

Modeller og metoder i samfunnsøkonomiske analyser av klimaendringer

VEDLEGG TIL RAPPORT FRA EKSPERTUTVALGET
OM KLIMATILPASNING

Innhold

1	Innledning	3
2	Partielle analyser	4
2.1	Prosjektspesifikke analyser	4
2.2	Direkte kostnadsberegninger	5
2.3	Sektormodeller	8
2.4	Fordeler, ulemper og sammenstilling av partielle analyser	11
3	Makroøkonomiske modeller og analyser	12
3.1	Generelle likevektsmodeller	12
3.2	Andre makromodeller	16
3.3	Økonometriske metoder	19
3.4	Sammenligning av ulike modeller og metoder	20
4	Kombinasjon av ulike modeller og metoder	21
5	Referanser	24



1 Innledning

Det finnes en rekke partielle og makroøkonomiske analyser av klimaendringer og klimatilpasning. Eksempelene som presenteres her er ikke uttømmende. I tillegg til mange enkeltstående studier er det også gjennomført flere helhetlige analyser som kombinerer ulike metoder. Steining mfl. (2015) har utviklet et rammeverk for å vurdere økonomiske konsekvenser av klimaendringer, med særlig fokus på Østerrike. Både PESETA IV (Feyen mfl., 2020) og COACCH (COACCH, u.d.) er større europeiske forskningsprosjekter som har analysert virkninger av klimaendringer og tilpasning på tvers av sektorer og regioner i Europa. Felles for disse prosjektene er at de har kombinert partielle og makroøkonomiske analyser.

I det følgende gjennomgår og eksemplifiserer utvalget ulike metoder innenfor de to hovedtilnærmingene partielle analyser og makroøkonomiske modeller. Kvaliteten på en analyse avhenger ikke bare av valg av metode, men også tilgang til og kvalitet på inngangsdata. De ulike metodene som omtales nedenfor krever ulike typer inngangsdata, tilgang på inngangsdata må derfor også vurderes i valg av metode. Formålet med dette dokumentet er å beskrive og vurdere ulike modeller og metoder for å beregne de samfunnsøkonomiske konsekvensene av klimaendringer og tiltak for klimatilpasning.

2 Partielle analyser

Partielle analyser dekker de økonomiske konsekvensene av klimaendringer eller klimatilpasning innenfor avgrensede sektorer, geografiske områder eller tiltak. Det inkluderer metodene prosjektspesifikke analyser, direkte kostnadsberegninger og sektormodeller.

2.1 Prosjektspesifikke analyser

Prosjektspesifikke analyser vurderer samfunnsøkonomisk lønnsomhet av konkrete klimatilpasningsløsninger, typisk på lokalt nivå. Metoden sammenligner kostnadene ved gjennomføring opp mot nytten, ofte i form av reduserte skader i fremtiden. Prosjektspesifikke analyser er avhengige av detaljerte, lokale data om blant annet historiske skader, utsatte verdier, tilgjengelige sikringsløsninger samt løsningenes forventede effekter og kostnader.

Fordelene med slike analyser er at de har høy lokal relevans og detaljeringsgrad. Analysene er enkle og transparente, og egnet til å vurdere lønnsomhet av konkret klimatilpasning og prioritering mellom konkrete løsninger. Ikke-prissatte virkninger kan inkluderes eksplisitt i beregningen av samfunnsøkonomisk lønnsomhet hvis det finnes kvantitative anslag, og/eller kvalitativt ved en vurdering av betydning, omfang og konsekvenser. Ulempene er at de ikke fanger opp ringvirkninger eller samspill mellom sektorer, og at resultatene i liten grad er overførbare. Ved vurdering av flere løsninger kan det også være en risiko for at effekter telles flere ganger dersom det ikke tas hensyn til overlappende virkninger. For mer helhetlige vurderinger av klimaendringer og klimatilpasning på regionalt eller nasjonalt nivå bør derfor prosjektspesifikke analyser suppleres med andre modeller og metoder.

EKSEMPEL PÅ PROSJEKTSPESIKKE ANALYSE

Menon Economics (Pedersen mfl., 2022) har gjennomført to casestudier som beregner samfunnsøkonomisk lønnsomhet av klimatilpasningsløsninger på kommunalt nivå.

I Fredrikstad har de vurdert ulike løsninger for å redusere kjelleroversvømmelser som følge av ekstreme nedbørshendelser. Analysen brukte historiske data og forsikringsutbetalinger til å fremskrive skadekostnader 100 år frem i tid, og inkluderte også en årlig ekstra kostnad som reflekterte innbyggernes opplevde utrygghet for at kjelleroversvømmelser kan skje med utgangspunkt i en eksisterende verdsettingsstudie. Antatt effekt av de ulike klimatilpasningspakkene i form av reduserte skadekostnader fra overvann ble identifisert etter dialog med Fredrikstad kommune. Med utgangspunkt i nytten og kostnaden ved løsningene, ble den samfunnsøkonomiske netto nytten for de ulike klimatilpasningspakkene beregnet. Den eneste klimatilpasningspakken som har positiv samfunnsøkonomisk netto nytte i alle scenarioer er å gjøre om veiene i Kongsten hageby til flomveier. Denne klimatilpasningspakken gir et nytte-kostnadsforhold mellom 1,5 og 2,1, som tilsier at for hver krone som investeres i forebygging får samfunnet igjen mellom 1,50 og 2,10 kroner i form av reduserte skadekostnader.

I Stryn kommune ble tre sikringsstrategier vurdert for bygg i flom- og skredutsatte områder. Metoden for å beregne skadekostnader i Stryn var mer omfattende enn for Fredrikstad. Skadekostnader ble beregnet basert på bygningstype, skadegrad, verdi per kvadratmeter og sannsynlighet for fremtidige hendelser, og inkluderte både bygningsskader og tap av liv og helse. Med utgangspunkt i skadekostnader og forventet frekvens, ble forventede kostnader for skred- og flomhendelser 100 år frem i tid estimert. I kostnadsvurderingen tar Menon utgangspunkt i typiske kostnader av sikringsprosjekter for bebyggelse. For nytten antas det en risikoreduserende effekt av løsningene på 80 prosent. Menon finner at den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av sikringsstrategier er avhengig av faresonen det sikres i. Alle sikringsstrategier er lønnsomme for sikring i skredfaresone 1/100 år og flomfaresone 1/200 år, mens ingen er lønnsomme i skredfaresone 1/5000 år.

2.2 Direkte kostnadsberegninger

Direkte kostnadsberegninger kobler observerte eller modellerte fysiske endringer som følge av klimaendringer med økonomisk verdsetting for å anslå samfunnsøkonomiske kostnader og nytte av klimaendringer for et virkningsområde eller en sektor.

Til forskjell fra prosjektspesifikke analyser, som vurderer nytte og kostnader av konkrete tilpasningsløsninger på et avgrenset, ofte lokalt nivå, har direkte kostnadsberegninger et bredere dekningsområde. Nytten av en klimatilpasningsløsning estimeres ofte som reduksjon i forventede skadekostnader. Det er stor variasjon i hvordan de fysiske endringene beregnes og hvordan verdsettingen gjennomføres. Metodene gir konkrete anslag på kostnadene for spesifikke sektorer og virkningsområder. Analysene er enkle og transparente. De er godt egnet til å sette en økonomisk verdi på konsekvenser av observerte eller modellerte fysiske klimaeffekter, verdsetting på sektornivå og som input til makroøkonomiske analyser. Ikke-prissatte effekter kan inkluderes eksplitt der det finnes kvantitative anslag, men gir lite rom for kvalitativ vurdering av ikke-prissatte effekter. For å analysere tilpasningsløsninger kreves det i tillegg estimater på hvor mye løsningen reduserer de fysiske klimaeffektene eller skadekostnadene.

Ulempene med direkte kostnadsberegninger er at analysene ikke tar hensyn til ringvirkninger eller samspill mellom sektorer, eller overordnede ressursbegrensninger. Aktørenes adferd modelleres ikke eksplisitt, og ulikhet i metode og antagelser kan gjøre det vanskelig å sammenligne resultater.

Direkte kostnadsberegninger bygger på en kombinasjon av inngangsdata om klimaendringer (for eksempel endring i nedbør eller temperatur), eksponering (hvem og hva som berøres), samt hvilke skader som oppstår og i hvilket omfang. Skadene verdsettes enten gjennom markedspriser eller ved bruk av enhetsverdier fra verdsettingstudier. Kvaliteten på analysen er avhengig av hvor godt disse dataene representerer de geografiske områdene og sektorene som analyseres.

EKSEMPLER FRA ULIKE SAMFUNNSOMRÅDER

For *turisme* kan økonomisk tap av klimaendringer beregnes ved å kombinere endringer i antall overnattinger med gjennomsnittlige turistutgifter. I analysene fra Østerrike (Steinger mfl., 2015) og COACCH-prosjektet (Schleypen mfl., 2019) brukes statistiske modeller og historiske data for å koble vær- og temperaturdata med turismeetterspørsel i ulike sesonger. Det kombineres så med klimascenarioer og prognoser for fremtidig sosioøkonomisk utvikling for å anslå hvordan etterspørselen påvirkes, og det økonomiske tapet estimeres som produktet av endring i antall overnattinger og gjennomsnittlige turistutgifter.

For *helse* kan en tilsvarende tilnærming brukes. Historiske data og statistiske analyser brukes for å koble vær- og temperatur til dødelighet. Den estimerte modellen kombineres så med klimascenarioer og prognoser for fremtidig sosioøkonomisk utvikling for å estimere hvordan klimaendringer påvirker dødelighet. Til slutt ganges endring i dødelighet med anslag på verdien av statistisk liv for å beregne det økonomiske tapet (Steinger mfl., 2015; Ščasný mfl., 2020).

