

SNORRE KVERNDOKK
Seniorforsker ved Frischsenteret og Adjunct Professor of International Relations ved SAIS,
Johns Hopkins University.

KNUT EINAR ROSENDAHL
Seniorforsker i Statistisk sentralbyrå.



Sammenhenger mellom klima- og FoU-politikk*

I denne artikkelen ser vi på sammenhengen mellom klimapolitikk og innovasjonspolitik for å utvikle nye CO₂-frie energiteknologier. Hvis myndighetene har nok virkemidler tilgjengelig, kan klimapolitikken settes uavhengig av innovasjonspolitikken. Imidlertid bør innovasjonspolitikken avhenge av klimatilstanden med mindre patenter er evigvarende. Stilt overfor et voksende klimaproblem, bør støtten være høyest på et tidlig stadium da profitten ved salg av CO₂-frie teknologier er lavest. Om ikke alle virkemidlene er tilgjengelige i innovasjonsmarkedet, kan det imidlertid være argumenter for å innføre strengere klimapolitikk for å stimulere utvikling og bruk av ny teknologi.

1 INNLEDNING

Det er nødvendig med radikale politikktiltak internasjonalt de nærmeste tiårene for å stoppe økningen i konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren. Dette har vært budskapet fra blant annet FN's Klimapanel (IPCC, 2007) og den mye omtalte Stern-rapporten (Stern Review, 2007). En avgjørende faktor for å få til betydelige utslippskutt er teknologisk utvikling, spesielt innenfor energiforsyning og energibruk.

Et av de store spørsmålene er hvilke politikktiltak som bør tas i bruk for å få til den nødvendige omstillingen til klimavennlige energiteknologier. Et annet viktig spørsmål er

hvilke tiltak eller virkemidler som er politisk og praktisk mulig å gjennomføre. Disse to spørsmålene kan naturlig nok sammenfattes i følgende problemstilling: Hvilke politisk gjennomførbare virkemidler bør tas i bruk, og i hvilken målestokk?

Et viktig argument for å iverksette politikktiltak er at det er imperfeksjoner i markedsøkonomien, slik at markedsløsningen ikke sammenfaller med det som er det samfunnsøkonomisk beste utfallet. Slike imperfeksjoner kan f.eks. være eksternaliteter. Utslipp av klimagasser gir en negativ eksternalitet, fordi skaden av utslippene rammer flere enn den som forårsaker utslippet. Dette er en ekstrem

* Denne artikkelen bygger i stor grad på Gerlagh, Kverndokk og Rosendahl (2008), og vi er naturlig nok takknemlige overfor vår medforfatter Reyer Gerlagh. Vi er også takknemlige for finansiering fra NFR-programmet Renergi, og for nyttige kommentarer fra konsulent og redaktør.

eksternalitet fordi klimaet i for eksempel Sør-Afrika påvirkes like mye av et tonn CO₂-utslipp i Norge som av et tonn utslipp i Sør-Afrika. Stern (2007) kaller denne eksternaliteten den største i historien. Økonomisk forskning har for lengst slått fast at den beste måten å korrigere for denne eksternaliteten er å innføre en felles pris på utslipp av klimagasser, gjennom avgifter eller kvotemarkeder. Den store utfordringen er selvsagt å få alle verdens land med på noe slikt.

Hva så med teknologiutvikling? Ut fra effektivitetshensyn er det ingen grunn til å føre en egen teknologi- eller innovasjonspolitik om det ikke er imperfeksjoner i markedet for teknologi. Det er imidlertid stor enighet i den økonomiske litteraturen om at forskning og utvikling (FoU) har positive eksternaliteter eller ringvirkninger. Utvikling av en teknologi i en bedrift kan gi impulser til utvikling av nye teknologier i andre bedrifter. Gevinsten ved å ta i bruk nye teknologier vil dessuten bare delvis tilfalle bedriften som har utviklet teknologien, blant annet som følge av begrenset levetid for patenter. Nordhaus (2002) legger for eksempel til grunn i sine analyser av klimapolitikk at den samfunnsøkonomiske verdien av FoU er fire ganger større enn den privatøkonomiske. Dermed blir det mindre FoU-virksomhet enn det som er ønskelig fra samfunnets side, og støtte til FoU kan være en måte å korrigere for dette. Det kan også være positive eksternaliteter knyttet til bruk av nye teknologier, nemlig læringseffekter, men her er den faglige uenigheten noe større. Dette argumentet går på at kostnadene ved bruk av teknologien vil falle jo mer erfaring man har med å bruke den.

