

IEA sine energiutsikter: Bibel eller blendverk?

Klaus Mohn

Handelshøgskolen ved Universitetet i Stavanger
Norges Handelshøyskole ¹

Samandrag

Gjennom dei seinare åra har Det internasjonale energibyrået (IEA) teke ei stadig meir sentral rolle som premissleverandør for utsikter og politikk på energi- og klimaområdet, både internasjonalt og i Noreg. Denne analysen gir ein introduksjon til metodar, modellering og scenario-design bak energi-utsiktene frå IEA. Deretter følgjer ei drøfting av føresetnader og framskrivingar for økonomisk vekst, teknologiske framsteg og fornybar-investeringar. Analysen tyder på at viktige sider ved framskrivingane er knytt til kritiske eksogene føresetnadar. Trass i store ressursar og høg kompetanse, er usikkerheita rundt IEA sine analyser neppe mindre enn i andre framskrivingar av det globale energibiletet. Ein porsjon sunn skepsis er difor på sin plass i møtet med alle utsikter for energi og klima.

Nøkkelord: Energiøkonomi, makroøkonomi, modellering
JEL-klassifisering: Q41, Q43, Q47

¹ Takk for nyttige kommentarar frå Oluf Langhelle, Ottar Skagen og Eirik Wærness.

Innleiing

I november kvart år presenterer Det internasjonale energibyrået (International Energy Agency; IEA) ei ny 700-siders utgåve av *World Energy Outlook* (WEO; IEA, 2015a) for eit fullsett pressepublikum i London. Denne årlege boka med langsiktige energiutsikter frå IEA får stor merksemd i olje- og energinæringa, og har utvikla seg til eit sentralt referansedokument for energi- og klimapolitikken både internasjonalt og i Noreg (Van de Graaf, 2012; Heubaum og Bierman, 2015; Mohn, 2015).

Samstundes har IEAs *World Energy Outlook* fått aukande kritikk frå fleire hald gjennom dei siste åra, blant anna for ikkje å ha fanga opp dynamikken i utviklinga av ny fornybar energi (sjå td. Metayer mfl, 2015). Spesielt har IEA undervurdert den kraftige framveksten av solenergi og vindkraft. *World Energy Outlook* bygg utsiktene på eit omfattande og svært detaljert modellapparat som trekk på innsikt frå geologi, teknologi, økonomi og politikk.

Ei vanleg innvending mot IEA sin metode er at økonomisk åtferd har tronge kår, og at samanhengane som inngår i modellen er for lite fleksible i møtet med endringar og omslag i teknologi, preferansar, politikk og prisar. Vidare ser ein kritikarar som hevdar at energiutsiktene frå IEA i for stor grad er eit resultat av fastlagte historiske samanhengar og trendar, kombinert med eit rikt sett av (eksogene) føresetnadar for utviklinga i teknologi, prisar og politikk. Eit spesifikt døme er at den økonomiske veksten i alle land og verda over er den same på tvers av dei tre hovudscenarioia, trass i at dei spenner ut eit variasjonsrom for svært mange andre utviklingstrekk i verdsøkonomien, inkludert olje- og gassprisane.

