



Working Paper 22/2013

Kostnadseffektive tilpasninger til togradersmålet i Norge og EU fram mot 2050

Taran Fæhn, Elisabeth Thuestad
Isaksen og Orvika Rosnes



The CREE Centre acknowledges financial support from The Research Council
of Norway, University of Oslo and user partners.

ISBN: 978-82-7988-160-5

ISSN: 1892-9680

<http://cree.uio.no>

*Taran Fæhn, Elisabeth Thuestad Isaksen og
Orvika Rosnes*

**Kostnadseffektive tilpasninger til
togradersmålet i Norge og EU fram mot 2050**

Forord

Denne rapporten omfatter analyser av mulige utslippsbaner for Norge og EU, gitt et mål om å begrense den globale temperaturøkningen til to grader celsius. Rapporten legger spesielt vekt på hvordan forskjeller i næringsstruktur og teknologibruk mellom Norge og EU påvirker utslippsutviklingen frem mot 2050. Rapporten er laget i SSBs forskningsavdeling i prosjektet Klimapolitikk og klimatiltak i Norge og EU på oppdrag av Finansdepartementet. Vi er takknemlige for synspunkter og innspill fra Finansdepartementet samt fra kolleger i Statistisk sentralbyrå. Forfatterne er tilknyttet Oslo Centre for Research on Environmentally friendly Energy (CREE) som er støttet av Norges Forskningsråd. Rapporten er også trykket i SSBs serie Rapporter (39/2013).

Sammendrag

Denne rapporten presenterer analyser som skisserer utslippsutviklingen i Norge og EU under et mål om å begrense den gjennomsnittlige globale temperaturøkningen til to grader celsius sammenlignet med før-industriell tid. Formålet er å belyse hvordan forskjeller i næringsstruktur og teknologibruk mellom Norge og EU påvirker utslippsutviklingen frem mot 2050 under to ulike scenarioer. I det ene tilfellet ser vi på utfallet av en global gjennomføring av en klimapolitikk i samsvar med togradersmålet. I det andre tilfellet implementerer Norge alene den samme karbonprisen som ville vært resultatet av en global gjennomføring i tråd med togradersmålet. Politikksenarioene sammenliknes med referansescenarioer der dagens politikk, inkludert de løfter og garantier som allerede er gitt av de ulike myndighetene, er lagt til grunn.

Rapporten baserer seg på beregninger presentert i IEA-publikasjonene *Energy Technology Perspectives 2012* (IEA, 2012a) og *Nordic Energy Technology Perspectives 2013* (IEA, 2013), samt analyser gjennomført med den SSB-utviklede modellen MSG-TECH. Analysen består av to hoveddeler. Den ene delen (kapittel 4) sammenlikner to ulike utslippsberegninger for Norge: IEA (2013), som legger til grunn at den norske tilpasningen er del av en global gjennomføring av togradersmålet, og MSG-TECH-beregninger, som antar at Norge alene tilpasser seg (den samme) karbonprisen, men hvor en global avtale ikke er på plass.

Den andre delen av analysen (kapittel 5) sammenlikner Norge med EU basert på de to IEA-analysene. De er basert på sammenliknbare antakelser og samme type modellapparat, som nesten utelukkende beregner effekter av teknologiske tiltak. Sammenlikningen av EUs og Norges tilpasninger er interessant først og fremst fordi næringsstrukturen og teknologibruken i utgangspunktet er forskjellige. For det første har Norge en stor olje- og gasssektor. For det andre produseres elektrisk kraft i Norge i all hovedsak med vannkraft, mens innslaget av fossil kraftproduksjon er vesentlig større i EU. For det tredje har vannkraftressursene bidratt til at norsk energibruk i større grad enn den europeiske er basert på elektrisitet framfor fossile brenslers.

Sammenlikningen av Norge og EU viser at de totale utslippsreduksjonene i forhold til referansebanen ligger noe lavere i Norge enn i EU, henholdsvis på 44 og 49 prosent i 2050. Forskjellen er imidlertid større i perioden 2020-2030 (15 prosent i Norge og 27 prosent i EU i 2030). Grunnen til dette er at det skjer store utslippsreduksjoner i kraftsektoren i EU i denne perioden; i 2030 står kraftsektoren for 40 prosent av de totale utslippsreduksjonene. Siden det brukes mye fossile brenslers direkte til oppvarming og husholdningsapparater, er utslippsreduksjoner i bygninger viktige i EU. På lengre sikt (etter 2035) vil transportsektoren være den viktigste bidragsyteren til reduserte utslipp både i Norge og i EU. Her er mulighetene for overgang til mer klimavennlige kjøretøy svært sammenfallende på tvers av landene. Industrien er også viktig bidragsyter både i Norge og EU. Teknologimulighetene innenfor industrien er antatt å utvikle seg nokså likt.

Det er også verdt å merke seg at utslippsreduksjoner i forhold til referansebanen er mindre både i Norge og i EU enn i resten av verden. Grunnen til dette er at dagens politikk, inkludert annonserte løfter fra politikere, sørger for utslippsreduksjoner også i referansebanen, mens i resten av verden øker utslippene i referansebanen.

Sammenlikningen av de to analysene for Norge peker på to hovedårsaker til at en unilateral og en global gjennomføring gir ulike sett av kostnadseffektive innenlandske utslippsreduksjoner for landet. For det første vil en unilateral innføring av lik utslippspris for alle innenlandske kilder bidra til å svekke konkurransevnen til næringer som opererer i internasjonale markeder. For det andre vil klimateknologiske framskritt skje saktere når utviklingen ikke drives fram av global etterspørsel og utprøving av nye løsninger. Disse to momentene trekker i hver sin

retning. I scenarioet med global gjennomføring blir utslippsreduksjonene nesten tre ganger så store som når Norge går alene. Teknologitviking ser altså ut til å ha størst betydning.

De to analysene skiller seg imidlertid også fra hverandre ved at de er utført på svært forskjellige modellapparat. De viktigste forskjellene består i at det er en langt rikere og mer detaljert teknologimodellering i modellen i IEA (2013) enn i MSG-TECH. Samtidig ser den imidlertid i stor grad bort fra at tiltakskostnader vil innebære omallokering mellom produksjonsfaktorer, sektorer og land. En studie av global gjennomføring i en modell som ligner mer på MSG-TECH ville dermed gi andre resultater. Imidlertid vil den kvalitative konklusjonen om at norske utslippskutt ville blitt større under global enn under unilateral gjennomføring sannsynligvis holde. Det utslagsgivende er ikke type modell, men hva man tror om teknologisk framgang i tiårene som kommer, under langt strammere klimapolitiske forhold enn det vi hittil har sett. Litteraturen spriker på dette området, og IEA (2013) ligger i den mest teknologioptimistiske delen av skalaen.

Abstract

This report presents emission paths for Norway and the EU, given the objective of not exceeding the mean global warming beyond two degrees Celsius compared to pre-industrial times. We discuss how differences in industry structure and technological solutions between Norway and the EU affect the changes in emissions towards 2050, given a cost efficient implementation of the 2 °C objective. The benchmark is a trajectory reflecting current climate policies of the world's nations, including pledges and guarantees already put forward by the governments.

The analysis has two main parts. The first part (Chapter 4) compares the case where Norway unilaterally implements policies to reduce emissions with a case where Norwegian action forms part of a global 2 °C implementation. The second part (Chapter 5) concentrates on the global implementation case and compares the results for Norway with those for the EU. The unilateral policy is analysed with the computable general equilibrium (CGE) model for Norway, MSG-TECH, while effects of global implementation are based on Nordic Energy Technology Perspectives 2013 (IEA, 2013) for Norway and on Energy Technology Perspectives 2012 (IEA, 2012a) for the EU.

Comparing Norway and the EU is interesting because of differences in industry structures and energy technologies. Firstly, Norway extracts and exports large amounts of oil and gas. Secondly, Norwegian electricity generation relies almost exclusively on hydropower, while the share of fossil fuels is significant in the EU. Thirdly, due to the rich hydropower resources, electricity has a higher share of total energy consumption in Norway than in the EU.

The results of the comparison indicate that by 2050 the EU will reduce emissions slightly more than Norway, 49 and 44 per cent respectively, compared to benchmark. The difference is larger around 2020-2030 (15 per cent reduction from the benchmark in Norway vs. 27 per cent reduction in the EU in 2030). The main reason for this is the large emission reductions from the European power industry in this period: the power industry counts for 40 per cent of all emission reductions in 2030. Buildings are also important for reducing emissions in the EU, since fossil fuels are used directly for heating and household appliances. On longer term (after 2035), transportation will constitute a major contributor for emission reduction in both Norway and the EU at approximately matching costs. Emissions from manufacturing will develop more or less similarly in the two regions, since similar technologies are assumed to be available.

It is also worth noting that emission reductions, relative to the benchmark, are lower both in Norway and the EU than in the rest of the world. Today's policies, including pledges from politicians, provide for emission reductions already in the benchmark, contrary to the rest of the world.

The comparison of cost-effective reductions in the two cases underlines two main differences. Firstly, unilateral climate policies deteriorate the competitiveness of Norwegian firms and cause a significant share of the abatement to stem from reduced output, primarily in the manufacturing industries. Secondly, unilateral action cannot ensure the development and dispersion of climate technologies to the same extent as a globally coordinated implementation. All in all, far less abatement is undertaken within Norwegian borders when Norway acts alone. This indicates that the technology deviations between the two cases constitute the most significant difference.

However, not only the policy assumptions, but also the model settings differ between the two analyses. The IEA (2013) computations rely on a more technology-rich model than MSG-TECH; however, the IEA's model disregards

much of the downscaling and reallocation that is reasonable to expect as a result of climate policies. Ideally, the two policy cases should have been studied within more comparable model frameworks. However, we do not regard the most critical factor to be the model framing per se, but rather what to expect in terms of technological change during the next decades. The projections in IEA (2013) lie in the more optimistic range of existing estimates.

Innhold

Forord	2
Sammendrag	3
Abstract	5
1. Problemstilling	8
2. Bakgrunn	10
2.1. Togradersmålet	10
2.2. Utslipp og næringsstruktur i Norge og EU	12
3. Kort om analyseverktøyene og scenarioene	13
3.1. Modellene.....	13
3.2. Antakelser i utslippsscenarioene	15
4. Utslipsreduksjoner i Norge i togradersbanen	18
4.1. Unilateral tilpasning til togradersbanen	19
4.2. Global tilpasning til togradersbanen	20
4.3. Sektorvise utslipsreduksjoner i Norge ved global gjennomføring	25
5. Utslipsreduksjoner i Norge sammenlignet med EU og verden	37
5.1. Utvikling i samlede klimagassutslipp frem mot 2050	37
5.2. Utslipsreduksjoner i enkeltsektorer.....	40
6. Konklusjoner	46
Referanser	48
Vedlegg A: Forutsetninger i MSG-TECH	50
Vedlegg B: Detaljerte tabeller for utslippsutviklingen i referansebanen og togradersbanen	54
Figurregister	55
Tabellregister	56

1. Problemstilling

Norge har en næringsstruktur som avviker betydelig fra den i de fleste andre europeiske land. For det første har Norge en stor olje- og gassektor. For det andre produseres elektrisk kraft i Norge i all hovedsak ved vannkraft, mens innslaget av fossil kraftproduksjon er vesentlig større i EU. Elektrisitetsforbruket i industrien, husholdningene og i de tjenesteytende næringene i Norge er høyt sammenlignet med EU, og bruken av fossile brensler tilsvarende lavt.

Denne rapporten belyser hvordan slike forskjeller i næringsstruktur mellom EU og Norge påvirker utslippsutviklingen både i EU og Norge, forutsatt en kostnads-effektiv gjennomføring av tiltak for å nå togradersmålet frem mot 2050. Den analyserer både konsekvensene for de samlede utslippsreduksjonene og fordelingen på ulike sektorer. Utslippsutviklingen sammenliknes med en referansebane basert på en videreføring av dagens klimapolitikk, innbefattet løfter som allerede er annonsert.

Togradersmålet er operasjonalisert ved hjelp av scenarioer fra International Energy Agency (IEA, 2012a og IEA, 2013). IEA har laget utslippsbaner som er forenlige med at verden mest sannsynlig oppnår målet om en global temperaturøkning begrenset til 2 °C fra før-industriell tid. Banene gir samtidig en bane for marginal-kostnadene av slike utslippsreduksjoner i noen utvalgte år frem mot 2050. Den marginale rensekostnaden representerer den estimerte kostnaden for det siste tonnet av CO₂-utslipp som blir eliminert som følge av utslippsreducerende tiltak. Det er antatt at verden innen 2050 har lyktes i å nå en kostnadseffektiv løsning i den forstand at marginalkostnaden er tilnærmet den samme for alle land og utslippskilder.

I analysene av EU og Norge vil vi studere hvilke utslippsreduksjoner som blir utløst når marginalkostnadsbanen for verden fra IEA (2012a) og IEA (2013) legges til grunn. Vi vil sammenligne togradersbanene for Norge og EU med referansebanene som legger til grunn at landene gjennomfører sine allerede annonserte løfter, først og fremst løftene sendt inn til UNFCCC i sammenheng med de årlige klimamøtene. I følge IEA (2012a) og IEA (2013) vil temperaturstigningen i et slikt referansescenario være på om lag 4 °C fra før-industriell tid.

Hva som er kostnadseffektive tiltak for enkeltland avhenger av om hele verden er med på å gjennomføre tograderspolitikken eller om enkeltlandenes politikk ikke betinges på slike beslutninger i andre land. Mange land, herunder Norge og EU, går lenger, eller vurderer å gå lenger, enn løftene som ligger til grunn for referansescenarioene i denne studien, uten at dette betinges på en global avtale. Slike unilaterale tiltak kan ha ulike motiver, for eksempel et ønske å være foregangsland til inspirasjon for andre. Myndighetene kan også anse det som fornuftig å sette i gang omlegginger innenlands allerede nå dersom de tror at slike tiltak uansett vil måtte gjøres før eller siden, den dagen forhandlinger fører fram til internasjonale forpliktelser. Motivene vil være bestemmende for hva som er kostnadseffektive strategier for tilleggstiltak. Spesielt vil det være avgjørende om landet legger vekt på og forventer at en internasjonal avtale i tråd med togradersmålet vil komme på plass.

Vi analyserer virkninger for norsk økonomi og norske utslipp av begge alternativene – med og uten en internasjonal klimaavtale. For tilfellet *med* en internasjonal avtale, der verden oppnår togradersbanen kostnadseffektivt, støtter vi oss på scenarioer utarbeidet av IEA (2013). IEA (2013) fokuserer på utslippsutviklingen for de nordiske landene, herunder Norge. Tilfellet *uten* en internasjonal avtale kan studeres i en landmodell, der konsekvenser av utenlandsk klimapolitikk kan behandles eksogent og upåvirket av endringer i den norske økonomi. Vi har utført simuleringer av dette tilfellet for Norge vha. likevektsmodellen MSG-TECH. Vi undersøker hvordan utslippsreduksjoner vil fordele seg på norske sektorer i

perioden fram til 2050 dersom det gjelder en uniform karbonprisbane for alle de innenlandske utslippskildene på nivå med karbonprisen i den globale togradersbanen i de ovenfor nevnte IEA-rapportene. Dette vil illustrere en kostnadseffektiv unilateral løsning for landet.

En kostnadseffektiv gjennomføring for Norge uten en global avtale vil skille seg fra kostnadseffektivitet i tilfellet der andre land følger etter. Det skyldes i hovedsak to forskjeller. For det første vil verdensmarkedsprisene utvikle seg ulikt. For det andre vil utviklingen av klimateknologier rimeligvis kunne bli forskjellig. Utover forskjellen i antakelsene om unilateral kontra global klimapolitikk er resultatene fra de to modellanalysene påvirket av forskjeller mellom modellverktøyene. Modellene TIMES/MARKAL (som er brukt i IEA, 2013) og MSG-TECH vektlegger ulike relevante egenskaper ved norsk økonomi, og resultatene utfyller hverandre således på mange måter.

En viktig forskjell mellom unilateral og global gjennomføring er at den første vil føre til karbonlekkasjer, det vil si at utslippsreduksjonene innenlands fører til endringer i utlandet som øker utslippene der. Dette skjer typisk gjennom to ulike kanaler. Gjennom *konkurranssevnekanalen* vil karbonpolitikk overfor konkurranseutsatt sektor redusere deres konkurransevne og bidra til flytting av produksjon til utlandet gjennom utflytting eller tap av markedsandeler. Gjennom *energimarkedskanalen* vil redusert bruk av fossile brensler i Norge gi et lite prisfall på energi i verdensmarkedene, slik at etterspørselen etter fossile brensler vil øke. Selv om prisetallet som følge av norsk politikk blir lite, vil det påvirke mange menneskers etterspørsel og kan dermed bli av betydelig størrelsesorden sett i forhold til utslippsreduksjonen innenlands. Numeriske analyser av unilateral politikk i industrialiserte land finner typisk karbonlekkasje på mellom 10-30 prosent (Bye og Rosendahl, 2012).

Den unilaterale studien drøfter effekter for et land av å gjøre innenlandske utslippsreduksjoner inntil en gitt marginalkostnad. Var det derimot *globale* utslippsreduksjoner av tiltakene som skulle vurderes og holdes under en viss marginalkostnad, ville et mindre omfang innenlandske tiltak vært kostnadseffektive, og den optimale sammensetningen ville blitt vridd i retning av tiltak som forventes å lekke relativt lite. Spesielt for vurderingen av unilaterale tiltak i Norge er at en stor del av utslippene (om lag 50 prosent) er omfattet av EUs kvoteregime. Utslippsreduksjoner utover det som følger av kvoteplikten i disse sektorene vil ikke bidra direkte til globale utslippsreduksjoner, siden kvoter som frigis vil kjøpes opp av bedrifter EU-landene og øke deres utslipp tilsvarende. Dersom målet er globale kutt, vil denne kvotemarkedskanalen for karbonlekkasjer derfor først og fremst tale for tiltak utenfor kvotepliktig sektor, f.eks i innenlandske transportsektorer. Nevneverdige globale effekter fra klimapolitiske innstramminger i de kvotepliktige sektorene kan bare oppnås gjennom koordinert politikk fra EU og Norge. Tiltak overfor den innenlandske produksjonen av fossile brensler kunne også være aktuelle; dette er tiltak som ikke gir så store innenlandske kutt men som kan ha langt sterkere utenlandske effekter (Fæhn mfl., 2013). Vi vurderer ikke kostnadseffektivitet mhp. globale utslippsreduksjoner i denne studien; problemstillingen dreier seg om de innenlandske utslippseffektene.

Kapittel 2 presenterer bakgrunnsinformasjon for analysene. Først operasjonaliseres togradersmålet og den globale utslippsutviklingen fram mot 2050 under et slikt mål. Deretter gir vi en oversikt over utslippssituasjonen i Norge og EU per 2010 og hvordan de fordeler seg på ulike sektorer/kilder. Kapittel 3 gir en oversikt over de to modellene som er brukt i analysen og går gjennom forutsetningene i beregningene. Først gjennomgås de viktigste modellforskjellene, dernest redegjør kapitlet for referansebanen og for forskjellene som følger av ulike antakelser i det unilaterale og globale politikkscenarioet.

Kapittel 4 og 5 presenterer analysene. I kapittel 4 er fokuset på Norges utslippsreduksjoner og både det unilaterale og det globale gjennomføringsalternativet studeres. Når vi analyserer tilfellet med global gjennomføring av togradersbanen, bruker vi ikke bare IEA (2013), men også resultatene fra MSG-TECH-beregningen foran til å drøfte implikasjonene av modellforskjellene. Kapittel 5 setter norske utslippsreduksjoner i et internasjonalt perspektiv, ved å sammenlikne med EUs kutt. Premissene for analysen i kapittel 5 er at togradersmålet skal oppnås gjennom global, koordinert innsats. Sammenlikningen av landene baseres på beregningene i IEA (2013) og IEA (2012a).

Kapittel 6 oppsummerer og drøfter konklusjonene fra analysene, med særlig vekt på hvordan forskjeller i næringsstruktur og teknologibruk mellom EU og Norge påvirker hva som er kostnadseffektive tilpasninger av utslipp. Diskusjonen omfatter også betydningen av ulike modellantakelser og politikkantakelser.

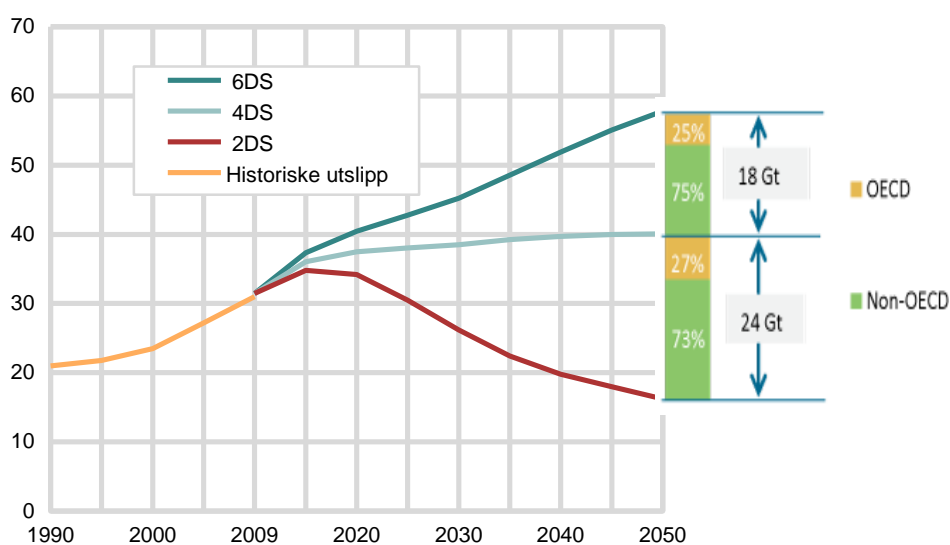
2. Bakgrunn

2.1. Togradersmålet

De globale utslippene av klimagasser har økt markant siden før-industriell tid, og i perioden 1971-2009 har de globale CO₂-utslippene mer enn fordoblet seg. Dersom ingen nye politikktiltak iverksettes går vi i følge International Energy Agency (IEA) med stor sannsynlighet mot en global temperaturøkning på omkring 6 °C sammenlignet med før-industrielt nivå (IEA, 2012a). Når løfter fra politikerne i de senere år legges til grunn, viser beregningene en sannsynlig temperaturøkning på omkring 4 °C. Verdensbanken (2012) tegner et bilde av flere verdensregioner preget av kraftige hetebølger, tørke, flom og oversvømmelser, med ødeleggende og irreversible effekter på økosystemet under en temperaturøkning på 4 °C.

Det såkalte *togradersscenarioet* betegner en bane for verdens utslipp som oppfyller målet om at global temperaturøkning sannsynligvis ikke vil overstige 2 °C siden før-industriell tid. En begrensning av oppvarmingen til 2 °C er blitt brukt som en konkretisering av hvordan *farlige klimaendringer* kan unngås – i tråd med UNFCCC's mål for verdens klima (se for eksempel EU, 2009). Dette innebærer en stabilisering av den atmosfæriske konsentrasjonen av drivhusgasser på 450 ppm (parts per million) målt i GWP (Global Warming Potentials) CO₂-ekvivalenter.

Figur 2.1. Utslippsutvikling i verden, etter scenario. Gigatonn CO₂



Kilde: IEA (2012a)

IEA (2012a) har beregnet et scenario for globale utslipp forenlig med togradersmålet, kalt 2DS i figur 2.1. Figur 2.1 illustrerer også scenarioer med 4 og 6 graders økning (henholdsvis 4DS og 6DS).¹ Mens alle banene viser høyere globale utslipp enn i 2009 fram til 2025, vil utslippene i 2DS måtte falle etter dette. Bruker vi 4DS scenarioet som referansebane, ligger utslippene i 2030 og 2040 på henholdsvis 68 og 50 prosent av utslippene i referansebanen. I 2050 må de globale utslippene reduseres til 40 prosent av referansebanen.

En kostnadseffektiv gjennomføring av utslippsreduksjoner for å nå togradersmålet vil kunne oppnås dersom en tilstreber samme samfunnsøkonomiske marginalkostnad ved alle utslippskilder. I prinsippet vil dette langt på vei kunne oppnås dersom den samme banen for karbonpris blir lagt til grunn for alle beslutninger som påvirker verdens utslipp. Siden slike beslutninger typisk tas av private aktører som forholder seg private avveininger, vil det selvsagt gjelde mange forbehold rundt hvorvidt et slikt prisingsprinsipp er tilstrekkelig. Dette er imidlertid en viktig drøfting som vi lar ligge i denne analysen.

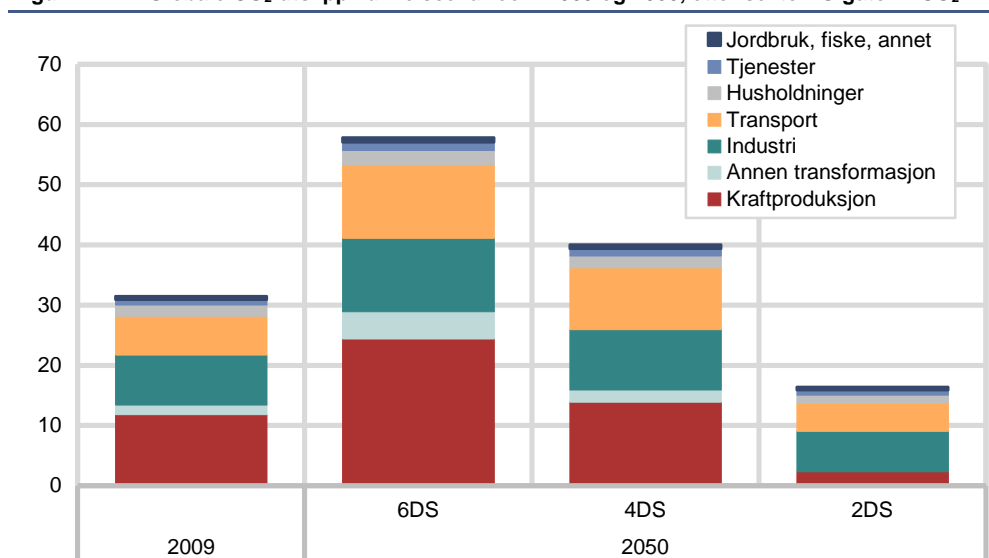
Tabell 2.1. Global pris på CO₂-utslipp i togradersbanen, USD/tonn CO₂

	2020	2030	2040	2050
Pris på CO ₂ -utslipp	30-50	80-100	110-130	130-160

Kilde: IEA (2012a)

Tabell 2.1 skisser marginalkostnadene som er lagt til grunn i togradersbanen i IEA (2012a). Beregningene er et resultat av kostnadsminimering, dvs. de billigste tiltakene tas først, og marginalkostnaden burde være tilnærmet lik på tvers av sektorer og regioner. Forhold som kostnadsusikkerhet, imperfekt informasjon og handelsbarrierer vil likevel føre til at marginalkostnaden vil variere noe på tvers av regioner. Reduksjonsbidragene gitt en slik marginalkostnadsbane vil variere på tvers av land/regioner og endre seg over tid. Reduksjoner i utviklingsland vil få en stadig større betydning i kampen mot klimaendringer, og i 2050 vil land utenfor OECD stå for hele 73 prosent av utslippskuttene fra referansebanen.