Hva sier så den økonomiske litteraturen om støtte til teknologier som et virkemiddel i klimapolitikken? Litteraturen skiller ofte mellom to typer modeller. Den enkleste modellen er den som framhever læringseffektene som den viktigste drivkraften bak teknologiutvikling (*Learning-by-doing* – LBD). Hovedresultatene fra denne type modeller er at man bør starte tidlig med utslippsreduksjoner for å stimulere innovasjon (se f.eks. van der Zwaan m.fl., 2002, eller Kverndokk og Rosendahl, 2007). Et typisk resultat er at man bør ha høye subsidier ved bruk av teknologier på et tidlig stadium, men at disse bør gå

ned etter hvert som læringspotensialet uttømmes. Om man av en eller annen grunn ikke har mulighet til å subsidiere bruken av teknologiene, bør man øke CO₂-avgiften slik at teknologibruken indirekte stimuleres ved at forurensende teknologier blir dyrere. Avgiften bør altså settes høyere enn det selve miljøproblemet skulle tilsi (Pigou-avgiften) så lenge det er læringseffekter.

Den andre skolen innen økonomisk teori legger vekt på at innovasjon først og fremst skjer som følge av forskning og utvikling (FoU). Hvis det er slik at teknologiutvikling kun oppnås gjennom FoU, vil ikke det å subsidiere bruken av teknologier være noe effektivt tiltak. Virkemidlene bør heller rettes mot det som skaper positive eksternaliteter, nemlig forskning. Slike eksternaliteter kan f.eks. være at den samlede kunnskapsmassen i samfunnet vil være tilgjengelig for alle. Forskere i dag vil kunne trekke på resultater fra tidligere forskning ("standing on shoulders"). Konklusjonene fra slike studier går i motsatt retning av de som bygger på læringseffekter: Utsett mesteparten av utslippsreduksjonene til kostnadene ved å gjennomføre dem har gått ned. Dette kan oppnås ved å støtte FoU på et tidlig stadium (se f.eks. Goulder og Mathai, 2000, eller Nordhaus, 2002).

Et problem med standardmodellene for FoU som har blitt brukt i klimaanalyser, er at de ikke tar hensyn til patenter. Nye teknologier blir gjerne patentert.¹ Dette innebærer at de som utvikler en ny teknologi (eller kjøper rettighetene til å produsere teknologien) vil bli tildelt en monopolrettighet til å produsere denne i en tidsbegrenset periode, f.eks. 20 år.² Etter at patentrettigheten er utløpt vil alle kunne produsere teknologien. Skal man tjene penger på innovasjon er man derfor avhengig av at det man utvikler blir tilstrekkelig brukt i den perioden man har patentrettighet.

Hvis man innfører patenter i en modell for FoU, hvordan vil det påvirke resultatene? Dette er et av spørsmålene vi ønsker å svare på i denne artikkelen. Et annet spørsmål er om det er behov for en egen teknologipolitikk rettet mot klimavennlige teknologier. Er det tilstrekkelig med en generell teknologipolitikk, dvs. like støtteordninger på

¹ Berglann (2008) gir en grundig gjennomgang av patenter, spesielt knyttet til miljøteknologier.

² Patentholderen utnytter sin markedsrett ved å selge teknologien til en pris som overstiger de marginale produksjonskostnadene. Bruken av teknologien blir derfor mindre utstrakt enn om den var blitt solgt til en pris lik marginalkostnad. På den ene side er utnyttelse av markedsrett nødvendig for å oppnå renprofitt til betaling for patentet, som igjen er nødvendig for å gi FoU-bedriftene insentiver til å drive med forskning. På den annen side blir utnyttelse av teknologien, når den først er utviklet, lavere enn det som er samfunnsøkonomisk optimalt. Subsidiert av patenterte teknologier kan rette på dette.

tvers av næringer, så lenge prisen på utslipp av klimagasser er riktig? Eller bør for eksempel CO₂-frie energiteknologier støttes ekstra mye? Og hva med prisen på utslipp – bør den være ekstra høy for å stimulere til teknologisk utvikling?

Vår hovedkonklusjon er at en generell teknologipolitikk ikke er tilstrekkelig – den optimale støtten til klimavennlige teknologier varierer over tid. Støtten til forskning bør være høyest i starten når behovet for å bruke teknologien er minst. Årsaken er at FoU-bedriftene da har små insentiver til å drive FoU-virksomhet fordi gevinstene i løpet av patent-levetida er begrensede. Teknologier vil imidlertid ofte ha samfunnsøkonomisk verdi utover levetida til patentet, enten direkte eller indirekte via utvikling av nye teknologier.³ Etter hvert som utslippene øker og behovet for utslippsreduksjoner tiltar, blir salget av teknologien i løpet av patent-levetida større, og behovet for støtte tilsvarende mindre. Forskjellen mellom den private og den samfunnsøkonomiske gevinsten ved innovasjon avtar.

