

Makromodeller til bruk i klimaanalyser

Rapport fra Teknisk beregningsutvalg for klima



M-2110 | 2021

Utgitt av

Teknisk beregningsutvalg for klima,
oppnevnt av Regjeringen 15. juni 2018

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	21
2. Oversikt over makromodeller	23
2.1 Innledning	23
2.2 Numeriske generelle likevektsmodeller (CGE-modeller)	24
2.3 Dynamisk-stokastiske generelle likevektsmodeller	32
2.4 Makroøkonometriske modeller	36
2.5 Hybridmodeller	37
3. Kriterier for å vurdere modellene	40
3.1 Introduksjon	40
3.2 Forvaltningens behov for analyser på klimafeltet	40
3.3 Egenskaper ved makromodeller som er viktige for å dekke forvaltningens behov	43
4. Makromodeller i Norge	45
4.1 Organisering	45
4.2 SNOW	46
4.3 GRACE-Nor	60
4.4 NOREG	66
4.5 REMES	71
4.6 NORA	75
4.7 KVARTS	78
5. Makromodeller i utvalgte andre land	83
5.1 Innledning	83
5.2 Organisering av modellarbeidet i Sverige, Danmark og Finland	83
5.3 Beskrivelse av de nordiske makromodellene	84
5.4 MEMO - DSGE-modell brukt til analyse av klimapolitikk	98
5.5 E3ME	100
6. Oppsummering og konklusjon	102
6.1 Innledning	102
6.2 Styrker og mangler ved de norske makromodellene	102
6.3 Samlet vurdering av modellene i lys av analyseformål	110
6.4 Relevante løsninger fra de nordiske makromodellene	111
6.5 Konklusjon og videre arbeid	113
7. Referanser	117
Vedlegg 1: Oversikt over næringer i norske makromodeller	124

Til Klima- og miljødepartementet

Teknisk beregningsutvalg for klima ble oppnevnt 15. juni 2018. I 2020 ble utvalget besluttet videreført for perioden 23. juni 2020 til 23. juni 2023 med et noe justert mandat og endret sammensetning. Utvalget har som oppgave å bidra til ny kunnskap og nye metoder for tiltaks- og virkemiddelanalyser på klimaområdet. Utvalgets fjerde rapport er en temarapport om makroøkonomiske modeller til bruk i klimaanalyser.

Oslo, 23. september 2021

Knut Einar Rosendahl
(leder)

Mette Helene
Bjørndal

Taran Fæhn

Steffen Kallbekken

Anne Madslie

Erik Sørensen

Asgeir Tomasgard

Håvard Grothe Lien
(sekretariatsleder til 19. februar 2021)
Sofie Waage Skjeflo
(sekretariatsleder fra 19. februar 2021)
Kine Josefine Aurland-Bredesen
Erik Hernes
Vegard Hole Hirsch
Hans Kolshus
Kristine Korneliussen
Camilla Nore
Linda Skjold Oksnes

Sammendrag

En makroøkonomisk modell er en forenklet representasjon av hele økonomien til ett eller flere land. Makromodeller er særlig utviklet for å studere endringer som omfatter flere næringer og sektorer, og til prognoser og framskrivninger. Til sammenligning vil partielle modeller ikke kunne fange opp virkninger utenom de avgrensede næringene som studeres, slik som virkninger på og via andre næringer, for eksempel at priser og inntekt i andre næringer påvirkes. Samtidig har makroøkonomiske modeller som regel mindre detaljert spesifisering av ulike teknologier og mer aggregerte næringer enn partielle modeller.

På klimaområdet brukes makroøkonomiske modeller blant annet i utslippsframskrivninger, i utredninger av mål for klimapolitikken og i analyser av utslippseffekter, kostnader og andre virkninger av klimapolitikk (heretter kalt «klima-analyser»). Dette er sentrale analyseformål for myndighetene, som har behov for kunnskap om hvordan Norge kan nå sine klimamål og hva som vil være konsekvensene av klimapolitikken.

Teknisk beregningsutvalg for klima skal, i henhold til mandatet, vurdere om dagens modeller for å vurdere kostnader og utslippseffekter dekker behovene for analyser på klimaområdet, og foreslå utvikling og/eller videreutvikling av slike modeller. I tillegg skal utvalget vurdere om modellene er egnet til å analysere klimaeffekt av statsbudsjettet. Utvalgets tidligere rapporter har vurdert tiltaksanalyser, økonometriske metoder og partielle modeller, og har presentert forslag til kategorisering av budsjettposter som et steg mot å beregne utslippseffekter av statsbudsjettet. Formålet med denne rapporten er primært å vurdere makroøkonomiske modeller til bruk i klimaanalyser. Dette inkluderer å vurdere om modellene er egnet til å analysere utslippseffekter av statsbudsjettet, men det gjøres ikke en fullstendig vurdering av modellenes egnethet til dette

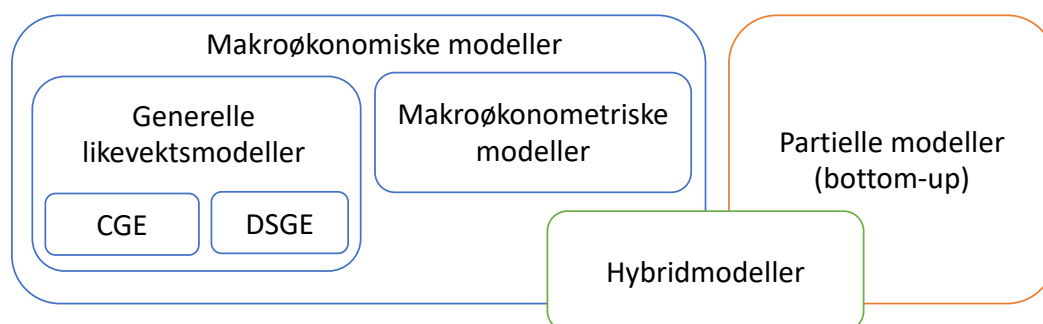
formålet. Utvalgets videre arbeid med å foreslå metoder for beregning av klimaeffekt av statsbudsjettet er omtalt i utvalgets årlige rapport (Teknisk beregningsutvalg for klima, 2021).

Kapittel to i rapporten gir en oversikt over ulike typer makroøkonomiske modeller. Kapittel tre presenterer forvaltningens behov for analyser på klimaområdet, og legger fram kriterier for at modeller skal være egnet til å svare på disse analyseformålene. I kapittel fire beskrives og vurderes seks norske makroøkonomiske modeller, mens kapittel fem beskriver spesielt relevante modeller fra andre land, først og fremst i våre naboland. I kapittel seks gis det en samlet vurdering av de seks norske makromodellenes egnethet til å svare på forvaltningens analysebehov. De makroøkonomiske modellene vurderes her kun basert på kriteriene for egnethet for makroøkonomiske klimaanalyser. Neste skritt vil være å gjøre en samlet vurdering av metodeapparatet på klimaområdet for å kunne gi anbefalinger om videreutvikling av konkrete modeller og metodeapparatet som helhet.

Dette sammendraget følger strukturen i rapporten.

Oversikt over makroøkonomiske modeller

Det kan skilles mellom to hovedtyper av makroøkonomiske modeller, selv om skillet mellom de to ikke alltid er like tydelig. Den ene er generelle likevektsmodeller. Med generell likevekt menes at markedsmekanismene i modellen sørger for å balansere tilbud og etterspørsel for hele økonomien i det geografiske området som modelleres. En type generelle likevektsmodeller som er mye brukt til



Figur 1. Oversikt over modelltyper som omtales i makrorapporten

framskrivinger av utslipp og klimapolitiske analyser, er numeriske generelle likevektsmodeller eller computable general equilibrium models (CGE-modeller). En annen gruppe generelle likevektsmodeller, dynamisk-stokastiske generelle likevektsmodeller (DSGE), er utviklet for å studere økonomisk vekst og konjunkturer. DSGE-modellene åpner for tilfeldig variasjon/stokastikk i de eksogene variablene som inngår. Den andre hovedtypen makromodeller er makroøkonometriske modeller. Sammenlignet med CGE-modellene er atferdssammenhengene i disse modellene i større grad forankret i empiriske data, enn i økonomisk teori. Hybridmodeller kombinerer egenskaper ved, kobler eller integrerer ulike modeller. Selv om ikke alle modelltypene som er beskrevet brukes til analyser som er relevante for klimagassutslipp i dag, kan det være egenskaper ved disse som er nyttige for videreutviklingen av modellapparatet.

Modelltypene som omtales i rapporten er illustrert i figur 1.

Numeriske generelle likevektsmodeller (CGE-modeller)

CGE-modeller tar hensyn til samspill mellom ulike næringer, agenter og markeder i økonomien. De kan derfor kaste lys over den samlede økonomiske virkningen av ulik politikk, og belyse indirekte eller utilsiktede effekter. Den grunnleggende antakelsen om at økonomien er i likevekt, medfører at CGE-modeller er best egnet til analyser på lang sikt. Siden 1990-tallet har CGE-modeller blitt mye brukt til analyser av klimapolitikk. Modellene kan i stor grad tilpasses ulike problemstillinger og analysebehov, men er basert på noen grunnleggende fellestrekk.

Oppbygging og teoretisk grunnlag

Sammenhengen mellom markedene i CGE-modeller er beskrevet ved kryssløpet i økonomien, det vil si bruk av innsatsfaktorer og varer i næringer og anvendelser av varer og tjenester til sluttforbruk og til eksport. Både tilbud, etterspørsel og relative priser på varer og tjenester er endogent modellert, mens verdensmarkedspriser er eksogene i nasjonale modeller. Dersom prisen på en vare eller tjeneste endres, vil det påvirke prisene på andre varer og tjenester. Etterspørsel og tilbud justeres slik at økonomien er i likevekt igjen. Det er vanligvis en forutsetning at samfunnets ressurser, som arbeidskraft og kapital, er fullt utnyttet og begrenset.

Aktørene i modellen består av nyttemaksimerende representative husholdninger, og en profittmaksimerende bedrift i hver næring. I mange CGE-modeller representeres både produsentenes produksjonsteknologi og husholdningenes

nytte ved hjelp av såkalte CES-funksjoner (CES: Constant Elasticity of Substitution). Disse funksjonene karakteriseres ved at de har konstante substitusjonselastisiteter, og gir en abstrakt framstilling av hvordan innsatsfaktorer (arbeidskraft, kapital og naturressurser) og innsatsvarer fra andre næringer kombineres for å produsere en gitt vare eller tjeneste. Dette betyr at CGE-modeller vanligvis ikke modellerer konkrete teknologier, som for eksempel batteriteknologi eller CO₂-håndtering. Teknologiene representeres ved ulike kombinasjoner av modellens innsatsfaktorer, og endringer i sammensetningen kan til dels tolkes som endring i teknologi. Som regel antas det frikonkurransemarkeder.

Datagrunnlaget for CGE-modeller består som regel av en kryssløpstabell for et basisår, som modellen kalibreres til, og et sett med eksogene parametere, og eventuelt andre datakilder for å koble aktiviteter i modellen til utslipp, modellere inntektsulikhet eller regionstruktur osv. Substitusjonselastisitetene i CES-funksjonene er sentrale parametere. De kan tallfestes ved hjelp av økonometriske studier eller ekspertvurderinger. Modellen tar utgangspunkt i hvordan økonomien ser ut i basisåret, og det kan ikke vokse fram nye aktiviteter eller teknologier med mindre dette legges inn spesifikt. Når CGE-modeller brukes i framskrivinger må det i tillegg legges til grunn antakelser om blant annet befolkningsvekst og teknologiutvikling.

CGE-modeller kan beskrive hele den globale økonomien, den nasjonale økonomien, eller ha en regional inndeling av den nasjonale økonomien. Sistnevnte modeller omtales ofte som Spatial Computable General Equilibrium Models (SCGE-modeller). Modellene kan være statiske, dynamisk-rekursive (det vil si løses periode for periode) eller intertemporalt dynamiske. Statiske modeller kan ikke si noe om veien fra en likevekt til en annen. Dynamisk-rekursive modeller løses som en serie statiske modeller som bindes sammen av kapitalutviklingen fra en periode til neste. I denne typen modeller tar aktørene beslutninger basert på at de økonomiske forholdene vil være uendret i framtiden, og aktørene er dermed myopiske (nærsynte). I intertemporalt dynamiske CGE-modeller optimerer aktørene over flere perioder basert på sine forventninger om framtiden. Det kan antas at alle aktørene har full innsikt i framtiden, eller en kombinasjon av myopiske aktører og aktører med perfekt framsyn.

Modellering av utslipp og utslippsreduksjonsmuligheter

I modeller som brukes i analyser av klimagassutslipp inkluderes CO₂-utslipp fra bruk av fossile energivarer, mens utslipp fra ikke-energi relaterte prosesser (prosessutslipp fra industri og utslipp fra arealbruksendringer) er mindre vanlig å inkludere. Noen modeller inkluderer også andre klimagasser, og i noen tilfeller utslipp av annen

luftforurensning. Aktørene kan redusere sine utslipp gjennom aktivitetstilpasning, teknologitilpasning eller begge deler. Aktivitetstilpasning skjer ved at aktørene reduserer produksjon eller forbruk for en gitt teknologi. Teknologitilpasning modelleres som regel som endringer i sammensetningen av innsatsfaktorer, og substitusjonsmulighetene bestemmes av substitusjonselastisitetene. Den nye sammensetningen presenterer da nytt valg av teknologi uten å spesifisere hvilken teknologi som benyttes. Alternativt kan modellen inneholde konkrete teknologivalg, for eksempel ved at aktørene har mulighet til å investere i en elbil i stedet for en fossilbil. For prosessutslipp er utslippene som regel direkte knyttet til produksjonsnivået. For å få med flere konkrete teknologivalg og utvikling i framtidige teknologimuligheter, kan en CGE-modell integrere informasjon fra detaljstudier av enkeltteknologier og enkeltprosesser og/eller koble modellen til teknologirike partielle modeller.

Siden CGE-modellene modellerer alle aktørenes tilpasninger i økonomien, kan man beregne **samfunnsøkonomiske velferdseffekter** knyttet til virkemidler eller mål om utslippsreduksjoner. Velferdsberegningen vil fange opp effekter av at nye eller endrede virkemidler samspiller med eksisterende offentlige markedsinngrep og eventuelle markedsimperfeksjoner som inngår i modellen, men vil overse betydningen av markedsimperfeksjoner som ikke er modellert. CGE-modeller varierer når det gjelder i hvilken grad de tar innover seg tilpasningskostnader, som også påvirker de samfunnsøkonomiske kostnadene knyttet til klimapolitikk.

Dynamisk-stokastiske generelle likevektsmodeller (DSGE-modeller)

DSGE-modeller er særlig brukt til makroøkonomiske framskrivninger i sentralbanker og analyser av pengepolitikk. Den primære forskjellen mellom CGE og DSGE-modeller ligger i at DSGE-modellene er intertemporalt dynamiske og modellerer tilfeldig variasjon som aktørene forholder seg til. Tidsdynamikken er egnet til å gi kunnskap om kortsiktige virkninger, sammenlignet med en modell som løses for hver periode og som dermed forenkler det dynamiske forløpet i økonomien. I motsetning til mange CGE-modeller og makroøkonomiske modeller, kan en DSGE-modell ta innover seg at aktørenes atferd kan påvirkes av forventninger om fremtiden. Intertemporal optimering og stokastikk gir økt kompleksitet, og DSGE-modeller har derfor ofte en mer aggregert struktur enn de andre modelltypene. For å studere klimaspørsmål vil det normalt være viktig med detaljert modellering av produksjonsprosesser og substitusjonsmuligheter i de ulike sektorene som

genererer utslipp. CGE-modeller er typisk mer detaljerte i form av heterogenitet (i næring, produksjon, land, osv.), men DSGE-modellene beveger seg også i den retningen (Hassler og Krusell, 2018). Hittil er DSGE-modeller i mindre grad enn CGE-modeller brukt i analyser av klimapolitikk, og så vidt vi kjenner til er det ingen eksempler på bruk av DSGE-modeller på klimaområdet i Norge.

Makroøkonomiske modeller

Makroøkonomiske modeller er en vanlig modelltype i finansdepartement og brukes ofte til konjunkturanalyser, prognoser og politikkanalyser på kort og mellomlang sikt. Tidsserier av kvartalsdata eller årlige data brukes gjerne til å estimere atferdssammenhengene i modellene. De makroøkonomiske modellene antar som regel ikke optimerende atferd og full ressursutnyttelse i økonomien. I likhet med DSGE-modeller brukes denne modelltypen i mindre grad enn CGE-modeller til analyser av klimapolitikk og utslippseffekter. Makroøkonomiske modeller kan være velegnet for kortsiktige analyser. Ønsker man å legge inn egenskaper basert på økonomisk teori og antakelser om langsiktig likevekt, kan det legges inn restriksjoner på dette i estimeringen av relasjonene. Da vil den langsiktige løsningen kunne reflektere likevekt, mens den kortsiktige tilpasningen ved sjokk eller forstyrrelser i økonomien bestemmes av data og representerer tregheter i økonomien.

Hybridmodeller

I nasjonale hybridmodeller kombineres partielle (bottom-up) modeller og makroøkonomiske modeller. Ved å kombinere teknologirike partielle modeller og makroøkonomiske modeller kan man oppnå en detaljert beskrivelse av både teknologiske forhold og økonomiske virkninger på tvers av sektorer i økonomien. Dette kan gjøres på flere måter, der graden av integrering varierer. En første mulighet er å innarbeide bottom-up teknologiinformasjon i den makroøkonomiske modellen. En annen mulighet er å koble makroøkonomiske modeller til partielle modeller, automatisk eller manuelt. Det finnes flere eksempler på koblede energisystemmodeller og CGE-modeller. En tredje variant av hybridmodeller innebærer å integrere modellene fullt ut, som i praksis vil si at likningene i den ene modellen legges inn i den andre.

Modeller som vurderes i rapporten

I denne rapporten beskrives og vurderes seks norske makroøkonomiske modeller: Fire CGE-modeller, én DSGE-modell og én makroøkonometrisk modell. SNOW-NO er en dynamisk-rekursiv CGE-modell for Norge, mens GRACE-Nor er en dynamisk-rekursiv global CGE-modell med Norge som egen region. NOREG og REMES er begge dynamisk-rekursive SCGE-modeller med regional oppløsning. NORA er en DSGE-modell, mens KVARTS er en kvartalsvis makroøkonometrisk modell.

Kriterier for å vurdere makromodeller for klimaanalyser

I forkant av vurderingen av de norske makromodellene har utvalget utarbeidet sentrale vurderingskriterier i lys av forvaltningens behov for analyser på klimafeltet. I denne rapporten vurderes kun makromodeller. Utvalget har i tidligere rapporter vurdert partielle modeller og andre metoder. Hvilke modeller/metoder som egner seg best vil avhenge av analyseformålet, og er noe utvalget vil arbeide videre med.

Forvaltningens behov for klimaanalyser som makromodeller kan være egnet til å dekke, kan sies å være tredelt: i) analyser av ulike virkemidler og utslippskilder, ii) utslippsframskrivinger, og iii) utslippseffekt av statsbudsjettet. Det er særskilte behov knyttet til langsiktige og kortsiktige analyser. Videre er det behov for transparente og anvendelige metoder egnet som grunnlag for politikktutvikling.

Når det gjelder analyser av ulike virkemidler og utslippskilder, har forvaltningen særskilt behov for makromodeller til å analysere effekter på utslipp, kostnader og fordelings effekter av sektorovergripende virkemidler som CO₂-avgift og kvotesystemet, men også samspillet mellom disse og sektorspesifikke virkemidler. Det må tas hensyn til at norsk klimapolitikk er tett knyttet til EUs klimapolitikk med inndeling i kvotepliktig og ikke-kvotepliktig utslipp, samt utslipp og opptak i skog og arealer. Modellapparatet må derfor kunne skille mellom disse utslippskildene. I ikke-kvotepliktig sektor er transport og jordbruk spesielt viktige sektorer.

Norge har flere rapporteringsforpliktelser på klimaområdet, for eksempel framskrivninger av utslipp og opptak av klimagasser. Her er det også behov for å skille mellom utslippskilder på samme måte som nevnt over. Framskrivningene beskriver utviklingen gitt eksisterende politikk og virkemidler, og må ses i sammenheng med den overordnede økonomiske utviklingen.

Utslippsframskrivingene benyttes også som referansebane når nye mål skal utredes, eller ved analyse av nye virkemidler.

Ifølge klimaloven skal regjeringen redegjøre for klimaeffekten av framlagt statsbudsjett. Så langt har det hovedsakelig blitt gitt kvalitative vurderinger av utvalgte bevilgninger, mens målet er å kunne gi kvantitative anslag. Det er derfor behov for å vurdere hvor egnet makromodeller kan være til å anslå utslippseffekten av statsbudsjettet.

For langsiktige analyser er det særlig behov for kunnskap om hvordan eksisterende og planlagte virkemidler påvirker økonomien og utslipp over tid, for eksempel knyttet til nye mål og forpliktelser i klimapolitikken. I slike analyser er det særlig viktig å fange opp effekten av forventet teknologiutvikling og konsekvenser av usikkerhet og aktørenes forventninger. For kortsiktige analyser fram til 2030 står EU-regelverket med årlige utslippsbudsjett for ikke-kvotepliktig sektor sentralt, som innebærer at det er behov for kunnskap om utslippseffekter av virkemiddelbruken på kort sikt, herunder kunnskap om hvordan omstillingskostnader, kapasitetsutnyttelse og tregheter i atferd påvirker utslipp fra år til år. Transparente og anvendelige modeller og analyser er viktig, slik at resultatene fra modellene kan bidra til å forklare årsakssammenhenger og styrke beslutningsgrunnlaget for forvaltning og politikk.

Nedenfor følger en liste over hva som anses å være sentrale mekanismer og egenskaper for makromodeller som skal dekke analyseformålene beskrevet over. Ulike analyseformål stiller ulike krav til hvilke egenskaper en modell/metode bør ha for å gi nyttige resultater, men overordnet er det viktig at de er egnet til å forstå sammenhenger i hele økonomien og fanger opp sentrale mekanismer.

A. Grunnleggende egenskaper

- Modellering av vesentlige utslipp og opptak av klimagasser, samt utslippskilder, på et tilstrekkelig detaljert nivå, basert på en vurdering av dekningsgrad etter EUs pilarer for utslipp og opptak.
- God beskrivelse av husholdningenes og bedriftenes atferd og hvordan økonomien virker, basert på en vurdering av hvorvidt modellen i) fanger opp interaksjoner mellom sektorer og husholdninger, ii) har mulighet for disaggregert representasjon av enkeltsektorer av spesiell interesse, iii) fanger opp interaksjon med utlandet, iv) representerer substitusjonsmuligheter og andre aktivitetsendringer som påvirker utslipp, v) fanger betydningen av aktørenes forventningsdannelse og vi) har god kvalitet på datagrunnlaget og parameterverdier.

- God representasjon av relevante og vesentlige virkemidler i klimapolitikken.

B. *Spesielt for analyser på kort sikt*

- i) Fanger opp tregheter og tilpasningskostnader, ii) fanger opp konjunkturer og iii) gjør det mulig å se på årlige utslippseffekter av virkemidler.

C. *Spesielt for analyser på lengre sikt*

- i) Fanger opp strukturelle endringer i økonomien og forventet teknologiutvikling, ii) gjør det mulig å analysere betydningen av usikkerhet og iii) fanger opp overordnede utviklingstrekk og drivkrefter knyttet til atferd og utslipp.

D. *Spesielt for analyser av kostnader og andre konsekvenser av virkemiddelbruk*

- i) Har et egnet velferds mål, ii) modellerer offentlige markedsinngrep/virkemidler som kan samspille med virkemiddelbruken, iii) representerer markedsimperfeksjoner som kan samspille med virkemiddelbruken og iv) har representasjon av heterogene husholdninger og bedrifter.

E. *Spesielt for analyse av utslippseffekten av statsbudsjettet*

- i) Kan fange opp utslippseffekt av poster og virkemidler i statsbudsjettet og ii) har god representasjon av offentlige budsjettets påvirkning på økonomien.

F. *Dokumentasjon og anvendelighet*

- i) Har god dokumentasjon av forutsetninger, modellinnretning og parametere, ii) fleksibel struktur, slik at modellen lett kan tilpasses problemstilling (aggregering, virkemidler, tidshorison, forutsetninger) og iii) kan vedlikeholdes/oppdateres på en overkommelig måte.

Makromodeller i Norge

Utvalget beskriver og vurderer seks norske, makroøkonomiske modeller i denne rapporten: SNOW, GRACE-Nor, NOREG, REMES, NORA og KVARTS. Omfanget av beskrivelsen av de ulike modellene avhenger av hvor velegnet modellen er for klimaanalyser i dag, men også potensialet for utvidelse og bruk av modellen til dette formålet. Det siste avhenger både av egenskaper ved modellen og organisering av modellarbeidet. Vurderingene tar utgangspunkt i kriteriene nevnt over. Det er mer enn ti fagmiljøer i Norge som utvikler og bruker makroøkonomiske modeller til ulike formål. Miljøene som er involvert i de seks modellene som vurderes spesielt i denne rapporten består av forskningsinstitusjoner, universiteter, konsulentselskaper og departementer.

SNOW (Statistics Norway's World model)

SNOW er en «familie» CGE-modeller med lignende struktur og kjerne, utviklet av Statistisk sentralbyrå (SSB) for langsiktige studier av miljø- og klimapolitikk og utslipp-utvikling. SNOW-NO er en dynamisk-rekursiv modell for Norge og brukes blant annet av Finansdepartementet til framskrivninger av utslipp av klimagasser. SNOW-DYN er en intertemporalt dynamisk variant med framoverskuende atferd, som er under utvikling, mens SNOW GLOBAL er en global modell der Norge håndteres som én av flere regioner. Omtalen under konsentrerer seg i hovedsak om SNOW-NO.

SNOW inkluderer tre typer aktører: Bedrifter, offentlig sektor og husholdninger. Modellen er relativt disaggregert med 46 næringer, der hver næring består av én representativ, profittmaksimerende bedrift som produserer én vare. Næringsinndelingen er gjort med tanke på å fange opp forskjeller i energibruk, utslippsintensitet, politikk og utslippsreduksjonsmuligheter. Bedriftene bruker realkapital, arbeidskraft, naturressurser og innsatsvarer produsert av andre næringer/utlandet i sin produksjon. Innsatsvarer omfatter energivarer, og det skilles mellom kull, olje, gass og elektrisitet. Realkapital består av tre kapitaltyper (bygg og anlegg, maskiner og utstyr, transportmidler). Produksjonen i bedriftene har konstant skalautbytte. Innsatsfaktorene er til en viss grad substituerbare, spesifisert via konstante substitusjonselastisiteter (CES). Totale investeringer er bestemt av sparingen til husholdningen og skjer i de kapitaltypene og bedriftene som gir høyest avkastning. Realkapital og arbeidskraft antas å være mobil mellom sektorer.

Det skilles mellom konsum i stats- og kommuneforvaltningen, og produksjon i offentlig sektor er fordelt på fire næringer. Offentlig produksjon, konsum og investeringer er eksogent bestemt. Husholdningene er modellert ved én representativ husholdning, med nytte beskrevet ved en CES-funksjon. Husholdningens tilbud av arbeid er stigende i reallønna etter skatt. Konsumet tar utgangspunkt i sammensetningen i basisåret, men påvirkes av endringer i relative priser. I SNOW-NO er økonomien liten og åpen, med substitusjon mellom importerte og hjemmeproduerte varianter (bestemt av såkalte Armington-elasticiteter), og mellom eksport og salg til hjemmemarkedet. Verdensmarkedspriser er eksogent gitt.

Modellens produksjons- og konsumaktiviteter er tilknyttet utslippskoeffisienter for klimagasser og andre utslipp til luft. Bedriftene kan redusere utslipp ved å endre sammensetning av innsatsfaktorene i produksjonen eller ved å redusere produksjonsvolumet. Prosessrelaterte utslipp, utslipp fra petroleumsproduksjon, metanutslipp fra avfallsdeponier og metan- og lystgassutslipp i jordbruket, kan kun reduseres ved å kutte i produksjonen. Utslipp og optak innen areal- og skogbruk (LULUCF) er ikke inkludert. Substitusjon mellom varer og tjenester i husholdningene vil også påvirke utslippene. Innen privat transport skilles det mellom gamle og nye biler, og mellom elektriske og konvensjonelle. I noen modellanalyser har man erstattet CES-funksjoner med marginalkostnadskurver basert på informasjon fra tiltaksanalyser om potensielle utslippsreduksjoner innen prosessindustrien og petroleumssektoren. Teknologisk utvikling er gitt eksogent.

SNOW kan analysere mange typer virkemidler, først og fremst økonomiske virkemidler, men også enkelte direkte reguleringer. Velferden representeres ved neddiskontert nytte til den representative husholdningen. Interaksjoner med eksisterende skatter og avgifter påvirker samfunnsøkonomiske kostnader av klimapolitikken. Det er ingen tilpasningskostnader eller eksterne virkninger i modellen. Modellen kan ikke si noe om fordelingseffekter mellom husholdninger alene, men SSB har utviklet en mikrosimuleringsmodell med heterogene husholdninger som kan kobles på. Modellen kalibreres basert på data fra nasjonalregnskapet og utslippsregnskapet for et bestemt basisår, som for tiden er 2018. Elasticiteter i modellen er skjønsmessig bestemt basert på empiriske studier og ekspertvurderinger. Substitusjonselastisitetene er satt likt på tvers av næringer.

Utvalgets vurdering er at SNOW inkluderer vesentlige utslippskilder på et rimelig detaljert nivå. Den inkluderer alle relevante klimagasser, og dekker to av de tre pilarene i EUs rammeverk: kvotepliktig og ikke-kvotepliktig utslipp (men ikke LULUCF). Modellen har et grovt, men ikke perfekt, skille mellom disse utslippene. SNOW har en detaljert sektorinn-

deling og detaljert beskrivelse av produksjons- og konsumstrukturer. Inndelingen i sektorer og innsatsfaktorer er stort sett hensiktsmessig for klimaanalyser. Modellen fanger godt opp interaksjoner mellom sektorer. SNOW-NO modellerer en liten åpen økonomi og legger til grunn at endringer i Norge ikke påvirker utlandet, mens varianten SNOW-GLO også behandler atferd i utlandet endogent.

Modellering av utslippsreduksjoner skjer hovedsakelig gjennom redusert aktivitet og ved substitusjon mellom produksjonsfaktorer/konsumgoder. På den ene siden gjør dette det vanskelig å tolke hvilke løsninger som er implementert, og hvor realistiske disse er. På den andre siden innebærer dette at aktørene i modellen ikke er begrenset til de spesifikke løsningene som modellbrukeren legger inn. Det har tidligere vært gjort studier som modellerer eksplisitte teknologivalg i enkelte næringer. Utvalget mener at det vil være formålstjenlig å vurdere en bedre representasjon av enkelte utslippskilder som avfall, fjernvarmeproduksjon og ulike prosessutslipp, samt en finere inndeling av enkelte næringer, i første rekke jordbruket. Det siste er imidlertid vanskelig gitt inndelingen i nasjonalregnskapet.

Siden SNOW-NO er en dynamisk-rekursiv modell, tar aktørene ikke innover seg endringer i framtidig politikk eller andre forhold. Modellvarianten SNOW-DYN antar derimot at aktørene perfekt forutser og forholder seg rasjonelt til framtidige endringer. Begge disse antakelsene er ytterpunkter. Substitusjonselastisitetene i modellen, som er svært sentrale for effektene av virkemidler, er bare delvis basert på (til dels gamle) empiriske studier. SNOW har en god representasjon av relevante og vesentlige virkemidler i klimapolitikken. Det gjelder spesielt økonomiske virkemidler og enkelte direkte reguleringer, men ikke støtte til teknologiutvikling eller informasjonstiltak.

SNOW inkluderer ikke tregheter i priser og tilpasning eller konjunkturer. Den er derfor ikke særlig egnet til analyser på kort sikt eller analyser av akkumulerte endringer for de nærmeste årene. Modellen antar full kapital- og arbeidsmobilitet og fanger derfor ikke opp effektene av at det tar tid før ledige ressurser får en alternativ anvendelse. Unntaket er private investeringer i kjøretøy, der eldre årganger forblir i flåten til de skrapes. Modellen er derimot godt egnet for analyser på lang sikt, når aktørene har fått tid til å tilpasse seg. Den detaljerte modelleringen av næringer og innsatsfaktorer gjør at modellen fanger opp mange viktige tilpasninger og interaksjoner i økonomien, samtidig som modellen har visse mangler som påpekt over. Langsiktige analyser avhenger også i stor grad av hvilke antakelser man gjør om framtida, for eksempel knyttet til teknologiutvikling. Det er ikke mulig å analysere betydningen av usikkerhet annet enn ved følsomhetsanalyser og robusthetsanalyser for ulike framtidsscenarioer.

SNOW har et konsistent mål på de samfunnsøkonomiske kostnadene og fanger opp interaksjon mellom eksisterende og nye/endrede virkemidler. Den inkluderer ikke relevante markedsimperfeksjoner, som asymmetrisk informasjon, markedsrett og eksterne virkninger knyttet til teknologiutvikling og lokal luftforurensning. Ved å koble modellen til en mikrosimuleringsmodul kan fordelings effekter studeres. For analyser av statsbudsjettet er det en fordel at modellen er forholdsvis disaggregert og inkluderer en rekke skatter og avgifter. Modellen er i all hovedsak basert på nasjonalregnskapsdata, noe som gjør det enkelt å oppdatere datagrunnlaget og mulig å endre aggregeringsnivå. På den andre siden mangler det en samlet, oppdatert modelldokumentasjon som inkluderer alle versjoner av SNOW, og det foreligger få publiserte studier på modellen, slik at mange av sammenhengene mellom antakelser og resultater i modellen ikke er godt belyst og forklart ved hjelp av mer detaljerte analyser. Dette gjelder ikke bare for SNOW, men også for de øvrige modellene, og henger sammen med at det er ressurskrevende å gjøre dette systematisk og grundig.

Oppsummert har SNOW en rekke egenskaper som er nyttige for analyser av utslippseffekter og kostnader på lang sikt, og den er godt egnet for videreutvikling og eventuell kobling til sektormodeller.

GRACE-Nor (Global Responses to Anthropogenic Changes in the Environment-Norway)

GRACE er en global, dynamisk-rekursiv CGE-modell utviklet av CICERO – Senter for klimaforskning for å undersøke økonomiske konsekvenser av klimapolitikk og effekter av klimaendringer på den globale økonomien. Det er nylig utarbeidet en versjon som fokuserer på norsk økonomi, GRACE-Nor.

GRACE-Nor inkluderer to typer aktører: Bedrifter og husholdninger (som inkluderer offentlig sektor). Modellen er for tiden inndelt i 15 næringer, men kan enkelt disaggregeres ytterligere. På samme måte som i SNOW bruker bedriftene realkapital, arbeidskraft, naturressurser og innsatsvarer produsert av andre næringer i sin produksjon, og for energivarer skilles det mellom kull, olje, gass og elektrisitet. Produksjonsstrukturen er også forholdsvis lik som i SNOW, med konstant skalautbytte og bruk av CES-funksjoner (også for konsum). Totale investeringer er bestemt av sparingen til husholdningene, og skjer i de regionene (det vil si landene) og bedriftene som gir høyest avkastning. Eksisterende realkapital holdes fast. Arbeidstilbudet er eksogent gitt i hver region. I GRACE-Nor

er det imperfekt substitusjon mellom importerte og hjemmeproduerte varianter, mens det antas perfekt substitusjon mellom eksport og salg til hjemmemarkedet. Import- og eksportpriser bestemmes i modellen.

Bruken av energivarer i produksjon og konsum er tilknyttet utslippskoeffisienter for CO₂. Andre klimagasser er ikke inkludert, og heller ikke prosessutslipp, utslipp fra avfallsforbrenning eller utslipp og opptak fra LULUCF. Bedrifter og husholdninger kan redusere utslipp ved å endre sammensetning av innsatsfaktorer/konsum eller ved å redusere aktiviteten. Teknologisk utvikling er gitt eksogent. GRACE-Nor kan analysere flere typer virkemidler, først og fremst økonomiske virkemidler, men også enkelte direkte reguleringer. Velferdsendringer i modellen måles ved endringer i bruttonasjonalprodukt (BNP). Interaksjoner med eksisterende skatter og avgifter rettet mot produksjonssektorene fanges opp av modellen, men ikke skatt på inntekt. Eksternaliteter og tilpasningskostnader inngår ikke. Modellen kan ikke si noe om fordelings effekter i Norge. Modellen kalibreres basert på data fra Global Trade Analysis Project (GTAP), mens nasjonalregnskapsdata er brukt for å justere dataene for Norge. Basisår er for tiden 2014. Substitusjonselastisiteter i modellen er hovedsakelig basert på MIT-EPPA-modellen og er stort sett de samme på tvers av næringer og regioner.

Utvalgets vurdering er at GRACE-Nor i mindre grad enn SNOW inkluderer vesentlige utslippskilder på et tilstrekkelig detaljert nivå. Den inkluderer kun CO₂ og viktige utslipp er ikke inkludert. Det er vanskelig å skille mellom kvotepliktig og ikke-kvotepliktig utslipp i modellen, og den har vesentlig færre næringer. Noen av disse manglene kan rettes på ved en ytterligere disaggregering. I likhet med SNOW inkluderer den ikke utslipp eller opptak fra LULUCF. På den annen side fanger GRACE-Nor opp hvordan endringer i Norge kan påvirke utlandet.

Modellering av utslippsreduksjoner skjer kun gjennom redusert aktivitet og ved substitusjon mellom produksjonsfaktorer/konsumgoder. I noe større grad enn for SNOW er sentrale næringer for enkelt modellert til å kunne gi en god beskrivelse av mulige utslippsreduksjoner, og utvalget mener det vil være formålstjenlig å vurdere en bedre representasjon av enkelte utslippskilder, samt en finere inndeling av enkelte næringer. Siden GRACE-Nor er en dynamisk-rekursiv modell, tar aktørene ikke innover seg framtidige endringer. Substitusjonselastisitetene er basert på gamle internasjonale studier. Modellen har god representasjon av økonomiske virkemidler og enkelte direkte reguleringer, men ikke støtte til teknologiutvikling eller informasjonstiltak.

GRACE-Nor inkluderer ikke tregheter i priser og tilpasning eller konjunkturer. Den er derfor ikke særlig egnet til analyser på kort sikt og for analyser av akkumulerte endringer for de nærmeste årene. Modellen er derimot relativt godt egnet for analyser på lang sikt, selv om den har visse mangler som påpekt over. Det er ikke mulig å analysere betydningen av usikkerhet annet enn ved følsomhets- og robusthetsanalyser. Velferdseffekter i GRACE-Nor er representert ved endring i BNP, men det er mulig å beregne andre velferdsmål. Modellen fanger opp interaksjon mellom eksisterende og nye/endrede virkemidler, men inkluderer ikke markedsimperfeksjoner eller fordelings effekter mellom husholdninger i Norge. For analyser av statsbudsjettet er det en fordel at modellen kan gjøres forholdsvis disaggregert og inkluderer en rekke skatter og avgifter, men den mangler på den annen side noen viktige utslippsskilder. Modellen er basert på både GTAP- og nasjonalregnskapsdata, som gjør det noe mer krevende å oppdatere datagrunnlaget. Det mangler foreløpig en modelldokumentasjon av den norske versjonen.

Oppsummert har GRACE-Nor en rekke egenskaper som er nyttige for analyser av utslippseffekter og kostnader på lang sikt, om enn i noe mindre grad enn SNOW. En styrke ved modellen er at effekter i utlandet kan studeres. Den er godt egnet for videreutvikling og eventuell kobling til sektormodeller.

NOREG (Norwegian Regional General Equilibrium Modelling System)

NOREG er en dynamisk-rekursiv SCGE-modell utformet for analyser av regionaløkonomisk utvikling fem år og mer fram i tid, utviklet av Transportøkonomisk Institutt (TØI), Vista Analyse, Menon Economics og SSB.

NOREG modellerer Norge som sammensatt av flere regioner, med en fleksibel regioninndeling (ned på kommunenivå). Modellen er for tiden inndelt i 24 næringer i hver region, men inndelingen er fleksibel. Bedriftene bruker realkapital, arbeidskraft, to typer energivarer (fossil og elektrisitet/fjernvarme) og andre innsatsvarer i sin produksjon. Produksjonsstrukturen er forholdsvis lik som i SNOW og GRACE-Nor, med konstant skalautbytte og bruk av CES-funksjoner. Totale investeringer er bestemt av sparingen til husholdningene, og skjer i de regionene og bedriftene som gir høyest avkastning, men med noe treghet. Eksisterende realkapital holdes fast. Husholdningenes etterspørsel er gitt ved et lineært utgiftssystem. Arbeidstilbudet er eksogent gitt i hver region. I en modellversjon under utvikling skiller det mellom fire

typer arbeidskraft, og det åpnes for flytting og pendling mellom regioner. Offentlig sektor er modellert som én nasjonal aktør med en enkel nyttefunksjon. Regionene er knyttet sammen gjennom handel, med varer produsert i ulike norske regioner, modellert som tilnærmet perfekte substitutter. Den norske økonomien er liten og åpen, med imperfekt substitusjon mellom importerte og hjemmeproduserte varianter.

Utslipp inngår ikke i NOREG i dag, men bruk av fossil energi (som én vare) modelleres. Effekter av avgifter på energi, for eksempel fossil energi, kan analyseres nasjonalt og regionalt. Velferden representeres ved neddiskontert nytte til den representative husholdningen i hver region, som kan aggregeres til nasjonalt nivå. Fordelingseffekter mellom regioner, og for husholdninger med ulikt utdanningsnivå i versjonen som er under utvikling, kan studeres. Interaksjoner med eksisterende skatter og avgifter, også inntektsskatt, fanges opp av modellen, mens eksternaliteter inngår ikke. Modellen er kalibrert basert på nasjonalregnskapsdata for 2017, kombinert med data for bedrifter, varestrømmer og transportkostnader i Norge. Elastisitetene er tallfestet basert på internasjonal forskning, men det pågår et arbeid med å beregne disse basert på norske data.

Utvalgets vurdering er at siden utslipp ikke er modellert og modellen heller ikke skiller mellom ulike fossile brensler, er NOREG i sin nåværende form ikke godt egnet for studier av utslipp og klimapolitikk. Produksjonsstrukturen er relativt lik GRACE-Nor. Den regionale inndelingen innebærer en styrke sammenlignet med de to foregående modellene. NOREG er dynamisk-rekursiv, og aktørene tar derfor ikke innover seg endringer i framtida. Substitusjonselastisitetene er basert på relativt nye internasjonale studier. Modellen kan analysere effekter av avgifter på fossil energi på nasjonalt eller regionalt nivå, som kan sees på som en forenklet klimaanalyse.

NOREG fanger ikke opp konjunkturer, men i motsetning til SNOW og GRACE-Nor har den innebygget noe treghet i bedriftenes investeringsatferd. Modellen er likevel best egnet for analyser på lang sikt. Det er ikke mulig å analysere betydningen av usikkerhet annet enn ved følsomhets- og robusthetsanalyser. Modellen har et konsistent mål på samfunnsøkonomiske kostnader, fanger opp interaksjon mellom eksisterende og nye virkemidler, men inkluderer ikke relevante markedsimperfeksjoner. Fordelingseffekter mellom regioner, og for husholdninger med ulikt utdanningsnivå i versjonen som er under utvikling, kan studeres. For analyser av statsbudsjettet er modellen per i dag ikke egnet, siden den ikke inkluderer utslipp. Modellen er relativt godt dokumentert.

Oppsummert er NOREG ikke velegnet for klimaanalyser slik den er i dag, men den har egenskaper som gjør at en videreutviklet versjon kan være relevant for analyser på lang sikt. Modellens fremste styrke er den regionale inndelingen.

REMES (Regional Equilibrium Model for Norway with focus on the Energy System)

REMES er i likhet med NOREG en dynamisk-rekursiv SCGE-modell utformet for analyser på lang sikt, hovedsakelig utviklet av SINTEF og NTNU. Det finnes også en intertemporal variant av modellen.

REMES modellerer Norge som sammensatt av fem regioner som samsvarer med kraftprisområdene. Modellen er inndelt i 36 næringer i hver region, inkludert 13 næringer innen utvinning og raffinering. Hver næring kan produsere flere varer. Bedriftene bruker realkapital, arbeidskraft, ulike typer energivarer og andre innsatsvarer i sin produksjon. Produksjonsstrukturen er forholdsvis lik som i de tre andre CGE-modellene, med konstant skalautbytte og bruk av CES-funksjoner (også for konsum). Totale investeringer er bestemt av sparingen til husholdningene, og skjer i de regionene og bedriftene som gir høyest avkastning. Både arbeidskraft og eksisterende realkapital er mobil mellom næringer. Arbeidskraften er låst til regioner (ingen flytting eller pendling), mens det kan velges mellom å holde eksisterende realkapital fast eller la den være mobil mellom regioner. Offentlig sektor består av én nasjonal og fem regionale aktører, som kan modelleres hver for seg eller samlet med enkle nyttefunksjoner. Regionene er knyttet sammen gjennom handel med varer og tjenester produsert i ulike norske regioner, modellert som imperfekte substitutter. Den norske økonomien er liten og åpen, med høy substitusjonselastisitet mellom varer produsert i Norge og utlandet.

Bruken av energivarer i produksjon og konsum er tilknyttet utslippskoeffisienter for CO₂. Andre klimagasser er ikke inkludert. Prosessutslipp er inkludert, men ikke utslipp fra avfallsforbrenning eller utslipp og opptak fra LULUCF. Bedrifter og husholdninger kan redusere utslipp ved å endre sammensetning av innsatsfaktorer/konsum eller ved å redusere aktiviteten. Teknologisk utvikling er gitt eksogent, men modellen er utviklet med henblikk på kobling til en energisystemmodell, slik at ulike teknologier og teknologisk utvikling i energisektoren blir fanget opp. REMES kan analysere flere typer nasjonale og regionale virkemidler, først og fremst økonomiske virkemidler. Velferden representeres ved neddiskontert nytte til den representative husholdningen i hver region, som kan

aggregeres til nasjonalt nivå. Regionale fordelingseffekter kan studeres. Interaksjoner med eksisterende skatter og avgifter rettet mot produksjonsnæringene fanges opp av modellen, men ikke skatt på inntekt. Eksternaliteter inngår ikke. Modellen er kalibrert basert på nasjonalregnskapsdata for 2007 (oppdatering til 2019 pågår), kombinert med data på fylkesnivå og data for varestrømmer i Norge. Elastisitetene er tallfestet basert på internasjonal forskning.

Utvalgets vurdering er at REMES inkluderer vesentlige utslippskilder på et relativt detaljert nivå, men i mindre grad enn SNOW. Den inkluderer kun CO₂. Avfallsforbrenning er ikke inkludert, men i motsetning til GRACE-Nor inkluderer den prosessutslipp. Det er vanskelig å skille mellom kvotepliktig og ikke-kvotepliktig utslipp. I likhet med de øvrige modellene inkluderes ikke utslipp og opptak fra LULUCF. Den regionale inndelingen er en styrke sammenlignet med SNOW og GRACE-Nor, men inndelingen er klart grovere enn i NOREG.

Modellering av utslippsreduksjoner skjer kun gjennom redusert aktivitet og ved substitusjon mellom produksjonsfaktorer/konsumgoder. I noe større grad enn for SNOW er sentrale næringer for enkelt modellert til å kunne gi en god beskrivelse av mulige utslippsreduksjoner. På den annen side er den tenkt koblet til en energisystemmodell. Utvalget mener det vil være formålstjenlig å vurdere en bedre representasjon av enkelte utslippskilder samt en finere inndeling av enkelte næringer. Modellen er dynamisk-rekursiv, og aktørene tar derfor ikke innover seg endringer i framtida. Substitusjonselastisitetene er basert på ikke helt nye internasjonale studier. Modellen har god representasjon av økonomiske virkemidler, men ikke støtte til teknologiutvikling eller informasjonstiltak. Modellen kan til en viss grad analysere virkemidler på regionalt nivå.

REMES fanger ikke opp konjunkturer, men inkluderer blant annet noe treghet mellom regioner som ikke fanges opp av SNOW og GRACE. Modellen er imidlertid best egnet for analyser på lang sikt, selv om den har visse mangler som påpekt over. Det er ikke mulig å analysere betydningen av usikkerhet annet enn ved følsomhets- og robusthetsanalyser. Modellen har et konsistent mål på samfunnsøkonomiske kostnader, fanger opp interaksjon mellom eksisterende og nye virkemidler, men inkluderer ikke relevante markedsimperfeksjoner eller fordelingseffekter annet enn mellom de fem kraftprisområdene. For analyser av statsbudsjettet er det en fordel at modellen er forholdsvis disaggregert og inkluderer en rekke skatter og avgifter. Modellen er brukbart dokumentert.

Oppsummert har REMES en rekke egenskaper som er nyttige for analyser av utslippseffekter og kostnader på lang sikt, om enn i noe mindre grad enn SNOW. En styrke

ved modellen er inndelingen i fem regioner og mulig kobling til energisystemmodell, men inndelingen er mindre fleksibel enn i NOREG. Den er godt egnet for videreutvikling.

NORA (NORwegian fiscal policy Analysis model)

NORA er en nykeynesiansk modell som tar utgangspunkt i en DSGE-modell. Den er nylig utviklet i samarbeid mellom SSB og Finansdepartementet, for å analysere effekter av finanspolitikken på fastlandsøkonomien på mellomlang sikt.

Modellen består av to sektorer, en skjermet og en konkurranseutsatt. I tillegg er interaksjoner mellom fastlandsøkonomien og petroleumssektoren enkelt modellert på tilsvarende måte som for utlandet. Bedriftene i skjermet og konkurranseutsatt sektor bruker arbeidskraft og kapital i en Cobb-Douglas-produktfunksjon. Produksjonen kombineres så med importerte varer i en CES-funksjon. Den norske økonomien er modellert som liten og åpen. Nivået på investeringene bestemmes basert på en rente fastsatt av Norges Bank. Sektorinndelingen i en konkurranseutsatt og skjermet sektor, er viktig for modellering av lønnsdannelsen (frontfagsmodellen).

Det er to typer husholdninger i modellen, der den ene typen har framoverskuende forventninger (i likhet med bedriftene), mens den andre ikke har det. Husholdningene har forventninger til framtidig inntekt som modelleres med tilhørende varians, noe som skaper usikkerhet knyttet til forventet framtidig inntekt. Valg aktørene tar i dag påvirkes av forventninger om framtiden, og usikkerheten knyttet til disse forventningene. De generelle likevektsmekanismene sikrer at modellen tar hensyn til interaksjon mellom aktørene og mellom politikkenringer og aktørene. Den norske økonomien er liten og åpen. Utslipp inngår ikke i NORA, og heller ikke bruk av energivarer. Det er ikke et eget velferds mål i NORA, men det er mulig å avlede et velferdsnivå fra nytten til de framoverskuende husholdningene. NORA er kalibrert ut fra egenskapene ved Norges Banks modell NEMO, og det pågår et arbeid i SSB med estimering av modellen.

Utvalgets vurdering er at siden utslipp ikke er modellert, og modellen dessuten er svært aggregert og ikke modellerer energivarer, er NORA i sin nåværende form ikke egnet for studier av utslipp og klimapolitikk. NORA er intertemporal og stokastisk, noe som skiller den fra de andre modellene. En viktig egenskap å ta med seg videre fra NORA er de framoverskuende aktørene, og usikkerheten knyttet til forventninger om framtiden. Her skiller NORA seg ut fra de andre modellene, og gir muligheter til å ta inn over seg

forventninger knyttet til den økonomiske politikken, som for eksempel analyse av usikkerhet knyttet til framtidig politikk, inntekt osv. Modellen kan ikke, slik den er nå, analysere klimapolitikk, men har en detaljert beskrivelse av skattesystemet. Modellen har innebygget tregheter og fanger opp konjunkturer, og er best egnet for analyser på mellomlang sikt. For analyser av klimaeffekt av statsbudsjettet er modellen per i dag ikke egnet siden den ikke inkluderer utslipp. Modellen er relativt godt dokumentert, men er under videreutvikling.

Oppsummert er NORA ikke velegnet for klimaanalyser, men den har egenskaper som gjør at en videreutviklet versjon potensielt kan være et relevant supplement. Modellens fremste styrker er at den kan egne seg for studier av beslutninger under usikkerhet og har dynamiske elementer som fanges opp gjennom konjunkturer.

KVARTS

KVARTS er en kvartalsvis makroøkonometrisk modell utviklet av SSB for konjunkturanalyser, prognoser og politikkanalyser på kort og mellomlang sikt. Den brukes også aktivt av Finansdepartementet.

Modellen består av 20 sektorer, inkludert tre offentlige. Bedriftene bruker arbeidskraft, kapital og ulike varer i sin produksjon, som beskrives av CES-funksjoner. Olje og gass er skilt ut som egne varer, mens kull inngår sammen med andre varer. Det er lagt til grunn monopolistisk konkurranse. Produksjonen bestemmes på kort sikt i hovedsak av utviklingen i samlet etterspørsel, hvor konsumet i privat sektor påvirkes av disponibel realinntekt. Over tid spiller tilbudssiden en større rolle via prisendringer og lønnsdannelse (som bygger på frontfagsmodellen). Både arbeidskraft og kapital er mobil mellom næringer, men på kort sikt tilpasser arbeidskraften seg raskere enn kapitalen. Arbeidskraften er homogen, mens realkapitalen er fordelt på ulike typer (bygninger, maskiner osv.). Investeringer bestemmes av priser og produksjon, og den norske økonomien er liten og åpen. Modellen er dynamisk-rekursivt og fanger opp konjunkturer og tilpasningskostnader. Atferdsrelasjonene i KVARTS tallfestes ved hjelp av statistiske metoder og historiske data fra nasjonalregnskapet slik at variable tilpasser seg til ny langsiktig likevekt gjennom gradvis, kortsiktig tilpasning. Den kortsiktige tilpasningen representerer treghetene i KVARTS. Utslipp inngår ikke i KVARTS, men makroøkonomiske effekter av avgifter på petroleumsprodukter kan analyseres. Modellen har ikke noe eksplisitt velferds mål, men beregner endringer i BNP og konsum samt arbeidstilbud og formue. KVARTS kalibreres løpende mot kvartalsvis nasjonalregnskapstall.

Utvalgets vurdering er at siden utslipp ikke er modellert, og modellen dessuten har en noe begrenset inndeling i sektorer og energivarer, er KVARTS i sin nåværende form ikke egnet for studier av utslipp og klimapolitikk. Modellen er etterspørselsdrevet på kort sikt og fanger derfor opp konjunkturer, noe som skiller den og NORA fra de andre modellene. Den fanger ikke opp betydningen av usikkerhet. De estimerte atferdsrelasjonene kan sies å fange opp aktørenes forventninger til framtida på et generelt grunnlag, men ikke av spesifikke politikkendringer. Modellen kan ikke analysere klimapolitikk, men derimot avgifter på oljeprodukter. KVARTS er særlig egnet for analyser på kort sikt, men kan også anvendes på lang sikt. Modellen har ikke et konsistent mål på samfunnsøkonomiske kostnader, men beregner endringer i BNP og konsum. For analyser av statsbudsjettet er modellen per i dag ikke egnet siden den ikke inkluderer utslipp. Det foreligger ikke en fullstendig dokumentasjon av den gjeldende versjonen av modellen. Sentrale modellsammenhenger er omtalt i arbeider som bygger på anvendelser av modellen. SSB arbeider med en mer helhetlig overordnet dokumentasjon av modellen.

Oppsummert er KVARTS ikke velegnet for klimaanalyser slik den er i dag, men den har egenskaper som gjør at en videreutviklet versjon kan være relevant for analyser spesielt på kort sikt. Modellens fremste styrke er at den kan fange opp effekten av konjunkturer og tregheter i økonomien.

Makromodeller i utvalgte andre land

Norge, Sverige, Danmark og Finland benytter alle CGE-modeller som en del av det samlede modellapparatet til analyser av klimagassutslipp og klimapolitikk. Løsningene som beskrives for de nordiske modellene er derfor mest relevante for utvalgets vurdering av og forslag til videreutvikling av CGE-modeller i Norge.

Sverige bruker EMEC (Environmental Medium Term Economic Model), som er en dynamisk-rekursiv generell likevektsmodell for svensk økonomi. Modellen er utviklet for å analysere utvikling i utslipp av klimagasser og andre utslipp til luft, og effekter av miljøpolitiske virkemidler. I tillegg kan modellen brukes til å analysere strukturelle endringer i økonomien og fordelingseffektene av miljøpolitikken for ulike husholdninger.

I Danmark benyttes hybridmodellen IntERACT, som består av en statisk CGE-modell koblet til den intertemporalt dynamiske energisystemmodellen TIMES-DK. Modellen brukes primært til å analysere utvikling av energisystemet,

energirelaterte utslipp og kostnader knyttet til energi- og klimapolitikken. I tillegg er en ny generell likevektsmodell, GreenREFORM, under utvikling. Dette er en intertemporalt dynamisk CGE-modell som utvikles for å kunne analysere økonomiske effekter av miljø- og klimapolitikk og miljø- og klimaeffekter av økonomisk politikk fram mot år 2100. GreenREFORM vil bestå av to deler som er integrert: En dynamisk generell likevektsmodell med relativt detaljert beskrivelse av utslippsreducerende teknologier, og et sett med detaljerte sektormodeller (henholdsvis transport, jordbruk og LULUFC, avfall og energiforsyning). I tillegg vil det være en modul for å kunne analysere effekter på karbonlekkasje.

I analyser av klimapolitikken i Finland brukes den dynamisk-rekursive likevektsmodellen FINAGE, ofte sammen med en versjon av energisystemmodellen VTT-TIMES for finsk økonomi.

Det er flere løsninger i de nordiske modellene som skiller seg fra de norske CGE-modellene. Når det gjelder aktørene i modellene kan IntERACT brukes til å gjøre analyser med ulike markedsbarrierer som legger begrensninger på aktørenes atferd, som likviditetsbegrensninger eller ufullkommen informasjon. Disse barrierene modelleres i TIMES-DK. I både GreenREFORM og IntERACT har aktørene en blanding av myopiske og framoverskuende forventninger, og i GreenREFORM kan man tilpasse forventningsdannelsen avhengig av analyseformål. I FINAGE er det mulig å anta at lønningene ikke justeres umiddelbart, men responderer gradvis på sjokk i økonomien. I EMEC er husholdningene inndelt i ulike inntektsgrupper, som også har noe ulik atferd. Modellen skiller også mellom husholdninger som bor i storbyer, mindre byer og spredtbygde strøk. Det er flere interessante tilnærminger til å modellere utslipp og utslippsreduksjonsmuligheter i de nordiske modellene. Både IntERACT og GreenREFORM er koblet eller kan kobles med én eller flere sektormodeller. I tillegg brukes i stor grad bottom-up informasjon om konkrete teknologier, basert på et datagrunnlag (teknologikataloger) som er åpent tilgjengelig og som oppdateres kontinuerlig. Katalogene inkluderer tekniske og økonomiske data for ulike energiteknologier. I GreenREFORM er dette integrert i CGE-modellen og tilhørende sektormodeller, mens i IntERACT er det lagt inn i energimarkedsmodellen TIMES-DK som er koblet til CGE-modellen.

I GreenREFORM antas treghet i bedriftenes teknologitilpasning og investeringer i kapital. IntERACT kan kjøres med antakelser om full eller delvis kapitalmobilitet. Konjunkturinstituttet, som er ansvarlig for EMEC, har sett på muligheten for å utvikle en såkalt putty-clay løsning for EMEC, som innebærer at deler av kapitalbeholdningen er fast, men nye investeringer er mobile.

I GreenREFORM er utslipp av metan og lystgass fra jordbruk differensiert og knyttet til innsatsfaktorer, og ikke modellert som prosessutslipp. Utslipp og opptak fra LULUCF dekkes i en egen sektormodell. Tilsvarende skal utslipp fra avfall etter planen være knyttet til ulike avfallstyper i en egen sektormodell. I både IntERACT¹ og GreenREFORM er det mulig å legge inn informasjon om renseteknologier, som karbonfangst og -lagring. I EMEC er det mulig å redusere prosessutslipp noe ved substitusjon mellom prosessutslipp og andre innsatsfaktorer og innsatsvarer.

EMEC og GreenREFORM modellerer flere energivarer enn de norske modellene (syv i EMEC og 27 i GreenREFORM). Både EMEC og GreenREFORM har en disaggregert modellering av utslippsreduksjonsmuligheter innen transportsektoren og modellerer husholdningene og bedriftenes bruk av egne transportmidler eksplisitt. I GreenREFORM er ulike transportteknologier implisitt modellert i selve CGE-modellen, mens sektormodellen for transport, som skal integreres i modellen, har en detaljert beskrivelse av ulike kjøretøyteknologier. Den inkluderer også nettverkseksistensialiteter ved implementering av nye biler, det vil si at kostnaden ved å ta i bruk en ny type bil faller med antallet som tar i bruk den nye biltypen.

Substitusjonselastisitetene i IntERACT er estimert på danske tidsseriedata. Tilsvarende jobbes det med å estimere substitusjonselastisitetene i produktfunksjonen til bedriftene på danske tidsseriedata i GreenREFORM.

Samlet vurdering og konklusjon

Gjennomgangen av de norske makromodellene har vist at det er varierende hvor godt de oppfyller kriteriene utvalget har utarbeidet basert på forvaltningens behov for klimaanalyser. Dette henger dels sammen med at modellene er utviklet for ulike formål. Det kan heller ikke forventes at en enkelt modell kan oppfylle alle kriteriene på en god måte. Utvalget oppsummerer her i hvilken grad makromodellene svarer ut de enkelte kriteriene, og gir en samlet vurdering av modellene i lys av forvaltningens behov for klimaanalyser. Deretter følger en kort oversikt over relevante løsninger fra de nordiske makromodellene, før vi til slutt konkluderer.

Vurdering av modellene i lys av forvaltningens behov for klimaanalyser

Tabell 1 oppsummerer hvordan hver av modellene oppfyller kriteriene nevnt ovenfor. Som det framgår er det kun tre av dem som i dag inkluderer utslipp av klimagasser (SNOW, GRACE-Nor og REMES), og kun SNOW som dekker alle relevante klimagasser. Det er også noe variasjon i hvilke CO₂-utslipp som er inkludert. Utslipp og opptak fra LULUCF er ikke dekket av noen av modellene. De tre andre modellene (NOREG, NORA og KVARTS) kan også være relevante å vurdere med tanke på eventuell videreutvikling. I vurderingen nedenfor tar vi for oss fem sentrale analyseformål som kriteriene er basert på.

- Virkninger av virkemidler på utslipp på lengre sikt for alle utslippskilder (2030 og videre), inkludert vurdering av konsekvenser av mulige nye mål og forpliktelser

De tre modellene som inkluderer utslipp, er godt egnet for analyser på lang sikt. De har, i større eller mindre grad, detaljert modellering av næringer og innsatsfaktorer som gjør at de fanger opp viktige tilpasninger og interaksjoner i økonomien. Utslippsreduksjoner skjer stort sett via substitusjon mellom innsatsfaktorer/konsumgoder og via redusert aktivitet. Det gir lite informasjon om hvilke konkrete teknologivalg som tas, men gjør at modellene ikke er bundet til konkrete teknologier som legges inn. Substitusjonselastisitetene, som kan ha stor betydning for modellerte utslippseffekter, er i liten grad basert på nyere norske empiriske studier. SNOW har noe mer detaljert spesifisering av teknologivalg enn de to andre, først og fremst for privat transport. Det bør vurderes forbedringsmuligheter i modelleringen av enkelte utslippskilder, som jordbruk, avfall/fjernvarmeproduksjon og prosessutslipp. Langsiktige analyser avhenger også i stor grad av hvilke antakelser man gjør om framtida, for eksempel knyttet til teknologiutvikling.

De tre modellene har god representasjon av økonomiske virkemidler i klimapolitikken, og kan også analysere effekten av enkelte direkte reguleringer. Ingen av modellene kan analysere virkninger av støtte til teknologiutvikling eller informasjonstiltak annet enn ved å legge inn eksogene antakelser i modellen og studere ringvirkningene av dette. NOREG inkluderer ikke utslipp, men kan analysere effekter av energiavgifter på energibruk. Den egner seg også godt for analyser på lang sikt. GRACE-Nor (og varianten

¹ I IntERACT har informasjon om CCS-teknologi vært lagt inn for å analysere effekten på energirelaterte utslipp. Modellen inkluderer kun energirelaterte utslipp, men Energistyrelsen jobber med å inkludere andre utslippskilder, som prosessutslipp.

SNOW-GLO) fanger opp effekter i utlandet, mens REMES og NOREG fanger opp regionale effekter.

Alle modellene unntatt NORA er dynamisk-rekursive, der aktørene har myopiske forventninger og legger til grunn at framtidens priser og politikk blir som i dag. NORA (og varianten SNOW-DYN) er intertemporal, der (noen av) aktørene er perfekt framoverskuende, det vil si kan forutse sine rammebetingelser i framtida og legge det til grunn for sine valg. Det er ikke opplagt hvilken av disse variantene som best beskriver atferd i klima- og energisammenheng, men de kan supplere hverandre. Det er ikke mulig å analysere betydningen av usikkerhet annet enn ved følsomhetsanalyser og robusthetsanalyser for ulike scenarier i dynamisk-rekursive modeller.

- Virkninger av virkemidler på utslipp på kort sikt (perioden 2021-2030) i ikke-kvotepliktig sektor

Med unntak av KVARTS og NORA fanger modellene i liten grad opp tregheter eller konjunkturer. De er derfor mindre egnet for analyser på kort sikt og for analyser av akkumulerte utslippseffekter fram mot 2030. REMES og NOREG og til dels SNOW har riktignok innebygget noen tregheter. Skillet mellom kvotepliktig og ikke-kvotepliktig utslipp i modellene er ikke helt nøyaktig, men næringsinndelingen gjør det mulig å skille på en omtrentlig måte. KVARTS er spesielt relevant for analyser på kort sikt, men inkluderer ikke utslipp. Den er derfor ikke egnet for klimaanalyser i dag, men kan analysere effekter av energiangifter.

- Kostnader og konsekvenser ved virkemiddelbruken på kort og lang sikt

De fleste modellene kan beregne presise velferdsmål, mens KVARTS kun beregner effekter på makroøkonomiske størrelser som BNP, konsum og arbeidstilbud. Eksisterende skatter og avgifter, som kan påvirke kostnadene av klimavirkemidler, er inkludert i de fleste modellene. Tilpasningskostnader og markedsimperfeksjoner er i liten grad inkludert. Inntektsfordelingseffekter fanges ikke opp av noen av modellene, men SNOW kan kobles mot en modul som kan beregne dette. Regionale kostnader og konsekvenser fanges opp av NOREG og til dels REMES.

- Lage framskrivinger av utslipp for hele økonomien på kort og lang sikt

Utvalget har ikke vurdert dette eksplisitt, men modellenes egenskaper for analyser på kort og lang sikt vil også være relevant for hvor egnet de er til bruk i framskrivinger. En grundig vurdering av dette krever imidlertid en mer detaljert gjennomgang av hvordan dagens framskrivinger gjøres, noe utvalget vil arbeide med videre.

- Å gi anslag på den samlede utslippseffekten av statsbudsjettet på kort og lang sikt

For analyser av statsbudsjettet er det en fordel at flere av modellene inkluderer en rekke skatter og avgifter, og at de er relativt disaggregerte. En del poster på statsbudsjettet vil likevel være vanskelige å modellere, og utvalget har et pågående arbeid for å undersøke dette nærmere (se kapittel fire i Teknisk beregningsutvalg for klima, 2021). De fleste modellene er best egnet til å fange opp langsiktige budsjetteffekter. KVARTS og NORA kan fange opp kortsiktige effekter i økonomien, men inkluderer som nevnt ikke utslipp.

Relevante løsninger fra de nordiske makromodellene

Basert på gjennomgangen av de nordiske modellene, har utvalget merket seg noen løsninger som kan være relevante for videreutvikling av de norske CGE-modellene. Dette gjelder spesielt bruken av teknologikataloger i de danske modellene IntERACT og GreenREFORM, modelleringen av transport i GreenREFORM og EMEC, kobling av GreenREFORM til sektormodeller og moduler (for blant annet jordbruk, LULUCF og avfall) og modellering av treghet i flere av modellene. Utvalget har foreløpig ikke gjort en vurdering av om disse løsningene bør inkluderes i de norske makromodellene.

Konklusjon og videre arbeid

Utvalgets gjennomgang av norske makromodeller viser at det i dag kun er tre numeriske generelle likevektsmodeller (CGE-modeller) som fanger opp utslipp av klimagasser, og som dermed potensielt kan dekke forvaltningens analyseformål på klimaområdet. SSBs modell SNOW brukes allerede av forvaltningen og er vurdert å være best egnet til flere formål, med god dekning av utslipp og utslippskilder. GRACE-Nor er spesielt egnet til å fange opp utslippseffekter i utlandet, mens REMES og NOREG har nyttige egenskaper for regionale analyser (NOREG inkluderer imidlertid ikke utslipp). Disse modellene egner seg best for langsiktige analyser, mens de er mindre godt egnet til kortsiktige analyser for de nærmeste årene. Det fins ulike løsninger som kan gjøre modellene bedre egnet til slike analyser. KVARTS brukes til kortsiktige analyser, blant annet i Finansdepartementet, men fanger ikke opp utslipp. NORA kan brukes til analyser av usikkerhet, men inkluderer heller ikke utslipp og er svært aggregert.

Selv om CGE-modellene har flere gode egenskaper, har de også en del mangler. Ingen av dem dekker utslipp og opptak fra LULUCF. For enkelte næringer hvor det forventes store teknologiske endringer, kan det være behov for enten videreutvikling av modellene eller at de suppleres med andre modeller eller metoder. Gjennomgangen av nordiske makromodeller har vist eksempler på hvordan dette kan gjøres.

Det forventes ikke at en enkelt modell skal være egnet til å dekke alle analyseformål, og det er ikke alle analyseformål som kan eller bør dekkes av makroøkonomiske modeller. Kobling mot partielle sektormodeller, eller bruk av flere modeller og metoder parallelt, er alternative løsninger. Det er derfor behov for å se på metodeapparatet samlet for å kunne gi anbefalinger om videreutvikling. Nytt av modellutvikling må også ses opp mot ressursbruken som kreves. I rapporten pekes det på flere mindre endringer og forbedringer av modellene som bør vurderes. Et felles forbedringspunkt er knyttet til modellenes dokumentasjon og datagrunnlag. En samlet vurdering av metodeapparatet på klimaområdet gjenstår for utvalgets videre arbeid.