Figur 2.2. Globale CO₂-utslipp i ulike scenarioer i 2009 og 2050, etter sektor. Gigatonn CO₂



Kilde: IEA (2012a)

Figur 2.2 viser CO₂-utslippene i ulike sektorer i 2050 i tre scenarioene, samt utslippene i 2009. Kraftsektoren er den viktigste kilden til utslippsreduksjoner globalt, både fra seksgradersbanen (som er banen en får gitt dagens politikk) og fra firegradersbanen (som representerer en referansebane som tar hensyn til dagens politikk i tillegg til løfter som allerede er gitt om fremtidig politikk). Verdens kraftproduksjon er i stor grad basert på fossile energikilder som kull, olje og naturgass,

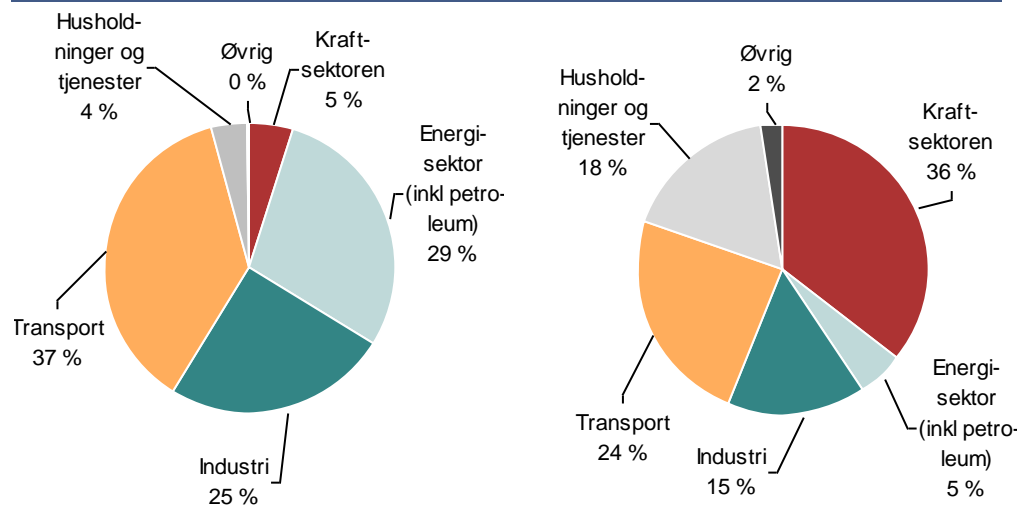
¹ For mer informasjon om scenarioene, se kapittel 3.2.

og reduksjonene vil kreve en drastisk transformasjon av energisystemet gjennom teknologiutvikling, substitusjon av innsatsvarer, energieffektivisering og fangst og lagring av karbon (CCS). Et annen viktig sektor vil være transportsektoren, som står for nesten $\frac{1}{4}$ av utslippsreduksjonene fra firegradersbanen til togradersbanen. Til sammen står transport og kraftsektoren for nesten $\frac{3}{4}$ av de totale utslippsreduksjonene i 2050.

2.2. Utslipp og næringsstruktur i Norge og EU

Dagens utslipp og fordelingen av utslippene på tvers av næringer vil ha betydning for potensialet for utslippsreduksjoner i et land. Næringsstrukturen og sammensetningen av energivarer i Norge skiller seg en del fra andre europeiske land. Figur 2.3 avslører at fordelingen av CO₂-utslipp på sektorer i 2010 var ulik i Norge og EU.

Figur 2.3. CO₂-utslipp i Norge og EU i 2010, etter sektor



Kilde: Statistisk sentralbyrå og IEA Database (<http://wds.iea.org/WDS/TableViewer/tableView.aspx>)

For det første har Norge en stor olje- og gassnæring som står for en betydelig andel av de norske klimagassutslippene. CO₂-utslippene fra denne sektoren utgjorde ca 29 prosent² i 2010 og stammet i stor grad fra gassturbiner på installasjoner på sokkelen og fra prosesseringsanlegg på land.

For det andre har vi en kraftsektor som i hovedsak er basert på vannkraft. Dette medfører at utslippene fra denne sektoren er svært lave: Utslippene utgjorde kun 5 prosent av de totale CO₂-utslippene i Norge i 2010. Til sammenligning sto kraftsektoren i EU for hele 36 prosent av CO₂-utslippene. Det skyldes at over halvparten av elektrisitetsproduksjonen i EU blir generert ved hjelp av fossile brensler som kull og naturgass.

Husholdninger og tjenesteytende næringer i Norge bruker i stor grad elektrisitet, både til oppvarming og til elektriske apparater. Dette bidrar til at Norge til tross for et kaldt klima har relativt lave *direkte* utslipp fra husholdninger og tjenestesektoren, i tillegg til at de *indirekte* klimagassutslippene fra kraftgenerering er lave. Potensialet for direkte og indirekte utslippsreduksjoner i næringsbygg og i husholdninger er derfor begrenset. I EU, derimot, brukes det en betydelig mengde naturgass i husholdninger og tjenesteytende næringer, både til oppvarmingsformål og til matlaging. Dessuten forårsaker elektrisitetsforbruk større indirekte utslipp i EU. Dermed vil lavere energibruk i husholdningen og tjenesteytende næringer ha større betydning for CO₂-utslippene i EU.

² Ser man på de totale klimagassutslippene, ikke bare CO₂, utgjorde utslippene i petroleumssektoren rundt 25 prosent i 2010.

Det komparative fortrinnet innen elektrisitetsproduksjon har bidratt til lavere elektrisitetspriser i Norge enn i andre europeiske land og har lagt til rette for kraftintensiv industri. I 2010 var rundt 2/3 av energibruken i industriproduksjonen elektrisitet. Likevel er det betydelige utslipp fra denne næringen, hovedsakelig grunnet prosessutslipp. Sammenligner man norsk industri med EU, brukes det en langt større andel fossile brensler i europeisk industri.

Utslipp fra transportsektoren vil være mer sammenlignbar med andre europeiske land. Samtidig er Norge et langstrakt land med til dels spredt befolkning, og vi har derfor et relativt stort transportbehov. En spredt bosetting og utfordrende geografi kan også gjøre det vanskeligere å flytte godstrafikk fra lastebil til jernbane sammenlignet med en del europeiske land.

3. Kort om analyseverktøyene og scenarioene

Tallene brukt i denne rapporten kommer i hovedsak fra tre kilder: *Energy Technology Perspectives* (IEA, 2012a), *Nordic Energy Technology Perspectives* (IEA, 2013) og beregninger med MSG-TECH-modellen, utviklet ved SSB. Rapportene IEA (2012a) og IEA (2013) er basert på tilnærmet samme modellrammeverk, TIMES/MARKAL, som er bottom-up-modeller med systemoptimalisering. MSG-TECH er en generell likevektsmodell (Computable General Equilibrium (CGE) modell)).

Avsnitt 0 gir en oversikt over hovedtrekkene til de to modellapparatene, med vekt på hvordan de skiller seg fra hverandre. I avsnitt 3.2 presenteres referansebanen og antakelsene som legges til grunn i henholdsvis det globale og det unilaterale politikkalternativet. Tabell 3.1 gir en oversikt over de tre analysene som brukes som grunnlag for analysene våre.

Tabell 3.1. Oversikt over modeller og publikasjoner brukt som kilde i rapporten

Modell	Modelltype	Politikk	Land/region i analysen				Kilde
			Norge	Norden	EU	Verden	
MSG-TECH	CGE Top-down	Unilateral	X				SSB
TIMES/MARKAL	Systemoptimalisering Bottom-up	Global	X	X			IEA (2013)
TIMES/MARKAL	Systemoptimalisering Bottom-up	Global			X	X	IEA (2012a)

Kilde: Statistisk sentralbyrå.

3.1. Modellene

TIMES/MARKAL-modellene brukt i IEA-analysene

IEAs beregninger i IEA (2012a) og IEA (2013) bygger på analyser foretatt med TIMES/MARKAL-modeller. Dette er såkalte systemoptimaliseringsmodeller som inneholder kostnadsinformasjon om en lang rekke ulike energiteknologier og produksjonsteknologier. En styrke med slike "bottom-up"-modeller er en svært detaljert modellering av teknologimuligheter. Ved simulering velger modellen ut de teknologiene som oppfyller nærmere spesifiserte krav på billigst mulig måte. Resultatet gir på denne måten en kostnadseffektiv fordeling av utslippsreduksjoner på sektorer og land/regioner, og marginalkostnader for utslippsreduksjonene. Her kan modellen lukkes på ulike måter, ved å sette utslippstak på ulike nivåer (sektorer, land). Ved et globalt utslippstak vil marginalkostnaden bli den samme for alle land og kilder, og løsningen blir den globalt sett kostnadseffektive. Marginalkostnadsnivået blir ekvivalent med en internasjonal karbonpris.

Blant de viktigste kravene som ligger til grunn for utvelgelsen av teknologiene, er periodevise, eksogent gitte nivåer på verdens etterspørsel etter ulike varer og tjenester (inkludert energi), samt utslippmålet. Kostnadene i TIMES/MARKAL-modellene er beregnet for eksogene antakelser om faktorpriser, inklusive kapitalvarer, lønn, energi, og driftsutgifter ellers. Modellene er således partielle i den forstand at innsatsfaktorenes tilgang ikke er modellert og prisene dermed ikke

avhengig av markedsforholdene. I stedet antas at optimaliseringen skjer under en lang rekke bibetingelser, for eksempel kapasitetsskranker for de ulike teknologiene i ulike land på ulike tidspunkt. Mange av ringvirkningene i økonomien som finner sted ved at priser, produksjonsskalaer og inntekt endrer seg, vil derfor ikke fanges opp i slike modeller (i motsetning til i generelle likevektsmodeller).

IEAs TIMES/MARKAL-modeller modellerer ikke alle klimautslipp som er omfattet av Kyoto-protokollen, bare om lag 80 prosent av utslippene. For Norge er de omfattede utslippene i 2010 på 44 millioner tonn, hvilket praktisk talt bare inkluderer CO₂-utslippene.

TIMES/MARKAL-modeller tar utgangspunkt i energimarkedet og sektorinndelingen i IEA-modellene er basert på oppsettet i en energibalanse. For nærmere informasjon om modellen som er benyttet i beregningene for Norge, se Lind og Rosenberg (2013) og IEA (2013).

MSG-TECH modellen

Modellen MSG-TECH er en generell likevektsmodell (CGE) for norsk økonomi, utviklet i SSB (Fæhn mfl., 2010). Modellen er en versjon av MSG-6 (Bye, 2008 og Heide mfl., 2004). Etersom MSG-TECH er en generell likevektsmodell, gir den en sektorovergripende analyse, der samspillseffekter mellom sektorene og mellom faktormarkedene og produktmarkedene er konsistent modellert. Prisinformasjon påvirker de modellerte aktørene i modellen, så vel produsenter som konsumenter, til å tilpasse sin energibruk, utslipp og produksjon. Primære innsatsfaktorer som blir frigjort ett sted i økonomien (for eksempel i utslippsintensive aktiviteter) vil bli omallokert til andre anvendelser.

Næringsinndelingen i i MSG-TECH følger den offisielle næringsstandard (NACE). Hver næring har flere utslippsgenererende aktiviteter: vareinnsats, transportbrensel, andre fyringsoljer og prosesser. I tillegg kommer utslipp fra konsumaktiviteter og fra avfallsdeponier. De seks Kyoto-gassene, samt seks andre lokalt og regionalt virkende gasser, er inkludert.

Spesielt for denne versjonen av modellen, MSG-TECH, er at husholdninger, bedrifter og offentlige virksomheter kan velge å investere i nye teknologier med lavere utslippsintensitet. Aktørene her derfor følgende måter å redusere klimagassutslippene på:

- Gjennom **nedskalering** av aktivitet (f. eks. redusert produksjon, nedleggelse)
- Gjennom **faktorsubstitusjon** (f. eks. bytte ut forbrenningsolje med elektrisitet)
- Gjennom **teknologitiltak** (f. eks. prosessforbedringer, CCS)

I motsetning til TIMES/MARKAL tillater MSG-TECH endringer i aktivitetsnivået (nedskalering), noe som vil ha betydning for utviklingen i næringsstrukturen i framtiden. Selv om næringsstrukturen generelt endres endogent i modellen, er det to unntak: både petroleumsproduksjonen og jordbruksproduksjonen er gitt i modellen. Det skjer dermed ikke reduksjon i klimagassutslipp i disse næringene gjennom nedskalering.

Innarbeidingen av teknologitiltak er nytt i forhold til tidligere versjoner av MSG, og kan også ses på som en utvidelse i forhold til tradisjonelle makroøkonomiske modeller. Teknologitiltakene innebærer et utvidet mulighetsrom for aktørene til å redusere sine klimagassutslipp. Slike teknologimuligheter er modellert for prosessindustrien og petroleumsvirksomheten, samt for landtransport i bedrifter, husholdninger og offentlig sektor, se vedlegg A.2. I bedrifter kommer teknologitiltak som en tilleggsmulighet for utslippsreduksjoner utover faktorsubstitusjon innenfor eksisterende teknologier eller nedskalering av produksjonen. Husholdningenes teknologitiltak kommer i tillegg til mulighetene for å vri forbruket mot andre, mindre utslippsintensive forbrukssteder og aktiviteter eller å velge offentlig framfor privat veitransport.

Sammenstilling av de to modellene – oppsummering

De to ulike standardene for næringsinndeling i henholdsvis TIMES/MARKAL og MSG-TECH betyr at utslippstall fordelt på sektorer ikke er fullt ut sammenliknbare. Hovedforskjellene er at transport i MSG-TECH er fordelt på de enkelte sektorene i form av sektorens egentransport og dens etterspørsel etter kommersielle og offentlige transporttjenester. Vi har gruppert disse transportaktivitetene i en egen transportsektor i presentasjonen i denne rapporten. I tillegg er raffinering-næringen og utvinning av råolje og naturgass representert som to næringer i MSG-TECH, mens disse inngår i samlesektoren annen transformasjon i TIMES/MARKAL. Utover dette er det kun små forskjeller.

MSG-TECH-modellen har en langt mer abstrakt modellering av teknologimuligheter og dekker ikke teknologipotensialet i så mange sektorer som TIMES/MARKAL. MSG-TECH, på sin side, tar hensyn til endringer i markedspriser både i vare- og faktormarkedene og kan derfor fange opp flere utslippsreducerende tilpasninger, samt hvordan kostnadene ved gjennomføringene til syvende og sist fordeles. Forskjellene mellom de to modellapparatene innebærer at de utfyller hverandre på mange måter, og det er nyttig å sammenholde analyser av togradersmålet basert på de to verktøyene.

Siden TIMES/MARKAL i hovedsak kun dekker CO₂-utslipp, rapporterer vi bare CO₂-utslippseffektene i MSG-TECH-beregningene for at resultatene skal bli mer sammenliknbare.

3.2. Antakelser i utslippsscenarioene

Kapittel 1 og 2 ga en kort definisjon av politikksenarioene og referanse-scenarioene. I dette kapitlet blir forutsetningene som er lagt til grunn for beregningene av scenarioene beskrevet nærmere.

Forutsetninger i referansebanene

Vi har valgt å bruke den såkalte firegradersbanen i IEA (2012a) og IEA (2013) som referansebane (4DS i figur 2.1 og tabell 3.2). Denne banen illustrerer utslippsutviklingen med en videreføring av dagens politikk, inkludert garantier og løfter som politikerne per i dag har kommet med, blant annet løftene som er meldt inn til UNFCCC i kjølvannet av klimamøtene de senere årene. Referansebanen inkluderer blant annet EU ETS og Kyotoprotokollen, samt en rekke unilaterale og flernasjonale initiativ, blant annet G-20-landenes og Asia-Pacific-landenes vedtak om utfasing av energisubsidier. Støtteordninger for fornybare energikilder og økt energieffektivitet er nødvendige for å få til utslippsreduksjonen. Det er verdt å merke seg at selv om firegradersbanen forutsetter videreføring av dagens politikk og løfter, krever den likevel betydelige endringer i eksisterende energisystemer. Den representerer således en ganske ambisiøs klimapolitikk.

IEA (2012a) presenterer også en bane (6DS) som viderefører dagens trender, og illustrerer hvordan utslippene i verden vil utvikle seg dersom ingen nye tiltak iverksettes. Temperaturøkningen vil i denne banen stabilisere seg på 6 °C. I 6DS-banen vil energibruken i verden bli nesten fordoblet fra 2009-nivå og klimagassutslippene vil øke enda mer. Fossile brensler er fortsatt viktige, og kullkraftproduksjon blir fordoblet fra 2009-nivået. Det skjer store investeringer i kraftsektoren, men i konvensjonelle kullkraftverk uten CCS. Også transportsektoren bruker i overveiende grad fossile brensler. Ettersom denne banen kun er inkludert i IEA (2012a) og ikke i IEA (2013), vil vi ikke fokusere noe særlig på dette scenarioet.

World Energy Outlook (IEA, 2012b) presenterer scenarioer for utslipp utviklingen til 2035. *New policies* scenario er svært sammenfallende med firegradersbanen (4DS) i IEA (2012a) frem til 2035, se i figur 2.1 og tabell 3.2. Seksgradersbanen (6DS) er tilnærmet likt scenarioet *Current Policies* i World Energy Outlook (IEA 2012b), se tabell 3.2. IEA (2013) har på sin side inkludert et karbonnøytralt scenario (CNS), som vi ikke vil omtale nærmere.

Tabell 3.2. Oversikt over scenarier i IEAs publikasjoner

	World Energy Outlook (IEA, 2012b)	Energy Technology Perspectives (IEA, 2012a)	Nordic Energy Technology Perspectives (IEA, 2013)
Sluttår i scenarioene	2035	2050	2050
Seksgradersbanen	Current Policies	6DS	.
Firegradersbanen	New Policies	4DS	4DS
Togradersbanen	450 ppm	2DS	2DS
Karbonnøytralt scenario	CNS

Kilde: Statistisk sentralbyrå.

Basert på IEAs firegradersbane har vi lagt tilsvarende politikantakelser til grunn i en referansebane beregnet med MSG-TECH frem til 2050. Den innebærer en videreføring av Norges deltakelse i EU ETS, og benytter kvoteprisanslagene fra IEA frem til 2050. Kyoto-målene er videreført som i Kyoto-1-avtalen uten hensyn til den senere fremforhandlede Kyoto-2-avtalen. Dette får bare konsekvenser for Norges kjøp av kvoter. For sektorer utenfor EU ETS er det først og fremst dagens differensierte avgiftspolitik som regulerer utslippene. I tillegg er vedtaket om full rensing på varmekraftanlegget på Mongstad lagt til grunn.³ Forbudet om deponering av avfall, teknologigjennombrudd når det gjelder lystgassutslipp fra gjødsel, samt fremskrivning av energieffektivisering er også lagt inn i referansebanen, i tillegg til teknologitiltakene som utløses endogent.⁴ Siden modellverktøyene og fokuset er forskjellig i beregningene vi presenterer, vil de beregnede utslippsutviklingene som følger av antakelsene i referansebanene ikke være konsistente. Kapittel 4 og 5 går nærmere inn på utslippsberegningene i referansebanene.

Forutsetninger i den globale togradersbanen

Togradersbanen i IEA (2012a) og IEA (2013) tilsvarer i hovedtrekk 450ppm-scenariot i World Energy Outlook (IEA 2012b) og beskriver en utslippsutvikling som i følge nyere klimaforskning er forenlig med en 80 prosent sannsynlighet for å begrense den globale temperaturøkningen til 2 °C.

På lang sikt er togradersbanen konstruert som den kostnadseffektive globale løsningen for å oppnå de nødvendige utslippsreduksjonene. Det er likevel enkelte regionale forskjeller når det gjelder omfang og nivå på klimapolitikken. I tillegg til karbonprising er det antatt en del nasjonale politikktiltak i forfølgelse av en nasjonal politikk. Eksempel på dette er bygningsstandarder og energimerking av elektriske apparater. Videre er det antatt en internasjonal sektoravtale for jern-, stål- og sementsektorene for alle land. Dette vil blant annet hindre tap av konkurransevne i perioder med ulik politikk på tvers av regioner og land. Gradvis er det antatt større samkjøring av klimapolitikken mellom land. Innen 2025 er det for eksempel antatt at alle OECD-land vil ha karbonprising, enten gjennom kvotehandel eller via en karbonskatt. Det betyr at togradersbanen ikke innebærer en uniform pris på tvers av alle land og sektorer i hele perioden. Det er likevel antatt at de initiale forskjellene vil reduseres i løpet av perioden og marginalkostnadene konvergere mot samme nivå innen 2050.⁵

De marginale renseskostnadene i IEA (2012a) og IEA (2013) er rapportert i tabell 3.3. Legg merke til at anslagene fra IEA i periodene før 2050 vil variere både mellom kilder og mellom land, slik at marginalkostnaden globalt sett ligger høyt i forhold til en kostnadseffektiv gjennomføring. I 2050 er løsningen tilnærmet kostnadseffektiv og de marginale renseskostnadene konvertert. Tabell 3.4 viser

³ Dette målet er senere blitt skjøvet noe fram i tid, noe vi ikke har justert i referansebanen.

⁴ Referansebanens eksogene antakelser sammenfaller i stor grad med referansebanen i Fæhn og Jacobsen (2012). I tillegg er EU ETS-deltakelsen, Kyotoavtalen og de globale målsettingene fram mot 2050 lagt til grunn. Disse effektene er ikke i referansebanen, men i skiftberegningene i Fæhn og Jacobsen (2012).

⁵ Mer informasjon om togradersbanen finnes her:

http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/energymodel/documentation/Methodology_450Scenario.pdf

beregnete karbonpriser i andre analyser av togradersmålet der det legges kostnads-effektivitet til grunn. Det er verdt å merke seg at IEAs marginalkostnad i 2050 stort sett ligger lavere (til dels vesentlig lavere) enn i andre publikasjoner, som baserer seg på beregninger i generelle likevektsmodeller eller hybride modeller som inkorporerer både generelle likevektsegenskaper og teknologiutvikling.

Det er viktig å merke seg at IEA (2012a) og IEA (2013) antar at de eksogene anslagene for økonomisk vekst og befolkningsvekst ikke blir påvirket av at klimapolitikken strammes inn i forhold til referansebanen (se vedlegg A i IEA, 2012a). De øvrige analysene er basert på likevektsmodeller. Det betyr at de tar endogent hensyn til at den økonomiske aktiviteten vil skaleres ned som følge av karbonprisingen. De tar videre innover seg at ressurser omallokteres mellom sektorer i retning av mer klimavennlig produksjon og konsum. Isolert sett vil dette bidra til å redusere kostnadene ved å nå togradersmålet. Når deres kostnadsberegninger likevel blir høyere enn IEAs, kan dette tyde på at IEA legger relativt optimistiske antakelser til grunn om utviklingen og spredningen av klimateknologier. De fleste øvrige studiene vi refererer til har modellert teknologiutviklingen endogent, dvs. de tar innover seg at teknologisk utvikling dras av markedsutviklingen og av kostnadene ved å drive forskning og utvikling på klimavennlige teknologier. Det må presiseres at usikkerheten til anslag så langt frem i tid er svært stor og at prisanslagene for 2050 spriker mye.

Tabell 3.3. CO₂-priser i IEA-analysene. USD/tonn CO₂ (2011-priser)

Kilde	Land	2020	2030	2035	2040	2050
Referansebanen						
IEA (2013)	Norden	30	40	.	50	65
IEA (2012a)	EU, Australia og New Zealand	30	40	45	.	.
	Korea	23	38	45	.	.
	Kina	10	24	30	.	.
Togradersbanen						
IEA (2013)	Norden	40	90	.	120	160
IEA (2012a)	EU, Australia, New Zealand	45	95	120	.	.
	USA og Canada	20	90	120	.	.
	Japan	25	90	120	.	.
	Korea	35	90	120	.	.
	Kina, Russland, Brasil, Sør-Afrika	10	65	95	.	.

Tabell 3.4. En sammenligning av CO₂-priser ved togradersmålet i andre globale modeller. USD/tonn CO₂ (2011-priser)

	Modell	2020	2030	2035	2040	2050
Tol (2009)	FUND	50	79	.	.	211
Bastianin mfl. (2010)	WITCH	20	66	.	.	489
Nordhaus (2010)	RICE-2010	27	47	.	.	125
Bosetti mfl. (2009)	WITCH	35	86	.	.	337
Paltsev mfl. (2009)	EPRA	68	102	.	.	222
<i>Gjennomsnitt (5 publikasjoner)</i>		53	84	.	..	292

Kilde: NOU 2012:16 (Tabell 9.2). Priser fra andre publikasjoner regner om fra euro til USD basert på NOK/EUR=7,5 og NOK/USD = 5,5.

Forutsetninger i den unilaterale togradersbanen

I studien for Norge på MSG-TECH ser vi på en unilateral politikk som legger til grunn at alle utslippskilder i Norge blir stilt ovenfor samme utslippspris som i togradersscenarioet for verden; se tabell 3.3. Utslippsprisen er altså satt i samsvar med den som mest sannsynlig ville ha sikret oppnåelse av togradersmålet, men det tas ikke som gitt at resten av verden følger etter. For utslippskilder med kvoteplikt i EU ETS i referansebanen innebærer det en tilleggsavgift til staten utover kvoteprisen, som bringer total utslippspris bedriftene må betale til det uniforme nivået. For øvrige kilder erstattes det nåværende avgiftssystemet med den uniforme utslippsprisen. Jordbruket er unntatt fra avgiften.

Resten av verden, inklusive EU, antas å opprettholde politikken fra referansebanen. Dermed får vi ikke en tilsvarende prisøkning på energi og energiintensive varer i verdensmarkedene som innenlands. Norske konkurranseutsatte sektorer med høye

utslipp direkte eller indirekte, gjennom sin bruk av norske innsatsvarer som har høye produksjonsutslipp, vil miste konkurransevne.