2 MODELL FOR UTVIKLING AV CO₂-FRI TEKNOLOGI

For å svare på spørsmålene ovenfor benytter vi oss av en teoretisk modell basert på den kjente Romer-modellen (Romer, 1987, 1990).⁴ Vi legger til grunn at utslipp fra energibruk kan reduseres ved å ta i bruk flere ulike CO₂-frie teknologier samtidig (vi ser bort fra energisparing i denne analysen). Det kan enten være teknologier for produksjon av fornybare eller andre CO₂-frie energikilder, eller det kan være teknologier som fjerner CO₂ (karbonfangst og -lagring). En viktig antagelse er at produktiviteten til hver enkelt teknologi er avtagende, samtidig som produktiviteten kan økes ved å ta i bruk nye teknologier. Motivasjonen bak dette er at hver enkelt teknologi, for eksempel vindkraft, er spesielt egnet på noen steder. Ettersom antallet vindmølleparker øker, må man ta i bruk mindre egnede steder, og dermed reduseres produktiviteten for denne teknologien. Ved å også ta i bruk for eksempel solkraft, som kanskje egner seg bedre andre steder, kan produktiviteten opprettholdes. Tilsvarende for karbonfangst: Det fins flere typer teknologier, hvorav en kan være mest velegnet for kullkraft, mens en annen kan være mest velegnet for gasskraft, og en tredje for sementproduksjon.

³ Merk at denne konklusjonen gjelder utvikling av all teknologi hvor man forventer en økt etterspørsel etter teknologien i framtiden.

⁴ I denne artikkelen presenterer vi kun de viktigste trekkene ved modellen. En mer utførlig beskrivelse av modellen og analysen er presentert i Gerlagh m.fl. (2008).

⁵ Produksjonen av teknologiutstyret skjer med konstante enhetskostnader. Vi ser bort fra kostnader ved å bruke teknologien.

Mens nye teknologier gjerne er patentert, kan eldre teknologier produseres av hvem som helst. Levetida på patenter i EU og USA er 20 år. I vår analyse skiller vi mellom patenterte og ikke-patenterte teknologier. Som vi skal se senere i artikkelen, er dette skillet av stor betydning.

Vi legger til grunn at nye CO₂-frie teknologier utvikles av bedrifter som har spesialisert seg på slik FoU-virksomhet. Videre antar vi at økt virksomhet hos en FoU-bedrift reduserer den umiddelbare produktiviteten hos andre FoU-bedrifter. Ett argument for dette er at FoU-bedriftene til en viss grad risikerer å utvikle like ideer. Dette er altså en negativ eksternalitet av FoU. På den annen side er det positive FoU-eksternaliteter ved at FoU-bedriftene ikke får gevinster av at teknologien også kan nyttiggjøres etter at patentet er utgått.

3 OPTIMAL UTVIKLING AV CO₂-FRI TEKNOLOGI: START TIDLIG!

Det optimale nivået på konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren er svært vanskelig å anslå, og avhenger både av kostnadene ved klimaendringer og kostnadene ved å redusere utslipp. Begge disse kostnadskomponentene er usikre. Spesielt er man usikker på om det er viktige terskelverdier for konsentrasjonen av klimagasser eller den globale temperaturøkningen. I vår analyse legger vi til grunn at verdens ledere enes om å holde konsentrasjonen av CO₂ under et bestemt nivå. Både Norge og EU mener for eksempel at det bør settes et tak for globale temperaturøkninger på 2 grader Celsius (Miljøverndepartementet, 2007). Vi studerer så implikasjonene av dette for optimal utvikling av ny teknologi og reduksjoner av utslipp.

Den optimale utviklingen over tid bestemmes ved å minimere de totale kostnadene ved å redusere utslipp, under forutsetning av at CO₂-konsentrasjonen ikke overstiger taket som er satt. Kostnadene består av FoU-kostnader ved å utvikle ny CO₂-fri teknologi, og kostnader ved å produsere teknologiutstyret som brukes til å redusere utslipp.⁵

Som vist i Gerlagh m.fl. (2008), kommer vi fram til et sentralt uttrykk for optimal FoU-innsats: Omfanget av FoU-virksomheten på et bestemt tidspunkt bør avhenge av

neddiskontert bruk av CO₂-frie teknologier i all framtid.⁶ Jo mer en teknologi tas i bruk over tid, jo mer lønnsomt er det for samfunnet å utvikle denne teknologien. Dette innebærer for eksempel at dersom bruken av CO₂-frie teknologier vokser sterkt over tid, vil forholdet mellom optimal FoU-innsats og optimal bruk av CO₂-frie teknologier på et gitt tidspunkt være relativt stort, noe som betyr at man bør satse relativt mer på FoU enn på bruk av teknologier.

