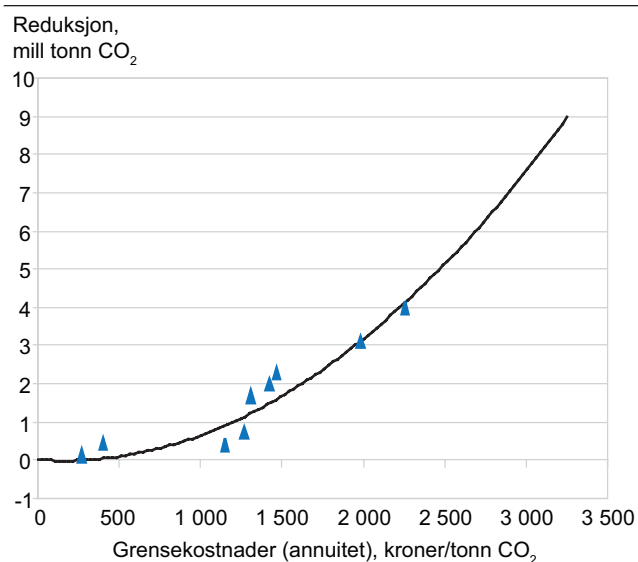
<sup>2</sup> Grensekostnaden ved rensing er lik enhetskostnaden ved det sist gjennomførte tiltaket (målt som annuiteter). Vi antar med andre ord at enhetskostnaden er konstant innenfor hvert enkelttiltak. Modellen har i tillegg en skaleringsfaktor som sørger for at rensespotensialet over tid og over utslippskilder tilpasses utslippene før rensing, som kan variere endogent. Det er rimelig å tenke seg at rensespotensialet er avhengig av utslippsmengden før rensing; vi har antatt at rensespotensialet øker proporsjonalt med utslippsmengden før rensing.

<sup>3</sup> Utslippsgenererende aktiviteter eller kilder omfatter faktorinnsats og endelig forbruk av drivstoff, fossile brenslere, andre innsatsvarer og produksjon.

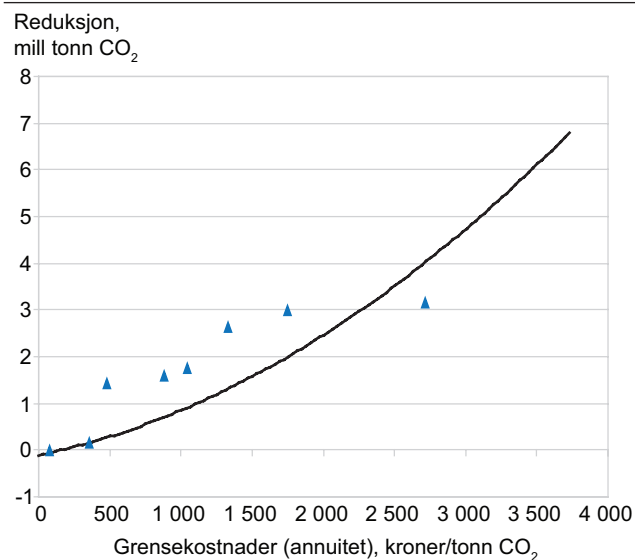
Figur 1. Tiltak og estimert renseskurve, prosessindustri



Figur 2. Tiltak og estimert renseskurve, olje og gassproduksjon



Figur 3. Tiltak og estimert renseskurve, veitransport



aggregerte kostnadene ved et gitt akkumulert rensenivå målt som annuitet. Totale renseskostnader i en modellnæring er summen av renseskostnadene knyttet til utslippene fra de ulike utslippskildene i næringen. I prosessindustriene og i olje- og gassproduksjonen er disse renseskostnadene lagt inn som ekstra vareinnsatskostnader. For gitt produksjonsnivå i en sektor, vil økt behov for vareinnsats innebære at produktiviteten til vareinnsatsen faller. I prosessindustrien vil økte kostnader redusere det valgte produksjonsnivået. I petroleumsnæringen er derimot produksjonsnivået mer eller mindre gitt, siden eksport og investeringer (utenom renselinvesteringene) ikke påvirkes. De samfunnsøkonomiske realkostnadene fremkommer snarere ved at statens proveny fra overskuddsbeskatningen faller. Samtidig faller provenyet fra utslippsprisingen i sektoren, i og med at utslippene reduseres. I veitranport har vi lagt renseskostnaden til som en økning i importprisen på kjøretøy (biler).

