

Betydningen av karbonlekkasjer for norsk næringsliv

Michael Hoel, Annegrete Bruvoll og Haakon Vennemo

VISTA ANALYSE AS



Dokumentdetaljer

Vista Analyse AS	Rapport nummer 2012/06
Rapporttittel	Betydningen av karbonlekkasjer for norsk næringsliv
ISBN	978-82-8126-055-9
Forfatter	Michael Hoel, Annegrete Bruvoll og Haakon Vennemo
Dato for ferdigstilling	16 mars 2012
Prosjektleder	Michael Hoel
Kvalitetssikrer	Steinar Strøm
Oppdragsgiver	Nærings- og handelsdepartementet
Tilgjengelighet	Offentlig
Publisert	9 mai 2012
Nøkkelord	Karbonlekkasje, kompensasjonsordninger

Forord

9 februar 2012

På oppdrag av Nærings- og handelsdepartementet har Vista Analyse utarbeidet en rapport som belyser karbonlekkasje, både generelt og spesielt for norsk næringsliv. Rapporten belyser drivkrefter og omfang av karbonlekkasjeproblemet og hvilke former for karbonlekkasje som er mest relevante. Analysen er basert på egne anslag og gjennomgang av den internasjonale litteraturen. Videre gir rapporten en samfunnsøkonomisk drøfting av ulike virkemidler for å kompensere industrien slik at karbonlekkasjen blir begrenset.

Rapporten er utarbeidet av Michael Hoel, Annegrete Bruvoll og Haakon Vennemo. Steinar Strøm har vært kvalitetsikrer. Vi vil takke Nærings- og handelsdepartementet ved Randi Næs, Wenche Stenberg og Ragnvald Lier.

Utredningen er gjennomført uten noen form for bindinger. Alle feil og mangler står for Vista Analyses ansvar.

Michael Hoel
Prosjektleder
Vista Analyse AS

Innhold

Forord	2
Sammendrag.....	5
English summary.....	9
Norsk kort-sammendrag.....	10
1 Bakgrunn.....	12
2 Hva sier litteraturen?	13
3 Teoretisk drøfting	15
3.1 Lekkasje via verdsettingen av utslipp	15
3.2 Lekkasje via interaksjonen mellom virkemidler brukt på ulike nivåer.....	18
3.3 Lekkasje via priseffekter i markedene for fossile brensler	19
3.4 Redusert oljeutvinning som tiltak for å redusere klimagassutslipp	20
3.5 Lekkasje via markedene for utslippsintensive konkurranseutsatte produkter	21
3.6 Lekkasjevirkninger sammenholdt.....	23
3.7 Betragtninger om generelle likevektvirkninger	23
4 Empirisk analyse	28
4.1 Parameteranslag	29
4.2 Anslag på lekkasjer	31
4.3 Oppsummert om lekkasjeanslagene.....	34
5 Kompensasjon for økte klimakostnader	35
5.1 Virkninger.....	35
5.2 Kompensasjonstiltak	36
5.3 Oppsummert om kompensasjonstiltak	39
6 Referanser.....	41
7 Vedlegg.....	43
7.1 Vedlegg 1: Utledning av karbonlekkasjerater.....	43
7.2 Vedlegg 2: Nærmere om tilbudselasticiteten og parameteren μ	48
7.3 Vedlegg 3: Lekkasjestudier.....	53
Tabeller:	
Tabell 3.1 Oppsummering lekkasjevirkninger	23
Tabell 4.1 Anslag på utslippsintensitets-elasticiteten	30
Tabell 4.2 Anslag på etterspørselselasticiteten (målt positivt)	31
Tabell 4.3 Anslag på tilbudselasticiteten	31
Tabell 4.4 Anslag, utslippslekkasjer.....	32
Tabell 4.5 Sensitivitetsanalyse.....	33
Tabell 4.6 Anslag, variasjon i utslippsintensitets-elasticiteten μ	33

Figurer:

Figur 3.1 Optimal klimapolitikk for verden	16
Figur 3.2 Optimal klimapolitikk for land B.....	17
Figur 4.1 Marginalkostnad ved klimagassutslipp i 2011.....	28

Sammendrag

Karbonlekkasje er definert som økte utslipp i resten av verden når et land eller en gruppe av land gjennomfører tiltak som reduserer egne CO₂-utslipp. Lekkasjeraten er mer presist definert som forholdstallet mellom de *økte* utslippene i resten av verden og de *reduserte* utslippene i landet eller landene som strammer til sin klimapolitikk. Lekkasjeraten er typisk et tall fra og med 0 og til og med 1, men fra et teoretisk utgangspunkt kan en ikke utelukke lekkasjerater over 1 eller lavere enn 0 (i sistnevnte tilfelle går utslippene i resten av verden *ned* når ett land eller gruppe av land reduserer sine utslipp). Lekkasjeraten blir som oftest angitt i prosent, slik at en lekkasjerate på f.eks. 30 prosent betyr at de økte utslippene i resten av verden er lik 30 prosent av utslippsreduksjonen i landet eller landene som gjennomfører tiltak for å redusere sine utslipp. Sagt på en annen måte: Med en lekkasjerate lik 30 prosent blir den globale utslippsreduksjonen lik 70 prosent av utslippsreduksjonen i landet eller landene som gjennomfører tiltak for å redusere sine utslipp.

Karbonlekkasje knytter seg i utgangspunktet til utslippsreduserende tiltak i et land (eller gruppe av land, men vi omtaler dette heretter som om det bare er ett land). Tiltaket kan være av generell art, f.eks. en økning av en CO₂-avgift for alle utslippskilder i landet. I det meste av litteraturen er det denne typen tiltak som er utgangspunktet for å beregne karbonlekkasjen. Det kan imidlertid også være aktuelt å studere tiltak bare rettet mot en enkelt sektor. F.eks. kan det være en sektor som har fått unntak fra en generell CO₂-avgift til nå, og en vurderer en tilstramning av klimapolitikken ved at dette unntaket fjernes. Dette vil gi reduserte utslipp i landet vi ser på, men med positiv karbonlekkasje også *økte* utslipp i andre land. Uansett om vi ser på et generelt eller sektorspesifikt tiltak er raten for karbonlekkasje definert som økningen i utslipp i resten av verden som prosent av utslippsreduksjonen i landet som strammer til sin klimapolitikk. *Størrelsen* på karbonlekkasjeraten kan imidlertid avhenge av hva slags tiltak det er snakk om. Lekkasjeraten knyttet til sektorspesifikke tiltak kan i noen tilfeller være betydelig høyere enn lekkasjeraten for generelle tiltak. Dette kan særlig være tilfelle dersom den aktuelle sektoren har forholdsvis høye utslipp og sektoren er sterkt konkurranseutsatt.

I rapporten drøfter vi to hovedtyper av mekanismer bak karbonlekkasje, nemlig karbonlekkasje via politikk-interaksjon og karbonlekkasje via markedsvirkninger.

Karbonlekkasje via politikkvirkninger

For Norge er den viktigste formen for *karbonlekkasje via politikkvirkninger* knyttet til EUs kvotesystem. En betydelig del av CO₂-utslippene i EU er fram til år 2020 regulert gjennom EUs kvotesystem EU-ETS (hvor også Norge deltar). Summen av utslippsrettigheter fastsettes politisk i EU. Dette innebærer at summen av utslipp fra sektorer som er en del av dette kvotesystemet blir politisk fastlagt. Klimapolitikk innen ett eller flere EU-land som påvirker utslippene fra noen av sektorene innenfor kvotesystemet vil derfor bare flytte utslipp fra disse sektorene til andre sektorer innenfor kvotesystemet. Vi får dermed 100 prosent karbonlekkasje for de aktuelle tiltakene. Det finnes mange eksempler på slike tiltak; her skal vi nevne ett eksempel fra Norge: Petroleumssektoren i Norge er omfattet av EU-ETS, og betaler i tillegg en CO₂-avgift. I den grad avgiften bidrar til å redusere utslippene fra sektoren, vil sektoren trenge færre utslippsrettigheter. Disse utslippsrettighetene blir dermed tilgjengelig for andre bedrifter som er innenfor EU-ETS, og utslippene vil derfor øke der. Utslippene blir altså flyttet fra den norske petroleumssektoren til andre utslippskilder innenfor kvotesystemet. Utslippene i Norge vil gå ned (med mindre all utslippsøkning skjer i

andre bedrifter i Norge som er innenfor kvotesystemet), men vil bli motsvart 100 prosent av utslippsøkninger innenfor EU.

Eksistensen av EUs kvotesystem kan i andre tilfeller redusere lekkasjen fra norske tiltak ned til null. For eksempel vil man i vanlige tilfeller være redd for at en ny elektrisk bil på veien i Norge vil føre til større elproduksjon i Europa og større utslipp langs den kanalen. Men EUs kvotesystem nøytraliserer en slik mulighet og den eneste virkningen av den elektriske bilen blir dens effekt på vanlig bilkjøring i Norge og videre på markedet for fossil energi (se under).

I resonnementene over om EUs kvotesystem har vi antatt at totalkvoten er gitt, uavhengig av tiltak som treffes i Norge eller andre land som er med i kvotesystemet. Dette er ikke opplagt. Det kan tenkes at EU som en politisk reaksjon på utslippsreduserende tiltak som fører til lavere pris på utslippsrettigheter, vil redusere totalkvoten slik at prisen ikke faller så mye som den ville gjort dersom totalkvoten ble holdt fast. Et yttertilfelle av dette er at totalkvoten reduseres så mye at prisen på utslippsrettigheter blir upåvirket av utslippsreduserende tiltak gjennomført i Norge.

I vår analyse av tiltak i Norge rettet mot metallindustrien og treforedling, som begge er omfattet av kvotesystemet, ser vi på begge yttertilfellene: I avsnitt 3.5-3.6 ser vi på tilfellet hvor totalkvoten er gitt, mens vi i avsnitt 4.2 beregner lekkasjerater under forutsetning av at utslippsprisen i alle land er upåvirket av norske tiltak. Dette siste tilfellet svarer til at totalkvoten alltid justeres slik at likevektsprisen i kvotemarkedet er upåvirket av hvilke utslippsreduserende tiltak som gjennomføres. Vi minner om at disse to tilfellene er yttertilfeller; virkeligheten er trolig et sted i mellom.

Karbonlekkasje via markedsvirkninger

Når det gjelder karbonlekkasje via markedsvirkninger har vi drøftet to typer: *Karbonlekkasje via priseffekter energimarkedene* og *karbonlekkasje via produktmarkedene*. Karbonlekkasje via prisene på fossile brenslers oppstår fordi utslippsreduserende tiltak i et land, f.eks. en karbonavgift, vil redusere etterspørselen etter fossile brenslers (kull, olje og gass) i dette landet. Dette vil føre til lavere verdensmarkedspriser på fossile brenslers. Den lavere prisen bidrar til økt bruk av fossile brenslers i landene uten klimapolitikk. Styrken på denne effekten vil avhenge av hvor prisfølsom etterspørselen etter-, og tilbudet av det fossile brenselet er: Jo mer prisfølsom etterspørselen er og jo mindre prisfølsomt tilbudet er, jo høyere blir karbonlekkasjen. Siden både etterspørsels- og tilbudsforhold varierer for de ulike brenselstypene, kan karbonlekkasjeraten avhenge av hvordan det utslippsreduserende tiltaket påvirker etterspørselen etter de tre brenslene kull, olje og gass.

Lekkasje via markedene for utslippsintensive konkurranseutsatte produkter er trolig den politikere er mest opptatt av. Mekanismen her er at utslippsreduserende tiltak i et land vil øke kostnaden for utslippsintensive produksjonssektorer. Dette bidrar til økte internasjonale priser for produktene fra disse sektorene, slik at det blir mer lønnsomt å produsere slike produkter i land uten klimapolitikk. Av denne beskrivelsen ser vi at det kan være sammenheng mellom «lekkasje via markedet for utslippsintensive konkurranseutsatte produkter» og «lekkasje gjennom energimarkedene», som også kunne tolkes som endret industrietterspørsel. Imidlertid holder «lekkasje gjennom energimarkedene» prisene på industrivarer fast. «Lekkasje via markedet for utslippsintensive konkurranseutsatte produkter» lar prisene på industrivarer variere, mens verdensmarkedsprisen for energi holdes fast.

I kapittel 4 har vi drøftet størrelsen på karbonlekkasjeraten for norsk metallindustri og treforedlingsindustri under den forutsetning at EUs kvotetak ikke er bindende. Parameterne som bestemmer lekkasjeraten er svært usikre. Vi har lagt til grunn et sett basisanslag; gitt

disse finner vi lekkasjeeffekter på rundt 10-30 prosent på kort sikt og 20-30 prosent på lang sikt. Lekkasjen er noe større for treforedling enn for metallproduksjon. Våre beregninger støttes av internasjonale kvantitative studier. Internasjonale studier som er referert i kapittel 2, viser lekkasjeeffekter på 10-30 prosent. I følge studiene ligger lekkasjeraten med andre ord langt nærmere null enn 100 prosent.

Det er særlig tre parameter som er viktig for størrelsen på karbonlekkasjen og som er vanskelig å anslå: Karbonlekkasjen er større

- jo større tilbudselasticiteten er (dvs jo mer prisfølsomt tilbudet er)
- jo lavere utslipp per produsert enhet i Norge (på marginen) er i forhold til andre land
- jo mindre utslipp per produsert enhet går ned i Norge i forhold til total norsk utslippsreduksjon som følge av tiltaket

Den siste sammenhengen illustrerer at lekkasjeeffekten er sterkere om utslippsreduksjonen skyldes nedskalering av produksjonen, heller enn substitusjon til mindre utslippsintensive teknologier. Det første er mest relevant når politikken virker via økt kraftpris, som i første rekke vil gi insentiver til energieffektivisering eller produksjonsreduksjon, uten direkte insentiver til redusert utslippsintensitet. En direkte regulering av utslippene ved høyere CO₂-avgifter for prosessindustrien vil derimot gi direkte insentiver til å redusere utslippene, og mindre lekkasje regnet i prosent.

Tallene over rendyrker virkningene via markedene for utslippsintensive konkurranseutsatte produkter. En tolkning er at det er dette som vil skje hvis prisen på fossile brenslers ikke påvirkes av tiltaket, og vi ser bort fra EUs kvotesystem eller antar at kvotetaket alltid justeres slik at prisen på utslippsrettigheter er konstant. Vi skal avslutte dette kapitlet med en drøfting av hvordan resultatene blir endret dersom en antar at kvotetaket er gitt uavhengig av norske tiltak, og at prisen på fossile brenslers kan påvirkes av norske tiltak.

Samlede lekkasjevirkninger

	Politikkvirkninger	Energimarkeds- virkninger	Produktmarkeds- virkninger	Samlet
EUs kvotetak binder ikke	i.r.	+	~10-30%	10-30% +
EUs kvotetak binder	~100%	~0	i.r.	~100%

'i.r.' = ikke relevant. '+' = positiv lekkasje av uvisst størrelse. EUs kvotetak binder ikke når sektoren en ser på er utenfor kvoteplikt, eller dersom en legger til grunn at kvotetaket justerer seg slik at prisen er konstant, jf. teksten.

Så lenge vi ser på en norsk sektor som befinner seg innenfor EU ETS, og kvotetaket er gitt, vil den direkte virkningen på utslipp av CO₂ av utslippsreduserende tiltak rettet mot denne sektoren være lik null: Alle endringer i sektorens CO₂-utslipp vil kompenseres av økte utslipp annetsteds i EU ETS. Alle endringer i sektorens indirekte utslipp gjennom kraftmarkedet vil også være null, siden kraftsektoren er omfattet av EU-ETS. Dermed får vi i dette tilfellet 100 prosent lekkasje.

Selv om samlede utslipp innenfor EUs kvotesystem blir uendret, kan det bli endringer i de samlede utslippenes fordeling på sektorer innenfor kvotesystemet. Enhver endring i produksjon (opp eller ned) innen EU ETS kan gi lekkasjevirkninger til resten av verden som forklart over (via markedsvirkninger for konkurranseutsatte produkter). Disse virkningene

kan dels være økte utslipp utenfor EU og dels være lavere utslipp. Nettovirkningen på utslipp utenfor EU ETS er uklar og beror på parametere av typen beskrevet over.

Så lenge vi holder oss til energirelaterte CO₂-utslipp, vil den samlede virkningen av alle virkningene i produktmarkedet avleire seg i etterspørselen etter fossil energi. Hvis lekkasjen er lavere enn 100 prosent, vil etterspørselen etter fossil energi alt i alt gå ned. Hvis etterspørselen etter fossil energi alt i alt går ned, inntreffer imidlertid *lekkasje via priseffekter i markedet for fossile brensler*. Prisen på fossile brensler vil gå ned, og etterspørselen etter fossile brensler vil gå noe opp igjen. Denne lekkasjen via priseffekter i markedet for fossile brensler vil komme i tillegg til lekkasjen i produktmarkedet slik at den samlede lekkasjen blir noe større.

Det er når lekkasjen i produktmarkedet er liten at etterspørselen etter energi går mest ned. Men det gir en relativt stor nedgang i energiprisen, og større lekkasje i energimarkedet enn ellers. På denne måten bidrar dermed energimarkedet til å redusere forskjellene mellom produktmarkeder: Liten produktmarkedslekkasje går sammen med stor energimarkedslekkasje, og omvendt. Hvis startpunktet er en produktmarkedslekkasje over 100 prosent, vil etterspørselen eller fossil energi ut fra samme resonnement gå opp, og lekkasjen i energimarkedet blir negativ.

I den grad annenordensvirkningene i produktmarkedet gir en samlet lekkasje som er forskjellig fra 100 prosent når utslippstaket i EU-EØS binder, vil i følge resonnementet over lekkasje via markedene for fossile brensler bidra til å trekke samlet lekkasje nærmere 100 prosent. Dersom utslippstaket i EU-EØS binder, tenderer lekkasjen derfor mot 100 prosent.

Kompensasjonsordninger

De aktuelle kompensasjonsordningene vil redusere effektiviteten i klimapolitikken og bidra til høyere utslipp. Indirekte tiltak med justeringer i skatte- og avgiftssystemet vil redusere effektiviteten i disse virkemidlene. Ordninger rettet mot energiforbruket svekker insentivene til energieffektivisering og gir feilaktige kostnadssignaler til markedet mht sammensetningen av faktorinnsatsen. Generelt er det vanskelig å finne treffsikre virkemidler som ikke også er kostnadskrevende å administrere. Videre vil ordningen med grønne sertifikater som allerede er iverksatt fungere som en slik kompensasjonsordning som etterspørres for økte kraftpriser, da kraftprisen ventes å gå mer ned enn karbonprispåslaget i kraftprisen.

Intensjonen bak avgifter/utslippsrettigheter er nettopp at det skal skje en vridning fra fossil energi over til ikke-fossil energi. Den høyere kraftprisen er en informasjonsbærer for samfunnets kostnader ved bruk av elektrisitet basert på fossile energikilder og formidler insentiver til energieffektivisering og ev. nedskalering av produksjon som ikke lenger er samfunnsøkonomisk lønnsom når de fulle kostnadene tas hensyn til. Forsøk på å motvirke høyere energipriser gjennom kompenserende tiltak på etterspørselssiden i kraftmarkedet bidrar til å øke samfunnets kostnader ved å oppnå gitte utslippsreduksjoner. Andre sektorer måtte ta utslippskutt til høyere kostnader.

Argumenter for å kompensere kraftkrevende industri er hensyn til sysselsetting og distriktsprofil. På lang sikt tilsier erfaringene at sysselsettingen knyttet til nedlagt industri absorberes av andre næringer, jfr omstillingene vi allerede har hatt i norsk industri. En rekke håndtak innenfor EØS-regelverket gjør det mulig å støtte for eksempel bosetting og infrastruktur. Direkte virkemidler vil være mer treffsikre enn indirekte subsidier til energiintensive bedrifter.

