



Makroøkonomiske analyser innen miljøområdet

Makroøkonomiske analyser innen miljøområdet

TemaNord 2007:557

© Nordisk Ministerråd, København 2007

ISBN 978-92-893-1537-1

Trykk: Ekspresen Tryk & Kopicenter

Trykt på miljøvennlig papir som oppfyller kravene i den nordiske miljøsvanemerkeordning. Publikasjonen kan bestilles på www.norden.org/order. Flere publikasjoner på www.norden.org/publikationer

Printed in Denmark

Nordisk Ministerråd

Store Strandstræde 18
1255 Copenhagen K
Telefon (+45) 3396 0200
Fax (+45) 3396 0202

Nordisk Råd

Store Strandstræde 18
1255 Copenhagen K
Telefon (+45) 3396 0400
Fax (+45) 3311 1870

www.norden.org

Det nordiske samarbeidet

Det nordiske samarbeid er en av verdens mest omfattende regionale samarbeidsformer. Samarbeidet omfatter Danmark, Finland, Island, Norge og Sverige, samt de selvstyrende områdene Færøyene, Grønland og Åland.

Det nordiske samarbeid er både politisk, økonomisk og kulturelt forankret, og er en viktig medspiller i det europeiske og internasjonale samarbeid. Det nordiske fellesskap arbeider for et sterkt Norden i et sterkt Europa.

Det nordiske samarbeid ønsker å styrke nordiske og regionale interesser og verdier i en global omverden. Felles verdier landene imellom er med til å styrke Nordens posisjon som en av verdens mest innovative og konkurransekraftige regioner.

Innhold

Forord.....	9
Sammendrag.....	11
1. Innledning.....	15
1.1. Analyser og modeller.....	15
1.2. Klassifisering av analyser.....	16
1.2.1. Geografisk dekning.....	16
1.2.2. Typer av miljøutslipp som dekkes.....	17
1.2.3. Typer av kostnader som analysen omfatter.....	17
1.2.4. Tidsperspektiv og tidshorison.....	17
1.2.5. Modellering av økonomiens produksjonsside.....	18
1.2.6. Kilde for numeriske anslag.....	19
1.2.7. Optimalisering versus simulering.....	19
2. Globale analyser.....	21
2.1. Innledning.....	21
2.2. DICE/RICE modellene.....	21
2.2.1. Geografisk dekning.....	21
2.2.2. Typer av miljøutslipp som dekkes.....	22
2.2.3. Typer av kostnader som analysen omfatter.....	22
2.2.4. Tidsperspektiv og tidshorison.....	22
2.2.5. Modellering av økonomiens produksjonsside.....	22
2.2.6. Kilde for numeriske anslag.....	23
2.2.7. Optimalisering versus simulering.....	23
2.2.8. Spesielle egenskaper utover de som er diskutert over.....	24
2.2.9. Viktigste problemstillinger og resultater.....	24
2.3. Vurdering av klimapolitikk i ENTICE-BR modellen.....	25
2.3.1. Geografisk dekning.....	26
2.3.2. Typer miljøutslipp som dekkes.....	26
2.3.3. Typer kostnader som analysen omfatter.....	26
2.3.4. Tidsperspektiv og tidshorison.....	26
2.3.5. Modellering av økonomiens produksjonsside.....	26
2.3.6. Kilde for numeriske anslag.....	27
2.3.7. Optimalisering versus simulering.....	27
2.3.8. Spesielle egenskaper ut over de som er diskutert over.....	27
2.3.9. Viktige problemstillinger og resultater.....	28
2.4. Stern-rapporten.....	29
2.4.1. Geografisk dekning.....	30
2.4.2. Typer av miljøutslipp som dekkes.....	30
2.4.3. Typer av kostnader som analysen omfatter.....	30
2.4.4. Tidsperspektiv og tidshorison.....	30
2.4.5. Modellering av økonomiens produksjonsside.....	30
2.4.6. Kilde for numeriske anslag.....	31
2.4.7. Optimalisering versus simulering.....	31
2.4.8. Spesielle egenskaper utover de som er diskutert over.....	32
2.4.9. Viktigste problemstillinger og resultater.....	32
2.5. Kostnader for Kyoto-tilpasning; Betydningen av beregningsmodell, «EMF-16 scenarios».....	34
2.6. Endogenisering av teknologisk utvikling i makroanalyser, <i>Innovation Modeling Comparison Project (IMCP)</i>	35
2.6.1. Resultater.....	36

2.7 Betydningen av å inkludere flere drivhusgasser i makroanalyser, «EMF-21 study»	37
2.8 Hybride modeller	38
3. Europeiske analyser og modeller	39
3.1 Innledning	39
3.2 E3ME (Energy-Environment-Economy Model for Europe)	40
3.2.1 Geografisk dekning	40
3.2.2 Typer av miljøutslipp som dekkes	40
3.2.3 Typer av kostnader som analysen omfatter	40
3.2.4 Tidsperspektiv og tidshorisont	40
3.2.5 Modellering av økonomiens produksjonsside	40
3.2.6 Kilde for numeriske anslag	41
3.2.7 Optimalisering versus simulering	41
3.2.8 Viktigste problemstillinger og resultater	42
3.3 Analyse av effekten av helsegevinster ved hjelp av GEM-EG	43
3.3.1 Forskjellen mellom GEM-E3 og E3ME	43
3.3.2 Analyseresultat	43
3.4 Analyser basert på RAINS og GAINS modellene	43
3.4.1 Geografisk dekning	44
3.4.2 Typer av miljøutslipp som dekkes	44
3.4.3 Typer av kostnader som analysen omfatter	44
3.4.4 Tidsperspektiv og tidshorisont	45
3.4.5 Modellering av økonomiens produksjonsside	45
3.4.6 Kilde for numeriske anslag	45
3.4.7 Optimalisering versus simulering	46
3.4.8 Spesielle egenskaper utover de som er diskutert over	46
3.4.9 Problemstillinger og resultater	46
3.5 Fremskrivninger fra EU	47
4. Nasjonale analyser fra de nordiske landene	49
4.1 Innledning	49
4.2 Norske analyser – modeller og tradisjoner	50
4.3 Lavslippsutvalget: «Et klimavennlig Norge»	51
4.3.1 Geografisk dekning	51
4.3.2 Typer av miljøutslipp som dekkes	51
4.3.3 Typer av kostnader som analysen omfatter	51
4.3.4 Tidsperspektiv og tidshorisont	51
4.3.5 Modellering av økonomiens produksjonsside	52
4.3.6 Kilde for numeriske anslag	52
4.3.7 Optimalisering versus simulering	52
4.3.8 Viktigste problemstillinger og resultater	52
4.4 Vurdering av grønne skatter i Norge	54
4.5 Karbonlekkasjer studert ved hjelp av MSG	55
4.6 Svenske analyser – modeller og tradisjoner	55
4.7 Svenske analyser basert på EMEC-modellen	57
4.7.1 Geografisk dekning	57
4.7.2 Typer av miljøutslipp som dekkes	57
4.7.3 Typer av kostnader som analysen omfatter	57
4.7.4 Tidsperspektiv og tidshorisont	58
4.7.5 Modellering av økonomiens produksjonsside	58
4.7.6 Kilde for numeriske anslag	59
4.7.7 Optimalisering versus simulering	59
4.7.8 Spesielle egenskaper utover de som er diskutert over	60
4.7.9 Viktigste problemstillinger og resultater	60
4.8 Analyse av byrdefordelingsmål	63
4.9 Følsomhetsanalyse mht til endringer i verdensmarkedsprisene	63

4.10 Helseeffekter ved forbedret miljø.....	64
4.10.1 Andre analyser der EMEC er benyttet.....	64
4.11 Analyse av Sverige i en multi-Regional modell.....	64
4.11.1 Geografisk dekning.....	65
4.11.2 Typer av miljøutslipp som dekkes.....	65
4.11.3 Tidsperspektiv og tidshorisont.....	65
4.11.4 Modellering av økonomiens produksjonsside.....	65
4.11.5 Kilde for numeriske anslag.....	66
4.11.6 Optimalisering versus simulering.....	66
4.11.7 Viktigste problemstillinger og resultater.....	66
4.12 BNP-effekter av svensk klimapolitikk.....	67
4.13 Makroøkonomiske analyser fra Island.....	67
4.13.1 Geografisk dekning.....	68
4.13.2 Typer av miljøutslipp som dekkes.....	68
4.13.3 Typer av kostnader som analysen omfatter.....	68
4.13.4 Tidsperspektiv og tidshorisont.....	68
4.13.5 Modellering av økonomiens produksjonsside.....	68
4.13.6 Kilde for numeriske anslag.....	68
4.13.7 Referansealternativ og tre scenarier.....	69
4.14 Makroøkonomiske analyser fra Finland, EV-modellen.....	70
4.14.1 Geografisk dekning.....	70
4.14.2 Typer av miljøutslipp som dekkes.....	70
4.14.3 Typer av kostnader som analysen omfatter.....	70
4.14.4 Tidsperspektiv og tidshorisont.....	70
4.14.5 Modellering av økonomiens produksjonsside.....	71
4.14.6 Kilde for numeriske anslag.....	71
4.14.7 Optimalisering versus simulering.....	71
4.14.8 Spesielle egenskaper utover de som er diskutert over.....	72
Analyse av «Finnish Climate change Strategy».....	72
4.15 Analyse av EU's kvotehandelsdirektiv, konsekvenser for Finland.....	73
4.16 Analyse av samfunnsøkonomiske klimaeffekter i Finland.....	74
4.17 Danske analyser.....	75
4.17.1 Kort om modellene ADAM/EMMA.....	75
4.17.2 Viktige problemstillinger og resultater.....	77
4.18 Tiltakskostnader: Kostnadseffektiv opfyldelse af Danmarks reduktionsforpligtelse.....	78
Referanser og kilder.....	79
Executive Summary.....	83

Forord

Denne rapporten er resultatet av et prosjekt utført for miljø- og økonomigruppen under Nordisk Ministerråd. Formålet med prosjektet er å gi en oversikt over makroanalyser innenfor temaene klima- og langtransporterte luftforurensninger.

Når det gjelder analyser av klimaproblemet, er det en svært omfattende litteratur om analyser både for hele verden og for enkeltland og regioner. Den omfattende litteraturen finnes dels i akademiske tidsskrifter, og dels som rapporter og lignende fra ulike institusjoner. Det ville vært helt umulig – og heller ikke særlig fruktbart hvis det hadde vært mulig – å gi en fullstendig gjennomgang av litteraturen. Vi har i stedet sett på et begrenset utvalg av studier, som til sammen gir et rimelig godt bilde av den eksisterende litteraturen. Vi har sett på både generelle analyser for hele verden, og også spesielt på studier for de nordiske landene. Noen av studiene er ganske utførlig omtalt, mens andre er bare kort omtalt.

En takk til prosjektets referansegruppe for konstruktive innspill i arbeidsmøtet og på tidligere utkast til rapporten.

Oslo, juni 2007

Michael Hoel, Christian Grorud og Ingeborg Rasmussen
Vista Analyse AS

Sammendrag

Rapporten gir en oversikt over makroanalyser innenfor temaene klima- og langtransporterte luftforurensninger. Det er en stor litteratur innen dette feltet, særlig for klimaproblemet. For andre miljøproblemer er de fleste analysene forholdsvis mikroorientert, og kan dermed ikke sies å være «makroanalyser».

Når det gjelder analyser av klimaproblemet, er det en svært omfattende litteratur om analyser både for hele verden og for enkeltland og regioner. I rapporten ser vi på tre typer analyser: (1) analyser for hele verden, (2) analyser med fokus på EU/Europa, og (3) analyser med fokus på ett av de nordiske landene. Vi har sett på et begrenset utvalg av studier, som til sammen gir et rimelig godt bilde av den eksisterende litteraturen.

Når det gjelder analyser for hele verden, er typiske kjennetegn følgende:

- a) de fokuserer i hovedsak på klimagasser, og særlig på CO₂
- b) mange av studiene gir en analyse av optimal avveining mellom kostnader knyttet til klimaendringer og tiltak for å begrense utslipp, og munner således ut i en optimal utvikling av klimagassutslipp
- c) de fleste analysene beregner hvor stor prisen på utslipp må være (avgift eller kvotepris) for å oppnå enten den optimale utslippsbanen eller et annet utslippsmål
- d) mange av analysene beregner hvor mye det vil koste (i form av tapt BNP eller lignende) å oppnå den optimale utslippsbanen eller et annet utslippsmål

Spørsmålet om hva som er optimale utslipp (dvs. b over) avhenger både av kostnadene knyttet til klimaendringer og kostnadene knyttet til tiltak for å redusere utslipp. I tillegg er det svært viktig hvordan kostnader i fjern fremtid (2050 og senere) verdsettes i forhold til kostnader i dag og i nær fremtid. Normalt brukes kalkulasjonsrenter på 3–6 % i slike dynamiske nyttekostnadsanalyser. Med en såpass høy diskonteringsrente er et typisk resultat at de optimale klimagassutslippene ikke er vesentlig lavere enn de som følger uten spesielle tiltak. F.eks. gir analysene med utgangspunkt i RICE-modellen¹ et optimalt forløp av klimagasser som reduserer den globale oppvarmingen i tiden etter 2100 med 0,2 grader i forhold til utviklingen uten tiltak. Med en slik beskjeden reduksjon av klimagassutslipp er også den nødvendige prisen på CO₂-utslipp lav; i RICE analysen noen få dollar initialt og stigende til 23 dollar per tonn CO₂ i 2100.

¹ W.D. Nordhaus and J. Boyer: Warming the World – Economic Models of Global Warming. The MIT Press, Cambridge, Mass, 2000.

En viktig analyse er Stern-rapporten². Den bruker en betydelig lavere diskonteringsrente enn det som typisk ellers blir brukt (1,4 %). Selv om det ikke utføres noen formell optimalisering, konkluderes det med at optimal klimagassutvikling bør stabilisere klimagassene i atmosfæren til ca 450 ppm. CO₂, som med tillegg av andre klimagasser gir ca 500–550 ppm. CO₂-ekvivalenter. Både i Stern-rapporten og i andre analyser konkluderes det med at den nødvendige prisen på CO₂-utslipp for å oppnå stabilisering på 450 ppm. er klart under 40 dollar per tonn CO₂ i dag (i noen studier ned mot 10 dollar) og stigende over tid, i flere studier til 40–60 dollar i 2050.

Mange av analysene beregner kostnader av tiltak for å redusere utslipp, både til et optimalt utslippsnivå og til et nivå som gir stabilisering på f.eks. 450 ppm.. Det er betydelige forskjeller i detaljene i modellene som brukes i de ulike analysene. Til tross for dette er de beregnede kostnadene for de fleste av analysene av noenlunde samme størrelsesorden. Stern-rapporten konkluderer med at stabilisering på ca 550 ppm. CO₂-ekvivalenter trolig vil koste i størrelsesorden 1 % av verdens BNP i 2050, men med betydelig usikkerhet (en kostnad over 3 % av BNP kan ikke utelukkes). Tall i denne størrelsesordenen går igjen i mange av analysene. Et viktig poeng er at disse tallene beskriver kostnadene av en globalt kostnadseffektiv fordeling av utslippsreduksjoner. Med andre fordelinger av utslippsreduksjoner mellom land kan kostnadene blir betydelig høyere.

De analysene med fokus på EU/Europa som vi har sett på skiller seg fra de globale analysene særlig når det gjelder punktene a) og b):

- analysene har mer fokus også på andre miljøutslipp enn klimagasser (bl.a. SO₂, Nox, VOC og PM10)
- de fleste av analysene har ingen beregning av optimale utslipp, men ser på kostnader av tiltak og fordelinger av utslipp mellom land for å nå bestemte mål (f.eks. Kyoto-målet)
- analysen er ikke så langsiktige som de globale analysene, og går typisk ikke lengre enn til 2020–2030.

I likhet med de globale analysene, ser mange av analysene på problemstillingene c) og d) beskrevet over. Når det gjelder kostnader av tiltak, er et viktig poeng i flere analyser at nettokostnadene knyttet til å nå et mål om klimagassutslipp kan være betydelig lavere enn bruttokostnaden. Dette skyldes at mange tiltak som begrenser klimagassutslipp også reduserer utslipp av stoffer som SO₂, NOx, VOC og PM10. Sistnevnte utslippsreduksjoner gir en helse- og miljøgevinst som må trekkes fra bruttokostnadene knyttet til tiltak for å oppnå mål om utslipp av klimagasser.

² N. Stern: *The Economics of Climate Change – The Stern Review*. Cambridge University Press, 2007.

De nasjonale analysene fokuserer i hovedsak på klimagasser, og omhandler stort sett følgende problemstillinger:

- kostnader av å nå Kyoto-mål eller et selvpålagt strengere klimamål
- hvordan disse kostnadene avhenger av muligheten for internasjonal kvotehandel
- CO₂-pris under ulike alternativer

I flere av analysene trekkes miljø- og helsegevinster av klimapolitiske tiltak inn, slik at nettokostnaden blir mindre enn bruttokostnaden.

De fleste nasjonale analyser blir foretatt med generelle likevektsmodeller som kan brukes til å gi en prediksjon for hvordan økonomien vil se ut i et fremtidig år under ulike forutsetninger om klimapolitikken som blir ført. Eksempler på slike modeller er MSG-modellen for Norge, EMEC-modellen for Sverige, og ISM-modellen for Island. Resultatene fra analyser med slike modeller vil være sterk påvirket av enkelte detaljer i modellens spesifikasjoner. Spesielt vil anslag på nødvendig CO₂-pris påvirkes sterkt av hvor stor grad av substitusjon det antas mellom ulike typer energi og mellom energi og andre innsatsfaktorer (særlig arbeidskraft og realkapital). Hvor store disse substitusjonsmulighetene er kan variere mellom land. Men også for hvert land er anslaget på disse beheftet med betydelig usikkerhet, slik at resultatene for hvert land blir beheftet med en tilsvarende usikkerhet.

Det er til dels et stort sprik mellom analysene for ulike land når det gjelder kostnadene knyttet til å redusere utslippene. Det ene ytterpunktet er en analyse for Norge (NOU 2006:18) som forutsetter at norske utslipp i 2050 reduseres med 70 % i forhold til referansebanen (60 % reduksjon i forhold til 2000-nivå). Kostnadene til dette er i følge analysen bare på ca 1 % av BNP. Et motsatt ytterpunkt er en analyse for Sverige (Konjunkturinstituttet Rapport 2003:1). Her avhenger kostnader og CO₂-pris sterkt av i hvilken grad Sverige reduserer innenlandske utslipp eller dekker utslippsforpliktelser i utlandet. Med reduksjon i svenske utslipp i 2010 på ca 18 % i forhold til referansebanen (8 % lavere enn 1990-nivå) gir analysen et BNP-tap på 0,9 %, og en CO₂-pris på 777 kroner per tonn. I enkelte av de andre alternativene er CO₂-prisen enda høyere. Kostnaden i prosent av BNP er altså omtrent likt for Sverige som for Norge, til tross for at utslippsreduksjonen i Sverige bare er på 18 % mot 70 % i Norge. Noe av forklaringen på forskjellene ligger trolig i at det i den norske analysen er antatt at teknologiutviklingen gir mange lavkostnadsopsjoner frem mot 2050, mens dette ikke forutsettes i den svenske analysen (som bare går frem til 2010). Når det gjelder nødvendig CO₂-pris for å nå et utslippsmål med rene nasjonale tiltak var denne høy også i Norge i en beregning hvor det ikke ble lagt inn spesielle antagelser om teknologiforbedringer: Grønn skattekommissjon (NOU 1996:9) gjorde beregninger

som antydnet at prisen per tonn CO₂ måtte være 1200 kroner i 2010 for å få utslippsnivået i dette året 5 % lavere enn 1989-nivået.

Både for Danmark, Finland og Island er det gjort studier for å beregne nødvendige tiltak samt kostnader for å nå målene fra Kyoto-avtalen. For alle disse land avhenger kostnadene av hvilke forutsetninger som legges til grunn, samt hvilke restriksjoner landene pålegger seg selv. Som eksempler på det siste har en i de finske beregningen sett på tilfeller både med og uten økt utbygging av atomkraft, og for Island har en sett på tilfellene hvor Kyoto-målene nås med og uten betydelig etablering av «karbon sinks» gjennom skogplanting. For alle disse landene kan Kyoto-målene nås til en kostnad under 1 % av BNP (til dels betydelig under) dersom de mest kostnadseffektive løsningene velges. Den implisitte eller eksplisitte prisen på CO₂-utslipp er imidlertid i de fleste beregninger forholdsvis høy; for Danmark og Island over 100 Euro per tonn CO₂-utslipp.

1. Innledning

Denne rapporten er resultatet av et prosjekt utført for miljø- og økonomigruppen under Nordisk Ministerråd. Formålet med prosjektet er å gi en oversikt over makroanalyser innenfor temaene klima- og langtransporterte luftforurensninger.

I vårt arbeid med prosjektet er ett av funnene at det er en meget omfattende litteratur om problemstillingen som prosjektet dekker. Dette gjelder særlig for klimaproblemet. For andre miljøproblemer er det aller meste av analysene vi har funnet svært mikroorientert, og kan dermed ikke sies å være «makroanalyser».

Når det gjelder analyser av klimaproblemet, er det en svært omfattende litteratur om analyser både for hele verden og for enkeltland og regioner. Den omfattende litteraturen finnes dels i akademiske tidsskrifter, og dels som rapporter og lignende fra ulike institusjoner. Det ville vært helt umulig – og heller ikke særlig fruktbart hvis det hadde vært mulig – å gi en fullstendig gjennomgang av litteraturen. Vi har i stedet sett på et begrenset utvalg av studier, som til sammen gir et rimelig godt bilde av den eksisterende litteraturen. Vi har sett på både generelle analyser for hele verden, og også spesielt på studier for de nordiske landene. Noen av studiene er ganske utførlig omtalt, mens andre er bare kort omtalt.

I vår omtale av studiene refererer vi mange tall for kostnader mm. Vi har valgt å presentere alle tall i valutaen som de opprinnelige arbeider bruker, da vi i en omregning til en felles valuta måtte bruke valutakurser for året studien var fra. Dette ville gitt et mangfold av valutakurser og neppe vært hensiktsmessig.

Noen studier gir kostnader per tonn CO₂, andre per tonn karbon. Vi har omregnet alt til kostnader per tonn CO₂ (en kostnad på 100 per tonn karbon svarer til $100 \cdot 12/44$ per tonn CO₂, dvs. ca 27 per tonn CO₂).

1.1. Analyser og modeller

Studiene som drøftes er delt inn i Globale analyser (kapittel 2), Europeiske analyser (kapittel 3) og Nasjonale analyser fra de nordiske landene (kapittel 4). Studiene blir drøftet i ulike grad av detalj.

Under de globale analysene omtales:

- Warming the World: Economic Models of Global Warming (Norhaus and Boyer, 2000). Oppdaterte resultater fra 2007 refereres.
- Comparison of Climate Policies in the ENTICE-BR (Popp, 2006)

- The economics of climate change : The Stern Review (Stern, 2007)
- Omtale av fire relevante spesialnummer av The Energy Journal
- Fra EU omtales:
- Ancillary benefits of GHG mitigation in Europe, SO₂, NOX and PM10 reductions from policies to meet Kyoto targets using the E3ME model and extern evaluations. (Barker and Rosendahl, 2000)
- Modelling the health related benefits of environmental policies and their feedback effects. A CGE analysis for the EU countries with GEM-E3 (Mayeresa and Denise Van Regemorterb, 2003)
- Overordnede perspektiver ved RAINS og GAINS modellene, samt fremskrivninger av EUs utslippsreduksjoner

Fra de nordiske landene omtales ulike makroøkonomiske analyser som har stått sentralt i utformingen av klimapolitikken i de respektive landene.

1.2 Klassifisering av analyser

Vi vil i det følgende diskutere de ulike analysene med utgangspunkt i 8 dimensjoner av analysene. Disse er:

1. geografisk dekning
2. typer av miljøutslipp som dekkes
3. typer av kostnader som analysen omfatter
4. tidsperspektiv og tidshorisont
5. modellering av økonomiens produksjonsside
6. kilde for numeriske anslag
7. optimalisering versus simulering
8. viktigste problemstillinger og resultater

Vi gir først en kort generell omtale av de første 7 punktene, før vi i de følgende kapitlene ser nærmere på spesifikke analyser.