Analysene fra Østerrike og COACCH-prosjektet benytter også historiske data og statistiske analyser for å etablere en sammenheng mellom *arbeidsproduktivitet* og temperaturendringer. I studien fra Østerrike verdsettes produktivitetstapet på to måter, enten ved at det kombineres med gjennomsnittlig lønn eller med BNP per timeverk. I COACCH-studien (Schleypen mfl., 2019) brukes resultatene som input i en makroøkonomisk modell i stedet for å anslå direkte kostnader.

For *jordbruk* kombineres forventede endringer i avlinger og produksjonskostnader med forventede fremtidige markedspriser for å beregne fremtidig nytte og kostnader av klimaendringer i analysen fra Østerrike. Resultatene er også brukt videre i en generell likevektsmodell (se kapittel 2.1) for å vurdere hvordan klimaendringer i jordbruket påvirker hele økonomien. For *skogbruk* anvendes en lignende metode, der tap i produksjon kombineres med framskriving av priser for å beregne økonomisk tap.

Effektene av klimaendringer på *biodiversitet* estimeres i COACCH ved hjelp av en global biodiversitetsmodell GLOBIO (Hunt mfl., 2020). GLOBIO brukes for å vurdere hvordan ulike påvirkningsfaktorer, inkludert klimaendringer, påvirker *Mean Species Abundance* (MSA). Endring i MSA kombineres med verdier fra eksisterende verdsettingstudier for å estimere de økonomiske konsekvensene av tap av biodiversitet.

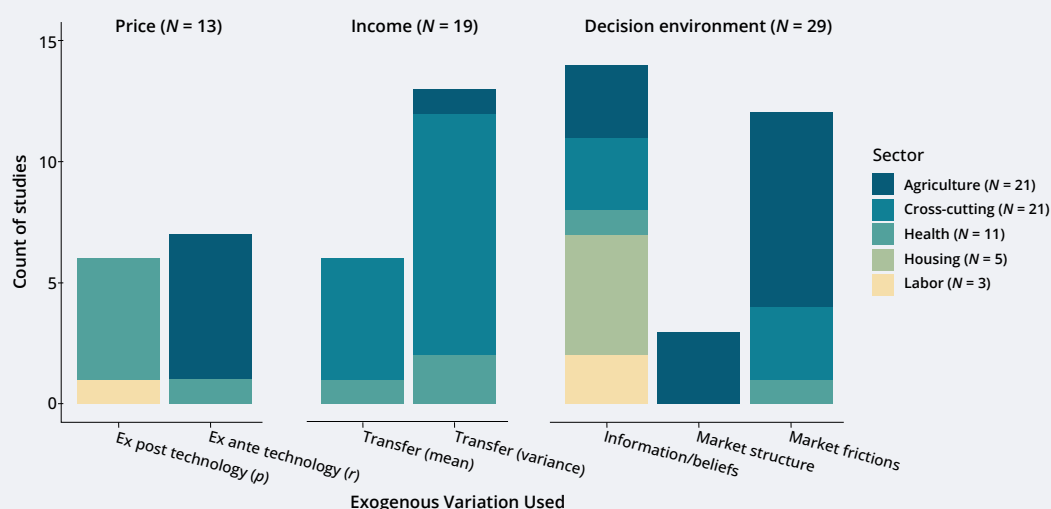
Anslag på de samfunnsøkonomiske kostnadene av klimaendringer i *transportsektoren* omfatter flere ulike komponenter, blant annet økte skader på transportinfrastruktur, endringer i drifts- og vedlikeholdskostnader samt tap av tid ved stengte veier og omkjøring. I analysene fra Østerrike benyttes historiske skadedata for å kvantifisere sammenhengen mellom ulike vær- og naturhendelser og skadeomfang. Det kombineres så med klimascenarioer og prognoser for fremtidig sosioøkonomisk utvikling for å estimere omfanget av fremtidige skader

og tilhørende kostnader. En tilsvarende metode benyttes for å vurdere hvordan klimaendringer påvirker drifts- og vedlikeholdskostnader. Resultatet fra analysen understreker betydningen av hvilke sosioøkonomiske scenarioer som legges til grunn, fordi størstedelen av kostnadsøkningen kom av økt eksponering, altså utvidelse av veinettet.

Flomskader beregnes ofte ved hjelp av modeller som kombinerer fare, eksponering og sårbarhet. Skadeomfang og kostnader kan beregnes ved bruk av en skadefunksjon som kobler flomdybde til skade på bygninger og infrastruktur, kombinert med verdisetting. I COACCH-prosjektet brukes den globale modellen DIVA til å beregne kystflomskader (Lincke mfl., 2018). Modellen tar hensyn til gradvis tap av land og kan inkludere både eksisterende og fremtidig sikring. Skadekostnader beregnes som den økonomiske verdien av eiendeler som er eksponert for risiko, estimert fra BNP per innbygger. DTU SkadesØkonomi-modellen, som er en modell for å beregne de økonomiske konsekvensene av oversvømmelser i Danmark, har et detaljert geografisk nivå og inkluderer omfattende data om bygningstyper, veinett og rekreative arealer (Halsnæs mfl. 2021). I tillegg til å benytte skadefunksjoner som kobler vanndybde til skadekostnader, inkluderer modellen også verdsetting av tapt tilgang til rekreasjonsområder, tapte turistinntekter, kostnader av trafikale forsinkelser og mulig verditap på eiendom i oversvømte områder.

FORSKNING PÅ TILPASNING

Det finnes en egen økonomisk litteratur som forsøker å anslå direkte hvordan tilpasning kan påvirke velferd for å informere utformingen av klimatilpasningspolitikken. For å finne den kausale effekten av en endring i rammebetingelsene for tilpasning på enten klimaskade eller konkrete tilpasningsvalg, bruker studiene variasjon i tre typer faktorer som ikke påvirkes av aktørenes egne valg: priser på tilpasningsteknologier*, inntektsnivå**, eller beslutningsmiljøet for tilpasning***. Figur 2.1 viser en oversikt over antall studier i denne litteraturen, fordelt på de tre faktorene. De fleste studiene vektlegger inntektsoverføringer, tilgang til klimainformasjon og reduksjon av markedsfriksjoner.

Figur 2.1 Antall studier som analyserer effekter av tilpasning sortert etter kilder til uavhengig variasjon og sektortilhørighet

Kilde: Carleton mfl. (2024).

Carleton mfl. (2025; 2024) peker på to sentrale utfordringer i denne litteraturen. For det første bygger mange studier på begrenset geografisk og tidsmessig variasjon i værdata, noe som svekker relevansen for langsiktige klimaendringer. For det andre bygger analyser av konkrete løsninger sjelden på eksplisitte framskrivninger av klima. De baserer seg dermed på historiske værhendelser som ikke nødvendigvis er representative for fremtidens utfordringer. Samtidig kan de mest hensiktsmessige tilpasningsmekanismene endre seg over tid. Vanning kan for eksempel fungere i én varm sesong, men ikke ved langvarig varme som tømmer grunn- og overflatevann.

*For eksempel Aker og Jack (2023), Björkman-Nyqvist mfl. (2023).

**For eksempel Macours mfl. (2022), Premand og Stoeffler (2022).

***For eksempel Barwick mfl. (2022), Burlig mfl. (2024), Lane (2024), Shrader mfl. (2023).

2.3 Sektormodeller

Sektormodeller, også kalt partielle modeller, er detaljerte modeller som representerer en avgrenset del av økonomien, et spesifikt marked eller en sektor, som for eksempel jordbruk, energi eller transport. De simulerer hvordan aktører i sektoren tilpasser seg endringer i teknologi, kostnader eller klimaforhold, og hvordan det påvirker produksjon, priser og ressursbruk. Økonomiske forhold utenfor sektoren tas vanligvis som gitt. Klimatilpasning kan legges inn i modellen som endringer i teknologi, kostnader, produktivitet eller adferdsparametere.

Sektormodeller har ofte en bedre beskrivelse av valg av teknologi og innsatsfaktorer enn makroøkonomiske modeller. De egner seg derfor godt til detaljerte analyser av hvordan en sektor påvirkes av og tilpasser seg klimaendringer, samt som input til makroøkonomiske analyser. De modellerer ofte også aktørenes adferd eksplisitt, og har et konsistent mål på samfunnsøkonomisk nytte og kostnad i form av endring i konsument- og produsentoverskudd. Samtidig fanger ikke sektormodeller opp

ringvirkninger eller samspillseffekter med resten av økonomien, og tar ikke hensyn til overordnede ressursbegrensninger (for eksempel arbeidskraft eller energi). Når ulike sektorer analyseres separat, kan det også være vanskelig å sikre felles antagelser og sammenligne resultater på en meningsfull måte. I hvilken grad sektormodeller kan benyttes til å beregne ikke-prissatte effekter, avhenger av sektoren. Enkelte transportmodeller kan beregne verdien av tapt tid som følge av forsinkelser, mens resultater fra jordbruksmodeller kan danne grunnlag for å estimere endringer i arealbruk og tap av biodiversitet. For å analysere tilpasningsløsninger med sektormodeller kreves det i tillegg estimerer på hvordan løsningene endrer de relevante parameterne i modellen, som teknologivalg, innsatsfaktorer eller aktørenes adferd.

Hva slags inngangsdata som trengs er avhengig av sektormodell, men kan grovt deles inn i to hovedkategorier. For det første trengs data for å kalibrere modellen til et basisår, som priser, produksjon, forbruk og handelsstrømmer i basisåret. For det andre må parametere som beskriver hvordan aktørene reagerer og hvilke rammer de opererer innenfor tallfestes. Dette inkluderer data for estimeringer av elastisiteter, ressursbegrensninger, teknologikostnader, kapasitet, produktivitet og gjeldende politikk.