Vi antar at olje og gasssektoren ikke justerer ned sin produksjon. Likeledes skjer det ikke noe med gasskraftsektoren, siden den allerede i referansebanen er antatt å ha CCS. Det antas at jordbruk, skogbruk og fiske er politisk regulert og heller ikke reduserer sin aktivitet.

Vi undersøker hvordan utslippsreduksjoner vil kunne fordele seg på norske sektorer i perioden til og med 2050 dersom alle de innenlandske kildene blir stilt ovenfor en uniform karbonprisbane på nivå med karbonprisen i de globale togradersbanene i de ovenfor nevnte IEA-rapportene. Det er viktig å merke seg at dette er implementert som en unilateral avgift; ingen andre priser, ikke heller de internasjonale kvoteprisene, er justert i henhold til at en slik internasjonal avtale kommer i stand. Dette scenarioet kan derfor tolkes som en ensidig tilpasning til togradersmålet. Dersom andre land også hadde tilpasset sin klimapolitikk, ville dette slått ut i blant annet internasjonale priser og teknologiutvikling, som igjen ville påvirket hvilke utslippsreduksjoner som ville være lønnsomme å gjennomføre i Norge. Etersom Norge er en liten økonomi, er det antatt at en ensidig tilpasning ikke vil ha noen nevneverdig effekt på verken internasjonale priser eller på utviklingstakten for klimateknologier. Det ligger til grunn og er modellert at norske aktører vil øke sine investeringer i klimateknologier, men kostnadene knyttet til dette vil i overveiende grad være bestemt av forskningsfronten i verdensmarkedene. Økt etterspørsel fra Norge vil ikke i nevneverdig grad påvirke kostnadene verken gjennom økt forskningsaktivitet eller gjennom læringseffekter.

Det er også vesentlig å legge merke til at tilgangen på de teknologiene som er tilgjengelige på verdensmarkedene ikke er kapasitetsbegrenset. Begrunnelsen er at norsk etterspørsel er liten i verdensmålestokk, og vi kan anta at når betalingsvilligheten i Norge øker, er det både mulig og ønskelig for teknologiprodusentene å vri sine leveranser til norske markeder til relativt lave merkostnader.

4. Utslippsreduksjoner i Norge i togradersbanen

En kostnadseffektiv gjennomføring av klimapolitikken i Norge vil gi forskjellig utfall avhengig av om andre land følger etter eller ikke. I dette kapitlet presenterer vi resultatene av både tilfellet med unilateral politikk og tilfellet med en global avtale. Det unilaterale skiftet er analysert med MSG-TECH, mens det globale gjennomføringsalternativet først og fremst diskuteres på grunnlag av IEA (2013). I begge tilfellene har vi lagt til grunn den samme marginalkostnadsutviklingen, samt fokusert på effektene på innenlandske utslippseffekter. Som drøftet i kapittel 1 vil globale utslippseffekter avvike fra de innenlandske på grunn av karbonlekkasje. Utslippsreduksjoner gjennom teknologiomlegginger vil redusere energietterspørselen og dermed ha karbonlekkasjeeffekter gjennom energimarkedskanalen. Økte kostnader for de innenlandske bedriftene vil dessuten redusere deres produksjon til fordel for konkurrenter i utlandet, og også gi karbonlekkasjer via konkurransevnekanalen. I den grad de innenlandske kuttene skjer i kvotepliktig sektor vil kvotemarkedskanalen gi full karbonlekkasje til resten av EU-landene.

Siden de to skiftene er studert ved hjelp av to ulike modellverktøy, drøfter vi også hvilke implikasjoner en global gjennomføring av togradersmålet ville kunne få i en generell likevektsmodell som MSG-TECH. Vi begynner med å se på utfallet av henholdsvis det unilaterale og det globale politikkalternativet for Norges totale utslipp i avsnitt 4.1 og 4.2, før vi går i dybden på virkningene i de enkelte sektorene i avsnitt 4.3.

4.1. Unilateral tilpasning til togradersbanen

En unilateral tilpasning til karbonprisbanen under et togradersmål fører til en reduksjon i Norges CO₂-utslipp på 5,5 millioner tonn i 2050 i forhold til referansebanen. Dette innebærer et fall på 13 prosent fra referansebanen. Tar vi med alle de seks Kyoto-gassene vil utslippsreduksjonen, målt i CO₂-ekvivalenter, være noe høyere: 5,8 millioner tonn.

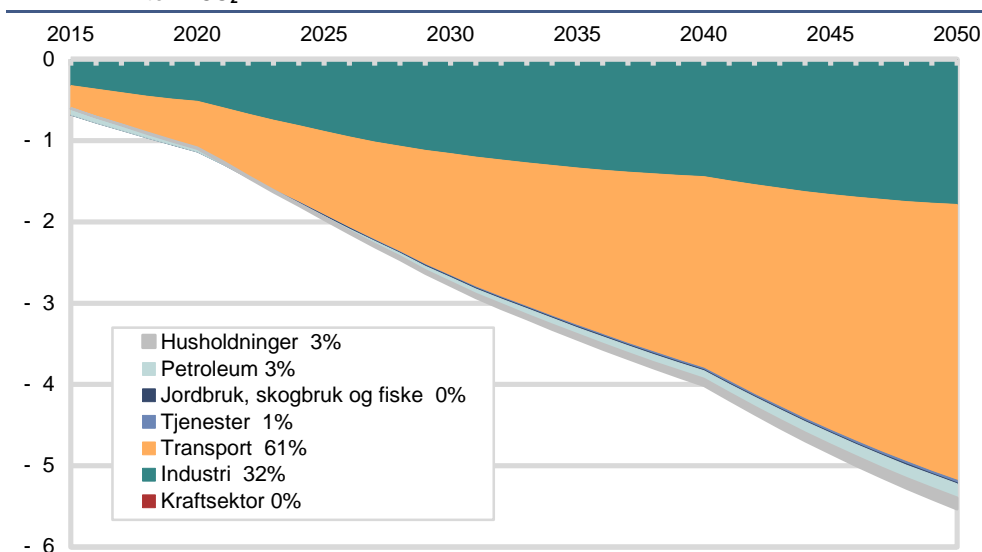
Figur 4.1 viser fordelingen av utslippsreduksjoner på ulike sektorer (utviklingen i de enkelte sektorene blir kommentert nærmere i avsnitt 4.3). Reduksjonene skjer gradvis i perioden og viser følgende hovedtrekk:

1. Transportsektoren og industrinæringene står for hele 93 prosent av utslippskuttene fra referansebanen. 61 prosent av utslippskuttene i 2050 vil komme innenfor transport, mens 32 prosent vil skje i industrinæringene.
2. Utslippskutt i transportsektoren blir relativt sett viktigere over tid.

Jordbrukssektoren er unntatt fra utslippsprisingen (se avsnitt 3.2.3). Jordbruk, skogbruk og fiske har per definisjon uendret aktivitet, og det er ikke modellert klimavennlige teknologimuligheter. Ingen av primærnæringene får dermed nevneverdige endringer i sine utslipp.

Også petroleumsnæringen er antatt å ha politisk regulert, uendret aktivitet. Den lille utslippsreduksjonen som finner sted skyldes omlegging av teknologi mot mer klimavennlige løsninger. Næringens potensielle teknologitiltak er imidlertid dyre og vil i liten grad utløses av en utslippspris i tråd med togradersmålet.

Figur 4.1. MSG-TECH: Utslippsreduksjoner fra referansebanen, fordelt på sektor. Millioner tonn CO₂



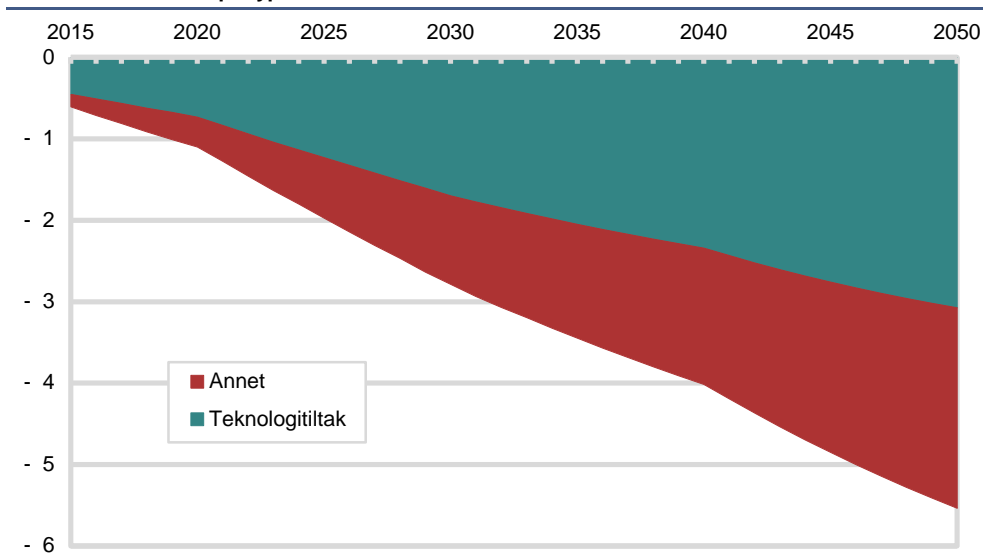
Kilde: Statistisk sentralbyrå.

Prosentene angir andel av totale utslippsreduksjoner i 2050. Kategorien 'petroleum' inkluderer både utvinning av råolje og naturgass og petroleumsraffineri.

Teknologiomlegginger spiller en dominerende rolle for landets totale utslippskutt fra referansebanen; se figur 4.2. I 2050 kuttes CO₂ utslippene med 3 millioner tonn som følge av teknologitiltak. Foruten de små kuttene i petroleumssektoren, skjer utslippsreduksjonene innenfor transport og industrinæringene.

De øvrige CO₂-utslippskuttene i 2050, på til sammen 2,5 millioner tonn, skyldes tilpasninger *innenfor* referansebanens teknologier, dvs. ved faktorsubstitusjon innad i sektorer eller omallokering av aktivitet mellom sektorer. Det aller meste forklares av at den kraftintensive industrien avskalles. Når Norge unilateralt innfører strengere klimapolitikk, øker kostnadene i disse næringene og de mister konkurransevne i de internasjonale markedene.

Figur 4.2. MSG-TECH: Utslippsreduksjoner i Norge fra referansebanen til togradersbane, fordelt på type. Millioner tonn CO₂. 2015-2050



Kilde: Statistisk sentralbyrå..

Teknologitiltak inkluderer energieffektivisering, CCS og overgang til fornybare energikilder; se vedlegg A.

Annet vil i hovedsak være utslippsreduksjoner som følge av redusert aktivitet, men også substitusjon vekk fra energibruk.

Norges kostnader ved å gjennomføre unilaterale tiltak i tråd med togradersbanen er selvsagt avhengig av anslaget på marginalkostnaden for utslippsreduksjoner som er lagt til grunn i analysen. For lettere å kunne sammenlikne den unilaterale MSG-TECH-analysen med det globale gjennomføringsalternativet i IEA (2013), har vi brukt de relativt lave marginalkostnadene fra IEA (2012a) og IEA (2013). Andre kilder er mindre teknologioptimistiske og beregner til dels betydelig høyere marginalkostnader for 2050 (se avsnitt 3.2.2). En politikk med høyere karbonpris ville økt omfanget av utslippsreducerende tilpasninger i Norge, både av teknologiinvesteringer og av omallokeringer vekk fra utslippsintensive produksjons- og forbruksaktiviteter. Simuleringer med MSG-TECH ved ulike marginalkostnader antyder at den relative sammensetningen av utslippsreduksjonene på sektorer og typer tiltak vil holde seg ganske stabil. Først ved svært høye marginale rensekostnader vil industrisektorens andel bli merkbart mindre, mens transportsektoren vil ta relativt mer av utslippsreduksjonene, først og fremst ved økt innslag av nye, mer klimavennlige kjøretøy. Dette skyldes at det ikke er modellert absolutte kapasitetsskranker på leveransene av slike kjøretøy til Norge. Når betalingsvilligheten for klimavennlige kjøretøy blir svært mye høyere i det norske markedet enn i andre markeder vil verdens tilgang vris mot det norske markedet.

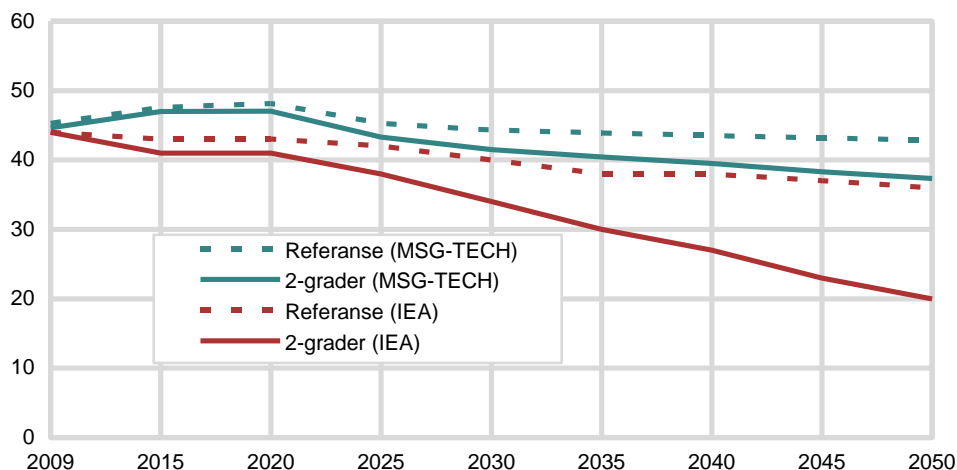
4.2. Global tilpasning til togradersbanen

For å si noe om norske utslippsreduksjoner under en global gjennomføring av togradersbanen lener vi oss først og fremst på modellstudier med TIMES/MARKAL fra IEA (2013), men vi vil også drøfte hvordan resultatene ville blitt modifisert av andre forutsetninger.

IEAs analyse av norske utslippsreduksjoner ved global gjennomføring

Resultatene i IEA (2013) for Norge viser at en global gjennomføring av klimapolitikk som er nødvendig for å nå togradersmålet vil gi utslippsreduksjoner i Norge på 16,5 millioner tonn CO₂ i forhold til referansebanen. Dette er altså nesten tre ganger så store kutt som i det unilaterale tilfellet analysert med MSG-TECH. Figur 4.3 viser utslippsutviklingen i både referansebanen og togradersbanen i begge politikksenarioene.

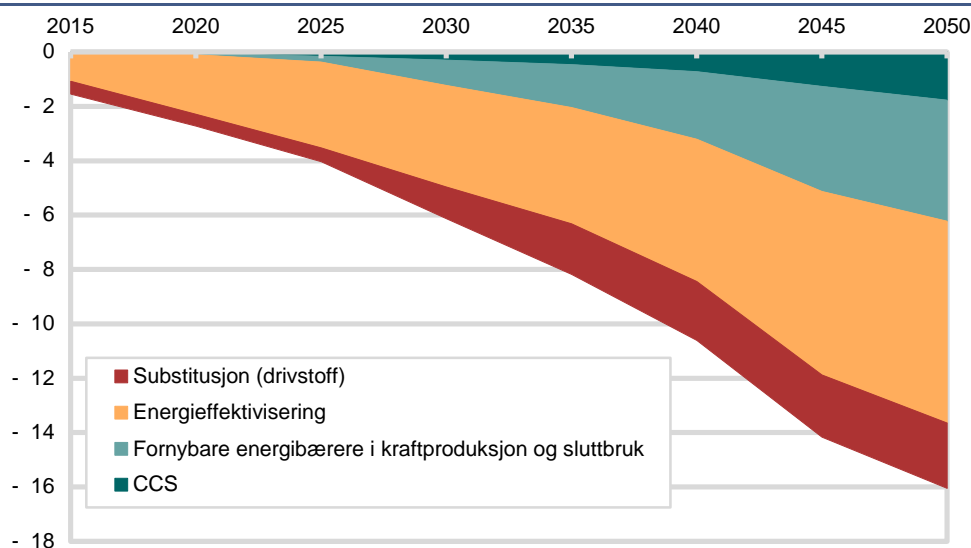
Figur 4.3. Utslippsscenarioer (referansebanen og togradersmålet) for Norge med ulike politikkalternativ og ulike modeller. Millioner tonn CO₂. 2009-2050.



Kilde: IEA (2013), IEA (2012a) og Statistisk sentralbyrå.

I den globale tilpasningen beregnet i IEA (2013) er det antatt tilnærmet samme aktivitetsnivå i referansebanen og togradersbanen. Utslippsreduksjonene i TIMES/MARKAL skjer med andre ord som følge av teknologitiltak. Teknologitiltakene i IEA (2013) dreier seg i hovedsak om effektivitetsforbedringer, CCS og substitusjon bort fra fossile brensler, se figur 4.4. Det klart største bidraget kommer fra effektivitetsforbedringer, mens fornybare energibærere (som bioenergi) blir stadig viktigere frem mot 2050.

Figur 4.4. Utslippsreduksjoner i Norge med global gjennomføring av togradersmålet, fordelt på teknologitiltak. Millioner tonn CO₂. 2015-2050



Kilde: IEA (2013)

Den relative fordelingen av utslippskuttene på næringer er vist i figur 4.5. Transportsektoren står for de sterkeste kuttene, mens industrien følger etter. Det relative bildet er altså grovt sett det samme i de to ulike politikksenarioene (sammenlign med figur 4.1).

Som det fremgår av tabell 4.1 nedenfor er hovedforskjellene at

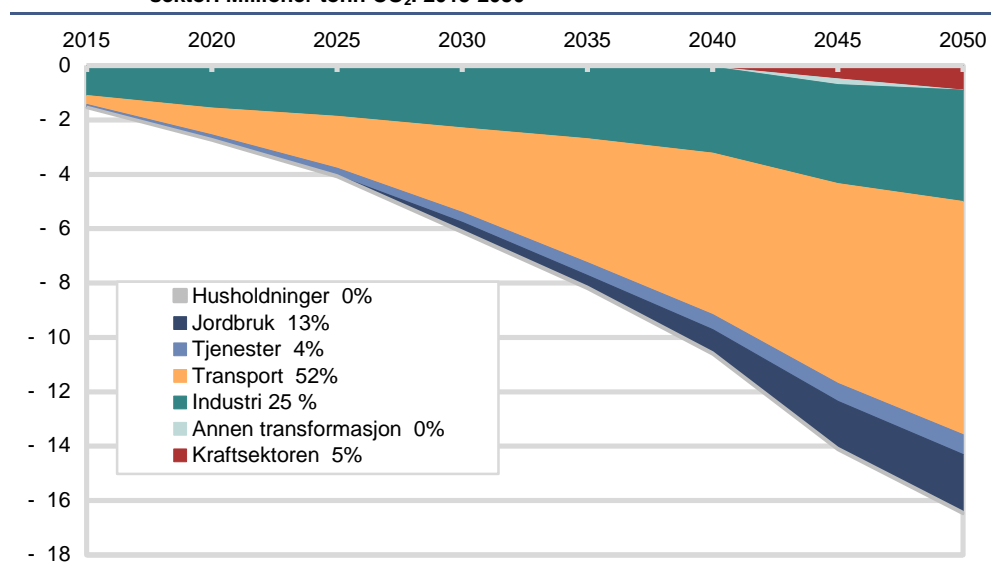
- transportsektoren og industrien står for en større andel av kuttene i det unilaterale tilfellet
- bare i det unilaterale scenarioet bidrar petroleumssektoren, dog svakt
- jordbrukets muligheter er utelatt fra det unilaterale scenarioet

Tabell 4.1. Oppsummering: utslippsreduksjon i 2050

	Kraft- sektor	Annen trans- formasjon ¹	Industri	Tran- sport	Tjenester, hushold- ninger, bygg	Jordbruk, skogbruk og fiske	Sum
Utslippsreduksjon fra referansebanen (M tonn CO₂)							
Norge (MSG-TECH)	0,00	0,17	1,78	3,39	0,17	0,01	5,53
Norge (IEA, 2013)	0,90	0,04	4,09	8,58	0,80	2,12	16,49
Andel av utslippsreduksjoner i 2050							
Norge (MSG-TECH)	0 %	3 %	32 %	61 %	4 %	0 %	
Norge (IEA, 2013)	5 %	0 %	25 %	52 %	4 %	13 %	
Norden (IEA, 2013)	10 %	5 %	17 %	56 %	5 %	7 %	

¹ Annen transformasjon inkluderer både utvinning av råolje og naturgass og petroleumsraffineri.

Som det fremgår av tabell 4.1 er reduksjonene (målt i millioner tonn CO₂) for de aller fleste sektorene langt sterkere i IEA (2013). Vi vil gå nærmere inn på de sektorvise kuttene i avsnitt 4.3. Før vi fordyper oss i sektordetaljene ved en global gjennomføring, kan det være informativt å ta hovedbildet noe nærmere i betraktning. Det vil da være nyttig å trekke på resultatene fra MSG-TECH-beregningene. Forskjellene i resultater er ikke bare påvirket av at vi ser på to ulike politikantakelser. Vi har å gjøre med to vesensforskjellige modeller, og vi har å gjøre med ulike anslag på andre viktige områder, blant annet når det gjelder potensialet for teknologiske løsninger på klimautfordringen. Neste avsnitt drøfter hvilken lærdom vi kan trekke fra MSG-TECH-beregningene og alternative globale modellberegninger om en global gjennomføring av togradersmålet.

Figur 4.5. Utslippsreduksjoner i Norge med global gjennomføring av togradersmålet, etter sektor. Millioner tonn CO₂, 2015-2050

Kilde: IEA (2013).

Prosentene angir andel av totale utslippsreduksjoner i 2050.

Annen transformasjon inkluderer utvinning av råolje og naturgass og petroleumsraffineri.

Utslippskuttene summert over sektorene vil ikke nøyaktig summere seg opp til de totale utslippskuttene.

Effektene av en global avtale i lys av modellenes forutsetninger

Dersom en global gjennomføring av tograderspolitikken hadde vært studert i en generell likevektsmodell som MSG-TECH, måtte vi innarbeidet mer eksogen informasjon om globale effekter enn kun den marginale rensekostnaden. Det er først og fremst tre typer eksogen tilleggsinformasjon som er nødvendig:

- Hva betyr verdens klimapolitikk for teknologiutvikling og -spredning, og dermed for norske aktørers kostnader ved å investere i nye klimateknologier?
- Hvordan påvirker verdens klimapolitikk priser på varer og tjenester i verdensmarkedene, inklusive priser på energi?
- Hvordan blir byrdefordelingen mellom land?

Hva betyr verdens klimapolitikk for teknologiutvikling og -spredning?

IEA (2013) dekker informasjon av type a) for mange sektorer og med stor detaljrikdom. Legger vi den analysen til grunn, er det klart at en global gjennomføring vil føre til betydelig større utslippskutt i Norge enn det vi fant ved unilateral gjennomføring. Ikke minst gjelder det for sektorer der MSG-TECH ser helt bort fra teknologitiltak, som i primærnæringene og for andre transportformer enn landtransport. Etterspørselen etter nye teknologier vil bli dramatisk større. Læringseffekter, skalafordeler og forsknings- og utviklingseffekter vil drive teknologiutviklingen, tiltakskostnadene og investeringene. Dette ville trukket resultatene fra en MSG-TECH-analyse i retning av dem i IEA (2013).

Teknologiforbedringene, som følger av at markeder for klimateknologier blir større, kommer i følge IEA (2013) innenfor alle sektorer. På de områdene hvor modellene er sammenlignbare, ser teknologiforbedringene ut til å gi om lag samme andelsmessige fordeling av kuttene på norske sektorer i det unilaterale og det globale tilfellet. Det er altså i følge MARKAL/TIMES-beregningene ikke noen grunn til å se for seg at de økte markedene for klimateknologier gir større teknologisk framgang i noen sektorer framfor andre.

Vi har imidlertid pekt på at IEA (2013) har mer teknologioptimistiske antakelser enn mange andre studier av det globale togradersmålet. Dersom omleggingene blir mer kostnadskrevende, vil marginalkostnaden for verden øke. Hva som da er kostnadseffektive utslippsreduksjoner i Norge vil avhenge av hvor kostnadsforutsetningene avviker mellom de globale studiene. Det har vi ikke hatt mulighet til å gå inn på.

Hvordan påvirker verdens klimapolitikk verdensmarkedspriser?

Informasjon av type b) kan vi også i prinsippet hente fra IEA (2013). Analysen innebærer ikke nevneverdige kostnader for verdens land, og etterspørselen etter ulike varer og tjenester er praktisk talt uendret. Det innebærer at relative priser på verdensmarkedet er upåvirket av klimapolitikken. En slik forutsetning er ikke forenlig med MSG-TECHs funn for den norske økonomien om betydelige prisvridningseffekter og påfølgende utslippsendringer som følge av klimapolitikk. Å kombinere MSG-TECH for Norge med IEAs MARKAL/TIMES-beregninger for resten av verden ville derfor gi urimelige resultater. For eksempel ville norsk industri mistet konkurransevnen også under global gjennomføring, dvs. dersom alle lands politikk på marginen var like stram. Siden norsk klimapolitikk allerede i referansebanen antas å være streng sammenlignet med de fleste andre land, ville det heller vært rimelig å tenke seg det motsatte, nemlig en forbedring av konkurransevnen i forhold til referansebanen. Vi ville ikke fått en nedskalering av eksportrettet industri, slik som i analysen av unilateral politikk. På den annen side ville en reduksjon av olje- og gassetterspørselen i verden hatt konsekvenser for norsk petroleums- og leveranseindustri og utslippene fra offshoresektoren.

Inkludering av flere effekter på globale relative vare- og tjenestepriiser enn det IEA (2012a) tar innover seg, ville bidratt til at verdens produksjon og konsum hadde fått en annen, renere sammensetning i togradersbanen. Når IEA-analysene i liten grad tar dette innover seg, får det to effekter. For det første beregner de urealistisk høye marginale rensekostnader, noe som isolert sett bidrar til for store utslippskutt i Norge. For det andre fører det til feil sammensetning av tiltak, noe som også påvirker fordelingen av utslippsreduksjoner mellom land. I tillegg til utslippsreduksjoner gjennom teknologiinvesteringer vil aktivitetsreduksjoner rimeligvis finne sted, fordi en gjennomføring av togradersmålet koster noe for verdenssamfunnet. Når den økonomiske aktiviteten faller på verdensbasis, vil det påvirke etterspørselen etter norske varer og tjenester, i særdeleshet varer og tjenester som rammes mest av klimapolitiske reguleringer. Aktivitetsfallet vil også ha en selvstendig effekt på internasjonal handel og utslipp fra transportvirksomhet.

Hvordan blir byrdefordelingen mellom land?