1.2.1 Geografisk dekning

De ulike analysene kan deles inn i 3 hovedtyper:

- (a) aggregerte analyser for hele verden
- (b) analyser som omfatter hele verden, men som er delt inn i land og regioner (eks USA, EU, rest-Europa, resten av verden)
- (c) analyser for enkelt land (f.eks. Norge) eller enkel region (f.eks. EU), i så fall ofte med enkle forbindelser (handel med mer) til andre land.

I prinsippet er (b) en bedre analyse enn (a), men også betydelig mer komplisert. (c) er en forenklet versjon av (b) når formålet med analysen er å belyse forhold for et bestemt land eller region.

1.2.2 Typer av miljøutslipp som dekkes

De fleste analyser vi ser på omfatter bare klimagasser, og i noen tilfeller bare CO₂. Noen analyser ser på andre typer utslipp (spesielt SO₂ og NO_x). Analyser som ser på sistnevnte utslipp kan være begrenset til disse, eller de kan se på disse utslippene i interaksjon med utslipp av klimagasser. Ideelt sett bør analysen inneholde alle typer utslipp som det er en sammenheng mellom (CO₂, SO₂ og NO_x, lokal luftforurensing), da de fleste typer tiltak vil virke på alle utslippstypene. F.eks. vil mange tiltak som i utgangspunktet er ment å redusere utslippene av CO₂ også gi en reduksjon i bruken av fossile brensler, og dermed også reduksjon av bl.a. SO₂, NO_x og partikler. For enkelte tiltak vil imidlertid effekten være motsatt: Omleggingen av engangsavgiften på kjøp av bil i Norge til å være avhengig av bilens beregnede CO₂-utslipp vil med stor sannsynlig øke antall biler som bruker diesel, noe som vil øke utslippene av NO_x og partikler. Når de fleste analyser til tross for disse momentene likevel bare ser isolert på en type utslipp er det fordi en mer fullstendig analyse blir betydelig mer komplisert.

1.2.3 Typer av kostnader som analysen omfatter

Modellene kan inneholde en eller begge av følgende kostnader:

- kostnader av å gjennomføre tiltak for å redusere utslipp av klimagasser og/eller andre utslipp (jfr. punkt 1.2.2). Tiltakene kan både være av generell art (for eksempel CO₂-avgift) eller nærmere spesifiserte tiltak.
- kostnader av klimaendringer og/eller andre miljøkonsekvenser (f.eks. sur nedbør og lokal luftforurensing).

1.2.4 Tidsperspektiv og tidshorisont

Grovt sett kan en inndele analyser i tre hovedtyper:

- a) Helt kortsiktige analyser hvor en ser på kostnader av tiltak innen en kortsiktig modell. Ulike typer ubalanser (arbeidsledighet, driftsbalanse etc.) er ofte med i slike analyser. Analyser av denne typen vil ofte bare inkludere kostnader av tiltak, men ikke miljøkostnader av selve utslippene som tiltakene skal begrense. Fordelen med slike kortsiktige analyser er at det ofte er de kortsiktige konsekvensene av tiltakene som politikerne er mest opptatt av. Ulempen med slike

- analyser er at de blir altfor begrensede i forhold til de totale langsiktige konsekvensene av tiltak versus ikke tiltak.
- b) Mer langsiktige analyser hvor en ofte bruker likevektmodeller for økonomien (ingen arbeidsledighet eller andre ubalanser), men hvor en bare ser på et øyeblikksbilde av økonomien. Typiske analyser av denne typen er å studere hvordan BNP og næringssammensetning påvirkes i en likevektssituasjon av bestemte tiltak.
 - c) Dynamiske modeller som ser på hele forløpet av økonomien over en periode fra nåtid til en tidshorisont, f. eks. til år 2050 eller 2100. Dette er prinsipielt sett den mest tilfredsstillende formen for analyse. Men da den også er den mest kompliserte analysen, vil slike analyser ofte velge de enkleste utformingene langs de andre dimensjonene vi her drøfter.

1.2.5 Modellering av økonomiens produksjonsside

Enhver makroøkonomisk analyse må gjøre noen forutsetninger om økonomiens virkemåte. Spesielt er det viktig hva som antas om produksjon og produksjonsutvikling. Det ideelle er å modellere den som avhengig av en rekke endogene innsatsfaktorer, som arbeidskraft (eventuelt flere typer), realkapital (eventuelt flere typer), samt ulike typer vareinnsats og energiresurser av ulike slag. I tillegg til disse faktorene må en dynamisk analyse si noe om teknologisk endring, dette omtales nærmere nedenfor. Arbeids-tilbudet er ofte eksogent gitt i langsiktige makroøkonomiske analyser, mens utviklingen av realkapital ofte er endogent bestemt i modellen.

Den enkleste formen for analyse er å behandle landets (eller landenes) økonomi svært aggregert, for eksempel med tall bare for BNP. De aller fleste analyser er av en slik aggregert type. Begrunnelsen for det høye aggregeringsnivået er at analysene eller kan bli temmelig kompliserte og uoversiktelige. I den grad en er interessert i å belyse næringsøkonomiske konsekvenser av miljøtiltak og av klimaendringer og andre miljøendringer må en ha en analyse som er dissaggregert på ulike næringer. «Prisen» for en slik dissaggregering er at analysen som regel må gjøres enklere langs andre dimensjoner. Selv i forholdsvis aggregerte modeller blir ofte energisektorene behandlet særskilt, da energisektorene er svært sentrale for de fleste typer utslipp.

I alle modeller som belyser fremtiden er teknologiutvikling svært viktig. Teknologiutvikling påvirker økonomiens generelle vekst, og dermed også ulike typer utslipp. Teknologiutvikling kan også være direkte knyttet til energibruk, slik at teknologiutviklingen isolert sett bidrar til lavere energibruk for en gitt realpris på energi, og dermed lavere energirelaterte utslipp. Den tradisjonelle måten å behandle teknologiendring i økonomiske analyser er å anslå den eksogent, dvs. enten uavhengig av politikk eller hvor brukeren av den underliggende økonomiske modellen skjønnsmessig justerer teknologiutviklingen avhengig av politikken. I en del av de

nyere økonomiske analysene er teknologiutviklingen eksplisitt modellert slik at den blir endogent bestemt i analysen, og vil avhenge av politikken som blir ført. På den ene siden er dette en fruktbar utvikling av analysene, da teknologiutvikling i virkeligheten selvsagt ikke er noe som går sin gang uavhengig av politikk og økonomisk utvikling for øvrig. På den annen side er det knyttet stor usikkerhet til nøyaktig hva det er som påvirker teknologiutviklingen. Når denne gjøres endogen i analysen kan dermed resultatene av analysen bli sterkt påvirket av denne usikre sammenhengen. Dersom en på tradisjonelt vis lar teknologiutviklingen være eksogen vil en ha større kontroll med og intuisjon over resultatene av analysen.

1.2.6 Kilde for numeriske anslag

Alle analyser må ha numeriske anslag for sentrale sammenhenger. Disse kan fremkomme på ulike måter. I tradisjonelle makroanalyser er det mest vanlig med såkalte «top-down» anslag hvor alle numeriske anslag er basert på standard spesifikasjoner av produktfunksjoner, etterspørselsfunksjoner etc. Den konkrete numeriske spesifikasjonen kan komme fra fullstendig økonometrisk beregning av alle parametere, eller ved å hente sentrale parametere fra ulike kilder. Sistnevnte er det vanlige.

En alternativ fremgangsmåte for å anslå sentrale numeriske størrelser er såkalt «bottom-up» anslag, som spesielt brukes for ulike typer kostnadsanslag. Slike kostnadsanslag hentes fra mikronivå og er ofte basert på ingeniør-data. Denne typen numeriske anslag brukes mest i mikroanalyser. De kan også brukes i kombinasjon med en makroanalyse. I så fall vil deler av makroanalysen som regel være av tradisjonell type, hvor også en del parametere er av «top-down» basert, men hvor en del sentrale kostnadsparametere er basert på «bottom-up» anslag.

1.2.7 Optimalisering versus simulering

Dersom analysen bare har med en av kostnadstypene nevnt i punkt 1.2.3 kan analysen ikke si noe om hva som er en optimal innretning av miljøtiltak. Har derimot analysen begge kostnadstypene kan en i prinsippet beregne hva som er optimal dosering av virkemidler. Enhver optimalisering betinger imidlertid anslag på en rekke parametere som beskriver beslutningstageren preferanser. Slike anslag er ikke uproblematiske, f.eks. kan det være stor uenighet om hva «riktig» kalkulasjonsrente er. Da resultatet av en optimalisering i sterk grad avhenger av forutsetningene som gjøres om preferanser, vil det i mange analyser derfor ikke bli gjennomført en eksplisitt optimalisering. I stedet vil en ofte begrense analysen til å beregne konsekvenser av ulike politikker (dvs. simulering).

I analyser hvor en foretar optimalisering kan optimaliseringen være aggregert for hele verden, eller for et enkelt land eller region (f.eks. EU). I

analyser som omfatter alle land i verden kan en også analysere situasjonen hvor hvert land eller gruppe av land velger en optimal politikk gitt de andres valg (Nash-likevekt).

2. Globale analyser

2.1 Innledning

Det foreligger en rekke globale makroøkonomiske analyser basert på ulike modeller som studerer konsekvensene av klimapolitikk og Kyotoavtalen. Quirion (2002) og Weyant & Hill (1999) viser at det finnes minst 13 multiregionale modeller med enda flere analyser. Dersom såkalte energiøkonomiske modeller inkluderes, finnes det minst 20 modeller som er benyttet som utgangspunkt for makroøkonomiske analyser innenfor klimaområdet.

Vi har sett på et begrenset utvalg av studier, som til sammen gir et rimelig godt bilde av den eksisterende litteraturen. Gjennomgangen starter med en omtale av en studie basert på DICE/RICE-modellen. Denne modellen har stått sentralt i utviklingen av makroøkonomiske modeller innen miljøområdet. Det gis videre en gjennomgang av en analyse basert på en modifisert versjon av DICE/RICE med endogenisert teknologisk vekst før Stern-rapporten omtales. Kostnadsanslagene i denne rapporten er noenlunde i samsvar med anslagene i den siste IPCC-rapporten.

Avslutningsvis refereres kort problemstillinger og hovedresultat fra fire større studier som med ulike utgangspunkt har sammenliknet analyse-resultat basert på flere modeller. Disse fire studiene er presentert i egne spesialnummer av *The Energy Journal*.

2.2 DICE/RICE modellene

DICE/RICE modellene er en familie av modeller utviklet i hovedsak av William Nordhaus, og brukt av ham og en rekke andre til ulike analyser. Nordhaus' analyser av klimaproblemet går tilbake til hans artikkel i *American Economic Review* i 1977. Modellene og analysene vi her skal omtale er versjonene presentert i boken:

Warming the World: Economic Models of Global Warming (Nordhaus and Boyer, 2000).

2.2.1 Geografisk dekning

Den opprinnelige DICE modellen (*a Dynamic Integrated model of Climate and the Economy*), som først ble presentert i 1990, var en aggregert modell for hele verden. Modellen er siden blitt videreutviklet til modellen

RICE (a Regional dynamic Integrated model of Climate and the Economy) som i likhet med DICE omfatter hele verden, men hvor verden er delt inn i land og regioner. DICE eksisterer nå som en aggregert og noe forenklet versjon av RICE. Vi skal basere vår omtale på RICE.

Det er 8 land/regioner i RICE:

- USA
- OECD Europa
- Kina
- Russland og Øst-Europa
- Øvrige rike land (herunder bl.a. Japan, Canada og Australia)
- Øvrige middelsinntekt land (herunder bl.a. Brasil, Argentina og Malaysia)
- Øvrige middels fattige land (herunder bl.a. Mexico, Tyrkia og mye av Sør-Amerika)
- Øvrige fattige land (herunder India, store deler av sørøst-Asia og Afrika)

2.2.2 Typer av miljøutslipp som dekkes

Nåværende versjon av modellen omfatter utelukkende klimagasser. Det er særlig fokus på CO₂ fra bruk av fossile brensler, utviklingen av øvrige klimagasser, samt CO₂ fra endret arealbruk (avskoging) er eksogent gitt i analysene.

2.2.3. Typer av kostnader som analysen omfatter

Modellen omfatter både kostnader knyttet til tiltak for å redusere utslipp samt kostnader av klimaendringer. Begge typer kostnader tar form av redusert produksjon, og dermed mindre tilgjengelig konsum.

2.2.4 Tidsperspektiv og tidshorisont

Modellen er dynamisk, og tidshorisonten går i hvert fall frem til 2200. Så vidt vi kan se går beregningene enda lengre frem i tid enn dette, men dette har uansett minimal betydning gitt diskonteringsrenten (se under).

2.2.5. Modellering av økonomiens produksjonsside

Hver regions økonomi er modellert svært aggregert. Den eneste enkeltsektor som er behandlet særskilt er et aggregat av fossile brensler. Her er det antatt en kostnad knyttet til utvinning/produksjon av fossile brensler, og denne kostnaden blir høyere jo høyere den akkumulerte utvinningen er. Bruken av fossile brensler inngår i produksjon av det aggregerte godet, sammen med arbeidskraft, realkapital og en klimavariabel. Klimava-

riabelen bidrar isolert sett til at produksjonen er lavere jo større klimaendringen er. Klimaendringen er modellert på «tradisjonell» vis, og avhenger (via diverse tidslag) av akkumulerte utslipp av klimagasser. Produksjonen av det aggregerte godet brukes til å dekke kostnader av utvinning av fossile brensler, til realinvesteringer, og til konsum.

Teknologisk endring er eksogen i modellen. Det er to typer teknologisk endring. Den ene er generell og bidrar til at produksjonen øker over tid selv om innsatsfaktorene skulle holde seg konstant. Den andre typen er knyttet til faktoren fossile brensler. Det antas at en over tid får mer og mer «energitjenester», som er innsatsfaktoren i produktfunksjonen, ut av en bestemt mengde brukt av fossile brensler. Dette representerer en kombinasjon av energieffektivisering og utvikling av alternativ fornybar energi (som ikke er modellert eksplisitt).

2.2.6. Kilde for numeriske anslag

Ulike kilder er brukt og det er lagt ned et betydelig arbeid i å skaffe gode anslag for alle viktige variable og parametere. Det er ikke gjort noen egen økonometriske anslag innenfor rammen av modellen som er brukt.

2.2.7. Optimalisering versus simulering

Analysen beregner en optimal klimapolitikk. Optimum er definert i henhold til en standard økonomisk intertemporal preferansefunksjon. Denne er av følgende type:

$$(1) W = \int_0^T e^{-\rho t} N(t)u(c(t))dt$$

Her er u en standard nyttefunksjon av konsum per innbygger, $c(t)$, mens $N(t)$ er antall innbyggere. Parameterne ρ er en diskonteringsfaktor for nytten. T er tidshorisonten. Det er gitt en preferansefunksjon av denne typen for hver av de 8 regionene, og optimal politikk defineres som den som maksimerer summen av disse. Befolkningsutvikling og konsumutvikling varierer mellom regionene, mens ρ og funksjonen u er antatt lik i alle regioner. Størrelsen ρ er egentlig ikke konstant (som antatt i (1)), men er antatt å starte (i startåret 1995) på 3 % og avtar gradvis til 1,8 % i 2200. Funksjonen u er spesifisert som $u(c) = \log c$. Med denne spesifiseringen er diskonteringsrenten for konsumet lik $\rho(t) + g(t)$ hvor $g(t)$ er vekstraten for konsumet per innbygger. Denne diskonteringsrenten vil både variere over tid og på tvers av regioner (siden konsumveksten er ulik i ulike regioner).

2.2.8. Spesielle egenskaper utover de som er diskutert over

Modellene DICE og RICE er utførlig omtalt på nettet, og det er også mulig å gratis laste ned versjoner på GAMS og Excel.

Se: <http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/dicemodels.htm>

Modellene, samt videreutviklinger og modifikasjoner av dem, er brukt i svært mange analyser over årene. Modellene utgjør en sentral referanse, da de på mange måter kan sies å være «state of the art» innenfor denne grenen av økonomi. Dette betyr selvsagt ikke at resultatene uten videre skal godtas ukritisk. Selv om hovedoppbygging av modellene ikke er kontroversiell, vil resultatene i sterk grad avhenge av detaljene i forutsetningene som blir gjort i analysen.

2.2.9 Viktigste problemstillinger og resultater

Analysen ser på mange alternative scenarier. Blant de viktigste er

- ingen klimapolitikk
- optimal klimapolitikk
- begrense CO₂-konsentrasjon i atmosfæren til ca 550 ppm.
- begrense gjennomsnittlig global temperaturøkning til 2,5°C
- ulike varianter av Kyoto-avtalen

Uten noen klimapolitikk blir økningen i temperaturen i 2100 ca 2,5° C, mens en optimal klimapolitikk begrenser denne økningen til ca 2,4°C. Forskjellen blir større i neste århundre, likevel er forskjellen mellom disse to alternativer bare 0,2°C i 2200. De andre politikkene gir lavere temperaturer, men i følge preferansefunksjonen gitt ved (1) er disse (selvsagt) dårligere enn den optimale løsningen, og også til dels dårligere enn tilfellet uten noen klimapolitikk.

Også når det gjelder tiltak er de optimale tiltakene svært beskjedne: En optimal pris på CO₂-utslipp (avgift eller kvotepris) starter i 2005 på litt over 3 dollar per tonn CO₂ (2000-verdi), og stiger til ca 23 dollar i 2100. Den optimale politikken gitt et mål om stabilisering av CO₂-konsentrasjon i atmosfæren til ca 550 ppm. er ganske lik den optimal politikken til ca 2050, men med en betydelig høyere pris på CO₂-utslipp i 2100 (ca 90 dollar).

Når det gjelder utslippene, stiger disse betydelig i forhold til dagens nivå i den optimale politikken (nesten en fordobling i løpet av dette århundre). I alternativet med å begrense CO₂-konsentrasjon i atmosfæren til ca 550 ppm. stiger utslippene frem til ca 2050 for så å avta, og er 20 % lavere i 2100 enn i dag.

For de viktigste alternativene er det i tillegg til å regne ut nåverdi av alternativet (målt ved W i (1)) også regnet ut både nåverdien av tiltaks-

kostnader og gevinster av forbedret klima (i forhold til basisalternativet). Nåverdien av kostnadene av klimaendring er beregnet til 4,9 tusen milliarder dollar, mens kostnaden knyttet til stabilisering av CO₂-konsentrasjon i atmosfæren til ca 550 ppm. er beregnet til 1,7 tusen milliarder dollar (begge i 2000 verdi). Likevel er i følge analysen en slik klimapolitikk dårligere enn basisalternativet, da klimaendringen bare blir begrenset og ikke eliminert. Verdien av begrensningen av klimaendringen er beregnet til 0,6 tusen milliarder dollar.

Alle resultatene over er sterkt avhengig av de valgte størrelsene i preferansefunksjonen (1). Gjennomsnittlig konsumvekst i verden (egentlig BNP per innbygger) er i de første årene antatt lik 2,7 %, som sammen med de øvrige forutsetningen gir en gjennomsnittlig diskonteringsrente lik 5,7 %. Selv om denne renten er noe fallende over tid, blir nåtiden sterkt favorisert i forhold til fremtiden, og spesielt i forhold til tiden etter 2100. Vi diskuterer forutsetninger om diskontering nærmere i forbindelse med vår omtale av Stern-rapporten.

I Nordhaus (2007) er det presentert en analyse gjort med en oppdatert versjon av DICE-modellen. Resultatene er i grove trekk i samsvar med resultatene over. I følge den oppdaterte DICE-modellen vil det optimale forløpet av utslipp innebære reduksjoner av CO₂-utslipp (i forhold til ingen tiltak) på 6 % i 2005, 14 % i 2050 og 25 % i 2100. Dette optimale utslippsforløpet svarer til en pris på CO₂-utslipp på ca 5 dollar i 2005, 23 dollar i 2050 og 74 dollar i 2100 (alle tall i 2006-dollar per tonn CO₂). Forventet temperaturøkning blir 1,8 grader i 2100 i det optimale forløpet (men fortsatt stigende utover neste århundre).

2.3 Vurdering av klimapolitikk i ENTICE-BR modellen

ENTICE-BR modellen er en modifisert versjon av DICE-modellen (Nordhaus, 1994; Nordhaus and Boyer, 2000). Omtalen under er basert på:

Comparison of Climate Policies in the ENTICE-BR Model, av David Popp. The Energy Journal (2006) Special Issue, Endogenous Technological change and the Economics of Atmospheric Stabilisation

ENTICE-BR skiller seg fra DICE/RICE modellene gjennom mulighetene til å inkludere en endogen sammenheng mellom klimapolitikk og innovasjon i energisektoren. Innovasjon i energisektoren stimuleres gjennom økt forskning som følge av klimapolitikk. I ENTICE-BR kommer energitjenestene fra fossile eller alternative teknologier basert på fornybare energikilder (såkalte back-stop teknologier). Økt forskningsaktivitet innen energiområdet gir innovasjoner på to områder: energieffektiviteten øker og bruken av nye forbedrede klimanøytrale teknologier økes.

I den videre omtalen beskrives sentrale sider ved modellen med vekt på forhold der modellen skiller seg fra DICE/RICE, før resultater fra analysen presenteres.

2.3.1 Geografisk dekning

ENTICE-BR er i likhet med den opprinnelige DICE-modellen en aggregert modell for hele verden. Dette skiller modellen fra RICE-modellen som er omtalt over der verden er delt inn i regioner.

2.3.2 Typer miljøutslipp som dekkes

Modellen dekker karbonutslipp og CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren.

2.3.3 Typer kostnader som analysen omfatter

I likhet med DICE omfatter kostnadene både tiltakskostnader og kostnader ved klimaendringer. Dessuten er kostnader til FoU, både energirelaterte og i andre sektorer, eksplisitt modellert. Kostnadene fremkommer som redusert produksjon som igjen gir mindre tilgjengelig konsum.

2.3.4 Tidsperspektiv og tidshorisont

Modellen er dynamisk og løses for hvert 10.år med en tidshorisont på 350 år. I analysen er modellen kalibrert for år 2000 for å sikre konsistens med de øvrige analysene som inngår i prosjektet *The Innovation Modelling Comparison Project* (se egen omtale av dette prosjektet under punkt 2.6).

2.3.5 Modellering av økonomiens produksjonsside

Produksjonssiden er i hovedtrekk modellert som i RICE med unntak av at teknologisk endring er endogenisert som følger av at klimapolitikk stimulerer til økt forskningsinnsats på ny energiteknologi og energieffektivisering.

Også i ENTICE-BR er «energitjenester» innsatsfaktoren i produktfunksjonen. Energitjenester bestemmes av bruken av fossile brensler, bruken av back-stop teknologi og kunnskap om energieffektivisering. Back-stop teknologien og fossile brensler er imperfekte substitutter og det tillates nisjemarkeder for back-stop teknologier.

Forskning og utvikling innen energi påvirker klimautslippene fra energitjenestene gjennom økt kunnskap om energieffektivisering og utvikling av flere og mer konkurransedyktige back-stop teknologier. Prisen på back-stop teknologier faller over tid etter hvert som teknologiene utvikles.

Utviklingen i forskningssektoren i baseline er kalibrert med faktisk historisk utvikling fra 1995–2005, og er konsistent med nivået i 2000. Utgiftene til forskning innen energieffektivisering og back-stop teknologi øker som følge av klimapolitikk.

I analysen er det tatt hensyn til at forskning og kunnskapsutvikling er kollektive goder med påfølgende markedsimperfeksjoner. Dette er gjort ved å anta at den samfunnsøkonomiske avkastningen av FoU er fire ganger så høy som den privatøkonomiske avkastningen (uten subsidier). Dette kan rettferdiggjøre subsidier til den energirelaterte forskningen. Slike subsidier vil øke den energirelaterte FoU-aktiviteten. Imidlertid vil en slik stimulering av energiforskning fortrenge noe forskning fra andre sektorer (crowding out). Også denne forskningen antas å ha en samfunnsøkonomisk avkastning som er fire ganger høyere enn den privatøkonomiske. Dette innebærer at den samfunnsøkonomiske gevinsten av å subsidiere energirelatert forskning blir mindre enn den ville blitt dersom den ikke hadde fortrenget annen forskning.