English summary

Carbon leakage is defined as the increase in emissions in the rest of the world as a result of climate policy in one country. The leakage rate is defined as the ratio between increased emissions in the rest of the world and reduced domestic emissions as a result of the policy.

In this report, we study leakages in Norway caused by policy interactions and carbon leakages via market mechanisms, with a particular emphasis on the metal and pulp and paper industries. Our results are supported by the international literature, as most of the international, quantitative studies estimate leakages of 10-30 per cent.

Total leakage

	Policy interactions	Energy markets	Product markets	Total
Non-binding EU ETS cap	n.r.	+	~10-30%	10-30% +
Binding EU ETS cap	~100%	~0	n.r.	~100%

'n.r.' = not relevant. '+' = positive leakage of uncertain amount. EU ETS cap does not bind when the sector is not included in the ETS, or if the cap is adjusted keeping the price on emission permits unchanged.

Typically, *leakage caused by policy interactions* in Norway are related to the EU emission trading system EU ETS. A significant part of the carbon emissions in EU and Norway are regulated by this system, which determines a fixed cap on total emission permits for the included emission sources. If the cap is binding, emission reductions in one part of the system will be counteracted by increases in other parts of the system, causing a 100 per cent leakage. For example, the Norwegian petroleum sector is part of the EU ETS and is subject to additional carbon taxes. Emission reductions resulting from the carbon taxes will release emission permits that will be absorbed in the market and total emissions will balance. However, reduced permit prices due to national policy may make political room for lowering the cap. In the case of a non-binding EU ETS cap the leakage will be lower than 100 per cent.

We discuss the two main types of *leakage caused by market interactions*. First, international energy markets may be affected by climate policy. Lower demand for fossil fuels contributes to decreased energy prices, which stimulate increased use of fossil fuels in countries with laxer climate policy, thus giving *leakage via energy markets*. Second, as a result of climate policy, the cost of carbon intensive production increases. Due to higher product prices for the regulated sectors, the profitability of such production increases in countries without similar regulations, thus giving *leakage via the product markets*. The general findings given non-binding emission caps are leakage effects of 10-30 per cent in the short run, and 20-30 per cent in the long run. We estimate somewhat higher leakage for pulp and paper compared to metal production.

Finally, we discuss possible mechanisms to compensate the industry in order to reduce carbon leakages. All of these compensation mechanisms reduce the effectiveness of the climate policy instruments and contribute to increased emissions. Compensation via adjustments of the tax system will undermine the efficiency of these taxes. Mechanisms directed towards energy input reduce the energy efficiency incentives and give wrong signals to the market regarding the relative prices on inputs.

Norsk kort-sammendrag

Karbonlekkasje er definert som økningen i utslipp i resten av verden som følge av et lands klimapolitikk. Lekkasjeraten tilsvarende forholdet mellom utslippsøkningen i resten av verden og reduksjonen i innenlandske utslipp.

I denne rapporten studerer vi karbonlekkasjer i Norge som følge av politikkinteraksjoner og via markedsmekanismer med spesiell vekt på metall og treforedlingsindustrien. Resultatene er støttet av den internasjonale litteraturen, som hovedsakelig viser anslag på karbonlekkasjer på rundt 10-30 prosent.

Samlede lekkasjevirkninger

	Politikkvirkninger	Energimarkeds- virkninger	Produktmarkeds- virkninger	Samlet
EUs kvotetak binder ikke	i.r.	+	~10-30%	10-30% +
EUs kvotetak binder	~100%	~0	i.r.	~100%

'i.r.' = ikke relevant. '+' = positiv lekkasje av uvisst størrelse. EUs kvotetak binder ikke når sektoren en ser på er utenfor kvoteplikt, eller dersom en legger til grunn at kvotetaket justerer seg slik at prisen er konstant, jf. teksten.

Lekkasjer som følge av politikkinteraksjoner i Norge er typisk relatert til EUs kvotehandelssystem EU ETS, som omfatter en vesentlig del av utslippene av klimagasser i EU og Norge. Systemet setter et øvre tak på samlede utslippsrettigheter for de inkluderte utslippskildene. Om kvotetaket binder, vil utslippsreduksjoner i en del av systemet bli motsvart at økninger fra andre kilder i systemet, noe som innebærer 100 prosent lekkasje. For eksempel er den norske petroleumssektoren del av EU ETS, og samtidig underlagt karbonavgifter. Utslippsreduksjoner som følge av karbonavgifter vil frigi utslippsrettigheter. Disse vil absorberes i markedet, og utslippene forblir uendret. Samtidig kan lavere priser på utslippsrettigheter innenfor EU ETS som følge av andre nasjonale tiltak øke det politiske rommet for å redusere totalkvoten. I tilfellet taket ikke binder, vil lekkasjene bli lavere enn 100 prosent.

Vi diskuterer to hovedtyper av *lekkasjer som følge av markedsintegrasjon*. For det første kan klimapolitikken påvirke internasjonale energimarkeder, og føre til *lekkasjer gjennom energimarkedene*. Lavere etterspørsel etter fossil energi bidrar til å redusere energiprisene, noe som stimulerer økt bruk av fossile brensel i andre land som ikke fører samme politikken. For de andre kan klimapolitikken medføre økte kostnader i karbonintensiv produksjon. Som følge av høyere produktpriser og svekket konkurranseevne innenfor de regulerte sektorene, kan profitten økes i land uten de samme reguleringene, noe som kan innebære *lekkasjer via produktmarkedene*. De generelle funnene gitt at EUs kvotetak ikke binder, anslår lekkasjeeffekter på 10-20 prosent på kort sikt og 20-30 prosent på lang sikt. Vi anslår noe høyere lekkasjer for treforedling enn for metallproduksjon.

Til slutt diskuterer vi mulige mekanismer for å kompensere industrien med den hensikt å redusere karbonlekkasjer. Alle de aktuelle mekanismene reduserer effektiviteten i klimapolitikken og bidrar til økte utslipp. Kompensasjon via justeringer av skattesystemet vil undergrave effektiviteten i de aktuelle skatteordningene. Ordninger som reduserer energikostnadene vil redusere insentivene til energieffektivisering og gi feilaktige signaler til markedet om sammensetningen av innsatsfaktorer.

1 Bakgrunn

Dersom ett land innfører ensidige virkemidler for å redusere sine utslipp, er det flere mekanismer som bidrar til at utslippene kan øke i andre land – *karbonlekkasje*. Mens den optimale politikken for det globale klimaproblemet tilsier en global internasjonal klimaavtale med avgifter eller kvotemarked, synes ulike regionale/nasjonale initiativ mest realistisk på kort sikt. Aktuelle politiske alternativer er rene nasjonale tiltak eller regionale kvoteavtaler som EU ETS. Slike regionale/nasjonale initiativ kan føre til karbonlekkasjer.

Bekymringen for karbonlekkasje er et viktig politisk hinder for en effektiv gjennomføring av klimapolitikken, og medfører ineffektivitet ved at CO₂ gis ulike priser av myndighetene. Typisk møter industrien en lav pris, mens husholdninger og andre sektorer møter andre, høyere priser. Unntakene for store deler av industrien er gjerne begrunnet i at avgifter vil kunne føre til svekket sysselsetting i regioner som prioriteres i distriktspolitikken, uten at en oppnår lavere utslipp samlet sett.

Fordi andre sektorer må ta en større del av byrden med å oppfylle utslippsmålene om noen unntas, og til høyere enhetskostnader, innebærer prisdifferensieringer samfunnsøkonomiske tap. Det er derfor viktig å vite mest mulig om omfanget av lekkasjeproblemet når en vurderer fordeler og ulemper med nasjonale tiltak som for eksempel innebærer likere prising av utslipp på tvers av sektorer.

Rapporten belyser karbonlekkasje, både generelt og spesielt for norsk næringsliv. Analysen er basert på egne anslag og gjennomgang av den internasjonale litteraturen. Videre diskuterer vi samfunnsøkonomiske aspekter ved virkemidler som for å kompensere industrien der hensikten er å begrense karbonlekkasje.

Karbonlekkasje er som nevnt over definert som økte utslipp i resten av verden når et land eller en gruppe av land gjennomfører tiltak som reduserer egne CO₂-utslipp. Lekkasjeraten er mer presist definert som forholdstallet mellom de økte utslippene i resten av verden og de reduserte utslippene i landet eller landene vi ser på. Lekkasjeraten er typisk et tall fra og med 0 og til og med 1, men fra et teoretisk utgangspunkt kan en ikke utelukke lekkasjerater over 1 eller lavere enn 0 (i sistnevnte tilfelle går utslippene i resten av verden *ned* når ett land eller gruppe av land reduserer sine utslipp). Lekkasjeraten blir som oftest angitt i prosent, slik at en lekkasjerate på f.eks. 30 prosent betyr at de økte utslippene i resten av verden er lik 30 prosent av utslippsreduksjonen i landet eller landene som gjennomfører tiltak for å redusere sine utslipp. Sagt på en annen måte: Med en lekkasjerate lik 30 prosent blir den globale utslippsreduksjonen lik 70 prosent av utslippsreduksjonen i landet eller landene som gjennomfører tiltak for å redusere sine utslipp.

Vi starter rapporten med en drøfting av den empiriske litteraturen om karbonlekkasje (kapittel 2). Deretter gir vi i kapittel 3 en teoretisk gjennomgang av ulike former for karbonlekkasje. Våre anslag for karbonlekkasje for to aktuelle norske tiltak blir gjennomgått i kapittel 4, mens vi diskuterer aktuelle kompensasjonstiltak i kapittel 5.

2 Hva sier litteraturen?

Det er gjort en rekke kvantitative studier av klimatiltsaks effekter på karbonlekkasje. Noen er utført som partielle sektoranalyser og analyser av energimarkedene. De fleste er imidlertid gjort ved hjelp av generelle likevektsmodeller innenfor ett eller flere land. Globale likevektsmodeller er i prinsippet nødvendige for å beregne totaleffektene av klimatiltsak. Anslagene i den internasjonale litteraturen er generelt følsomme for forutsetninger om parameterisering av tilbud av fossile brensler (Burniaux and Martins 2000) og spesifisering av internasjonal handel (Böhringer m. fl. 1998).

Generelt viser disse analysene lekkasjeeffekter på 10-30 prosent. Når man snakker om lekkasjeeffekter, betyr det altså at utslippene samlet sett reduseres med 70-90 prosent av den direkte utslippseffekten i sektoren som reguleres. En annen måte å betrakte dette på, er at tiltakskostnaden er 10-40 prosent høyere enn for eksempel avgiften eller prisen på utslippsrettigheter som utløser utslippsreduksjonen i den regulerte bedriften.

Mattoo m. fl. (2009) står for en av de mest generelle studiene. Forfatterne studerer effekter av CO₂-reduksjoner i høyinntektslandene som gruppe, på utslippene i utviklingsland. Studien gir en karbonlekkasje på 3,5 prosent (Karp 2010). Av andre studier med relativt *lave anslag* kan nevnes Paltsev (2001) og Kuik og Gerlagh (2003), som anslår at gjennomføring av Kyoto-protokollen vil medføre rundt 10 prosent karbonlekkasje, med usikkerhetsintervall tilsvarende 5-17 prosent avhengig av forutsetninger om aggregering, energitilbudselastisiteter, handelselastisiteter og kapitalmobilitet. Kjemisk industri, jern og stål står for de største lekkasjene. Kuik and Gerlagh (2003) konkluderer med at hovedgrunnen til lekkasjer er reduksjoner i energiprisene. I en likevektstudie anslår Bruvoll og Fæhn (2006) en gjennomsnittlig lekkasje for norsk økonomi på rundt 10 prosent som følge av uniform CO₂-avgift. Elliot m. fl. (2010) anslår at en CO₂-avgift på 29 USD/tonn i Annex B-landene vil gi en lekkasjeeffekt på 20 prosent i utviklingsland.

Noen studier viser til negative effekter, dvs at utslippene ute vil reduseres i tillegg til utslippsreduksjonene i tiltakslandet (Gerlagh og Kuik 2007). Årsaken er at høyere priser på karbonintensiv energi vil føre til mer teknologiske endringer i retning av energieffektivisering. Gjennom teknologispredning fører dette til reduksjoner i utslippene internasjonalt. CCS er for eksempel en teknologi som kan gi denne effekten, siden CCS fører til økt etterspørsel etter primærenergi.

Babiker (2005) representerer en av få studier som antyder lekkasjeeffekter *høyere enn 100 prosent*. I en studie med ulike forutsetninger om produksjon og konkurranse i kraftkrevende industri varierer lekkasjeeffekten mellom 25 og 130 prosent. IPCC (2007) anser effekter på over 100 prosent som lite realistiske, siden dette forutsetter at de mest utslippseffektive bedriftene legges ned. Basert på en litteraturstudie og en vurdering av ETS konkluderer Sijm m. fl. (2004) med at det er usannsynlig at karbonlekkasje vil være av større betydning, på grunn av at transportkostnader, lokale markedsforhold og ufullstendig informasjon favoriserer lokal produksjon. Reinaud (2005) gir en oversikt over lekkasjeeffekter for kraftkrevende industri innenfor EU ETS og kommer til samme konklusjon.

De fleste av studiene over analyserer lekkasje som følge av EU ETS eller andre tiltak på EU-nivå. Litteraturen viser at lekkasjene blir mindre desto mindre handelen er med utlandet (eller med land utenfor den regionen som innfører virkemidlet, som for eksempel EU ETS versus resten av verden), og desto flere som innfører politikken. Lekkasjeeffekter ved samme politikk er anslått større i EU enn i USA, noe som forklares med at USA har mindre handel med andre land enn EU som region (Böhringer m. fl. 2010). Böhringer m. fl. (2010) viser at

karbonlekkasjen synker etter hvert som flere land samarbeider om felles karbonpolitikk. Senere skal vi komme til samme resultat i vår analyse.

For *kraftkrevende industri* indikerer studier at en CO₂-pris på 20 Euro/tonn i EU ETS kan føre til lekkasjer på mellom 0,5 og 25 prosent i jern- og stålindustrien, og mellom 40 – 70 prosent i sementindustrien, blant annet avhengig av hvordan utslippsrettighetene blir allokert (Demailly and Quirion 2007, Ponssard and Walker 2008, omtalt i Reinaud 2009). Szabo m. fl. (2006) anslår at ETS vil gi produksjonslekkasjer på 29 prosent for sementindustrien. I følge Reinaud (2009) har ikke innføringen av EU ETS ført til endringer i handel eller produksjon for sement- og metallindustrien. Erfaringene viser at importen fra lavkostnadsland uten klimarestriksjoner ikke har økt, og eksporten har ikke minsket. Årsaken er i følge Reinaud at kostnadsendringene var små for utslippsintensive sektorer grunnet kompensasjonsordninger gjennom gratis tildeling av utslippsrettigheter. Virkningene kan imidlertid bli større på sikt dersom ambisjonen innenfor EU ETS strammes til.

I Vedlegg 3 gjengis funn fra hovedstudier på feltet oppsummert i Dröge (2009) og Karp (2010).

3 Teoretisk drøfting

Karbonlekkasje knytter seg i utgangspunktet til utslippsreducerende tiltak i et land (eller gruppe av land, men vi omtaler dette heretter som om det bare er ett land). Tiltaket kan være av generell art, f eks en økning av en CO₂-avgift for alle utslippskilder i landet. I det meste av litteraturen drøftet i forrige kapittel var det denne typen tiltak som var utgangspunktet for å beregne karbonlekkasjen. Det kan imidlertid også være aktuelt å studere tiltak bare rettet mot en enkelt sektor. F eks kan det være en sektor som har fått unntak fra en generell CO₂-avgift til nå, og en vurderer en tilstramning av klimapolitikken ved at dette unntaket fjernes. Dette vil gi reduserte utslipp i landet vi ser på, men med positiv karbonlekkasje også *økte* utslipp i andre land. Uansett om vi ser på et generelt eller sektorspesifikt tiltak er raten for karbonlekkasje definert som forholdstallet mellom de *økte* utslippene i resten av verden og de *reduerte* utslippene i landet eller landene som strammer til sin klimapolitikk. *Størrelsen* på karbonlekkasjeraten kan imidlertid avhenge av hva slags tiltak det er snakk om. Lekkasjeraten knyttet til sektorspesifikke tiltak kan i noen tilfeller være betydelig høyere enn lekkasjeraten for generelle tiltak. Dette kan særlig være tilfelle dersom den aktuelle sektoren har forholdsvis høye utslipp og sektoren er sterkt konkurranseutsatt.

I resten av dette kapittelet vil vi se nærmere på følgende mekanismer for karbonlekkasje:

- Lekkasje via verdsettingen av utslipp
- Lekkasje via interaksjonen mellom virkemidler brukt på ulike nivåer (f eks Norge og EU)
- Lekkasje via priseffekter i markedene for fossile brensler
- Lekkasje via markedene for utslippsintensive konkurranseutsatte produkter

Alle disse typene karbonlekkasje er aktuelle både for generelle utslippsreducerende tiltak og for sektorspesifikke tiltak. Imidlertid kan den relative kvantitative betydningen av de ulike mekanismene avhenge av om en ser på generelle eller sektorspesifikke tiltak.

3.1 Lekkasje via verdsettingen av utslipp

Karbonlekkasje via verdsetting av utslipp er analysert av bl a Hoel (1992). For å forstå mekanismen er det hensiktsmessig å starte med en enkel fremstilling av prinsippene bak globalt optimal klimapolitikk. I denne enkle fremstillingen ser vi bort fra den forholdsvis kompliserte sammenhengen mellom klimagassutslipp og temperaturendringer, og antar ganske enkelt at det er en miljøulempe knyttet til løpende utslipp. Det er nyttig først å diskutere optimal klimapolitikk i en perfekt verden hvor alle samarbeider. Her skal vi bare gi noen hovedtrekk, da dette er forklart utførlig en rekke steder i litteraturen (Hoel m. fl., 2009; s.38-48). En optimal klimapolitikk kjennetegnes for det første av kostnadseffektivitet. Det betyr at klimamålet blir oppnådd til så lave kostnader som mulig. Dette oppnås ved at marginalkostnadene ved å begrense utslipp er like på tvers av land, kilder og klimagasser. Sagt på en annen måte: Det er en felles terskel for kostnader per tonn redusert utslipp for alle potensielt utslippsreducerende tiltak: Alle tiltak med kostnader lavere enn denne terskelen bør gjennomføres, mens ingen av tiltakene med kostnader over terskelen bør gjennomføres.

I tillegg til kostnadseffektivitet må innsatsen for å begrense utslippene stå i et rimelig forhold til gevinsten av tiltakene. Vi illustrerer denne avveiningen som følger. La kostnadene ved å redusere utslipp fra x^0 til x være $C(x^0-x)$, som antas å være en stigende funksjon (dvs høyere kostnader jo større utslippsreduksjon). Videre antas marginalkostnadene $C'(x^0-x)$ av å redusere utslipp å være stigende: Jo mer utslippene allerede er redusert, jo mer koster ytterligere reduksjoner. Denne marginalkostnadsfunksjonen er tegnet som den rette linjen C' i figur 3.1, hvor x^0 er utslippene uten noen utslippsreducerende tiltak (ofte kalt "Business as

Usual" – BaU – utslippet). Etter hvert som utslippene x reduseres, blir det mer og mer kostbart med ytterligere reduksjoner. Kurven C' stiger derfor når vi beveger oss fra høyre mot venstre.