Den tredje typen informasjon vi må vite noe om når det gjelder global gjennomføring er c) den internasjonale byrdefordelingen man blir enige om i forhandlingene. Norges andel av gjennomføringskostnadene trenger ikke være begrenset til de innenlandske tiltakene. Hvilke forpliktelser Norge tar på seg om finansiering av utenlandske tiltak vil være med på å påvirke norsk økonomi og norsk aktivitet. Norge har allerede i referansebanen tatt på seg en forpliktelse om å bidra til globale utslippsreduksjoner utover egne innenlandske tilpasninger: senest i 2050 skal Norges totale utslippsbidrag være null. I referansebanen er dette sørget for gjennom kvotekjøp (CDM-prosjekter). Endringer i ambisjonene om kvotekjøp, i prisene på slike kjøp, i hva slags tiltak som inkluderes i globale utslippsbidrag, samt i andre kostnader Norge tar på seg i en eventuell global avtale, vil være faktorer som påvirker byrden Norge tar på seg under global gjennomføring.

Den finansielle byrden våre handelspartnere tar på seg er også viktig. Det vil påvirke utenlandske priser og derigjennom norske sektors konkurranseevne. Beregninger utført av OECD (2011, boks 3.9) illustrerer at kostnadsfordelingen mellom ulike regioner av en global gjennomføring av togradersmålet påvirkes sterkt av hva slags byrdefordeling som legges til grunn. Ved uniform karbonprising uten noen omfordelende mekanismer, vil OECD-landene komme heldigst ut, med et reelt bruttonasjonalinntektsfall på om lag 3 prosent fra en referansebane i 2050. De fremvoksende BRIICS⁶-landene får et fall på rundt 9 prosent, mens den fattigste delen av verden (landene utenom OECD og BRIICS) er på hele 14 prosent. Til sammenligning faller realinntekten til disse fattigste landene bare med rundt 2 prosent i 2050, dersom alle land får kvoter i henhold til sin befolkning. Tilsvarende fall for OECD og BRIICS er da på om lag 5 og 12 prosent.

Oppsummering

Det er altså mulig å studere konsekvenser av global vs. unilateral gjennomføring for Norge i en modell som MSG-TECH, men da fortrinnsvis kombinert/integrert med en teknologi-rik likevektsmodell for verden der gjerne også teknologiutvikling gjennom læring, forskning og utvikling er modellert. En slik modell ville ikke bare beregnet den marginale rensekostnaden for verden som helhet, men samtidig gitt oss anslag på a) klimateknologisk utvikling under en omfattende global klimapolitikk, b) økonomisk informasjon om våre handelspartnere, samt c) konsekvensene av byrdefordelingen i en eventuell avtale.

Kostnadseffektive klimatiltak i verden ville vært en kombinasjon av teknologiomlegginger og aktivitetsendringer. Sammenlignet med verdenssituasjonen i det unilaterale tilfellet (som sammenfaller med referansebanen) ville prisene på klimateknologier blitt betydelig lavere, mens priser på energiintensive produkter ville blitt høyere og verdenssetterspørselen etter disse lavere. Kostnadene ved klimapolitikk vil mest sannsynlig føre til at verdens BNP ville falt og dermed også internasjonal handel og transport. Norsk BNP og konsum ville sannsynligvis blitt negativt påvirket både av lavere verdenssetterspørsel og av eventuell byrdefordeling i disfavør av de rikeste landene. Det vil isolert sett føre til lavere utslipp i Norge (skalaeffekter). Det samme vil vridninger i utenlandsk etterspørsel vekke fra transport og energiintensive produkter (sammensetningseffekter). Sammensetningseffektene vil imidlertid også avhenge av hvordan norsk konkurranseevne påvirkes. I forhold til det unilaterale tilfellet vil den kunne bedres i de utslippsintensive sektorene og bidra til økte norske utslipp. Til slutt vil teknologiutvikling bidra til lavere utslipp enn i det unilaterale tilfellet (teknologieffekter). Alt i alt er det mange effekter som taler for at utslippsreduksjonene i Norge ville blitt sterkere under en global enn under en unilateral gjennomføring. Bare konkurranseevneeffektene virker i motsatt retning. Særlig er det grunn til å vente at bidraget til økte utslippskutt gjennom raskere teknologiutvikling vil være betydelig, selv om IEA (2012a og 2013) ser ut til å være blant de mest teknologioptimistiske publiserte studiene.

⁶ Brasil, Russland, Indonesia, India, Kina og Sør-Afrika.

4.3. Sektorvise utslippsreduksjoner i Norge ved global gjennomføring

Oversiktene i avsnittene 4.1 og 4.2 gir grunn til å se nærmere på de sektorvise endringene som vil kunne finne sted dersom verden gjennomfører en utslippsutvikling i tråd med togradersmålet. I den sektorvise gjennomgangen legges det vekt på tilfellet med global gjennomføring, og hovedkilden er IEA (2013). Vi trekker imidlertid også på resultatene fra MSG-TECH-beregningene, først og fremst for å drøfte utslag av modellforskjellene.

Transport

Over halvparten av de totale utslippsreduksjonene frem mot 2050 skyldes utslippsreduksjoner i transport. Beregningene viser at betydningen av denne sektoren for å kunne redusere utslippene blir stadig større utover i perioden. Disse funnene gjelder for både IEA (2013) og MSG-beregningene.

Nivået på utslippskuttene er imidlertid svært ulike. Mens IEA (2013) presenterer utslippsreduksjoner for 2050 på 8,6 millioner tonn CO₂ (44 prosent) fra referansebanen i transportsektoren, er tilsvarende tall fra beregningene i MSG-TECH 3,4 millioner tonn CO₂ (16 prosent).

I analysen av hva som kan forklare resultatforskjellene, og spesielt hvorvidt det er ulike modellegenskaper som gir forskjellene, drøfter vi tre potensielle bidrag, nemlig forskjeller i:

- a) referansebaneantakelsene
- b) antakelsene om transportvolum
- c) antakelsene om klimateknologiske muligheter

Referansebaneantakelsene

Forklaringen på ulikhetene i anslag i de to beregningene ligger sannsynligvis ikke i referansebaneantakelsene. Riktignok oppgir ikke IEA (2013) referansebanenivåer på sektornivå for Norge, bare for Norden som helhet.⁷ Legger vi den nordiske utviklingen til grunn, får vi imidlertid en referansebane som gir en tilnærmet uendret utvikling i utslippene fra transport fra 2009 til 2050, se figur 4.6. I MSG-TECH-beregningene, derimot, øker utslippene i referansebanen. Til tross for en noe ulik utvikling i referansebanen, viser utslippene i togradersbanen langt større forskjeller. Mens IEA (2013) viser et kraftig fall i togradersbanen fra 2009 til 2050, er fallet i MSG-TECH-beregningene svært beskjedent.

Antakelsene om transportvolum i togradersbanen

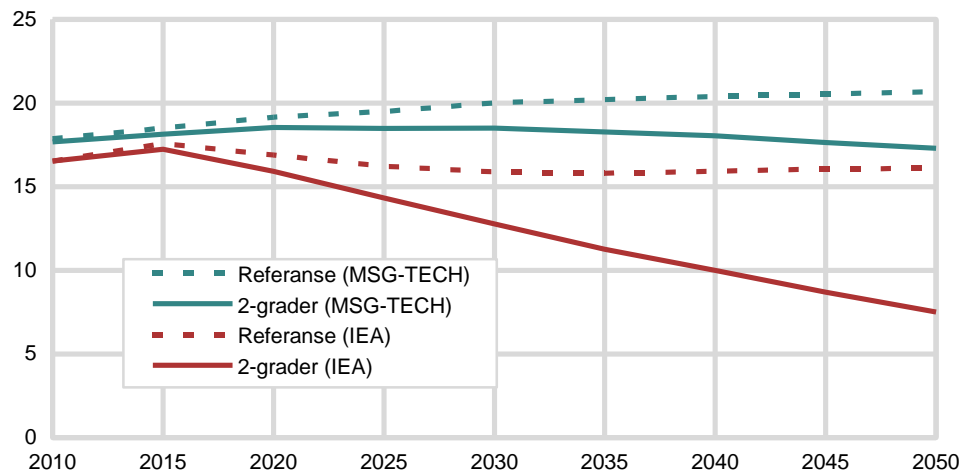
En del av forskjellen mellom IEA (2013) og MSG-TECH-beregningene ligger i ulike antakelser om nivået på transportaktivitetene. Til tross for et kraftig fall i *utslippet* fra transport under togradersmålet i IEA (2013), så øker faktisk det totale *transportvolumet* i Norge i både referansebanen og togradersbanen, se figur 4.7. Det er også verdt å merke seg at den totale passasjertransporten er tilnærmet lik i referansebanen (4DS) og togradersbanen (2DS). Det betyr at utslippsreduksjonene i IEA (2013) hovedsakelig skjer gjennom tiltak som bidrar til redusert utslippsintensitet og i veldig liten grad gjennom redusert aktivitet. Som nevnt tidligere er aktivitetsendringene i IEA (2013) eksogent anslått.

Dette står i kontrast til MSG-TECH-beregningene, hvor ¼ av utslippsreduksjonene skjer gjennom redusert aktivitet i transportsektoren. Reduksjonene skyldes at transporttjenester blir relativt dyrere når prisen på klimautslippene øker. I noen grad, men ikke fullt ut, kompenseres dette av at flere bruker kollektivtransport. Denne type aktivitetsreduksjoner vil rimeligvis også finne sted under en global

⁷ Sektorvise utslippstall for enkeltland fra IEA (2013) er ikke offentlig tilgjengelig. Endringstall (i millioner tonn fra referansebanen til togradersbanen) er imidlertid offentlig tilgjengelig på IEAs nettsider, og vi har brukt disse i denne rapporten. Ved å bruke offentlig tilgjengelig informasjon for (i) norske transportutslipp i 2010, (ii) endring fra referansebanen i millioner tonn CO₂ og (iii) utvikling i referansebanen for Norden, er norske utslipp anslått i referansebanen og togradersbanen.

gjennomføring. Hadde vi lagt global gjennomføring til grunn i en MSG-TECH-beregning, ville det gitt seg utslag i en verdensomspennende omallokering vekk fra transport, som er en relativt utslippsintensiv virksomhet. Den generelle nedskaleringen av den globale økonomien som følge av karbonprisingen ville dessuten dempet internasjonal handel og internasjonal transport. I tillegg ville byrdefordelingen mellom land og effektene på marginalkostnaden ved kutt vært med å påvirke i hvor stor grad den innenlandske aktiviteten ville blitt påvirket.

Figur 4.6. Utslippsutvikling i transport i Norge. Millioner tonn CO₂, 2010-2050



Kilde: Statistisk sentralbyrå og IEA (2013).

Antakelsene om klimateknologiske muligheter

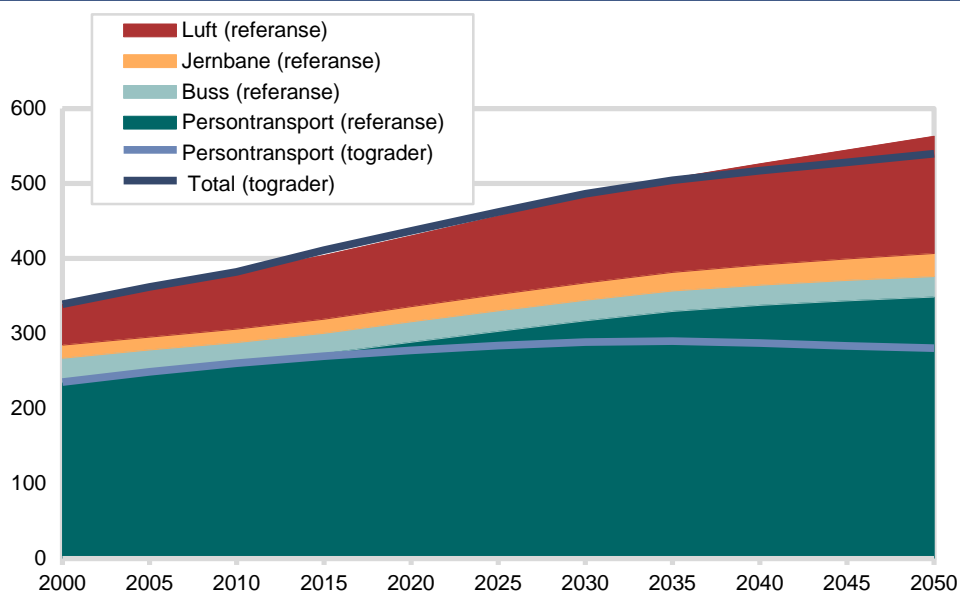
Global gjennomføring i en generell likevektsmodell ville altså sannsynligvis gitt større utslippsreduksjoner gjennom aktivitetsfall enn det IEA (2013) fanger opp. Selv det unilaterale tilfellet gir større utslippsreduksjoner gjennom aktivitetsfall. Likevel får vi, for gitt karbonpris, langt større utslippsreduksjoner i IEA (2013). Ulike teknologiantakelser er den viktigste forklaringen på dette. Utslippsendringene som finner sted i følge IEA (2013) er fordelt på følgende tiltakskategorier:

- Effektivitetsforbedringer innen eksisterende teknologier
- Teknologibytte (f. eks. fra dieselbil til elbil)
- Substitusjon i innsatsvare/energibærere (f. eks. fra diesel til biodrivstoff)
- Substitusjon i fremkomstmiddel (f. eks. fra privatbil til buss og jernbane)

Når det gjelder substitusjon i fremkomstmiddel (kategori d) viser figur 4.7 en utflatning og deretter svak nedgang i privattransporten i togradersbanen, til tross for en markant økning i den totale passasjertransporten. Dette innebærer at deler av passasjertransporten flyttes over til buss og jernbane, noe som bidrar til å redusere utslippene noe. Videre vil 50 prosent av økningen i godstransporten på vei vil flyttes over til jernbane. Det kan virke som en optimistisk antakelse, men illustrerer like fullt hvilke tiltak som er nødvendige for å nå togradersmålet.

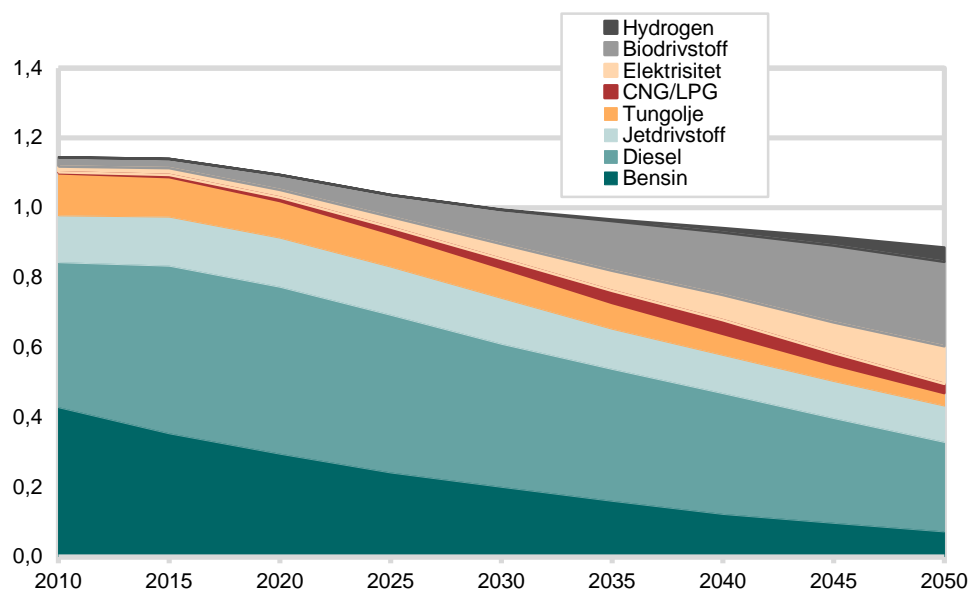
Substitusjon av energibærere (tiltakskategori c) spiller en viktig rolle for å få ned utslippene i IEA (2013). Det er antatt en innblandingsprosent på 35 prosent for biodrivstoff i 2050, og biodrivstoff vil stå for hele 27 prosent av den totale energibruken i transportsektoren, se figur 4.8.

Figur 4.7. Utvikling i passasjertransport i de nordiske landene. Milliard passasjerkilometer. 2000-2050



Kilde: IEA (2013)

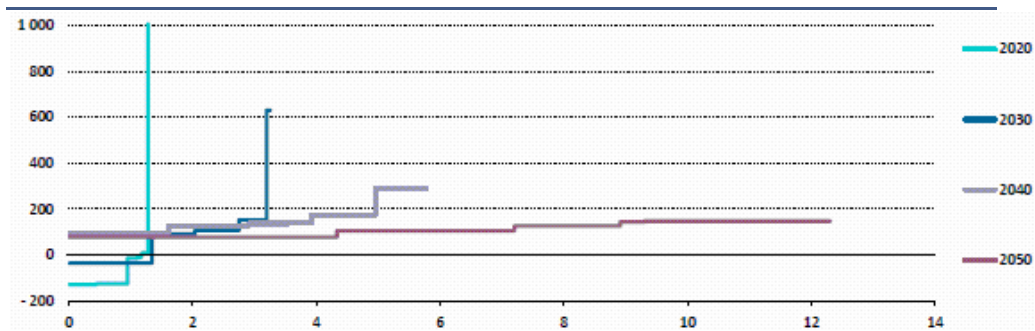
Figur 4.8. Total energibruk i nordisk transport i togradersbanen. EJ. 2010-2050



Kilde: IEA (2013)

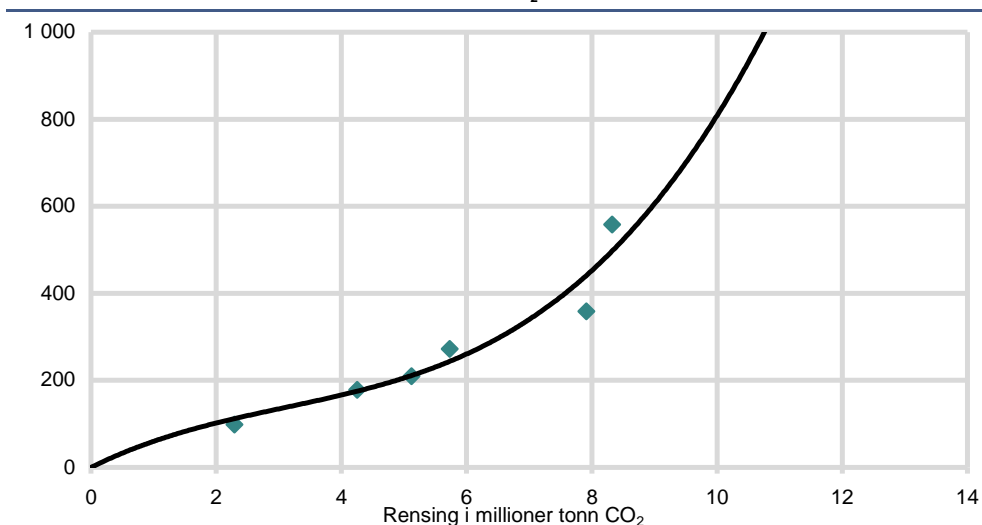
Figur 4.9 viser rensekostnadskurvene for transport som er lagt til grunn for teknologiutvikling (tiltakskategori b) i IEA, 2013). Figuren gjelder for Norden og viser potensialet for utslippsreduksjoner i millioner tonn CO₂ ved ulike kostnader, og hvordan disse kostnadene endrer seg over tid. I IEA (2013) er det lagt inn teknologimuligheter som blant annet omfatter energieffektivisering, skift til forbedrede dieselmotorer, hybridbiler, plug-in hybridbiler, batteridrevne elbiler og brenselcellebiler. Figuren viser at potensialet for utslippsreduksjoner øker over tid. Dette har sammenheng med teknologiutvikling og at det tar tid å spre ulike teknologier ettersom bilparken skiftes gradvis ut. En pris på for eksempel 160 dollar per tonn CO₂ utløser rundt 0,7 millioner tonn nordiske utslippsreduksjoner i 2020, mens samme pris vil utløse langt større utslippsreduksjoner i 2050. Antagelser om formen på rensekostnadskurven har altså stor betydning for hvilke utslippsreduksjoner som vil utløses innen transportsektoren. Merk at over 1 million tonn CO₂ er antatt å kunne renses i Norden ved en negativ pris i IEA (2013). Likevel blir dette ikke utløst i referansebanen.

Figur 4.9. Marginale renseskostnadskurver for teknologibytte innen passasjertransport i Norden. USD/tonn CO₂



Kilde: IEA (2013)

Figur 4.10. Marginale renseskostnadskurver for passasjertransport i Norden*, basert på antakelser i MSG-TECH. USD/tonn CO₂



Kilde: Statistisk sentralbyrå..

*Formen på grafen er sensitiv for skaleringsfaktoren, og grafen bør derfor tolkes med varsomhet. Original graf for Norge finnes i vedlegg A.

En lignende kurve er modellert i MSG-TECH for Norge. I figur 4.10 er renseskostnadskurven for Norge skalert opp til nordisk nivå for å gjøre den sammenlignbar med resultatene fra IEA (2013).⁸ Det beregnede nordiske utslippspotensialet i figur 4.10 er selvsagt sensitivt for valg av skaleringsfaktor. I tillegg er det en del viktige forskjeller mellom hva kurvene i 4.9 og 4.10 illustrerer. For det første inngår ikke bare teknologibytte i renseskostnadskurven basert på MSG-TECH, men også energieffektivisering og overgang til biobrensel. For det andre er det i MSG-TECH-beregningene antatt samme kostnadsbilde for overgang til utslippsreducerende kjøretøy i alle årene fram til 2050. Dataene som ligger til grunn er kostnadsberegninger for 2020 i det unilaterale tilfellet, men potensialene justeres endogent fra år til år, avhengig av aktivitetsnivået. At det ikke skjer en kostnadsutvikling overhodet over så langt tidsrom er usannsynlig, selv med unilateral klimapolitikk, siden ikke alle teknologiendringer vil være avhengig av (forventninger om) en ambisiøs global klimapolitikk. For det tredje er MSG-TECH-kurven estimert som en glattet kurve, mens MARKAL/TIMES-modeller innebærer trappe-trinn som avhenger av kapasitetsantakelser for de ulike tiltakene på de ulike tidspunktene. Se vedlegg A for mer detaljer om renseskostnadskurven i MSG-TECH.

Til tross for forskjellene og usikkerheten forbundet med skaleringen, kan det likevel være interessant å sammenlikne figur 4.9 og 4.10. Ser vi på rensespotensialene ved en karbonpris på 160 USD/tonn CO₂ (som er den beregnede marginalkostnaden i 2050),

⁸ Oppskaleringen til nordisk nivå er basert på forholdstall fra 2010, det vil si Norge står for 23 prosent av utslippene i transportsektoren i Norden og passasjertransport står for 66 av all transport. Den opprinnelige renseskostnadskurven for Norge finnes i vedlegg A.

er det klart at MSG-TECH-antakelsene vil utløse langt mindre utslippskutt enn antakelsene for 2050 i TIMES/MARKAL. For de nærmeste årene er modellene likere. Utslippskuttene som følge av teknologiendringene i kurvene i 2030 er om lag på linje. Siden MSG-TECH er basert på unilateral klimapolitikk er modellen altså mer teknologioptimistisk enn TIMES/MARKAL i de første tiårene. Etter 2030 skjer imidlertid teknologiutviklingen raskt i TIMES/MARKAL, og potensialet ved 160 USD/tonn CO₂ vokser dramatisk.

I MSG-TECH-beregningene av unilateral politikk ble ¾ av utslippskuttene oppnådd ved teknologitiltak, da hovedsakelig energieffektivisering. Skulle MSG-TECH vært brukt til å studere global gjennomføring, fremstår antakelsene om teknologiutviklingen som for pessimistiske mot 2050 og utviklingen i utslippsreduksjonene dermed som for svak. Med global gjennomføring vil læringseffekter, skalafordeler og forsknings- og utviklingseffekter måtte tas i betraktning i MSG-TECH, og teknologiutviklingen vil ligne mer på den i IEA (2013). Det er imidlertid stor usikkerhet knyttet til fremskrivning av slike teknologiutviklingspotensial under helt andre politikktantakelser enn dem man har sett til nå.

Oppsummering

Tabell 4.2 oppsummer funnene for transportsektoren fra de to modellanalysene.

Vi har altså to anslag på utslippsreduksjonene i transportsektoren ved en karbonpris svarende til togradersmålet: 3,4 millioner tonn CO₂ ved unilateral gjennomføring og 8,6 millioner tonn CO₂ ved en global gjennomføring. Det over dobbelt så store kuttet ved global gjennomføring skyldes i stor grad politikforskjellene. Det er grunn til å forvente billigere teknologiløsninger dersom alle land gjennomfører tiltak.

Tabell 4.2. Oppsummering: transport

	MSG-TECH – unilateral politikk	TIMES/MARKAL – global politikk
Utslippsreduksjoner fra referansebanen	3,4 millioner tonn CO ₂	8,6 millioner tonn CO ₂
Aktivitet	Utflatning i transportvolumet i togradersbanen. Redusert aktivitet i forhold til referansebanen.	Økning i transportarbeidet i togradersbanen. Svak reduksjon i aktivitet i forhold til referansebanen.
Type utslippsreduksjoner	25 prosent nedskaling, 75 prosent teknologitiltak i 2050. Teknologitiltakene er i hovedsak energieffektivisering.	Hovedvekten av utslippskuttene skyldes energieffektivisering og økt innslag av biodrivstoff. Deler av kuttene kommer gjennom skift fra bil til buss og jernbane.
Modellens relative styrke	Beregner utslippsreduksjoner i form av redusert aktivitet. Mer detaljert modellering av sektorvis bruk av transport.	Mer detaljert modellering av teknologimuligheter. Tar i betraktning læringseffekter som bidrar til reduserte kostnader over tid. Inkluderer utslipp fra utenriks-transport.

Kilde: Statistisk sentralbyrå.

Industri

Etter transport følger industrien når det gjelder betydning for de norske utslippsreduksjonene i 2050 i togradersbanen. I følge IEA (2013) vil industrinæringene stå for 25 prosent av de totale utslippsreduksjonene i 2050 (se tabell 4.1). Til sammenligning står industrien for 32 prosent av de samlede utslippsreduksjonen i 2050 i MSG-TECH, men da er også konkurransevneeffekter av unilateral politikk medregnet.

Selv om industrien står for en mindre *andel* av de totale utslippsreduksjonene i IEAs beregninger enn i MSG-TECH, vil de *totale utslippskuttene* være langt større i IEA (2013). Mens utslippsreduksjonene for Norge beregnet i IEA (2013) ligger på 4,1 millioner tonn CO₂ i 2050, er tilsvarende resultat fra MSG-TECH-

beregningene 1,8 millioner tonn CO₂. MSG-TECHs reduksjoner er altså under halvparten.