SEKTORMODELLER FOR JORDBRUK, SKOGBRUK OG FISKERI

I COACCH-prosjektet ble de partielle likevektsmodellene GLOBIOM-EU og MAgPIE 4 brukt til å analysere økonomiske konsekvenser av klimaendringer i jordbruk, skogbruk og fiske (Boere mfl., 2019). Først benyttes andre metoder for å anslå hvordan klimaet påvirker faktorer som avlinger, skogvekst, skogbrannfare og fiskebestander. Resultatene brukes som input i sektormodellene, som estimerer endringer i produksjon, priser, arealbruk og produsent- og konsumentoverskudd. Modellene ble også brukt til å vurdere hvordan endret ressursbruk påvirker biodiversitet og økosystemtjenester.

I PESETA IV-prosjektet benyttes den partielle likevektsmodellen CAPRI for å analysere effektene av klimaendringer på jordbruket i Europa (Hristov mfl., 2020). Siden CAPRI også inkluderer en global handelsmodul, fanger modellen opp hvordan klimaendringer utenfor Europa påvirker europeiske produsenter. Et viktig funn i analysen er at reduserte avlinger i andre deler av verden som følge av klimaendringer, kan gi økte eksportmuligheter og inntekter for europeisk jordbruk.

Jordmod er en statisk partiell likevektsmodell som brukes til å modellere tilbud og etterspørsel etter jordbruksprodukter i Norge (Mittenzwei, 2018). Modellen maksimerer summen av produsent- og konsumentoverskudd, og omfatter en bred portefølje av produkter, inkludert kjøtt, korn, egg, frukt, grønnsaker og poteter. Så vidt utvalget vet er den ennå ikke benyttet til å analysere klimatilpasningsløsninger eller kostnader av klimaendringer.

SEKTORMODELLER FOR ENERGI

Det finnes en rekke ulike energimodeller. I PESETA IV benyttes den globale energimodellen POLES, som er en partiell likevektsmodell som dekker hele energisystemet (Després & Adamovic). Modellen simulerer energiproduksjon fra ulike kilder, teknologivalg, kostnader og energipriser. Som en global modell er POLES spesielt godt egnet til å analysere samspillet mellom Europas energisystem og utviklingen i andre deler av verden. I PESETA IV prosjektet ble resultatene fra POLES benyttet videre som input i en generell likevektsmodell (se kapittel 3.1) for å beregne velferdstap ved endringer i energisektoren (Feyen mfl., 2020).

I studien av Østerrike benyttes den dynamiske kostnadsminimerende sektor-modellen HiREPS. HiREPS simulerer kraftsystemets drift under ulike klimaforhold, optimaliserer produksjonsmiksen for å møte etterspørsel til lavest mulig kostnad. Også her ble resultatene brukt videre som input i en generell likevektsmodell.

I Norge har NVE og IFE utviklet hver sin versjon av energimodellen TIMES. TIMES er et fleksibelt modellrammeverk utviklet av Det internasjonale energibyrået for å analysere kraftmarkedet. IFE-TIMES modellerer det norske energisystemet med detaljert representasjon av energiproduksjon, infrastruktur, energibruk i ulike sektorer, og handel med utlandet (Teknisk beregningsutvalg for klima, 2023).

SEKTORMODELLER FOR TRANSPORT

Ekstremvær kan føre til både fysiske skader på transportinfrastruktur og transportforstyrrelser. Sistnevnte skaper forsinkelser og omkjøringer som gir økonomiske tap både for privatpersoner og næringsliv. Transportmodeller kan brukes til å beregne den økonomiske verdien av tapt tid for privatpersoner og annen reisetrafikk som følge av forsinkelser eller omkjøringer.

Den danske DTU SkadesØkonomi-modellen inkluderer kostnader ved trafikkforsinkelser. Disse kostnadene er estimert ved hjelp av DTU Transports Landstrafikmodel (LTM), som estimerer hvordan trafikk og reisetid endres ved oversvømmelse, og så beregnes det til økonomisk tap ved hjelp av standard verdier for tapt tid.

I Norge er det flere transportmodeller som kan brukes for å analysere reiseadferd. Regional transportmodell (RTM) og Nasjonal transportmodell (NTM6) er to partielle likevektsmodeller som simulerer valg av reisemiddel og rute basert på lavest mulig reisekostnad. RTM dekker kortere reiser (inntil 70 km én vei) og er delt inn i fem regionale modeller, mens NTM6 dekker lengre reiser med en grovere geografisk inndeling. For godstransport benyttes Nasjonal godstransportmodell (NGM), som omfatter all varetransport mellom norske kommuner og til og fra utlandet (Fridstrøm mfl., 2020).

2.4 Fordeler, ulemper og sammenstilling av partielle analyser

Partielle analyser egner seg godt til vurdering av konkrete løsninger, virkningsområder og sektorer. De gir høy detaljeringsgrad, og er særlig nyttige når lokale forhold eller sektorspesifikke hensyn står sentralt. Fordi de ofte baseres på tilgjengelige data og kjente metoder, er de også enkle å forstå og anvende i praksis.

Valg av metode bør avhenge av formål og omfang av analysen, men vil i praksis også være avhengig av tilgang på data og modellverktøy.

Tabell 2.1 Styrker og svakheter med partielle analyser

	Egnet til	Styrker	Svakheter
Prosjektspesifikke analyser	Analyse og sammenligning av konkrete klima-tilpasningsløsninger eller tilpasningsspakker i et avgrenset geografisk område.	Høy lokal relevans og detaljeringsgrad. Enkle å forstå.	Svak overførbarhet. Fanger ikke opp autonom tilpasning.
Direkte kostnadsberegninger	Analyse av et virkningsområde eller en del av en sektor.	Enkle å forstå. Genererer input til andre modeller.	Fanger ikke opp autonom tilpasning.
Sektormodeller	Analysere konsekvensene av klimaendringer for hele sektorer (spesielt jordbruk, energi og transport).	Modellerer ofte adferd til aktørene i sektoren eksplisitt. Fanger opp autonom tilpasning og tar hensyn til overordnede ressursbegrensninger i sektoren. Genererer input til andre modeller.	Komplekse.

Alle partielle analyser har også noen viktige begrensninger. En hovedutfordring er at resultatene ikke nødvendigvis er sammenlignbare på tvers av analyser. Analysene kan være basert på ulike forutsetninger og antagelser. Det gjør det krevende å summere eller sammenligne resultater. Partielle analyser tar også i liten grad hensyn til samspill mellom klimatilpasningsløsninger eller sektorer, og overordnede ressursbegrensninger. For eksempel kan konsekvensene av klimaendringer i en sektor påvirke andre sektorer gjennom handel (etterspørsel) og verdikjeder. Dette kan føre til at samlede kostnader enten overvurderes eller undervurderes i analysene. Tilsvarende kan overlapp mellom tilpasningsløsninger føre til at samme virkning telles flere ganger (dobbelttelling), dersom interaksjoner ikke vurderes eksplisitt. Usikkerhet kan håndteres gjennom sensitivitetsanalyser eller scenarioanalyser, der sentrale forutsetninger varieres.

Flere av disse svakhetene kan reduseres gjennom bruk av standardiserte metoder og felles forutsetninger. Det er mulig å håndtere overlapp og synergieffekter eksplisitt, for eksempel ved å vurdere hvordan tilpasningsløsninger påvirker hverandre og modellere interaksjoner der det er relevant. Samtidig gjør dette også analysene mer komplekse, og vanskeligere å forstå og anvende i praksis. Partielle analyser kan også benyttes som input i makromodeller, som bedre fanger opp samspill, ressursbegrensninger og helhetlige effekter.

3 Makroøkonomiske modeller og analyser

3.1 Generelle likevektsmodeller

Generelle likevektsmodeller (CGE-modeller) beskriver hele økonomien i et land eller en region. De simulerer hvordan husholdninger, bedrifter og myndigheter tilpasser seg endringer, og hvordan sjokk, som klimaendringer, sprer seg gjennom økonomien. Modellene består av et sett med ligninger som forsøker å fange opp strukturen i økonomien og aktørenes adferd og er kalibrert til data fra nasjonalregnskapet. Adferden til aktørene i modellen er basert på mikroøkonomisk teori. Relevante resultater fra CGE-modeller er typisk endring i velferd (målt som endring i husholdningenes nytte), endring i verdiskaping og produksjon både på sektornivå og for hele økonomien, samt endring i arbeidsledighet og offentlige budsjetter.

I CGE-modeller kan virkninger av klimaendringer analyseres gjennom hvordan klimaendringer påvirker produksjon og forbruk av varer og tjenester. For eksempel vil et lavere tilbud av en vare føre til høyere pris, noe som igjen stimulerer til substitusjon og endret etterspørsel etter andre varer og tjenester, som i sin tur påvirker priser, og til slutt vil virkningen spre seg til hele økonomien (Wei & Aaheim, 2023). Siden CGE-modeller fanger opp aktørenes tilpasninger til sjokk og endringer, vil CGE-modellene fange opp autonom tilpasning til klimaendringer, altså tilpasning som skjer i markedet uten at myndighetene griper inn (Steining mfl., 2015). Når denne tilpasningen skjer er avhengig av modellens dynamikk. I statiske modeller skjer tilpasningen først når sjokket inntreffer, mens i dynamiske modeller kan tilpasningen starte før, i påvente av en endring i fremtiden.