2.3.6 Kilde for numeriske anslag

Ulike kilder er brukt, og bygger i hovedsak på samme kilder som DICE. Flere av inngangsdataene, særlig data knyttet til investeringer i forskningsaktiviteter, er kalibrert med øvrige studier som er gjennomført i prosjektet analysen inngår i. Anslagene over crowding out effekten og størrelsen på eksterne effekter fra forskningsaktiviteter er forankret i flere litteraturreferanser. Se bl.a. Popp (2005), Popp (2004) og Popp (2002).

2.3.7 Optimalisering versus simulering

Optimum er definert på samme måte som i DICE (1).

Effekten av begrensninger på karbonkonsentrasjonen i atmosfæren på hhv 400, 450, 500 og 550 ppm. simuleres med ulike substitusjonselastisiteter mellom nye alternative teknologier og bruk av fossile brensler.

2.3.8 Spesielle egenskaper ut over de som er diskutert over

Baseline er kalibrert med utgangspunkt i perioden 1995–2005, og forutsetter at utviklingen i energirelatert forskning er konsistent med den historiske utvikling. Energirelatert forskning har i perioden vært påvirket av ulike nasjonale klimarelaterte tiltak som CO₂-skatt, krav til andel fornybar energi i energiproduksjonen og ulike subsidieordninger til forskning og implementering av nye teknologier basert på fornybare energikilder. Tilsvarende tiltak ligger inne i baseline. Karbonkonsentrasjonen i atmosfærene ligger under 400 ppm. i 2020 og stiger til rundt 450 ppm. i 2050. I 2100 varierer konsentrasjonen mellom 505 ppm. og 574 ppm. avhengig av forutsetninger om substitusjonselastisiteten mellom fossil og fornybar

energi. Baseline har med andre ord ikke vesentlig høyere klimautslipp enn de to svakeste policy-alternativene som testes (500 ppm. og 550 ppm.).

2.3.9 Viktige problemstillinger og resultater

Analysen ser på flere alternative scenarier, bla

- Baseline uten klimapolitikk
- Ulike substitusjonselastisiteter mellom fossile brensler og nye fornybare energikilder
- Effekten av å stimulere energiteknologisk R&D
- Begrense CO₂- konsentrasjonen i atmosfæren til 400 ppm., 450 ppm., 500 ppm. og 550 ppm.

Resultatene fremkommer som differansen mellom nåverdien av konsumet i baseline uten kontrollerte klimatiltak og den samme verdien med klimatiltak som skal gi hhv 400 ppm., 450 ppm., 500 ppm. og 550 ppm. i atmosfæren. I baseline optimeres modellen først uten å ta hensyn til klimaødeleggelse før output justeres for å ta hensyn til denne suboptimale tilpasningen. Det benyttes så vidt vi kan bedømme samme tilnærming på kalkulasjonsrenten som i DICE-modellen (se over).

Med unntak av scenariene med høy substitusjonselastisitet mellom fossile brensler og nye klimanøytrale teknologier, og dertil hørende lave priser på alternative teknologier, er det kun stabiliseringsmålet på 550 ppm. som bidrar til velferdsøkning. I det mest restriktive alternativet med et mål på 400 ppm. i atmosfæren faller nåverdien av konsumet med 25 tusen milliarder (1995)-dollar med basisforutsetninger om substitusjonsmuligheter. Resultatene vurderes som robuste. Endrede forutsetninger med lavere alternativkostnader på forskning eller modellering uten ekssterne effekter knyttet til forskning og utvikling, påvirker i liten grad resultatene.

I alternativene med høy substitusjonselastisitet og lave utgangspriser på alternative energiteknologier utløses en netto nytte målt i konsum på 2,8 til 3,7 tusen mrd dollar.

Effekten av å stimulere forskning og utvikling av nye energiteknologier eller energieffektiviseringer testes gjennom å sammenlikne klimaalternativene med samme eksogent gitte forutsetninger om energirelatert forskning og utvikling som i baseline. Resultatene viser beskjedne effekter av å stimulere energispesifikk teknologiutviklingen. Nytteeffekten er beregnet til å ligge mellom 300 og 900 mrd dollar. Nytteeffekten målt i dollar er størst i de restriktive klimaalternativene fordi forsknings- og utviklingsaktivitetene i disse alternativene øker mest. Dersom nytteeffekten av å stimulere utviklingen av energiteknologi måles i prosent av den samlede effekten av klimagassutslippsrestriksjonene blir effekten ubety-

delig i de mest restriktive alternativene. Dette følger av at nyttetapet ved de mest restriktive klimaalternativene er såpass store.

Det er verdt å merke seg at forsknings- og utviklingsaktiviteter innen energiområdet også foregår i baseline. Velferdsøkningen som måles av induisert energiteknologiutvikling kommer dermed kun som følge av *merforskningen* innen energi som følger av restriksjoner i klimapolitikken og tiltak for å stimulere energirelatert forskning og utvikling ut over det som uansett ville foregått. Mesteparten av forsknings- og utviklingsaktivitetene finner med andre sted uavhengig av klimapolitikken.

Det gis også en oversikt over nødvendig nivå på karbonskatten for å realisere klimamålene, samt en oversikt over andelen av energiproduksjonen som kommer fra back-stop teknologier. I det mest restriktive alternativet øker karbonskatten, omregnet til CO₂-skatt, fra 20 dollar per tonn CO₂ i 2000 til over 270 dollar per tonn i 2100. I alternativet med 550 ppm. i atmosfæren øker karbonskatten fra snau 3 dollar per tonn CO₂ til 46 dollar per tonn CO₂.

Analysen viser at resultatene er følsomme for forutsetninger om hvor mye forskning og utvikling som presses ut i andre sektorer som følge av klimapolitikk. Dersom forutsetningen om utpressing av annen forskning utelates, dobles nytten av politikkstimulert forskning og utvikling på nye energiløsninger. Det er også vesentlig å merke seg betydningen av forutsetningene om prisutviklingen på nye alternative teknologiløsninger. Et annet viktig poeng er at optimistiske forutsetninger om nytteeffekter av teknologiutvikling også må legges inn i baselineforutsetningene. Dersom optimistiske teknologiforutsetninger ikke legges inn i baseline vil (i følge forfatteren) nytten av å stimulere teknologiutvikling overestimere.

2.4 Stern-rapporten

Stern-rapporten (Stern 2007) er en rapport fra en kommisjon ledet av Sir Nick Stern som ble nedsatt sommeren 2005, med mandatet:

To lead a major review of the economics of climate change, to understand more comprehensively the nature of the economic challenges and how they can be met, in the UK and globally.

Rapporten er på nesten 700 sider, og gir en utførlig drøfting av både naturvitenskapelige og samfunnsøkonomiske sider av klimaproblemet. Vi beskriver her noen av hovedtrekkene av de samfunnsøkonomiske delene av rapporten.

2.4.1 Geografisk dekning

Rapporten ser på konsekvenser av klimaendringer for hele verden. Den gir en utførlig beskrivelse av konsekvenser for ulike geografiske områder, og anslår også numeriske kostnader for ulike områder (kapitlene 3–5).

2.4.2 Typer av miljøutslipp som dekkes

Stern-rapporten er utelukkende fokusert på klimaproblemet. Analysene omfatter både utslipp av CO₂ og andre klimagasser.

2.4.3 Typer av kostnader som analysen omfatter

Rapporten gir en utførlig drøfting av konsekvenser av økte utslipp av klimagasser som følge av uendret klimapolitikk. Rapporten argumenterer for at ulike typer konsekvenser i ulik grad kan beskrives som konkrete numeriske kostnader. I presentasjonen av totale kostnader av klimagassutslipp ser en derfor på ulike tilfeller. Det laveste anslaget omfatter bare markedsgoder (jordbruksproduksjon, bygningsmasse som kan bli skadet etc.), mens det høyeste anslaget også omfatter goder det ikke finnes markeder for (helse, miljø, risiko for ekstrem klimaendring). Rapporten understreker at konsekvensen for goder som ikke har markeder er svært viktig, men sier også at det ikke er opplagt at disse skal aggregeres sammen med markedsgoder.

2.4.4 Tidsperspektiv og tidshorisont

Rapporten legger stor vekt på at det særlig er de langsiktige konsekvensene av klimaendringer som er viktige. Den legger derfor stor vekt på hvilke konsekvenser klimaendringer vil gi i perioden etter 2100. I den formelle analysen er tidshorisonten år 2200.

2.4.5 Modellering av økonomiens produksjonsside

I den formelle økonomiske analysen er både produksjonsutvikling og befolkningsutvikling eksogent gitt. Det gis eksogene anslag for utviklingen for ulike deler av verden, som aggregeres opp til samlet inntekt og samlet befolkning. Befolkningsutviklingen antas uavhengig av klimaendringene, og antas å øke i snitt med 0,6 % per år frem til år 2200. Dette innebærer at befolkningen i år 2200 øker fra dagens nivå på 6.5 milliarder til ca 20 milliarder i år 2200, noe som er et høyere anslag enn hva som ofte ellers antas i litteraturen. Når en ser bort fra virkningen av klimaendring antas samlet produksjon (inntekt) i verden å øke med gjennomsnittlig 1,9 % per år frem til år 2200. Vekstraten er antatt i høyere i u-land enn i i-land, men disse ulikhetene kommer ikke frem i den formelle analysen. Konsumutviklingen er antatt å være proporsjonal med inntektsutviklingen,

slik at konsum per innbygger er antatt å øke med gjennomsnittlig 1,3 % per år fra i dag og frem til år 2200. Dette betyr at nivået på konsum per innbygger i år 2200 er ca 12 ganger så stort som i dag (med mindre økning for i-land og mer økning for u-land).

Klimaendringer antas å gi kostnader som kan omregnes til redusert konsum per innbygger (med en vid tolkning av begrepet «konsum»). For ulike scenarier om klimautviklingen kan en dermed beregne et tidsforløp for et «konsumtap» som trekkes fra det opprinnelige eksogene tidsforløpet for utviklingen av konsum per innbygger. Total velferdsvirkning av en bestemt klimaendring kan dermed beregnes gjennom en velferdsfunksjon av typen (1) (jf punkt 2.2.7) som differansen mellom W -verdien svarende til den opprinnelige $c(t)$ -utviklingen fratrukket W -verdien svarende til den nedjusterte $c(t)$ -utviklingen.

Rapporten gir en utførlig drøfting av kostnadene knyttet til å redusere utslippene av klimagasser (særlig kapitlene 9 og 10). Det er ingen selvstendig makroøkonomisk analyse av slike kostnader. I stedet drøftes et bredt utvalg av litteraturen på dette området, både makroøkonomiske analyser og mer mikroorienterte kostnadsanslag.

2.4.6 Kilde for numeriske anslag

De numeriske anslagene som blir brukt i analysene er i stor grad hentet fra andre analyser. Disse kildene omfatter både makroøkonomiske analyser av «top-down» typen og mikroregede «bottom-up» anslag.

2.4.7 Optimalisering versus simulering

I den formelle analysen bruker Stern-rapporten samme type velferdsfunksjon som (1), jf punkt 2.2.7. Den bruker også samme spesifisering av $u(c)$ som Nordhaus, nemlig $u(c) = \log c$. Derimot brukes en mye lavere verdi på den rene diskonteringsfaktor for nytten ρ enn Nordhaus bruker. I rapporten (kapittel 2) gis det en utførlig drøfting av hva størrelsen på ρ bør være. Drøftingen konkluderer med at den eneste etisk gode grunnen som kan gis for at ρ skal være positiv (som innebærer at fremtidige generasjoner «diskrimineres» bare fordi de er født senere) er at det er en positiv, men svært lav, sannlighet for at menneskeheten ikke eksisterer i et fremtidig år, av årsaker andre enn klimautviklingen (for eksempel kollisjon mellom jorden og en stor meteor). Med dette som bakgrunn settes til ρ 0,1 %, dvs. praktisk talt null. Siden befolkningen øker med 0,6 % i året, følger det av (1) at u -verdier langt inn i fremtiden får betydelig høyere vekt i samlet velferd enn u -verdier i dag.

Det er ikke gjennomført en eksplisitt optimalisering av hvor mye en bør redusere klimagassutslippene. Men ved hjelp av simuleringer argumenteres det sterkt for at en bør ta sikte på å stabilisere konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren til i underkant av 550 ppm. CO₂-

ekvivalenter (dvs. andre klimagasser er «omregnet» til CO₂). Dette svarer til en stabilisering av CO₂ i atmosfæren på et nivå ca 450 ppm. CO₂. Begrunnelsen er at en mer ambisiøs målsetting vil koste uforholdsmessig mye mer. Og en mindre ambisiøs målsetting vil gi uakseptabel høy risiko for at klimaendringen blir så sterk de neste par hundre årene at vi kan få svært store negative konsekvenser.

2.4.8 Spesielle egenskaper utover de som er diskutert over

Rapporten legger stor vekt på at det er betydelig usikkerhet knyttet til konsekvenser av utslipp av klimagasser. Det er flere typer usikkerhet: For en gitt politikk er både den økonomiske utviklingen og utslippene av klimagasser usikker. Dermed blir også utviklingen av konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren usikker, og mer usikker jo lengre frem i tid vi ser. Dessuten er det betydelig usikkerhet knyttet til klimautviklingen, selv for en gitt utvikling i konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren. For en gitt klimaendring er også konsekvensene usikre, og denne usikkerheten er større jo større klimaendringer vi snakker om. Endelig er det usikkerhet knyttet til hvordan en bestemt konsekvens skal tallfestes i numeriske kostnader. For å fange opp all disse usikkerhetene er det i rapporten gjort såkalte Monte Carlo simuleringer, hvor en gjør mange (1000) modellberegninger hvor sentrale parametere er trukket fra sannsynlighetsfordelinger. Dette gir en fordeling av resultater, og disse resultatene er presentert både som et gjennomsnitt og som et konfidensintervall (som da utelukker ekstremutfallene med under 5 % sannsynlighet på hver ende av sannsynlighetsfordelingen for resultatene).

2.4.9 Viktigste problemstillinger og resultater

Rapporten beskriver hva som er mulige konsekvenser av en utvikling uten skjerpet klimapolitikk. I beskrivelsen legges det stor vekt på å få frem den store usikkerheten det er knyttet til disse konsekvensene.

Omregnet til kostnader er kostnadene høyest når en legger til grunn en forholdsvis sterk klimaendring som følge av en gitt atmosfærisk konsentrasjon av klimagasser, og når alle konsekvenser er tallfestet som kostnader. Med uendret politikk får en da kostnader som øker over tid (se figur 6.5c i Stern-rapporten for detaljer): Som prosent av samlet konsum (som kan tolkes som prosent av samlet produksjon/inntekt) er kostnadene 0–2 % i 2050, 1–8 % i 2100 (med forventningsverdi ca 2 %), og 3–35 % i 2200 (med forventningsverdi ca 14 %).

På bakgrunn av disse tallene beregnes et forventet velferdstap som følge av klimaendringene. Dette er gjort med utgangspunkt i en velferdsfunksjon av typen (1) (jf punkt 2.2.7), som er utvidet ved at en aggregerer over ulike mulig utfall multiplisert med sannsynligheter. Det beregnes altså en forventningsverdi for W både uten og med klimaendringer. Re-

duksjonen i forventet W som følge av klimaendringer «oversettes» til en størrelse som er lettere å tolke: Det beregnes med hvor mange prosent konsumet må reduseres med nå og for alle år fremover med utgangspunkt i forventet W uten klimaendring for å komme ned til forventet W med klimaendring. Med kostnadene referert over gir dette et konsumtap på 14 % (med et konfidensintervall lik 3–33 %, se tabell 6.1 i Stern-rapporten). Kostnadene av klimaendringer som følge av uendret klimapolitikk vil altså være det samme som om konsumet per innbygger ble redusert med (forventingsmessig) 14 % nå og i all fremtid for alle i verden. Vi ser at det er konsekvensene langt ut i neste århundre som er avgjørende for dette tallanslaget, som igjen skyldes forutsetningene som er gjort om størrelsens som inngår i preferansefunksjonen (1).

I kapitlene 8–10 i Stern-rapporten drøftes det hva det vil koste å redusere klimaendringen i forhold til situasjonen uten tiltak. Det argumenteres for at et rimelig mål kan være å stabilisere konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren til ca 550 ppm. CO₂-ekvivalenter, se over.

Uten tiltak er CO₂-utslippene beregnet å ca fordobles fra dagens nivå til år 2050. For å oppnå stabilisering av konsentrasjonen på 550 ppm. CO₂-ekvivalenter er det anslått at utslippene i 2050 må være ca 60 % lavere enn hva de ville vært uten tiltak, dvs. ca 20 % lavere enn dagens nivå. Kostnadene knyttet til dette er ikke beregnet i en selvstendig analyse, men det gjengis anslag fra en rekke kilder. Det er knyttet betydelig usikkerhet til kostnadene, og i Table 9.3 i Stern-rapporten er det angitt kostnader som andel av BNP for ulike alternativer. For hovedalternativet er forventet kostnad stigende fra 0,3 % i 2015 til 1 % i 2050 (men med et stort konfidensintervall; en kostnad over 3 % av BNP kan ikke utelukkes)³.

Kostnaden på 1 % av BNP svarer så vidt vi har forstått til en gjennomsnittlig kostnad per tonn redusert CO₂-utslipp på ca 22 dollar (Figure 9.5 og Table 9.2 i Stern-rapporten). Hvis vi antar at marginalkostnaden er det dobbelte av gjennomsnittskostnaden (kvadratisk kostnadsfunksjon) gir dette en marginalkostnad på ca 44 dollar per tonn redusert CO₂-utslipp i år 2050. Siden en optimal politikk vil innebære stigende marginalkostnad over tid, tilsier dette at marginalkostnaden, og dermed optimal pris (avgift/kvotepris) i dag bør ligge under 44 dollar per tonn redusert CO₂-utslipp i år 2050.

Selv om en aksepterer at et fornuftig klimapolitisk mål er å stabilisere konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren til ca 550 ppm. CO₂-ekvivalenter, er det flere ulike forløp av utslipp som kan gi dette. Stern-rapporten argumenter for at en bør begynne å redusere utlippene i nær fremtid, da kostnaden ellers blir betydelig høyere. Det er imidlertid ikke gitt noen eksplisitt analyse som leder til denne konklusjonen. I RICE-modellen er en slik analyse gjort, og resultatet av denne er at med et lig-

³ Kostnadsanslagene presentert i den siste IPCC-rapporten er noenlunde i samsvar med anslagene gitt i Stern-rapporten (se spesielt TableSPM.6 i IPCC, 2007).

nende klimapolitisk mål (stabilisering på 550 ppm. tonn CO₂) er det mest kostnadseffektivt å la utslippene øke frem til andre halvdel av dette århundre, for deretter å redusere utslippene. Årsaken til denne store forskjellen i politikk-anbefaling er ikke åpenbar, men vi mistenker at det er fire årsaker: (i) det er ikke helt samsvar mellom mål (stabilisering av konsentrasjon av CO₂ i RICE er mindre ambisiøs enn konsentrasjon av CO₂-ekvivalenter hos Stern), (ii) RICE forutsetter lavere utslipp for tilfellet ingen tiltak enn Stern, (iii) diskonteringsrenten er langt høyere i RICE enn hos Stern, og (iv) RICE har en mer optimistisk forutsetning om mulighetene for raskt å redusere utslippet i fremtiden enn Stern har.

2.5 Kostnader for Kyoto-tilpasning; Betydningen av beregningsmodell, «EMF-16 scenarios».

Som ledd i samarbeidsprogrammet «Stanford University's Energy Modeling Forum (EMF), ble prosjektet «EMF-16: *The Costs of the Kyoto Protocol: a Multi-Model Evaluation*» gjennomført på slutten av 90-tallet. Resultatene ble presentert i *The Energy Journal* i 1999.

The Energy Journal Special Issue. (March 2006)⁴. *Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilisation*

Hensikten med prosjektet var å gjennomføre sammenlignbare analyser basert på et sett av standardscenarier – med ulike modeller. Det ble benyttet fire kjernescaenarier, med ekstra vekt på god oppløsning og representasjon. Videre ble ytterligere 11 scenarier gjennomgått i den grad den enkelte modell egnet seg for det enkelte scenario. På dette grunnlaget kunne en dels skille mellom mer og mindre robuste konklusjoner og kostnadsanslag; dels kunne en identifisere områder for modellforbedring. Videre kunne viktige forskningsutfordringer beskrives. Følgende modeller var med i sammenligningen:

Tabell 1. Modeller i prosjektet: Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilisation

Modeller				
ABARE-GTEM	FUND	MERGE 3.0	Oxford Model	World Scan
AIM	G-CUBED	MIT-EPPA	RICE	
CETA	GRAPE	MS-MRT	SGM	

Det fører for lang å gå inn på detaljer, men vi nevner kort at både i baseline-scenarier og øvrige scenarier ble det generert resultater som var til dels svært forskjellige, f eks ble akkumulerte utslipp i Annex-I landene

⁴ Copyright 2006, The International Association for Energy Economics.

frem til 2100 mer enn tre ganger så høyt i «Modelers Reference Scenario» for CETA – som for MERGE3.

2.6 Endogenisering av teknologisk utvikling i makroanalyser, *Innovation Modeling Comparison Project (IMCP)*

Samarbeidsprosjektet «*Innovation Modeling Comparison Project*» (IMCP) er presentert i:

The Energy Journal Special Issue (March 2006)⁵ Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilisation

Hensikten med prosjektet har vært å kartlegge betydningen av endogen teknologisk endring⁶ i modellering av strategier for stabilisering av det atmosfæriske innholdet av drivhusgasser. I teksten nedenfor gjøres det kort rede for noen hovedpunkter fra oppsummeringen av programmets resultater.

De tidlige globale energi-økonomi-modellene som ble anvendt på klimarelaterte problemstillinger, på slutten av åttitallet, var basert på eksogene forutsetninger vedrørende teknologisk endring. Dette ble gjort på ulike måter i top-down og bottom-up modeller, med til dels svært forskjellige resultater. Det ble gjort forsøk med hybride modeller (kombinasjon av top-down og bottom-up) på begynnelsen av 90-tallet, men også disse var i hovedsak basert på eksogene forutsetninger. En konklusjon fra de første modellgenerasjonene, var at god representasjon av teknologisk utvikling er avgjørende for å gi et bilde av kostnadene for å nå stabiliseringsmål i klimapolitikken; Både for å dekode energietterspørsel fra BNP og for å gi forutsetninger for prisutviklingen på energiforsyningsalternativer med lavere utslipp.

Etter en modningsperiode ble modeller av flere slag mer sofistikerte, og var rundt årtusenskiftet i stand til, på ulike vis, å gi en (delvis) endogen representasjon av teknologisk utvikling.

I 2004 startet samarbeidsprosjektet «*Innovation Modeling Comparison Project*». Fra et tilfang på 20 ulike makroøkonomiske modeller ble det valgt ut 10 som egnet seg for kalibrering og sammenligninger:

⁵ Copyright 2006, The International Association for Energy Economics.

⁶ Et lignende arbeid, der alternative teknologiers betydning er vurdert er tidligere presentert i Energy Economics, Volume 26, issue 4, men da uten å legge vekt på endogenisering.

Tabell 2. Modeller i prosjektet: *Innovation Modeling Comparison Project*

Modeller	
ENTICE	MIND
FEEM	DNE21+
FEEM	GET-LFL
AIM/Dynamic	IMACLIM-R
DEMETER	E3MG

I tillegg har en arbeidet med tre rene energimodeller. I noen av modellene ble hovedsakelig energieffektivisering tatt i bruk som virkemiddel. Dette resulterte i at teknologisk endring innenfor utvikling av lavkarbon forsyningsalternativer ikke kunne gi vesentlige utslag på stabiliseringskostnadene. Denne forskjellen har ført til betydelig høyere kostnader i enkelte av modellene.