Tabell 1 Vurdering av norske makromodeller etter kriterier for å vurdere makromodeller for klimaanalyser

	SNOW-NO	GRACE-Nor	REMES	NOREG	KVARTS	NORA
Modelltype	CGE				Makroøkonometrisk	DSGE
A. Grunnleggende egenskaper						
Vesentlige utslipp og utslippskilder	Ja, men ikke LULUCF.	Kun CO ₂ fra energivarer.	Kun CO ₂ , mangler avfall og LULUCF.	Nei.	Nei.	Nei.
Næringsinndeling og interaksjoner	Fleksibel ned til 64 næringer.	Fleksibel ned til 64 næringer.	Fleksibel ned til 64 næringer i fem regioner.	Fleksibel ned til 64 næringer i alle kommuner.	20 næringer.	To næringer.
Utslippsreduksjonsmuligheter	Teknologitilpasning (substitusjon i CES-funksjoner) og aktivitetstilpasning. Eksplisitt for privat transport.	Teknologitilpasning (substitusjon i CES-funksjoner) og aktivitetstilpasning.	Teknologitilpasning (substitusjon i CES-funksjoner) og aktivitetstilpasning.	Ikke relevant.	Ikke relevant.	Ikke relevant.
Dynamikk	Dynamisk-rekursiv.	Dynamisk-rekursiv.	Dynamisk-rekursiv.	Dynamisk-rekursiv.	Dynamisk-rekursiv.	Intertemporalt dynamisk.
Datagrunnlag	Hovedsakelig nasjonalregnskap, basisår 2018. Substitusjonselastisiteter er skjønnsmessig vurdert basert på ulike tilgjengelige estimater.	Hovedsakelig nasjonalregnskap og GTAP, basisår 2014. Substitusjonselastisiteter fra MIT EPPA (Paltsev, 2005).	Hovedsakelig nasjonalregnskap og CREEA-prosjektet, basisår 2007. Substitusjonselastisiteter fra Koesler og Schymura (2012).	Hovedsakelig nasjonalregnskap og Menons bedriftsdatabase, basisår 2017. Substitusjonselastisiteter fra Koesler og Schymura (2015).	Tidsserier av kvartalsvis nasjonalregnskapsdata, oppdateres kontinuerlig. Substitusjonselastisiteter estimert på samme datagrunnlag.	Foreløpig kalibrert til egenskapene i modellen NEMO.
Virkemidler i klimapolitikken	Økonomiske virkemidler og enkelte reguleringer.	Økonomiske virkemidler og enkelte reguleringer.	Økonomiske virkemidler og enkelte reguleringer. Regionalt differensierte virkemidler.	Avgifter på fossil energi.	Avgifter på petroleumsprodukter.	Ikke relevant.

	SNOW-NO	GRACE-Nor	REMES	NOREG	KVARTS	NORA
Modelltype	CGE				Makroøkonometrisk	DSGE
B. Egenskaper for analyser på kort sikt	Fanger opp tilpasningskostnader for privatbiler.	Fanger ikke opp tilpasningskostnader.	Noen tregheter i kapital- og arbeidskraftmobilitet.	Noen tregheter i kapital- og arbeidskraftmobilitet.	Fanger opp tilpasningskostnader.	Fanger opp tilpasningskostnader.
C. Egenskaper for analyser på lengre sikt	Analyserer langsiktig likevekt.	Analyserer langsiktig likevekt.	Analyserer langsiktig likevekt.	Analyserer langsiktig likevekt.	Bevegelser mot likevekt på lang sikt.	Analyserer langsiktig likevekt.
D. Egenskaper for analyser av kostnader og andre konsekvenser	Nyttebasert velferds-mål. Ingen markeds-imperfeksjoner. Fordelingseffekter kan beregnes i egen modul.	BNP som velferds-indikator, men nyttebasert mål kan beregnes. Ingen markeds-imperfeksjoner. Ikke fordelingseffekter innad i Norge.	Nyttebasert velferds-mål. Ingen markeds-imperfeksjoner. Regionale fordelings-effekter.	Nyttebasert velferds-mål. Ingen markeds-imperfeksjoner. Regionale fordelings-effekter.	Velferdsindikatorer som BNP, inntekt, sysselsetting. Monopolistisk konkurranse og arbeidsledighet. Ingen fordelingseffekter.	Ikke beregnet velferds-mål. Lønns-forhandlinger og arbeidsledighet. Ingen fordelingseffekter.
E. Egenskaper for analyser av utslippseffekter av statsbudsjettet	God representasjon av eksisterende skatter og avgifter. Disaggregert næringsstruktur.	Skatter og avgifter på produksjonsnæringer. Mulighet for disaggregert næringsstruktur.	Skatter og avgifter på produksjonsnæringer. Mulighet for disaggregert næringsstruktur.	Ikke relevant.	Ikke relevant.	Ikke relevant.
F. Tilgjengelighet og anvendelighet	Dokumentasjon fra 2019.	Dokumentasjon av GRACE, men foreløpig ikke av GRACE-Nor.	Siste versjon er ikke dokumentert.	Dokumentasjon fra 2020.	Det foreligger foreløpig ikke en fullstendig dokumentasjon av KVARTS.	Dokumentasjon fra 2017.

1. Innledning

En makroøkonomisk modell er en forenklet representasjon av hele økonomien til ett eller flere land. Makromodeller er særlig utviklet for å studere endringer som omfatter flere næringer og sektorer, og til prognoser og framskrivninger. Til sammenligning vil partielle modeller ikke kunne fange opp virkninger utenom de avgrensede næringene som studeres, slik som virkninger på og via andre næringer, for eksempel at priser og inntekt i andre næringer påvirkes. Samtidig har makroøkonomiske modeller som regel mindre detaljert spesifisering av ulike teknologier og mer aggregerte næringer enn partielle modeller.

På klimaområdet brukes makroøkonomiske modeller blant annet i utslippsframskrivninger, i utredninger av mål for klimapolitikken og i analyser av utslippseffekter, kostnader og andre virkninger av klimapolitikk (heretter kalt «klima-analyser»). Dette er sentrale analyseformål for myndighetene, som har behov for kunnskap om hvordan Norge kan nå sine klimamål og hva som vil være konsekvensene av klimapolitikken.

Teknisk beregningsutvalg for klima skal, i henhold til mandatet, vurdere om dagens modeller for å vurdere kostnader og utslippseffekter dekker behovene for analyser på klimaområdet, og foreslå utvikling og/eller videreutvikling av slike modeller. I tillegg skal utvalget vurdere om modellene er egnet til å analysere klimaeffekt av statsbudsjettet. Utvalgets tidligere rapporter har vurdert tiltaksanalyser, økonometriske metoder og partielle modeller, og har

presentert forslag til kategorisering av budsjettposter som et steg mot å beregne utslippseffekter av statsbudsjettet. Formålet med denne rapporten er primært å vurdere makroøkonomiske modeller til bruk i klimaanalyser. Dette inkluderer å vurdere om modellene er egnet til å analysere utslippseffekter av statsbudsjettet, men det gjøres ikke en fullstendig vurdering av modellenes egnethet til dette formålet. Utvalgets videre arbeid med å foreslå metoder for beregning av klimaeffekt av statsbudsjettet er omtalt i utvalgets årlige rapport (Teknisk beregningsutvalg for klima, 2021).

Utvalget har, med noen unntak, valgt å fokusere på nasjonale makroøkonomiske modeller i denne rapporten. Gitt størrelsen på norske utslipp og tidshorizonten for analysene som omtales i rapporten, kan man se bort fra tilbakevirkninger på klima i Norge som følge av norsk politikk. Integrerte evalueringsmodeller, eller Integrated Assessment Models (IAM-er), er derfor ikke vurdert.

I rapporten skiller vi mellom numeriske generelle likevektsmodeller (CGE-modeller), dynamisk-stokastiske generelle likevektsmodeller (DSGE-modeller), makroøkonometriske modeller og hybridmodeller. I Norge er det i dag hovedsakelig SSBs CGE-modell SNOW-NO som brukes til analyser av klimapolitikk og framskrivninger av utslipp. I tillegg til denne modellen har utvalget valgt å beskrive og vurdere fem andre makroøkonomiske modeller som kan ha relevante egenskaper for klimaanalyser. GRACE-Nor

er en global CGE-modell som både fanger opp effekten av økonomisk aktivitet på utslipp og effekten av klimaendringer på økonomien, mens NOREG og REMES er begge CGE-modeller med regional oppløsning. NORA er en nyutviklet DSGE-modell som skal brukes til å analysere hvordan finanspolitikken påvirker sentrale makroøkonomiske størrelser på mellomlang sikt. KVARTS er en kvartalsvis makroøkonometrisk modell som er særlig utarbeidet for konjunkturanalyser, prognoser og politikkanalyser av produksjon og sysselsetting i norsk økonomi på kort og mellomlang sikt.

Modellene er utviklet til svært ulike formål, og utslipp av klimagasser inngår per i dag kun i tre av modellene (SNOW-NO, GRACE og REMES), mens det har vært diskutert å inkludere utslipp i en fjerde modell (NOREG). Det finnes elementer som kan være interessante i alle modellene, også i modellene som per i dag ikke modellerer utslippseffekter. Dette er modellegenskaper som kan være interessante som utgangspunkt for videreutvikling, eller som supplement til modellene som i dag brukes til analyser på klimaområdet.

I utvalgets mandat inngår det også å se til modellbruken i nabolandene våre og etablere kontakt med aktuelle modellmiljø. I rapporten beskriver vi fire ulike modeller som er i bruk i Sverige, Danmark og Finland. Alle disse modellene kan betegnes som generelle likevektsmodeller eller hybridmodeller. I tillegg beskriver vi tre modeller som

brukes internasjonalt, men som er interessante eksempler på bruk av DSGE-modeller, makroøkonometriske modeller og CGE-modeller på klimaområdet.

Neste kapittel gir en oversikt over ulike typer makroøkonomiske modeller. Kapittel tre presenterer forvaltningens behov for analyser på klimaområdet, og legger fram kriterier for at modeller skal være egnet til å svare på disse analyseformålene. I kapittel fire beskrives og vurderes seks norske makroøkonomiske modeller, mens kapittel fem beskriver spesielt relevante modeller fra andre land, først og fremst fra våre naboland. I kapittel seks gir utvalget en samlet vurdering av de seks norske makromodellenes egnethet til å svare på forvaltningens analysebehov. De makroøkonomiske modellene vurderes her kun basert på kriteriene for egnethet for makroøkonomiske klimaanalyser. Neste skritt for utvalget vil være å gjøre en samlet vurdering av metodeapparatet på klimaområdet for å kunne gi anbefalinger om videreutvikling av konkrete modeller og metodeapparatet som helhet.

2. Oversikt over makromodeller

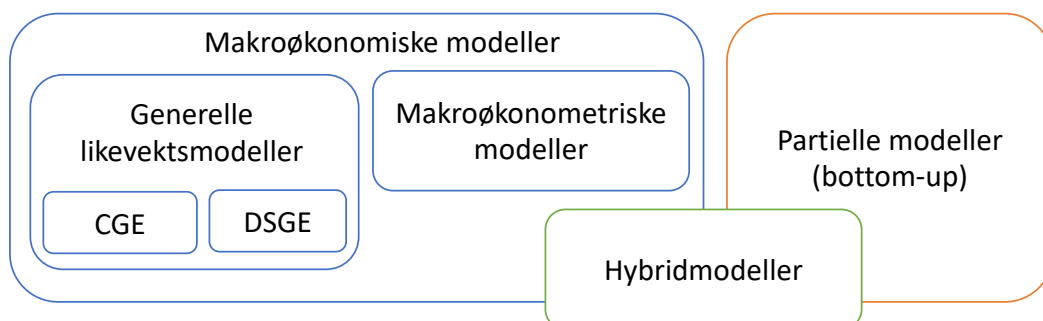
2.1 Innledning

Dette kapitlet gir en oversikt over ulike typer makromodeller. Formålet er å synliggjøre mulighetsrommet og gjøre greie for hvilke modelltyper som kan bidra til å dekke behovet for analyser av klimapolitikk og utslippseffekter av statsbudsjettet. Selv om ikke alle modelltypene i dag brukes til analyser som er relevante for klimagassutslipp, kan det være egenskaper ved disse som er nyttige for videreutviklingen av modellapparatet. Avsnitt 2.2 beskriver fellestrekk og ulike varianter av numeriske generelle likevektsmodeller (CGE-modeller). Avsnitt 2.3 beskriver dynamisk-stokastiske generelle likevektsmodeller (DSGE-modeller), mens 2.4 gir en innføring i makroøkonometriske modeller. Avsnitt 2.5 beskriver hybridmodeller som kombinerer partielle (bottom-up) og generelle (top-down) økonomiske modeller.

Makromodeller gir mulighet til å analysere hvordan endringer i en del av økonomien påvirker andre deler av økonomien og vekselvirkningene som oppstår. Det kan skilles mellom to hovedtyper av makroøkonomiske modeller, selv om skillet mellom de to ikke alltid er like tydelig. Den ene er **generelle likevektsmodeller**. Generelle likevektsmodeller simulerer – som navnet antyder – økonomier i likevekt, og atferden til aktørene i modellen er basert på mikroøkonomisk teori. Med generell likevekt menes det at markedsmechanismene i modellen sørger

for å balansere tilbud og etterspørsel i alle markedene som inngår i modellen. En type generelle likevektsmodeller som er mye brukt til framskrivinger av utslipp og klimapolitiske analyser, er **numeriske² generelle likevektsmodeller** eller **computable general equilibrium models (CGE-modeller)**. En annen gruppe generelle likevektsmodeller, **dynamisk-stokastiske generelle likevektsmodeller (DSGE)**, er utviklet for å studere økonomisk vekst og konjunkturer og åpner for tilfeldig variasjon/stokastikk i de eksogene variablene som inngår.

Den andre hovedtypen makromodeller er **makroøkonometriske modeller**. I motsetning til de generelle likevektsmodellene, bygger ikke makroøkonometriske modeller på et eksplisitt mikroøkonomisk fundament hvor sammenhengene er utledet fra tilpasningen til (representative) optimerende aktører. Tidsserier av kvartalsdata eller årlige data brukes gjerne til å estimere atferdssammenhengene i modellene. Modellene antar som regel ikke optimerende atferd og full ressursutnyttelse i økonomien. Ønsker man å legge inn egenskaper basert på økonomisk teori og antakelser om langsiktig likevekt, kan det legges inn restriksjoner på dette i estimeringen av relasjonene. Da vil den langsiktige løsningen kunne reflektere likevekt, mens den kortsiktige tilpasningen ved sjokk eller forstyrrelser i økonomien bestemmes av data og representerer tregheter i økonomien. Makroøkonometriske modeller brukes ofte til konjunkturanalyser, prognoser og politikkanalyser på kort og mellomlang sikt. I norsk praksis mener en med «makroøkonometriske» modeller ofte etterspørselsdrevne modeller



Figur 2-1. Oversikt over modelltyper som omtales i makrorapporten

² At en modell er numerisk betyr bare at modellen er tallfestet og kan brukes til å kvantifisere effekter i økonomien (i motsetning til teoretiske lærebokmodeller). Basert på denne definisjonen er alle modellene som omtales her numeriske, men det er bare CGE-modellene som har dette begrepet i navnet.

med ledig arbeidskraft og utnyttet kapasitet som kan komme til anvendelse som følge av etterspørselspolitikk.

Hybridmodeller kombinerer egenskaper ved, kobler eller integrerer ulike modeller. I denne rapporten ser vi spesielt på nasjonale hybridmodeller som kombinerer partielle (bottom-up) modeller og makroøkonomiske modeller. På denne måten kan man oppnå en rik beskrivelse av teknologiske forhold i enkeltsektorer samtidig som virkninger på tvers i økonomien blir representert. Et annet eksempel på hybridmodeller i klimasammenheng er integrerte evalueringsmodeller, eller Integrated Assessment Models (IAM). Dette er globale modeller som integrerer naturvitenskap og økonomi, og som derfor kan brukes til analyser av både de fysiske og sosioøkonomiske effektene av klimaendringene. Integrerte evalueringsmodeller brukes ofte til scenarioanalyser og analyser av klimapolitikk globalt og for verdensregioner. Mye av FNs klimapanel (IPCC) sitt scenarioarbeid baserer seg på slike modellsystemer. IAM-modeller er mindre relevante til nasjonale analyser fordi det ofte ikke er en direkte sammenheng mellom nasjonale utslipp og de nasjonale konsekvensene av klimaendringene. Disse modellene er derfor kun kort beskrevet i boks 2-5. Modelltypene er oppsummert i figur 2-1.

Ikke alle modeller vil passe inn i inndelingen ovenfor, og grensene mellom de ulike modelltypene er glidende. Ulike modelltyper kan nærme seg hverandre når det gjelder datagrunnlag, tallfesting, teoretisk grunnlag, behandling av tidsdynamikk, usikkerhet og egnethet til å analysere ulike problemstillinger. I den videre teksten i dette kapitlet vil vi gi en mer dyptgående beskrivelse av typiske karakteristikk ved de ulike modelltypene. Beskrivelsen vil fungere som grunnlag for å avgrense hvilke modeller som kan være

nyttige til analyser av klimapolitikk og utslippseffekter av statsbudsjettet.

2.2 Numeriske generelle likevektsmodeller (CGE-modeller)

Norge har lang tradisjon med å bruke analyser fra CGE-modeller som grunnlag for politiske vurderinger. Den første CGE-modellen ble utviklet av Leif Johansen på slutten av 50-tallet (MSG-modellen³). CGE-modeller tar hensyn til samspill mellom ulike næringer, aktører og markeder i økonomien. De kan derfor kaste lys over den samlede økonomiske virkningen av ulik politikk, og belyse indirekte eller utilsiktede effekter. Den grunnleggende antakelsen om at økonomien er i likevekt medfører at CGE-modeller er best egnet til analyser på lang sikt. Det finnes i dag mange ulike varianter av CGE-modeller som har blitt utviklet for å analysere langsiktige økonomiske problemstillinger innenfor en rekke samfunnsområder, som for eksempel utvikling i offentlige finanser, arbeidsmarked, næringsstruktur og internasjonal handel. Siden 1990-tallet har CGE-modeller også blitt mye brukt til analyser av klimapolitikk.

Modellene kan i stor grad tilpasses ulike problemstillinger og analysebehov, men er basert på noen grunnleggende fellestrekk. Fellestrekke er beskrevet i avsnitt 2.2.1 og 2.2.2. Avsnitt 2.2.3 tar for seg ulike varianter av CGE-modeller. Selv om oversikten over modeller i dette kapitlet gjelder generelt, har vi valgt å trekke fram varianter og eksempler på modeller som brukes til analyse av klimagassutslipp og klimapolitikk. Modellering av klimagassutslipp og bruk av CGE-modeller i klima- og utslippssammenheng er behandlet i avsnitt 2.2.4 og 2.2.5.

2.2.1 Oppbygning og teoretisk grunnlag

CGE-modellene er en videreutvikling av kryssløpsmodellene (beskrevet i boks 2-1). En kryssløpsmodell beskriver hvordan ulike deler av en økonomi henger sammen gjennom bruk av varer, tjenester og innsatsfaktorer. Til forskjell fra kryssløpsmodellene, hvor bedriftenes bruk av varer og tjenester i de ulike næringene er gitt ved faste koeffisienter, legger CGE-modellene til grunn at det kan substitueres mellom ulike varer og innsatsfaktorer.

³ A Model for Multisectoral Growth (MSG) (Bjerkholt, 2009)

BOKS 2-1 Kryssløpsmodeller

En kryssløpsmodell er en statisk framstilling av sammenhengen mellom de ulike næringene i en økonomi. Utgangspunktet er at alle markedene henger sammen og er i likevekt. Modellene angir hvor stor andel av ulike varer og tjenester produsert i en næring som blir brukt som innsatsvare i andre næringer og hvor mye som går til sluttforbruk nasjonalt eller eksporteres til andre land. Modellen gir også en oversikt over bruken av innsatsfaktorer, som kapital og arbeidskraft, i de enkelte næringene. Sammenhengene i kryssløpsmodellen beregnes med data fra en kryssløpstabell. Kryssløpstabellene beskriver tilgang og anvendelse av varer og tjenester for hele økonomien i løpet av en periode (normalt et år).

Det er ingen substitusjonsmuligheter mellom innsatsfaktorene i bedriftenes produktfunksjon eller i husholdningenes konsumfunksjon i kryssløpsmodellen. Alle varer og tjenester blir

produsert med Leontief-teknologi, det vi si med et fast forhold mellom de ulike innsatsvarene og innsatsfaktorene, og husholdningenes konsumsammensetning ligger fast. Det er heller ingen kapasitetsbegrensning på innsatsfaktorer, som kapital og arbeidskraft.

Kryssløpsmodellen kan brukes til å si noe om hvordan etterspørselen etter en vare eller tjeneste fra en næring påvirker etterspørsel og produksjonen i andre næringer, og hvordan prisendringer påvirker kostnader og priser andre steder i økonomien, men ikke samspillet mellom de ulike endringene. For eksempel vil modellen kunne brukes til å analysere hvordan en CO₂-avgift påvirker kostnader og priser for ulike varer og tjenester i økonomien, men ikke hvordan disse pris- og kostnadsendringene påvirker produksjon, sysselsetting og næringsstruktur videre.

Det teoretiske grunnlaget for CGE-modellene er generell likevektsteori. En sentral antakelse er at markedene er i likevekt og at alle markedene henger sammen. Likevekt kjennetegnes ved at tilbud er lik etterspørsel. Både tilbud, etterspørsel og relative priser er endogent modellert.⁴ Dersom prisen på en vare eller tjeneste endres, vil det påvirke prisene på andre varer og tjenester. Kostnadene (og dermed prisene) på produkter som bruker denne varen eller tjenesten som innsatsvare endres, og disse prisendringene fører til at etterspørselen etter andre varer og tjenester endres, noe som fører til videre prisendringer. Etterspørsel og tilbud justeres slik at økonomien er i likevekt igjen. I de fleste CGE-modeller skjer dette umiddelbart. Det er vanligvis en forutsetning at samfunnets ressurser, som arbeidskraft og kapital, er fullt utnyttet og begrenset. Derfor vil økt bruk av ressurser i én næring motsvares av redusert bruk i andre næringer.

Atferden til aktørene og de ulike markedene modelleres i tråd med mikroøkonomisk teori. Representative husholdninger maksimerer sin nytte gitt priser og budsjettbetingelser. Hver næring består av en representativ bedrift som velger den tilpasningen som maksimerer sin profitt til gitte priser. I mange CGE-modeller representeres både produsentenes produksjonsteknologi og husholdningenes

nyttedefunksjon ved hjelp av Constant Elasticity of Substitution (CES)-funksjoner. Disse funksjonene karakteriseres ved at de har konstant substitusjonselastisitet. De gir en abstrakt framstilling av hvordan bedriftene kan kombinere innsatsfaktorer (arbeidskraft, kapital og naturressurser) og innsatsvarer fra andre næringer til å produsere en gitt vare eller tjeneste eller hvordan husholdningene kan kombinere varer og tjenester for å nå et gitt nyttenivå. CES-funksjoner er nærmere beskrevet i boks 2-2.

Dette betyr at CGE-modeller vanligvis ikke modellerer konkrete teknologier. Teknologiene representeres ved ulike kombinasjoner av modellens innsatsvarer og innsatsfaktorer, og endringer i sammensetningen kan tolkes som endring i teknologi. Produsentenes muligheter for energiefektivisering er modellert som substitusjon mellom de ulike energivarene, og innsatsfaktorene arbeid og kapital. En tilpasning til mindre energibruk ved økt investering i kapital kan for eksempel tolkes som overgang til mer energiefektiv teknologi.

Modellene bygger ofte på en antagelse om fullkommen konkurranse i markedene, noe som innebærer at den enkelte aktør oppfatter markedsprisene som gitte. Ved politiske inngrep eller sjokk vil aktørene endre sin tilpasning,

⁴ Verdensmarkedspriser er eksogene i nasjonale modeller.

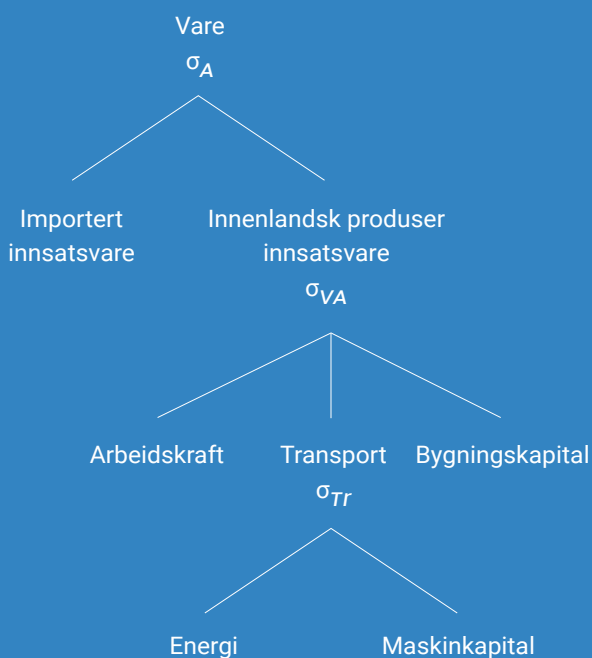
BOKS 2-2 CES-funksjoner

Constant Elasticity of Substitution (CES)-funksjoner karakteriseres ved at de har såkalt konstant substitusjonselastisitet. Substitusjonselastisiteten i en produktfunksjon beskriver hvor enkelt det er å substituere mellom innsatsvarer og innsatsfaktorer, og fortsatt opprettholde samme produksjonsnivå. I en nyttefunksjon beskriver substitusjonselastisiteten hvor lett konsumgodene kan erstatte hverandre, det vil si hvor mye mer av ett gode som må til for å erstatte reduksjon i et annet gode, for et gitt nyttenivå. Substitusjonselastisiteten beskriver dermed i hvilken grad en relativ prisendring fører til at husholdningene eller bedriftene ønsker å endre sammensetningen av konsumgodene eller sammensetningen av innsatsvarer og innsatsfaktorer.

Substitusjonselastisiteten representeres ofte med den greske bokstaven σ . Jo høyere σ , jo enklere kan ulike

innsatsfaktorer erstatte hverandre i produksjonen. Dersom innsatsfaktorene eller godene er perfekte substitutter har vi at $\sigma \rightarrow \infty$. Et eksempel kan være strøm fra ulike leverandører. Motsatt, hvis $\sigma=0$ er innsatsfaktorene/innsatsvarene eller godene komplementære, og kan ikke substituere hverandre (såkalt Leontief-teknologi, hvor det er et fast forhold mellom innsatsfaktorene/innsatsvarene). Cobb-Douglas produktfunksjonen er også en grensefunksjon av CES, hvor $\sigma=1$.

Når σ er konstant betyr det at substitusjonsmulighetene er de samme uavhengig av hvor mye av innsatsfaktorene eller godene som brukes i utgangspunktet. CES-funksjonene i CGE-modellene har ofte flere nivåer, hvor innsatsfaktorer/innsatsvarene på ulike nivå kan ha ulike substitusjons-muligheter, som illustrert i figuren under.



En slik struktur kalles ofte et CES-tre. Substitusjonsmulighetene mellom importerte varer og tjenester og varer og tjenester som produseres innenlands beskrives også ved hjelp av substitusjonselastisiteter. Disse omtales som Armington-elastisiteter, og er basert på antakelsen om at importerte og innenlandske varer og tjenester ikke er perfekte

substitutter. For varer og tjenester som eksporteres antas det også ofte at varer og tjenester solgt i ulike markeder ikke er perfekte substitutter, og dette beskrives ved hjelp av en Constant Elasticity of Transformation (CET) funksjon med tilhørende elastisiteter.

inkludert sitt tilbud og sin etterspørsel etter ulike varer, tjenester og innsatsfaktorer, slik at de relative prisene igjen er slik at markedene er i likevekt.

Modellene er hovedsakelig konstruert for å studere langsiktige og strukturelle endringer i økonomien. Det kan for eksempel være effekten av å videreføre eksisterende politikk, effekten av å innføre ny politikk eller gjennomføre reformer, eller til å studere effektene av andre eksogene sjokk i økonomien (som for eksempel oljeprisfall eller økt innvandring). Den grunnleggende antakelsen om at økonomien er i likevekt medfører at CGE-modeller hovedsakelig analyserer effekter av politikkenninger eller sjokk på den langsiktige likevekten i økonomien. Resultatene fra CGE-modellene beskriver trender for utviklingen basert på antakelser om aktørenes tilpasning og budsjettssammenhenger som forventes å gjelde på lang sikt. Selv om utgangspunktet er likevekt kan modellene tilpasses slik at det tar tid før prisene justeres og at kapitalen og arbeidskraften er mindre mobil. På denne måten kan modellene også si noe om mer kortsiktige effekter og kostnader forbundet med tilpasningen til ny likevekt.

Siden CGE-modellene er utviklet til å analysere strukturelle endringer i økonomien, har de ofte en detaljert spesifisering av tilbudssiden i økonomien. Hvilke detaljer som vektlegges avhenger av formålet med analysen. For eksempel vil modeller som brukes til å analysere effekter av handelspolitikk ha en detaljert beskrivelse av handelsvarer og handelsstrømmer mellom land, mens analyser som brukes på klimaområdet inkluderer en mer detaljert beskrivelse av utslippintensive næringer og energiforbruk. Hvor detaljert etterspørselssiden er modellert avhenger også av formålet med analysen, for eksempel om man er interessert i fordelingseffekter og regionale forskjeller, og dermed er avhengig av en mer detaljert representasjon av husholdninger. Hvor detaljert spesifisering som er mulig avhenger av datatilgjengelighet og kan for eksempel være begrenset av inndelingen i nasjonalregnskapet, som nærmere beskrevet i avsnitt 2.2.2. Det vil også være en avveining mellom hvor detaljrik en modell er og hvor krevende den er å vedlikeholde og forstå. Mer detaljrikdom vil kunne gjøre det vanskeligere å tolke resultater og forstå årsakssammenhenger.

2.2.2 Datagrunnlag

Modellen kalibreres til et gitt basisår. Til dette brukes data som beskriver strukturen i økonomien i basisåret. Hovedkilden er kryssløpstabeller fra nasjonalregnskapet som beskriver tilgang og bruk av varer og tjenester for hele økonomien i et basisår. Kryssløpstabellen kan også

kombineres med data fra andre kilder, for eksempel utslippsregnskapet, avhengig av analysens formål. En del av parameterne i modellen tallfestes ved at modellen kalibreres til datasettet i et historisk år (basisåret), under forutsetning om at økonomien er i likevekt. Som et resultat vil modellene ta utgangspunkt i hvordan økonomien ser ut i basisåret. Strukturen i basisåret legger også føringer for den videre utviklingen. Størrelsen på næringene endres avhengig av utviklingen i de relative prisene, men det vil ikke vokse fram nye næringer eller teknologier som ikke finnes i datagrunnlaget for basisåret, med mindre dette legges inn eksplisitt. Det kan være ressurskrevende å oppdatere basisåret i modellen.

Den andre delen av datagrunnlaget er et sett med anslag på modellens parametere som beskriver aktørenes atferd og hvordan økonomien reagerer på endringer i de eksogene variablene (elastisiteter). Elastisitetene tallfestes ved hjelp av økonometriske studier eller ekspertvurderinger. Det er for eksempel vanlig å bruke estimater på substitusjonselastisiteter fra allerede foreliggende studier. Det antas som regel at elastisiteter som er estimert basert på historiske sammenhenger er gyldige over modellens analyseperiode. Jo mer disaggregert modellen er, jo flere estimerte elastisiteter er det behov for.

Når CGE-modeller brukes i framskrivinger må det i tillegg legges til grunn antakelser om utviklingen i sentrale, eksogene forhold, for eksempel befolkningsvekst (herunder tilbud av arbeidskraft), teknologiutvikling, størrelsen på offentlig sektor, timeverksproduktivitet og internasjonale forhold (for eksempel verdensmarkedspriser for olje, gass og kvoter i EUs kvotesystem).

2.2.3 Ulike typer CGE modeller

Geografisk omfang

Globale CGE-modeller brukes blant annet til å studere globale problemstillinger som utviklingen i internasjonal handel og internasjonale avtaler, inkludert hvordan kostnader og gevinster fordeles mellom land. Globale modeller kan også ha fokus på bestemte regioner eller land, hvor handel og annen interaksjon med hele eller delen av verden er modellert. Globale CGE-modeller som er utviklet til å analysere klimaspørsmål brukes blant annet til å anslå utslippsscenarioer for verdensregioner og for verden samlet, til studier av internasjonale klimaavtaler, kvotemarkedssamarbeid og karbonlekkasje gjennom internasjonal handel. Eksempler på slike modeller er GREEN-modellen utviklet av OECD, MIT-EPPA som bygger på GREEN, GRACE-Nor utviklet av CICERO Senter for klimaforskning, og SNOW-GLO i SSB. Et fellestrekk ved

disse modellene er at de er basert på data fra GTAP (Global Trade Analysis Project). Enkelte globale CGE-modeller brukes i samspill med eller koblet til klimamodeller, som nærmere beskrevet i avsnitt 2.5.

Nasjonale CGE-modeller er viktige verktøy for nasjonal planlegging og politikktutvikling, for eksempel knyttet til skattesystemet eller på klimaområdet. SNOW-NO og EMEC er eksempler på nasjonale generelle likevektsmodeller som brukes til analyser av klimaspørsmål i henholdsvis Norge og Sverige. Modellene brukes både til utslippsframskrivninger, analyser av hvordan ulike virkemidler påvirker kostnader og utslipp (virkemiddelanalyse), og for å analysere dosering/styrke av et gitt virkemiddel (typisk en avgift) som trengs for å oppnå et gitt utslippsmål (mål-middelanalyse). I nasjonale modeller som representerer små åpne økonomier, som Norge, er normalt verdensmarkedsprisene eksogene. Dette er basert på antagelsen om at slike økonomier er for små til å påvirke prisene på verdensmarkedet. Nasjonale forhold, som politikk og næringsstruktur, er mer detaljert representert enn i de globale modellene.

Det finnes også CGE-modeller som har en **regional inndeling** av den nasjonale økonomien. Slike modeller, ofte kalt spatial CGE (SCGE), fanger opp vareflyten mellom regionene og tar ofte hensyn til transportkostnader. I Norge brukes slike modeller primært til analyser av regionaløkonomisk utvikling og for å vurdere investeringer i infrastruktur, ikke til analyser på klimaområdet. De kan imidlertid muliggjøre analyser av fordelings effekter på regionalt nivå. Eksempler på norske SCGE-modeller er NOREG, PINGO og REMES. NOREG har en inndeling på kommunenivå i bunn, men kan aggregeres til det nivået som passer til analysen, for eksempel fylkesnivå. Disse modellene er nærmere beskrevet i kapittel fire.

Tidsdynamikk

CGE-modeller kan være statiske, dynamisk-rekursive⁵ eller intertemporalt dynamiske. I statiske modeller blir ikke tidsdimensjonen eksplisitt tatt med i betraktning. Statiske modeller brukes til å sammenligne likevekter før og etter ny politikk, som økt kvotepris eller økt CO₂-avgift. Effekten av et virkemiddel vil være differansen mellom opprinnelig likevekt uten virkemiddel og ny likevekt med virkemiddelet. Siden det ikke er noen tidsdimensjon i modellen, kan den ikke si noe om veien fra den ene likevekten til den andre. Hvis man ønsker å analysere et gitt år i framtiden (for eksempel 2030), må det gjøres antakelser og om hvordan dette året skiller seg fra basisåret. Typisk brukes

det kalibrerte basisåret som referanse uten ny politikk, eventuelt framskrives referansen til et framtidig år man vil fokusere på. SNOW-GLO er et eksempel på en statisk modell.

Dynamisk-rekursive versjoner er statiske modeller som bindes sammen av kapitalutviklingen fra en periode til neste. Kapitalbeholdningen i en periode er gitt ved kapitalbeholdningen i forrige periode fratrukket kapitalslit og pluss investeringer. En annen mulig kobling mellom perioder er læringseffekter, ved at kostnadene for enkelte teknologier avhenger av hvor mye denne teknologien har vært brukt i tidligere perioder. I dynamisk-rekursive modeller er aktørene myopiske og tar beslutninger basert på at de økonomiske forholdene vil være uendret i framtiden. Sparing og konsum er faste andeler av inntekt, og husholdningene endrer ikke sparing eller konsum basert på forventninger om framtiden. Aktørene gjør sine valg uten å kjenne til eller ta hensyn til framtidig politikk, framtidige kontantstrømmer eller konsummuligheter. SNOW-NO og EMEC er eksempler på dynamisk-rekursive modeller.

I intertemporalt dynamiske CGE-modeller optimerer aktørene over flere perioder basert på sine forventninger om framtiden. En eller flere av de økonomiske prosessene og systemene i modellen er funksjoner av tid, herunder blant annet sparing og investering. Det betyr at løsningen for én periode avhenger av løsningen i alle andre perioder. Med mindre noe annet er spesifisert, har aktørene i modellen full innsikt om alle utfall som kan realiseres i modellen, også kalt *modellkonsistente forventninger og perfekt framsyn*. Det vil si at aktørene tar sine beslutninger om produksjon, forbruk og investering basert på forventninger som sammenfaller med dem som blir realisert i modellen. I referansescenariet er økonomien i en langsiktig likevektsbane. Veien til ny likevekt etter et sjokk presenteres ved en tilpasningsbane. Når denne banen stabiliserer seg, er økonomien i sin nye langsiktige likevektsbane. Hvis det er lagt inn tregheter i aktørenes tilpasning, vil det ta tid før økonomien oppnår likevekt etter et sjokk. Intertemporalt dynamiske modeller egner seg derfor godt til å skille mellom midlertidige og langsiktige effekter. Slike modeller kan blant annet brukes til å analysere investeringsatferd. I klimasammenheng er slike modeller særlig nyttige for studier av teknologisk utvikling basert på profittdrevet forskning og utvikling (FoU). Videre, fordi de tar hensyn til at aktørene har forventninger om framtiden, vil intertemporalt dynamiske modeller være godt egnet til analyser av tiltak og virkemidler som er varslet på forhånd, eller

⁵ Begrepet *dynamisk-rekursiv* henviser her til måten modellen er løst på, det vil si at modellen løses periode for periode. Innenfor dynamisk programmering brukes begrepet rekursivt for å referere til en løsningsmetode utviklet av Richard Bellman som ofte benyttes for intertemporale problemer.

analyser av situasjoner der det er rimelig at aktørene forventer en gradvis strammere klimapolitikk over tid. SNOW-DYN er et eksempel på en intertemporalt dynamisk modell som er under utvikling i Norge. En annen modell er den såkalte ITC (Induced Technological Change)-modellen til SSB, som brukes til å modellere investeringer i FoU både innenfor energiteknologier og andre (generiske) teknologier (Bye et al., 2008).

Dynamisk-rekursive modeller og intertemporalt dynamiske modeller med perfekt framsyn kan ses på

som to ekstremer. Aktørene vet enten alt eller ingenting om framtida. En modell med perfekt framsyn kan være egnet for analyser av politikk som er annonsert i god tid i forveien. Hvilken modell som gir mest realistisk tilpasning er et empirisk spørsmål. I den grad perfekt framsyn er en urealistisk antagelse, vil intertemporalt dynamiske modeller underestimere kostnadene forbundet med klimapolitikken. En fordel med intertemporalt dynamiske modeller er at man har mer fleksibilitet i de antakelsene som gjøres om de ulike aktørenes forventninger til framtiden.

BOKS 2-3 OLG-modeller

Dynamiske CGE-modeller i Ramsey-Cass-Koopmans tradisjonen (referert til som intertemporalt dynamiske CGE-modeller i teksten over) er basert på representative konsumenter som i modellabstraksjonen lever evig og tar hensyn til konsekvenser av dagens politikk for all framtid. Overlappende generasjonsmodeller (OLG-modeller) skiller seg fra disse modellene ved at aktørene blir modellert som å ha et endelig livsløp; de blir 'født' unge og med begrensede ressurser, de arbeider og sparer i løpet av livsløpet, og ofte pensjonerer de seg før de dør. Hver periode kommer en ny generasjon inn og en generasjon forlater økonomien. På ethvert tidspunkt består økonomien av et tverrsnitt av generasjoner på forskjellige stadier i livsløpet—derav navnet «overlappende generasjoner.» Normalt er disse aktørene modellert som å ta optimale beslutninger med foroverskuende forventninger. Tidlig teoretisk analyse av slike modeller viste at uregulerte OLG-økonomier ikke nødvendigvis var effektive, og at myndigheter kunne realisere effektivitetsgevinster enten ved finans- eller pengepolitikk. Det er et større handlingsrom for finanspolitikk i slike modeller fordi den endelige horisonten til aktørene gjør at dagens aktører ikke nødvendigvis regner med å måtte betale myndighetenes forpliktelser i framtidige perioder.

Tidlig forskning på OLG-modeller var hovedsakelig teoretisk, opptatt av eksistens og unikheter av likevekter, og av muligheten for at modellene genererte bobler i verdien av ikke-produktive spareobjekter. Utover 1990-tallet ble det også betydelig interesse for numeriske OLG-modeller som kunne brukes til å vurdere effekter av finanspolitikk på lang sikt. OLG-modeller tar hensyn til hvordan generasjoners respons til finanspolitikk varierer med alder, og dermed hvordan

den demografiske sammensetningen er med på å bestemme aggregerte utfall. OLG-modeller egner seg spesielt godt til vurdering av spørsmål knyttet til langsiktig offentlig gjeld, demografisk utvikling, og framtidige pensjonsforpliktelser—ettersom de gjør det mulig å studere interessekonflikter både innenfor og mellom generasjoner. Disse konfliktene mellom generasjoner på kort og lang sikt kan studeres uten å blande spørsmålet om hvordan generasjoner selv diskonterer velferd over sitt livsløp med spørsmålet om hvordan en normativt bør diskontere velferden til generasjoner født på ulike tidspunkt. Særlig har OLG-modeller blitt mye brukt til å vurdere mulige pensjonssystemer og reformer i disse opp mot hverandre. Fehr et al. (2003) er et eksempel på en OLG-analyse av tidligpensjonsordninger i Norge.

Miljø- og klimapolitikk er også langsiktig politikk som berører interessekonflikter mellom generasjoner. Bovenberg og Heijdra (1998) var et tidlig forsøk på å bruke et OLG rammeverk til å se på om (og eventuelt hvordan) kombinasjoner av flere virkemidler kan løse miljøproblemene på en måte som ikke går på bekostning av enkeltgenerasjoner. Kotlikoff et al. (2021) viser hvor langt denne litteraturen foreløpig har kommet. Med en storskala 55-perioders OLG-modell, som bygger inn klimamodellen fra DICE-modellen i Nordhaus (2017), modellerer de produksjon av et enkelt konsumgode med kapital, arbeidskraft og energi som innsatsfaktorer, og de modellerer eksplisitt produksjon av både grønn og brun energi (kull, olje og naturgass). Kotlikoff et al. (2021) finner at store effektivitetsgevinster ved en aktiv klimapolitikk kan fordeles mellom generasjoner på en måte som gjør at alle generasjoner får ta del i gevinstene.

Kotlikoff et al. (2021), og mye av den beslektede akademiske litteraturen, tar utgangspunkt i globale modeller som integrerer klimaskade for å kunne vurdere balansen i kostnader og gevinster mellom generasjoner. Politikktutforming på nasjonalt nivå står overfor litt andre utfordringer, siden det ofte er nødvendig å se på hvordan en på mest effektivt vis kan oppfylle gitte internasjonale forpliktelser om utslippsreduksjoner. For nasjonal politikktutforming kan det også være ønskelig med en høyere detaljeringsgrad for hvordan virkemidler påvirker produksjon og utslipp i flere næringer. Dette kan realiseres uten å gi slipp på det intergenerasjonelle aspektet dersom en forenkler eller fjerner klimatilbakekoblingene som har stått sentralt i den akademiske litteraturen. Foreløpig har få modeller laget for praktisk politikktutforming forsøkt å basere seg på et eksplisitt OLG-rammeverk. Et unntak er modellen MAKRO, som er under utvikling av Danish Research Institute for Economic Analysis and Modelling (DREAM). MAKRO er en OLG-modell som både har optimerende aktører og såkalte «hand-to-mouth» (myopiske) aktører; disse lever i 85

perioder, og modellen har i alt 9 produksjonssektorer når en også teller offentlig sektor (Bonde et al., 2021). MAKRO er beslektet med GreenREFORM-modellen som er nærmere beskrevet i kapittel 5, men MAKRO har per nå ingen eksplisitt modellering av klimagassutslipp.

Det gjenstår å se hvor praktisk anvendelig modellen MAKRO vil bli. Det blir en numerisk tung modell som ofrer noen detaljer om produksjon i bytte mot å kunne vurdere interessekonflikter mellom generasjoner. For utforming av klimapolitikk som både er effektiv og har støtte i befolkningen, kan det godt tenkes at interessekonflikter mellom generasjoner er like viktig som interessekonflikter mellom produksjonssektorer på et gitt tidspunkt. På lang sikt kan det også være relevant å ta hensyn til hvordan arbeidstilbudet til en aldrende befolkning svarer på virkemidlene. Da kan OLG-modeller potensielt være nyttige supplement til CGE-modeller som har en høy grad av detaljer om bedriftene, og dermed etterspørselen etter arbeidskraft.

2.2.4 Hvordan er utslipp modellert i CGE-modeller?

Mange av CGE-modellene som brukes til analyser på klimamrådet er basert på GREEN-modellen, som er utviklet av Organisasjonen for økonomisk samarbeid og utvikling (OECD) (Fæhn et al., 2020a). Denne typen CGE-modeller kjennetegnes ved at de knytter økonomisk aktivitet til utslipp av klimagasser og inkluderer ulike mekanismer som påvirker økonomisk aktivitet, som klimapolitiske virkemidler.

Hvilke utslipp og muligheter for utslippsreduksjoner som er representert varierer, og avhenger blant annet av utslippsstrukturen i økonomien som modellen er utviklet for å analysere. CO₂-utslipp er inkludert i alle modeller som brukes til å studere utslipp av klimagasser og klimapolitikk (Fæhn et al., 2020a), men det er også vanlig å inkludere de andre klimagassene som metan, lystgass og F-gasser, og i noen tilfeller utslipp av partikler og annen luftforurensning.

Alle CGE-modeller som brukes til analyser av klimagassutslipp modellerer utslipp knyttet til energiforbruk. Energirelaterte utslipp er knyttet til bruken av en energivare, og kan modelleres ved at bruk av energivaren multipliseres med en utslippskoeffisient knyttet til energivaren. Klimagassutslipp fra ikke-energirelaterte prosesser,

som utslipp knyttet til selve produksjonsprosessen i for eksempel industri og jordbruk (prosessutslipp), og utslipp fra LULUCF (land use, land use change and forestry) er mindre vanlig å modellere (Fæhn m.fl. 2020). SNOW og EMEC er eksempler på modeller som modellerer prosessutslipp, men ikke LULUCF. MIT-EPPA og GreenREFORM, en dansk modell som er under utvikling, er eksempler på modeller som også inkluderer utslipp og opptak fra LULUCF (se kapittel fem for en beskrivelse av disse modellene).

Aktørene i CGE-modeller kan redusere sine utslipp gjennom aktivitetstilpasning, teknologitilpasning eller begge deler. Teknologitilpasning skjer ved at aktørene bytter fra en teknologi til en annen, noe som reduserer utslippene per produsert enhet i den enkelte næring. Teknologitilpasningen kan modelleres som abstrakte eller konkrete teknologivalg. De abstrakte teknologivalgene er representert ved substitusjonselastisitetene i bedriftenes produktfunksjon (CES-funksjoner) og husholdningenes nyttestruktur. Teknologitilpasningen skjer da ved at produsentene benytter seg av en ny sammensetning av innsatsvarer og innsatsfaktorer, eller at husholdningene benytter seg av en ny sammensetning av konsumvarer. Den nye sammensetningen presenterer et teknologivalg uten å spesifisere hvilken teknologi som benyttes. Substitusjonselastisiteten kan sies å fange opp hvor enkelt det er for aktørene å redusere sitt energiforbruk.

Substitusjonen kan skje mellom ulike energivarer, som olje, gass og elektrisitet. Energieffektivisering er ofte også representert ved substitusjon av energi mot mer kapital og/eller arbeid. For eksempel vil investeringer i kapital for å redusere oppvarming av bygninger fange opp tiltak som å sette inn nye vinduer, installere nye og mer effektive panelovner, isolering av bygningsmasse osv. Et konkret teknologivalg kan for eksempel innebære at aktørene har mulighet til å investere i en elbil i stedet for en fossilbil, varmepumper eller renseteknologier, som karbonfangst og lagring (CCS). Aktivitetstilpasning skjer ved at aktørene reduserer produksjon eller forbruk for en gitt teknologi, som å bytte fra fossil bil til offentlig transport. Det antas ofte å være et fast forhold mellom prosessutslipp og produksjonsnivået, med mindre modellen inkluderer muligheten for å investere i teknologier som kan redusere utslippsintensiteten.

For å få fram forskjeller mellom næringer når det gjelder utslipp og substitusjonsmuligheter, inkluderer de fleste CGE-modeller som brukes på klimaområdet relativt mange næringer, energivarer og teknologimuligheter. Siden CGE-modeller dekker hele økonomien, vil de fange opp at den endelige utslippseffekten avhenger av samspillet mellom ulike markeder i økonomien.

Substitusjonsmulighetene i modellen er begrenset av basisåret. Det betyr at teknologier som ikke var i bruk i basisåret heller ikke vil inngå i modellens substitusjonsmuligheter over analyseperioden. Slike nye teknologier kan legges inn i modellen eksogent. Teknologisk utvikling er ofte lagt inn som eksogene antakelser om endringer i faktorproduktiviteten, inkludert en gitt effektivitetsutvikling i bruken av energi (Fæhn et al., 2020a). Teknologisk utvikling kan også legges inn som eksogen endring i substitusjonselastisitetene.

Hvilke teknologiske muligheter aktørene har for å redusere sine utslipp er av stor betydning for kostnadene knyttet til klimapolitikk. For å få med flere konkrete teknologivalg og utvikling i framtidige teknologimuligheter, er det en utvikling i retning av at flere CGE-modeller integrerer informasjon fra detaljstudier av enkeltteknologier og enkeltprosesser i modellen, såkalt nedenfra- og opp (bottom-up)-tilnærming, og/eller kobler modellen til teknologirike partielle modeller. Se avsnitt 2.5 om hybridmodeller for en nærmere beskrivelse av disse metodene. Noen modeller har også brukt bottom-up informasjon for å legge inn en form for endogen teknologisk utvikling, for eksempel ved å legge inn

læringskurver, eller for å modellere endogene utslippskoeffisienter gjennom å legge inn kurver for utvikling i marginal rensekostnad (MAC-kurver).⁶

2.2.5 Hvordan er samfunnsøkonomiske kostnader modellert?

CGE-modeller brukes både til analyser av klimapolitiske virkemidler, modellering av langsiktige scenarier og mål/middelanalyser. Modellene kan for eksempel brukes til å lage konsistente, langsiktige scenarier for utviklingen i økonomien og utslippene som medfølger, eller å beregne effekter av klimapolitikk eller pakker av klimatiltak på aktivitetene som er modellert.

Siden CGE-modellene modellerer alle aktørenes tilpasninger i økonomien, kan man beregne **samfunnsøkonomiske velferdseffekter** knyttet til virkemidler eller mål om utslippsreduksjoner. I de fleste CGE modeller inkluderes ikke verdien av selve utslippsreduksjonene. Velferdseffektene som beregnes vil oftest være negative, og betegnes gjerne som **samfunnsøkonomiske kostnader**. Innføring av klimavirkemidler vil kunne medføre direkte og indirekte kostnader ved at aktørene må velge et energiforbruk, produksjonsnivå og konsum som oppleves som mindre gunstig enn i utgangspunktet. Når en skal beregne de samfunnsøkonomiske kostnadene, vil ikke bare slike direkte kostnader for enkeltaktører være viktige, men også hvordan kostnadene veltes over til andre deler av økonomien gjennom kryssløpet, hvordan de påvirker faktormarkedene og hvordan politikken samspiller med allerede eksisterende politikkinngrep og markedsimperfeksjoner. Også totaltilgangen på ressursene påvirkes gjennom endringer i arbeidstilbud og investeringer.

Kostnadsberegningen i modellen har imidlertid begrensninger. For det første er det som regel en rekke markedsimperfeksjoner som ikke fanges opp i modellen. Nye eller endrede virkemidler kan for eksempel øke eller redusere omfanget av eksterne effekter i tillegg til nytten av reduserte utslipp, slik som positive helseeffekter gjennom redusert lokal luftforurensing eller kunnskaps- og nettverkseksernaliteter. Tilpasningskostnader, for eksempel at det tar tid for arbeidstakere som mister jobben å finne en ny eller for bedrifter å ta i bruk nye og billigere innsatsfaktorer i produksjonen, påvirker også de samfunnsøkonomiske kostnadene knyttet til klimavirkemidler. Overgangsperioden

⁶ For en gjennomgang av de ulike måtene teknologiinformasjon brukes på i ulike modeller, se Fæhn et al. (2020a).

modelleres ikke i statiske modeller, og tilpasningskostnadene fanges dermed ikke opp. I dynamiske modeller kan i prinsippet tilpasningskostnader modelleres dersom det legges inn tregheter i tilpasningen. Dersom det ikke legges inn tregheter antar man at all tilpasning skjer umiddelbart.⁷ Ressurser som blir frigjort ett sted i økonomien, for eksempel i utslippsintensive aktiviteter, antas å komme til nytte i andre deler av økonomien i løpet av kort tid. Dette bidrar til å undervurdere kostnadene. Det er derfor rimelig å tenke på velferdskonsekvensene fra modellberegninger uten tregheter som de langsiktige samfunnsøkonomiske kostnadene.

I en modell med kun én eller få representative husholdninger vil det være begrenset hvor mye modellen kan si om fordelings effekter mellom ulike inntektsgrupper. Det vil også påvirke hvor realistisk modelleringen av velferdskostnadene er, ettersom modellen verken fanger opp heterogenitet i arbeidstilbud eller preferanser. Avhengig av datatilgjengelighet er det mulig med en mer detaljert inndeling av husholdninger etter geografi, inntekt eller en kombinasjon for å se på fordelings effekter, samtidig som mer detaljert modellering, både på tilbuds- og etterspørselssiden, stiller krav til datakilder og krever flere forutsetninger og eksogene estimater.

2.2.6 CGE-modeller som vurderes i denne rapporten

Metode for å anslå utslipps- og kostnadseffekter nasjonalt er en sentral del av mandatet til Teknisk beregningsutvalg for klima. Av de ulike typene CGE-modeller er det de som har nasjonal oppløsning som er mest relevante å bruke til disse formålene. Utvalget mener i tillegg at det er viktig å belyse fordelings effekter ved utforming av klimapolitikk, og ønsker å bidra til metodeforbedringer også på dette feltet. For å analysere fordelings effekter kan – i tillegg til de nasjonale CGE-modellene – CGE-modeller med regional oppløsning (innad i et land) være relevante. Utvalget har på denne bakgrunn avgrenset beskrivelser og vurderinger av CGE-modeller til nasjonale og regionale CGE-modeller, og ikke vurdert globale CGE-modeller nærmere. Et unntak er GRACE-Nor som er en global CGE-modell som er utviklet for å analysere problemstillinger som er spesielt relevante for Norge.

2.3 Dynamisk-stokastiske generelle likevektsmodeller

DSGE-modeller er kjent for bruk til makroøkonomiske framskrivinger i sentralbanker og analyser av pengepolitikk. DSGE-modeller har flere egenskaper som er relevante for analyser av klimapolitikk og utslippseffekter ved at de er intertemporalt dynamiske, og tilrettelegger for analyser av usikkerhet og risiko i en dynamisk kontekst. Hittil er DSGE-modeller i liten grad brukt i denne typen analyser, og så vidt vi kjenner til er det ingen eksempler på bruk av DSGE-modeller på klimaområdet i Norge. I dette kapitlet fokuserer vi derfor på å beskrive grunnleggende karakteristikk ved DSGE-modeller og omtale relevante eksempler på bruk i klimasammenheng fra den internasjonale forskningslitteraturen.

DSGE-modeller modellerer eksplisitt hvordan økonomien kan bli påvirket av tilfeldige sjokk, mens i CGE-modeller må slike sjokk eventuelt belyses gjennom scenario- og sensitivitetsanalyser. Risiko og usikkerhet er modellert ved tilfeldig variasjon (stokastikk) i en eller flere parametere i modellen. Dette betyr at samme sett med parameterverdier og innledende forhold kan føre til en rekke forskjellige utfall fordi ulike kjøring av modellen kan gi ulike resultater. Treghet og friksjon gjør at modellene er egnet til å belyse tilpasningskostnader og andre kortsiktige effekter knyttet til konjunkturutvikling og klimapolitikk. En av de store forskjellene mellom deterministiske og stokastiske modeller er at de stokastiske bedre vil fange opp hvordan aktørene forholder seg til usikkerhet i økonomien, for eksempel evne til å håndtere teknologisk og politisk usikkerhet. En intertemporalt dynamisk modell vil være tyngre å kjøre enn en dynamisk-rekursiv modell. Det kan derfor kreves forenklinger av modellen på andre områder. Tilsvarende gjelder for en modell med stokastikk. Inkludering av slike elementer må derfor veies opp mot om man mister noe vesentlig i forenklingen av modellen.

Tilnærmingen til modellering for DSGE-modeller er likevel veldig lik den for CGE-modeller. Dynamikken som er typisk for DSGE og innlemming av usikkerhet kan ses på som en annen dimensjon av CGE-modellering. For å studere klimaspørsmål vil det normalt være viktig med detaljert modellering av produksjonsprosesser og substitusjonsmuligheter i de ulike næringene som genererer utslipp. CGE-modeller er typisk mer detaljerte i form av heterogenitet (i næring,

⁷ Et norsk unntak er Bye (2000).

produksjon, land, osv.), men DSGE-modellene beveger seg også i den retningen (Hassler og Krusell, 2018). En mulig utvikling er at CGE og DSGE-litteraturen vil bevege seg nærmere hverandre og kanskje til og med smelte over i en type modell når beregningskraft og erfaring med å jobbe med numeriske økonomiske modeller vokser.

2.3.1 Oppbygging og teoretisk grunnlag

DSGE-modeller tar utgangspunkt i mikroøkonomisk teori og realkonjunktursteori. DSGE-modeller som brukes til analyser av pengepolitikk har vanligvis tre modellblokker: en etterspørselsblokk, en tilbudsblokk og en pengepolitikkblokk. I modellen følger produksjonen av varer og tjenester av nivået på sysselsettingen og kapitalbeholdningen. For husholdningene modelleres konsumetterspørselen ofte som en funksjon av forventet framtidig konsum og realrenta. Et unntak her er den norske DSGE-modellen NORA. Bedriftene er framoverskuende og tar beslutninger om produksjon og investeringer basert på forventninger som blir realisert i modellen. Kapitaletterspørselen vil være lik økonomiens samlede kapitalbeholdning så lenge forventet avkastning på kapital er lik realrenta, gitt antagelsen om perfekte kapitalmarkeder. To typer husholdninger inngår i modellen, hvor den ene typen er framoverskuende mens den andre er likviditetsbeskranket. Husholdningene tilbyr arbeidskraft, og reallønna er enten fleksibel eller pålagt noe rigiditet. Styringsrenta følger av sentralbankens beslutninger og er normalt modellert ved en Taylorligning (Taylor, 1993).

De innebyggede friksjonene i arbeids- og varemarkedene (keynesianske egenskaper) er eksempelvis vanedannelse i konsum og kapitaljusteringskostnader. «Sticky prices» er ofte modellert ved en antakelse som sier at kun en andel av bedriftene kan endre prisene sine i hver periode. Slike tregheter i aktørenes tilpasning innebærer at det vil ta tid før økonomien oppnår likevekt etter en endring. Det er stor uenighet blant forskere om hvor mye nominell rigiditet som er riktig å anta, men priser og lønninger vil «alltid» endre seg, også i likevekt. Samlet kalles disse egenskapene for det mikroøkonomiske fundamentet i modellen.

2.3.2 Datagrunnlag

DSGE-modeller blir estimert på tidsseriedata for en gitt periode. Der parameterne ikke lar seg estimere blir de kalibrert. En vanlig metode er en bayesiansk tilnærming, som innebærer å oppdatere anslagene på parameterverdien i modellen basert på hva data forteller. Ved å

basere seg på tidligere vurderinger og erfaringer om økonomiens virkemåte dannes en a priori oppfatning om sannsynlighetsfordelingen til parameterne. Denne a priori oppfatningen justeres i henhold til hva data forteller. Sluttproduktet er en sannsynlighetsfordeling over parameterne, betinget på de data vi observerer. Det bayesianske rammeverket gir et utgangspunkt for blant annet å tallfeste prognoseusikkerheten i modellen, som blant annet kan anvendes til å lage usikkerhetsbånd rundt anslagene. DSGE-modeller modelleres som et simultant system som innebærer at kompleksiteten raskt øker.

2.3.3 Hvordan er samfunnsøkonomiske kostnader modellert?

DSGE-modeller kan brukes til å analysere konsekvenser av ulike eksogene sjokk for den økonomiske utviklingen og tilhørende samfunnsøkonomiske velferdseffekter. DSGE-modeller vil kunne forklare hvilke virkningsmekanismer som gjør seg gjeldende. DSGE-modeller brukes både til analyser av klimapolitiske virkemidler, modellering av langsiktige scenarier og mål/middelanalyser. Modellene kan for eksempel brukes til å lage konsistente, langsiktige scenarier for utviklingen i økonomien og utslippene som medfølger. Videre kan det beregnes effekter av klimapolitikk eller pakker av klimatiltak på aktivitetene som er modellert. Slik vil de samfunnsøkonomiske kostnadene modelleres på samme måte som i CGE-modeller. Andre sjokk som lar seg modellere i DSGE-modeller, er betydningen av endringer som virker via aktørenes preferanser, gjennom forventninger til framtiden eller usikkerhet knyttet til politikk eller andre sjokk. Sammenlignet med CGE-modeller kan DSGE rammeverket i større grad si noe om samfunnsøkonomiske kostnader som følger av slik usikkerhet.

I DSGE-modeller vil endringer i finanspolitikken måtte motsvares av andre endringer for at budsjettet skal gå opp, noe som er en konsekvens av at hele økonomien modelleres. Dette er ikke tilfelle i en makroøkonometrisk modell, som innebærer en åpen beskrivelse av finanspolitikken. Her må brukeren av modellen spesifisere finansieringen knyttet til finanspolitikkskiftet.

2.3.4 Relevans for klimapolitikk

DSGE-modeller har egenskaper som kan være relevante for analyse av klimapolitikk. For eksempel kan både dynamikken og usikkerheten som modelleres i DSGE-modellene være elementer som påvirker effektene

av klimapolitikk og utslipp på kort sikt. Treghet og friksjon gjør at modellene er egnet til å belyse tilpasningskostnader (for eksempel arbeidsledighet) og andre kortsiktige effekter knyttet til konjunkturutviklingen. Imidlertid er det mulig å inkludere samme type dynamikk og friksjon som er typisk i DSGE-modeller også i CGE-modeller. Ifølge Hassler og Krusell (2018) utvikles DSGE-modeller i retning av mer heterogenitet (i næringer/produksjon, land osv.) slik at de blir likere CGE-modeller.

Vi skiller mellom modeller som kan analysere både den fysiske og sosioøkonomiske effekten av klimaendringene samtidig (Intergrated Assesement Models, se boks 2-5), og modeller som ikke kan det. Mange av de nyeste klima-DSGE modellene er forlengelser av tidligere IAM-er. Framtredende eksempler på slike modeller er PAGE, FUND og DICE-modellen. Den opprinnelige implementeringen av stokastisk dynamisk programmering i DICE startet med Kelly og Kolstad (1999, 2001). De fleste videreutviklingene av IAM-er til DSGE-modeller er basert på DICE-modellen, disse kalles også DSICE (Dynamic Stochastic Integrated Model of Climate and Economy). Et unntak er Golosov (2014) som har utviklet en fullskala DSGE IAM som løses i lukket form. Her bygges det altså ikke videre på DICE rammeverket. Denne modellen inneholder en detaljert energisektor med innsatsfaktorer som olje, kull og grønn energi. DSGE-modeller har blitt benyttet til å analysere effekten av blant annet ulike vippepunkter i klimasystemet (Lemoine og Traeger, 2014; Lontzek et al., 2015), usikker framtidig økonomisk vekst (Jensen og Traeger, 2014), vitenskapelig usikkerhet knyttet til klimasensitivitet (Jensen og Traeger, 2013; Ackerman et al., 2013), samt koblingen mellom naturkatastrofer og klimaendringer (Bretscheger og Vinogradova, 2019).

En annen gruppe DSGE-modeller som er relevante for klima er såkalte E-DSGE modeller. E-DSGE står for «environmental»-DSGE, og er en utvidelse av DSGE-modellene til å inneholde elementer fra miljø og klima. Denne typen modeller har blitt brukt til å studere klimapolitikk og konjunkturer, med mål om å forstå samhandlingen mellom klimapolitikk og makroøkonomiske variable, i tillegg til effekter av ulike virkemidler i klimapolitikken på økonomien. Ettersom bedriftenes og husholdningenes beslutninger er dynamiske og framoverskuende, kan de også være tidsvarierende. Dette er en særegen egenskap for E-DSGE modeller. Optimal prising kan derfor variere over tid, og løses betinget av realiseringen av ulike sjokk

En retning innenfor E-DSGE litteraturen ser på hvordan ulike virkemidler slik som avgifter, utslippskvoter eller blandede virkemidler endrer seg med usikkerhet. Her er det særlig interessant hvordan miljøpolitikk optimalt bør reagere, avhengig av om økonomien er i oppgangs- eller nedgangstider. For produktivitetssjokk finner de fleste studiene at optimal klimaavgift er prosyklisk. Heutel (2012) utvikler en realkonjunkturmodell hvor karbonutslipp er et biprodukt av bruttonasjonalprodukt og akkumuleres i atmosfæren. Han finner at optimale avgifter og kvoter er prosykliske, slik at de øker i oppgangstider og reduseres i nedgangstider. I Fisher og Heutel (2013) viser de ved bruk av en liknende modell at optimal politikk er å la utslippene være prosykliske. Lintunen og Vilmi (2013) finner at en optimal klimagassavgift som er uendret over tid, er et nesten like effektivt virkemiddel som en syklisk varierende optimal klimagassavgift.

En annen retning innenfor E-DSGE litteraturen rangerer ulike virkemidler. Majoriteten av denne litteraturen peker på at kvoter gir redusert volatilitet, men også høyest samfunnsøkonomisk kostnad, mens klimagassavgifter gir høyere volatilitet, men er assosiert med en lavere samfunnsøkonomisk kostnad. Fischer og Springborn (2011), Heutel (2012), og Angelopoulos et al. (2010) kombinerer realkonjunkturteori med modellering av utslipp. Artiklene konkluderer med at utslippskvoter generelt reduserer volatilitet mer enn avgifter, men kommer til ulik konklusjon når de sammenligner effekt på velferdsnivå. Dissou og Karnizova (2012) utvider modellen til å skille mellom bedrifter i energi-produserende og ikke energi-produserende næringer som blir påvirket av eksogene produktivitetssjokk. Deres resultat er at velferdsimplikasjonene av nye avgifter og utslippskvoter avhenger av kilden til det eksogene sjokket. For sjokk i energirelatert produksjon holder konklusjonen ovenfor, men for ikke-energirelatert produksjon stiller virkemidlene likt.

En E-DSGE modell utviklet av den polske forskningsinstitusjonen Institute for Structural Research (IBS), bytter ut den tradisjonelle pengepolitikk-bolken med myndigheter, og inkluderer en energisektor som genererer utslipp. Modellen kalles Macroeconomic Mitigation Options (MEMO) og er nærmere beskrevet i kapittel fem. Modellen kan tilpasses datasett fra ulike land og er brukt til analyser i flere land for ulike problemstillinger. I forbindelse med at MEMO har fått forskningsmidler gjennom Horizon 2020 ble det utviklet en online verktøykasse for MEMO, hvor ikke-eksperter kan simulere og analysere de makroøkonomiske konsekvensene av ulike klimatiltak for Chile, Hellas og Polen. Verktøykassen er tilgjengelig for alle som ønsker å bruke den.⁸

⁸ Verktøykassen finnes her: <https://ibs.org.pl/en/resources/memo-toolbox/>

I den første anvendelsen av MEMO (Bukowski og Kowal, 2010) ble modellen brukt til å analysere effekten av en pakke på om lag 120 ulike utslippsreducerende tiltak som ble identifisert gjennom en «bottom-up» analyse av McKinsey & Company, samt effekten av en rekke alternative energipakker, som vind og solkraft, karbonfangst og lagring, og kjernekraft. MEMO har senere blitt videreutviklet for å inkludere endogen teknologisk utvikling (Bukowski, 2014). Bukowski (2014) viser til at å inkludere endogene FoU-utgifter og endringer ved kapitalbeholdningen reduserer økonomiens respons på et sjokk. Muligheten til å investere i FoU gir bedriftene en ekstra tilpasningsmekanisme og en mulighet til å minimere sin egen følsomhet for framtidige sjokk.

I Horizon 2020 ble MEMO brukt til å analysere effekten av blant annet skatt på kjøp av ulike råmaterialer i byggenæringen, en økning i merverdiavgiften på kjøttprodukter og avgift på uttak av råvarer. Formålet var å analysere politikk fremmet for å bedre ressurseffektiviteten.⁹

Antosiewicz et al. (2016) benyttet MEMO til å analysere de makroøkonomiske konsekvensene av en avgift på henholdsvis produksjon og materialer benyttet i industri-, energi- og transportsektorene i EU27 landene. MEMO ble i Chile benyttet til å analysere effekten av CO₂-avgift og andre klimatiltak i et samarbeid mellom Verdensbanken, Finansdepartementet og Miljødepartementet i Chile (Antosiewicz et al., 2020).

2.3.5 DSGE modeller som vurderes i denne rapporten

Utvalget anbefaler å følge med på utviklingen av DSGE-modeller på klimaområdet, selv om det fortsatt er langt igjen før dette er relevant for analyser av virkemidler og budsjetteffekter i Norge. Selv om det foreløpig ikke finnes DSGE-modeller i Norge som benyttes i analyser av klimapolitikk og utslippseffekter, er det relevant å beskrive og vurdere

BOKS 2-4 Norske DSGE-modeller

DSGE-modeller er i Norge brukt til analyser av pengepolitikk, blant annet i Norges Bank hvor de bruker modellen NEMO (Norwegian Economy MOdel). Modellen er utviklet i Norges Bank og er en makromodell for prognoser og pengepolitisk analyse. Den er basert på internasjonal forskning og modellutvikling de siste 20 årene og har mange fellestrekk med tilsvarende modeller i andre sentralbanker.

NEMO bygger på at Norge med egen valuta kan bestemme sitt eget nivå på inflasjonen over tid. Et krav i modellen er derfor at pengepolitikken forankrer inflasjonsforventningene og bringer inflasjonen tilbake til målet. I modellen legges det til grunn at aktørene tar hensyn til pengepolitikken og ser framover når de fattar beslutninger om pengeplasseringer, forbruk og investeringer, lønn og priser.

NEMO er en «ny-keynesiansk» DSGE-modell og kjennetegnes ved at den har keynesianske egenskaper på kort og mellomlang sikt og klassiske egenskaper på lang sikt. Det vil si at fordi priser og lønninger tilpasses tregt, kan pengepolitikken påvirke etterspørselen, og dermed produksjonen og sysselsettingen på kort og mellomlang sikt. På lang sikt, derimot, er produksjonen bestemt av teknologi, preferanser og tilgang på innsatsfaktorer.

Det er viktig at NEMO kan forklare de viktigste utviklingstrekkene i norsk økonomi, slik de framkommer av data. En vesentlig del av modellutviklingen har bestått i empirisk evaluering av NEMO på norske data.