I tilknytning til dette finner vi følgende interessante resultat: *Forholdet mellom samfunnets verdi av CO₂-frie teknologier og bruken av slike teknologier faller monotont over tid så lenge CO₂-konsentrasjonen ikke har nådd taket.*

En måte å forstå dette resultatet på er at *utvikling* av CO₂-fri teknologi er viktigere enn *bruk* av slik teknologi i den tidlige fasen av klimaproblemet. Etter hvert som vi nærmer oss konsentrasjonstaket, bør fokus rettes mer og mer mot bruk av CO₂-frie teknologier, og noe mindre mot utvikling av nye teknologier. Det betyr ikke at verdien av nye teknologier avtar over tid, men at verdien avtar *sett i forhold til* bruken av CO₂-frie teknologier. Verdien av å redusere CO₂-utslipp (Pigou-avgiften) stiger for øvrig med en konstant rate over tid til man når konsentrasjonstaket, noe som er i tråd med tidligere studier på dette området (Goulder og Mathai, 2000).⁷

Som vi skal se i neste kapittel, har resultatet over viktige implikasjoner for optimal teknologipolitikk rettet mot CO₂-frie teknologier.

4 OPTIMAL STØTTE TIL CO₂-FRI TEKNOLOGI

Markedsimperfeksjoner

La oss anta at det er private bedrifter som står for innovasjon. Det offentlige rolle blir da å legge til rette slik at innovasjonen og produksjonen av CO₂-fri energi skal være samfunnsøkonomisk optimal. Dette kan gjøres ved å påvirke bedriftens insentiver slik at utfallene sammenfaller med samfunnets interesser.

Ut fra dette er det ingen grunn til offentlige reguleringer i et samfunn uten imperfeksjoner, om man ser bort fra eventuelle fordelingsmessige grunner. De private bedrif-

tene vil ha sammenfallende interesser med storsamfunnet. I vår modell har vi imidlertid fire ulike imperfeksjoner:

- For det første har vi negative eksternaliteter av *forurenning*. Utslipp av klimagasser er skadelige for produksjon og velferd. Dette vil normalt kunne korrigeres ved en pris på utslipp som en *avgift* eller en omsettbart kvote.

Vi har deretter tre imperfeksjoner i *innovasjonsmarkedet*:

- Det er for liten bruk av CO₂-frie energiteknologier som følge av monopolsituasjonen som skapes av patenter.
- Det er positive spillovereffekter av innovasjon etter at patenttiden har utløpt som ikke tas hensyn til av innovatørene. Dette skyldes at andre bedrifter enn patentholderne kan produsere energiteknologien etter at patentlevetiden er utløpt. Innovatørene tar kun hensyn til den profitten som tilfaller dem selv. Ved liten profit ønsker de å redusere FoU-aktiviteten.
- Økt virksomhet i en FoU bedrift vil redusere den umiddelbare produktiviteten til andre FoU bedrifter. På kort sikt er det derfor negative spillovereffekter av samlet forskning på produktiviteten i den enkelte FoU-bedrift (*crowding out*). Jo mer det forskes på CO₂-frie teknologier, jo mindre vil utbyttet være av å ansette en forsker til, alt annet likt.

Legg merke til at den første imperfeksjonen i innovasjonsmarkedet gir for liten bruk av CO₂-frie teknologier da disse er patenterte. Dette kan korrigeres ved å gjøre det gunstigere for patentholderen å produsere mer, for eksempel ved en *subsidie på kjøp av nye energiteknologier*. De to neste imperfeksjonene gjelder begge forskning, noe som betyr at det kan holde å bruke ett politikkinstrument for å korrigere disse. Forskning gir både positive og negative eksternaliteter. Hvis man velger å bruke en subsidie, er det ikke sikkert om denne skal være positiv eller negativ. Det vil avhenge av styrken på eksternalitetene. Alternativt kan myndighetene variere patentlevetiden. En lenger patentlevetid gjør at innovatørene får en større andel av profitten, noe som stimulerer til mer forskning.