I noen av modellene kunne teknologisk endring «slås av», og gav da betydelig høyere kostnader for stabilisering. På tross av disse indikasjonene på at teknologisk endring kan ha stor betydning, konkluderes det med at de eksisterende modellene langt fra er gode nok til å representere mangfold, årsakssammenhenger og læringskurveeffekter som påvirker omfanget og tempoet i den teknologiske utvikling.

2.6.1 Resultater

Gjennom IMCP vises det at representasjonen av teknologisk endring kan ha svært stor betydning for hvilke kostnader som kan knyttes til stabiliseringsmålene, og at forskjellene mellom modeller vises særlig i de mest langsiktige beregningene:

Karbonpriser

For stabilisering på 450 ppm. ga de fleste modellene i forsøket en marginal karbonpris på US\$ 27/tCO₂ +/- 50 % i 2030 og US\$ 14–68/tCO₂ i 2050. Etter dette spredte beregningsresultatene seg kraftig.

Kostnader

Forskjellige kostnader i ulike modeller kan tilbakeføres til grunnleggende metodiske forskjeller, ikke bare til måten teknologisk endring behandles på. Av de åtte modellene som genererte BNP-effekter, ga halvparten kostnader som nærmet seg 1 % av GWP i 2050 ved 450 ppm. som stabiliseringsmål. To rapporterte betydelig høyere kostnader, mens de to siste gav negative kostnader.

I de sammenlikninger som ble utført i IMCP, ble klimapolitikken kun representert av stabiliseringsmål. Ulike måter å utforme virkemidler ble ikke vurdert. Basert på erfaringene fra IMCP, trekkes særlig tre forbedringsområder frem, som forutsetning for å få bedre modeller i fremtiden:

- **Hybridisering:** Det bør arbeides mer med hybride modeller, særlig for å kunne viske ut forskjellene mellom bottom-up modeller og top-down-modeller og benytte styrkene til de to tilnærmingene der de best egner seg. Slik bør en kunne legge grunnlaget for modeller med bedre representasjon av teknologisk endring, særlig med sikte på bedre analyser av intertemporale, intersektorale og interregionale virkninger.
- **Langsiktig investeringsadferd:** Gjennom IMCP har det kommet tydelig frem at forutsetninger som gjøres vedrørende langsiktig investeringsadferd har stor betydning for kostnadene. Dette gir føringer for videre modellutvikling, men åpenbart også for politikktutviklingen, ettersom investeringsadferden vil være svært følsom for den forutsigbarheten som kan knyttes til virkemiddelbruk og ambisjonsnivå i klimapolitikken.
- **Større bredde, flere innsatsområder:** Et begrenset mangfold av tilgjengelige områder for teknologisk endring i flere av modellene resulterte i betydelige kostnadsøkninger. Særlig gjaldt dette mangel på ulike backstop-teknologier og mer karboneffektive teknologier knyttet til utvinning, produksjon og videreforedling av fossile ressurser. Det bør derfor legges stor vekt på en bredere representasjon av ulike retninger for teknologisk utvikling.

2.7 Betydningen av å inkludere flere drivhusgasser i makroanalyser, «EMF-21 study».

Samarbeidsprogrammet «Stanford University's Energy Modeling Forum (EMF) ble startet i 1976, og har som hovedformål å arbeide systematisk med sammenligninger av ulike økonomiske modeller. I prosjektet «EMF-21: Multigas Mitigation and Climate Policy» har en spesielt sett på den kostnadsmessige betydningen av å inkludere metan, NOX og fluorbaserte gasser i tillegg til CO₂. I tillegg ble det tatt hensyn til kostnader for- og effekter av karbonsluk (sinks).

The Energy Journal (November 2006)⁷: Special Issue: Multigas Mitigation and Climate Policy

Følgende modeller var med i sammenligningen:

Tabell 3. Modeller i prosjektet: *Multigas Mitigation and Climate Policy*

Navn på model:				
AIM	EPPA	GTEM	MESSAGE	SGM
AMIGA	FUND	IMAGE	MiniCAM	WIAGEM
COMBAT	GEMINI-E3	IPAC	PACE	Mean
EDGE	GRAPE	MERGE	POLES	

⁷ Copyright 2006, The International Association for Energy Economics.

Hovedresultatet av de sammenligninger som ble gjort, var at beregnede kostnader for stabilisering ble betydelig lavere dersom det ble tatt hensyn til andre klimagasser og karbonsluk (sinks), i tillegg til CO₂. I gjennomsnitt ble marginal karbonkostnad ca 45 % lavere i 2050 og ca 40 % lavere i 2100.

2.8 Hybride modeller

I mange miljøer har det i flere år vært arbeidet med utvikling av hybride modeller, med særlig vekt på å kombinere top-down modellenes sterke sider med bottom-up modellenes ditto, og samtidig unngå mest mulig av de respektive modellenes svake sider. I april 2005 ble det gjennomført en egen workshop i Paris, der målet var å foreta en systematisk gjennomgang av de ulike hybride modellenes potensial og utfordringer. Resultatene fra dette arbeidet er presentert i en egen publikasjon:

The Energy Journal (October 2006)⁸: Special Issue: Hybrid Modeling of Energy-Environment Policies: Reconciling Bottom-Up and Top-Down.

Hovedkonklusjonen fra arbeidet som presenteres er at hybride modeller er ønskelig og nødvendig i fremtiden, og at det er avgjørende at en ved modelloppbyggingen har et sterkt fokus på de hensikter modellene skal tjene. Et eksempel på en hybrid modell er for øvrig presentert under kapitlet om finske analyser i kapittel 3.

⁸ Copyright 2006, The International Association for Energy Economics.

3. Europeiske analyser og modeller

3.1 Innledning

EU og medlemslandenes godkjenning av Kyoto-protokollen innebærer at medlemslandene under perioden 2008–2012 til sammen skal senke utslippene av drivhusgasser med 8 % sammenliknet med 1990-nivå. For å sikre en mest mulig kostnadseffektiv oppfyllelse av Kyoto-protokollen har EU innført et kvotemarked for omsetting av klimavoter.

Et grunnleggende prinsipp bak EUs klimastrategi er at det stilles forskjellige krav til medlemslandene utslippskrav avhengig av blant annet landenes energiforbruk og økonomiske muligheter til å reduseres klimautslippene, såkalt byrdefordeling. Byrdefordelingen mellom de 15 «gamle» EU-landene er som følger:

Tabell 4. Byrdefordelingsmål 15 EU-land

Land og reduksjonsmål				
Belgia -7,5 %	Danmark -21 %	Tyskland -21 %	Hellas +25 %	Spania +15 %
Frankriket 0 %	Irland +13 %	Italia 6,5 %	Luxemburg -28 %	Nederland -6 %
Østeriket -13 %	Portugal +27 %	Finland 0 %	Sverige +4 %	Storbritannia -12,5 %

Som det framgår oversikten varierer utslippskravene mellom landene, eksempelvis skal Danmark redusere utslippene med 21 % mens Sverige tillates å øke utslippene med 4 % i forhold til 1990-nivå i perioden 2008–2012.

Flere av de regionale EU-analysene fokuserer på EUs samlede kostnader ved å innfri Kyoto-forpliktelsen under ulike forutsetninger om tiltak i «resten av verden» og konsekvensene av ulike kvotepriser og tiltak internt i EU. Modellene RAINS/GAINS er mye brukt for utregning av kostnadseffektive utslippsreduksjoner i Europa, og byrdefordeling mellom land og sektorer. Disse modellene er strengt tatt ikke makroøkonomiske modeller i tradisjonell forstand. Resultatene fra denne type modeller er dermed ikke umiddelbart sammenliknbare med resultater fra makroøkonomiske modeller av typen som er omtalt under globale analyser.

Omtalen av regionale EU analyser er derfor en blanding av makroøkonomiske modeller/analyser og resultater fra andre typer analyser eller fremskrivninger hvor klimautslipp, kostnader eller kvotepriser har vært tema.

3.2 E3ME (Energy-Environment-Economy Model for Europe)

E3ME (Energy-Environment-Economy Model for Europe) er en dynamisk modell for Vest Europa, med representasjon av 41 industrielle sektorer, 17 former for brenselsanvendelse og 11 energibærere. Data er basert på Eurostat definisjoner og modellen kan benyttes til prognoser og analyser av makroøkonomiske effekter, energibruk og utslipp frem til 2020. I det videre omtales selve modellen før følgende analyse av sekundæreffekter ved reduksjon av klimagassutslipp i Europa basert på E3ME refereres:

Ancillary benefits of GHG mitigation in Europe, SO₂, NOX and PM10 reductions from policies to meet Kyoto targets using the E3ME model and externe evaluations. Terry BARKER, and Knut Einar ROSENDAHL (2000)

3.2.1 Geografisk dekning

E3ME dekker Vest Europa; EU 15 + Sveits og Norge

3.2.2 Typer av miljøutslipp som dekkes

Med utgangspunkt i 17 former for brenselsanvendelse og 11 energibærere beregner modellen utslippsnivåer for 14 ulike forbindelser, herunder alle de viktigste drivhusgassene.

3.2.3 Typer av kostnader som analysen omfatter

Modellen er fleksibel, og mange kostnadsarter kan representeres, herunder skadekostnader relatert til hver enkelt utslippstype. Mange scenarier kan settes opp, bl.a. med karbonskatt og energiskatt.

3.2.4 Tidsperspektiv og tidshorisont

E3ME31 er en europeisk versjon av den generiske modellen E3, spesielt utarbeidet for bruk til prognoser og analyser i perioden frem til 2030. Modellen er også godt egnet for analyser med betydelig kortere tidshorisont.

3.2.5 Modellering av økonomiens produksjonsside

Det synes som modellen i prinsippet er av keynesiansk type, hvor etterspørsel bestemmer produksjon og sysselsetting.

Den økonometriske metoden som er benyttet i modellen, er basert på metoder som opprinnelig ble foreslått av Engle og Granger (1987) og Hendry et al (1984), som innebærer at beregninger foretas i to trinn. Mo-

dellens oppbygning gjør det mulig å vurdere både langsiktige og dynamiske, kortsiktige effekter av endringer innenfor økonomi og politikk.

E3ME benytter 41 industrisektorer, 17 former for energibruk og 11 energibærere. Endringer i input-output sammenhenger behandles detaljert over hele analyseperioden for å fange opp effektene av teknologendringer, endringer i relative priser og endringer i den enkelte industris leveransesammensetning. Teknologisk endring bestemmes av investeringsnivå, kunnskap og FoU. Teknologiske endringer reduserer energietterspørselen, øker eksporten og reduserer importen. Teknologendringer har blandede effekter på sysselsettingen, øker produksjonen og eksportprisene – og reduserer importprisene.

All handel i E3ME er behandlet som om den ble gjort gjennom en europeisk «pool». Beregninger av import og eksport beregnes mellom den enkelte region og denne poolen. Handel mellom EU og verden for øvrig håndteres separat.

Arbeidsmarkedet i E3ME er representert som et antall sammenknyttede industrielle markeder over hele Europa, kjennetegnet ved forskjellige språk, arbeidslovgivning og institusjonelle forhold. Sysselsetting følger av etterspørselen i de enkelte industrigrener. Selskapene forutsettes å minimere kostnader for en gitt produksjon, men kan ikke tilpasse seg raskt til langsiktige endringsbehov. Tilbudssiden i arbeidsmarkedet er beskrevet som en forhandlingsmodell, basert på reallønn. Det forutsettes at lønnsutviklingen på lang sikt følger arbeidskraftens produktivitet utvikling i den enkelte region.

3.2.6 Kilde for numeriske anslag

Modellen benytter top-down tilnærming med høy oppløsning basert på data fra standard Eurostat definisjoner. Modellen omfatter 22 stokastiske funksjoner som bestemmer produksjon, konsum og energibruk, fordelt på 19 E3ME-regioner (noen land kan deles opp). Hver av de stokastiske funksjonene kan bli disaggregert ytterligere ved behov

De viktigste eksogene driverne er:

- Historiske datasett for vesteuropeisk økonomi.
- Verdensøkonomien; aktivitetsnivå, forbrukspriser, inkludert olje, rentenivå og valutakurser.
- EU; befolkningsvekst, skattepolitikk og energiprodukter.

3.2.7 Optimalisering versus simulering

E3ME er en simuleringsmodell. Simuleringen gir informasjon om effektene av ulike type tiltak for å nå eksempelvis klimamål. Effektene framkommer som endringer i makroøkonomiske størrelser, og kan i tillegg vise fordelingsvirkningene mellom ulike sektorer.

3.2.8 Viktigste problemstillinger og resultater

Utgangspunktet for studien er at reduserte utslipp av klimagasser medfører redusert utslipp av andre forurensningskomponenter, f.eks. SO₂, partikler og andre komponenter, knyttet til de samme teknologiene og energibærerne. Flere av disse representerer eksterne kostnader fordi de er helseskadelige og/eller skaper andre problemer/kostnader som vanligvis ikke er internalisert i økonomien. Reduksjonen av slike utslipp er en sekundæreffekt av reduserte klimagassutslipp.

I denne studien beskrives noen av disse sekundæreffektene, knyttet til SO₂, NO_x og PM₁₀, for 19 regioner i Vest-Europa. I analysen benyttes E3ME, og det simuleres virkemiddelbruk som gjør at Kyoto-målene nås ved å benytte proveny-nøytrale økonomiske virkemidler. Skadekostnader hentes fra «ExternE study», som er en omfattende analyse av de eksterne kostnadene ved elektrisitetsproduksjon i Europa, finansiert av EU-kommisjonen. Skadekostnader varierer på tvers av skadetyper og land i modellen. Fremskrivningene viser at skadekostnaden faller kraftig frem mot 2010 pga. ambisiøse, selvstendige mål for reduksjoner av NO_x og SO₂.

Verdien av sekundæreffekter er beregnet for tre forskjellige scenarier som imøtekommer Kyoto-målene for første avtaleperiode. Scenariene er kjennetegnet av:

- Overnasjonale karbonskatter.
- Kvoteordninger.
- Kombinerte virkemidler.

Beregnet, nødvendig karbonskatt er 37 – 42 Euro (2000) pr tonn CO₂e for å innfri forpliktelsene i første avtaleperiode. Det er ikke klart ut fra resultatbeskrivelsen hvorvidt dette er gjennomsnittspriser for første avtaleperiode. I alle scenarier er sekundæreffektene beregnet til ca 9 milliarder Euro pr år, dvs. ca 37 Euro pr tonn CO₂e. Dette tilsvarer 0,11 % av BNP. Disse effektene knyttes bl.a. til besparelse av ca 104,000 leveår og 11,000 færre nye tilfeller av kronisk bronkitt pr år hos voksne. Verdien av de sekundære effektene tilsvarer 1/6 – 1/3 av den reduksjonen i BNP som kan knyttes til de tre tiltakspakkene/scenariene.⁹ Dette viser at det er viktig å inkludere dem i samfunnsøkonomiske analyser av klimastrategier.

Både de relative og absolutte verdier av sekundæreffekter vil variere med ulike ambisjonsnivåer i klimapolitikken – og vil dessuten være avhengig av hvor mange sekundærutslipp det tas hensyn til i beregningene.

⁹ Vi har hatt problemer med å se at de refererte tallene er intern konsistente. Muilgens har vi misforstått noen av tallene i studien.

3.3 Analyse av effekten av helsegevinster ved hjelp av GEM-EG

GEM-EG har blitt utviklet med bidrag fra EU-kommisjonen, til dels parallelt med E3ME. Modellene har mange likhetstrekk, og vi nøyer oss her med å beskrive de vesentligste forskjellene, samt å referere kort fra følgende analyseprosjekt der GEM-E3 ble benyttet:

Modelling the health related benefits of environmental policies and their feedback effects. A CGE analysis for the EU countries with GEM-E3. Inge Mayeresa and Denise Van Regemorter (2003)

3.3.1 Forskjellen mellom GEM-E3 og E3ME

Den viktigste forskjellen er aggregeringsnivået; E3ME håndterer betydelig flere sektorer enn GEM-E3. I tillegg er de ulike landene beskrevet med høyere presisjonsnivå i E3ME. I GEM-E3 utledes etterspørselen etter arbeidskraft fra en CES-funksjon, mens det i E3ME tas hensyn til faktorpriser og tekniske endringer.

3.3.2 Analyseresultat

I denne studien benyttes en modifisert versjon av GEM-E3, der en egen representasjon av helsegevinster er inkludert i modellverket. Modellen beregner feedback-effekter av reduserte utslipp gjennom følgende «kanaler»:

- Reduserte helsekostnader
- Økt tilgjengelig tid for konsumentene
- Økt produktivitet av arbeidskraften i produksjonssektorene

Utgangspunktet for analysen er et scenario der EUs utslippsmål pr 2010 (i henhold til Kyoto) og interne byrdefordeling nås ved hjelp av nasjonale karbonskatter. Gjennomsnittlig ble det nødvendige nivået på denne karbonskatten 37 – 40 Euro(1995)/tonn CO₂.

Resultatene av analysen viser at en forbedret modellering av helseeffektene kan gi et bedre beslutningsgrunnlag ved evaluering av nasjonal miljøpolitikk, særlig med tanke på de effekter tiltak kan forventes å få på sysselsetting og privat konsum.

3.4 Analyser basert på RAINS og GAINS modellene

Det internasjonale institutt for anvendt systemanalyse (International Institute for Applied System Analysis – IIASA) har spilt en sentral rolle i utviklingen av et europeisk samarbeid rettet mot sur nedbør og utslipp til

luft. I denne prosessen har utviklingen og bruken av RAINS (Regional Air Pollution Information and Simulation)-modellen stått sentralt.

RAINS-modellen er blant annet brukt som utgangspunkt for beregning av utslippsreduksjoner i Göteborg-protokollen. Modellen er også sentral i EU-kommisjonens CAFE-program (Clean Air for Europe).

GAINS (Greenhouse gas – Air pollution Interactions and Synergies) er en videreutvikling av RAINS, og benyttes bl.a. i CAFE-programmet.

RAINS og GAINS modellene er ikke makroøkonomiske modeller i tradisjonell forstand. Modellene er mer å betrakte som en sammenkobling av mikroanalyser og partielle makroanalyser der formålet er å analysere miljø- og klimautslipp fra ulike sektorer og regioner i sammenheng, for deretter å studere de samlede effektene av utslippene.

Vi gir en kort samlet gjennomgang av modellene og noen analyseresultater basert på modellene. For en nærmere sammenlikning av modellene, se Wagner & Schöpp (2006).

3.4.1 Geografisk dekning

Den europeiske versjonen dekker 47 land i Europa. Det er også utviklet en tilsvarende modell for Asia. Det eksisterer også en global versjon med 11 verdensregioner.

3.4.2 Typer av miljøutslipp som dekkes

RAINS dekker: PM, SO₂, NO_x, VOC og NH₃

GAINS dekker i tillegg CO₂, GH₄, N₂O og CFCs, HFCs, og SF₆

Modellenes styrke er at de beskriver skadevirkningene av utslippene i sammenheng (multi-pollutant-multi-effects). Modellen beskriver hvordan utslippene fordeler seg og deres effekter på sur nedbør, overgjødning og troposfærisk ozon.

3.4.3 Typer av kostnader som analysen omfatter

RAINS beregner regionale kostnader ved utslipp og miljønyttens av å redusere utslipp. Tålegrensene (critical load) for de forskjellige økosystemene i de europeiske landene er kjent og lagt inn i modellen. Tålegrensene for mennesker er definert for noen luftforurensninger. Modellen beregner i hvilken grad tålegrensene er overskredet, med tilhørende skadekostnader. Utslippenes effekter på økosystemet beregnes i en egen delmodell – DEP.

Tiltakskostnader er modellert gjennom teknologiske kostnader for å redusere utslipp, og er modellert i en egen delmodell EMCO (emission cost module). I denne modellen genereres to typer kostnader; i) totale

kostnader for å nå visse utslippsnivåer, ii) marginalkostnadskurve som indikerer marginalkostnadene ved ulike reduksjonsnivåer.

3.4.4 Tidsperspektiv og tidshorisont

Modellen dekker en tidsperiode som går fra 1990 til 2030, inndelt i 5 års faser.

3.4.5 Modelling av økonomiens produksjonsside

RAINS¹⁰ og GAINS¹¹ er som nevnt over – ikke å betrakte som makroøkonomiske modeller. Økonomienes produksjonsside er ikke modellert i selve modellen. Derimot er modellen koblet til delmodeller som fastsetter det økonomiske aktivitetsnivået fordelt på sektorer og regioner. RAINS inneholder databaser som beskriver energikonsum for regioner fordelt på 22 kategorier som danner grunnlaget for den økonomiske aktiviteten i fire (kan utvides til seks) hovedsektorer (landbruk, energiproduksjon, transportsektoren, andre sektor). Den økonomiske aktiviteten i disse sektorene synes å inngå som eksogene faktorer i modellen.

Fremskrivningene av utslippene er basert på PRIMES-modellen (<http://www.e3mlab.ntua.gr>). PRIMES-modellen er kalibrert etter generelle forutsetninger om utviklingen i BNP og demografiske forandringer i Europa. Utslippene reguleres gjennom valg av teknologi, der de ulike teknologiene har forskjellige kostnader. Tilgjengelige teknologier med tilhørende kostnader er modellert fra et bottom-up perspektiv. Teknologivalg ved utslippsreduksjoner er endogenisert på tvers av sektorer og regioner.

I RAINS er ikke strukturelle endringer, som endret energibruk eller overgang til mindre forurensende energibærere inkludert. I den utvidet GAINS-modellen er dette endret.

3.4.6 Kilde for numeriske anslag

Det er bygd opp en stor RAINS database med historiske data. I tillegg hentes data fra EUROSTAT, IEA (International Energy Agency) og nasjonale data. Modellen og basisalternativet kan kalibreres med innrapporterte historiske data fra de respektive landene. I forbindelse med CAFE-programmet er det også utviklet en egen fremskrivning for basisalternativet (Amman et.al, 2006, European Commission, 2006).

¹⁰ For nærmere dokumentasjon, se; Amann et.al (2004).

¹¹ For nærmere dokumentasjon, se bla; Klassen et al (2005) og Tohka (2005)

3.4.7 Optimalisering versus simulering

Modellen kan kjøres som en simuleringsmodell, der modellen viser regionale kostnader og miljønyttan av alternative utslippsreduksjonsstrategier.

Modellene kan også kjøres som en optimeringsmodell for å identifisere en kostnadseffektiv fordeling av utslippsreduksjoner på tvers av sektorer og regioner (Wagner et al. 2006, Wagner et al. 2007).

3.4.8 Spesielle egenskaper utover de som er diskutert over

Modellene er åpne og alle inngangsdata kan lastes ned fra:

<http://www.iiasa.ac.at/rains>

3.4.9 Problemstillinger og resultater

Modellene brukes bl.a. som utgangspunkt for å fastsette reduksjonsmål og å fordele utslippsreduksjonsforpliktelser mellom regioner.

Modellene er bl.a. brukt i følgende programmer og avtaler:

National Emission Cellings 2007

(<http://www.iiasa.ac.at/rains/nec2007.html?sb=18>)

CAFE – Clean Air for Europe

(<http://www.iiasa.ac.at/rains/cafe.html?sb=19>)

Gøteborgprotokollen og NEC 2000

(<http://www.iiasa.ac.at/~rains/protocol.html?sb=21>)

I det videre gis det eksempel på vurdering der RAINS er benyttet som utgangspunkt for å vurdere de samfunnsøkonomiske konsekvensene av EU-kommisjonens temastrategi for luftforurensing (NEC-direktivet). For nærmere dokumentasjon,

se: (<http://www.iiasa.ac.at/rains/nec2007.html?sb=18>)

Temastrategien omfatter NO_x, SO₂, NMVOC og PM_{2,5}. Strategien er utformet slik at gevinstene ved utslippsreduksjonene målt i antall sparte leveår innenfor hele EU, oppnås til lavest mulig kostnader. Med dette utgangspunkt er utslippsreduksjonene fordelt mellom regioner og sektorer ved hjelp av RAINS. Kostnadene og utslippsreduksjonene sammenliknes med en utvikling der det ikke gjøres tiltak. Dette basisalternativet er basert på innrapporteringer fra medlemslandene. Utslippsscenariene (gitt ulike mål) er utarbeidet ved hjelp av PRIMES. Det gjøres eksogene antagelser om BNP-utvikling, CO₂-kvotepriser, demografisk utvikling mv. i scenariene. Ved å bruke PRIMES fremfor landsspesifikke fremskrivninger sikres det konsistente forutsetninger om energipriser, el-eksport og -import, mv på tvers av medlemslandene. Svakheten ved denne tilnær-

mingen er at fremskrivningene som gjøres av økonomien kan avvike fra nasjonale fremskrivninger.