Anta videre at miljølempene ved utslippene kan beregnes i samme verdier som andre kostnader, og er gitt ved en stigende funksjon $M(x)$. Den marginale miljøkostnaden $M'(x)$ uttrykker hvor mye miljøkostnaden øker med for en enhets økt utslipp når utslippet allerede er x . Det er vanlig å anta både for klimaproblemet og mange andre miljøproblemer er denne marginalkostnaden større jo større utslipp en allerede har. Dette betyr at kurven for $M'(x)$ er stigende som i Figur 3.1.

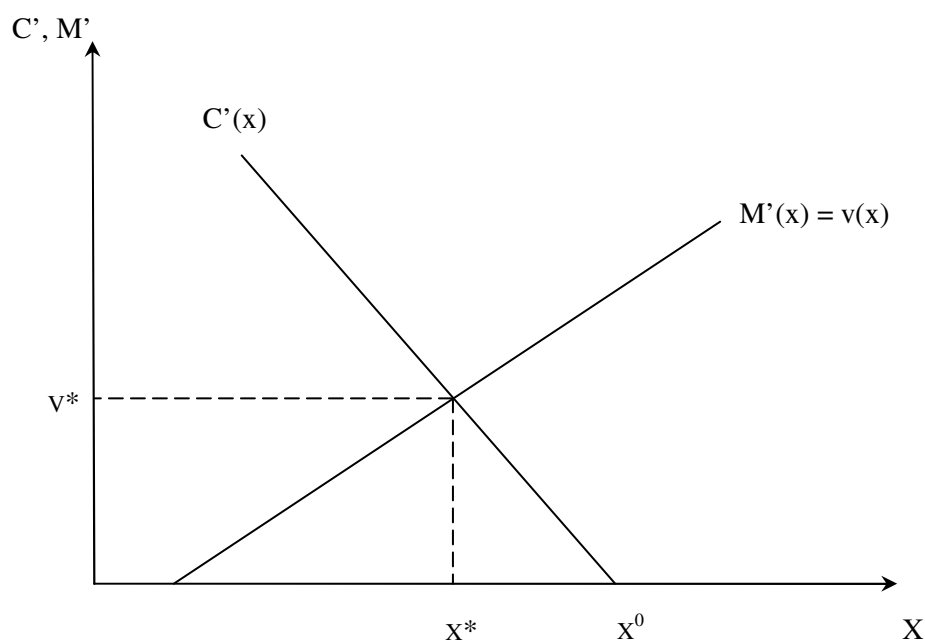
Standard økonomisk analyse tilsier at optimale utslipp er gitt ved det utslippsnivået som minimerer summen av kostnadene knyttet til å redusere utslippene og miljøkostnadene av utslippene. M.a.o. er de optimale utslippene gitt ved den x -verdien som minimerer $C(x^0 - x) + M(x)$. Rett frem regning gir at denne x -verdien er gitt der

$$(3.1) \quad C'(x^0 - x) = M'(x)$$

dvs der marginalkostnaden av å redusere utslipp er lik den marginale miljøkostnaden.

Optimumsløsningen er illustrert i Figur 3.1. Her er $v^* = M'(x^*)$ marginalkostnaden av utslippsreduksjoner (ved det optimale utslippsnivået x^*). Variablene x^* og v^* vil avhenge av funksjonene C og M som representerer teknologi og preferanser.

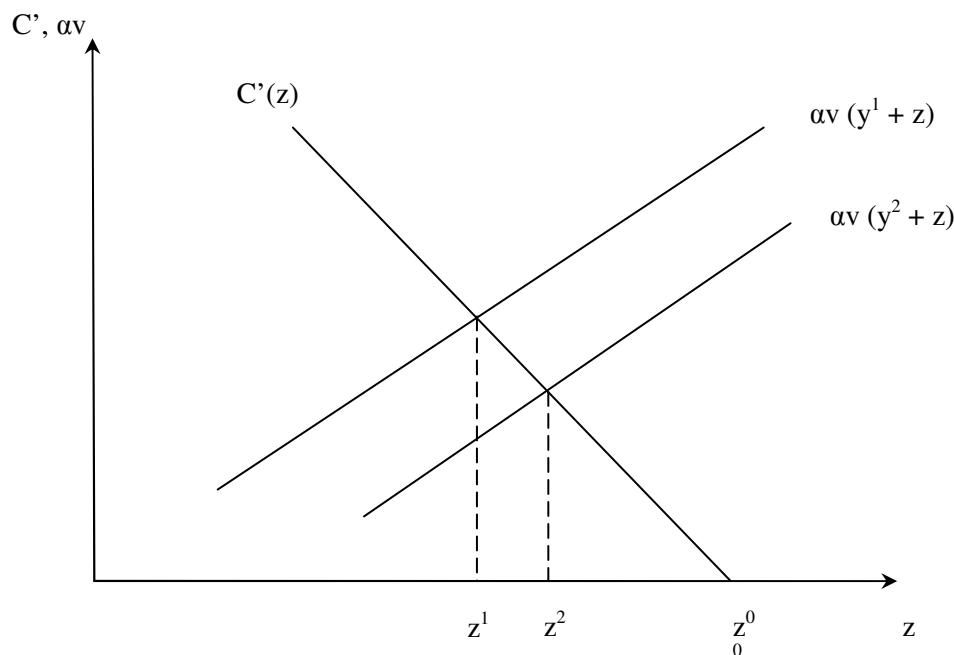
Figur 3.1 Optimal klimapolitikk for verden



Anta nå at ett land, heretter kalt land A, har utslipp lik y . Utslippene i resten av verden (kalt land B) er z . Figur 3.1 illustrerer tilpasningen til land B, hvor det antas at land B setter sin marginalkostnad ($C'(z)$ i figuren) lik αv . Standard økonomisk teori legger som regel til grunn at dersom ingen internasjonal klimaavtale finnes, vil hvert land opptre i snever egeninteresse. Hvert land tar andre lands utslipp som gitt, og velger egne utslipp basert på skader på eget

land av disse utslippene. Mens v i Figur 3.1 var summen av skadene for *alle* land, tar altså et enkelt land bare hensyn til den delen av v som angår landet selv. Dette vil nødvendigvis bare være en beskjeden del av v . Derfor vil αv i Figur 3.2 typisk være lavere – kanskje betydelig lavere – enn v , dvs α er et tall mellom 0 og 1. Som før er v marginal miljøkostnad for verden, og vi antar at denne er større jo større samlede utslipp er, slik at v er en stigende funksjon av $y+z$, dvs $v=v(y+z)$.

Figur 3.2 Optimal klimapolitikk for land B



Opprinnelig antas land A å ha utslipp lik y^1 , og land B velger utslipp z^1 , som gir likhet mellom marginalkostnad av utslippsreduksjoner og verdsettingen av utslippsreduksjoner, lik $\alpha v(y^1 + z)$. Hvis land A reduserer sine utslipp fra y^1 til y^2 , vil kurven for verdsetting bli lavere, siden v er stigende i argumentet $y+z$. I Figur 3.2 endres kurven fra $\alpha v(y^1 + z)$ til $\alpha v(y^2 + z)$. Da endres utslippene i land B til z^2 , slik at marginalkostnad av utslippsreduksjoner fortsatt er lik verdsettingen av utslippsreduksjoner, nå gitt ved $\alpha v(y^2 + z)$. Når land A reduserer sine utslipp, vil altså land B øke sine utslipp. Likevel vil summen av utslipp gå ned, dvs $y^2 + z^2 < y^1 + z^1$. Dette følger umiddelbart av Figur 3.2, siden $\alpha v(y^1 + z) > \alpha v(y^2 + z)$ og v er en voksende i $y+z$.

En kunne kanskje tro at karbonlekkasje via mekanismen beskrevet her er ubetydelig for et lite land, siden et lite land vil ha veldig svak innvirkning på andre lands verdsetting av utslippsreduksjoner. Selv om andre lands utslipp blir endret svært lite relativt til landenes egne utslipp, kan imidlertid endringene være signifikante relative til det lille landets utslipp. I Vedlegg 1 har vi sett nærmere på dette. Her er karbonlekkasjen definert som forholdstallet mellom økte utslipp i land B og reduserte utslipp (målt positivt) i land A. Vi kaller dette forholdstallet L_1 og finner i Vedlegg 1 at

$$(3.2) \quad L_1 = \frac{dz}{-dy} = \frac{\alpha(1-\beta)m}{\alpha(1-\beta)m+c}$$

hvor m og c måler brattheten på kurvene v og C' i Figur 3.1 (dvs kurvene som gjelder for hele verden). Parameteren β gir land A s andel av utslippene i verden når det ikke er noen utslippsreducerende tiltak noen steder i verden. For et lite land som Norge vil β være tilnærmet lik null, slik at (3.2) kan omskrives til

$$(3.3) \quad L_1 = \frac{dz}{-dy} = \frac{\alpha m}{c + \alpha m}$$

Hvis vi f.eks. antar at $c = m$ og $\alpha = 0,25$ blir $L_1 = 1/5 = 0,2$. Med dette eksempelet vil en reduksjon i land A s utslipp med 1 mill tonn CO_2 føre til økte utslipp andre steder i verden lik 0,2 mill tonn CO_2 .

Avslutningsvis gjentar vi for ordens skyld hvilken type lekkasje vi her har beskrevet. Vi tenker på den situasjonen at CO_2 -reguleringer for eksempel mot norske bedrifter fører til lavere samlede utslipp fra Norge. Disse lavere utslippene fra Norge gjør at andre land regulerer sine bedrifter noe mindre enn de ellers ville gjort. For eksempel kan en tenke på muligheten for at Kina og USA gjør dette. Siste del av resonnementet sier nemlig at selv om Norge er et lite land, er det rasjonelt for land som Kina og USA å justere sin politikk noe. Dersom det likevel høres urimelig ut, kan det være man har i tankene at Kina, USA og andre land kan ha faste kostnader knyttet til å justere politikk. I fravær av faste kostnader og gitt modellens forutsetninger for øvrig, gjelder modellens resultater.

3.2 Lekkasje via interaksjonen mellom virkemidler brukt på ulike nivåer

En betydelig del av CO_2 -utslippene i EU er regulert gjennom EUs kvotesystem (hvor også Norge deltar). Summen av utslippsrettigheter fastsettes politisk i EU. Dette innebærer at summen av utslipp fra sektorer som er en del av dette kvotesystemet blir politisk fastlagt. Klimapolitikk innen ett eller flere EU-land som påvirker utslippene fra noen av sektorene innenfor kvotesystemet vil derfor bare flytte utslipp fra disse sektorene til andre sektorer innenfor kvotesystemet. Vi får dermed 100 prosent karbonlekkasje for de aktuelle tiltakene. Det finnes mange eksempler på slike tiltak; her skal vi nevne tre eksempler fra Norge: Et eksempel er petroleumssektoren i Norge. Denne er omfattet av EU-ETS, og betaler i tillegg en CO_2 -avgift. I den grad avgiften bidrar til å redusere utslippene fra sektoren, vil sektoren trenge færre utslippsrettigheter. Disse utslippsrettighetene blir dermed tilgjengelig for andre bedrifter som er innenfor EU-ETS, og utslippene vil derfor øke der. Utslippene blir altså flyttet fra den norske petroleumssektoren til andre utslippskilder innenfor kvotesystemet. Utslippene i Norge vil gå ned (med mindre all utslippsøkningen skjer i andre bedrifter i Norge som er innenfor kvotesystemet), men vil bli motsvart 100 prosent av utslippsøkninger innenfor EU. Et annet eksempel er de norske planene om å fjerne CO_2 -utslippene fra norske gasskraftverk, som er omfattet av EUs kvotesystem. Den reduserte bruken av utslippsrettigheter for disse kraftverkene blir dermed tilgjengelig for andre innenfor kvotesystemet. Det siste eksempelet er spørsmålet om Norge bør erstatte offshore gasskraft på produksjonsplattformer med elektrisitet fra fastlandet. Siden petroleumssektoren er omfattet av EUs kvotesystem vil en slik elektrifisering gi mindre bruk av utslippsrettigheter i petroleumssektoren. Disse utslippsrettighetene blir dermed tilgjengelig for andre sektorer innenfor kvotesystemet. Slike tiltak vil altså ikke redusere samlede CO_2 -utslipp; reduksjonen ett sted blir 100 prosent oppveiet av økte utslipp andre steder. Selv om alle disse tre eksemplene innebærer at det blir 100 prosent karbonlekkasje, er det ikke dermed sagt at slike tiltak er bortkastet: Dersom de er økonomisk lønnsomme til eksisterende pris på utslippsrettigheter, er tiltakene en fornuftig og kostnadseffektiv måte å oppfylle totalkvoten på.

Eksistensen av EUs kvotesystem kan i andre tilfeller redusere lekkasjen fra norske tiltak ned til null. For eksempel vil man i vanlige tilfeller være redd for at en ny elektrisk bil på veien i Norge vil føre til større elproduksjon i Europa og større utslipp langs den kanalen. Men EUs kvotesystem nøytraliserer en slik mulighet og den eneste virkningen av den elektriske bilen blir dens effekt på vanlig bilkjøring i Norge og videre på markedet for fossil energi.

I resonnementene over om EUs kvotesystem har vi antatt at totalkvoten er gitt, uavhengig av tiltak som treffes i Norge eller andre land som er med i kvotesystemet. Dette er ikke opplagt. Det kan tenkes at EU som en politisk reaksjon på utslippsreduserende tiltak, som fører til lavere pris på utslippsrettigheter, vil redusere totalkvoten slik at prisen ikke faller så mye som den ville gjort dersom kvoten ble holdt fast. Et yttertilfelle av dette er at kvoten reduseres så mye at prisen på utslippsrettigheter blir upåvirket av utslippsreduserende tiltak gjennomført i Norge.

I vår analyse av to konkrete tiltak i Norge rettet mot sektorer som er omfattet av kvotesystemet ser vi på begge yttertilfellene: tilfellet hvor totalkvoten er gitt og tilfellet der utslippsprisen i alle land er upåvirket av norske tiltak. Dette siste tilfellet svarer til at kvoten alltid justeres slik at likevektsprisen i kvotemarkedet er upåvirket av hvilke utslippsreduserende tiltak som gjennomføres. Vi minner om at disse to tilfellene er yttertilfeller; virkeligheten er trolig et sted i mellom.

Interaksjonen mellom EUs kvotesystem og andre klimapolitiske tiltak er et viktig eksempel på karbonlekkasje via interaksjonen mellom virkemidler brukt på ulike nivåer, men det er ikke det eneste. Andre eksempler er gitt av Goulder og Stavins (2011), som drøfter interaksjon mellom statlig og føderal klimapolitikk i USA. Der blir det blant annet drøftet

- Fuel-economy standards
- Renewable fuel and portfolio standards
- Interaction between conventional regulation at the federal level and state-level cap-and-trade programs

I analysen til Goulder og Stavins (2011) er det antatt at den føderale klimapolitikken i USA er upåvirket av tiltak som treffes i enkeltstater. Akkurat som for EUs kvotesystem kan de imidlertid tenkes at den føderale politikken tilpasses som følge av tiltak gjennomført i enkeltstater.

I de følgende tre avsnitt (3.3-3.5) ser vi på markedsvirkninger av tiltak gjennomført i ett land. Her er det antatt at utslippsprisen i resten av verden er upåvirket av disse tiltakene. Spesielt må dette tolkes som at en i EU alltid justerer sin totalkvote slik at prisen på utslippsrettigheter blir upåvirket av tiltakene som gjennomføres i et bestemt land.

3.3 Lekkasje via priseffekter i markedene for fossile brensler

Karbonlekkasje via prisene på fossil energi er trolig først analysert av Peter Bohm (1993). Poenget her er at utslippsreduserende tiltak i ett land, f.eks. en karbonavgift, vil redusere etterspørselen etter fossile brensler (kull, olje og gass) i dette landet. Dette vil føre til lavere verdensmarkedspriser på fossile brensler. Den lavere prisen bidrar til økt bruk av fossile brensler i landene uten klimapolitikk. Vi kan illustrere dette med følgende svært enkle, aggregerte, partielle modell for markeder for fossile brensler. La samlet tilbud i verden være en stigende funksjon S av produsentprisen p , dvs $S(p)$. Uten avgifter eller andre begrensninger på bruk av fossile brensler antas etterspørselen å være en avtagende funksjon D av prisen p , dvs $D(p)$. Imidlertid antas en andel β av etterspørselen å være utsatt for en avgift t , slik at samlet etterspørsel er $(1 - \beta)D(p) + \beta D(p + t)$. Prisen p bestemmes i markedet av likevekt mellom tilbud og etterspørsel, dvs $S(p) = (1 - \beta)D(p) + \beta D(p + t)$. For enhver gitt verdi av t følger det en verdi av p , og dermed av bruken av fossile brensler. Omfanget av karbonlekkasje

er som før definert ved forholdstallet mellom økte utslipp i land B og reduserte utslipp (målt positivt) i land A. Vi kaller dette forholdstallet L_2 , som med notasjonen over kan skrives som

$$(3.4) \quad L_2 = \frac{\frac{d}{dt}[(1-\beta)D(p)]}{-\frac{d}{dt}[\beta D(p+t)]}$$

Her sier nevneren hvor mye bruken av fossile brensler, og dermed utslippen av CO₂, går ned i landet/landene som innfører skatten t (målt positivt). Telleren sier hvor mye bruken av fossile brensler, og dermed utslippene av CO₂, går opp i resten av verden som følge av skatten t . Hvis f.eks. $L_2=0,2$ betyr dette at hvis land A øker sin CO₂-avgift slik at dette landets utslipp går ned med 1 mill tonn CO₂, vil dette samtidig gi lavere verdensmarkedspriser på fossile brensler, noe som gjør at utslippene i resten av verden øker med 0,2 mill tonn CO₂.

I Vedlegg 1 er det vist at

$$(3.5) \quad L_2 = \frac{(1-\beta)\delta}{\sigma + (1-\beta)\delta}$$

hvor δ er etterspørselstettheten etter fossile brensler (målt positivt) og σ er tilbudselastisiteten for fossile brensler. Merk at L_2 er større jo mindre landet vi ser på er (dvs jo mindre β er). For grensetilfellet hvor β nærmer seg 0 er

$$(3.6) \quad L_2 = \frac{\delta}{\sigma + \delta}$$

Hvis f.eks. etterspørselstettheten er 0,5 mens tilbudselastisiteten er 2, vil L_2 nærme seg 0,2 (dvs 20 prosent) når β nærmer seg 0. For høyere verdier på β blir karbonlekkasjen mindre. I praksis regnes olje- og gassmarkedet å være strategisk preget slik at tilbudselastisiteten kan tenkes å være ustabil, men ofte lav. Kullmarkedet er regnet å være mer frikonkurransepreget og kan være mer elastisk i tilbudet (tilbudselastisiteten større).

For ordens skyld gjentar vi hvilken type lekkasje vi her har beskrevet. Vi har beskrevet en situasjon der strammere regulering av CO₂ i for eksempel Norge gir lavere etterspørsel etter fossil energi og dermed lavere utslipp av CO₂ i Norge. Vi sier ikke noe om hvordan den lavere etterspørselen oppstår. Både redusert etterspørsel fra industri og redusert husholdningsetterspørsel er mulig innenfor modellens ramme. Uansett årsak vil den internasjonale prisen på fossil energi falle og utløse økt etterspørsel i andre land. Både økt industrietterspørsel og økt husholdningsetterspørsel er mulig. Forutsetningen for dette er at andre land holder sin karbonregulering uendret på prisnivå. Hvis ikke denne forutsetningen holder, er vi over på tilfellet med lekkasje gjennom optimal politikk (tilfelle 1, mindre stram regulering i andre land) eller lekkasje gjennom interaksjon (tilfelle 2, lavere pris på utslippsrettigheter i andre land). En annen forutsetning bak modellen er at politikken i land A opprettholder den innbyrdes fordelingen mellom fossile energibærere, slik at vi ikke for eksempel får en overgang fra gass til kull.