Oppsummerer vi dette ser vi at vi har tre typer imperfeksjoner; forurensning ved bruk av fossil energi, markeds-

⁶ Merk at vi i dette resonnetet ser bort fra usikkerhet, med andre ord bruker vi en deterministisk modell.

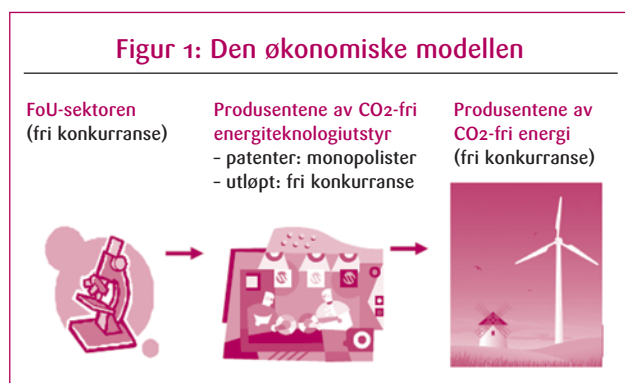
⁷ Intuisjonen bak dette resultatet er at når man kun er opptatt av å holde seg under et gitt konsentrasjonstak, så spiller det ingen rolle for klimaet om man fyller opp atmosfæren i dag eller i morgen. Nåverdien av å slippe ut en enhet CO₂ er da den samme i dag og i morgen. Ser man bort fra depresiering av CO₂ i atmosfæren, innebærer dette at CO₂-avgiften skal stige med diskonteringsraten slik at nåverdien av renskostnadene minimeres.

makt i salg av CO₂-fri energiteknologi og spillovereffekter ved forskning. I vår modell har vi fire virkemidler til disposisjon; en avgift på utslipp fra fossil energi, en subsidie på kjøp av CO₂-fri energiteknologi, subsidie/avgift på forskning og patentlevetiden. Ut fra hva vi vet om mål og midler i økonomisk politikk (Johansen, 1965), trenger vi kun tre virkemidler for å korrigere for tre imperfeksjoner. I utgangspunktet er derfor modellen overdeterminert, og vi kan utelate ett av virkemidlene rettet mot forskning. Dette betyr at vi kan velge mellom å bruke en forskningssubsidie/-avgift eller patentlevetiden som virkemiddel. Alternativt kan vi bruke en kombinasjon av disse to virkemidlene.

Markedsløsningen

For å bestemme den optimale størrelsen på de ulike virkemidlene, må vi ta utgangspunkt i hvordan markedet fungerer og sammenligne det med hvordan vi ønsker at det skal fungere.

Figur 1 illustrerer de ulike sektorene i denne økonomien:



Produsentene av CO₂-fri energi kjøper CO₂-fri energiteknologiutstyr fra produsentene av slikt utstyr. De kjøper både patentert og patentfritt utstyr. Prisen på CO₂-fri energi gjenspeiler avgiften på CO₂-utslipp. Produsentene maksimerer profitten, noe som bestemmer etterspørselen etter de to ulike typene av teknologier (patenterte og ikke-patenterte).

Produsentene av CO₂-fri energiteknologiutstyr maksimerer sin profitt gitt etterspørselen etter slikt utstyr. Deres neddiskonterte profitt i løpet av patentets levetid er den maksimale verdien de er villig til å betale innovatørene for å få

patent på teknologien. En lengre patentlevetid gjør at den neddiskonterte profitten blir høyere, og produsentene er derfor villig til å betale en høyere pris for patentet, noe som kommer innovatørene til gode.

Basert på etterspørselen etter patenter maksimerer innovatørene sin profitt. Deres inntekter kommer fra salg av patenter, mens deres kostnader er FoU-kostnadene. Gitt også myndighetenes FoU-politikk, bestemmes dermed FoU-innsatsen i samfunnet.

Hvordan bør utviklingen i politikkinstrumentene være?

I en situasjon hvor alle politikkinstrumentene er tilgjengelige vil vi (ikke overraskende) skille mellom miljøpolitikk og innovasjonspolitikk. CO₂-avgiften vil da bare trenge å korrigere for miljøeksternaliteten (dvs. være lik Pigou-avgiften). At det finnes eksternaliteter i markedet for innovasjon og produksjon av nye CO₂-frie teknologier trenger derfor ikke miljømyndighetene ta hensyn til, gitt at disse blir korrigert gjennom innovasjonspolitikken.

Markedsmakten som følger av patenter kan kalles en statisk imperfeksjon, fordi den gjelder på ethvert tidspunkt uavhengig av tidligere salg av varen. Subsidien vil avhenge av hvor mye monopolistene tar for varen i forhold til frikonkurranseprisen (mark-up). Da denne mark-up'en er konstant i denne typen modell (se f.eks. Barro og Sala-i-Martin, 1995), vil også subsidien være konstant over tid.