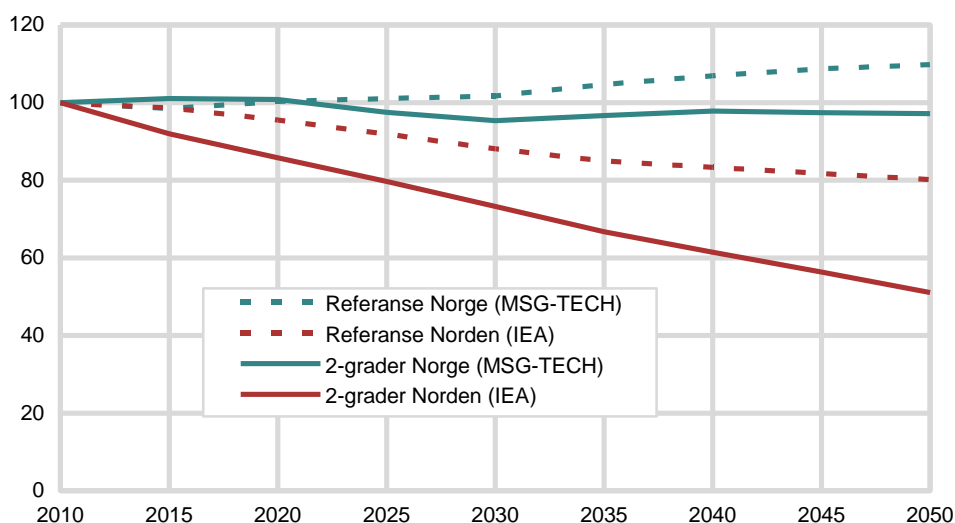
Også i dette avsnittet vil vi drøfte tre potensielle bidrag til resultatforskjellene i de to studiene, nemlig forskjeller i:

- referansebaneantakelsene
- antakelsene om produksjonsvolum
- antakelsene om klimateknologiske muligheter

Referansebaneantakelsene

Vi kan ikke direkte sammenlikne utslippsutviklingen for Norge i referansebanene (eller togradersbanene) fra de to modellene, ettersom IEA (2013) ikke oppgir utslippsnivåene for Norge (kun utslippsreduksjoner fra referansebanen i millioner tonn CO₂). I figur 4.11 har vi plottet tallene fra IEA (2013) for *Norden* i stedet. Sammenlikner vi utviklingen i med MSG-TECHs referansebane, ser vi at det er betydelige forskjeller i referansebaneantakelsene. For Norden forventer IEA (2013) en nedgang på 20 prosent i referansebanen fram mot 2050, mens MSG-TECHs referansebane er mer optimistisk for Norges del, med en vekst på 10 prosent. Ettersom norsk industri skiller seg fra de andre nordiske landene både i sammensetning og i politiske og markedsmessige rammebetingelser, er det viktig å ta forbehold om at utviklingen i Norge vil kunne avvike fra utviklingen for Norden.⁹ Baserer vi oss likevel på Nordens referansebane, kan vi slutte at IEA (2013) ser for seg større utslippskutt allerede i referansebanen enn det MSG-TECH-banen framskriver; jfr. figur 4.11. Isolert sett er det grunn til å forvente at ytterligere kutt da er dyrere og vanskeligere. Når IEA (2013) likevel estimerer over dobbelt så store norske kutt fra referansebanen til togradersbanen som det MSG-TECH-beregningene tilsier, vil det mest sannsynlig ikke skyldes ulikhetene i referansebaner.

Figur 4.11. CO₂-utslipp fra norsk og nordisk industri. 2010-2050. Indeks, 2010=100



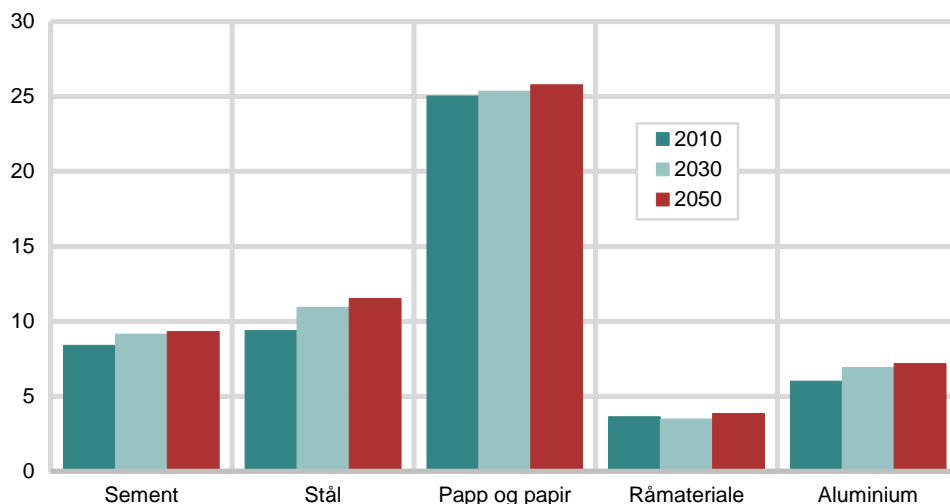
Kilde: SSB og IEA (2013). Tall for Norge er ikke tilgjengelige i IEA (2013).

Antakelsene om produksjonsvolum

I tillegg til ulike forutsetninger om *utslippene* i referansebanen, vil forutsetningene om selve *industriproduksjonen* også være forskjellig i IEA (2013) og i MSG-TECH. Figur 4.12 viser hvordan *nordisk* industriproduksjon er antatt å utvikle seg frem mot 2050 i IEA (2013). Industriproduksjon er antatt lik i referansebanen og togradersbanen, og viser en svak økning frem mot 2050.

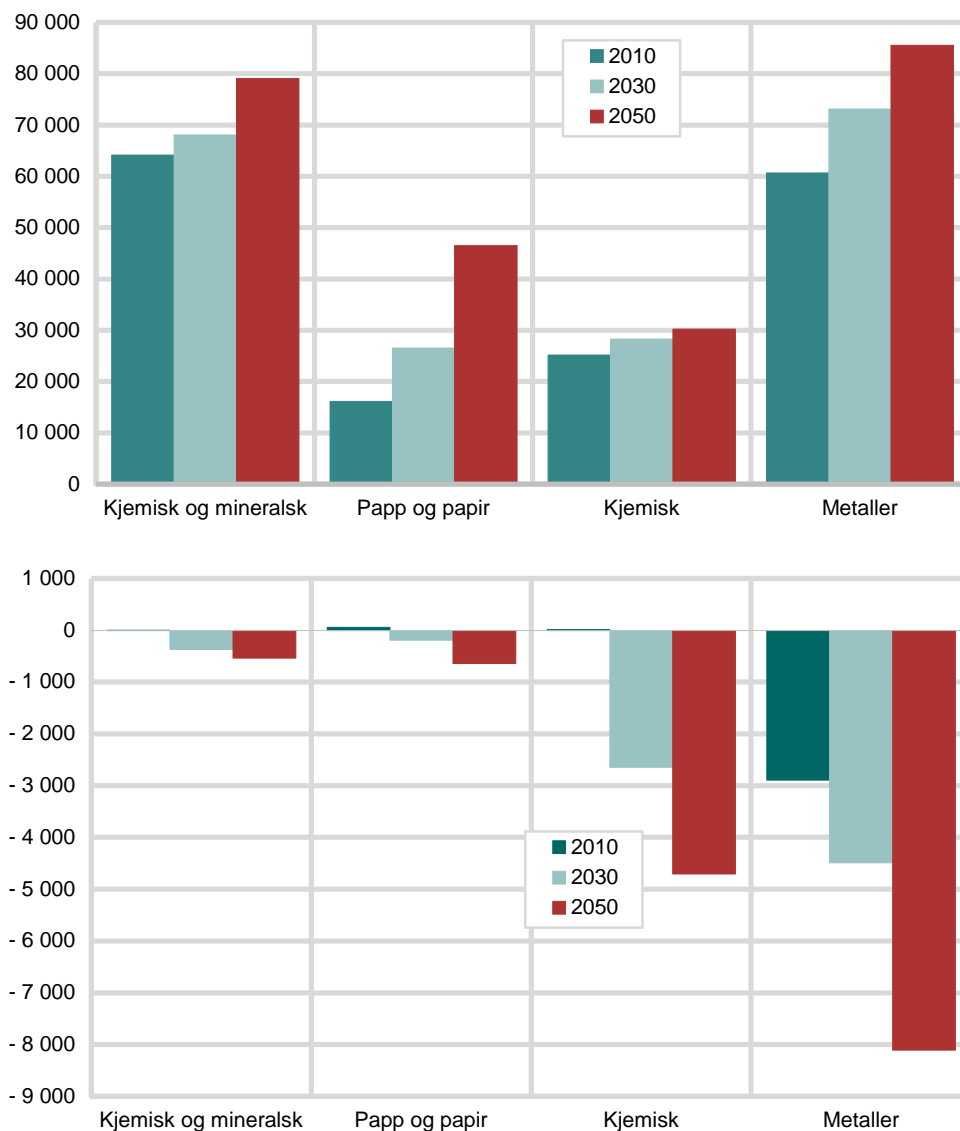
⁹ Av samme grunn har vi ikke laget beregnede norske utslippsnivåer i referansebanen og togradersbanen på samme måte som for transport.

Figur 4.12. Total industriproduksjon i Norden i referansebanen og togradersbanen. Millioner tonn



Kilde: IEA (2013)

Figur 4.13. MSG-TECH: Industriproduksjon i togradersbanen som nivå og som reduksjon fra referansebanen, mill. kr. (faste 2004-priser)



Kilde: SSB.

Figur 4.13 viser utviklingen i *norsk* industriproduksjon i MSG-TECHs referansebane, samt endringer fra referansebanen til togradersbanen. I likhet med i IEA (2013) skjer det en økning i deler av industriproduksjonen i MSG-TECH i både referansebanen og togradersbanen, med unntak av kjemisk industri. Økningen i industriproduksjon er imidlertid langt kraftigere enn i IEA (2013).¹⁰

Økningen i referansebanen er hentet fra antakelser i Fæhn og Jacobsen (2012), som igjen bygger på Nasjonalbudsjettet for 2011 (Meld.St.1, 2010-2011).

Selv om industriproduksjonen øker i togradersbanen for metaller, mineralsk produksjon og treforedling, er dette likevel en klar nedgang i forhold til referansebanen. Den største reduksjonen kommer innen metaller og kjemisk industri. Hele 2/3 av MSG-TECHs estimerte kutt skyldes redusert konkurranseevne og dermed produksjonskutt i industrinæringene, som følge av unilateral politikk. Med en global gjennomføring av togradersmålet ville slike utslippsreduksjoner rimeligvis fases gradvis ut frem mot 2050, når den globale klimapolitikken er antatt å være kostnadseffektiv. Holder vi utslippskutt som følge av nedskalering utenfor beregningene, vil utslippsreduksjonen i 2050 ligge på rundt 0,5 millioner tonn. På den annen side er det mange grunner til aktivitetsreduksjoner under en global gjennomføring som ikke fanges opp i det unilaterale tilfellet. Først og fremst er det rimelig å anta at etterspørselen i verden vil falle som følge av kostnadene knyttet til utslippskutt. Industrien, som er mer utslippsintensiv enn andre sektorer, kan komme til å merke relativt sett sterkere ulemper enn andre sektorer. Det er derfor ikke opplagt at fallet i industriproduksjonen unngås selv om klimapolitikken blir global.

Antakelsene om klimateknologiske muligheter

Igjen er det teknologiantakelsene som er mest forskjellige i IEA (2013) og MSG-TECH-beregningene. Til tross for at IEA (2013) anser utslippsreduksjoner i industrien for å være relativt teknologisk kompliserte og dyre, spesielt i de første tiårene, vil utslippskuttene på sikt være betydelige. I 2050 vil kuttene gjennom teknologitiltak i følge IEA (2013) være på 4 millioner tonn CO₂ og komme fra følgende tiltak:

- Energieffektivisering
- Bruk av ny produksjonsteknologi
- Brenselsbytte (substitusjon)
- Implementering av CCS
- Resirkulering og bruk avfallsmaterialer

En stor andel av utslippene i industrien er prosessutslipp som er knyttet til bruk av fossile råvarer, for eksempel i produksjon av kjemikalier, i reduksjonsprosesser, og ved oppbevaring av avfall. I 2011 utgjorde prosessutslipp 62 prosent av de totale CO₂-utslippene fra norsk industri. IEA (2013) anser bruk av CCS som hovedtiltaket overfor prosessutslippene. Det er ikke oppgitt spesifikke tall for Norge, men for Norden er det anslått at mellom 20 og 30 prosent av industriens utslippsreduksjoner i 2050 vil oppnås gjennom bruk av CCS, både i produksjon av metall, papp og papir, kjemikalier og sement.

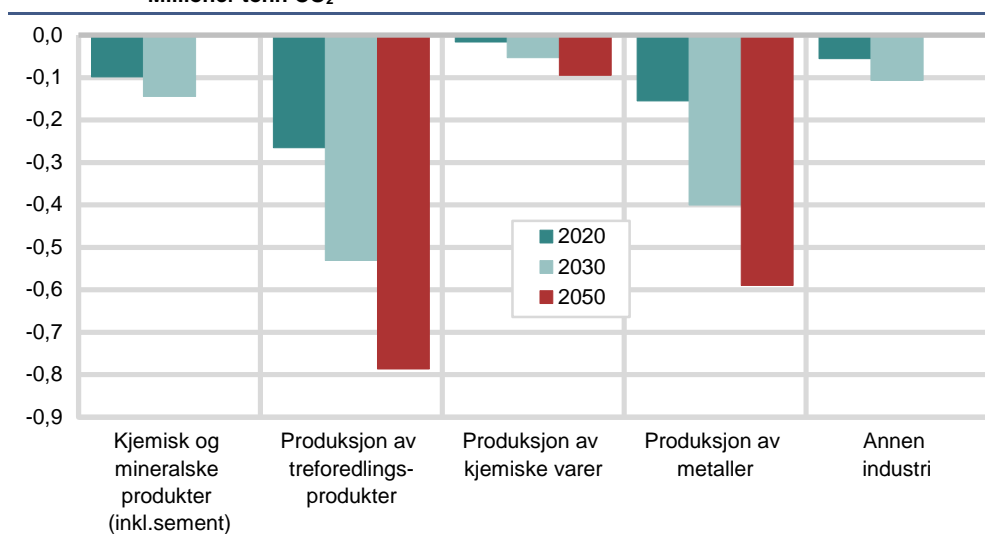
I MSG-TECH er det modellert teknologimuligheter for sementproduksjon, kjemisk industri, aluminium, jern og stål og treforedling (produksjon av papp og papir). Teknologimulighetene er i stor grad basert på sektoranalysen for industri i Klimakur 2020 (2010), og er listet opp i vedlegg A. Det totale rensepotensialet er anslått til 4,2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, med en pris på ca. USD 400 for det dyreste tiltaket. Det er altså kun en liten del av tiltakene som vil bli utløst med en pris på 160 USD i 2050. Blant annet er CCS i industrien antatt å være for dyrt til å bli utløst av denne utslippsprisen.

¹⁰ Produksjonsvolumet i MSG-TECH er målt i faste 2004-priser, mens det i IEA (2013) er oppgitt i tonn.

Teknologipotensialet i MSG-TECH er basert på antakelser om unilateral politikk og uendrede teknologikostnader over tid. Dette er hovedforklaringen på hvorfor utslippsreduksjonene blir langt mindre enn i IEA (2013). Det er vanskelig å vurdere hvorvidt IEA (2013) legger et for optimistisk syn til grunn. Andre globale analyser er mindre optimistiske; se kapittel 3.2. Klimakur 2020 (2010) er også relativt forsiktig i sine lønnsomhetsanslag for CCS for Norges vedkommende pga. små rensesepotensial på industrianleggene. Skalaen på eventuelle CCS-anlegg vil avhenge av koordineringsmulighetene på tvers av industrianlegg og av forventningene om norsk industris konkurransedyktighet fremover. Disse momentene kan tale for at anslaget for norske utslippsreduksjoner i industrien IEA (2013) ligger høyt.

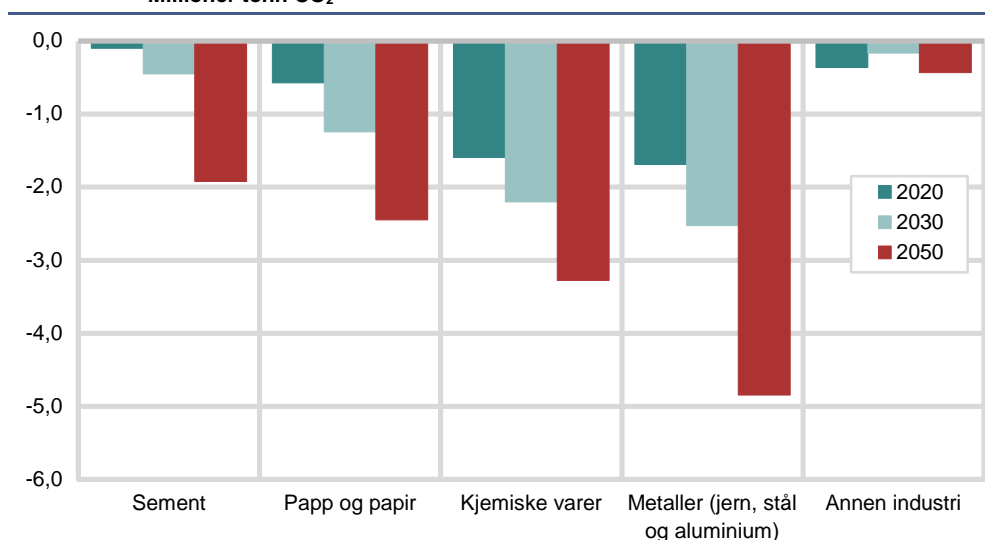
Til tross for forskjeller i *omfanget* av utslippsreduksjoner, vil *fordelingen* av reduksjoner på tvers av industrinæringer vise et mer sammenfallende bilde. I begge modellberegningene finner de største utslippsreduksjonene sted innen metall og kjemisk industri, se figur 4.14 og figur 4.15.

Figur 4.14. MSG-TECH: Reduksjon i CO₂-utslipp fra industrien i Norge fra referansebanen. Millioner tonn CO₂



Kilde: Statistisk sentralbyrå.

Figur 4.15. Reduksjon i CO₂-utslipp fra industrien i Norden fra referansebanen. Millioner tonn CO₂



Kilde: IEA (2013). Tall for Norge er ikke offentlig tilgjengelige.

Oppsummering

Tabell 4.3 oppsummerer utslippsresultatene for industrien og noen egenskaper ved modellene som preger beregningene.

Tabell 4.3. Oppsummering: industri

	MSG-TECH	IEA
Utslippsreduksjoner fra referansebanen	1,8 millioner CO ₂ -tonn	4,1 millioner CO ₂ -tonn
Produksjon	Nedskalering sammenlignet med referansebanen	Ingen endring i produksjonen
Type utslippsreduksjoner	2/3 nedskalering, 1/3 teknologitiltak	Kun teknologitiltak
Modellegenskaper	Fanger opp ringvirkninger i økonomien Færre teknologimuligheter, høyere kostnader	Tar ikke i betraktning endringer i produksjon som følge av endrede priser, frigjøring av ressurser i økonomien, endret konkurransevne. Teknologioptimistisk, blant annet CCS

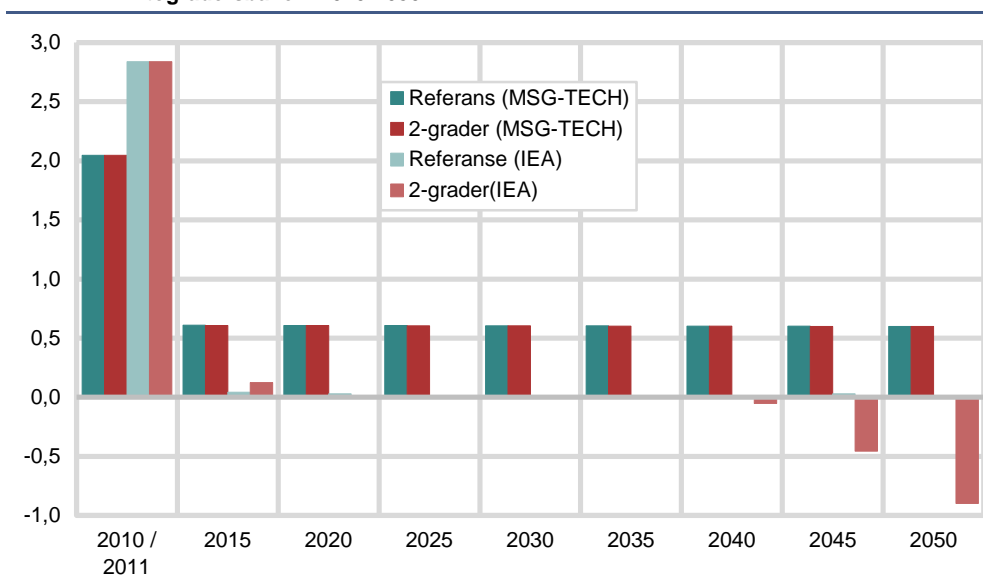
Kilde: Statistisk sentralbyrå.

For å oppsummere: de to analysene vi baserer oss på gir utslippskutt på gir henholdsvis 4,1 og 1,8 millioner tonn CO₂ i industrien. Det laveste anslaget legger til grunn unilateral politikk. Det er grunn til å vente at dette anslaget ville blitt større under en antakelse om global gjennomføring, først og fremst som følge av økt utvikling og spredning av klimavennlige teknologiløsninger.

Kraftproduksjon

Innenfor kraftproduksjon er det lite utslippsreduksjoner å hente i Norge. Ca 95 prosent av elektrisitetsproduksjonen var i 2010 basert på vannkraft. Innen 2020 vil det i følge referansebanen komme inn gasskraft. I MSG-TECH er det antatt full rensing på gasskraftanlegget på Mongstad allerede i referansebanen. Utslippene fra kraftsektoren er dermed tilnærmet like i referansebanen og togradersbanen, se figur 4.16.

Figur 4.16. Utslippsutvikling i norsk kraftproduksjon i millioner tonn CO₂ i referansebanen og togradersbanen. 2010-2050



Kilde: SSB og IEA (2013). 2010-tall er fra IEA (2013), mens 2011-tall er fra MSG-TECH. IEAs tall for Norge er hentet fra figur 3.14 i IEA (2013).

I IEA (2013) ligger nivået på utslippene noe høyere i 2010 enn i MSG-TECH. Det har mest sannsynlig sammenheng med at avgrensningen mellom kraftproduksjon og annen transformasjon ikke er helt sammenfallende med sektoravgrensningen i MSG-TECH. IEA (2013) viser tilnærmet like utslipp i referansebanen og togradersbanen frem mot ca. 2040. Etter dette vil man faktisk få negative utslipp

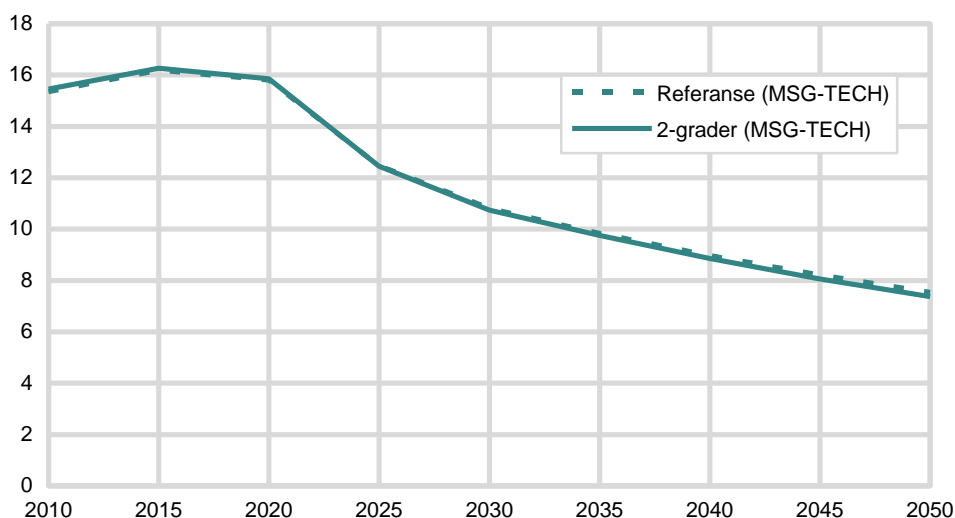
fra kraftsektoren i Norge i togradersbanen. Dette skyldes bruk av CCS-teknologi, som også antas å bli benyttet på forbrenningsanlegg basert på bioenergi. Dette må sies å være en optimistisk teknologi-antakelse.

Petroleumsproduksjon

Utvinning av råolje og naturgass står for en stor andel av de totale utslippene i Norge, over en fjerdedel i 2011. Utslippene skyldes i stor grad bruken av gassturbiner på offshoreinstallasjoner.

Det er verdt å merke seg at utslippene fra petroleumssektoren faller markant frem mot 2050 som følge av fallende produksjon i referansebanen. I figur 4.17 fremkommer blant annet referansebanens utslipp i MSG-TECH-beregningene. I 2050 ligger de på litt over 7 millioner tonn CO₂, hvilket tilsvarer en nedgang på over 50 prosent fra 2010.

Figur 4.17. MSG-TECH: Utslipp fra petroleumssektoren. Millioner tonn CO₂



Kilde: SSB

IEA (2013) gir ingen separat fremstilling av den norske utvinningssektoren i referansebanen, men norsk olje- og gassproduksjon, inkludert petroleumsraffineri, inngår i de nordiske tallene for *Annen transformasjon*. Også IEA (2013) legger til grunn at utslippene fra denne sektoren vil falle markant frem mot 2050 i referansebanen, blant annet som følge av redusert petroleumsproduksjon.

Begge modellene behandler produksjonen i sektoren eksogent, og ser bort fra vesentlige produksjonsendringer som følge av klimapolitikken. MSG-TECH holder eksporten uendret i den unilaterale studien. IEA (2013), som analyserer global gjennomføring, tar delvis hensyn til klimapolitikken ved å anta en lavere oljepris i togradersbanen. Mens prisen i referansebanen ligger på litt over USD 120 per fat i 2050, vil prisen i togradersbanen ligge på rundt 90 dollar per fat. IEA (2013) antar at mindre olje vil bli produsert fra marginale høykostnadsfelt, spesielt i ikke-OPEC land. Dette får likevel lite utslag i oljeproduksjonen for Norges del i IEA (2013). Særlig i det globale gjennomføringsalternativet er det grunn til å stille spørsmål ved en slik antakelse. Dersom togradersmålet blir oppnådd, vil det ha stor innvirkning på verdens etterspørsel etter fossile brensler og dermed også produksjonen. Det er sannsynlig at en del marginale felt vil bli ulønnsomme også i Norge.