Det er utarbeidet tre scenarier med ulike ambisjonsnivåer for utslippsnivåene. Innenfor hvert scenarie optimaliseres tiltakene slik at reduksjonsmålene oppnås med største mulig gevinster i form av sparte leveår for Europa, til lavest mulig kostnader.

Helsegevinstene fremkommer gjennom en dose-respons sammenheng. Kostnadene er i all hovedsak beregnet med utgangspunkt i budsjettmessige tiltakskostnader basert bl.a. på priser på tilgjengelige teknologier. RAINS tar som nevnt over ikke hensyn til strukturelle endringer som kan komme som følge av ambisiøse utslippsreduksjonskrav. Det opereres til en viss grad med skyggepriser på goder som ikke omsettes i markedet, men det er uklart hvordan, eller om, det er tatt hensyn til betalingsvillighet og eksterne effekter som ikke er knyttet til antall leveår.

Det beregnes nåverdi av tiltakene der det benyttes en kalkulasjonsrente på 4 %.

3.5 Fremskrivninger fra EU

Det Europeiske energibyrået overvåker og utarbeider prognoser for EU-landenes klimautslipp. Det gjøres også prognoser og kostnadsberegninger knyttet til fremtidige utslippsreduksjoner. I følge de siste prognosene, presentert i http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2006_9/en, vil EU-15 innfri reduksjonsmålet på 8 % under 1990-nivå i 2010, dersom alle planlagte nasjonale tiltak, bruk av Kyoto-mekanismen og karbonbindingstiltak (carbon sinks) implementeres.

Med en videreføring av dagens politikk og virkemiddelbruk vil reduksjonene i forhold til 1990-nivå kun bli på 0,6 % under 1990-nivå. En implementering av planlagte nasjonale tiltak vil gi ytterligere reduksjoner på 4,6 %, mens Kyoto-mekanismen vil bidra med 2,6 %, og karbonbindingsprosjekter med 0,8 %. Resultatene og fremskrivningene er basert på nasjonal rapportering (EEA, 2006).

I forbindelse med EU-prosjektene refereres det i flere sammenhenger til kostnadsberegninger med ulike forutsetninger om globale avtaler og restriksjoner på CDM kjøp. Disse analysene med tilhørende beskrivelser av forutsetninger og metodikk har vi ikke funnet dokumentert.

4. Nasjonale analyser fra de nordiske landene

4.1 Innledning

De nordiske landene var tidlige ute med klimapolitiske tiltak. Finland innførte verdens første CO₂-avgift i 1990, tett fulgt av Norge, Sverige og Danmark som også fikk på plass en CO₂-avgift på deler av utslippene i første halvdel av 90-tallet. Norge var først i verden med en klimamålsetting (1989), men forlot senere denne målsettingen. Et høyt fokus på miljø- og klimapolitiske spørsmål har ført til en omfattende litteratur i de nordiske landene. I vår gjennomgang har vi fokusert på rene makroøkonomiske analyser, og vi har forsøkt å rette oss mot analyser som har vært viktige i den politiske debatten.

De nordiske landene er ulike mht til energiproduksjon, utslipp og næringsstruktur. Dette fører til at klimautslippene varierer mellom de nordiske landene, noe følgende tabell viser:

Tabell 5. Utslipp Verden, OECD og de nordiske landene

	1980	1990	2000	2001	2002	Utslipp per enhet BNP (kg/1000 USD 2002)	Utslipp per innbygger 2002
Hele verden	18123	20664	23006	23156	23710		3,8
OECD	10928	11141	12486	12511	12600	497	11
Norge	29	29	36	35	36	282	7,8
Danmark	61	49	50	52	51	362	9,5
Finland	59	53	55	60	65	522	12,6
Island	2	2	2	2	2	292	7,7
Sverige	69	48	46	49	51	234	5,8

Kilde: OECD Environmental Data. Compendium 2005 (OECD 2005). (Dataene kan avvike noe fra nasjonale kilder)

Nasjonale makroøkonomiske analyser fra de nordiske landene viser at de nordiske landene vil være tjent med å delta i et internasjonalt kvotemarked. En tidlig bruk av klimavirkemidler kan ha bidratt til at mange av de «billigste» tiltakene er gjennomført og marginalkostnadene for ytterligere innenlandske tiltak kan være høyere enn utenlandske tiltak.

Som vist under kapittel 3 er Danmark ilagt et reduksjonsmål på 21 % i forhold til 1990, mens Sverige innenfor EUs byrdefordeling kan øke sine utslipp med 4 %. Sverige har imidlertid et selvpålagt klimamål på – 4 % i forhold til 1990.

De fleste nasjonale analysene er rettet mot analyser av kostnader ved å innfri de enkelte lands reduksjonsmål gjennom ulike tiltakspakker, der effektene måles i forhold til en referansebane. Resultatene fra de ulike nasjonale analysene er ikke nødvendigvis direkte sammenliknbare. Dette skyldes blant annet ulike avgrensninger i forhold til virkemiddelbruk i referansealternativet og om kostnadene ved de «historiske» virkemidlene inkluderes i vurderingene av kostnadene ved å innfri ulike klimamål. Det kan også være ulike vurderinger mht til om eksempelvis generelle energiskatter er en fiskal avgift eller et virkemiddel som skal kostnadsberegnes som et klimatiltak (Carlén 2004). Ulik behandling av disse faktorene i referansebanen påvirker hvilke makroøkonomiske effekter som knyttes til miljø- og klimatiltakene som testes.

4.2 Norske analyser – modeller og tradisjoner

I Norge er Statistisk Sentralbyrås modell MSG 6 den dominerende modellen for gjennomføring av makroøkonomiske analyser innen miljøområdet. MSG6 representerer den sjettede og så langt siste versjonen i et kontinuerlig forskningsprogram hvor endringer i økonomisk politikk eller andre eksogene forhold for Norge er blitt analysert med anvendte generelle likevektsmodeller. MSG6 er spesielt utviklet for å kunne analysere velferdseffekter av et bredt spekter av handels-, nærings-, og energi- og miljøpolitiske problemstillinger. Spesielt er den utviklet med sikte på å studere hvordan energimarkedene kan balanseres i et langsiktig tidsperspektiv. Den omfatter også sammenhenger mellom økonomisk aktivitet og ulike typer luftforurensning.

En tidlig variant av modellen (MSG-2F) ble brukt allerede i Finansdepartementets Langtidsprogram 1974–1977 (Finansdepartementet 1973) til å vise hvordan spillprodukter (forurensning) vil endres som følge av veksten i økonomien. Det ligger med andre ord 30 års utviklingsarbeid og erfaringer med å modellere økonomi og miljø i sammenheng bak dagens MSG-6.

Statistisk sentralbyrå utfører analyser ved hjelp av MSG for alle miljøer. Forutsetninger og «lukningsregler» for ligningssystemene kan derfor variere fra analyse til analyse.

Den dominerende posisjonen til MSG kan forklare det relativt beskjedne innslaget av makroøkonomiske analyser innen miljøområdet basert på andre modeller. Norge er via IFE tilsluttet MARKAL-samarbeidet. Det er gjennomført analyser der MARCAL er koblet til økonomien. De fleste av disse analysene er å anse som mer partielle makroanalyser og gis ikke en nærmere omtale.

I analyser fra Norge omtaler vi kun resultater basert på MSG.

4.3 Lavslippsutvalget: «Et klimavennlig Norge»

Lavslippsutvalget er et norsk utvalg som ble nedsatt mars 2005, og det avga sin rapport (NOU 2006:18) i oktober 2006. Mandatet var:

«å utrede hvordan Norge kan oppnå betydelige reduksjoner i de nasjonale utslippene av klimagasser på lengre sikt.

å skissere scenarier hvor de nasjonale utslippen av klimagasser reduseres med 50–80 prosent innen 2050. »

I tillegg til NOU-rapporten, er deler av bergningen dokumentert i en rapport fra Statistisk Sentralbyrå (Åvitsland 2006). I vår beskrivelse omtaler vi disse to dokumentene om hverandre.

4.3.1 Geografisk dekning

Utvalget fokuserer på Norge. Andre land er bare med gjennom handel med Norge, og alle internasjonale priser som Norge står overfor antas eksogent gitt.

4.3.2 Typer av miljøutslipp som dekkes

Utvalget ser utelukkende på klimaproblemet. Analysene omfatter både utslipp av CO₂ og andre klimagasser.

4.3.3 Typer av kostnader som analysen omfatter

Utvalget gir en beskrivelse av konsekvenser for verden dersom verdens utslipp ikke blir redusert. Dette er imidlertid bare en motivasjon for hvorfor Norge bør redusere sine utslipp. Denne diskusjonen munner ut i at Norge bør «reducere klimagassutslippene fra norsk territorium med to tredjedeler innen 2050 sett i forhold til Norges Kyoto-forpliktelse». Resten av utvalgets arbeid er fokusert på hvordan en kan få til en slik reduksjon og hva dette vil koste.

4.3.4 Tidsperspektiv og tidshorison

Utvalget ser på perioden fra i dag og frem til 2050, men det meste av den formelle analysen ser spesielt på året 2050. De makroøkonomiske beregningen er utført ved hjelp av likevektsmodellen MSG-6 (som er mer utførlig omtalt i Heide et al., 2004). Denne modellen er i hovedsak statisk, og ser på øyeblikksbilder av norsk økonomi i likevekt i ulike fremtidige år.

4.3.5 Modellering av økonomiens produksjonsside

Likevektsmodellen MSG-6 er en disaggregert modell med ca 40 produksjonssektorer. Samlet sysselsetting er eksogen, mens realinvesteringer bestemt av profittmaksimering, og renten er eksogent gitt fra verdensmarkedet. For hver produksjonssektor er teknologiendringen eksogen. Sammensetningen av produksjonen (og dermed også arbeidskraft og realkapital) er bestemt ved likevekt mellom tilbud og etterspørsel. Utslipp av 6 ulike klimagasser («Kyoto-gassene») er knyttet til produksjon og bruk av ulike varer og tjenester gjennom eksogene utslippskoeffisienter. Import og eksport er endogent bestemt i modellen, utenrikshandelen er i balanse i hver periode (korrigert for utviklingen den eksogene i utviklingen av «Statens pensjonsfond, utland»). I referanseutviklingen uten noen ny klimapolitikk er BNP (i faste priser) antatt å øke med ca 1,9 % per år fra 2000 til 2050, eller med totalt ca 150 %. Likevel er utslipp av klimagasser antatt å øke med bare ca 25 %. En av årsakene til den forholdsvis lave veksten i klimagassutslipp i referanseutviklingen er at produksjon av olje og gass er antatt å avta ganske kraftig i løpet av perioden.

4.3.6 Kilde for numeriske anslag

Det er to typer numeriske anslag som inngår i analysen. Det ene settet med anslag er anslag for alle funksjonsformer og parametere i MSG-modellen. Vi har ikke satt oss inn i hvordan disse er fremkommet, men så vidt vi har forstått er mange av disse beregnet økonometrisk. Det andre settet med numeriske anslag er kostnader knyttet til å redusere utslipp av klimagasser. Disse er av «bottom-up» typen. Utvalget har på grunnlag av ulike kilder gitt anslag for kostnader knyttet til tiltakene det ser på. Disse er så «oversatt» til endringer i parametere i MSG-modellen. Deretter er MSG-modellen brukt til å beregne forskjellen mellom utviklingen uten tiltak og med utslippsreducerende tiltak.

4.3.7 Optimalisering versus simulering

Det er ingen optimalisering verken i selve utvalgsarbeidet eller i makroberegningene. Det er utelukkende simuleringer av konsekvenser og kostnader knyttet til tiltak.

4.3.8 Viktigste problemstillinger og resultater

Utvalget drøfter 12 konkrete tiltak for å redusere de norske utslippene. Disse er utførlig diskutert i utvalgets rapport kapittel 6 og 7. I kapittel 8 er tiltakene presentert samlet med kostnader knyttet til tiltakene (tabell 8.1). Til sammen gir tiltakene en reduksjon av utlippene i 2050 i forhold til referansebanen på ca 70 %, eller drøyt 60 % av det faktiske utslippsnivået i 2000. Kostnadene varierer mellom tiltakene, og ligger fra 0 til 887 kro-

ner (1999-priser) per tonn redusert CO₂. (Det dyreste tiltaket, «lavutslippsfartøy», gir bare en liten reduksjon i utslipp. For det nest dyreste tiltaket er kostnaden anslått til 504 kroner per tonn redusert CO₂.)

I SSB-rapporten blir hvert av de 12 tiltakene «oversatt» til endringer i parametere i MSG-modellen. Deretter er MSG-modellen brukt til å beregne forskjellen mellom utviklingen uten tiltak og med utslippsreduserende tiltak. Dette blir først gjort for hvert tiltak for seg, deretter for alle tiltakene samlet. De viktigste konsekvensen av den samlede tiltakspakken er presentert i SSB-rapportens table 4. Virkningen både på BNP og privat konsum er forsvinnende liten. Etter vår mening er virkningen på privat konsum et mer relevant tall enn virkningen på BNP i denne analysen, da noen av tiltakene fører til høyere importpriser (spesielt tiltaket «lav- og nullutslippskjøretøy»), slik at BNP i faste priser må øke for å opprettholde en gitt realinntekt for Norge.

En av grunnene til at privat konsum er nesten uendret av tiltakene er at tre av tiltakene innebærer produktivitetsøkninger for Norge. Disse er «transportreduksjon», «energieffektivisering i boliger» og «energieffektivisering i næringsbygg». Dette er tiltak som i følge utvalget er lønnsomme helt uavhengig av klimaproblemet. Utvalget sier ingenting om hvorfor slike tiltak ikke allerede er gjennomført, eller hva slags politikk som må til for at de gjennomføres. Men de er altså lønnsomme uavhengig av klimaproblemet, og bør derfor enten tas med både i referansebanen og lavutslippsbanen eller ikke i noen av tilfellene. I SSB-rapporten er det derfor gjort en egen beregning hvor en utelukker disse tre tiltakene (table 5). Dette gir lite utslag i utslippsreduksjonen (69 % versus 70 % når de tre tiltakene inkluderes). Årsaken til dette er at transportreduksjon betyr lite når en tar hensyn til tiltakene «CO₂-nøytralt drivstoff» og «lav- og nullutslippskjøretøy». Tilsvarende betyr tiltakene «energieffektivisering i bygg» lite når en tar hensyn til tiltaket «CO₂-nøytral oppvarming». Men når de tre produktivitetsøkende tiltakene tas bort blir kostnadene noe høyere. I forhold til referansebanen går privat konsum ned med 0,7 %.

Beregningene med MSG-modellen sier også noe om hvordan næringsutvikling påvirkes av tiltakene. Spesielt går produksjonen av elektrisk kraft ned. Dette skyldes at når en krever CO₂-rensing, blir gasskraft ulønnsomt å produsere i Norge. I stedet blir det importert mer elektrisk kraft. For tilfellet uten de tre produktivitetsøkende tiltakene blir importen av elektrisk kraft lik 45 TWh i 2050. Dette kan synes urealistisk. Dersom denne kraften i stedet ble produsert i Norge ville en få en tilleggs kostnad svarende omtrent til prisen for CO₂-rensing, som av utvalget er anslått til 0,12 kroner per kWh. Dette gir derfor en tilleggs kostnad lik 5,4 milliarder kroner, eller ca 0,2 % av verdien av privat konsum i år 2050. Vi kommer da opp i en kostnad på omtrent 1 % av privat konsum, som er i samme størrelsesorden som Stern-rapporten finner for utslippsreduksjoner av noenlunde samme omfang. Både dette anslaget og det lavere anslaget som en får når de produktivitetsøkende tiltakene inklude-

res avhenger sterkt av kostnadsanslagene som utvalget har gitt som input til modellberegningen. Bruvoll et al. (2007) har nylig skrevet en kritisk kommentar om Lavutslippsutvalget, hvor et hovedpoeng er at utvalget i følge disse forfatterne flere steder har vært for optimistiske når det gjelder kostnadsanslag.

4.4 Vurdering av grønne skatter i Norge

I forbindelse med arbeidet til Grønn skattekommissjon i Norge (NOU:1996:9) ble ulike utforminger av grønne skatter vurdert ved hjelp av MSG-modellen. I motsetning til beregningene for lavslippsutvalget (omtalt over) der konkrete tiltakskostnader legges inn i modellen, kommer utslippsreduksjonene som følge av endringer i ulike skatter og avgifter. Alle endringene som testes er provenynøytrale.

Resultatene fra disse analysene viser at en uniform avgift er mer kostnadseffektivt enn dagens avgiftsstruktur, der en betydelig del av utslippene ikke er ilagt avgifter. En økning i CO₂-avgiften fører til at sammensetningen av energiforbruket endres. I modellen er det tallfestet sammenhenger som beskriver mulighetene for å skifte mellom olje og elektrisitet i de ulike produksjonssektorene. Økningen i prisen på olje fører til at etterspørselen etter olje isolert sett reduseres, mens etterspørselen etter elektrisitet øker. Økningen i prisen på mineralolje fører til at også prisen på energi totalt sett øker. Dette bidrar til redusert etterspørsel etter både olje og elektrisitet. Energi- og utslippsintensive næringer får et redusert aktivitetsnivå, noe som isolert sett bidrar til lavere energiforbruk. Arbeidsintensive næringer får økt aktivitetsnivå noe som isolert sett bidrar til økt energiforbruk. I tillegg endres næringsstrukturen, noe som påvirker energietterspørselen totalt sett.

Det ble også gjennomført beregninger for å vurdere hvor høy CO₂-avgiften måtte være for å redusere utslippene til 1989-nivå i år 2005, for deretter å redusere med ytterligere 5 % i 2010. Analysene viser at det ville krevd et avgiftsnivå på 900 kr per tonn CO₂ for stabilisering i 2005, med en økning til 1200 kr for ytterligere reduksjoner i 2010.

Det ble ikke innført uniforme CO₂-avgifter i Norge. Avgiftsstrukturen der en stor andel av utslippene ikke er avgiftsbelagt ble opprettholdt av hensyn til konkurranseutsatt industri.

Betydningen av CO₂-avgifter er senere evaluert med utgangspunkt i MSG (Bruvoll, A og B.M Larsen (2002)). I denne analysen brukes modellen til å studere CO₂-utslippene gitt at det ikke var CO₂-avgifter, sammenliknet med den faktiske utformingen av CO₂-avgifter. Det vises at den gjennomsnittlige CO₂-avgiften i 1999 var på 165 kr per tonn CO₂, med en variasjon over sektorene fra 0 til 400 kr. Avgiftene var høyest der de antas å ha minst effekt (transportsektoren og oljesektoren), mens sektorer hvor avgiften kunne ført til omstillinger har hatt fritak.

Sammenliknet med et alternativ uten avgifter viser beregningene at avgiftene har redusert klimagassutslippene med 2,3 % hvorav 1,5 % var fastlandsutslipp. I følge den samme analysen har andre tiltak, som metanuttak og brenning på avfallsplasser og avtaler med industrien hatt større effekt, og lavere kostnader enn en del av avgiftene.

4.5 Karbonlekkasjer studert ved hjelp av MSG

Klimagassutslipp er dels knyttet til produksjonsaktiviteter, dels til konsumaktiviteter. Mye av det som produseres går til eksport, mens en stor del av forbruket kommer fra import. I analysene;

Transboundary environmental policy effects: Markets and emission leakages (Bruvoll and Fæhn (2004)), og Richer and cleaner – at others expense? (Fæhn and Bruvoll (2006))

studeres de miljømessige virkningene på andre lands utslipp av omstruktureringer i norsk næringsliv ved hjelp av MSG.

Ved å utvide definisjonen av utslipp til også å vurdere forbruksrelaterte og flernasjonale utslipp vurderes karbonlekkasjen. Forbruksrelaterte utslipp defineres som utslipp knyttet til produksjon av varer i Norge som forbrukes i Norge, utslipp ved produksjon av importerte varer, og utslipp fra direkte konsum som eksempelvis transport. I definisjonen av flernasjonale utslipp fokuseres det på hvordan endringer i norsk økonomisk aktivitet påvirker utslipp utenfor Norges grenser.

Analysen viser at en videreføring av dagens økonomiske politikk gir en stor økning i de innlandske utslippene og at utviklingen også bidrar til å øke utslippene i andre land. Med en innstramning av klimapolitikken, kombinert med en uniform CO₂-avgift reduseres utslippene i Norge. Derimot antyder analysene at disse utslippsreduksjonene til en viss grad motsvares av økte utslipp utenlandsk.

Analysen konkluderer med at utslippslekkasjene endrer seg lite mellom de ulike klimapolitikkregimene som testes. Studien støtter dermed ikke en hypotese om at strengere miljøreguleringer vil gi forurensningslekkasjer av betydning. De innenlandske utslippene er derimot følsomme for hvordan klimapolitikken utformes. Også disse analysene viser at nasjonale forpliktelser kan oppfylles billigere i et flernasjonalt kvotemarked enn ved isolerte nasjonale tiltak.

4.6 Svenske analyser – modeller og tradisjoner

Det foreligger en rekke makroanalyser rettet mot klima- og miljøproblematikken som vurderer ulike økonomiske og miljømessige effekter for Sverige.

Analysene kan deles inn i følgende tre hovedkategorier med utspring fra hver sine vitenskapelige tradisjoner med tilhørende metodetilnærming og modellbruk:

- *Makroøkonomiske modeller* som i hovedsak bygger på makroøkonomiske modeller med systembeskrivelser på nasjons- og sektor- (bransje)-nivå der utviklingen i miljø- og klima er koblet til modellene. Konjunkturinstituttets modell EMEC og generelle likevektsmodeller er i denne tradisjonen og omtales under. Det er benyttet flere makroøkonomiske modeller som utgangspunkt for miljøanalyser for Sverige.
- *Energiøkonomiske modeller* som tar utgangspunkt i systemer for energiforsyning og -anvendelse. Modellene inkluderer økonomiske aspekter og har som regel koblinger til økonomiske aspekter. Analyser basert på MACRO-MARKAL og MARCAL-NORDIC inngår i denne tradisjonen. Statens energimyndighet (STEM) baserer mye av analysearbeidet på ulike MARCAL-varianter med kobling til økonomien. Denne type analyser omtales ikke.
- *Miljøsystemanalyser* (Integrated Impact Assessment) der man forsøker å behandle flere effekter for et område samtidig som følge av utslipp fra ulike sektorer, land eller områder. Denne kategorien omfatter en rekke metodiske tilnærminger og modeller som i hovedsak kan karakteriseres som mikroanalyser eller partielle makroanalyser. Svenske analyser i denne kategori omtales derfor ikke. RAINS (Regional Air Pollution Information and Simulation Model) som bl.a. brukes operativt i forhandlinger på europisk nivå er en form for makromiljøsystemanalyse. Denne modellen ble omtalt under europeiske (regionale) analyser.

Det vil ofte være vanskelig å sammenlikne resultatene fra analyser basert på ulike tilnærminger. I enkelte tilfeller vil også resultatene fra ulike analyser av samme problemstillinger framstå som motstridende. Mye av forklaringen til ulike resultater ligger oppbyggingen av modellene, inkludert oppbyggingen av det statiske grunnlaget i modellen.

Valget av metode og modell bestemmes til en viss grad av hvilke påvirkninger og sammenhenger man er interessert i, og hva analyseresultatene skal brukes til. Kunnskap om ulike analysetilnærminger er vesentlig for å kunne bruke, og tolke resultatene.