3.4 Redusert oljeutvinning som tiltak for å redusere klimagassutslipp

Enkelte har tatt til orde for at Norge bør begrense sin olje- og gassutvinning for å bidra til reduserte CO₂-utslipp. De fleste tenker da på norske CO₂-utslipp knyttet direkte til utvinning av norsk olje og gass. Trolig er en langt viktigere effekt av redusert norsk olje- og gassutvinning at det dermed blir forbrent mindre olje og gass i verden. Dette forutsetter at ikke den reduserte utvinningen i Norge blir oppveiet av økt utvinning andre steder i verden.

For å belyse dette kan vi bruke modellen fra forrige avsnitt, men hvor tiltaket nå er på tilbudssiden.

Anta nå at land A (Norge) vurderer å la være å utvinne en andel α av oljen som er lønnsom å utvinne. Da er likevekten mellom tilbud og etterspørsel etter olje gitt ved

$$(1-\alpha)\beta S(p) + (1-\beta)S(p) = D(p)$$

Vi ser nå på "utvinningslekkasje", som defineres som forholdstallet mellom økt utvinning i land B (resten av verden) og redusert utvinning (målt positivt) i land A (Norge). Vi kaller denne L_3 ; i Vedlegg 1 er det vist at

$$(3.7) \quad L_3 = \frac{(1-\beta)\sigma}{(1-\beta)\sigma + \delta}$$

hvor δ er som før er etterspørselselastisiteten etter fossile brensler (målt positivt) og σ er tilbudselsastisiteten for fossile brensler. Som før er L_3 er større jo mindre landet vi ser på er (dvs jo mindre β er). For grensetilfellet β nærmer seg 0 er

$$(3.8) \quad L_3 = \frac{\sigma}{\sigma + \delta}$$

Hvis vi som over antar at etterspørselselastisiteten er 0,5 mens tilbudselsastisiteten er 2, vil $L_3 = 0,8$ (dvs 80 prosent) når β nærmer seg 0. Som nevnt over, kan tilbudselsastisiteten for olje være ustabil pga markedsforholdene.

I modellen over er det ikke eksplisitt tatt hensyn til at det forekommer CO₂-utslipp knyttet til selve utvinningen av olje. Å inkludere dette ville ikke endre på uttrykkene over hvis CO₂ per enhet utvunnet olje var likt i hel verden. Dersom det imidlertid er ulikheter i dette forholdstallet mellom land, er det ikke lenger opplagt at L_3 vil være mindre enn 1. Interaksjon med kullmarkedet vil normalt også påvirke L_3 .

3.5 Lekkasje via markedene for utslippsintensive konkurranseutsatte produkter

Lekkasje via markedene for utslippsintensive konkurranseutsatte produkter er trolig den politikere er mest opptatt av. Mekanismen her er at utslippsreducerende tiltak i et land eller samling av land vil øke kostnaden for utslippsintensive produksjonssektorer. Dette bidrar til økte internasjonale priser for produktene fra disse sektorene, slik at det blir mer lønnsomt å produsere slike produkter i land uten klimapolitikk. Av denne beskrivelsen ser vi at det kan være sammenheng mellom «lekkasje via markedet for utslippsintensive konkurranseutsatte produkter» og «lekkasje gjennom energimarkedene», som også kunne tolkes som endret industrietterspørsel. Imidlertid holder «lekkasje gjennom energimarkedene» prisene på industrivarer fast. «Lekkasje via markedet for utslippsintensive konkurranseutsatte produkter» lar prisene på industrivarer variere, mens verdensmarkedsprisen for energi holdes fast.

Det er nyttig først å se på "aluminiumlekkasje" (med aluminium som et eksempel på produkter som er relevante for denne typen karbonlekkasje). Vi har tilsvarende likevektbetingelse som over, dvs

$$\beta S(p, c) + (1-\beta)S(p, c^0) = D(p)$$

men hvor S , D og p nå refererer seg til tilbud, etterspørsel og pris for aluminium. Videre er c "energiprisen", dvs prisen på fossil energi. Initialt er den lik c^0 i begge land, men vi studerer

konsekvensen av at land A ensidig øker c . (Det at c ikke endrer seg i land B, innebærer at verdensmarkedsprisen for energi holdes fast.) En slik økning i c vil gi redusert aluminiumsproduksjonen i land A, men økt aluminiumsproduksjon i resten av verden, dvs land B. Aluminiumlekkasjen er definert som forholdstallet mellom økt aluminiumsproduksjon i land B og redusert aluminiumsproduksjon (målt positivt) i land A. Vi kaller dette forholdstallet L_4 , og det er rett frem å se at vi får samme formelle uttrykk som for L_3 , dvs for utvinningslekkasje:

$$(3.9) \quad L_4 = \frac{(1-\beta)\sigma}{(1-\beta)\sigma + \delta}$$

Nå er δ etterspørselsetastisiteten etter aluminium (målt positivt) og σ er tilbudssetastisiteten for aluminium.

Dersom CO_2 -utslipp stod i et fast forhold til produsert mengde aluminium, og dette forholdet var likt i alle land, ville uttrykket over også vært målet for denne typen karbonlekkasje. Imidlertid kan CO_2 per enhet produsert aluminium variere mellom land, og vil dessuten typisk avhenge av CO_2 -avgiften eller andre tiltak rettet mot CO_2 -utslipp. Når disse momentene trekkes inn, er det vist i Vedlegg 1 at vi i stedet for L_4 får følgende uttrykk for karbonlekkasje (definert som tidligere):

$$(3.10) \quad L_5 = -\frac{(1-\beta)\sigma}{h[(1+\mu-\beta)\sigma + (1+\mu)\delta]}$$

Her δ er etterspørselsetastisiteten etter det konkurranseutsatte produktet (målt positivt) og σ er tilbudssetastisiteten for det samme produktet. Videre uttrykker h hvor store utslippene per produsert enhet er i land A i forhold til resten av verden (land B) før innstramningen av klimapolitikken i land A. h sier altså noe om teknologiene i de to landene. Endelig uttrykker koeffisienten μ med hvor mange prosent utslipp per produsert enhet går ned for et klimatiltak som reduserer produksjonen av godet med 1 prosent. μ sier altså noe om substitusjonsmulighetene i produksjonen.¹

Merk at L_5 er større jo mindre landet vi ser på er (dvs jo mindre β er). For grensetilfellet β nærmer seg 0 er

$$(3.11) \quad L_5 = \frac{1}{h(1+\mu)} \frac{\sigma}{(\sigma + \delta)}$$

Anta først at $h = 1$ og $\mu = 0$. Dette betyr at utslipp per produsert enhet er likt i alle land, og at denne utslippsintensiteten ikke påvirkes av klimapolitikken. Hvis σ er etterspørselsetastisiteten er 0,5 mens tilbudssetastisiteten er 2, er i så fall $L_5 = 0,8$ (dvs 80 prosent) når $\beta = 0$. Hvis vi fortsatt lar $h = 1$ men lar $\mu = 1$ reduseres karbonlekkasjen til 0,4 (dvs 40 prosent). Verdien $\mu = 1$ betyr at de reduserte innenlandske utslippene som følge av strengere klimapolitikk fordeles like mellom redusert produksjon og redusert utslipp per produsert enhet.

For høyere verdier på β blir karbonlekkasjen mindre enn i eksemplene over. Merk også at L_5 er høyere jo lavere h er. Dersom h er tilstrekkelig lav (dvs at landet som strammer til sin klimapolitikk allerede i utgangspunktet har lavere utslipp per produsert enhet enn andre land) kan vi ikke utelukke karbonlekkasje på over 100 prosent.

For ordens skyld gjentar vi hvilken type lekkasje vi her har beskrevet. Vi har beskrevet lekkasje via markedet for et industriprodukt. Markedsprisen på energi i de delene av verden

¹ Parameteren μ og tilbudssetastisiteten σ er drøftet nærmere i Vedlegg 2.

som mottar lekkasjen, er forutsatt uendret. En naturlig tolkning er at verdensmarkedsprisen på energi er konstant og en eventuell pris på CO₂ er uendret i de delene av verden som mottar lekkasjen. Dersom en legger til grunn at totalkvoten i EU ETS er bindende, vil prisen på utslippsrettigheter endre seg slik at lekkasjen er 100 prosent – en enhet lavere utslipp i Norge motsvares av en enhets høyere utslipp i utlandet. Det innebærer at modellen først og fremst beskriver en situasjon der kvoten ikke er bindende, jf. vår diskusjon over og også under.

3.6 Lekkasjevirkninger sammenholdt

De lekkasjemekanismene vi har studert i dette kapitlet, er alle kjennetegnet ved at enkelte variable av relevans for land B holdes fast, mens andre varierer. Det er snakk om tre variable, se Tabell 3.1. I *lekkasje via verdsettingen av utslipp* lar vi prisen på CO₂ i land B endre seg (den blir lavere). Verdensmarkedsprisen på fossil energi og verdensmarkedsprisen på CO₂-intensive produkter er ikke nevnt i modelloppsettet, men det ligger under at de er uendret.

Tabell 3.1 Oppsummering lekkasjevirkninger

	CO ₂ -pris land B	Energipris land B	Produktpris mv land B
Lekkasje via verdsetting av utslipp, L ₁	Endres	0	0
Lekkasje via interaksjon mellom virkemidler på ulike nivåer	Endres	0	0
Lekkasje via priseffekter i markedet for fossile brensler, L ₂	0	Endres	0
Lekkasje via markedene for utslippsintensive, konkurranseutsatte produkter, L ₅	0	0	Endres

I *lekkasje via interaksjon mellom virkemidler på ulike nivåer* lar vi også prisen på CO₂ i land B, dvs EU, variere. Den blir igjen lavere, med den interessante følge at lekkasjen for en virksomhet som fullt ut befinner seg innenfor kvotesystemet blir 100 prosent. Verdensmarkedsprisen på fossil energi og verdensmarkedsprisen på CO₂-intensive produkter er ikke nevnt, men det ligger under at de er uendret. Disse to representerer politikk-drevne lekkasjer med noe ulike forutsetninger om motivene bak, og utformingen av politikk.

I *lekkasje via priseffekter i markedet for fossile brensler* lar vi verdensmarkedsprisen på fossil energi endre seg, mens prisen på CO₂ i land B er konstant. Verdensmarkedsprisen på CO₂-utsatte produkter er av underordnet betydning, men endrer seg formelt sett ikke.

I *lekkasje via markedene for utslippsintensive, konkurranseutsatte produkter* åpner vi for at verdensmarkedsprisene på CO₂-utsatte produkter kan endre seg. Lekkasjen drives av endring i tilbud og etterspørsel i samspill med kostnader og teknologi. Disse to representerer markedsdrevne lekkasjer med noe ulike forutsetninger om hvilke markedsvirkninger som forfølges.

3.7 Betraktninger om generelle likevektvirkninger

I kjølvannet av vår gjennomgang av ulike lekkasjemekanismer melder spørsmålet seg om hvordan en skal forholde seg til dem. Hvilke skal en legge vekt på og hvordan henger de ulike mekanismene sammen?

Dette er et spørsmål om hvordan verdensøkonomien fungerer som en helhet, dvs i det en vanligvis kaller generell likevekt. Faktisk er det også nødvendig å inkludere politiske reaksjoner, som dels er institusjonalisert som i EU ETS, men som også kan være diskresjonære som i *lekkasje via verdsetting av utslipp*. Det er med andre ord et omfattende spørsmål som her søkes besvart, og et fullstendig svar er ingen gitt å gi.

Vi prøver likevel noen betraktninger som kanskje kan være til nytte som ansatser til et svar. Vi betrakter i første rekke lekkasje i produktmarkedet, og vi ser på en situasjon der Norge pålegger en nasjonal regulering av karbonintensiv industri som er en del av EU ETS-systemet. Dette kan være en avgift på CO₂-utslipp, som tilfellet er for CO₂-utslipp fra petroleumssektoren; eller det kan være høyere pris på elektrisitet enn samme sektor har i EU. Andre reguleringer kan også være aktuelle.

Hva en tror om EUs utslippstak viser seg å være avgjørende for drøftingen. Som redegjort for i avsnitt 3.2, er har EU-EØS et politisk bestemt utslippstak frem til år 2020, men dette taket er som mange politiske vedtak gjenstand for revurdering fra tid til annen. Virkemidlene for perioden etter 2020 står foreløpig åpne, men vil trolig også omfatte et utslippstak eller -mål. Det er mye som tyder på at utslippstaket/målet påvirkes av de realiserte prisene på CO₂ i markedet. Bare slik gir EUs innfasing av fornybar energi (karakterisert ved begrepet 20-20-20) mening i klimasammenheng og slik må en også se EUs forskningsinnsats. Dersom prisene på utslippsrettigheter motsatt skulle vise seg høyere enn bedrifter og forbrukere er villige til å betale, er det grunn til å vente flere utslippsrettigheter i markedet. ETS-systemet har for øvrig også en CDM-ventil som virker til å stabilisere prisen på bekostning av å gjøre utslippstaket mindre absolutt. I det følgende, og i tråd med avsnitt 3.2 vil vi derfor legge til grunn to ytterpunkter når det gjelder EUs utslippstak:

- EUs utslippstak er fast og absolutt. Nedenfor kaller vi dette *utslippstaket binder*.
- Utslippstaket justeres slik at en over tid har en noenlunde fast pris på CO₂. Nedenfor kaller vi det *prisen binder*.

En mulighet kan være at utslippstaket binder på kort sikt, men er fleksibelt på lengre sikt. En annen mulighet kan være et semi-absolutt tak, som tøyer seg noe i møte med høyere priser på CO₂, men ikke så mye at prisen holdes konstant. Vi tar ikke stilling til disse mulighetene, men de dekkes av passende kombinasjoner av de to ytterpunktene vi ser på.

Det kan også være hensiktsmessig å skille mellom *nedbyggingsbeslutningen* og *oppbyggingsbeslutningen*. Nedbyggingsbeslutningen refererer til den nedbygging av CO₂-utslipp i Norge som følger av den nasjonale reguleringen. Oppbyggingsbeslutningen refererer til den oppbygging av CO₂-utslipp som skjer andre steder. Det er enklest å tenke seg at nedbygging og oppbygging av CO₂ følges av en viss nedbygging og oppbygging av produksjon. Uten nedbygging av produksjon i Norge, blir lekkasjen i produktmarkedet null.

Nedbygging av en utslippskilde i EU ETS gir bare virkning på utslipp hvis prisen binder

Så lenge vi ser på en bedrift som befinner seg innenfor EU ETS og *utslippstaket binder* vil førsteordensvirkningen på utslipp av CO₂ av nedbyggingsbeslutningen være null: Alle endringer i bedriftens egne CO₂-utslipp vil kompenseres av økte utslipp annetsteds i EU ETS. Alle endringer i bedriftens indirekte utslipp gjennom kraftmarkedet vil også være null. Som førsteordenseffekt gir det ingen endring i totalutslipp å redusere utslippet fra en spesifikk bedrift innenfor EUs kvotesystem. Det følger at det heller ikke gir effekt på utslipp å legge ned en utslippsintensiv bedrift. Dermed får vi i dette tilfellet 100 prosent lekkasje.

Dersom det er prisen som binder vil førsteordenseffekten av nedbyggingsbeslutningen på utslipp være positiv, dvs utslippene går ned. For det første vil bedriftens direkte utslipp gå ned. For det andre vil utslippene fra kraftsektoren gå ned. Det spiller i denne sammenhengen så å si ingen rolle at vi har mye vannkraft i Norge. Vannkraften bruker vi uansett, den marginale kraftkilden for Norge er i følge modellstudier stort sett kullkraft. Se for eksempel Thema Consulting og Vista Analyse (2011).²

Nedbygging i Norge kan i neste runde føre til oppbygging andre steder i verden. Hvor stor oppbygging andre steder, kommer an på helningen på tilbuds- og etterspørselskurvene. Lekkasjevirkningen avhenger også av om den nye virksomheten er mer eller mindre CO₂-intensiv enn den gamle. Alle disse mekanismene er beskrevet i modellen for lekkasje via markedene for utslippsintensive, konkurranseutsatte produkter som er gjengitt over.

Annenordensvirkninger i produktmarkedene er mange, kompliserte og motstridende

Enten det er utslippstaket eller prisen som binder, fører virkningene beskrevet over til nye, såkalte annenordensvirkninger i produktmarkedene. Vi nevner noen.

- Opp- og nedbygging i kvotesektoren i Europa fører til motsatt opp- og nedbygging i kvotesektoren utenfor Europa. (Hvis prisen binder, er "kvotesektoren" lik med den delen av økonomien som står overfor CO₂-pris.) Dersom en norsk bedrift legges ned, for eksempel, og det er bedrifter i andre kvotepliktige bransjer som fyller opp utslippstaket i Europa, er én mulighet at det utenfor Europa bygges opp en bedrift av samme type som den norske. Samtidig kan den oppbygging som skjer i Europa for å fylle opp utslippstaket, tenkes å bevirke nedbygging i konkurrerende virksomhet utenfor Europa. Også i den situasjonen at prisen binder vil det skje nedbygging og oppbygging i Europa. Ned- og oppbygging vil sette i gang de samme typene virkning utenfor Europa som når utslippstaket binder. I hvert marked der produksjonen endres vil den isolerte virkningen på utslipp kunne beskrives som i *lekkasje via markedene for utslippsintensive, konkurranseutsatte produkter*. Nettovirkningen på utslipp er uklar fordi noen produksjoner går ned og andre går opp.
- Opp- og nedbygging i kvotesektoren i Europa fører til motsatt opp- og nedbygging utenfor kvotesektoren, i Europa. Dersom en norsk bedrift legges ned, for eksempel, vil den norske arbeidskraften, lokaler og andre ressurser som regel tas i bruk av annen virksomhet. Dette kan gi oppbygging av virksomhet utenfor kvotesektoren i Norge. Samtidig vil bevegelsen inn i kvotesektoren i Europa føre til motsatt effekt der. Nettovirkningen på utslipp er uklar og beror igjen på parameter av samme type som beskrevet i *lekkasje via markedene for utslippsintensive, konkurranseutsatte produkter*.

Vi ser at det er to typer annenordensvirkninger i produktmarkedet. For det ene har vi virkninger inn og ut av kvotesystemet i Europa og over mot tilsvarende virksomhet utenfor Europa. For det andre har vi virkninger inn og ut av kvotesystemet i Europa og over mot ikke-kvotepliktig sektor. For å beskrive slike virkninger kan en enten gå veien om etterspørselssiden, eller tilbudssiden. I kulepunktene over gjorde vi begge deler. Vi beskrev i første kulepunkt oppbyggingsbeslutninger og nedbyggingsbeslutninger utenfor EU som følger av etterspørselsimpulser, og vi beskrev i andre kulepunkt oppbygging og nedbygging av ikke-

² Thema og Vista (2011) peker på at «den norske kraftprisen er tett koblet til prisene som settes i våre naboland. Det norske kraftmarkedet er integrert i det nordiske og europeiske kraftmarkedet gjennom gode overføringsforbindelser og påvirkes i så måte av markedssituasjonen i Norden og Nordvest-Europa.» Det er spesielt om natten at det norske kraftmarkedet importerer kraft, men hovedpoenget er at all norsk vannkraft blir utnyttet i utgangspunktet. I den grad vannkraften utnyttes av utenlandske konsumenter (eksport) vil økt innenlandsk forbruk i Norge gå på bekostning av utlendingers forbruk. I denne situasjonen må utlendingene gå over til andre energikilder, som i hovedsak er basert på fossile brensler.

kvotepliktig sektor som følge av økonomiens tendens til full ressursutnyttelse. I en virkelig økonomi virker etterspørselssiden og tilbudssiden sammen og former den samlede endringen hva gjelder begge kulepunkter.