Mer spennende er det å studere hvordan støtten til forskning bør være. Som nevnt ovenfor har vi to virkemidler til å stimulere forskning, en subsidie til FoU samt patentlevetiden. Det er derfor interessant å se hvilke ulike kombinasjoner av disse virkemidlene som kan brukes. Vi vil se nærmere på tre ulike tilfeller.

1. Anta først at *patenter har en uendelig levetid*. Dette er en antagelse som ofte brukes i energi- og miljøøkonomisk litteratur. I dette tilfellet får innovatørene all profitten ved innovasjonen og det er derfor ingen positiv spillover til andre produsenter.⁸ Ofte kalles dette for et perfekt innovasjonsmarked. Da gjenstår kun den negative eksternaliteten av forskning som nevnt ovenfor. Denne vil i vår modell være konstant, slik at det skal være en konstant avgift på forskning i dette tilfellet. Det som er

⁸ Merk at vi ser bort fra spillovereffekter mellom FoU-bedrifter i denne analysen. Som nevnt innledningsvis kan teknologiutvikling i en bedrift gi ideer til andre bedrifters FoU-virksomhet. Dermed vil det være positive eksternaliteter ved FoU selv om patentlevetida er uendelig.

interessant ved denne konklusjonen er at dersom vi har perfekte innovasjonsmarkeder (uendelig patentlevetid) skal innovasjonspolitikken settes uavhengig av klimatilstanden. Hvorvidt det er mye eller lite drivhusgasser i atmosfæren spiller ingen rolle for innovasjonspolitikken; klimaproblemet har kun betydning for CO₂-avgiften.

2. Hva nå hvis *patentlevetiden er konstant* slik den er i virkeligheten (f.eks. 20 år)? Subsidiene må da ta hensyn til begge eksternalitetene av forskning. Mens den negative spillovereffekten er konstant over tid, er dette ikke tilfelle for den positive eksternaliteten. Når det er lite drivhusgasser i atmosfæren vil det heller ikke være stor etterspørsel etter CO₂-fri energi, men etterspørselen (og dermed prisen) vil øke jo mer forurensning det er. Dette betyr at det vil være en større profitt å ta patent på en CO₂-fri teknologi når klimaet har blitt kraftig forverret i forhold til et tidspunkt hvor det er lite forurensning. Den samfunnsøkonomiske gevinsten vil imidlertid ikke være større da vår modell antar at teknologiene kan brukes i all framtid. For å korrigere dette vil det derfor være optimalt å ha en høy subsidie når etterspørselen etter teknologier er liten og la den avta etter hvert. Dette betyr at når innovasjonsmerkene ikke er perfekte, vil det være optimalt å la innovasjonspolitikken avhenge av utslippsprisen og dermed også av miljøtilstanden.
3. Det samme gjelder hvis vi setter *subsidiene lik null* og lar patentlevetiden være fleksibel. I dette tilfellet vil patentlevetiden korrigere for begge eksternalitetene. Konklusjonen blir at patentlevetiden skal være høy når klimaproblemet er i startfasen, men at den skal falle etter hvert som utslippene og konsentrasjonen øker. Årsaken er den samme som over. Det vil være liten profitt for innovatørene i en tidlig fase, men denne vil øke etter hvert som klimaet forringes og etterspørselen etter CO₂-fri energi øker. For å korrigere for dette bør derfor patentlevetiden være lang på et tidlig stadium, men falle etter hvert som den private profitten øker.

Disse konklusjonene viser at myndighetene har en viss fleksibilitet i FoU-politikken. Det finnes ulike kombinasjoner av virkemidler rettet mot forskning som kan gi samfunnsøkonomisk gunstige resultater. Vi har også sett at når innovasjonsmerkene ikke er perfekte, bør forskning støttes mye i perioden før utslippsreduksjonene virkelig

setter inn. En tolkning av dette er at klimapolitikken på et tidlig stadium bør fokusere på oppbygging av teknologi og kunnskap, mens det å anvende disse blir viktigere på senere tidspunkt.

Betyr dette at teknologi for å redusere forurensning bør støttes mer enn andre typer teknologier? Ikke nødvendigvis. Svaret på dette avhenger av hvor store imperfeksjonene er for miljøteknologi sammenlignet med annen teknologi. Mange vil nok argumentere for større positive spillovereffekter ved miljøteknologi enn annen teknologi, men det er ikke det som er poenget her. Vårt poeng er at CO₂-fri teknologi bør støttes mer på et tidlig tidspunkt når den private profitten er liten og den samfunnsøkonomiske profitten er stor, og mindre etter hvert som den private profitten øker og det blir mer lønnsomt for aktørene å entre markedet.