Analysene som omtales under fokuserer i første rekke på Sverige. Flere av analysene inkluderer imidlertid mer eller mindre eksplisitte analyser og/eller modellering av sammenhenger med EU.

I gjennomgangen har vi vektlagt makroøkonomiske analyser av Sverige som er brukt i forbindelse med forhandlinger av Kyoto-protokollen og diskusjonene rundt Sveriges klimamål.

4.7 Svenske analyser basert på EMEC-modellen

EMEC (Environmental Medium term Economic modell) er en statisk generell likevektsmodell av den svenske økonomien. Modellen er utviklet av Konjunkturinstituttet gjennom de siste 10 årene og er brukt i flere analyser. Modellen anses som særlig egnet til å studere effektene på den økonomiske veksten og strukturendringer av miljøpolitiske virkemidler som er rettet mot å begrense luftforurensninger.

Modellen har vært under kontinuerlig utvikling, der foreløpige siste versjon er EMEC 2. I denne versjonen er det særlig modelleringen av transportetterspørselen som er utviklet. I motsetning til den opprinnelige modellen har både næringssektoren og husholdningssektoren muligheter til å substituere mellom ulike transportslag. Det skilles også mellom arbeidsreiser og fritidsreiser. Videre er el- og varmeproduksjon delt opp i separate sektorer. Energiintensive sektorer er inndelt i flere segment enn i den opprinnelige modellen. EMEC 2 gir også muligheter til å studere fordelings effekter av miljøpolitikk ved at husholdningssektoren er fordelt på 2 inntektsgrupper og 3 regional nivåer.

Under gis det en presentasjon av EMEC i sin nåværende form, før analyseresultater for FlexMex2 utredningen gjennomgås. Det gis også en summarisk oversikt over andre utredninger der EMEC-modellen har vært brukt. Gjennomgangen er basert på Konkunkturinstituttet (2006), Östblom (1999) og Östblom & Berg (2006).

4.7.1 Geografisk dekning

EMEC er en nasjonal modell og er avgrenset til Sverige. Omverdenen er koblet til gjennom utenrikshandelen. Verdensmarkedsprisen og økonomisk vekst i resten av verden er eksogent gitt.

4.7.2 Typer av miljøutslipp som dekkes

Modellen dekker følgende utslipp: CO₂, CO, CH₄, SO₂, N₂O, NO_X, NH₃, samt 8 tungmetaller. I den siste versjonen inkluderes også partikler (PM 10 og PM 2,5).

Utslippene er knyttet til forurensninger fra produksjon og konsum og kommer fra mobile og stasjonære utslippskilder, samt industrielle prosesser.

4.7.3 Typer av kostnader som analysen omfatter

Tiltakene i modellen er skatte- og avgiftsendringer, kvotehandel eller andre strukturelle overordnede tiltak. Kostnadene ved tiltak framkommer som reduksjon i BNP med tilhørende komponenter sammenliknet med et referansealternativ. Referansealternativet bygger på basisalternativet for

Långtidsutredningen 1999/2000 (SOU 2000:7). Dette basisalternativet inneholder antagelser om utviklingen i BNP med tilhørende komponenter for perioden 1997–2010.

EMEC gir muligheter for tilbakevirkninger fra miljøet til økonomien. Det er mulig å la begrensninger på miljøutslipp påvirke den økonomiske veksten. Det er gjort analyser ved hjelp av EMEC som ser på gevinstene ved helseforbedringer som følge av bedre miljø og tilbakevirkningene dette har på økonomien (Östblom og Samakovlis (2004)).

4.7.4 Tidsperspektiv og tidshorisont

Modellen er statisk og har vanligvis en tidshorisont på 10 til 15 år. Modellen fanger dermed ikke opp omstillingskostnader og kortsiktige effekter ved ulike tiltak, men ser kun på de langsiktige resultatene etter aktørene har tilpasset seg endringene.

4.7.5 Modellering av økonomiens produksjonsside

Arbeidstilbudet i EMEC er eksogent gitt, mens utviklingen i realkapital er endogent bestemt med en eksogent gitt rente. Teknologisk utvikling er eksogent bestemt. I modellen er det forutsatt at verdensmarkedspriser og den økonomiske veksten på verdensmarkedet er eksogent gitt. Handelsbalansen, og eksporten og importens andel av BNP er eksogent gitt. Sparing i den svenske økonomien er endogent bestemt.

Produksjonsfaktorene, inklusive energi, bestemmes av relative priser og kostnadsminimering for et visst produksjonsnivå via nestede produktfunksjoner (Constant Elasticity of Substitution, CES). Dette er en vanlig funksjonsform i denne type modeller. Innsatsfaktoren material som inngår i Energi-material framkommer gjennom en Leontif-funksjon.

Det er mulig å la begrensninger på miljøutslipp påvirke den økonomiske veksten og innretning.

EMEC er basert på nasjonalregnskapet og gir muligheter for samme aggregering som nasjonalregnskapet. Modellens sektorinndeling og aggregeringsnivå kan tilpasses problemstillingen i den enkelte analyse. Sektorinndelingen varierer derfor mellom ulike analyser. I analysene for FlexMex2 som er gjengitt under inngår en offentlig sektor og 17 næringssektorer.

I Konjunkturinstituttets beskrivelse (mai 2006) beskrives modellen med 26 næringslivssektorer og en offentlig sektor. Modellen gir muligheter til å disaggregere ned til 45 sektorer. I EMEC 2 er følgende næringer inkludert: 1) Jordbruk, 2) Fiske, 3) Skogbruk, 4) Gruver og mineralbrudd, 5) Annen industri, 6) Sementindustri, 7) Masse, papir og grafisk industri, 8) Legemiddelindustri, 9) Kjemisk industri, 10) Jern- og stålindustri, 11) Øvrig metallindustri, 12) Verkstedsindustri, 13) Petroleumsraffineri, 14) El-sektor, 15) Fjernvarme-sektoren, 16) Gassverk, 17) Vann- og av-

løpsverk, 19) Jernbanetransport, 20) Godstransport på vei, 21) Persontransport på veg, 22) Sjøtransport, 23) Lufttransport, 24) Øvrige transporter, 25) Tjenester, 26) Bostäds- og fastighetsforvaltning.

Næringssektorene og husholdningene etterspør 33 varer og tjenester til innsatsfaktorer, investeringer og privat konsum. Varer og tjenester inngår som innsatsfaktorer også i den offentlige tjenesteproduksjonen. Arbeidskraft, material, energi og realkapital er ytterligere innsatsfaktorer i både næringssektorene og offentlig sektor.

Modellen opererer med tre typer arbeidskraft; lavutdannede, teknikere og ikke-teknikere. Nasjonalregnskapet åpner for en betydelig mer finmasket inndeling av arbeidskraften. Det samlede arbeidstilbudet er eksogent gitt. Simuleringene kan gjøres med ulike forutsetninger om mobilitet i arbeidsmarkedet. I analysene som gjengis under er det forutsatt full mobilitet i det innenlandske arbeids- og kapitalmarkedet.

EMC har en disaggregert representasjon av energisiden med muligheter til substitusjon mellom 6 ulike brensler. Merk også at El. og varme-sektoren er delt opp (EMEC 2). Denne oppdelingen gir muligheter for bedre analyser av utslippshandelens innvirkning på elprisen og de samfunnsøkonomiske fordelingseffektene som følge av endringer i elprisen.

I EMEC 2 er transportsektoren betydelig mer disaggregert enn i den tidligere versjonen. Dette gir muligheter for å studere virkemiddelbruk i transportsektoren.

4.7.6 Kilde for numeriske anslag

Modellen har en top-down struktur. Dataene er basert på data fra nasjonalregnskapet. Databasen inkluderer input-output data for 45 næringssektorer.

Referansealternativet fra langtidsprogrammet brukes som referansealternativ.

4.7.7 Optimalisering versus simulering

EMEC brukes til å simulere ulike policyscenarier sammenliknet med et referansealternativ. Referansealternativet er ikke en prognose over den fremtidige utviklingen, men angir en mulig utviklingsbane gitt de antagelsene som gjøres om produktivitet, arbeidstilbud, energieffektivisering og utviklingen i resten av verden.

Simuleringen gir informasjon om effektene av ulike type tiltak for å nå eksempelvis klimamål. Effektene framkommer som endringer i makroøkonomiske størrelser, og kan i tillegg vise fordelingsvirkningene mellom ulike sektorer. Modellen gir også muligheter for å vise regionale fordelingseffekter og fordelingseffekter mellom ulike inntektsgrupper.

Modellen kalibreres for startåret før det gjøres simuleringer. Kalibreringen gjøres slik at modellen gjensker den økonomiske situasjonen ved startåret.

Modellen viser de ulike sektorenes andeler av produksjon, sysselsetting og kapital i prosent av referansealternativet i sluttåret. Modellen viser dermed hvordan nærings sammensetningen påvirkes og hvilke sektorer som bærer de største kostnadene ved tiltakene som testes.

4.7.8 Spesielle egenskaper utover de som er diskutert over

Resultatene fra analyser med EMEC framkommer som årlige prosentvise endringer i forhold til et referansealternativ. Utformingen av selve referansealternativet kan påvirke eksempelvis kostnadsnivået for å nå et fastsatt klimamål. Et høyt utslippsnivå i referansealternativet krever omfattende tiltak og kostnadene ved å innfri målet vil dermed framstå som høyere enn i et tilfelle der det gjøres større utslippsreduksjoner i referansealternativet. Ved tolkning av resultatene bør det tas hensyn til hvilke tiltak som forutsettes gjennomført i referansealternativet, samt hvilke forutsetninger som er gjort om internasjonale tiltak og utslippsreduksjoner.

Husholdningssektoren omfatter to inntektsnivåer og tre regionale dimensjoner (storstad, mellomstor stad, og glesbygd). Dette gjør det mulig å studere fordelingsvirkninger av miljøpolitikk.

Modellen viser effektene av ulike typer tiltak eller policyendringer. For å isolere effektene er det mest hensiktsmessig å teste ulike tiltak hver for seg før eventuelle sammensatte tiltakspakker testes i modellen.

4.7.9 Viktigste problemstillinger og resultater

I omtalen av problemstillinger og resultater er det lagt mest vekt på analysene basert på EMEC som er gjennomført i forbindelse med FlexMex2 utredningen:

FlexMex2 – Samhøllsekonomska konsekvenser för Sverige av begränsad handel med utsläppsrätter enligt EUs direktiv (Konjunkturinstitutet Rapport 2003:1).

FlexMex 2 utredningen startet våren 2002 og er beskrevet i SOU 2003:60, SOU 2003:120, SOU 2004:62 og SOU 2005:10 som er delegasjonens sluttrapport.

Arbeidet har handlet om å analysere konsekvenser av handelsdirektivet, og å foreslå prinsipper og regler for gjennomføringen i Sverige.

Analysene som er gjennomført for FlexMex2-utredningen ved hjelp av EMEC viser at effektene på BNP ved innføring av handel med klimakvoter er relativt små. Resultatene viser at kostnadene i form av BNP-tap avhenger av den internasjonale prisen på utslippskvoter og utformingen av det nasjonale utslippsmålet. Analysene viser at BNP-tapet blir lavere dersom utslippsreduksjoner utenfor Sveriges grenser inkluderes i det

nasjonale utslippsmålet (s.k. avrækningsmål) enn i et tilfelle der alle utslippsreduksjonene tas innenlands.

Referansealternativet betraktes som optimistisk sammenliknet med utviklingen tidlig på 90-tallet. I referansealternativet videreføres CO₂-skatten som ble innført tidlig på 90-tallet. BNP vokser med 2,1 % per år, mens det private konsumet vokser med 2,5 % per år. Overskuddet i utenriksbalansen er beregnet til 1,3 % av BNP i 2010.

Følgende analyser ble gjennomført (Konjunkturinstituttet (2003)):

- *Kalkyl 1:* I dette scenariet innføres et nasjonalt utslippstak i 2010. Det gjøres beregninger med 4 % reduksjon og 8 % reduksjon i forhold til 1990 innen 2010. Til hvert utslippstak hører en skyggepris som etableres dersom alle sektorer deltar i en innenlandsk handel med utslippskvoter. Utslippene som følger av tilpasningene til skyggeprisen tilsvarer den tildelingen av utslipp som sikrer at utslippsmålet nås. Utslippsmålene kan også nås gjennom en CO₂-skatt tilsvarende skyggeprisen.
- *Kalkyl 2:* I dette scenarium tillates en internasjonal handel med utslippskvoter for sektorer som omfattes av EU-direktivet. Prisen på klimakvoter er eksogent gitt og er satt til 6 USD per tonn CO₂ på global handel og 30 USD per tonn dersom handelen begrenses til EU. Sektorer som ikke omfattes av EU-direktivet for kvotehandel ilegges CO₂-avgifter som sammen med kvotehandelen sikrer at utslippsmålene nås. Det samlede innenlandske utlippene tillates å overskride utslippsmålet tilsvarende innkjøpte utslippskvoter.
- *Kalkyl 3:* I dette scenariet legges det restriksjoner på de innenlandske utlippene slik at det nasjonale taket nås uavhengig av innkjøpte utslippsreduksjoner fra andre land. Samtidig tilladtes sektorer som omfattes av EU-direktivet for kvotehandel å delta i det internasjonale kvotemarkedet. Dette innebærer at det innenlandske utslippstaket må nås gjennom ytterligere reduksjoner fra ikke handlende sektorer og husholdningssektoren for å motsvare innkjøpte utslippskvoter. Dette gir en økning i den globale utslippsreduksjonen tilsvarende innkjøpte kvoter.

I referansealternativet øker de samlede CO₂-utlippene til 12 % over 1990-nivå. Utslippstak på hhv 4 % og 8 % under 1990-nivå krever dermed kraftige tiltak sammenliknet med referansealternativet.

I kalkyl 1 oppnås 4 % reduksjonsmålet til en marginalkostnad på 636 (svenske kroner per tonn CO₂, gitt en enhetlig pris på alle CO₂-utslipp). Dette blir også prisen dersom den samlede utslippskvoten ble auksjonert ut. Med et reduksjonsmål på 8 % øker prisen på utslipp til 777 kroner per tonn. BNP reduseres med hhv 8,4 mrd svenske kroner og 11,4 mrd svenske kroner i 2010 sammenliknet med referansealternativet. Dette utgjør en prosentvis endring i BNP i forhold til referansealternativet i 2010

på hhv 0,63 % og 0,86 %. De største endringene oppstår i eksportsektoren som reduseres med hhv 12,9 mrd svenske kroner og 16,4 svenske kroner sammenliknet med referansealternativet.

I kalkyl 2 blir prisen på utslipp for sektorene som omfattes av kvotehandel 310 kroner per tonn CO₂ dersom kvotehandelen begrenses til EU (eksogent gitt 30 USD) og 62 kroner per tonn med en global handel, mens CO₂-prisen for husholdningene og øvrige sektorer blir på hhv 631 kroner per tonn CO₂ og 626 kroner per tonn utslipp med 4 % reduksjonsmål. Dersom reduksjonsmålet økes til 8 % øker kvoteprisen for husholdningene og øvrige sektorer til 772 kroner per tonn CO₂ dersom markedet begrenses til EU og til 765 kroner per tonn CO₂ dersom det åpnes for global kvotehandel. Sammenliknet med kalkyl 1 blir virkningen på BNP mindre, med en reduksjon på 5,7 mrd svenske kroner i forhold til referansealternativet dersom kvotehandelen begrenses til EU, og en BNP reduksjon på 2,2 mrd svenske kroner med en internasjonal kvotehandel. Kostnadene målt i makroøkonomiske størrelser er med andre ord følsomme for forutsetninger om den internasjonale kvoteprisen.

I kalkyl 3 møter sektorene som omfattes av kvotehandel de samme prisene som under kalkyl 2. Kvoteprisen for husholdningene og øvrige sektorer øker derimot til 798 kroner pr tonn utslipp med et kvotemarkedet begrenset til EU, og 1143 kroner per tonn utslipp med en global handel. Årsaken til høy innenlandsk kvotepris ved et globalt marked er at de handlende sektorene vil velge å kjøpe kvoter i det globale markedet framfor å gjennomføre tiltak hjemme. Med et utslippsmål på innenlandske utslipp innebærer dette at mer må tas hjemme. Dersom utslippstaket økes til 8 % reduksjon øker de innenlandske kvoteprisene til hhv 1020 kroner per tonn utslipp og 1442 kroner per tonn utslipp avhengig av forutsetningene om den internasjonale kvoteprisen. Virkningen på BNP blir noe mindre enn under kalkyl 1, men betydelig høyere enn under kalkyl 2. Årsaken til at BNP-reduksjonene blir noe mindre i kalkyl 3 enn i kalkyl 1 kommer av at gevinstene industrien har fra deltagelse i et internasjonalt kvotemarkedet er større enn kostnadene som påføres øvrige sektorer for å nå de innenlandske utslippsmålene.

Analysen viser at jo større restriksjoner som legges på de nasjonale utslippsmålene som skal tas innenlandsk, jo større blir kostnadene målt i BNP-tap. Kostnadene reduseres gjennom internasjonal kvotehandel, og reduseres ytterligere dersom reduksjoner utenfor Sverige teller med. Hvor mye kostnadene ved utslippsmålene reduseres gjennom en internasjonal kvotehandel avhenger av utformingen på de nasjonale utslippsmålene og den internasjonale kvoteprisen. Dersom utenlandske utslippsreduksjoner teller, øker gevinstene med synkende internasjonal kvotepris. Dersom alle utslippene skal tas innenlandsk, øker Sveriges kostnader med synkende internasjonal kvotepris.

4.8 Analyse av byrdefordelingsmål

Analysene og resultatene er beskrevet i:

vedlegg (billaga) til SOU 2000:7 Långtidsutredningen (LU99) Miljö och ekonomiscenarier fram till år 2015.

EMEC er brukt til en analyse av effektene for å oppnå byrdefordelingsmålet for utslippsreduksjoner av CO₂ innenfor EUs enighet om byrdefordeling, der Sveriges andel var satt til +4 % prosent sammenliknet med 1990-nivå. Utslippsmålet analyseres med ulike forutsetninger om virkemiddelbruk (CO₂-avgift og handel med utslippsrettigheter), og arbeidsmarkedets tilpasninger. Resultatene fra analysen viser små makroøkonomiske effekter. Den økonomiske veksten reduseres noe, og sysselsettingen innen de fleste bransjene innen industri reduseres. Marginalkostnadene ved utslippsreduksjonene er høye og petroleumsindustrien rammes hardest. Dette følger av redusert etterspørsel etter petroleumsprodukter. I tillegg rammes gruvedrift og mineralutvinning, samt jern, stål og metallverk. Innføring av internasjonal handel med utslippskvoter gir lavere tilpasningskostnader i økonomien enn uten internasjonal kvotehandel.

De samfunnsøkonomiske kostnadene for å innfri Kyoto-målene er betydelig høyere i et scenario der det forutsettes begrenset mobilitet i arbeidsmarkedet sammenliknet med et scenario der det forutsettes at arbeidsmarkedet fungerer friksjonsfritt.

4.9 Følsomhetsanalyse mht til endringer i verdensmarkedsprisene

På oppdrag fra Klimakommittén ble det gjennomført følsomhetsanalyser med hensyn på endringer i verdensmarkedsprisene på varer og tjenester ved innføring av Kyotoprotokollen i omverden og energibruken i Energimyndighetenes referanse-scenario. Analysene viste at det er viktig å gjøre tilbakekoblinger mellom Energimyndighetens antagelser om energibruk og EMECs økonomiske helhetsbilde for å kunne sammenlikne analysene. Analysen viser dessuten at antagelser om verdensmarkedsprisforandringer som følge av innføring av Kyoto-protokollen påvirker resultatene i modellen. Det konstateres at denne prisendringen er svært vanskelig å forutsi.

4.10 Helseeffekter ved forbedret miljø

EMEC er også benyttet for å studere helseforbedringer som følge av bedre miljø.

Östblom G., Samakovlis E. (2004) Costs of Climate Policy when Pollution Affects Health and Labour Productivity – A General Equilibrium Analysis Applied to Sweden, Working Paper No. 93, Konjunkturinstitutet.

Bedre miljø gir i modellen høyere produktivitet som følge av redusert sykefravær. Tiltak som har som formål å redusere klimautslipp bidrar også til reduksjon av helseskadelige utslipp. I følge studien overvurderes kostnadene for klimatiltak dersom ikke tilbakevirkningen på helsen tas med.

4.10.1 Andre analyser der EMEC er benyttet

EMEC er også benyttet i en rekke andre analyser. Problemstillingene og resultatene er i store trekk sammenfallende med resultatene presentert over fra arbeidet for FlexMex 2.

EMEC er bl.a. benyttet i følgende utredninger:

- SOU 2000:23 Förslag till svensk Klimatstrategi – Klimatkommitténs betänkande
- SOU 2000:45 Handla for att uppnå klimatmål! – Kostnadseffektiva lösningar med flexibla mekanismer inom klimatområdet
- SOU 2003:60 Handla för bättre klimat
- SOU 2005:10 Handla for bättre klimat – Från införande til utförande

4.11 Analyse av Sverige i en multi-Regional modell

Konsekvensene for Sverige av ulike utslippsmål og nasjonal og global klimapolitikk er også belyst gjennom den multiregionale likevektsmodellen GTAP-EG. I det følgende refereres analysen:

The Cost of Going from Kyoto til Marrakech: Swedish Carbon Policy in a Multi-Regional Model. Charlotte Nilsson, Stockholm School of Economics and Bengt Kriström, Department of Forest, Economics, SLU

Analysen vurderer nytten av at Sverige deltar i kvotehandling under ulike forutsetninger om det internasjonale kvotemarkedet. Konsekvensene av en multilateral klimaavtale med fokus på Sverige studeres.

GTAP er et frittstående prosjekt som ble initiert ved Landbruksøkonomisk avdeling ved Purdue Universitet, Indiana, USA. Et konsortium av internasjonale organisasjoner som Verdensbanken, IMF, UNCTAD gir økonomisk og faglig støtte særlig i statistikkinnsamlingen. GTAP-

modellen i første rekke en global handelsmodell. Modellen gir muligheter til å studere klimapolitikk og eksempelvis handel med klimakvoter.

4.11.1 Geografisk dekning

Modellen er multiregional. Europa deles inn i 7 regioner hvor Sverige utgjør en region. Dette muliggjør landspesifikke studier for Sverige. I den opprinnelige modellen inngår 45 regioner. I denne analysen inngår følgende 5 regioner:

- Sverige
- USA
- Resten av EU
- Resten av Annex B
- Resten av verden

4.11.2 Typer av miljøutslipp som dekkes

CO₂ utslipp og utslippskvoter er inkludert i grunnmodellen

4.11.3 Tidsperspektiv og tidshorison

Modellen er en statisk likevektsmodell og analysen går fram til 2010.

4.11.4 Modelling av økonomiens produksjonsside

Produksjonsfaktorene består av kapital, faglært arbeidskraft, ufaglært arbeidskraft, land og naturressurser, modellert gjennom et CES-aggregat. Dette gir muligheter til å substituere mellom faktorene i en gitt sektor. Tilgangen på hver produksjonsfaktor er eksogent gitt i modellen. De tre første produksjonsfaktorene er mobile mellom sektorer.

Modellen forutsetter konstant skalautbytte i produksjonen, og et konstant forhold mellom bearbejdede innsatsfaktorer levert fra andre sektorer og produksjonsfaktor som står for selve verdiskapningen i sektoren.

Land og naturressurser er mobile mellom sektorer, men med treghet. Denne tregheten gir opphav til forskjellig avkastning mellom sektorer når en politikkendring har skapt en ny likevekt i økonomien.

Tilbudet i en sektor øker desto mer jo høyere avkastningen på denne innsatsfaktoren innen sektoren er i forhold til den gjennomsnittlige avkastningen i alle sektorer til sammen.

Alle varer med unntak av elektrisitet kan omsettes internasjonalt.

I analysen er modellen tilpasset slik at utslippskvoter kan omsettes mellom landene. Det er også gitt muligheter for begrensninger i kvotehandel innenfor enkelte sektorer.

