



# Metoder for klimaanalyser av kortsiktige utslipps- og kostnadseffekter

TALL

SOM FORTELLER

RAPPORTER / REPORTS

2023/48

Brita Bye, Ådne Cappelen og Taran Fæhn

I serien Rapporter publiseres analyser og kommenterte statistiske resultater fra ulike undersøkelser. Undersøkelser inkluderer både utvalgsundersøkelser, tellinger og registerbaserte undersøkelser.

© Statistisk sentralbyrå

Publisert: 15. desember 2023

ISBN 978-82-587-1871-7 (elektronisk)

ISSN 1892-7513 (elektronisk)

<b>Standardtegn i tabeller</b>	<b>Symbol</b>
<b>Ikke mulig å oppgi tall</b> Tall finnes ikke på dette tidspunktet fordi kategorien ikke var i bruk da tallene ble samlet inn.	.
<b>Tallgrunnlag mangler</b> Tall er ikke kommet inn i våre databaser eller er for usikre til å publiseres.	..
<b>Vises ikke av konfidensialitetshensyn</b> Tall publiseres ikke for å unngå å identifisere personer eller virksomheter.	:
<b>Desimaltegn</b>	,

## Forord

Rapporten er skrevet på oppdrag for Teknisk beregningsutvalg for klima. Utvalget er opprettet for å foreslå metoder for tiltaks- og virkemiddelanalyser på klimaområdet. I lys av Norges årlige forpliktelser og kortsiktige mål om utslippskutt har utvalget bedt om en utredning av metoder for makroøkonomiske analyser av effekter av klimapolitikk på kort sikt.

Statistisk sentralbyrå, 12. desember 2023

Linda Nøstbakken

## Sammendrag

Rapporten kartlegger metoder for å analysere kostnads- og utslippsvirkninger av endret virkemiddelbruk i klimapolitikken på kort sikt. Kartleggingen går gjennom den internasjonale litteraturen på området. Det er lagt vekt på hvordan numeriske makromodeller egner seg og hvordan de kan forbedres for dette formålet. Enklere verktøy er også vurdert.

Som grunnlag for vurderingene definerer vi syv kriterier modellene bør oppfylle. De bør:

- (a) inneholde utslipp,
- (b) være tilstrekkelig detaljerte når det gjelder utslippskilder og responser på klimapolitikk,
- (c) modellere sentrale klimapolitiske virkemidler,
- (d) reflektere kortsiktige omstillingseffekter,
- (e) beregne kostnadsindikatorer,
- (f) bidra med konsistente beregninger på kort og lang sikt, og
- (g) håndtere alle modellens bruksområder.

Rapporten vurderer så egnetheten til de to norske numeriske makromodellene utviklet i SSB, SNOW, som er en likevektsmodell og KVARTS, som er en makroøkonometrisk modell, med henblikk på å analysere kostnads- og utslippseffekter av klimapolitikk. Det vurderes også hvordan de eventuelt kan tilpasses kriteriene for egnethet. Et tredje verktøy, KAJA, er også kort omtalt.

SNOW er spesielt utviklet med klimaanalyser som formål. Det er først og fremst to kriterier dagens versjon ikke oppfyller. Den reflekterer ikke kortsiktige omstillingseffekter og den kan da vanskelig bidra med konsistente kort- og langsiktseffekter. Litteraturen peker på flere løsninger for å få inn omstillingseffekter, enten ved å modellere tregheter i kapital- og arbeidskraftstilpasningen som sikrer konsistens i kort- og langsiktstilpasningene, eller ved mer *ad hoc*-baserte løsninger.

KVARTS har flere omstillingsmekanismer og konsistente kort- og langsiktsløsninger. I den senere tiden er det tatt inn relevante utslipp, men modellen er relativt aggregert når det gjelder utslippskilder og -responser, og har flere andre bruksområder som hemmes om detaljnivået på dette området økes. Noen detaljutvidelser er blitt vurdert. Modellen har foreløpig avgifter og subsidier inne, men på grovt aggregeringsnivå. Dette lar seg gjøre å detaljere. Sist, men ikke minst, har den ikke et konsistent mål på samfunnsøkonomiske kostnader.

Verktøyet KAJA er et sett med priselastisiteter og utslippskoeffisienter som brukes i Finansdepartementet til langsiktige utslippsanalyser av avgiftsendringer. KAJA kan suppleres med kortsiktsegenskaper og utvikles på andre måter.

Basert på drøftingene skisseres til slutt noen mulige utviklingsveier for SSBs SNOW- og KVARTS-modeller samt KAJA. KVARTS vil utvikles framover med tanke på klimapolitiske analyser, men har også andre analyseformål som må ivaretas. SNOW-modellen vil fortsette å være den mest tilpassede for studier av klimapolitikk, men den har få kortsiktsegenskaper. Vi har ikke tilstrekkelig kunnskapsgrunnlag til å anbefale om og eventuelt hvordan kortsiktsegenskaper skal integreres i SNOW. Alternativet er tilleggsberegninger eller etterberegninger ved hjelp av andre verktøy, for eksempel basert på KAJA. Vi anbefaler at det gjøres videre uttesting og foreslår noen avgrensede prosjekter som første skritt.

## Abstract

The report explores methods for analysing the cost and emission impacts of altered policy instruments in climate policy in the short term. The survey reviews international literature in this field, emphasizing the suitability of numerical macro models and how they can be improved for this purpose. Simpler tools are also considered.

As a basis for the assessments, seven criteria that the models should meet are defined. They should:

- (a) include emissions
- (b) be sufficiently detailed regarding emission sources and responses to climate policy
- (c) model key climate policy instruments
- (d) reflect short-term transition effects
- (e) calculate cost indicators
- (f) provide consistent calculations in the short and long term
- (g) handle all model applications

Assessments are then made regarding the suitability of two Norwegian numerical macro models developed by Statistics Norway (SSB): SNOW, an equilibrium model, and KVARTS, a macroeconomic model, for analysing the cost and emission effects of climate policy. The potential adaptation of these models to the suitability criteria is considered. A third tool, KAJA, is briefly mentioned.

SNOW is specifically developed for climate analysis, but the current version fails to meet two criteria. It does not reflect short-term transition effects, and it is challenging to contribute to consistent short- and long-term effects. The literature suggests several solutions to incorporate transition effects, either by modelling inertia in capital and labour adjustments to ensure consistency in short- and long-term adjustments, or through more ad hoc-based solutions.

KVARTS has multiple adjustment mechanisms and consistent short- and long-term solutions. While recent updates have included relevant emissions, the model is relatively aggregated in terms of sources and responses and has other applications that may be hindered if it becomes too large. Some detailed expansions have been considered. It currently includes taxes and subsidies but at an aggregate level. It is possible to detail this further. Lastly, it lacks a consistent measure of economic welfare costs.

The tool Kaja consists of price elasticities and emission coefficients used by the Ministry of Finance for long-term emission analyses of tax changes. KAJA can be supplemented with short-term characteristics and developed in other ways.

Based on the discussions, some possible development paths for SSB's SNOW and KVARTS models, as well as KAJA, are outlined. KVARTS will be developed further for climate policy analyses but must also consider other analysis purposes. The SNOW model will remain the most suitable for climate policy studies, but it lacks short-term characteristics. There is insufficient knowledge to recommend whether and how short-term characteristics should be integrated into SNOW. An alternative is additional calculations or post-calculations using other tools, such as those based on KAJA. Further testing is recommended, and some limited projects are proposed as initial steps.

# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>3</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>4</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Inkludere kortsiktseffekter i generelle likevektsmodeller</b> .....	<b>8</b>
2.1. Typiske langsiktsegenskaper ved numeriske generelle likevektsmodeller .....	8
2.2. Litteraturgjennomgang av likevektsmodellering med kortsiktseffekter .....	8
2.3. Eksempler på hvordan SNOW kan tilpasses kortsiktsanalyse .....	14
<b>3. Klimapolitikk, utslipp og kostnader i makroøkonometriske modeller</b> .....	<b>18</b>
3.1. Typiske kortsiktsegenskaper ved makroøkonometriske modeller .....	18
3.2. Eksisterende makroøkonometriske modeller for analyser av klimapolitikk .....	19
3.3. Eksempler på hvordan KVARTS kan tilpasses analyser av utslipps- og kostnadseffekter av klimapolitikk.....	20
<b>4. Oppsummering og noen veier videre</b> .....	<b>24</b>
4.1. Ønskede egenskaper ved makromodeller for studier av klimapolitikk på kort sikt .....	24
4.2. Oppsummering av SNOWs og KVARTS' egenskaper og potensial.....	27
<b>5. Videre uttesting og utredninger for å bedre kunnskapsgrunlaget</b> .....	<b>32</b>
5.1. Det enkleste først – utvide KAJA med kort sikt.....	32
5.2. Koordinert modellutvikling .....	32
5.3. Sammenliknende forstudie .....	32
5.4. Sammenlikning og eksperimentering med priselastisiteter i modellene.....	33
5.5. Gradvis videre uttesting .....	34
<b>Referanser</b> .....	<b>35</b>
<b>Vedlegg A: Avtalens punkt 1.1 – avtalens omfang</b> .....	<b>37</b>

# 1. Innledning

Prosjektet kartlegger metoder for å analysere kostnads- og utslippsvirkninger av endret virkemiddelbruk i klimapolitikken på kort sikt. Prosjektet vektlegger hvordan standard numeriske likevekts- (CGE-)modeller og makroøkonometriske modeller egner seg, hva som er gjort i litteraturen for å gjøre dem mer egnet, og til slutt hvordan SSBs to modeller innenfor disse tradisjonene, SNOW og KVARTS, kan videreutvikles i disse retningene. Prosjektet har også identifisert noen løsninger som er mindre rigorøse når det gjelder modellering. Basert på beskrivelsen og utredningen av disse tre grove tilnærmingene, har vi til slutt skissert en trinnvis fremgangsmåte med uttesting, for å høste viktige erfaringer før tydeligere konklusjoner kan trekkes og anbefalinger kan gis.

Teknisk beregningsutvalg for klima (TBU-klima) er opprettet for å foreslå metoder for tiltaks- og virkemiddelanalyser på klimaområdet. Per i dag har Norge lovfestet nasjonale klimamål for 2030 og 2050. Utvalget anser at tilpasninger ut i tid for å nå langsiktige mål kan analyseres ved hjelp av generelle og partielle likevektsmodeller.<sup>1</sup> For å nå mål i 2030 er det rimelig at tilpasninger og utslipps- og kostnadseffekter vil finne sted før 2030. I klimasamarbeidet med EU har Norge dessuten også årlige forpliktelser allerede fra 2021 i form av årlige utslippsbudsjett. Det er derfor behov for verktøy som er egnet til å studere effekter av klimavirkemidler også på kort sikt. Metoder for å gjøre dette er temaet for oppdraget fra TBU-klima som denne rapporten besvarer. Se vedlegg A for oppdragsteksten.

I kapittel 2 beskrives først typiske egenskaper ved CGE-modeller, primært rekursivt dynamiske, og på hvilke måter disse gjør modellene best egnet for analyser på lang og mellomlang sikt. Deretter gjennomgår vi den internasjonale litteraturen på området med ulike måter mer kortsiktige mekanismer kan innarbeides i CGE-rammeverket for å få et mer realistisk bilde av kostnads- og utslippseffektene på kort sikt. Vi inkluderer løsninger som er blitt valgt i såkalte dynamisk-stokastiske likevektsmodeller (DSGE- (Dynamic Stochastic General Equilibrium)-modeller) i denne gjennomgangen, fordi DSGE-modellene har som ett av sine formål å nettopp representere kortsiktsegenskaper i et likevektsrammeverk. Noen av deres løsninger kan være relevante å hente inspirasjon fra. SSBs SNOW-modell for norsk økonomi er den CGE-modellen som per i dag vurderes av TBU-klima som best egnet for analyser av nasjonale klimamål og -virkemidler. Vi legger derfor vekt på hva som kan være aktuelle tilpasninger i SNOW for å fange opp viktige kortsiktige effekter. Norske DSGE-modeller, som for eksempel NORA-modellen i Statistisk sentralbyrå, bidrar med både kort- og langsiktige løsninger, men de er lite tilpasset forvaltningens behov, da de har svært få sektorer.

I kapittel 3 ser vi på økonometriske makromodeller og deres egenskaper. Da de i stor grad er estimert på kvartalsvise eller årlige tidsseriedata, vil de typisk reflektere følger av virkemiddelbruk på relativt kort sikt, samtidig som de gjerne går mot langsiktsløsning over tid. På dette punktet likner de DSGE-modeller. Imidlertid er de økonometriske modellene typisk mer disaggregerte og derfor mer egnet for forvaltningens behov for kortsiktige analyser i klimasammenheng. I forskningslitteraturen er det ikke mange økonometriske makromodeller som analyserer utslippseffekter av klimapolitiske virkemidler, men mange av løsningene i numeriske likevektsmodeller som benyttes til klimapolitiske analyser kan være relevante å innarbeide i mer kortsiktige makromodeller. Basert på kunnskapsfronten trekker vi konklusjoner om hvordan modelleringen av klimapolitikk, utslipps- og kostnadseffekter kan forbedres i SSBs makroøkonometriske modell KVARTS.

Kapittel 4 oppsummerer hvilke egenskaper som er ønskelige for modeller som skal brukes i klimapolitiske analyser og undersøker hvor godt SNOW og KVARTS dekker disse egenskapene eller eventuelt kan utvikles i slike retninger. Kapittel 5 skisserer noen farbare første skritt når det gjelder uttesting og analyse, for å styrke kunnskapsgrunnlaget før en velger metode(r).

---

<sup>1</sup> Se utvalgets rapporter på <https://tbuklima.no/>.

## 2. Inkludere kortsiktseffekter i generelle likevektsmodeller

### 2.1. Typiske langsiktsegenskaper ved numeriske generelle likevektsmodeller

CGE-modeller er godt egnet for langsiktige analyser av strukturelle endringer i økonomien. Modellene beregner overganger mellom likevekter etter endringer i klimapolitikk. Priser og lønninger tilpasser seg fra opprinnelig likevekt til ny likevekt, slik at alle ressurser igjen utnyttes fullt ut, gitt bibetingelser blant annet om offentlige budsjetter og balansert utvikling i utenriksøkonomien. Beregningene kan gi et godt bilde av hva som skjer i en økonomi som utsettes for endringer i klimapolitikken, men hvor alt ellers holdes uendret, slik at man får analysert den isolerte effekten av politikken. Imidlertid skjer overgangen til ny likevekt i tradisjonelle CGE-modeller nokså momentant – i løpet av ett til et par år. Det er rimelig å tolke den nye likevekten som den nye tilstanden i økonomien på lang sikt, la oss anslå syv til ti år etter at politikken blir innført; se for eksempel Brasch mfl. (2023).

De norske klimamålene nedfelt i Klimaloven gjelder for 2030 og 2050. Klimaomstillingen mot 2050 vil ha mange år på å ta form og kan sies å være egnet for analyse ved hjelp av en CGE-modell. Målene i 2030 begynner imidlertid å nærme seg, og det kan være mer tvilsomt om CGE-modellens likevektsberegninger for 2030 faktisk kan representere et år så nært i tid, eller om en må regne med at omstilling som starter som følge av ny politikk i dag fortsatt vil pågå i 2030.

Prosesser som kan tenkes å trenge flere år er for eksempel endringer i sektorsammensetningen, derunder omfordeling av arbeidskraften og kapitalen i økonomien mellom sektorene (og implisitt også mellom regioner). Typisk er arbeidskraften og kapitalen i CGE-modeller homogene, og faktoravlønningene i den nye likevekten blir bestemt i markeder karakterisert ved fullkommen konkurranse. Videre kan overgangen ta tid fordi økonomien trenger nye typer innsatsfaktorer. Det kan være kompetanse, nye institusjoner og organiseringsformer, økt utdanningsnivå og tilgang på nye teknologier eller naturressurser. Investeringene kan ta tid før de er fullendte og tjenestene fra kapitalen kan benyttes, og likeledes tar det tid før opprinnelig kapital er faset ut. Kanskje må preferanser og vaner hos etterspørerne endres. Slike tregheter viser seg ved at pris- og lønnsjusteringer tar tid. Dette kan innebære ledige ressurser i en periode. Hvor raskt slike prosesser kan skje varierer fra økonomi til økonomi. Selv om Norge kan sies å ha relativt god endringskapasitet, med effektive institusjoner, rask digitalisering og god informasjonsflyt, er den forestående klimaomstillingen svært utfordrende. Det kreves gjennomgripende endringer så å si i alle samfunnssektorer, og lavutslippsteknologier og -kompetanser er i mange tilfeller umodne.