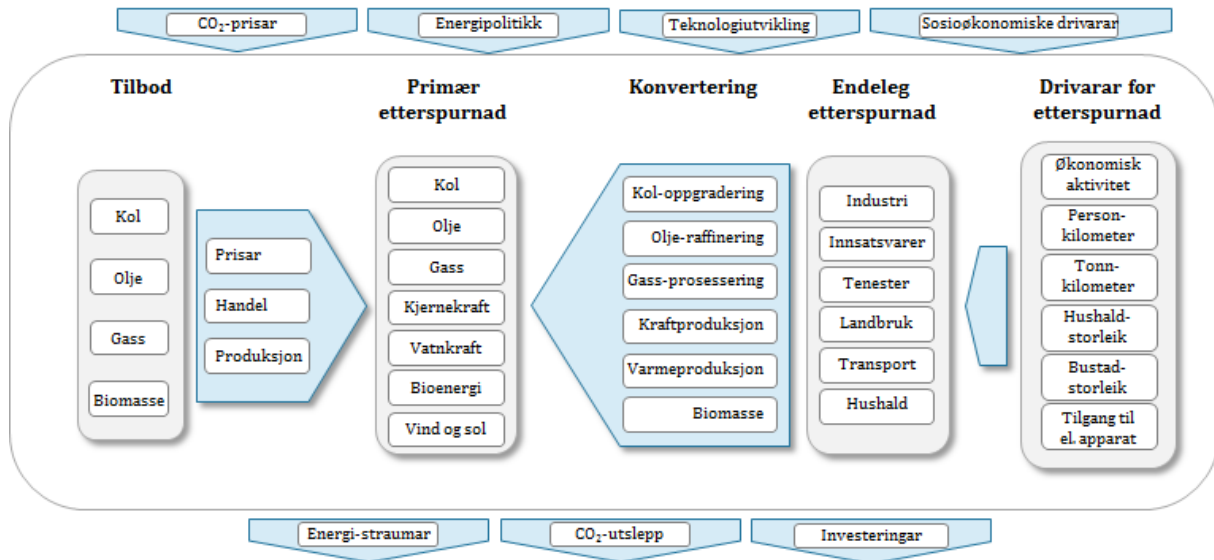
Eit hovudspørsmål bak denne analysen er om IEAs *World Energy Outlook* har gjort seg fortent til rolla som det mest sentrale referanseverket når det gjelder utsikter for energisituasjonen i verda. Som utgangspunkt gir framstillinga ein samanfatta introduksjon til metodar og modellverktøy bak IEA sine energiframskrivingar. Deretter kjem ei kritisk drøfting av utsiktene frå IEA, med utgangspunkt i tre spesifikke område av analyseverket. Det første gjeld handteringa av den makroøkonomiske utviklinga. Vidare kjem ein tilsvarande diskusjon av dei generelle og energispesifikke teknologiprosessane i modellverket, før me til slutt skal sjå nærmare på implikasjonar knytt til framskrivingar av nye fornybare energikjelder, det vil seie solenergi og vindkraft.

Metodegrunnlag og modell

Gjennom meir enn 20 år har IEA presentert langsiktige modellbaserte framskrivingar av energisituasjonen i verda, og for dette formålet har dei bygd opp ein omfattande og detaljrik simuleringsmodell som blir kalla *World Energy Model* (WEM). Det som følgjer er ei overordna introduksjon til den svært detaljrike modellen, for å illustrere kva slags prinsipp, metodar og modelleringsteknikk som ligg til grunn for framskrivingane. Ei lang

rekke detaljar og nyansar vil med naudsyn sleppe unna i ein kort introduksjon som denne. For ein meir utførleg introduksjon til *World Energy Model*, sjå IEA (2015b).

Figur 1. Oversikt over IEAs World Energy Model



Kjelde: IEA (2015b).

Figur 1 gir ei overordna skjematisk oversikt over IEA sin *World Energy Model* (WEM). Modellen nyttar årlege data,² og har tre hovudmodular som kvar tek for seg 1) tilbod av energi, 2) konvertering og 3) etterspurnad etter energi. Dei mest sentrale eksterne føresetnadene knyt seg til kostnader ved CO₂-utslepp, planar og tiltak for energi- og klimapolitikk, teknologit utvikling i ulike næringar og regionar, samt makroøkonomiske føresetnadar som til dømes utsikter for økonomisk vekst. Utover slike føresetnadar illustrerer figuren at endeleg etterspurnad etter energi frå ulike delar av økonomien er eit resultat av aktiviteten i dei ulike sektorane. Den endelege etterspurnaden retter seg mot ei rekke konverteringsprosessar, og primær energietterspurnad er bestemt av energien som blir etterspurt til desse prosessane. Produksjon, handel og prisdanning for energiråvarer som kol, olje, naturgass og biomasse³ blir til slutt eit resultat av samspelet med primær energietterspurnad i ulike næringar og regionar.

WEM delar verda inn i 25 regionar, og 12 av desse regionane er enkeltland.