Modellen er estimert som et system med utgangspunkt i en bayesiansk tilnærming. I NEMO brukes data for kvartalsvis bruttonasjonalprodukt (BNP), konsum, investeringer, sysselsetting, reallønn, inflasjon, importert inflasjon, realvalutakursen og nominell rente. For de utenlandske variablene i modellen bruker Norges Bank handelsvektede data for BNP, inflasjon, nominell rente og lønnskostnader. Dette gir i alt 13 observerbare variable. Prognoseegenskapene til NEMO er sammenlignet med alternative modeller som i mindre grad bygger på økonomisk teori (Brukbakk og Sveen, 2008). NEMO er relativt treffsikker sammenlignet med konkurrerende modeller.

Modellen anses ikke som relevant for klimaanalyser i dag. Potensialet for relevant utvidelse av modellen er også vurdert som lite både fordi den er lite egnet til formålet og fordi modellen eies, brukes og videreutvikles av Norges Bank.

DSGE-modeller som kan ha relevante egenskaper for denne typen analyser. Den norske modellen NORA som brukes i SSB beskrives derfor videre i kapittel fire, mens modellen MEMO fra Polen beskrives i kapittel fem.

2.4 Makroøkonometriske modeller

Makroøkonometriske modeller er en vanlig modelltype i finansdepartement og brukes ofte til konjunkturanalyser, prognoser og politikkanalyser på kort og mellomlang sikt, som regel opp til 10 år fram i tid. En sentral forskjell mellom makroøkonometriske modeller og CGE-modeller er at de makroøkonometriske modellene som regel ikke antar optimerende atferd og full ressursutnyttelse i økonomien. Modellene er ofte basert på kvartals- eller årsdata, hvor kvartalsmodellen KVARTS er et eksempel på førstnevnte og årsmodellen MODAG, som tidligere ble benyttet, var et eksempel på sistnevnte. Også for denne modelltypen gjelder det at den i mindre grad enn CGE-modeller brukes til analyser av klimapolitikk og utslippseffekter. MODAG ble ved enkelte anledninger utvidet med en ettermodell med utslipp og benyttet til å anslå tilpasningskostnader ved bruk av CO₂-avgift for å redusere utslipp. I dette avsnittet fokuserer vi på grunnleggende egenskaper ved makroøkonometriske modeller og hvorfor modelltypen kan være relevant for analyser av klimapolitikk.

2.4.1 Oppbygging og teoretisk grunnlag

Makroøkonometriske modeller bygger på sammenhenger mellom makroøkonomiske aggregater. Sammenhengene kan enten være definisjonsmessige eller avledet fra økonomiske teori hvor parameterne estimeres basert på statistiske data, som regel tidsserier. Makroøkonometriske modeller bygger ikke på et eksplisitt mikroøkonomisk fundament hvor sammenhengene er utledet fra tilpasningen til (representative) optimerende aktører. Hvis man ut fra økonomisk teori ønsker å stille krav om at modellen skal ha bestemte egenskaper, må disse bygges inn ved å legge restriksjoner på estimeringen av relasjonene. For eksempel kan det legges restriksjoner på sammenhengene slik at sammenhengen på lengre sikt er konsistente med økonomisk teori, mens tilpasningen mot langtidssammenhengene er bestemt av data. Dette innebærer at modellen representerer tilpasningstreggheter, som gjør at det kan ta tid

før effektene av et sjokk fullt ut er i samsvar med langtids-sammenhengene. På denne måten kan også makroøkonometriske modeller ha likevektsegenskaper på lang sikt, selv om de ikke kan omtales som numeriske generelle likevektsmodeller. Dette gjelder både KVARTS og den danske makroøkonometriske modellen ADAM (Danmarks Statistik, 2012), som både er kortsiktige konjunkturmodeller og modeller som beveger seg mot likevekt på lengre sikt. Slike modeller kan dermed brukes for å beskrive overgangen mellom kort sikt og lang sikt.

De samlede egenskapene til en makroøkonometrisk modell framkommer gjennom samspillet mellom sammenhengene i modellen. Siden sammenhenger vanligvis er estimert enkeltvis, kan modeller settes opp for å gi en detaljert beskrivelse av næringer, varer, inntektsstrømmer osv. Dette kan gi en bedre beskrivelse av hvordan økonomien påvirkes av sjokk, men mer detaljerte modeller bli mindre oversiktlige, og det kan bli vanskeligere å oppsummere virkningsmekanismer. Makroøkonometriske modeller bruker i stor grad historiske sammenhenger, basert på tidsseriedata, for å si noe om hvordan aktørene i økonomien vil oppføre seg i framtiden. Dermed vil ikke modellen ta inn over seg av aktørenes atferd kan påvirkes av forventningen om framtiden.

2.4.2 Datagrunnlag

Tallgrunnlaget for estimeringen av de makroøkonometriske modellene er som regel tidsserier for aggregerte nasjonalregnskapsstørrelser. Sammenhengene i makroøkonometriske modeller tallfestes ofte hver for seg, men nært tilknyttede sammenhenger kan også estimeres som systemer.

En utfordring for numeriske generelle likevektsmodeller kan være at kravet om systemkonsistens bidrar til at sentrale enkeltparametere kommer ut med verdier som oppfattes som mer eller mindre rimelige. Utfordringen for tallfestingen av makroøkonometriske modeller er at enkeltrelasjoner med rimelige partielle egenskaper kan gi urimelige systemegenskaper når de samles i en full modellbeskrivelse for økonomien. Den endelige utformingen av relasjonene vil både reflektere 'teoretiske' restriksjoner på langtidsegenskaper, hensynet til gode økonometriske egenskaper og hensynet til hvordan sammenhengene samlet sett oppfattes å gi en rimelig beskrivelse av sammenhenger mellom sentrale makroøkonomiske hovedstørrelser.

⁹ Se Bosello et al., (2016) for mer om ressurseffektivitet i det EU finansierte prosjektet DYNAMIX.

2.4.3 Hvordan er samfunnsøkonomiske kostnader modellert?

Modellene gir mulighet til å analysere effekter på sentrale økonomiske størrelser som BNP, konsum osv. Siden modellene ikke bygger på eksplisitt beskrivelse av optimerende atferd, gir de ikke grunnlag for å modellere velferds-effekter av politikkendringer.

2.4.4 Relevans for klimapolitikk

Makroøkonometriske modeller blir sjeldnere benyttet i klimasammenheng enn CGE-modeller. Det kan skyldes at tidshorizonten normalt er for kort for å studere mange klimapolitiske mål og tiltak. De kan imidlertid gi kunnskap om omstillingskostnader (for eksempel arbeidsledighet), konjunktoreffekter og kortsiktige utslippseffekter. E3ME er den mest kjente klimarelevante makroøkonometriske globale modellen. Denne modellen er nærmere beskrevet i kapittel fem.

2.4.5 Makroøkonometriske modeller som vurderes i denne rapporten

Modellen KVARTS, som er utviklet av SSB, er et eksempel på en makroøkonometrisk modell. KVARTS-modellen

brukes ikke til analyser på klimaområdet, men har egenskaper som kan være relevante for slike analyser. Modellen er derfor beskrevet i kapittel fire. I tillegg beskrives den globale, makroøkonometriske modellen E3ME i kapittel fem.

2.5 Hybridmodeller

Hybridmodeller kombinerer egenskaper ved, kobler eller integrerer ulike modeller. Vi vil her konsentrere oss om nasjonale hybridmodeller som kombinerer partielle (bottom-up) modeller og makroøkonomiske modeller. Et eksempel på globale hybridmodeller i klimasammenheng, er integrerte evalueringsmodeller, eller Integrated Assessment Models (IAM), se boks 2-5.

Partielle modeller beskriver økonomiske og tekniske sammenhenger for deler av økonomien, som for eksempel energi- eller landbrukssektoren, men uten at samspillet med resten av økonomien er representert.¹⁰ Partielle modeller er ofte teknologirike og kan inkludere detaljert etterspørsels- og tilbudsideatferd i den aktuelle sektoren. Ved å kombinere partielle modeller og makroøkonomiske modeller kan man oppnå en detaljert beskrivelse av både

¹⁰ Partielle modeller som er i bruk på klimaområdet er beskrevet og vurdert i Teknisk beregningsutvalg for klima (2020).

BOKS 2-5 Integrerte evalueringsmodeller (IAM)

Integrerte evalueringsmodeller (Integrated Assessment Models) er globale hybridmodeller som integrerer naturvitenskap og økonomi. IAM-er gjør det mulig å analysere både de fysiske og sosioøkonomiske effektene av klimaendringene. Integrerte evalueringsmodeller brukes ofte til scenarioanalyser og analyser av klimapolitikk globalt og for verdensregioner, blant annet for å finne karbonprisbaner som er i tråd med et gitt utslippsmål. Mye av IPCCs scenarioarbeid baserer seg på slike modellsystemer.

Det finnes mer enn 20 integrerte evalueringsmodeller. Weyant (2017) skiller mellom to hovedtyper IAM-systemer: Detailed process (DP) består av disaggregerte (bottom-up) modeller. Benefit cost (BC) består av CGE-modeller med klimamodul,

som modellerer virkningen av utslipp på klimaet og tilbakevirkninger fra klimaet på økonomien (der begge deler normalt vil være forenklet/på redusert form). Det er mest vanlig at modellene som inngår i IAM-ene er «hard-linket» (Helgesen, 2018).

IAM-ene er som regel for aggregerte til å kunne analysere kostnader og utslippseffekter av klimapolitikk og annen politikk i et lite land som Norge. I tillegg kan man som en første tilnærming se bort fra tilbakevirkninger på klimaet i Norge som følge av norsk politikk. Integrerte evalueringsmodeller er derfor ikke vurdert i detalj i denne rapporten. For en utdypende gjennomgang av integrerte evalueringsmodeller, se vedlegg 2 i NOU 2018:17 Klimarisiko og norsk økonomi.

teknologiske forhold og økonomiske virkninger på tvers i økonomien. Dette kan gjøres på flere måter, der graden av hybridisering vil variere.

En første mulighet er å **innarbeide bottom-up teknologiinformasjon** i den makroøkonomiske modellen. På klimaområdet kan det være særlig aktuelt å:

- introdusere muligheten til å investere i konkrete teknologier framfor implisitt (eller abstrakt) modellering via substitusjonselastisiteter
- innarbeide marginalkostnadskurver som er utledet fra bottom-up analyser¹¹, til erstatning for CES-funksjoner
- legge inn gjennomsnittsrepresentasjoner/-etterlikninger basert på informasjon fra partielle modeller
- bruke partielle modeller til å estimere substitusjonselastisiteter

Det kan diskuteres om slik innarbeiding av teknologiinformasjon i en makroøkonomisk modell kan kalles en hybridmodell, eller om det dreier seg om å forbedre datagrunnlaget og parameterne i modellen slik at teknologimulighetene blir bedre representert.

En annen mulighet er å koble makroøkonomiske modeller til partielle modeller. Dette kan gjøres på to måter: Ved **«soft-linking»** skjer utvekslingen av informasjon mellom modellene manuelt, mens ved «hard-linking» utvikles et modellsystem der informasjon utveksles automatisk (Wene, 1996). I begge tilfeller itereres det mellom modellene inntil de konvergerer (er konsistente). En fordel med «hard-linking» framfor «soft-linking», er at man lettere vil avdekke eventuelle feil (tilfeller der modellene er inkonsistente). Det finnes flere eksempler på studier innen energi- og klimafeltet med «soft-linking» mellom energisystemmodeller og CGE-modeller. Det finnes også eksempler på «soft-linking» mellom globale CGE-modeller og klimamodeller, for eksempel i modellsystemet som benyttes av Massachusetts Institute of Technology¹².

Ved **«hard-linking»** gjøres det ofte forenklinger i en av modellene, slik at modellsystemet ikke blir for komplekst. Man sier gjerne at modellen er representert på redusert form. IntERACT-modellen, som brukes av Energistyrelsen

i Danmark, er et eksempel på en modell med «hard-link» mellom en CGE-modell og en partiell, teknologirik modell som dekker det danske energisystemet (TIMES-DK).¹³ I Helgesen et al., (2018) «hard-linkes» den regionale SCGE-modellen REMES (Regional Equilibrium Model for Norway with focus on the Energy System) med energisystemmodellen TIMES-NO for å studere hvordan et utslippsreduksjonsmål for transportsektoren påvirker energisystemet og den økonomiske utviklingen i ulike regioner i Norge.

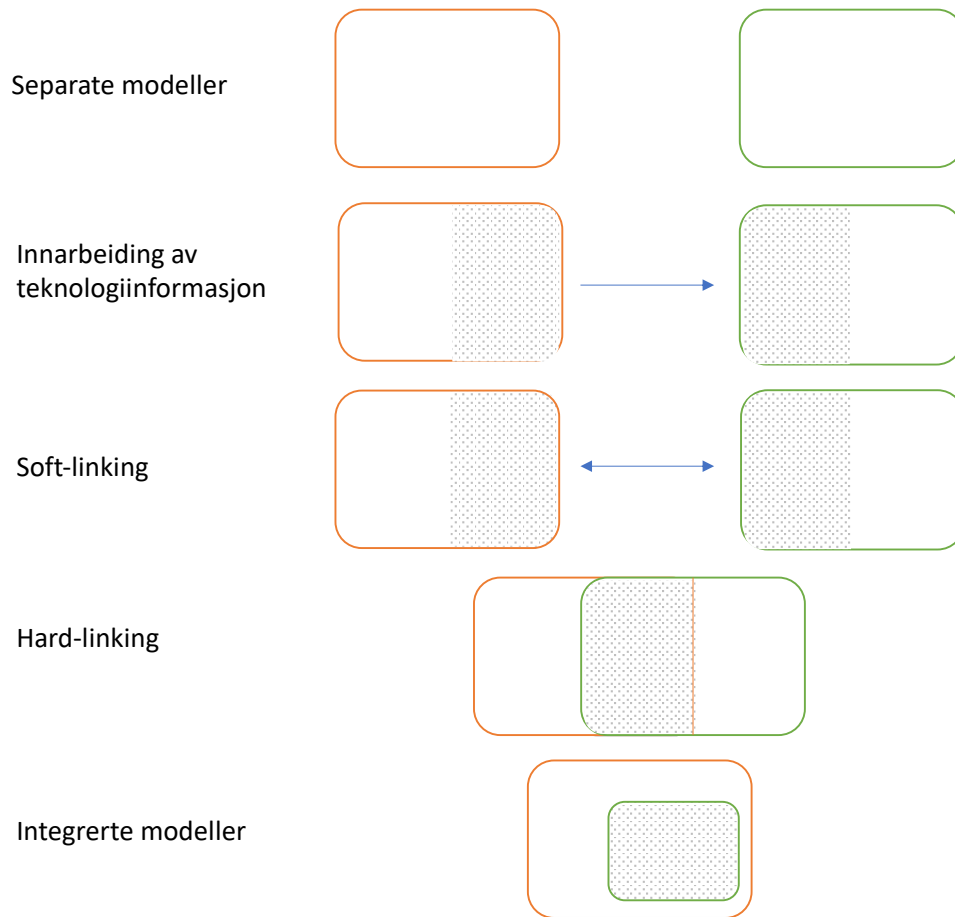
En siste variant av hybridmodeller innebærer å **integre modellene fullt ut**, som i praksis vil si at likningene i den ene modellen legges inn i den andre. Dette forutsetter et konsistent datagrunnlag for hele modellsystemet, som kan være krevende når man kombinerer partielle, teknologirike modeller med generelle likevektsmodeller som er basert på nasjonalregnskapet. Selv om det er vist hvordan dette kan løses teoretisk, så er det begrenset med studier som er gjennomført med integrerte modeller. De fleste er avgrenset til å se på sammenhenger mellom elektrisitetssektoren og et begrenset utvalg av resten av økonomien, med andre ord er den makroøkonomiske modellen satt opp i redusert form (Helgesen et al., 2018). Helgesen og Tomasgard (2018) utvikler en integrert modell bestående av en statisk CGE-modell og en stilisert energisystemmodell, og sammenligner resultater med kjøring av ulike varianter av «hard-linkede» modeller som bygger på de samme delmodellene og datasettene. Studien finner at de «hard-linkede» modellene gir identiske resultater med den integrerte modellen. Dette kan dog ikke garanteres teoretisk. Det konkluderes blant annet med at en integrert modell er beregningsteknisk enklere å håndtere når den først er etablert, og at tidsbruken er lavere, dersom modellen ikke blir for stor og kompleks. Ved økt størrelse og detaljrikdom vil man ofte nå en kompleksitet der «hard-linking» og iterasjon er nødvendig for å løse modellen. Optimalt valg av modelltype vil derfor avhenge av hvor detaljerte delmodeller man har behov for å inkludere; ved høyt detaljbehov kan koblede modeller være å foretrekke (og motsatt). Den danske modellen GreenREFORM, som omtales nærmere i kapittel fem, vil trolig kunne defineres som en «fullskala» integrert modell, det vil si at delmodellene ikke er representert på redusert form.

Figur 2-2 illustrerer de ulike variantene av hybridmodeller som er beskrevet her.

¹¹ Et eksempel er Miljødirektoratets metode for tiltaksanalyser som er beskrevet og vurdert Teknisk beregningsutvalg for klima (2019).

¹² Massachusetts Institute of Technology (u.å.).

¹³ I kapittel fem i Teknisk beregningsutvalg for klima (2020), ble den norske versjonen av TIMES-modellen beskrevet og vurdert.



Figur 2-2. Ulike varianter av hybridmodeller. Kilde: Helgesen et al. (2018)

3. Kriterier for å vurdere modellene

3.1 Introduksjon

Utvalget ga i sin andre rapport noen vurderinger av hvordan partielle modeller kan brukes til å beregne utslipps- og kostnadseffekter av virkemidler og poster på statsbudsjettet. De konkluderte blant annet med at dagens transportmodellsystem er godt egnet til å vurdere utslippseffekter av virkemidler som primært har virkninger i transportsektoren. Videre fant utvalget at partielle energimodeller kan være egnet til å vurdere effekten av ulike virkemidler på energietterspørselen og konsekvenser for kraftsystemet, og at elektrifisering gjør det stadig mer relevant å integrere transportmodeller og energimodeller. Utvalget fant også at en detaljert partiell modell for jordbrukssektoren kan være egnet til å anslå de langsiktige virkningene av større endringer i jordbrukspolitikken. Det ble også pekt på at makromodeller kan gi viktige bidrag i klimaanalyser, for eksempel for å se på langsiktige virkninger av sektorovergrepene virkemidler, og for å fange opp samspillseffekter og unngå dobbelttelling når man ser på utslippseffekter av statsbudsjettet. Utvalget vurderer i denne rapporten makromodeller og hybridmodeller (omtales noen steder bare som «makromodeller» nedenfor) til bruk i klimaanalyser ut fra forvaltningens behov.

Makromodeller dekker hele økonomien og fanger derfor opp samspillseffekter mellom sektorene i økonomien. Makromodeller som knytter økonomisk aktivitet i næringene til utslipp av klimagasser gjør det mulig å analysere samfunnsøkonomiske kostnader og totale utslippseffekter av sektorovergrepene avgifter og andre virkemidler, og samspill mellom ulike virkemidler. At hele økonomien og utslippene fra den inngår i makromodeller, gjør det mulig å analysere virkemiddelbruk for å nå et mål som gjelder hele eller store deler av økonomien, og konsekvensene det vil medføre. Det er imidlertid ikke gitt at alle utslippskilder må inkluderes i en makromodell. Noen utslippskilder er det kanskje mer hensiktsmessig å dekke i en partiell modell med større detaljgrad enn i en makroøkonomisk modell. Det avhenger blant annet av i hvilken grad det er interaksjon mellom disse utslippene/aktivitetene og resten av økonomien.

I behovsgjennomgangen nedenfor må det dermed tas i betraktning at partielle modeller også kan gi viktige bidrag til analyseformålene, og at disse for noen virkemidler kan være bedre egnet enn makromodeller. Det vil også noen

ganger være nyttig å bruke flere metoder/modeller for å belyse ulike sider av en problemstilling. Det er heller ikke gitt at den samme makroøkonomiske modellen kan brukes til alle analyseformålene, men at det er behov for å bruke flere ulike modeller i kombinasjon.

3.2 Forvaltningens behov for analyser på klimafeltet

For å nå Norges klimamål er det behov for kunnskap om gode løsninger som kan redusere utslipp og øke opptak av klimagasser. I utvikling av klimapolitikken har forvaltningen særskilt behov for makromodeller til å analysere hvordan sentrale sektorovergrepene virkemiddel som CO₂-avgiften og kvotesystem påvirker økonomien. For å kunne dimensjonere virkemiddelbruken er det behov for anslag på utslippseffekten, kostnadene og fordelings-effektene en slik politikk medfører. Det er også et behov for å kunne kartlegge hvordan andre vesentlige virkemidler påvirker tilpasningen til ulike avgiftsnivåer. Blant annet samspillet mellom sektorspesifikke virkemidler innenfor særskilt viktige sektorer og ulike sektorovergrepene virkemidler. Norge har flere rapporteringsforpliktelser på klimaområdet, hvor resultater fra analyser med makromodeller inngår, som for eksempel utslippsframskrivinger. Vi oppsummerer her forvaltningens behov for analyser på klimafeltet som makromodeller kan være egnet til å dekke. Oppsummeringen er blant annet basert på informasjon innhentet fra ulike deler av forvaltningen. Norske klimamål og rapporteringsforpliktelser er nærmere beskrevet i boks 3-1.

3.2.1 Analyser av ulike virkemidler og utslippskilder

Norsk klimapolitikk er tett knyttet til EUs klimapolitikk. Det er derfor nødvending med en inndeling av utslippskilder i henhold til EUs rammeverk, som skiller mellom kvotepfiktige utslipp, ikke-kvotepfiktige utslipp og utslipp og opptak i skog og andre arealer (LULUCF). EUs klimarammeverk, og mer generelt regelverket for klimapolitikken til enhver tid, har stor innvirkning på analysebehovene. Inndelingen av utslippskilder i EUs rammeverk gjør det nødvendig å skille mellom disse utslippskildene også i modellapparatet. Denne inndelingen bør være fleksibel

ettersom regelverket er i endring. Modellene bør også håndtere at det er fleksibilitet på tvers av rammeverket som regulerer utslippskilder i de tre kategoriene, og at det er usikkerhet knyttet til hvordan fleksibiliteten kan og vil praktiseres. Det må derfor kunne gjøres antagelser om dette for å kunne beregne kostnader og andre makroøkonomiske effekter av målene.

Forvaltningen har behov for å vite hvordan virkemidler rettet mot ikke-kvotepliktig sektor påvirker utslipp på kort og lang sikt, hvilke kostnader og andre konsekvenser som er forbundet med virkemiddelbruken, og hvordan kostnadene fordeles, både mellom husholdninger og mellom bedrifter. Norge får med de nåværende forpliktelsene til 2030 et eksplisitt utslippsbudsjett for de ikke-kvotepliktige utslippene. Siden transport og jordbruk står for de største andelene av de ikke-kvotepliktige utslippene, er disse særlig viktige sektorer å kunne analysere. For kvotepliktige utslippskilder setter det felles europeiske kvotesystemet tak på utslippene, og mål om utslippsreduksjon skal nås i fellesskap, noe som har innvirkning på analysene og behovet for analyser. Det vil være nødvendig å analysere effekten av ulike endringer i kvotesystemet, som endring i kvotepris og hvordan det påvirker Norges samlede utslipp. Det kan også være interessant å vurdere kostnader og andre virkninger av kvotesystemet på norske bedrifter, effekter av endringer i kvotesystemet, samt effekter av eventuelle tilleggsvirkemidler rettet mot kvotepliktige utslippskilder. På den ene siden er makromodellering som inkluderer kraftsektoren er mindre viktig for utslippsanalyser i Norge enn i andre land, fordi kraftproduksjonen allerede i stor grad er utslippsfri. På den andre siden er det betydelige utslipp fra petroleumssektoren i Norge. Videre vil det være nyttig med verktøy som kan anslå effekten av ulike virkemidler på utslipp og opptak i skog og arealer. Samspillet mellom økonomisk aktivitet og arealbruk gjør det relevant å vurdere makromodellers egnethet til denne typen analyser. Videre kan det endre seg over tid hvilke sektorer som er viktig å kunne analysere i detalj, fordi mål og rammeverk for målene endres over tid.

3.2.2 Utslippsframskrivinger

Utslippsframskrivingene omfatter framskrivinger av både utslipp og opptak av klimagasser. Utslippsframskrivingene beskriver utslippsutviklingen gitt eksisterende politikk og virkemidler, og kan ha en selvstendig verdi som beskrivelse av mulig utvikling framover. Utslipp er nært knyttet til økonomisk aktivitet, og må derfor ses i sammenheng med den overordnede økonomiske utviklingen. I utarbeidelsen av utslippsframskrivingene i Norge suppleres ofte

makromodellen SNOW med andre mer detaljerte beregningsmodeller og metoder. Utslippene i Norge avhenger av handlingene til noen hundre tusen bedrifter og flere millioner personer. Framskrivningene forsøker å fange opp de overordnede utviklingstrekkene og drivkreftene bak disse handlingene. De må derfor bygge på vurderinger av utviklingstrekk i norsk og internasjonal økonomi, blant annet økonomiske, teknologiske og befolkningsmessige forhold. Usikkerheten i framskrivingene er stor, og øker jo lenger fram i tid framskrivingene løper. Utslippsframskrivingene benyttes også som referansebane når nye mål skal utredes, eller ved analyse av nye virkemidler. For vurderinger og rapportering på utslippsmål og forpliktelser for deler av økonomien, slik som for ikke-kvotepliktige utslipp eller utslipp og opptak i skog og andre arealer, er det behov for at framskrivingene er spesifisert etter denne inndelingen.

3.2.3 Utslippseffekt av statsbudsjettet

Ifølge klimalovens § 6 skal regjeringen i budsjettproposisjonen for neste års statsbudsjett redegjøre for klimaeffekten av framlagt budsjett. Kvantitative anslag for klimaeffekten av hele budsjettet på kort og lengre sikt er hittil ikke utarbeidet. Så langt har tilnærmingen hovedsakelig vært å gi kvalitative vurderinger av klimaeffekter av utvalgte bevilgninger på statsbudsjettet (gjelder både inntekter og utgifter). De kvantitative anslagene har vært begrenset til budsjettposter med formål om å redusere utslipp eller øke opptak av klimagasser. Metodene som brukes i dag er bygget opp nedenfra («bottom up») og tilnærmingene varierer slik at det er vanskelig å sammenligne anslag på tvers av sektorer. På grunn av samspill mellom virkemidler og indirekte effekter i økonomien vil ikke summen av partielle vurderinger nødvendigvis være lik den samlede klimaeffekten av statsbudsjettet. Det er derfor behov for å vurdere hvor egnet makromodeller er til å anslå utslippseffekten av statsbudsjettet (særlig utslippseffekten av det samlede budsjettforslaget – men også for sentrale enkeltposter som har utslippsvirkninger i flere sektorer).

3.2.4 Særskilte behov knyttet til langsiktige analyser

Et sentralt analysebehov er kunnskap om hvordan eksisterende og planlagte virkemidler påvirker tilpasningen i økonomien, og tilhørende effekter på utslipp over tid. Det kan være behov for å utrede konsekvenser av mulige nye mål og nye forpliktelser i klimapolitikken. Kunnskap om de langsiktige effektene av virkemidler kan være viktig for

BOKS 3-1 Norske klimamål og rapporteringsforpliktelser

I februar 2020 meldte Norge inn et forsterket klimamål for 2030 under Parisavtalen. Det forsterkede målet for 2030 er at utslippene skal reduseres med minst 50 prosent og opp mot 55 prosent sammenlignet med utslippsnivået i referanseåret 1990. Norsk klimapolitikk er tett knyttet til EUs klimapolitikk. Gjennom klimaavtalen med EU har Norge forpliktet seg til å samarbeide med EU om å redusere utslippene med minst 40 prosent innen 2030 sammenlignet med 1990-nivå. I likhet med Norge har EU sendt inn et forsterket mål for 2030. Det nye målet er å redusere netto utslipp med minst 55 prosent sammenlignet med 1990. EU-kommisjonen la fram forslag til endringer i regelverket sommeren 2021 for å kunne nå EUs forsterkede mål. Det foreslås blant annet at kvotepliktig sektor må redusere utslippene med 61 prosent og at utslippene fra ikke-kvotepliktig sektor må reduseres med 40 prosent sammenlignet med 2005-utslipp.

I det gjeldende rammeverket i EU er utslippene delt i tre deler med hvert sitt regelverk og egne mål: kvotepliktige utslipp regulert gjennom kvotedirektivet, ikke-kvotepliktige utslipp regulert gjennom innsatsfordelingsforordningen, og utslipp og opptak i skog og andre arealer (LULUCF). For skog og arealer har Norge, gjennom avtalen med EU, et eget utslippsmål (netto-null) med et eget regelverk for hvordan utslipp og opptak i skog og arealer skal regnes. Mens kvotepliktige utslipp fra norsk industri, petroleum, energiproduksjon og luftfart vil være omfattet av EUs kvotesystem hvor den samlede kvotemengden gradvis reduseres, har Norge en egen forpliktelse for ikke-kvotepliktige utslipp hvor vi har forpliktet oss til å redusere disse med minst 40 prosent innen 2030 sammenlignet med 2005-nivå. Med klimaavtalen med EU om klimamålet for 2030 har Norge også fått et forpliktende utslippsbudsjett for årene 2021 – 2030 for de ikke-kvotepliktige utslippene. Utslippsbudsjettet setter både en grense for hva utslippene kan være for hele tiårsperioden, og en grense for hva utslippene kan være hvert år. Det er åpnet for noe fleksibilitet på tvers av de tre rammeverkene for å medvirke til mer effektiv gjennomføring av utslippskuttene på tvers av EU.

Eksempler på fleksible mekanismer er kjøp av utslippsenheter fra andre europeiske land, overføring av kvoter fra det europeiske kvotesystemet eller bruk av kreditter som representerer opptak fra skog og annen arealbruk. Regjeringen har som mål at

reduksjonen i ikke-kvotepliktige utslipp skal skje gjennom innenlandske tiltak og planlegger for dette. Om det er strengt nødvendig, vil regjeringen ta i bruk fleksible mekanismer i EUs rammeverk for å sikre tilstrekkelige utslippsreduksjoner. Regjeringen har et mål om å redusere de ikke-kvotepliktige utslippene med 45 prosent innen 2030. Regjeringens mål innebærer en overopppfylling av forpliktelsen Norge har gjennom deltakelsen i EUs gjeldende regelverk for ikke-kvotepliktige utslipp, og er ikke juridisk bindende. Norge ønsker å samarbeide med EU om å oppfylle det forsterkede målet for 2030 under Parisavtalen. Norges gjeldende forpliktelse på 40 prosent reduksjon i ikke-kvotepliktige utslipp innen 2030 sammenlignet med 2005-nivå er lik eller veldig lik forpliktelsene til Danmark, Tyskland, Luxemburg, Finland og Sverige gjennom EU. I forslaget fra EU-kommisjonen er målene for disse landene økt til 50 prosent. Når regelverket er vedtatt i EU vil Norge vurdere om, og eventuelt på hvilke vilkår, regelverket skal gjelde for Norge.

Norge har en rekke rapporteringsforpliktelser som påvirker behovet for analyser på klimaområdet. Det skal rapporteres både til FN under Klimakonvensjonen og Parisavtalen, til ESA i klimaavtalen med EU, og til Stortinget under klimaloven. Den årlige rapporteringen til Stortinget skal blant annet inneholde informasjon om utslippsframskrivingene, gjennomføring av de lovfestede klimamålene, sektorvise utslippsbaner for ikke-kvotepliktig sektor, status for Norges utslippsbudsjett og klimaeffekt av statsbudsjettet. Kvantitative anslag for klimaeffekten av hele budsjettet på kort og lengre sikt er hittil ikke utarbeidet. Som en del av rapporteringsforpliktelsen under FNs klimakonvensjon utarbeider land (til nå kun industriland) framskrivinger av utslipp og opptak av klimagasser som reflekterer eksisterende politikk og virkemidler. Land kan også rapportere framskrivinger som reflekterer politikk og virkemidler som er planlagt, i tillegg til eksisterende politikk og virkemidler. Framskrivninger gir informasjon om hva utslipp og opptak av klimagasser med visse antakelser kan bli i gitte år og er derfor nyttige når man vil vurdere hvordan partene ligger an i forhold til sine internasjonale forpliktelser

å vurdere omstillingsutfordringer på kort og mellomlang sikt. For analyser på lengre sikt er usikkerheten større og rammeverket for utslippsreduksjoner kan endre seg mye. I analyser på lengre sikt er det derfor viktig å fange opp effekten av forventet teknologiutvikling og konsekvenser av usikkerhet knyttet til denne. Dette er spesielt relevant for transportsektoren, hvor det har vært svært rask teknologisk utvikling, samtidig som det er stor usikkerhet knyttet til hvor raskt den teknologiske utviklingen vil gå i tiden framover. Det vil også være relevant for utslippsreduksjoner i industri, siden ulike industriprosesser krever unik håndtering. Klimapolitikken forventes å bli strammet inn framover, både i Norge, EU og globalt. Å fange opp effektene av aktørenes forventninger til fremtiden, inkludert hvordan og når de velger å tilpasse seg, kan dermed være viktig i langsiktige analyser. Det kan også være viktig å fange opp effekten av eventuell usikkerhet knyttet til framtidig politikk.

3.2.5 Særskilte behov knyttet til kortsiktige analyser

Gjeldende EU-regelverk med årlige utslippsbudsjett for Norge bidrar til at det behov for kunnskap om utslippseffekter av virkemiddelbruken på kort sikt, inkludert kunnskap om hvordan kortsiktige omstillingskostnader og endringer i kapasitetsutnyttelsen påvirker utslipp fra år til år. Det er også behov for kunnskap om andre kostnader og virkninger av virkemiddelbruken på kort sikt. For analyser på kort sikt er det viktig å fange opp tregheter i investeringsatferd, både tiden det tar fra informasjon foreligger til kapitalen er operativ, og den lange levetiden og mulige sunk costs (irreversible kostnader) til teknologiløsninger.

I den videre omtalen i rapporten skiller vi mellom analyser som ser på årlige effekter, effekter fram til 2030 (kort sikt) og effekter fra 2030 og videre (lang sikt).

3.2.6 Behov for transparente og anvendelige analysemetoder

En av forvaltningens oppgaver er å forklare og tolke resultatene av ulike analyser. Det er derfor viktig at metodene som brukes er transparente om viktige forutsetninger og modellmekanismer, slik at forklaring- og tolkningsjobben ikke blir mer krevende enn nødvendig. Til slutt er det viktig at det er enkelt å oppdatere forutsetninger og data modellene bygger på. Resultater fra modellen(e) bør være egnet til å bruke som grunnlag for politikktutvikling og rapportering. For en del formål er det for eksempel

en fordel om utslipp fordelt på sektorene i nasjonalregnskapet kan kobles til energiregnskapet og andre kilder i det nasjonale utslippsregnskapet.

Oppsummert er det særlig relevant å vurdere makromodelenes egnethet til følgende analyseformål:

- Virkninger av virkemidler på utslipp på lengre sikt for alle utslippskilder (2030 og videre), inkludert vurdering av konsekvenser av mulige nye mål og forpliktelser
- Virkninger av virkemidler på utslipp på kort sikt (perioden 2021-2030) i ikke-kvotepiktig sektor
- Kostnader og konsekvenser ved virkemiddelbruken på kort og lang sikt
- Framskrivninger av utslipp for hele økonomien på kort og lang sikt
- Anslag på den samlede utslippseffekten av statsbudsjettet på kort og lang sikt

3.3 Egenskaper ved makromodeller som er viktige for å dekke forvaltningens behov

Ulike analyseformål stiller ulike krav til hvilke egenskaper en modell/metode bør ha for å gi nyttige resultater, men overordnet er det viktig at de er egnet til å forstå sammenhenger i hele økonomien og fanger opp sentrale mekanismer. I den andre rapporten fra TBU Klima peker utvalget på at modeller som brukes til ex ante analyser må dømmes etter hvor godt de klarer å simulere atferdsendringer som respons på politikkenringer under de framtidsforhold som ellers legges til grunn. Det kan være utfordrende å etterprøve og validere analyser, særlig på lang sikt. Årsaken er at det tar tid før det faktiske utfallet er realisert, samt at en rekke andre drivkrefter enn selve politikkenringen også vil ha utviklet seg annerledes enn lagt til grunn i modellanalysen. Det bør likevel bestrebes å etterprøve resultatene.

For å gi relevant kvantitativ innsikt om effekter av politikkvirkemidler, må en modell fange opp sentrale mekanismer. Hvilke mekanismer som forventes å være sentrale kan utledes fra analyseformålet, fra økonomisk teori og fra empiriske undersøkelser. Nedenfor følger en liste over hva som anses å være sentrale mekanismer og egenskaper for makromodeller som skal dekke analy-

seformålene beskrevet i avsnitt 3.2. Noen mekanismer er felles for analyseformålene, mens andre gjelder for spesifikke analyseformål. I tillegg gjelder det generelt at modellapparatet skal være anvendelig, og egenskaper for å tilfredsstille dette er derfor inkludert til slutt. Noen av disse egenskapene vil være viktigere enn andre. Hvilke egenskaper som er viktigst vil i stor grad avhenge av analyseformålet. Mange av kriteriene kan også være internt motstridende, slik at det må gjøres praktiske avveininger.

Listen kan ses på som en sjekklister som hver av modellene som er beskrevet senere i rapporten vurderes mot. Basert på sjekklister kan det vurderes hvilke analyseformål modellen kan være egnet til, og hvilke behov for videreutvikling som peker seg ut. Overordnet vil det være avveininger mellom hvor detaljert og kompleks en modell er og hvor enkel modellen er å bruke, vedlikeholde og tolke. Modeller med høyt presisjonsnivå kan være relativt kompliserte og dermed vanskelige å forstå og bruke. I vurderingen av modellene er det derfor viktig å diskutere hvor stor presisjon som kreves av analysene på kort sikt og på lang sikt, og hvilken betydning dette har for hvor stor innsats man skal legge i modellutvikling.

A. Grunnleggende egenskaper

- Modellering av vesentlige utslipp og opptak av klimagasser, samt utslippskilder, på et tilstrekkelig detaljert nivå, basert på en vurdering av dekningsgrad etter EUs pilarer for utslipp og opptak.
- God beskrivelse av husholdningenes og bedriftenes atferd og hvordan økonomien virker, basert på en vurdering av hvorvidt modellen i) fanger opp interaksjoner mellom sektorer og husholdninger, ii) har mulighet for disaggregert representasjon av enkeltsektorer av spesiell interesse, iii) fanger opp interaksjon med utlandet, iv) representerer substitusjonsmuligheter og andre aktivitetsendringer som påvirker utslipp, v) fanger betydningen av aktørenes forventningsdannelse og vi) har god kvalitet på datagrunnlaget og parameterverdier.
- God representasjon av relevante og vesentlige virkemidler i klimapolitikken.

B. Spesielt for analyser på kort sikt

- i) Fanger opp tregheter og tilpasningskostnader, ii) fanger opp konjunkturer og iii) gjør det mulig å se på årlige utslippseffekter av virkemidler.

C. Spesielt for analyser på lengre sikt

- i) Fanger opp strukturelle endringer i økonomien og forventet teknologiutvikling, ii) gjør det mulig å analysere betydningen av usikkerhet og iii) fanger opp overordnede utviklingstrekk og drivkrefter knyttet til atferd og utslipp.

D. Spesielt for analyser av kostnader og andre konsekvenser av virkemiddelbruk

- i) Har et egnet velferdsmål, ii) modellerer offentlige markedsinngrep/virkemidler som kan samspille med virkemiddelbruken, iii) representerer markedsimperfeksjoner som kan samspille med virkemiddelbruken og iv) har representasjon av heterogene husholdninger og bedrifter.

E. Spesielt for analyse av utslippseffekten av statsbudsjettet

- i) Kan fange opp utslippseffekt av poster og virkemidler i statsbudsjettet og ii) har god representasjon av offentlige budsjettets påvirkning på økonomien.

F. Dokumentasjon og anvendelighet

- i) Har god dokumentasjon av forutsetninger, modellinnretning og parametere, ii) fleksibel struktur, slik at modellen lett kan tilpasses problemstilling (aggregering, virkemidler, tidshorisont, forutsetninger) og iii) kan vedlikeholdes/oppdateres på en overkommelig måte.

4. Makromodeller i Norge

I dette kapitlet beskriver og vurderer vi seks norske, makroøkonomiske modeller. Omtalen av de ulike modellene har ulikt omfang, avhengig av hvor egnet modellen er for klimaanalyser i dag, enten alene eller som supplement til andre modeller, men også ut fra potensialet for relevant utvidelse og bruk av modellen i framtida. Modellens potensial avhenger både av egenskaper ved selve modellen og hvordan utvikling og drift er organisert. For eksempel vurderes det som mer realistisk at en modell som ligger i Finansdepartementet og SSB kan videreutvikles til klimamål enn en modell i Norges Bank. Blant modellene som vurderes, er det per i dag kun tre som modellerer utslipp av klimagasser (SNOW-NO, GRACE-Nor og REMES), mens det har vært diskutert å inkludere utslipp i en fjerde modell (NOREG). Modellene er utviklet til svært ulike formål, men i denne rapporten er modellene kun vurdert basert på egenskapene som er relevante for analyseformålene som ble presentert i kapittel tre. Modellene representerer tre av modelltypene som ble presentert i kapittel to: Fire CGE-modeller, hvorav to SCGE-modeller, én DSGE-modell og én makroøkonometrisk modell.

Neste avsnitt beskriver organiseringen og finansieringen av de seks makroøkonomiske modellene. Deretter beskrives og vurderes først CGE-modellene SNOW, GRACE-Nor, NOREG og REMES, deretter DSGE-modellen NORA og til slutt den makroøkonometriske modellen KVARTS. Vurderingen tar utgangspunkt i listen med modellegenskaper som ble presentert i kapittel tre.

4.1 Organisering

Det er om lag 10 fagmiljøer som utvikler og bruker makroøkonomiske modeller til ulike formål i Norge. I tillegg er det flere miljøer som har makroøkonomisk modellkompetanse og som bruker modeller som er utviklet av andre. Utover disse finnes det også forskningsmiljøer som utvikler mer stiliserte modeller, som kan betraktes som grunnforskning. Enkelte av disse modellene er utviklet for å studere usikkerhet om framtidig politikk og andre temaer som foreløpig ikke er innarbeidet i modellene som vi tar for oss her. Beskrivelsen her er avgrenset til de miljøene som forvalter modeller som er beskrevet i dette kapitlet: SNOW, GRACE-Nor, NOREG, REMES, NORA og KVARTS.

Statistisk sentralbyrå (SSB) er et uavhengig statlig forvaltningsorgan underlagt Finansdepartementet. De er ansvarlig

for nasjonalregnskapet og statistikk innenfor de aller fleste samfunnsområder, derunder utslipps- og miljøstatistikk. I tillegg har SSB en betydelig forskningsvirksomhet, blant annet innenfor makroøkonomi og miljøøkonomi. De makroøkonomiske modellene SNOW, KVARTS og NORA er viktige verktøy i forskningen på disse feltene. Aktiviteten knyttet til makromodellene varierer fra år til år, blant annet avhengig av forsknings- og utredningsfinansieringen. I 2020 utgjorde aktivitetene i SSB om lag 4 ½ årsverk på SNOW, 10 ½ på KVARTS og 2 ½ på NORA. Finansieringen kom delvis gjennom SSBs rammeavtaler med Finansdepartementet for modellrelatert arbeid. Innhold og økonomisk ramme for disse oppdragene avtales gjennom årlige møter og kontrakter og innebærer modellutvikling og -oppdatering, brukerstøtte og analyser. I 2020 ble hele ressursinnsatsen på NORA dekket av rammeavtalen. For SNOW og KVARTS dekket rammeavtalene om lag 40% av aktiviteten. Den resterende innsatsen på SNOW var hovedsakelig finansiert av forskningsmidler fra Norges forskningsråd i tillegg til noe oppdragsfinansiering fra forvaltningen. For KVARTS' vedkommende var den øvrige finansieringen fordelt mellom forskningsmidler, betalte utredningsoppdrag for forvaltning og organisasjoner samt statlige budsjettoverføringer fra Finansdepartementet, spesifisert i tildelingsbrev, til å utføre konjunkturanalyser og analyser for stortinget.

Finansdepartementet bruker mange av makromodellene som omfattes av rammeavtalen med SSB til framskrivninger og analyser av norsk økonomi på kort og lang sikt og til utslippsframskrivninger. I Finansdepartementet bruker 4-8 ansatte deler av arbeidstiden til praktisk modellarbeid knyttet til modellene SNOW, KVARTS og NORA. Gjennom årlige møter og kontrakter med SSB bidrar Finansdepartementet til videreutvikling av økonomiske modeller til støtte i analysearbeid og rådgivning. Finansdepartementet har et rådgivende utvalg for modell- og metodespørsmål. Finansdepartementet nedsatte en arbeidsgruppe i 2018 for å utvikle en ny modell for å analysere finanspolitikk. Modellen skulle særlig styrke departementets grunnlag for å studere hvordan alternative utforminger av finanspolitikken påvirker sentrale makroøkonomiske størrelser på mellomlang sikt. Arbeidet pågikk i to år, og resulterte i modellen NORA.

CICERO Senter for klimaforskning er en uavhengig forskningsstiftelse tilknyttet Universitetet i Oslo. De analyserer og formidler kunnskap om nasjonal og internasjonal klimapolitikk, effekter av klimagassutslipp og hvordan samfunnet påvirkes av global oppvarming, og grønne investeringer. CICERO har utviklet den globale CGE-modellen

GRACE, med finansiering fra sin grunnbevilgning, ulike forskningsprosjekter i regi av Europakommisjonen, Forskningsrådet og Utenriksdepartementet. Formålet med GRACE er å analysere de økonomiske konsekvensene av klimapolitikk og effektene av klimaendringer på den globale økonomien. CICERO har nylig utviklet en versjon av GRACE som fokuserer på den norske økonomien, GRACE-Nor. CICERO har tre ansatte som jobber med GRACE-modellene.

Transportøkonomisk Institutt (TØI) og konsulentelskapene Vista Analyse og Menon Economics har sammen med SSB utviklet SCGE-modellen NOREG 2 (Norwegian Regional General Equilibrium Modelling System). Modellen er utviklet på oppdrag fra Kommunal- og moderniseringsdepartementet og Forskningsrådet gjennom et 10-årig forskningsprosjekt, som løper fra 2018 til 2028. Prosjektet har et omfang på 20 millioner kroner. Vista Analyse har tre ansatte som jobber med modellen, mens TØI og Menon Economics har to ansatte hver som jobber med modellen. TØI har tidligere utviklet SCGE-modellen PINGO, som danner noe av grunnlaget for NOREG. Utvikling og drift av PINGO er finansiert av transportetatene¹⁴. Det er tre personer ved TØI som er involvert i analyser, utvikling og drift knyttet til PINGO.

Forskningsinstituttet SINTEF og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) har hovedansvar for REMES, som er en SCGE-modell med særlig vekt på energisystemet. Modellen ble utviklet som et resultat av bevilgninger fra Kommunal- og moderniseringsdepartementet til Forskningsrådet, med formål om å utvikle og videreutvikle regionaløkonomiske modeller for å styrke kunnskapsgrunnlaget for distrikts- og regionalpolitikken. Modellutvikling og drift støttes av Forskningsrådets ENERGIX-program, EUs Horisont2020-program, NTNU Energy Transition Initiative og NTRANS (Norwegian Centre for Energy Transition Studies). SINTEF og NTNU har hovedansvar for modellen i dag, mens Institutt for energiteknikk (IFE), TNO (the Netherlands Organisation for Applied Scientific Research), partnerne i CenSES (Centre for Sustainable Energy Studies) og partnerne i NTRANS har vært involvert i modellutviklingen. To ansatte ved henholdsvis NTNU og SINTEF jobber med modellen, men i konkrete analyser trekkes også flere andre ressurspersoner inn i arbeidet.

4.2 SNOW

4.2.1 Innledning

SNOW (Statistics Norway's World model) er en «familie» numeriske generelle likevektsmodeller som har lignende struktur og kjerne, og som er utviklet for langsiktige studier med fokus på miljø- og klimapolitikk og utslippsutvikling:

- SNOW-NO¹⁵ er en dynamisk-rekursiv modell for Norge som en liten åpen økonomi, der verdensmarkedsprisene og andre internasjonale drivere er eksogent gitt. Den simulerer en serie statiske likevekter for hvert år, som blir knyttet sammen via husholdningenes spare- og konsumbeslutninger og bedriftenes investeringer. Modellen brukes blant annet av Finansdepartementet til framskrivninger av utslipp av klimagasser og andre utslipp til luft i Norge. SNOW-NO brukes også til forskningsanalyser og til analyser som SSB gjennomfører på oppdrag for blant annet myndighetene. Et nylig eksempel er rapporten om makroøkonomiske effekter av å redusere ikke-kvotepliktige utslipp i forbindelse med Klimakur 2030 (Fæhn et al., 2020b).
- SNOW-DYN er en intertemporalt dynamisk variant med framoverskuende atferd som er under utvikling. Også denne modellerer Norge som en liten åpen økonomi, som tar internasjonale forhold som eksogent gitt. SNOW-DYNs kryssløp er basert på samme nasjonalregnskapsdata og har tilnærmet lik disaggregering som SNOW-NO med unntak av privat transport.
- SNOW-GLO er en global modell der Norge håndteres som én av flere regioner. Denne modellversjonen fanger opp samspillet mellom flere land. Modellen har også blitt brukt i oppdrag for forvaltningen, men primært til forskningsanalyser i SSB. Blant annet har modellen vært brukt til å studere globalt klimapolitisk samarbeid, EU-Norge-samarbeidet, inklusive kvotemarkedet, og tiltak mot karbonlekkasjer. Bye et al. (2019) og Fæhn og Yonezawa (2021) er noen eksempler på bruk av modellen. Til nå har datagrunnlaget for den norske økonomien vært GTAP-data med basisår 2011, men det er mulig å integrere SNOW-NO i modellen slik at modelleringen av Norge er basert på nasjonalregnskapsdata.

¹⁴ Statens vegvesen, Kystverket, Jernbanedirektoratet, Avinor og Nye Veier.

¹⁵ Modellen er dokumentert i Rosnes et al. (2019), og er etterfølger av likevektsmodellen MSG (Fæhn et al., 2013).

Den påfølgende beskrivelsen konsentrerer seg om SNOW-NO med mindre annet er spesifisert.

4.2.2 Beskrivelse av SNOW

Aktører, atferd og markeder

I SNOW-modellen består økonomien av tre typer aktører:

1. Bedrifter i ulike private, statlige og kommunale næringer
2. Offentlig sektor
3. Husholdninger

Modellens aggregeringsnivå for næringer og innsatsfaktorer kan velges fleksibelt avhengig av analyseformål. For å kunne fange opp at utslipp forekommer i nesten alle næringer, men med ulike utslippsintensiteter og reduksjonsmuligheter, er produksjonssiden i økonomien modellert relativt disaggregert i dagens versjon. Modellen består av 46 næringer valgt for å få fram slik variasjon og samtidig være konsistent med nasjonalregnskapet og GTAP. Eksempler på næringer i modellen er utvinning av olje og gass, tre transportnæringer (land-, luft-, og sjøtransport), tre primærnæringer (jordbruk, skogbruk og fiske), industrinæringer, som produksjon av papir og produksjon av metaller, ulike tjenestenæringer og offentlige næringer. Hver næring består av én representativ, profittmaksimerende bedrift som produserer én vare. Næringsinndelingen er gjort med tanke på å fange opp forskjeller i energibruk, utslippsintensitet, politikk og utslippsreduksjonsmuligheter mellom næringer. For en fullstendig oversikt over næringsinndelingen i SNOW, se vedlegg 1.

Bedriftene bruker tre typer innsatsfaktorer i produksjonen: realkapital, arbeidskraft og naturressurser¹⁶, i tillegg til innsatsvarer produsert i andre næringer. Realkapital består av tre kapitaltyper:

- bygg og anlegg
- maskiner og utstyr
- transportmidler

Teknologiene beskrives ved produktfunksjoner der de tre primære innsatsfaktorene, arbeid, kapital og energi, og innsatsvarer fra andre næringer kan substituere hverandre, som illustrert i figur 4-1. Det antas konstante substitusjonselastisiteter (CES) mellom innsatsfaktorene som inngår i hvert aggregat, se boks 2-2. Det er mulig for brukere av modellen å velge substitusjonselastisitetene på alle nivåer i produksjonen, samt variere dem over tid. Substitusjonsmuligheter som er av betydning for utslipp fra produksjon er beskrevet i avsnittet *Hvordan er utslipp modellert* under. CES-produktfunksjoner innebærer konstant skalautbytte, det vil si at produksjonen øker proporsjonalt med bruken av innsatsfaktorer.

Realkapitalen er eksogent gitt i basisåret og utvikles deretter i takt med de innenlandske investeringene. De innenlandske investeringene er på sin side gitt av sparingen til husholdningen i hver periode. Investeringer i ny realkapital skjer i de kapitaltypene og bedriftene som gir høyest avkastning. Tilsvarende antas eksisterende realkapital å være mobil mellom sektorer. Kapitalavkastningsraten (rentenivået) bestemmes endogent av likevekten i realkapitalmarkedet.¹⁷ Tilgangen på arbeidskraft er beskrevet under husholdninger nedenfor. Arbeidskraften kan flyttes mellom næringene. Mengdene av naturressurser (olje og gass), som inngår i produksjonen av olje og gass, framskrives eksogent. Etterspørselen etter innsatsfaktorer er bestemt ved at bedriftene minimerer sine kostnader i hver periode.

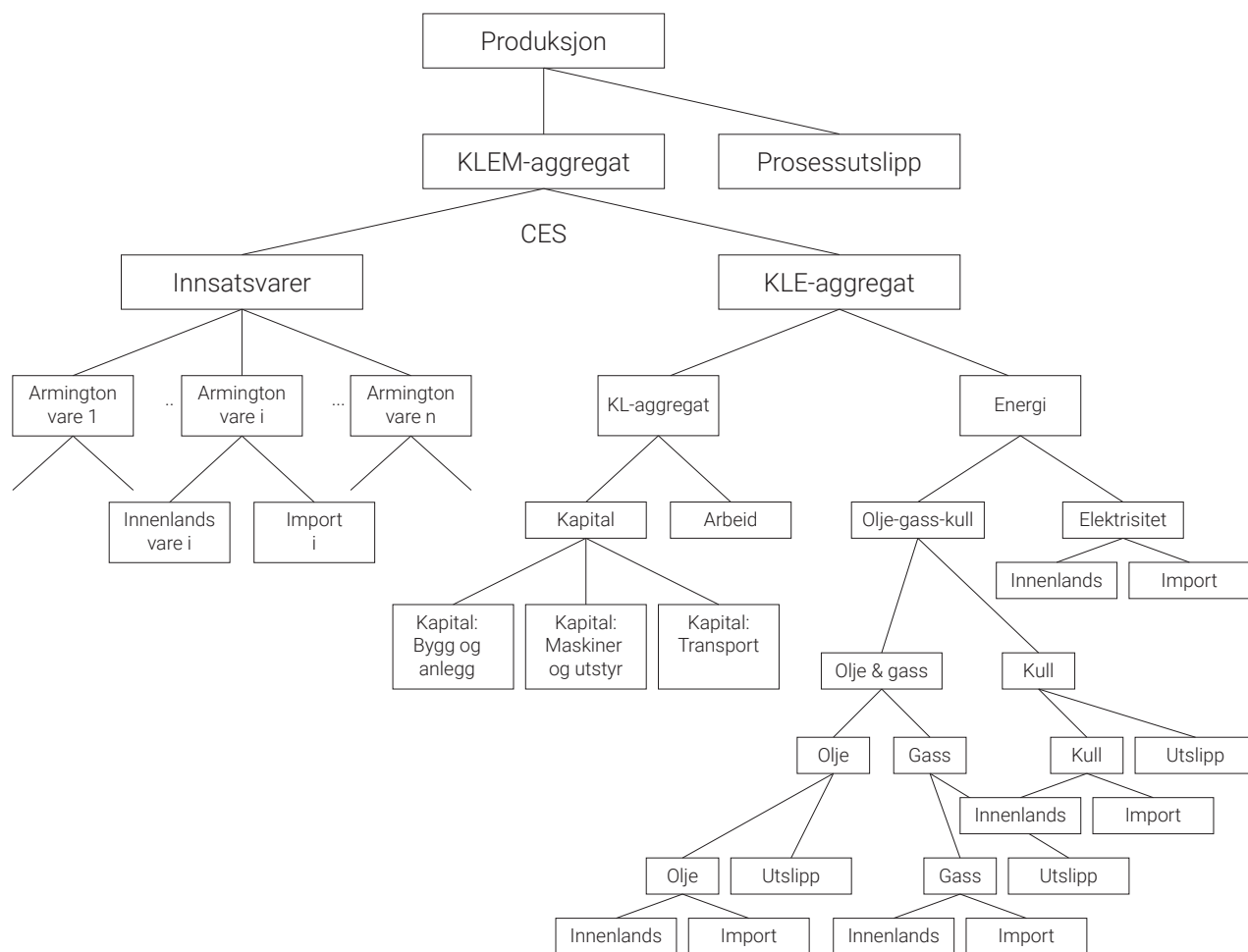
Samlet offentlig konsum består av konsum i statsforvaltningen og konsum i kommuneforvaltningen. Produksjon i **offentlig sektor** skjer i nåværende versjon i fire næringer i modellen:

- statsforvaltning (administrasjon, undervisning, helse, omsorg og kultur)
- kommuneforvaltning (administrasjon, undervisning, helse, omsorg, vann og kultur)
- forsvaret
- kommunal avfallshåndtering

I likhet med bedriftene i de private næringene, står hver av de offentlige næringene for produksjon av hvert sitt produkt med teknologi beskrevet ved en flertrinns CES-funksjon (se figur 4-1) bestående av produktinnsats og arbeidskraft

¹⁶ Naturressurser inkluderer fossile brensler i petroleumsutvinning, arealer i jordbruk og skogbruk, samt vannkraftressurser.

¹⁷ Det er også mulig å spesifisere rentenivået som gitt fra utlandet.



Figur 4-1. Produksjonsteknologiene i bedriftene. Kilde: SSB (2021)

og realkapital som innsatsfaktorer. I nåværende versjon er produksjonen eksogent satt, og det er antatt at innsatsfaktorene brukes i faste proporsjoner (Leontief-teknologi, der substitusjonselastisitetene er lik 0). Kostnadsandelene er bestemt ut fra basisårsdata i kryssløpstabeller.

Offentlig konsum er i stor grad basert på produksjonen i de offentlige næringene beskrevet over. Offentlig konsum og investeringer er eksogene størrelser. Offentlige inntekter kommer gjennom netto skatter og avgifter, samt inntekter fra Statens Pensjonsfond Utland (SPU) i tråd med handlingsregelen.

Husholdningene er modellert ved én representativ husholdning.¹⁸ De mottar alle inntekter fra innsatsfaktorene arbeidskraft, kapital og naturressurser og får overført

all offentlig inntekt utover det eksogent gitte offentlige budsjettet, som en kontantoverføring. Nyten er beskrevet ved en CES-funksjon illustrert i figur 4-2 og danner grunnlag for målet på samfunnsøkonomiske kostnader, se nedenfor. Husholdningens inntekt avhenger av tiden husholdningen bruker på arbeid, som bestemmes endogent ved at husholdningen maksimerer sin nytte. Den består av både nytte av den tiden som er til rådighet etter arbeid, det vil si fritid, og av konsum. Husholdningens tilbud av arbeid er stigende i reallønna etter skatt.

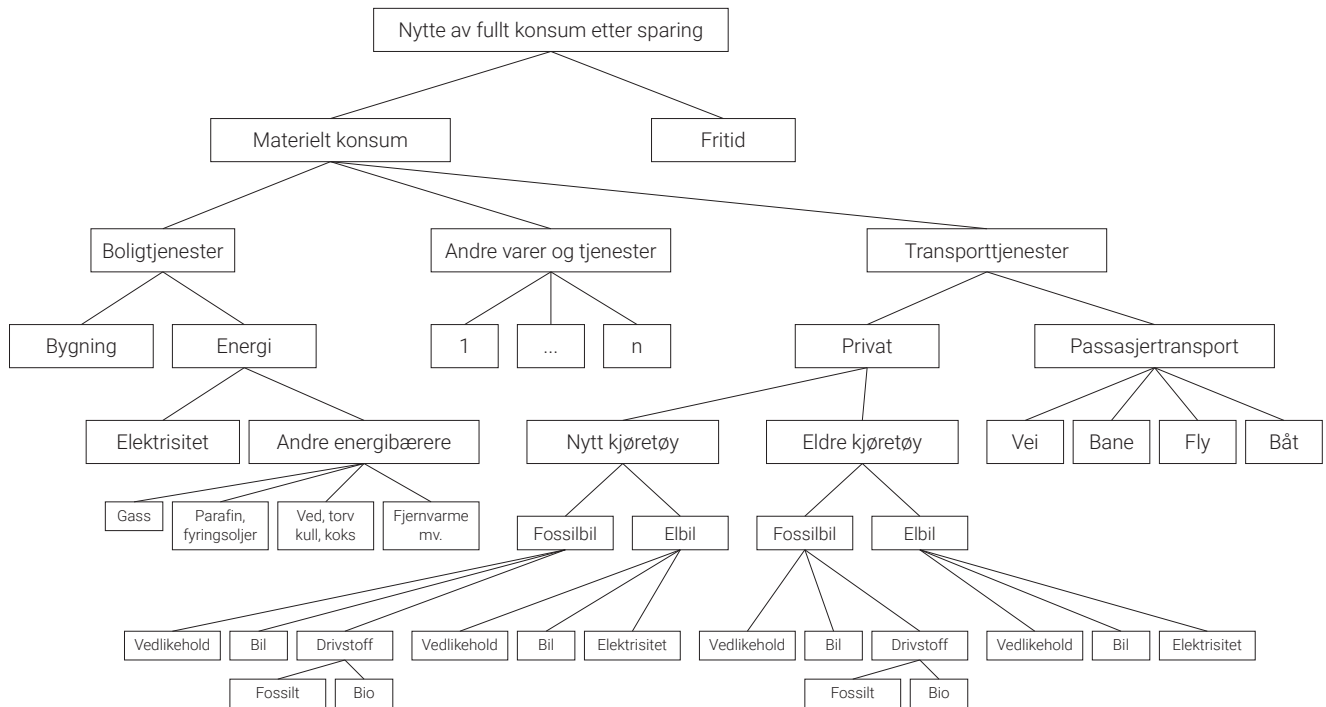
En andel av inntekten i hver periode spares. Andelen er eksogent gitt uavhengig av inntekt og konsum som kan forventes i framtidige perioder. Dette sikres ved at substitusjonselastisiteten mellom nåværende og framtidig konsum er lik 1. Husholdningens sparing blir omgjort til

¹⁸ SSB har utviklet en modell med flere representative husholdninger, se nedenfor og boks 4-3. Der er husholdningssektoren oppdelt i ti inntektsgrupper med ulike forbruksmønstre og inntektskilder. Foreløpig er denne kun brukt sammen med SNOW-GLO i Fæhn og Yonezawa (2021), men kan kobles på SNOW-NO. I Fæhn og Yonezawa (2021) er husholdningssektoren oppdelt i ti inntektsgrupper med ulike forbruksmønstre og inntektskilder.

(real)kapital i perioden etter. Avkastningen avhenger av rentenivået, som igjen er bestemt (endogent) av likevekten i realkapitalmarkedet.

Sammensetningen av det materielle konsumet optimeres, gitt prisforholdet mellom de ulike varene og tjenestene. Konsummulighetene fordeler seg på hovedkategoriene boligjenester, transporttjenester og andre varer og

tjenester, som igjen består av varer og tjenester på et finere detaljningsnivå, se figur 4-2. Konsumet til husholdningen tar utgangspunkt i sammensetningen i basisåret, men påvirkes av endringer i relative priser, som følge av politikendringer eller andre sjokk. Substitusjonsmulighetene som er av betydning for utslipp fra konsum er beskrevet nedenfor under *Hvordan er utslipp modellert*.



Figur 4-2. Husholdningens konsummuligheter. Kilde: SSB

Utenrikshandel

I SNOW-NO er økonomien liten og åpen, med omfattende handel med utlandet. Alle varer består av substituerbare importerte og hjemmeproduerte varianter. Heterogeniteten mellom hjemmeproduert og importert variant avhenger av substitusjonselastisiteten (Armington-elastisiteten). På tilsvarende måte kan varer som produseres enten eksporteres eller brukes i hjemmemarkedet. Muligheten for å overføre produksjonen mellom de to anvendelsene avhenger av den konstante transformasjonselastisiteten (CET-elastisiteten, se boks 2-2).

Alle verdensmarkedspriser er eksogent gitt. Andre eksterne variable, som utlandets rentenivå, kvotepris i EU-ETS og internasjonal teknologitviking er også eksogene. Likevekt i de innenlandske markedene og en eksogen driftsbalanse overfor utlandet gir husholdningens budsjettbetingelse. I driftsbalansen inngår nettoeksport av varer og tjenester, handel med utslippskvoter fra EU ETS, innbetalingene til og uttak fra SPU, utviklingshjelp og andre internasjonale kapitalbevegelser.

Hvordan er utslipp modellert?

Modellens produksjons- og konsumaktiviteter er tilknyttet koeffisienter for utslipp til luft, det vil si at de er modellert i faste forhold til aktiviteten de tilhører: Energiinnsats, annen vareinnsats, konsumaktiviteter, industriprosesser eller avfallsdeponier. Utslippskoeffisientene er fastsatt basert på utslipps- og nasjonalregnskapstall i basisåret og framskrevet basert på forventninger om utviklingen i utslippsintensiteter. Gitt disse, kan bedriftene redusere klimagassutslipp ved å endre sammensetning av innsatsfaktorene i produksjonen eller ved å redusere produksjonsvolumet. Når det gjelder prosessindustri (kjemisk industri, sement-, aluminiums-, jern- og stålindustri), kan energirelaterte utslipp reduseres gjennom slik substitusjon, mens de prosessrelaterte utslippene kun kan reduseres ved å kutte i

produksjonsvolumet.¹⁹ Selv om mesteparten av utslippene fra petroleumssektoren skyldes energibruk, i all hovedsak naturgass i turbiner, er utslippene modellert i et fast forhold til produksjonen, tilsvarende prosessutslipp. Begrunnelsen er at denne gassbruken ikke framkommer i kryssløpstabellen fra nasjonalregnskapet (Rosnes et al., 2019).

Utslipp av metan fra avfallsdeponi er modellert som prosessutslipp fra den kommunale avfallsnæringen. Utslipp av CO₂ fra avfallsforbrenning som brukes i fjernvarme er knyttet til bruk av avfall som innsatsvare i næringen *produksjon og distribusjon av gass*, som dekker fjernvarmeproduksjon og -distribusjon. Det aller meste av utslippene i denne næringen stammer fra avfallsforbrenning.

I jordbrukssektoren er utslipp av metan og lystgass modellert som prosessutslipp, det vil si i et fast forhold til samlet jordbruksproduksjon. I tillegg er CO₂-utslipp fra energibruk til oppvarming og til transport og maskiner modellert. Utslipp og opptak i LULUCF-sektoren er ikke inkludert.

Landtransport inngår som innsats i nesten alle næringer og framkommer hovedsakelig som innsats av olje og transportkapital. Særlig næringen *annen transport*, som driver gods- og persontransporttjenester, inkluderer mye landtransport. Også i *detalj- og varehandel* er andelen landtransport betydelig. Næringstransport inkluderer også sjø- og lufttransporttjenester, som hovedsakelig leveres av næringene sjø- og lufttransport. Substitusjonsmulighetene i alle disse næringene er modellert som i øvrige næringer; se figur 4-1.

På konsumsiden vil også substitusjon mellom varer og tjenester kunne påvirke utslippene. For eksempel kan privat transport erstattes med kollektivtransport. Innen kollektivtransport kan de ulike transportmidlene (buss, tog, fly og båt) til en viss grad erstatte hverandre for å dekke transportbehovene til husholdningene. Innen privat transport ble substitusjonsmulighetene i modellen utvidet i Fæhn et al. (2020b). Husholdningene kan for hver periode velge mellom å kjøre en bil som er kjøpt tidligere eller å kjøpe ny bil. Både for gamle og nye biler finnes det to typer biler: elektriske og konvensjonelle (med forbrenningsmotor) biler.²⁰ Energikostnader (bensin/diesel eller elektrisitet) og andre drifts- og vedlikeholdskostnader knyttet til de ulike biltyperne er modellert eksplisitt. Valgmulighetene er illustrert i figur 4-2. Ved en økning i pris på bensin/diesel,

BOKS 4-1 Utslipp som er inkludert i SNOW-modellen:

- Klimagassene CO₂, N₂O, CH₄ og fluorforbindelsene SF₆, KFK og HFK.
- I tillegg inkluderer modellen NO_x, SO₂, NH₃, NMVOC, PM₁₀ og PM_{2.5}

¹⁹ Det er mulig å legge inn andre utslippsreduksjonsmuligheter, som CCS, gjennom å legge inn marginalkostnadskurver for tiltak.

²⁰ Hybridbiler er modellert som energieffektive konvensjonelle biler. Plug-in hybridbiler inngår som biler med forbrenningsmotor, mens elforbruket til plug-in-hybrid biler kan tolkes inn i elbilenes forbruk.

for eksempel gjennom en økt CO₂-avgift, vil husholdningen kunne tilpasse seg ved å redusere transportomfanget, ved å kjøre mer energieffektivt, ved å investere i elbil eller ved å gå over til bruk av kollektivtransport (som omfatter overgang til sykkel og gange). Den representative husholdningen velger det alternativet som gir lavest kostnader. I Fæhn et al. (2020b) er det lagt inn reduksjoner i importpris for elbiler framover i tid.²¹ I denne analysen er det også lagt inn økende substitusjonselastisitet mellom elbil og konvensjonell bil gjennom analyseperioden, slik at de blir tilnærmet perfekte substitutter i 2030. Dette for å fange opp forventet kvalitetsforbedring av elbiler som følge av teknologiframgang. Elbilmodulen er ikke blitt innlemmet i SNOW-DYN.

For at modellen skal ta hensyn til framtidige teknologimuligheter og kostnadsutvikling, som kan innebære større muligheter for substitusjon enn hva historiske trender og priselastisiteter gjenspeiler, er kvantifiseringen i modellen i noen tilfeller basert på ekspertvurderinger og/eller teknologiinformasjon fra partielle modeller. Dette kan innarbeides på ulike måter, som forklart i avsnitt 2.5 om

hybridmodeller. Flere slike tilnærminger har blitt prøvd ut med SNOW-modellen, i tillegg til det som er nevnt over om modellering av privat transport i Fæhn et al. (2020b):

- Til modellering av teknologiske utslippsreduksjonsmuligheter har bottom-up informasjon fra tiltaksanalyser om potensielle utslippsreduksjoner og privatøkonomiske kostnader blitt brukt til å estimere marginalkostnadskurver. Disse har erstattet CES-funksjoner i modellen. Metoden som er brukt for prosessindustrien og petroleumsnæringen er basert på metoden utviklet for MSG-TECH, som er beskrevet i Fæhn og Isaksen (2016).
- I forbindelse med en studie av energieffektiviserings tiltak i bygninger, ble informasjon om sparepotensial og kostnader ved energieffektiviseringstiltak i TIMES-NO brukt til å estimere substitusjonselastisiteten mellom bruk av energivarer og investeringer i kapitalvarer som reduserer energiforbruket (etterisolering, nye vinduer med mer); se Bye et al. (2018).