Litteraturen har flere eksempler på studier der overgangstregheter har vært modellert i CGE-modeller. Vi vil nedenfor se nærmere på hvordan litteraturen har tatt innover seg kortsiktige virkninger og hva som kan være relevante tilpasninger i SSBs CGE-modell SNOW av norsk økonomi, for å oppnå et mer realistisk utslipps- og kostnadsbilde på kortere sikt.

### 2.2. Litteraturgjennomgang av likevektsmodellering med kortsiktseffekter

Vi har gjennomgått den sentrale litteraturen som har introdusert ulike former for tregheter i numeriske likevektsmodeller. Gjennomgangen omfatter både CGE-modeller og DSGE-modeller.<sup>2</sup> Vi har konsentrert oss om tilpasning i kapital- og arbeidsmarkedet og ser bort fra potensielle

---

<sup>2</sup> Vi har her kun sett på arbeider og modeller som er publisert (rapport el.) og hvor publiseringen innebærer en form for tilknytning til litteraturen. Den polske modellen MEMO presenteres som en DSGE-modell, men ut fra modelldokumentasjonen kan modellen heller karakteriseres som en disaggregert, kalibrert dynamisk (intertemporal) CGE-modell. Det danske modellprosjektet GrønReform nærmer seg ferdigstilling og prosjektet er kort omtalt i denne rapporten. Den siste versjonen av modelldokumentasjon for Konjunkturinstituttet sin modell EMEC (Otto og Below, 2023) presenterer en tradisjonell CGE-modell uten modellering av kortsiktselementer.



treghetsmekanismer som kan ligge i for eksempel vanedannende konsum (*habit formation*)<sup>3</sup> eller at en andel av husholdningene har begrensninger i forhold til muligheter for å endre sitte konsum på kortere sikt (*hand-to-mouth households*). Den siste typen husholdninger er gjerne modellert i DSGE-modeller. Denne avgrensingen er gjort av ressursmessige hensyn og at denne typen modellering foreløpig ikke er utbredt i makroøkonometriske modeller eller tradisjonelle numeriske likevektsmodeller.

### 2.2.1. Bakgrunn fra økonomisk teori

#### **Tregheter i kapitaltilpasning og konsekvenser for klimaomstillingsprosesser**

Tregheter i kapitaltilpasningen kan ta ulike former og ha ulike årsaker. For det første kan bedriftene stå overfor ulike typer tilpasningskostnader. I generelle likevektsmodeller er det gjerne antatt at realinvesteringen tar én periode, som ofte er ett år, og at den nye kapitalen er tilgjengelig i neste periode. Dersom det tar lengre tid å bygge opp den nye kapitalen, men kapitalen (ny og brukt) hele tiden kan kjøpes/selges, endrer ikke dette modelleringen. Dersom den brukte/installerte kapitalen ikke kan kjøpes og selges, dvs. det er ikke bruktmarkeder (kapitalen er immobil eller kan ikke brukes i andre sektorer), blir bildet mer komplisert. Modelleringen vil da avhenge av hvilke mekanismer som er til stede. Før investeringen foretas vil kapitalen ofte være mer substituerbar mot andre innsatsfaktorer som arbeidskraft og energi, men etter at investeringen er foretatt, vil kapitalen og tilhørende innsatsfaktorkoeffisienter for arbeidskraft og energi være gitt ved den valgte teknologien som kapitalen representerer. Førsund og Vislie (2016) viser til Leif Johansen som kalte dette for «årgangskapital» – hvor hver enkelt årgang med investert kapital hadde sin teknologi, dvs. sine spesifikke, faste innsatsfaktorkoeffisienter. Bedriftene varierer når det gjelder teknologiens årgang. For en sektor bestående av mange bedrifter vil typisk kapitalen og teknologien være representert ved ulike årganger og dermed ulike innsatsfaktorkoeffisienter. Under gitte forutsetninger kan bedriftene og årgangene aggregeres og representeres ved en makro-sektor med mulighet for kontinuerlig tilpasning av kapital, arbeidskraft, energi og andre innsatsvarer. Dersom ikke slike forutsetninger er oppfylt, vil det være tregheter (og kostnader) i tilpasningen til nye teknologier og kapital ved at det tar tid å bygge ned de eksisterende årgangene med kapital og dermed bygge opp nye årganger med nye teknologier.

En annen type tilpasningskostnader tar utgangspunkt i at det er knyttet (ekstra) kostnader til både å installere ny og fjerne kapitalen og at marginalkostnaden ved å endre kapitalen er stigende i nivået på investeringen/kapitalnedbyggingen. Dette kalles ofte for *Tobins q* teori og representeres gjerne ved en kvadratisk (og konveks) investeringsfunksjon (Blanchard og Fischer, 1989). I slike modeller er *q* skygge-prisen (brukerprisen) på kapitalen, dvs. kostnaden ved kapitalbeholdningen. I modeller med perfekte forventninger for små, åpne økonomier er en form for tilpasningskostnader nødvendig for at ikke modellen skal gå direkte fra en likevekt til en annen. I DSGE-modeller (se nedenfor) er tilpasningskostnader gjerne modellert og estimert basert på *Tobins q* teori.

Den empiriske (økonometriske) litteraturen finner støtte for ulike tregheter i realkapitaltilpasningen, herunder støtte til at kapitaltilpasningen er større på lang enn på kort sikt. Slike tregheter er gjerne modellert på redusert form i makroøkonometriske modeller som KVARTS. Med redusert form mener vi i denne sammenhengen at treghetene ikke er eksplisitt formulert med funksjonsform og parametere.

Når det gjelder *klimaomstilling* er det spesielt tre ulike former for tregheter vi kan se for oss oppstår i kapitaltilpasningen. For det første kan realkapitalen være spesifikt knyttet til én produksjonssektor. Dette kan for eksempel være teknologispesifikke maskiner til produksjon av aluminium. De må depresieres der de står, og nye teknologier kommer inn i form av nyinvesteringer som kan ha annen

---

<sup>3</sup> Av modellene vi har sett på er det kun MEMO som modellerer en form for vanedannelse i konsumet.

teknologi, faktorsammensetning og utslipp. Levetiden kan tolkes fysisk (etter gitt antall år levetid) eller økonomisk (når markedet signaliserer at det lønner seg å vrake den gamle og investere i ny). Dette kan modelleres som årgangskapital, som omtalt ovenfor. Sektor- og årgangsspesifikk kapital kan modelleres i en generell likevektsmodell, for eksempel ved at eksisterende kapital depresieres innad i sektoren og den kan ikke selges (kapitalen har ingen alternativ anvendelse). Nye årganger/teknologier kan komme til ved nyinvesteringer, men ikke flytting av gammel kapital; jf. omtalen av årgangsmodellen ovenfor.

Beholdningen av naturressurser er ressurskapital. Den kan være begrenset i form for eksempel mengde petroleum som kan utvinnes eller areal som er tilgjengelig. Det siste kan legge begrensninger på etablering og produksjon av fornybar energi som vindkraft, solkraft og vannkraft. Slik ressurskapital er derfor sektorspesifikk og kan også være teknologispesifikk, og derfor beslektet med begrepene sektor – og årgangsspesifikk kapital ovenfor.

Den andre måten å tilnærme seg «teknologispesifikk årgangskapital» er å anta at ny teknologi kommer inn gradvis og eksisterer samtidig med den gamle teknologien, ofte representert i transportmoduler og kraftproduksjonsmoduler i generelle likevektsmodeller. Ny og utslippsfri transportteknologi, som for eksempel elbiler, kommer inn i økonomien ved at det modelleres substitusjonsmuligheter mellom ny teknologi – elbiler - og gammel teknologi – fossildrevne biler. Substitusjonsmulighetene øker jo likere teknologiene er, og teknologisk utvikling i den utslippsfrie teknologien vil gjøre dens attributter mer lik den gamle og øke substitusjonsmulighetene.

En tredje tilnærming til tregheter i kapitaltilpasningen når det gjelder klimaomstilling er at kapitalen ikke nødvendigvis er «årgangskapital» eller sektor- og teknologispesifikk, men at det koster mer jo større den ønskede endringen i kapitalen er på et gitt tidspunkt, tilsvarende det som kalles for tilpasningskostnader (Blanchard og Fischer, 1989) som er omtalt foran. Storrøsten (2020) introduserer stigende og tiltagende tilpasningskostnader i nettoinvesteringer i ny klimateknologi i en dynamisk likevektsmodell og analyserer konsekvensene for optimal klimapolitikk.

### ***Tregheter og imperfeksjoner i arbeidsmarkedet og konsekvenser for klimaomstillingsprosesser***

I CGE-modeller er etterspørselen etter arbeidskraft vanligvis en fallende funksjon av netto reallønn, og arbeidstilbudet er en stigende funksjon av netto reallønn, hvis ikke arbeidstilbudet er eksogent gitt, og arbeidsmarkedet er i likevekt og uten imperfeksjoner. Arbeidsmarkedet kan imidlertid være karakterisert ved ulike former for imperfeksjoner og tregheter i lønnsdannelsen, herunder også initial arbeidsledighet. Ved klimaomstilling kan for eksempel arbeidskraft som blir ledig i en næring ikke umiddelbart finne nytt arbeid i en annen næring. Det kan skyldes geografisk immobilitet eller ulike kompetansekrav på tvers av næringer. Med (midlertidige) stive lønninger og immobil arbeidskraft i enkelte forurensende og geografisk gitte næringer, vil det da kunne oppstå arbeidsledighet. Denne kan være midlertidig ved at det tar tid før alle kommer i jobb igjen, eller det kan oppstå såkalte hysteresis-effekter ved at når noen først har mistet jobben er det vanskeligere å komme inn på arbeidsmarkedet igjen. Arbeidsledigheten vil da være vanskeligere å få ned. Folk kan også trekke seg ut av arbeidsmarkedet slik at arbeidsstyrken reduseres. Tregheter i lønnsdannelsen og midlertidig arbeidsledighet bidrar til økte omstillingskostnader, mens en situasjon hvor arbeidsmarkedet er karakterisert ved en form for imperfekt konkurranse vil ikke nødvendigvis gi økte omstillingskostnader på kort sikt. Det kommer an på hvordan markedet er modellert. Alternative modeller for lønnsdannelse er gjerne modeller hvor fagforeningene (arbeidstakerne) forhandler med arbeidsgiverne om lønn og det er en form for likevektsledighet (initial arbeidsledighet). Forhandlingssituasjonen kan være karakterisert ved «monopolistisk konkurranse» og effektivitetslønnmodellering, Philips-kurve, eller i tråd med den norske frontfagsmodellen som i KVARTS.

Tilsvarende som for tilpasningskostnader i kapitalen kan det også oppstå tilpasningskostnader i tilpasningen av arbeidskraften, uten at de nødvendigvis er knyttet til et imperfekt arbeidsmarked på lengre sikt. Det tar tid å si opp folk og ansette nye og det kan også oppstå mismatch i kompetanse. Dette kan typisk gjelde i klimaomstillingsprosesser. Storrøsten (2020) omtaler noen relevante referanser og viser også til at det innenfor makroøkonomisk litteratur gjerne antas at det tar tid før alt nytt utstyr er installert. Det siste har fellestegn med tilpasningskostnader i nyinvesteringer omtalt over.

### 2.2.2. Ulike former for tregheter i kapitaltilpasningen i likevektsmodeller

#### **Årgangskapital**

Årgangskapitalmodellering (i form av vintage-modellering) har blitt en vanlig løsning i transportmoduler for å fange opp det faktum at teknologisk endring tar tid, fordi det tar tid for eldre årganger med gammel fossil teknologi kan fases ut og overtas av nye årganger med ren teknologi.

I SNOW-modellen er gamle og nye biler separert. Bruken av gamle biler er gitt fra tidligere investeringer i elbiler og biler med forbrenningsmotor (ICE), og tilpasses forventet levetid. Elbilmodulen i SNOW er et eksempel på en modell med teknologispesifikk årgangskapital. Dette er ganske vanlig å modellere i transportmoduler, og EPPA-modellen og ENV-LINKAGES-modellen har eksempler på slik modellering.

Lignende forskjeller gjøres i IMACLIM-R- (CIRED, CGE) og ADAGE-modellene (EPA, CGE), samt i ECCC-modellene (Canada), både den globale EC-MSMR-modellen og landsmodellen for Canada, EC-PRO.<sup>4</sup> Årgangmodellering tillater ulike parametere for energieffektivitet å tilordnes gammel og ny kapital, henholdsvis. Siden drivstoffeffektivitet og CO<sub>2</sub>-standarder bare gjelder for nye modellårskjøretøy, er det avgjørende å skille mellom den nye og brukte bilflåten. EPPA-modellen (MIT, dynamisk, rekursiv CGE) inkluderer en parameterisering av totalt antall kjørte kilometer både i nye (0 til 5 år gamle) og eldre (6 år og eldre) kjøretøy, som følger endringer i etterspørselen etter reiser som respons på endringer i inntekt og kostnad per kilometer. EPPA-modellen (MIT, CGE) representerer også muligheten til å bytte mellom nye og brukte kjøretøy som en annen måte for forbrukerne å reagere på endringer i relative kjøretøy- og drivstoffpriser, som påvirkes av innføringen av kjøretøystandarder, drivstoffpriser eller karbonpriser (reflektert i drivstoffprisene). Detaljer om representasjonen av drivstoff- og utslippsstandarder i EPPA-modellen finnes i Karplus mfl. (2010).

Nye fornybare teknologier i kraftproduksjonen er et annet eksempel hvor det er realistisk å modellere årgangskapital. En realistisk vurdering av overgangen til et fornybart kraftsystem kan inkludere tidsforsinkelsen for å bygge kraftverk og deres levetid. Inkludering av disse detaljene kan bli forenklet ved å modellere en kapitalstruktur basert på alder. ENV-LINKAGES (OECD, CGE) modellen (dynamisk, rekursiv CGE) modellerer årgangskapital i kraftmarkedet. Hver produksjonsstrøm har en identisk produksjonsstruktur, men med ulike teknologiske parametere og elastisiteter for substitusjon. Produksjonsbedrifter kan velge å bruke gammel eller ny kapital. Forskjellen mellom årgangene driver resultatene for utslipp i ENV-LINKAGES, da de to typer kapital er avhengige av fossile brensler og produksjonsressurser på ulike måter. Spesielt gjenspeiler elastisitetene for substitusjon for ny og gammel kapital forskjellen i hvor lett de to kapitaltypene kan erstatte fossile ressurser med renere innsatsfaktorer.

En annet eksempel på årgangskapitalmodellering er dersom kapitalen er sektor- og teknologispesifikk og ikke fysisk kan flyttes mellom eller anvendes av andre næringer. Modellering av immobil boligkapital i MSG6-modellen<sup>5</sup> er et eksempel på det, Bye og Åvitsland (2003). Et annet eksempel er modellering av naturressurskapital i SNOW og tilsvarende likevektsmodeller.

<sup>4</sup> Fæhn mfl. (2020b) gjennomgår en rekke CGE-modeller for klimaanalyser. Mer informasjon om modellene som er nevnt i dette avsnittet finnes der.

<sup>5</sup> Intertemporal CGE-modell med perfekte forventninger.

Naturressurskapitalen er gitt og sektorspesifikk og begrenser da produksjonsmulighetene for sektoren, se også Storrøsten (2020) for modellering av produksjon av fossile brenslere for gitte ressurser.