Når det er såpass mange, motstridende og uoversiktlige annenordensvirkninger som tilfellet er her, hvorav flertallet ganske sikkert er små, er det vanskelig å legge avgjørende vekt på dem.

Dersom man først og fremst er interessert i lekkasjevirkninger innenfor en sektor, spiller det ikke så stor rolle at kvoten binder. En aluminiumbedrift som legges ned i Norge, for eksempel, fører til endringer i aluminiumsmarkedet som beskrevet i modellen for *lekkasje via markedene for utslippsintensive, konkurranseutsatte produkter*. Vi kan ikke vite om den industriaktiviteten som bygges opp, vil gjøre det innenfor eller utenfor EU, og det er kanskje ikke så interessant heller i et sektorperspektiv.

Dersom prisen binder, tenderer annenordensvirkninger i energimarkedet til å øke lekkasjene fra produktmarkedet

Så lenge vi holder oss til energirelaterte CO₂-utslipp, vil den samlede virkningen av alle første- og annenordensvirkninger i produktmarkedet avleire seg i etterspørselen etter fossil energi. Hvis lekkasjen er lavere enn 100 prosent, vil etterspørselen etter fossil energi alt i alt gå ned.

Hvis etterspørselen etter fossil energi alt i alt går ned, inntreffer imidlertid *lekkasje via priseffekter i markedet for fossile brensler*. Prisen på fossile brensler vil gå ned, og etterspørselen etter fossile brensler vil gå noe opp igjen. Denne lekkasjen via priseffekter i markedet for fossile brensler vil komme i tillegg til lekkasjen i produktmarkedet slik at den samlede lekkasjen blir noe større. Fordi markedet for olje og gass etter manges mening er preget av strategisk adferd, er det imidlertid vanskelig å tallfeste lekkasjen gjennom markedet for fossile brensler, og det er lite litteratur om dette.

Det er når lekkasjen i produktmarkedet er liten at etterspørselen etter energi går mest ned. Men det gir en relativt stor nedgang i energiprisen, og større lekkasje i energimarkedet enn ellers. På denne måten bidrar dermed energimarkedet til å redusere forskjellene mellom produktmarkeder: Liten produktmarkedslekkasje går sammen med stor energimarkedslekkasje, og omvendt. I dette perspektivet er det mulig at en av og til legger for stor vekt på hvorvidt lekkasjen i produktmarkedet er liten eller stor.

Det er ikke alle CO₂-utslipp som er energirelatert, og det er ikke alle klimagassutslipp som er CO₂. For eksempel er det store prosessutslipp (dvs utslipp utenom energi) i sement- og metallindustrien. I enkelte næringer vil det først og fremst være ikke-energielaterte utslipp som går ned i etterkant av klimagassregulering. I en slik situasjon vil ikke lekkasje via priseffekter i markedet for fossile brensler inntreffe.

Oppsummert om generelle likevektvirkninger

Det å trekke inn generelle likevektvirkninger i resonnementene bidrar til større fullstendighet i resonnementene, men ikke nødvendigvis til økt klarhet. En tentativ konklusjon er likevel følgende:

- Dersom utslippstaket i EU-ETS binder, tenderer lekkasjen mot 100 prosent. Dette skyldes at annenordensvirkningene i produktmarkedet er motstridende, og at med henimot 100 prosent lekkasje er det grunn til å tro at markedet for fossile brensler er upåvirket.
- Dersom prisen i EU-ETS binder, tenderer lekkasjen mot et tall under 100 prosent, og kanskje betydelig under. Så lenge vi snakker om energirelaterte utslipp, er den samlede lekkasjen i produkt- og energimarkedet større enn lekkasjen i energimarkedet

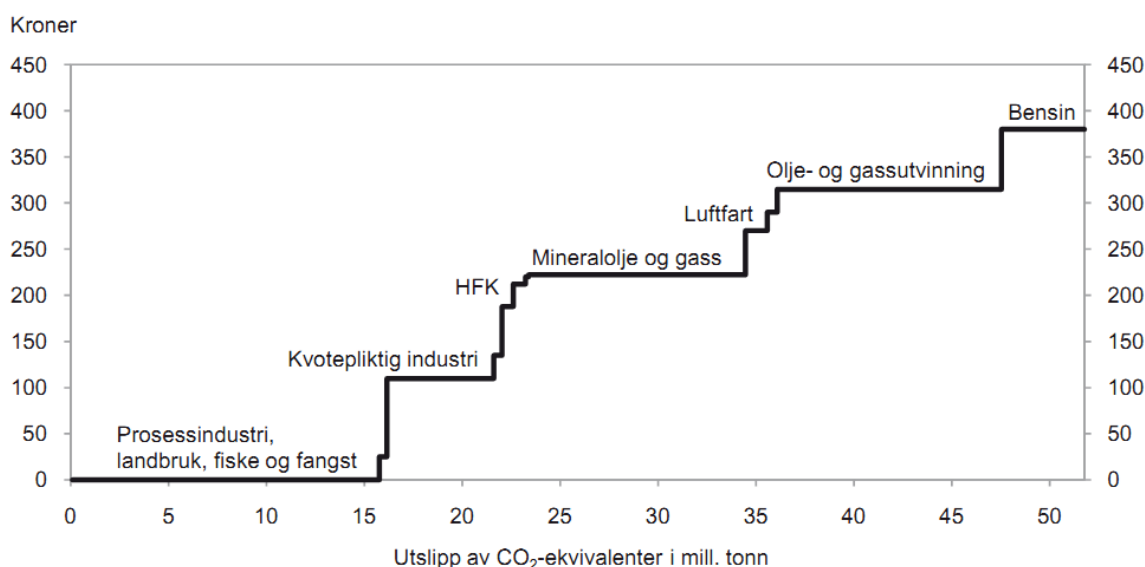
alene. Det ser ut til at store lekkasjer i produktmarkedet får et lite tillegg gjennom energimarkedet, og omvendt. Slik modererer energimarkedet lekkasjeforskjeller i produktmarkedet, så lenge vi snakker om energirelaterte utslipp. Lite er kjent om den tallmessige størrelsen på lekkasjer gjennom energimarkedet.

4 Empirisk analyse

I det følgende vil vi bruke modellen for *lekkasje via markedet for utslippsintensive konkurranseutsatte produkter* til å drøfte størrelsen på lekkasjen ut av EU ETS dersom en I) pålegger nasjonal norsk CO₂-regulering av treforedlings- og metallindustrien, eller II) pålegger nasjonale kraftpriser i de samme industriene. Vi vil altså se spesielt på treforedlings- og metallindustrien.

I) Figur 4.1 illustrerer industriens generelt lave avgifter på klimagassutslipp i dagens klimapolitiske regime. Det generelle bildet er at kraftkrevende industri har vesentlig lavere marginalkostnader enn hva den generelle CO₂-avgiften tilsier, og sammenlignet med prisen på utslippsrettigheter innenfor ETS. Videre innebærer gratis tildeling av utslippsrettigheter at industrien ikke betaler for utslippene. En full CO₂-avgift for norsk industri, ev. pris på utslippsrettigheter uten fri tildeling, vil medføre omstruktureringer i industrien som åpner for lekkasjeeffekter.

Figur 4.1 Marginalkostnad ved klimagassutslipp i 2011



Kroner per tonn CO₂-ekvivalenter i 2011 og pris 115 kroner per tonn. Utslippstall fra 2008

Kilde: Finansdepartementet (2011)

II) Det andre politikkalternativet er særnorske kraftpriser. I praksis dreier dette seg om konsekvensene av at vi er tilknyttet EUs ETS (emission trading system). Økte kostnader for utslipp i Europa øker prisen på elektrisitet gjennom økte produksjonskostnader ved kullfyrt kraftproduksjon. Thema og Pöyry (2011) anslår en overføringsfaktor (økning i gjennomsnittlig kraftpris per krone/tonn CO₂) på 0,061 kr. Dvs at én kWh brukt i Norge på marginen inneholder 610 g CO₂ og en pris på utslippsrettigheter på 100 kroner vil gi en økning i kraftprisen på 6,1 øre.³ Økte kraftpriser kan igjen føre til lekkasjer til land utenfor EU ETS systemet. For å avbøte på dette legger EUs kvotehandelsdirektiv opp til kompensasjon til virksomheter som får et indirekte kostnadspåslag gjennom økte kraftpriser. Dersom norske bedrifter ikke får tilsvarende kompensasjon som konkurranselandene, vil det være ekvivalent med at industrien pålegges særnorske avgifter på kraft.

³Til sammenlikning produseres kullkraft med om lag 800 g CO₂/kWh og gass med 400 g CO₂/kWh. På marginene er altså norsk forbruk i følge denne analysen relativt avhengig av kullkraft. Andre analyser peker i samme retning.

4.1 Parameteranslag

For å tallfeste modellen for lekkasje gjennom markedet for utslippsintensive, konkurranseutsatte produkter må en tallfeste parameterne som gjennomgås her.

β – markedsandel

Norsk produksjon av aluminium utgjorde i overkant av 5 prosent av verdensmarkedsproduksjonen i 2005 (Grimstad og Kvinge 2006). I 2007 utgjorde bruttoproduktet i metallproduksjon om lag 1,4 prosent av BNP (NHD nettside).

Vi anslår norsk treforedlingsindustriens verdensmarkedsandel til rundt 3 prosent. Dette er basert på et anslag på Norske Skogs verdensmarkedsandel på 5 prosent (Kaski m. fl. 2011), og en andel av totale driftsutgifter fra norsk produksjon på 30 prosent. Innlandsandelen av driftsinntektene antas å være tilsvarende for Borregaard.

Hvordan man tolker norske markedsandeler i lekkasjesammenheng er et spørsmål om hva man definerer som det aktuelle konkurransemarkedet. Ved kun å se på norsk produksjon i forhold til det totale verdensmarkedet, ser man bort fra komparative fortrinn i form av geografisk nærhet til markedene.

Desto større markedsandel, desto mindre blir lekkasjen. Sensitivitetsanalysen i Tabell 4.5 viser at om vi antar en markedsandel lavere enn 3 og 5 prosent (at den går mot null) vil lekkasjen forbli omtrent uendret. Markedsandelen brukt her gir altså et øvre anslag på lekkasjen.

h – relativ utslippsintensitet

Hva som er den relevante relative utslippskoeffisienten er et spørsmål om energieffektiviteten og marginal energikilde ved produksjonen som nedskaleres versus i kapasitetsutvidelsen. Dette avhenger videre av hvilke teknologier som blir slått ut her hjemme. Det er en rimelig antagelse at de minst energieffektive bedriftene også har relativt lav lønnsomhet og er mest utsatt for nedleggelse. Videre er det avgjørende om produksjonsutvidelsen vil skje innenfor eksisterende teknologier eller ved nyetableringer. Det virker som en rimelig antakelse at frontteknologier benyttes ved nyetableringer, både utfra at det er mer lønnsomt mht bruk av innsatsfaktorer og siden det forventes fokus på utslippseffektivitet også i land uten reguleringer i dag. Hvilke kombinasjoner av frontteknologier som velges for ulike innsatsfaktorer kan også påvirkes av innsatsfaktorenes relative priser.

Kina fremholdes ofte som et meget aktuelt konkurransemarked for norsk kraftkrevende industri. Kull utgjorde 71 prosent av Kinas totale energikonsum i 2008 (EIA 2011) og drøye 80 prosent av kraftproduksjonen. Dette er andeler som har holdt seg stabile i mange år. I 2009 var 16 prosent av kraftproduksjonen basert på vannkraft og det var også i bruk noe kjernekraft og vind. Dette gir en miks der utslippsintensiteten i kraftproduksjon er om lag lik de 600 gram/kWh som Thema og Vista (2011) fant for Norge.

Den gjennomsnittlige energiintensiteten er mer enn dobbelt så høy i Kina som i EU. Likevel er det ikke opplagt at $h < 1$. Innenfor industrien i Kina har energiintensiteten blitt redusert med 5,5 prosent årlig fra 1990, og trenden ventes å fortsette de nærmeste årene (ABB 2011). Om lekkasjen innebærer etablering med ny teknologi i Kina og nedleggelse av de minst effektive produksjonsenheter i Norge, kan det være rimelig å anta $h > 1$. Omlokalisering til land som er mindre energiintensive enn Kina trekker i retning av flytting til renere produksjon og høyere h .

I vår analyse har vi valgt en relativ utslippskoeffisient (h) = 1 som utgangspunkt. Vi kan ikke se gode grunner til å vente høyere utslippsintensiteter i nyetablerte virksomheter enn i nedlagt

produksjon i Norge, selv om disse blir lokalisert i land med svake miljøreguleringer. Dette gjelder for begge politikkalternativene.

μ – reduksjon i utslippsintensitet per redusert produksjonsenhet

Elastisiteten μ uttrykker hvor mange prosent utslippsintensiteten endres når produksjonen går ned som følge av klimatiltak. Det er rimelig å vente at $\mu \geq 0$, altså at særnorske klimareguleringer som fører til produksjonsnedgang, ikke fører til høyere utslippsintensitet. En høy μ indikerer en større reduksjon i gjennomsnittlig utslippsintensitet, dvs faktorsubstitusjon i bedriftene eller at den mest utslippsintensive delen av industrien forsvinner først. For anslag på koeffisienten μ har vi tatt utgangspunkt i Fæhn og Bruvoll (2009), som analyserer langsiktige virkninger av uniform klimaavgift innenfor MSG-modellen, samt nye beregninger basert på utregningene i 7.2.

Tabell 4.1 Anslag på utslippsintensitets-elastisiteten

Produksjon av metaller	2,97
Kilde: egne beregninger	
Produksjon av metaller	0,22
Trelast-, trevare- og papirvareindustri	0,02
Kilde: Fæhn og Bruvoll (2009)	

Anslagene varierer sterkt, noe som antyder at de er svært usikre. Det er også rimelig å anta at effekten vil være ulik for de ulike politikkalternativene. En særnorsk CO₂-regulering (alternativ I) vil gi sterkere insentiver til å substituere produksjonen bort fra prosessutslipp og karbonintensive innsatsfaktorer. Økt kraftpris (alternativ II) vil gi sterkere insentiver til effektivisering av elektrisitetsforbruke ifht alternativ I, og relativt svakere insentiver til direkte karboneffektivisering. Det er derfor rimelig å anta en høyere verdi på μ i alternativ I enn i alternativ II.

I analysen har vi tatt utgangspunkt i $\mu=1$ for både metallproduksjon og treforedling, og i tillegg utført sensitivitetsanalyser gitt verdiene i tabellen ovenfor. $\mu=1$ tilsvarer at reduksjonen i utslipp fordeler seg med like stor endring i produksjon og i utslippsintensiteten.

δ - Etterspørselselastisitet

Det finnes en rekke anslag på etterspørselselastisiteter i litteraturen, både for ulike treforedlingsprodukter og for metaller.

Treforedlingsindustrien: Tang m. fl. (2008) dekker elastisiteter for kanadisk/USA treforedling og anslår elastisiteter mellom -0,04 og -1,44. I Hepburn m. fl. (2006) refereres til anslag basert på paneldata i EU som viser korttidselastisiteter på -0,3 og langtidselastisiteter på -0,48.

Det er en standard antakelse at responsen i etterspørselen er større på lang sikt enn på kort sikt. I vår analyse har vi tatt utgangspunkt i $\delta=0,3$ på kort sikt og $\delta=0,5$ på lang sikt.

Metallindustrien: Litteraturen viser en rekke anslag på etterspørselselastisiteter for aluminiumsproduksjon og stål. En oppsummerende studie viser en variasjon i absoluttverdien for i intervallene på 0,8 – 1,1 for aluminiumsproduksjon og 0,3-1,0 for stålproduksjon (Graichen 2008).

Med utgangspunkt i at aluminiumsindustrien er mest relevant å fokusere på i norsk sammenheng har vi tatt utgangspunkt i $\delta=0,8$ på kort sikt og $\delta=1,1$ på lang sikt.

Tabell 4.2 Anslag på etterspørselastisiteten (målt positivt)

Wood pulp, soda or sulfate, nonconiferous	0,24- 1,44
Newsprint	0,04- 0,11
Light-weight coated paper	0,24- 1,15
Kilde: Tang m. fl. (2008)	
Newsprint - short term	0,30
Newsprint - long term	0,48
Newsprint	0,15- 0,30
Kilde: Hepburn m. fl. (2006), Chas-Amil and Buongiorno (2000), Christensen and Caves (1997) og Pesendorfer (2000)	
Aluminium	0,8-1,1
Steel	0,3-1,0
Kilde: Graichen (2008), Smale et al. (2006), Hepburn et al. (2006)	

 σ – tilbudselasititet

Trevareindustrien: Bolkesjø m. fl. (2010) finner elastisiteter for tømmer og tremasse på mellom 0,47 og 0,98 basert på norske data. Anslag i Johnstone (1996) dekker ulike typer papirvarer. Anslagene varierer sterkt men ligger på 0,91 for papir og kartong samlet. Dette er imidlertid en eldre analyse. Som det er vel kjent fra dagspresse og andre kilder er dette en industri som har opplevd store endringer både på tilbuds- og etterspørselssiden de senere år. Tilbudet vil være mer fleksibelt på lang enn på kort sikt. I vår analyse har vi tatt utgangspunkt i et spenn i elastisiteten på 0,5 og 1,0 på hhv kort og lang sikt.

Metallindustrien: For metallindustrien er det vanskeligere å finne anslag. Hepburn m. fl. (2008) anvender et intervall på mellom 0,3 – 1,0, basert på et anslag på 0,62 for europeisk stålindustri (Lord and Farr 2003). Vi har benyttet samme spennet for kort hhv lang sikt.

Tabell 4.3 Anslag på tilbudselasititeten

Sawlog	0,91±0,07
Pulpwood	0,53±0,06
Kilde: Bolkesjø m. fl. (2010)	
Total paper and paperboard	0,91
Kilde: Johnstone (1996)	
Steel	0,62
Kilde: Hepburh m. fl. (2006), Lord and Farr (2003)	

4.2 Anslag på lekkasjer

Gitt disse parameteranslagene finner vi lekkasjeeffekter på rundt 10-30 prosent på kort sikt og 20-30 prosent på lang sikt, se

Tabell 4.4. Anslagene er rimelig i samsvar med internasjonal litteratur omtalt i kapittel 2. Estimaten er som vi har forklart ovenfor svært usikre grunnet mangel på gode anslag på de ulike parameterne, og stor spredning i de anslagene som eksisterer. Gode anslag for

enkeltbransjer vil kreve egne utredninger basert på økonometriske undersøkelser av elastisiteter og markedsforhold i bransjene. Følgelekkasjer i energimarkedet vil også måtte være emne for egne utredninger og forskning.

Tabell 4.4 Anslag, utslippslekkasjer

		Treforedling		Metallproduksjon	
		Kort sikt	Lang sikt	Kort sikt	Lang sikt
β	Markedsandel	0,03	0,03	0,05	0,05
h	relativ utslippsint.	1,0	1,0	1,0	1,0
μ	utsl.intens.elast	1,0	1,0	1,0	1,0
δ	etterspørselselast.	0,3	0,5	0,8	1,1
σ	tilbudselast.	0,5	1,0	0,3	1,0
L	LEKKASJE	31 %	33 %	13 %	23 %

For å få et inntrykk av usikkerheten har vi gjort sensitivitetsanalyser for de enkelte parameterne, se Tabell 4.5. Vi har tatt utgangspunkt i korttidselastisitetene og generelt doblet / halvert parameterne.