I modelleringen har vi lagt vekt på å få frem at teknologitiltakene har faktiske ressurskostnader, ikke hva disse detaljert består i. Når kostnadene ved omlegging av veitranportteknologier er representert som en økning i prisen på kjøretøy, og dermed som en investeringskostnad, får vi ikke frem at omleggingen kan endre andre kostnadskomponenter som utgifter til drivstoff og vedlikehold. Når renseskostnadene i olje- og gassproduksjonen og prosessindustrien legges inn som en ekstra vareinnsatskostnad innebærer det implisitt at alle innsatsvarer bedriften allerede bruker i sin produksjon, øker proporsjonalt. Modelleringen treffer altså ikke så godt hva tiltakene eksplisitt innebærer av ulike former for kapitalinvesteringer og innsatsfaktorer og hvordan markedene for disse påvirkes.

### Effekter av klimapolitikk – betydningen av teknologispredning

For å illustrere den kvantitative betydningen av å ta hensyn til klimateknologiske tilpasninger, har vi simulert samme, aktive klimapolitikk innenfor to regimer: Ett referanseregime hvor klimateknologiske tilpasninger ikke er modellert og ett teknologiregime hvor valgmulighetene beskrevet ovenfor er til stede for prosessindustri, olje- og gassproduksjon og veitranport.

Referansescenariotet tilsvarer beskrivelsen i tradisjonelle top-down-modeller. Dette kan representere hvordan tilpasninger til klimapolitikk finner sted dersom aktørene oppfatter investeringer i klimateknologier som lite aktuelle. En slik tilbakeholdenhet kan ha ulike begrunnelser. De teknologiske mulighetene kan oppfattes som små eller svært usikre, det kan være vanskelig å få finansiering, eller selve klimakvotemarkedets eksistens videre fremover oppfattes som lite troverdig slik at risikoen ved å gjøre klimateknologiske investeringer i forkant er stor. Teknologiscenariotet, på sin side, ligner en situasjon der mulighetene og risikoene er godt kjent og aktøren har kredittilgang.

### Klimapolitikken og de økonomiske drivkreftene i scenarioene

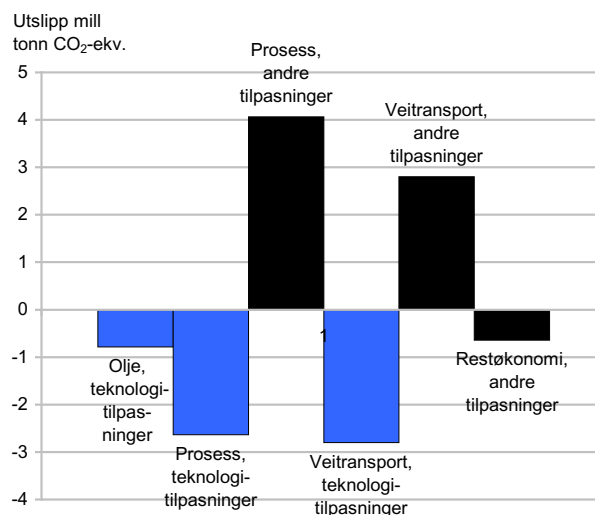
Utover forskjellen i antakelsene om teknologimuligheter, er scenarioene basert på like forutsetninger. I begge er klimapolitikken lagt inn som et nasjonalt kvotemarked som forutsettes å omfatte alle innenlandske utslippskilder. Totalkvoten for landet i 2020 er satt til 47 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, og det er antatt en gradvis tilstramming over tid fra dagens utslippsnivå på 56 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Et slikt kvotemarked gir insentiver til å gjennomføre alle tilgjengelige utslippsreducerende tilpasninger som er billigere enn å betale kvoteprisen, slik at stor grad av kostnadseffektivitet oppnås.

Som øvrige drivkrefter bak økonomi- og utslippsutviklingen i de to scenarioene ligger først og fremst forutsetninger om ressursutvikling (arbeidskraft, naturressurser), samt forventninger om internasjonale rammebetingelser og produktivitetsvekst. Perspektivmeldingen i St.meld. 9 (2008-2009) er grunnlaget for disse anslagene.