### **Tilpasningskostnader**

Tilpasningskostnader i form av kvadratiske, konvekse kostnader i investeringstilpasningen er vanlig i mange DSGE modeller. Det er ekstra kostbart med store endringer i investeringene (både positive og negative) og modellering av slike tilpasningskostnader innebærer at tilpasningen til den nye likevekten spres ut i tid. I DSGE-modeller er nominelle og reelle tregheter modellert som «tilpasningskostnader» i kapitalen og rigiditeter i lønnsdannelsen, i tillegg til forventninger, som innebærer at økonomiske sykler vil oppstå og tilhørende offentlig stabiliseringspolitikk i form av regler. For å analysere kort- og mer langsiktige effekter av klimapolitikk og klimaomstillingen mot 2030 og 2050 er noen slike modeller utvidet (og utviklet) med flere sektorer, klimateknologier og utslipp. De globale D(S)GE-modellene EQUEST (D(S)GE, EU) og GMMET (D(S)GE, IMF) modellerer alle en form for tilpasningskostnader. Disse utvidede modellene nærmer seg da mer tradisjonelle dynamiske (intertemporale) likevektsmodeller når det gjelder estimering, kalibrering og simulering. Men i motsetning til de tradisjonelle, dynamiske (intertemporale eller rekursive) likevektsmodellene, illustrerer disse nye modellene nominelle transisjonseffekter av klimapolitikk mot den nye likevekten. Regler for finans- og pengepolitikk får økonomien til å nå den nye likevekten. Storrøsten (2020) modellerer tilpasningskostnader i form av en investeringskostnadsfunksjon som er konveks og stigende i investeringene i en teoretisk dynamisk partiell likevektsmodell og illustrerer resultatene knyttet til optimale CO<sub>2</sub>-skattebaner med numeriske beregninger i GAMS.

Andre eksempler på likevektsmodeller med en form for tilpasningskostnader er det danske modellprosjektet MAKRO (dynamisk CGE modell med kort sikts effekter) som modellerer kvadratiske, konvekse tilpasningskostnader som trekkes fra bruttoproduksjonen, Bonde mfl. (2023) og det polske modellprosjektet MEMO, Antosiewicz og Kowal (2016). MAKRO skal danne den makroøkonomiske modellkjernen i det danske modellutviklingsprosjektet GrønReform.<sup>6</sup> MEMO modellerer en form for tilpasningskostnader ved å skille mellom påbegynte og realiserte prosjekter. I den intertemporale versjonen av MSG6 (Bye, 2000a) var brukerprisen på kapital endogen via den endogene investeringsvareprisen. Tilsvarende gjelder i den intertemporale versjonen av SNOW. Brukerprisen vil typisk være stigende i bruttoinvesteringene og er slik sett analog til tilpasningskostnadsbegrepet. Tilsvarende brukerpriser er også modellert i NORA (Aursland mfl., 2020).

---

<sup>6</sup> Dette prosjektet var ikke fullført da denne rapporten ble skrevet, men det er oppdatert informasjon på hjemmesiden til GrønReform om at prosjektet er i rute, og en versjon av modellen vil bli publisert sent på høsten/vinter 2024. Om GrønReform skriver prosjektgruppen nå: «Modeludviklingen tager afsæt i den modelstruktur og tekniske opbygning, der er udviklet til MAKRO. Men formålet med MAKRO er et andet end GrønREFORM, og det vil blive afspejlet i prioriteringen af, hvor detaljeret de to modeller beskriver forskellige forhold. På nogle områder vil GrønREFORM være simplere end MAKRO. Det gælder i forhold til beskrivelsen af arbejdsmarkedet, pensionssystemet, mv. Det afspejler bl.a., at det i MAKRO er vigtigt at beskrive tilpasningen fra den aktuelle konjunktursituation mod strukturel ligevægt og effekter af ændringer i f.eks. pensionsbeskatningen over tid. I GrønREFORM tages sådanne forhold for givet, ved at modellen kalibreres til at matche et grundforløb fra MAKRO. Men modellen skal kunne give en god beskrivelse af effekter af miljø og klimapolitiske tiltag over tid. Det indebærer eksempelvis, at der indarbejdes træghed i tilpasningen af investeringsomfanget i de enkelte brancher.» <https://dreamgruppen.dk/modeller-og-metoder/groenreform>

### 2.2.3. Ulike former for tregheter og imperfeksjoner i arbeidsmarkedet i likevektsmodeller

#### **Alternativ lønnsdannelse**

I analyser av potensialet for doble gevinster ved såkalte grønne skattereformer på slutten av 1990-tallet, var det spesielt fokus på hvordan slike reformer i form av økt CO<sub>2</sub>-beskatning og provenynøytral reduksjon i skatten på arbeid, kunne gi økt sysselsetting i en situasjon med initial arbeidsledighet. Dette ble gjerne analysert i teoretiske modeller hvor Bovenberg og van der Ploeg (1996) er en klassisk studie. Modellering av ulike former for imperfeksjoner i arbeidsmarkedet har vært gjort i CGE modeller og i senere år også i DSGE-modeller. Modelleringen har gjerne vært bygget over forutsetninger om monopolistisk konkurranse for arbeidstakerne som innebærer at lønna settes som en markup over likevektslønna og det oppstår en ufrivillig (likevekts) arbeidsledighet. Dette kalles gjerne for effektivitetslønnsmodell, Blanchard og Fischer (1989). Effektivitetslønnsmodellen er valgt i den rekursivt dynamiske CGE-modellen JRC-GEM-E3 (EU, 2020a; EU, 2020b); for modelldokumentasjon se også GEM-E3 (2017). Et annet eksempel på at lønnsdannelsen er modellert ved monopolistisk konkurranse mellom fagforeningen og arbeidsgiverne og en form for lønnsrigiditet ved at det er vanskelig å sette ned nominell lønn er EQUEST (D(S)GE), Varga mfl. (2022). Det danske modellprosjektet MAKRO/GrønReform baserer også lønnsdannelsen på en forhandlingsmodell, det samme gjør MEMO. Forhandlingsmodellen «frontfagsmodellen» for lønnsdannelsen i KVARTS er i tråd med empiriske data for Norge. Der bestemmes lønnsendringen av lønnsomheten i konkurranseutsatt sektor og skjermet sektor følger etter. Bye (2000b) modellerer også en lønnskurve, basert på estimering av en tilsvarende forhandlingsmodell i Bowitz og Cappelen (2001). Lønnsdannelse i form av en Philips-kurve finner ikke støtte i norske data, men er modellert i enkelte internasjonale DSGE-modeller som GMMET (IMF).

#### **Mismatch og immobilitet**

Ulike typer arbeidskraft er modellert i CGE modeller, både ved ulike typer kvalifikasjoner og at arbeidskraften kan være immobil mellom næringer og regioner. Det får fram potensielle mismatch-effekter mellom kvalifikasjoner og etterspørselen etter arbeidskraft. Modellen JRC-GEM-E3 skiller mellom kvalifisert og ukvalifisert arbeidskraft. Kapital og kvalifisert arbeidskraft er modellert som substitutter, og dette aggregatet kan igjen substitueres med ukvalifisert arbeidskraft. Likevektsledighet modelleres ved monopolistisk konkurranse og effektivitetslønn både for kvalifisert og ukvalifisert arbeidskraft. I Bye (2000b) ble det også sett på et alternativ hvor arbeidskraften i karbonintensive næringer var immobil ut til andre næringer, sammen med lønnsrigiditet. Bye (2000b) finner for eksempel at velferdseffektene av en grønn skattereform (økte offentlige inntekter fra høyere CO<sub>2</sub>-avgift deles ut som reduksjoner i den effektive skatten på arbeidsinntekt) påvirkes av hvordan arbeidsmarkedet er modellert. I situasjonen med immobil arbeidskraft er velferdsgevinsten minst, mens i en situasjon med alternativ lønnsdannelse og initial arbeidsledighet, er velferdsgevinsten av den grønne skattereformen størst.

Tabell 2.1 oppsummerer egenskapene ved de ulike modellene. Alle DSGE-modellene, de makroøkonomiske modellene og JRC-GEM-E3 benyttes til analyser på kort og lengre sikt. På kort sikt får de ulike modelleringene fram tregheter og andre kort sikt egenskaper ved framskrivinger og politikkanalyser. I boks 3 er det presentert en EU-analyse hvor JRC-GEM-E3 modellen og EQUEST begge er benyttet for å analysere effektene av EU's 2030 politikk både på kort og lang sikt.

**Tabell 2. 1. Oversikt over modeller og deres egenskaper**

Modell	Kapitaltilpasningen		Arbeidsmarkedet	
	Årgangskapital	Tilpasningskostnader	Alternativ lønnsdannelse	Mismatch - immobilitet
<b>CGE</b>				
JRC-GEM-E3 (EU)			X	
ENV-LINKAGES (OECD)	X			
EPPA (MIT)	X			
IMACLIM-R (CIRED)				
ADAGE (EPA)				
ECC (Canada)				
SNOW (SSB)	X			
MSG6 (SSB) ulike varianter	X	X	X	X
<b>Økonometriske</b>				
KVARTS (SSB)	Sektorspesifikk kapital	(X) <sup>1</sup>	X	
E3ME (Cambridge)		(X) <sup>1</sup>	X	
<b>D(S)GE</b>				
GMMET (IMF)		X	X	
NORA (SSB)		X	X	
GrønReform (MAKRO) (DK)		X	X	
MEMO (Polen)		X	X	
E-QUEST		X	X	

<sup>1</sup> Tilpasningskostnader i form av adaptive justeringsprosesser

### 2.3. Eksempler på hvordan SNOW kan tilpasses kortsiktsanalyse

SNOW-modellen av norsk økonomi er en rekursivt-dynamisk CGE-modell med standard egenskaper som beskrevet i kapittel 2.1. Den er relativt disaggregert med 46 produksjonssektorer og et konsumsystem som beskriver bolig tjenestene og transporttjenestene mer detaljert enn mange andre CGE-modeller. Disse egenskapene er valgt for at modellen skal være velegnet for klimapolitiske studier. Den kan analysere et relativt rikt sett av klimarelevante virkemidler (avgifter, subsidier, kvotepriser, gratiskvoter, forbud, teknologistandarder og biodrivstoffinnblandingskrav). De relevante klimagassene er modellert, så vel som seks andre forurensende utslipp til luft, se Rosnes mfl. (2019) for en dokumentasjon. Etter dokumentasjonen ble utarbeidet er modellen videreutviklet med tanke på klimapolitiske analyser; se boks 1 for de viktigste forbedringene.

**Boks 1: Den seneste utviklingen av SNOW-modellen sett i forhold til standarden beskrevet ovenfor**

SNOW-modellen av norsk økonomi er de siste årene blitt videreutviklet med tanke på en bedre representasjon av kilder for utslipp og av muligheter for atferdsendringer som respons på endringer i klimavirkemidler (eller andre forhold som påvirker aktørenes tilpasninger). Modellforbedringene har foreløpig funnet sted for sektorer som i dag er regulert av innsatsfordelingen i avtalen mellom Norge og EU: husholdningenes transport, kommersiell landtransport, kommersiell sjøtransport og avfallssektoren.

**Husholdningenes etterspørsel etter privat bilkjøring**

Husholdningene etterspør kollektivtransport og privat bilkjøring. Til den private kjøringen benyttes det både nye biler (kjøpt i inneværende periode) og eldre biler (kjøpt i tidligere perioder og akkumulert), slik at modellen holder orden på sammenhengen mellom innfasing av nye biler og total bilpark av to typer biler: elbiler og bensin/dieselbiler (heretter fossilbiler). Modellen er inspirert av Karplus mfl. (2010).

Mens elbilene benytter elektrisitet, er drivstoffet for fossilbiler bensin eller diesel som kan være iblandet biodrivstoff som følge av innblandingskrav, andre klimavirkemidler eller andre forhold som gjør dette lønnsomt. Hybridbiler er slått sammen med fossilbiler. Den representative husholdningens utgifter til bil består av årlige utgifter til kjøp av bilen (annuiteter), energi (drivstoff eller elektrisitet) samt annen drift.

Kvantifiseringen av modulen legger til grunn faktiske observasjoner i basisåret samt regjeringens framskrivninger av utviklingen i fossil- og elbilbeholdningene. Basert på dette kalibreres verdien av ikke-fiskale fordeler for elbiler (som rimeligere parkering, bompengerabatter, bussfiladgang), relativ importprisutvikling for kjøretøyene og substitusjonselastisiteten mellom fossil- og elbiler. Substitusjonselastisiteten mellom el- og fossilbiler angir hvor like tjenester de kan gi.

**Kommersiell landtransport**

Så å si alle sektorene i SNOW bruker egentransport, men bortsett fra sektoren som produserer kommersielle landtransporttjenester, er forekomstene små. Det er derfor kun modellert substitusjonsmuligheter mellom kjøretøy i den sektoren. Modelleringen og kalibreringen er temmelig tilsvarende den i husholdningene.

**Kommersiell innenlands sjøtransport**

Modelleringen her benytter en rensekostnadskurve tilsvarende tilnærmingen i Fæhn og Isaksen (2016); se også Kiuila og Rutherford (2012). Datagrunnlaget er rensepotensial og kostnader for tiltak beskrevet i Miljødirektoratet mfl. (2020). Viktige teknologier er biodrivstoff, batterier, hydrogen, LNG og ammoniakk.

**Avfall**

Utslippsmodelleringen knyttet til avfall i SNOW er under utvikling. To sektorer håndterer avfall, en kommunal og en privat. Utslippene har to store kilder: CO<sub>2</sub>-utslipp i forbindelse med avfallsforbrenning og metanutslipp i forbindelse med deponier. Metanutslippene er blitt eksogenisert, da det er akkumulert deponering som bidrar til metanutslippene og deponering har vært forbudt i mange år. Utslippene er knyttet til tidligere deponert avfall og fallende. Videre arbeid med avfallssektoren innbefatter å vurdere utslippsfordelingen mellom de to avfallssektorene i modellen, samt vurdere sammenhengen mellom avfallsforbrenning og fjernvarme. Ferdigstillingen er forventet tidlig i 2024.

Kortsiktsegenskapene til SNOW er ikke realistiske. SNOWs periodisering er ett år, og ny likevekt nås i løpet av ett til to år uten mange barrierer eller tregheter (årgangskapital i transport er viktigste unntaket). Det mest teorikonsistente vil være å modellere aktuelle treghetsfenomener mer spesifikt. På den måten vil alle aspektene ved fenomenene fanges opp. Blant annet vil deres bidrag til nye priskiler skape samspillseffekter med den analyserte klimapolitikken. I dette delkapittelet drøfter vi først løsninger for å introdusere flere tregheter i SNOW og at det mest nærliggende kan være å utvikle SNOWs arbeidsmarked og lønnsdannelse, med kortsiktseffekter, mer i retning av det som brukes i KVARTS.

Deretter skisserer vi kort noen enklere løsninger for håndteringen av tregheter og kort sikt effekter som kan bidra til økt kunnskap om kortsiktige virkninger av klimapolitikk. Selv om løsningene er

enkler, er de også mer ad-hoc-baserte og upresise. Det er ikke opplagt at de er mindre kostnadskrevende å bygge opp og bruke.

### **Tregheter i kapitaltilpasningen i SNOW**

#### *Årgangskapital*

En modell for årgangskapital og ulike teknologier er allerede representert i SNOW ved modellen for husholdningenes transport. Tilsvarende er også modellert for kommersiell landtransport, se omtale i boks 1. Tilsvarende modellering kan benyttes for andre sektorer og teknologier, og i første omgang er dette mest aktuelt for modellering av ulike elektrisitetsproduksjonsteknologier som vannkraft, vindkraft og solkraft.

Tilsvarende modellering av årganger har vært gjort i ENV-LINKAGES-modellen hvor elektrisitet produseres av ulike produksjonsstrømmer, som differensieres etter alderen på kapitalen (gammel utslippsintensiv og ny utslippsfri). Siden både gammel og ny mest sannsynlig vil være tilnærmet utslippsfri i Norge, er det ikke like aktuelt å modellere på denne måten i elektrisitetsproduksjon, men det kan undersøkes nærmere om det vil kunne være aktuelt for andre næringer og teknologier.

Den andre formen for årgangskapitalmodellering presentert ovenfor; sektor-, årgangs-, og teknologispesifikk kapital som ikke kan flyttes mellom næringer eller anvendes av andre næringer, har SSB erfaring med. Det er teknisk enkelt å implementere. I KVARTS er kapitalen sektorspesifikk. Kapitalen er låst til næringene helt til den er depresiert. Dette er en sterk antakelse. Hvis mobiliteten ikke skal begrenses så sterkt, må vi ha et empirisk grunnlag for gradvis flytting av kapitalen.