Beregningene er mest sensitive mht den relative utslippsintensiteten; forholdet mellom utslippsintensiteter i nedlagt versus nyetablert produksjon. En halvering av faktoren gir en dobling av lekkasjene. Reduksjon av tilbudselastisiteten gir også relativt stort utslag. Disse justeringene av elastisiteten gir sensitivitetsintervall mellom 16-44 prosent rundt utgangspunktet på 31 prosent for treforedling, og 11-43 prosent rundt 13 prosent for metaller. Intervallene er bare noe mindre for samme øvelsen for langsikts-elastisiteter (hhv 22-24 prosent og 15-43 prosent).

Tabell 4.5 Sensitivitetsanalyse

	Treforedling	Utgangs- verdier	Intervall, koeffisienter		Intervall, lekkasje	
β	Markedsandel	0,03	1,0	- 0,0	0 %	- 31 %
h	relativ utslippsint.	1,0	2,0	- 0,5	15 %	- 61 %
μ	utsl.intens.elast	1,0	2,0	- 0,5	20 %	- 41 %
δ	etterspørselselast.	0,3	0,6	- 0,15	22 %	- 38 %
σ	tilbudselast.	0,5	0,25	- 1,0	22 %	- 38 %
	Lekkasje, gitt utgangsverdier	31 %				
	Metallprod/ aluminium	Utgangs- verdier	Intervall, koeffisienter		Intervall, lekkasje	
β	Markedsandel	0,05	1,0	- 0,0	0 %	- 14 %
h	relativ utslippsint.	1,0	2,0	- 0,5	7 %	- 26 %
μ	utsl.intens.elast	1,0	2,0	- 0,5	9 %	- 17 %
δ	etterspørselselast.	0,8	1,6	- 0,4	8 %	- 21 %
σ	tilbudselast.	0,3	0,15	- 0,6	8 %	- 21 %
	Lekkasje, gitt utgangsverdier	13 %				

For de to politikkalternativene er det som argumentert rimelig å anta høyere μ i tilfellet med karbonpris (alternativ I) enn ved kraftprisøkning (alternativ II). I Tabell 4.6 har vi satt inn uendret utslippsintensitet for alternativet med økt kraftpris gjennom EU ETS, og den høyeste anslåtte reduksjonen i utslippsintensitet for tilfellet med CO₂-pris, i Tabell 4.1.

Tabell 4.6 Anslag, variasjon i utslippsintensitets-elasticiteten μ

	Treforedling		Metallproduksjon	
	Kort sikt	Lang sikt	Kort sikt	Lang sikt
Utgangsverdi $\mu=1,0$	31 %	33 %	13 %	23 %
«Alt I – CO ₂ -pris» $\mu=3,0$	15 %	16 %	7 %	11 %
«Alt II – El-pris» $\mu=0,0$	62 %	66 %	26 %	46 %

Denne analysen illustrerer at lekkasjeeffekten er sterkere om utslippsreduksjonen skyldes nedskalering av produksjonen, heller enn substitusjon til mindre utslippsintensive teknologier. Det første er mest relevant når politikken virker via økt kraftpris, som i første rekke vil gi insentiver til energieffektivisering eller produksjonsreduksjon, uten direkte insentiver til redusert utslippsintensitet. En direkte regulering av utslippene ved høyere CO₂-

avgifter for prosessindustrien vil derimot gi direkte insentiver til å redusere utslippene, og mindre lekkasje regnet i prosent. Merk at denne analysen ikke drøfter lekkasje målt i antall tonn, men det er jo grunn til tro at manipuleringer av kraftprisen (av politisk relevant omfang) gir *mindre* utslag på CO₂ målt i tonn enn manipuleringer av CO₂-prisen.

4.3 Oppsummert om lekkasjeanslagene

Anslagene i Tabell 4.4 er basert på de anslagene vi mener er mest rimelige, gitt tilgangen på estimer i litteraturen. Lekkasjeeffektene ligger grovt sett i intervallet mellom 10-30 prosent, noe som stemmer godt overens med funn i litteraturen (kapittel 2).

Gitt disse anslagene, vil den direkte nettoeffekten av 100 tonn redusert CO₂ i Norge være 70-90 tonn reduksjon i globale utslipp (sett bort fra likevektsvirkninger med andre markeder og politikkregimer). En annen måte å betrakte dette på, er at tiltakskostnaden er 10-40 prosent høyere enn for eksempel avgiften eller prisen på utslippsrettigheter som utløser utslippsreduksjonen.

Lekkasjene er noe høyere på lenger sikt, noe som først og fremst skyldes antatt høyere respons på tilbudssiden (tilbudselastisitetene). Anslag gir også høyere lekkasjer i treforedling enn i metallproduksjon, da litteraturen antyder at etterspørselen etter treforedlingsprodukter responderer svakere på prisendringer enn hva som er tilfellet innenfor metallproduksjon.

Antakelsen om den relative utslippskoeffisienten (*h*) er av stor betydning for anslagene. Det er viktig å merke seg at denne måler *marginale* endringer i utslippene, ikke gjennomsnittlige utslippsintensiteter i de enkelte bransjene. Vi har antatt at denne er lik 1; dvs at utslippsintensiteten er lik i nyetablerte virksomheter / eksisterende virksomheter i utlandet som overtar norsk produksjon, og i nedlagt produksjon i Norge. Vi mener dette er et konservativt anslag. Det er rimelig å vente at de minst energieffektive / mest utslippsintensive bedriftene også har relativt lav lønnsomhet og er mest utsatt for nedleggelse. Samtidig virker det som en rimelig antakelse at frontteknologier benyttes ved nyetableringer, både utfra at det er mer lønnsomt mht bruk av innsatsfaktorer og siden det forventes fokus på utslippseffektivitet også i land uten reguleringer i dag. Empiriske undersøkelser av utenlandsinvesteringer tyder også på at frontteknologier stort sett er det som benyttes, se f.eks Eskeland og Harrison (2003).

Vi har ikke funnet det mulig å gå ned på mer detaljert industrinivå enn en generell omtale av sektorene «treforedling» og «metallproduksjon». Begrensningen ligger parameterestimaterne som omtalt i avsnitt 4.1. En casestudie av enkeltbedrifter eller -bransjer krever studier av utslippsintensiteter hjemme og ute, samt tilbuds- og etterspørselsrespons i de aktuelle casene.

5 Kompensasjon for økte klimakostnader

Nedenfor vil vi diskutere noen mulige kompensasjonsordninger for økte karbonkostnader. Dette er et aktuelt politisk tema som følge av overveltinger i **kraftprisen** gjennom EU ETS ((jfr alternativ II foran). I følge EUs kvotehandel-direktiv kan virksomheter som får et indirekte kostnadspåslag gjennom økte kraftpriser være berettiget til en form for økonomisk kompensasjon, og det arbeides med ordninger innenfor EU og de tilknyttede landene.

Gjennom det integrerte europeiske kraftmarkedet vil kraftprisen i Norge også påvirkes selv om mesteparten av vår produksjon utgjøres av vannkraft. Thema og Pöyry (2011) anslår en **overføringsfaktor** (økning i gjennomsnittlig kraftpris per krone/tonn CO₂) på 0,061. Dvs at 1 kWh på marginen produserer 610 g CO₂ og en pris på utslippsrettigheter på 100 kroner øker kraftprisen med 6,1 øre/kWh.

Før vi går inn på diskusjonen rundt mulige ordninger for kompensasjon, vil vi peke på at ordningen med grønne sertifikater som allerede er iverksatt vil virke tilsvarende en slik subsidieordning. Når ordningen iverksettes vil kraftproduksjonen i Norge og Sverige øke med 26 TWh. Dette er langt mer enn den forventede etterspørselsveksten. Konsekvensen vil bli et betydelig overskudd i kraftmarkedet, som ikke kan overveltes i europeiske markeder på grunn av begrensinger i overføringskapasitet. Igangsatte og planlagte sparetiltak på etterspørselssiden reduserer prisen ytterligere. Dette forventes å bidra til en reduksjon i den nordiske kraftprisen som overstiger CO₂-tillegget i kraftprisen i Europa. Dermed er industrien allerede rustet til å håndtere oppgangen i kraftprisensom følge av karbonprising i EU ETS og vilkårene i kraftmarkedet for norsk industris investeringer vil være minst like gode som internasjonalt. Spesielt gjelder dette markeder utenfor EU, som norsk industri framholder som hovedproblemet i lekkasjesammenheng.

De nevnte kompensasjonsordningene vil generelt være relevante også for kostnadsøkninger som følge av nasjonal klimapolitikk, dvs karbonprising (jfr alternativ I foran).

I avsnitt 5.2 skal vi diskutere virkninger av kompensasjonsalternativer. Noen av virkningene er generelle, og vi diskuterer derfor disse først i avsnitt 5.1.

5.1 Virkninger

Samfunnsøkonomisk effektivitet

Standard anbefaling fra økonomisk teori er at alle utslippskilder stilles overfor en pris på utslippene som er lik for alle utslippskilder og alle klimagasser, noe som sikrer kostnadseffektiv gjennomføring av utslippsmål. Intensjonen bak avgifter/priser på utslippsrettigheter er nettopp at det skal skje en vridning fra fossil energi over til ikke-fossil energi. Høyere karbon- og energipriser gir ønskede signaler til markedet om at karbonfri energiproduksjon er ønskelig. Videre signaliserer høyere elektrisitetspriser samfunnets kostnader ved bruk av elektrisitet basert på fossile energikilder og formidler insentiver til energieffektivisering og evt nedskalering av produksjon som ikke lenger er samfunnsøkonomisk lønnsom når de fulle kostnadene tas hensyn til. Endelig signaliserer økte energipriser at verdien av fornybare teknologier er høyere enn uten karbonprising.

Forsøk på å motvirke høyere energipriser gjennom kompenserende tiltak på etterspørselssiden i kraftmarkedet bidrar til å øke samfunnets kostnader ved å oppnå gitte utslippsreduksjoner. Andre sektorer vil måtte ta utslippskutt til høyere kostnader. Lønnsomheten av fornybare energiteknologier og kulleffektive prosesser går ned. I prinsippet virker slik kompensasjon som subsidier til produksjon i energiintensive bedrifter, da bedriftene ikke bærer de fulle kostnadene ved produksjonen.

Ethvert kompensasjonstiltak vil også ha fordelingsvirkninger, enten ved økte offentlige utgifter rettet mot industrien, eller reduserte skatter til industrien. Videre vil justeringer i skatte- og avgiftsordninger redusere effektiviteten i virkemidlene. I utgangspunktet må en anta at skattepolitikken er optimalt utformet; det vil si at ineffektivitet i skattepolitikken skal rettes opp uavhengig av ønske om kompensasjonstiltak i energimarkedet. Ytterligere justeringer av skatter og tollsatser for å oppnå andre mål vil dermed forstyrre virkemiddelbruken.

Sysselsetting og distriktsutvikling

Generelt gjelder at alle formene for kompensasjonsordninger stimulerer sysselsetting i de kompenserte bedriftene. På lang sikt tilsier erfaringene at sysselsettingen knyttet til nedlagt industri absorberes av andre næringer, jf. omstillingene vi allerede har hatt i norsk industri.

I hvilken retning den langsiktige distriktsprofilen endres avhenger av hvor de enkelte bedriftene er lokalisert og hvilke næringer som absorberer sysselsettingen.

Utslipp

Enhver politikk som kompenserer kostnadseffektive utslippsreduksjoner vil i prinsippet føre til økte utslipp. Med forpliktende avtaler for nasjonale utslipp vil økte utslipp i kraftkrevende industri/prosessindustrien føre til nye tiltak for igjen å kompensere for dette. Dette vil da være tiltak med høyere kostnader som gir samfunnsøkonomiske tap. Karbonprising vil i utgangspunktet være kostnadseffektivt både på nasjonalt og internasjonalt nivå.

Virkningene for utslipp innenfor EU ETS vil per definisjon være lik null for alle ordningene, forutsatt at det samlede taket på utslipp innenfor EU ETS er gitt, jamfør avsnitt 3.7. Dersom utslippstaket binder, vil enhver utslippsreduksjon (/økning) frigi utslippsrettigheter for salg, og reduksjonen vil bli absorbert av en utslippsøkning (/reduksjon) hos en annen produksjonsenhet innenfor kvotesystemet. Virkningen på samlede globale utslipp vil avhenge av en rekke likevektvirkninger i markedene, som er diskutert foran, se avsnitt 3.7.

Kraftpriser og priser på utslippsrettigheter

Kompensasjonstiltak vil øke energiforbruket og generelt føre til høyere kraftpriser for andre forbrukere i forhold til hva som ellers ville vært tilfelle. Prisen på utslippsrettigheter vil også bli høyere, både ved høyere etterspørsel etter utslippsrettigheter fra industrien, og indirekte gjennom etterspørselen etter kraft.

5.2 Kompensasjonstiltak

Toll på import og avgiftsreduksjon ved eksport av utslippsintensive varer

Border tax adjustment er et mye diskutert virkemiddel for å kompensere industrien for konkurranseulempen som følge av ulik klimapolitikk internasjonalt. Ordninger er diskutert innad i EU og er foreslått av USA, men ikke gjennomført. Hensikten er at innenlandske produsenter som er utsatt for klimapolitikkrelaterte kostnadsøkninger, opprettholder sin konkurranseevne i forhold til importprodukter fra land uten restriksjoner ved å øke prisene på konkurrerende importprodukter eller redusere kostnadene på eksportprodukter. Forslaget går ut på følgende:

- 1) Å legge en toll på importerte produkt fra ikke-regulerte land avhengig av produktenes karboninnhold, og/eller pålegge importører å kjøpe utslippsrettigheter
- 2) Å refundere karbonkostnadene for eksport til ikke-regulerte land

Studier viser at karbontoll kan redusere lekkasje mer enn produksjonsbasert tildeling av utslippsrettigheter, og at lekkasjene kan nesten halveres om både toll pålegges importerte

produkter og klimaelementet i eksport refunderes (Böhringer m. fl. 2010, 2011, Mattoo m. fl. 2009). De samme studiene peker også på at karbontoll/eksportrefusjon kan innebære lavere kostnader for å oppnå et gitt utslippsmål.

Det er imidlertid store praktiske innvendinger mot ordningene som vil medføre omfattende administrative kostnader og kontrollkostnader, se for eksempel Reinaurd (2009):

- Ordningen må i prinsippet dekke alle produkter som er utsatt for karbonlekkasje og korrigere for samme marginale klimakostnader for både direkte og indirekte virkninger, inkludert kostnader gjennom kraftprisen.
- Utslipp tilknyttet importerte produkter må måles, kontrolleres og verifiseres.
- Ulike forbrukere betaler i praksis ulike kraftpriser, systemet krever detaljert beregning for ulike sektorer. Prisene vil også variere etter den varierende prisen i kvotemarkedet.
- Refusjonen må i prinsippet gjelde for alle eksportvarer, med ulikt karboninnhold. Strategiske tilpassinger kan oppstå for å komme inn under produktkategorier som er inkludert i kompensasjonsordningene. Det er svært krevende å beregne hvor mye av karbonkostnaden som er overveltet i de enkelte produktene (Reinaurd 2008).
- Det vil være nødvendig med løpende oversikt over utslippsnivåene i importvarene.
- En annen utfordring er knyttet til hvordan man forholder seg til klimatiltak i utviklingsland og i hvilken grad importen skal pålegges toll.
- Dersom flere land implementerer slike ordninger, og de er ulikt utformet, risikerer man at noen produkter blir skattlagt flere ganger mens andre slipper unna. Omfattende internasjonal samordning vil være nødvendig.

Generelt vil ordningen kunne redusere lekkasjene fra de enkelte sektorene. Tiltaket vil kunne redusere insentivene til energieffektivisering ved at konkurranseforholdene bedres.

Direkte kraftpriskompensasjon

Direkte kraftpriskompensasjon vil være ulike former for direkte støtte tilsvarende påslaget i kraftprisen. Støtten må koples opp mot overføringsfaktoren og variere etter sammensetningen av energiproduksjonen og prisen på utslippsrettigheter. Direkte priskompensasjon søker å nulle ut effekten av kraftprisvirkningen i kvotesystemet.

Tiltaket vil motvirke energieffektivisering, siden prisen blir lavere enn uten kompensasjon. En utfordring vil være å beregne den korrekte overføringsfaktoren som skal benyttes.

Tiltaket er mest relevant som støtte for kraftprisøkninger (alternativ II), men slik støtte til energibruk vil også kunne kompensere kostnadsøkninger som følge av karbonprising (alternativ I). Som kompensasjonstiltak i prosessindustrien vil det være lite treffsikkert, da det ikke er en direkte sammenheng mellom energibruk og utslipp. Tiltaket antas som lite aktuelt for å kompensere CO₂-avgiften på fossilt energiforbruk, da det vil motvirke CO₂-avgiften direkte.

Støtte til energibruk

Kompensasjon for kraftprisøkning kan også gis som støtte til generelt energibruk basert på grunnlag av et priselement for CO₂ multiplisert med et volummål. Preiselementet bør være knyttet opp til overføringsfaktoren. Volummålet kan være historisk kraftforbruk, gjennomsnittlig kraftforbruk per produsert enhet, minimumsforbruk per produsert enhet etc.

Begge elementene må oppjusteres jevnlig. Dersom volummålet knyttes til historisk kraftforbruk, hemmes insentivene til energieffektivisering. En slik ordning kan være kostnadskrevende å administrere og kan gi uheldige insentivvirkninger i retning av mindre energieffektivisering. Det internasjonale konkurranseregelverket setter også sterke begrensninger for mulighetene for direkte næringsstøtte.

Støtte til andre innsatsfaktorer

Støtte kan også gis til andre innsatsfaktorer enn energi; til annen materialinnsats, kapitalstøtte eller støtte til arbeidskraft. Vi antar at arbeidskraftstøtte anses som mest politiske relevant, på grunn av bekymringer knyttet til sysselsetting. En slik støtte kan gi en vridning over til arbeidskraft relativt til energi og andre innsatsfaktorer, og opprettholde insentivene til energieffektivisering (substitusjonseffekt), men siden lønnsomheten øker (skalaeffekt) vil virkningen for energibruk være usikker. Samtidig er industrien kapital- og energiintensiv og substitusjonsmulighetene begrenset, slik at støtteformen først og fremst kan ende opp med å gi gale insentiver ved sammensetningen av innsatsfaktorer. Tiltaket vil ha uheldige effektivitetsvirkninger i arbeidsmarkedet, da arbeidskraften vil bli trukket bort fra alternativ anvendelse.

Produktstøtte

Dette ligner på forslagene ovenfor, der støtten gis per produsert enhet. Sammenhengen mellom CO₂-elementet i kraftprisen eller den direkte CO₂-avgiften, formålet med støtten og støttegrunnlaget blir enda mer uklart. Insentivene til energieffektivisering opprettholdes sammenlignet med støtte til energibruk.

Støtte til kraftproduksjon / overføringskapasitet

Offentlig støtte til økt kraftproduksjon eller til nettinvesteringer bidrar til reduserte kraftpriser og dermed entydig mindre energieffektivisering. Dette vil fungere som subsidier til kraftforbruk og motvirke en økning i kraftprisen på samme måten som direkte kraftpris kompensasjon. Dersom støtten er til fornybar energi, noe vi antar så lenge vi diskuterer det norske kraftmarkedet, vil lønnsomheten for fossil energi i det europeiske markedet reduseres. Tilsvarende vil nettutbygging i de deler av det norske markedet med flaskehals bidra til utjevning og reduserte priser i høyprisområder. Kostnadene ved slike investeringer, som er begrunnet i å kompensere industriens karbonkostnader, må antas å være høye.