Selv om aktivitetsnivåene er nærmest upåvirkede i begge studiene, åpner de for at utslippene kan reduseres ved å ta i bruk klimavennlige teknologier som elektrifisering fra fastlandet til erstatning for gassturbiner. Imidlertid er disse tiltakene dyre og få tiltak utløses av en pris på USD 160 per tonn CO₂ i 2050. IEA (2013) får helt ubetydelige reduksjoner i sektoren *Annen transformasjon*. Teknologi/mulighetene innenfor MSG-TECH-sektoren *Utvinning av råolje og*

naturgass er vurdert noe mer optimistisk. Teknologitiltak i form av elektrifisering er anslått å gi 0,2 millioner tonn CO₂-kutt fra referansebanen. Det tilsvarer en reduksjon på litt over 2 prosent.

Øvrige sektorer

Øvrige sektorer består av jordbruk, skogbruk, tjenesteytende næringer og husholdninger. Norge har mye skog. Skog binder CO₂ og kan dermed bidra til å redusere de totale klimagassutslippene. I 2010 tilsvarte opptak i norsk skog omkring 33 millioner tonn CO₂ (SSB, 2011). Til sammenligning lå de norske CO₂-utslippene samme år på 46 millioner tonn. På grunn av alderssammensetningen vil den årlige nettotilveksten avta, og det årlige opptaket er forventet å nå et nivå på ca. 19 millioner tonn CO₂ i 2020 (Klimakur 2020, 2010). Nettoopptak i skog varierer mellom år som følge av naturlige variasjoner i vekstbetingelser, klimaendringer, skogskjøtsel, skogskader (som skogbrann) og hogst.

Det er mulig å øke opptaket gjennom bl.a. gjødsling, planting av skog på nye arealer og skogplanteforedling (se Klimakur 2020, 2010). Gjødsling er det eneste av tiltakene som kan nå maksimal effekt allerede i 2020 (0,45 millioner tonn CO₂ per år). De andre tiltakene har en tidshorisont på 50-100 år. På lengre sikt vil skogskjøtselstiltakene kunne gi betydelig økt opptak av CO₂: Klimakur 2020 (2010) anslår 5,9 og 12,3 millioner tonn CO₂ på hhv. 50 og 100 års sikt.

Kyoto-protokollen gir imidlertid kun anledning til å godskrive en liten andel av det totale opptaket i skog. I Klimakur 2020 (2010) ble det lagt til grunn at 3 millioner tonn CO₂ kunne godskrives i 2020 uten nye tiltak (halvparten som følge av skogreising og halvparten som følge av skogskjøtsel).

Det er ikke vurdert tiltak for å øke opptak i skog i denne rapporten. Det skyldes for det første at det er begrenset hvor mye man kan godskrive opptak i skog i dagens avtaler, og vi vet ikke hvordan framtidige internasjonale avtaler vil behandle dette. For det andre er slike tiltak utelatt fra IEA (2013). I MSG-TECH-beregningene regnes Kyoto-avtalenes opptak med, i den forstand at dette trekkes fra i kvoteoppkjøpene som er medregnet. Men opptak i skog er ikke regnet inn i de innenlandske utslippsendringene.

Alle typer tiltak i primærnæringene jordbruk, skogbruk og fiske er sparsomt omtalt i IEA (2013). Det er imidlertid beregnet utslippsreduksjoner fra jordbruket på om lag 2 millioner tonn CO₂ som følge av teknologiendringer. I MSG-TECH er de beregnede utslippseffektene i primærnæringene tilnærmet null. Deres aktivitetsnivåer er satt eksogent og uendret fra referansebanen. Jordbruket dessuten er antatt å være unntatt fra karbonavgiften. Det er ikke modellert muligheter for klimateknologiske investeringer. Her avviker særlig antakelsene for jordbruk og skogbruk fra for eksempel Klimakur 2020s sektoranalyser og er sannsynligvis for pessimistiske. Det er imidlertid viktig å huske på at en del av teknologimulighetene som ble identifisert i Klimakur 2020 gjaldt for andre drivhusgassutslipp enn CO₂ (metan og lystgass).

I tjenesteytende næringer og husholdninger vil det meste av energibruken være knyttet til oppvarming og bruk av elektriske apparater (transport er skilt ut som en egen kategori). Ettersom det meste av energibruken i Norge er basert på elektrisitet, vil det være lite å hente i form av reduserte klimagassutslipp. Både MSG-TECH og IEA (2013) anslår at tjenesteytende næringer og husholdningene står for rundt 4 prosent av de totale utslippsreduksjonene i 2050.

5. Utslippsreduksjoner i Norge sammenlignet med EU og verden

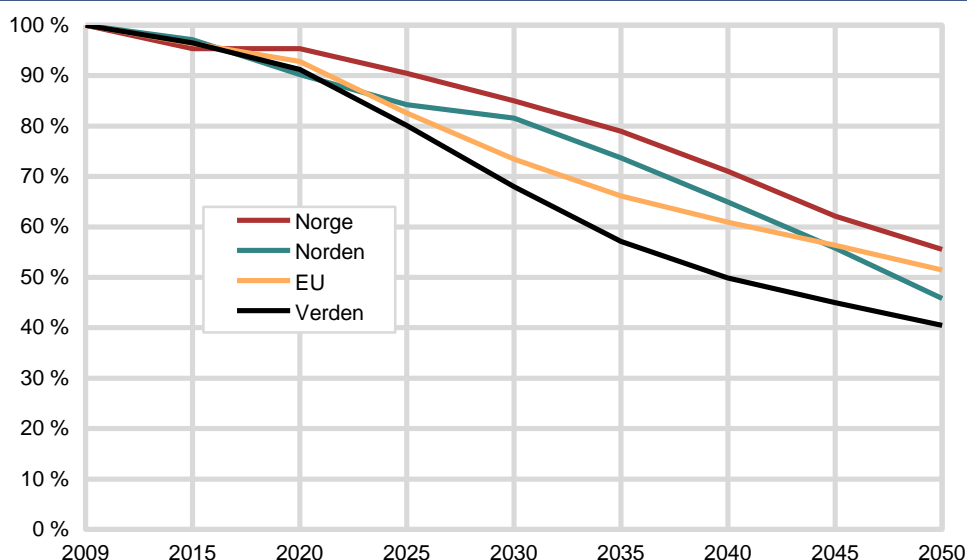
I dette kapitlet sammenligner vi utslippsutviklingen i Norge med EU og resten av verden under forutsetning av en global og (gradvis) kostnadseffektiv gjennomføring av togradersbanen. Kapittel 5.1 sammenlikner utslippsutviklingen for Norge, EU og andre regioner på aggregert nivå, mens vi i kapittel 5.2 går nærmere inn på enkeltsektorer. IEA har sammenliknbare analyser av dette scenarioet for Norge og Norden i IEA (2013) og for EU og resten av verden i IEA (2012a). Vi bruker derfor i hovedsak disse to kildene når vi sammenlikner utslippsreduksjonene i Norge og i andre land under togradersmålet.

5.1. Utvikling i samlede klimagassutslipp frem mot 2050

For å begrense den globale temperaturøkningen til 2 °C anslår IEA (2012a) at de globale utslippene må reduseres til 40 prosent av referansebanens utslipp i 2050; se avsnitt 2.1. Utslippsreduksjonene i Norge, Norden og EU vil følge den globale utviklingen tett frem mot 2025 (se figur 5.1 og tabell 5.1). Etter 2025 vil imidlertid de globale kuttene være litt kraftigere enn i Norge og EU, og i 2050 vil utslippene i Norge og EU ligge på hhv. 56 og 51 prosent av referanseutslippene. De største utslippsreduksjonene vil med andre ord finne sted i andre land. Land som USA, Kina og Russland vil ha utslipp i 2050 som ligger på 33-35 prosent av referansebanens.

I perioden 2020 til 2050 vil utslippskuttene i Norge være noe mindre enn i EU, Norden og verden. Avviket fra utslippsutviklingen i EU er størst rundt 2030-2035. Dette har sammenheng med den viktige rollen kraftsektoren spiller for utslippsreduksjoner i EU: Det skjer store utslippsreduksjoner i kraftsektoren i EU mellom 2020 og 2030 (se også figur 5.4). Etter 2035 er det transportsektoren som blir viktig både i EU og i Norge, og forskjellene mot EU og verden minker dermed mot slutten av perioden. De sektorvise effektene er nærmere omtalt nedenfor. Sammenlikner vi Norge med Norden ser vi en mer parallell utvikling, selv om de norske utslippskuttene fortsatt er noe mindre enn de nordiske.

Figur 5.1 Utslippsutvikling i togradersbanen i Norge, Norden, EU og verden, som andel av referansebanen. 2009-2050



Kilde: IEA (2012a), IEA (2013)

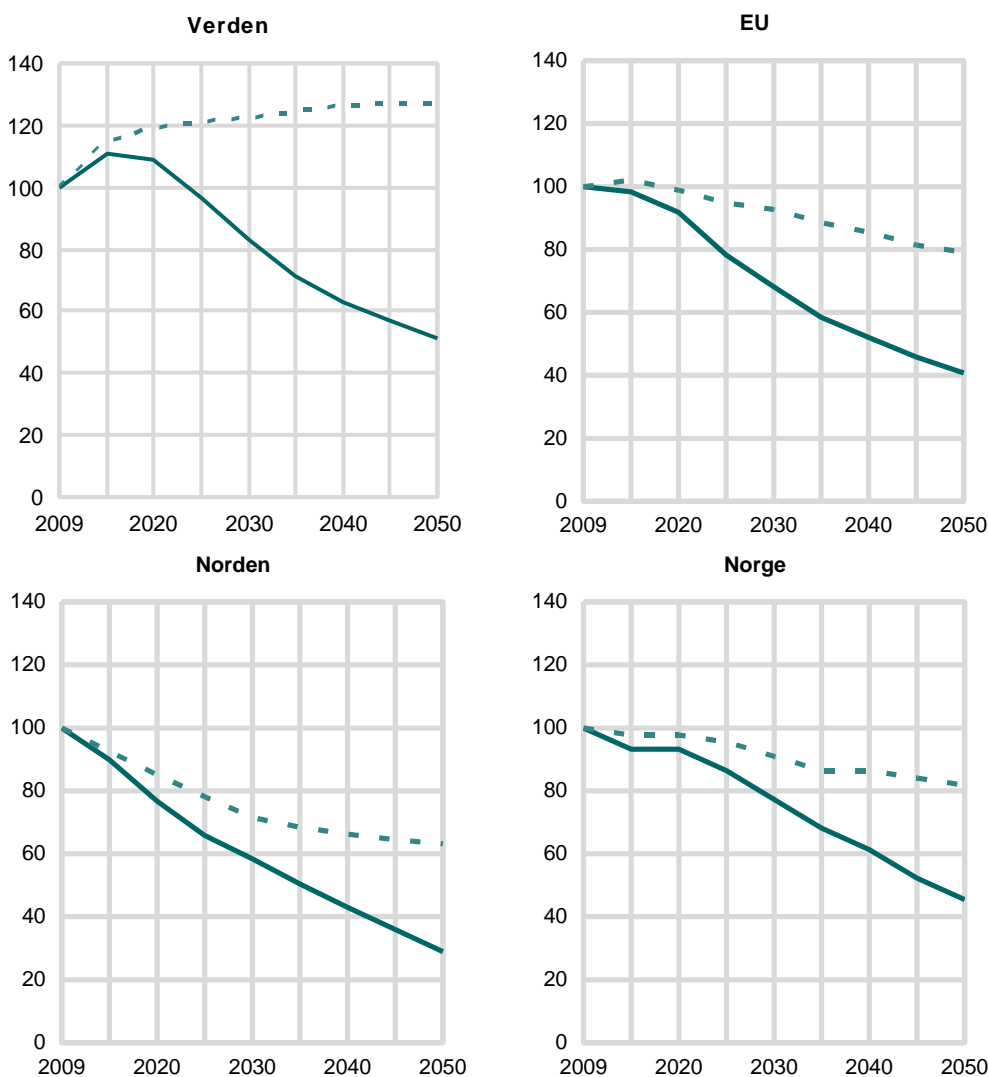
Tabell 5.1 Utslippsutvikling i togradersbanen, som andel av referansebanen. 2010-2050. Prosent

	2009/2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Norge	100	95	95	90	85	79	71	62	56
Norden	100	97	90	84	82	74	65	56	46
EU	100	96	93	83	73	66	61	56	51
USA	100	96	91	84	64	55	46	38	33
Kina	100	96	91	80	65	51	42	38	35
Russland	100	91	82	71	63	53	48	40	33
India	100	96	87	76	65	58	53	48	44
Verden	100	97	91	80	68	57	50	45	40

Kilde: IEA (2012a), IEA (2013) og Statistisk sentralbyrå..

Mindre utslippsreduksjoner i Norge, Norden og EU sammenlignet med resten av verden må ses i sammenheng med utviklingen i referansebanen. Figur 5.2 skisserer utslippsutviklingen i referansebanen og togradersbanen for verden, EU, Norden og Norge. Forventninger om høy økonomisk vekst og sterk befolkningsutvikling i regioner utenfor Europa bidrar til at de globale utslippene *øker* med 27 prosent i referansebanen fra 2009 til 2050. Utslippsutviklingen i Norge, Norden og EU viser derimot et fall i utslippene gitt en videreføring av dagens politikk, inkludert annonserte løfter fra politikerne. Mens norske utslipp forventes å gå ned med 18 prosent i perioden til 2050, vil utslippene i EU og Norden gå ned med hhv. 21 og 37 prosent. Utslippsøkningen i referansebanen bidrar dermed til å forklare hvorfor de globale utslippkuttene er kraftigere enn for Norge, Norden og EU.

Figur 5.2. Utslippsutvikling i togradersbanen (heltrukken linje) og referansebanen (stiplet linje) i verden, EU, Norden og Norge. Indeks, 2009=100

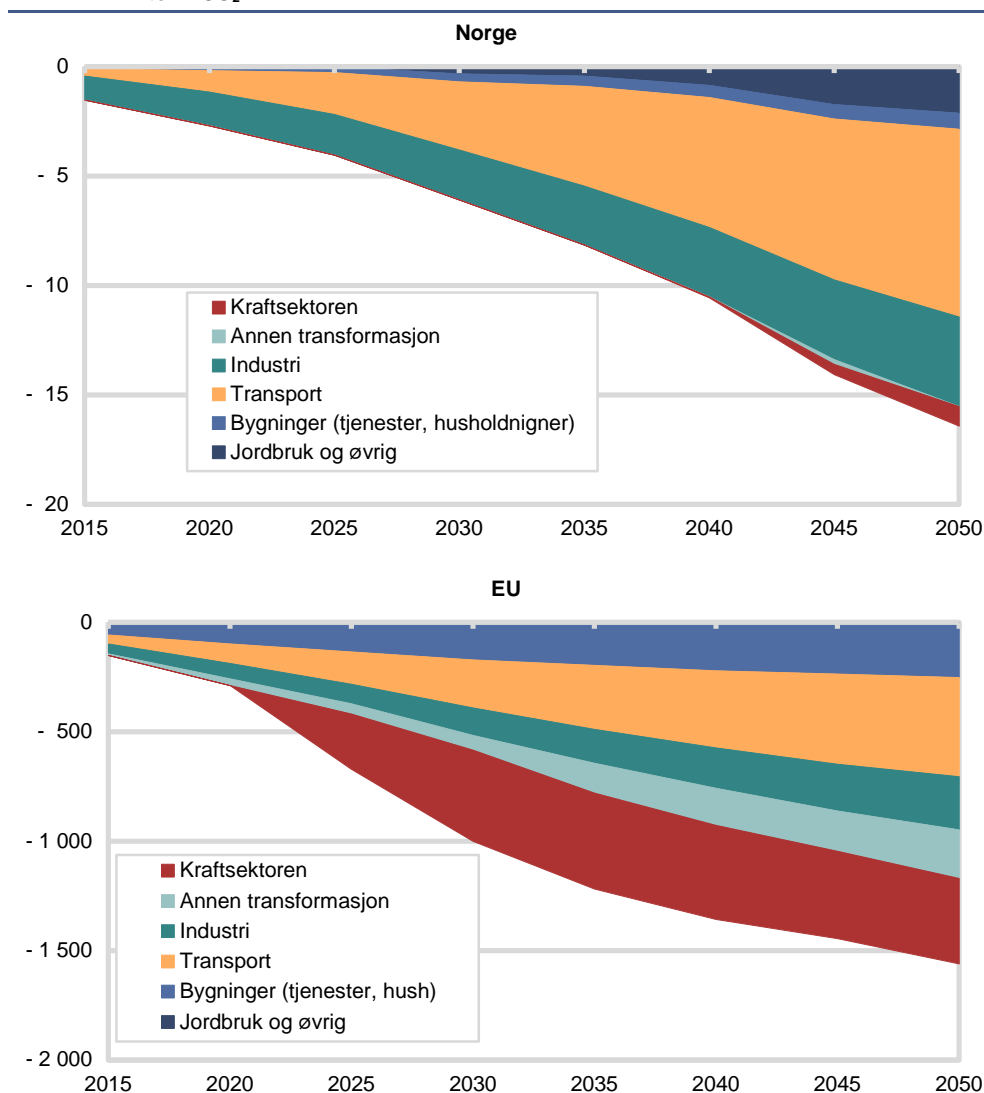


Kilde: IEA (2012a), IEA (2013) og SSB. Se også vedlegg B for detaljerte tabeller.

Sammenligner vi Norge og EU, ser vi at utslippene i Norge ligger litt høyere i både referansebanen og togradersbanen. Ettersom EU allerede i referansebanen antas å gjennomføre større reduksjoner enn Norge, bidrar ikke referansebaneantakelsene til å forklare hvorfor EUs utslippskutt i forhold til referansebanen er noe større enn i Norge.

Utover forskjeller i referansebaner pga. ulike ambisjonsnivåer og løfter om klimapolitikk, må forskjeller i utslippsreduksjoner mellom Norge, EU og verden ses i sammenheng med næringsstrukturforskjeller. Figur 5.3 dekomponerer utslippsreduksjonene i Norge og EU i ulike sektorer for perioden 2015 til 2050 (figuren for Norge er den samme som figur 4.5). Transport og industri er de viktigste sektorene for utslippsreduksjoner i Norge i hele perioden. I EU vil utslippsreduksjonene være relativt små i begynnelsen av perioden (fram mot 2020). Bygninger, transport og industri vil stå for mesteparten av utslippsreduksjonene i denne perioden.

Figur 5.3 Utslippsreduksjoner fra referansebanen i Norge og EU, fordelt på sektor. Millioner tonn CO₂



Kilde: IEA (2012a) og IEA (2013)

Bygninger (hovedsakelig i tjenestenæringer og husholdninger) er relativt viktige for utslippskutt i EU, siden det brukes mye fossile brenslere direkte til oppvarming og husholdningsapparater. Mellom 2020 og 2030 vil utslippskutt i den europeiske kraftsektoren bli stadig viktigere, og i 2030 står denne sektoren for over 40 prosent av de totale utslippskuttene. Etter 2030 vil bidraget fra kraftsektoren ligge relativt stabilt, mens utslippskutt innen transportsektoren øker betydelig.

Figur 5.1 indikerer at utslippsreduksjonene i Norge og EU som andel av referansebanen blir mer like mot slutten av perioden. Dette har blant annet sammenheng med at utslippsreduksjoner innen transport vil bli viktigere mot slutten av perioden, og potensialet for utslippsreduksjoner i denne sektoren er anslått å være relativt likt i Norge og EU.

5.2. Utslippsreduksjoner i enkeltsektorer

Nedenfor ser vi nærmere på utslippsreduksjoner i enkeltsektorer. Tabell 5.2 gir en oversikt.

Tabell 5.2. Utslippsreduksjoner som andel av samlede utslippsreduksjoner fra referansebanen i 2050. Prosent

	Kraft- sektoren	Annen trans- formasjon	Industri	Transport	Tjenester og husholdninger, bygg	Jordbruk, skogbruk og fiske
Norge ¹	5	0	25	52	4	13
Norden ¹	10	5	17	56	5	7
EU ²	25	14	16	29	16	0
Verden ²	49	9	14	24	4	1

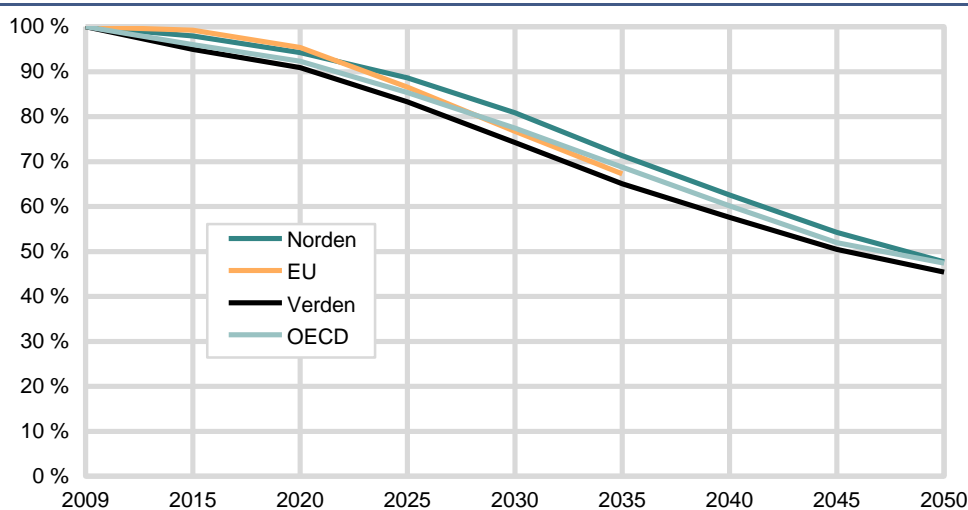
¹ Kilde: IEA (2013)

² Kilde: IEA (2012a)

Transport

Transport står for den største andelen av utslippsreduksjonene i 2050 både i Norge og EU. Mens utslippsreduksjoner i transportsektoren bidrar med over halvparten av de norske utslippskuttene i 2050, har transportsektoren mindre *relativ* betydning i EU og verden: bare 29 prosent i EU og 24 prosent i verden. Dette må ses i sammenheng med at transporten står for en større andel av de totale utslippene i Norge sammenlignet med EU og verden. Til tross for at transport står for en ulik *andel* av de totale utslippsreduksjonene på tvers av regioner, vil utslippskuttene *i forhold til referansebanen* vise et mer sammenfallende bilde. Figur 5.4 presenterer utslipp fra transportsektoren i togradersbanen i Norden, EU, OECD og verden som andel av referansebanen. Utviklingen i Norden vil i stor grad være representativ for utviklingen i Norge. Basert på IEAs beregninger kan det altså se ut til at en (gradvis) kostnadseffektiv løsning vil føre til tilnærmet like kutt fra referansebanen i Norge som i EU, OECD og resten av verden. De første tiårene kommer kuttene i litt større tempo i resten av verden, men så tas utviklingen igjen av EU og Norden. I 2050 ligger utslippene fra transport i Norden på 47 prosent av referansebane, som er omtrent likt som i EU, OECD og verden som helhet.

Figur 5.4 Utslipp fra transport i togradersbanen som andel av referansebanen for Norden, EU, OECD og verden. Prosent

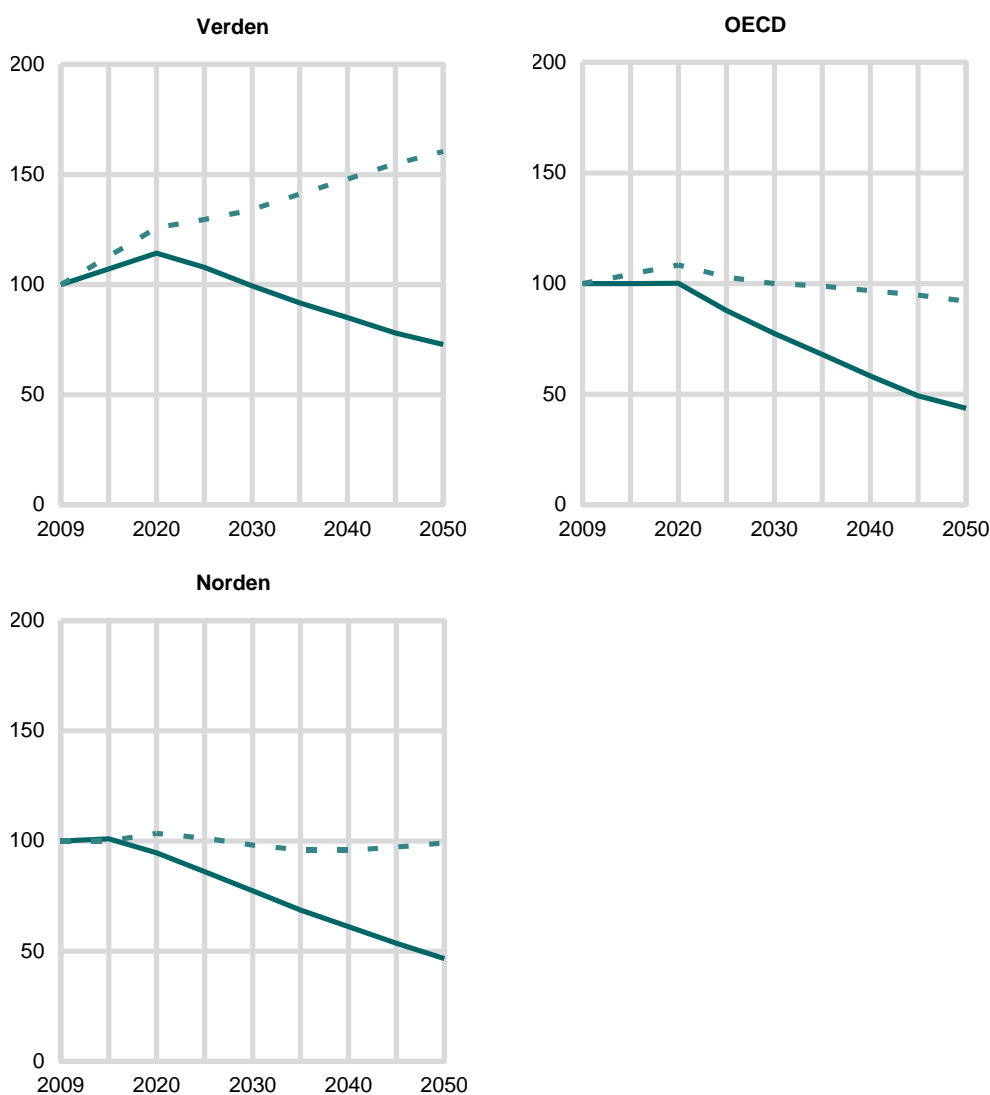


Kilde: IEA (2012a), IEA (2013). Egne tall for Norge er ikke offentlig tilgjengelige.