#### *Tilpasningskostnader*

Tilpasningskostnader knyttet til investeringer (endringer i realkapitalen for eksempel i form av produksjonsutstyret) kan i prinsippet modelleres i SNOW tilsvarende som i DSGE-modellene, og potensielle parameterverdier kan hentes fra slike modeller. Empiriske analyser på norske data finner ikke støtte for konvekse, kvadratiske tilpasningskostnader, så det anbefales å ikke bruke den funksjonsformen i SNOW. Det kan være utfordrende å finne lett håndterbare funksjonsformer som passer godt i en norsk kontekst. Dette må eventuelt utredes nærmere og løsningen skal vurderes for SNOW. I den intertemporale versjonen av SNOW med perfekte forventninger representerer brukerprisen på kapital en form for tilpasningskostnader; se også kapittel 2.2.2.

### **Tregheter og imperfeksjoner i arbeidsmarkedstilpasningen i SNOW**

Bye (2000b) modellerer to ulike alternativer for arbeidsmarkedstilpasninger i en generell likevektsmodell (MSG6). Begge kan være aktuelle for modellering av kortsikts-effekter i SNOW. Det ene alternativet er en lønnskurve basert på en forhandlingsmodell (frontfagsmodellen) hvor langsikts-parametere i lønnsfunksjonen var hentet fra Bowitz og Cappelen (2001) og var i samsvar med lønnsdannelsesfunksjonen i MODAG-modellen som var forløperen til KVARTS. Det andre er en antakelse om begrenset mobilitet fra karbonintensive næringer til resten av økonomien, kombinert med lønnsrigiditet i form av at lønna bestemmes i de andre næringene. Ved strengere karbonpolitikk vil det oppstå arbeidsledighet i de karbonintensive næringene som vil måles ved en velferdskostnad i hele økonomien.

Det første alternativet kan gjøres nokså tilsvarende i SNOW basert på dagens modellering av lønnsdannelsen i KVARTS. Den er bygd på frontfagsmodellen som er den fagforeningsmodellen det finnes empirisk støtte for i norske data. Det er en liknende type lønnsmodellering i NORA. For å få med kortsiktseffekter vil det være mulig å implementere en lønnsdannelsesfunksjon i SNOW som inneholder kort- og langsikts-parametere fra lønnsdannelsesfunksjonen i KVARTS. Å modellere lønnsdannelsen ved frontfagsmodellen i SNOW er ikke prinsipielt forskjellig fra alternativer som effektivitetslønn i JRC-GEM-E3ME-modellen eller andre varianter for imperfekt konkurranse i arbeidsmarkedet. Men den konkrete modelleringen vil selvfølgelig være forskjellig.



Det andre alternativet er bare i stand til å fange opp umiddelbare kostnader. For å få fram videre tilpasning til ny likevekt, må det eventuelt modelleres en gradvis overgang til likevekt i arbeidsmarkedet på lengre sikt. En slik løsning vil trenge mer informasjon enn SNOW kan gi. Hvorvidt en overgang kan konstrueres er verdt å undersøke, men her må erfaringer gjøres før det er mulig å anbefale fremgangsmåter. En utfordring vil være hvordan man behandler midlertidig ledighet i modellen. Det vil også være et spørsmål hvordan relevante parameterverdier kan finnes, om de kan hentes fra estimerte modeller som KVARTS og eventuelt NORA, eller kan kalibreres på andre måter/basert på annen informasjon.

### **Justere SNOW – «enklere» løsninger**

#### *Justere atferdsparametre i SNOW*

I stedet for å modellere tregheter og imperfeksjoner direkte i SNOW vil en enklere løsning være å integrere informasjonen om innfasingsrater fra KVARTS-kjøringene endogent i SNOW som ny-kalibrerte atferdsparametre. Kalibreringsprosedyrer er nødvendig hver gang modeller skal ta innover seg nye eksogene forhold. Her er de eksogene forholdene kortsiktsinformasjon. Da må parametre i SNOW justeres slik at modellen treffer innfasingsratene. Parameterne kan være substitusjonselastisiteter, teknologiparametre, utslippskoeffisienter, mm. Slik integrering av kortsiktsinformasjon vil sannsynligvis kreve mindre ressursinnsats enn å innarbeide mekanismene mer spesifikt som beskrevet ovenfor. Samtidig oppnår man fordelene ved å ha kortsiktseffektene integrert i modellen og resultattabellene. Denne løsningen vil også kunne få grep om samspill mellom klimapolitikken som analyseres og andre priskiler i SNOW. Erfaring tilsier at det kan være store velferdseffekter (Fæhn mfl., 2020a; Paltsev mfl., 2004) forbundet med slike samspill. Se omtalen av kostnadsindikatorer i kapittel 4.1.

Selv om vi i utgangspunktet ser for oss at informasjonsgrunnlaget hentes fra KVARTS-kjøringene, kan man også tenke seg andre informasjonskanaler. NORA-modellen og KAJA-data (se kapittel 5) kunne også vurderes. Eventuelt kan parametre hentes direkte fra KVARTS' inndata. Det er svært enkelt å justere parametre år for år i SNOW, for eksempel redusere substitusjonselastisiteter for å sinke omstillingene. Utfordringen er å kvantifisere dem.

#### *Justere SNOWs kortsiktsberegninger ved hjelp av etterberegninger*

En annen *ad hoc*-metode er å bruke SNOW, men justere resultatene for adferdsendringer og utslippsendringer for de viktigste utslippskildene i de første årene, slik at utslippsresultatene bedre reflekterer realistiske tilpasningstreggheter. En viss andel av den langsiktige løsningen fra SNOW nås i første året, og så innfases endringene gradvis mot langtidsløsningen (*partial adjustment method*). Da trengs bare én parameter, som reflekterer innfasingsraten, per relasjon. KVARTS kan for eksempel gi indikasjoner på innfasingsratene, i form av hvor lang tid tar det før likevektsjusteringen i KVARTS noenlunde er gjennomført i de mest relevante markedene for utslipp.

Slik justering av atferds- og tilhørende utslippseffekter kan potensielt gjøres som etterberegninger i en nyutviklet modul. Sammen med endringen i (skygge)prisen på utslippene som beregnes i SNOW i den enkelte analyse, vil vi også kunne beregne gjennomføringskostnader (*abatement cost*) i de første årene, men samspillseffekter blir ikke med.

### 3. Klimapolitikk, utslipp og kostnader i makroøkonomiske modeller

#### 3.1. Typiske kortsiktsegenskaper ved makroøkonomiske modeller

Et tema som er viktig å besvare i mange klimapolitikk-analyser er hvor lang tid det tar fra man iverksetter ny virkemiddelbruk, til man kan forvente at tiltaket har klimaeffekter av betydning. Makroøkonomiske modeller er egnet til å fange opp kortsiktige effekter av endringer i økonomien, som for eksempel endring i klimapolitiske virkemidler. Til forskjell fra typiske CGE-modeller omtalt i kapittel 2.1., forutsetter man ikke *á priori* at alle markedene er i likevekt på ethvert tidspunkt. Ved hjelp av empiriske estimeringer tidfestes forløpet for responsene, derunder utslippsprofilen, totalkostnadene og andre konsekvenser. Det finnes mange forklaringer på hvorfor tilpasningene tar tid. Generelt og litt forenklet kan man si at det skyldes tregheter. I faglitteraturen snakkes det gjerne om *reelle* og *nominelle* rigiditeter som faktorer som bidrar til at økonomiene beveger seg tregt fra én likevekt til en annen.

Et eksempel på reelle rigiditeter kan være kostnader ved å justere kapitalbeholdningene fort, som fører til at bedriftene heller velger å strekke investeringsprosjektene ut i tid. Tilsvarende kan det være vanskelig å justere arbeidsstokken raskt. Det kan skyldes kostnader forbundet med oppsigelser og rekruttering. I husholdningene kan det være likviditetsmessige forhold som innebærer at de ikke fritt kan variere forbruket over tid til en gitt forventet inntektsstrøm. Bedriftene kan også tenkes å stå overfor imperfekte kapitalmarkeder og møte kredittrasjoningsmekanismer hvor kapitalkostnadene avhenger av bedriftenes finansielle posisjon. Det gir opphav til såkalte finansielle akseleratorer.

Eksempler på nominelle rigiditeter i økonomien som bidrar til at en økonomisk likevekt ikke oppnås på kort sikt, oppstår når priser ikke endrer seg så raskt som standard mikroøkonomisk teori tilsier. Når bedriftene skal justere sine priser i forhold til endrede kostnader eller etterspørselsforhold, kan de la være å prise inn hele endringen for eksempel av hensyn til kunderelasjoner. I arbeidsmarkedet kan arbeidere og bedrifter inngå avtaler om lønn og tidspunkt for lønnsforhandlinger som gjør at nominelle lønninger ikke justeres så ofte, men kanskje bare én gang i året eller enda sjeldnere.

Typisk for makroøkonomiske modeller for kortsiktige analyser er det at de også inneholder makroøkonomiske politikregler av ulike slag. I norsk sammenheng gjelder regler for sentralbankens rentesetting som sammen med valutakursmodeller står sentralt for å forstå utviklingen i nominelle forhold, slik som inflasjon i små åpne økonomier. Noen land har eksplisitte finanspolitiske handlingsregler som også kan være viktige for den makroøkonomiske utviklingen. I Norge har vi en slik regel som knytter strukturelt, oljekorrigert budsjettunderskudd til verdien av statens pensjonsfond i utlandet. Denne regelen preger utformingen av finanspolitikken, men er en regel som ikke gir noe enkelt diktat til politikerne i den årlige budsjettprosessen, men snarere en slags «krittstrek» man skjønnsmessig forholder seg til.

Slike politikregler er med på å bestemme effektene av endret politikk, som for eksempel økt CO<sub>2</sub>-avgift. Økt avgift vil øke nominelle priser og kostnader i økonomien. Med mindre provenyet fra dette brukes til å redusere andre avgifter, ev. øke produktsubsidier, vil konsumprisindeksen (KPI) øke. KPI justert for avgifter og energipriser (KPIJAE) vil ikke øke tilsvarende, men det er av betydning for den kortsiktige makroøkonomiske analyser hva man antar blir sentralbankens reaksjon på høyere KPI. Høyere KPI vil normalt ha effekter på valutakurser og gjennom denne kanalen vil prisene ytterligere bli påvirket. Da vil sentralbanken kunne endre pengepolitikken. Dette er en type problemstilling som er aktuell å analysere ved hjelp av en makroøkonomisk modell for kortsiktige analyser.

Det er viktig å understreke at institusjonelle forhold i en økonomi eller samfunn har en plass i alle makroøkonomiske modeller, enten de er makroøkonometriske-, DSGE- eller CGE-modeller. Mange likevektsmodeller er baserte på at markedene kjennetegnes av såkalt monopolistisk konkurranse hvor de enkelte foretak har en viss markedsrett i sin nisje.<sup>7</sup> Hvis enkelte markeder preges av institusjoner som ikke kan karakteriseres ved frikonkurranseforutsetningen verken på kort eller lang sikt, er det relevant å representere dette både i kort- og langsiktige makromodeller. Et annet eksempel er den norske lønnsdannelseinstitusjonen, som vi gjerne omtaler som frontfagsmodellen. Som det går frem av litteraturgjennomgangen i kapittel 2.2., har mange likevektsmodeller tatt institusjonelle forhold ved arbeidsmarkedet innover seg. SSBs DSGE-modell NORA har for eksempel modellert lønnsdannelsen inspirert av frontfagsmodellen.

Det er vanskelig å vite hvor store de nominelle og reelle treghetene er. Derfor brukes ofte statistiske eller økonometriske metoder for å kvantifisere rigiditetene, derav begrepet *makroøkonometriske modeller*. Statistiske kvantifiseringsmetoder brukes også for å tallfeste mange av sammenhengene i DSGE-modeller (derav S-en som forkorter *stochastic*). CGE- modeller som ikke har innarbeidet slike tregheter, er vanligvis i mindre grad basert på økonometriske studier i den empiriske utformingen av modellen. Man velger gjerne funksjonsformer hvor sentrale parametere lett kan anslås eller forutsettes slik at andre kan «kalibreres» til et bestemt basisår. Det er imidlertid fullt mulig å benytte økonometriske teknikker for å fastlegge parametere i CGE-modeller også. Når det ikke er den mest vanlige teknikken å bruke for å fastlegge parameterverdien, skyldes det at CGE-modeller som regel er mer detaljerte enn makromodeller mht. næringsstruktur, detaljer i virkemidler ol. Økonometriske studier er ressurskrevende, og å gjennomføre slike for store og omfattende modeller koster mye. Et rasjonale bak å basere seg mindre på historisk empiri er imidlertid at økonomiske sammenhenger langt fram i tid i mindre grad enn på kort sikt kan antas å likne historiske forhold. Dette gjelder særlig på samfunnsområder som er i rask endring, slik energi- og utslippsresponsen i økonomien kan sies å være. Særlig er dette resonnementet relevant hvis statistikken i liten grad fanger opp fenomen man vet noe om, men ennå ikke har observert. På den annen side er ideen med en makroøkonometrisk studie å fange opp en struktur som har beskrevet observasjoner over en lang periode. Strukturen innebærer valg av funksjonsform med tilhørende parametere, ikke bestemte verdier på sentrale variabler. Kalibrering til et relativt nytt observasjonsår er sårbar overfor tilfeldigheter og målefeil i det spesifikke året, mens metoder som bruker flere observasjoner vil dempe betydningen av tilfeldigheter.

Den relative betydning av estimering versus kalibrering må imidlertid ikke overdrives. I den makroøkonometriske modellen KVARTS er for eksempel viktige deler av modellen kalibrert til et basisår på samme måten som i SNOW. Det gjelder ikke minst det vi kaller kryssløpsstrukturen, hvor parametere er kalibrert basert på ett observasjonsår fra nasjonalregnskapet. Dette gjelder de fleste numeriske makroøkonomiske modeller. Når vi skiller mellom estimert vs. kalibrert tallfesting snakker vi derfor om hva som er mest vanlig praksis i ulike modelltradisjoner, ikke om et tydelig, prinsipielt skille.

### 3.2. Eksisterende makroøkonometriske modeller for analyser av klimapolitikk

Makroøkonometriske modeller er i liten grad benyttet i studier av klimapolitikk. Et fremtredende unntak er modellen E3ME, som driftes og utvikles av Cambridge Econometrics (E3ME Model manual, 2022). Den er en regionalisert global modell som brukes til klimaøkonomiske, men også andre økonomiske, problemstillinger. Modellen har 61 globale regioner, detaljerte sektorer og kan per i dag lage framskrivinger til 2050. Den er i stor grad økonometrisk tallfestet. Selv om den representerer hele verden, brukes den også ofte til nasjonale analyser, herunder i analyser av EU og

---

<sup>7</sup> SNOWs forgjenger MSG6 var en likevektsmodell med monopolistisk konkurranse.

medlemslandene. Modellen inkluderer arbeidsledighet og fordelingseffekter (husholdninger). Den økonomiske spesifiseringer tallfester så vel kortsiktige som langsiktige effekter.

Allerede på 1980-tallet tok Statistisk sentralbyrå i bruk den økonomiske makromodellen MODAG i klimapolitiske analyser for Norge. MODAG var en årsmodell, og CO<sub>2</sub>-utslipp og energiavgifter ble koplet til dens økonomiske aktiviteter. MODAG ble sist brukt sammen med utslippsmodulen som en etter-modell i Nasjonalbudsjettet for 2011. Da ble modellen brukt til å anslå omstillingskostnader ved å redusere utslipp i Norge fram mot 2020. I 2017 ble MODAG erstattet av den kvartalsvise modellen KVARTS, men utslippsmodulen ble ikke videreført. Imidlertid er Statistisk sentralbyrå i gang med tilpasninger av KVARTS-modellen for å igjen kunne belyse klimapolitiske problemstillinger – se boks 2 nedenfor.