CGE-modeller er egnet til å vurdere økonomiske ringvirkninger, analysere hvordan sjokk i en sektor forplanter seg til andre, sammenligne kostnader og gevinster på tvers av sektorer og tiltak, samt til analyse av samlede makroøkonomiske effekter. Regionale og globale CGE-modeller kan også benyttes til å analysere handel og fordeling mellom regioner. Samtidig, siden CGE-modeller ofte opererer på et nasjonalt eller globalt nivå, fanger de ikke opp variasjoner innad i sektorer, regioner eller sesonger.

Det forutsettes som oftest perfekt informasjon, rasjonelle aktører og ingen friksjoner. Når det ikke er i friksjoner vil for eksempel arbeidskraft og kapital som frigjøres i én sektor, umiddelbart tas i bruk andre steder i økonomien. Det gjør at modellens kostnadsanslag kan være lavere enn i analyser som i større grad tar høyde for begrenset tilpasningsevne (Steining mfl., 2015). CGE-modeller er basert på markedsdata, og er derfor ikke godt egnet til å beregne ikke-prissatte effekter. Veldig få studier med CGE-modeller, om noen, tar høyde for katastrofale hendelser, vippepunkter eller tap knyttet til degradering av økosystemer. Informasjonen fra slike modeller kan derfor underestimere de totale kostnadene.

For en systematisk gjennomgang av hvordan CGE-modeller brukes i studier av klimatilpasning se Wei og Aaheim (2023).

3.1.1 Ulike typer CGE-modeller og eksempler

En CGE-modell med flere regioner, slik som i *globale modeller* hvor de ulike regionene er koblet sammen gjennom varestrømmer, kan også brukes til å studere hvordan klimaendringer i utlandet påvirker regionene en er interessert i.

I forskningslitteraturen finner vi flest eksempler på analyser av de makroøkonomiske konsekvensene av enkelte isolerte endringer, slik som energietterspørsel (Standardi mfl., 2023), landbruksproduktivitet (Panagos mfl., 2018), flom (Carrera mfl., 2015), havnivåstigning (Cortés Arbués mfl., 2024), eller klimarelaterte forstyrrelser i internasjonal handel (Key mfl., 2024), og ikke de totale konsekvensene av alle endringer. De større studiene gjennomført i COACCH og PESETA IV er unntak (Feyen mfl., 2020; COACCH, u.d.).

EKSEMPLER PÅ BRUK AV CGE-MODELLER

Som en del av COACCH-prosjektet ble det gjennomført en makroøkonomisk analyse ved bruk av den globale generelle likevektsmodellen ICES (Bosello mfl., 2020). ICES-modellen har muligheter for analyser på subnasjonalt nivå innenfor EU. Utenfor EU er modellen på et mer aggregert nivå. Som input ble det brukt resultater fra sektorstudiene som ble gjennomført i andre deler av prosjektet. Analysen antyder et tap i regional BNP på 1-2 prosent i EU, men med stor variasjon mellom regionene.

I PESETA IV-prosjektet ble det også gjennomført en makroøkonomisk analyse, her med den regionale CGE-modellen CaGE (Feyen mfl., 2020). Modellen dekker fem EU-regioner, og input er basert på resultater fra andre deler av PESETA-prosjektet. Modellresultatene anslår tap i BNP i EU til 0,33 prosent ved 1,5 °C oppvarming, 0,65 prosent ved 2 °C og 1,38 prosent ved 3 °C.

En tredje studie, Dellink mfl. (2019), brukte den globale CGE-modellen ENV-Linkages til å analysere økonomiske konsekvenser av klimaendringer frem til 2060. Studien estimerer globale BNP-tap på mellom 1 og 3,3 prosent innen 2060.

Alle de ovennevnte studiene benytter en *soft-linking*-tilnærming, der resultater fra partielle metoder blir oversatt til økonomiske input i modellene. Ulikhetene i skadeanslag mellom studiene kan skyldes forskjeller i hvilke sosioøkonomiske scenarioer og klimascenarioer som legges til grunn, ulikheter i modellene, ulikheter i hvilke klimaeffekter som inkluderes og hvordan de inkluderes. For eksempel benytter Dellink mfl. (2019) tap i arbeidsproduktivitet for å verdsette helseeffekter, mens PESETA IV-prosjektet anvender verdien av et statistisk liv, noe som gir høyere kostnadsanslag (Bosello & Leon, 2022).

I en *nasjonal CGE-modell* er vanligvis prisene på varer som handles internasjonalt gitt utenfor modellen, og antagelser om hvordan klimaendringer i utlandet påvirker den nasjonale økonomien legges inn eksogent. Nasjonale modeller gir vanligvis en mer detaljert representasjon av den nasjonale økonomien.

EKSEMPEL FRA ØSTERRIKE

For Østerrike ble det gjennomført en omfattende makroøkonomisk analyse av konsekvenser av klimaendringer (Steininger mfl., 2015). Analysen bygger på sektorvise resultater. Det ble gjort separate modellkjøringer for hver sektor for å undersøke hvordan klimarelaterte effekter sprer seg videre i økonomien. For eksempel viser analysen at de samlede virkningene av endringer i turismesektoren var større enn de direkte effektene. I tillegg ble det gjennomført en samlet modellkjøring der effektene fra alle sektorer ble inkludert samtidig for å fange opp samspill effekter. Resultatene viser at klimaendringer samlet sett fører til en moderat nedgang i BNP, men en større reduksjon i velferd, fordi modellen justerer for påtvunget forbruk som følge av klimaendringer. Studien indikerer også høyere arbeidsledighet og svakere offentlige budsjetter. De største negative bidragene til BNP og velferd fra klimaendringer kommer her fra elektrisitetssektoren, skogbruk og turisme, mens landbruk og bygningssektoren viser positive effekter som følge av økt produktivitet og lavere oppvarmingsbehov om vinteren.

Som en del av COACCH-prosjektet ble det også gjennomført en makroøkonomisk analyse av nasjonale tilpasningsstrategier i Østerrike, Spania og Nederland. Analysen benyttet den regionale CGE-modellen COIN-INT og inkluderer ulike klimatilpasningsløsninger, lagt inn i modellen som endringer i sammensetningen av offentlig konsum. Nyteffekten ble modellert som reduserte klimaskader, for eksempel færre tap av fysisk kapital ved flom eller mindre nedgang i skogproduktivitet. Scenarier uten klimatilpasning ble brukt som sammenligningsgrunnlag. Analysen viser at tilpasning reduserer både sektorvise og samlede økonomiske tap, og har positiv effekt på offentlige budsjetter. Økt økonomisk aktivitet bidrar til høyere skatteinntekter, som i analysen mer enn kompenserer for økte offentlige utgifter. Tilpasning gir derfor økt økonomisk og budsjettmessig handlingsrom (Watkiss & Preinfalk, 2022).

EKSEMPLER PÅ NORSKE CGE-MODELLER

SNOW-modellene er en familie CGE-modeller utviklet av SSB for langsiktige analyser av klimapolitikk, utslippstrender og skatteendringer (Rosnes & Yonezawa, 2024; Teknisk beregningsutvalg for klima, 2021). SNOW-NO modellerer Norge som en liten, åpen økonomi, der verdensmarkedspriser og andre internasjonale drivere er gitt utenfra. SNOW-DYN er en intertemporal variant med fremoverskuende adferd. Det vil si at aktørene i modellen tar beslutninger i dag basert på forventninger om fremtidige forhold, som for eksempel endring i fremtidige priser eller produktivitet, altså kan de begynne å tilpasse seg før endringen skjer. SNOW-GLO er en global modell med Norge som en egen region (Yonezawa, 2024). Modellen kan også inkludere en mikrosimuleringsmodul som deler husholdningene inn i ti inntektsgrupper, noe som gjør det mulig å analysere fordelingsvirkninger (Teknisk beregningsutvalg for klima, 2021).

GRACE er en global CGE-modell med Norge som en egen region. Modellen er utviklet av CICERO for å analysere hvordan klimapolitikk og klimaendringer påvirker verdensøkonomien (CICERO, 2022; Aaheim mfl., 2018). Modellen har tidligere blitt brukt til å studere de makro-økonomiske konsekvensene av endret energibruk (Ma mfl., 2024)

og redusert arbeidsproduktivitet (Orlov mfl., 2020) som følge av global oppvarming. Aaheim mfl. (2012) bruker også modellen for å undersøke de makroøkonomiske konsekvensene av klimaendringer i Europa under en global oppvarming på 2 og 4 grader. I studien ble Europa delt inn i 8 hovedregioner, hvor Norge inngikk blant de nordiske landene. I MYRIAD-EU-prosjektet, som pågikk i perioden 2021-2025, ble modellen brukt til å beregne hvordan klimakatastrofer påvirker økonomien i Norge, Sverige og Finland (CICERO, u.d.).

Nasjonale regionale CGE-modeller, også kalt SCGE-modeller (*spatial CGE*), er modeller som deler den nasjonale økonomien inn i regioner. De fanger opp hvordan varer og tjenester flyter mellom regioner, og kan inkludere transportkostnader. En viktig egenskap ved slike modeller er at de muliggjør analyser av regionale fordelingsvirkninger av klimaendringer og tilpasning. Det finnes flere regionale CGE-modeller for Norge. NOREG 2 er en dynamisk-rekursiv SCGE-modell utformet for analyser av regionaløkonomisk utvikling fem år og mer frem i tid. REMES er en dynamisk-rekursiv SCGE-modell med regional oppløsning for Norge, med vekt på modellering av energisystemet (Teknisk beregningsutvalg for klima, 2021).