Lavere nett-tariffer

Lavere nett-tariffer for kraftkrevende industri vil fungere på samme måte som direkte støtte til energiforbruk, jamfør ordningene ovenfor. Ordningen vil motvirke hensikten i nett-tariffen, og vil medføre at andre forbrukere må betale mer for utbygging og vedlikehold av nettet. Som for direkte kraftpris kompensasjon vil det være en utfordring å beregne overføringsfaktoren.

Gratis tildeling av utslippsrettigheter

Som kompensasjon for kraftprisøkninger (alternativ II) vil en ordning med gratis utslippsrettigheter kreve en definert kobling mellom overføringsfaktoren og tildelingen. Dette virkemiddelet vil være lite treffsikkert som kompenserende tiltak overfor kraftprisøkninger, da det ikke nødvendigvis er de samme bedriftene som har både stort kraftforbruk og høye direkte CO₂-utslipp. Virkemidlet er først og fremst benyttet for å dempe effektene av prising av karbonutslipp i kvotesystemer (alternativ I). I praksis har det vist seg svært vanskelig å utforme regler for fri tildeling som ikke skaper uønskede insentiver, eller som er uheldige ut fra fordelingsmessige hensyn. Insentivene bidrar til å opprettholde virksomhet som ellers ville bli nedlagt og kan føre til strategisk tilpassing og med utslipp for å påvirke tildelingen i

neste periode. Rosendahl og Storrøsten (2008) anbefaler at bedriftene betaler for sine utslippsrettigheter, men om fri tildeling skal benyttes, bør den knyttes opp til produksjonsnivået (ekvivalent med en produksjonssubsidie). Böhringer m. fl. (2010) viser at produksjonsbasert tildeling av gratis utslippsrettigheter kan bidra til å redusere lekkasjen noe. Analyser av EUs klimapolitikk og klimapolitikken i USA anslår at lekkasjeeffekten kan reduseres med 14 prosent. Dette tyder på at virkemidlet er lite treffsikkert.

Gratis tildeling gir svakere insentiver til energieffektivisering enn om bedriftene må betale for utslippene. Virkemidlet sørger også for å opprettholde energiintensive bedrifter.

Differensierte CO₂-avgifter

Differensiering av CO₂-avgifter innebærer at eventuelle avgifter varierer mellom energiintensiv industri og andre sektorer.

Som virkemiddel for å kompensere kraftprisen er det bare relevant for de bedriftene som betaler CO₂-avgifter. På samme måten som gratis utslippsrettigheter vil dette være et lite treffsikkert og administrativt kostbart virkemiddel, da det ikke er sammenfall mellom kraftforbruk og CO₂-utslipp i de ulike industribedriftene. Insentiver til energieffektivisering svekkes i forhold til om bedriftene må betale for utslippene.

Skattefradrag

Et skattefradrag tilsvarende påslaget i kraftprisen eller prisen på fossile innsatsfaktorer vil redusere skattebyrden. Andre alternativ kan være gunstige avskrivningsregler for kapital før skatt eller generelt lavere selskapsskatt, mer gunstige avskrivningsregler for kapital eller lavere selskapsskatt. Alle slike ordninger vil bidra til å uthule den opprinnelige intensjonen i skattene og ha negative provenyeffekter. Ordningen kan være kostnadskrevende å administrere på grunn av den manglende koplingen mellom energipriser og skattebaser.

5.3 Oppsummert om kompensasjonstiltak

Gjennomgangen viser at de aktuelle kompensasjonsordningene vil virke negativt på effektiviteten i klimapolitikken og bidra til høyere utslipp. Også de andre ordningene med justeringer i skatte- og avgiftssystemet vil redusere effektiviteten i virkemidlene. Ordninger rettet mot energiforbruket svekker insentivene til energieffektivisering og gir gale signaler til sammensetningen av faktorinnsats. Generelt gjelder at det er vanskelig å finne treffsikre virkemidler som ikke også er kostnadskrevende å administrere.

Nå er det også et spørsmål om slik kompensasjon er nødvendig. Intensjonen bak avgifter/utslippsrettigheter nettopp at det skal skje en vridning fra fossil energi over til ikke-fossil energi. Den høyere kraftprisen er en informasjonsbærer for samfunnets kostnader ved bruk av elektrisitet basert på fossile energikilder og formidler insentiver til energieffektivisering og ev. nedskalering av produksjon som ikke lenger er samfunnsøkonomisk lønnsom når de fulle kostnadene tas hensyn til. Forsøk på å motvirke høyere energipriser gjennom kompenserende tiltak på etterspørselssiden i kraftmarkedet bidrar til å øke samfunnets kostnader ved å oppnå gitte utslippsreduksjoner. Tilsvarende vil høyere priser på kull i prosessindustrien gjenspeile kostnadene ved bruken av innsatsfaktorer og gi insentiver til vridninger mot mer effektiv produksjon og utvikling av nye teknologier. Kompensasjongstiltak fører til at andre sektorer må ta utslippskutt til høyere kostnader.

Videre vil ordningen med grønne sertifikater som allerede er iverksatt fungere som en slik kompensasjonsordning som etterspørres for økte kraftpriser, da kraftprisen ventes å gå mer ned enn karbonpris påslaget i kraftprisen.

Argumenter for å kompensere industrien er hensyn til sysselsetting og distriktsprofil. På lang sikt tilsier erfaringene at sysselsettingen knyttet til nedlagt industri absorberes av andre næringer, jfr omstillingene vi allerede har hatt i norsk industri. I hvilken retning den langsiktige distriktsprofilen endres avhenger av hvor de enkelte bedriftene er lokalisert og hvilke næringer som absorberer sysselsettingen.

På samme måten som utslippsreduksjoner oppnås mest effektivt gjennom riktig prising, ivaretas andre politiske hensyn best med direkte rettede virkemidler. En rekke håndtak innenfor EØS-regelverket gjør det mulig å støtte for eksempel bosetting og infrastruktur. Slike direkte overføringer vil i utgangspunktet være mer treffsikre enn indirekte subsidier til energiintensive bedrifter.

6 Referanser

- ABB (2011): China Energy efficiency report, [http://www05.abb.com/global/scot/scot316.nsf/veritydisplay/63246e62080610aec12578640050f217/\\$file/china.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot316.nsf/veritydisplay/63246e62080610aec12578640050f217/$file/china.pdf)
- Babiker, M.H. (2005): Climate change policy, market structure and carbon leakage. *Journal of International Economics*, 65(2), pp. 421-445.
- Bohm, P. (1993), "Incomplete international cooperation to reduce CO₂ emissions: alternative policies", *Journal of Environmental Economics and Management* 24, p.258-71.
- Bolkesjø, T., J. Buongiorno and B. Solberg (2010): Joint production and substitution in timber supply: a panel data analysis, *Applied Economics* 42, 671-680
- Bruvoll, A. og T. Fæhn (2006): Tranboundary effects of environmental policy: Markets and emission leakages, *Ecological economics* 59, 499-510
- Burniaux, J., and J.O. Martins (2000): Carbon Emission Leakages: A General Equilibrium View. OECD Economics Department Working Paper 242. OECD Publishing. doi:10.1787/410535403555.
- Böhringer, C., Fischer, C. and K. E. Rosendahl (2010): The Global Effects of Subglobal Climate Policies. *The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy*, 10 (2) (Symposium), Article 13.
- Böhringer, C., Fischer, C. and K. E. Rosendahl (2011): Cost-Effective Unilateral Climate Policy Design: Size Matters, kommer som RFF Discussion Papers, Washington. <http://rff.org/Publications/Pages/PublicationsList.aspx?PublicationType=Discussion%20Papers>
- Böhringer, C., T.F. Rutherford and A. Voss (1998): Global CO₂ Emissions and Unilateral Action: Policy Implications of Induced Trade Effects. *International Journal of Global Energy Issues* 11(1-4): 18-22
- Chas-Amil, M. L. and J. Buongiorno (2000): The demand for paper and paperboard: econometric models for the European Union, *Applied Economics*, 32, 987-99
- Christensen, L. R. and R. E. Caves (1997): Cheap talk and investment rivalry in the pulp and paper industry, *Journal of Industrial Economics*, 45, 47-73
- Demilly D. and P. Quirion (2007): Changing the Allocation Rules for EU Greenhouse Gas Allowances: Impact on Competitiveness and Economic Efficiency, *Congrès de l'Association française de science économique*, September.
- Dröge, S. (2009): Tackling leakage in a world of unequal carbon prices, *Climate Strategies*, SWP – German Institute of International and Security Affairs, Berlin
- EIA (2011): China energy data, statistics and analysis, <http://www.eia.gov/cabs/China/Full.html>
- Elliot, J., I. Foster, S. Kortum, T. Munson, F. P. Cervantes and D. Weisbach (2010): Trade and carbon taxes, Argonne national Laboratory, Preprint ANL/MCS-P1709-1209
- Finansdepartementet (2011): Skatter, avgifter og toll 2012, Prop. 1 LS
- Fæhn, T. and A. Bruvoll (2009): Richer and cleaner – at others' expense?, *Resource and Energy Economics* 31(2), 103-122.
- Gerlagh, R. and O. Kuik (2007): Carbon leakage with international technology spillovers, *Fondazione Eni Enrico Mattei, Working papers* 48
- Goulder, L. H. and R. N. Stavins (2011): Interaction between state and federal climate change policies, Prepared for The design and implementation of U.S. Climate Policy, Regulation2point0.org
- Graichen, V., K. Schumacher, F. C. Matthes, L. Mohr, V. Duscha, J. Schleich and J. Diekmann (2008): Impacts of the EU Emissions Trading Scheme on the industrial competitiveness in Germany, *Environmental Research of the Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Research Report* 3707 41 501, UBA-FB 001177

- Grimstad, B. og T. Kvinge (2006): Har aluminiumsindustrien en framtid i Norge? Fafo-rapport 539
- Hoel, M. (1992), "International environmental conventions: the case of uniform reductions of emissions", *Environmental & Resource Economics*, 2 (2), p. 141-159
- Hepburn, C., J. K.-H. Quah and R. A. Ritz (2006): Emissions trading and profit-neutral grandfathering, University of Oxford Discussion Paper Series
- Hoel, M., M. Greaker, C. Grorud, I. Rasmussen (2009), "Climate Policy: Costs and Design" Rapport utarbeidet for Nordisk Ministerråd
- IPCC (2007): Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change
- Johnstone. N. (1996): The structural characteristics of the pulp and paper sector: Economic and environmental implications, Iied world business council for sustainable development
- Karp, L. (2010): Reflections on carbon leakage, Department of Agricultural and Resource Economics, University of California, and the Ragnar Frisch Center for Economic Research, *Paper in progress*
- Kaski, K. E., T. S. Halsør, F. H. Bø Nesje og M. Gjerset (2011): En grønn industri er Norges fremtid, virkemidler for klimatiltak i industrien, ZERO – Zero Emission Resource Organisation
- Kuik, O. and R. Gerlagh (2003): Trade liberalization and carbon leakage. *The Energy Journal*, 24(3), pp. 97-120
- Lord, R. A. and R. K. Farr (2003): Collusion and financial leverage: an analysis of the integrated mill steel industry, *Financial Management*, Spring, 127-48
- Mattoo, A., A. Subramanian, D. van der Mensbrugghe and J. He (2009): Reconciling Climate Change and Trade Policy, The World Bank Policy Research Working Paper, 5123
- Paltsev, S. (2001): The Kyoto Protocol: Regional and Sectoral Contributions to the Carbon Leakage, *Energy Journal*, 22(4), 53-79
- Pesendorfer, W. (2000): Horizontal mergers in the paper industry, *RAND Journal of Economics*, 34, 495-515
- Ponssard, J.-P. and N. Walker (2008): EU Emission Trading and the Cement Sector: A Spatial Competition Analysis, University College Dublin and Ecole Polytechnique, Paris, March
- Reinaud, J. (2005): Industrial competitiveness under the European Union Emissions Trading Scheme. International Energy Agency, 92
- Reinaud, J., (2008): 'Climate Policy and Carbon Leakage – Impacts of the European Emissions Trading Scheme on Aluminium', IEA Information Paper, IEA/OECD Paris.
- Reinaud, J. (2009): Trade, competitiveness and carbon leakage: challenges and opportunities, Energy, Environmental and Development Programme Paper: 09/01
- Rosendahl og Storrøsten (2008): Tildeling av gratis klimavoter, *Samfunnsøkonomen* 9, 20-27
- Sijm, J.P.M., O.J. Kuik, M. Patel, V. Oikonomou, E. Worrell, P. Lako, E. Annevelink, G.J. Nabuurs, and H.W. Elbersen (2004): Spillovers of climate policy: An assessment of the incidence of carbon leakage and induced technological change due to CO₂ abatement measures. ECN, Netherlands
- Smale, R., M. Hartley, C. Hepburn, J. Ward and M. Grubb (2006): The impact of CO₂ emissions trading on firms profits and market prices, *Climate Policy* 6, 31-48
- Szabo, L., I. Hidalgo, J.C. Ciscar, and A. Soria (2006): CO₂ emission trading within the European Union and Annex B countries: the cement industry case. *Energy Policy*, 34(1), pp. 72-87
- Tang, X., S. Kant, S. Laaksonen-Craig and E. R. Asinas (2008): Measuring the competitiveness of Canadian pulp and paper in the US market reveals needs for more research, *Can. J. For. Res.* 38, 2951-2964
- Thema Consulting og Vista Analyse (2011): Karbonpriskompensasjon, Thema Rapport 18

7 Vedlegg

7.1 Vedlegg 1: Utledning av karbonlekkasjerater

Utledning av 3.2

Vi ser først på verden som helhet. Vi antar følgende om miljøkostnadsfunksjonen:

$$(A.1) \quad M(x) = m_0 x + \frac{m}{2} x^2$$

som gir følgende lineære marginale miljøkostnader:

$$(A.2) \quad v(x) \equiv M'(x) = m_0 + mx$$

Kostnaden knyttet til reduserte utslipp er

$$(A.3) \quad C(x^0 - x) = \frac{c}{2} \cdot (x^0 - x)^2$$

som gir følgende lineære marginalkostnader for utslippsreduksjoner

$$(A.3) \quad -C'(x^0 - x) = c \cdot (x^0 - x)$$

Fra avsnitt 5.1 vet vi at optimum for verden er utslipp lik x^* hvor

$$(A.4) \quad c \cdot (x^0 - x^*) = m_0 + mx^*$$

Vi vil nå dele verden inn to grupper, et lite land A og resten av verden (B). Vi gjør dette på en måte som gjør at

- det globale optimum for samlede utslipp er upåvirket av inndelingen
- den globalt optimale utslippsreduksjonen i prosent av utslipp uten tiltak er lik for de to landene

Miljøkostnadsfunksjonen er upåvirket av inndelingen av verden i to land. Men vi må spesifisere kostnadsfunksjonen for hvert land. Vi gjør dette som følger:

$$(A.5) \quad C_A(\beta x^0 - x) = \frac{c}{2\beta} \cdot (\beta x^0 - x)^2$$

for land A, og

$$(A.6) \quad C_B((1-\beta)x^0 - x) = \frac{c}{2(1-\beta)} \cdot ((1-\beta)x^0 - x)^2$$

for resten av verden. Her er βx^0 BaU-utslippene i land A og $(1-\beta)x^0$ BaU-utslippene i resten av verden.

De tilhørende marginalkostnadsfunksjonene er lineære:

$$(A.7) \quad -C_A'(x^0 - x_A) = c \cdot (x^0 - \frac{x_A}{\beta})$$

$$(A.8) \quad -C_B'(x^0 - x_B) = c \cdot (x^0 - \frac{x_B}{1-\beta})$$

I et globalt optimum vil utslippene være bestemt slik at disse marginalkostnadene er like i de to landene, og begge like med de marginale miljøkostnadene gitt ved (A.2):

$$(A.9) \quad \begin{aligned} c \cdot (x^0 - \frac{x_A}{\beta}) &= m_0 + m \cdot (x_A + x_B) \\ c \cdot (x^0 - \frac{x_B}{1-\beta}) &= m_0 + m \cdot (x_A + x_B) \end{aligned}$$

Multipliserer vi disse to ligningene med hhv β og $1-\beta$ og summerer får vi

$$A10 \quad c(x^0 - (x_A + x_B)) = m_0 + m(x_A + x_B)$$

Sammenligner vi med A4 ser vi at vi får $x_S + x_R = x^*$, uavhengig av β . Fra (A.9) ser vi også at

$$\frac{x_A}{\beta} = \frac{x_B}{1-\beta} \quad \text{eller} \quad \frac{x_A}{x_B} = \frac{\beta}{1-\beta}$$

Forholdet mellom utslippene i det globale optimum er altså likt med forholdet under BaU.

Anta nå at det ikke er noen internasjonal avtale, og at resten av verden velger utslipp slik at deres marginalkostnader av utslippsreduksjoner er lik α . Dette gir

$$(A.11) \quad c \cdot (x^0 - \frac{x_B}{1-\beta}) = \alpha [m_0 + m \cdot (x_A + x_B)]$$

Denne ligningen forteller oss hvordan utslippene i resten av verden (x_B) avhenger av utslippene i land A (x_A). Løser vi ligningen mhp x_B og deriverer mhp x_A finner vi

$$(A.12) \quad L_1 = -\frac{dx_B}{dx_A} = \frac{\alpha(1-\beta)m}{\alpha(1-\beta)m + c}$$

Utleddning av 3.5

Fra likevektbetingelsen $S(p) = (1-\beta)D(p) + \beta D(p+t)$ følger det umiddelbart (når $t=0$ initialt) at utslippsreduksjonen i land A (målt positivt) er

$$-\frac{d}{dt}[\beta D(p+t)] = -\frac{d}{dt}[S(p) - (1-\beta)D(p)] = [(1-\beta)D' - S'] \frac{dp}{dt}$$

Utslippsøkningen i land B er

$$\frac{d}{dt}[(1-\beta)D(p)] = [(1-\beta)D'] \frac{dp}{dt}$$

Karbonlekkasjeraten L_2 er forholdet mellom det siste og det første tallet, dvs

$$L_2 = \frac{(1-\beta)D'}{(1-\beta)D' - S'}$$

Etterspørselsetastisiteten målt positivt er definert som $\delta = -D' \frac{p}{D}$ og tilbudselasititeten er

definert som $\sigma = -S' \frac{p}{S}$. Siden $S = D$ kan derfor uttrykket over omskrives til

$$L_2 = \frac{(1-\beta)\delta}{\sigma + (1-\beta)\delta}$$

Utleddning av 3.7

Fra likevektbetingelsen $(1-\alpha)\beta S(p) + (1-\beta)S(p) = D(p)$ følger det umiddelbart (når $\alpha=0$ initialt) at den reduserte utvinningen i land A (målt positivt) er

$$-\frac{d}{d\alpha}[(1-\alpha)\beta S(p)] = -\frac{d}{d\alpha}[D(p) - (1-\beta)S(p)] = [D' - (1-\beta)S'] \frac{dp}{d\alpha}$$

Den økte utvinningen i land B er

$$\frac{d}{d\alpha}[(1-\beta)S(p)] = [(1-\beta)S'] \frac{dp}{d\alpha}$$

Utvinningslekkasjen L_3 er forholdet mellom det siste og det første tallet, dvs

$$L_3 = \frac{(1-\beta)S'}{(1-\beta)S' - D'}$$

Etterspørselstetnisiteten målt positivt er definert som $\delta = -D' \frac{p}{D}$ og tilbudsstetnisiteten er

definert som $\sigma = -S' \frac{p}{S}$. Siden $S = D$ kan derfor uttrykket over omskrives til

$$L_3 = \frac{(1-\beta)\sigma}{(1-\beta)\sigma + \delta}$$

Utleddning av 3.9

Fra likevektstetniselsen $\beta S(p, c) + (1-\beta)S(p, c^0) = D(p)$ følger det umiddelbart (når $\alpha=0$ initialt) at den reduserte utvinningen i land A (målt positivt) er

$$-\frac{d}{dc}[\beta S(p, c)] = -\frac{d}{dc}[D(p) - (1-\beta)S(p, c^0)] = -[D' - (1-\beta)S_p] \frac{dp}{dc}$$

Den økte utvinningen i land B er

$$\frac{d}{dc}[(1-\beta)S(p, c^0)] = [(1-\beta)S_p] \frac{dp}{dc}$$

Utvinningslekkasjen L_4 er forholdet mellom det siste og det første tallet, dvs

$$L_4 = \frac{(1-\beta)S_p}{(1-\beta)S_p - D'}$$

Etterspørselstetnisiteten målt positivt er definert som $\delta = -D' \frac{p}{D}$ og tilbudsstetnisiteten er

definert som $\sigma = -S_p \frac{p}{S}$. Siden $S = D$ kan derfor uttrykket over omskrives til

$$L_4 = \frac{(1-\beta)\sigma}{(1-\beta)\sigma + \delta}$$

Utleddning av 3.10

I tillegg til tilbuds- og etterspørselstetnisiteten er det nå nyttig å definere ytterligere to elastisiteter (begge målt positivt):

$$(A.13) \quad \gamma = -S_c \frac{c}{S}$$

$$\lambda = -\xi' \frac{c}{\xi} = -\xi' c$$

Hvor siste likhet gjelder for $c=c^0$. Elastisiteten γ sier med hvor mange prosent produksjonen går ned når energikostnaden c øker med 1 prosent, mens elastisiteten λ sier med hvor mange prosent utslipp per enhet produksjon går ned når energikostnaden c øker med 1 prosent. Fra definisjon av μ vet vi at

$$(A.14) \quad \mu = \frac{\lambda}{\gamma}$$

Fra likevektbetingelsen

$$\beta S(p, c) + (1 - \beta) S(p, c^0) = D(p)$$

Er det rett frem å finne

$$\frac{dp}{dc} = \frac{-\beta S_c}{S_p - D'} = \beta \frac{p}{c} \frac{\gamma}{\sigma + \delta}$$

Hvor vi har brukt definisjonen av de tre elastisitetene σ, δ, γ .