BOKS 4-2 Makroøkonomisk analyse av Klimakur 2030

SSB la i juni 2020 fram makrorapporten fra Klimakur 2030 (Fæhn et al., 2020b). Makrorapporten svarte ut et oppdrag fra regjeringen til SSB om å analysere de samlede kostnadene ved et 50 prosent utslippskutt i ikke-kvotepliktig sektor. I analysen brukes SNOW-NO til å vurdere langsiktige makroøkonomiske konsekvenser ved et slikt utslippskutt. Ved å innføre en lik utslippspris for alle utslippskilder av klimagasser innenfor ikke-kvotepliktig sektor, oppnås så lave gjennomføringskostnader som mulig.

Det gjøres to simuleringer: I den første er formålet å få fram de isolerte virkningene av selve utslippsprisingen, mens den andre ser på tilfellet der arbeidsbeskatningen samtidig reduseres ved hjelp av provenyet fra utslippsprisen. Analysen antyder at en må øke prisen på utslipp til henholdsvis 3200 og 3500 (2013-kroner) per tonn CO₂-ekvivalenter dersom en skal halvere norske ikke-kvotepliktige utslipp innen 2030. Den isolerte effekten av utslippsprisingen er en markert nedgang i den økonomiske aktiviteten og sysselsettingen. De samfunnsøkonomiske kostnadene består ikke bare av kostnadene ved å

gjennomføre utslippskuttene i ikke-kvotepliktige sektorer. Mer enn halvparten av kostnaden skyldes at utslippsprisingen samspiller med to allerede eksisterende politikkinngrep: elbil-fordelene og arbeidsbeskatningen. Effektivitetskilene disse inngrepene representerer, blir betydelig forsterket av utslippsprisingen. Dersom det økte provenyet benyttes til å redusere skatten på arbeidsinntekt, blir arbeidsmarkedet mer effektivt, og analysen viser at sysselsettingen øker. Det bidrar til å halvere den samfunnsøkonomiske kostnaden ved klimapolitikken og bidrar til å stimulere aktiviteten i økonomien.

For tiltak i jordbruket og deler av næringstransport har SSB i analysen valgt å bruke informasjon om reduksjonspotensial og kostnader fra etatsrapporten Klimakur 2030 (2020) heller enn å simulere dem i SNOW. Dette er begrunnet med at rammene for prosjektet ikke tillot tilstrekkelig kvalitetsvurdering av modelleringen og parameteriseringen i disse sektorene. Kunnskapen fra ekspertanslagene kan danne grunnlag for framtidig modellering og parameterisering i SNOW-modellene.

²¹ Fra 2020 til 2023 reduseres prisen med 5 prosent hvert år, mens fra 2024 til 2030 reduseres prisen med 2,5 prosent hvert år. Sluttbrukerprisen reduseres noe mindre, siden påslaget hos forhandler holdes konstant.

Teknologisk utvikling

Aktørene i SNOW-NO kan investere i eksisterende teknologier. Utviklingen av nye teknologiske løsninger gjennom forskning og utvikling, læring osv., er gitt eksogent.

Dette modelleres som forbedringer i enten faktornøytral produktivitet, utviklingen i arbeids- og kapitalproduktivitet i den enkelte næring eller i utslippskoeffisientene.

Eksogen kunnskapsutvikling blir begrunnet med at det er den globale kunnskapsfronten som definerer produktivtetsveksten fremover, mens et lite land har relativt liten innvirkning på teknologiutviklingen. Videre kan modellbruket angi følgende produktivetsparametere:

- Produktivetsparametere for prosessutslipp, som bestemmer utviklingen i prosessutslipp for et gitt produksjonsvolum i de ulike næringene.
- Parametere for utvikling i energieffektivitet for energivarene kull, olje, gass og elektrisitet i ulike næringer og for konsumvarer, som drivstoffbruk i privattransport. Reduksjoner i de fossile energivarene vil gi tilsvarende utslippsreduksjoner, siden utslipp står i et fast forhold til energibruken.

Tidshorisont og -dynamikk

Modellen er utformet for analyser på lang sikt, det vil si den tiden det tar før økonomien har tilpasset seg i en ny likevekt. I SNOW-NO maksimerer husholdningen sin nytte i hver periode (årlig), gitt en fast sparerate og informasjon om inneværende periodes inntektsmuligheter og priser. De tar ikke inntektsmulighetene framover i betraktning og optimerer ikke konsummulighetene over tid. Tilsvarende minimerer bedriftene kostnadene i hver periode uten hensyn til framtidige endringer i priser. I den intertemporal dynamiske modellversjonen, som er under utvikling, er både bedriftene og husholdningene framoverskuende, og de kjenner utviklingen i priser i all framtid (perfekte forventninger).

Virkemidler

Mange typer virkemidler – eller pakker av virkemidler – kan studeres med modellen. Disse inkluderer CO₂-avgift (differensiert eller uniform), kvotesystemer (internasjonale eller nasjonale), subsidier, sertifikatordninger og karbontoll. Direkte reguleringer, som utslippskrav, krav til utslippsintensitet, teknologiske standarder og sektoravtaler, kan også analyseres med modellen. Ulike kompensasjonsordninger kan tas hensyn til, som gratiskvoter, fondsordninger og kompensasjonsordningen for økt kraftpris. Modellen har blitt brukt til studier av provenynøytrale grønne skattereformer, det vil si der inntekter fra grønne avgifter blir brukt til å redusere andre vridende skattesatser som gjør økonomien mindre effektiv, slik at doble gevinster oppnås (Goulder, 1995). Se boks 4-2 for et eksempel på

en slik analyse i Fæhn et al. (2020b). I kryssløpstabellen, som modellen bygger på, er produkt- og næringskatter, næringssubsidier og lønnskostnader, inkludert arbeidsgiveravgift, med. I SNOW er spesielt viktige særavgifter skilt ut: el-avgift, veibruksavgift, CO₂-avgift på mineraliske produkter, avgift på utslipp av CO₂ i petroleumsvirksomhet og utgifter til kvotekjøp i EU-ETS. I tillegg inkluderer SNOW skatter som ikke inngår i kryssløpstabellen, som inntektskatt på arbeid og kapital og særskatt på petroleum.

Samfunnsøkonomiske kostnader og fordelingseffekter

Velferden i økonomien kan i modellen representeres ved den neddiskonterte nytten til den representative husholdningen. De samfunnsøkonomiske (netto)kostnadene ved endret virkemiddelbruk (eller andre endringer man ønsker å studere) vil dermed bli reflektert ved velferdstapet eller -gevinsten til den representative husholdningen. Eksisterende skatter og avgifter som skaper effektivitetskiller i økonomien er representert i modellen, som beskrevet i avsnittet over. Andre eksisterende virkemidler kan også inkluderes, slik som i Fæhn et al. (2020b), der fritak for/reduerte bomavgifter, fergeavgifter, parkeringstakster, gratis/gunstig lading på kommunale parkeringsplasser, tilgang på kollektivfelt med mer er representert i analysen.

Det innebærer at interaksjoner mellom de eksisterende virkemidlene som inngår i modellen, og som allerede skaper effektivitetstap, og nye/endrede virkemidler, vil bli fanget opp i anslag på samfunnsøkonomiske kostnader ved bruk av SNOW. Et eksempel er Fæhn et al. (2020b), som finner at økt CO₂-avgift kan forsterke eksisterende priskiller i økonomien ved at: 1) Arbeidstilbudet er lavere enn optimalt i utgangspunktet, på grunn av skatter, og faller ytterligere ved økning av CO₂-avgiften. 2) Elbilbruken er ifølge analysen høyere enn optimalt i utgangspunktet, på grunn av eksisterende skatte- og bruksfordeler, og øker ytterligere med økt CO₂-avgift; se boks 4-2.

Eksternaliteter, for eksempel positive kunnskaps- og nettverkseksternaliteter for umodne teknologier, eller positive eller negative helseeffekter ved endret luftforurensning (som kan være et utfall ved forsterket klimapolitikk), inngår ikke i modellen. Tilpasningskostnader, for eksempel midlertidig arbeidsledighet som oppstår når enkelte bedrifter får redusert konkurransekraft og andre vokser fram, er heller ikke representert i modellen.

Med kun én representativ husholdning kan ikke SNOW-NO brukes til å si noe om hvordan disse kostnadene fordeler seg mellom husholdninger. SSB har utviklet en mikrosimuleringsmodell med heterogene husholdninger, som kan kobles på SNOW-NO for å gjøre analyser av fordelings-effekter av politiske virkemidler. Modellen deler husholdningene inn etter inntekt. De ulike inntektsgruppene har

forskjellige inntektskilder og forbruksmønstre. Modellene løses ved iterasjon, slik at husholdningenes konsumtilpasning i mikrosimuleringsmodellen får tilbakevirkninger på økonomien i SNOW (se boks 4-3 for en beskrivelse av hvordan modellene er koblet). Arbeidstilbudet er eksogent gitt i mikrosimuleringsmodellen. Foreløpig er denne mikrosimuleringsmodellen kun brukt sammen med SNOW-GLO for å studere fordelings effekter av å nå Norges utslippsmål i Parisavtalen under ulike kvotehandelsregimer i Fæhn og Yonezawa (2021). I prinsippet kan metoden brukes med så mange husholdninger som det er data for, men i denne analysen har SSB delt husholdningene i inntektsdesiler.

Datagrunnlag

Modellen kalibreres til et valgt historisk år, basisåret. Grunnlaget er hovedsakelig kryssløpsdata fra nasjonalregnskapet og utslippsregnskapet i det året. I de nåværende versjonene av modellen er basisårene 2013 og 2018.

BOKS 4-3 Kobling av SNOW og mikrosimuleringsmodellen

I Fæhn og Yonezawa (2021) er SNOW-GLO koblet sammen med mikrosimuleringsmodellen på følgende måte:

- SNOW-GLO bidrar med informasjon om netto inntekter fra lønn, kapitalavkastning og overføringer samt forbrukspriser til mikrosimuleringsmodellen.
- Basert på denne informasjonen beregner mikrosimuleringsmodellen enkelthusholdningenes etterspørsel etter ulike varer og tjenester.
- Disse summeres og legges inn i SNOW-GLO igjen, hvorpå den simulerer ny likevekt mellom etterspørsel og tilbud av konsumgodene. Det innebærer ny informasjon om netto inntekter fra lønn, kapitalavkastning og overføringer og forbrukspriser, som igjen mates i mikrosimuleringsmodellen.
- Prosedyren gjentas til modellene viser samme likevekt.

Elastisiteter i produksjonssektorene, konsumet og internasjonal handel i SNOW er basert på to hovedgrupper av kilder: estimeringer basert på historiske data og anslag basert på ekspertvurderinger og skjønn. Oftest brukes en kombinasjon, da litteraturen er relativt fattig på estimeringer av relevante CES-funksjoner, og mange parametere kan antas å utvikle seg vesentlig over tid, slik at framskrivninger kan se temmelig annerledes ut enn historiske estimater.

Elastisiteter i næringer: Estimater fra følgende studier er brukt som utgangspunkt for substitusjonselastisiteter: Andreassen og Bjertnæs (2006), McDaniel og Balistreri (2002) og GTAP 8 databasen (Narayanan, Aguiar og McDougall, 2012). Andreassen og Bjertnæs (2006) har et notat som beskriver tallfestingen av faktoreterspørsel i MSG6. Det er tallfestet 240 sammenhenger basert på 40 produksjonssektorer og 6 aggregeringsnivåer. Parameterne er estimert basert på data fra nasjonalregnskapet, brukerpriser på kapital (basert på markedsrenter) og energidata fra omtrent 1975 til 2000.²³

Substitusjonselastisitetene mellom innsatsfaktorer som brukes i GTAP 8 (Narayanan, Aguiar og McDougall, 2012) er basert på gjennomgang av estimerte elastisiteter for ulike næringer basert på tverrsnittsdata fra en rekke land. Substitusjonselastisitetene er lavest for primærnæringene (0.2) og høyest for tjenestenæringene (1.68). Avhengig av analyseformål og tidshorizont brukes slike kilder med skjønn og suppleres med ekspertvurderinger av endringer hittil og framover. For eksempel kan man, når modellen brukes i samkjøring med andre modeller eller andre informasjonskilder, velge å kople ut substitusjonsmulighetene i modellen. På produksjonssiden er elastisitetene i rensekostnadsfunksjonene i prosess- og petroleumsindustri basert på ekspertvurderinger. Disse er estimert på grunnlag av data fra Klimakur 2020 (2010) og som ble brukt i MSG-TECH (se Fæhn og Isaksen, 2016).

Grovt sett er antakelsene om substitusjonsmuligheter de samme på tvers av næringer. Unntak fra de felles substitusjonselastisitetene er vanligvis benyttet for produksjon av olje og gass og offentlig sektor, og noen ganger for jordbruk og elektrisitet. Her antas innsatsfaktorene brukt i faste proporsjoner (Leontief-produksjonsteknologi).²⁴

²³ I Andreassen og Bjertnæs (2006) oppgis det at det er en svakhet at datagrunnlaget er en relativt kort tidsserie (omtrent 25 observasjoner). Det påpekes videre at substitusjonselastisitetene kan være underestimerte, fordi den økte etterspørsel etter faktoren som er blitt billigere øker prisen på denne faktoren. Dermed holder ikke antakelsen om eksogene relative priser som ligger til grunn for estimeringen. I tillegg vises det til at det ikke har vært mulig å supplere de estimerte elastisitetene med mer detaljert sektorkunnskap på grunn av det store antallet sammenhenger som er estimert, og at det kan være behov for reestimering av enkeltestimater for sektorer som er av spesiell interesse.

²⁴ Dette gjøres for å holde mer kontroll på faktoreterspørselen i disse næringene, siden de i relativt stor grad preges av offentlig styring og regulering. I versjonen av modellen som ble brukt i Perspektivmeldingen 2017 ble jordbruk og elektrisitet også modellert med Leontief-teknologi (Rosnes, 2019).

Elastisiteter i konsum: I CES-konsumfunksjonene er de fleste substitusjonselastisitetene, som et utgangspunkt, satt til 0.5. Historiske estimater ligger typisk mellom 0 og 1; se Aasness og Holtmark (1993) og Elkadi (2017), som har samlet data fra ulike bakgrunnskilder, hovedsakelig mikroøkonometriske studier, i kalibreringsprosedyrer for å konstruere CES-funksjoner.

For noen av elastisitetene er ekspertvurderinger brukt for å anslå substitusjonselastisitetene. Som tidligere nevnt, er substitusjonselastisiteten mellom kapital (bygninger) og energi i husholdningenes etterspørsel etter boligjenester basert på informasjon fra TIMES-NO, en bottom-up-modell med konkrete teknologier. Elastisitetene for kjøp og bruk av private kjøretøyer er kalibrert i overensstemmelse med oppdatert statistikk, og ekspertvurderinger fra Klimakur 2030 (2020) er brukt for å justere relativ importpris og substituerbarhet mellom elbil og konvensjonell bil over tid. Andre elastisiteter er vanligvis holdt uendret over tid, men kan bli justert som ledd i framskrivninger.

Substitusjonselastisiteten mellom fritid og konsum er beregnet til 1,16 basert på empiriske analyser av arbeidstilbudselastisiteter (Apps et al., 2020; Thoresen og Vattø, 2015; Chetty, 2012), og nasjonalregnskapsdata for arbeidstilbud og privat konsum. Arbeidstilbudselastisiteten er basert på Thoresen og Vattø (2015) og Apps et al. (2020), som estimerer arbeidstilbudselastisiteten for ulike grupper av den norske befolkningen. I SNOW har SSB lagt til grunn et anslag på 0,2 for den ukompenserte arbeidstilbudselastisiteten. Det er et anslag som er mellom menn og kvinners responsivitet i disse studiene.

Øvrige parametere: McDaniel og Balistreri (2002) oppsummerer funn fra litteraturen om økonometrisk estimering av Armington-elastisiteter og gjør simuleringer for å vise hvor følsomme resultatene fra CGE-modeller er for denne parameteren. I studiene fra USA som oppsummeres varierer elastisiteten mellom 0.5 og 5, med høyere estimater for lang sikt enn for kort sikt. Forfatterne finner at estimatene er følsomme for aggregering og estimeringsmetode, og anbefaler følsomhetsanalyser når elastisitetene brukes i simuleringer. I SNOW er det antatt en Armington-elastisitet på 4, som ligger i øvre sjiktet begrunnet med at SNOW benyttes i langsiktige studier (mer tid til å erstatte) og er relativt disaggregert (godene er likere). På eksportsiden er prisleisomheten modellert med CET-funksjoner, som innebærer at det koster for bedriftene å vri seg mellom norsk og internasjonalt marked. Denne elastisiteten er også satt til 4.

I tillegg brukes det ekspertvurderinger som grunnlag for antakelser om produktivitetsvekst, endringer i utslippintensiteter og næringsutvikling når modellen brukes i framskrivninger.

4.2.3 Vurdering av SNOW

A. Grunnleggende egenskaper

Modellering av vesentlige utslippskilder på et tilstrekkelig detaljert nivå

Modellen inkluderer alle relevante klimagasser, i tillegg til utslipp fra langtransportert forurensning som omfattes av Gøteborg-protokollen og utslipp av svevestøv (PM_{10} og $PM_{2.5}$). For mer informasjon se boks 4-1. Modellen har dermed en god dekningsgrad for utslipp av ulike klimagasser fra næringene i modellen. Næringsinndelingen er nærmere omtalt nedenfor.

Modellen dekker to av de tre pilarene i EUs rammeverk; utslipp fra energibruk og prosessutslipp i kvotepliktig og ikke-kvotepliktig sektor er inkludert, mens utslipp og opptak i LULUCF-sektoren ikke er inkludert. Som en tidsbesparende forenkling er næringer i SNOW-NO i sin helhet enten definert som kvotepliktige eller ikke-kvotepliktige, til tross for at noen næringer har både kvotepliktige og ikke-kvotepliktige utslipp. For eksempel er alle avfallsanlegg i SNOW regnet som ikke-kvotepliktige, selv om utslipp fra avfallsanlegg som hovedsakelig leverer energi til industrien, er kvotepliktige. På den andre siden er alle utslipp fra petroleumsindustrien definert som kvotepliktige, selv om deler av utslippene i næringen er ikke-kvotepliktige. I datagrunnlaget for basisåret (2013) innebærer denne forenklingen at kvotepliktige utslipp i modellen er 23,8 millioner tonn CO_2 -ekvivalenter, mens de faktiske kvotepliktige utslippene dette året var 25,4 millioner tonn. Denne forenklingen kan i enkelte analyser føre til merkbare avvik, slik at en mer presis oppdeling av utslippskildene vil være hensiktsmessig. Hvor enkelt det er å gjøre en slik oppdeling avhenger av datatilgang. Det kan enkelt skilles mellom kvotepliktige og ikke-kvotepliktige utslipp internt i en næring, dersom de sammenfaller med skillene mellom utslippskilder som alt er spesifisert, for eksempel dersom prosessutslipp i næringen er kvotepliktige, men utslipp fra energibruk ikke er det. Skillet mellom prosessutslipp og energirelaterte utslipp kan utnyttes for å komme enda nærmere faktiske skillelinjer mellom kvotepliktige og ikke-kvotepliktige utslipp. Det er arbeidskrevende å gjøre denne justeringen i etterkant av modellkjøringen.

Næringsinndeling og interaksjoner

SNOW-NO består av 46 næringer basert på næringsinndelingen i nasjonalregnskapet. Inndelingen av næringene er gjort med tanke på å fange opp forskjeller i energibruk, utslippintensitet, politikk og utslippsreduksjonsmuligheter mellom næringer. Den er også gjort forenlig med den internasjonale GTAP-databasen for å kunne bruke SNOW-NO i et globalt rammeverk når analysebehovet tilsier

det. SNOW-NO kan fleksibelt disaggregeres all den tid man bruker skillene mellom nasjonalregnskapets fineste nivå som grunnlag.²⁵

Finere inndeling enn dette vil måtte basere seg på mange kilder som ikke nødvendigvis er konsistente. Tallfestingen av modellen kan bli signifikant mer arbeidskrevende, både i basisårskalibreringen, parameteriseringen og framskrivningene.

Næringsinndelingen i nasjonalregnskapet skiller ikke mellom jordbruksproduksjon med ulik utslippsintensitet. SNOW vil derfor ikke kunne fange opp virkemidler som medfører en vridning fra for eksempel kjøttproduksjon til plantebasert produksjon. En mer detaljert inndeling av jordbruksproduksjon ville krevd data utover nasjonalregnskapsdataene.

Interaksjonene i modellen mellom næringer er basert på kryssløpstabeller fra nasjonalregnskapet. I SNOW-NO er økonomien liten og åpen med omfattende handel med utlandet. I modellen er verdensmarkedsprisene eksogent gitt, med den begrunnelsen at økonomien er for liten til å påvirke verdensmarkedsprisene. Dette gjelder også for prisene på handel med utslippskvoter i EUs kvotesystem, som er modellert. Modellen simulerer ikke eksplisitt teknologisk utvikling eller teknologiabsorpsjon frafra utlandet.²⁶ Modellen vil heller ikke fange opp betydningen av norsk aktivitet for utslipp i utlandet, og kan dermed ikke synliggjøre karbonlekkasje, med mindre den koples til SNOW-GLO.²⁷

Substitusjonsmuligheter og andre aktivitetsendringer som påvirker utslipp

Med unntak av en modul for valg av personbil og kalibrerte marginale renseskostnadskurver som kan benyttes for utslippsreducerende teknologitilpasninger i kvotepfiktige næringer, er teknologitilpasning modellert som substitusjon mellom produksjonsfaktorer på et nokså aggregert nivå (tre typer kapital, en type arbeidskraft, fire energityper og innsatsvarer fra andre næringer). En slik modellering egner seg best til å få fram endring i sammensetning av teknologier som allerede er i bruk eller mindre tilpasninger i hvordan eksisterende teknologier brukes. Endringene gjøres som respons på endringer i relative priser på produksjonsfaktorene. Nye teknologier kan også beskrives ved

slike substitusjoner, men modellen gir ingen informasjon om hvilke konkrete teknologier som bidrar til endringer i utslipp. Disse ligger implisitt i substitusjonen mellom innsatsfaktorene. Det kan gjøre det vanskelig å tolke hvilke løsninger som er implementert, og hvor realistiske substitusjons- og utslippsreduksjonsmulighetene i modellen er. Samtidig innebærer en slik modellering at utslippsreduksjonene ikke er begrenset av de spesifikke løsningene som modellbrukeren legger inn.

Offentlige investeringer i infrastruktur som utgjør offentlige goder, kan påvirke produktiviteten i andre næringer, herunder kostnadene ved å gå over til mer klimavennlige løsninger. Offentlige goder er en type markedssvikt og er ikke modellert i SNOW-NO. Dette kan for eksempel være offentlig utbygging av ladeinfrastruktur som kan øke nytten for bedrifter og husholdninger av å bruke null- og lavutslippskjøretøy og -fartøy, eller investeringer som tilrettelegger for billigere eller enklere kollektivtransport eller for økt veitrafikk. Selv om selve den offentlige aktiviteten kan legges inn i SNOW-NO, vil ikke produktivitetendringene i andre næringer framkomme.

Transport og jordbruk står for de største andelene av de ikke-kvotepfiktige utslippene. Teknologivalg innen persontransport er godt dekket i SNOW. Modellen skiller mellom offentlig transport (fly, tog, buss med mer) og privat kjøring, og har en detaljert modul for valg av personbil. I analysen utført i forbindelse med Klimakur 2030, øker substitusjonselastisiteten mellom elektriske biler og biler med forbrenningsmotor over tid slik at de blir tilnærmet perfekte substitutter i 2030 (Fæhn et al., 2020b). Denne antakelsen er både ment å fange opp endrede holdninger og at teknologisk utvikling forbedrer elbilen som substitutt for biler med forbrenningsmotor.

Jordbruk, sjøtransport og næringstransport på land har samme relativt aggregerte substitusjonsmuligheter som alle andre næringer. Jordbruk er dessuten modellert som én aktivitet, slik at sammensetningsendringer i produksjonen ikke kommer fram på annen måte enn ved at produksjonsfaktorene som benyttes endrer seg med produktsammensetning. Dette kan være for enkelt modellert til å kunne gi en realistisk beskrivelse av teknologitilpasningene i disse tre næringene. I Fæhn et al. (2020b) ble det med den begrunnelsen valgt å bruke kvantitativ informasjon fra etatsrap-

²⁵ Kryssløpstabellene fra nasjonalregnskapet er inndelt i 64 næringer etter Eurostats gruppering av næringer (A64).

²⁶ Andre versjoner av SSBs likevektsmodeller har endogenisert teknologitilpasningen som skjer innenlands, samt i hvilken grad ny teknologikunnskap fra utlandet blir absorbert.

²⁷ En annen løsning ble utnyttet i SNOW-NOs forgjenger, der utenlandske utslippskoeffisienter ble knyttet til handelen for å studere karbonlekkasje via markedene for utslippsintensive goder; se Fæhn og Bruvold (2009).

porten Klimakur 2030 (2020) for tiltak i jordbruket og deler av næringstransport, heller enn å simulere dem i SNOW. Dette ble ikke gjort for sjøtransport og fiske.

I avfallsnæringene (privat og kommunalt avfall) modelleres utslipp av metan fra avfallsdeponi som prosessutslipp. Dette gjør at hovedparten av metanutslippene kun kan reduseres ved å redusere aktiviteten i avfallsnæringene. Dette er ikke en realistisk modellering av utslippsreduksjonsmulighetene i denne næringen ettersom dagens utslipp av metan primært stammer fra lekkasje fra nedlagte avfallsdeponi. I SNOW foregår produksjon av fjernvarme i næringen GAS (produksjon og distribusjon av gass og damp og varmtvannsforsyning). Utslipp fra avfallsforbrenning fanges primært opp som utslipp fra bruk av avfall som energivare i denne næringen. Utslipp fra avfallsforbrenning som ikke energigjenvinnes framkommer som prosessutslipp fra avfallsnæringene i modellen. Det samme gjelder utslipp av HFK fra avfall. Substitusjonsmuligheter i fjernvarmeproduksjon vil ikke være på linje med mulighetene som finnes mellom fossil energi og elektrisitet i annen produksjon. SNOW har likevel per i dag samme substitusjonselastisiteter i GAS som i andre næringer. SNOW framstiller det også som om man kan redusere utslipp fra avfallsforbrenning ved å redusere produksjonen i avfallsnæringene eller i fjernvarmeproduksjon, uten å ta hensyn til hvordan avfallet skal håndteres. Dette er ikke realistisk. Modellen dekker ikke muligheten for karbonfangst og lagring av utslipp fra avfallsforbrenning på en endogen måte; dette må eventuelt tas hensyn til eksogent. Samlet er vurderingen at det er behov for gjennomgang og forbedring av kvantifisering og modellering av utslippsreduksjonsmuligheter for avfallsnæringene i SNOW.

Utvalget mener at det vil være formålstjenlig å vurdere en bedre representasjon av utslippsreduksjonsmulighetene for næringene jordbruk, næringstransport på land, sjøtransport og avfall. I Fæhn et al. (2020b) ble ikke modellen benyttet for jordbruk og hoveddelen av næringstransport. Det er behov for mer testing av hvordan SNOW-NO med nåværende struktur representerer kunnskapen om utslippsreduksjonsmuligheter i disse næringene, og det vil være ønskelig at kunnskapen om konkrete teknologitilpasningsmuligheter blir mer eksplisitt reflektert.

Kvotepiktig sektor er foreløpig kun blitt analysert i SNOWs forgjenger, MSG-TECH. Da ble det estimert næringsvise sammenhenger mellom utslippskutt og grensekostnader, som erstattet overlappende CES-funksjoner i disse næringene. Disse relasjonene kan også brukes i SNOW i stedet for å bruke modellens substitusjonsmuligheter for å representere utslippsreducerende tiltak, men tiltaksinformasjonen som ligger til grunn bør da oppdateres. For prosessindustri og petroleumsindustri kan da relevante

tiltak representeres; dette inkluderer også karbonfangst og -lagring som reduserer utslipp etter produksjon. Uansett valg av CES-parametere vil teknologitilpasning i CES produktfunksjonene som ligger i modellen i dag ikke kunne fange opp end-of-pipe teknologier, slik som karbonfangst og lagring. Petroleumsindustriens produksjon har hittil blitt behandlet eksogent i SNOW-NO, selv om den kan modelleres endogent på lik linje som andre næringer. Begrunnelsen for å eksogenisere næringen har vært at beslutninger om investeringer i nye felt i stor grad er bestemt av politiske beslutninger.

Aktørenes forventningsdannelse

Siden SNOW-NO er en dynamisk-rekursiv modell, tar aktørene valg basert på informasjon om prisene i hver periode. Verken når det gjelder utslipp eller sparing vil husholdningene basere sin atferd på endringer i framtidige priser eller klimapolitikk – forventningen til aktørene er at det ikke kommer endringer. Dersom prisen på en energivare er forventet å øke på et tidspunkt fram i tid, kan framoverskuende aktører velge å gradvis starte adopsjon av ny alternativ teknologi før prisen øker, mens bedrifter uten framoverskuende atferd vil alltid vente til prisen faktisk øker (se figur 5-1 i kapittel fem for et eksempel på forskjellen i tilpasning). Teknologidringer implementeres dermed umiddelbart først når de blir lønnsomme på marginen. Dette kan spesielt være en svakhet for analyser hvor tidspunktet for aktørenes tilpasning er viktig.

I motsetning til SNOW-NO er SNOW-DYN er en intertemporalt dynamisk modell (under utvikling) med framoverskuende aktører. I modellen har aktørene perfekt framsyn, det vil si at de tar innover seg modellens likevektberegninger for periodene framover når de tar beslutninger i dag. De to modellene representerer dermed to ytterpunkter, hvor aktørene ikke har noen informasjon om framtiden i den ene modellen, mens de har perfekt informasjon om framtiden i den andre modellen. SNOW-DYN har en tilnærmet lik nærings- og husholdningsstruktur som SNOW-NO, men har ingen elbilmodul. På grunn av dynamikken har SNOW-DYN en mer komplisert struktur, noe som kan gjøre det mer utfordrende å integrere bottom-up informasjon. Det er ikke en realistisk antagelse at husholdningene har perfekt framsyn, men det er realistisk at de har noen forventninger om framtiden som kan avvike fra dagens situasjon. For bedriftene er det naturlig å anta at de forholder seg til hva de vurderer som sannsynlig utvikling fremover i tid. I intertemporalt dynamiske modeller kan man velge å modellere noen aktører som nærsynte og andre som perfekt framsynte.

Vurdering av datagrunnlag

Kryssløpsdataene for modellversjonen som er mest uttestet er for 2013. I modelldokumentasjonen argumen-

teres det for at 2013 er et hensiktsmessig basisår fordi det er et år uten store konjunkturavvik. Siden basisåret vil behandles som en likevektstilstand i kalibreringen er dette et viktig hensyn. Samtidig bør basisåret være oppdatert slik at det i best mulig grad kan representere aktivitetsmønstre og teknologier viktige for analyseformålet og årene man vil studere. Når man gjør analyser og projeksjoner med lang sikt vil det imidlertid oppstå problemer med å representere aktiviteter som ikke er til stede i basisåret, og som ikke lar seg løse med oppdatert datagrunnlag.

Valg av substitusjonselastisitetene i CES-treet for produksjon og konsum påvirker utslippseffektene og kostnadene. Typisk er utslippsreduksjonsmulighetene større og kostnadene lavere, jo høyere substitusjonselastisitetene er. Ikke alle substitusjonselastisiteter har like stor påvirkningskraft på resultatet. For utslippsreduksjonsmuligheter er substitusjonsmulighetene mellom ulike energivarer viktig, men også mellom energi og arbeid-kapital aggregatet lenger opp i CES-treet i figur 4-1. For produksjon er det derfor ekstra viktig med realistiske substitusjonselastisiteter mellom energivarer. For kvotepliktig sektor er handelsselastisitetene (Armington/CET) viktige, både fordi næringene er konkurranseutsatte og fordi det er mye prosessutslipp.

I modellen er substitusjonselastisitetene mellom energivarer satt til å være 0,5 for produksjon i alle næringer med unntak av olje og gass, jordbruk og de offentlige produksjonsnæringene. Valg av substitusjonselastisiteter i produksjon oppgis å være basert på Andreassen og Bjertnæs (2006) og GTAP 8 databasen (Narayanan, Aguiar og McDougall, 2012)²⁸. I SNOW-modellen antas substitusjonselastisitetene i stor grad å være de samme på tvers av næringene. Resultatene i Andreassen og Bjertnæs (2006) viser blant annet at det er variasjon i de estimerte elastisitetene for substitusjon mellom kapital og arbeidskraft (fra 0,35 til 0,95) mellom de ulike næringene. I SNOW-NO er de approksimert til 0,5 for alle næringer. Disse estimatene tar utgangspunkt i data som er over tjue år gamle. I GTAP8 databasen er det også variasjon i substitusjonselastisitetene mellom ulike næringer.

På konsumentensiden er det på et overordnet nivå viktig med realistiske substitusjonselastisiteter mellom utslipp-intensive og mindre utslipp-intensive varer og tjenester, for eksempel mellom ulike transporttjenester. Med unntak av elastisitetene for substitusjon mellom elbil og bil med forbrenningsmotor, og substitusjon mellom energi og kapital i bolig, er elastisitetene som er brukt i SNOW skjønnsmessig fastsatt.

Alt i alt er substitusjonselastisitetene som er brukt i SNOW-NO i liten grad hentet direkte fra studier, selv om informasjon fra enkelte empiriske studier er sett hen til når elastisitetene er skjønnsmessig bestemt. Vi vet ikke hvor relevante elastisitetene som er brukt er, uten å ha resultater fra mer oppdaterte empiriske studier. De empiriske studiene som henvises til i modelldokumentasjonen tyder på at substitusjonselastisiteter varierer mellom næringer. Det er vanskelig å vurdere hvor problematisk det er at datagrunnlaget i liten grad er basert på empiriske analyser, så lenge det ikke er gjort følsomhetsanalyser med parameterverdiene som er brukt i SNOW. Vi anbefaler derfor i første omgang at det gjøres følsomhetsanalyser for sentrale substitusjonselastisiteter for å kunne vurdere hvor det er størst behov for å forbedre datagrunnlaget.

God representasjon av relevante og vesentlige virkemidler i klimapolitikken.

Økonomiske virkemidler som har til formål å redusere utslipp av klimagasser er godt dekket i modellen. Eksempler på virkemidler modellen egner seg til å analysere, er CO₂-avgift (differensiert eller uniform), kvotesystemer (internasjonale eller nasjonale), subsidier, karbontoll og andre markedsbaserte virkemidler. Direkte reguleringer som tekniske standarder og forbud kan også analyseres. Et omsetningskrav for biodrivstoff kan analyseres så lenge det er bindende, og offentlige innkjøpskrav kan modelleres som tekniske standarder i offentlig sektor. Modellen kan ikke brukes direkte til å analysere endogene effekter av støtte til teknologiutvikling (via FoU eller læringseffekter) eller informasjonstiltak. For denne typen virkemidler må man anta noe om effekten av virkemidlet utenfor modellen, og så legge det inn i modellen.

B. Egenskaper for analyser på kort sikt

SNOW-NO er en likevektsmodell uten tregheter i priser eller tilpasning. Modellen antar full kapital- og arbeidsmobilitet og fanger derfor ikke opp effektene av at det tar tid før ledige ressurser får en alternativ anvendelse og økonomien igjen oppnår likevekt. Likevektsbetingelsene fordrer at tidsperspektivet er langt nok til at økonomien har tid til å tilpasse seg. Dermed er modellen mindre egnet til analyser på kort sikt enn på lang sikt. Særlig antakelsen om full kapitalmobilitet vil bidra til å overvurdere teknologitilpasningen og dermed utslippseffekten på kort sikt. Modellering av tregheter er av særlig betydning for analyser som går mindre enn ti år fram i tid.

Modellen inneholder verken tregheter eller stokastikk og er derfor ikke egnet til å fange opp konjunkturer. Videre

²⁸ Unntaket er substitusjonselastisiteten mellom bygningskapital og bruk av energivarer og mellom ulike biltyper, som er basert på data for framtidig teknologiutvikling.

vil modellen være lite egnet til å gi anslag på utslipp ett år fram i tid. På så kort sikt vil blant annet det økonomiske aktivitetsnivået være av stor betydning.

SNOW-NO kan i prinsippet brukes til å analysere årlige utslippseffekter av virkemidler, men resultatene må tolkes med forsiktighet, særlig for nær framtid. Det finnes flere løsninger i litteraturen som kan implementeres for å gjøre SNOW-NO mer egnet for å studere problemstillinger på kort sikt. For eksempel kan korttidselastisiteter benyttes for å simulere redusert kapitalmobilitet og treghet i implementering av teknologi på kort sikt. Det er også enkelt å begrense kapitalmobilitet i enkelte eller mellom alle næringer, slik det for eksempel allerede gjøres for naturkapital. En mellomløsning kan være å modellere ny kapital som mobil, mens eksisterende kapital ligger fast i næringene (putty-clay løsning²⁹). Årgangsmodellen for bilkjøp i SNOW-NO er et eksempel på hvordan putty-clay-modellering alt gjøres i modellen, og tilhørningen kan også brukes for annen kapital.

Som tidligere nevnt vil en dynamisk-rekursiv modell ikke fange opp samspill mellom tregheter og framoverskuende forventninger, og hvordan det påvirker utslippseffekten og kostnadene. Det vil påvirke mål på akkumulerte endringer over tid, for eksempel i utslippsbudsjetter, nåverdier og velferd. En slik modell vil dermed være mindre egnet til å vurdere akkumulerte endringer.

C. Egenskaper for analyser på lang sikt

SNOW-NO er utviklet for analyser på lang sikt. Samtidig er teknologiene i modellen basert på dagens teknologier, og produktivitetsveksten er eksogen, ikke knyttet til læring, FoU eller lignende endogene mekanismer (se nedenfor). Dette kan på den ene siden være en ulempe spesielt ved analyser på svært lang sikt. På den andre siden kan antakelsen om eksogen produktivitetsvekst være rimelig siden Norge er en liten økonomi og mye av den teknologiske utviklingen skjer utenlands. Den teknologiske utviklingen tas hensyn til ved eksogen justering i ulike produktivetsparametere, utslippskoeffisienter, substitusjonselastisiteter og importpriser. Disse kan være basert på ekspertvurderinger. Det er ofte en utfordring for tolkning og forståelse av resultatene at teknologendringer ikke er representert ved spesifikk teknologi og tilhørende utstyr, vareinnsats og kompetanse.

Antakelsene en legger til grunn for overordnede utviklingstrekk, som befolkningsvekst, økonomi og teknologisk utvikling i referansebanen, er av betydning

for virkningene av endringer i klimapolitikk eller andre eksogene drivere. Disse påvirker utslippene i referansebanen og dermed både effekten av virkemidler og hvor kostbart det er å nå gitte utslippsmål i framtiden. Jo lenger fram i tid analysen går jo større usikkerhet er det knyttet til antakelsene.

Den økonomiske strukturen er i stor grad gitt av eksogene antagelser i basisåret. Det er mulig, og kan være nødvendig, å overprøve modellen ved å legge inn næringer og aktiviteter som ikke finnes i kryssløpet i basisåret. Aktiviteter eller næringer som er store i basisåret, men som forventes å krympe er enklere å håndtere, men må også styres.

På lang sikt er det knyttet stor usikkerhet til en del forhold som påvirker utslipp, som aktørens preferanser, deres substitusjonsmuligheter og klimapolitikken. Betydningen av usikkerhet om antakelsene som ligger til grunn i modellen kan analyseres ved å gjøre scenarioanalyser og følsomhetsanalyser. Siden aktørene ikke har forventninger om framtiden, er det imidlertid ikke mulig å analysere hvordan usikkerhet om ulike forhold påvirker aktørens tilpasning, som for eksempel usikkerhet knyttet til klimapolitikken eller teknologisk utvikling.

D. Egenskaper for analyse av kostnader og andre konsekvenser av virkemiddelbruk

SNOW beregner de samfunnsøkonomiske velferdseffektene knyttet til klimapolitiske virkemidler som endringer i den representative husholdningens neddiskonterte nytte. Siden modellen dekker hele økonomien, vil alle prisendringer kunne påvirke husholdningenes nytte enten direkte ved endringer i husholdningenes arbeids- og konsumtilpasning, eller indirekte ved at endringer i relative priser påvirker ressurstilgangen og dermed produksjonsnivået i økonomien. Modellen kan derfor sies å ha et konsistent mål på de samfunnsøkonomiske kostnadene. Mangel på tregheter i modellen bidrar imidlertid til å underverdne kostnadene knyttet til omstilling av økonomien som følge av klimapolitikken.

Eksisterende skatter og avgifter som skaper effektivitetsskiler i økonomien er godt representert i kostnadene som beregnes. Det innebærer at interaksjoner mellom de eksisterende virkemidlene, som allerede skaper effektivitetstap, og nye/endrede virkemidler, vil bli fanget opp i anslag for samfunnsøkonomiske kostnader ved bruk av SNOW. Eksisterende reguleringer fanges ikke opp i datagrunnlaget og må eventuelt legges inn eksplisitt, som elbilfordelene i Bye et al. (2021). Modellen tar heller

²⁹ Putty-clay referer til at kapitalen er fleksibel («putty») før investeringsbeslutningen tas, men når investeringen er gjort er kapitalen fast («clay») og kan for eksempel ikke flyttes fritt mellom næringer.

ikke høyde for markedsimperfeksjoner, som asymmetrisk informasjon, markedsmakt og eksterne virkninger, slik som kunnskaps- og nettverksekskternaliteter gjennom FOU og læring for umodne teknologier, og helseeffekter av for eksempel endret forurensning eller endret kosthold (Fæhn et al., 2020b). Klimapolitikken kan bidra til å styrke eller redusere slike markedsimperfeksjoner. Gunstig bivirkning av å forsterke klimapolitikken kan for eksempel oppnås dersom politikken bidrar til redusert luftforurensning og dermed positive helseeffekter. Ved å utelate slike eksterne effekter overestimerer modellberegningen den samfunnsøkonomiske kostnaden ved å nå gitte klimamål. Modellen kan imidlertid identifisere hvilken retning velferdsvirkningen av lokal forurensning går, ettersom modellen fanger opp endringer i utslipp til luft av SO₂, NO_x, CO (karbonmonoksid), PM, NMVOC og NH₃. Dette kan danne grunnlag for å kvantifisere effekter.

Fordelingseffekter for næringer og til en viss grad ulike regioner kan belyses ved at modellen oppgir endringer i produksjon for ulike næringer. Med én representativ husholdning kan modellen ikke si noe om hvordan velferdseffektene fordeler seg på husholdninger med forskjellig inntekt eller bosted. En viktig forutsetning ved beregning av velferdseffekter med en representativ husholdning er at endringen i den representative husholdningen sin nytte er en god representasjon av nytteeffekten for alle husholdningene i økonomien. Inntektsnivå, mulighetene for å påvirke egen arbeidstid og preferanser for fritid og konsum varierer mellom ulike grupper i befolkningen, og dermed hvordan de tilpasser sitt arbeidstilbud og konsum til endringer i realinntekt. Ved å koble SNOW til en mikrosimuleringsmodul med heterogene husholdninger, kan modellen brukes til å beregne velferdseffekter av virkemidler for husholdninger med forskjellig inntektsnivå. Forskjeller i ulike husholdningers arbeidstilpasning fanges imidlertid ikke opp, siden dette er eksogent gitt i mikrosimuleringsmodulen.

E. Egenskaper for analyse av utslippseffekter av statsbudsjettet

Som tidligere beskrevet fanges skatter og avgifter i basisåret opp i datagrunnlaget til modellen, og i tillegg er det lagt til skatter og avgifter som ikke er inkludert i kryssløpstabellen i SNOW. Skatter og avgifter som er inkludert utenom kryssløpstabellen er inntektskatt på arbeid og kapital, samt særskatt på petroleum. Det bør dermed være mulig å vurdere klimaeffekter av endringer i de fleste skatter og avgifter i SNOW. Det må undersøkes nærmere hvorvidt og hvordan andre typer budsjettposter, for eksempel driftsutgifter, overføringer til husholdninger og subsidier til næringer, og investeringer i bygg og anlegg kan fanges opp. Støtte til FOU vil ikke ha endogene effekter i modellen; slike må eventuelt legges inn basert

på antakelser utenfor modellen. Virkninger på utslipp og opptak i LULUCF-sektoren er ikke modellert.

Det vil være relevant å vurdere utslippseffekter av endringer i budsjettposter både på kort og lang sikt. Dermed kan det også være behov for å innarbeide tregheter i tilpasningen for å gjøre modellen bedre egnet til å vurdere utslippseffekter av endringer i budsjettposter på kort sikt. Til slutt vil modellens evne til å fange opp tilpasninger og samspill i økonomien være viktig. Det er en fordel at SNOW-NO har en fleksibel næringsinndeling som kan være like disaggregert som inndelingen i nasjonalregnskapet.

F. Dokumentasjon og anvendelighet

Det mangler en samlet, oppdatert dokumentasjon av modellen som inkluderer alle versjoner av SNOW. SNOW-NO er beskrevet i et dokumentasjonsnotat fra 2019 (Rosnes et al., 2019). Notatet beskriver oppbygningen av SNOW, men inkluderer lite informasjon om parameterne i modellen. Videre er det vanskelig å få innsikt i sammenhengene mellom antakelsene som gjøres og modellens resultater. Hvilke konkrete teknologier som bidrar til endringer i utslipp ligger implisitt i substitusjonen mellom innsatsfaktorene. Utslppsreduksjonene kan derfor ikke knyttes til konkrete teknologiske løsninger.

Siden modellen i all hovedsak er basert på nasjonalregnskapsdata, er det enkelt å oppdatere datagrunnlaget. Forvaltningen benytter seg i dag av utslippsregnskapet, mens SNOW-NO rapporterer i henhold til næringssektorer. Behovet for mer informasjon om konkrete teknologier eller økt presisjon når det gjelder utslipp fra kvotepliktige og ikke-kvotepliktige utslippskilder krever data fra nye kilder. Det vil derfor være en avveining mellom modellens presisjon og behovet for å enkelt kunne vedlikeholde modellen.

Å splitte næringer i nasjonalregnskapet etter hvilke utslippskilder som er kvotepliktige og hvilke som ikke er det, vil i flere tilfeller kreve data fra nye kilder. En slik inndeling kan gjøre det mer krevende å oppdatere datagrunnlaget (avhengig av hvor konsistente de ulike datakildene er, om de oppdateres med samme intervall, og så videre).

Samlet vurdering

Utalgets vurdering er at SNOW inkluderer vesentlige utslippskilder på et rimelig detaljert nivå. Den inkluderer alle relevante klimagasser, og dekker to av de tre pilarene i EUs rammeverk: kvotepliktig og ikke-kvotepliktig utslipp (men ikke LULUCF). Modellen har et grovt, men ikke perfekt, skille mellom disse utslippene. SNOW har en detaljert næringsinndeling og detaljert beskrivelse av produksjons- og konsumstrukturer. Inndelingen i næringer og innsatsfaktorer er stort sett hensiktsmessig for klimaanalyser. Modellen fanger godt

opp interaksjoner mellom næringer. SNOW-NO modellerer en liten åpen økonomi og legger til grunn at endringer i Norge ikke påvirker utlandet, mens varianten SNOW-GLO også behandler atferd i utlandet endogen.

Modellering av utslippsreduksjoner skjer hovedsakelig gjennom redusert aktivitet og ved substitusjon mellom produksjonsfaktorer/konsumgoder. På den ene siden gjør dette det vanskelig å tolke hvilke løsninger som er implementert, og hvor realistiske disse er. På den andre siden innebærer dette at aktørene i modellen ikke er begrenset til de spesifikke løsningene som modellbrukeren legger inn. Det har tidligere vært gjort studier som modellerer eksplisitte teknologivalg i enkelte næringer. Utvalget mener at det vil være formålstjenlig å vurdere en bedre representasjon av enkelte utslippskilder som avfall, fjernvarmeproduksjon og ulike prosessutslipp, samt en finere inndeling av enkelte næringer, i første rekke jordbruket. Det siste er imidlertid vanskelig gitt inndelingen i nasjonalregnskapet.

Siden SNOW-NO er en dynamisk-rekursiv modell, tar aktørene ikke innover seg endringer i framtidig politikk eller andre forhold. Modellvarianten SNOW-DYN antar derimot at aktørene perfekt forutser og forholder seg rasjonelt til framtidige endringer. Begge disse antakelsene er ytterpunkter. Substitusjonselastisitetene i modellen, som er svært sentrale for effektene av virkemidler, er bare delvis basert på (til dels gamle) empiriske studier. SNOW har en god representasjon av relevante og vesentlige virkemidler i klimapolitikken. Det gjelder spesielt økonomiske virkemidler og enkelte direkte reguleringer, men ikke støtte til teknologiutvikling eller informasjonstiltak.

SNOW inkluderer ikke tregheter i priser og tilpasning eller konjunkturer. Den er derfor ikke særlig egnet til analyser på kort sikt eller analyser av akkumulerte endringer for de nærmeste årene. Modellen antar full kapital- og arbeidsmobilitet og fanger derfor ikke opp effektene av at det tar tid før ledige ressurser får en alternativ anvendelse. Unntaket er private investeringer i kjøretøy, der eldre årganger forblir i flåten til de skrapes. Modellen er derimot godt egnet for analyser på lang sikt, når aktørene har fått tid til å tilpasse seg. Den detaljerte modelleringen av næringer og innsatsfaktorer gjør at modellen fanger opp mange viktige tilpasninger og interaksjoner i økonomien, samtidig som modellen har visse mangler som påpekt over. Langsiktige analyser avhenger også i stor grad av hvilke antakelser man gjør om framtida, for eksempel knyttet til teknologiutvikling. Det er ikke mulig å analysere betydningen av usikkerhet annet enn ved følsomhetsanalyser og robusthetsanalyser for ulike framtidsscenarioer.

SNOW har et konsistent mål på de samfunnsøkonomiske kostnadene og fanger opp interaksjon mellom eksisterende

og nye/endrede virkemidler. Den inkluderer ikke relevante markedsimperfeksjoner, som asymmetrisk informasjon, markedsrett og eksterne virkninger knyttet til teknologiutvikling og lokal luftforurensning. Ved å koble modellen til en mikrosimuleringsmodul kan fordelings effekter studeres. For analyser av statsbudsjettet er det en fordel at modellen er forholdsvis disaggregert og inkluderer en rekke skatter og avgifter. Modellen er i all hovedsak basert på nasjonalregnskapsdata, noe som gjør det enkelt å oppdatere datagrunnlaget og mulig å endre aggregeringsnivå. På den andre siden mangler det en samlet, oppdatert modelldokumentasjon som inkluderer alle versjoner av SNOW, og det foreligger få publiserte studier på modellen, slik at mange av sammenhengene mellom antakelser og resultater i modellen ikke er godt belyst og forklart ved hjelp av mer detaljerte analyser. Dette gjelder ikke bare for SNOW, men også for de øvrige modellene, og henger sammen med at det er ressurskrevende å gjøre dette systematisk og grundig.

Oppsummert har SNOW en rekke egenskaper som er nyttige for analyser av utslippseffekter og kostnader på lang sikt, og den er godt egnet for videreutvikling og eventuell kobling til sektormodeller.

4.3 GRACE-Nor

4.3.1 Innledning

GRACE (Global Responses to Anthropogenic Changes in the Environment-Norway) er en dynamisk-rekursiv global modell der Norge håndteres som én av flere regioner. Den simulerer en serie statiske likevekter for hvert år som blir knyttet sammen via husholdningenes spare- og konsumbeslutninger og bedriftenes investeringer. Modellen fanger opp samspillet mellom flere land. GRACE er basert på GTAP-data og er utviklet av CICERO – Senter for klimaforskning. Modellen er utviklet for å undersøke de økonomiske konsekvensene av klimapolitikk og effektene av klimaendringer på den globale økonomien. Det er nylig utarbeidet en versjon av modellen som fokuserer på den norske økonomien, GRACE-Nor. Hovedforskjellen fra standardversjonen av modellen er at datasettet for Norge er oppdatert basert på nasjonalregnskapsdata fra SSB. GTAP-data er basert på kryssløpstabeller for enkeltland og data som beskriver bilaterale handelsstrømmer. Data for enkeltland justeres for å få et konsistent, globalt datasett, noe som gjør at det kan være betydelige avvik mellom GTAP-data for Norge og kryssløpstabellen basert på

nasjonalregnskapsdata. Oppdateringen av datagrunnlaget for den norske økonomien i modellen har gjort modellen mer egnet til å analysere problemstillinger spesifikke for Norge, og med et globalt rammeverk kan samspillet med resten av verden fanges opp, jamfør SNOW-GLO. Foreløpig er modellen planlagt brukt for å «stressteste» den norske økonomien i en analyse av konsekvensene av ulike tiltak og virkemidler for å nå 1,5-gradersmålet, spesielt for energisektoren.

4.3.2 Beskrivelse av modellen

Aktører, atferd og markeder

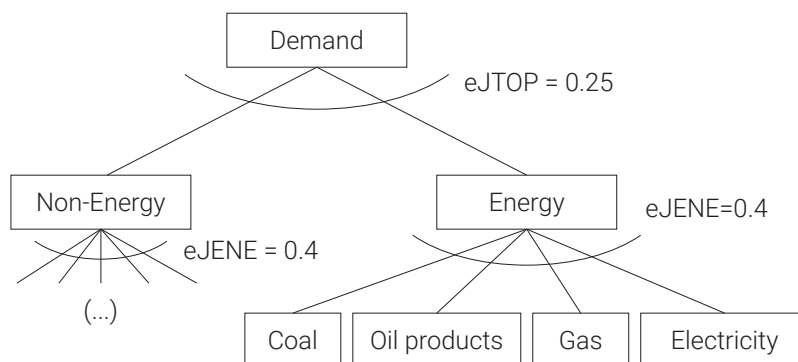
Inndelingen i regioner og næringer i GRACE-Nor er fleksibel. Foreløpig kjøres modellen med 18 regioner, hvor Norge er en av regionene, og 15 næringer. Næringene og regionene i basisversjonen av GRACE-Nor er listet opp i vedlegg 1. I denne versjonen er all industri bortsett fra jern- og stålindustri og sement aggregert til en felles næring. Hvor detaljert disaggregering som er hensiktsmessig, avhenger av analyseformålet. I GRACE-Nor kan næringene i prinsippet disaggregeres til samme detaljnivå som i nasjonalregnskapet.

Husholdninger og offentlig sektor i hver region i modellen, inkludert Norge, er slått sammen og representeres av en «regional husholdning». De regionale husholdningene får inntekter fra å tilby innsatsfaktorer, og bruker inntekten på privat og offentlig konsum, samt sparing. Inntekter fra skatt på varer og innsatsfaktorer tilfaller også den regionale husholdningen. Substitusjonsmuligheter mellom privat konsum, offentlig konsum og sparing beskrives i alle regionene av en Cobb-Douglas-funksjon (det vil si en CES-funksjon med substitusjonselastisitet lik 1). Substitusjonsmulighetene mellom energivarer og andre varer i konsum er representert ved en CES-funksjon som

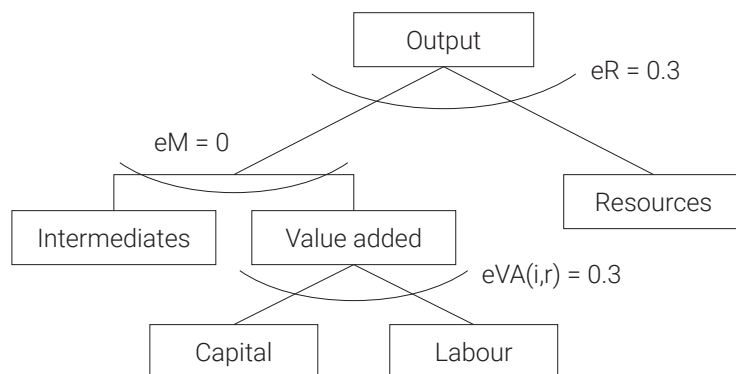
vist i figur 4-3. Denne strukturen og substitusjonselastisitetene er basert på MIT-EPPA-modellen som er nærmere omtalt i kapittel fem.

I modellen går all sparing til en global bank som fordeler investeringer mellom regionene slik at avkastningen er lik på tvers av regionene. Det er antatt perfekt kapitalmobilitet for den nye kapitalen, mens den eksisterende kapitalen i hver region holdes fast og gir en risikofri avkastning som er kalibrert for å stemme med antakelsen om økonomisk vekst i hver region. Spareraten er satt slik at samlet sparing er i tråd med veksten i kapitalen. Arbeidstilbudet er eksogent gitt, og utviklingen følger antakelsen om befolkningsvekst i hver region. Dermed antas det at arbeidstilbudet er fullstendig uelastisk med hensyn på lønn i hver region.

Det er én representativ bedrift i hver næring. Bedriftene bruker innsatsvarer og -faktorer for å produsere varer og tjenester. Importerte og innenlands produserte varer og tjenester kombineres til aggregerte varer og tjenester (Armington aggregater). Produksjonsteknologiene beskrives av CES-funksjoner, og det er antatt fullkommen konkurranse i produktmarkedene. Produksjon av olje, kull og gass skjer med innsats fra eksogent gitte mengder naturressurser i hver region. Det er antatt ulik CES-struktur for produksjonen av disse primære energivarene og produksjonen av andre varer og tjenester. CES-treet for produksjon av primære energivarer er vist i figur 4-4. I produksjonen av primære energivarer kombineres et aggregat av innsatsfaktorer med innsatsvarer i et fast forhold (substitusjonselastisiteten e_M er satt til null). Substitusjonselastisiteten e_R representerer hvor lett det er å substituere mellom den ikke-fornybare ressursen og andre innsatsfaktorer og -varer i produksjonen av olje, kull og gass. Denne substitusjonselastisiteten og forholdet mellom den ikke-fornybare ressursen og andre innsatsfaktorer i basisåret bestemmer hvor elastisk tilbudet av fossil energi er.



Figur 4-3. Den regionale husholdningens etterspørsel. Kilde: Aaheim et al. (2018)



Figur 4-4. Produksjonsstruktur primære energivarer. Kilde: Aaheim et al. (2018)

I produksjonen av andre varer og tjenester kombineres et aggregat av innsatsfaktorer og energi med innsatsvarer i et fast forhold (Leontief teknologi). Videre kan det substitueres mellom arbeidskraft og kapital på samme måte som i strukturen i figur 4-4, og det kan også substitueres mellom elektrisk og ikke-elektrisk energi (mellom råolje, kull, oljeprodukter og gass).

Utenrikshandel

Produksjon fra hver region fordeles mellom eksport og innenlands konsum. Det er antatt perfekt substitusjon i bruken av varer til eksport og innenlands konsum, men med påslag for transportkostnader og eventuell toll. Armington-elasticitetene på importsiden er basert på MIT-EPPA-modellen. I modellen er det én internasjonal transportsektor som mottar betaling fra et prispåslag på varer som importeres.

Hvordan er utslipp modellert?

Modellen dekker utslipp av CO₂ koblet til mengde energivarer brukt som innsatsvarer og i konsum. Prosessutslipp og utslipp fra avfallsforbrenning er foreløpig ikke inkludert i modellen. Det er heller ikke andre klimagassutslipp eller lokal/regional forurensning. I tillegg til utslipp fra økonomisk aktivitet inkluderes informasjon om sammenhengen mellom gjennomsnittlig årlig temperatur og nedbør og økonomiske variable, og da spesielt innsatsfaktorer, i GRACE-Nor. Vi går ikke i detalj i beskrivelsen av hvordan effekten av klimaendringer på økonomien er modellert her. Denne modelleringen vil først og fremst være relevant i studier der flere land gjennomfører utslippssendringer simultant, for eksempel når norsk politikk samordnes med andres i EU-sammenheng eller i en global klimaavtale. For nærmere detaljer vises det til modellbeskrivelsen i Aaheim et al. (2018).

Tidshorison og -dynamikk

GRACE-Nor er en rekursivt dynamisk modell, det vil si at dynamikken beskrives av flere statiske likevekter som løses uavhengig av hverandre og bindes sammen av veksten i

kapitalbeholdningen. Modellen løses årlig. Den økonomiske utviklingen i modellen drives av investeringer, befolkningsvekst, teknologisk endring og tilgangen på naturressurser, som er gitt i basisåret. Antakelser om befolkningsvekst, sparerate og teknologisk endring for alle land/regioner legges inn eksogen.

Teknologisk utvikling i næringene i hver region modelleres som Hicks-nøytral teknologisk utvikling samt utvikling av faktorproduktivitet for naturressurser, arbeidskraft, kapital og energi. I konsum modelleres teknologisk utvikling som energieffektivisering gjennom en eksogen parameter. Parameterne som styrer den teknologiske utviklingen kalibreres for å stemme med eksogene antakelser om økonomisk vekst og utslippsutvikling i referansescenariet. I politikkscenariene holdes den teknologiske utviklingen som regel fast som i referansebanen, men den kan endres for å reflektere virkemidler som for eksempel er rettet mot energieffektivisering eller annen teknologisk utvikling.

Virkemidler

GRACE-Nor kan brukes for å analysere økonomiske virkemidler som avgifter på utslipp og utslippskvoter, samt direkte reguleringer som forbud og utslippsgrenser. Til nå har modellen vært brukt til å analysere utslippskvoter på tvers av regioner og effekter av eksogen energieffektivisering. Eksisterende skatter og avgifter rettet mot næringer er fanget opp i datagrunnlaget på samme måte som i SNOW, men det er ikke lagt inn skatter og avgifter som ikke inngår i kryssløpstabellen, slik som inntektsskatter.

Samfunnsøkonomiske kostnader og fordelings effekter

Velferdsnivået i hver av regionene som modelleres er representert ved en velferdsindeks som består av BNP deflatert med en regional konsumprisindeks, som beskrevet i Asheim og Wei (2009). Det er mulig å se på fordelings effekter mellom regionene i modellen og mellom næringer innad i et land eller på tvers av land, men ikke innad i regioner, for eksempel mellom husholdninger i Norge.

Datagrunnlag

Datagrunnlaget for den globale modellen er GTAP databasen v10 med basisår 2014. I tillegg er nasjonalregnskapsdata (kryssløpstabeller) fra SSB fra 2014 brukt for å justere GTAP-dataene for Norge. Energibalansedata fra SSB er brukt for å koble energibruksverdier til fysiske mengder, og deretter til utslipp. Substitusjonselastisiteter brukt i GRACE-Nor i næringer, husholdninger og handel er hovedsakelig basert på versjon 4 av MIT-EPPA-modellen (Paltsev et al., 2005). Det er antatt en substitusjonselastisitet på 0,25 mellom energivarer og andre varer i alle regioner. Substitusjonselastisiteten mellom ulike energivarer i husholdningenes konsum er satt til 0,4, og det samme gjelder substitusjonsmuligheter mellom andre ikke-energi-relaterte konsumvarer. Det er antatt en substitusjonselastisitet på 0,3 mellom arbeidskraft og kapital, basert på referanser til empirisk litteratur som viser at denne elastisiteten er mindre enn 1.³⁰ Substitusjonselastisitetene i de ulike nivåene i CES-funksjonen som beskriver kombinasjonen av energivarer og innsatsfaktorer er basert på elastisitetene som er satt for alle regioner i versjon 4 av MIT-EPPA-modellen (Paltsev et al., 2005). Mellom energi og aggregatet av kapital og arbeidskraft er substitusjonselastisiteten satt til 0,5. Det samme gjelder for substitusjon mellom elektrisk og ikke-elektrisk energi. I ikke-elektrisk energi kan det substitueres mellom råolje, kull, oljeprodukter og gass med en substitusjonselastisitet på 1 (Cobb-Douglas produksjonsfunksjon). For substitusjon mellom innenlands produserte og importerte varer varierer elastisitetene mellom 2,0 og 3,0. For elektrisitet er det lagt til grunn en elastisitet på 3,0. For substitusjon mellom importerte varer fra ulike regioner er det lagt til grunn en elastisitet på 5,0 for de fleste varer og tjenester, med unntak av gass og kull (4,0), elektrisitet (0,5) og raffinert olje (6).

4.3.3 Vurdering av GRACE-Nor

A. Grunnleggende egenskaper

Modellering av vesentlige utslippskilder på et tilstrekkelig detaljert nivå

Modellen dekker foreløpig kun utslipp av CO₂ fra bruk av energivarer, og ikke prosessutslipp. Ved behov kan utslipp av CH₄, N₂O og F-gasser kobles på relevante økonomiske variable i basisåret, og data fra basisåret brukes for å beregne utslippskoeffisienter. GTAP inneholder også

data for andre klimagasser, slik at utslipp fra utenlandsk produksjon også kan gjenspeiles. Netto utslipp fra LULUCF er ikke dekket. Med modellens nåværende inndeling i 15 produksjonsnæringer er det vanskelig å skille mellom kvotepliktige og ikke-kvotepliktige utslippskilder.

Næringsinndeling og interaksjoner

Inndelingen i 15 næringer er sannsynligvis også et for høyt aggregeringsnivå til å kunne fange opp ulikheter i utslippsintensitet, substitusjonsmuligheter og teknologiske forhold. For eksempel er all industri bortsett fra jern- og stålindustri og sement modellert som én samlet næring. Noen potensielt betydelige utslippssektorer som aluminium, kunstgjødsel, kjemikalier og treforedling inngår sammen med lite utslippsintensive industrisektorer. Næringsinndelingen i GRACE-Nor er fleksibel og kan gjøres like disaggregert som nasjonalregnskapet.³¹ På samme måte som i SNOW vil en finere inndeling enn dette måtte basere seg på mange kilder som ikke nødvendigvis er konsistente. Tallfestingen av modellen kan da bli signifikant mer arbeidskrevende. Avhengig av analyseformål kan næringsinndelingen tilpasses for å fange opp forskjeller i utslippsintensitet og utslippsreduksjonsmuligheter mellom næringer på samme måte som i SNOW, eller for å fange opp inndeling etter EUs kvotesystem i den grad det sammenfaller med næringene i datagrunnlaget. Siden utslipp bare er knyttet til energibruk, ikke til prosesser eller andre innsatsvarer, vil ikke kvotepliktige og ikke-kvotepliktige utslippskilder kunne behandles forskjellig innad i en næring; utslippene fra en næring i sin helhet må legges i enten kvotepliktig eller ikke-kvotepliktig sektor.

Interaksjonen mellom sektorer og mellom sektorer og husholdninger fanges opp i kryssløpstabellene som er datagrunnlaget for modellen. Modellen fanger opp interaksjon med utlandet via handelsstrømmer. Som nevnt antas det at varer for innenlandsk bruk og varer for eksport er perfekte substitutter, men med transportkostnader og potensielt også toll. Når modellen skal brukes til analyser av virkemidler i Norge er det mulig at denne antakelsen kan medføre urealistisk store handelseffekter som følge av prisendringer i Norge. Modellen simulerer ikke teknologisk utvikling og spredning av ny teknologi i interaksjon med andre land. I likhet med SNOW-GLO fanger GRACE-Nor opp interaksjon mellom regionene i resten av verden. Dette er relevant for å vurdere effekter på utslipp i utlandet av norsk politikk, for eksempel karbonlekkasje knyttet til industri og olje og gass, for å analysere konsekvensene av simultan

³⁰ I modelldokumentasjonen henvises det til Arrow et al. (1961) som eksempel.

³¹ Handel foregår med varer på samme aggregeringsnivå som i regionene i resten av verden i modellen, så i interaksjon med utlandet må de norske næringene aggregeres til samme nivå som i de andre regionene.

politikkendring i Norge og EU, samt konsekvensene av global klimapolitikk for Norge. Det siste er mindre relevant for analysebehovene som er listet opp i kapittel tre, mens de to første punktene kan være viktige bidrag til kunnskapsgrunnlaget for norsk klimapolitikk. Modellen gjør det også mulig å se på konsekvensene av klimaendringer på den norske økonomien, men dette er heller ikke et av analysebehovene modellen vurderes mot her.

Substitusjonsmuligheter og andre aktivitetsendringer som påvirker utslipp

Teknologitilpasning er modellert som substitusjon mellom produksjonsfaktorer på et aggregert nivå (én type kapital, én type arbeidskraft, fem energityper og innsatsvarer fra andre sektorer). En slik modellering egner seg best til å få fram endring i sammensetning av teknologier som allerede er i bruk eller mindre tilpasninger i hvordan eksisterende teknologier brukes. Endringene gjøres som respons på endringer i relative priser på produksjonsfaktorene. Nye teknologier kan også beskrives ved slike substitusjoner, men modellen gir ingen informasjon om hvilke konkrete teknologier som bidrar til endringer i utslipp. Disse ligger implisitt i substitusjonen mellom innsatsfaktorene. Det kan gjøre det vanskelig å tolke hvilke løsninger som er implementert, og hvor realistiske substitusjons- og utslippsreduksjonsmulighetene i modellen er. Samtidig innebærer en slik modellering at utslippsreduksjonene ikke er begrenset av de spesifikke løsningene som modellbrukeren legger inn.

I vurderingen av SNOW ble det pekt på at denne forenklingen kan være spesielt problematisk for transport (både persontransport og næringstransport på land og til sjøs), hvor det forventes å skje store teknologendringer som kanskje ikke fanges opp av substitusjonsmulighetene i modellen, samt avfall, petroleum og prosessindustri. I SNOW er det gjort tilpasninger for å få mer realistisk modellering av utslippsreduksjonsmuligheter i persontransport. Det er også gjort analyser der bottom-up informasjon om kostnader knyttet til konkrete tiltak for å redusere utslipp fra petroleumsnæringen og prosessindustri er lagt inn i en tidligere versjon av modellen. Denne typen tilpasninger er foreløpig ikke gjort i GRACE. På samme måte som i SNOW er utslippsreduksjonsmulighetene i jordbruk ikke godt nok fanget opp, blant annet fordi næringsinndelingen ikke fanger opp forskjellen i utslippsintensitet mellom produksjon av ulike varer (for eksempel plantebasert og kjøtt). Verken utslipp av metan fra avfallsdeponi eller utslipp fra avfallsforbrenning modelleres i GRACE-Nor. Også her gjelder det at det er behov for forbedret modellering av utslippsreduksjons-

mulighetene. Som tidligere nevnt dekker ikke teknologitilpasning gjennom substitusjon end-of-pipe teknologier slik som karbonfangst og lagring som reduserer utslipp etter produksjon. I likhet med SNOW fanger ikke GRACE-Nor opp hvordan infrastruktur påvirker utslipp eller hvordan ulike virkemidler kan påvirke infrastruktur.

Aktørenes forventningsdannelse

I likhet med SNOW er GRACE-Nor en dynamisk-rekursiv modell. Det vil si at aktørene er myopiske, og betydningen av aktørenes forventningsdannelse vil ikke fanges opp i modellen. GRACE-Nor er dermed mindre egnet til analyser hvor tidspunktet for aktørenes tilpasning er viktig.