4.11.5 Kilde for numeriske anslag

GTAP-EG modellen er i første rekke basert på to databaser – the Global Trade Analysis (GTAP4) og energistatstikk fra IEA.

I tillegg innhenter GTAP nasjonalregnskapstall direkte fra statistiske sentralbyråer rundt i verden. Det legges ned et betydelig arbeid i å samordne all statistikken fra forskjellige kilder til et konsistent bilde.

4.11.6 Optimalisering versus simulering

Det gjøres simuleringer med ulike forutsetninger om kvotehandel, og USAs deltagelse i kvotehandelen.

4.11.7 Viktigste problemstillinger og resultater

Analysen studerer konsekvensene av en multinasjonal klimaavtale med utgangspunkt i Sverige. Konsekvensene for det internasjonale kvotemarkedet med og uten USAs deltagelse studeres. Det gjøres også beregninger av kostnadene ved Svergies klimamål på hhv +4 % og – 4 % i forhold til 1990. Kostnadene ved klimamålet testes med og uten kvotehandel, og med og uten USAs deltagelse.

Analysen viser at utslaget på verdens bruttonasjonalprodukt som følge av Kyoto-avtalen er beskjedent, mellom 0,4 % og 1,4 % reduksjon i 2010 sammenliknet med referansealternativet. Følgende tabell viser endringene på verdensbasis i prosent i forhold til referansebanen i de ulike alternativene som testes:

Tabell 6. Utslag på verdens BNP og CO₂ (Nilsson og Kriström)

	Verdens BNP	CO ₂
Ingen kvote-handel	-1,4	-10,1
Kvotehandel	-1,2	-9,9
Ingen kvotehandel, USA uten klimaavtale	-0,6	-3,7
Kvotehandel, USA uten klimaavtale	-0,4	-3,8

Konsekvensene for Sverige med klimamålene +/- 4 % i forhold til 1990 blir som følger:

Tabell 7 Konsekvenser for Sverige ved ulike klimamål (Nilsson og Kriström)

	+4 %, uten kvote-handel	-4 %, med kvotehandel	+4 %, uten kvotehandel	-4 %, med kvotehandel
Innenlandsk kvotepris, dollar	39,1	80,7		
Internasjonal kvotepris, dollar			36,5	36,7
Kvotekjøp			82,1	4881,5
Velferdsendring			-0,2	-0,3

Analysen forutsetter at de nye kvoteprisene legges uniformt på eksisterende avgifter slik de var utformet i 1995. Det vil med andre ord si at referansealternativet skjuler en del klimapolitiske kostnader.

4.12 BNP-effekter av svensk klimapolitikk

Carlén (2004) gir en gjennomgang av ulike makroøkonomiske analyser av svensk klimapolitikk. Han viser at beregninger av klimapolitikken kostnader avhenger av hvor stor andel av avgiftene som er fiskalt begrunnet i referansealternativet.

I følge Carlén vil BNP-reduksjonen for Sverige ligge mellom 5-9 milliarder kroner per år for perioden 2008–2012 med et reduksjonsmål på -4 % i forhold til 1990, avhengig av hvilke forutsetninger som gjøres om det fiskale innslaget i energi- og CO₂-beskatningen i referansealternativet. Dersom det åpnes for kvotehandel reduseres BNP-tapet til 1,9- 3,1 milliarder per år.

Dersom EUs byrdeforpliktelse på +4 % i forhold til 1990 opprettholdes reduseres kostnadene til hhv 1,2–2,3 mrd kroner med kvotehandel og 1,7–4,6 milliarder uten kvotehandel.

4.13 Makroøkonomiske analyser fra Island

Makroøkonomiske modeller som har blitt benyttet på Island tidligere, er innrettet for prognoser med relativt kort tidshorison, 1–5 år. De har dessuten en sektoroppløsning som gjør dem lite egnet for analyser av fremtidige klimagassutslipp. Dette er bakgrunnen for utviklingen av ISM, en generell likevektsmodell for Island.

ISM skal muliggjøre analyser av alternative strategier for innfrielse av Islands Kyoto-forpliktelser. Modellens rammeverk ble levert av Statistisk sentralbyrå i Norge og bearbeidet/videreutviklet for formålet av Islands National Economic Institute.

Første versjon av modellen forelå i 2001. Følgende beskrivelse av modell og resultater bygger på dokument 2001/1 fra SSB;

«The ISM model. A CGE model for the Icelandic Economy. Torstein Bye, Robin Choudhury, Magnus Hardarson and Pall Hardarson»

4.13.1 Geografisk dekning

ISM er spesifikt designet for Island.

4.13.2 Typer av miljøutslipp som dekkes

Utslipp av CO₂, CH₄, N₂O, og PFC beregnes endogent, mens HFC gis inn som en eksogen størrelse. Utslippene av SF₆ anses som neglisjerbare på Island.

4.13.3 Typer av kostnader som analysen omfatter

Modellen er innrettet for å analysere kostnadene for ulike tilpasninger til Islands Kyoto-forpliktelser. Resultatene fremkommer som BNP-effekt, spesifikke konsumentkostnader i form av karbonskatt og skogplantingskostnader for å etablere «carbon sinks». Ingen skadekostnader beregnes.

4.13.4 Tidsperspektiv og tidshorisont

Modellen er benyttet for tidshorisonten 2008–2025.

4.13.5 Modellering av økonomiens produksjonsside

I modellen representeres 16 sektorer, hvorav følgende 6 med CES-funksjoner:

- Fiskeri
- Fiskeforedling
- Annen produksjon
- Veitransport
- Lufttransport
- Sjøtransport

De øvrige 10 sektorer modelleres med en variant av Cobb-Douglas funksjon. Av disse 10 er det spesielt for Island at både geotermisk energi og skogplanting (land reclamation) representeres som egne sektorer, og veier relativt tungt - både økonomisk og i form av klimarelevans.

4.13.6 Kilde for numeriske anslag

Modellen benytter top-down tilnærming. Simuleringen gir informasjon om effektene av ulike type tiltak for å nå klimamål. Elastisitetene som benyttes for privat konsum i første versjon av modellen er til dels hentet fra den norske modellen MSG-EE. En del av de nødvendige data er hentet fra Islands nasjonalregnskap, og flere er i første omgang «guesstimates».

4.13.7 Referansealternativ og tre scenarier.

Ved hjelp av modellen ble det etablert et referansescenario for Island. Deretter ble det gjennomført modellkjøringer for to ulike scenarier innenfor rammen av Islands Kyoto-forpliktelser. Disse skisseres nedenfor.

Scenario 1: CO₂-skatt

Den dominerende kilden til utslipp av klimagasser er forbrenning av olje, og det første scenariet består derfor i å benytte karbonskatt som viktigste virkemiddel. Dette ga følgende resultat ¹²:

Tabell 8 Bergnet nødvendig CO₂-skatt for Island

År	CO ₂ -skatt. Tusen ISK
2008	15
2009	18
2010	19
2011	24
2012	28
2016	37
2020	37
2025	40

Kilde: Bye et.al (2001)

I en kommentar skriver forfatterne at det ikke kan utelukkes at skatteregimet bør iverksettes før 2008, pga usikkerhet knyttet til substitusjonselastisitetene i modellen. Videre understreker de at den beregnede BNP- og konsumreduksjonen (1,1 % i 2025), ikke bør tillegges stor vekt, ettersom de høye CO₂-skattene i dette scenariet kan ha uforutsette virkninger.

Scenario 2: Skogplanting – «carbon sinks»

Ettersom det er store arealer som egner seg for skogplanting på Island, består scenario 2 i hovedsak av å etablere carbon sinks. Kostnaden for de tiltak som ble analysert beløper seg til ca ISK 700 millioner/år. Karbonbindingen kompensere en stor del av «utslippsoverskuddet» for perioden 2008–2012, og dersom utslippsbegrensningene opprettholdes i årene etter dette, vil Island kunne oppnå karbonbinding som overstiger behovet etter 2018. For å dekke opp forpliktelsene fram til dette året, ble det beregnet at en CO₂-skatt på mindre enn 2000 ISK/tonn ville være tilstrekkelig. Under disse forutsetningene ble BNP og privat konsum beregnet til å bli 0,1–0,2 % lavere enn i referansealternativet.

¹² 23.04.07: 100 ISK = 1,14 EURO

4.14 Makroøkonomiske analyser fra Finland, EV-modellen

Den finske EV-modellen er en generell likevektsmodell som er utarbeidet spesielt for bruk i Finland. I modellen kombineres top-down og bottom-up tilnærming, og den betegnes som en hybrid modell. Modellen er utviklet ved Technical Research Centre of Finland og det finske Government Institute for Economic Research. I EV-modellen gis det en detaljert beskrivelse av den finske økonomien, basert på tradisjonelle elementer fra generelle likevektsmodeller, kombinert med bottom-up tilnærming for utvalgte sektorer i økonomien: hovedsakelig nøkkelindustrier og energisektoren. I sin bottom-up tilnærming skiller modellen mellom ulike teknologier for elektrisitet- og varmeproduksjon. Dette anses å styrke analysene av den finske energisektoren, som omfatter store mengder kombinert kraft- og varmeproduksjon samt et omfattende fjernvarmesystem.

EV-modellen har blitt benyttet i en rekke analyser innenfor klimaområdet i Finland. Den viktigste har vært kostnadsberegninger for den nasjonale klimastrategien (Finnish Climate Change Strategy).

I det videre omtales modellen med analyseresultat fra:

Forsström, J and Honkatukia, J, (2002) EV Model: an integrated top-down and bottom-up model for Finland, Proceedings of 5th Annual Conference on Global Economic Analysis.

4.14.1 Geografisk dekning

EV-modellen er en nasjonal modell og er avgrenset til Finland. Omverdenen er koblet til gjennom utenrikshandelen. Verdensmarkedsprisen og økonomisk vekst i resten av verden er eksogent gitt.

4.14.2 Typer av miljøutslipp som dekkes

Modellen beregner kun utslipp av CO₂. Utslippene er knyttet til forurensninger fra produksjon og konsum og kommer fra mobile og stasjonære utslippskilder, samt industrielle prosesser.

4.14.3 Typer av kostnader som analysen omfatter

Tiltakene i modellen er skatte- og avgiftsendringer, kvotehandling eller andre strukturelle overordnede tiltak. Kostnadene ved tiltak framkommer som reduksjon i BNP, konsum, investeringsnivå og sysselsetting.

4.14.4 Tidsperspektiv og tidshorisont

Modellen er foreløpig benyttet for en tidshorisont på 5 – 10 år.

4.14.5 Modelling av økonomiens produksjonsside

For beregning av sysselsetting og realkapital benyttes nestede CES-funksjoner for de fleste industrisektorene. Renten er eksogent gitt. Teknologisk utvikling er eksogent bestemt. I modellen er det forutsatt at verdensmarkedsprisene og den økonomiske veksten på verdensmarkedet er eksogent gitt. Handelsbalansen er eksogent gitt.

I de beregninger som er gjort ved evaluering av «the Finnish Climate Change strategy» (omtales nærmere nedenfor) beregnes effektene for følgende sektorer:

1. Jordbruk og skogbruk
2. Papir og treforedling
3. Kjemisk industri
4. Metall og støperindustri
5. Annen industriell virksomhet
6. Service
7. Energisektoren

Modellen har en spesifikk representasjon av energisiden med muligheter til substitusjon mellom 12 energibærere og flere spesifikke teknologier/prosesser. El. og varmesektoren er delt opp.

4.14.6 Kilde for numeriske anslag

Modellen benytter top-down tilnærming for etterspørselsanslag, mens de viktigste industrinæringene representeres ved prosess- og teknologispesifikke data (bottom-up). Dataene er i stor grad hentet fra nasjonalregnskapet. Databasen inkluderer input-output data for 45 næringssektorer.

Produksjonsfaktorene, inklusive energi, bestemmes av relative priser og kostnadsminimering for et visst produksjonsnivå via nestede produktfunksjoner (Constant Elasticity of Substitution, CES). Dette er en vanlig funksjonsform i denne type modeller.

Substitusjonselastisitetene hentes dels fra nasjonale kilder, dels fra GTAP (jf omtale av GTAP under punkt 0).

4.14.7 Optimalisering versus simulering

EV-modellen benyttes til å simulere ulike policyscenarier sammenliknet med et referansealternativ. Referansealternativet er ikke en prognose over den fremtidige utviklingen, men angir en mulig utviklingsbane gitt de antagelsene som gjøres om produktivitet, arbeidstilbud, energieffektivisering og utviklingen i resten av verden.

Simuleringen gir informasjon om effektene av ulike type tiltak for å nå eksempelvis klimamål. Effektene framkommer som endringer i mak-

røkonomiske størrelser, og kan i tillegg vise fordelingsvirkningene mellom ulike sektorer.

4.14.8 Spesielle egenskaper utover de som er diskutert over

Resultatene fra analyser med EV-modellen fremkommer som årlige prosentvise endringer i forhold til et referansealternativ. Utformingen av selve referansealternativet kan påvirke eksempelvis kostnadsnivået for å nå et fastsatt klimamål. Et høyt utslippsnivå i referansealternativet krever omfattende tiltak, og kostnadene ved å innfri målet vil dermed framstå som høyere enn i et tilfelle der det gjøres større utslippsreduksjoner i referansealternativet. Ved tolkning av resultatene bør det tas hensyn til hvilke tiltak som forutsettes gjennomført i referansealternativet, samt hvilke forutsetninger som er gjort om internasjonale tiltak og utslippsreduksjoner.

Modellen skiller seg mest fra lignende modeller ved at disaggregerte forutsetninger for viktige finske industrinæringer er basert på engineeringdata/bottom-up.

Analyse av «Finnish Climate change Strategy»

Utgangspunktet har vært et baseline scenario for Finland. Opprinnelsen til scenariet består i prognoser de viktigste institusjonene og departementene, og inkluderer teknologispesifikke fremskrivninger av produktivtetsvekst og energieffektivitet fra ulike forskningsinstitusjoner. Fremskrivninger av befolkningsutviklingen er basert på data fra Statistics Finland, og indikerer et stagnerende befolkningstall med stadig større gjennomsnittsalder. Fremskrivninger av priser på verdensmarkedet er hentet fra mange kilder, de mest viktige fra IEA. Noen av de viktigste forutsetningene i baselinescenariet gjelder fremtidig kraftproduksjon, ettersom det forutsettes at forbruket vil vokse fra 80 TWh i 2000 til 90 TWh i 2010. I baseline benyttes alle innenlandske energikilder for å dekke behovet for økt kraftproduksjon, inkludert vindkraft og bioenergi. CO₂-utslipp fra ny kraftproduksjon utgjør likevel en hovedårsak til at Finland overskrider sine Kyoto-forpliktelser i baseline.

Den finske klimastrategien består av to hovedalternativer, som begge inneholder energieffektivisering, fornybar energi og utfasing/erstatning av kullkraft. I det ene hovedalternativet erstattes kullkraften hovedsakelig med naturgass, i det andre med kjernekraft. Begge hovedalternativer er supplert med varianter av skatteendringer – fra beskatning av arbeidskraft til beskatning av energi.

Resultater

(Alle verdier i forhold til baseline-scenariet for 2010)

- Utslippsmålene nås, med reduksjoner fra 21 % til 27 %. (Baseline i 2010: 69,5 MT CO₂e)
- *BNP* ned 0,2–0,7 % (mindre reduksjon med kjernekraft enn med gasskraft)
- *Sysselsetting* ned 0,1–0,5 % (minst nedgang med kjernekraft)
- *Privat konsum* ned 0,6–1,6 % (minst nedgang med kjernekraft)

Tabellen nedenfor oppsummerer effektene av de to hovedalternativene, med hvert sitt underalternativ for endret skatteregime.

Tabell 9. Prosentvis endring i forhold til referansealternativet beregnet for Finland

	Gass	Kjernekraft	Gass og skattereduksjoner	Kjernekraft og skattereduksjoner
BNP	-0,6	-0,39	-0,57	-0,35
Konsum	-0,11	-0,76	-1,05	-0,67
Investeringer	-0,28	-0,09	-0,28	-0,09
Sysselsetting	-0,4	-0,24	-0,35	-0,17
CO ₂ -utslipp	-20,91	-21,17	-20,86	-21,1

Kilde: Forsström, J and Honkatukia, J, (2002)

4.15 Analyse av EU's kvotehandelsdirektiv, konsekvenser for Finland

Det er også gjennomført makroøkonomiske analyser for Finland ved hjelp av den multiregionale modellen GTAP-E. Omtalen under baseres på:

Forsström, J, Honkatukia, J, Sulamaa, P. (2002), The Costs and Benefits of EU wide Emission trade for Finland, Proceedings of 5th Annual Conference on Global Economic Analysis.

I denne analysen benyttes GTAP-E¹³ for å modellere effektene av EUs kvotedirektiv i EU som helhet, mens resultatene derfra benyttes som input i EV-modellen for videre beregninger av virkningene i den finske økonomien. Hovedresultatene indikerer at kvotehandelen har gunstige effekter på et europeisk nivå, mens de makroøkonomiske kostnader for Finland ikke nødvendigvis reduseres, sammenlignet med et referansescenario der Finland tar ansvaret for sine egne Kyoto-forpliktelser utenom en «EU-boble». Årsaken til dette resultatet er mulighetene for feilallokeringer mellom sektorer som åpnes for kvotehandel – og mellom disse og resten av økonomien i EU.

¹³ GTAP er behandlet nærmere på side 64

4.16 Analyse av samfunnsøkonomiske klimaeffekter i Finland

I det følgende omtales analysen:

Appraising the socio-economic impacts of climate change for Finland. FINAD-APT Working Paper 12, Finnish Environment Institute Mimeographs 342, Helsinki, 30 pp. Perrels, A., Rajala, R. and Honkatukia, J. 2005.

Rapporten inngår i en serie av FINADAPT- rapporter, og beskriver resultatene fra en forstudie der hensikten var å undersøke de økonomiske mekanismene som er viktigst for å forstå klimaendringenes virkning på det fysiske miljøet og på økonomien.

Det skulle gjøres et tentativt anslag på størrelsesorden av kostnader og inntekter knyttet til klimaendringer i Finland og til slutt skulle det settes opp en oversikt over forskningsbehovet innenfor det økonomiske fagområdet. Det påpekes i drøftingene at dataunderlaget var mangelfullt og at resultatene må brukes med stor forsiktighet. Kostnader og inntekter knyttet til beregningen ble dessuten relatert til et baseline-scenarior *uten klimaendring*. En stor del av datagrunnlaget som ble benyttet var hentet fra IPCC's SRES-scenarier¹⁴. Disse er satt opp for tidsspennet fra 2000 frem til 2100, og spenner over et vidt register av forutsetninger vedrørende befolkningsvekst, økonomisk vekst, energibruk, arealbruk etc. Vi begrenser oss her til å sitere anbefalingene i rapporten, hovedsakelig knyttet til fremtidig forskning:

1. Etablere tilstrekkelig datagrunnlag fra alle sektorer i løpet av de nærmeste årene.
2. Opptrapping av forskning som gir bedre kunnskap om klimaeffektenes volatilitet og om robustheten i de enkelte sektorer – og i økonomien som helhet.
3. Klarlegge hvordan finans- og forsikringsnæringene kan bidra til forbedret risikostyring.
4. Økt forskningsinnsats for konseptet Tolerable Window/Safe Landing, særlig gjennom internasjonalt samarbeid – og tett knyttet til utviklingen av økonomiske metoder.
5. Økt forskningsinnsats på interaksjoner mellom politikk/forvaltningsområder – og de effekter dette har på kostnader knyttet til klimaendringer.
6. Etablere kunnskap på området «land use», ettersom dette er et bortimot u-rørt temaområde i Finland.
7. Sikre god samordning mellom klimarelaterte forskningsaktiviteter; innbyrdes – og i forhold til politikken.

¹⁴ Link vedr IPCC-SRES: <http://www.ipcc.ch/present/graphics.htm>

4.17 Danske analyser

De fleste makroøkonomiske analysene for Danmark har sitt utspring fra Danmarks Statistik eller Energistyrelsen. Danmarks Statistik har utviklet et modellsystem av energi- og utslippsmodeller (EMMA¹⁵) som er koblet til den makroøkonomiske modellen ADAM som brukes i økonomisk planlegging. Energistyrelsen benytter i tillegg analyser basert på RAMSES. RAMSES er en teknisk-økonomisk modell med et bottom-up perspektiv. EMMA og RAMSES benyttes ofte sammen.

EMMA kan dels brukes som en selvstendig modell og kan dels kobles sammen med ADAM slik at det kan analyseres hva et økonomisk tiltak i ADAM betyr for energiforbruket og utslippene. For en nærmere beskrivelse av EMMA, se Andersen et al (1997)

Det foreligger flere arbeider som vurderer klimastrategier for Danmark med tilhørende kostnader for å nå ulike reduksjonsmål. Det kan synes som ulike mikroøkonomiske analyser og bottom-up tilnærminger, kombinert med cost-benefit analyser har fått en stadig sterkere posisjon innenfor miljøanalyser i Danmark. Eksempelvis ser det ut til at makroøkonomiske analyser kun er brukt til fremskrivninger av en referansebane i det store tverrdepartementale arbeidet: *En omkostningseffektiv oppfyllelse af Danmarks reduktionsforpligtelse* (Finansministeriet (2003)). Kostnadene og effektene av ulike tiltak er i dette arbeidet beregnet gjennom mikroøkonomiske tiltakskostnader. Rapporten vurderer Danmarks manko i forhold til oppfyllelse av Kyoto-forpliktelsene, mulige nasjonale tiltak for å innfri forpliktelsene og mulighetene for å innfri forpliktelsene gjennom de fleksible mekanismene (kvotehandling).

I vår beskrivelse av makroøkonomiske analyser innen miljøområdet fra Danmark, har vi lagt vekt på makroøkonomiske analyser basert på EMMA. Så vidt vi kan se er de fleste av disse analysene av noe eldre dato (med unntak av utarbeidelser av referansebaner og fremskrivninger av dagens politikk). Vi gir omtale av resultater fra makroøkonomiske analyser basert på EMMA/ADAM, før vi refererer de viktigste resultatene fra kostnadsberegningene av tiltak for redusere klimautslippene.

Vi starter med en kort gjennomgang av EMMA/ADAM før resultater refereres.

4.17.1 Kort om modellene ADAM/EMMA

Geografisk dekning

Analysen fokuserer på Danmark. Andre land er med gjennom handel med Norge. Internasjonale priser er eksogent gitt.

¹⁵ EMMA – Energi og emissionsmodeller til Adam

Typer miljøutslipp som dekkes

Modellen inkluderer kun CO₂ av klimagassene. SO₂/NO_x er medregnet.

Typer av kostnader som analysen omfatter

Modellen omfatter kostnader knyttet til å redusere utslipp.

Tidsperspektiv og tidshorisont

Modellen er en årmodell. Den kan brukes til både kortsiktige og langsiktige analyser.

Modellering av økonomiens produksjonsside

Økonomiens produksjonsside er modellert gjennom den makroøkonomiske modellen ADAM.

Adam er en årmodell bygd i den empiriske modelltradisjonen som har vært preget av Tinberg og Klein. Modellen er en keynsiansk etterspørselsmodell, dvs. at etterspørselen i modellen bestemmes av produksjonen, og produksjonen bestemmer inntekten. Inntekten er gjennom forbruket en viktig determinant for etterspørselen og det er en simultan sammenheng mellom etterspørsel, produksjon og inntekt, en såkalt keynsiansk inntektsmultiplikator. Sysselsetting og ledighet avhenger av lønnen i forhold til kostnadene ved anvendt kapitalutstyr. ADAM opererer med 13 næringssektorer der energiforbruket bestemmes som en funksjon av produksjon, prisen på energi og øvrige faktorpriser. For en nærmere beskrivelse av ADAM, se

<http://www.dst.dk/HomeDK/Vejviser/ADAM.aspx> .

Fra de makroøkonomiske beregningene kommer samlet produksjon fordelt på sektorer, og variable som har betydning for husholdningenes energiforbruk. Dette danner inngangsdataene til satellittmodellen EMMA. EMMA leverer tilbake energipriser og energirelaterte avgiftsprovenyer.