Se på et lite land A og resten av verden B. Utslippene knyttet til et bestemt konkurranseutsatt produkt er hhv

$$u^B = H(1 - \beta) S(p, c^0)$$

$$u^A = hH \xi(c) \beta S(p, c)$$

Uten noen utslippsreducerende tiltak er totalt tilbud lik $S(p, c^0)$. Land A antas å stå for en andel β av dette tilbudet, og land A innfører klimatiltak som gir dette landet en høyere pris c på fossil energi. I resten av verden er utslippet lik H per produsert enhet, mens utslippet per produsert enhet i land A før tiltaket er hH . Her kan h være lik, mindre enn eller større enn 1. Funksjonen $\xi(c)$ sier hvor mye utslipp per produsert enhet blir redusert i land A som følge av tiltaket. Vi antar $\xi(c^0) = 1$ og $\xi'(c) < 0$.

Raten for karbonlekkasje, L_5 , er som før definert som utslippsøkningen i resten av verden dividert med utslippsreduksjonen i land A:

$$L_5 = \frac{\frac{du^B}{dc}}{\frac{du^A}{dc}}$$

Fra ligningene over følger det at (når $c=0$ initialt)

$$\frac{du^B}{dc} = H(1-\beta)S_p \frac{dp}{dc}$$

$$-\frac{du^A}{dc} = -hH \left[(D' - (1-\beta)S_p) \frac{dp}{dc} + \beta S \xi' \right]$$

slik at

$$L_5 = \frac{1}{h} \frac{S_p \frac{dp}{dc}}{((1-\beta)S_p - D') \frac{dp}{dc} - \beta S \xi'}$$

Vi setter inn for våre uttrykk for $\frac{dp}{dc}$ og ξ' og de relevante elastisitetene og finner etter litt regning at

$$L_5 = \frac{1}{h} \frac{\sigma \gamma}{((1-\beta)\sigma + \delta) \gamma + \lambda(\sigma + \delta)} = \frac{1}{h} \frac{\sigma}{(1-\beta)\sigma + \delta + \mu(\sigma + \delta)}$$

som er identisk med (3.10).

7.2 Vedlegg 2: Nærmere om tilbudselasticiteten og parameteren μ

Anta en produktfunksjon

$$X = F(E, v, K)$$

med de tre innsatsfaktorene E lik energi (egentlig bruk av fossile brensler), v lik andre variable innsatsfaktorer og K faste innsatsfaktorer. Inndelingen i v og K vil avhenge av tidsperspektivet: Jo lengre tidsperspektiv jo flere faktorer vil inngå i v og jo færre vil inngå i K . Når alle innsatsfaktorene er spesifisert er det rimelig å anta at skalarelastisiteten er lik 1, noe vi antar i det følgende.

Maksimering av overskuddet $pX - cE - qv$ gir

$$pF_E(E, v, K) = c$$

(B.1)

$$pF_v(E, v, K) = q$$

Disse tilpasningsbetingelsene bestemmer tilbudet og etterspørselen etter variable innsatsfaktorer:

$$X = X(p, c, q, K)$$

$$E = E(p, c, q, K)$$

$$v = v(p, c, q, K)$$

Tilbudselasticiteten σ som ble brukt i vedlegg 1 er definert som

$$\sigma = X_p \frac{p}{X}$$

og er positiv.

Elastisitetene γ og λ definert ved (A.12) er

$$\gamma = -X_c \frac{c}{p}$$

$$\lambda = -El_c \left(\frac{E}{X} \right) = -E_c \frac{c}{E} + X_c \frac{c}{X}$$

slik at

$$\mu = \frac{\lambda}{\gamma} = \frac{-E_c \frac{c}{E} - \gamma}{\gamma} = \frac{-E_c \frac{c}{E}}{\gamma} - 1$$

Når energikostnadene c øker, vil energibuken gå ned prosentvis mer enn produksjonen. Dette innebærer at $-E_c \frac{c}{E} > \gamma$, slik at μ er positiv.

Selv om σ og μ begge er egenskaper til produksjonsteknologien, er det ikke noen enkel sammenhang mellom dem. Vi viser under at vi kan ha en "stor" verdi på σ mens μ er lik eller nær null, og også at vi kan ha σ lik eller nær null mens μ er "stor".

Anta at produktfunksjonen har egenskaper som gjør at den kan skrives som

$$F(E, v, K) = \Phi(E, \phi(v, K))$$

Her kan vi ha gode substitusjonsmuligheter mellom de to faktorene som inngår i ϕ , mens det er liten mulighet for å substituere mellom E og ϕ . Et grensetilfelle er når E og ϕ må stå i et fast forhold, da vil E og ϕ også være proporsjonale med X , slik at $E = \omega X$. Overskuddet er da $(p - \omega c)X - qv$; maksimering av dette gir $v = v(p - \omega c, q, K)$ og $X = X(p - \omega c, q, K)$. Her er det ingenting i veien for at X kan være svært følsom for endringer i $p - \omega c$, slik at tilbudselasticiteten σ er stor. Imidlertid er $E = \omega X$ uansett hva prisene er, slik at $\lambda = \mu = 0$.

Anta alternativt at produktfunksjonen har egenskaper som gjør at den kan skrives som

$$F(E, v, K) = \Phi(\phi(E, v), K)$$

Her kan vi ha gode substitusjonsmuligheter mellom de to faktorene som inngår i ϕ , dvs mellom E og v , mens det er liten mulighet for å substituere mellom ϕ og K . Et grensetilfelle er når ϕ og K må stå i et fast forhold, da vil ϕ og K også være proporsjonale med X . Men siden K er gitt, er dermed produksjonen også gitt, og $\sigma = \gamma = 0$. For gitt produksjon maksimeres overskuddet ved å minimere kostnadene $cE + qv$ for den gitte verdien av $\phi(E, v)$. Dette gir verdier av E og v som vil avhenge av prisen c så sant det er substitusjonsmuligheter mellom E og v . Dette innebærer at $\lambda > 0$, slik at μ blir "uendelig" stor.

En symmetrisk CES produktfunksjon

I resten av dette vedlaget skal vi se nærmere på tilfellet hvor det er like substitusjonsmuligheter mellom alle de tre innsatsfaktorene E , v og K . For å belyse dette ser vi på følgende CES (constant elasticity of substitution) produktfunksjon:

$$(B.2) \quad X = [aE^z + bv^z + fK^z]^{\frac{1}{z}}$$

hvor $z < 1$ og $z \neq 1$ ($z = 1$ svarer til Cobb Douglas tilfellet). Dette er en CES funksjon med substitusjonselasticitet lik

$$(B.3) \quad s = \frac{1}{1 - z}$$

(se under). Når tidsperspektivet forlenges, øker b mens f går tilsvarende ned (se under).

Kall hakeparentsen i (B.2) H . Maksimering av overskuddet $pX - cE - qv$ gir

$$pH^{\frac{1}{z}-1} aE^{z-1} = c$$

(B.4)

$$pH^{\frac{1}{z}-1} bv^{z-1} = q$$

som innbærer

$$\frac{a}{b} \left(\frac{v}{E} \right)^{1-z} = \frac{c}{q}$$

eller

$$v = \left(\frac{b}{aq} \right)^{-s} c^s E$$

hvor s er definert ved (B.3). Dersom c går opp med 1% går altså E/v ned med $s\%$.

Vi holder q fast i hele analysen. Da har vi følgende sammenheng mellom relative endringer:

$$(B.5) \quad \hat{v} = \sigma \hat{c} + \hat{E}$$

Vi velger måleenheter slik at i den opprinnelige likevekten (opprinnelig c og p) er $X = E = v = K = 1$. Da er også $H = 1$ og $a + b + f = 1$. Videre følger det fra (B.4) at

$$a = \frac{c}{p} = \frac{cE}{pX}$$

$$b = \frac{q}{p} = \frac{qv}{pX}$$

som har rett frem tolkninger.

Etterspørselastisiteter

Elastisiteter er forholdet mellom relative endringer. Vi ser derfor på den relative endringen i E når c eller p endres. Fra (B.4) har vi

$$\hat{p} + \left(\frac{1}{z} - 1 \right) \hat{H} + (z-1) \hat{E} = \hat{c}$$

Fra definisjonen av H samt (B.5) og våre valg av måleenheter følger det at

$$\hat{H} = az\hat{E} + bz(s\hat{c} + \hat{E})$$

Disse to ligningene gir etter litt regning at (når vi bruker (B.3))

$$(B.6) \quad \hat{E} = \frac{s}{f} [\hat{p} - (1-b)\hat{c}]$$

Elastisitetene til etterspørselsfunksjonen $E(p, c, q, K)$ er altså

$$(B.7) \quad E_p \frac{p}{E} = \frac{s}{f}$$

$$(B.8) \quad E_c \frac{c}{E} = -\frac{s}{f}(1-b)$$

Tilbudselastisiteter

Fra produktfunksjonen og uttrykket for H følger det at

$$\hat{X} = \frac{1}{\gamma} \left[a\hat{z}\hat{E} + b\hat{z}(s\hat{c} + \hat{E}) \right]$$

som sammen med (B.6) gir

$$\hat{X} = \frac{s}{f} [(a+b)\hat{p} - a\hat{c}]$$

Elastisitetene til tilbudssfunksjonen $X(p, c, q, K)$ er altså

$$(B.9) \quad X_p \frac{p}{E} = \frac{s}{f}(a+b)$$

$$(B.10) \quad X_c \frac{c}{E} = -\frac{s}{f}a$$

Parameterene i vår analyse av karbonlekkasje

I vår tidligere analyse inngår parameterene σ , γ og λ . Sammenhengen mellom elastisitetene over er følgende:

$$\sigma = X_p \frac{p}{E} = \frac{s}{f}(a+b)$$

$$\gamma = -X_c \frac{c}{E} = \frac{s}{f}a$$

$$\lambda = -El_c \left(\frac{E}{X} \right) = -E_c \frac{c}{E} + X_c \frac{c}{X} = s$$

Endelig er

$$\mu = \frac{\lambda}{\gamma} = \frac{s}{\frac{s}{f}a} = \frac{f}{a}$$

Kort versus lang sikt

På lang sikt er som argumentert innledningsvis f større og b mindre enn på kort sikt. Det er trolig også rimelig å regne med at substitusjonselastisiteten s er større på lang sikt enn på kort sikt. Alt dette trekker entydig i retning av at tilbudselastisiteten σ er større på lang sikt

enn på kort sikt. Siden f er mindre på lang sikt enn på kort sikt er μ med den symmetriske CES-funksjonen mindre på lang sikt enn på kort sikt. Raten for karbonlekkasje, L_5 gitt ved (3.10), er stigende i σ og avtagende i μ . Det følger av dette at forholdene på tilbudssiden trekker i retning av at raten for karbonlekkasje blir høyere på lang sikt enn på kort sikt. Ettersørselastisiteten for produktet må imidlertid også regnes større på lang sikt enn på kort sikt, noe som trekker i retning av lavere karbonlekkasje på lang sikt enn på kort sikt (siden L_5 er avtagende i δ).

7.3 Vedlegg 3: Lekkasjestudier

Kilde: Karp (2010):

Generelle likevektsmodeller

Paper	Model	Key Assumptions	Emissions Policy	Estimated Leakage
Mattoo et al., 2009	Environmental Impact and Sustainability Applied General Equilibrium (ENVISAGE) Model: Dynamic CGE model calibrated to 2004 GTAP data, with 15 countries/regions, 21 sectors, and 6 types of electricity generation (coal, oil, gas, hydro, nuclear, other)	Production functions have constant elasticity of substitution; greater substitution across inputs in the long run than in the short run; demand allocated between domestic production and imports	17% reduction in emissions in high income countries relative to 2005 levels by 2020; no emissions reductions in low and middle income countries	Low and middle income country emissions increase by 1.0% relative to BAU, which implies a leakage rate of approximately 3.5%
Burniaux and Oliveira Martins, 2010	Stochastic approach: Latin Hypercube Sampling procedure over range of key parameter values plugged into reduced form model		28% reduction in Annex I country emissions relative to BAU by 2020 (or 17% reduction relative to 2005)	Mean "rate" of 11% with SD of 5%; 94% of sample between 0% and 20%
Babiker, 2005	Simplified static GE model (calibrated to GREEN) with two regions, multiple goods, three energy inputs (coal, oil, and carbon free)	Coal and oil tradeable, coal differentiated but oil homogeneous; carbon-free energy is non-tradeable; consumption good is differentiated by region of origin; production is specified by nested-constant elasticity of substitution functions	Kyoto Protocol	"If one assumes an elastic supply of coal, the leakage rates would tend to be small for a large configuration of other parameters' values." However, for coal supply elasticities <2, leakage >20%, and for elasticity=1, leakage can reach 40%.
Fischer and Fox, 2009 (Combining Rebates with Carbon Taxes)	Static CGE model with seven regions, five energy goods, and two non-energy composites (energy-intensive and non-energy-intensive)	Various Armington assumptions; production either CRTS or IRTS	Kyoto Protocol	25% --135%
McKibbin and Wilcoxon, 2009	Multisector, multiregion, static CGE model from GTAP	Standard Armington structure where elasticity of substitution between domestic and foreign composite is set to one half of that between foreign varieties (estimated econometrically)	\$50/ton C (approx equal to \$14/ton CO2) applied in the US to the six major energy-intensive sectors	14.2% overall, 12.8% for the covered sector, 27.4% for energy-intensive manufacturing
	G-Cubed: Intertemporal GE model with 10 regions, divided into household, govt, and financial sectors, 12 industries, and a capital-goods producing sector; parameterized econometrically	Each industry modeled by stock market value maximizing representative producer facing exogenous prices; goods are differentiated by region, each region may import any good from any other region	\$20/ton C rising by \$0.50 each year up to \$40/ton C adopted in Europe	10% in 2010

Paper	Model	Key Assumptions	Emissions Policy	Estimated Leakage
Fischer and Fox, 2009 (BTAs vs Rebates)	Two country, two good, partial equilibrium model, parameterized using simulations from full blown CGE model		\$50/ton C applied unilaterally in the US to certain carbon intensive industries	8% in electricity and 11% in paper and pulp, to 60% in iron and steel and 64% in oil; most of the leakage is due to energy price changes (3%, 2%, 14%, and 57% respectively are leakage rates attributable to production changes)
Ritz, 2009	Multi-country partial equilibrium model of steel industry, parameterized using estimates based on previous literature	Profit-maximizing firms produce a homogeneous good and face downward sloping demand; equilibrium is Cournot-Nash	EUR20/ton CO2 in EU	8.8-75.0% in cold-rolled sheet steel industry
Demailly and Quirion, 2008	Two region partial equilibrium model of iron and steel industry, parameterized using estimates from the literature	Profit-maximizing firms that equalize marginal abatement cost with emissions price; marginal cost increase pass through rate higher to domestic market than export market	EU ETS, under which the expected CO2 price is EUR20/ton CO2	5% in basic iron and steel industry in the central scenario; range of 0.5%-25% across range of parameters considered in sensitivity analysis
Ponssard and Walker, 2008	Partial equilibrium model of N firms in cement industry interacting in coastal and inland markets, calibrated to reference data	Markets characterized by oligopolistic competition and Cournot-Nash equilibrium; plants are capacity constrained	EU ETS, with emissions prices of EUR20 or EUR50/tonne CO2	70% at EUR20 and 73% at EUR50, decreasing with slightly higher price elasticity of demand to 56% at EUR20 and 67% at EUR50

Kilde: Dröge (2009)

Lekkasjer under Kyoto-protokollen, utvalgte makroøkonomiske studier

Author	Model*	Leakage Rate	Features
Babiker 2001	MIT-EPPA	14% average	Leakage largely unaffected by the degree of international capital mobility.
Babiker 2005	MIT-EPPA	25-130%	Dynamic model, oligopolistic competition. Increasing global emissions (130% leakage): increasing returns to scale, Heckscher-Ohlin model (homogenous goods). Most leakage to China, India and other Asian economies.
Bernstein et al. 1999	MS-MRT	8-20%	Based on GTAP data
Bollen et al. 2000	WorldScan	17%	
Burniaux/Oliveira Martins 2000	OECD GREEN	2.1-22.9%	Depending on the chosen supply elasticity of coal and on the assumption if permit trading is allowed.
Burniaux/Truong 2002	GTAP-E	4%	
Gerlagh/Kuik 2007	GTAP-E	14%	Includes diffusion of technological change
Kuik/Gerlagh 2003	GTAP-E	16%	Import tariff reductions further increase the leakage rate. Main reason for leakage is the reduction in world energy prices.
Light et al. 1999	Light	20/21%	Depending on the homogeneity of coal
Manne/Richels 1999	MERGE	20%	
McKibbin et al. 1999	G-Cuped	6%	
Paltsev 2000	GTAP-EG	10.5%	Static model. Main contributors are the chemical industr and the iron and steel industry. The leakage rate has a sensitivity range of 5-15% depending on the calibration of the model.

Vista Analyse AS

er et samfunnsfaglig analyseselskap, i sin helhet eiet av medarbeiderne. Våre medarbeidere har bred kompetanse fra forskning, utredning, rådgiving og konsulentvirksomhet innen blant annet klima, miljø, energi, samferdsel, næringspolitikk, næringslivsanalyser, konkurransepolitikk, kommuneøkonomi og organisering av offentligvirksomhet.

Vi leverer faglige råd og utredninger i samspill med oppdragsgivers egne ressurser. Ved behov benytter vi et velutviklet nettverk med selskaper og ressurspersoner nasjonalt og internasjonalt.

Vista Analyse AS
Meltzersgate 4
0257 Oslo

Tlf: +47 40 00 63 02
vista-analyse.no