### Sammenligning av utslippsutviklingen mellom scenarioene

Scenariene som sammenliknes er ikke laget med tanke på å gi realistiske bilder av Norges fremtidige økonomi- og utslippsforhold. Utviklingen innenfor det enkelte scenariotet er derfor mindre interessant enn forskjellene mellom dem. Selv om nedtrappingen av utslippstaket er lik i begge scenarioene, vil sammensetningen av utslippene mellom kilder bli påvirket av mulighetene som valg av klimateknologi gir. Ved de kildene det er muligheter, vil kostnadene ved utslippsreduksjoner bli lavere, og flere kutt vil gjennomføres. Figur 4 viser forskjellen i utslipp mellom teknologiscenariotet og referansescenariotet, fordelt på ulike sektorer og tiltak (teknologitilpasninger vs. andre tilpasninger).

Figur 4. Utslippsendringer fra referansescenariotet til teknologiscenariotet fordelt på sektor og type tiltak, millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter



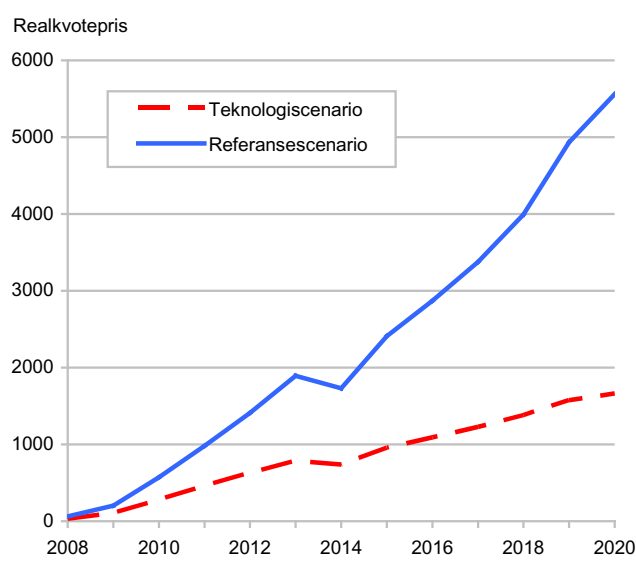
Vi ser at teknologimulighetene bidrar til å trekke utslippene ned i alle sektorene hvor de forekommer. Siden totale, innenlandske utslipp er gitt, vil disse nye mulighetene redusere behovet for andre, og dyrere, tilpasninger. Når muligheter for bruk av klimateknologi innføres vil prosessindustrien alt i alt foreta færre kutt, fordi besparelsene ved teknologien tillater økt produksjon. Produksjon i denne sektoren responderer særlig sterkt på kostnadsendringer, siden mesteparten av produksjonen eksporteres til gitte priser på verdensmarkedet. Kostnadsendringene vil, med andre ord, i liten grad veltes over i markedsprisene; alt slår ut i økt omsatt mengde. Også veitransportaktiviteten øker når det åpnes for teknologiske tilpasninger, og det motvirker mye av de teknologibaserte utslippsreduksjonene. For å forstå dette kan man legge merke til det store fallet i den nasjonale kvoteprisen i figur 5. Når marginalkostnadene ved utslippskuttene faller til under en tredel, vil selv den relativt stive transporttterspørselen gi etter. Effektene på utslippene i øvrige næringer er små, men negative, noe som skyldes at ressursene i økonomien flyttes fra disse næringene og over til dem som får nye muligheter.<sup>4</sup>

### Sammenligning av makroøkonomiske kostnader mellom scenarioene

Vi får et mål på de samfunnsøkonomiske besparelsene som følge at klimateknologiske muligheter ved å sammenligne de to scenarioenes samlede velferdsnivåer. Alle tilpasninger som skjer gjennom scenarioene vil gi pris- og inntektsimpulser som til syvende og sist påvirker den nytten konsumenten oppnår gjennom bruk av fritid, varer og tjenester. Når teknologimuligheter innføres, vil både materielt konsum og fritid øke. I 2020 øker de begge med 1,1 prosent, mens økningene er mindre i periodene før. Den totale velferdsbesparelsen, målt som kroneverdien av konsumentens neddiskonterte nytte frem til 2020, av å ha teknologitilpasningsmuligheter er på 0,2 prosent – eller om lag 4 mrd. kroner som et årlig beløp (annuitet). Den største besparelsen skjer som en direkte følge av at det blir billigere å tilpasse seg det nasjonale, stadig strengere, utslippskravet.<sup>5</sup> Som vi alt har sett faller marginalkostnaden ved reduksjonene, gitt ved den nasjonale kvoteprisen, i alle år (se figur 5).