Datagrunnlag

Valg av basisår begrenses av dataene for GTAP. GRACE-Nor er kalibrert til 2014 som er siste tilgjengelige år med GTAP data. Et mulig problem med å bruke et så gammelt basisår er at det kan være teknologier og virkemidler som ikke er representert i grunnlagsdataene.

Elastisitetene som er brukt er antatt like på tvers av sektorer på samme måte som i SNOW. Elastisitetene er hentet direkte fra MIT EPPA-modellens elastisiteter. MIT-EPPA bruker identiske elastisiteter for alle land og regioner. Disse globale gjennomsnittene gjelder dermed også for Norge i GRACE-Nor. Det er ikke gjort noen vurdering av hvorvidt det er realistisk å anta samme substitusjonselastisitet i de ulike produksjonssektorene i den norske økonomien. Det er heller ikke gjort følsomhetsanalyser for parameterverdiene som er brukt i GRACE-Nor, men i en følsomhetsanalyse for ulike parametere i MIT EPPA modellen finner Cossa (2004) at substitusjonselastisiteten mellom energi og innsatsfaktoraggregatet har stor betydning for kostnaden ved klimapolitikk.³²

God representasjon av relevante og vesentlige virkemidler i klimapolitikken

I prinsippet kan GRACE-Nor brukes til å simulere de samme virkemidlene som SNOW, men avhengig av virkemiddel vil det være behov for å justere næringsinndelingen for å få fram relevante omallokeringer og for å studere ulik virkemiddelbruk mellom ulike utslippskilder (for eksempel kilder i og utenfor EUs kvotesystem eller for å analysere virkemidler rettet mot enkeltsektorer).

B. Egenskaper for analyser på kort sikt

Modellen er utviklet for analyser på lengre sikt. Likevektsbetingelsene fordrer at tidsperspektivet er langt nok til at økonomien har tid til å tilpasse seg. Det er ikke

³² Politikkszenariet er et kvotehandelsszenario hvor utslipp begrenses til 1997-nivå i Annex B-land og til 2003-nivå i resten av verden. I følsomhetsanalysen ser man på hvilke parametere som har størst påvirkning på velferdskostnader i 2010 og 2050.

lagt inn tregheter, som for eksempel midlertidig arbeidsledighet som oppstår når enkelte bedrifter får redusert konkurransekraft og andre vokser fram. Mangelen på tregheter i modellen gjør at kostnadene må tolkes som langsiktige kostnader. Det er heller ikke lagt opp til å fange opp konjunkturer gjennom stokastiske sjokk. I prinsippet er det mulig å se på årlige utslippseffekter i modellen, men av årsakene nevnt er ikke modellen egnet til dette formålet. Som diskutert i forbindelse med vurderingen av SNOW finnes det flere løsninger fra litteraturen som kan implementeres for å gjøre GRACE-Nor mer egnet til å studere problemstillinger på kort sikt. Dette kan også gjøre modellen mer egnet til å studere akkumulerte endringer over tid. Modellen er per i dag best egnet til å analysere virkninger på et gitt tidspunkt på lang sikt.

C. Egenskaper for analyser på lengre sikt

I likhet med SNOW er GRACE-Nor bedre egnet for analyser på lang sikt enn på kort sikt. Teknologiene i modellen er imidlertid basert på dagens teknologier. Selv om det er vanlig å legge til grunn en viss produktivitetsvekst, er det ingen endogen teknologiutvikling og det skjer ingen store sprang i teknologiutvikling. Det er mulig å bruke ulike elastisiteter på kort og lang sikt, for å ta hensyn til at tilpasningen kan være forskjellig. Overordnede utviklingstrekk knyttet til forventet utvikling i utlandet, økonomi, teknologi og befolkning legges inn eksogent i modellen når den framskrives. Teknologiutviklingen er modellert som generell produktivitetsøkning, samt økt faktorproduktivitet. Som tidligere diskutert, kan det være en utfordring for tolkning og forståelse av resultatene at teknologendringer ikke er representert ved spesifikke teknologier og tilhørende utstyr, vareinnsats og kompetanse. Det er mulig å gjøre standard følsomhetsanalyser for å undersøke konsekvensene av usikkerhet knyttet til ulike antakelser, men siden aktørene ikke hensyntar forventninger om framtiden i dynamisk-rekursive modeller, tar ikke modellen hensyn til betydningen av usikkerhet for aktørenes tilpasning.

D. Egenskaper for analyser av kostnader og andre konsekvenser av virkemiddelbruk

Velferdseffekter er representert ved endring i BNP i GRACE-Nor. Det er imidlertid mulig å beregne andre velferdsmål basert på de representative husholdningenes nytte, som i SNOW. Endring i BNP vil skille seg fra endring i nytte først og fremst ved at eksport inngår i BNP uten at det direkte påvirker nytte, mens det er motsatt for import. Det er også problematisk at BNP er deflatert med konsumprisindeksen, noe som gir en upresis vektning av godene som produseres særlig på grunn av handel. Modellen fanger opp ineffektiviteter som oppstår på grunn av eksisterende skatter og avgifter i den grad de er reflektert i kryssløpstabellen, men mangler enkelte vesentlige inngrep, som beskatning av lønnsinntekter, kapitalinntekter og naturressurser.

GRACE-Nor fanger ikke opp noen former for markedsimperfeksjoner, som asymmetrisk informasjon, markedsmakt og eksterne virkninger, som kunnskaps- og nettverkseks-ternaliteter for umodne teknologier og helseeffekter. Dette vil ha konsekvenser for hvor godt modellen representerer kostnader ved virkemiddelbruk.

Modellen kan fange opp fordelingsvirkninger mellom de ulike regionene i verden. Siden Norge er modellert som én region med én representativ husholdning per region, kan ikke fordelingsvirkninger for husholdninger i Norge fanges opp i modellen. Hvor detaljerte virkninger for enkelt næringer som fanges opp avhenger av hvilke justeringer i næringsinndeling som gjøres.

I motsetning til i SNOW er arbeidstilbudet i modellen eksogent gitt. Dette begrenser husholdningenes tilpasningsmuligheter, og gjør at potensielt viktige velferdseffekter av klimapolitikk ikke vil fanges opp i modellen.

E. Egenskaper for analyse av utslippseffekten av statsbudsjettet

Ettersom datasettet for Norge er oppdatert basert på nasjonalregnskapsdata representeres eksisterende skatter og avgifter fra kryssløptabellen i GRACE-Nor, og det er mulig å analysere utslippseffekter av endringer i disse skattene og avgiftene. Skatter og avgifter utenfor kryssløpstabellen er ikke lagt inn. Det må undersøkes nærmere hvorvidt og hvordan andre typer budsjettposter, for eksempel driftsutgifter, overføringer til husholdninger og subsidier til næringer, og investeringer i bygg og anlegg kan fanges opp. Støtte til FOU vil ikke ha endogene effekter i modellen; slike må eventuelt legges inn basert på antakelser utenfor modellen. Virkninger på utslipp og opptak i LULUCF-sektoren vil ikke kunne fanges opp i denne modellen. Det har ikke vært prioritert i modellutviklingen å representere offentlige budsjettets påvirkning på økonomien. Det vil være relevant å vurdere utslippseffekter av endringer i budsjettposter både på kort og lang sikt. Dermed kan det også være behov for å innarbeide tregheter i tilpasningen for å gjøre modellen bedre egnet til å vurdere utslippseffekter av endringer i budsjettposter på kort sikt. Til slutt vil modellens evne til å fange opp tilpasninger og samspill i økonomien være viktig. På samme måte som for SNOW er det en fordel at GRACE-Nor har en fleksibel næringsinndeling som kan være like disaggregert som inndelingen i nasjonalregnskapet.

F. Dokumentasjon og anvendelighet

Ettersom modellen fortsatt er under utvikling er det foreløpig ikke publisert analyser som er gjort med modellen. Arbeidet som er gjort med å oppdatere datagrunnlaget for Norge i modellen er godt dokumentert, og selve modellen er dokumentert i Aaheim et al. (2018).

Parameterne som er brukt er dokumentert i dokumentasjonen av MIT EPPA-modellen, og det finnes omfattende og detaljert dokumentasjon av GTAP-datasettet som er brukt. Næringsinndelingen er fleksibel og mulig å tilpasse analyseformålet. Det vil være mer omfattende å oppdatere GRACE-Nor enn GRACE på grunn av justeringene som må til for å kunne bruke nasjonalregnskapsdata i stedet for GTAP-data, og som tidligere nevnt er man begrenset av basisåret i siste versjon av GTAP-dataene.

Samlet vurdering

Utvalgets vurdering er at GRACE-Nor i mindre grad enn SNOW inkluderer vesentlige utslippsskilder på et tilstrekkelig detaljert nivå. Den inkluderer kun CO₂ og viktige utslipp er ikke inkludert. Det er vanskelig å skille mellom kvotepliktig og ikke-kvotepliktig utslipp i modellen, og den har vesentlig færre næringer. Noen av disse manglene kan rettes på ved en ytterligere disaggregering. I likhet med SNOW inkluderer den ikke utslipp eller opptak fra LULUCF. På den annen side fanger GRACE-Nor opp hvordan endringer i Norge kan påvirke utlandet.

Modellering av utslippsreduksjoner skjer kun gjennom redusert aktivitet og ved substitusjon mellom produksjonsfaktorer/konsumgoder. I noe større grad enn for SNOW er sentrale næringer for enkelt modellert til å kunne gi en god beskrivelse av mulige utslippsreduksjoner, og utvalget mener det vil være formålstjenlig å vurdere en bedre representasjon av enkelte utslippsskilder, samt en finere inndeling av enkelte næringer. Siden GRACE-Nor er en dynamisk-rekursiv modell, tar aktørene ikke innover seg framtidige endringer. Substitusjonselastisitetene er basert på gamle internasjonale studier. Modellen har god representasjon av økonomiske virkemidler og enkelte direkte reguleringer, men ikke støtte til teknologiutvikling eller informasjonstiltak.

GRACE-Nor inkluderer ikke tregheter i priser og tilpasning eller konjunkturer. Den er derfor ikke særlig egnet til analyser på kort sikt og for analyser av akkumulerte endringer for de nærmeste årene. Modellen er derimot relativt godt egnet for analyser på lang sikt, selv om den har visse mangler som påpekt over. Det er ikke mulig

å analysere betydningen av usikkerhet annet enn ved følsomhets- og robusthetsanalyser. Velferdseffekter i GRACE-Nor er representert ved endring i BNP, men det er mulig å beregne andre velferdsmål. Modellen fanger opp interaksjon mellom eksisterende og nye/endrede virkemidler, men inkluderer ikke markedsimperfeksjoner eller fordelingseffekter mellom husholdninger i Norge. For analyser av statsbudsjettet er det en fordel at modellen kan gjøres forholdsvis disaggregert og inkluderer en rekke skatter og avgifter, men den mangler på den annen side noen viktige utslippsskilder. Modellen er basert på både GTAP- og nasjonalregnskapsdata, som gjør det noe mer krevende å oppdatere datagrunnlaget. Det mangler foreløpig en modelldokumentasjon av den norske versjonen.

Oppsummert har GRACE-Nor en rekke egenskaper som er nyttige for analyser av utslippseffekter og kostnader på lang sikt, om enn i noe mindre grad enn SNOW. En styrke ved modellen er at effekter i utlandet kan studeres. Den er godt egnet for videreutvikling og eventuell kobling til sektormodeller.

4.4 NOREG

4.4.1 Innledning

NOREG 2 (Norwegian Regional General Equilibrium Modelling System) er en dynamisk-rekursiv SCGE-modell utformet for analyser av regionaløkonomisk utvikling fem år og mer fram i tid, som er utviklet av Transportøkonomisk Institutt (TØI), Vista Analyse, Menon Economics og SSB. Modellen foreligger nå i versjon NOREG 2.0³³, som er basert på en tidligere versjon av NOREG og SCGE-modellen PINGO, se boks 4-4. En ny versjon (NOREG 2.1) nærmer seg slutføring. Beskrivelsen nedenfor gjelder NOREG 2.0, men det er også inkludert beskrivelser av den nye versjonen der det er relevant, basert på informasjon fra Vista Analyse.

³³ For en nærmere omtale, se [Vista Analyse \(u.å.\)](#).

BOKS 4-4 PINGO (Prognosemodell for regional og interregional transport)

PINGO er en SCGE-modell som er utviklet av TØI for å analysere de nasjonale og regionale implikasjonene av ulike tiltak i transportsektoren. Modellen har særlig blitt brukt til å anslå nasjonal- og regionaløkonomiske effekter av større infrastrukturprosjekter, se for eksempel Hansen og Johansen (2016). I tillegg har modellen blitt brukt til beregning av vekstrater for varestrømmer i framskrivninger av godstransport (Hovi et al., 2017). Modellen inngår i et modellsystem for person- og varetransport som ble beskrevet og vurdert i andre rapport fra Teknisk beregningsutvalg for klima (2020).³⁴

Modellstrukturen er:

- 89 innenlandske og 7 utenlandske soner. Innenlandsk soneinndeling tilsvarer SSBs oppdeling i økonomiske regioner, mens de utenlandske sonene reflekterer Norges viktigste handelspartnere.

- 25 næringer, herav er tre primærnæringer, to knyttet til utvinning av naturressurser (bergverk og petroleum), 13 er vareproduserende næringer og 7 er tjenesteproduserende næringer.
- Representative regionale husholdninger
- En nasjonal myndighetsaktør

Modellen kan kjøres enten med antakelse om fullkommen konkurranse i alle markeder eller med antakelse om monopolistisk konkurranse i alle eller noen utvalgte markeder. Modellen bygger i hovedsak på nasjonalregnskapet ved kryssløpstabeller produsert av SSB. Varestrømmer og tilhørende kostnadstall er hentet fra Nasjonal Godsmoell, mens strømmer og kostnader for persontransport er hentet fra persontransportmodellene. I nåværende modellversjon er basisåret 2016.

4.4.2 Beskrivelse av modellen

Aktører, atferd og markeder

NOREG 2 modellerer Norge som sammensatt av regioner. Den regionale inndelingen er fleksibel: den minste enheten er kommuner, som kan aggregeres til større enheter (for eksempel fylker, distrikter eller økonomiske soner) etter behov. Det er også mulig å kombinere inndelingen, for eksempel analysere ett fylke inndelt i kommuner, mens resten av landet er inndelt i fylker.

Det er tre typer aktører i modellen: husholdninger, bedrifter og offentlig sektor. Aktørene knyttes sammen gjennom kryssløpet, faktormarkedene og budsjettbetingelsene. Det er full ressursutnyttelse, med andre ord ingen arbeidsledighet eller andre ledige ressurser. Prisene sørger for likevekt i vare- og faktormarkedene i hver periode.

Det er én representativ husholdning i hver region i NOREG 2.0, mens NOREG 2.1 har fire representative husholdninger i hver region, delt inn etter utdanningsnivå. Husholdningene tilbyr sin arbeidskraft til bedriftene i modellen og mottar lønn. Husholdningene eier realkapitalen, som de leier ut mot renteinntekter. Lønnsinntekt og kapitalinntekt, samt eventuelle overføringer fra myndighetene, utgjør hushold-

ningenes inntekt. Husholdningene kan velge mellom 24 konsumvarer og -tjenester, som sammenfaller med næringsstrukturen i modellen, og maksimerer sin nytte, gitt sitt tilgjengelige budsjett. Det er antatt en Stone-Geary nyttefunksjon, som gir et lineært utgiftssystem (LES) med et minimumsforbruk av hver vare. Etterspørselen utover minimumsforbruket er prisavhengig, med substitusjonselastisitet lik 1 (Cobb-Douglas). Dette innebærer at det framkommer ulike inntektselastisiteter, som er en fordel, særlig for framskrivninger. Selv om antakelsen om husholdningenes atferd er lik i alle regioner, betyr ikke det at husholdningene er like på tvers av regioner. Det er geografiske forskjeller i disponibel realinntekt, og størrelsen på arbeidsmarkedene varierer.

Offentlig sektor er modellert som én nasjonal aktør som mottar alle skatteinntektene og betaler ut subsidier til bedrifter og overføringer til husholdninger. Offentlig sektor etterspør varer etter en enkel nyttefunksjon.

I hver region er det 24 profittmaksimerende **bedrifter** som representerer ulike næringer, som vist i vedlegg 1, men inndelingen er fleksibel.³⁵ Eksempler på næringer som inngår, er petroleumsnæringen, tre transportnæringer (land-, luft-, og sjøtransport), fem industrinæringer, bygg- og anleggsnæringen, landbruksnæringen og vann- og avløp,

³⁴ I tillegg ble det innhentet en grunnlagsrapport (Fridstrøm et al., 2020).

³⁵ Det er mulig å inkludere inntil 64 næringer i modellen, tilsvarende næringsinndelingen i nasjonalregnskapet.

inkludert avfallshåndtering. Hver bedrift produserer én vare eller tjeneste. Produksjonsteknologiene har konstant skalaautbytte, og er modellert som CES-funksjoner der kapital (K), arbeidskraft (L), energi (E) og ulike innsatsvarer (M) til en viss grad er substituerbare med hverandre. Det er to aggregerte energivarer: den ene er fossile brenslere (raffinerte petroleumsprodukter) og den andre er elektrisitet og fjernvarme. Utslipp av klimagasser er ikke lagt inn i modellen. Substitusjonsmulighetene på produksjonssiden har dermed mange likhetstrekk med figur 4-1. Tilgang på arbeidskraft i hver region er eksogent gitt for hvert år, basert på SSBs kommunefordelte befolkningsframskriving og en eksogent gitt sysselsettingsrate. Modellen har regionale arbeidsmarkeder. I NOREG 2.0 er det én type arbeidskraft, som følge av at det kun er én representativ husholdning i hver region. I NOREG 2.1 følger det av de fire representative husholdningene at det er fire typer arbeidskraft, differensiert etter utdanningsnivå.³⁶ I tillegg er det mulighet for flytting og pendling mellom regionene i NOREG 2.1, med flyttetilbøyelighet som varierer med utdanningsnivå. Investert kapital er bundet til næringer og regioner, mens nyinvesteringer i hver periode flyter til de næringene og regionene som gir høyest avkastning, med noe treghet (se beskrivelse under *tidshorisont og dynamikk*).

Regionene (fylkene eller kommunene) er knyttet sammen gjennom handel. Det er enklere å handle med, eller transportere, enkelte varer og tjenester enn andre, noe som gjenspeiles i elastisitetene. Varer produsert i ulike norske regioner er tilnærmet perfekte substitutter. Det er høyere handelstetthet for varer enn for tjenester, det vil si at tjenester i større grad konsumeres i samme region som de produseres.

Utenrikshandel

Økonomien er liten og åpen, med omfattende handel med utlandet til eksogent gitte verdensmarkedspriser. Handelen er modellert ved Armington-forutsetningen, som antar at importerte og hjemmeproduserte varer er imperfekte substitutter. Valutakursen kan være enten fast eller flytende.

Hvordan er utslipp modellert?

Utslipp inngår ikke i modellen i dag. De aggregerte energivarere fossile brenslere (raffinerte petroleumsprodukter) og elektrisitet/fjernvarme inngår som innsatsvarer i produktfunksjonen til bedriftene.

Tidshorisont og -dynamikk

Modellen er en årlig dynamisk-rekursiv modell utformet for å analysere fem år og mer fram i tid. På samme måte som i SNOW maksimerer husholdningen sin nytte i hver periode, gitt en fast sparerate og informasjon om inneværende periodes inntektsmuligheter og priser. De tar ikke inntektsmulighetene framover i betraktning og optimerer ikke konsummulighetene over tid. Bedriftenes investeringer er basert på en antakelse om «adaptive» forventninger, der det både tas hensyn til historisk avkastning og forventet langsiktig avkastning. Dette innebærer at det er en viss treghet i bedriftenes investeringsatferd, som forhindrer urealistisk respons på endringer i avkastningen.³⁷

Virkemidler

I Rosnes et al. (2020) er det oppgitt at modellen er særlig egnet til studier av langsiktige regionaløkonomiske effekter av strukturpolitiske tiltak.³⁸ Modellen har både blitt brukt til framskrivninger av regionaløkonomiske utviklingstrekk og til analyse av virkemidler, se Rosnes et al. (2021) og Rosnes og Vennemo (2021). Rosnes og Vennemo (2021) presenterer en enkel analyse av klimapolitikk, der avgifter på fossile brenslere i ikke-kvotepålagte næringer økes tilsvarende en økning i CO₂-avgiften til 2000kr/tonn i 2030. Samtidig forutsetter de i analysen blant annet at substitusjonselastisiteten mellom energivarere i transportnæringene øker fra 0,3 i 2018 til 0,6 i 2030, for å gjenspeile at det forventes å bli lettere å erstatte fossile brenslere med elektrisitet når det blir flere elbiler. Studien finner blant annet at avgiften medfører redusert produksjon i nesten alle næringer, vridning fra lufttransport til landtransport, redusert konsum av fossile brenslere og økt konsum av elektrisitet. Avgiftsøkningen oppgis å ha relativt små regionale (fylkesvise) effekter, noe som skyldes at det er brukt samme (nasjonale) forutsetninger for alle regioner.

Samfunnsøkonomiske kostnader og fordelingseffekter

Velferden i økonomien representeres ved den neddiskonterte nytten til de representative husholdningene i hver region. Tilsvarende som for SNOW-modellen, vil de samfunnsøkonomiske (netto)kostnadene ved endret virkemiddelbruk (eller andre endringer man ønsker å studere) bli reflektert ved velferdstapet eller -gevinsten til de representative husholdningene. For å anslå nasjonale effekter, må de regionale effektene aggregeres opp til nasjonalt nivå. Det er mulig å studere regionale fordelingsvirkninger for husholdninger og bedrifter, samt fordelingseffekter for husholdninger med ulikt utdanningsnivå i NOREG 2.1.

³⁶ Sammensetningen av arbeidskraften i en gitt næring er bestemt av sammensetningen i basisåret.

³⁷ Bedriftenes investeringer er modellert som i MONASH-modellen, se Dixon og Rimmer (2002).

³⁸ Strukturpolitiske tiltak er politisk bestemte endringer i én eller flere næringers økonomiske rammebetingelser.

Eksisterende skatter og avgifter som skaper effektivitets- kiler i økonomien er representert i modellen. Det innebærer at interaksjoner mellom skatter og avgifter som allerede skaper effektivitetstap, og nye/endrede virkemidler, vil bli fanget opp i anslag for samfunnsøkonomiske kostnader ved bruk av NOREG. På samme måte som i SNOW, vil ikke modellen fange opp andre markedsimperfeksjoner.

Datagrunnlag

Datagrunnlaget til modellen er nasjonalregnskapet ved kryssløpstabeller, med 2017 som basisår per nå. Til regionalisering av dataene brukes Menons regnskaps- database (for basisåret som velges), som inneholder regnskap for alle norske bedrifter unntatt enkeltperson- foretak. Handelen mellom regionene i basisåret beregnes ved hjelp av matriser for regionale varestrømmer, mens transportkostnader hentes fra Nasjonal Godsmodell (NGM).³⁹ Elastisitetene er tallfestet basert på internasjonal forskningslitteratur som benytter samme struktur på CES-funksjonen (Koesler & Schymura, 2015), med substitu- sjonselastisiteter som varierer mellom næringer. Det pågår arbeid med å beregne elastisitetene basert på norske data. Teknologiutvikling er eksogent gitt. Bakgrunnstall for befolkningsutvikling, sysselsettingsrate, produktivi- tetsutvikling, offentlig konsum med mer hentes typisk fra offentlig tilgjengelig informasjon, som SSB og regjeringens perspektivmelding.

4.4.3 Vurdering av NOREG 2.0

A. Grunnleggende egenskaper

Vurderingen her er basert på modellversjonene NOREG 2.0 og NOREG 2.1, men det er også sett hen til hva slags egenskaper modellen har med tanke på klimaanalyser, dersom utslipp inkluderes på et tidspunkt i framtiden.

NOREG er primært utarbeidet for analyse av utvikling i sentrale økonomiske variable, som produksjon, syssel- setting med mer, i norske kommuner, fylker og landsdeler. Modellen inkluderer ikke utslipp. To aggregerte energivarer inngår i produktfunksjonen til bedriftene: fossile brensler og elektrisitet/fjernvarme. Siden elektrisitet/fjernvarme har svært lave utslipp, vil modellen allerede i dag kunne angi retningen på utslippseffekter av virkemidler ved å observere substitusjon mellom/forbruk av de to energivarene. Den vil imidlertid ikke kunne gi kvantitative anslag for utslipp- effekter. Dersom modellen videreutvikles til å inkludere utslipp av klimagasser, kan det være nødvendig å skille

mellom ulike fossile brensler, men dette avhenger av hvor detaljerte analyser det er behov for.

Modellen har relativt omfattende representasjon av relevante regionaløkonomiske forhold, som varestrømmer og fraktkostnader mellom regioner. Med representative husholdninger og bedrifter i hver region blir antallet aktører vesentlig større enn i makromodeller med nasjonal oppløsning (alt annet likt). Næringsstrukturen i modellen er mer aggregert enn i SNOW, men mer disaggregert enn i GRACE-Nor. NOREG kan disaggregeres på samme måte som SNOW-modellen, til nasjonalregnskapets fineste nivå, men det kreves også at næringene kan deles inn på regionnivå. Finere inndeling enn dette vil måtte basere seg på mange kilder som ikke nødvendigvis er konsistente, som kan gjøre tallfestingen av modellen betydelig mer arbeidskrevende.

Ved en eventuell inkludering av utslipp, kan det være krevende å etablere en presis inndeling etter kvotepliktige og ikke-kvotepliktige utslipp, som diskutert i forbindelse med vurderingen av SNOW. De direkte og indirekte responsene i modellen vil også være begrenset av næringsinndelingen.

Modellen gir ikke mulighet til å anslå utslippseffekter av klimavirkemidler kvantitativt, som nevnt over, ettersom det forutsetter at modellen kobler økonomisk aktivitet til utslipp. Modellen kan være egnet til å analysere regional- økonomiske velferdseffekter av enkelte virkemidler, som avgifter på energivarer (som kan være klimabegrunnet eller begrunnet med andre hensyn), men den kan ikke brukes til å studere utslipps- og velferdseffekter av mer detaljerte endringer i CO₂-avgiftssatser og andre klimavirkemidler.

Modellen vil, i likhet med SNOW-NO og GRACE-Nor, ikke fange opp betydningen av aktørenes forventningsdan- nelse. Modellen er dermed mindre egnet til analyser hvor tidspunktet for aktørenes tilpasning framtidige endringer er viktig. Modellen er best egnet til å analysere virkninger på et gitt tidspunkt på mer enn fem års sikt, og i mindre grad akkumulerte effekter.

Modellen bruker et nokså oppdatert datagrunnlag, med 2017 som basisår. Parameterne er basert på relativt ny internasjonal forskningslitteratur om empiriske sammen- henger, med substitusjonselastisiteter som varierer mellom næringer (Koesler & Schymura, 2015). Det pågående empiriske arbeidet med å oppdatere parameterne basert på norske data, vil bidra til at sammenhengene i modellen

³⁹ NGM beregner transportkostnader for godstransport innenfor en rekke produktkategorier mellom alle norske kommuner.

i større grad reflekterer norske forhold. En slik oppdatering vil likevel ikke fange opp teknologiutvikling og andre forhold som påvirker substitusjonsmulighetene framover i tid.

B. Egenskaper for analyser på kort sikt

Modellen er laget for analyser fem år og mer fram i tid. Likevektsbetingelsene fordrer at tidsperspektivet er langt nok til at økonomien har tid til å tilpasse seg. NOREG har imidlertid innebygget en viss treghet i investeringsatferden/kapitaltilpasningen til bedriftene og treghet i arbeidsmarkedet, til forskjell fra SNOW og GRACE-Nor. Det er ikke lagt opp til å fange opp konjunkturer gjennom stokastiske sjokk. I prinsippet er det mulig å se på årlige effekter i modellen, men av årsakene nevnt over er ikke modellen godt egnet til dette formålet. Som diskutert i forbindelse med vurderingen av SNOW, finnes det flere løsninger fra litteraturen som kan implementeres for å gjøre NOREG enda mer egnet for å studere problemstillinger på kort sikt. Dette kan også gjøre modellen mer egnet til å studere akkumulerte endringer over tid.

C. Egenskaper for analyser på lengre sikt

I likhet med SNOW og GRACE er NOREG bedre egnet for analyser på lang sikt enn på kort sikt. Teknologiene i modellen er imidlertid basert på dagens teknologier. Selv om det er vanlig å legge til grunn en viss produktivitetsvekst, er det ingen endogen teknologiutvikling og det skjer ingen store sprang i teknologiutvikling. Det er mulig å bruke ulike elasticiteter på kort og lang sikt for å ta hensyn til at tilpasningen kan være forskjellig.

Overordnede utviklingstrekk knyttet til forventet utvikling i utlandet, økonomi, teknologi og befolkning legges inn eksogent i modellen når den framskrives. Som tidligere diskutert kan det være en utfordring for tolkning og forståelse av resultatene at teknologidringer ikke er representert ved spesifikk teknologi og tilhørende utstyr, vareinnsats og kompetanse. Det er mulig å gjøre standard følsomhetsanalyser for å undersøke konsekvensene av usikkerhet knyttet til ulike antakelser. Siden aktørene ikke tar hensyn til forventninger om fremtiden i dynamisk-rekursive modeller, tar ikke modellen hensyn til betydningen av usikkerhet for aktørenes tilpasning.

D. Egenskaper for analyser av kostnader og andre konsekvenser av virkemiddelbruk

Modellen er innrettet mot å studere effekter på regionalt nivå, men samfunnsøkonomiske (nasjonale) velferdseffekter kan også anslås, slik som i SNOW. Uten utslipp inkludert er det imidlertid langt mer begrensede muligheter for å studere effekter av klimavirkemidler. Modellen fanger opp samspillet mellom nye inngrep og eksisterende skatter og avgifter gjennom datagrunnlaget for kryssløpet, og har også lagt inn inntektsbeskatning i husholdningene

på lignende vis som i SNOW. NOREG fanger ikke opp markedsimperfeksjoner som asymmetrisk informasjon, markedsrett og eksterne virkninger, som kunnskaps- og nettverkseksternaliteter for umodne teknologier og helseeffekter. Dette vil ha konsekvenser for hvor godt modellen representerer kostnader ved virkemiddelbruk.

Modellen har stor heterogenitet blant bedrifter og husholdninger langs den regionale aksene, og i NOREG 2.1 er husholdninger med ulike utdanningsnivåer representert. Dette muliggjør studier av flere typer fordelings effekter. Med mobil arbeidskraft i siste versjon av modellen, er det også større muligheter for å studere effekter på regionale arbeidsmarkeder og befolkningsutvikling enn med SNOW og GRACE-Nor.

Dersom utslipp hadde vært inkludert i modellen, ville den kunne dekket flere klimavirkemidler enn i dag, og dermed belyst regionale velferdseffekter (fordelingsvirkninger) av både nasjonale og regionalt differensierte klimavirkemidler (for eksempel CO₂-avgift). Med en slik SCGE-modell kan man bruke regionspesifikke substitusjonselastisiteter. Det kan være relevant dersom det for eksempel antas å være lettere å bytte til elektriske kjøretøy i enkelte regioner enn andre som følge av at infrastruktur, klimatiske forhold, atferd, med mer, varierer mellom regioner. Med differensiert arbeidskraft og mulighet for flytting mellom regioner (i versjon NOREG 2.1), kan modellen være relevant for analyser av hvordan klimavirkemidler påvirker regionale arbeidsmarkeder og bosetningsmønstre (gitt at utslipp inkluderes).

E. Egenskaper for analyse av utslippseffekten av statsbudsjettet

Ettersom datasettet for Norge er oppdatert basert på nasjonalregnskapsdata, er eksisterende skatter og avgifter representert i NOREG. Det ville derfor vært mulig å analysere utslippseffekter av endringer i disse skattene og avgiftene, dersom utslipp hadde vært inkludert.

F. Dokumentasjon og anvendelighet

Modellen er relativt godt dokumentert i Rosnes et al. (2020), men den har blitt videreutviklet etter dette. Både nærings- og regioninndeling er fleksibel og mulig å tilpasse analyseformålet.

Samlet vurdering

Utvalgets vurdering er at siden utslipp ikke er modellert og modellen heller ikke skiller mellom ulike fossile brensler, er NOREG i sin nåværende form ikke godt egnet for studier av utslipp og klimapolitikk. Produksjonsstrukturen er relativt lik GRACE-Nor. Den regionale inndelingen innebærer en styrke sammenlignet med de to foregående modellene. NOREG er dynamisk-rekursiv, og aktørene tar derfor ikke innover

seg endringer i framtida. Substitusjonselastisitetene er basert på relativt nye internasjonale studier. Modellen kan analysere effekter av avgifter på fossil energi på nasjonalt eller regionalt nivå, som kan sees på som en forenklet klimaanalyse.

NOREG fanger ikke opp konjunkturer, men i motsetning til SNOW og GRACE-Nor har den innebygget noe treghet i bedriftenes investeringsatferd. Modellen er likevel best egnet for analyser på lang sikt. Det er ikke mulig å analysere betydningen av usikkerhet annet enn ved følsomhets- og robusthetsanalyser. Modellen har et konsistent mål på samfunnsøkonomiske kostnader, fanger opp interaksjon mellom eksisterende og nye virkemidler, men inkluderer ikke relevante markedsimperfeksjoner. Fordelingseffekter mellom regioner, og for husholdninger med ulikt utdanningsnivå i versjonen som er under utvikling, kan studeres. For analyser av statsbudsjettet er modellen per i dag ikke egnet, siden den ikke inkluderer utslipp. Modellen er relativt godt dokumentert.

Oppsummert er NOREG ikke velegnet for klimaanalyser slik den er i dag, men den har egenskaper som gjør at en videreutviklet versjon kan være relevant for analyser på lang sikt. Modellens fremste styrke er den regionale inndelingen.

4.5 REMES

4.5.1 Innledning

REMES (Regional Equilibrium Model for Norway with focus on the Energy System) er en dynamisk-rekursiv SCGE-modell med regional oppløsning for Norge, med vekt på modellering av energisystemet.⁴⁰ Modellen er utformet for analyser på lang sikt, og er hovedsakelig utviklet av SINTEF og NTNU. Beskrivelsen nedenfor er basert på Werner et al. (2017), supplert med informasjon fra NTNU om nyere versjoner av modellen, inkludert en nyutviklet versjon som inkluderer CO₂-utslipp og beholdninger av naturressurser. Denne versjonen er foreløpig ikke dokumentert. Det finnes også en intertemporal variant av modellen. Den påfølgende beskrivelsen og vurderingen konsentrerer seg hovedsakelig om den dynamisk-rekursive varianten, siden det er denne som inkluderer CO₂-utslipp.

4.5.2 Beskrivelse av modellen

Aktører, atferd og markeder

Modellen deler Norge inn i fem regioner som samsvarer med prisområdene i kraftsystemet.⁴¹ Petroleumsnæringen er håndtert særskilt i modellen, på grunn av de spesielle forholdene i næringen (stor aktivitet som ikke foregår på fastlandet, kraftig beskatning og store inntekter). Denne sektoren er lagt til region Vestlandet.

Det er én representativ husholdning i hver region. Husholdningene har CES-nyttefunksjoner som de maksimerer gitt en budsjettbetingelse. Husholdningene eier innsatsfaktorene i økonomien, inkludert naturressurser (olje, naturgass og kull) i den nyutviklede versjonen av modellen. Samlet arbeidstilbud er eksogent gitt, og arbeidskraften er mobil mellom næringer, men ikke mellom regioner. Husholdningenes sparerate er konstant.

I hver region er produksjonssiden av økonomien representert gjennom én representativ bedrift i 36 ulike næringer, som vist i vedlegg 1.⁴² Det er relativt høy detaljeringsgrad for kvotepliktige næringer, som utvinning av naturressurser og raffinering som er representert med 13 ulike næringer. Transportnæringene er litt mer detaljert inndelt enn i NOREG, med skinnegående transport som egen næring. Hver bedrift produserer flere varer; eksempelvis produserer bedriften som representerer landbrukssektoren både landbruksvarer og biodrivstoff. Produksjonsteknologiene har konstant skalautbytte og er modellert som CES-funksjoner der kapital, arbeidskraft, energi og materialer er substituerbare. Både eksisterende kapital og nye investeringer kan flyte fritt mellom næringer, og det kan velges mellom å holde kapitalen fast eller la den være mobil mellom regioner. Bruken av innsatsfaktorer fastsettes ved kostnadsminimering for gitt produksjon, og produksjonsvolum fastsettes basert på profittmaksimering.

Offentlig sektor omfatter en nasjonal og fem regionale myndigheter (etter inndelingen i kraftprisområder), der det kan velges hvilket nivå som er representert i modellen, alternativt kan begge nivåer være representert. Offentlig sektor mottar skatteinntekter fra husholdningene i egen region og overføringer fra andre regioner og utlandet. Inntektene går til overføringer til husholdningene, investeringer og offentlig konsum. Offentlig sektor etterspør varer og tjenester etter en enkel nyttefunksjon.

⁴⁰ Modellen finnes også med et europeisk datasett der hvert land er modellert som en region.

⁴¹ Prisområdene i kraftsystemet er nærmere forklart i Olje- og energidepartementet (2021)

⁴² Det er mulig å inkludere inntil 64 næringer i modellen, tilsvarende næringsinndelingen i nasjonalregnskapet.

Varer og tjenester kan handles mellom regionene. Konsumet er modellert ifølge Armington-antagelsen, med substituerbarhet mellom varer/tjenester produsert i egen region, andre regioner og utlandet. Det er forskjellig Armington-elasticitet for ulike varer/tjenester, for eksempel er den høy for olje og naturgass, som er homogene varer. Modellen antar at det ikke er friksjon mellom tilbud og etterspørsel etter varer og innsatsfaktorer.

Modellen er utviklet med henblikk på kobling til energisystemmodeller, som TIMES-NO.

Utenrikshandel

Økonomien er modellert som liten og åpen. Utenrikshandel er modellert ved å anta betalingsbalanse med utlandet. Import er modellert ifølge Armington-antagelsen. Modellen har høye elasticiteter på eksportnæringer og Armington-struktur, for å simulere en høy substituerbarhet mellom nasjonale og internasjonale varianter av varer, i stedet for gitte verdensmarkedspriser. Valutakursen er brukt som numéraire i modellen og holdes fast.

Hvordan er utslipp modellert?

I en nylig utviklet versjon er det tilknyttet koeffisienter for utslipp av CO₂ fra bruk av ulike «fossile» energivarer (råolje, oljeprodukter, gass, kull osv.) i ulike næringer, det vil si at utslipp står i et fast forhold til bruken av hver energivarer i en gitt næring. I tillegg inngår prosessutslipp. Utslippskoeffisientene er tallfestet med utgangspunkt i utslippsintensiteten for hver enkelt energivarer i hver næring i et basisår, og holdes fast over analyseperioden. Utslippsreduksjoner kan skje gjennom substitusjon til energivarer med lavere eller uten utslipp, gjennom substitusjon av energi med andre innsatsfaktorer i produksjonen, eller gjennom endret aktivitetsnivå. Andre klimagasser enn CO₂, eller andre utslipp til luft (NO_x, SO₂ med mer), inngår ikke. Utslipp fra avfallsforbrenning og utslipp/opptak i LULUCF-sektoren inngår heller ikke. Det er foreløpig ikke publisert analyser med denne modellversjonen. Teknologitvikling som påvirker utslipp er eksogent gitt, men ved kobling til en energisystemmodell, kan modellen fange opp teknologisk endring i energisektoren.

Tidshorison og -dynamikk

I den dynamisk-rekursive versjonen maksimerer husholdningen sin nytte i hver periode, gitt en fast sparerate og informasjon om inneværende periodes inntektsmuligheter og priser. De tar ikke inntektsmulighetene framover i betraktning og optimerer ikke konsummulighetene over tid. Tilsvarende minimerer bedriftene kostnadene i hver periode uten hensyn til framtidige kontantstrømmer.

Virkemidler

REMES kan brukes til å se på effekter av økonomiske virkemidler, som skatter og subsidier, eller endringer i eksogene forutsetninger, som oljepris og valutakurs. Modellen har også blitt brukt til å se på regionale effekter av strukturelle tiltak. Som nevnt i avsnitt 2.5 har REMES blitt hard-linket til TIMES-NO for å studere hvordan et utslippsreduksjonsmål for transportsektoren påvirker energisystemet og den økonomiske utviklingen i ulike regioner i Norge (Helgesen et al., 2018).

Den nyutviklede modellversjonen er utviklet særlig for å analysere hvilken CO₂-pris som er nødvendig for å nå gitte utslippsmål, og de regionaløkonomiske konsekvensene av dette. Den muliggjør imidlertid også studier av regionspesifikke utslippsmål eller klimavirkemidler. Det vil dessuten være mulig å bruke substitusjonselasticiteter som er spesifikke for hver av de fem regionene som inngår, gitt at man har grunnlag for å tallfeste disse.

Samfunnsøkonomiske kostnader og fordelingseffekter

Velferden i økonomien representeres ved den neddiskonterte nytten til de representative husholdningene i hver region. Tilsvarende som for SNOW-modellen, vil de samfunnsøkonomiske (netto)kostnadene ved endret virkemiddelbruk (eller andre endringer man ønsker å studere) bli reflektert ved velferdstapet eller -gevinsten til de representative husholdningene. For å anslå nasjonale effekter, må de regionale effekter aggregeres opp til nasjonalt nivå. Velferdseffekter for offentlig sektor beregnes ikke i modellen.

Eksisterende skatter og avgifter rettet mot produksjonsnæringene er representert i modellen, men ikke skatter og avgifter utenfor kryssløpstabellen, som inntektsskatt. Det innebærer at interaksjoner mellom skatter og avgifter i modellen som allerede skaper effektivitetstap, og nye/ endrede virkemidler, vil bli fanget opp i anslag for samfunnsøkonomiske kostnader ved bruk av REMES. På samme måte som i SNOW, vil ikke modellen fange opp markedsimperfeksjoner eller tilpasningskostnader.

Modellen kan anslå økonomisk aktivitet på regionalt nivå for ulike næringer, samt priseffekter og endringer i import og eksport. Modellen muliggjør studier av regionale fordelingseffekter og CO₂-utslippseffekter av klimavirkemidler.

Datagrunnlag

Kryssløpsgrunnlaget til modellen hentes fra CREEA-prosjektet (Compiling and Refining Environmental and Economic Accounts)⁴³. SSBs fylkesfordelte nasjonal-

⁴³ For en beskrivelse av prosjektet, se: European Commission – Community Research and Development Information Service (CORDIS) (u.å.).

regnskap og sysselsettingsstatistikk brukes til å regionalisere dataene. Handel mellom norske regioner er basert på data fra Gravity-modellen, se fra side 17 i Werner et al. (2017). Parameterne er basert på internasjonal forskningslitteratur om empiriske sammenhenger fra 2012, med substitusjonselastisiteter som varierer mellom næringer (Koesler & Schymura, 2012). Utslippsdata er hentet fra GENeSYS-modellen (Burandt, et al., 2018). Modellen kalibreres mot 2007 som basisår, men det pågår arbeid med å oppdatere dette til 2019 basert på SSBs nasjonalregnskap.

4.5.3 Vurdering av REMES

A. Grunnleggende egenskaper

REMES er primært utarbeidet for analyse av langsiktig utvikling i sentrale økonomiske variable, som produksjon, sysselsetting med mer, i norske regioner. I en nylig utviklet versjon er det knyttet koeffisienter for utslipp av CO₂ til bruk av ulike energivarer i ulike næringer. Denne versjonen er ikke brukt i konkrete analyser ennå. Den nye versjonen muliggjør analyse av utslipps- og velferdseffekter av klimavirkemidler. Modellen kan også angi fordelings effekter mellom regioner av klimavirkemidler. Den eksisterende modellversjonen, der Norge er delt inn i fem regioner, har et langt høyere regionalt aggregeringsnivå, og mindre fleksibilitet i den regionale inndelingen, enn NOREG-modellen.

Modellen har relativt omfattende representasjon av relevante regionaløkonomiske forhold. Med representative husholdninger og bedrifter i hver region blir antallet aktører vesentlig større enn i makromodeller med nasjonal oppløsning (alt annet likt). Næringsstrukturen er mer aggregert enn i SNOW, men mindre aggregert enn i basisversjonen av NOREG. Høy detaljgrad for næringer innen raffinering av petroleumsprodukter er mindre relevant for utslippsanalyser som vi har behov for i Norge. For analyser av ikke-kvotepiktige sektorer er forskjellen fra næringsinndelingen i NOREG nokså liten. REMES kan fleksibelt disaggregeres på samme måte som SNOW-modellen til nasjonalregnskapets fineste nivå, men det kreves også at næringene kan deles inn på regionnivå. En finere inndeling av næringer enn i nasjonalregnskapet vil måtte basere seg på mange kilder, som ikke nødvendigvis er konsistente. Det kan gjøre tallfestingen av modellen betydelig mer arbeidskrevende. REMES har de samme utfordringene som SNOW og GRACE når det gjelder å fordele utslippseffekter etter kvotepiktige og ikke-kvotepiktige utslipp. SNOW har noe mer fleksibilitet i og med at flere utslippskilder allerede er representert i hver næring.

I likhet med SNOW-NO, GRACE-Nor og NOREG, fanger ikke

modellen opp betydningen av aktørenes forventningsdannelse. Modellen er dermed mindre egnet til analyser hvor tidspunktet for aktørenes tilpasning framtidige endringer er viktig. Modellen er best egnet til å analysere virkninger på et gitt tidspunkt på lengre sikt, og i mindre grad akkumulerte effekter.

Datagrunnlaget til modellen er foreløpig kalibrert til år 2007, men det pågår arbeid med å oppdatere dette til 2019. Sammenlignet med NOREG, er parameterne basert på litt eldre internasjonal forskningslitteratur om empiriske sammenhenger for SCGE-modeller (Koesler & Schymura, 2012).

B. Egenskaper for analyser på kort sikt

Modellen er laget for analyser på lengre sikt slik, som de andre CGE-modellene. Likevektsbetingelsene fordrer at tidsperspektivet er langt nok til at økonomien har tid til å tilpasse seg. Det er treghet i tilpasningen ved at arbeidskraften ikke er mobil mellom regioner, og det er også mulig å holde kapitalen fast i hver region. Mellom næringer innad i hver region er det ingen treghet i bevegelsen av arbeidskraft og kapital, noe som gjør modellen mindre egnet for kortsiktige analyser, selv om det i prinsippet er mulig å se på årlige utslippseffekter i modellen. Det er heller ikke lagt opp til å fange opp konjunkturer gjennom stokastiske sjokk.

Som diskutert i forbindelse med vurderingen av SNOW finnes det flere løsninger fra litteraturen som kan implementeres for å gjøre REMES enda bedre egnet for å studere problemstillinger på kort sikt. Dette kan også gjøre modellen mer egnet til å studere akkumulerte endringer over tid.

C. Egenskaper for analyser på lengre sikt

I likhet med de andre CGE-modellene er REMES bedre egnet for analyser på lang sikt enn på kort sikt. Samtidig kan det virke urealistisk at arbeidskraften ikke er mobil mellom regioner for analyser på lang sikt. Det er mulig å bruke ulike elastisiteter på kort og lang sikt, for å ta hensyn til at tilpasningen kan være forskjellig. Overordnede utviklingstrekk knyttet til forventet utvikling i utlandet, økonomi, teknologi og befolkning legges inn eksogent i modellen når den framskrives. Som tidligere diskutert, kan det være en utfordring for tolkning og forståelse av resultatene at teknologiendringer ikke er representert ved spesifikk teknologi og tilhørende utstyr, vareinnsats og kompetanse. Det er mulig å gjøre standard følsomhetsanalyser for å undersøke konsekvensene av usikkerhet knyttet til ulike antakelser, men siden aktørene ikke hensyntar forventninger om framtiden i dynamisk-rekursive modeller, tar ikke modellen hensyn til betydningen av usikkerhet for aktørenes tilpasning.

Den nye modellversjonen kan brukes til å anslå CO₂-utslipps- og velferdseffekter av flere klimavirkemidler på lang sikt, både regionalt og nasjonalt. Utslippsintensiteter og parametere i modellen er basert på empiriske data (Koesler & Schymura, 2012) og fanger ikke opp teknologiske endringer eller andre endringer som forventes å påvirke utslipp framover i tid. Ved kobling til en energisystemmodell, som modellen er utviklet med henblikk på, kan modellen fange opp teknologisk endring i energisektoren. Den intertemporalt dynamiske versjonen av modellen modellerer aktørenes beslutninger endogen, men krever en reduksjon i antall næringer, varer og tjenester for å begrense modellens kompleksitet.

D. Egenskaper for analyser av kostnader og andre konsekvenser av virkemiddelbruk

Modellen er innrettet mot å studere effekter på regionalt nivå, men samfunnsøkonomiske (nasjonale) velferdseffekter kan anslås, slik som i SNOW. Modellen fanger opp markedsinngrep gjennom eksisterende skatter og avgifter fra datagrunnlaget på samme måte som i GRACE, men heller ikke REMES fanger opp markedsimperfeksjoner som asymmetrisk informasjon, markedsrett og eksterne virkninger, som kunnskaps- og nettverkseksternaliteter for umodne teknologier og helseeffekter. Dette vil ha konsekvenser for hvor godt modellen representerer kostnader ved virkemiddelbruk.

Modellen har noe heterogenitet blant bedrifter og husholdninger langs den regionale aksene, med fem regioner representert. Siden CO₂-utslipp er inkludert i modellen, vil den kunne belyse enkelte regionale velferdseffekter (fordelingsvirkninger) av både nasjonale og regionalt differensierte klimavirkemidler (for eksempel CO₂-avgift). Det er mulig å bruke regionspesifikke substitusjonselastisiteter, på samme måte som dette er en mulighet i NOREG. Siden arbeidskraften ikke er mobil mellom regioner, gir den mindre mulighet til å studere hvordan klimavirkemidler påvirker regionale arbeidsmarkeder og bosetningsmønstre enn NOREG 2.1.

E. Egenskaper for analyse av utslippseffekten av statsbudsjettet

Eksisterende skatter og avgifter fra kryssløpet er representert i REMES, og det vil være mulig å analysere utslippseffekter av endringer i disse skattene og avgiftene. Med 2007 som basisår ligger det en utfordring i at det er skattene og avgiftene dette året som danner grunnlag for analyser. Det pågående arbeidet med å oppdatere datagrunnlaget til 2019 vil avhjelpe dette.

F. Dokumentasjon og anvendelighet

Modellen er dokumentert i Werner et al. (2017), men den har blitt videreutviklet etter dette. Den nye versjonen

som inkluderer CO₂-utslipp er ikke dokumentert. Næringsinndelingen er fleksibel, og modellen er utviklet for å kunne kobles til energisystemmodeller.

Samlet vurdering

Utvalgets vurdering er at REMES inkluderer vesentlige utslippskilder på et relativt detaljert nivå, men i mindre grad enn SNOW. Den inkluderer kun CO₂. Avfallsforbrenning er ikke inkludert, men i motsetning til GRACE-Nor inkluderer den prosessutslipp. Det er vanskelig å skille mellom kvotepliktig og ikke-kvotepliktig utslipp. I likhet med de øvrige modellene inkluderes ikke utslipp og opptak fra LULUCF. Den regionale inndelingen er en styrke sammenlignet med SNOW og GRACE-Nor, men inndelingen er klart grovere enn i NOREG.

Modellering av utslippsreduksjoner skjer kun gjennom redusert aktivitet og ved substitusjon mellom produksjonsfaktorer/konsumgoder. I noe større grad enn for SNOW er sentrale næringer for enkelt modellert til å kunne gi en god beskrivelse av mulige utslippsreduksjoner. Modellen er imidlertid tenkt koblet til en energisystemmodell. Utvalget mener det vil være formålstjenlig å vurdere en bedre representasjon av enkelte utslippskilder samt en finere inndeling av enkelte næringer. Modellen er dynamisk-rekursiv, og aktørene tar derfor ikke innover seg endringer i framtida. Substitusjonselastisitetene er basert på ikke helt nye internasjonale studier. Modellen har god representasjon av økonomiske virkemidler, men ikke støtte til teknologiutvikling eller informasjonstiltak. Modellen kan til en viss grad analysere virkemidler på regionalt nivå.

REMES fanger ikke opp konjunkturer, men inkluderer blant annet noe treghet mellom regioner som ikke fanges opp av SNOW og GRACE. Modellen er imidlertid best egnet for analyser på lang sikt, selv om den har visse mangler som påpekt over. Det er ikke mulig å analysere betydningen av usikkerhet annet enn ved følsomhets- og robusthetsanalyser. Modellen har et konsistent mål på samfunnsøkonomiske kostnader, fanger opp interaksjon mellom eksisterende og nye virkemidler, men inkluderer ikke relevante markedsimperfeksjoner eller fordelingseffekter annet enn mellom de fem kraftprisområdene. For analyser av statsbudsjettet er det en fordel at modellen er forholdsvis disaggregert og inkluderer en rekke skatter og avgifter. Modellen er brukbart dokumentert.

Oppsummert har REMES en rekke egenskaper som er nyttige for analyser av utslippseffekter og kostnader på lang sikt, om enn i noe mindre grad enn SNOW. En styrke ved modellen er inndelingen i fem regioner og mulig kobling til energisystemmodell, men inndelingen er mindre fleksibel enn i NOREG. Den er godt egnet for videreutvikling.

4.6 NORA

NORA (NORwegian fiscal policy Analysis model)⁴⁴ er en nyutviklet makroøkonomisk modell som kan brukes til å analysere hvordan finanspolitikken påvirker sentrale makroøkonomiske størrelser på mellomlang sikt. NORA er bygd med utgangspunkt i mikroøkonomisk teori og tallfestet på norske data, og tar utgangspunkt i en DSGE-modell, som generelt beskrives i kapittel to. Modellen dekker overordnede sammenhenger i norsk fastlandsøkonomi, med en detaljert beskrivelse av hvordan ulike skattesatser og utgifter i statsbudsjettet påvirker økonomien. I beskrivelsen av modellen nedenfor omtales også utviklingen av modellen, siden dette kan være relevant for videreutvikling av makromodeller til klimaanalyser.

Modellen er utviklet med formål å gi en beskrivelse av sentrale økonomiske størrelser som gjenspeiler norske erfaringer og norsk virkelighet av relevans for finanspolitikk. Det innebærer at den må være tilstrekkelig detaljert til å være nyttig for å analysere politikken, men tilstrekkelig enkel til å være oversiktlig. Brukervennlighet er også et viktig hensyn, og derfor er modellen avgrenset til å dekke de mest sentrale finanspolitiske virkemidlene. Utlandet er enkelt modellert og utviklingsarbeidet har prioritert kompleksitet der det tilfører særlig verdi, som for eksempel i lønnsdannelsen og finanspolitikken. I avveiningen mellom teoretisk konsistens og empirisk relevans, er empirisk relevans prioritert.

4.6.1 Beskrivelse av modellen

Aktører, atferd og markeder

NORA bygger på, og deler grunnstruktur med, en DSGE-modell. Denne grunnstrukturen er bygget opp med nyttemaksimerende husholdninger, bedrifter som maksimerer profitt og myndigheter som stabiliserer økonomien. Generell likevekt sikrer at man tar hensyn til interaksjon mellom aktørene og mellom politikken og aktørene. Husholdningene har forventninger til framtidig inntekt som modelleres med tilhørende varians, noe som skaper

usikkerhet knyttet til forventet framtidig inntekt. Valg aktørene tar i dag påvirkes av forventninger om framtiden og av usikkerheten knyttet til disse forventningene. Tregheter i aktørenes tilpasning gir modellen keynesianske egenskaper på kort sikt og fører til at den økonomiske politikken påvirker realøkonomien. Standard mikroøkonomisk teori for DSGE-modeller er ikke fullt ut i tråd med norsk virkelighet. På noen områder er dette tatt hensyn til.

NORA er en liten åpen økonomi-modell for fastlands-Norge. Modellen har to typer husholdninger. De rikardianske husholdningene lever evig og har ubegrenset tilgang til finansmarkedene. De kalles rikardianske fordi deres atferd er framoverskuende, og altså uavhengig av hvorvidt finanspolitiske endringer finansieres i dag eller i framtiden. Det kan være vanskelig å finne holdepunkter for fullstendig rasjonalitet empirisk, og rikardianske husholdninger suppleres derfor ofte i politikken med såkalte likviditetsbeskrankede husholdninger, som ikke er framoverskuende og som konsumerer hele sin disponible inntekt hver periode. En slik to-agent-tilnærming er en relativt enkel måte å sikre at finanspolitikken får en rolle i den kortsiktige stabiliseringspolitikken, og at korrelasjonen mellom privat og offentlig konsum er mer i tråd med empiri.⁴⁵ En slik to-agent-modell omtales gjerne som TANK (Two Agent New Keynesian), og er slik husholdningssektoren er modellert i NORA.

Bedriftssektoren i NORA består av to ledd. Første ledd er delt inn i to innenlandske sektorer, en konkurranseutsatt (K) og en skjermet (S) sektor, som bruker arbeidskraft og kapital for å produsere innsatsvarer. I andre ledd kombineres disse varene med importerte varer, som resulterer i fire forskjellige varer: eksportvarer, konsumvarer, investeringsvarer og varer til offentlig konsum. Denne inndelingen i K-sektor og S-sektor er gjort for å få til en mer realistisk modellering av lønnsdannelsen. En slik dynamikk mellom en skjermet og en konkurranseutsatt sektor er et sentralt tema i analyser av økt oljepengebruk og såkalt «hollandsk syke». Det innebærer at S-sektor fortsatt har en viss eksportandel og importandel og at K-sektoren delvis vil være påvirket av etterspørselen i fastlandsøkonomien. Bedriftene i K- og S-sektor bestemmer nivået på investeringene, samt om investeringene skal finansieres ved egenkapital eller gjeld. Offentlig sektor finansierer sine utgifter og lønnskostnader gjennom beskatning

⁴⁴ Beskrivelsen er basert på [Rapport om utviklingen av NORA – en ny makroøkonomisk modell for analyse av finanspolitikken](#) (Finansdepartementet, 2019).

⁴⁵ Modellen er foreløpig ikke estimert, kun kalibrert. Det jobbes med å estimere modellen, og da vil dette dreie seg om den estimerte korrelasjonen mellom privat og offentlig konsum i modellen, som er positiv, i tråd med hva forskningen viser.

av husholdninger og bedrifter, og bruk av oljepenger. Sentralbanken setter renten i økonomien gjennom en renteregulering som forsøker å gjenspeile handlingsmønsteret til Norges Bank.

En utvidelse av NORA sammenlignet med andre DSGE-modeller er modelleringen av den norske lønnsdannelsen. Lønnsdannelsen er basert på frontfagsmodellen. Lønnsnivået i NORA er fastsatt som en Nash-forhandlingsløsning mellom en fagforening og bedrifter i konkurranseutsatt sektor. Fagforeningene ønsker høyest mulig reallønnsvekst, mens industribedriftene maksimerer profitt. Arbeidsledigheten påvirker lønnsdannelsen direkte i NORA, ved å påvirke hvor villige partene er til å komme til enighet.

NORA er spesielt laget for å modellere finanspolitikk med et tilhørende relativt detaljert skattesystem. På husholdningssiden består dette skattesystemet av en flat skatt på alminnelig inntekt, trinnskatt og trygdeavgift på arbeids- og pensjonsinntekter, merverdiavgift og avgifter, inkl. CO₂-avgifter og andre miljøavgifter. Utbytte og aksjegevinster skattlegges som alminnelig inntekt etter fratrukk av et skjermingsfradrag, og følger aksjonærmodellen. På bedriftssiden består beskatningen av selskapsskatt på skattemessig overskudd og arbeidsgiveravgift. Elementer av skattesystemet som NORA ikke fanger opp er progressiviteten i trinnskatten, formueskatt, eiendomsskatt og skatt på petroleumsinntekter.

Utenrikshandel

En modell for en liten åpen økonomi som Norge, må også inkludere utlandet for å fange opp virkningen av utviklingstrekk ute på norsk økonomi. NORA inneholder kun en forenklet modellering av utenriksøkonomien. Utlandet er modellert som et semi-strukturelt sett av likninger på samme måte som i Norges Banks modell NEMO⁴⁶ (se Kravik og Mimir, 2019). Som en liten, åpen økonomi er det antatt at Norge ikke påvirker utenlandske aktørers atferd.

Selv om NORA er en modell for fastlandsøkonomien, er også interaksjonene mellom olje- og gassnæringen og fastlandsøkonomien modellert (som etterspørselsimpulser mot leverandørindustrien og virkninger via handlingsregelen for finanspolitikken). Det er håndtert ved at oljesektoren og oljefondet, litt forenklet, er antatt å påvirke økonomien på samme måte som utlandet. Oljesektoren er altså enkelt modellert ved at den påvirker fastlandsøkonomien via en ekstern etterspørsel etter investeringsvarer. Denne etterspørselen varierer med oljeprisen. I NORA

avhenger olje- og gassnæringens etterspørsel etter varer fra leverandørindustrien primært av oljeprisen. NORA beskriver altså den norske fastlandsøkonomien, og kobler med «utlandet» gjennom eksport/import, oljeinvesteringer, lån fra utenlandske banker og bruk av oljepenger. Tilnærmingen ligner den som er brukt i KVARTS.

Hvordan er utslipp modellert?

NORA er ikke en modell som brukes på klimaområdet og utslipp er ikke lagt inn i modellen.

Tidshorisont og -dynamikk

I modellutviklingsarbeidet stod man overfor et valg om hvordan forventninger og dynamikk skulle bygges inn. Utgangspunktet for utviklingsarbeidet av NORA var at modellen skulle kunne analysere virkninger av finanspolitikken i et generelt likevektsperspektiv, og at det skulle være en rolle for finanspolitikk over konjunktursyklusen på mellomlang sikt. I et slikt rammeverk må både tilbuds- og etterspørselseffekter av endringer i finanspolitikken, samt virkninger av finansiering av politiske tiltak, bli tatt hensyn til. I tillegg skulle forventninger spille en rolle, fordi virkningen av økonomisk politikk blant annet vil avhenge av varigheten av et tiltak og om tiltaket kommer overraskende eller er signalisert på forhånd. Dynamikken modelleres altså i NORA gjennom optimerende aktører, prisstivheter, finanspolitikken, forventninger og en sentralbank.

En TANK-modell balanserer realisme opp mot teknisk kompleksitet for å modellere husholdningenes tidshorisont og dynamikk. For modeller som har som formål å studere finanspolitikken, er rikardianske modeller lite tilfredsstillende fordi husholdningens adferd er uavhengig av hvorvidt finanspolitiske endringer finansieres i dag eller i fremtiden. Det stemmer dårlig overens med erfaringene og er lite egnet som en modell for finanspolitikken. En grunnleggende utfordring i modellering av finanspolitikk er å overprøve denne teoretiske mekanismen, noe NORA gjør ved å heller bruke TANK-husholdninger.

Virkemidler

I NORA inngår sju forskjellige skattetyper som til sammen fanger opp 88 prosent av totale inntekter i statsbudsjettet. I modellen består beskatningen av husholdninger av en flat skatt på alminnelig inntekt, hvor både arbeids-, pensjons- og kapitalinntekt, en trinnskatt og en trygdeavgift på arbeids- og pensjonsinntekter inngår. I NORA er trinnskatten et gjennomsnittsmål. Denne representasjon av beskatning av husholdningene gir en relativt realistisk framstilling av virkeligheten.

⁴⁶ Se boks 2-4 om NEMO i kapittel to.

Modellen dekker miljøavgifter, inkludert CO₂-avgift, på husholdningssiden, og på bedriftssiden inkluderer arbeidsgiveravgift og selskapskatt. Siden utslipp ikke inngår, kan ikke utslippseffekter analyseres i modellen.

Samfunnsøkonomiske kostnader og fordelings effekter Det er kun de rikardianske husholdningene som har en nyttefunksjon. Nyttefunksjonen er bygget opp som en separabel funksjon mellom privat konsum og offentlig konsum. Det er bare privat konsum som er beslutningsvariabel. Man kan ved hjelp av nyttefunksjonen beregne nyttebaserte velferdsmål, men kun for den rikardianske delen av husholdningene.

NORA beregner effekter på aggregerte størrelser som BNP, arbeidsledighet, lønnsutvikling, offentlig konsum, sparing osv. NORA er ikke egnet til å analysere næringsspesifikke problemstillinger ettersom den er en aggregert modell med bare to sektorer, noe som også gjelder for næringsspesifikke klimaanalyser.

Datagrunnlag

NORA er tallfestet og kalibrert mot norske data. Modellen er foreløpig kun kalibrert ut fra egenskapene ved Norges Banks modell NEMO, men det pågår et arbeid i SSB med estimering av modellen.

Dagens versjon av NORA er kalibrert med sikte på å treffe bestemte nivåer for om lag 40 ulike makroøkonomiske størrelser, og med sikte på å minimere forskjellen mellom impulsresponsene til utvalgte simuleringer i NORA og NEMO.⁴⁷

Sektorinndelingen mellom K- og S-sektor i NORA tar utgangspunkt i rapporten fra Det tekniske beregningsutvalget for inntektsoppgjørene 2019. Konkurransutsatte næringer er definert som næringer der summen av eksportandel av bruttoproduktet og importandel av konsum overstiger 50 prosent. S-sektor i NORA vil derfor fortsatt ha en viss eksportandel og importandel. Tilsvarende vil K-sektoren være delvis påvirket av etterspørselen i fastlandsøkonomien. Datagrunnlaget som brukes for å beregne import- og eksportandeler for K-sektor og S-sektor i NORA er konstruert i samarbeid med SSB, og er basert på kryssløpstabeller for nasjonalregnskapet fra 2017.

4.6.2 Vurdering av NORA

A. Grunnleggende egenskaper

NORA er utarbeidet til å analysere hvordan finanspolitikken påvirker sentrale makroøkonomiske størrelser på mellomlang sikt, med en detaljert beskrivelse av hvordan statsbudsjettets ulike skattesatser påvirker økonomien.

NORA har ikke sammenhenger som knytter utslipp til økonomiske aktiviteter, og modellen kan i utgangspunktet ikke benyttes til å analysere hvordan virkemiddelbruk og andre endringer i økonomien påvirker utslipp slik den er utformet i dag. Ettersom aktivitetsnivået i økonomien er etterspørselsdrevet på mellomlang sikt, og utslippsutviklingen er tett koblet til aktivitetsnivå, kunne NORA ha vært et aktuelt verktøy for å studere utslippseffekter på mellomlang sikt dersom utslipp hadde vært inkludert i modellen. Med mellomlangsikt menes det her to til åtte år. Her gjelder samme vurdering som for modellen KVARTS, som er nærmere omtalt i neste kapittel, men en viktig tilleggsbeskranking for NORA er aggregeringsnivået på næringssiden.

Dersom det ble utarbeidet en utslippsmodul som knytter utslipp til økonomiske aktiviteter, ville NORA kunne brukes til å gjøre analyser av makroøkonomiske størrelser, økonomiske aktiviteter og utslipp. Det vil imidlertid være begrenset nytte av å knytte utslipp til aktivitetsnivå i en så aggregert modell som NORA.

Sektorinndelingen i NORA er svært aggregert, og modellen har kun to sektorer. Aggregeringsnivået er tilpasset formålet med modellen, som er å ha en struktur for å analysere makroøkonomiske virkninger som tillater simultan estimering og stokastisk estimering. Miljøøkonomiske analyser vil ha fordel av disaggregert modellering av næringsstrukturen. Nyttene av å knytte utslipp til økonomiske aktiviteter i modellen vil være begrenset, med mindre man ikke samtidig også gjør andre endringer i modellen som gjør den mer disaggregert. NORA er derfor ikke en modell med mulighet til å fange opp variasjoner i utslippsintensitet, substitusjonsmuligheter eller teknologi mellom næringer. Antall næringer anses ikke som den største utfordringen teknisk. Det er mer usikkert hvordan man skal parameterisere hver næring inn i NORA. Et alternativ er å adoptere parametere fra andre eksisterende disaggregerte modeller, for eksempel fra SNOW for lang sikt og fra KVARTS for kort sikt.

⁴⁷ Sistnevnte kalles impuls-respons-matching (IRF-matching)

Sektorovergripende virkemidler, som CO₂-avgift, er bedre egnet for analyser ved hjelp av NORA enn sektorrettede virkemidler. Eventuelle kompenserende tiltak, bruk av provenyendringene og budsjettets makroeffekter kan fanges opp i NORA og kan være viktig for forvaltningens kunnskap.

Et videreutviklingspotensial for NORA for å gi modellen klimarelevans kunne vært en utvidelse av typen 2x2 næringsstruktur: K-sektor-høy utslipp, K-sektor-lav utslipp, S-sektor-høy utslipp, og S-sektor-lav utslipp. Med en slik aggregert næringsstruktur kunne effekter av CO₂-avgift også få fram visse, relevante vridningseffekter samtidig med en reduksjon i andre skatter.

B og C. Spesielt for analyser på kort og lengre sikt

Nora er utarbeidet til å analysere hvordan finanspolitikken påvirker sentrale makroøkonomiske størrelser på mellomlang sikt, og er best egnet til dette. På kort sikt er økonomisk vekst i stor grad bestemt av etterspørselen, og dette fanges ikke opp i modellen. Langsiktige analyser konvergerer til en likevekt, som i stor grad avhenger av forutsetningene som er lagt inn i modellen. NORA vil ikke skille seg nevneverdig fra en langsiktig vekstmodell på lang sikt.

Modellen er foreløpig ikke estimert, men kalibrert. NORA kan estimeres ved hjelp av bayesianske metoder, slik som hovedmodellen til Norges Bank, NEMO, blir. Ved slik estimering bringes modellens resultater enda nærmere data, noe som kan bidra til å øke tilliten til modellens resultater, spesielt på kort og mellomlang sikt.

D. Egenskaper for analyser av kostnader og andre konsekvenser av virkemiddelbruk

NORA er en modell som kan si noe om kostnadene ved klimapolitikk dersom dette gjøres gjennom skatter, og den er særlig relevant dersom den endogeniserer petroleumsnæringen. Modellen har en relativt detaljert beskrivelse av inntekter og utgifter for offentlig forvaltning, som gjør det mulig å innarbeide informasjon fra budsjettarbeidet ved bruk av modellen. Det innebærer at NORA kan være egnet til å anslå effekter av aktivitetsnivå i økonomien som følge av budsjettendringer. Det er likevel KVARTS som i dag brukes som prognosemodell i Finansdepartementet, fordi den tettest modellerer endringer i statsbudsjettet og er mer disaggregert.

E. Egenskaper for analyse av utslippseffekten av statsbudsjettet

Til arbeid med analyse av utslippseffekten av statsbudsjettet, og til analyse av tregheter og tilpasningskostnader på mellomlang sikt ved virkemiddelbruk, kan det være relevant å bruke NORA på grunn av den rike inntekts- og

utgiftsbeskrivelsen. I så fall må utslippseffektene etterberregnes på utsiden av modellen.

F. Dokumentasjon og anvendelighet

Modellen er relativt godt dokumentert i «NORA - A Microfounded Model for Fiscal Policy Analysis in Norway» (Aursland et al., 2019), men modellen er for tiden under videreutvikling i SSB. Modellen brukes aktivt av SSB og Finansdepartementet. Det er de siste årene satt av budsjettmidler til å videreutvikle og drifte modellen hos SSB.