Offentlige reguleringer på energiområdet, f.eks. økonomiske virkemidler som grønne skatter eller utslippskvoter for kraftverk kan evalueres gjennom ADAM.

I ADAM bestemmes den samlede energietterspørselen med en forholdsvis grov sektorfordeling. Ved å koble satelittmodeller for miljø blir sektorinndelingen mer finmasket. Koblingen ADAM/EMMA gjør det mulig å koble til fem energispesifikke energimodeller. Disse energimodellene har en bottom-up tilnærming og bestemmer husholdningene og næringenes anvendelse av seks energiformer, næringenes konvertering av brenslere til el. og fjernvarme, og beregner utslipp knyttet til energianvendelse. Energiprisene spiller en stor rolle i denne modelleringen.

Transportsektoren behandles selvstendig gjennom at en av ADAMS to transportsektorer deles opp i ni delsektorer.

I ADAM er teknologisk endring eksogent bestemt.

Kilde for numeriske anslag

De numeriske anslagene kan hentes fra flere kilder. ADAM baseres vanligvis på data fra nasjonalregnskapet. I utarbeidelsen referansebanene til *En omkostningseffektiv oppfylldelse af Danmarks reduktionsforpligtelse* er fremtidige olje, kull og gasspriser hentet fra IAEs prisantagelser (World Energy Outlook 2002). Prisene er tillagt omkostninger til raffinering, transport og håndtering i Danmark avhengig av anvendelse. Elektrisitetsprisen er fastsatt med utgangspunkt i forventet utvikling i det nordiske energimarkedet, Nord Pool.

Det er foretatt egne fremskrivninger av det danske energiforbruket som benyttes som inngangsdata i fremskrivningen. Disse er gjort delvis gjennom EMMA og delvis gjennom RAMSES. Det er også hentet inn mikrodata fra andre sektorer. El- og fjernvarmeproduksjon er hentet fra RAMSES (bottom-up driftssimuleringsmodell).

Økonomisk vekst er hentet fra Finansdepartementets ADAM-fremskrivninger. Teknologisk utvikling er hentet fra historiske data.

Optimalisering versus simulering

Det gjøres simuleringer i ADAM/EMMA under ulike betingelser.

4.17.2 Viktige problemstillinger og resultater

- CO₂-utslippene i 2005 ble vurdert ved hjelp av EMMA og ADAM i forbindelse med miljøvurderinger av finansloven i 1999. I denne analysen estimeres effektene på CO₂, SO₂, NO_x som en integrert del av den makroøkonomiske fremskrivningen. Resultatene fra analysen viser at Danmark ikke ville nå delmålet om 20 % utslippsreduksjoner i 2005. I følge analysen skyldes dette i hovedsak høy vekst i transportsektoren (Finansministeriet 1998).
- Finansministeriet evaluerte i 1999 effekten av grønne avgifter for næringslivet (Finansministeriet 1999). Formålet med evalueringen var å komme fram til en forenkling av avgiftssystemet. Analysene ble gjennomført ved hjelp av ADAM og EMMA. I følge resultatene fra EMMA-analysen ga «frivillige» avtaler og grønne avgifter til sammen en CO₂-reduksjon på 3,8 %, hvorav avgiftene stod for 2 %. Også denne analysen viser betydelige økninger i CO₂-utslippene fra transportsektoren.
- Jespersen, Mortensen og Rummel (1999) gjennomførte konsekvensanalyser basert på EMMA og ADAM der formålet var å studere ulike politikktilnæringer for å redusere CO₂-utslippene. I følge disse beregningene ville en videreføring av dagens politikk kun gi en CO₂-reduksjon på 1,5 % i 2005. Dette er et betydelige lavere resultat enn Finansministeriet kom fram til med samme modellapparat. Forklaringen på forskjellene ligger i ulike forutsetninger om energieffektivisering. I følge de samme analysene ville 20 % målet i 2005, krevd en

økning av CO₂-avgiften med 600 danske kroner per tonn CO₂. Dette ville resultert i en CO₂-avgift på 1200 kr per tonn CO₂ for husholdningene og 690 kr per tonn CO₂ for næringene med lavest sats (lette prosesser). I følge konklusjonene fra analysen kan avgiftsøkningen reduseres dersom den kombineres med ytterligere subsidier til vindmøller.

Det er vanskelig å se noe mønster i analyseresultatene fra Danmark. Analysene er svært følsomme for endringer i forutsetninger om substitusjonsmuligheter, energieffektivisering, og energipriser. Danmark har stor kapasitet i produksjon av elektrisk kraft basert på fossile brensler. Ved høye elektrisitetspriser eksporteres store mengder elektrisk kraft bl.a. til Norge. Ved lave kraftpriser produseres det mindre elektrisk kraft og Danmark kan også være netto importør. Forutsetninger om energiproduksjonen og energiprisene blir dermed svært avgjørende for resultatene i de makroøkonomiske analysene.

4.18 Tiltakskostnader: Kostnadseffektiv opfyldelse af Danmarks reduktionsforpligtelse

Analysen *En omkostnadningseffektiv opfyldelse af Danmarks reduktionsforpligtelse* (Finansministeriet, 2003), vurderer hvordan Danmark på en mest mulig kostnadseffektiv måte kan nå sine klimaforpliktelser. I henhold til Kyoto-avtalen og EUs byrdefordeling har Danmark forpliktet seg til å redusere sine utslipp med 21 % i forhold til basisåret 1990. Uten tiltak er det beregnet at mankoen i forhold til reduktionsforpliktelsene ligger på 20–25 millioner tonn. Dette tilsvarer 25–30 % av de danske utslippene. Disse beregningene er fremkommet ved hjelp av ADAM/EMMA.

Deretter er det foretatt mikrobaserte tiltaksanalyser for å optimalisere nødvendige tiltak for å innfri Danmarks klimamål. Analysen viser at kostnadene ved å innfri forpliktelsen kun gjennom nasjonale tiltak ligger på 4–5 mrd danske kroner årlig dvs. mindre enn 0,5 % av BNP. Dersom innenlandske tiltak kombineres med bruk av fleksible mekanismer og kvotehandel kan kostnadene reduseres til 1–2 mrd danske kroner årlig.

Analysen viser videre at den dyreste måten å innfri forpliktelsene på er gjennom en vedvarende støtte til ytterligere utbygging av ny fornybar energi. Tiltaksanalysen er så vidt vi kan se ikke koblet til noen makroøkonomiske vurderinger. Det framgår dermed ikke om tiltaket vil ha makroeffekter.

Referanser og kilder

- Amann, M., Cofala, J., Heyes, C., Klimont, Z., Mechler, R., Posch, M. and Schöpp, W. (2004). The RAINS model. Documentation of the model approach prepared for the RAINS review. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria.
- Amann, Markus; Willem Asman, Imrich Bertok, Janusz Cofala, Chris Heyes, Zbigniew Klimont, Max Posch, Wolfgang Schöpp, Fabian Wagner (2006): Emission control scenarios that meet the environmental objectives of the Thematic Strategy on Air Pollution NEC. Scenario Analysis Report nr 2. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria
- Andersen, Mikael Skou, Nils Dengsøe og Anders Branth Pedersen: Vurderinger av de grønne afgifters effekter i de nordiske lande. Resultater og metodospørsmål.
- Barker, Terry and Knut Einar Rosendahl (2000); Ancillary benefits of GHG mitigation in Europe; SO₂, NOX and PM10 reductions from policies to meet Kyoto targets using the E3ME model and externe valuations.
- Bruvoll, A., T. Bye og M. Greaker (2007), »Lavutslippsutvalget: No limits to growth?« Økonomisk Forum nr. 2/2007, s. 8–15.
- Bruvoll, Annegrete and Bodil M. Larsen (2002): Greenhouse gas emissions in Norway. Do carbon taxes work? Energy Policy 32 (4), 493-505.
- Bruvoll, Annegrete and Taran Fæhn (2004): Transboundary environmental policy effects: markets and emission leakages, Discussion papers 384, Statistics Norway.
- Bruvoll, Annegrete og Taran Fæhn (2005): Rett i hodet på naboen? Globale miljøvirkninger av norsk økonomisk vekst og miljøpolitikk, Økonomiske analyser 2/2005, Statistisk sentralbyrå.
- Bye, Torstein, Robin Choudhury, Magnus Hardarson and Pall Hardarson (2003); The ISM model. A CGE model for the Icelandic Economy.
- Carlén, Björn; BNP-effekter av svensk klimapolitik – en kommentar. A2004:008 Institutet för tillväkspolitiska studier
- Energistyrelsen, Økonomi- og Erhvervsministeriet (2003): En omkostningseffektiv opfyldelse af Danmarks reduktionsforpligtelse. Dokumentation av fremskrivning og analyser på energiområdet.
- Energy Economics, Volume 26 issue 4 juli 2004; EMF Alternative technology strategy for climate change policy. Edited by John P. Weyant.
- Engle, R F and C W J Granger: 'Cointegration and error correction: representation, estimation and testing', Econometrica, 55, pp251-76 (1987)
- European Commission, (2006): EU15 baseline scenario. Brussels, Commission of the European Communities.
- European Commission, 2006b: Implementing the Community strategy to reduce CO₂ emissions from cars, Sixth annual communication on the effectiveness of the strategy (COM (2006) 463 final), Commission of the European Communities, Brussels.
- European Environment Agency (2006): Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2006. EEA Report No 9/2006
- Fæhn, Taran and Annegrete Bruvoll (2006): Richer and cleaner - at others' expense? Discussion Papers 477 - Statistics Norway, September 2006
- Finansdepartementet (1973): Langtidsprogram 1974-1977
- Finansdepartementet (2001): Langtidsprogrammet 2002–2005, Stortingsmelding nr. 30 (2000–2001).
- Finansministeriet (2003): En omkostningseffektiv klimastrategi, februar 2003. www.fm.dk
- Forsström, J and Honkatukia, J, (2002), EV Model an integrated top-down and bottom-up model for Finland, Proceedings of 5th Annual Conference on Global Economic Analysis

- Forsström, J, Honkatukia, J, Sulamaa, P. (2002); The Costs and Benefits of EU wide Emission trade for Finland, Proceedings of 5th Annual Conference on Global Economic Analysis
- Heide, Kim Massey, Erling Holmøy, Lisbeth Lerskau and Ingeborg Foldøy Solli (2004): Macroeconomic Properties of the Norwegian Applied General Equilibrium Model MSG6, Reports 2004/18, Statistics Norway.
- Hendry, D F, Pagan, A and J D Sargan: Dynamic specification, in Handbook of Econometrics, Vol II, Griliches, Z and M D Intriligator (eds), Amsterdam, North Holland (1984)
- IPCC (2007): Fourth Assessment Report, Working group III. Summary for policy makers.
<http://www.ipcc.ch/SPM040507.pdf>
- Jensen, Jesper (2003): Priser og risici på internasjonale markeder for de fleksible mekanismer. Miljøprosjekt Nr. 762 2003. Miljøstyrelsen
- Klaassen, G., Berglund, C. and Wagner, F. (2005). The GAINS Model for Greenhouse Gases - Version 1.0: Carbon Dioxide (CO₂). IIASA Interim Report IR-05-53. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria.
- Konjunkturinstitutet (2003): Samhälls-ekonomiska konsekvenser för Sverige av begränsad handel med utsläppsrätter enligt EUs direktiv. Konjunkturinstitutet Rapport 2003:1.
- Konjunkturinstitutet (2006): Kortfattad beskrivning av Konjunkturinstitutets modell för miljöökonomisk analys
- Mayeresa, Inge, and Denise Van Regemortel (2003): Modelling the health related benefits of environmental policies and their feedback effects. A CGE analysis for the EU countries with GEM-E3.
- Munksgaard, Jesper, Lise-Lotte Pade og Manfred Lenzen (2005): Internasjonal handel og CO₂-udledningen. AKF forlaget april 2005
- Naturvårdsverket, Energimyndigheten, (2004), Kontrollstation 2004 Naturvårdsverket och Energimyndighetens underlag till utvärdering av Sveriges Klimatstrategi
- Nilsson, Charlotte and Bengt Kriström; The Cost of Going from Kyoto to Marrakech: Swedish Carbon Policy in a Multi-Regional Model. Working Paper Series, Department of Forest Economics, Swedish University of Agricultural Sciences No 02/327:
- Nordhaus W.D. and J. Boyer: Warming the World – Economic Models of Global Warming. The MIT Press, Cambridge, Mass, 2000
- Nordhaus, W.D. (1994), Managing the Global Commons; The Economic of Greenhouse Effect, MIT Press, Cambridge, MA
- Nordhaus, W.D. and Z. Yang (1996): A regional dynamic general-equilibrium model of alternative climate change strategies, American Economic Review, 886, 741-765
- Nordhaus, William D. (2007), The Stern Review on the Economics of Climate Change. Journal of Economic Literature, forthcoming.
- NOU 1996: 9: Grønne skatter – en politikk for bedre miljø og høy sysselsetting
- NOU 2006: 18: Et klimavennlig Norge
- OECD Environmental Data (2005): Compendium 2005
- Östblom G., Samakovlis E. (2004) Costs of Climate Policy when Pollution Affects Health and Labour Productivity – A General Equilibrium Analysis Applied to Sweden, Working Paper No. 93, Konjunkturinstitutet.
- Östblom, G. (1999): An Environmental Medium Term Economic Model – EMEC, Working Paper No. 60, Konjunkturinstitutet Stockholm
- Östblom, G. and Charlotte Berg (2006): The EMEC model: Version 2.0. Working Paper No. 96 November 2006. The National Institute of Economic Research. Stockholm 2006
- Perrels, Adriaan, Rajala, Rami and Honkatukia, Juha (2005): Appraising the socio-economic impacts of climate change for Finland, FINADAPT Working Paper 12, Finnish Environment Institute Mimeographs, Helsinki.
- Popp, David (2002) «Induced Innovation and Energy Prices,» *American Economic Review*, 92(1), March 2002, 160-180.
- Popp, David (2004) «ENTICE: Endogenous Technological Change in the DICE Model of Global Warming,» *Journal of Environmental Economics*

- and Management*, 48(1), July 2004, 742-768.
- Popp, David (2005): «Lessons From Patents: Using Patents To Measure Technological Change in Environmental Models», *Ecological Economics*, 54(2-3), August 2005, 209–226.
- Popp, David (2006): Comparison of Climate Policies in the ENTICE-BR Model. The Energy Journal. Special Issue, Endogenous Technological Change and the Atmospheric Stabilization. IAEE
- Quirion, P (2002) «Complying with the Kyoto Protocol under uncertainty: Taxes or tradable permits?» <http://weber.ucsd.edu/~carsonvs/papers/266.PDF>
- SOU 2000:23 Förslag til svensk Klimatstrategi – Klimatkommitténs betänkande
- SOU 2000:45 Handla for att uppnå klimatmål! – Kostnadseffektiva lösningar med flexibla mekanismer inom klimatområdet
- SOU 2001:2 Effektiv hushållning med naturressurser
- SOU 2003:60 Handla för bättre klimat
- SOU 2005:10 Handla for bättre klimat – Från införande til utförande
- Stern, Nicholas (2007); The economics of climate change : the Stern Review Reprinted. Cambridge University Press, 2007
- The Energy Journal (1999), Special Issue; The Cost of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation. IAEE
- The Energy Journal, Special Issue (2006): Endogenous Technological Change and the Atmospheric Stabilization. IAEE.
- The Energy Journal, Special Issue (2006): Hybrid Modeling of Energy-Environment Policies; Reconciling Bottom-up and Top-Down. IAEE
- The Energy Journal, Special Issue (2006): Multi-Greenhouse Gas Mitigation and Climate Policy. IAEE
- Tohka, A. (2005). The GAINS Model for Greenhouse Gases –Version 1.0: HFC, PFC and SF6. Interim Report IR-05-56. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria.
- Wagner, F., Amann, M. and Schoepp, W. (2007). The GAINS optimization module as of 1 February 2007. Interim Report IR-07-004. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria.
- Wagner, F., Schöpp, W. and Heyes, C. (2006). The RAINS optimization module for the Clean Air For Europe (CAFE) Programme. IR-06-29. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria.
- Wagner, Fabian, Wolfgang Schöpp (2006): Comparison of the RAINS emission control cost curves for air pollutants with emission control costs computed by the GAINS model, Interim Report IR-07-008. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria.
- Weyant, John P. and Jennifer Hill (1999): «The Cost of the Kyoto Protocol», Energy Journal, Special Issue
- Åvitsland, Turid: «Reductions in greenhouse gas emissions in Norway – calculations for the Low Emission Commission»; SSB report 2006/44

Executive Summary

The report gives a review of macroeconomic analyses of greenhouse gases and other transboundary air pollutants. There is a large literature covering this topic, in particular for greenhouse gases. For other air pollutants most existing analyses are more micro based, and can thus not be classified as «macro analyses»

The literature treating the climate problem is very large, with some covering the whole world and others covering particular regions or countries. The present report covers three types of studies: (1) studies analyzing the whole world, (2) studies analyzing EU/Europe, and (3) studies focusing on one of the Nordic countries. We have discussed a limited number of studies, which taken together represent a reasonably good picture of the exiting literature.

The global studies typically have the following characteristics:

- a) the focus is mainly on greenhouse gases, and in particular on CO₂
- b) many of the studies give an analysis of the costs both of climate change and of greenhouse gas mitigation, and are thus able to describe an optimal path of greenhouse gas emissions
- c) most of the analyses calculate how large the price of greenhouse gas emissions (tax or quota price) must be in order to achieve either the optimal emission path or some other target for emissions
- d) many of the studies calculate the costs in terms of lost GDP (or similar) to achieve either the optimal emission path or some other target for emissions

The issue of what emission path is optimal (b above) depends on the costs of climate change as well as abatement costs. Moreover, the optimal emission path will depend crucially on how costs in the distant future (2050 and later) are valued relative to present costs and costs in the near future. Usually social discount rates of the magnitude 3–6 % are used in cost-benefit analyses. With discount rates of this magnitude a typical result is that the optimal emission path is not much lower than the «business as usual» path (i.e. the emission path in the absence of mitigation efforts). As an example, an analysis using the RICE model¹⁶ gives an

¹⁶ W.D. Nordhaus and J. Boyer: Warming the World – Economic Models of Global WarmingThe MIT Press, Cambridge, Mass, 2000.

optimal emission path that leads to a global warming only 0.2 degrees (Celsius) lower than the global warming under business as usual. Not surprisingly, with such a moderate optimal mitigation, the price of greenhouse gas emissions is also very low; in the RICE analysis only a couple of dollars per tonne of CO₂ initially and rising to 23 dollars in 2100.

The Stern Report¹⁷ uses a discount rate that is much lower than what is usually used in the literature (1.4 %). Although the Report does not contain any formal optimization, it concludes that the optimal emission path should lead to a stabilization of carbon in the atmosphere of about 450 ppm., which with the addition of other greenhouse gases implies a level of 500–550 ppm. CO₂ equivalents. The Stern Report, as well as other studies, suggest that such a stabilization is consistent with a current price of CO₂ emissions well below 40 dollars per tonne of CO₂ (some studies suggest prices as low as 10 dollars) and rising over time, in several studies to 40–60 dollars by 2050.

Many of the global analyses calculate total costs of mitigating greenhouse gas emissions, either to the calculated optimal path or to a path giving e.g. stabilization at 550 tonnes of CO₂ equivalents. The models used for such analyses differ quite significantly between different studies (in particular in model details). In spite of this the calculated costs are of the same order of magnitude for most of the studies: The Stern Report concludes that the costs of stabilization at 550 ppm. CO₂ equivalents will be about 1 % of aggregate GDP, but with quite a large range of uncertainty (a cost of more than 3 % of aggregate GDP cannot be ruled out). Costs of this order of magnitude can be found in a large number of studies. It is important to bear in mind that these cost estimates assume that emission reductions are allocated across countries in a cost-effective manner. With other allocations of the same aggregate emissions the total costs may be considerably higher.

The studies of EU/Europe that are considered in this report differ from the global studies in particular with respect to point a) and b) above:

- the EU/Europe studies have more focus on other pollutants than greenhouse gases (in particular SO₂, NO_x, VOC, and PM10)
- in most of the analyses there is no attempt to derive optimal emission paths; instead the analyses calculate costs of mitigation efforts to achieve specific goals (e.g. the Kyoto target) under various assumptions about how emissions are allocated across countries.
- the analyses have a shorter time horizon than the global studies (typically to 2020–2030)

Many of the studies treat the issues c) and d) mentioned under global studies. A point made in several studies is that the net costs of reducing

¹⁷ N. Stern: *The Economics of Climate Change – The Stern Review*. Cambridge University Press, 2007.

greenhouse gas emissions may be significantly lower than the gross costs. The reason for this is that many measures to mitigate greenhouse gas emissions have indirect beneficial effects on health and the environment (other than climate). These indirect benefits must be subtracted from the gross costs to obtain the net costs of greenhouse gas mitigation.

The national studies that are considered in the present report focus mainly on greenhouse gases, and typically consider the following issues:

- costs of achieving the Kyoto target or a self imposed stricter target
- how such costs depend on the possibility of international quota trade
- the price of CO₂ emissions for various sets of assumptions about emission targets and possibilities of quota trade

Several of the studies consider indirect beneficial effects on health and the environment, so the net costs are lower than the gross costs.

In most of the national studies the analysis is done using a general equilibrium model of the economy, which gives a description of the economy in a future year under alternative assumptions about climate policy. Examples of such models include the MSG model in Norway, the EMEC model in Sweden, and the ISM model of Iceland. The results of analyses using these types of models will depend crucially on details in the model specification. In particular, the price of CO₂ emissions consistent with a specific emission target will depend crucially on how large the substitution possibilities are assumed to be between various types of energy and between energy and other inputs (in particular labour and capital). These substitution possibilities may vary between countries. Moreover, any estimate of what the degree of substitutability is for any particular country will in practise be quite uncertain, implying that results for each country are also quite uncertain.

Cost estimates for reducing emissions vary a lot between the Nordic countries. Among the lowest cost estimates is an estimate for Norway (NOU 2006:18), which suggests that greenhouse gas emissions may be cut by 70 % relative to the reference alternative (60 % lower than emissions in 2000) by 2050 at a cost of only 1 % of GDP. A study of Sweden (Konjunkturinstitutet Rapport 2003:1) is an example of high cost estimates. In this analysis total costs as well as the price of CO₂ emissions depend strongly on how much emissions are reduced domestically in Sweden as opposed to Sweden purchasing quotas abroad. If Sweden were to reduce domestic emissions by 8 % in 2010 compared to 1990 levels (about 18 % lower than 2010 emissions in the absence of any new mitigation efforts), this would give a GDP loss of 0,9 %, and a price of CO₂ emissions equal to 777 Swedish Kroner per tonne of CO₂. In some of the other alternatives considered the price of CO₂ emissions is even higher. The cost in percent of GDP is thus about the same for Sweden as for Norway, in spite of the reductions in emissions being only 18 % in Swe-

den as opposed to 70 % in Norway. The explanation is probably at least to some extent that the Norwegian study has assumed that many low cost mitigation options will become available by 2050, while no such assumption is made in the analysis of Sweden (which also has a much shorter time perspective). As for the price of CO₂ emissions, this may be high also in Norway if no specific technology improvements are assumed: The Green Tax Commission in Norway (NOU 1996:9) presented an analysis showing that the required price of CO₂ emissions would have to be 1200 Kroner per tonne of CO₂ in 2010 in order for emissions to be 5 % lower than in 1989.

Studies for Denmark, Finland and Iceland contain analyses of necessary measures to achieve these countries' Kyoto targets, as well as the costs of these measures. The costs depend on the assumptions made, and also on which restrictions countries set on their policies. As examples of such restrictions, a Finish analysis has considered cases both with and without increased use of nuclear power, and an analysis for Iceland has considered measures to reach its Kyoto target both including and excluding the possibility of establishing carbon sinks through reforestation. For all of these countries the Kyoto target can be met at costs below 1 % of their GDP (in some case well below) provided the most cost effective options are chosen. The explicit or implicit price of CO₂ emissions is in most of the analyses relatively high; for Denmark and Iceland more than 100 Euro per tonne of CO₂ emissions.