Analysehorisonten er normalt 25-30 år, og eksogene føresetnadar omfattar mellom anna utsikter for økonomisk vekst, demografi, teknologi- og politikkt utvikling. I tillegg er prisane på råolje og naturgass eksogene, medan prisar til sluttbrukar på ei rekke

² Energirelaterte data til modellen kjem frå IEA sine egne databasar (<http://www.iea.org/statistics>).

³ Biomasse omfattar både tradisjonell biomasse (td trevirke og møkk) og ulike råstoff (td spesialiserte jordbruks- og skogbruksprodukt) til moderne bio-brensel, som igjen blir etterspurt av hushald og industri via raffineri-verksemnda for oljeprodukt.

energiprodukt og elektrisk kraft er bestemte av modellen.⁴ Utsikter frå modellen vil typisk omfatte tilbud og etterspurnad for ulike energiberarar, kostnader og investeringar, forbrukarprisar og klimagass-utslepp.

Figur 2. Prinsippskisse for modelleringa av etterspurnad i WEM



Kjelde: IEA (2015b).

Etterspurnad

Figur 2 gir ein illustrasjon av den overordna tilnærminga til modelleringa av etterspurnad i WEM. Modellen delar etterspurnaden inn i fem ulike hovudsektorar (industri, transport, hushald, tenester og landbruk).⁵ I tillegg kjem etterspurnad etter energiprodukt som innsatsvare, til dømes i petrokjemi-industrien. For kvar av desse sektorane har ein kalibrert samanhengar mellom etterspurnad etter energi-tenester (E_t) og eit passende mål for økonomisk aktivitet (Y_t):

$$E_t = A_t Y_t. \quad (1)$$

Aktivitetsvariabelen vil variere frå sektor til sektor. Til dømes er det produksjonsnivået som ligg til grunn for aktivitetsnivået i dei ulike industrisektorane, og dette blir estimert for kvart år med utgangspunkt i økonometriske likningar der energiprisar, historisk produksjon, BNP og folketal inngår som forklaringsvariablar. På tilsvarande vis er det bustad-areal, tal på hushald, tilgang til elektriske apparat og tenester som danner utgangspunkt for aktivitetsvariabelen i hushaldssektoren.⁶

I neste steg nyttar ein modellar for diskret val for å fordele etterspurnaden etter energitenester på ulike teknologiar og energiberarar. Her er valet mellom ulike kategoriar styrt av kostnadsminimering, slik at etterspurnaden (over tid) vil drifte mot

⁴ For kvar sektor og region bereknar modellen ein indeks for sluttbrukarprisar basert på prisar på energiråvarer, kostnader og marginalar ved konvertering/ raffinering, transportkostnader, skattar og avgifter. Her inngår tre typar kol («coking coal», «steam coal» og «lignite»), naturgass, meir enn 10 ulike produkt frå oljeraffinering (LPG, nafta, bensin, parafin, diesel, tungolje og andre produkt «... (which include petroleum coke, refinery gas, asphalt, solvents, wax, etc)»; IEA (2015b), s. 30). I tillegg kjem kraftprisar og prisar på ulike typar bio-energi og fjernvarmeprodukt.

⁵ Kvar av hovudsektorane er igjen delte opp i 5-7 undersektorar. Til dømes omfattar industrisektoren undersektorane 'aluminium', 'jern og stål', 'kjemi og petrokjemi', 'sement', 'papir og treforedling' og 'andre industrinæringar'. Transportsektoren omfattar 'vegtransport', 'luftfart', 'jernbane', 'sjøfart' og 'øvrig transport', medan energietterspurnaden frå hushald-sektoren er delt inn i 'oppvarming', 'nedkjøling', 'oppvarming av vatn', 'koking' og 'lyssetting'.