Samlet vurdering

Utvalgets vurdering er at siden utslipp ikke er modellert, og modellen dessuten er svært aggregert og ikke modellerer energivarer, er NORA i sin nåværende form ikke egnet for studier av utslipp og klimapolitikk. NORA er intertemporal og stokastisk, noe som skiller den fra de andre modellene. En viktig egenskap å ta med seg videre fra NORA er de framoverskuende aktørene, og usikkerheten knyttet til forventninger om fremtiden. Her skiller NORA seg ut fra de andre modellene, og gir muligheter til å ta inn over seg forventninger knyttet til den økonomiske politikken, som for eksempel analyse av usikkerhet knyttet til framtidig politikk, inntekt osv. Modellen kan ikke, slik den er nå, analysere klimapolitikk, men den har en detaljert beskrivelse av skattesystemet. Modellen har innebygget tregheter og fanger opp konjunkturer, og er best egnet for analyser på mellomlang sikt. For analyser av klimaeffekt av statsbudsjettet er modellen per i dag ikke egnet siden den ikke inkluderer utslipp. Modellen er relativt godt dokumentert, men den er under videreutvikling.

Oppsummert er NORA ikke velegnet for klimaanalyser, men den har egenskaper som gjør at en videreutviklet versjon potensielt kan være et relevant supplement. Modellens fremste styrker er at den kan egne seg for studier av beslutninger under usikkerhet og at den har dynamiske elementer som fanges opp gjennom konjunkturer.

4.7 KVARTS

4.7.1 Innledning

KVARTS er en kvartalsvis makroøkonometrisk modell som er særlig utarbeidet for konjunkturanalyser, prognoser og politikkanalyser av produksjon og sysselsetting i norsk økonomi på kort og mellomlang sikt. Den har mange likhetstrekk med modellene som Federal Reserve og den australske sentralbanken bruker i utøvelsen av pengepo-

litikken i USA og Australia, og med modellen som brukes av finansdepartementet i Italia. KVARTS skiller seg likevel fra disse modellene ved at den har en rikere beskrivelse av produksjonsmønsteret i økonomien gjennom kryssløpet. Kryssløpet fanger opp avhengigheten mellom ulike næringer og gjør det mulig å identifisere ringvirkningene av aktivitetssendringer i enkelt næringer for den samlede etterspørselen. Både Statistisk sentralbyrå, Finansdepartementet og NAV bruker KVARTS i den løpende konjunkturovervåkingen. KVARTS brukes ikke til klimaanalyser. Beskrivelsen av KVARTS bygger i stor grad på Berg et al. (2020).

4.7.2 Beskrivelse av modellen

Aktører, atferd og markeder

KVARTS er en dynamisk modell der variablene gradvis justerer seg mot økonomiske langsiktsammenhenger som følger av økonomisk teori. Atferdsrelasjonene i KVARTS er tallfestet ved hjelp av statistiske metoder og historiske data fra nasjonalregnskapet innenfor rammen av såkalte likevektsjusteringsmodeller («equilibrium correction models» på engelsk). En likevektsjusteringsmodell inkluderer endringer i sentrale variable og langsiktige sammenhenger mellom dem, som følger av økonomisk teori, for å kunne analysere både kortsiktige og langsiktige effekter i en og samme modell. I slike modeller vil variable bli presset vekk fra langsiktig likevekt ved sjokk eller forstyrrelser i økonomien og presset tilbake til ny langsiktig likevekt gjennom gradvis, kortsiktig tilpasning hos aktørene. Den kortsiktige tilpasningen mot langsiktig likevekt ved sjokk eller forstyrrelser i økonomien representerer treghetene i KVARTS.

KVARTS er en relativt disaggregert modell sammenlignet med NORA, men mer aggregert enn SNOW-modellen. Ved siden av petroleumsutvinning og utenriks sjøfart, inngår 11 fastlandsnæringer og tre offentlige produksjonsnæringer. Næringene er listet opp i vedlegg 1. Bedriftene bruker arbeidskraft, kapital og ulike varer i sin produksjon, som beskrives av CES-funksjoner. Olje og gass er skilt ut som egne produkter i modellen, mens kull inngår i andre produkter. Både olje og gass eksporteres. Olje inngår i tillegg som produktinnsats i produksjon av raffineringprodukt i konsumvareindustrien. Videre er raffinerte petroleumsprodukter skilt ut som et eget produkt som går til produktinnsats og sluttforbruk.

Produksjonen bestemmes på kort sikt i hovedsak av utviklingen i samlet etterspørsel, og beskrives av CES-funksjoner. Husholdningenes etterspørsel, privat forbruk og boliginvesteringer avhenger av inntekt, renter og realformue. Både arbeidskraft og kapital er mobil

mellom næringer, men på kort sikt tilpasser arbeidskraften seg raskere enn kapitalen. Arbeidskraften er homogen, mens realkapitalen er fordelt på ulike typer (bygninger, maskiner osv.). Realinvesteringene i fastlandsnæringene bestemmes sammen med etterspørselen etter arbeidskraft og produktinnsats av produksjon og relative faktorpriser. Eksporten avhenger av utviklingen i eksportmarkedene og relative priser, og importen avhenger av innenlandsk etterspørsel og relative priser. Etterspørselsimpulser fra petroleumsvirksomheten, og offentlig etterspørsel etter varer og tjenester, er eksogene variabler i modellen.

Konsumet i privat sektor påvirkes av disponibel realinntekt, som er den inntekten privat sektor disponerer, fratrukket direkte skatt og justert for den generelle prisveksten. Disponibel inntekt inkluderer både primære inntekter (lønninntekter, driftsresultat, renteinntekter, leieinntekter med mer) og sekundære inntekter (stønader, overføringer fra utlandet, overføringer fra ideelle organisasjoner med mer). I tillegg påvirkes konsumet i privat sektor av husholdningenes formue, som inkluderer både realformue og finansformue. Prisutviklingen i annenhåndsmarkedet for boliger og utviklingen i aksjekurser har betydning for husholdningenes formue og derigjennom for konsumet.

Over tid bidrar tilbudssideforhold (lønnsdannelsen og prissetting) til å justere aktivitetseffektene av etterspørselssendringer i modellen mot likevekt. Det aggregerte tilbudet bestemmes fra produksjonsteknologien, ressursene som er tilgjengelig i økonomien og markedssituasjonen bedriftene forholder seg til. Bedriftenes marginalkostnader øker ved høyere aktivitetsutvikling. De vil dermed se seg nødt til å sette en høyere pris enn marginalkostnaden for å opprettholde fortjenesten. Bedriftene kan sette en høyere pris så lenge det er imperfekt konkurranse i markedet. Etterspørselen er derimot fallende når prisen stiger. Isolert sett vil en økning i etterspørselen for en næring gi både økt pris og økt aktivitet for denne næringen. For næringer hvor import og eksport spiller en betydelig rolle, vil økt pris gi økt importkonkurranse og lavere eksport. Det demper effekten av økt etterspørsel på innenlandsk produksjon.

Beskrivelsen av prissettingen tar utgangspunkt i en antakelse om monopolistisk konkurranse i produktmarkedene. Utgangspunktet er at norske produkter i større eller mindre grad er imperfekte substitutter med utenlandske produkter. Det betyr at produktene er såpass ulike (på grunn av kvalitetsforskjeller, merkevarer, leveringsbetingelser og så videre) at hver bedrift antar at etterspørselen etter sitt produkt kun i en viss grad reduseres dersom de setter opp prisen på produktet. Imperfekte substitutter betyr samtidig at produktene er såpass like at bedriftene tar hensyn til prisene på konkurrentenes produkter – som de tar for gitt – når de bestemmer egne priser.

Frontfagsmodellen er utgangspunktet for lønnsdannelsen i KVARTS. Det innebærer at lønnsforhandlinger i frontfaget (industrien) gjennomføres først og danner en norm for de andre tariffområdene. Det økonomiske rammeverket som ligger til grunn for lønnskurvene og implementeringen av frontfagsmodellen i KVARTS, bygger på empiriske analyser av lønnsutviklingen i Norge.⁴⁸ I modellen bestemmes lønnen av partene i arbeidsmarkedet, slik at lønnskostnadens andel av den samlede verdiskapningen i hovedsak avhenger av nivået på arbeidsledigheten.

I KVARTS avhenger yrkesdeltakelsen av nivået på arbeidsledigheten og lønn etter skatt. Yrkesandelen er modellert separat for syv ulike grupper inndelt etter kjønn og alder. Aldersinndelingen gjør at man også fanger opp effekter på yrkesandelen fra aldringen av befolkningen. Svingningene i yrkesandelen over konjunktursyklusen modereres av at arbeidsinnvandringen øker når aktiviteten i norsk økonomi tilar.

Relasjonene i KVARTS er gjennomgående estimert enkeltvis, slik det er vanlig i makroøkonomiske modeller, med enkelte unntak.

KVARTS modellerer sentralbankens rentesetting gjennom hva man vanligvis kaller en Taylor-regel. Det betyr at når aktiviteten i økonomien øker, vil sentralbanken motvirke dette gjennom økt styringsrente som så slår gjennom i alle låne- og innskuddsrenter til aktørene i økonomien. Likeledes er valutakursen bestemt i modellen gjennom at rentedifferansen overfor euro-området spiller en rolle sammen med prisnivåeffekter (PPP-effekt) og inflasjonsforskjeller. Også oljeprisen spiller en rolle for kronekursen overfor euro. Rente- og valutakursresponsene er viktige likevektskapende effekter i KVARTS.

Hvordan er utslipp modellert?

KVARTS har ikke sammenhenger som knytter økonomiske aktiviteter til utslipp, men fossil energibruk framkommer.

Tidshorisont og -dynamikk

KVARTS er dynamisk-rekursiv. Ved konjunkturanalyser simuleres modellen normalt 4-5 år framover. For politikkanalyser kan modellen bli simulert vesentlig lenger framover. I KVARTS kan etterspørselsendringer gi opphav til relativt store utslag i produksjon og sysselsetting på kort og mellomlang sikt, mens kapasitetsbegrensninger bidrar til å dempe etterspørselseffekter på samlet aktivitetsnivå

over tid. Denne egenskapen følger av midlertidig endring i arbeidskraftsproduktiviteten ved endringer i etterspørselen.⁴⁹ Etterspørselssjokk i KVARTS vil gi mer varige utslag i kapasitetsutnyttelse (arbeidstilbud og arbeidsledighet) i motsetning til CGE-modellene beskrevet i denne rapporten.

Virkemidler

I KVARTS inngår CO₂-avgift i et aggregat av avgifter på drivstoff og andre mineraloljer. Elavgifter og bilavgifter inngår også i modellen.

Samfunnsøkonomiske kostnader og fordelings effekter

KVARTS gir ikke holdepunkter for å beskrive velferdseffekter av politikkenninger. Grunnen er at modellen ikke bygger på en eksplisitt beskrivelse av optimerende atferd i husholdningene. KVARTS kan benyttes til å analysere endringer i BNP, konsum med mer.

Datagrunnlag

Nær tilknytning til nasjonalregnskapsstatistikken påvirker strukturen i KVARTS, herunder 'kryssløpsbeskrivelser' av produktstrømmer mellom produksjonsnæringer (og tilhørende priskryssløp). Nasjonalregnskapets inntektsregnskapssammenhenger er også innarbeidet i modellen, med beskrivelse av inntekts- og utgiftsstrømmer som er konsistent med realregnskapet for husholdninger, ikke-personlige foretak, offentlig forvaltning (fordelt på stat og kommune) og utlandet. Modellen har en relativt detaljert beskrivelse av inntekter og utgifter for offentlig forvaltning, som gjør det mulig å innarbeide informasjon fra statsbudsjettarbeidet ved bruk av modellen.

Modellens regnskapsgrunnlag oppdateres årlig i tråd med oppdateringer av årlig nasjonalregnskapsstatistikk. Modellen kalibreres fortløpende gjennom foreløpige kvartalsregnskapstall etter hvert som de foreligger fra kvartalsvis nasjonalregnskap.

4.7.3 Vurdering av KVARTS

A. Grunnleggende egenskaper

KVARTS er særlig utarbeidet for konjunkturanalyser, prognoser og politikkanalyser på kort og mellomlang sikt. Med denne tidshorisonten er aktivitetsnivået i økonomien etterspørselsdrevet, og utslippsutviklingen tett koblet til aktivitetsnivå. KVARTS kunne derfor ha vært

⁴⁸ Henvisninger til empiriske analyser i Norge av utfallet av lønnsforhandlinger og det teoretiske utgangspunktet for lønnskurven i Berg et al. (2020).

⁴⁹ Ved økt etterspørsel vil arbeidskraften være mer produktiv i en periode, slik at man kan møte den økte etterspørselen uten en tilsvarende økning i faktorbruken, men etter hvert vil arbeidskraftsproduktiviteten normaliseres.

et aktuelt verktøy for å studere utslippseffekter på kort og mellomlang sikt dersom utslipp hadde vært inkludert i modellen. Siden modellen, slik den er utformet i dag, ikke har utslipp, kan den ikke benyttes direkte til å analysere hvordan virkemiddelbruk og andre endringer i økonomien påvirker utslipp. Den kan imidlertid brukes til å vurdere utslippseffekter av enkelte virkemiddelanalyser, framskrivninger og alternative scenarier ved å knytte utslippskoeffisienter til energibruk og produksjonsnivåer. Dette kan gjøres som etterberegninger og trenger ikke integreres i modellen. Denne metoden kan imidlertid ikke brukes til å studere effekter av klimamål; da må utslippene integreres i modellen.

Nytten av å eventuelt inkludere utslipp i modellen må vurderes ut fra om modellens generelle utforming legger til rette for relevante analyser og anslag. Næringsinndelingen i KVARTS er mer aggregert enn i SNOW-modellen. Det relativt høye aggregeringsnivået begrenser informasjonen om variasjoner i utslippintensitet, substitusjonsmuligheter og teknologi mellom næringer. Nåværende KVARTS er også mer aggregert enn det årsmodellen MODAG var.⁵⁰ MODAG har ved enkelte anledninger blitt utvidet med utslipp. Utslipp ble da knyttet til modell-/nasjonalregnskapsaktiviteter ved hjelp av utslippskoeffisienter. Dette ble blant annet gjort i Nasjonalbudsjettet 2011 for å anslå tilpasningskostnader ved bruk av CO₂-avgift for å redusere utslipp i Norge fram mot 2020.

B. Egenskaper for analyser på kort sikt

KVARTS er særlig relevant for analyser på kort sikt, siden modellen fanger opp tregheter og tilpasningskostnader. Atferdsrelasjonene i KVARTS tallfestes ved hjelp av statistiske metoder og historiske data fra nasjonalregnskapet slik at variable tilpasser seg til ny langsiktig likevekt gjennom gradvis, kortsiktig tilpasning. Den kortsiktige tilpasningen representerer treghetene i KVARTS. Til arbeid med analyse av utslippseffekten av statsbudsjettet, og til analyse av tregheter og tilpasningskostnader på kort sikt ved virkemiddelbruk, kan det i tillegg til eventuelt å inkludere utslipp i modellen, vurderes om resultater fra KVARTS er egnet som input for andre modeller, for eksempel SNOW eller en regnearkmodell som inkluderer utslipp.⁵⁰

C. Egenskaper for analyser på lengre sikt

Det vurderes som lite relevant å benytte modellen til analyser på lengre sikt.

D. Egenskaper for analyser av kostnader og andre konsekvenser av virkemiddelbruk

Som beskrevet inngår CO₂-avgift i et aggregat av avgifter på drivstoff og andre mineraloljer, og endringer i CO₂-avgiften kan omregnes til endringer i dette aggregatet. Konsekvenser av endringer i dette aggregatet vil kunne analyseres, men ikke økningen i CO₂-avgiften spesifikt. KVARTS kan ikke benyttes til å analysere samfunnsøkonomiske kostnader, men effekter på makroøkonomiske størrelser som BNP og konsum kan analyseres.

E. Egenskaper for analyse av utslippseffekten av statsbudsjettet

I KVARTS bestemmes finanspolitikken eksogent. Finanspolitiske virkemidler i modellen inkluderer offentlig konsum, skatter, stønader, offentlig produktinnsats, offentlige bruttoinvesteringer, arbeidsgiveravgift, avskrivningssatser, merverdiavgift med mer. Modellens relativt detaljerte beskrivelse av inntekter og utgifter for offentlig forvaltning gjør det mulig å innarbeide informasjon fra budsjettarbeidet i modellen. Det innebærer at KVARTS er egnet til å anslå effekter av budsjettendringer på aktivitetsnivået i økonomien, inkludert bruk av energivarene olje og gass, men det vil være arbeidskrevende å identifisere utslippintensitetene i de ulike anvendelsene.

F. Dokumentasjon og anvendelighet

Modellen oppdateres kvartalsvis med nye kvartalsvise nasjonalregnskapstall. Det foreligger ikke en fullstendig dokumentasjon av den gjeldende versjonen av modellen. Sentrale modellsammenhenger er omtalt i arbeidet som bygger på anvendelser av modellen, se for eksempel Berg et al. (2020) og Brasch et al. (2021). SSB arbeider med en mer helhetlig overordnet dokumentasjon av modellen.

Samlet vurdering

Utvalgets vurdering er at siden utslipp ikke er modellert, og modellen dessuten har en noe begrenset inndeling i næringer og energivarer, er KVARTS i sin nåværende form ikke egnet for studier av utslipp og klimapolitikk. Modellen

⁵⁰ MODAG var en årsmodell for norsk økonomi. Modellen ble utviklet og vedlikeholdt av Statistisk sentralbyrå som en årsversjon av KVARTS-modellen. Modellen var 'nasjonalbudsjettmodell' for Finansdepartementet fram til og med Revidert nasjonalbudsjett 2017.

⁵¹ Et eksempel på slik metodebruk er at Finansdepartementet i arbeidet med nasjonalbudsjettet bruker finanspolitiske multiplikatorer fra KVARTS til å måle aktivitetseffekter av budsjettendringer (regnearkbasert metode).

er etterspørselsdrevet på kort sikt og fanger derfor opp konjunkturer, noe som skiller den og NORA fra de andre modellene. Den fanger ikke opp betydningen av usikkerhet. De estimerte atferdsrelasjonene kan sies å fange opp aktørenes forventninger til framtida på et generelt grunnlag, men ikke av spesifikke politikkenringer. Modellen kan ikke analysere klimapolitikk, men derimot avgifter på oljeprodukter. KVARTS er særlig egnet for analyser på kort sikt, men kan også anvendes på lang sikt. Modellen har ikke et konsistent mål på samfunnsøkonomiske kostnader, men beregner endringer i BNP og konsum. For analyser av statsbudsjettet er modellen per i dag ikke egnet siden den ikke inkluderer utslipp. Det foreligger ikke en fullstendig dokumentasjon av den gjeldende versjonen av modellen. Sentrale modellsammenhenger er omtalt i arbeider som bygger på anvendelser av modellen. SSB arbeider med en mer helhetlig overordnet dokumentasjon av modellen.

Oppsummert er KVARTS ikke velegnet for klimaanalyser slik den er i dag, men den har egenskaper som gjør at en videreutviklet versjon kan være relevant, spesielt for analyser på kort sikt. Modellens fremste styrke er at den kan fange opp effekten av konjunkturer og tregheter i økonomien.

5. Makromodeller i utvalgte andre land

5.1 Innledning

I dette kapitlet presenterer og sammenligner vi makroøkonomiske modeller brukt til analyse av klimapolitikk og utslippseffekter i andre land. I tråd med mandatet har utvalget lagt vekt på modeller som brukes i våre naboland. Formålet er å se om modellene har egenskaper som svarer godt på de analysebehovene forvaltningen har i Norge, se kapittel tre, og som dermed kan være relevante for videreutviklingen av modellapparatet vårt. Først, i avsnitt 5.2, gis en oversikt over hvordan myndighetene i Sverige, Danmark og Finland har organisert sitt arbeid på dette området. Avsnitt 5.3 beskriver og sammenligner makromodellene (CGE- og hybridmodeller), som brukes til analyser av eller for forvaltningen i disse landene, inkludert hvordan kostnader, utslipp og utslippsreduksjonsmuligheter er modellert. I de påfølgende avsnittene presenteres to andre relevante makroøkonomiske modeller; i avsnitt 5.4 beskrives DSGE-modellen MEMO og i avsnitt 5.5 beskrives den makroøkonometriske modellen E3ME.

Norge, Sverige, Danmark og Finland benytter alle CGE-modeller som en del av det samlede modellapparatet til analyser av klimagassutslipp og klimapolitikk. Løsningene som beskrives for de nordiske modellene er derfor mest relevante for utvalgets vurdering av og forslag til videreutvikling av CGE-modeller i Norge, som for eksempel SNOW.

Sverige bruker EMEC (Environmental Medium Term Economic Model), som er en generell likevektsmodell for svensk økonomi. I Danmark benyttes hybridmodellen IntERACT (Integrated Economic eneRgy Applied Computational Tool), som er en hybridmodell bestående av en CGE-modell koblet til energisystemmodellen TIMES-DK. I tillegg er en ny hybridmodell, GreenREFORM, under utvikling. Modellen består av en CGE-modell og fem integrerte sektor-modeller (energi, transport, avfall, jordbruk, og LULUCF). Målsetningen er at modellen skal være klar til bruk i forvaltningen høsten 2021. GreenREFORM er en intertemporalt dynamisk modell med større vekt på å modellere økonomien enn IntERACT, som er utviklet for å analysere utviklingen i energisystemet i samspill med resten av økonomien. Til analyser av klimapolitikken i Finland brukes likevektsmo-

dellen FINAGE. På grunn av manglende informasjon om FINAGE, er beskrivelsen begrenset til hvordan tregheter i faktortilpasningen er modellert.

DSGE-modeller og makroøkonometriske modeller brukes i flere land, primært til utforming av penge- og finanspolitikk. De er i mindre grad blitt brukt til nasjonale analyser av klimapolitikk og utslippseffekter. Av de modellene utvalget kjenner til, virker Memo og E3ME-modellen å være mest relevante.

Både Sverige og Danmark har betydelige makroøkonomiske miljøer som bidrar med analyser som inngår som en del av beslutningsgrunnlaget i klimapolitikken. Særlig Danmark synes å bruke mye ressurser på utvikling av makroøkonomiske modeller til denne typen formål og til utvikling av datagrunnlaget som brukes i disse modellene. I neste avsnitt beskriver vi hvordan modellutviklingen er organisert i Sverige, Danmark og Finland.

5.2 Organisering av modellarbeidet i Sverige, Danmark og Finland

5.2.1 Sverige

Miljødepartementet er ansvarlig for arbeidet med klimapolitikk i Sverige. Den underliggende etaten Naturvårdsverket er ansvarlig fagetat og samordner myndighetenes arbeid på miljø- og klimafeltet. Andre viktige etater som samarbeider i arbeidet med klimaspørsmål er Energimyndigheten (fagetat under Infrastrukturdepartementet) og Konjunkturinstitutet (fagetat under Finansdepartementet).

Konjunkturinstitutet har som oppgave å følge med på – og analysere – den økonomiske utviklingen i Sverige og i omverdenen. Prognoser for svensk økonomi, analyse av finans- og pengepolitikk, utvikling i offentlige finanser og samfunnsøkonomiske forutsetninger for lønnsdannelsen er sentrale oppgaver. Videre er det en del av Konjunkturinstitutets oppdrag å utarbeide metoder og gjennomføre miljøøkonomiske analyser som grunnlag for miljø- og klimapolitikken i Sverige.⁵² De har utviklet og bruker CGE-modellen EMEC til blant annet

⁵² Konjunkturinstitutet har blant annet i oppdrag å levere en årlige rapporter om miljøpolitikken. Rapportene er tilgjengelige på konjunkturinstitutets nettsider: <https://www.konj.se/publikationer/miljoekonomisk-rapport.html>

å utarbeide framskrivninger og analyser på klima- og miljøfeltet for forvaltningen i Sverige. To personer ved Konjunkturinstitutet jobber med videreutvikling og bruk av modellen. I arbeidet med framskrivningene samarbeider Konjunkturinstitutet, Energimyndigheten og Naturvårdsverket om forutsetninger med mer.

5.2.2 Danmark

Klima-, energi- og forsyningsdepartementet er ansvarlig for arbeidet med klimapolitikk i Danmark, med Energistyrelsen som underliggende etat på området. Energistyrelsen utvikler og bruker flere tekniske og økonomiske modeller, som underlag for sitt arbeid med klimaspørsmål. Tidligere ble den makroøkonomiske modellen ADAM (Annual Danish Aggregate Model), kombinert med utslippsmodulen EMMA (Energi- og MiljøModeller til ADAM), brukt til utslippsframskrivninger og analyser på klimaområdet (Danmarks Statistik, 2012, Andersen et al., 2010). ADAM er utviklet av Danmarks Statistik og brukes fremdeles av Danmarks Statistik og Finansdepartementet i Danmark. Bruken av EMMA ble avsluttet grunnet manglende finansiering til vedlikehold.

I 2012 ble det inngått en energipolitisk avtale i Danmark der det ble besluttet:

«Udarbejdelse af en generel ligevægtsmodel til modellering af energisystem og samfundsøkonomi til identificering af effektive politiktiltag og fremtidige reguleringstiltag.»

Formålet var å styrke beslutningsgrunnlaget for klima- og energipolitikken, gjennom å etablere et modellapparat som gir fylldige beskrivelser av samspillet mellom økonomi, energi og politikk (inkludert klimapolitikk). Som en oppfølging ble det bevilget 15,2 millioner danske kroner til utvikling av IntERACT. Energistyrelsen fikk i oppgave å utvikle og ta i bruk modellen, både på bakgrunn av at styrelsen hadde ekspertise på feltet og for å utnytte synergier med Energistylens andre modeller. TIMES-DK ble utviklet som en del av IntERACT-prosjektet, i samarbeid med Danmarks Tekniske Universitet (DTU) og E4SMA, et italiensk konsultantselskap som blant annet tilbyr rådgivning innen energiplanlegging (Balyk et al., 2019). Utviklingen av CGE-modellen og TIMES-DK samtidig, gjorde det mulig å sikre konsistens mellom modellene (Andersen et al., 2019).

IntERACT ble første gang brukt til konsekvensvurdering/ virkemiddelanalyse av Energistyrelsen i 2014. Første gang modellen ble brukt til framskrivninger var i 2016,⁵³ og den brukes nå på årlig basis til framskrivninger av energietterspørsel i publikasjonen Danish Climate and Energy Outlook.⁵⁴

GreenREFORM er en makromodell som er under utvikling i Danmark. Utviklingen startet som et forskningsprosjekt ved universitetene i Aarhus og København i 2017, men har siden blitt utvidet til også å omfatte modellmiljøet ved the Danish Research Institute for Economic Analysis and Modelling (DREAM). DREAM er en uavhengig statlig forskningsinstitusjon som utvikler metoder og utfører analyser av dansk økonomi, på oppdrag fra blant annet danske myndighetene og næringsliv. De er hovedsakelig finansiert gjennom bevilgninger fra det danske Finansdepartementet. Utviklingen av GreenREFORM er støttet av Finansdepartementet, The Carlsberg Foundation, the Economic Policy Research Network og KR Foundation. Til sammen jobber 16 personer med utvikling av GreenREFORM: åtte forskere fra universitetene i Aarhus og København, inkludert seks doktorgradsstudenter, fire økonomer og fire forskningsassistenter fra DREAM.⁵⁵ Det er etablert en styringsgruppe for prosjektet, bestående av representanter fra Finansdepartementet, Klima-, energi- og forsyningsdepartementet, Miljø- og matdepartementet, Danmarks Statistik og sekretariatene til Klimarådet og De Økonomiske Råd. Deler av finansieringen til GreenREFORM kommer med målsetning om en ferdigutviklet modell som kan anvendes av forvaltningen innen høsten 2021.⁵⁶

Kildekodene og datagrunnlaget til GreenREFORM skal etter planen være offentlig tilgjengelig for andre som ønsker å benytte seg av modellen.

5.2.3 Finland

Miljødepartementet er ansvarlig for arbeidet med klimapolitikken i Finland. Sentrale i arbeidet med klimapolitiske analyser er Finlands miljøcentral SYKE og VTT Finlands tekniske forskningscenter (VTT). SYKE er underlagt Miljødepartementet, og bidrar med forskning og ekspertvurderinger til utformingen av miljøpolitikken i Finland. VTT er et forskningsinstitutt eid av finske myndigheter. De forvalter blant annet energioptimaliseringsmodellen for finsk økonomi, VTT-TIMES. VATT instituttet for økonomisk

⁵³ Informasjonen er hentet fra Kristoffer Steen Andersen, seniorrådgiver i Energistyrelsen, sin presentasjon for TBU klima 26. november 2020.

⁵⁴ Rapportene publiseres her: <https://ens.dk/en/our-services/projections-and-models/denmarks-energy-and-climate-outlook>.

⁵⁵ Fra presentasjon av Jens Sans Kirk, prosjektleder for GreenREFORM, for TBU klima 26. november 2020.

⁵⁶ For mer informasjon om organisering av arbeidet med GreenREFORM, se: <https://dreamgroup.dk/greenreform/organization/>.

forskning (VATT) drev tidligere med modellutvikling og ex-ante analyser, men har skiftet fokus til ex-post evalueringer.

Den generelle likevektsmodellen FINAGE brukes blant annet til å analysere kostnadene av finsk klimapolitikk for finske myndigheter. Modellen brukes ofte sammen med VTT-TIMES. Forløperen til FINAGE, VATTAGE, ble utviklet av VATT. FINAGE modellen vedlikeholdes og brukes av Juha Honkatukia, forskningsdirektør ved det finske folkehelseinstituttet THL. I tillegg brukes modellen av doktorgradsstudenter ved blant annet SYKE og Universitet i Helsinki.⁵⁷ Universitetet i Helsinki har utviklet den regionale likevektsmodellen, RegFinDyn. I analyser for finske myndigheter har modellen primært vært brukt til regionaløkonomiske analyser, men den kan også brukes til analyser av utslipp av klimagasser.⁵⁸

5.3 Beskrivelse av de nordiske makromodellene

EMEC⁵⁹ er en dynamisk-rekursiv modell som er utviklet for å analysere utviklingen i utslipp av klimagasser og andre utslipp til luft, og effekter av miljøpolitiske virkemidler, i Sverige. I tillegg kan modellen brukes til å analysere strukturelle endringer i økonomien og fordelingseffekter av miljøpolitikken for ulike husholdninger. Konjunkturinstituttet oppgir at modellen ofte brukes til å gjøre analyser av utviklingen 10-15 år fram i tid.

IntERACT⁶⁰ brukes primært til å analysere utvikling av energisystemet, energirelaterte utslipp og kostnader knyttet til energi- og klimapolitikken. Modellen er satt opp til å løses fram til 2050, men har vært mest brukt til analyser av omstillinger av energisystemet fram mot 2030.

Energistyrelsen bruker også modellen til scenarioanalyser fram mot 2050. Modellen består av to delmodeller: en CGE-modell og en partiell teknologirik energisystemmodell for Danmark (TIMES-DK⁶¹), basert på den internasjonalt utbredte TIMES-modellen⁶². Den fanger derfor opp samspill mellom utviklingen i energisektoren og resten av økonomien. CGE-modellen er statisk, mens energisektoren er modellert intertemporalt dynamisk i TIMES-DK ved minimering av systemkostnader i energisystemet over analyseperioden.

GreenREFORM⁶³ utvikles for å kunne analysere økonomiske effekter av miljø- og klimapolitikk og miljø- og klimaeffekter av økonomisk politikk. Modellen er satt opp for å si noe om den årlige utviklingen fram mot 2100. GreenREFORM er et integrert modellsystem bestående av en intertemporal dynamisk generell likevektsmodell og et sett med detaljerte sektormodeller (henholdsvis transport, jordbruk og LULUFC, avfall og energiforsyning). Sektormodellene skal ha en detaljert beskrivelse av teknologier og virkemidler i de respektive sektorene. Detaljrikdommen i de ulike sektormodellene vil gjøre det mulig å se på ulike substitusjonsmuligheter på et disaggregert nivå. Sektormodellene vil også kunne brukes selvstendig til partielle analyser. Olje- og gassutvinning, fiske og sement vil bli særskilt modellert, men ikke som egne sektormodeller. Videre vil GreenREFORM ha en modul for å kunne analysere effekter på karbonlekkasje (simuleringer i GTAP av hvordan endringer i dansk import og eksport påvirker globale utslipp). I likhet med IntERACT vil GreenREFORM ha en relativt detaljert beskrivelse av utslippsreducerende teknologier også i CGE-modellen.

FINAGE⁶⁴ er en dynamisk-rekursiv generell likevektsmodell for finsk økonomi. Modellen brukes blant annet til analyser av finsk klimapolitikk. Modellen bygger på MONASH-modellen som er utviklet av Centre of Policy Studies i Australia.

⁵⁷ Omtalen av FINAGE-modellen er basert på personlig kommunikasjon (e-post og møte) med Juha Honkatukia.

⁵⁸ Omtalen av RegFinDyn er basert på personlig kommunikasjon (e-post) med Susanna Kujala, doktorgradsstudent ved Universitetet i Helsinki.

⁵⁹ Beskrivelsen av EMEC er basert på en presentasjon av Vincent Otto og David von Below, forskere og ansvarlige for vedlikehold og bruk av modellen ved Konjunkturinstituttet, for TBU klima 26. november 2020, samt svar på oppfølgingsspørsmål fra sekretariatet.

⁶⁰ Beskrivelsen av modellen er basert på en presentasjon av Kristoffer Steen Andersen, seniorrådgiver i Energistyrelsen, for TBU klima 26. november 2020, svar på oppfølgingsspørsmål fra sekretariatet, tilgjengelig modelldokumentasjon og artikler hvor modellen er brukt.

⁶¹ Energistyrelsen og Danmarks Tekniske Universitet samarbeider om utvikling og vedlikehold av TIMES-DK. Modellen er dokumentert i Balyk m.fl. (2019).

⁶² Den norske varianten av samme modell er beskrevet i Teknisk beregningsutvalg for klima (2020).

⁶³ Beskrivelsen av modellen er basert på en presentasjon av Jens Sans Kirk, prosjektleder for GreenREFORM i Dream, for TBU klima 26. november 2020, svar på oppfølgingsspørsmål fra sekretariatet, og tilgjengelig modelldokumentasjon på DREAM sin hjemmeside.

⁶⁴ Beskrivelsen av FINAGE modellen er basert på en omtale av modellen i Finlands syvende nasjonale kommunikasjon til FNs klimakonvensjon og personlig kommunikasjon med Juha Honkatukia.

Tabell 5-1 Generell sammenlikning av de ulike nordiske modellene

	SNOW-NO	EMEC	IntERACT	GreenREFORM	FINAGE
Organisering	Finansdepartementet (bruker) / Statistisk Sentralbyrå (utvikler og bruker)	Konjunktur-instituttet (utvikler og bruker)	Energistyrelsen (utvikler og bruker)	DREAM, Universitet i København og Universitetet i Århus (utvikler).	Utviklet av VATT. Vedlikeholdes av Juha Honkatukia, forskningsdirektør, THL.
Modelltype	Dynamisk-rekursiv CGE-modell	Dynamisk-rekursiv CGE-modell	Hybridmodell. En statisk CGE-modell + en intertemporal dynamisk energisystem modell for Danmark (TIMES-DK).	Hybridmodell. Intertemporal dynamisk CGE modell + 5 sektormodeller	Dynamisk-rekursiv CGE-modell
Kobling til sektormodeller	Ingen	Ingen	TIMES-DK. Hard-koblet. (Iterativ prosess)	Integrert system.	

5.3.1 Markeder, aktører og atferd

Markedene og atferden til aktørene er i alle de nordiske modellene hovedsakelig modellert i tråd med nyklassisk økonomisk teori. Markedene antas å ha perfekt konkurranse. Bedriftene antas å velge den sammensetningen av innsatsvarer og innsatsfaktorer som minimerer deres kostnader. Produksjonen av varer og tjenester er modellert i tråd med hva som er vanlig for CGE-modeller, altså gitt ved CES-funksjoner, se beskrivelse i boks 2-2. Husholdningene antas å maksimere sin nytte gitt relative priser og disponibel inntekt. IntERACT kan i tillegg brukes til å gjøre analyser med ulike barrierer som legger begrensninger på aktørenes atferd, som likviditetsbegrensninger eller ufullkommen informasjon. Disse barrierene modelleres i TIMES-DK.

GreenREFORM skiller seg fra de andre modellene ved at husholdningene er modellert med en enkel overlappende generasjonsmodell, hvor hver husholdning representerer en aldersgruppe. Dette er en forenklet utgave av modelleringen i MAKRO, som tidligere omtalt i boks 2-3. EMEC og IntERACT skiller ikke mellom ulike generasjoner. I EMEC har husholdningene eksogen sparerate, hvor sparing er en funksjon av inntekt. I GreenREFORM er husholdningenes

sparing foreløpig eksogent gitt, men skal etter planen bestemmes endogent gjennom intertemporal optimering. I IntERACT er samlede investeringer eksogent gitt basert på framskrivninger i ADAM.⁶⁵

I EMEC er aktørene myopiske. I IntERACT er aktørene i CGE-modellen myopiske, mens investeringene i energisektoren er bestemt av TIMES-DK, der det kan sies å være en samfunnsplanlegger med modellkonsistente forventninger og perfekt framsyn som minimerer samlet kostnad for energisystemet over analyseperioden. I GreenREFORM vil husholdningene være delvis myopiske og delvis framoverskuende i sitt konsum.⁶⁶ Bedriftene er i utgangspunktet framoverskuende, men modellen kan også kjøres med nærsynthet i teknologitilpasningen. Forventninger til framtiden er spesielt viktig for bedrifter som står overfor større investeringsbeslutninger, da det kan gi incentiv til å investere i ny teknologi tidligere om de har forventninger til en strammere klimapolitikk i framtiden.

Alle modellene er relativt disaggregerte. EMEC har 33 næringer samt en offentlig sektor som både er produsent og konsument av varer og tjenester. Til sammen produseres 43 varer og tjenester. For eksempel produserer skognæringen både skog-, tre- og papirprodukter. CGE-delen av IntERACT-modellen består av 18 næringer, en

⁶⁵ Når Finansdepartementet tar i bruk modellen MAKRO som prognoseverktøy, vil Energistyrelsen bruke input fra MAKRO i stedet for ADAM.

⁶⁶ Dette er modellert ved at det totale konsumet, øverst i husholdningenes nyttefunksjon, er delt inn i konsum gjort med myopiske forventninger og konsum gjort med framoverskuende forventninger.

representativ husholdning og en offentlig sektor (Andersen et al., 2020). Ti av disse næringene er brukere av energitjenester. Det er overlapp mellom CGE-modellen og TIMES-DK når det gjelder de ti næringene som bruker energitjenester, samt de energiproduserende næringene som inngår i framskrivningene i Danish Energy Outlook. Grupperingen av næringer er delvis basert på hvordan bedriftene bruker eller produserer energi, inkludert energiintensitet for industribedrifter (Gersfelt, 2014). Dette valget er begrunnet i at IntERACT primært brukes til å analysere samspillet mellom energisektoren og den øvrige økonomien. GreenREFORM inkluderer 59 forskjellige næringer⁶⁷ og 83 forskjellige produkter (Kirk, 2020). Det er flere produkter enn næringer ettersom enkelte næringer produserer forskjellige energivarer. For eksempel produserer raffinerier bensin, diesel, flydrivstoff med mer. Alle modellene har én representativ bedrift i hver næring.

Handel med utlandet er i alle de tre nordiske modellene modellert i all hovedsak modellert i tråd med andre CGE-modeller for små åpne økonomier, det vil si at prisene på eksport- og importprodukter er eksogent gitt. Substitusjonen mellom hjemmeproduserte og utenlandske produkter er i hovedsak modellert med Armington-elasticiteter. EMEC tar høyde for begrenset overføringskapasitet for elektrisitet mellom land ved å anta lavere substitusjon mellom elektrisitet og andre varer og tjenester i import-/eksportfunksjonen.

I TIMES-DK er handel med elektrisitet med Tyskland, Nederland, Norge og Sverige modellert detaljert, for å ta hensyn til variasjoner i energipriser mellom landene, begrensninger i overføringskapasitet for elektrisitet mellom land og regioner og nettap. Energiprisene i nabolandene er eksogent gitt og hentes fra en power-dispatch modell⁶⁸ for Nord-Europa. Internasjonal handel med andre energivarer, som olje, naturgass og bioenergi, er modellert med standard Armington-elasticiteter.

I GreenREFORM er handel med utlandet forskjellig modellert for de ulike energivarene.⁶⁹ Etterspørsel og produksjon av ulike typer drivstoff til transport, som bensin, diesel og biodiesel, bestemmes i transportmodellen. Dersom transportmodellen ikke er koblet på CGE-modellen, modelleres omsetning av disse ved standardantakelser i CGE-modellen. Handelen med utlandet er modellert med Armington-elasticiteter. Prisen på drivstoff til bunkring, råolje, kull og koks og noen andre energivarer er eksogent bestemt. Økte kostnader knyttet til innenlandsk produksjon av råolje vil derfor ikke reflekteres i prisen. Produksjon og eksport av råolje er bestemt av en eksogen framskrivning, mens importen antas å være perfekt elastisk. Det er kun import og ingen innenlandsk produksjon av kull, koks og drivstoff til bunkring. Når det gjelder handel med elektrisitet, har GreenREFORM integrert en power-dispatch modell for Nord-Europa, og dermed endogene priser i nabolandene. Dersom power-dispatch modellen ikke

Tabell 5-2 Generell sammenlikning av de ulike nordiske modellene

	SNOW-NO	EMEC	IntERACT	GreenREFORM
Husholdninger	En husholdning. Skiller ikke mellom ulike generasjoner. Myopiske.	Seks husholdninger delt inn etter inntekt og bosted. Skiller ikke mellom ulike generasjoner. Myopiske.	En husholdning. Skiller ikke mellom ulike generasjoner. Myopiske.	En husholdning. Skiller mellom ulike generasjoner. Delvis myopiske og delvis framoverskuende.
Bedrifter	En representativ bedrift i hver næring. 46 næringer. Myopiske.	En representativ bedrift i hver næring. 33 næringer. Myopiske.	En representativ bedrift i hver næring. 18 næringer. Aktørene i CGE-modellen er myopiske, men i TIMES-DK er det en framoverskuende samfunnsplanlegger.	En representativ bedrift i hver næring. 59 næringer. I utgangspunktet framoverskuende, men kan kjøres med nærsynthet i teknologitilpasning.

⁶⁷ Presentasjon av Jens Sand Kirk, prosjektleder for GreenREFORM i DREAM, for TBU klima 26. november 2020.

⁶⁸ For en beskrivelse av modellen se Energistyrelsen (2018a).

⁶⁹ Beskrivelsen av handelen med energivarer er basert på Henriksen og Kirk (2021) og svar på spørsmål fra Jens Sand Kirk, prosjektleder for GreenREFORM i DREAM.

er koblet på, modelleres omsetning av elektrisitet med standard CGE-antakelser.

5.3.2 Integrering og kobling til sektormodeller

Begge de danske modellene, GreenREFORM og IntERACT, består av en CGE-modell og en eller flere sektormodeller. I IntERACT er CGE-modellen og TIMES-DK «hard-koblet»⁷⁰, det vil si at informasjonen mellom delmodellene utveksles automatisk (se kap. 2.5 for en beskrivelse av hybridmodeller).

Koblingen mellom IntERACT og TIMES-DK skjer som følger:

1. Kjøring av TIMES-DK, med eksogent gitt energietterspørsel, bestemmer blant annet pris på energitjenester⁷¹ og produksjon av energitjenester fordelt på ulike teknologier.
2. Basert på disse tallene, bestemmer CGE-modellen husholdningenes og bedriftenes etterspørsel etter varer og tjenester, inkludert energitjenester.
3. TIMES-DK bruker det oppdaterte anslaget for etterspørsel etter energitjenester til å finne den mest kostnadseffektive måten å dekke denne etterspørselen på, basert på informasjon om energipriser, teknologikostnader, produksjons- og overføringskapasitet med mer. Utgangsdata er som i trinn én.
4. Som i trinn to.

Denne prosessen itereres fram til man oppnår konvergens i energivarekostnader mellom modellene. Dette oppnås typisk etter tre til fem kjøring. Siden etterspørselen etter energitjenester er eksplisitt modellert i CGE-modellen og korresponderer med produksjonen av energitjenester i TIMES-DK, vil ringvirkninger av investeringer i energisystemet i TIMES-DK fanges opp i CGE-delen.

GreenREFORM er et integrert system, det vil si at sektormodellene og den generelle likevektsmodellen løses samtidig. I en av versjonene er alle sektormodellene integrert, med unntak av transportmodellen. Både CGE-modellen og sektormodellene kan også brukes alene. Sektormodellene har mer detaljert modellering av særtrekk ved den enkelte sektor, som teknologier og virkemidler rettet mot sektoren.

Når sektormodellen(ene) er aktivert vil en del av parametrene i CGE-modellen, som ellers er eksogene, justeres endogent slik at produktfunksjonen (CES-funksjonen) tilpasses produksjonsstrukturen i sektormodellen(ene).

Stephensen et al. (2020a) beskriver hvordan elektrisitetsmarkedsmodellen og CGE-modellen er koblet sammen. Elektrisitetsmarkedsmodellen bestemmer pris og produksjon av elektrisitet og fjernvarme og handelsstrømmer (import og eksport). Denne informasjonen overføres til CGE-modellen, som bestemmer etterspørsel etter elektrisitet og fjernvarme, og priser på innsatsvarer og -faktorer, som igjen overføres til elektrisitetsmarkedsmodellen. Systemet løses simultant og gir konvergens i veksten i elektrisitets- og varmeproduksjonen. Tilsvarende bestemmes etterspørsel etter innsatsfaktorer og pris på sluttprodukter i jordbruksmodellen, mens pris på innsatsfaktorer og etterspørsel etter sluttprodukter bestemmes i CGE-modellen (Beck, et al., 2020).

5.3.3 Hvordan er utslipp modellert?

EMEC og GreenREFORM dekker energirelaterte utslipp og prosessutslipp. Av modellene er det kun GreenREFORM som dekker opptak og utslipp fra LULUCF gjennom en egen sektormodell.

BOKS 5-1 Utslipp som er inkludert i modellene:

EMEC

- Klimagassene CO₂, CH₄, N₂O og fluorforbindelser
- Andre forurensninger: NO_x, SO₂, NH₃, NMVOC, PM₁₀ og PM_{2.5}

IntERACT: CO₂

GreenREFORM

- Klimagassene CO₂, CH₄, N₂O og fluorforbindelser
- Andre forurensninger: NO_x, SO₂, NH₃, NMVOC, PM₁₀, PM_{2.5} og CO

⁷⁰ Ifølge definisjonen til Helgesen et al. (2018).

⁷¹ Energitjenester produseres av en kombinasjon av energivarer og andre innsatsfaktorer, hovedsakelig kapital (varmekjel osv.) Eksempler på energitjenester i boliger er lys og oppvarming, mens smelting og støpning er eksempler på energitjenester i industribedrifter.

IntERACT dekker foreløpig kun energirelaterte utslipp og klimagassen CO₂, men Energistyrelsen jobber med å inkludere prosessutslipp og flere klimagasser. EMEC og GreenREFORM inkluderer flere klimagasser og i tillegg andre forurensende utslipp til luft.

Energirelaterte utslipp er i alle de tre nordiske modellene koblet til bruk av ulike energikilder med en fast utslippskoeffisient. I GreenREFORM er energirelaterte utslipp delt inn etter ulike formål, som oppvarming og transport, og to typer prosessutslipp (Kirk, 2020). EMEC skiller mellom energirelaterte utslipp fra transport og andre formål.

Prosessutslipp er knyttet til selve produksjonsprosessen i næringer som industri, avfall og jordbruk, og er i all hovedsak modellert som en fast andel av produksjonen. I EMEC er det riktignok noe substitusjon mellom prosessutslipp og de andre innsatsfaktorene i det øverste nivået i CES-funksjonen. I GreenREFORM er utslipp fra jordbruk, og etter planen avfall, mer differensiert og knyttet til innsatsfaktorene i produksjonen. Utslipp fra jordbruk er fordelt på metan (CH₄) fra husdyr, metan og nitrogendioksid (N₂O) fra naturgjødsel, nitrogendioksid fra bruk av kunstgjødsel og andre utslipp, som kalking og bruk av urea (Beck et al., 2020). Utslipp fra avfallsnæringen kommer fra gjenvinning av ulike avfallsfraksjoner. Utslipp fra deponering er ikke inkludert. Videre antas det at alt avfall som ikke deponeres eller gjenvinnes blir utnyttet til produksjon av fjernvarme, slik at det ikke er utslipp fra forbrenning i avfallsnæringen. Utslipp fra gjenvinning er modellert med faste utslippskoeffisienter som er spesifikke for den enkelte avfallsfraksjon fra de ulike næringsgruppene⁷² (Kruse-Andersen & Sørensen, 2020).⁷³

Alle de tre modellene har i all hovedsak faste utslippskoeffisienter over analyseperioden. I GreenREFORM og IntERACT er det mulig å legge inn informasjon om renseteknologier, som karbonfangst og lagring (CCS), som reduserer aktørenes utslipp til gitt produksjon og/eller energibruk. Konjunkturinstituttet har planer om å implementere en løsning som gjør at utslipp fra stål- og sementproduksjonen har én utslippsfaktor ved bruk av eksisterende teknologi og en lavere utslippsfaktor ved investering i ny teknologi.

Alle de tre modellene skiller mellom utslipp fra kvotepliktige og ikke-kvotepliktige kilder.

5.3.4 Hvordan er utslippsreduksjonsmuligheter modellert?

Modellering av energirelaterte utslipp

I alle de nordiske modellene består aktørenes muligheter for å redusere energirelaterte utslipp av en blanding av aktivitets- og teknologitilpasninger. I EMEC er denne teknologitilpasningen i all hovedsak modellert som substitusjon mellom innsatsvarer og innsatsfaktorer. Modellen inkluderer syv ulike energivarer: elektrisitet, olje, gass, diesel, biodiesel, bensin, etanol, fyringsoljer, biomasse og torv. Energieffektivisering i bedriftene kan skje gjennom substitusjon mellom energibruk, og innsatsfaktorene arbeid og kapital. Unntaket er transportsektoren hvor det er lagt inn bottom-up informasjon for å modellere ulike teknologivalg (se beskrivelsen av transportsektoren under).

I IntERACT og GreenREFORM er aktørenes muligheter for å redusere energirelaterte utslipp modellert som en blanding av substitusjon mellom innsatsvarer og innsatsfaktorer og mer konkrete teknologivalg, med hovedvekt på det siste. Begge modellene bruker informasjon fra såkalte teknologikataloger og internasjonale kilder for å modellere mulige teknologitilpasninger. Teknologikatalogene⁷⁴ inkluderer informasjon om kostnader og utslippsreduksjonspotensial for eksisterende og mulige framtidige teknologier, inkludert teknologier som har betydning for utslipp (se boks 5-2). Ved hjelp av denne informasjonen spesifiseres et sett med teknologier, som er tilgjengelig for aktørene til ulike formål. Teknologiene rangeres etter kostnad per reduserte energienhet. Dette tilsvarer marginale rensekostnadskurver.

I IntERACT er teknologinformasjon lagt inn i TIMES-DK-modulen. Modellen velger den sammensetning av teknologier i hver periode som til en gitt etterspørsel etter energitjenester minimerer den diskonterte summen av kostnadene i energisystemet over hele analyseperioden. Kostnadene som inkluderes er både investeringskostnader, ulike faste og variable kostnader. Avhengig av substitusjonsmulighetene, kan de ulike energitjenestene leveres med teknologier som gir ulik sammensetning av energivarer, og/eller forskjellig energiforbruk. For å unngå «winner takes it all» løsninger, som er vanlig i slike optimeringsmodeller, legges teknologiene ikke inn som én teknologi, men som en fordeling av teknologier med forskjellig kostnad og potensial for å redusere utslipp. For

⁷² Gruppene av næringer er næringer som antas å produsere avfall av ulik kvalitet.

⁷³ Det gjenstod noe dataarbeid da denne rapporten ble skrevet.

⁷⁴ Energistyrelsen har en oversikt over teknologikatalogene her: <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger>

Tabell 5-3 Sammenlikning av utslippsreduksjonsmuligheter i de ulike nordiske makromodellene

	SNOW-NO	EMEC	IntERACT	GreenREFORM
Abstrakte teknologi- valg (energirelaterte utslipp)	Alle modellene kan redusere utslipp ved substitusjon mellom ulike energivarer, og innsatsfaktorene arbeid og kapital.			
Konkrete teknologivalg	Metoder som har blitt benyttet: Inkludere marginale rensekostnadskurver, utvidelse av CES-trærne, bruk av teknologiinformasjon i estimering av parametere. ⁷⁵		Teknologikataloger med informasjon om kostnader for eksisterende og mulige framtidige teknologier, brukes som input i TIMES-DK.	Bottom-up data fra teknologikataloger brukes til å modellere konkrete teknologivalg. Treghet i bedriftenes teknologitilpasning.
Transport	Konkrete teknologivalg for lette kjøretøy.	Konkrete teknologivalg for lette og tunge kjøretøy.	Håndteres eksogent, men endogen substitusjon mellom energivarer er under utvikling.	Egen detaljert sektormodell.
Jordbruk	Egen produksjonssektor med en produsert vare, modellert som andre næringer.	Modellert som andre næringer.	Utslipp fra jordbruk dekkes ikke av modellen.	Egen detaljert sektormodell delt inn i 13 næringer, og som inkluderer flere innsatsfaktorer og teknologivalg.
Prosessutslipp	Fast forhold til aktivitet. Mulig å legge inn marginale rensekostnadskurver for prosess- og petroleumsindustrien.	Fast forhold til aktivitet. Planer om en løsning for diskrete teknologivalg i stålproduksjon	Prosessutslipp dekkes foreløpig ikke av modellen, men er under utvikling.	Fast forhold til aktivitet. Utviklet en løsning for å legge inn renseteknologier (end-of-pipe teknologi).

⁷⁵ For eksempel er informasjon om sparepotensial og kostnader ved energieffektiviseringstiltak i TIMES-NO har blitt brukt til å estimere substitusjonselastisiteten mellom bruk av energivarer og investeringer i kapitalvarer som reduserer energiforbruket (etterisolering, nye vinduer med mer); se Bye et al. (2018).

eksempel vil en varmepumpeteknologi legges inn som flere typer varmepumper. I CGE-modellen er det substitusjon mellom ulike innsatsvarer og innsatsfaktorene arbeid og kapital, basert på blant annet informasjon om prisene på energitjenestene fra TIMES-DK.

BOKS 5-2 Teknologikataloger i Danmark

Tekniske og økonomiske data for ulike energi-teknologier som brukes eller er aktuelle for framtidig bruk i Danmark er samlet i såkalte energikataloger. Formålet er å ha et tallgrunnlag som til enhver tid er oppdatert, til bruk for planlegging av energisystemet, til utarbeiding av scenarier og til konkret utredning av tiltak og virkemidler på energi- og klimafeltet.

Det finnes seks kategorier av teknologikataloger:

- Produksjon av elektrisitet og fjernvarme
- Individuelle oppvarmingsanlegg i bygninger (olje- og gasskjel, varmepumper, solvarmeanlegg med mer)
- Fornybare brensler (biogass, flytende biodrivstoff med mer)
- Energilagring (varmtvann, gass, hydrogen, batterier, flywheel med mer)
- Prosessvarme og CCS
- Transport av elektrisitet, fjernvarme, gass og CO₂

Teknologikatalogene dekker eksisterende teknologier, teknologier som er under utvikling og teknologier som er på eksperimentstadiet. Hovedvekt er lagt på de to første kategoriene. I de teknologikatalogene som foreligger i dag oppgis det tekniske og økonomiske tall fram til 2050.

Teknologikatalogene publiseres av Energistyrelsen og Energinet⁷⁶ og er åpent tilgjengelig. De oppdateres løpende i en åpen prosess med involvering av bransjeorganisasjoner og tekniske eksperter. Det legges vekt på bruk av felles metodikk på tvers av teknologikategoriene og innad i hver kategori. Energistyrelsen (2018b) beskriver organiseringen og prosessen for oppdatering av teknologikatalogene.

GreenREFORM inkluderer til sammen 27 ulike energivarer.⁷⁷ Bruken av disse kan endres ved investeringer i energiteknologi, ved substitusjon mellom energivarer eller substitusjon mellom energivarer og andre innsatsfaktorer (arbeid og kapital). Modelling av energiteknologier er løst ved å ha energitjenestene og hva som skal til for å produsere disse, som to ulike nivåer i produsentenes CES-funksjon. Det ene nivået beskriver en energitjeneste levert av en energivare med eksisterende teknologi. Det andre nivået beskriver energivarene og teknologikapitalen som kreves for å produsere denne energitjenesten. I utgangspunktet sammenfaller disse to nivåene. Dersom bedriftene velger å investere i ny teknologi, substitueres den opprinnelige energivaren i det andre nivået mot en sammensetning av kapital og eventuelt andre energivarer. Modellen fanger derfor opp at investeringer i ny teknologikapital kan påvirke

både sammensetningen og hvor mye som brukes av ulike energivarer.

Beck og Kirk (2020) peker på at teknologier i teknologikatalogene i noen tilfeller framstår som lønnsomme i dag, selv om de i liten grad er tatt i bruk. For å ta høyde for at det er kostnader knyttet til implementering av nye teknologier som ikke kan observeres, multipliseres enhetskostnaden for de nye teknologiene med en kostnadsmultiplikator. Det betyr at bedriften tar i bruk ny teknologi kun når den regnes for å være «tilstrekkelig lønnsom». Multiplikatoren påvirker ikke den faktiske kostnaden bedriftene betaler.

Implementeringen av nye teknologier er videre modellert med en viss treghet, selv etter man tar hensyn til at teknologien må være tilstrekkelig lønnsom. Tregheten

⁷⁶ Energinet er et statlig selskap som eier, drifter og utvikler sentral elektrisitets- og gassinfrastruktur i Danmark.

⁷⁷ Presentasjon av Jens Sand Kirk, prosjektleder for GreenREFORM i DREAM, for TBU klima 26. november 2020.

er modellert ved at faktisk implementering er et vektet gjennomsnitt av «foretrukket» implementering inneværende år og faktisk implementeringen året før. Faktisk implementering nærmer seg ønsket implementering over tid. Dette reflekterer blant annet at kostnadene ved å bruke eksisterende kapitalutstyr kan være lavere enn de samlede kostnadene ved å ta i bruk ny teknologi. I slike tilfeller vil ikke bedriften investere i ny teknologi før den gamle teknologien ikke lenger er økonomisk levedyktig.

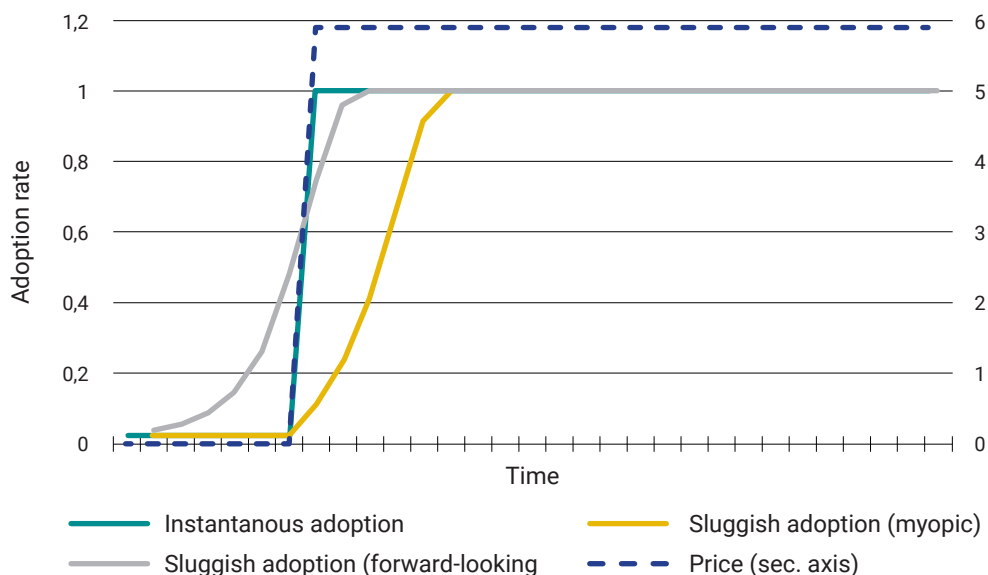
Kostnadsmultiplikatoren og parameteren som styrer tregheten i modellen, det vil si hvor fort faktisk implementering nærmer seg «foretrukket» implementering, er foreløpig ikke tallfestet. Planen er at disse vil bli kalibrert slik at implementeringen av ny teknologi i GreenREFORM samsvarer med implementeringen av ny teknologi i InterACT.

GreenREFORM er en intertemporal dynamisk modell. Framoverskuende forventninger hos aktørene er inkludert ved at foretrukket implementering av ny teknologi i dag er en funksjon av all framtidig foretrukket implementering. På den måten fanger modellen opp forventninger om hvorvidt teknologiene blir lønnsomme i framtiden. Foretrukket implementering det siste året i analyseperioden tilsvarer full implementering av teknologien gitt at den er «tilstrekkelig» lønnsom. Modellen kan også kjøres med antakelser om nærsynthet (myopisk atferd). Dersom prisen på en energivare er forventet å øke på et tidspunkt fram

i tid, begynner framoverskuende aktører å gradvis starte adopsjon av ny alternativ teknologi før prisen øker, mens bedrifter uten framoverskuende atferd venter til prisen faktisk øker, se figur 5-1. Hvor fort faktisk implementering nærmer seg det fulle potensialet avhenger av modellering av forventningene og tallfestingen av parameterne i vektene.

Transportsektoren

Både EMEC og GreenREFORM har en disaggregert modellering av utslippsreduksjonsmuligheter innen transportsektoren, med eksplisitt modellering av husholdningenes og bedriftenes bruk av egne transportmidler. I EMEC er transport skilt ut og lagt inn under produktinnsats i CES-treet. Modellen har en teknologirik spesifisering av lette kjøretøy.⁷⁸ Lette kjøretøy er delt inn i kjøretøy med diesel-, bensin-, etanol (E85), hybrid- og elektrisk motor. Alle kjøretøy kommer i én ny og to eldre versjoner, for å fange opp at utslippsutviklingen avhenger av sammensetningen av kjøretøyparken. Energieffektivisering er modellert som et valg mellom energibruk og motorkostnad. For hvert kjøretøy kan aktørene velge mellom en effektiv og en mindre energieffektiv motor. Videre kan energieffektivisering oppnås ved å bytte til en nyere modell eller en annen modell med lavere energiforbruk. Substitusjon av drivstoff skjer hovedsakelig ved bytte av lette kjøretøy.⁷⁹ Tunge kjøretøy er ikke inndelt i ulike teknologier, men aktørene kan velge mellom å kjøre på lav andel biodiesel eller ren biodiesel (HVO 100).



Figur 5-1 Treg implementering av ny teknologi sammenlignet med umiddelbar implementering og med ulike antakelser om bedriftenes forventninger. Kilde: Presentasjon av Jens Sand Kirk, prosjektleder for GreenREFORM i DREAM, 26.november 2020.

⁷⁸ Løsningen tilsvarer den som er utviklet av Karplus et al. (2013) for MIT EPPA-modellen.

⁷⁹ Unntak er ladbare hybridbiler, som kan kjøres ved bruk av bensin og elektrisitet, og E85 biler, som kan kjøres på ulike innblandinger av etanol.

I GreenREFORM er transportsektoren modellert i både CGE-modellen og i sektormodellen. I CGE-modellen inngår transportkapital og energiforbruk til transport i et eget aggregat i bedriftenes CES-funksjon og i husholdningenes nyttefunksjon. Modellen beskriver valget mellom ulike transporttjenester. Husholdningene kan substituere mellom egen transport og andre former for transport (taxi, tog, buss med mer). Siden transporttjenester er plassert sammen med andre innsatsvarer i bedriftenes CES-funksjon, er det minimal substitusjon mellom egen transport og andre transporttjenester. Teknologivalgene er implisitt modellert ved substitusjon mellom innsatsfaktorer og energivarer.

Sektormodellen for transport har derimot en detaljert beskrivelse av ulike kjøretøyteknologier. Formålet er å kunne beskrive utviklingen i kjøretøyparken, valget mellom ulike kjøretøyteknologier, inkludert overgangen til elektriske kjøretøyer og bruk av annet fornybart drivstoff i transport og utviklingen i produksjonskapasitet for fornybare drivstoff.⁸⁰ Når modellen er integrert, vil CGE-modellen bestemme etterspørselen etter transporttjenester, mens transportmodellen bestemmer valg av kjøretøyteknologier. Som i EMEC kommer kjøretøy i ulike typer og årganger. Endringer i bilparken er modellert med en viss treghet ved at kjøp av en ny bil er forbundet med transaksjonskostnader, og fordi markedene for nye og brukte biler henger sammen.

Transportmodellen inkluderer i tillegg nettverkseksernaliteter, det vil si at jo flere som tar i bruk en type bil, jo gunstigere er det for andre å gjøre det. Nettverksgevinsten er modellert som fallende drivstoffkostnader ved økt bruk av biler som bruker samme type drivstoff. Tolkningen er at jo flere som etterspør en type drivstoff, desto flere vil tilby denne typen drivstoff, slik at lading/tanking av drivstoff blir enklere.

Transportsektoren håndteres inntil videre eksogent i IntERACT. Informasjon om energibruk, som fossilt drivstoff, elektrisitet, hydrogen og biodrivstoff, er lagt inn basert på ekspertvurderinger, framskrivninger fra Energistyrelsens bilvalgsmodell (Energistyrelsen 2021) og Energistyrelsens framskrivning av transportsektorens energiforbruk (Energistyrelsen 2020). Energistyrelsen jobber med å inkludere substitusjon mellom energivarer, som diesel og biodiesel, i transportsektoren. Antallet kilometer som kjøres med ulike kjøretøy vil fremdeles være eksogent gitt, basert på bilvalgsmodellen og ekspertvurderinger.

Modellering av prosessutslipp

I EMEC kan prosessutslipp i hovedsak reduseres ved lavere produksjon, men modellen antar også en svak substitusjon mellom prosessutslipp og andre innsatsfaktorer og innsatsvarer (KLEM), spesifisert ved en liten positiv substitusjonselastisitet.

I GreenREFORM kan prosessutslipp reduseres ved lavere produksjon i CGE-modellen, eller ved teknologitilpasning dersom slik informasjon finnes i teknologikatalogene. Stephensen et al. (2020b) har utviklet en egen løsning for implementering av ulike renseteknologier (end-of-pipe teknologier), det vil si teknologier som ikke påvirker selve produksjonsprosessen, men reduserer klimagassutslipp i etterkant. Teknologikatalogene oppgir typisk en konstant marginal kostnad og et gitt utslippspotensial. Med homogene nyttemaksimerende bedrifter vil det typisk gi hjørneløsningene null eller full implementering. Stephensen et al. (2020) beskriver hvordan en katalog av slike teknologier kan integreres i en CGE-modell, på en måte som gjør at modellen kan løses. Løsningen går ut på å inkludere heterogene aktører, som har litt høyere eller litt lavere marginalkostnad enn den som er spesifisert i teknologikatalogen, slik at implementeringen jevnes ut. Gjennomsnittet av aktørenes marginalkostnader tilsvarer kostnadene i teknologikatalogen. Produsentenes teknologikostnader aggregeres og brukes til å danne etterspørselsfunksjonen etter ulike innsatsfaktorer. Dette legges så inn i CES-produksjonstreet på lik måte som etterspørselen etter andre innsatsfaktorer. Løsningen er integrert i modellen, men det gjenstår noe dataarbeid.

Konjunkturinstituttet har planer om å videreutvikle EMEC til å inkludere backstop-teknologier som reduserer utslippene fra produksjonsprosessen, slik at aktørene i sement- og stålindustrien kan investere i disse, dersom det blir lønnsomt. Løsningen går ut på at investeringer i disse teknologiene bidrar til et skifte i bedriftenes produksjonsteknologi. Matematisk er det formulert som et diskret optimeringsproblem, hvor bedriftene hopper fra en CES-funksjon til en annen idet teknologien blir lønnsom. Lønnsomhet tar ikke utgangspunkt i produsentenes marginalkostnader, men gjennomsnittlige årlige kostnader. Til disse anslagene brukes bottom-up informasjon fra prosessindustrien. Løsningen er basert på en tidligere versjon av MIT EPPA-modellen (Paltsev et al., 2005), se boks 5-3.

GreenREFORM har en avfallsmodell, men det gjenstår noe dataarbeid.⁸¹ Avfallsnæringen er delt inn i to næringer:

⁸⁰ Se Eskildsen (2020) for en beskrivelse av transportsektormodellen i GreenREFORM.

⁸¹ Beskrivelsen av modellen er basert på Kruse-Andersen og Sørensen (2020).

avfallsinnsamling og avfallshåndtering, med en representativ bedrift i hver næring. Innsamling av avfall finansieres ved en lumpsumoverføring fra husholdningene og en avgift på innsamlet avfall fra bedriftene. Bedriften som samler inn avfall betaler en avgift for levering av avfall til håndtering, men har ingen innvirkning på hvordan avfallet håndteres. Avfallet kan håndteres på tre måter: det kan deponeres, materialgjenvinnes eller selges som innsatsfaktor til energiproduksjon. Andelen som går til deponering og resirkulering er antatt regulert og eksogent gitt. Utslipp fra avfallsnæringen kommer fra materialgjenvinning og avhenger av den enkelte avfallsfraksjon og hvilken næringsgruppe som genererer avfallet. I den nåværende versjonen er mengden avfall som produseres eksogent gitt. Kruse-Andersen og Sørensen (2020) oppgir at målet er at mengden avfall skal bli endogent modellert, slik at modellen blant annet kan brukes til framskrivinger av avfall. Tilsvarende gjelder for internasjonal handel med avfall. Energivare- og faktorpriser er også eksogene i den nåværende utgaven.

Når det gjelder jordbruk i GreenREFORM er mulighetene for å redusere utslipp fra ikke-energirelaterte utslippskilder håndtert i sektormodellen,⁸² mens energirelaterte utslipp håndteres i CGE-modellen. For å fange opp forskjeller mellom ulike jordbruksnæringer som påvirker utslipp, er sektormodellen delt inn i 13 næringer. Disse inkluderer blant annet økologisk og konvensjonell planteproduksjon, og tilsvarende inndeling for ulike typer animalsk produksjon. Jordbruksprodusentene kan redusere sine utslipp ved å substituere mellom ulike innsatsfaktorer, som gjødsel, dyr, og dyrefor, og ved å investere i utslippsreduserende teknologi. Modellen inkluderer foreløpig tre teknologier som kan bidra til å redusere utslippene i jordbruket: gjødselsforsuring, slamavkjøling og biogassifisering av gjødsel.