### 3.3. Eksempler på hvordan KVARTS kan tilpasses analyser av utslipps- og kostnadseffekter av klimapolitikk

KVARTS er en makroøkonomisk kvartalsvis modell av norsk økonomi som innehar alle de kortsiktige egenskapene beskrevet i kapittel 3.1. Treghetene som er innebygd i KVARTS betyr at endringer i for eksempel politikkvirkemidler som avgifter, setter i gang tilpasninger som tar tid inntil ny langsiktig likevekt oppnås. Denne likevekten innebærer ikke nødvendigvis full markedsklarering; permanent kapasitets- og arbeidsledighet kan bestå og også endre likevektsnivå fra én langsiktig tilstand til en annen. I det følgende omtales endringer i modellen som kan være relevante for å bedre KVARTS' egenskaper til å håndtere effekter av klimapolitikk på utslipp og makroøkonomiske kostnader. Det er viktig å ha i mente at KVARTS primært skal være et redskap for makroøkonomiske framskrivninger, konjunktur- og politikkanalyser av norsk økonomi på kort og mellomlang sikt. De endringene vi omtaler nedenfor og de vurderingene som gjøres må ses på bakgrunn av at vi ikke må redusere modellens egnethet for disse formålene i særlig grad for å få en god modell for klimapolitiske analyser. Det å tilpasse en modell som KVARTS til andre formål enn dens hovedformål er kostnadskrevenende. Vesentlig økt størrelse på modellen, vil kreve både investeringer og løpende ressurser til oppdatering, re-estimering og annen drift. Det er derfor grenser for hvor store utvidelser som vil være hensiktsmessig å gjøre for å tilpasse den til klimaanalyser.

#### **Boks 2: Det pågående modellutviklingsprosjektet «KVARTS og det grønne skiftet».**

KVARTS er et verktøy egnet blant annet for kortsiktige makroøkonomiske analyser av aktuell politikk. På bakgrunn av betydningen klimaspørsmål etter hvert hat fått i den løpende makroøkonomiske politikken, pågår det i 2023 og 2024 et arbeid i Statistisk sentralbyrå med formål å kartlegge behovet for tilpasninger av KVARTS for analyser av endringer i klima- og energipolitikk og energimarkedsendringer. Prosjektet vil vurdere behovet for tilpasninger opp mot de andre formål som modellen skal ivareta, som makroøkonomiske prognoser, blant annet i forbindelse med nasjonalbudsjettet. Så langt i prosjektet er det knyttet utslippskoeffisienter for klimagasser til aktiviteter i KVARTS. Siden næringsstrukturen i KVARTS er basert på samme NACE-nomenklatur som i SNOW, men spesifisert på et grovere aggregeringsnivå, har det vært relativt enkelt å veie utslippskoeffisientene i SNOW til KVARTS' aggregeringsnivå. Kilden er utslippsregnskapet for 2018. Alle KVARTS' kvartaler er antatt å ha samme utslippskoeffisienter. Det er skilt mellom energiutslipp og prosessutslipp, og alle Kyoto-drivhusgassene er inkludert.<sup>8</sup> Videre pågår det et modellerings- og estimeringsarbeid for å skille mellom elbiler og fossile biler i konsumsystemet i KVARTS. Det er planer om å skille ut innenlands næringstransport som egen næring; den vil være et aggregat av transport på vei, bane, sjø og i luft.

Omtalen av potensielle tilpasninger av KVARTS tar først for seg mulige endringer i produksjonssiden av modellen. Deretter drøftes endringer i modellering av anvendelsen av nye energiformer, først og fremst i transport. Til slutt ser vi på hvordan indikatorer for kostnadene ved klimapolitikken kan

<sup>8</sup> CO<sub>2</sub> (karbondioksid), CH<sub>4</sub> (metan), N<sub>2</sub>O (lystgass) og de fluoriserte gassene SF<sub>6</sub>, HFK, PFK og NF<sub>3</sub>.

beregnes. Mulighetene som skisseres baserer seg i stor grad på erfaringer, løsninger og identifiserte utviklingsbehov i SNOW; vi mener det ikke er mye å hente fra andre lands makroøkonomiske modeller.

### **Mulige endringer i produksjon av elektrisitet, drivstoff og hydrogen**

I KVARTS skiller man i én og samme næring mellom produksjon av hovedvaren og eventuelle bivarer. I tillegg kan en næring bestå av flere produksjonsaktiviteter, der en eller flere av bivarene produseres. Petroleumsvirksomhet består for eksempel av tre aktiviteter: råolje og naturgass produseres i hver sin produksjonsaktivitet. I tillegg har næringen en aktivitet som fanger opp produksjon av andre varer og tjenester som skjer i petroleumsvirksomheten. Poenget med å skille mellom aktiviteter er å få frem at de produserer ulike varer (og tjenester), at markedsklareringer skjer på varenivå og at produksjonsstrukturen i noen grad kan variere mellom aktivitetene og ikke bare være som gjennomsnittet for hele næringen. Ikke minst er det slik mulig å rette ulik politikk mot de ulike aktivitetene.

Modellen har nå elektrisitet som næring og produkt. Modellen har videre raffinerte produkter som egen vare og en egen produksjonsaktivitet som produserer disse (drivstoff mv.). Aktiviteten inngår i næringen konsumvareindustri og er litt enkelt konstruert, siden SSB ikke har lov til å avsløre den egentlige strukturen til raffineriet på Mongstad, som er det eneste gjenværende raffineriet i Norge.

På produksjonssiden av norsk økonomi er det kanskje relevant med en noe mer detaljert utforming av tilbudet av ulike energiformer i KVARTS. Elektrisitet produseres på flere måter i dag (vannkraft, solkraft, vindkraft, kull), men i modellen er det bare én aktivitet som er aggregatet over alle kraftverk. Merk at i dagens (kvartalsvise) nasjonalregnskap, (K)NR, er Hywind-anlegget knyttet til oljeproduksjon og plassert i næringen oljeutvinning (næring 66), ikke i kraftsektoren. Denne elektrisitetsproduksjon må derfor inn som en bivare i petroleumsvirksomheten. Det vil være en enkel justering i modellen, da næringen har mange bivarer allerede. Solcelleparker er også tatt i bruk i Norge. NR og KNR har ikke en oppsplitting av elektrisitet produsert på ulike måter, men informasjon fra elektrisitetsstatistikken kan brukes hvis man ønsker å gå i retning av en finere inndeling. Det kan også være grunn til å skille mellom produksjon og distribusjon. Data for dette finnes i KNR.

Per i dag er det verken gasskraft eller atomkraftverk i norsk kraftproduksjon. Kullkraftverket på Svalbard ble stengt i høst. Naturgass kan imidlertid brukes til produksjon av alternativer til oljeprodukter og elektrisitet, slik som hydrogen og ammoniakk, som kan videreutvikles fra hydrogen som en energibærer. Noen bedrifter for produksjon av hydrogen er etablert, og flere er i støpeskjeen – både basert på naturgass med karbonfangst og lagring (blått) og fornybar kraft (grønt). Produksjon av hydrogen mv. kan inngå i konsumvareindustrien; et alternativ er å skille ut en egen produksjonsaktivitet lagt opp omtrent som for raffinering av oljeprodukter i dagens KVARTS. Vi innfører da en ny vare i konsumvareindustrien. Bruken vil komme i flere typer transport- og industrinæringer.

Anslag for kapitalkostnader og sysselsetting i produksjon av hydrogen mv. finnes og kan benyttes for å allokere noe sysselsetting og kapital til produksjonen. Produksjon av hydrogen og ammoniakk inngår i NR allerede så det finnes noe data her. Viktigst for modellen er det nok å få fram produksjon og bruk av en energiform som ikke slipper ut CO<sub>2</sub>. Det vil innebære at prosessutslipp utgjør en mindre del av samlet produksjon i konsumvareindustrien.

Karbonfangst og lagring (CCS) knyttet til sementproduksjonen i Brevik og avfallsanlegget på Klemetsrud kan også være aktuelt å ta hensyn til i analyser av klimapolitikk. Verdikjedene er planlagt å komme på plass i hhv. 2024 og 2026. Fra begge anleggene skal det fraktes flytende CO<sub>2</sub> med spesialskip til Øygarden og lagres under Nordsjøen. I Brevik er anlegget i konsumvareindustri mens

Klemetsrud er i avfallsnæringen og havner som del av Annen privat tjenesteyting i KVARTS. Merk at anlegget i Øygarden, som skal sende flytende CO<sub>2</sub> til Nordsjøen, også er avfallshåndtering og havner i annen privat tjenesteyting.

For CCS egner såkalt end-of-pipe-modellering seg godt. Rensingen kan modelleres ved å endogenisere utslippskoeffisientene – enten de er lagt på prosesser eller på energibruk som er knyttet spesifikt til noen typer kapital. Kostnadene ved rensingen kan bestå av investerings- og driftskomponenter som må skilles ut fra næringenes produksjonskostnader og endogeniseres. Se Fæhn og Isaksen (2016) som eksempel på en slik modellering. En langt enklere løsning kan være å justere CO<sub>2</sub>-utslippene eksogent og ikke ha ambisjon om å skille ut investeringene og driftskostnadene på næringer i verdikjeden eller å endogenisere nettoutslippene.

### **Mulige endringer i anvendelsen av energivarer**

Anvendelsen av nye energivarer påvirker modelleringen av faktorbruk, kostnader og priser. I alle næringer hvor vi i dag har et energiaggregat (elektrisitet og raffinerte produkter som substituerbare faktorer), vil flere energialternativer dukke opp. Det kan være ønskelig å reflektere dette i KVARTS.

Mye av reduksjonen i klimagassutslipp har hittil skjedd og vil fortsatt foregå i transportsektorene. I dagens KVARTS er Innenlands samferdsel slått sammen med Annen privat tjenesteyting. Siden endringer i avgifts- og subsidiepolitikk er særlig utbredt i samferdselssektoren, er det ønskelig å skille ut innenlands samferdsel for å få tydeliggjort skattegrunnlagene. Kapitalstrukturen i transport avviker også mye fra privat tjenesteyting ellers. Dessuten vil det være hensiktsmessig å ha en separat konsumaktivitet knyttet til transport. Av hensyn til provenyanslag og konsumfordeling ellers, pågår det allerede en jobb med å skille elbil fra andre biler. Det har man allerede i SNOW. Vridning i etterspørselen etter energi i husholdningene og i næringene blir ikke godt modellert uten at de reelle substitusjonsflatene er forsøkt spesifisert.

I tillegg til elektrisitet er biodrivstoff og hydrogen mv. aktuelle energiformer i transport. I Norge finnes det ca. 300 biler som går på hydrogen, men dette vil antakelig øke framover. Innafor tungtransport, busstrafikk og sjøtransport vil hydrogen være aktuelt og kan bli betydelig. Sjøtransport er også aktuell for bruk av ammoniakk.

Batterifabrikene som er under etablering, havner i næringen Verkstedindustri i KVARTS. Næringen produserer bildeler allerede. Investeringene framover kommer til å bli store sammenliknet med historiske tall. Vi foreslår ingen spesiell behandling her.

I KVARTS bestemmes energibruken i næringene og i husholdningene ved et sett av CES-aggregater mellom drivstoff og elektrisitet. Dette aggregatet inngår så videre i et substitusjonsforhold til CES-aggregatet av kapital og arbeidskraft. Endelig inngår sistnevnte aggregat i et CES-aggregat med annen vareinnsats i næringene. Dette opplegget er ganske parallelt til hvordan SNOW er spesifisert. I konsumsystemet i KVARTS inngår «el og olje» som et CES-aggregat på linje med andre konsumgrupper i et dynamisk AID's system. Modelleringen av konsumet i KVARTS er ganske forskjellig fra SNOW, både fordi husholdningenes spareatferd følger av en makrokonsumfunksjon og fordi substitusjonsmuligheten i fordelingsystemet er mer generelt enn i SNOW. I tillegg kommer den dynamiske spesifikasjonen. Systemet må tilpasses en eventuell utvidelse av antall konsumgrupper.

For næringene kan et forslag være å lage et nytt CES-aggregat på «laveste» nivå mellom dagens drivstoff og nye former, som hydrogen og biobrensler. Dette nye aggregatet inngår så sammen med elektrisitet på neste nivå. Vi trenger data for prisene på de nye energiformene. I konsumfordelingsystemet kan vi gjøre det på samme måte. Vi må da skaffe eller konstruere konsumprisindekser for bruk av hydrogen og biodrivstoff i husholdningene. En slik utvidelse øker modellens størrelse med om lag 25 likninger.

Det er ikke testet systematisk for faktorskjev teknisk framgang i KVARTS, men det er åpnet for faktorskjev teknisk framgang i aggregatet av kapital og arbeidskraft. Det innebærer at det for eksempel ikke er enkelt å håndtere energieffektivisering. Siden ny elektronikk som regel er mye mer energieffektiv enn tidligere, bør antakeligvis en slik mulighet introduseres i modellen. Om vi ikke klarer å re-estimere systematisk med dette på kort sikt, kan man likevel introdusere muligheten for en slik endring i CES-aggregatene..

### **Indikatorer for samfunnsøkonomiske kostnader**

Endringer i BNP og konsum brukes gjerne som indikasjon på makroøkonomiske konsekvenser av politikkendringer i KVARTS-analyser. Effektivitetstap vil reflekteres som fall, mens økt utnyttelse av ressursene vil bidra til økning i BNP og konsum. Ifølge økonomisk teori vil (netto-)kostnadene av en politikkendring kunne måles som fall i summen av alle produsentoverskudd, konsumentoverskudd og offentlige overskudd. Konsumfall eller økning ligger nærmest et slikt mål for samfunnsøkonomiske kostnader eller gevinster. Mye av endringen i produsentoverskuddet og konsumentoverskuddet vil tilflytte husholdningene i KVARTS og reflekteres som endring i det private konsumet. Ved å legge til ev. endring i det offentliges konsum, som også beregnes i KVARTS, nærmer vi oss ytterligere et mål for den periodiske nytteendringen for økonomien som helhet.

Nytteindikatoren bør imidlertid også ta inn over seg endring i (selvvalgt) fritid, og det må gjøres en vurdering av hvordan verdien av fritid skal beregnes i KVARTS, som tillater arbeidsledighet. Gjenværende sparing i siste simuleringsår må også inngå i kalkylen, da den vil generere nytte i de påfølgende årene. Siden (netto)kostnadene ved å stramme inn klimapolitikken gjerne vil materialiseres over tid, vil man måtte veie sammen de årlige anslagene på egnet vis for å få et uttrykk for velferdsendringene av å innføre politikken. I samfunnsøkonomiske analyser er det vanlig å neddiskontere dem med en kalkulasjonsrente. Alle disse ingrediensene vil falle ut av KVARTS og kan kombineres til et tilnærmet mål på samfunnsøkonomiske kostnader.

## 4. Oppsummering og noen veier videre

### 4.1. Ønskede egenskaper ved makromodeller for studier av klimapolitikk på kort sikt

Basert på drøftingene over, kan vi identifisere en rekke egenskaper som er ønskelige i modeller som skal analysere effekter på klimagassutslipp, kostnader og makroøkonomiske konsekvenser av klimapolitikk på kort sikt.

#### a) Utslippskoeffisienter

Et minstekrav er at modellen inneholder utslipp knyttet til økonomiske aktiviteter på norsk territorium, dvs. produksjon, innsats av primærfaktorer og varer samt konsum. For mange typer analyser kan det være tilstrekkelig å gjøre en etterberegning av utslippene fremfor å innlemme utslippene og utslippskoeffisientene i modellen. Simulerte atferdsendringer av klimapolitiske endringer kombineres da med relevante utslippskoeffisienter i en etter-modell som beregner og summerer utslippseffektene.

Det er ønskelig at alle gassene definert som drivhusgasser i Parisavtalen er modellert. Vanligvis er det mest relevant å regne ikke-CO<sub>2</sub>-gasser om til CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, med oppvarmingspotensialer som definert i det internasjonale avtaleverket. Et minstekrav er at CO<sub>2</sub>-utslippene er representert. En viktig distinksjon er den mellom energiutslipp og prosessutslipp. Energiutslipp vil gå ned i den grad forbrenningsprosesser, først og fremst av fossile energivarer basert på olje, kull og gass, reduseres. Prosessutslipp er knyttet til selve produksjonsprosessen og kan bare reduseres ved å redusere produksjonen eller ved å installere såkalte «end-of-the-pipe»-rensemetoder. Én slik metode er karbonfangst og -lagring.

I tillegg til energi- og prosessutslipp påvirkes klima av arealbruk, arealbruksendringer og skogbruk (LULUCF – *Land Use, Land Use Change and Forestry*) gjennom å påvirke utslipp og opptak av klimagasser. For mange analyser vil det være ønskelig å ha LULUCF-sektoren representert og se den i sammenheng med øvrige klimagasskilder, både pga. dens bidrag til nettoutslipp og fordi den kan påvirkes av andre utslippsreduserende tiltak/atferdsresponses.