Kryssløpstabeller og nasjonalregnskapsdata brukes til å kalibrere nasjonale CGE-modeller til et basisår. I multiregionale modeller inngår i tillegg data om handelsstrømmer mellom regioner, mens i nasjonale modeller legges verdensmarkedspriser inn som eksogene forutsetninger. Parametere som beskriver aktørenes adferd, slik som substitusjonselastisiteter og priselastisiteter, må også tallfestes. I tillegg trengs det data for ressursbegrensninger og eksisterende virkemidler. Ved framskrivninger er det behov for anslag på for eksempel fremtidig befolkningsvekst, inntektsvekst, BNP, arbeidsstyrke, produktivitet og størrelsen på offentlig sektor. Inngangsdata som trengs for å estimere nytte og kostnader av klimaendringer og klimatilpasningsløsninger beskrives i Tabell 4.1.

3.1.2 Håndtering av usikkerhet

I generelle likevektsmodeller belyses usikkerhet gjennom sensitivitets- og scenarioanalyser. En sensitivitetsanalyse undersøker hvordan modellresultater varierer med endringer i nøkkelparametere eller antagelser, mens scenarioanalyse utforsker hvordan fremtidige utfall varierer under ulike klimascenarioer og sosioøkonomiske utviklingsbaner.

I den makroøkonomiske analysen i COACCH-prosjektet ble det for eksempel analysert ni kombinasjoner av klimascenarioer og sosioøkonomiske utviklingsbaner, samt tre nivåer av klimaeffekter (lav, middels og høy) for hver sektor. Det ble også testet to nivåer for investeringsmobilitet i EU. Det førte til omfattende datamengder, og for å identifisere hovedkildene til usikkerhet i resultatene ble det gjennomført ANOVA- og hovedkomponentanalyse (PCA). De viktigste usikkerhetsdriverne ble identifisert til å være graden av investeringsmobilitet og sektorvise klimaeffekter.

En annen kilde til usikkerhet er vippepunkter. Vippepunkter er plutselige og irreversible endringer som kan få store samfunnsmessige og økonomiske konsekvenser. Vippepunkter kan være vanskelige å inkludere i standard økonomiske modeller grunnet usikkerhet og mangel på empiri, men kan gi betydelig økte kostnader hvis de inntreffer.

I COACCH-prosjektet ble det gjort egne analyser av både klimatiske og sosioøkonomiske vippepunkter. For eksempel er de økonomiske konsekvensene av havnivåstigning vurdert med de makroøkonomiske modellene ICES og COIN-INT. I tillegg vurderte de økonomiske konsekvenser av redusert turisme som følge av smeltende alpebreer og de økonomiske implikasjonene av kortere seilingsdistanser mellom Asia og Europa som følge av at den arktiske sommerisen forsvinner. Ni sosioøkonomiske vippepunkter ble også identifisert, blant annet klimadrevet migrasjon og kollaps i forsikringsmarkeder ved ekstremvær.

3.2 Andre makromodeller

3.2.1 DSGE-modeller

Dynamiske stokastiske generelle likevektsmodeller (DSGE) ligner på CGE-modeller, men inkluderer stokastiske (tilfeldige) sjokk. Dette gjør dem godt egnet til å analysere makroøkonomiske konsekvenser av gjentatte og uforutsigbare hendelser som naturkatastrofer. At modellene er intertemporalt dynamiske gjør det også mulig å modellere tidsdynamikk, forventningsdannelse og tilpasningsbaner over tid. For eksempel kan aktørene i en slik modell justere investering, konsum og produksjon basert på forventede klimaendringer i fremtiden. Modellene kan være vanskelige og tidkrevende å sette opp og kjøre, spesielt for store økonomier. I studier av klimatilpasning brukes DSGE-modeller til å modellere effektene av klimarelaterte sjokk som naturkatastrofer. For eksempel bruker Corugedo mfl. (2023) en DSGE-modell med gjentatte naturkatastrofer for å analysere samfunnsøkonomisk lønnsomhet av å investere i klimatilpasning i form av robust infrastruktur, mens Cantelmo mfl. (2023) bruker en DSGE-modell for å estimere velferdskostnadene knyttet til naturkatastrofer.

3.2.2 IAM-modeller

Integrerte vurderingsmodeller (IAM-er) er globale modeller som kobler sammen klimavitenskap og økonomi for å analysere sammenhengen mellom menneskelig aktivitet, klimagassutslipp, klimaendringer og økonomisk utvikling (Dietz, 2024). De brukes blant annet i FNs klimapanel (IPCC) sitt arbeid med scenarioanalyser. FNs klimapanel har samlet over 1000 IAM-scenarioer for å belyse konsekvensene av og mulighetene for å nå ulike klimamål.

Det skilles gjerne mellom to hovedtyper IAM-er: detaljerte prosessbaserte modeller (DP) med høy geografisk og sektoriell oppløsning, og kost-nytte-baserte modeller som ofte bygger på en CGE-modell med klimamodul (Weyant, 2017). IAM-er brukes til å estimere både kostnadene ved å kutte utslipp og de økonomiske konsekvensene av klimaendringer. For eksempel kan de brukes til å beregne *social cost of carbon*, som er et anslag på hvor mye skade, målt i kroner, som påføres samfunnet av hvert ekstra tonn med CO₂-utslipp. De kan også brukes til å beregne hvilken uniform karbonpris som trengs for å nå ulike klimamål på en kostnadseffektiv måte.

En viktig komponent i IAM-modellene er skadefunksjonen, som oversetter endring i globale gjennomsnittstemperaturer til økonomiske tap. Skadefunksjonene kan utformes på ulike måter, fra enkle ligninger til mer empirisk baserte tilnærminger.

Tradisjonelt er disse skadefunksjonene ofte enkle og gitt som en kurve som viser hvor mye av BNP som går tapt ved ulike nivåer av oppvarming. Dette skiller seg fra skadefunksjoner i partielle analyser som modellerer skader mer detaljert innenfor enkelt sektorer, for eksempel hvordan temperaturendringer påvirker avlinger eller

helseeffekter av hetebølger. En vanlig kritikk av skadefunksjonene i IAM-er er at de er statiske og ikke tar høyde for hvordan skader, sårbarhet og tilpasningsevne utvikler seg over tid, noe som kan føre til en undervurdering av fremtidige økonomiske konsekvenser (Estrada mfl., 2019; Keppo mfl., 2021). Modellene har også ofte begrenset evne til å fange opp ekstreme og irreversible utfall (Weyant, 2017).

IAM-er håndterer usikkerhet gjennom to hovedtilnærminger. Monte Carlo-simuleringer og stokastisk dynamisk programmering (Jensen & Traeger, 2024). Monte Carlo-metoden innebærer gjentatte kjøring av deterministiske modeller med ulike tilfeldige inngangsverdier, noe som gir innsikt i mulige utfallsrom, men ikke nødvendigvis i optimale valg under usikkerhet. Stokastisk dynamisk programmering søker derimot å optimalisere beslutninger gitt fremtidig usikkerhet, og inkluderer eksplisitt stokastiske (tilfeldige) sjokk på samme måte som i DSGE-modeller. IAM-er har også blitt brukt til å analysere vippepunkter. Mange studier antar at et vippepunkt utløses med en viss sannsynlighet ved en bestemt global temperatur. Andre mer avanserte modeller modellerer sekvenser av vippepunkter hvor ett vippepunkt kan øke sannsynligheten for andre (Lemoine & Traeger, 2016). Eksistensen av vippepunkter øker både usikkerheten og mulige kostnader ved klimaendringer. En metaanalyse av Dietz mfl. (2021) viser at inkludering av klimatiske vippepunkter i IAM-er øker *social cost of carbon* med i gjennomsnitt 24,5 prosent, og i 10 prosent av tilfellene mer enn dobles kostnadene.

IAM-er gir et helhetlig rammeverk for å analysere sammenhenger i klimasystemet og økonomien. Samtidig er de ofte sterkt forenklet, har lav geografisk oppløsning og er lite egnet for nasjonale analyser.

MODELLBRUK I SENTRALBANKER OG TILSYNSMYNDIGHETER (NGFS)

Network for Greening the Financial System (NGFS) er et globalt nettverk av sentralbanker (blant annet Norges Bank) og tilsynsmyndigheter. Et av formålene er å utvikle beste praksis for håndtering av klimarisiko i finanssektoren og en viktig del av arbeidet er utvikling av klimascenarier som viser hvordan klimaendringer, klimapolitikk og teknologi kan utvikle seg i fremtiden. Scenarioene er tilgjengelig på *NGFS Scenarios Portal* og er utviklet ved hjelp av en kombinasjon av klimamodeller, integrerte vurderingsmodeller (IAM), samt en makrofinansiell modell for å fange opp effekter på makroøkonomien.

NGFS benytter tre IAM-modeller (NGFS, 2024):

- **REMIND-MAGPIE** (PIK): REMIND er en global intertemporal generell likevektsmodell med en detaljert energisystemmodell. REMIND er koblet til landbruks- og arealmodellen MAGPIE gjennom en iterativ prosess (*soft-linking*). REMIND-MAGPIE har 12 modellregioner. Gjennom en skadefunksjon kan modellen fange opp økonomiske kostnader ved klimaendringer, og teknologisk endring modelleres endogent (IAMC, u.d.-a; NGFS, 2024).
- **MESSAGE-GLOBIOM** (IIASA): Består av energisystemmodellen MESSAGE, den globale areal- og landbruksmodellen GLOBIOM, luftforurensnings- og klimagassmodulen GAINS, samt den makroøkonomiske modulen MACRO. MACRO beregner sammenhengen mellom energietterspørsel, priser og økonomisk aktivitet ved å maksimere en intertemporal nyttefunksjon for en representativ aktør i hver

region. Modellene er koblet gjennom en iterativ prosess (*soft-linking*) (IAMC, u.d.-b; NGFS, 2024).