Opptak og utslipp fra skog- og arealbruk

GreenREFORM er den eneste modellen som inkluderer opptak og utslipp fra skog- og arealbruk (LULUCF) med en egen utslippsmodul som er under utvikling.⁸³ Utslippsmodulen forsøker å replikere den offisielle metoden brukt for å estimere danske utslipp. For å sikre konsistens kalibreres også endelige utslipp fra utslippsmodulen til den offisielle framskrivningen av utslipp. I utslippsmodulen skilles det mellom utslipp fra arealbruk, endring i arealbruk, utslipp og opptak i skog, og utslipp fra opprettelsen og nedbrytingen av ulike treprodukter. Utslipp fra arealbruk stammer fra hvordan landmassene blir brukt, og modelleres ved at utslippskoeffisienter kobles opp til ulike typer landmasser. Modellering av netto utslipp som stammer fra endringer i hvordan landmassene brukes er knyttet til landmassenes karbonlagre. Som et eksempel har land brukt til jordbruk et stående karbonlager, men om arealbruken endres for å gi plass til vei blir denne karbonmassen fjernet, og utslippene løslatt. I modellering av netto utslipp fra endring i arealbruk skilles det mellom biomasse som fjernes øyeblikkelig og biomasse som tilpasser seg den nye arealbruken etter en periode. Endring i arealbruk spesifiseres utenfor modellen og hentes fra Energistyrelsens framskrivning av arealbruk. Endring i skog modelleres ved hjelp av en modell der skogen deles inn i ulike typer skog, ulike regioner og ulike aldersklasser. For hvert skogområde spesifiseres det et karbonlager per hektar og en sannsynlighet for at skogområdet overlever til neste aldersklasse. Avskoging spesifiseres utenfor modellen. Slik beregnes nettoutslipp som følge av den totale endringen i karbonlageret fra forrige periode. Bidrag til netto utslipp fra opprettelse og påfølgende nedbrytning av forskjellige treprodukter antas å være konstant, som er i overensstemmelse med Energistyrelsens basisframskrivning 2020. Det er for øyeblikket kun et tilkoblingspunkt mellom denne modulen og resten av GreenREFORM, nemlig at dyrket land også er innsatsfaktor i jordbruksmodellen.

⁸² Beskrivelsen er basert på Bech et al. (2020).

⁸³ Beskrivelsen av modulen er basert på Beck (2021).

BOKS 5-3 Eksempler på modellering av utslipp og teknologier i MIT EPPA

MIT EPPA (Economic Projection and Policy Analysis model) er en global CGE-modell som ble utviklet av Massachusetts Institute of Technology tidlig på 1990-tallet, basert på OECDs GREEN-modell (Lee et al., 1994). Modellen brukes til analyser og framskrivinger fram til år 2100 for utslipp av klimagasser, annen forurensning, produktivitsutvikling i jordbruksnæringen, arealbruksendringer, endringer i vannforsyning og energisystemer, utsikter for nye teknologier med mer. I tillegg til å brukes alene, brukes utslippsframskrivingene fra modellen som inngangsdata i MIT Earth System Model (MESM), som er en klimamodell. Til sammen utgjør de to modellene den integrerte evalueringsmodellen MIT Integrated Global System Modeling (IGSM). Grunnversjonen av MIT EPPA er dokumentert i Babiker et al. (2001) og Paltsev et al. (2005), mens den siste versjonen (EPPA6), som danner grunnlag for beskrivelsen her, er dokumentert i Chen et al. (2015). Vi henviser til dokumentasjonen for en beskrivelse av modellsystemet, og omtaler under noen relevante anvendelser og løsninger i modellen.

Teknologi: Modellen inkluderer 14 backstop-teknologier som produserer et fullkomment eller tilnærmet fullkomment substitutt til et produkt produsert med eksisterende teknologi (se Chen et al., 2015). Dette er nye eller umodne teknologier som ikke er representert i GTAP 8-databasen. Eksempler fra Chen et al. (2015) er hydrogen, kullkraft med CCS, avansert kjernekraft og andre teknologier for fornybar energi. Backstop-teknologiene er modellert med et påslag i kostnader i basisåret, sammenliknet med eksisterende teknologier som produserer samme

varen eller tjenesten. Påslaget tallfestes med bottom-up analyser. Teknologiene tas i bruk hvis og når de blir økonomisk lønnsomme. I en tidligere versjon ble backstop teknologiene modellert med pris og bruk lik null i basisåret (Paltsev et al., 2005).

Innen transportsektoren modellerer EPPA følgende alternative drivstoffteknologier: elektrisitet, hydrogen, komprimert naturgass (se Chen et al., 2016 og Paltsev et al., 2018). Disse er modellert med økende skalautbytte, som betyr at lønnsomheten øker desto flere som tar i bruk teknologien. Modellen inkluderer også muligheten til å bytte mellom nye og brukte biler som en respons på endrede bil- og drivstoffpriser (se Karplus, 2015).

Arealbruksendringer: I tidligere versjoner av EPPA er arealbruksendringer endogen bestemt. Chen (2015) oppgir det som en prioritert oppgave å endogenisere arealbruksendringer igjen ved å knytte utslippskoeffisienter til ulike former for arealbruksendringer.

Følsomhetsanalyser: Siden modellen brukes til svært langsiktige analyser der det er stor usikkerhet, legges det vekt på å studere modellrespons ved ulike forutsetninger om BNP-vekst, produktivitsvekst og energieffektiviseringsrate. I Chen (2015) gjennomføres det i tillegg en følsomhetsanalyse for substitusjonselastisiteten mellom energi og andre primærfaktorer, begrunnet i at størrelsen på denne har stor betydning for energibruks- og utslippsutvikling. Det har også blitt gjennomført følsomhetsanalyser av substitusjonselastisitetene i tidligere versjoner av modellen (Cossa, 2004; Webster et al., 2002).

5.3.5 Virkemidler

EMEC kan brukes til å studere ulike virkemidler som påvirker utslipp fra kilder inkludert i EUs innsatsfordeling (ikke-kvotepiktige utslipp) og kvotesystem, men foreløpig ikke utslipp fra LULUCF. Virkemidler som kan analyseres er ulike former for avgifter, som CO₂-avgift, avgift på flyreiser og ulike energiavgifter. Virkemidler på transportområdet som kan analyseres inkluderer offentlig innkjøp, omsetningskrav for biodrivstoff, «bonus-malus», som er en ordning med utslippsdifferensiert avgift på kjøretøy, og støtteordninger til lavutslippskjøretøy. Videre kan modellen brukes til å analysere direkte reguleringer og effekter av

endringer i kvoteprisen (EU-ETS). I tillegg er det nylig lagt inn en mulighet i modellen for å analysere effekter i Sverige av å innføre karbontoll på europeisk nivå. Siden modellen inkluderer andre økonomiske virkemidler, som inntektskatt og ulike skatter på produksjon og konsum, vil modellen kunne fange opp samspill mellom klimapolitiske virkemidler og disse.

IntERACT er spesielt godt egnet for analyse av virkemidler som påvirker tilbud og etterspørsel etter energitjenester. Modellen kan benyttes til å studere et bredt spekter av økonomiske og regulatoriske virkemidler som påvirker energirelaterte utslipp og i noen grad offentlige investeringer som påvirker energisystemet. IntERACT kan ikke

BOKS 5-4 Eksempel på analyse med IntERACT

Andersen et al. (2019) finner at innføring av et nasjonalt krav om CCS i kullbasert betongindustri fra 2035 medfører et fall i betongproduksjonen på ni prosent og en reduksjon i brutto nasjonalprodukt på 0,05 prosent i 2035, sammenliknet med referansebanen. Forbruket av betong dekkes av en økning i nettoimport på 316 millioner euro. Med et fall i betongproduksjonen på 357 millioner euro, anslår de at karbonlekkasjen er på om lag 88 prosent. De energirelaterte utslippene av CO₂ fra betongindustrien faller med 56 prosent. Forbruket av gass øker med nesten 10 prosent, som følge av at det blir mer attraktivt å bruke gass til oppvarming sammenliknet med kull.

brukes til å analysere effekten av virkemidler rettet mot jordbruket eller skog og arealbruk (LULUCF). Andersen et al. (2019) benytter IntERACT til å analysere effekten av et nasjonalt krav om karbonfangst og lagring (CCS) for energirelaterte utslipp i den danske betongindustrien, se boks 5-4.

Formålet med GreenREFORM er å analysere både effekten av forskjellig klima- og miljøpolitikk, men også klima- og miljøeffekten av annen økonomisk politikk. Modellen skal i prinsippet kunne brukes til alle typer virkemidler på klimaområdet, inkludert avgifter, subsidier og direkte reguleringer. Modellen kan brukes til å studere virkemidler som påvirker utslipp fra kilder inkludert i EUs innsatsfordeling (ikke-kvotepiktige utslipp), kvotesystemet og LULUCF. Detaljgraden i de ulike sektormodellene som er integrert

i modellen, gjør at modellen kan brukes til å analysere nærings- og sektorspesifikke mål og virkemidler innenfor energi, jordbruk, avfall og LULUCF. Eksempler er virkemidler som bidrar til endring i etterspørselen etter animalske produkter, krav om at bestemte arealer settes av til dyrking av skog, krav til avfallshåndtering og resirkulering eller krav til nullutslippsløsninger i varetransport.

Ingen av modellene har endogen teknologisk utvikling, og de kan derfor ikke brukes til å analysere effekten av klimapolitiske virkemidler for utviklingen av nye teknologier.

5.3.6 Velferdsmål, samfunnsøkonomiske kostnader og fordelings effekter

Samfunnsøkonomiske velferdseffekter

Både EMEC, IntERACT og FINAGE brukes til å beregne samfunnsøkonomiske velferdseffekter knyttet til politiske virkemidler. De samfunnsøkonomiske virkningene beregnes ved å sammenligne nytten til husholdningen i referansebanen og i alternativ-scenariet med virkemidler. Både EMEC og FINAGE fanger opp i anslagene på de samfunnsøkonomiske effektene at nye klimapolitiske virkemidler påvirker effektivitetstap fra eksisterende virkemidler. GreenREFORM har også et mål på de samfunnsøkonomiske velferdseffektene for husholdningen gjennom husholdningenes nyttefunksjon. DREAM jobber med en løsning for å kunne summere velferdsendringene for de ulike generasjonene over tid.

EMEC oppgir effekter for andre utslipp til luft (NO_x, partikler, med mer), men effektene av slike endringer blir ikke prissatt og inngår dermed ikke i velferdskostnadene. Siden EMEC antar fullkommen konkurranse, fanger ikke modellen opp hvordan virkemidler påvirker kostnader knyttet til markedsmakt.

Tabell 5-4 Sammenlikning av ulike nordiske modeller – velferdseffekter og kostnader

	SNOW-NO	EMEC	IntERACT	GreenREFORM	FINAGE
Samfunns- økonomiske velferds- effekter	Neddiskontert nytte, representativ husholdning	Neddiskontert nytte, representative husholdninger	Neddiskontert nytte, representativ husholdning	Jobber med en løsning for å kunne summere de ulike generasjonenes nytte	Neddiskontert nytte
Fordelings- effekter	Mellom ulike næringer. Kan kobles til en mikrosimuleringsmodul for analyse av effekter mellom ulike typer husholdninger.	Mellom ulike næringer og ulike typer husholdninger	Mellom ulike næringer	Mellom ulike næringer	
Omstillings- kostnader og tregheter	Ingen	Ingen, men har tenkt på å utvikle en putty-clay løsning for treghet i kapitaltilpasning	Rom for å legge inn tregheter i kapitaltilpasningen (delvis putty-clay)	Treghet i kapitaltilpasning	Treghet i både kapital- og arbeidstilpasning

Tregheter og tilpasningskostnader

Av de nordiske modellene er det kun FINAGE som fanger opp kostnader knyttet til tregheter i både arbeids- og kapitalmarkedet, såkalte tilpasningskostnader. Modellen kan kjøres med ulike antakelser om arbeidsmarkedet. Modellbrukeren kan blant annet anta at lønningene ikke justeres umiddelbart etter et sjokk i økonomien, men responderer gradvis. Tregheten er basert på estimater for finsk økonomi. Modellen kan derfor si noe om hvordan arbeidsledigheten påvirkes på kort sikt. På lang sikt antar modellen at lønningene tilpasses slik at økonomien igjen har full sysselsetting. Videre antas kapitalbeholdningen å være næringsspesifikk, slik at kun investeringer i ny kapital er mobil. Det betyr at kapitalbeholdningene responderer langsomt på endringer i klimapolitikken. Modellbruker kan også definere ulike regler for offentlig sektors budsjettbalanse, som for eksempel at offentlig sektor går med underskudd når økonomien er i en lavkonjunktur.

I likhet med FINAGE antar GreenREFORM at bedriftene tilpasser sin kapitalbeholdning til endrede priser gradvis og med en viss treghet. Modellen vil derfor kunne fange opp kostnader knyttet til at det tar tid for bedrifter å omstille seg og at det kreves et sterkere insentiv for å nå

gitte utslippsmål. Tregheten i bedriftenes investeringer i teknologikapital er beskrevet i avsnitt 5.3.4, mens tilpasningen i annen maskinkapital er modellert som i MAKRO. GreenREFORM kan også kjøres med antakelser om både myopisk og framoverskuende atferd, som påvirker kapitaltilpasningen. Arbeidskraften antas å være fullstendig mobil. Modellen bygger på makromodellen MAKRO⁸⁴, som kan kjøres med treghet i priser og arbeidsmobilitet. Slike tregheter kan derfor legges inn i GreenREFORM.

Når det gjelder IntERACT er det rom for å legge inn tregheter i kapitaltilpasningen i både CGE-modellen og TMES-DK. Modellen inkluderer tre typer kapital: heterogen energitjenestekapital, bygningskapital og homogen kapital. TIMES-DK bestemmer beholdningen av og investeringene i energitjenestekapital, mens resten av kapitalbeholdningen bestemmes i CGE-modellen. Bygningskapitalen er i tillegg til boligsektoren spesifikk for følgende næringer: olje og gass, sement, utenrikssjøfart og jordbruk. Annen kapital, inkludert annen bygningskapital, kan modelleres med full mobilitet eller som delvis næringsspesifikk (delvis putty clay).⁸⁵ I TIMES-DK kan tregheter legges inn som påslag på investeringskostnadene eller som en grense for hvor raskt bruken av ulike energivarer kan endres.

⁸⁴ For en beskrivelse av MAKRO, se boks 2-3.

⁸⁵ Det vil si at 90 prosent av kapitalen er sektorspesifikk.

Konjunkturinstituttet har sett på muligheten for å utvikle en putty-clay løsning, tilsvarende modelleringen av kapitalen i MIT-EPPA (Paltsev et al., 2005).⁸⁶ Formålet er å kunne analysere hvordan bedrifter i ulike næringer tilpasser seg klimapolitiske virkemidler, og vil både påvirke modellens anslag på utslipp og kostnadsberegningene.

Fordelingseffekter

Alle de tre skandinaviske modellene (danske og svenske) har en detaljert næringsinndeling. Inndelingen er slik at den tar sikte på å fange opp relevante skiller i utslippintensitet ulike næringer. De kan derfor si noe om hvordan produksjon og sysselsetting i ulike næringer påvirkes av klimapolitikken.

Av disse er det kun EMEC som kan brukes til å si noe om hvordan klimapolitikken slår ut for ulike typer husholdninger, avhengig av deres inntekt og hvor de bor. Modellen inkluderer seks husholdningstyper. Husholdningene er delt inn etter om de bor i storby, mindre byer eller på mindre befolkede steder (glesbygd), og om de har inntekt over eller under medianinntekten. De ulike husholdningstypene har forskjellig arbeids- og konsumtilpasning. At substitusjonselastisiteten mellom konsum og fritid er forskjellig for de ulike husholdningene er et resultat av at disse er kalibrert i en tidligere versjon av EMEC. Klimapolitiske virkemidler vil derfor påvirke de ulike husholdningenes inntekt, konsum og arbeidstilbud forskjellig.

5.3.7 Datagrunnlag

I IntERACT varierer substitusjonselastisitetene i bedriftenes CES-funksjon mellom næringer, og de er hentet fra Thomsen (2015). Elastisitetene er estimert basert på danske tidsseriedata fra 1968-2013. Inntekts- og substitusjonselastisitetene i husholdningenes nyttefunksjon er, med unntak av boligjenester, hentet fra Thomsen (2019), hvor elastisitetene er estimert med danske historiske data. Husholdningenes atferd når det gjelder investeringer i energieffektivisering er basert på en litteraturgjennomgang (se Andersen et al., 2020).

Det er planlagt å estimere egne parametere i GreenREFORM basert på danske data. DREAM jobber med å estimere substitusjonselastisitetene i bedriftenes produktfunksjon i GreenREFORM ved bruk av samme metode som er utviklet for MAKRO (Kronborg et al.,

2021).⁸⁷ I likhet med IntERACT vil substitusjonselastisitetene variere mellom næringer.

I EMEC er substitusjonselastisitetene hentet fra ulike kilder, blant annet MIT-EPPA og GEM-E3⁸⁸. Bedriftenes substitusjonselastisiteter varierer noe, men ikke mye, mellom næringer. Substitusjonselastisiteten mellom arbeid og fritid varierer mellom husholdninger. Grunnen er at de er kalibrert i en tidligere versjon av EMEC, hvor husholdningene er delt inn i tre kompetansenivåer.

Teknologisk utvikling er eksogent gitt i alle modellene. IntERACT og GreenREFORM henter estimater for utvikling av ulike teknologier fra teknologikatalogene. I EMEC er parametere for produktivitetsutviklingen for ulike næringer hentet fra andre makromodeller hos Konjunkturinstituttet. Parametere for energieffektivisering er blant annet hentet fra TIMES-SE og IEA. Utvikling i kjøretøy følger Europakommisjonens standarder. Ingen av modellene har substitusjonselastisiteter som endrer seg over tid.

Referansebanen i alle tre modellene kalibreres mot referansebaner i andre makromodeller. Det betyr at parametere i modellene justeres slik at utviklingen i en del variable, som BNP, sparing og investeringer i referansebanene tilpasses utviklingen i de andre makromodellene. I IntERACT justeres en faktornøytral produktivetsparameter slik at den økonomiske utviklingen i referansebanen samsvarer med Finansdepartementets økonomiske framskrivning.

5.4 MEMO - DSGE-modell brukt til analyse av klimapolitikk

MEMO er en multisektor DSGE-modell som blir benyttet til å analysere ulike klima og energispørsmål. Modellen ble utviklet av det polske forskningsinstituttet The Institute for Structural Research (IBS). Beskrivelsen under tar utgangspunkt i MEMO III (Antosiewicz og Kowal, 2016).

5.4.1 Beskrivelse av modellen

Modellen består av tre hovedblokker: husholdninger, bedrifter og offentlig sektor. Disse er koblet sammen gjennom markedene for arbeidskraft, kapital, og varer

⁸⁶ I MIT EPPA er kapitalen delt inn i formbar og ikke-formbar kapital.

⁸⁷ For en beskrivelse av hvordan parametere er estimert, se Kronborg et al. (2021).

⁸⁸ Modellen er beskrevet på Europakommisjonens hjemmeside: <https://ec.europa.eu/jrc/en/gem-e3>

og tjenester. Modellen beskriver en liten åpen økonomi som importerer og eksporterer varer fra og til utlandet. Offentlige inntekter og utgifter er disaggregert. Utslipp av klimagasser er modellert både på næringsnivå (i bedrifter) og for husholdninger. For bruk av fossilt brennstoff knyttes utslipp direkte til mengde av innsatsfaktoren som er brukt i produksjonen. Utslipp fra kjemiske prosesser antas å være proporsjonalt med produksjonen i næringen. Husholdningenes utslipp er knyttet til forbruk av fossilt brennstoff.

Husholdningssiden består av en framoverskuende representativ husholdning. Samlet forbruk i økonomien er gitt ved mengden varer og tjenester som er tilgjengelig. Forbruket til den representative husholdningen er gitt som konsum per innbygger. Nyttefunksjonen avviker fra andre modeller beskrevet tidligere, ved at den også tar hensyn til vanedannelse modellert som en «holde tritt med»-effekt der den representative husholdningens nytte påvirkes av forskjeller mellom sitt eget og andres konsum.

Bedriftene er framoverskuende. De tar sine beslutninger basert på hva som maksimerer forventet diskontert kontantstrøm fra produksjonen. Produksjonsstrukturen er lik den som benyttes i andre CGE-modeller. Modellen har 10 næringer, men det er også mulig å bruke en mer detaljert næringsinndeling. De ti næringene er jordbruk, råmaterialer, industri og produksjon, elektrisitet, byggetjenester, detalj- og handel, markedstjenester, transporttjenester, finansielle tjenester og offentlige tjenester. Elektrisitet er produsert fra forskjellige energivarer, som antas å være nesten perfekte substitutter. Produsentenes muligheter for energieffektivisering er modellert som substitusjon mellom ulike energivarer, og mellom energi og innsatsfaktorene arbeid og kapital. Produsentene av aggregerte innsatsvarer og tjenester i MEMO skiller seg fra andre CGE-modeller omtalt tidligere ved at de har monopolmakt og er prissettere. I det siste trinnet i produksjonen brukes de aggregerte innsatsfaktorene sammen med andre materialer til å produsere sluttprodukter og -tjenester. Produsentene av det sluttproduktet/-tjenesten har ikke monopolmakt og selger varene/tjenestene sine i markeder med fullkommen konkurranse. I motsetning til alle andre modeller beskrevet i denne rapporten, åpner MEMO opp for endogen teknologisk utvikling ved at bedriftene kan investere i forskning som øker kapitalproduktiviteten.

MEMO skiller seg også fra de andre modellene som er beskrevet i dette kapitlet ved at det er ufullstendig konkurranse i arbeidsmarkedet og i modelleringen av treghet i

investeringer i realkapital. Arbeidsmarkedet er modellert ved hjelp av et «søke- og treff rammeverk».⁸⁹ Rammeverket går ut på at arbeidsgivere legger ut stillingsannonser og arbeidssøkere sender jobbtillbud. Siden koblingsprosessen ikke er perfekt, er antall stillinger som fylles lavere enn etterspørselen og tilbudet i arbeidsmarkedet. Investeringsstregghet modelleres ved at de ulike bedriftenes akkumulering av fysisk kapital er stokastisk. Når en bedrift investerer i fysisk kapital, tar det tid før investeringen realiseres. Tidspunktet for realisering avgjøres av en stokastisk transformasjonsrate. I tillegg er diskonteringsraten som bedriftene står overfor stokastisk. Diskonteringsraten til bedriftene er en funksjon av Lagrange-multiplikatoren assosiert med budsjettbetingelsen til den representative husholdningen på tidspunkt t og $t-1$, og den subjektive diskonteringsraten til husholdningen. Budsjettbetingelsen til den representative husholdningen er en funksjon av realiserede investeringskostnader, og derfor stokastisk.

Parameterne i modellen kan deles inn i tre ulike grupper. Den første er parametere som definerer likevektsnivået på ulike variabler. Til dette brukes blant annet kryssløpstabeller, nasjonalregnskapet, utslippsregnskapet og arbeidsmarkedsdata. Det andre er strukturelle parametere som beskriver egenskapene til produksjonsteknologien og husholdningen, som substitusjonselastisiteter. I modellen fastsettes disse i stor grad ved bruk av estimater fra litteraturen. Den tredje gruppen er parametere som bestemmer formen på de eksogene stokastiske sjokkene. I kalibrering av modellen inkluderes produktivitetssjokk som påvirker alle næringer i økonomien.

5.4.2 Bruk av modellen på relevante problemstillinger

MEMO har blitt benyttet til å studere en rekke forskjellige problemstillinger innenfor klimaområdet, og har blitt kalibrert til kryssløpstabeller fra Polen, EU, Chile og Hellas.

Modellen ble for første gang brukt til å analysere effektene av en pakke på 120 ulike utslippsreducerende tiltak på utslipp, velferd, BNP, sysselsetting, og offentlig inntekter og utgifter i Polen (Bukowski & Kowal, 2010). Tiltakspakken ble identifisert gjennom en «bottom-up» analyse av McKinsey & Company. Modellen har to land, Polen og resten av EU, og ble kalibrert til statistiske data for Polen og EU. For å skape konjunkturer i økonomien, er det i denne studien flere stokastiske variabler enn de beskrevet ovenfor. Modellen

⁸⁹ Rammeverket er basert på Mortensen (1989) og Pissarides (2000).

skaper konjunkturer ved generelle produktivitetssjokk, sjokk i arbeidstilbudet, sjokk i offentlig konsum og sjokk i etterspørsel etter goder fra utlandet.

MEMO har senere blitt generalisert for å inkludere endogen teknologisk utvikling (Bukowski, 2014), noe som demper effekten av en permanent endring i energipriser og karbonprising på økonomien. Muligheten til å investere i forskning og utvikling gir bedriften en ekstra tilpasningsmekanisme og en mulighet til å minimere sin egen følsomhet for framtidige sjokk.

MEMO har også blitt brukt til analyser av politikk designet for å fremme ressurseffektivitet i det EU-finansierte prosjektet DYNAMIX - Decoupling growth from resource use and its environmental impacts (Bosello et al., 2016). Her analyseres effekten av blant annet skatt på kjøp av ulike råmaterialer i produksjons- og byggenæringen, en økning i merverdiavgiften på kjøttprodukter og avgift på uttak av råvarer. Modellen er kalibrert til EUs økonomi ved hjelp av kryssløpstabeller fra Eurostat. Videre har Antosiewicz et al. (2016) benyttet MEMO for å analysere de makroøkonomiske konsekvensene av en avgift på produksjon og materialer benyttet i industri, energi og transportnæringen i EU27-landene.

Verdensbanken, finansdepartementet og miljødepartementet i Chile har i samarbeid benyttet MEMO til å analysere CO₂-avgift og andre klimatiltak i Chile (Antosiewicz et al., 2020). Modellen ble kalibrert til chilensk økonomi ved bruk av kryssløpstabeller, og det ble gjort modellsimuleringer som viser de makroøkonomiske effektene av en samling av 34 ulike virkemidler og tiltak. De ulike virkemidlene besto blant annet av krav til energi-effektivitet, elektrifisering i transportsektoren, krav til bruk av hydrogen i godstransport, endring i kosthold for kyr, skogplanting og bærekraftig forvaltning av skog. Studien har også en egen analyse av de makroøkonomiske konsekvensene av å øke klimagassavgiften i Chile.

I forbindelse med EU prosjektet TRANSrisk - Transition pathways and risk analysis for climate change policies⁹⁰, ble det utviklet en online verktøykasse for MEMO hvor ikke-eksperter kan simulere og analysere de makroøkonomiske konsekvensene av ulike klimatiltak for Chile, Hellas og Polen. Verktøyet er tilgjengelig for alle som ønsker å bruke den på prosjektets hjemmeside.⁹¹

5.5 E3ME

E3ME er en global makroøkonometrisk modell utviklet av konsulentselskapet Cambridge Econometrics, som blant annet er brukt i analyser av ulike scenarier for reduserte utslipp av klimagasser, prognoser for utvikling av arbeidsmarkedet og analyser av energipolitikk på oppdrag fra offentlige og private aktører.⁹² Modellen ble opprinnelig utviklet i forbindelse med en rekke forskningsprosjekter under Europakommisjonen på 90-tallet, for å særlig kunne analysere effekter av energi, miljø og økonomisk politikk («Energy-Environment-Economy», E3) på kort, medium og lang sikt. Et viktig formål var å utvikle en modell med endogen teknologiutvikling, det vil si teknologiutvikling som reagerer på politiske virkemidler. Modellen har gradvis blitt videreutviklet til en global modell som også kan brukes til å analysere handelspolitikk. Hovedfokus i modellen er imidlertid fortsatt på europeiske land.

Modellen har, som de fleste makroøkonometriske modeller, keynesianske egenskaper, det vil si at fordi det er tregheit i prisene kan penge- og finanspolitikken påvirke etterspørselen, og dermed produksjonen og sysselsettingen. Modellutviklerne peker på at modellen er bedre egnet til å analysere utfall på kort sikt enn CGE-modeller, fordi det er tregheter og tilpasningskostnader i modellen. En annen forskjell fra CGE-modeller er at atferden i modellen basert på historisk atferd. Modellresultatene på lengre sikt kan dermed ses på som mer usikre enn på kort sikt.

5.5.1 Beskrivelse av modellen

Modellen dekker 61 globale regioner, har en detaljert næringsinndeling, og kan brukes til analyser på kort sikt (årlig) og fram til 2050. Alle europeiske land, inkludert Norge, er eksplisitt modellert, mens Asia, Afrika og Latin-Amerika er modellert som mer aggregerte regioner. Næringsinndelingen er mer detaljert for de europeiske landene enn for andre regioner, blant annet med mer detaljert modellering av servicenæringene. I de europeiske landene er det modellert 69 økonomiske næringer, mens regionene i resten av verden er delt inn i 43 næringer.

Modellen består av tre moduler – en økonomisk modul, en energimodul og en utslippsmodul.

⁹⁰ Prosjektets hjemmeside: <http://www.transrisk-project.eu/>

⁹¹ Verktøykassa er tilgjengelig her: <https://ibs.org.pl/en/resources/memo-toolbox/>

⁹² Modellbeskrivelsen er basert på Cambridge Econometrics (2019)

I den økonomiske modulen bestemmes produksjonsnivå og sysselsetting av etterspørsel, med mindre det er begrensninger på tilbud. Modellen fanger opp samspill mellom næringene via vare- og faktormarkedene. Disse sammenhengene er basert på kryssløpstabeller som i CGE-modeller. Det er også samspill mellom land via handel. Atferden i modellen er, i motsetning til i CGE-modeller, basert på historiske sammenhenger estimert ved hjelp av tidsseriedata.⁹³ Total konsumetterspørsel for hver region er estimert som en funksjon av disponibel inntekt, et mål på formue, inflasjon og rentenivået. Deretter estimeres andeler for 43 konsumkategorier. Konsum i offentlig sektor er eksogent gitt. Investeringer estimeres som en funksjon av relative priser og rentenivå. Antall ansatte, gjennomsnittlig antall arbeidstimer, gjennomsnittslønn og deltakelsesrater er estimert for ulike næringer og for kjønn- og aldersgrupper. Priser i modellen estimeres for hver næring.

På grunn av databegrensninger modelleres én representativ husholdning i hver region. Det vil si at modellen ikke tar hensyn til ulik atferd og heterogenitet mellom husholdninger i selve modellen. For å se på fordelingseffekter, må man i tillegg til modellen bruke en mikrosimuleringsmodul for å estimere inntektsfordelingen.

Energibruk er detaljert modellert, med 12 ulike energivarer, inkludert biodrivstoff og hydrogen. Energimodulen beregner energibruk for hver energivare i hver region som en funksjon av blant annet økonomisk aktivitet, energipriser og teknologivariable. Langsiktige priselastisiteter for energietterspørsel er, i motsetning til de andre parametrene i modellen, ikke estimert basert på tidsseriedata, men hentet fra ulike studier og estimering basert på tverrsnittsdata.⁹⁴ De kortsiktige elastisitetene er basert på tidsseriedata, og er som regel nær 0. Ettersom det ikke er informasjon om elektrifisering av veitransport i de historiske dataene, må modellbrukeren selv spesifisere utvikling av elektrifisering i transportsektoren. Det kun én type drivstoff i transportsektoren.

Modellen dekker utslipp av klimagassene og andre forurensninger knyttet til energibruk, men det er kun utslipp av CO₂ som er disaggregert til hver næring i modellen.⁹⁵

Modellen er dermed mindre egnet til analyse av virkemidler rettet mot utslipp av andre klimagasser eller lokalforurensning. Utslippskoeffisienter for CO₂-utslipp fra energiforbruk er som regel basert på historiske sammenhenger, og i noen tilfeller antakelser om framtidig utvikling. Prosessutslipp av CO₂ fra industrien modelleres proporsjonalt med produksjonsnivået. En tilleggsmodul gjør det mulig å beregne kostnader forbundet med annen luftforurensning i de europeiske landene, som utslipp av blant annet PM₁₀, SO₂ og NO_x, basert på estimerte skadekostnadskoeffisienter.

I energisektormodulen (kalt FTT:Power, Future Technology Transformations for the Power Sector) modelleres teknologivalg basert på informasjon om tilgjengelige fornybare og ikke-fornybare ressurser og teknologikostnader. Teknologikostnadene inkluderer blant annet læringskurver og stigende marginalkostnader for fornybare energikilder. Teknologispredningen i modellen er blant annet basert på en antakelse om at større aktører har bedre sjanse for å dominere markedet, og forventet levetid for teknologier. På grunn av erfaringslæring og skalaeffekter i teknologiutvikling gir modellen teknologiutviklingsscenarioer med stivhengighet. Det er også laget en egen modul for å modellere forbruk av ressurser som mineraler, skog og mat.

FoU-utgifter modelleres endogent for å representere innovasjon og teknologisk utvikling. I tillegg til kapitalbeholdningen i økonomien er det en kunnskapsbeholdning som bestemmes av akkumulerte FoU-investeringer og depresieres på samme måte som den fysiske kapitalbeholdningen. Teknologiutvikling er både representert som kvalitetsforbedringer og effektivitetsforbedringer.

Sammenlignet med KVARTS er E3ME en mye mer omfattende modell. Modellen er global og den består av både en økonomisk modul, en energimodul og en utslippsmodul. Den største likheten er at sammenhengene i begge modellene er estimert basert på historiske data ved hjelp av likevektsjusteringsmodeller, og tar inn over seg tregheter og tilpasningskostnader på kort sikt. Begge modellene kan dermed være egnet til analyser på kort sikt.

⁹³ Modellen er basert på detaljert tidsseriedata fra 1970-2012. Datakildene er Eurostat, AMECO, IEA og OECD.

⁹⁴ Dette er fordi endringene i energipriser som er observert i tidsseriene som regel er kortvarige fluktuasjoner og ikke permanente endringer

⁹⁵ CO₂, CH₄, N₂O, SO₂, NO_x, CO, PM₁₀, NMVOC, og fluorforbindelser

6. Oppsummering og konklusjon

6.1 Innledning

I denne rapporten har vi beskrevet og vurdert seks norske makroøkonomiske modeller: Fire CGE-modeller, én DSGE-modell og én makroøkonometrisk modell. SNOW-NO er en dynamisk-rekursiv CGE-modell for Norge som en liten åpen økonomi. Modellen er utviklet for langsiktige analyser med fokus på miljø- og klimapolitikk og utslippsutvikling. Det finnes også en global versjon av modellen (SNOW-GLO) og en intertemporalt dynamisk versjon som er under utvikling (SNOW-DYN). GRACE-Nor er en dynamisk-rekursiv global CGE-modell med Norge som egen region. Modellen fanger opp effekten av økonomisk aktivitet på utslipp og effekten av klimaendringer på økonomien. NOREG og REMES er begge dynamisk-rekursive SCGE-modeller med regional oppløsning.⁹⁶ NOREG er utformet for analyser av regionaløkonomisk utvikling fem år og mer fram i tid, mens REMES har særlig vekt på modellering av energisystemet, med formål å styrke kunnskapsgrunnet for distrikts- og regionalpolitikken. NORA er en nyutviklet DSGE-modell som kan brukes til å analysere hvordan finanspolitikken påvirker sentrale makroøkonomiske størrelser på mellomlang sikt. KVARTS er en kvartalsvis makroøkonometrisk modell som er særlig utarbeidet for konjunkturanalyser, prognoser og politikkanalyser av produksjon og sysselsetting i norsk økonomi på kort og mellomlang sikt

Det er varierende hvor godt modellene og deres enkeltelementer svarer ut kriteriene for egnethet som ble presentert i kapittel 3. Modellene er utviklet for til dels svært ulike formål. Utslipp av klimagasser inngår kun i tre av modellene (SNOW-NO, GRACE-Nor og REMES). CGE-modellen SNOW-NO er allerede i bruk som verktøy for å dekke en del av forvaltningens behov for makroøkonomiske analyser på klimaområdet. Det er derfor naturlig at denne modellen er vurdert som bedre egnet enn andre modeller som er utviklet og brukt til andre formål. Alle modellene har likevel egenskaper som kan være interessante, det gjelder også modellene som per i dag ikke modellerer utslippseffekter. For eksempel har KVARTS gode egenskaper for analyser på kort sikt, mens NORA kan ha egenskaper som er nyttige for å se på makroøkonomiske effekter på kort sikt når aktører tilpasser sin atferd basert på forventninger om framtidig politikk.

De regionale likevektsmodellene gjør det mulig å belyse regionale velferdseffekter av nasjonale klimavirkemidler, og effekter av regionalt differensierte virkemidler. GRACE-Nor kan belyse utslippseffekter i utlandet av norsk politikk eller aktivitet, og effekter av ulike scenarier for Norges samarbeid med EU og globalt om klimapolitikk (det samme kan SNOW-GLO).

I avsnitt 6.2 vurderes de seks modellene samlet med utgangspunkt i egenskapene som er beskrevet i kapittel tre. Formålet er å synliggjøre styrker og mangler i modellenes samlede egnethet til å svare på forvaltningens analysebehov. Det kan være enkelte analyseformål som er bedre dekket av andre modeller eller metoder enn makroøkonomiske modeller. Det er derfor behov for en samlet vurdering av metodeapparatet for å kunne komme med anbefalinger om videreutvikling av modellene og modellapparatet. I avsnitt 6.3 synliggjør vi hvilke analyseformål som per i dag kan dekkes av makroøkonomiske modeller, og hvilke analyseformål som ikke dekkes. I avsnitt 6.4 tar vi utgangspunkt i egenskapene som er identifisert i den samlede vurderingen av de seks modellene, og trekker inn lærdom fra gjennomgangen av de nordiske makromodellene som ble presentert i kapittel 5, der de har egenskaper som kan være relevante for å forbedre eller supplere de norske makromodellene. I siste kapittel oppsummeres konklusjonene og planer for videre arbeid.

6.2 Styrker og mangler ved de norske makromodellene

I vurderingen av de seks norske makroøkonomiske modellene tar vi utgangspunkt i kriteriene fra kapittel tre for å vurdere modellenes samlede egnethet til å dekke analysebehovene til forvaltningen. Kapittel to introduserte ulike typer makroøkonomiske modeller som kan brukes i klimaanalyser. CGE-modeller kombinerer økonomisk teori med økonomiske data. Modellene tar hensyn til samspill mellom ulike næringer, agenter og markeder i økonomien. De kan derfor kaste lys over den samlede økonomiske virkningen av ulik politikk, og belyse indirekte eller utilsiktede effekter. CGE-modeller er generelt velegnet til analyser på lang sikt. I tillegg til den solide forankringen i økonomisk teori, ligger

⁹⁶ REMES finnes også i en statisk og en intertemporalt dynamisk versjon som vi ikke har vurdert her.

CGE-modellenes viktigste styrke i deres fleksibilitet. De er tilstrekkelig fleksible og disaggregerte til at de i teorien kan dekke alle relevante næringer, energivarer og utslippsreduksjonsmuligheter. Fleksibiliteten gjør det også mulig å gjøre ulike antagelser om blant annet husholdningenes og bedriftsaktørenes atferd, kapitalmobilitet og ulike ressursbeskravninger.

Sammenlignet med CGE-modellene er atferdssammenhengene i de makroøkonometriske modellene i større grad forankret i empiriske data, enn i økonomisk teori. Tidsserier av kvartals-, eller årsdata brukes gjerne til å estimere såkalte likevektsjusteringsmodeller. I slike modeller vil variable bli presset vekk fra langsiktig likevekt ved sjokk eller forstyrrelser i økonomien og presset tilbake til ny langsiktig likevekt gjennom gradvis, kortsiktig tilpasning hos aktørene. Den kortsiktige tilpasningen mot langsiktig likevekt ved sjokk eller forstyrrelser i økonomien representerer treghetene i modellen. En sentral forskjell mellom makroøkonometriske modeller og CGE-modeller er at de makroøkonometriske modellene som regel ikke antar optimerende atferd og full ressursutnyttelse i økonomien. Denne modelltypen er derfor godt egnet til analyser på kort og mellomlang sikt.

Den primære forskjellen mellom CGE og DSGE-modeller ligger i at DSGE-modellene både er intertemporalt dynamiske og modellerer tilfeldig variasjon som aktørene forholder seg til. I DSGE-modeller vil tregheter i aktørenes tilpasning føre til at den økonomiske politikken påvirker realøkonomien. Tidsdynamikken er egnet til å gi kunnskap om kortsiktige virkninger, sammenlignet med en modell som løses for hver periode og som dermed forenkler det dynamiske forløpet i økonomien. I motsetning til CGE-modeller og makroøkonometriske modeller, kan en DSGE-modell ta innover seg at aktørenes atferd kan påvirkes av forventninger om framtiden. Intertemporal optimering og stokastikk gir økt kompleksitet, og DSGE-modeller har derfor ofte en mer aggregert struktur enn de andre modelltypene.

En utfordring med de generelle likevektsmodellene (CGE- og DSGE-modeller) er at kravet om systemkonsistens kan bidra til urimelige anslag på sentrale parameterverdier når modellen tallfestes. For makroøkonometriske modeller er det motsatt; selv om enkeltrelasjonene er rimelige, kan tallfestingen gi urimelige systemegenskaper.

I den samlede vurderingen under, ser vi på egenskaper ved de konkrete modellene i større detalj.

6.2.1 Grunnleggende egenskaper

Modellering av vesentlige utslippskilder på et tilstrekkelig detaljert nivå

Av modellene som er vurdert, har SNOW-NO den mest omfattende dekningen av klimagasser. Modellen dekker utslipp av alle relevante klimagasser (CO₂, N₂O, CH₄ og fluorforbindelsene SF₆, KFK og HFK) fra fossil energibruk, samt utslipp knyttet til andre kilder som prosessutslipp og utslipp fra bruk av andre innsatsvarer. SNOW-NO dekker også utslipp av andre forurensende stoffer til luft (NO_x, SO₂, partikler med mer.) Grace-Nor dekker i utgangspunktet kun utslipp av CO₂ fra fossil energibruk, men ved behov kan utslipp av CH₄, N₂O og F-gasser kobles til relevante økonomiske variable. En nylig utviklet versjon av REMES dekker utslipp av CO₂, men utelater utslipp fra avfallsforbrenning. Verken NOREG, KVARTS eller NORA modellerer utslipp av klimagasser per i dag. Ingen av de seks modellene dekker utslipp og opptak fra areal, arealbruksendringer og skogbruk (LULUCF). SNOW skiller mellom kvotepliktige og ikke-kvotepliktige næringer, med noen forenklinger, mens dette skillet foreløpig ikke er gjort i GRACE eller REMES.

Næringsinndeling og interaksjoner

I analyser av klimapolitikk vil det være viktig at næringsinndelingen fanger opp forskjeller i utslippsintensitet, teknologi og utslippsreduksjonsmuligheter. Alle modellene har kryssløpstabeller fra nasjonalregnskapet som datagrunnlag. SNOW-NO og GRACE-Nor har i utgangspunktet henholdsvis 46 og 15 næringer, men næringsinndelingen i disse modellene er fleksibel og kan tilpasses analyseformålet. Fineste inndelingsmulighet for disse modellene er de 64 næringene i kryssløpstabellene fra nasjonalregnskapet. NOREG har 24 næringer per region, med en fleksibel regioninndeling ned til kommunenivå. REMES har 36 næringer, der enkelte næringer produserer flere varer, i hver av de fem regionene i modellen. For finere næringsinndeling i disse modellene må man ha tilgang til data for å fordele næringene videre til regionnivå. NORA har to innenlandske sektorer: en konkurranseutsatt og en skjermet sektor. KVARTS har 20 næringer. En viktig begrensning med næringsinndelingen fra nasjonalregnskapet er at den ikke tillater en finere inndeling av jordbruksnæringen. Det vil blant annet si at modellene ikke vil fange opp forskjeller i utslippsintensitet og utslippsreduksjonsmuligheter mellom kjøtt- og planteproduksjon, med mindre det brukes data fra andre kilder.

Alle de seks modellene fanger opp endring i handel med utlandet. GRACE-Nor (og SNOW-GLO) er globale CGE-modeller hvor Norge er en av regionene. GRACE-Nor har 18 regioner. I modeller med flere regioner vil ikke bare

endringer i innenlandske forhold, men også endringer i utlandet, være endogene og påvirke handel. Videre kan disse modellene fange opp effekter på utslipp i utlandet av norsk politikk (såkalt karbonlekkasje).

Substitusjonsmuligheter og andre aktivitetsendringer som påvirker utslipp

CGE-modellene som omtales har alle den samme grunnleggende modelleringen av produksjonsteknologi, hvor det er CES-produktfunksjoner som beskriver substitusjonsmulighetene mellom innsatsvarer og innsatsfaktorer. I SNOW-NO og REMES modelleres utslipp både som utslipp knyttet til bruk av energivarer og som prosessutslipp. GRACE-Nor fanger foreløpig kun opp utslipp fra bruk av fossile energivarer. I hver næring kan utslippsreduksjoner i utgangspunktet skje gjennom to hovedmekanismer: 1) substitusjon fra mer utslippsintensive til mindre utslippsintensive energivarer for et gitt produksjonsnivå (teknologitilpasning), eller 2) ved redusert produksjon for en gitt teknologi (aktivitetstilpasning). Modellene gir typisk lite informasjon om hvilke konkrete teknologiendringer som foregår, kun informasjon om kostnader og faktorsammensetninger, noe som gjør det vanskelig å tolke modellresultatene. På den andre siden gjør dette at modellene ikke er bundet til konkrete teknologier som legges inn. Modellstrukturen innebærer imidlertid at store teknologisprang vanskelig fanges opp av modellene med mindre det gjøres eksplisitte grep av modellbrukeren.

Modellresultatene vil i stor grad avhenge av hvilke substitusjonselastisiteter som er lagt til grunn. Dette kan være et problem i næringer hvor det er forventet store teknologiske endringer med nye aktiviteter som ikke er fanget opp i grunnlagsdataene. Som påpekt ovenfor, vil også aggregeringsnivået være av betydning for utslippsreduksjonsmulighetene gjennom produksjonsnedgang og flytting av produksjon til andre næringer. For modellene som er omtalt her, har utvalget identifisert aggregeringsnivået for jordbruk som spesielt begrensende. Jordbruk inngår som én næring, eller som del av en aggregert næring, med ett produkt i alle modellene som er omtalt. Prosessutslipp er direkte knyttet til produksjonsvolumet i alle modellene og vil ikke reduseres ved substitusjon mellom innsatsvarer. Det vil si at modellene ikke endogent kan beregne effekter ved å ta i bruk renseteknologier som karbonfangst og -lagring eller mindre utslippsintensive industriprosesser.

Modellgjennomgangen i kapittel fire viser at utslippsreduksjonsmuligheter i flere av CGE-modellene kan være for enkelt modellert for transportnæringene (både persontransport og næringstransport på land og til sjøs), petroleums- og prosessindustri, jordbruk og avfall. Innen transportnæringen har det de siste årene vært, og er

forventet i årene framover, en rask teknologisk utvikling, blant annet med utviklingen av elektriske kjøretøy og forventninger om økt bruk av hydrogen, som ikke nødvendigvis reflekteres i tilstrekkelig grad i substitusjonselastisitetene mellom energivarer. I SNOW er det forsøkt å bøte på dette problemet i modelleringen av persontransport hvor det er lagt inn eksplisitt modellering av husholdningenes valg av personbil. Videre arbeides det med å reflektere teknologikunnskap om kommersiell landtransport i ett av utviklingspunktene i modellkontrakten om SNOW mellom Finansdepartementet og SSB for 2021. I kvotepliktig sektor er det i en tidligere modellversjon av SNOW (MSG-TECH) brukt bottom-up informasjon om tiltakskostnader i prosess- og petroleumsindustrien for å fange opp utslippsreduksjonsmuligheter i disse næringene, inkludert karbonfangst og -lagring som reduserer utslipp etter produksjon (Fæhn og Isaksen, 2016). Det ble den gangen brukt teknologiinformasjon fra Klimakur 2020 (2010). For at denne løsningen skal kunne brukes i SNOW-NO er det derfor behov for å oppdatere data. Det er ikke gjort lignende forsøk på eksplisitt å modellere teknologi eller bruke bottom-up informasjon for å forbedre modelleringen av utslippsreduksjonsmuligheter i GRACE-Nor, mens REMES er utviklet for å kunne kobles til teknologirike bottom-up energisystemmodeller.

Selv om utslipp ikke inngår i NORA og KVARTS er det relevant å si noe om hvilke aktiviteter utslipp kunne vært knyttet til i modellene. I KVARTS er olje og gass egne produkter, mens kull inngår blant andre produkter. Olje inngår blant annet i produksjon av raffinerte petroleumsprodukter, som igjen benyttes som innsatsvare og sluttkonsum i ulike aktiviteter. Det er begrenset nytte av å knytte utslipp til aktivitetsnivå i en så aggregert modell som NORA. Likevel vil modellen kunne si noe om kostnadene av forskjellig klimapolitikk dersom dette gjøres gjennom skatter og avgifter.

Aktørenes forventningsdannelse

SNOW-NO, NOREG, GRACE-Nor og den versjonen av REMES som er vurdert i denne rapporten, er alle dynamisk-rekursive generelle likevektsmodeller, mens NORA er en intertemporalt dynamisk og stokastisk generell likevektsmodell. NORA har to typer husholdninger, hvor én husholdning er framoverskuende mens den andre consumerer hele sin disponible inntekt hver periode. KVARTS er en dynamisk-rekursiv makroøkonometrisk modell. I SNOW-DYN har både husholdningen og bedriftsaktørene perfekt framsyn. SNOW-DYN har en tilnærmet lik nærings- og husholdningsstruktur som SNOW-NO, men har ingen elbilmodul. På grunn av dynamikken har SNOW-DYN en mer komplisert struktur, noe som kan gjøre det mer utfordrende å integrere bottom-up informasjon.

Dynamisk-rekursive modeller og intertemporalt dynamiske modeller hvor aktørene har perfekt framsyn er to ekstremer. I dynamisk-rekursive modeller er aktørene myopiske og tar beslutninger basert på at de økonomiske forholdene vil være uendret i framtiden. I intertemporalt dynamiske CGE-modeller optimerer aktørene over flere perioder basert på sine forventninger om framtiden. En fordel med intertemporalt dynamiske modeller er at man har mer fleksibilitet i de ulike aktørenes forventninger til framtiden. Antagelsene om at det finnes husholdninger eller bedrifter med perfekt framsyn har begrenset empirisk støtte, samtidig er det urealistisk å anta at aktørene forventer at framtiden blir som nåtiden. Imidlertid finnes det løsninger som hviler på antagelsen om begrenset eller delvis framsyn. NORA har en interessant tilnærming til denne problemstillingen med å kombinere to typer husholdninger slik at man kan kalibrere modellen til en slags «gjennomsnittshusholdning» basert på empiriske funn.

Tiltak og virkemidler som er varslet på forhånd kan påvirke aktørenes investerings- og sparingbeslutninger før de gjennomføres. Fordi de tar hensyn til at aktørene har forventninger om framtiden, vil intertemporalt dynamiske modeller være bedre egnet enn dynamisk-rekursive modeller til analyser av tiltak og virkemidler som er varslet på forhånd, som for eksempel den varslede økningen i CO₂-avgiften til 2000 2020-kroner i 2030 (Meld St. 13 (2020 – 2021), Klimaplan for 2021 - 2030). Intertemporalt dynamiske modeller vil også kunne fange opp forskjeller i aktørenes tilpasning avhengig av om tiltak og virkemidler er forventet å være midlertidige eller varige.

Både dynamisk-rekursive og intertemporalt dynamiske modeller egner seg til analyser der man ønsker å vurdere effekten av et virkemiddel for et gitt år langt fram i tid. Om de egner seg til å analysere akkumulerte endringer over tid er avhengig av i hvilken grad de tar hensyn til tregheter i tilpasning. Forventningsdannelsen i kombinasjon med treghet i implementering av ny teknologi kan påvirke når bedriftsaktørene velger å tilpasse seg.

Intertemporalt dynamiske modeller er mer komplekse og tyngre å kjøre enn dynamisk-rekursive modeller. Eventuelle fordeler ved at en eller flere av aktørene har framover-skuende forventninger må derfor veies opp mot at en slik modellering sannsynligvis vil kreve en forenkling av andre elementer i modellen.

Datagrunnlag

Alle CGE-modellene har kryssløpstabeller fra nasjonalregnskapet som datagrunnlag.⁹⁷ Basisåret for SNOW-NO er 2018, og basisåret for GRACE-Nor er 2014. Datagrunnlaget for SNOW-DYN, den intertemporalt dynamiske versjonen av SNOW-NO, er 2013. GRACE-Nor bygger på GTAP databasen versjon 10, og nasjonalregnskapsdata benyttes for å justere GTAP-dataene for Norge. Sektorinndelingen mellom konkurranseutsatt og skjermet sektor i NORA tar også utgangspunkt i kryssløpstabeller for nasjonalregnskapet for 2017. De to regionale CGE-modellene REMES og NOREG har henholdsvis 2007 og 2017 som basisår. Til regionalisering av dataene benyttes det i REMES fylkesfordelte nasjonalregnskap og sysselsettingsstatistikk, mens det til NOREG benyttes en regnskapsdatabase fra Menon som inneholder regnskaper for alle norske bedrifter unntatt enkeltpersonforetak. Datagrunnlaget for KVARTS oppdateres i tråd med årlige oppdateringer av nasjonalregnskapsstatistikk. Modellen kalibreres fortløpende gjennom foreløpige kvartalsregnskapstall etter hvert som de foreligger fra kvartalsvis nasjonalregnskap.

Mange av substitusjonselastisitetene vil ha stor betydning for energi- og utslippseffektene i modellene, spesielt elastisiteter som beskriver substitusjonsmulighetene mellom energivarer og mellom energi og andre innsatsvarer og -faktorer. I SNOW-NO er substitusjonselastisitetene skjønsmessig fastsatt basert på empiriske studier og ekspertvurderinger. Substitusjonselastisitetene i GRACE-Nor er hovedsakelig basert på versjon fire av MIT-EPPA-modellen. Både i SNOW og GRACE-Nor er elastisitetene som er brukt antatt like på tvers av næringer og regioner. I første omgang er det behov for å gjøre følsomhetsanalyser for å identifisere hvilke elastisiteter det er spesielt viktig å forbedre datagrunnlaget for. Deretter bør det vurderes om det bør estimeres egne elastisiteter basert på norske data.

Både i REMES og NOREG er substitusjonselastisitetene basert på internasjonal forskningslitteratur om empiriske sammenhenger, fra 2012 for REMES og fra 2015 for NOREG, og substitusjonselastisitetene varierer mellom næringer. For NOREG pågår det arbeid med å tallfeste elastisitetene basert på norske data. I både NOREG og REMES er det mulighet for regionspesifikke substitusjonselastisiteter. Det kan for eksempel være relevant dersom det antas å være lettere å bytte til elektriske kjøretøy i enkelte regioner enn andre, som følge av at infrastruktur, klimatiske forhold, atferd med mer varierer.

⁹⁷ Kryssløpsgrunnlaget til REMES hentes fra CREEA-prosjektet (Compiling and Refining Environmental and Economic Accounts), men også dette er basert på nasjonalregnskapsdata.

Jo eldre basisår man bruker i en modell, jo mer sannsynlig er det at eksisterende aktiviteter, teknologier og virkemidler ikke er representert i grunnlagsdataene. Den økonomiske strukturen er i stor grad gitt av eksogene antagelser i basisåret, og det kan være aktiviteter eller næringer som er små i basisåret, men som forventes å øke (eller motsatt). Det er derfor en styrke om modellene har et oppdatert basisår. Det kan tale for å rigge modellen og prosedyrene slik at det er enkelt å oppdatere modellen. REMES skiller seg litt ut fra de andre modellene ved at det brukes et nokså gammelt datagrunnlag (2007), men det pågår arbeid med å oppdatere dette til 2019. For GRACE-Nor og SNOW-GLO er valg av basisår begrenset av dataene fra GTAP. GRACE-Nor er kalibrert til siste tilgjengelige oppdatering, som er for 2014.

DSGE-modellen NORA er tallfestet og kalibrert mot norske data. Modellen er foreløpig kun kalibrert ut fra egenskapene ved Norges Banks modell NEMO, men det pågår et arbeid i SSB med estimeringen av modellen.

God representasjon av relevante og vesentlige virkemidler i klimapolitikken

Av modellene som er vurdert, er det per i dag kun SNOW-NO, GRACE-Nor og REMES som kan si noe om både utslippseffekter og kostnader knyttet til virkemidler i klimapolitikken. Økonomiske virkemidler som har til formål å redusere utslipp av klimagasser er godt dekket i SNOW-NO og GRACE-Nor, og begge modellene kan benyttes til å analysere ulike typer direkte regulering. I prinsippet kan GRACE-Nor og SNOW-NO brukes til å simulere de samme virkemidlene.

Med dagens inndeling av næringer i SNOW-NO (og nasjonalregnskapet) det noe avvik mellom fordeling av utslipp i kvotepliktige og ikke-kvotepliktige utslippskilder i SNOW-NO og den faktiske fordelingen i utslippsregnskapet. Med GRACE-Nors nåværende inndeling i 15 produksjonsnæringer blir skillet mellom kvotepliktige og ikke-kvotepliktige utslippskilder grovt, men næringsinndelingen kan justeres til samme nivå som i SNOW.

Av modellene som omtales i kapittel fire er det bare SNOW-GLO og GRACE-Nor som fanger opp effekt på utslipp i utlandet av norsk politikk og kan brukes til å analysere konsekvensene av simultan politikkendring i Norge og EU, samt konsekvensene av global klimapolitikk for Norge.

NOREG og REMES er primært utarbeidet for analyse av langsiktig utvikling i sentrale økonomiske variabler i norske regioner, og ikke analyse av klimapolitikk. NOREG har ingen utslippsmodul, og det er derfor ikke mulig å anslå utslippseffekter av klimavirkemidler. Modellen har ikke et eget virke-

middel for prising av utslipp, men kan brukes til å analysere de samfunns- og regionaløkonomiske konsekvenser av for eksempel økte energiavgifter. Dersom NOREG videreutvikles til å inkludere utslipp av klimagasser, vil det blant annet være nødvendig å disaggregere energivarene, men dette avhenger av hvor detaljerte analyser det er behov for.

REMES kan brukes til å se på effekter av økonomiske virkemidler, som skatter og subsidier, eller endringer i eksogene forutsetninger som oljepris og valutakurs. Den nyutviklede versjonen av REMES er utviklet særlig for å analysere hvilken CO₂-pris som er nødvendig for å nå gitte utslippsmål, samt de regionaløkonomiske konsekvensene av dette. Med en utslippsmodul inkludert i NOREG, ville begge modellene gjort det mulig å analysere regionalt differensierte virkemidler, for eksempel CO₂-avgift.

Verken KVARTS eller NORA modellerer utslipp og kan derfor ikke si noe om utslippseffektene av klimapolitikken. I KVARTS inngår CO₂-avgift i et aggregat av avgifter på drivstoff og andre mineraloljer, og modellen kan brukes til analyser av elavgifter og bilavgifter. NORA kan til en viss grad benyttes til å vurdere kostnadene av klimapolitikk dersom dette gjøres gjennom skatter og avgifter, men har ingen klimaspesifikke virkemidler.

Ingen av modellene som er vurdert kan brukes til å analysere effekten av støtte til teknologiutvikling, informasjonstiltak eller virkemidler som påvirker utslipp og opptak fra arealer, arealbruksendringer og skogbruk.

6.2.2 Spesielt for analyser på kort sikt

Tregheter, tilpasningskostnader og konjunkturer

CGE-modellene som omtales i rapporten er best egnet for analyser på lang sikt fordi likevektsbetingelsene fordrer at tidsperspektivet er langt nok til at økonomien har tid til å tilpasse seg. Generelle likevektsmodeller uten tregheter fanger ikke opp at det tar tid før ledige ressurser får en alternativ anvendelse og økonomien igjen oppnår likevekt. Slike modeller er derfor mindre egnet for analyser på kort sikt. Mangel på tregheter i modellene bidrar til å under-vurdere kostnadene knyttet til omstilling av økonomien som følge av klimapolitikken, og til å overvurdere teknologitilpasning og utslippseffekter på kort sikt. Uten tregheter vil heller ikke modellene kunne gi en realistisk analyse av akkumulerte effekter for de nærmeste årene. Det er kun intertemporalt dynamiske modeller som fanger opp eventuelt samspill mellom tregheter og framoverskuende forventninger, og hvordan det påvirker utslippseffekten og kostnadene. Det er spesielt relevant for tregheter i teknologitilpasning.

SNOW-NO og GRACE-Nor er begge modeller som er best egnet til analyser på lang sikt. SNOW-NO og Grace-Nor antar full kapital- og arbeidsmobilitet. Utover at SNOW-NO modellerer treghet i utskiftingen av husholdningers personbiler, har de to modellene ikke tregheter i priser og tilpasning. Det er imidlertid flere muligheter for å legge inn ulike former for tregheter for de to modellene.

Begge SCGE-modellene er utviklet for analyser på mellomlang og lang sikt, men modellerer noen tregheter. I NOREG er det treghet i kapitaltilpasningen. Investert kapital er bundet til næringer og det er treghet i bedriftenes investeringsatferd. Man kan også velge å holde arbeidskraften fast i regionene. I REMES holdes arbeidskraften fast i regionene, og det er også mulig å holde kapitalen fast.

NORA er utviklet for analyser på mellomlang sikt, mens KVARTS er utarbeidet for analyser både på kort og mellomlang sikt. Nora er en intertemporalt dynamisk generell likevektsmodell med treghet i endring av priser, konsumtilpasning og investering. KVARTS er en makro-økonometrisk modell hvor variablene gradvis justerer seg mot likevekt. I lys av aggregeringsnivået er KVARTS særlig relevant for analyser på kort sikt, siden modellen fanger opp tregheter og tilpasningskostnader. I KVARTS kan etterspørselsendringer gi opphav til relativt store utslag i produksjon og sysselsetting på kort og mellomlang sikt, mens kapasitetsbegrensninger bare over tid bidrar til å dempe etterspørselseffekter på samlet aktivitetsnivå. På kort sikt er utslippsutviklingen tett koblet til aktivitetsnivå, og KVARTS kunne derfor ha vært et aktuelt verktøy for å studere utslippseffekter på kort sikt. KVARTS fanger også opp konjunkturer og er derfor den eneste av modellene som vurderes som kan være egnet til å si noe om hvordan utslippene påvirkes av dette.

Ingen av modellene som omtales er godt egnet i dag til å analysere endringer i utslipp fra et år til et annet. Av modellene som er vurdert i kapittel fire er det bare KVARTS som potensielt er relevant for anslag på årlige utslippseffekter av virkemidler de nærmeste årene, men modellen er i dag ikke koblet til utslipp. Til noen formål kan imidlertid bruk av KVARTS være begrenset av at modellen i dag kun har 20 næringer. Det finnes noen løsninger i litteraturen som kan implementeres for å gjøre SNOW-NO, Grace-Nor, REMES og NOREG bedre egnet til å studere problemstillinger på kort sikt, men det er usikkert om det vil være tilstrekkelig til å gjøre modellene godt egnet til formålet.

6.2.3 Spesielt for analyser på lengre sikt

Overordnede utviklingstrekk og teknologisk utvikling

I alle de generelle likevektsmodellene som vurderes i kapittel fire er den økonomiske strukturen og utslippsreduksjonsmulighetene i stor grad gitt av kryssløpstabellen i basisåret. Et eldre basisår kan derfor gjøre modellen mindre egnet til analyser på lang sikt, se omtalen av modellens basisår i 6.2.1.

Overordnede utviklingstrekk knyttet til økonomi, teknologi og befolkning legges inn eksogent i alle modellene som vurderes i kapittel fire. Siden Norge er en liten økonomi og mye av den teknologiske utviklingen skjer utenlands, kan eksogen teknologisk utvikling sies å være rimelig antakelse. I SNOW-NO og GRACE-Nor er teknologiutvikling modellert som generell produktivitetsøkning, samt økt faktorproduktivitet. SNOW-NO har produktivetsparametere for prosessutslipp, som tilsvarer en reduksjon i utslippskoeffisienten, og parametere for utvikling i energieffektivitet for energivarene kull, olje, gass og elektrisitet i ulike næringer og for konsumvarer, som drivstoffbruk i privattransport. I SNOW-NO justeres utslippskoeffisientene i framskrivingene for å reflektere forventninger om utvikling i utslippsintensitet. Dette er en mulighet som også kan implementeres i de andre CGE-modellene. I de generelle likevektsmodellene er det også muligheter for å legge inn endringer i substitusjonselastisiteter over tid, som kan reflektere teknologisk utvikling og/eller endringer i preferanser. I Fæhn et al. (2020) er det lagt inn økende substitusjonselastisitet mellom elbil og konvensjonell bil gjennom analyseperioden i SNOW-NO, slik at de blir tilnærmet perfekte substitutter i 2030. I likhet med SNOW-NO og GRACE-Nor er også SCGE-modellene NOREG og REMES bedre egnet for analyser på lang sikt enn kort sikt. Den siste versjonen av NOREG har interessante egenskaper ved at langsiktige effekter på regionale arbeidsmarkeder og bosetningsmønstre kan analyseres, mens REMES vil kunne fange opp framtidig kostnadsutvikling for teknologier i energisektoren spesielt godt gjennom kobling til TIMES-Norway.

Usikkerhet

I alle modellene kan betydningen av usikkerhet om antakelsene som ligger til grunn i modellen analyseres ved å gjøre scenarioanalyser og følsomhetsanalyser. NORA har samme grunnstruktur som en dynamisk stokastisk generell likevektsmodell, men den gjeldende versjonen av NORA er kalibrert. Både den kalibrerte modellen som foreligger, og den estimerte versjonen som SSB for tiden arbeider med, bruker dynamiske parametere og inneholder mer usikkerhet enn de øvrige modellene.

Ingen av modellene som vurderes i kapittel fire kan si noe om hvordan usikkerhet rundt klimapolitikken eller andre sentrale variabler påvirker aktørenes tilpasning.

6.2.4 Spesielt for analyser av kostnader og andre konsekvenser av virkemiddelbruk

Velferds mål

Siden de generelle likevektsmodellene er basert på optimerende atferd og modellerer husholdningenes nyttefunksjon, er det mulig å bruke nyttebaserte velferds mål i disse modellene. I SNOW-NO beregnes de samfunnsøkonomiske velferdseffektene knyttet til klimapolitiske virkemidler som endringer i den neddiskonterte nytten til den representative husholdningen. De samfunnsøkonomiske (netto) kostnadene ved endret virkemiddelbruk vil dermed bli reflektert ved velferdstapet eller -gevinsten til den representative husholdningen. I NOREG og REMES beregnes også velferdseffekter som endringer i nytten til de representative husholdningene i hver region. For å anslå nasjonale effekter, må de regionale nytteeffektene aggregeres opp til nasjonalt nivå. I GRACE-Nor er BNP per region brukt som velferdsindikator, men også i denne modellen er det mulig å beregne nyttebaserte velferds mål. I teorien er dette også mulig i DSGE-modellen NORA, da modellen består av nyttemaksimerende husholdninger. I den makroøkonometriske modellen KVARTS spesifiseres ikke husholdningenes nytte, men indikatorer som endring i BNP, konsum eller sysselsetting kan brukes som mål på velferdsendringer.

Tilpasningskostnader påvirker også de samfunnsøkonomiske kostnadene knyttet til klimavirkemidler. Disse kostnadene fanges ikke opp i modeller uten tregheter og bidrar til å undervurdere kostnadene. Det er derfor rimelig å tenke på velferdskonsekvensene fra modellberegninger uten tregheter som de langsiktige samfunnsøkonomiske kostnadene.

Representasjon av markedsimperfeksjoner

Klimapolitikken har som mål å redusere klimagassutslipp, men kan også bidra til å forsterke eller redusere ulike typer markedssvikt. Dette kan påvirke både utslippseffekten og de samfunnsøkonomiske kostnadene av klimapolitikken. Det gjelder for eksempel helsegevinster av redusert forurensning. Noen typer markedssvikt påvirker også hvor effektive ulike klimavirkemidler er. Utelatelsen av positive kunnskapseksternaliteter og nettverkseksternaliteter i modellene kan bidra til at utslippseffekten av økonomiske instrumenter underestimeres eller overestimeres. Andre typer markedssvikt kan bidra til å overestimere utslipps-

effektene, for eksempel om markeds makt som bremser tilpasningen er utelatt. CGE-modellene i kapittel fire fanger opp eksisterende skatter og avgifter som skaper effektivitetsskiler i økonomien, om enn i noe ulik grad; bare SNOW-NO og NOREG dekker inntektsbeskatningen. Mange inngrep er ikke reflektert i noen av modellenes datagrunnlag, for eksempel forbud, teknologikrav og påbud. Slike inngrep vil samspille med nye virkemidler på tilsvarende måte som skatter og avgifter, uten at det kommer fram i beregningene. Modellene utelater stort sett andre typer markedsimperfeksjoner som asymmetrisk informasjon, markeds makt og eksterne virkninger. Et unntak er modellering av monopolistisk konkurranse i KVARTS.

Mulighet for å vurdere fordelingsvirkninger

En modell med én representativ husholdning kan ikke si noe direkte om hvordan velferdseffektene fordeler seg på husholdninger med forskjellig inntekt eller bosted. SNOW-NO har én representativ husholdning, men ved å koble til en mikrosimuleringsmodul med heterogene husholdninger kan modellen brukes til å beregne velferdseffekter av virkemidler for husholdninger med forskjellig inntektsnivå. Modellen fanger imidlertid ikke opp forskjeller mellom husholdningstypene når det gjelder tilpasninger i arbeidstilbud. GRACE-Nor kan si noe om fordelingsvirkninger globalt, men ikke nasjonalt, ettersom norske husholdninger er modellert som én representativ husholdning.

Begge SCGE-modellene har stor heterogenitet blant bedrifter og husholdninger langs den regionale akse. Begge modellene er utviklet for å belyse regionale velferdseffekter av politikk, men med REMES kan man studere et bredere spekter av klimavirkemidler. Med differensiert arbeidskraft og mulighet for flytting mellom regioner kan NOREG være interessant for å studere hvordan klimavirkemidler påvirker regionale arbeidsmarkeder og bosetningsmønstre.

Modelleringen i KVARTS tilsvarende én representativ husholdning, og det er ikke mulig å si noe om hvordan virkninger av politikk fordeler seg over ulike inntektsgrupper eller geografiske områder. Det er imidlertid mulig å se på endringer i for eksempel produksjon i de ulike næringene. Næringsinndelingen i NORA er svært aggregert, og modellen kan ikke brukes til å se på fordelingsvirkninger verken for næringer eller husholdninger.

Alle modellene kan brukes til å analysere fordelingsvirkninger mellom de ulike næringene som inngår i modellen.

6.2.5 Spesielt for analyse av utslippseffekten av statsbudsjettet

I SNOW-NO, GRACE-Nor, NOREG og REMES inngår eksisterende skatter og avgifter i basisåret i datagrunnlaget. SNOW-NO har i tillegg inkludert inntektsskatt på arbeid og kapital, samt særskatt på petroleum, mens NOREG har inkludert inntektsskatt. SNOW-NO, GRACE-Nor og REMES modellerer utslipp, og for disse modellene vil det være mulig å fange opp utslippseffekten av endringer i andre skatter og avgifter. Det samme gjelder subsidier og reguleringer av aktiviteter som er eksplisitt modellert. Det innebærer at et fint aggregeringsnivå vil styrke mulighetene for å analysere utslippseffekten av poster på statsbudsjettet. Det samme vil teknologidetaljeringen, i den grad budsjettpostene er rettet mot konkrete teknologier. Infrastruktur er ikke modellert som offentlige goder i noen av modellene. Dermed fanges ikke slike bevilgninger opp i form av endogene produktivitets- eller utslippseffektiviseringseffekter. Eventuelle utslippseffekter av FOU-støtte vil ikke kunne kvantifiseres ved hjelp av noen av modellene. Det er usikkert i hvilken grad andre typer budsjettposter, for eksempel driftsutgifter, overføringer til husholdninger og subsidier til næringer, og investeringer i bygg og anlegg kan fanges opp. Ingen av modellene eger seg godt til å anslå den kortsiktige effekten av endringer i offentlige budsjetter. GRACE-Nor og REMES modellerer kun utslipp av CO₂ og ikke andre klimagasser, og vil derfor ikke fange opp den fulle utslippseffekten. NOREG modellerer ikke utslipp og kan derfor ikke brukes til å gi kvantitative anslag for utslippseffekter av virkemidler i dag. Av de omtalte CGE-modellene er det SNOW-NO som har den mest disaggregerte strukturen når det gjelder næringer, energivarer, ulike typer skatter og veitransport.