Øvrige tilpasningsendringer virker imidlertid til å modifisere de sparte tiltakskostnadene for aktørene. For det første faller inntektene for staten knyttet til å auksjonere bort de nasjonale utslippstillatelsene, i og med at kvoteprisen faller. Slike inntekter kan benyttes til å redusere eksisterende skatter eller på andre måter bidra til å gjøre økonomien mer effektiv. I simuleringene har

Figur 5. Den nasjonale kvoteprisen i referanse- og teknologiscenarioet (2004-NOK/tonn CO<sub>2</sub>-ekv.)



vi tilbakeført inntektene gjennom redusert arbeidsgiveravgift. Det stimulerer arbeidskraftstilbudet, noe som er gunstig for økonomien. Grunnen til at mer ressurser til produksjon på bekostning av fritid gir et velferdsbidrag, er nettopp eksisterende skatter på arbeid, slik som arbeidsgiveravgiften. Slike skatter gjør arbeidstiden mindre verdifull for den enkelte arbeidstaker enn den er for samfunnet. Siden regimet med teknologitilpasninger betyr mindre kutt i arbeidsgiveravgiften, får vi mindre stimulans av arbeidstilbudet. I 2020 ligger arbeidstilbudet i teknologiscenarioet 1,1 prosent lavere enn i referansescenarioet.

En annen effekt som modifiserer besparelsene ved å innføre teknologimuligheter er at næringsstrukturendringene som oppstår reduserer avkastningen av landets ressursbruk. Økte muligheter for teknologitilpasninger og lavere nasjonal kvotepris virker, som vi alt har vært inne på, til å opprettholde mer av den norske konkurranseutsatte sektoren. Siden deler av den eksportrettede prosessindustrien står overfor særlig gunstige rammebetingelser, slik som subsidierte elektrisitetspriser og lave arbeidsgiveravgifter, vil imidlertid den samfunnsøkonomiske marginalavkastningen i disse sektorene være lavere enn gjennomsnittet. Innen 2020 henholdsvis firedobles og doubles produksjonen av kjemiske råvarer og produksjonen av metaller fra referansescenarioet til teknologiscenarioet. Når produksjonsfaktorer dermed i større grad beholdes i disse sektorene, faller den samfunnsøkonomiske avkastningen av landets ressurser. Det er verdt å merke seg at disse sektorene står for under én prosent av BNP i referansescenarioet, slik at utlagene i den samfunnsøkonomiske effektiviteten uansett ikke blir store. Styrken på denne effekten avhenger også av hvor enkelt og raskt man modellerer at ressursene kan flyttes mellom sektorer. En likevektsmodell som den vi har brukt forutsetter at dette skjer kostnadsfritt. Dette bidrar til å undervurdere besparelsene ved å ta hensyn til tekno-

<sup>4</sup> Utslippsendringene fra kilder som gasskraft og primærnæringer er per forutsetning svært små, fordi aktivitetene er eksogene i simuleringene.

<sup>5</sup> Det er ikke beregnet mulige positive miljøeffekter av slike tilpasninger. Det er rimelig å se bort fra klimaeffekter av det særnorske utslippstaket. Om det burde vært lagt inn gunstige klimaeffekter for landet av de internasjonale samarbeidene er mer diskutabelt. Det vil også komme gunstige bieffekter på andre, mer lokale, miljøfaktorer av mange av tiltakene som utløses, som er utelatt fra beregningene.

logimuligheter, og dermed unngå kostnadskrevende omstillinger.