- **GCAM** (PNNL): Integrerer fem ulike delsystemer for makroøkonomi, energi, areal og landbruk, vann og klima. Delsystemene fungerer som en integrert helhet, der tilbud og etterspørsel balanseres gjennom prisjusteringer i en iterativ prosess. I motsetning til REMIND og MESSAGE beregnes økonomisk vekst eksogent basert på en forhåndsdefinert BNP-bane som i NGFS justeres semi-endogent for overgangskostnader og karbonpriser. Modellen dekker 32 regioner og har en egen vannmodul som beregner vannuttak og vannbruk.

REMIND-MAGPIE og MESSAGE-GLOBIOM er koblet til klimamodellen MAGICC¹ som oversetter utslipp til gjennomsnittlig global temperaturendring, mens GCAM benytter klimamodellen Hector til samme formål.

IAM-er brukes også i FNs klimapanel sitt arbeid med scenarioanalyser. De langsiktige scenarioene som ble vurdert i femte hovedrapport (AR5) er samlet i *IPCC AR5 Scenarios Database (AR5) | IIASA*. I tillegg til de tre modellene over, er det to andre sentrale IAM-er:

- **IMAGE** (PBL): Et globalt integrert modelleringsrammeverk med 26 regioner. Kjernen i modelleringsrammeverket er energisystemmodellen TIMER og et land- og klimasystem. IMAGE er *koblet til (soft-linked)* til en rekke andre modeller, blant annet den generelle likevektsmodellen MAGNET. IMAGE har detaljerte biofysiske prosesser og et bredt spekter av miljøindikatorer, men er mindre detaljert på økonomi og politiske virkemidler sammenlignet med andre IAM-er (IAMC, u.d.-c).
- **WITCH** (RFF-CMCC-EIEE): Kjernen i WITCH er en intertemporal vekstmodell som er integrert (*hard-linked*) til et energisystem. Landbruk og arealbruk håndteres via en *kobling (soft-link)* til GLOBIOM. Modellsystemet har 13 regioner og teknologisk endring modelleres endogent. Klimaendringer som følge av utslipp beregnes enten internt med en DICE-basert modul eller ved hjelp av MAGICC. CGE-modellen ICES brukes til å anslå skadevirkninger av klimaendringer på regionalt BNP. Et annet særtrekk ved WITCH er bruk av spillteori for å analysere samarbeid om klimatiltak (WITCH Model Team, 2026).

Ulike IAM-modeller bygger på forskjellige antagelser og kan gi forskjellige svar på samme spørsmål. Samtidig er de ofte enige om hovedtrekkene.

3.2.3 Makroøkonometriske modeller

I motsetning til CGE-modeller bygger makroøkonometriske modeller på observerte data og historiske sammenhenger. De fokuserer på hvordan økonomiske variabler faktisk har utviklet seg, og gir innsikt i kortsiktige mekanismer og tilpasninger. Modellene er best egnet for analyser på kort og mellomlang sikt, og er mindre egnet til langsiktige analyser, studier av strukturelle endringer eller tilpasninger til sjokk uten historisk presedens (Teknisk beregningsutvalg for klima, 2021).

¹ MAGICC er en forenklet klimamodell som kan etterligne resultater fra mer komplekse jordsystemmodeller

3.2.4 Input-output modeller

Input-output (I-O) modeller, også kjent som kryssløpsmodeller, er en statisk fremstilling av sammenhengene mellom ulike næringer i en økonomi. Modellene viser hvor stor andel av produksjonen i en næring som blir brukt som innsatsfaktor i andre næringer, og hvor mye som går til sluttforbruk i husholdningene og eksport. Interaksjon mellom næringer er basert på kryssløpstabeller fra nasjonalregnskapet, og input-output modeller regnes som forløpere til CGE-modeller. I-O-modeller er statiske og antar at produksjonen skjer med faste innsatsforhold, at konsumet er uendret, og at det ikke er begrensninger på tilgang til kapital eller arbeidskraft. De er nyttige for å analysere hvordan etterspørselsendringer i én næring påvirker andre, men fanger ikke opp tilpasninger over tid.

I COACCH-prosjektet brukes input-output data for å undersøke hvordan ekstreme værhendelser i andre land påvirker europeiske industrisektorer via internasjonale forsyningskjeder (Schleypen mfl., 2019). Resultatene viser at store naturkatastrofer i utlandet fører til betydelige reduksjoner i eksportverdien til berørte sektorer.

3.3 Økonometriske metoder

Økonometriske metoder bruker statistiske metoder og historiske data for å analysere sammenhenger mellom klimaendringer og økonomiske utfall. Slike analyser kan gjennomføres både på makronivå, for eksempel hvordan temperaturendringer påvirker BNP, eller for mer avgrensede virkningsområder som flomskader eller kostnader for transportsektoren, slik det også er omtalt under de partielle analysene.

EKSEMPLER PÅ BRUK AV ØKONOMETRISKE MODELLER

Kahn mfl. (2021) undersøker konsekvensene av temperatur- og nedbørssjokk på økonomisk aktivitet i 174 land i perioden 1960–2014. Ved hjelp av en stokastisk vekstmodell finner de at vedvarende temperaturendringer, enten over eller under normalen, har en negativ effekt på veksten i BNP per innbygger, mens lignende endringer i nedbør ikke har noen signifikant effekt. Med en temperaturøkning på 0,04 °C per år, anslås det at BNP per innbygger vil falle med over 7 prosent innen 2100. Hvis klimavariasjonen også øker, kan tapene bli så store som 13 prosent.

Burke mfl. (2015) analyserer hvordan årlig gjennomsnittstemperatur påvirker økonomisk vekst i 166 land i perioden 1960–2010. Økonomisk vekst er høyest ved en gjennomsnittstemperatur på rundt 13 °C, men avtar markant både under og over dette nivået. Dersom dagens utvikling fortsetter uten nye klimatiltak, anslås det at BNP per innbygger kan falle med om lag 23 prosent innen 2100.

Økonometriske analyser gir ofte høyere anslag på kostnadene fra klimaendringer enn CGE-modeller. Dette skyldes at de bygger på observerte data og fanger opp friksjoner og overgangskostnader, samt andre kostnader som irreversible tap og ikke-markedsmessige effekter, som ikke er godt representert i CGE-modeller. CGE-modeller forutsetter ofte umiddelbar og friksjonsfri tilpasning, noe som kan bidra til lavere kostnadsanslag (Bosello & Leon, 2022; Bosello & Parrado, 2020).

En viktig fordel med økonometriske metoder er at de er datadrevne og basert på reelle historiske observasjoner. Dette gjør dem i stand til å fange opp land- og sektorspesifikke effekter, samt faktiske friksjoner og kostnader ved tilpasning. Ulempen er at de er sterkt avhengige av historiske data, og dermed ikke nødvendigvis egner seg for å analysere kostnader av fremtidige klimaendringer i en verden i endring.

3.4 Sammenligning av ulike modeller og metoder

Valg av modell og metode er avhengig av formålet med analysen, tidshorisonten og hvilke effekter man ønsker å fange opp. Tabell 3.1 under gir en oversikt over ulike modeller og metoder

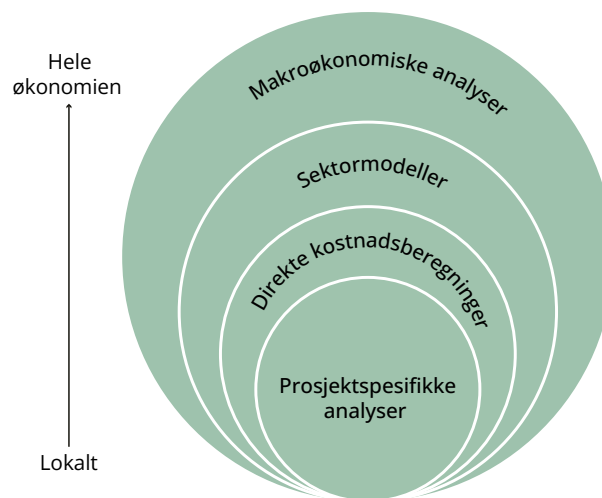
Tabell 3.1 Styrker og svakheter med makroøkonomiske analyser

	Egnet til	Styrker	Svakheter
CGE-modeller	Nasjonale og globale analyser på mellomlang og lang sikt.	Fanger opp aktørers tilpasning og økonomiske ringvirkninger.	Kan undervurdere kostnader. Antar ofte friksjonsfri tilpasning og fanger ofte ikke opp ikke-prissatte virkninger og ekstreme hendelser.
DSGE-modeller	Nasjonale og globale analyser av gjentatte og uforutsigbare vær- og naturhendelser.	Fanger opp forventningsdannelse, tidsdynamikk og usikkerhet eksplisitt.	Komplekse og ressurskrevende å utvikle, kjøre og kalibrere.
IAM-modeller	Globale analyser av sammenhengen mellom klima, utslipp og økonomi.	Integrerer klimavitenskap og økonomi i ett rammeverk.	Forenklet, lite egnet for detaljerte nasjonale analyser.
Makro-økonometriske modeller	Analyse av kortsiktig tilpasning og kostnader.	Basert på historiske sammenhenger, fanger opp observerte tregheter og friksjoner.	Basert på historiske sammenhenger, fanger ikke opp mulig fremtidige strukturelle endringer.
Input-output modeller	Analyse av etter-spørselsendringer og næringskoblinger.	Enkle og mer transparente.	Antar faste innsatsforhold og ubegrenset tilgang på ressurser; fanger ikke opp tilpasning eller dynamikk over tid.
Økonometriske metoder	Estimering av historiske og kortsiktige fremtidige kostnader.	Baserer seg på observerte sammenhenger; fanger opp faktiske tilpasningskostnader.	Basert på historiske sammenhenger, fanger ikke opp mulig fremtidige strukturelle endringer.