Verken NORA eller KVARTS modellerer utslipp, og er derfor ikke egnet til analyser av utslippseffekten av statsbudsjettet per i dag. Deres beskrivelse av inntekter og utgifter for offentlig forvaltning er mer detaljert enn for de andre modellene, og det kan vurderes som relevant å innarbeide tilsvarende informasjon for andre modeller. KVARTS er egnet til å anslå effekter av budsjettendringer på aktivitetsnivået i økonomien, særlig på kort og mellomlang sikt. NORA er best egnet til å se på de makroøkonomiske effektene av finanspolitikk og budsjettendringer på mellomlang sikt. KVARTS brukes i dag som prognosemodell i Finansdepartementet.

6.2.6 Dokumentasjon og anvendelighet

Dokumentasjon

Flere av modellversjonene som er omtalt er fortsatt under utvikling, og mangler dokumentasjon. SNOW-NO er grundig dokumentert i Rosnes et al. (2019). SNOW-GLO er brukt og beskrevet i flere publiserte analyser, mens det foreløpig ikke finnes dokumentasjon eller publiserte analyser som bruker SNOW-DYN. GRACE-Nor er under utvikling og foreløpig er kun datagrunnlaget dokumentert (Wei et al., 2021), men basisversjonen GRACE er grundig dokumentert i Aaheim et al. (2018). For NOREG pågår det også modellutvikling som foreløpig ikke er dokumentert, men det er god dokumentasjon av versjonen som foreligger i dag.⁹⁸ Grunnversjonen av REMES er dokumentert (Werner et al., 2017), mens versjonen med utslipp av CO₂ ikke er dokumentert. NORA er dokumentert i Aursland et al. (2019). Dokumentasjon av KVARTS utarbeides i år, men dokumentasjon for den tidligere årsmodellen MODAG (Boug og Dyvi, 2008) gjelder i stor grad også for KVARTS.

Det er gjort få følsomhetsanalyser av de sentrale parameterverdiene i modellene som vurderes i kapittel fire. Det er heller ikke gjort noen forsøk på å validere modellene.

Fleksibilitet

Næringsinndelingen i modellene er til en viss grad fleksibel og kan tilpasses analyseformålet. Fineste inndelingsmulighet for modellene som har nasjonalregnskapsdata som grunnlag er de 64 næringene i kryssløpstabellene fra nasjonalregnskapet, men for SCGE-modellene gjelder det i tillegg at man må kunne regionalisere dataene. NOREG har en fleksibel regioninndeling ned til kommunenivå, mens REMES i utgangspunktet har fem regioner som samsvarer med prisområdene i kraftsystemet.

Mulighetene for å koble de ulike CGE-modellene til ulike sektormodeller eller -moduler vurderes å være relativt lik på tvers av modellene. Av modellene som er vurdert i denne rapporten er det bare REMES og SNOW-GLO som har blitt koblet til andre modeller. REMES blitt hard-linket til TIMES-NO for å studere hvordan et utslippsreduksjonsmål for transportsektoren påvirker energisystemet og den økonomiske utviklingen i ulike regioner i Norge. SNOW-GLO er blitt koblet til en mikrosimuleringsmodul med heterogene husholdninger, som brukes til å analysere fordelings effekter av politiske virkemidler. Modellen kan også kobles til SNOW-NO.

⁹⁸ Dokumentasjon av eksisterende versjon av NOREG: <https://www.vista-analyse.no/no/tjenester/modeller-og-databaser/noreg-2/>

Alle CGE-modellene som vurderes i denne rapporten er tilstrekkelig fleksible til at de i teorien kan dekke relevante teknologier, markedsimperfeksjoner og tregheter.

Vedlikehold og oppdateringer

Alle modellene benytter kryssløpstabeller fra nasjonalregnskapet som datagrunnlag. For GRACE-Nor og SNOW-GLO er valg av basisår begrenset av dataene fra GTAP. Siste tilgjengelige oppdatering av disse dataene er 2014. NOREG og REMES benytter ulikt datagrunnlag til regionalisering av dataene. Det er uvisst hvordan det påvirker oppdatering av modellen. KVARTS oppdateres fortløpende etter hvert som kvartalsvise nasjonalregnskapsdata blir tilgjengelig. Komplekse modeller er mer utfordrende å oppdatere og vedlikeholde.

Oppsummert mangler det oppdatert dokumentasjon for flere av modellene, noe som kan gjøre det vanskelig for forvaltningen å vurdere modellenes relevans og forstå hva som ligger bak modellresultatene. Så vidt vi kjenner til er ikke modellkodene gjort tilgjengelig for noen av modellene. Modellkoden for GRACE er tilgjengelig, men foreløpig ikke for GRACE-Nor. For SNOW, som allerede er i bruk i forvaltningen, hadde det vært en fordel om dokumentasjonen av det empiriske grunnlaget for sentrale parameterverdier var bedre, og for alle modeller hadde det vært en fordel om følsomhetsanalyser for parameterverdiene var omtalt og referert til i dokumentasjonen. I Rosnes et al. (2020), hvor NOREG 2 beskrives, er det lagt til en liste med behov for videreutvikling av modellen. Dette er et nyttig grep som kan bidra til å synliggjøre styrker og mangler ved modellen for brukere.

6.3 Samlet vurdering av modellene i lys av analyseformål

I kapittel tre ble det løftet fram fem sentrale analyseformål for forvaltningen på klimaområdet:

- Virkninger av virkemidler på utslipp på lengre sikt for alle utslippskilder (2030 og videre), inkludert vurdering av konsekvenser av mulige nye mål og forpliktelser
- Virkninger av virkemidler på utslipp på kort sikt (perioden 2021-2030) i ikke-kvotepiktig sektor
- Kostnader og konsekvenser ved virkemiddelbruken på kort og lang sikt
- Framskrivinger av utslipp for hele økonomien på kort og lang sikt

- Anslag på den samlede utslippseffekten av statsbudsjettet på kort og lang sikt

Vurderingen av de seks makroøkonomiske modellenes egenskaper i forrige avsnitt gir grunnlag for å vurdere i hvilken grad disse analyseformålene er dekket av de seks modellene. Vurderingen er kort oppsummert i tabell 6-1 bakerst i dette kapitlet, og nærmere begrunnet i avsnittene under.

Virkninger av virkemidler på utslipp på lengre sikt for alle utslippskilder (2030 og videre), inkludert vurdering av konsekvenser av mulige nye mål og forpliktelser

De tre modellene som inkluderer utslipp, er godt egnet for analyser på lang sikt. De har, i større eller mindre grad, detaljert modellering av næringer og innsatsfaktorer som gjør at de fanger opp viktige tilpasninger og interaksjoner i økonomien. Utslippsreduksjoner skjer stort sett via substitusjon mellom innsatsfaktorer/konsumgoder og via redusert aktivitet. Det gir lite informasjon om hvilke konkrete teknologivalg som tas, men gjør at modellene ikke er bundet til konkrete teknologier som legges inn. Substitusjonselastisitetene, som kan ha stor betydning for modellerte utslippseffekter, er i liten grad basert på nyere norske empiriske studier. SNOW har noe mer detaljert spesifisering av teknologivalg enn de to andre, først og fremst for privat transport. Det bør vurderes forbedringsmuligheter i modelleringen av enkelte utslippskilder, som jordbruk, avfall/fjernvarmeproduksjon og prosessutslipp. Langsiktige analyser avhenger også i stor grad av hvilke antakelser man gjør om fremtida, for eksempel knyttet til teknologiutvikling.

De tre modellene har god representasjon av økonomiske virkemidler i klimapolitikken, og kan også analysere effekten av enkelte direkte reguleringer. Ingen av modellene kan analysere virkninger av støtte til teknologiutvikling eller informasjonstiltak annet enn ved å legge inn eksogene antakelser i modellen og studere ringvirkningene av dette. NOREG inkluderer ikke utslipp, men kan analysere effekter av energiavgifter på energibruk. Den egner seg også godt for analyser på lang sikt. GRACE-Nor (og varianten SNOW-GLO) fanger opp effekter i utlandet, mens REMES og NOREG fanger opp regionale effekter.

Alle modellene unntatt NORA er dynamisk-rekursive, der aktørene har myopiske forventninger og legger til grunn at framtidens priser og politikk blir som i dag. NORA (og varianten SNOW-DYN) er intertemporal, der (noen av) aktørene er framoverskuende. Det er ikke opplagt hvilken av disse variantene som er mest velegnet for klimaanalyser, men de kan supplere hverandre. Det er ikke mulig å analysere betydningen av usikkerhet annet enn ved følsomhetsanalyser og robusthetsanalyser for ulike scenarier.

Virkninger av virkemidler på utslipp på kort sikt (perioden 2021-2030) i ikke-kvotepiktig sektor

Med unntak av KVARTS og NORA fanger modellene i liten grad opp tregheter eller konjunkturer. De er derfor mindre egnet for analyser på kort sikt og for analyser av akkumulerte utslippseffekter fram mot 2030. REMES og NOREG og til dels SNOW har riktignok innebygget noen tregheter. Skillet mellom kvotepiktig og ikke-kvotepiktig utslipp i modellene er ikke helt nøyaktig, men næringsinndelingen gjør det mulig å skille på en omtrentlig måte. KVARTS er spesielt relevant for analyser på kort sikt, men inkluderer ikke utslipp. Den er derfor ikke egnet for klimaanalyser i dag, men kan analysere effekter av energiavgifter.

Kostnader og konsekvenser ved virkemiddelbruken på kort og lang sikt

De fleste modellene kan beregne presise velferdsmål, mens KVARTS kun beregner effekter på makroøkonomiske størrelser som BNP, konsum og arbeidstilbud. Eksisterende skatter og avgifter, som kan påvirke kostnadene av klimavirkemidler, er inkludert i de fleste modellene. Tilpasningskostnader og markedsimperfeksjoner er i liten grad inkludert. Inntektsfordelingseffekter fanges ikke opp av noen av modellene, men SNOW kan kobles mot en modul som kan beregne dette. Regionale kostnader og konsekvenser fanges opp av NOREG og til dels REMES.

Framskrivinger av utslipp for hele økonomien på kort og lang sikt

Utvalget har ikke vurdert dette eksplisitt, men modellenes egenskaper for analyser på kort og lang sikt vil også være relevant for hvor egnet de er til bruk i framskrivinger. En grundig vurdering av dette krever imidlertid en mer detaljert gjennomgang av hvordan dagens framskrivinger gjøres, noe utvalget vil arbeide med videre.

Anslag på den samlede utslippseffekten av statsbudsjettet på kort og lang sikt

For analyser av statsbudsjettet er det en fordel at flere av modellene inkluderer en rekke skatter og avgifter, og at de er relativt disaggregerte. En del poster på statsbudsjettet vil likevel være vanskelige å modellere, og utvalget har et pågående arbeid for å undersøke dette nærmere (se kapittel fire i Teknisk beregningsutvalg for klima, 2021). De fleste modellene er best egnet til å fange opp langsiktige budsjetteffekter. KVARTS og NORA kan fange opp kortsiktige effekter i økonomien, men inkluderer som nevnt ikke utslipp.

6.4 Relevante løsninger fra de nordiske makromodellene

I kapittel fem beskrives modeller brukt til analyse av utslippseffekter og klimapolitikk i våre naboland. Formålet har vært å synliggjøre løsninger som det kan hentes inspirasjon fra for videreutvikling av det norske modellapparatet.

I både Sverige, Danmark og Finland brukes CGE-modeller til analyse av utslippseffekter og klimapolitikk for forvaltningen. I Sverige er det Konjunkturinstitutet som utfører analyser for forvaltningen ved bruk av den generelle likevektsmodellen EMEC. I Danmark benyttes Energistyrelsens modell InterACT, som er en hybridmodell bestående av en CGE-modell koblet til energioptimeringsmodellen TIMES-DK. I tillegg er en ny intertemporalt dynamisk modell under utvikling, GreenREFORM. GreenREFORM er som InterACT en hybridmodell bestående av en CGE-modell og fem sektormodeller (transport, energiforsyning, jordbruk, avfall og LULUCF). I Finland brukes CGE-modellen FINAGE. På grunn av manglende informasjon er kun faktortilpasningen i FINAGE omtalt i denne rapporten.

Basert på gjennomgangen av disse modellene, har utvalget identifisert noen egenskaper ved modellene som kan være relevante for videreutvikling av de norske CGE-modellene. Det vil si at modellene har løsninger på utfordringene identifisert i vurderingen av de norske CGE-modellene. Disse egenskapene er kun eksempler på hvordan disse utfordringene kan løses. Utvalget har ikke gjort en vurdering av om de konkrete løsningene som er valgt for de nordiske modellene bør inkluderes i de norske modellene.

6.4.1 Bruk av bottom-up teknologinformasjon

En forutsetning for å kunne legge inn teknologikunnskap i makromodellene er at det finnes oppdaterte data om relevante teknologier. De to danske teknologirike modellene, InterACT og GreenREFORM, henter primært teknologiinformasjonen fra de såkalte teknologikatalogene, som inkluderer tekniske og økonomiske data for ulike energiteknologier. For eksempel individuelle oppvarmingsanlegg i bygninger (olje- og gasskjel, varmpumper, solvarmeanlegg med mer), prosessvarme og karbonfangst og lagring (CCS). Disse teknologikatalogene oppdateres fortløpende og publiseres av Energistyrelsen og Energinet. I GreenREFORM er denne teknologiinformasjonen integrert i CGE-modellen og i sektormodellene. I InterACT er all

teknologikunnskap lagt inn i energimarkedsmodellen TIMES-DK.

6.4.2 Modellering av næringstransport

En utfordring med substitusjonselastisitetene mellom energivarer, er at de ikke nødvendigvis reflekterer at det de siste årene vært og er forventet en rask teknologisk utvikling på transportområdet, blant annet med utviklingen av elektriske kjøretøy og forventninger om økt bruk av hydrogen.

I både EMEC og CGE-modellen i GreenREFORM er egen transport skilt ut i et eget nivå i bedriftenes produktfunksjon (CES-funksjon) og i husholdningenes nyttefunksjon. I EMEC kan både bedriftene og husholdningene velge mellom å kjøpe transporttjenester eller bruke egne kjøretøy. Lette kjøretøy er delt inn i diesel-, bensin-, etanol (E85)-, hybrid- og elektriske kjøretøy og kommer i flere årganger. Valg av kjøretøy avhenger både av kjøpsprisen, energi- og vedlikeholdskostnader. Modellen vil derfor fange opp utviklingen i bruk av ulike kjøretøyteknologier for særlig lette kjøretøy og hvordan endringer i for eksempel pris på elbiler påvirker bruken av disse. For tungtransport som kjører på diesel er det substitusjon mellom diesel med høyt og lavt biodieselinhold.

I GreenREFORM er ulike transportteknologier implisitt modellert i CGE-modellen, mens sektormodellen for transport har en detaljert beskrivelse av ulike kjøretøyteknologier. Hensikten er at sektormodellen skal integreres i CGE-modellen. Da vil modellen kunne kjøres med og uten at sektormodellen for transport er aktivert. I sektormodellen er endringer i bilparken modellert med en viss tregghet ved at kjøp av en ny bil er forbundet med transaksjonskostnader, og fordi markedene for nye biler og brukte biler henger sammen.

Transportsektormodellen i GreenREFORM inkluderer nettverksekternaliteter ved at kostnaden knyttet til bruken av en type bil, for eksempel elbil, er fallende med hvor mange andre som kjører den typen bil. Som en proxy på denne nettverksgevinsten brukes fallende energikostnader. Etter hvert som bruken av biler som bruker en viss energibærer øker, for eksempel elbiler, vil flere tilby denne energibæreren. Bedre tanke-/ladeinfrastruktur forenkler logistikken knyttet til å lade eller fylle på nytt drivstoff.

6.4.3 Avfall, jordbruk og LULUCF

Utvalget har vurdert aggregeringsnivået for jordbruk som spesielt begrensende i de norske modellene. GreenREFORM har en sektormodell for jordbruk. Denne er integrert i CGE-modellen, men kan også brukes alene. Jordbruk er i denne modellen delt inn i 13 næringer, for å fange opp forskjeller mellom ulike landbruksnæringer som påvirker utslipp. Disse inkluderer blant annet økologisk og konvensjonell planteproduksjon og tilsvarende inndeling for ulike typer animalsk produksjon. De ulike næringene har i all hovedsak CES-produktfunksjoner med ulik struktur og substitusjonselastisiteter. Produktfunksjonen har en svært detaljert beskrivelse av innsatsfaktorer som gjødsel, dyr, og dyrefor, slik at aktørene har ulike muligheter for å redusere sine utslipp. Siden danske nasjonalregnskapsdata ikke har detaljert nok inndeling av jordbruksproduksjon, har Statistikk Danmark utarbeidet ny statistikk til modellens datagrunnlag.

Ingen av de norske makromodellene dekker utslipp og opptak fra areal, arealbruksendring og skogbruk. I GreenREFORM utvikles det en egen utslippsmodul for skog- og arealbruk. Utslipp fra arealbruk stammer fra hvordan landmassene blir brukt, og modelleres ved at utslippskoeffisienter kobles opp til ulike typer landmasser. Modellering av netto utslipp som stammer fra endringer i hvordan landmassene brukes knyttes opp mot landmassenes karbonlagre. Endring i arealbruk spesifiseres utenfor modellen.

GreenREFORM har også en avfallsmodell, men det gjenstår noe dataarbeid. I modellen kan avfallet enten deponeres, resirkuleres eller energigjenvinnes. Utslipp fra avfallsnæringen kommer fra materialgjenvinning. Mengden utslipp avhenger av type avfallsfraksjon og hvilken næringsgruppe som genererer avfallet. Planen er at mengden avfall som genereres på sikt skal bestemmes endogen.

6.4.4 Tidsdynamikk og treggheter i faktortilpasningen

GreenREFORM er en intertemporalt dynamisk modell. Modellen kan kjøres med både antakelser om myopiske og framoverskuende forventninger hos bedriftene. Husholdningene er delt inn i myopiske og framoverskuende husholdninger.

I GreenREFORM antas tregghet i bedriftenes teknologitilpasning og investeringer i kapital. Tregghet i adopsjon av teknologikapital er modellert ved at faktisk implementering

av teknologikapital er lavere enn «foretrukket implementering». Dette reflekterer blant annet at kostnadene ved å bruke eksisterende kapitalutstyr kan være lavere enn de samlede kostnadene ved å ta i bruk ny teknologi. I slike tilfeller vil ikke bedriften investere i ny teknologi før den gamle teknologien ikke lenger er økonomisk levedyktig. Dersom aktørene er myopiske, er «foretrukket implementering» den implementeringen bedriftene vil ønske dersom de kun tok hensyn til teknologienes variable kostnader. Ved perfekt framsyn er implementeringen en funksjon av framtidig «foretrukket implementering». Tilpasningen i annen maskinkapital er modellert som i DREAM-instituttets nye makromodell MAKRO (omtalt i boks 2-3).

Den finske CGE-modellen FINAGE antar tregheter i kapitaltilpasningen og kan kjøres med ulike antakelser om arbeidsmobilitet. Modellbruker kan blant annet anta at lønningene ikke justeres umiddelbart, men responderer gradvis på sjokk i økonomien. Tregheten er basert på estimater for finsk økonomi. Modellen kan derfor si noe om hvordan arbeidsledigheten påvirkes på kort sikt. På lang sikt antar modellen at lønningene tilpasses slik at økonomien igjen har full sysselsetting.

6.4.5 Fordelingseffekter

Den svenske EMEC-modellen kan brukes til å anslå hvordan klimapolitikken slår ut for ulike typer husholdninger. I likhet med mikrosimuleringsmodulen som kan kobles til SNOW-modellene, er husholdningene delt inn i ulike inntektsgrupper. I tillegg skiller det i EMEC mellom husholdninger som bor i storbyer, mindre byer eller på mindre befolkede steder. På den måten fanger modellen ikke bare opp inntektsmessige, men også regionale fordelingseffekter.

6.4.6 Datagrunnlag

Parameterne i IntERACT er estimert på danske tidsseriedata. Substitusjonselastisitetene i produksjonen er estimert basert på tidsseriedata fra perioden 1968-2013 og varierer mellom næringer, mens substitusjonselastisitetene for husholdningenes etterspørsel etter varer og tjenester er basert på data fra 1965-2015. Det også er planlagt å estimere egne parametere i GreenREFORM basert på danske data. I GreenREFORM er det planlagt at alle substi-

tusjonselastisitetene i produksjons- og konsumfunksjonen skal estimeres med samme metode som er utviklet for MAKRO.⁹⁹ I likhet med IntERACT vil det være forskjeller i substitusjonselastisitetene i bedriftenes CES-funksjoner mellom næringer.

Både kildekodene og datagrunnlaget til GreenREFORM skal etter planen være offentlig tilgjengelig slik at andre kan benytte seg av modellen.

6.5 Konklusjon og videre arbeid

Utvalget har i denne rapporten gjennomgått seks norske makroøkonomiske modeller for å vurdere modellenes egnethet til å dekke forvaltningens analyseformål på klimaoområdet. Det er identifisert fem viktige analyseformål, og basert på disse er det utviklet en liste med både grunnleggende og analysespesifikke egenskaper, som kriterier for å vurdere modellene.

Gjennomgangen viser at det i dag kun er numeriske generelle likevektsmodeller (CGE-modeller) som fanger opp utslipp av klimagasser, og som dermed kan brukes til å analysere utslippseffekter. SSBs CGE-modell SNOW-NO brukes allerede til flere av analyseformålene og er dermed, som forventet, vurdert å være best egnet blant de seks modellene til flere formål. Modellen har en god dekning av utslipp og utslippskilder. CGE-modellene har felles grunnleggende egenskaper, og de er i stor grad fleksible slik at modellene ganske enkelt kan tilpasses analyseformålet. De regionale CGE-modellene REMES og NOREG kan ha nyttige egenskaper når det gjelder å analysere regionalt differensierte virkemidler og for å vurdere regionale fordelingseffekter av klimapolitikk, men sistnevnte modell har ikke inkludert utslipp. GRACE-Nor er blant annet egnet til å fange opp utslippseffekter av norsk politikk i utlandet (karbonlekkasjer).

Ingen av CGE-modellene er godt egnet til kortsiktige analyser, det vil si analyser av årlige utslippseffekter fram til 2030. Det finnes ulike løsninger for å innarbeide tregheter i tilpasningen i modellene som kan gjøre CGE-modellene bedre egnet til denne typen analyser. Den makroøkonomiske modellen KVARTS som i dag brukes til kortsiktige analyser, blant annet i Finansdepartementet, inkluderer ikke utslipp.

⁹⁹ For en beskrivelse, se Kronborg et al. (2021).

Selv om CGE-modellene er fleksible og har gode egenskaper for analyser på lang sikt, er det flere mangler i modellapparatet når det gjelder analyser av virkemidler rettet mot konkrete næringer og utslippskilder. Ingen av de seks modellene dekker utslipp og opptak fra arealer, arealbruksendringer og skogbruk (LULUCF), og kun SNOW-NO dekker alle klimagasser og alle CO₂-utslipp utenom LULUCF. For næringer hvor det forventes store teknologiske endringer i framtida, blant annet innen transport, kan det være behov for en annen tilnærming enn den som i dag brukes i CGE-modellene for å fange opp viktige utslippsreduksjonsmuligheter. Det samme gjelder jordbrukssektoren, som inngår som én næring i disse modellene (og i nasjonalregnskapsdataene). Teknologiutvikling fanges i liten grad opp i dagens modeller, slik at effekter av virkemidler som skal stimulere til utvikling av nye teknologier eventuelt må tas eksogent inn i analysene. Gjennomgangen av nordiske makromodeller viser at det arbeides med å dekke flere av disse manglene i andre land.

Det kan også være behov for å fange opp hvordan usikkerhet om framtidig teknologi eller politikk påvirker hvordan bedrifter og husholdninger tilpasser seg. Modeller med framoverskuende forventninger og usikkerhet er i dag for kompliserte til å ha et detaljnivå som er nyttig for

analyseformålene som er trukket fram i denne rapporten. I forskningslitteraturen er det imidlertid pekt på at det kan skje en utvikling av denne typen modeller.

Det forventes ikke at en enkelt modell skal være egnet til å dekke alle analyseformål, og det er ikke alle analyseformål som kan eller bør dekkes av makroøkonomiske modeller. Kobling mot partielle sektormodeller, eller bruk av flere modeller og metoder parallelt, kan være aktuelle løsninger for å videreutvikle metodeapparatet for analyser på klimaområdet. Det er derfor behov for å se på metodeapparatet samlet for å kunne gi anbefalinger om videreutvikling. Nyttan av å videreutvikle enkeltmodeller eller metodeapparatet som helhet må ses opp mot ressursbruken som kreves. I rapporten er det pekt på flere grep som uansett vil være nyttige å ta for å forbedre modellene og gjøre dem mer tilgjengelige. Ett av dem er å foreta mer uttesting av modellene og forbedre grunnlaget for sentrale parametere. Et annet er å oppdatere, utvide og forbedre tilgjengeligheten til dokumentasjonen av modellene. Et tredje er å forbedre inndelingen av kvotepliktige og ikke-kvotepliktige utslippskilder i flere av modellene. En samlet vurdering av metodeapparatet på klimaområdet gjenstår for utvalgets videre arbeid.

Tabell 6-1 Vurdering av norske makromodeller etter kriterier for å vurdere makromodeller for klimaanalyser

	SNOW-NO	GRACE-Nor	REMES	NOREG	KVARTS	NORA
Modelltype	CGE				Makroøkonometrisk	DSGE
A. Grunnleggende egenskaper						
Vesentlige utslipp og utslippskilder	Ja, men ikke LULUCF.	Kun CO ₂ fra energivarer.	Kun CO ₂ , mangler avfall og LULUCF.	Nei.	Nei.	Nei.
Næringsinndeling og interaksjoner	Fleksibel ned til 64 næringer.	Fleksibel ned til 64 næringer.	Fleksibel ned til 64 næringer i fem regioner.	Fleksibel ned til 64 næringer i alle kommuner.	20 næringer.	To næringer.
Utslippsreduksjonsmuligheter	Teknologitilpasning (substitusjon i CES-funksjoner) og aktivitetstilpasning. Eksplisitt for privat transport.	Teknologitilpasning (substitusjon i CES-funksjoner) og aktivitetstilpasning.	Teknologitilpasning (substitusjon i CES-funksjoner) og aktivitetstilpasning.	Ikke relevant.	Ikke relevant.	Ikke relevant.
Dynamikk	Dynamisk-rekursiv.	Dynamisk-rekursiv.	Dynamisk-rekursiv.	Dynamisk-rekursiv.	Dynamisk-rekursiv.	Intertemporalt dynamisk.
Datagrunnlag	Hovedsakelig nasjonalregnskap, basisår 2018. Substitusjonselastisiteter er skjønnsmessig vurdert basert på ulike tilgjengelige estimater.	Hovedsakelig nasjonalregnskap og GTAP, basisår 2014. Substitusjonselastisiteter fra MIT EPPA (Paltsev, 2005).	Hovedsakelig nasjonalregnskap og CREEA-prosjektet, basisår 2007. Substitusjonselastisiteter fra Koesler og Schymura (2012).	Hovedsakelig nasjonalregnskap og Menons bedriftsdatabase, basisår 2017. Substitusjonselastisiteter fra Koesler og Schymura (2015).	Tidsserier av kvartalsvis nasjonalregnskapsdata, oppdateres kontinuerlig. Substitusjonselastisiteter estimert på samme datagrunnlag.	Foreløpig kalibrert til egenskapene i modellen NEMO.
Virkemidler i klimapolitikken	Økonomiske virkemidler og enkelte reguleringer.	Økonomiske virkemidler og enkelte reguleringer.	Økonomiske virkemidler og enkelte reguleringer. Regionalt differensierte virkemidler.	Avgifter på fossil energi.	Avgifter på petroleumsprodukter.	Ikke relevant.

	SNOW-NO	GRACE-Nor	REMES	NOREG	KVARTS	NORA
Modelltype	CGE				Makroøkonometrisk	DSGE
B. Egenskaper for analyser på kort sikt	Fanger opp tilpasningskostnader for privatbiler.	Fanger ikke opp tilpasningskostnader.	Noen tregheter i kapital- og arbeidskraftmobilitet.	Noen tregheter i kapital- og arbeidskraftmobilitet.	Fanger opp tilpasningskostnader.	Fanger opp tilpasningskostnader.
C. Egenskaper for analyser på lengre sikt	Analyserer langsiktig likevekt.	Analyserer langsiktig likevekt.	Analyserer langsiktig likevekt.	Analyserer langsiktig likevekt.	Bevegelser mot likevekt på lang sikt.	Analyserer langsiktig likevekt.
D. Egenskaper for analyser av kostnader og andre konsekvenser	Nyttebasert velferds-mål. Ingen markedsimperfeksjoner. Fordelingseffekter kan beregnes i egen modul.	BNP som velferds-indikator, men nyttebasert mål kan beregnes. Ingen markedsimperfeksjoner. Ikke fordelingseffekter innad i Norge.	Nyttebasert velferds-mål. Ingen markedsimperfeksjoner. Regionale fordelings-effekter.	Nyttebasert velferds-mål. Ingen markedsimperfeksjoner. Regionale fordelings-effekter.	Velferdsindikatorer som BNP, inntekt, sysselsetting. Monopolistisk konkurranse og arbeidsledighet. Ingen fordelingseffekter.	Ikke beregnet velferds-mål. Lønnsforhandlinger og arbeidsledighet. Ingen fordelingseffekter.
E. Egenskaper for analyser av utslippseffekter av statsbudsjettet	God representasjon av eksisterende skatter og avgifter. Disaggregert næringsstruktur.	Skatter og avgifter på produksjonsnæringer. Mulighet for disaggregert næringsstruktur.	Skatter og avgifter på produksjonsnæringer. Mulighet for disaggregert næringsstruktur.	Ikke relevant.	Ikke relevant.	Ikke relevant.
F. Tilgjengelighet og anvendelighet	Dokumentasjon fra 2019.	Dokumentasjon av GRACE, men foreløpig ikke av GRACE-Nor.	Siste versjon er ikke dokumentert.	Dokumentasjon fra 2020.	Det foreligger foreløpig ikke en fullstendig dokumentasjon av KVARTS.	Dokumentasjon fra 2017.

7. Referanser

- Aaheim, A., Orlov, A., Wei, T. & Glomsrød, S. (2018). *GRACE model and applications*. (CICERO-rapport nr. 01). Hentet fra <https://cicero.oslo.no/en/publications/internal/2866>
- Aasness, J. & B. Holtmark (1993). *Consumer Demand in a General Equilibrium Model for Environmental Analysis* (Discussion Papers 105). Statistisk sentralbyrå.
- Ackerman, F., Stanton, E. A., & Bueno, R. (2013). Epstein–Zin utility in DICE: Is risk aversion irrelevant to climate policy? *Environmental and Resource Economics*, 56(1), 73-84. <https://doi.org/10.1007/s10640-013-9645-z>
- Angelopoulos, K., Economides, G., & Philippopoulos. A. (2010). *What is the Best Environmental Policy? Taxes, Permits and Rules under Economic and Environmental Uncertainty* (CESifo Working Paper Series nr. 2980). CESifo.
- Andersen F. M., Hansen L., P., Bender, A. L., Olsen, C., Larsen, C. M. V. & Thomsen, T. (2010). EMMA10 – *Energi- og miljømodeller til ADAM*. Energistyrelsen. Hentet fra <https://ens.dk/>
- Andersen, K.S., Termansen, L. B., Gargiulo, M. & Gallachóirc, B. P. Ó. (2019). Bridging the gap using energy services: Demonstrating a novel framework for soft linking top-down and bottom-up models. *Energy* 169 (15), 277-293. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.153>
- Andersen, K.S., Wiese C., Petrovic S. & McKenna, R. (2020). Exploring the role of households' hurdle rates and demand elasticities in meeting Danish energy-savings target. *Energy Policy*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111785>
- Andreassen, L. & Bjertnæs, G. H. (2006). *Tallfesting av faktoretterspørsmål I MSG6*. (SSB-rapport nr. 7). Statistisk Sentralbyrå. Hentet fra <https://www.ssb.no/nasjonal-regnskap-og-konjunkturer/artikler-og-publikasjoner/tallfesting-av-faktorettersporsel-i-msg6>
- Antosiewicz, M., & Kowal, P. (2016). *Memo III—a large scale multi-sector DSGE model*. (IBS forskningsrapport nr. 2). Instytut Badań Strukturalnych. Hentet fra <https://ibs.org.pl/>
- Antosiewicz, M, Lewandowski P., & Witajewski-Baltvilks, J. (2016). Input vs. Output taxation—A DSGE approach to modelling resource decoupling. *Sustainability* 8 (4), 352. <https://doi.org/10.3390/su8040352>
- Antosiewicz, M., Gonzáles Carrasco, L. E., Lewandowski, P., & de la Maza Greene, N. (2020). *Green Growth Opportunities for the Decarbonization Goal for Chile: Report on the Macroeconomic Effects of Implementing Climate Change Mitigation Policies in Chile 2020*. Verdensbanken, Washington, DC. Hentet fra <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports>
- Apps, P., R. Rees, T.O. Thoresen & T.E. Vattø (2020). *Alternatives to paying child benefit to the rich: Means testing or higher tax?* (CESifo Working Paper 8405). Hentet fra <https://www.cesifo.org/en/wp>
- Arrow, K.J., Chenery, H.B., Minhas, B.S. & Solow, R.M., (1961). Capital-labor substitution and economic efficiency. *Review of Economic Statistics*, 43, 225–250. <https://doi.org/10.2307/1927286>
- Asheim, G. B. & Wei, T. (2009). Sectoral Income. *Environmental and Resource Economics*, 42(1), 65-87. DOI: 10.1007/s10640-008-9204-1.
- Babiker, M.B., Eckaus, R.S., Hyman, R.C, Mayer, M., Reilly, J.M., & Sue Wing, I. (2001). *The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Revisions, Sensitivities, and Comparisons of Results* (MIT Joint Program Series Report 71). Hentet fra <https://globalchange.mit.edu/publication/14577>
- Babiker, M. B., Gurgel, A., Paltsev, S. & Reilly, J.M (2009). The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Revisions, Sensitivities, and Comparisons of Results. *Economic modelling*, 26(6). <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2009.06.009>
- Balyk, O., Andersen, K., S. Dockweiler, S., Gargiulo, M., Karlsson, K., Næraa, R., Petrovic, S., Tattini, J., Termansen, L.B. & Venturini, G. (2019). TIMES-DK: Technology-rich multi-sectoral optimisation model of the Danish energy system. *Energy Strategy Reviews*, (23), 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.11.003>
- Bech, U.R, Berg, A.K., Christiansen, S. & Jørgensen, C. L. (2020). *Agricultural production and emissions in GreenREFORM* (DREAM økonomisk memo). Danish Research Institute for Economic Analysis and Modelling. Hentet fra dreamgroup.dk

- Beck, U. & Kirk, J. S. (2020). *Implementation of input-displacing abatement technologies in GreenREFORM*. (DREAM dokumentasjonsnotat). Danish Research Institute for Economic Analysis and Modelling. Hentet fra dreamgroup.dk
- Beck, U. (2021). *Land use and LULUCF emissions in GreenREFORM*. Danish Research Institute for Economic Analysis and Modelling. Hentet fra dreamgroup.dk
- Berg, O., Brasch, T. von, Cappelen, Å., Holm, M. B., Raknerud, A., Tretvoll, H. & Vigtel, T. C. (2020). *Drivkrefter bak svak etterspørsel i økonomien: Utredning for Sysselsettingsutvalget* (SSB-rapport nr. 32). Hentet fra www.regjeringen.no
- Bhuller, M. & Aaberge, R. (2012). *Utviklingen i arbeidstilbudet i Norge* (Økonomiske analyser 2012 nr. 5). Hentet fra <https://www.ssb.no/arbeid-og-lonn/artikler-og-publikasjoner/utviklingen-av-arbeidstilbudet-i-norge>
- Bjerkholt, O. (2009). The Making of the Leif Johansen Multi-Sectoral Model. *History of Economic Ideas*, 17(3). https://www.researchgate.net/publication/251631476_The_Making_of_the_Leif_Johansen_Multi-Sectoral_Model
- Bonde, M., Ejarque, J., Høegh, G., Kronborg, A., & Stephensen, P. (2021). *MAKRO Model Documentation. A Handbook for using and understanding the MAKRO Model*. Danish Research Institute for Economic Analysis and Modelling. Hentet fra dreamgroup.dk
- Bosello, F., Antosiewicz, M., Bukowski, M., Eboli, F., Gaska, J., Sniegocki, A. & Zotti, J. (2016). *Report on Economic Quantitative Ex-Ante Assessment of DYNAMIX Policy Mixes in the EU* (DYNAMIX Deliverable D 6). Milano: Fondazione Eni Enrico Mattei. Hentet fra <https://dynamix-project.eu/>
- Bovenberg, A. L., & Heijdra B. J. (1998). Environmental tax policy and intergenerational distribution. *Journal of Public Economics* 67(1), 1-24. [https://doi.org/10.1016/S0047-2727\(97\)00064-9](https://doi.org/10.1016/S0047-2727(97)00064-9)
- Bretschger, L., & Vinogradova, A. (2019). Best policy response to environmental shocks: Applying a stochastic framework. *Journal of Environmental Economics and Management*, 97, 23-41. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.07.003>
- Brubakk, L., & Sveen, T. (2008). *NEMO—en ny makromodell for prognoser og pengepolitisk analyse* (Penger og Kreditt nr.1). Norges Bank. https://www.norges-bank.no/contentassets/7b0a385f008e421088c70ade4f27a6b6/nemo_ny_makromodell.pdf?v=03/09/2017123140&ft=.pdf
- Brasch, T. von, Cappelen, Å., Hungnes, H., Skjerpen, T. (2021) Modeling R&D spillovers to productivity: The effects of tax credits. *Economic Modelling*, 101. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2021.105545>.
- Bukowski, M. (2014). *On the endogenous directed technological change in multi sector DSGE model: the case of energy and emission efficiency* (No. D3. NEUJOBS Working paper).
- Bukowski, M., & Kowal, P. (2010). *Large scale, multi-sector DSGE model as a climate policy assessment tool-Macroeconomic Mitigation Options (MEMO) model for Poland*. (IBS Working Paper nr. 3). Instytut Badań Strukturalnych. Hentet fra <https://ibs.org.pl/>
- Burandt, T., Löffler, K. & Hainsch, K. (2018). *GENeSYS-MOD v2.0 – Enhancing the Global Energy System Model: Model improvements, framework changes, and European data set* (DIW datadokumentasjon nr. 94). Hentet fra <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/180395/1/1026898889.pdf>
- Bye, B. (2000). Labour market rigidities and environmental tax reforms: Welfare effects of different regimes. I .W. Harrison, S.E. Hougaard Jensen, L. Haagen Pedersen, T.F. Rutherford, *Using Dynamic Equilibrium Models for Policy Analysis* (s. 259-294). Amsterdam: North-Holland.
- Bye, Fæhn, Heggedal, Jacobsen, & Strøm (2008). *An innovation and climate policy model with factor-biased technological change: A small, open economy approach* (SSB-rapport nr. 22). Statistisk sentralbyrå.
- Bye, B., Fæhn, T. & Rosnes, O. (2018). Residential energy efficiency policies: Costs, emissions and rebound effects. *Energy*, 143, 191-201. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.103>
- Bye, B., Fæhn, T., & Rosnes, O. (2019). *Marginal abatement costs under EU's effort sharing regulation – A CGE Analysis* (SSB-rapport nr. 10). Statistisk sentralbyrå. Hentet fra <https://www.ssb.no/en/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/marginal-abatement-costs-under-eus-effort-sharing-regulation>
- Cambridge Econometrics (2019). *E3ME Technical Manual v6.1*. Hentet fra <https://www.e3me.com/>

- Chen, Y.-H.H., Paltsev, S., Reilly, J.M., Morris, J.F. & Babiker, M. H. (2015). The MIT EPPA6 Model: Economic Growth, Energy Use, and Food Consumption (MIT Joint Program series Report 278). Hentet fra <https://globalchange.mit.edu/publication/16262>
- Chen, Y.-H., Paltsev, S., Reilly, J.M., Morris, J. & Babiker M. (2016). Long-term Economic Modeling for Climate Change Assessment. *Economic Modeling*, 52, 867-883. doi:10.1016/j.econmod.2015.10.023
- Chetty, R. (2012). Bounds on elasticities with optimization frictions: A synthesis of micro and macro evidence on labor supply. *Econometrica*, 80(3), 969-1018. <https://doi.org/10.3982/ECTA9043>
- Cossa, P., (2004). *Uncertainty Analysis of the Cost of Climate Policies* (Masteroppgave). Technology and Policy Program, MIT, Cambridge, Massachusetts.
- Danmarks Statistik (2012). *ADAM – en model af dansk økonomi* (Danmarks statistik temapublikasjon nr. 1). Hentet fra <https://www.dst.dk/da/Statistik/Publikationer/VisPub?cid=17987>
- Dissou Y, Karnizova L. (2012). *Emissions cap or emissions tax? A multi-sector business cycle analysis* (Arbeidsnotat nr. 1210E) University of Ottawa, Department of Economics.
- Dixon, P. B. & Rimmer, M. T. (2002). *Dynamic general equilibrium modelling for forecasting and policy. A practical guide and documentation of Monash*. Amsterdam: Elsevier.
- Elkadi, N. E. (2017). *Husholdningenes transport og miljøpolitikk: Modellering og virkemidler* [Masteroppgave] Universitetet i Oslo.
- Energistyrelsen (2018a). *RamsesR*. Energistyrelsen. Hentet fra <https://ens.dk/>
- Energistyrelsen (2018b). *Notat vedr. metode ved oppdatering af Teknologikatalog*. Energistyrelsen. Hentet fra <https://ens.dk/>
- Energistyrelsen (2020). *Model og metode til fremskrivning af energiforbruget i transportsektoren*. Energistyrelsen. Hentet fra <https://ens.dk/>
- Energistyrelsen (2021). *Klimastatus og –fremskrivning 2021 (KF21): Bilvalgsmodellen* (Energistyrelsen forudsætningsnotat nr. 1C-BVM). Energistyrelsen. Hentet fra <https://ens.dk/>
- Eskildsen, J.B. (2020). *Transportation in the GreenREFORM model* (DREAM foreløpig notat). Danish Research Institute for Economic Analysis and Modelling. Hentet fra dreamgroup.dk
- European Commission – Community Research and Development Information Service (CORDIS) (u.å.). Hentet fra <https://cordis.europa.eu/project/id/265134>
- Fehr, H., Sterkeby W. I., & Thøgersen, Ø. (2003). Social security reforms and early retirement. *Journal of Population Economics*, 16(2), 345-361. <https://doi.org/10.1007/s001480200122>
- Finansdepartementet (2029). *Rapport om utviklingen av NORA – en ny makroøkonomisk modell for analyse av finanspolitikken*. Hentet fra www.regjeringen.no
- Heutel, G. & Fisher, C (2013). Environmental macroeconomics: Environmental policy, business cycles, and directed technical change. *Annu. Rev. Resour. Econ*, 5 (1), 197-210.
- Fischer, C. & Springborn, M. (2011). Emissions targets and the real business cycle: Intensity targets versus caps or taxes *Journal of Environmental Economics and Management*, 62 (3), 352-366.
- Fridstrøm, L., Hovi, I. B., Kristensen, N. B., Madslie, A., Bruvoll, A., Gulbrandsen, M., Seeberg, A., & Aalen, P. (2020). *Transportmodeller for klimaanalyse*. (Arbeidsdokument 51606). Hentet fra <https://www.regjeringen.no/>
- Fæhn, T. & A. Bruvoll (2009). Richer and Cleaner - at Others' Expense?. *Resource and Energy Economics*, 31(2), 103-122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.reseneeco.2008.11.001>
- Fæhn, T., Isaksen, E., Jacobsen, K. & Strøm, B. (2013). *MSG-TECH: Analysis and documentation of a general equilibrium model with endogenous climate technology adaptations* (rapport nr. 47). Hentet fra <https://www.ssb.no/en/nasjonalregnskap-og-konjunkturer/artikler-og-publikasjoner/msg-tech-analysis-and-documentation-of-a-general-equilibrium-model-with-endogenous-climate-technology-adaptations>
- Fæhn, T. & Isaksen, E.T. (2016). Diffusion of climate technologies in the presence of commitment problems. *The Energy Journal*, 37 (2), 155–180. <https://doi.org/10.5547/01956574.37.2.tfae>

- Fæhn, T., Bachner, G., Beach, R., Chateau, J., Fujimori, S., Ghosh, M., Hamdi-Cherif, M., Lanzi, E., Paltsev, S., Vandyck, T., Cunha, B., Garaffa, R. & Steininger K. (2020a). *Capturing Key Energy and Emission Trends in CGE models: Assessment of Status and Remaining Challenges* (SSB diskusjonsnotat 936). Statistisk sentralbyrå. Hentet fra <https://www.ssb.no/en/forskning/discussion-papers/capturing-key-energy-and-emission-trends-in-cge-models>
- Fæhn, T., Kaushal, K. R., Storrøsten, H., Yonezawa, H. & Bye, B. (2020b). *Abating greenhouse gases in the Norwegian non-ETS sector by 50 per cent by 2030: A macroeconomic analysis of Climate Cure 2030*. (SSB-rapport nr.23). Oslo: Statistisk Sentralbyrå. Hentet fra <https://www.ssb.no/en/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/abating-greenhouse-gases-in-the-norwegian-non-ets-sector-by-50-per-cent-by-2030>
- Fæhn, T. & Yonezawa, H. (2021). *Emission Targets and Coalition Options for a Small, Ambitious Country: An Analysis of Welfare Costs and Distributional Impacts for Norway* (CESifo Working Paper nr. 8874). CESifo Network. Hentet fra <https://www.cesifo.org/en/publikationen/2021/working-paper/emission-targets-and-coalition-options-small-ambitious-country>
- Gersfelt, B. (2014). *Industry aggregation in IntERACT* (Energistyrelsen arbeidsnotat nr. 7). Energistyrelsen. Hentet fra <https://ens.dk/>
- Golosov, M., Hassler, J., Krusell, P., & Tsyvinski, A. (2014). Optimal taxes on fossil fuel in general equilibrium. *Econometrica*, 82(1), 41-88. <https://doi.org/10.3982/ECTA10217>
- Goulder, L.H. (1995). Environmental taxation and the double dividend: A reader's guide. *International Tax and Public Finance*, 2(2), 157-183.
- Hansen, W. & Johansen, B.G. (2016). *Beregning av netto ringvirkninger på utvalgte prosjekter, NTP 2018-2019* (TØI rapport nr. 1471). Transportøkonomisk institutt. Hentet fra <https://www.toi.no/publikasjoner/>
- Hassler, J., & Krusell, P. (2018). Environmental macroeconomics: the case of climate change. In *Handbook of Environmental Economics* (Vol. 4, pp. 333-394). Elsevier.
- Helgesen, P. I., Lind, A., Ivanova, O. & Tomasgard, A. (2018). Using a hybrid hard-linked model to analyze reduced climate gas emissions from transport. *Energy*, 2018 (156), 196-212. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.005>
- Helgesen, P. I. & Tomasgard, A. (2018). From linking to integration of energy system models and computational general equilibrium models - Effects on equilibria and convergence. *Energy*, (159), 1218-1233. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.146>
- Heutel, G. (2012). How should environmental policy respond to business cycles? Optimal policy under persistent productivity shocks. *Review of Economic Dynamics*, 15 (2), 244-264.
- Hovi, I. B., Hansen, W., Jordbakke, G. N. & Madslie, A. (2017). *Fremskrivninger for godstransport I Norge, 2016-2050* (TØU rapport nr. 1555). Transportøkonomisk institutt. Hentet fra <https://www.toi.no/publikasjoner/>
- Henriksen, S. J. & Kirk, J. S. (2021). Markedsforudsætninger for energivarer. (DREAM notat). Danish Research Institute for Economic Analysis and Modelling. Hentet fra dreamgroup.dk
- Jensen, S., and C. P. Traeger (2013). *Optimally climate sensitive policy under uncertainty and learning*. Department of Agricultural and Resource Economics, UC Berkeley. U:/#Latex/NCCS_learn/NCCSII_V05_to be/NCCSII_V04_20131123/NCCSII.dvi (berkeley.edu)
- Jensen, S., & Traeger, C., P. (2014). Optimal climate change mitigation under long-term growth uncertainty: Stochastic integrated assessment and analytic findings. *European Economic Review*, 69, 104-125. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2014.01.008>
- Karplus, V. J., Paltsev, S., Babiker, M. & Reilly, J. M. (2013). Applying engineering and fleet detail to represent passenger vehicle transport in a computable general equilibrium model. *Economic Modelling*, 30, 295-305. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.08.019>
- Karplus, V., Kishimoto, P., & Paltsev, S. (2015). The global energy, CO₂ emissions, and economic impact of vehicle fuel economy standards. *Journal of Transport Economics and Policy*, 49(4), 517-538.
- Kelly, D. L., & Kolstad, C. D. (1999). Bayesian learning, growth, and pollution. *Journal of economic dynamics and control*, 23(4), 491-518. [https://doi.org/10.1016/S0165-1889\(98\)00034-7](https://doi.org/10.1016/S0165-1889(98)00034-7)
- Kelly, D. L., & Kolstad, C. D. (2001). Solving infinite horizon growth models with an environmental sector. *Computational Economics*, 18(2), 217-231. <https://doi.org/10.1023/A:1021018417052>

- Kirk, J.S. (2020). *Production technology in the CGE-model* (DREAM dokumentasjonsnotat). Danish Research Institute for Economic Analysis and Modelling. Hentet fra dreamgroup.dk
- Klimakur 2020 (2010). *Tiltak og virkemidler for å nå norske klimamål mot 2020* (Rapport TA2590). Oslo: Klima- og forurensningsdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oljedirektoratet, Statistisk sentralbyrå, Statens vegvesen. Hentet fra <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/klimatiltak/klimakur/klimakur-2020/>
- Klimakur 2030 (2020). *Klimakur 2030 - Tiltak og virkemidler mot 2030* (Rapport M-1625/20). Oslo: Miljødirektoratet, Statens vegvesen, Kystverket, Landbruksdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat og Enova. Hentet fra <https://www.miljodirektoratet.no/klimakur>
- Kotlikoff, L., Kubler, F., Polbin, A., Sachs, J., & Scheidegger, S. (2021). Making carbon taxation a generational win. *International Economic Review* 62(1), 3-46.
- Kronborg, A., Poulsen, K.A. & Kastруп, C.S. (2021). Estimering af CES produktions-funktioner i MAKRO (DREAM dokumentasjonsnotat). Danish Research Institute for Economic Analysis and Modelling. Hentet fra dreamgroup.dk
- Kruse-Andelsen, P. K. & Sørensen, P., B. (2020). *The Waste Sector in the Green Reform Model: A Tentative Static Partial Equilibrium Model* (DREAM teknisk rapport). Danish Research Institute for Economic Analysis and Modelling. Hentet fra dreamgroup.dk
- Koesler, S. & Schymura, M. (2012). *Substitution elasticities in a ces production framework-an empirical analysis on the basis of non-linear least squares estimations* (ZEW-Centre for European Economic Research diskusjonsnotat nr. 12-007). ZEW. Hentet fra <https://www.zew.de/publikationen/substitution-elasticities-in-a-ces-production-framework-an-empirical-analysis-on-the-basis-of-non-linear-least-squares-estimations>
- Koesler, S. & Schymura, M. (2015). Substitution Elasticities in a Constant Elasticity of Substitution Framework – Empirical Estimates Using Nonlinear Least Squares. *Economic Systems Research*, 27(1), 101-121. DOI:10.1080/09535314.2014.926266.
- Kravik, E. M. & Mimir, Y. (2019). *Navigating with NEMO* (Norges Bank Staff Memo nr. 5). Norges Bank. Hentet fra <https://www.norges-bank.no/en/news-events/news-publications/Papers/Staff-Memo/2019/52019/>
- Lee, H., Oliveira Martins, J. & Mensbrugghe, D. van der (1994). *The OECD Green Model: An Updated Overview* (OECD Development Centre arbeidsnotat nr. 97). Hentet fra https://www.oecd-ilibrary.org/development/the-oecd-green-model_272425468524
- Lemoine, D., & Traeger, C. (2014). Watch your step: optimal policy in a tipping climate. *American Economic Journal: Economic Policy*, 6(1), 137-66.
- Lintunen, J. & Vilmi, L. (2013). *On Optimal Emission Control Taxes, Substitution and Business Cycles*. (Bank of Finland Research Discussion Paper nr. 24). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2337976>
- Lontzek, T. S., Cai, Y., Judd, K. L., & Lenton, T. M. (2015). Stochastic integrated assessment of climate tipping points indicates the need for strict climate policy. *Nature Climate Change*, 5(5), 441-444. <https://doi.org/10.1038/nclimate2570>
- Massachusetts Institute of Technology (u.å.). *Integrated Global System Modeling (IGSM) Framework*. Hentet fra <https://globalchange.mit.edu/research/research-tools/global-framework>
- McDaniel, C.A. & Balistreri, E.J. (2002). *A Discussion on Armington Trade Substitution Elasticities*. (Office of Economics Working Paper No. 2002-01-A). U.S. International Trade Commission, Washington, DC, USA.
- Mortensen, D.T (1999). Equilibrium unemployment dynamics. *International Economic Review*, 40(4), 889–914.
- Narayanan, G.B., Aguiar, A. & McDougall, R. (2012). *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 8 Data Base*. Global Trade Analysis Project. Hentet fra <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/>
- NOU 2018:17 (2018). *Klimarisiko og norsk økonomi*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2018-17/id2622043/>
- Olje- og energidepartementet (2021, 30.april). Kraftmarkedet. Hentet fra <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftmarkedet/>
- Nordhaus, William D. (2017). Revisiting the social cost of carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(7), 1518-1523.

- Paltsev S., Reilly, J. M., Jacoby, H., Eckaus, R., McFarland, J. & Babiker, M. B. (2005). *The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Version 4* (MIT Joint Program Series Report 125). MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Hentet fra <https://globalchange.mit.edu/publication/14578>
- Paltsev, S., Chen, Y.-H., Karplus, V., Kishimoto, P., Reilly, J.M., Loeschel, A., von Graevenitz, K. & Koesler, S. (2018). Reducing CO₂ from cars in the European Union. *Transportation*, 45(2), 573- 595. <https://doi.org/10.1007/s11116-016-9741-3>.
- Pissarides, C. (2000). *Equilibrium Unemployment Theory* (2.utg.). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Rosnes, O., Bye, B. & Fæhn, T. (2019). *SNOW-modellen for Norge - SSB. Dokumentasjon av framskrivningsmodellen for norsk økonomi og utslipp* (SSB-rapport nr. 1). Statistisk Sentralbyrå. Hentet fra <https://www.ssb.no/nasjonal-regnskap-og-konjunkturer/artikler-og-publikasjoner/snow-modellen-for-norge>
- Rosnes, O. Erraia, J., Hansen, W. & Vennemo, H. (2020). Regional økonomisk framskrivning basert på likevektsmodellen NOREG. *Menon-publikasjon 73/2020*. Hentet fra <https://www.menon.no/wp-content/uploads/2020-73-Noreg.pdf>
- Rosnes, O., Skulstad, A. & Vennemo, H. (2021). Langsiktige virkninger av korona-pandemien for økonomien i norske fylker. *Vista Analyse Rapport nr. 2021/11*. Hentet fra <https://www.vista-analyse.no/no/publikasjoner/langsiktige-virkninger-av-korona-pandemien-for-okonomien-i-norske-fylker/>
- Rosnes, O. & Vennemo, H. (2021). *Regionale konsekvenser av det grønne skiftet. En modellbasert analyse med likevektsmodellen NOREG 2. Vista Analyse rapport nr. 2021/23*. Hentet fra <https://www.vista-analyse.no/no/publikasjoner/regionale-konsekvenser-av-det-gronne-skiftet/>
- SINTEF (2018, 9. april). Norwegian Energy Roadmap. Hentet fra <https://www.sintef.no/prosjekter/2018/norwegian-energy-roadmap/>
- Statistisk sentralbyrå (2020a, 13. mai). Fjernvarme og fjernkjøling. Hentet fra <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/fjernvarme/aar>
- Statistisk sentralbyrå (2020b, 06. oktober). 12374: Forbrenning av avfall (1000 tonn) 2017-2019. Hentet fra www.ssb.no/statbank/table/12374/
- Stephensen, P., Berg, R. K., & Kirk, J. S. (2020a). *Strategy for integrating the energy sector model and the cge model in greenreform* (DREAM teknisk rapport). Danish Research Institute for Economic Analysis and Modelling. Hentet fra dreamgroup.dk
- Stephensen, P., R. K. Berg, and U. Bech. (2020b). *End-of-pipe emissions abatement technologies in a CGE-model* (DREAM teknisk rapport). Danish Research Institute for Economic Analysis and Modelling. Hentet fra dreamgroup.dk
- Taylor, J., B. (1993). Discretion versus policy rules in practice. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 39, 195-214. [https://doi.org/10.1016/0167-2231\(93\)90009-L](https://doi.org/10.1016/0167-2231(93)90009-L)
- Teknisk beregningsutvalg for klima (2019). *Rapport fra Teknisk beregningsutvalg for klima 2019*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/>
- Teknisk beregningsutvalg for klima (2020). *Rapport fra Teknisk beregningsutvalg for klima 2020*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/>
- Teknisk beregningsutvalg for klima (2021). *Rapport fra Teknisk beregningsutvalg for klima 2021*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/>
- Thoresen, T.O. & Vattø, T. E. (2015). Validation of the discrete choice labor supply model by methods of the new tax responsiveness literature. *Labour Economics*, 37, 38-53. <https://doi.org/10.1016/j.labeco.2015.09.001>
- Vista Analyse (u.å.). NOREG 2. Hentet fra <https://www.vista-analyse.no/no/tjenester/modeller-og-databaser/noreg-2/>
- Webster M., Babiker, M. Mayer, M., Reilly, J.M., Harnisch, J., Hyman, R., Sarofim, M.C. & Wang C. (2002). Uncertainty in emissions projections for climate models. *Atmospheric Environment*, 36(22), 3659–3670. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00245-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00245-5)
- Wene, C.-O. (1996). Energy-economy analysis: Linking the macroeconomic and systems engineering approaches. *Energy*, 21 (9), 809-824. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(96\)00017-5](https://doi.org/10.1016/0360-5442(96)00017-5)

Werner, A., G., Perez-Valdes, A., Johansen, U. & Stokka, A. M. (2017). *REMES – a regional equilibrium model for Norway with focus on the energy system* (Sintef report A26705). Hentet fra https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2434516/A26705_RegPolReport_medSignaturer.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Weyant, J. (2017). Some contributions of Integrated Assessment Models of Global Climate Change. *Review of Environmental Economics and Policy*, 11 (1), 115-137. <https://doi.org/10.1093/reep/rew018>

Vedlegg 1: Oversikt over næringer i norske makromodeller

Næringer i SNOW

Næringer	Beskrivelse
Jordbruk	Jordbruk, jakt og viltstell
Skogbruk	Skogbruk og tjenester tilknyttet skogbruk
Fiske	Fiske og aquakultur
Kull	Bryting av steinkull og brunkull
Olje & gass	Utvinning av olje og gass
Mineraler	Bryting av metallholdig malm
Kjøttprodukter	Bryting av ikke metallholdig malm
Vegetabiliske oljer og fett	Tjenester tilknyttet annen bergverksdrift
Meieriprodukter	Produksjon, bearbeiding og konservering av kjøtt og kjøttvarer
Matvarer	Bearbeiding og konservering av fisk, skaldyr og bløtdyr Bearbeiding og konservering av frukt og grønnsaker Produksjon av kornvarer, stivelse og stivelsesprodukter Produksjon av bakeri- og pastavarer Produksjon av andre næringsmidler Produksjon av forvarer
Drikkevarer og tobakk	Produksjon av drikkevarer Produksjon av tobakksvarer
Tekstiler	Produksjon av tekstiler
Klær	Produksjon av klær
Lærprodukter	Produksjon av lær, lærvarer og sko
Trevarer	Produksjon av trelast og varer av tre, unntatt møbler
Papirprodukter og publisering	Produksjon av papir og papirvarer Trykking og tjenester tilknyttet trykking og reproduksjon av innspilte opptak Forlagsvirksomhet
Olje, kullprodukter og kjemiske, gummi-, og plastprodukter	Produksjon av kull- og raffinerte petroleumsprodukter Produksjon av kjemiske råvarer Produksjon av kjemiske produkter Produksjon av basisplast og syntetisk gummi Produksjon av farmasøytiske råvarer og preparater Produksjon av gummi- og plastprodukter
Mineralprodukter	Produksjon av glass og glassprodukter Produksjon av ildfaste produkter, byggevarer av brent leire og andre keramiske produkter Produksjon av sement, kalk og gips Betong, sement, gips, hogging/bearbeiding av monument/bygningsstein, A. ikke-metallholdige mineralprodukter

Næringer	Beskrivelse
Jernholdige metaller	Produksjon av jern, stål og ferrolegeringer Støpning av metaller
Metaller	Produksjon av aluminium Produksjon av ikke-jernholdige metaller ellers
Metallprodukter	Produksjon av metallkonstruksjoner, tanker, cisterner, dampkjeler og lignende Produksjon av andre metallvarer
Kjøretøy og deler til kjøretøy	Produksjon av motorvogner og tilhengere
Transportutstyr	Bygging av skip og båter Bygging av oljeplattformer og moduler Produksjon av transportmidler ellers Reparasjon av metallprodukter, maskiner og utstyr Installasjon av industrimaskiner og utstyr
Maskiner og utstyr, inkl. elektronisk utstyr	Produksjon av datamaskiner, elektroniske og optiske produkter Produksjon av elektrisk utstyr Produksjon av maskiner og utstyr til generell bruk, INAS
Industri	Produksjon av møbler Annen industriproduksjon
Elektrisitet	Produksjon av elektrisitet Overføring og distribusjon av og handel med elektrisitet
Distribusjon og produksjon av gass	Produksjon og distribusjon av gass gjennom ledningsnett Damp -og varmtvannsforsyning
Vann	Uttak fra kilde, rensing og distribusjon av vann
Bygg og anlegg	Oppføringer av bygninger Utvikling av byggeprosjekter Oppføringer av bygninger Anleggsvirksomhet Spesialisert bygge- og anleggsvirksomhet
Handel	Handel med og reparasjoner av motorvogner Agentur- og engroshandel, unntatt med motorvogner Detaljhandel, unntatt med motorvogner Overnattingsvirksomhet Serveringsvirksomhet Reparasjon av datamaskiner, husholdningsvarer og varer til personlig bruk
Transport	Passasjer- og godstransport med jernbane Drosjebiltransport Annen landtransport med passasjerer Godstransport på vei Rørtransport Tjenester tilknyttet transport ellers Reisebyråvirksomhet, turistkontor samt tilknyttede tjenester Reisearrangørvirksomhet og andre aktivitetsarrangører
Sjøtransport	Utenriks sjøfart, godstransport Utenriks sjøfart, passasjertransport Innenriks sjøfart Supplyvirksomhet Tjenester tilknyttet sjøtransport

Næringer	Beskrivelse
Lufttransport	Lufttransport Tjenester tilknyttet lufttransport
Kommunikasjon	Post og distribusjonsvirksomhet Telekommunikasjon
Finans	Sentralbankvirksomhet Bankvirksomhet ellers Annen finansiell tjenesteyting
Forsikring	Livsforsikring Skadeforsikring Pensjonskasser Tjenester tilknyttet finansierings- og forsikringsvirksomhet
Forretningstjenester	Tjenester tilknyttet informasjonsteknologi Informasjonstjenester Omsetning og drift av fast eiendom Boligtjenester, egen bolig, borettslag og sameie Juridisk og regnskapsmessig tjenesteyting Hovedkontortjenester, administrativ rådgivning Arkitektvirksomhet og teknisk konsulentvirksomhet, og teknisk prøving og analyse Forskning og utviklingsarbeid Annonse- og reklamevirksomhet og markedsundersøkelser Annen faglig, vitenskapelig og teknisk virksomhet Veterinærtjenester Utleie- og leasingvirksomhet Arbeidskrafttjenester Vaktjeneste og etterforskning Tjenester tilknyttet eiendomsdrift Annen forretningsmessig tjenesteyting Aktiviteter i medlemsorganisasjoner + internasjonale organisasjoner
Rekreasjonstjenester og andre tjenester	Lønnet arbeid i private husholdninger Film-, video- og fjernsynsprogramproduksjon, utgivelse av musikk- og lydopptak Radio- og fjernsynskringkasting Kunstnerisk virksomhet og underholdningsvirksomhet Drift av biblioteker, arkiver, museer og annen kulturvirksomhet Lotteri og totalisatorspill Sports- og fritidsaktiviteter Annen personlig tjenesteyting Kunstnerisk virksomhet og underholdningsvirksomhet Drift av biblioteker, arkiver, museer og annen kulturvirksomhet Sports- og fritidsaktiviteter Aktiviteter i medlemsorganisasjoner + internasjonale organisasjoner
Offentlig administrasjon - forsvar	Forsvaret
Boliger	Boligtjenester, egen bolig, borettslag og sameie
Offentlig sektor – stat	Offentlig administrasjon og forvaltning, og trygdeordninger underlagt offentlig forvaltning Annen offentlig tjenesteyting Undervisning Helsetjenester Pleie- og omsorgstjenester Kulturell tjenesteyting

Næringer	Beskrivelse
Offentlig sektor - kommune	Uttak fra kilde, rensing og distribusjon av vann Offentlig administrasjon og forvaltning, og trygdeordninger underlagt offentlig forvaltning Undervisning Helsetjenester Pleie- og omsorgstjenester Barnehager og SFO Drift av biblioteker, arkiver, museer og annen kulturvirksomhet
Privat (undervisning, helse og omsorg)	Undervisning Helsetjenester Pleie- og omsorgstjenester Barnehager og SFO Sosiale omsorgstjenester, vernede bedrifter Undervisning Helsetjenester Pleie- og omsorgstjenester
Avfall	Oppsamling og behandling av avløpsvann Innsamling, behandling, disponering og fjerning av avfall
Avfall - privat	Oppsamling og behandling av avløpsvann Innsamling, behandling, disponering og gjenvinning av avfall Miljørydding, miljørensing og lignende virksomhet

Næringer i KVARTS

Næringer
Primærnæringer
Konsumsvareindustri mv.
Kraftkrevende industri
Produksjon av verkstedprodukter, skip og oljeplattformer
Utvinning av råolje og naturgass og rørtransport
Utenriks sjøfart
Tjenester tilknyttet olje- og gassutvinningen
Bygg og anlegg
Varehandel
Privat tjenesteproduksjon
Utleie av forretningsbygg, omsetning og drift av fast eiendom
Boligtjenester
Produksjon av elektrisk kraft
Forsvar
Sivil statlig forvaltning
Kommuneforvaltningen

Næringer og regioner i basisversjonen av GRACE-Nor

Næringer
Jordbruk
Fiskeri
Skogbruk
Jern og stål
Sement
Annen industri
Lufttransport
Sjøtransport
Annen transport
Tjenestenæringer
Kull
Råolje
Raffinert olje
Gass
Elektrisitet

Regioner
Norge
UK
Vest-Europa
Øst-Europa
USA
Canada
OECD Pacific
Australia og New Zealand
Japan
Russland
Den kaspiske region
OPEC kjerneregion
OPEC restregion
Kina
Resten av Asia
Afrika
Brasil
Latin-Amerika

Næringer i NOREG

Næringer	Beskrivelse
Landbruk	Jordbruk, jakt og viltstell, skogbruk; tjenester tilknyttet
Bygg- og boligjenester	Bygg- og boligjenester: boligjenester, egen bolig, borettslag og sameie; Omsetning og drift av fast eiendom; utleie og leasing; vaktjenester
Bygg og anlegg	Bygg og anlegg; Oppføringer av bygninger; utvikling av byggeprosjekter
Undervisning	Undervisning
Elektrisitet	Elektrisitet, damp- og varmtvannsforsyning
Finans	Bankvirksomhet, finansiell tjenesteyting; forsikring; tjenester tilknyttet
Havbruk og fiske	Fiske og fangst, akvakultur
Næringsmiddelindustri	Produksjon av matvarer
Helse- og omsorg	Helsetjenester; omsorgstjenester; barnehager, SFO
Kraftkrevende industri	Kraftkrevende industri: trevarer, papir, gummi- og plastprodukter, glass, keramikk, sement, metaller
Teknologisk industri	Teknologisk industri: datamaskiner, elektroniske og optiske produkter, elektrisk utstyr
Annen industri	Tradisjonell industri: metallvarer og konstruksjoner, motorvogner, skip, oljeplattformer; møbler; klær, lær, sko
Petroleumsnæringen	Utvinning av råolje og naturgass, bergdrift
Offentlig administrasjon og forsvar	Offentlig administrasjon og forvaltning; Forsvaret
Kjemisk industri og raffinier	Kjemisk og farmasøytisk industri; raffinier
Andre tjenester	Andre tjenester
Kunnskapsintensive tjenester	Kunnskapsintensive tjenester: konsulentvirksomhet, forskning, juridisk og regnskapsmessig tjenesteyting, arkitekter, underholdning
Varehandel	Varehandel
Lufttransport	Lufttransport
Landtransport	Passasjer- og godstransport på land (jernbane, drosje, annen på vei), rørtransport
Sjøfart	Sjøfart, supply-virksomhet
Transporttjenester	Tjenester knyttet til transport; Post og distribusjonsvirksomhet
Reiseliv	Reiseliv (reisebyrå, overnatting; servering)
Vann og avløp	Vannforsyning, avløp, avfall

Næringer i REMES

Næringer
Landbruk og fiske
Utvinning av kull
Utvinning av råolje
Utvinning av naturgass og tilhørende tjenester
Utvinning av mineraler
Øvrig industri
Treforedlingsindustri
Metallproduksjon
Raffinering – petroleumsprodukter
Raffinering – bensin
Raffinering – flydrivstoff
Raffinering – parafin
Raffinering – diesel
Raffinering – tungolje
Raffinering – naturgass
Raffinering – råolje
Raffinering – lett fyringsolje mv.
Kjemisk industri

Næringer
Aluminiumsindustri
Elektrisitetsproduksjon
Overføring av elektrisitet
Oppvarming av bygninger mv.
Andre tjenestesektorer
Bygg- og anleggsvirksomhet
Varehandel
Hoteller og restauranter
Skinnegående transport
Landtransport
Rørtransport (olje, naturgass mv.)
Sjøtransport
Lufttransport
Kontorbygg
Undervisning
Helsetjenester
Avfallshåndtering