### Konkluderende merknader

Hensikten med denne artikkelen har vært å beskrive hvordan vi har supplert SSBs likevekstsmodell for klimapolitiske studier med informasjon om teknologiske tilpasningsmuligheter. Vi har illustrert betydningen av gjøre denne utvidelsen ved å simulere samme klimapolitikk i to regimer, ett med og ett uten muligheter for teknologivalg. Simuleringene viser at kostnadene ved å trappe ned nasjonale utslipp blir vesentlig lavere når det finnes teknologimuligheter. Marginalkostnaden ved tiltakene som må til, mer enn halveres når aktørene innenfor prosessindustri, olje- og gassproduksjon og veitransport stilles overfor muligheter til realistiske teknologivalg.

En svakhet ved modelleringen er den ikke gir et godt bilde av hvordan teknologiomleggingene påvirker de omkringliggende markedene for investerings- og innsatsvarer. Som forklart, har vi valgt å reflektere kostnadene som økning i enkelte kostnadskomponenter (vareinnsatskostnader i prosess- og petroleumsindustri, investeringskostnad i veitransport). Dataene har langt rikere detaljinformasjon som kan utnyttes for å få frem at faktorsammensetningen i bedrifter – og forbruksammensetningen i husholdningene – vil avhenge av rensenivået, siden ulike teknologier kommer til ved ulike marginalkostnadsnivåer. Dette har vi foreløpig ikke modellert.

Gjenstående kunnskapshull i datagrunnlaget vil prege estimeringene av rensefunksjonene. I tillegg til den store usystematiske usikkerheten som omgir anslagene, særlig når vi beveger oss utenfor kostnadsområdet som dekkes av dataene, vil mange kostnadskomponenter bevisst være utelatt av mangel på kvantifiseringsmetoder. Det er også ofte uklart fra kildene hvorvidt det er rimelig å anta forskjeller mellom privatøkonomiske og samfunnsøkonomiske kostnader og hva det ev. skulle skyldes. Dette får vi dermed ikke tatt hensyn til.

Selv om forbedringspotensial gjenstår, viser simuleringene at hybridtilnærminger mellom økonomiske og teknologiske tradisjoner er en riktig og viktig vei å gå i analyser av klimautfordringen. I tillegg til å anslå effektene av å bruke generelle klimavirkemidler som kvotemarkeder eller avgiftssystemer bedre, vil modellering av klimateknologier legge til rette for å analysere virkemidler spesielt rettet mot å spre nye teknologier, slik som klimafond, tilskuddsordninger og teknologikrav. SSBs modeller fanger foreløpig bare opp teknologimulighetene innenfor noen store utslippskilder, og tidsperspektivet er begrenset. Det vil imidlertid være mulig å benytte samme metodikk for å representere teknologiske muligheter på flere områder, slik som i jordbruket og ved oppvarming av bygg. Fallende kostnader på grunn av læring over tid kan også tas hensyn til i videre modellering.

### Referanser

Bye, B. (2008): Macroeconomic modelling for energy and environmental analyses: Integrated

economy-energy-environmental models as efficient tools, Documents 2008/14, Statistisk sentralbyrå.

Fæhn, T., Jacobsen, K. og Strøm, B. (2010): MSG-TECH: Analyses and documentation of a general equilibrium model with endogenous technology adaptations, kommer i serien Rapporter, Statistisk sentralbyrå.

Kanenergi/INSA (2009): Vurdering av biodrivstoff i transportsektoren, tiltak, virkemidler, effekter og

kostnader i 2020 og 2030.

Klima- og forurensningsdirektoratet (2010): Tiltak og virkemidler for å redusere klimagassutslipp fra norsk industri, en rapport fra Klimakur 2020 – arbeidsgruppe for industri i Klima- og forurensningsdirektoratet, TA 2194/2010.

Klimakur 2020 (2010a): Klimakur 2020; Sektoriell tiltaksanalyse petroleumssektoren, Klima- og forurensningsdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oljedirektoratet, Petroleumstilsynet.

Klimakur 2020 (2010b): Klimakur 2020; Fangst, transport og lagring av CO<sub>2</sub>, Klima- og forurensningsdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oljedirektoratet, Petroleumstilsynet.

SFT (2007): Tiltak for reduksjon av klimagassutslipp i Norge, delnotat om virkning av mulige tiltak

for reduserte utslipp fra kjøretøy, Statens forurensningstilsyn (nå Klima- og forurensningsdirektoratet)

St.meld. 9 (2008-2009): Perspektivmeldingen 2009, Finansdepartementet, 2008.