⁶ For transportsektoren er det 'passasjer-kilometer' og 'tonn-kilometer' som ligg til grunn for modelleringa av aktivitet knytt til person- og godstrafikk.

dei mest kostnadseffektive løysingane. For kvar energiberar (fotskrift i) er det grunnleggande utgangspunktet spesifikasjon og estimering av lineære indirekte nyttefunksjonar (V_{it}) på kvart bruksområde:

$$V_{it} = \alpha_i p_{it} + \beta_i t + \gamma_i , \quad (2)$$

der p_i er prisen på energiberar i målt i forhold til gjennomsnittlege energiprisar, t er eit trendledd, α_i og β_i er parametrar og γ_i er ein eksogen justeringsparameter som er nytta for å ivareta påverknad utanom prisar og trend, som til dømes spesifikke politikk-tiltak.⁷ I tråd med standard multinomisk logit-modellering blir sannsynet for eit bestemt val av energiberar til kvart formål (π_{it}) no fastlagt gjennom odds-faktoren:

$$\pi_{it} = \frac{e^{V_{it}}}{\sum_i e^{V_{it}}} . \quad (3)$$

For å omsette dette valet til endeleg energietterspurnad legg ein til slutt på ein eksogen bane for utviklinga i teknisk energieffektivitet. For kvart land/region, sektor og undersektor er desse koeffisientane for energieffektivitet fastlagt skjønsmessig med utgangspunkt i plausible føresetnadar for energiprisar, teknologi- og politikktutvikling. I dette stadiet av modelleringa kalibrerer ein i tillegg ein tilpassingsparameter for å ivareta tregheit i justeringa av energietterspurnaden over tid, til dømes på grunn av årgangsmekanismar knytt til kapitalutstyr i føretak og hushald.

Med 25 land/regionar, 18 bruksområde for energi og potensielt syv ulike energitypar for kvart bruksområde er resultatet eit særskild detaljrikt modellopplegg.

Kraftproduksjon

Produksjonen av elektrisk kraft er bestemt av etterspurnaden frå ulike sektorar og regionar. Talfestinga går føre seg i ei eiga modellblokk som produserer anslag for kapasitetsbehov, fordeling av produksjon over ulike produksjonsteknologiar, etterspurnad etter energi til kraftsektoren, investeringar i infrastruktur og nettverk, samt engros- og forbrukarprisar på elektrisk kraft.

Installert produksjonskapasitet i kvar region må møte maksimal etterspurnad med tillegg av ein sikkerheitsmargin. Om dette nivået ikkje blir tilfredsstillt, vil modellen legge til ny produksjonskapasitet i regionen. Langsiktige grensekostnadar er styrande for valet av teknologi i slike investeringar.⁸

Modelleringa av kraftmarknaden følgjer læreboka (sjå td. Bhattacharyya, 2011). Etterspurnaden gjennom døgeret blir sortert i ulike kategoriar frå grunnlast ('base load') til topp-etterspurnad ('peak load'). Deretter blir produsentane sortert etter

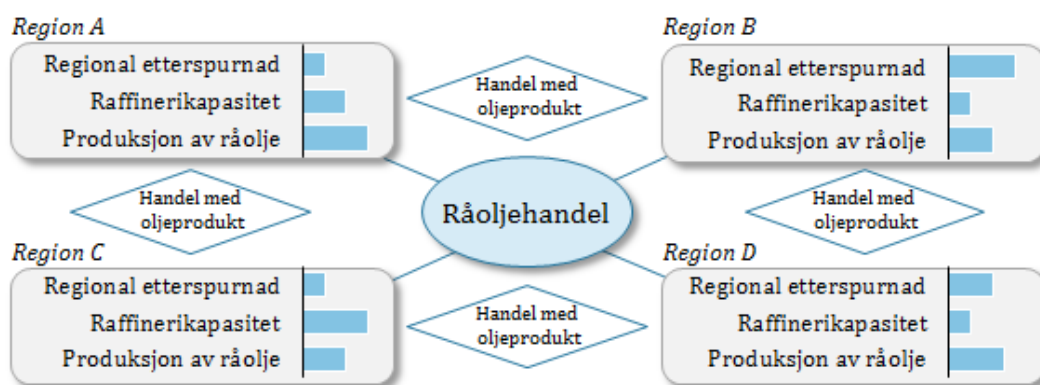
⁷ På dette punktet inneber modelleringa at forbetra eigenskapar ved eit alternativ vil redusere sannsynet for dei andre alternative med same prosent (proporsjonal substitusjon; Train, 2009). Dette er ei klar svakheit ved spesifikasjonen, som avgrensar fleksibiliteten i den modellerte åtferda.