Det vil også være en fordel ved modellen om andre, forurensende utslipp til luft er knyttet til modellens aktiviteter. Da kan ev. samspill mellom klimahensyn og andre miljøhensyn studeres.

#### b) Detaljering av utslippskilder og atferdsresponses

For å fange opp de viktige direkte atferdsendringene som følge av klimapolitikk, må de modelleres på detaljert nok nivå. Substitusjon mellom typer energivarer er sentralt å fange opp. Det samme er substitusjon mellom energi og andre innsatsfaktorer. Blant annet vil ofte investering være en betydelig respons for mange utslippsreduserende tiltak. Iblant legges det detaljert informasjon om enkeltteknologiers faktorbruk inn i modellene. En annen løsning er å løfte blikket og modellere alle mulige tiltak i samme sektor som kontinuerlige marginalkostnadskurver. Da blir utslippene betraktet som en innsatsfaktor som kan substitueres med andre innsatsfaktorer. Denne funksjonsformen brukes for eksempel ofte for å representere end-of-pipe-teknologier som CCS. Endelig kan man eksplisitt modellere to eller flere substituerbare teknologier med differensierte kostnader og utslippsintensiteter i én og samme næring. Slik er ofte utvalget av tilgjengelige teknologier innen transporttjenester og kraftproduksjon representert.

Endogen utvikling av lavutslippsteknologier kan også være respons på virkemidler. Noen norske satsingsområder kan bidra til teknologiske avansementer, kostnadsreduksjoner og nye eksportmuligheter. CCS og havvind er eksempler som kan ha slike potensial i Norge. En god representasjon av slike forskningsrelaterte prosesser krever dynamisk modellering og modellering av eksternaliteter som kunnskapsspillovers (Coe & Helpman, 1995; Keller, 2004). Enklere løsninger



kan være å inkludere læringskurver som avhenger av størrelsen på norsk installert kapasitet i henhold til en estimert læringselastisitet. Ofte benyttes læringselastisiteter fra tidligere teknologier som har vært gjennom modning, for eksempel landvindmøller.

Når det gjelder kvantifisering, er nasjonalregnskapet på fineste nivå en viktig kilde til teknologiinformasjon. Estimerte elastisiteter kan være vanskeligere å fremskaffe, og man må bruke prosjektanalyser og ekspertinformasjon snarere enn økonometri. Dersom mangelen på estimater skyldes at noen av teknologiene er umodne og i lite bruk, er det mindre kritisk for kortsikts- enn langsiktsanalyser, da det kan være rimelig å forvente at slike teknologier ikke vil prege utslipp eller kostnader de nærmeste årene.

Innarbeiding av endringer i nettoopptak i LULUCF-sektoren vil kreve at modellen kvantifiserer innsats av landarealer og utslipp og opptak i ulike naturtyper.

### c) Virkemidler

Prisvirkemidler som avgifter og subsidier er vanlige klimapolitiske virkemidler og også sentrale i den norske klimapolitikken. Dersom aktuelle atferdsrespons er modellert på tilfredsstillende aggregeringsnivå (se b)), vil det være rett frem å knytte prisvirkemidler til dem. Om virkemidlene allerede finnes, er de i nasjonalregnskapet, og det kreves kun å identifisere dem og ev. skille dem ut fra aggregater for nettoavgifter. Andre virkemidler som kan modelleres er kvantumsreguleringer av utslipp eller aktiviteter (som biodrivstoffinnblanding, oljefyrforbud) og pålegg om beste (reneste) teknologi.

Mange subsidier har som formål å bidra til utvikling av nye teknologier. Ofte er det da ikke snakk om spesifikke teknologier, men FoU-prosesser som kan føre til hittil ukjente teknologier. Det kan også gjelde læringseffekter. For å fange opp slike effekter må teknologiutvikling være modellert som en atferdsrespons; se b). For kortsiktsanalyser kan det være mindre alvorlig å se bort fra effekter på teknologiutvikling, da dette typisk er trege prosesser.

LULUCF-kildene er gjenstand for egne virkemidler, målsettinger og regler og bør ses i sammenheng med øvrige klimagasskilder.

### d) Omstillings/overgangseffekter

Mikroøkonomisk teori forutsier hvordan markedsaktører reagerer på virkemiddelbruken, men sier lite om tidsforløpet. Kapittel 2 og 3 har gjennomgått flere viktige kilder til tregheter i tilpasningene, så vel nominelle som reelle. Reelle rigiditeter skyldes gjerne kostnader eller hindringer. Slike kan modelleres i alle makromodeller, selv om CGE-modeller normalt ser bort fra det. Nominelle rigiditeter vil ikke kunne studeres vha. CGE-modeller, da de bare bestemmer relative priser. Både CGE- og makroøkonometriske modeller fanger opp en rekke indirekte virkninger, men i modeller med nominelle effekter vil flere typer indirekte effekter finne sted. Det skyldes at det på kort sikt skjer reaksjoner på nominelle kostnadsendringer som for eksempel en økt CO<sub>2</sub>-avgift. Som beskrevet i kapittel 3, kan dette avstedkomme endogene politikkenringer som følge av finans- og pengepolitiske handlingsregler. Det samme kan eventuelle endringer i andre budsjettposter som muliggjøres av økt proveny fra avgiften. Slike indirekte kortsiktige effekter kan være forsterkende eller motvirkende.

Hvis aktørene står overfor en politikkenring og skal tilpasse seg, vil de kunne vurdere om politikken er endret permanent eller bare midlertidig. Skal du kjøpe en bil og lurer på om du skal kjøpe el-bil, dieselbil, bensinbil, hybridbil eller hydrogenbil, vil spørsmålet om troverdig politikk ha stor betydning. Driftskostnadene vil ikke bare avhenge av framtidig avgiftspolitik, men også verdien av bilen i annenhåndsmarkeder vil ha betydning. I tillegg vil infrastruktur som bygges ut for å betjene ulike transporttyper ha betydning, osv.

### e) Kostnadsindikatorer

Samfunnsøkonomiske kostnader av klimapolitikk kan måles ved fallet i såkalt *ekvivalent variasjon* (*Equivalent Variation*), definert som det inntektsfallet som ville gitt samme nyttetap som klimapolitikkendringen, se for eksempel Fæhn mfl. (2020a). Hvor nært en kan komme et slikt mål ved hjelp av resultater fra makromodellkjøringer avhenger av modellform. I de fleste CGE-modeller kan nyttetapet hentes nokså direkte i form av fallet i realverdien av den representative aktørens nytte. Nyttene kommer fra gode husholdningen bruker. Det vanligste er å inkludere to typer gode: forbrugsgode og fritid. Nytteeffektene over tid må neddiskonteres og summeres for å få et mål på totalt velferdstap.

Et tilsvarende mål på velferdstapet konstruert på bakgrunn av makroøkonometriske analyseresultater vil sannsynligvis bli mindre presist enn i standard CGE-modeller. Det skyldes blant annet at likningene estimeres hver for seg og dermed sannsynligvis ikke ivaretar samme konsistens på tvers av økonomiske sektorer som i en mer rendyrket mikroøkonomisk fundert modell. Dessuten vil det måtte tas med i velferdsmålet hva som skjer med offentlig konsum. Også eventuell sparing i siste simuleringsår må med i kalkylen; den representerer forbruksmuligheter i påfølgende år. Siden makroøkonometriske modeller tillater ubenyttede ressurser, vil effektene på offentlig og privat konsum ofte være positive. Tidsprofilen på gevinster og kostnader er avhengig av hvordan man har tatt hensyn til tregheter og omstillingskostnader i d).

De totale samfunnsøkonomiske kostnadene kan i prinsippet dekomponeres. Vanlige komponenter er de direkte gjennomføringskostnadene, klimapolitikkenes effektivitetseffekter i samspill med allerede modellerte priskiler i økonomien (eksisterende offentlige virkemidler som skatter, avgifter og andre reguleringer/støtte og eventuelle markedsimperfeksjoner) samt bytteforholdsgevinster (endringer i eksport- og importpriser). I studier av innenlandske politikkenninger i små, åpne økonomier som den norske, er sistnevnte vanligvis små og neglisjerbare. Endringer i verdensmarkedene – for eksempel olje- og gasspris-endringer som følge av klimapolitikk hos våre handelspartnere – vil imidlertid kunne gi betydelige bytteforholdseffekter. Dersom provenyet brukes til å endre andre vridende offentlige virkemidler, vil effektene av selve klimapolitikken og av provenybruken kunne dekomponeres. Se Fæhn mfl. (2020a) for et eksempel på dekomponering.

Mål på samfunnets total kostnader tar ikke innover seg fordelingseffekter. Endringer i lønns- og kapitalavkastningsandeler kan identifiseres i modellberegninger. Man kan også antyde fordelingseffekter mellom næringer og mellom regioner spesifisert i modellene. I landmodeller mangler den regionale dimensjonen, men noe om regional fordeling kan leses ut av endringer i næringsmønstret. Fordelingseffekter mellom husholdninger eller lønsmottakere vil kreve oppsplitting av husholdningssektoren etter inntekt, utdanning, yrke el.

### f) Konsistens på kort og lang sikt

Det vil være ønskelig å ha et metodeapparat som kan anslå så vel kortsiktige som langsiktige effekter på utslipp og økonomi av endringer i klimapolitikk. Det vil kunne oppnås om man innarbeider relevant kortsiktig dynamikk i en CGE-modell som i utgangspunktet er konstruert for analyse av langsiktlikevekter. Det vil også kunne oppnås om man innarbeider eller etter-beregner utslippsendringer i en makroøkonometrisk eller DSGE-modell som innehar likevektsjusteringsmekanismer over tid. Dette innebærer at kortsiktig dynamikk vil uttømmes over en viss tid, og deretter gjelder pålagte likevektsegenskaper. Dermed vil kortsiktige og langsiktige effekter bli beregnet konsistent i én og samme modell.

Det vil være utfordrende å oppnå rimelig konsistens dersom man bruker to ulike apparater (metoder/modeller) til å beregne hhv. kortsiktige og langsiktige resultater. Kopling og iterering av modellene vil kunne forbedre konsistensen, men i den grad modellene har ulike aggregeringsnivåer, ulike basisår og ulike økonomiske mekanismer må det vesentlig innsats til for å sikre rimelig konsistens. Det er også viktig at referansebanene for de to analysene er logisk konsistente.

### **g) Håndterbarhet for alle modellens formål**

Makroøkonomiske modeller brukes til en lang rekke formål. Deres universelle bruksområder er blant deres fortrinn, men kan også medføre at brukerne vil så mye med modellapparatet at det blir komplekst, ugjennomtrengelig, tungt å oppdatere og tregt å simulere. Ikke minst skyldes det at modellen jevnlig må re-estimeres og re-kalibreres, og revideringer innebærer ofte mange nye/endrede likninger. Dette må veies opp mot gevinstene ved å tilpasse modellene til nye formål som aktualiseres av nye økonomiske utfordringer eller framskritt i forskningen. Behovet for å analysere kortsiktige effekter av klimapolitikk på utslipp og kostnader er blitt stadig mer relevant.

## **4.2. Oppsummering av SNOWs og KVARTS' egenskaper og potensial**

Her oppsummeres hvordan SNOW og KVARTS kan sies å oppfylle egenskapene i listen a) - g) i forrige delkapittel, både slik modellene fremstår i dag og med de potensialer de har.

### **a) Utslippskoeffisienter**

I KVARTS og SNOW er per i dag de relevante utslippene av klimagasser inne og splittet i prosess- og energiutslipp. KVARTS må forutsette noe om kvartalsvis fordeling, og det er valgt å se bort fra sesongsvingninger. SNOW har også en del lokalt og regionalt forurensende gasser. KVARTS kan tilpasses på samme måte om ønskelig. Ingen av modellene har LULUCF-utslipp eller -opptak, og det er ikke planer om dette da det vil være svært kostnadskrevende. Arbeidet med øko-systemregnskap vil bidra til at det over tid utvikles data over flere naturressurser og økosystemtjenester, derunder ulike former for arealbruk. Da kan det bli aktuelt å vurdere å utvide modellene.

### **b) Detaljering av utslippskilder og atferdsrespons**

SNOW har per i dag en detaljeringsgrad som er bedre tilpasset klimapolitiske analyser enn KVARTS. Det betyr for det første at den er langt mer disaggregert mht. næringer, innsatsfaktorer, konsumaktiviteter og politikkvirkemidler. Blant annet er kommersiell transport delt i flere næringer (landtransport, sjøtransport og lufttransport) og har flere teknologier og energiformer spesifisert. Egentransporten i husholdningssektoren og i kommersiell landtransport er blitt utbygd de seneste årene for å representere nye kjøretøyteknologier og substitusjonsmuligheter. I sjøtransport blir også tjenestene mindre utslippsintensive som respons på klimavirkemidler og andre insentiver. KVARTS er i ferd med å modellere elbil-etterspørsel i husholdninger.

I begge modellene vil det foregå videreutvikling med tanke på klimaanalyser de neste par årene. SNOW er mer disaggregert enn KVARTS, og det vil den fortsette å være. Ambisjonene går i litt ulike retninger, noe som kan være rasjonelt i den grad vi kan sikre kunnskapsutveksling om tilrettelegging for klimaanalyser på tvers. For KVARTS er ambisjonen å representere noen nye produksjonsnæringer, varer og teknologier som ikke ennå er av stor makroøkonomisk betydning, men som ventes å bli vesentlige mot 2050, derunder hydrogen og CCS.

SNOW-utviklingen hittil har særlig fokusert på å detaljere ikke-kvotepliktig sektor. Utover transport står arbeid med avfallssektoren for tur. Bygg og anlegg kan være ytterligere en kandidat. Energieffektiviseringsteknologier for oppvarming i boliger er endogenisert i SNOW basert på teknologiinformasjon fra energisystemmodellen TIMES (Bye mfl., 2018). Det er også blitt eksperimentert med å kople og iterere eksogen informasjon om kjente, potensielle teknologier med resultater fra SNOW og slik ta hensyn til virkningene på utslipps- og gjennomføringskostnader i etterberegninger (Fæhn mfl., 2020a). I SSBs tidligere CGE-modell MSG-TECH var overgang til mer klimavennlige teknologier endogenisert for petroleumsindustrien og tungindustrien, i tillegg til transport. Modulene kan eventuelt oppdateres og legges inn i SNOW.

Ingen av modellene er p.t. designet for studier av endogen teknologiutvikling.<sup>9</sup> For teknologiomstillingene som modelleres antas det implisitt at kapitalen kan importeres fra utlandet og at teknologiutviklingen dermed er eksogen og reflekteres i importprisene. Dette kan for mange næringer være en rimelig antakelse, i og med at små økonomier ikke kan dra utviklingen på mange områder av gangen. Det utelukker ikke noen satsingsområder der teknologiutviklingen kan være endogen i Norge. CCS og havvind er eksempler som kan ha slike potensial i Norge. Både i KVARTS og SNOW kan det være aktuelt å modellere for eksempel læringskurver i CCS. Tilgang på relevant empiri må undersøkes både ved gjennomgang av erfaringer i utlandet og av eksisterende norske utredninger.

### c) Virkemidler

SNOW er allerede nokså detaljert når det gjelder virkemidler og kan belyse effekter av mange typer virkemidler, som avgifter, støtteordninger, pålegg om beste (reneste) teknologi og kvantumsreguleringer av utslipp eller aktiviteter (eksempelvis biodrivstoffinnblanding, oljefyrforbud); se eksempler i Bye mfl., 2021.

For KVARTS er ambisjonen å kunne studere finanspolitiske virkemidler som har effekter på energibruk og utslipp. Avgiftssystemet for energi, utslipp og transport er særlig aktuelt. En del avgifter er spesifisert eksplisitt i modellen, andre inngår mer implisitt.

Prisvirkemidler som avgifter og subsidier er vanlige klimapolitiske virkemidler også i norsk sammenheng. Dersom aktuelle atferdsresponser er modellert på tilfredsstillende aggregeringsnivå (se b)), vil det være rett frem å knytte prisvirkemidler til dem. Om virkemidlene allerede finnes, er de i nasjonalregnskapet og må identifiseres og skilles ut fra mer aggregerte nettoavgifter. Andre virkemidler som kan modelleres er kvantumsreguleringer av utslipp eller aktiviteter (som biodrivstoffinnblanding, oljefyrforbud) og pålegg om beste (reneste) teknologi.