4 Kombinasjon av ulike modeller og metoder

Valg av modell og metode er avhengig av analysens formål og omfang, se Figur 4.1. Ingen enkelt modell eller metode er egnet for alle problemstillinger eller kan fange hele bredden av relevante mekanismer og effekter.

Figur 4.1 Sammenheng mellom metode og aggregeringsnivå



Kilde: Ekspertutvalget om klimatilpasning.

For makroøkonomiske analyser på lang sikt som fanger opp autonom tilpasning til klimaendringer er CGE-modeller mest aktuelt. CGE-modeller operer ofte på et nasjonalt eller globalt nivå, og fanger derfor ikke opp variasjoner innad i sektorer, regioner eller sesonger. Siden konsekvensene av klimaendringer og behovet for klimatilpasning ofte er lokale, har slike modeller begrenset egnethet for å analysere konkrete tilpasningsløsninger på lokalt nivå (Wei & Aaheim, 2023). Videre er CGE-modellene avhengige av at de direkte effektene av klimaendringene legges inn som input. De må derfor kombineres med partielle metoder, som kan fange opp variasjoner innad i sektorer, regioner eller sesonger.

I motsetning til partielle metoder, er CGE-modeller godt egnet til å vurdere økonomiske ringvirkninger og analysere hvordan sjokk i én sektor forplanter seg til andre. De er også egnet til å sammenligne kostnader og gevinster på tvers av sektorer og tiltak, samt til å analysere samlede makroøkonomiske effekter. Det er bred enighet i litteraturen om at klimaendringer vil ha betydelige priseffekter, og priser er en sentral drivkraft for autonom tilpasning for både privatpersoner og næringsaktører (Wei & Aaheim, 2023). Wei og Aaheim (2023) peker derfor på behovet for å utvikle metoder som kobler lokale studier med CGE-modeller. For å analysere klimatilpasning på en mer helhetlig måte, er

det avgjørende å forstå hvordan virkninger lokalt påvirker priser samlet sett, og hvordan disse prisendringene påvirker tilpasningsadferd lokalt.

Det skilles mellom to måter å kombinere modeller og metoder på. *Soft-linking*, eller myk kobling, innebærer at informasjon utveksles manuelt mellom ulike modeller. Resultater fra én modell brukes som input i en annen, og prosessen kan gjentas for å sikre konsistente resultater. Fordelen er at modeller fra ulike fagområder kan kombineres uten forenkling. Ulempen er at prosessen kan være tidkrevende og krevende å koordinere, siden informasjonsflyten ikke er automatisert. *Hard-linking* innebærer at modellene er teknisk integrert i ett samlet system, der informasjon flyter automatisk mellom modellene. Denne tilnærmingen gir høyere grad av konsistens og effektivitet, men krever betydelig utviklingsarbeid og kan gjøre det nødvendig å tilpasse modellene for at de skal kunne kommunisere med hverandre.

PESETA, COACCH og analysen fra Østerrike gjennomførte alle en rekke sektoranalyser for å identifisere konsekvenser på sektornivå. Resultatene fra disse sektoranalysene ble deretter brukt i makroøkonomiske modeller, og er eksempler på *soft-linking*. Prosessen i disse studiene illustreres i Figur 4.2.

Figur 4.2 Eksempel på prosess med *soft-linking*



Kilde: Ekspertutvalget om klimatilpasning.

En CGE-modell kan fange opp virkninger av klimaendringer gjennom flere mekanismer (Steinger mfl., 2015):

- Endring i produksjonskostnader
- Endring i produktivitet
- Endring i etterspørsel
- Endring i investering
- Endring i offentlige utgifter
- Endring i kapital

Nytte ved klimatilpasningsløsninger implementeres som endring i input, for eksempel at tap av kapitalbeholdning reduseres. Kostnad ved klimatilpasningsløsninger implementeres som endring i offentlige utgifter.

Tabell 4.1 gir en oversikt over hvordan resultater fra partielle metoder kan benyttes som input i CGE-modeller.

Tabell 4.1 Eksempler på inndata til generelle likevektsmodeller

Utdata fra partielle analyser	Inndata i CGE-modell
Direkte skader fra klimarelaterte værhendelser (som flom, storm, tørke).	Reduksjon i kapitalbeholdning og/eller redusert arbeidsproduktivitet i berørte sektorer og regioner. Endring i investeringsbehov offentlige utgifter til gjenoppbygging.
Endring i avling og vekst i jordbruk.	Endring i sektorens produktivitet.
Skader på kystsoner og havnivåstigning	Tap av tilgjengelig land og kapital.
Endring i arbeidsproduktivitet på grunn av varme eller sykdom.	Direkte nedgang i arbeidskraftens produktivitet.
Endring dødelighet som følge av ekstrem varme.	Endringer i privat konsum og husholdningenes velferd.
Endring i energietterspørsel (kjøling og oppvarming).	Endringer i husholdningenes og næringslivets etterspørsel etter energi.
Endring i energitilbud (for eksempel på grunn av endring i vannressurser).	Produksjonssjokk. Endring i teknologi.
Endring i biologiske farer (for eksempel barkbiller).	Reduserer tilgjengelighet eller vekst i skogressurser, som påvirker produksjonskapasiteten i skogbrukssektoren.
Endring i turisme.	Endring i etterspørsel.
Endringer i fiskefangstpotensial.	Reduksjon i tilgjengelige naturressurser eller produktivitet i fiskesektoren.

Kilder: Steininger mfl. (2015), COACCH (u.d.), Feyen mfl. (2020), Dellink mfl. (2019), Aaheim mfl. (2018).

5 Referanser

- Aker, J. C., & Jack, B. K. (2023). Harvesting the rain: The adoption of environmental technologies in the Sahel. *Review of Economics and Statistics*, ss. 1–52.
- Barwick, P. J., Donaldson, D., Li, S., Lin, Y., & Rao, D. (2022). Improved transportation networks facilitate adaptation to pollution and temperature extremes. *HKUST Business School Research Paper* (2022-077).
- Björkman Nyqvist, M., von Carnap, T., Guariso, A., & Svensson, J. (2023). Weather shocks, child mortality, and adaptation: experimental evidence from Uganda. *medRxiv*, 2023-04.
- Boere, E., Valin, H., Bodirsky, B., Baier, F., Balkovic, J., Batka, M., . . . Lotze-Campen, H. (2019). *D2.2 Impacts on agriculture including forestry & fishery*. H2020 COACCH project.
- Bosello, F., & Leon, C. J. (2022). Climate change impacts in the EU: new evidence from recent research. *EAERE Magazine*.
- Bosello, F., & Parrado, R. (2020). Macro-economic assessment of climate change impacts: methods and findings. *Ekonomiaz: Revista vasca de economía*, ss. 44-61.
- Bosello, F., Standardi, G., Parrado, R., S, D., Guastella, G., Rizzati, M., . . . van Ginkel, K. (2020). *Macroeconomic, spatially-resolved impact assessment*. H2020 COACCH project.
- Burke, M., Hsiang, S. M., & Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 527(7577), ss. 235-239. doi:10.1038/nature15725
- Burlig, F., Jina, A., Kelley, E. M., Lane, G. V., & Sahai, H. (2024). Long-range forecasts as climate adaptation: Experimental evidence from developing-country agriculture. *National Bureau of Economic Research*. doi:10.3386/w32173
- Cantelmo, A., Melina, G., & Papageorgiou, C. (2023). Macroeconomic outcomes in disaster-prone countries. *Journal of Development Economics*, 161. Article 103037. doi:10.1016/j.jdeveco.2022.103037
- Carleton, T., Duflo, E., Jack, B. K., & Zappalà, G. (2024). Adaptation to climate change. I L. Barrage, & S. Hsiang, *Handbook of the Economics of Climate Change* (ss. 143–248). doi:10.1016/bs.hesec.2024.10.001
- Carleton, T., Duflo, E., Jack, K., & Zappalà, G. (2025). Hentet fra The economics of climate adaptation: From academic insights to effective policy: <https://cepr.org/voxeu/columns/economics-climate-adaptation-academic-insights-effective-policy>
- Carrera, L., Standardi, G., Bosello, F., & Mysiak, J. (2015). Assessing direct and indirect economic impacts of a flood event through the integration of spatial and computable general equilibrium modelling. *Environmental Modelling & Software*, 63, ss. 109-122.
- CICERO. (u.d.). Hentet fra MYRIAD-EU: Improving disaster risk management through multi-hazard and multi-sector risk assessment: <https://cicero.oslo.no/no/prosjekter/myriad-eu>
- CICERO. (2022). Hentet fra The Grace Model: <https://cicero.oslo.no/en/articles/the-grace-model>
- COACCH. (u.d.). *CO-designing the Assessment of Climate Change costs*. Hentet fra <https://www.coacch.eu/>
- Cortés Arbués, I., Chatzivasileiadis, T., Ivanova, O., Storm, S., Bosello, F., & Filatova, T. (2024). Distribution of economic damages due to climate-driven sea-level rise across European regions and sectors. *Scientific Reports*, 14(1), s. 126. doi:10.1038/s41598-023-48136-y