⁸ Ny fornybar energi har eit betydeleg stokastisk element i produksjonsprofilen, og denne type kapasitet blir difor diskontert med ein kapasitetsrabatt som reflekterer kor stor del av installert kapasitet som kan forventast å gi produksjon på tidspunktet for maksimal etterspurnad ('peak demand').

fleksibilitet og kortsiktig marginalkostnad ('merit order'). Dette inneber at grunnlasten blir forsynt av kraftverk med låge grensekostnadar, medan kraftverk med aukande marginalkostnad gradvis blir kopla på ettersom etterspurnaden stig mot topp-punktet på ettermiddagen kvar dag.

Kraftproduksjon frå solenergi vil normalt korrelere positivt med etterspurnaden gjennom dagen, med potensielt betydeleg innslag i den totale kraftproduksjonen midt på dagen. For vindkraft er situasjonen annleis, etter som variasjonen i vind er mindre systematisk gjennom døgnet, medan sesong variasjon kan være vel så viktig for tilfanget av vindkraft. Uansett vil kraftmarknaden absorbere både sol og vind utan store utfordringar så lenge innslaget av denne type kapasitet er moderat i forhold til total etterspurnad. Men med stort innslag av solenergi og vindkraft oppstår behovet for reservekapasitet for å sikre kraftforsyninga i periodar med lite sol (natt) og vind. Ei utfordring for nye fornybarkjelder i kraftforsyninga er dermed at marginalverdien og konkurransekrafta gjerne blir svekka i takt med oppbygginga av posisjon i marknaden.⁹

Figur 3. Handel med olje og oljeprodukt i WEM: Skjematisk oversikt



Kjelde: IEA (2015b).

Raffinering og oljehandel

For oljemarknaden blir etterspurnaden knytt mot tilbodet gjennom ein eigen modul for oljehandel og raffineriverksemd. På kort til mellomlang sikt er aktiviteten i raffineriverksemda er eit resultat av etterspurnad etter ulike oljeprodukt, raffinerikapasitet og kapasitetsutnytting. På kort til mellomlang sikt er kapasitetsutviklinga i raffineriverksemda fastlagt av kjente prosjekt og planar. På lengre sikt er kapasitetsutviklinga i kvar region bestemt av forholdet mellom etterspurnad etter oljeprodukt på den eine sida og tilgang til råolje på den andre.

⁹ Flytting av elektrisk kraft i rom og tid vil avhjelpe denne problemstillinga, og her ser ein korfor framveksten av ny fornybar energi har stimulert interessa for nye løysingar for magasinering og lagring av elektrisk kraft.

Merk at raffineriverksemda ikkje står for absolutt alt som finst av oljeprodukt, og at etterspurnaden etter oljeprodukt frå raffineriverksemda er korrigert med fråtrekk av biodrivstoff, flytande gassprodukt (LPG), etan og nafta (NGL), samt syntetiske råoljer frå ulike prosessar for oppgradering (td kol-til-væske (CTL) og gass-til-væske GTL)). I motsett ende trekk raffineriverksemda på alle typar råolje som har raffineringsegenskapar på linje med konvensjonell råolje.

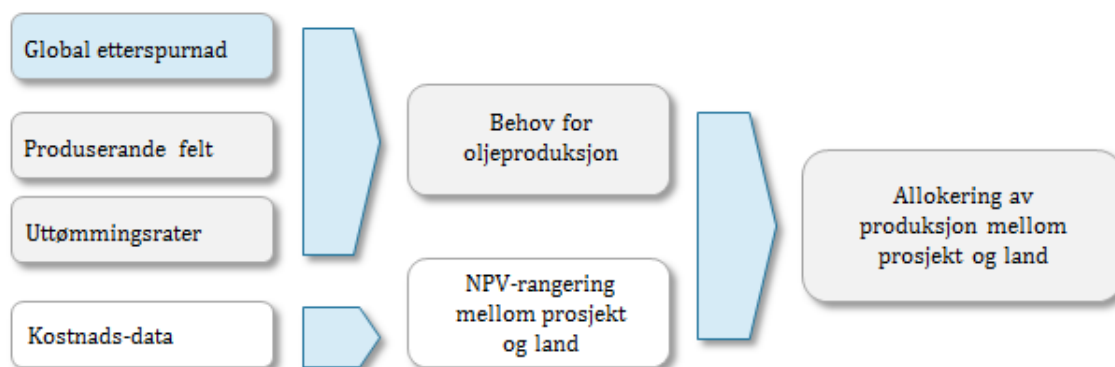
For kvar region modellerar ein dermed etterspurnad etter oljeprodukt, raffinerikapasitet og produksjon av råolje. Dette gir opphav til regionale ubalansar både for råolje og oljeprodukt, som deretter legg grunnlag for lager-endring og handel mellom regionane. Utover dette bringer ikkje IEA dokumentasjon for kva som legg fast dei meir spesifikke handelsstraumane mellom regionane i modellen (IEA 2015b).