Utviklingen av utslippene i referansebanen påvirker potensialet for utslippsreduksjoner. Utviklingen varierer fra region til region; se figur 5.5. Utslippene fra transport i Norden og OECD-landene er relativt stabile gjennom referansebanen. Disse utviklingene er også representative for Norge og EU. På globalt nivå øker derimot transportutslippene med 60 prosent frem mot 2050 i referansebanen. Dette har blant annet sammenheng med sterkere befolkningsvekst og velstandsutvikling i land utenfor OECD, som bidrar til å øke transportbehovet. Ettersom utslippene i Norden viser en flat utvikling i referansebanen, innebærer dette at utslippsnivået i togradersbanen i 2050 representerer en langt sterkere reduksjon enn for verden som helhet sett i forhold til *dagens* utslipp.

Tiltakene som gir reduksjonene i EUs transportrelaterte utslipp tilsvarer dem som er beregnet for Norden (og Norge; se kapittel 4.3). Den totale transportvirksomheten er antatt å være tilnærmet uendret. Utslippsreduksjonene vil skje ved at (i) deler av privatbiltransporten flyttes over til buss og jernbane, (ii) bruken av biodrivstoff øker, (iii) transportmidler blir mer energieffektive og (iv) nye former for kjøretøy tas i bruk, for eksempel fra diesebil til elbiler og hydrogenbiler. De nokså sammenfallende potensialene for kutt i EU og Norge som fremkommer i figur 5.4, henger sammen med at de samme teknologiene vil være tilgjengelige i alle regioner.

Figur 5.5 Utslippsutvikling i transport i togradersbanen (heltrukken linje) og referansebanen (stiplet linje) i verden, OECD og Norden. Indeks, 2009=100



Kilde: IEA (2012a), IEA (2013).

Biodrivstoff vil kunne spille en viktig rolle i EU som i Norden (og Norge). Dette gjelder særlig for lastebiler og flytrafikk. For privatbiler vil en rekke teknologier tas i bruk parallelt, som dieslbiler, elbiler og diverse hybridbiler. Elbiler og brenselcellebiler er mindre modne teknologier, og vil derfor bli viktigere mot slutten av perioden. Ettersom EU allerede har en betydelig posisjon innen elbiler, mener IEA (2012a) at Europa sammen med USA, Japan og Kina kan bidra til å lede an utviklingen av elbiler. Det er imidlertid trukket fram som viktig at støtteordninger blir opprettholdt inntil markedet er stort nok.

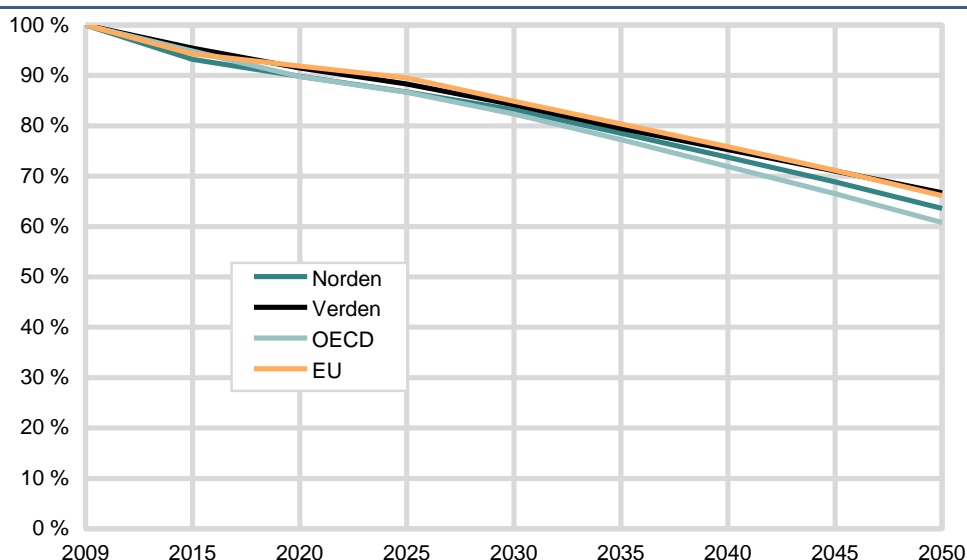
Industri

Mens kutt i industrisektoren er svært viktig for å få ned de norske utslippene, vil industrinæringene ha mindre *relativ* betydning i Norden, EU og verden enn i Norge (se tabell 5.2). Mens 25 prosent av utslippskuttene i 2050 i Norge tas i industrinæringene, vil tilsvarende andel ligge på 17 og 16 prosent for hhv. Norden og EU. Dette må ses i sammenheng med at industrien står for en større andel av de totale utslippene i Norge enn i Norden og EU.

Som andel av referansebanens utslipp legger imidlertid IEA til grunn en temmelig lik utslippsutvikling i EU og Norden (Norge). Figur 5.6 viser utslippsutviklingen i industri som andel av referansebanen for Norden, EU, OECD og verden. Mens de nordiske utslippsreduksjonene ligger på 64 prosent av referansebanen i 2050, vil utslippene i EU og verden ligge på hhv. 66 og 67 prosent.

Det fremheves i IEA (2013) at utslippsreduksjoner i denne sektoren vil være teknologisk krevende. Nordisk industri er allerede relativt energieffektiv sammenlignet med en del europeiske land. Energibruken i norsk industri skiller seg fra europeisk industri ved at det i større grad brukes elektrisitet framfor fossilt brensel. Energieffektivisering som et tiltak for å redusere de direkte utslippene vil derfor kunne spille en mindre rolle i Norge enn i en del nordiske og europeiske land. En stor del av industriens utslipp er prosessutslipp, og de er vanskeligere å redusere enn utslipp fra forbrenning. Utover nedskalering av produksjonen, finnes det relativt dyre og kompliserte rensesmuligheter, slik som teknologibytte eller CCS. Som nevnt før er det skalafordeler i CCS-anlegg, slik at små produksjoner har en kostnadsulempe.

Figur 5.6. Utslipp i industri som andel av referansebanen for Norden, EU, OECD og verden.

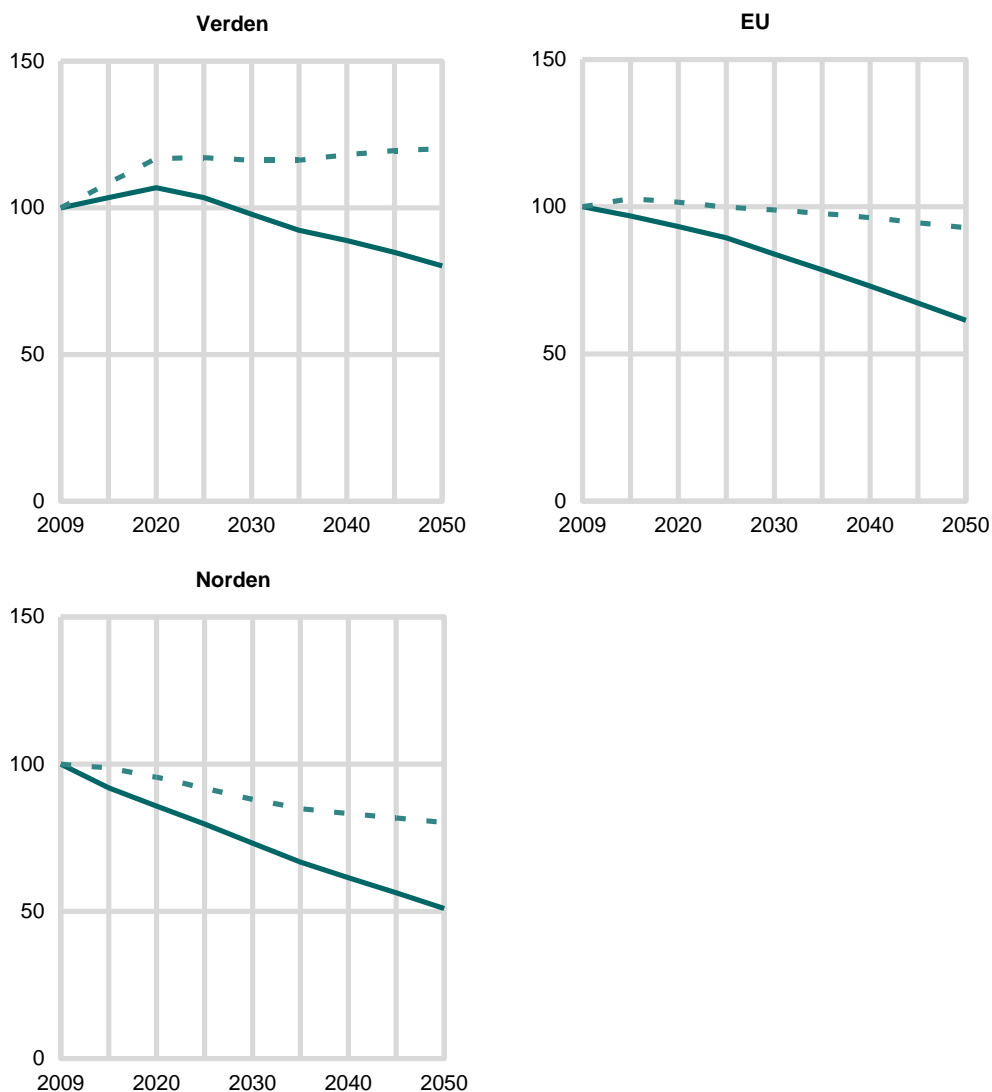


Kilde: IEA (2012a) og IEA (2013)

Til tross for at de prosentvise utslippsreduksjonene er ganske like på tvers av regioner, vil utslippsutviklingen i togradersbanen også være avhengig av utviklingen i referansebanen. Her er regionene forskjellige. For eksempel viser utslippene i Norden det største fallet sammenlignet med 2009; se figur 5.7.

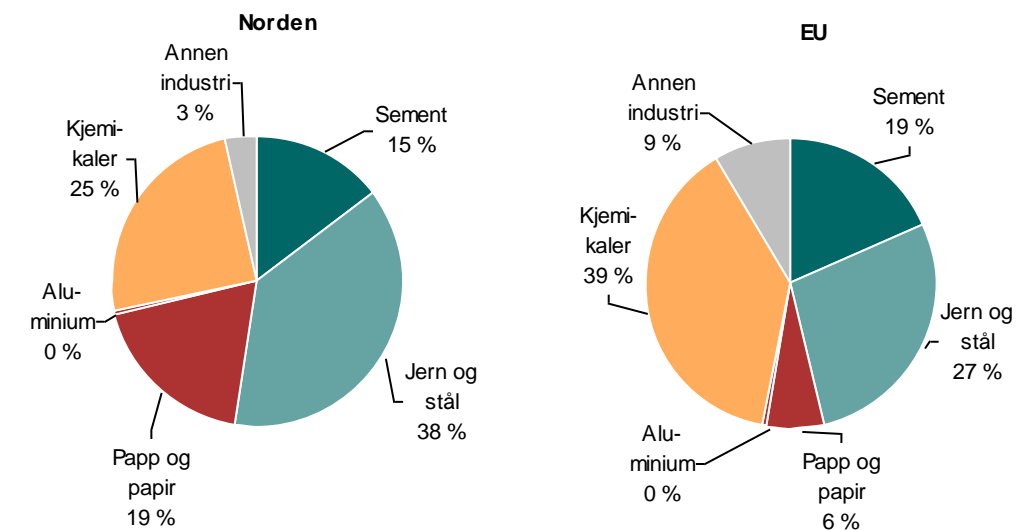
Utslippsutviklingen i EU i referansebanen viser et litt svakere fall enn i Norden, men sterkere fall sammenlignet med den globale utviklingen.

Figur 5.7. Utslipp i industri i referansebanen og togradersbanen i Norden, EU og verden. Indeks, 2009=100



Kilde: IEA (2012a), IEA (2013).

Figur 5.8. Utslippsreduksjoner i industri, fordeling på industrinæringer i Norden og EU i 2050



Kilde: IEA (2013), IEA (2012a)

Figur 5.8 viser hvordan utslippsreduksjonene i *Norden* og EU fordeler seg på ulike industriprodukter i 2050 (tall for Norge er ikke offentlig tilgjengelig). For begge regionene vil de største utslippsreduksjonene komme innen produksjon av jern, stål og kjemikalier. For Norden vil nesten 20 prosent av utslippsreduksjonene komme innen produksjon av papp og papir, mens denne næringen kun vil bidra med 6 prosent i EU.

Kraftproduksjon

Kraftsektoren vil være en nøkkelsektor for å redusere utslippene både i EU og i resten av verden: 25 prosent av utslippskuttene i 2050 i EU skal skje i kraftsektoren, og hele 49 prosent av utslippskuttene i verden som helhet. I land som India og Kina vil kraftsektoren stå for hhv. 52 og 43 prosent av de totale utslippskuttene i 2050, og CCS og solenergi vil være viktige teknologier (IEA, 2012a).

I Norge, derimot, vil kraftsektoren ha en svært liten andel (kun 5 prosent) av de totale utslippsreduksjonene i 2050. Grunnen til dette er sammensetningen av produksjonskapasiteten: nesten all kraft i Norge kommer fra vannkraft og vindkraft, mens Europa har større innslag av fossile brensler (men mindre enn i verden sett under ett).

Figur 5.9 viser utviklingen i utslipp under togradersmålet fra 2009 til 2050 i utvalgte regioner. På verdensbasis må utslipp fra kraftproduksjonen reduseres med nesten 80 prosent fra nivået i 2009. Reduksjonene i EU og OECD vil være enda kraftigere. Norden og Norge vil til og med ende opp med negative utslipp i 2050 i togradersbanen; se også kapittel 4.3.

Figuren viser at utslippene fra kraftsektorene i Norden vil reduseres mer og tidligere enn i EU. Dette må imidlertid tolkes med varsomhet. For det første har vi ikke informasjon om alle årene for EU, bare for 2009, 2030 og 2050, og utviklingen i mellomliggende år er interpolert. De nordiske landene er foregangsland når det gjelder å redusere utslipp fra kraftsektoren, men også EU har ambisiøse mål for utslippsreduksjoner og har implementert tiltak for å få det til. Derfor kan det være like sannsynlig at kurven for EU følger den for Norden. For det andre er det stort innslag av utslippsfri kraftproduksjon i Norden allerede, og små endringer vil gi store prosentvise utslag. Utslippene i Norden kommer hovedsakelig fra Danmark (33 prosent i 2010) og Finland (46 prosent i 2010).

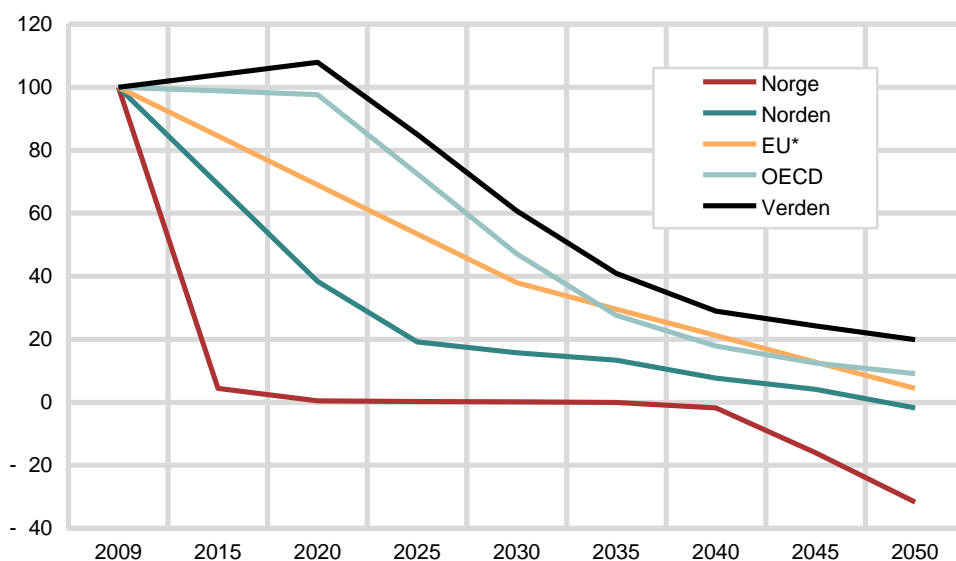
Den kraftige reduksjonen tidlig i perioden (2010-2030) i Norden kan forklares med at (i) utslippene i Sverige reduseres med 70 prosent allerede fra 2010 til 2015 (både i referansebanen og togradersbanen); (ii) utslippene i Danmark reduseres kraftig i hele perioden fra 2015 til 2030 og dansk kraftsektor blir karbonnøytral i 2030 (både i referansebanen og togradersbanen, men dette skjer noe fortere i togradersbanen); (iii) utslippene i Finland nesten halveres fra 2015 til 2020 (både i referansebanen og i togradersbanen).

Det er også verdt å merke seg at store reduksjoner kommer allerede i referansebanen, både i Norden og i EU, men noe av dette kommer tidligere i togradersbanen. Negative utslipp i Norge og Sverige skjer imidlertid bare i togradersbanen. Vindkraft spiller en viktig rolle. Tradisjonell kull- og gasskraft blir drastisk redusert i alle scenarier for Norden, de gjenværende kull- og gasskraftverk får rensing ved CCS. Også biomasseanlegg får CCS fra 2035 (men småskala).

Mens vindkraft spiller en viktig rolle i EU for å redusere utslippene over tid, er det i hovedsak bruk av CCS og andre fornybare energibærere som bidrar til det største kuttet fra referansebanen til togradersbanen i 2050. For Norge vil utslippsreduksjonen fra referansebanen i hovedsak skyldes CCS og bruk av bioenergi.

CCS er viktigere i EU enn i Norden. Dette begrunnes med at det er større muligheter (og bedre lønnsomhet) for storskala CCS (både for fangst, transport og lagring) i EU enn i Norden.

Figur 5.9. Utslipp fra kraftsektoren i togradersbanen. Indeks, 2009=100



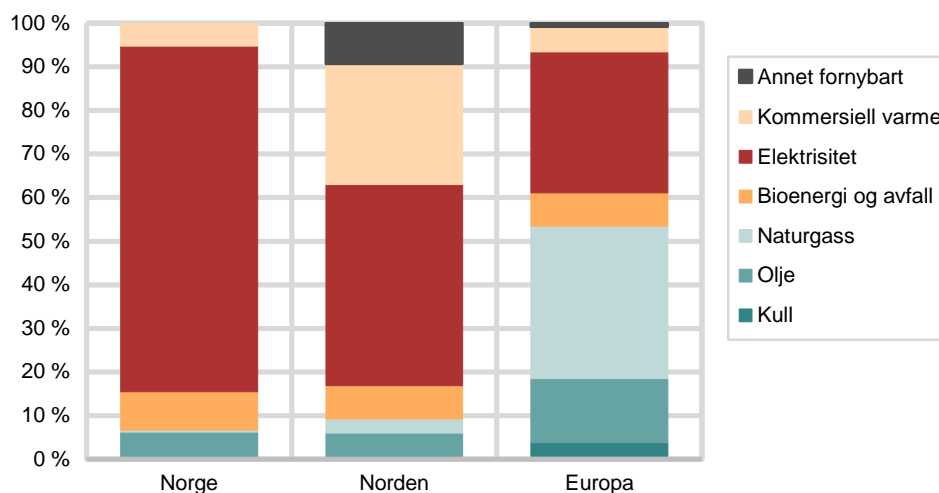
Kilder: IEA(2012a), IEA (2013).

* Tall for EU er kun tilgjengelige for 2009, 2030 og 2050; de mellomliggende årene i mellom er interpolert.

Tjenesteytende næringer og husholdninger

Europeisk næringsstruktur har relativt stort innslag av tjenesteyting, og energibruken innen denne næringen er betydelig både i Norge og øvrige europeiske land. Det er imidlertid stor forskjell på utslippene i EU og Norge. Energibruken i husholdninger og tjenesteytende næringer i EU er langt mer basert på fossile brensler enn i Norge og Norden, se figur 5.10. Naturgass, olje og kull står for hele 54 prosent av energibruken i EU i 2009. Flere av de europeiske landene bruker for eksempel naturgass til oppvarming og matlaging. Potensialet for utslippsreduksjoner (for direkte utslipp) vil dermed være større i EU enn i Norge. Bygninger står for 16 prosent av utslippsreduksjonene i EU i 2050. For Norge er det tilsvarende tallet 4 prosent.

Figur 5.10. Energimix i husholdninger og tjenesteytende næringer i 2009



Kilde: IEA (2012a) og IEA (2013)

6. Konklusjoner

I denne rapporten har vi sammenliknet Norges og EUs klimagassutslipp i ulike scenarier for klimapolitikken. Referansescenariene vi har brukt legger til grunn at dagens politikk, inkludert de løfter og garantier som allerede er gitt av de ulike myndighetene, blir gjennomført; jf. OECDs og IEAs såkalte *New Policies Scenario* (IEA 2012b). Utslippsutviklingen i verden i referansescenariene vil i følge IEA (2012b) og IEA (2013) føre til en global gjennomsnittlig temperaturøkning på om lag 4 °C. Løftene om klimatiltak varierer fra land til land, men for EU og Norge er allerede referansebanene temmelig ambisiøse. Lands og regioners utslipp av klimagasser er påvirket av en lang rekke faktorer. Utover klimapolitiske antakelser er det lagt inn relevante anslag for utviklingen i viktige drivkrefter som næringsstruktur, befolkning og teknologisk endring.

Vi sammenlikner referansebanene fram til 2050 for Norge og EU med scenarier der det er antatt at landene mest mulig kostnadseffektivt gjennomfører tiltak for å nå målet om å begrense oppvarmingen til 2 °C. I sammenlikningen av Norge og EU har vi brukt resultater fra henholdsvis IEA (2013) og IEA (2012a). Studiene er basert på sammenliknbare antakelser og samme type modellapparat, som nesten utelukkende beregner effekter av teknologiske tiltak.

Sammenlikningen av EUs og Norges tilpasninger er interessant først og fremst fordi næringsstrukturen og teknologibruken i utgangspunktet er forskjellig. For det første har Norge en stor olje- og gasssektor. For det andre produseres elektrisk kraft i Norge i all hovedsak med vannkraft, mens innslaget av fossil kraftproduksjon er vesentlig større i EU. For det tredje har vannkraftressursene bidratt til at norsk energibruk i større grad enn den europeiske er basert på elektrisitet framfor fossile brenslere.

Den viktigste bærebjelken i en kostnadseffektiv politikk vil være å prise karbonutslippene likt for alle utslippskilder i alle sektorer. IEA (2012a) beregner en karbonprisbane som er forenlig med togradersmålet. I forhold til andre beregninger i litteraturen ligger denne prisbanen nokså lavt. For sammenliknbarhetens skyld har vi likevel brukt analyser som legger denne prisen til grunn.

Hovedresultatene fra sammenlikningen mellom Norge og EU er:

- De totale utslippsreduksjonene sett i forhold til referansebanen ligger *noe* lavere i Norge enn i EU, men forskjellen minker frem mot 2050, hvor utslippene ligger henholdsvis 44 og 49 prosent under referansebanen. I lys av EUs langt større potensial for utslippskutt i kraftsektoren og at mer klimavennlig norsk olje- og gasssektor er relativt kostnadskrevende, må forskjellen sies å være nokså liten. Det forklares blant annet av at EU har temmelig ambisiøs politikk for kraftsektoren allerede i referansebanen.
- Det forklares også av at transportsektoren vil være den viktigste bidragsyteren til reduserte utslipp både i Norge og EU og dens betydning øker utover i banen. Her er mulighetene for overgang til mer klimavennlige kjøretøy svært sammenfallende på tvers av landene.
- Den nest viktigste sektoren for utslippskutt i Norge er industrien. Teknologimulighetene innenfor industrien er også antatt å utvikle seg nokså likt i Norge og EU. I forhold til referansebanen er utslippskuttene så å si like. For denne næringen er informasjonen om Norge noe mangelfull i IEA (2013), og vi kan derfor ikke trekke sterke konklusjoner om hvor mye av forskjeller mellom Norge og EU som skyldes utviklingen i referansebanen og hvor mye av sammenstillingen av industrien.
- For EU er kraftsektoren den nest viktigste bidragsyteren med en andel på 25 prosent av kuttene i 2050. Kraftsektoren betyr svært lite for Norge. I det siste tiåret (2040-2050) står den imidlertid for negative utslipp i og med at biobrenselsutslipp er antatt å bli fanget og lagret.

I tillegg til sammenlikningen av land- og sektorspesifikke resultater fra IEAs analyser har vi sammenliknet IEAs scenario for Norge med en egen analyse på likevektsmodellen MSG-TECH. De to analysene ser på ulike politikkskift. Mens den førstnevnte legger til grunn at den norske tilpasningen er del av en global gjennomføring av togradersmålet, antar den sistnevnte at Norge alene tilpasser seg (den samme) karbonprisen. Hva som er kostnadseffektive tilpasninger i de to politikktilfellene skiller seg fra hverandre. De to viktigste årsakene til avvikene er at en unilateral klimapolitikk vil gi svekket konkurransevne i næringer som opererer i internasjonale markeder, først og fremst i de eksportrettede industri-næringene. For det andre vil klimateknologiske framskritt skje saktere når utviklingen ikke drives fram av global etterspørsel og utprøving av nye løsninger. Disse to momentene trekker i hver sin retning. I scenarioet med global gjennomføring blir utslippsreduksjonene nesten tre ganger så sterke som når Norge går alene. Teknologiu utvikling ser altså ut til å ha sterkest betydning.

De to analysene av Norge er utført på svært forskjellige modellapparat. De viktigste forskjellene består i at det er en langt rikere og mer detaljert teknologi-modellering i modellen i IEA (2013) enn i MSG-TECH. Samtidig ser IEAs modell imidlertid i stor grad bort fra at tiltakskostnader vil innebære priseffekter og dermed vri ressursbruk mellom produksjonsfaktorer, sektorer og land, slik MSG-TECH tar innover seg. Imidlertid vil konklusjonen om at norske utslippskutt blir større under global enn under unilateral gjennomføring sannsynligvis holde også om man resonnerer innenfor samme modellrammeverket. Det utslagsgivende er ikke type modell, men hva man tror om teknologisk framgang i tiårene som kommer under langt strammere klimapolitiske forhold enn det vi hittil har sett. Litteraturen spriker, og IEA (2013) ligger i den mest teknologioptimistiske delen av skalaen.