Et annet spørsmål er hvor enkelt det vil være med kraftig støtte på et tidlig tidspunkt. I vår modell vil det kunne være gunstig med opp til 100% subsidiering eller uendelig levetid i den innledende fasen, noe som vil være vanskelig å gjennomføre. Merk imidlertid at så store subsidier eller så lang patentlevetid kun vil være optimalt for de helt første teknologiene som utvikles. Et alternativ kan også være at det offentlige tar ansvaret for å utvikle teknologier på et tidlig stadium.

5 BØR CO₂-AVGIFTEN ØKES FOR Å STØTTE CO₂-FRI TEKNOLOGI?

Er det slik at vi bør ha en streng klimapolitikk for å legge til rette for å utvikle nye teknologier? Ser vi bort fra læringseffekter som vi nevnte innledningsvis i denne artikkelen, er svaret på dette nei gitt at det offentlige har nok politikkinstrumenter tilgjengelig. Hvis man kan føre en innovasjonspolitik som korrigerer for imperfeksjonene i innovasjonsmarkedet, er det ingen grunn til å ha strengere klimapolitikk enn det klimaproblemet skulle tilsi. Brukes en CO₂-avgift bør denne med andre ord settes lik Pigou-avgiften.

Men er det rimelig å tro at myndighetene har alle politikkvirkemidlene tilgjengelig? De fleste land driver med støtte til forskning. Dette skjer først og fremst gjennom offentlig finansiert forskning, men også gjennom direkte støtte til bedrifter. En annen imperfeksjon vi studerte ovenfor var imidlertid monopolsituasjonen som patenter

skaper. Vi har forutsatt at myndighetene kan korrigere for denne ved å bruke en subsidie på kjøp av de patenterte varene. I en viss grad brukes subsidier her i Norge, for eksempel ved utskifting av gamle vedovner eller investeringer i fornybar energi, men de skiller ikke på om teknologiene er patenterte eller ikke. Hva vil situasjonen være hvis slike subsidier ikke er tilgjengelig eller ikke brukes av politiske grunner? Da er vi over i en nest-best situasjon. Fra økonomisk teori vet vi at dette betyr at bruken av de andre politikkinstrumentene må justeres for å ta hensyn til alle imperfeksjonene, og at kostnadene ved å redusere utslippene går opp.

Det samme resultatet finner vi: Hvis vi ikke kan bruke en subsidie (eller et annet politikkinstrument) for å korrigere for markedsmakten, vil dette påvirke den (nest-best) optimale bruken av en CO₂-avgift. Denne bør settes høyere enn Pigou-avgiften når det finnes patenterte teknologier, og høyere jo større andel av teknologier som er patenterte. Grunnen til dette er at CO₂-avgiften må kompensere for for liten etterspørsel etter CO₂-frie teknologier. En høyere CO₂-avgift vil øke etterspørselen på samme måte som en subsidie gjorde. Konklusjonen blir derfor at det kan være gunstig å innføre strengere klimapolitikk, for eksempel i form av høyere CO₂-avgifter enn Pigou-avgiften, for å stimulere til innovasjon av CO₂-frie energiteknologier. Men dette gjelder kun hvis myndighetene ikke har alle innovasjonspolitiske virkemidler tilgjengelig. Legg merke til at dette resultatet sammenfaller med resultatet fra læringslitteraturen som nevnt innledningsvis, selv om mekanismene er litt ulike.

6 OPPSUMMERING

Et spørsmål som har vært oppe i debatten om utvikling av CO₂-fri teknologi er hvorvidt man bør stimulere teknologitvillingen ved strenge miljøreguleringer eller med direkte støtte til de som utvikler og/eller produserer slik teknologi. Vi har vist at dersom myndighetene har nok virkemidler tilgjengelig, kan man atskille klimapolitikken og innovasjonspolitikken. Miljøeksternaliteten kan korrigeres ved for eksempel CO₂-avgifter eller omsettbare kvoter, mens imperfeksjonene i innovasjonsmarkedet kan korrigeres ved egne virkemidler. Selv i denne situasjonen (først best) vil det likevel være slik at støtten til forskning bør avhenge av tilstanden til klima-

problemet, med mindre patentlevetiden er uendelig. Står vi overfor et voksende klimaproblem, bør støtten være høyest på et tidlig stadium. Da er den private profitten minst på grunn av lav etterspørsel etter CO₂-frie teknologier, mens den samfunnsøkonomiske gevinsten er stor da disse teknologiene også vil kunne brukes på senere tidspunkt. Jo mer som utvikles tidlig, jo bedre rustet er man til å møte klimaproblemet når dette blir prekært. Denne konklusjonen sammenfaller i stor grad med det som er funnet i FoU litteraturen: Det er viktigere å satse på støtte til FoU enn utslippsreduksjoner i en tidlig fase av miljøproblemet.