- Corugedo, E. F., Gonzalez, A., & Guerson, A. (2023). *The macroeconomic returns of investment in resilience to natural disasters under climate change: A DSGE approach*. International Monetary Fund.
- Dellink, R., Lanzi, E., & Chateau, J. (2019). The sectoral and regional economic consequences of climate change to 2060. *Environmental and resource economics*, 72(2), ss. 309-363. doi:10.1007/s10640-017-0197-5
- Després, J., & Adamovic, M. (u.d.). *Seasonal impacts of climate change on electricity production - JRC PESETA IV project Task 4*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2760/879978
- Dietz, S. (2024). Introduction to integrated assessment modeling of climate change. I L. Barrage, & S. Hsiang, *Handbook of the Economics of Climate Change* (ss. 1-51). North-Holland. doi:10.1016/bs.hesec.2024.10.002
- Dietz, S., Rising, J., Stoerk, T., & Wagner, G. . (2021). Economic impacts of tipping points in the climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(34), s. e2103081118. doi:10.1073/pnas.2103081118
- Estrada, F., Tol, R. S., & Botzen, W. W. (2019). Extending integrated assessment models' damage functions to include adaptation and dynamic sensitivity. *Environmental Modelling & Software*, 121, s. 104504. doi:10.1016/j.envsoft.2019.104504
- Feyen, L., Ciscar, J. C., Gosling, S., Ibarreta, D., & Soria, A. (2020). *Climate change impacts and adaptation in Europe: JRC PESETA IV final report*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2760/171121
- Fridstrøm, L., Hovi, I. B., Kristensen, N. B., Madslien, A., Bruvoll, A., Gulbrandsen, M., . . . Aalen, P. (2020). *Transportmodeller for klimaanalyse*. Transportøkonomisk institutt.
- Halsnæs, K., Dømgård, M. L., Larsen, M. A., & Kaspersen, P. S. (2021). *Modeldokumentation og -vejledning for DTU Skadesøkonomi model*. DTU Management.
- Hristov, J., Toreti, A., Pérez Domínguez, I., Dentener, F., Fellmann, T., C, E., . . . Bratu, M. (2020). *Analysis of climate change impacts on EU agriculture by 2050*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2760/121115
- Hunt, A., Bodirsky, B., Boere, E., van Vuuren, D., van der Wijst, K., Valin, H., & Hof, A. (2020). *D2.5 Non-market impacts: Ecosystems and biodiversity*. H2020 COACCH project.
- IAMC. (u.d.-a). Hentet fra Model Documentation - REMIND-MAGPIE: https://www.iamcdocumentation.eu/Model_Documentation_-_REMIND-MAGPIE
- IAMC. (u.d.-b). Hentet fra Model Documentation - MESSAGE-GLOBIOM: https://www.iamcdocumentation.eu/Model_Documentation_-_MESSAGE-GLOBIOM
- IAMC. (u.d.-c). Hentet fra Model concept, solver and details - IMAGE: https://www.iamcdocumentation.eu/Model_concept_solver_and_details_-_IMAGE
- Jensen, S., & Traeger, C. (2024). Uncertainty in climate-economic modeling. I L. Barrage, & S. Hsiang, *Handbook of the Economics of Climate Change* (ss. 351-423). North-Holland. doi:10.1016/bs.hesec.2024.10.005
- Kahn, M. E., Mohaddes, K., Ng, R. N., Pesaran, M. H., Raissi, M., & Yang, J. C. (2021). Long-term macroeconomic effects of climate change: A cross-country analysis. *Energy Economics*, 104, s. 105624. doi:10.1016/j.eneco.2021.105624
- Keppo, I., Butnar, I., Bauer, N., Caspani, M., Edelenbosch, O., Emmerling, J., . . . Wagner, F. (2021). Exploring the possibility space: taking stock of the diverse capabilities and gaps in integrated assessment models. *Environmental Research Letters*, 5, s. 053006.

- Key, R., Parrado, R., Delpiazzi, E., King, R., & Bosello, F. (2024). Potential climate-induced impacts on trade: the case of agricultural commodities and maritime chokepoints. *Journal of Shipping and Trade*, 1, s. 11.
- Kotz, M., Levermann, A., & Wenz, L. (2024). The economic commitment of climate change. *Nature*, 628(8008), ss. 551-557.
- Lane, G. (2024). Adapting to climate risk with guaranteed credit: Evidence from Bangladesh. *Econometrica*, 92(2), ss. 355-86.
- Lemoine, D., & Traeger, C. P. (2016). Ambiguous tipping points. *Journal of Economic Behavior & Organization*, ss. 5-18.
- Lincke, D., Hinkel, H., van Ginkel, K., Jeuken, A., Botzen, W., Tesselaar, M., . . . Ignjacevic, P. (2018). *D2.3 Impacts on infrastructure, built environment, and transport*. H2020 COACCH project.
- Ma, L., Wei, T., Nordling, K., & Aaheim, A. (2024). Impacts of global warming on regional energy and economy: Uneven consequences arising from global warming-induced heating and cooling demand of households. *Climate Change Economics*, 15(02).
- Macours, K., Premand, P., & Vakis, R. .. (2022). Transfers, Diversification and Household Risk Strategies: Can productive safety nets help households manage climatic variability? *The Economic Journal*, 647, ss. 2438-2470.
- Mittenzwei, K. (2018). *Økonomisk modellering av klimatiltak i jordbruket: dokumentasjon og anvendelser i CAPRI og Jordmod*. NIBIO.
- NGFS. (2024). *NGFS climate scenarios: Technical documentation V5.0*. Network for Greening the Financial System.
- Orlov, A., Sillmann, J., Aunan, K., Kjellstrom, T., & Aaheim, A. (2020). Economic costs of heat-induced reductions in worker productivity due to global warming. *Global Environmental Change*, 63, s. 102087. doi:10.1016/j.gloenvcha.2020.102087
- Panagos, P., Standardi, G., Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L., & Bosello, F. (2018). Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. *Land degradation & development*, 29(3), ss. 471-484. doi:10.1002/ldr.2879
- Pedersen, S., Eidsvig, U., Winter-Larsen, S. G., & Handberg, Ø. N. (2022). *Forprosjekt om den samfunnsøkonomiske verdien av å forebygge mot fysisk risiko som er utløst av klimaendringer*. Menon Economics.
- Premand, P., & Stoeffler, Q. (2022). Cash transfers, climatic shocks and resilience in the Sahel. *Journal of Environmental Economics and Management*, 116.
- Rosnes, O., & Yonezawa, H. (2024). *The SNOW Model for Norway: Documentation of SNOW-NO*. Statistisk sentralbyrå.
- Ščasný, M., Botzen, W., Šmíd, M., Alberini, A., Chiabai, A., Hroudová, J., . . . Zvěřinová, I. (2020). *D2.6 Non-market impacts: Health*. H2020 COACCH project. Hentet fra https://www.coacch.eu/wp-content/uploads/2018/03/D2.6_revMAR2022.pdf
- Schleypen, J. R., Dasgupta, S., Borsky, S., Jury, M., Ščasný, M., & Bezhanishvili, L. (2019). *D2.4 Impacts on Industry, Energy, Services, and Trade*. H2020 COACCH project. Hentet fra https://www.coacch.eu/wp-content/uploads/2018/03/D2.4_revMAR2022.pdf
- Shrader, J. G., Bakkensen, L., & Lemoine, D. (2023). Fatal errors: The mortality value of accurate weather forecasts. *National Bureau of Economic Research*. doi:10.3386/w31361

- Standardi, G., Dasgupta, S., Parrado, R., De Cian, E., & Bosello, F. (2023). Assessing Macroeconomic Effects of Climate Impacts on Energy Demand in EU Sub-national Regions. *Environmental and Resource Economics*, 86, ss. 173–201. doi:10.1007/s10640-023-00792-4
- Steininger, K. W., König, M., Bednar-Friedl, B., Kranzl, L., Loibl, W., & Prettenthaler, F. (Red.). (2015). *Economic Evaluation of Climate Change Impacts: Development of a Cross-Sectoral Framework and Results for Austria*. Springer Cham. doi:10.1007/978-3-319-12457-5
- Teknisk beregningsutvalg for klima. (2021). *Makromodeller til bruk i klimaanalyser*. Teknisk beregningsutvalg for klima.
- Teknisk beregningsutvalg for klima. (2023). *Metoder til bruk i klimaanalyser: Vurderinger og anbefalinger fra Teknisk beregningsutvalg for klima*. Teknisk beregningsutvalg for klima.
- Watkiss, P., & Preinfalk, E. (2022). The economics of climate adaptation in the EU: new evidence from recent research. *EAERE Magazine*.
- Wei, T., & Aaheim, A. (2023). Climate change adaptation based on computable general equilibrium models – a systematic review. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 15(4), ss. 561–576. doi:10.1108/IJCCSM-03-2022-0031
- Weyant, J. (2017). Some contributions of integrated assessment models of global climate change. *Review of Environmental Economics and Policy*.
- WITCH Model Team. (2026). Hentet fra WITCH documentation: <https://www.witchmodel.org/documentation/>
- Yonezawa, H. (2024). *The SNOW Global Model*. Statistisk sentralbyrå.
- Aaheim, A., Amundsen, H., Dokken, T., & Wei, T. (2012). Impacts and adaptation to climate change in European economies. *Global Environmental Change*, 4, ss. 959-968.
- Aaheim, H. A., Orlov, A., Wei, T., & Glomsrød, S. (2018). *GRACE model and applications*. CICERO Report 2018:01.

Utgitt av: Ekspertutvalget om klimatilpasning

Publikasjoner er tilgjengelige på:
www.regjeringen.no
Publikasjonskode: T-1610 B

Design og ombrekking: Melkeveien Designkontor
Trykk: Departementenes sikkerhets- og serviceorganisasjon
06/2026



Trykksak
2041 0446