Referanser

- Bastianin, A., A. Favero og E. Massetti (2010). Investments and Financial Flows Induced by Climate Mitigation Policies, 2010.013 Note di Lavoro.
- Bosetti, V., C. Carraro, R. Duval, A. Sgobbi, og T. Massimo (2009). The Role of R&D and Technology Diffusion in Climate Change Mitigation: New Perspectives Using the Witch Model. FEEM Working Paper No. 14.2009; CMCC Research Paper No. 63.
- Bye, B. (2008). Macroeconomic modelling for energy and environmental analyses: Integrated economy-energy-environmental models as efficient tools, Documents 2008/14, Statistisk sentralbyrå.
- Bye, B. og K.E. Rosendahl (2012). Karbonlekkasjer: Årsaker og virkemidler, Samfunnsøkonomen 1/2012.
- EU (2009). http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-09-329_en.htm?locale=en
- Fæhn, T., K. Jacobsen og B. Strøm (2010). Samfunnsøkonomiske kostnader ved klimamål for 2020 – en generell modelltilnærming, Rapporter 2010/22, Statistisk sentralbyrå.
- Fæhn T. og K. Jacobsen (2012). Makroanalyser i tilknytning til Klimameldingen 2012, Rapporter 22/2012, Statistisk sentralbyrå.
- Fæhn, T., C. Hagem, L. Lindholt, S. Mæland, and K.E. Rosendahl (2013). Climate policies in a fossil fuel producing country – Demand versus supply side policies, Discussion Papers No. 747, Statistisk sentralbyrå.
- Heide, K. M., E. Holmøy, L. Lerskau og I.F. Solli (2004). Macroeconomic Properties of the Norwegian Applied General Equilibrium Model MSG6, Reports 2004/18, Statistisk sentralbyrå.
- IMF (2013). <http://www.imf.org/external/np/fin/ert/GUI/Pages/Report.aspx?CT='NOR'&EX=REP&P=DateRange&Fr=633979008000000000&To=634293504000000000&CF=Compressed&CUF=Period&DS=Ascending&DT=Blank>
- IEA (2012a). Energy Technology Perspectives, OECD/IEA (International Energy Agency), Paris.
- IEA (2012b). World Energy Outlook, OECD/IEA (International Energy Agency), Paris.
- IEA (2013). Nordic Energy Technology Perspectives, OECD/IEA (International Energy Agency), Paris.
- Klimakur 2020 (2010). Tiltak og virkemidler for å nå norske klimamål mot 2020, TA 2590/2010, Klima- og forurensningsdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oljedirektoratet, Statistisk sentralbyrå, Statens vegvesen.
- Lind, A. og E. Rosenberg (2013). TIMES-Norway Model Documentation, IFE/KR/E-2013/001, Kjeller.
- Meld.St.1 (2010-2011). Nasjonalbudsjettet 2011, Melding til Stortinget, Finansdepartementet.

Meld.St. 21 (2011-2012). Norsk klimapolitikk, Melding til Stortinget, Miljøverndepartementet.

Nordhaus, W. (2010). Economic Aspects of Global Warming in a Post-Copenhagen Environment, PNAS 2010 107 (26), s. 11721-11726.
www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1005985107

NOU 2012:16. Samfunnsøkonomiske analyser. Det kongelige Finansdepartement.
<http://www.regjeringen.no/nb/dep/fin/dok/nouer/2012/nou-2012-16/10/4.html?id=700948>

OECD (2011). Environmental Outlook to 2050, Climate Change Chapter, pre-release version, November 2011, OECD EnvironmentDirectorate (ENV) and the PBL Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL).

Paltsev, S., J.M. Reilly, H.D. Jacoby og J.F. Morris (2009). The Cost of Climate Policy in the United States. Energy Economics 31 (Special Issue), pp. S235-S243

SSB – Statistisk sentralbyrå (2011). <http://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/klimagassn>

Tol, Richard S.J., (2009). The Feasibility of Low Concentration Targets: An Application of FUND. Energy Economics 31 (Special Issue), pp. S121-S130

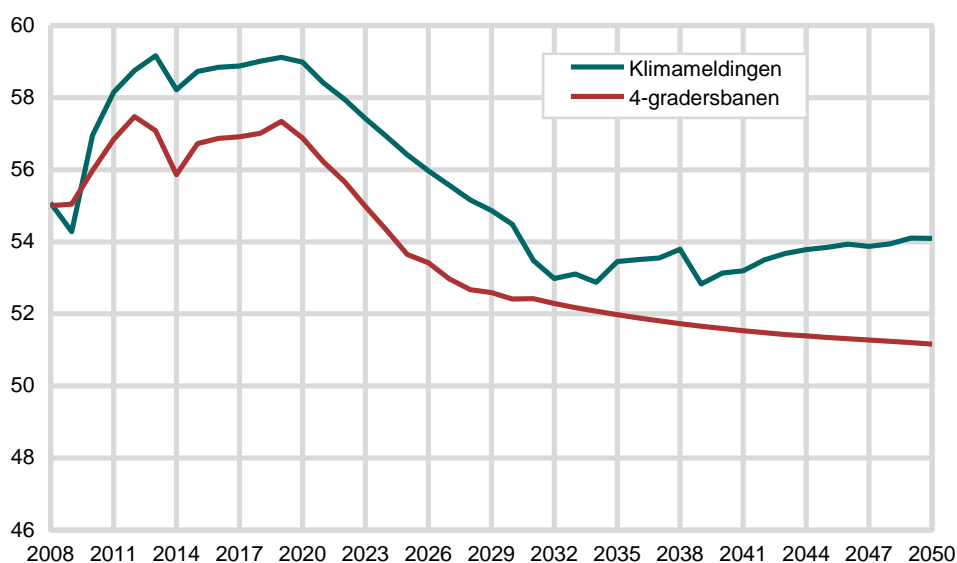
Verdensbanken (2012). Turn Down the Heat. Why a 4 °C Warmer World Must be Avoided. The World Bank. Washington DC. November 2012.
http://climatechange.worldbank.org/sites/default/files/Turn_Down_the_heat_Why_a_4_degree_centrigrade_warmer_world_must_be_avoided.pdf

Vedlegg A: Forutsetninger i MSG-TECH

A.1 Referansebanen

Referansebanen som er benyttet for beregningene i MSG-TECH skal reflektere 4-gradersbanen. Den bygger på referansebanen fra Fæhn og Jacobsen (2012), som ble laget i forbindelse med Klimameldingen (Meld.St. 21, 2011-2012). Det er gjort enkelte oppdateringer. Spesielt gjelder dette nye estimeringer av marginalkostnader ved teknologitiltak; se avsnitt A.2. I tillegg er norske forpliktelser i EU ETS og løfter om globale bidrag til utslippskutt lagt inn i referansebanen. Forutsetningene er kort omtalt nedenfor. Videre er kun CO₂-utslippene, og ikke øvrige drivhusgasser, tatt med i beregningene i denne rapporten. I figur A.1 er utslippsutviklingen i firegradersbanen sammenliknet med referansebanen i Fæhn og Jacobsen (2012).

Figur A1. MSG-TECH: CO₂-utslipp i ulike referansebaner. Millioner tonn



Referansebanen reflekterer utslippsutviklingen som følger av dagens vedtatte klimavirkemidler og av forventet utvikling i norsk økonomi frem mot 2050, basert på forventninger om ressursutvikling, internasjonale rammebetingelser og produktivitetsvekst. Utslippsutviklingen er særlig påvirket av forutsetninger som er gjort om utvinning av råolje og naturgass, teknologiske endringer og verdensmarkedspriser. Når det gjelder klimapolitikken er det differensierte CO₂-avgiftssystemet av 2004 videreført i realtermer i referansebanen. I tillegg er kvoteplikten i EUs kvotemarked modellert, samt tilleggssavgiften som gjelder for utvinning av råolje og naturgass. Viktig er det også at det er antatt karbonfangst og -lagring av CO₂-utslipp fra gasskraftverk allerede i referansebanen.

Modellering av EUs kvotesystem

EUs kvotesystem (EU ETS) er modellert som i Fæhn og Jacobsen (2012). I perioden 2008-2012 er det lagt til grunn at Norge som nasjon mottar kvoter for sine EU ETS-kilder tilsvarende 15,0 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. I Klimakur-beregningene ble det lagt til grunn at Norge, som EU, vil motta kvoter i 2020 tilsvarende 79 pst. av utslippene fra EU ETS-kildene i 2005. Samlet kvote for EU ETS-bedriftene i Norge blir da på 19,9 mill. tonn CO₂-ekvivalenter i 2020, som legges til grunn for beregningene. I årene etter 2020 er det antatt en årlig reduksjon på 1,74 pst. Den samme årlige reduksjonen er antatt for årene mellom 2013 og 2020, slik som i Klimakur 2020 (2010). Luftfartsmarkedet for utslippstillatelser fra 2012 er ikke modellert.

Fordelingen av EU ETS-kvoter som selges/auksjoneres og tildeles gratis vil ha betydning for statens inntekter. For perioden 2008-2012 antas om lag 50 prosent av

kvotene å bli delt ut gratis. Av disse tildeles ingen til petroleumssektoren. Fra 2013 til 2020 tildeles om lag 2/3 av kvotene gratis. Dette er også lagt til grunn for petroleumssektoren. EU har signalisert at andelen gratiskvoter skal fases ut innen 2027. I beregningene fases gratiskvotene ut med en jevn årlig nedgang (andelen faller med om lag 10 prosentenheter årlig på de 7 årene fra 2020 til 2027). Deretter antas alt å bli auksjonert. Videre er det anslått en videreføring av EU ETS systemet helt fram til 2050.

Oppfyllelse av globale utslippsmål

Det er lagt til grunn at Norges globale utslippsmål blir oppfylt gjennom myndighetenes internasjonale handel med kvoter. Samlet skal den globale effekten av utslippene fra Norge, ifølge 30-prosentmålet, reduseres til 35 mill. tonn CO₂-ekvivalenter i 2020, uten at vi regner med kreditter fra skog. Målet for 2050 er å være karbonnøytrale.

I perioden 2008-2012 vil det globale taket være 44,9 mill. tonn CO₂-ekvivalenter. Dette tilsvarer overoppfyllelsen på 10 prosent, samt at vi avstår fra å bruke skogkreditter tilsvarende 1,5 mill. tonn. Dette nivået er videreført også fram til og med 2019 (i tråd med det som lå til grunn i klimameldingen). I 2020 anslås 30-prosentmålet å nås, og det totale taket er da 38 mill. tonn (35 mill. tonn + 3 mill. tonn fra skogkreditering). Dette taket reduseres gradvis fram til 2050 da taket kun består av 3 mill. tonn fra skogkreditter, noe som tilsvarer karbonnøytralitet. Reglene for kvoter fra opptak i skog kan endre seg.

Slik systemet er for Kyoto-perioden, tas det hensyn til import av EU ETS-kvoter ved bestemmelsen av behovet for statlige kvotekjøp for å oppfylle det globale bidragsmålet. Også for kvotesystemet i 2013-2020 vil Norges deltakelse i EUs kvotesystem bidra til å oppfylle det globale målet i 2020. Det er lagt til grunn at systemet for statens nettoimport av kvoter videreføres og at det er kvoter tilgjengelig til 2050. Kjøpene kan blant annet ta form av CDM-prosjekter.

A.2 Teknologimuligheter

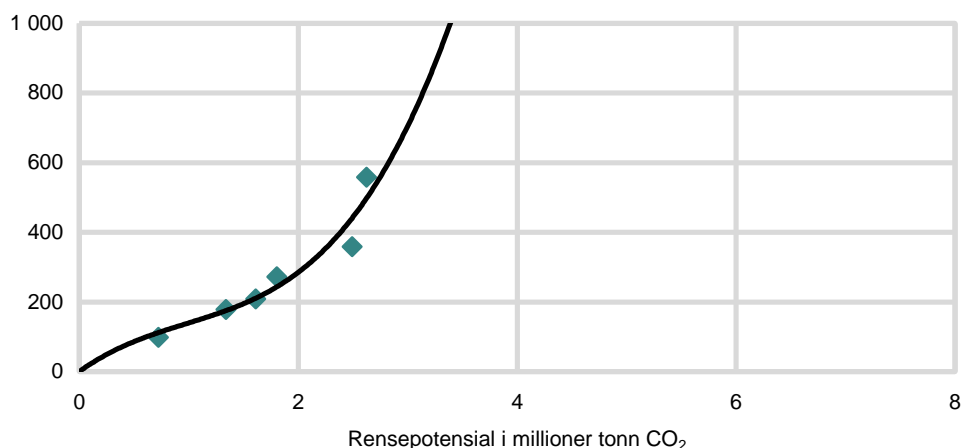
Rensemulighetene som er lagt inn i MSG-TECH er basert på tiltaksanalysene i Klimakur 2020 (2010) og forlenget til 2050. De estimerte likningene i modellen er oppdatert siden Fæhn og Jacobsen (2012) for å representere marginale renseskostnadskurver. (I Fæhn og Jacobsen (2012) var kurvene estimert som renskurver med akkumulert rensing på vertikalaksen.) Tiltakene og de marginale renseskostnadskurvene er rapportert nedenfor.

Tabell A1. Renseskostnader og reduksjonspotensial i transport, etter tiltak

Type tiltak	Annuitet (2010-priser) (USD/tonn CO ₂)	Utslippsreduksjon tonn CO ₂
Effektivisering av biler – nivå 1	72	0,72
Effektivisering av biler – nivå 2	98	0,62
Nullutslippskjøretøy – biler og kollektivt	178	0,27
Innblanding av etanol E85	209	0,19
Innblanding av 1. generasjon biodiesel	272	0,69
Innblanding av etanol E5, E10, E20	359	0,13
Innblanding av 2. generasjon biodiesel	558	0,59
Sum		3,21

Merknad: NOK/USD=5.5

Figur A2. MSG-TECH: Marginale renskostnadskurver for transport for Norge. USD/tonn CO₂



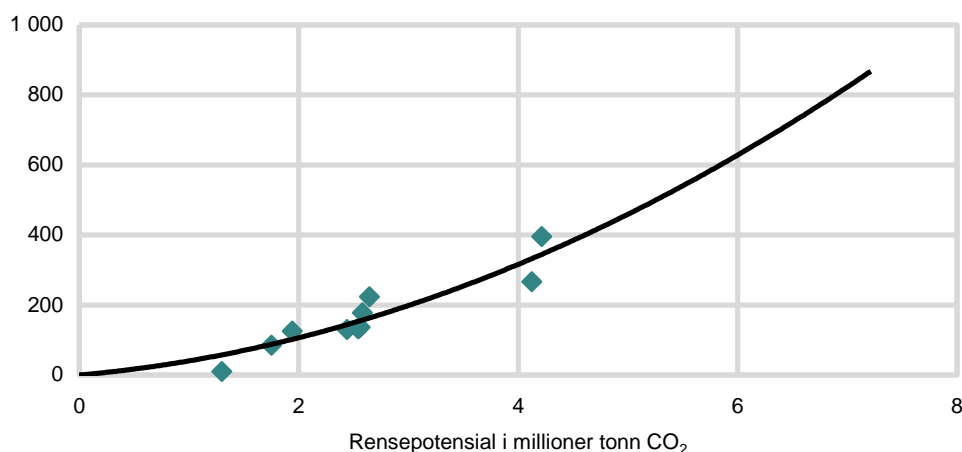
Merknad: NOK/USD=5.5

Tabell A2. Renskostnader og reduksjonspotensial i industrien, etter tiltak

Type tiltak	Annuitet (2010-priser) (USD/tonn CO ₂)	Utslipps-reduksjon tonn CO ₂
Metallindustri: Prosessforbedringer	10	0,5
Treforedling: Energieffektivisering og substitusjon	10	0,29
Sement and mineralproduksjon: Substitusjon til bioenergi	10	0,16
Kjemisk industri: Energieffektivisering og substitusjon	10	0,04
Metallindustri: Energieffektivisering og substitusjon	10	0,3
Ferrosilisium – nivå 1: øke trekull fra 5 % til 40 % av kull/koksforbruk ...	85	0,45
Ferromangan: øke trekull fra 0 til 20 % av koksforbruk	125	0,19
Ferrosilisium – nivå 2: øke trekull fra 40 % til 80 % av kull/koksforbruk .	130	0,5
Sementproduksjon – nivå 2: Substitusjon til bioenergi	132	0,1
Petrokjemisk industri: Prosessforbedringer	136	0,02
Silisiumkarbid: Øke trekull fra 0 til 20 % av kull/koksforbruk	178	0,02
Anodeproduksjon: Substitusjon til bioenergi	224	0,07
Gjødselindustri: CCS	266	0,69
Sementproduksjon: CCS	266	0,79
Treforedling – nivå 2: Substitusjon til bioenergi	395	0,09
SUM		4,21

Merknad: NOK/USD=5.5

Figur A3. MSG-TECH: Marginale renskostnadskurver for norsk industri. USD/tonn CO₂

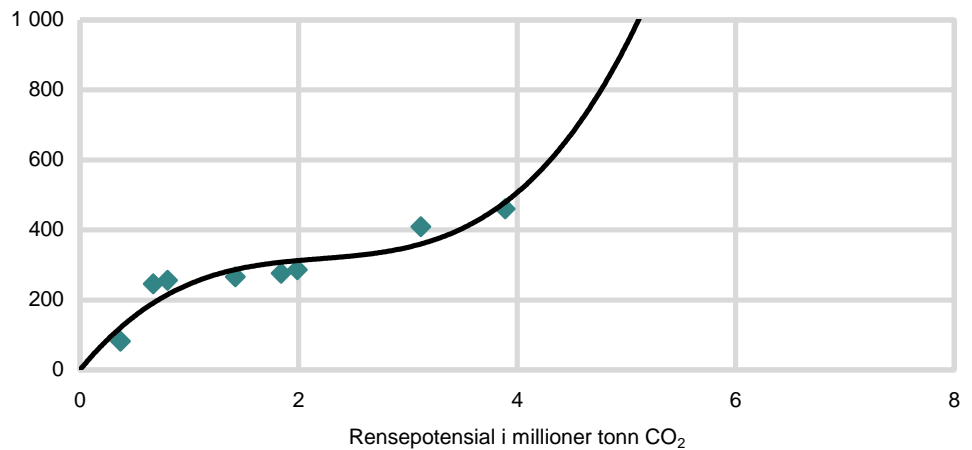


Merknad: NOK/USD=5.5

Tabell A3. Rensekostnader og reduksjonspotensial i petroleumssektoren, etter tiltak

Type tiltak	Annuitet (2010-priser) (USD/tonn CO ₂)	Utslippsreduksjon tonn CO ₂
Energieffektivisering offshore	400	0,2
Elektrifisering Melkøya 1	400	0,17
Elektrifisering Melkøya tog 2	1 200	0,3
Elektrifisering Melkøya 2	1 250	0,13
Mongstad raffineri CCS	1 300	0,62
Elektrifisering sørlige Nordsjø	1 350	0,42
Elektrifisering nye felt	1 400	0,15
Elektrifisering nordlige Nordsjø	2 000	1,13
Kårstø gassprosesseringsanlegg CCS	2 250	0,77
Total		3,89

Marknad: NOK/USD=5.5

**Figur A4. MSG-TECH: Marginale rensekostnadskurver for norsk petroleumindustri.
USD/tonn CO₂**

Marknad: NOK/USD=5.5

Vedlegg B: Detaljerte tabeller for utslipps- utviklingen i referansebanen og togradersbanen

Tabell B1. Utslippsutvikling i referansebanen. Indeks, 2009=100

	2009/2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Norge	100	98	98	95	91	86	86	84	82
Norden	100	93	85	78	71	68	66	64	63
EU	100	102	99	95	93	89	86	81	79
USA	100	109	105	97	91	86	81	76	74
Kina	100	123	134	137	139	143	145	145	143
Russland	100	107	108	108	107	106	104	104	105
India	100	138	158	178	201	234	262	288	308
Verden	100	115	119	121	122	125	126	127	127

Kilde: IEA (2012a), IEA (2013).

Tabell B2. Utslippsutvikling i togradersbanen. Indeks, 2009=100

	2009/2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Norge	100	93	93	86	77	68	61	52	45
Norden	100	90	77	66	58	50	43	36	29
EU	100	98	92	78	68	59	52	46	41
USA	100	104	95	82	58	47	37	29	25
Kina	100	118	122	110	91	72	60	55	50
Russland	100	97	88	77	67	56	50	42	34
India	100	133	138	135	131	137	140	139	135
Verden	100	111	109	97	83	71	63	57	52

Kilde: IEA (2012a), IEA (2013).

Figurregister

2.1.	Utslippsutvikling i verden, etter scenario. Gigatonn CO ₂	10
2.2.	Globale CO ₂ -utslipp i ulike scenarier i 2009 og 2050, etter sektor. Gigatonn CO ₂	11
2.3.	CO ₂ -utslipp i Norge og EU i 2010, etter sektor	12
4.1.	MSG-TECH: Utslippsreduksjoner fra referansebanen, fordelt på sektor. Millioner tonn CO ₂	19
4.2.	MSG-TECH: Utslippsreduksjoner i Norge fra referansebanen til togradersbane, fordelt på type. Millioner tonn CO ₂ . 2015-2050.....	20
4.3.	Utslippsscenarier (referansebanen og togradersmålet) for Norge med ulike politikkalternativ og ulike modeller. Millioner tonn CO ₂ . 2009-2050.	21
4.4.	Utslippsreduksjoner i Norge med global gjennomføring av togradersmålet, fordelt på teknologitiltak. Millioner tonn CO ₂ . 2015-2050.....	21
4.5.	Utslippsreduksjoner i Norge med global gjennomføring av togradersmålet, etter sektor. Millioner tonn CO ₂ . 2015-2050	22
4.6.	Utslippsutvikling i transport i Norge. Millioner tonn CO ₂ . 2010-2050	26
4.7.	Utvikling i passasjertransport i de <i>nordiske</i> landene. Antall passasjerkilometer. 2000-2050	27
4.8.	Total energibruk i <i>nordisk</i> transport i togradersbanen. EJ. 2010-2050	27
4.9.	Marginale renskostnadskurver for teknologibytte innen passasjertransport i Norden. USD/tonn CO ₂	28
4.10.	Marginale renskostnadskurver for passasjertransport i Norden*, basert på antakelser i MSG-TECH. USD/tonn CO ₂	28
4.11.	CO ₂ -utslipp fra norsk og <i>nordisk</i> industri. 2010-2050. Indeks, 2010=100.....	30
4.12.	Total industriproduksjon i <i>Norden</i> i referansebanen og togradersbanen. Millioner tonn	31
4.13.	MSG-TECH: Industriproduksjon i togradersbanen som nivå og som reduksjon fra referansebanen, mill. kr. (faste 2004-priser).....	31
4.14.	MSG-TECH: Reduksjon i CO ₂ -utslipp fra industrien i Norge fra referansebanen. Millioner tonn CO ₂	33
4.15.	Reduksjon i CO ₂ -utslipp fra industrien i <i>Norden</i> fra referansebanen. Millioner tonn CO ₂	33
4.16.	Utslippsutvikling i norsk kraftproduksjon i millioner tonn CO ₂ i referansebanen og togradersbanen. 2010-2050	34
4.17.	MSG-TECH: Utslipp fra petroleumsektoren. Millioner tonn CO ₂	35
5.1.	Utslippsutvikling i togradersbanen i Norge, Norden, EU og verden, som andel av referansebanen. 2009-2050	37
5.2.	Utslippsutvikling i togradersbanen (heltrukken linje) og referansebanen (stiplet linje) i verden, EU, Norden og Norge. Indeks, 2009=100	38
5.3.	Utslippsreduksjoner fra referansebanen i Norge og EU, fordelt på sektor. Millioner tonn CO ₂	39
5.4.	Utslipp fra transport i togradersbanen som andel av referansebanen for Norden, EU, OECD og verden. Prosent.....	40
5.5.	Utslippsutvikling i transport i togradersbanen (heltrukken linje) og referansebanen (stiplet linje) i verden, OECD og Norden. Indeks, 2009=100	41
5.6.	Utslipp i industri som andel av referansebanen for Norden, EU, OECD og verden.	42
5.7.	Utslipp i industri i referansebanen og togradersbanen i Norden, EU og verden. Indeks, 2009=100.....	43
5.8.	Utslippsreduksjoner i industri, fordeling på industrinæringer i <i>Norden</i> og EU i 2050 ...	43
5.9.	Utslipp fra kraftsektoren i togradersbanen. Indeks, 2009=100	45
5.10.	Energimix i husholdninger og tjenesteytende næringer i 2009	45
Vedlegg		
A1.	MSG-TECH: CO ₂ -utslipp i ulike referansebaner. Millioner tonn	50
A2.	MSG-TECH: Marginale renskostnadskurver for transport for Norge. USD/tonn CO ₂	52
A3.	MSG-TECH: Marginale renskostnadskurver for norsk industri. USD/tonn CO ₂	52
A4.	MSG-TECH: Marginale renskostnadskurver for norsk petroleumsindustri. USD/tonn CO ₂	53

Tabellregister

2.1.	Global pris på CO ₂ -utslipp i togradersbanen, USD/tonn CO ₂	11
3.1.	Oversikt over modeller og publikasjoner brukt som kilde i rapporten	13
3.2.	Oversikt over scenarioer i IEAs publikasjoner	16
3.3.	CO ₂ -priser i IEA-analysene. USD/tonn CO ₂ (2011-priser).....	17
3.4.	En sammenligning av CO ₂ -priser ved togradersmålet i andre globale modeller. USD/tonn CO ₂ . (2011-priser).....	17
4.1.	Oppsummering: utslippreduksjon i 2050	22
4.2.	Oppsummering: transport.....	29
4.3.	Oppsummering: industri	34
5.1	Utslippsutvikling i togradersbanen, som andel av referansebanen. 2010-2050. Prosent.....	38
5.2.	Utslippsreduksjoner som andel av samlede utslippsreduksjoner fra referansebanen i 2050. Prosent	40

Vedlegg

A1.	Rensekostnader og reduksjonspotensial i transport, etter tiltak	51
A2.	Rensekostnader og reduksjonspotensial i industrien, etter tiltak	52
A3.	Rensekostnader og reduksjonspotensial i petroleumssektoren, etter tiltak	53
B1.	Utslippsutvikling i referansebanen. Indeks, 2009=100	54
B2.	Utslippsutvikling i togradersbanen. Indeks, 2009=100	54