Det finnes imidlertid også grunner til å innføre ekstra streng klimapolitikk for å stimulere FoU, slik læringslitteraturen konkluderer med, selv om man ser bort fra læringseffekter. Dette vil være tilfelle hvis myndighetene ikke har alle virkemidlene tilgjengelig for å korrigere imperfeksjonene i innovasjonsmarkedet (nest-best situasjon). I en slik situasjon vil for eksempel høye CO₂-avgifter føre til økt etterspørsel etter CO₂-fri teknologi og dermed økt produksjon. Økte avgifter kan dermed erstatte subsidier til produsentene. Merk likevel at dette vil øke kostnadene ved å nå målsettingene våre, jfr. den gamle lærdommen om mål og midler i offentlig politikk.

Hva betyr vår analyse for norsk klima- og innovasjonspolitikk? Ta som et eksempel regjeringens såkalte månelandingsprosjekt, dvs. CO₂ rensing av gasskraftverket på Mongstad. Bør vi støtte dette ved bruk av offentlige midler, og i så fall hvordan bør dette gjøres? Basert på økonomisk forskning er det rimelig å tro at den samfunnsøkonomiske verdien av et slikt utviklingsprosjekt er større enn den privatøkonomiske, noe som taler for offentlig støtte. Vi har argumentert for at denne støtten (enten i form av en subsidie eller lang patentlevetid) bør trappes ned etter hvert ettersom etterspørselen etter renseteknologier eller CO₂-fri energi øker. Dette bør også være tilfelle med støtte til CO₂-rensing. Det er likevel verdt å merke seg at selv om det vil være optimalt med en høy støtte på et tidlig stadium i klimapolitikken,⁹ vil det ikke nødvendigvis bety at støtten er høy nok til at prosjektet bør gjennomføres. Dette avhenger av forholdet mellom kostnadene og den samfunnsøkonomiske gevinsten ved prosjektet. Det siste er vanskelig å beregne, også når det gjelder Mongstadprosjektet.

⁹ Selv om klimaproblemet har vært reelt en del år, vil det øke i styrke i flere år framover selv om man skulle lykkes med å bli enige om en mer effektiv internasjonal klimapolitikk i København i desember.

REFERANSER:

Barro R. og X. Sala-i-Martin (1995): *Economic growth*. The MIT Press: Cambridge, Massachusetts.

Berglann, H. (2008): Patenter i modeller med teknologisk vekst - en litteraturoversikt med vekt på klimapolitikk, *Samfunnsøkonomen* Nr. 4.

Gerlagh, R., S. Kverndokk og K.E. Rosendahl (2008): *Linking Environmental and Innovation Policy*, Memorandum No 08/2008, Økonomisk institutt, Universitetet i Oslo.

Goulder, L. og K. Mathai (2000): Optimal CO₂ abatement in the presence of induced technological change. *Journal of Environmental Economics and Management* 39, 1-38.

IPCC (2007): *Climate Change 2007- The Synthesis Report*, The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge.

Kverndokk, S. og K.E. Rosendahl (2007): Climate policies and learning by doing: Impacts and timing of technology subsidies. *Resource and Energy Economics* 29, 58-82.

Johansen, L. (1965): *Offentlig økonomikk*, Universitetsforlaget.

Miljøverndepartementet (2007): *Norsk klimapolitikk*, St.meld. nr. 34 (2006-2007).

Nordhaus, W.D. (2002): *Modeling induced innovation in climate-change policy*. I: Grubler A., Nakicenovic N., Nordhaus W.D. (red.), *Modeling induced innovation in climate-change policy*. Resources for the Future Press: Washington. Kapittel 9.

Romer, P.M. (1987): Growth Based on Increasing Returns Due to Specialization. *American Economic Review* 77(2), 56-62.

Romer, P.M. (1990): Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy* 98(5), 71-102.

Stern Review (2007): *Stern Review on the Economics of Climate Change*. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

van der Zwaan, B.C.C., R. Gerlagh, G.A.J. Klaasen, og L. Schrattenholzer (2002): Endogenous technological change in climate change modelling, *Energy Economics* 24: 1-19.