Siden KVARTS- og SNOW-modellene er rekursivt-dynamiske og dermed lite egnet for modellering av endogene FOU-prosesser, vil subsidier som har som formål å stimulere FOU ikke få frem kostnadsreducerende virkninger i SNOW eller KVARTS. Det er kanskje ikke så stor ulempe i et kort tidsperspektiv. Læringskurver kan ev. være en løsning; Subsidier til for eksempel CCS-installering eller -tjenester vil stimulere disse aktivitetene som igjen vil stimulere læring og kostnadsfall.

Virkemidler rettet mot LULUCF-kildene bør ideelt sett ses i sammenheng med virkemiddelbruken overfor øvrige klimagasskilder (energi og produksjonsprosesser). Dette kan kun gjøres på *ad-hoc* basis i KVARTS og SNOW, og fremgangsmåter for dette er ikke testet ut i SSB.

### d) Omstillings-/overgangseffekter

KVARTS har tatt innover seg de viktigste rigiditetene, institusjonelle rammene og likevektsjusteringsmekanismene i norsk økonomi på sitt grove aggregeringsnivå. Den vil slik sett være godt egnet til å studere omstillings-/overgangseffekter av virkemiddelendringer på dette nivået. Nasjonalregnskapsdataene omfatter mange avgiftsarter, og disse kan i prinsippet skilles ut i modellene. Når det gjelder klima- og energirelaterte avgifter er de i dag mer oppdelt i SNOW enn i KVARTS, med egne arter for CO<sub>2</sub>-avgift, avgift på andre klimagasser, kvotepris, engangsavgift på motorvogner, veibruksavgift, elektrisitetsavgift og ressursavgifter. Detaljeringen kan også økes i KVARTS.

Reelle rigiditeter kan modelleres i SNOW. Basert på andre modellprosjekter og tidligere egne erfaringer i SSB, anser vi det som mulig å implementere tregheter i lønnsdannelsen i makro basert på modellering og empiriske estimater fra KVARTS. Det ser gjennomførbart ut og vil antakeligvis

---

<sup>9</sup> SSB har også utviklet modeller og analyser av endogen teknologiutvikling (Bye mfl., 2009; Heggedal og Jakobsen, 2011; Brasch mfl., 2021).

påvirke kortsiktsresultatene. Dersom man ønsker å se på mismatch og geografisk immobilitet på kort sikt, er dette også mulig å modellere. Det vil imidlertid være utfordrende å modellere en gradvis tilpasning til ny likevekt på lengre sikt, hvor alle igjen er sysselsatt (dvs. midlertidig ledighet). Det kan bety at man må operere med to ulike modellvarianter, én med kortsiktsløsning uten mobilitet og én med likevektsløsning med full mobilitet, men det må utredes nærmere.

Reelle rigiditeter i kapitalmarkedet kan også utvikles videre i SNOW. Blant de mange modellvarianter som er blitt brukt i CGE-modeller internasjonalt, ligger det bare to typer slike inne i dagens SNOW: En form for sektorspesifikk kapital finnes i typisk naturbaserte næringer. Det bidrar til å opprettholde aktiviteten i næringene, da det er eneste måten å utnytte naturkapitalen på. Videre er årgangs- og teknologi-modellering av kjøretøy brukt. Det innebærer at man ikke uten videre kan bytte ut relativt nye årganger med en helt ny; først når kapitalen er helt depresiert, vrakes den og vil bli erstattet med en av nyeste årgang. SNOW har potensial til å velge slike løsninger også for flere næringer. Det må imidlertid utredes nærmere hvor en slik modell-løsning er adekvat og om data er tilgjengelig. Modell med tilpasningskostnader er en tredje mulighet. Her er det kvantitative kunnskapsgrunnlaget enda mer usikkert når det gjelder norske næringer, og det må eventuelt utredes nærmere.

Det kan nevnes at dersom løsninger er benyttet i andre CGE-modeller, og særlig hvis de er benyttet i modeller bygget på samme standardiserte programvare som SNOW (GAMS-MPSGE), kan de regnes som tilgjengelige. GAMS og MPSGE brukes av de fleste CGE-miljøer i dag. Flere nettsider og fora deler modelltekniske tips og løsninger fritt tilgjengelig. Kvantifisering for norske forhold, derunder tidsprofil, vil likevel være ressurskrevende.

Nominelle rigiditeter vil ikke vil kunne studeres vha. CGE-modeller, fordi de bestemmer relative og ikke nominelle priser. Både CGE- og makroøkonometriske modeller fanger opp en rekke indirekte virkninger, men i modeller med nominelle effekter (som KVARTS) vil flere typer indirekte effekter finne sted. Det skyldes at det på kort sikt skjer reaksjoner på nominelle kostnadsendringer som for eksempel en økt CO<sub>2</sub>-avgift. Som beskrevet i kapittel 3, kan dette avstedkomme endogene politikkenninger som følge av finans- og pengepolitiske handlingsregler. Det samme kan eventuelle endringer i andre budsjettposter som muliggjøres av økt proveny fra avgiften. Slike indirekte kortsiktige effekter kan være forsterkende eller motvirkende.

Hverken SNOW eller KVARTS er spesielt godt egnet til å fange opp forventningsmekanismer. De er begge rekursivt dynamiske, som betyr at aktørene ikke endrer atferd som følge av politikkenninger de tror vil komme i senere perioder. KVARTS har mer korttidsdynamikk enn SNOW, men bare i den forstand at aktørene responderer på politikkenninger som har vært i tidligere perioder. Det finnes en intertemporal versjon med perfekte forventninger av SNOW, men modellen er mer aggregert og ikke så detaljert mht. utslipp mm.

Begge modeller fanger opp en rekke indirekte virkninger. KVARTS er i stand til å analysere indirekte virkninger som følge av endringer i nominelle forhold. Som nevnt kan dette avstedkomme politikkenninger som følge av politikkegler.

### **e) Kostnadsindikatorer**

I SNOW representeres de samfunnsøkonomiske kostnadene ved konsumentens nytte, som så kan neddiskonteres over tid. For å beregne et neddiskontert velferds mål trengs simuleringer over en lang tidshorison (til neddiskonterte bidrag blir så små at de kan ignoreres). I KVARTS-analyser indikeres makroøkonomiske konsekvenser av politikkinngrep i økonomien gjerne ved endringer i størrelser som BNP og konsum. Effektivitetstap vil reflekteres som fall, mens økt utnyttelse av ressursene vil bidra til økning i BNP og konsum. For å få et mer presist mål på samfunnsøkonomiske kostnader kan en konstruere et neddiskontert mål basert på konsum og fritid som en proxy på

velferd. Se kapittel 3.3 for mer detaljer. Det er en større jobb, om mulig, å bedømme hvor treffsikkert et slikt mål vil være.

Gjennomføringskostnader av tiltakene kan tilnærmes basert på marginalkostnader og utslippsreduksjoner så vel i KVARTS som i SNOW. Siden det kun er én representativ aktør i begge modellene, får ingen av modellene frem fordelingsvirkninger, annet enn endringer i ressursfordelingen mellom næringer. Det skal lages en heterogen husholdningsmodul for SNOW i et nytt NFR-prosjekt.

#### **f) Konsistens på kort og lang sikt.**

KVARTS har kort- og langsiktige responser i markedene som er representert i modellen, slik at resultatene over tid blir konsistente. I SNOW er det i dag ikke mange tregheter, men som beskrevet i kapittel 2.3, er det mulig å legge inn flere endogene mekanismer. Hvilke og hvordan må utredes nærmere. Hva som er gode valg vil avhenge av karakteristika ved norsk økonomi, hvor utslippsvirkningene vil være sterkest, hva som finnes av fritt tilgjengelige maler, programmer, data og erfaringer i de internasjonale forskerforaene og tilgang på relevante norske data. Viktige kilder å undersøke vil være modellene med tregheter i SSB og eventuelt i andre norske modellmiljøer.

Det vil også være mulig å ekstrahere informasjon fra for eksempel KVARTS og på mer ad hoc basis justere SNOW-beregningene i tråd med kortsiktsempirien fra KVARTS. Kapittel 2.3 går nærmere inn på slike strategier. Dette vil ikke sikre like stor grad av konsistens mellom kort- og langsiktresultatene som å legge treghetsmekanismene endogent inn i SNOW. Et alternativ der KVARTS brukes til kortsiktige effekter og SNOW til langsiktige vil også innebære inkonsistenser. Det må vurderes nærmere hvor alvorlige de blir. Det foreslås å gjøre gradvis testing for å samle erfaringer skritt for skritt og legge opp det videre utviklingsarbeidet deretter – se kapittel 5. Der skisseres også mulige prosjekter med formål å teste ut enklere alternativer enn å gjøre modelltilpasninger og -simuleringer med utgangspunkt i KAJA.

#### **g) Håndterbarhet for alle modellens formål**

KVARTS sine klimarelevante egenskaper er under utvikling eller under planlegging, og de er beskrevet i kapittel 3.3. Satsingen fremover vil først og fremst gå på å innarbeide noen få nye varer, som hydrogen, og noen få nye næringer, som innenlands transport, med tanke på å få frem noen flere relevante substitusjonsmuligheter og ressurs-omallokeringer. Endringene innebærer oppblåsing av KVARTS-modellen. Det bør vurderes om det finnes fornuftige «mottrekk» som kan holde modellens størrelse nede. Det finnes noen alternativer – særlig kan petroleumsnæringen trolig forenkles. Imidlertid vil ikke KVARTS-modellen være en sentral modell i klimaanalyser fremover. Til det vil den fremstå for aggregert. KVARTS skal besvare sitt hovedformål som er makroøkonomiske analyser av norsk økonomi på kort- og mellomlang sikt.

SNOW-utvikling for å bedre kortsiktsegenskapene må vurderes i sammenheng med andre utviklingsbehov, -ønsker og -trender. Da det ble besluttet å lage en CGE-modell etter samme lest som i mange internasjonale modellmiljøer, og SNOW ble unnfanget, var hovedmotivasjonen å gjøre drift, oppdatering og modellering mindre ressurskrevende. Jo mer særegenheter som legges inn, jo mer øker ressursbehovet. SNOW brukes i dag primært til å lage framskrivninger og klimaanalyser. Fokuset på andre problemstillinger, som skatte-, handels- og generell næringspolitikk, er blitt mindre enn før. Dette taler for at forvaltningens behov for kortsiktsanalyser av klimapolitikk kan være mer forenlig med øvrig SNOW-bruk enn KVARTS-bruk.

Det lages iblant egne versjoner av SSBs modeller i spesifikke forskningsprosjekter, kanskje som del av modellutviklingsbidrag til den internasjonale litteraturen, men vi anser ikke dette som en god løsning i utviklingsarbeidet for å forbedre modellene til kortsiktige klimarelevante analyser. Det er ressurskrevende å vedlikeholde flere versjoner som lever på siden av standardversjonene. De vil stå i fare for å bli utdaterte hvis de ikke fortløpende oppdateres og benyttes i det løpende analyse- og

forskningsarbeidet. Utviklingsarbeidet på modellene de senere årene passer godt med deres sentrale bruksområder. Dette må også sikres framover. Eventuell utvikling etter linjene som er beskrevet i denne rapporten bør med andre ord gjøres i hoved-versjonene av modellene, det vil si i de versjonene som benyttes av Finansdepartementet, i andre forvaltningsoppdrag og mer eller mindre rutinemessige analyser i SSB.

## 5. Videre uttesting og utredninger for å bedre kunnskapsgrunnlaget

De foregående kapitlene oppsummerer kunnskap og erfaringer om klimapolitikkanalyser som tar innover seg korttidsdynamikk. Basert på dette kunnskapsgrunnlaget skisseres noen mulige utviklingsveier for SSBs SNOW- og KVARTS-modeller. Det er ikke grunnlag for å anbefale noen løsning framfor andre på nåværende tidspunkt. Vi anbefaler at det gjøres videre uttesting og utredninger før slike konklusjoner kan trekkes. Her skisseres noen skritt som kan være utgangspunkt for et mer langsiktig arbeid for å styrke metodeapparatet for kortsiktsanalyser av klimapolitikk.

### 5.1. Det enkleste først – utvide KAJA med kort sikt

Et mulig alternativ til å videreutvikle store modeller á la SNOW og KVARTS, kan være å i første omgang eksperimentere med enklere opplegg. Et utgangspunkt kan være KAJA-modellen som i dag brukes av Finansdepartementet for å studere utslippseffekter av avgiftsendringer. KAJA består av et sett med priselastisiteter for fossil energibruk i ulike sektorer med utslippskoeffisienter. Den er designet for langsiktsanalyser av avgiftsendringer. Langsiktselastisitetene er plukket fra den internasjonale litteraturen. Andre virkemidler enn avgifter kan i prinsippet også studeres, så lenge man har anslag på skyggeprisene.

En enkel løsning for å fange opp kortsiktseffekter, er å lage *to* versjoner av KAJA – én med kort- og én med langsiktselastisiteter. Kortsiktige priselastisiteter er lavere enn langsiktige, noe som reflekterer at det tar tid før aktørene tilpasser seg en prisendring. Det tar for eksempel tid å ta i bruk ny teknologi. Den internasjonale litteraturen er rikere på kortsiktige enn på langsiktige elastisiteter. Det kan også vurderes å gjøre estimeringer av både kort- og langsiktige elastisiteter på norske data. Gitt egnede data, kan en slik studie sikre mer relevante data for Norge og konsistens mellom kort- og langsiktsestimatene. Ved å supplere dagens KAJA med en kortsiktig versjon og, i tillegg, legge inn anslag på hvor lang tid det tar før langsiktsløsningene oppnås hos de modellerte aktørene/sektorene, får man et enkelt og gjennomsliktig verktøy for å analysere tilhørende utslippseffekter over tid.

### 5.2. Koordinert modellutvikling

I arbeidet med SSBs modeller vil det være fornuftig å koordinere innsatsen der behovene er overlappende. Det gjelder ikke minst i modelleringen av flere atferdsresponser, ved at flere substitusjonsmuligheter i bruken av energi, flere teknologier og flere produksjonssektorer legges inn i modellene. På dette området foregår det allerede mye, og det er potensial for spillover-effekter på tvers av modellteamene. Et annet område hvor koordinering kan være nyttig, er i kvantifiseringen av langsiktsløsningen. Det kan være grunner til at de avviker, men det bør vurderes om slike grunner er til stede.

Modellutviklingen som foregår i SSB kan også gi synergier mot KAJA-verktøyet, og motsatt.

### 5.3. Sammenliknende forstudie

For å lære mer om forskjeller på kort og lang sikt og om KVARTS' og SNOWs interne konsistens, vil det være en informativ øvelse å sammenlikne resultater fra SNOW og KVARTS. Hensikten er å lære mer om hvor modellene avviker vesentlig fra hverandre, hvilke egenskaper som slår mye ut og hvilke forskjeller det resulterer i når det gjelder kostnader og utslipp. Det er særlig interessant å sammenlikne avvikene på kort og lang sikt. Et eksempel på en slik koordinert studie er publisert av EU (2020a); se boks 3.



Analysen må utformes for å gjøre modellberegningene mest mulig sammenliknbare. Koordinering, som foreslått over, bidrar til dette. Videre må ekvivalente virkemiddelendringer gjøres i begge modellene, og referansebanen baseres på samme framskrivning av norsk økonomi. Det vil være hensiktsmessig å ta utgangspunkt i KVARTS-versjonen som er utviklet i delprosjektet «KVARTS og det grønne skiftet» siden den er supplert med utslippskoeffisienter for alle Kyoto-gassene og også tilpasset klimaomstilling på andre måter.

Avgiftsendring på bruk av oljeprodukter vil egne seg som virkemiddelvalg i en slik studie. Annen politikk rettet mot husholdningers bilbruk kan også være egnet, da substitusjon mellom elbiler og konvensjonelle kjøretøy også vil modelleres i den nevnte KVARTS-versjonen. Dette er også gjort i SNOW.

KVARTS er mer aggregert, slik at sammenlikning av resultatene må basere seg på veide gjennomsnittsresultater fra SNOW.

### **Boks 3: Analyse av EUs Fit-For-55-politikk 2030 i tre modeller:**

Analysen (EU, 2020a, ch. 6.4.2, 6.5.1) ser på kostnader ved å nå utslippsmålet på 55% reduksjon i 2030 fra 1990. Med utgangspunkt i en felles referansebane analyseres de økte klimaambisjonene i tre modeller: Den rekursivt-dynamiske CGE-modellen JRC-GEM-E3, den makroøkonometriske modellen E3ME og DSGE-modellen E-Quest.

**JRC-GEM-E3** er en global disaggregert generell likevektsmodell som utvikles og brukes av EU. Modellen har blant annet heterogene husholdninger, et imperfekt arbeidsmarked med likevektsledighet og ulike typer arbeidskraft, se også omtalen i kapittel 2. Versjonen som brukes her har 51 goder/sektorer og 46 land/regioner og er kalibrert til en rekke datakilder. Versjonen av **E3ME** som brukes her har 61 globale regioner, detaljerte sektorer og er i stor grad økonometrisk tallfestet, se også omtalen i kapittel 3. **E-QUEST** er en DSGE-modellvariant som er spesielt utviklet for klima- og energirelaterte politikkanalyser og brukes blant annet av EU-kommisjonen. Modellen har to regioner (EU og resten av verden) og syv sektorer og modellerer utslipp knyttet til fossil energi, se også omtalen i kapittel 2.

Hensikten med denne analysen er å fange opp så mange aspekter ved politikken som mulig, derunder kortsikts- og langsiktseffekter. Den gir også innsikt i hva ulikhetene på tvers av modellene innebærer. Endringer i BNP er i området -0.4 til 0.2% når provenyet fra en uniform CO<sub>2</sub>-pris tilbakeføres som engangsoverføring. Politikk med lavere CO<sub>2</sub>-pris kombinert med støtte til grønne investeringer som tilbakeføringsmekanisme gir BNP-endring i området -0.3 til 0.13%, mens politikk som reduserer skatt på arbeid gir BNP-økninger i området 0.06% til 0.45%. Spennet i resultatene mellom de ulike modellene skyldes ulike forutsetninger. De høyeste kostnadene (målt ved BNP) simuleres med JRC-GEM-E3, som ikke har ledige ressurser i initialsituasjonen. E3ME, derimot, har ledige ressurser initialt og kan dermed lånefinansiere økte offentlige utgifter uten full fortrenging. På lang sikt går imidlertid JRC-GEM-E3 og E3ME mot likere løsninger, fordi utgifter og investeringer beregnet i E3ME må tilbakebetales på lang sikt. Resultatene for E-QUEST ligger mellom resultatene for JRC-GEM-E3 og E3ME, bortsett fra ved lavere skatt på arbeid som har størst positiv effekt i E-QUEST. Effekter på sektornivå varierer betydelig mellom de skitne og rene.

## **5.4. Sammenlikning og eksperimentering med priselastisiteter i modellene**

På tilsvarende måte som i kapittel 5.3, vil det være lærdom i å sammenlikne KAJAs løsning ved et avgiftsskift med SNOWs samt med langtidsløsningen fra KVARTS. En ny kortsikts-KAJA kunne likeledes sammenliknes med med kortsiktsløsningen fra KVARTS.

Man kunne også vurdert å lage en «priselastisitetsmodell» som, i motsetning til KAJA, ikke lener seg på historisk baserte estimater fra litteraturstudier, men som baseres på beregninger med SNOW og/eller KVARTS. Fra disse modellene kan man få ut endringer i sektors aktivitet og utslipp som følger av prisskift i modellene. Disse kan benyttes til å lage elastisiteter. I motsetning til partielle, direkte elastisiteter som i KAJA, vil modellenes resultater reflektere både direkte og indirekte virkninger. Hvis det gjøres avgifts-/prisskift i flere sektorer på én gang, vil det også være mulig å lære noe om hvordan samspillseffekter påvirker aktiviteter og utslipp på tvers av sektorer.

KVARTS har ulik løsning over tid pga. tregheter og kan brukes både til å ekstrahere kort- og langsiktselastisiteter. Et alternativ er å bruke KVARTS for kortsiktselastisiteter og SNOW for langsiktselastisiteter. KVARTS' tidsforløp før langsiktssløsningene nås, kan brukes til å anslå forløpet mellom kort- og langsiktssløsningen. En utfordring er at KVARTS ikke har samme detaljgrad som SNOW. Det enkleste vil derfor være å holde en slik analyse på KVARTS' aggregeringsnivå. Aggregeringsnivåene i SNOW og KVARTS er basert på samme nomenklatur; det letter sammenkoplingen. En annen fordel ved at datagrunnlaget er det samme (nasjonalregnskapet), er at grunnlaget er regnet i en felles verdi (kroner) og henger sammen. Det er mest sannsynlig ikke tilfelle hvis man benytter mange ulike kilder til elastisiteter og fysiske data som ikke nødvendigvis er sammenliknbare.

En kort- og langsiktig priselastisitetsmodell, enten den er basert på internasjonale publiseringer eller norske modellberegninger, vil ikke kunne erstatte SNOW- og KVARTS-modellene, men komme i tillegg. Som nevnt i 5.1 får man for eksempel ikke ut kostnadene ved klimapolitikken. Det vil alt i alt øke ressursbehovet om man skal opprettholde og drifte tre, istedenfor to, modeller. Alle må oppdateres i takt med den økonomiske og teknologiske utviklingen. Fra brukerne i forvaltningen sitt perspektiv vil imidlertid en priselastisitetsmodell, enten den er basert på modelldata eller internasjonale estimater, være lettere å forstå, endre og bruke selv.

## 5.5. Gradvis videre uttesting

SNOW-modellen vil fortsette å være den mest tilpassede for studier av klimapolitikk, særlig grunnet det finere aggregeringsnivået samt få konkurrerende temaer for analyser med modellen. SNOW-bruken vil kunne fortsette å konsentrere seg om klimarelaterte problemstillinger. KVARTS vil også bli mer egnet for klimapolitiske analyser, men med mer vekt på makrovirkninger.

Beslutningsgrunnlaget er i dag ikke godt nok for å velge retning på metodeutviklingen for å analysere kortsiktseffekter av klimapolitikk. Priselastisitetsmodeller som KAJA kan muligens dekke behovet midlertidig, men har ikke nok informasjon til å si noe om kostnader. Når det gjelder videre arbeid med å supplere SNOW med kortsiktsanalyse av utslipp og kostnader, bør dette planlegges skrittvis. Det er sannsynlig at de fleste mulighetene er redegjort for i kapittel 2. Det er imidlertid ikke utelukket at bedre og enklere alternativer dukker opp i kjølvannet av skrittvis eksperimenteringsprosjekter á la dem skissert i kapittel 5.1.-5.4. Vi anbefaler å starte der.

Etter utprøvende faser med avgrensede læringsprosjekter bør det gjøres en evaluering av hva disse har tilført av lærdom og ideer før eventuelt mer varige metodeløsninger kan besluttes.

## Referanser

- Antosiewicz, M.; Kowal, P. (2016): MEMO III - A LARGE SCALE MULTI-SECTOR DSGE MODEL, IBS Research Report 02/2016, February 2016, [https://ibs.org.pl/wp-content/uploads/2022/12/IBS\\_Research\\_Report\\_02\\_2016.pdf](https://ibs.org.pl/wp-content/uploads/2022/12/IBS_Research_Report_02_2016.pdf)
- Aursland, T. A.; Frankovic, I.; Kanik, B.; Saxegaard, M. (2020): State-dependent fiscal multipliers in NORA—A DSGE model for fiscal policy analysis in Norway. *Economic Modelling* 93, 321–353.
- Blanchard, O.J.; Fischer, S. (1989): *Lectures on Macroeconomics*, The MIT Press.
- Bonde, M.; Ejarque, J.; Høegh, G.; Partsch, E.; Stephensen, P.; Vasi, T. (2023): MAKRO Model Documentation - A Handbook for using and understanding the MAKRO Model. [https://dreamgruppen.dk/Media/638163058761416497/MAKRO\\_model\\_documentation\\_mar2023.pdf](https://dreamgruppen.dk/Media/638163058761416497/MAKRO_model_documentation_mar2023.pdf)
- Bovenberg, L.; Ploeg, R. v.d. (1996): Optimal taxation, public goods and environmental policy with involuntary unemployment, *Journal of Public Economics*, 62, 1-2, 59-83.
- Bowitz, E.; Cappelen, Å. (2001): "Modeling income policies: some Norwegian experiences 1973-1993", *Economic Modelling* 18 (3), 2001, 349-379.
- Brasch, T. von; Cappelen, Å.; Hungnes, H.; Skjerpen, T. (2021): Modeling R&D spillovers to productivity: The effects of tax credits, *Economic Modelling* 101.
- Brasch, T. von; Boug, P.; Cappelen, Å.; Hammersland, R.; Hungnes, H.; Kolsrud, D.; Skretting, J.; Strøm, B.; Vigtel, T. C. (2023): Fiscal Multipliers in a small Open Economy – A Multi-Sector Macroeconomic Model Analysis, *Journal of Macroeconomics* 76. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164070423000241>
- Bye, B. (2000a): Environmental tax reform and producer foresight: An intertemporal computable general equilibrium analysis, *Journal of Policy Modeling*, Vol. 22, No. 6, 719-752.
- Bye, B. (2000b): Labour market rigidities and environmental tax reforms: Welfare effects of different regimes, i Harrison, G. W.; L. Haagen Pedersen; T. F. Rutherford; S. E. Hougaard Jensen (eds): "Using Dynamic Equilibrium Models for Policy Analysis", 259-294, North-Holland.
- Bye, B.; T. Åvitsland (2003): The welfare effects of housing taxation in a distorted economy: A general equilibrium analysis, *Economic Modelling* 20, 2003, 895-921.
- Bye, B.; T. Fæhn; T.-R. Heggedal (2009): Welfare and growth impacts of innovation in a small, open economy: An applied general equilibrium analysis, *Economic Modelling* 26, 1075-1088.
- Bye, B.; T. Fæhn; K. Kaushal (2021): Klimaeffekt av poster på statsbudsjettet - uttesting av simuleringer med SNOW-modellen, Rapport 2021/31, Statistisk sentralbyrå.
- Bye, B.; T. Fæhn; O. Rosnes (2018): Residential energy efficiency policies: Costs, emissions and rebound effects, *Energy* 143, 191-201
- Coe, D. T.; Helpman, E. (1995): International R&D spillovers. *European Economic Review*, 39, 859–887.
- E3ME Model Manual (2022): Cambridge Econometrics, <https://www.e3me.com/>; <https://www.e3me.com/wp-content/uploads/sites/3/2019/09/E3ME-Technical-Manual-v6.1-onlineSML.pdf>
- EU (2020a): Stepping up Europe's 2030 climate ambition: Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people, SWD (2020) 176 final, Part 1, European Commission. <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/swd-2020-176-final-part>

- EU (2020b): Stepping up Europe's 2030 climate ambition: Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people, SWD (2020) 176 final, Part 2, Model Appendix, European Commission.
- Førsund, F.; Vislie, J. (2016): Leif Johansen on intra-industry structural change, *Journal of Policy Modeling*, vol. 30, iss. 3, 515-527.
- Fæhn, T.; Kaushal, K. R.; Storrøsten, H.; Yonezawa, H.; Bye, B. (2020a): Abating greenhouse gases in the Norwegian non-ETS sector by 50 per cent by 2030, Reports 23/2020, Statistics Norway
- Fæhn, T.; G. Bachner; R. Beach; J. Chateau; S. Fujimori; M. Ghosh; M. Hamdi-Cherif; E. Lanzi; S. Paltsev; T. Vandyck; B. Cunha; R. Garaffa; K. Steininger (2020b): Capturing key energy and emission trends in CGE models: Assessment of status and remaining challenges, *Journal of Global Economic Analysis*, Volume 5/1, pp. 196-272.
- Fæhn, T.; E.T. Isaksen. 2016. «Diffusion of climate technologies in the presence of commitment problems.” *Energy Journal*, 37: 155–180. doi:10.5547/01956574.37.2.tfae.
- GEM-E3 Model Manual (2017): <https://e3modelling.com/>
- Heggedal, T.R.; Jacobsen, K. (2011): Timing of innovation policies when carbon emissions are restricted: An applied general equilibrium analysis, *Resource and Energy Economics*, vol. 33(4), pages 913-937.
- IMF World Economic Outlook (2022): Countering the cost-of-living crisis, chapters and online Annex, <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2022/10/11/world-economic-outlook-october-2022#Chapters>.
- Karplus, V.J.; Paltsev, S.; Reilly, J.M. (2010): Prospects for plug-in hybrid electric vehicles in the United States and Japan: a general equilibrium analysis. *Transp Res A* 44:620–641.
- Keller, W. (2004). International technology diffusion. *Journal of Economic Literature*, 42(3), 752– 782. <https://doi.org/10.1257/0022051042177685K>.
- Kiuiila, O.; T. F. Rutherford (2013). “The cost of reducing CO2 emissions: Integrating abatement technologies into economic modeling” *Ecological Economics* 87: 62–71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.12.006>.
- Miljødirektoratet, Enova, Vegvesenet, Kystverket, Landbruksdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat (2020): Klimakur 2030 – tiltak og virkemidler mot 2030, Rapport M-1625. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1625/m1625.pdf>
- Otto, V.M.; Below, D. von (2023): The Environmental Medium-Term Economic (EMEC) Model: Version 4 National Institute of Economic Research, Working Paper No. 156. May 2023. [https://www.konj.se/download/18.1103032187eb22f7b5a19c9/1684222962438/Working%20paper%20156%20The%20Environmental%20Medium-Term%20Economic%20\(EMEC\)%20Model.pdf](https://www.konj.se/download/18.1103032187eb22f7b5a19c9/1684222962438/Working%20paper%20156%20The%20Environmental%20Medium-Term%20Economic%20(EMEC)%20Model.pdf)
- Paltsev, S.; J. Reilly; H. Jacoby; K.-H. Tay (2004): The cost of Kyoto protocol targets: The case of Japan. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 112, Cambridge, MA.
- Rosnes, O.; B. Bye; T. Fæhn (2019): SNOW-modellen for Norge. Dokumentasjon av framskrivningsmodellen for norsk økonomi og utslipp, Notater / Documents;2019/1, Statistisk sentralbyrå.
- Storrøsten, H. (2020): Emission regulation of markets with sluggish supply structures, *Environmental and resource economics* 77: 1-33.
- Varga, J.; Roeger, W.; Veld, J.in 't (2022): E-QUEST: A multisector dynamic general equilibrium model with energy and model-based assessment to reach the EU climate target, *Economic Modelling* 114 (2022). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264999322001572>

## Vedlegg A: Avtalens punkt 1.1 – avtalens omfang

Formålet med dette oppdraget er bidra med kunnskap til Teknisk beregningsutvalg for klima sine vurderinger og anbefalinger til videreutvikling av metoder som kan brukes til å analysere kostnads- og utslippsvirkninger av endret virkemiddelbruk på kort sikt. Mer spesifikt inkluderer oppdraget følgende tre deler:

1. Drøfte i hvilken grad typiske egenskaper ved generelle likevektsmodeller og makroøkonomiske modeller kan gi informasjon om kortsiktige utslipps- og kostnadseffekter.
2. Drøfte mulighetene for å gjøre tilpasninger i SNOW- og KVARTS-modellene for å gjøre dem bedre egnet til å gjøre analyser av kortsiktige utslipps- og kostnadseffekter.
3. Basert på drøftingen om egnetheten til SNOW- og KVARTS-modellene, drøfte mulighetene for enklere løsninger for analyser på kort sikt.

Det er viktig at modellene drøftes i lys av mulighetene for videreutvikling, blant annet ved å se til forskning og hva som gjøres i andre land, og fordeler og ulemper ved disse løsningene, og hvilke egenskaper som er viktig for å ivareta særtrekk og tilpasninger i norsk økonomi.

Rapporten skal enkelt kunne brukes som grunnlag for utvalgets vurderinger, og være på en form som gjør at det er lite behov for videre tekstbearbeiding og oppsummering fra sekretariatet i TBU klima. Rapporten bør bruke samme begreper som TBU klima har brukt tidligere der det er hensiktsmessig. Det er også ønskelig at det legges opp til en dialog med sekretariatet underveis i oppdraget.