Tilbod og forsyning av energi

På tilbodssida av IEA sin modell finn ein ei oppdeling i fire ulike ressursbaserte energiberarar. Det er kol (32 prosent), olje (34 prosent), naturgass (23 prosent) og biomasse (11 prosent). Den mest ambisiøse modelleringa finn me for tilbodet av olje, med tilsvarande, men meir forenkla prosedyrar for naturgass og spesielt for kol. Til slutt kjem produksjonen av bio-energi, med ei eiga modellblokk som tek for seg energiprodukt med opphav i bioenergi som spesifikt hovudprodukt på den eine sida og som biprodukt frå skogbruk og jordbruk på den andre.

Tankesettet bak modelleringa av tilbodssida i IEAs *World Energy Model* vil her bli kort introdusert med utgangspunkt i tilnærminga til oljeproduksjonen. For meir utførleg og spesifikk informasjon, sjå IEA (2015b).

Figur 4. Tilbodet av olje i World Energy Model



Kjelde: IEA (2015b).

Eit omfattande sett av feltspesifikke data legg grunnlag for historiske tal for ressursar (USGS, 2012; BGR, 2014), reservar og produksjon (BP, 2015) for kvar av regionane i modellen. Vidare har IEA (2008, 2013) gjort omfattande studiar av uttømmingsratar ('decline rates') verda over, som blir utnytta i estimeringa av framtidige

produksjonsprofilar for kvart land i modellen. For utsiktene på kort til mellomlang sikt trekk ein i tillegg på eit rikt sett av informasjon om feltprosjekt under utbygging både innanfor og utanfor Opec. Ei rangering av netto-noverdien (NPV) i alle kjente prosjekt og prospekt ligg til slutt til grunn for kalibreringa av ei langsiktig tilbodskurve som avgjer allokeringa av oljeproduksjon mellom land og regionar på lengre sikt.

Slik vanleg er også i Noreg (sjå td. Oljedirektoratet, 2015), splittar IEA dei framtidige profilane for konvensjonell råoljeproduksjon i fire kategoriar: Produksjon frå felt i drift, felt som er under utbygging, felt som fortsatt ikkje har utbyggingsavgjerd og felt som per i dag ikkje er oppdaga. I tillegg kjem produksjon av kondensat (NGL) og produksjon frå ukonvensjonelle oljeressursar (td oljesand og skifer-olje).

På kort til mellomlang sikt er energi-investeringane i IEA sin modell i all hovudsak drivne av kjente planar og prosjekt, der mellom anna survey-data frå fleire titals oljeselskap er nytta for å skalere dagens investeringsaktivitet opp eller ned på 3-4 års sikt. Desse planane omfattar og Opec-land, og modelleringa legg dermed ikkje eksplisitt til grunn at Opec utøver marknadsmakt.¹⁰ På lengre sikt hevdar IEA (2015b) å nytte ein metode som knyt investeringane til kapasitetsbehov og kontantstraum, men nøyaktig kva denne metoden går ut på er ikkje nærmare dokumentert.¹¹

Med vekt på forskjellar mellom land og regionar i kostnadar ved oljeutvinning, vil IEA si modeller uansett gi konkurransemessige fortrinn til land med store reservar og låge produksjonskostnader. Ein refleksjon av dette ser me i at Opec sin del av den globale marknaden for råolje er forvente å auke frå 41 prosent i 2014 til 49 prosent i 2040, i følgje IEA sitt sentrale *New Policies*-scenario (IEA, 2015a).

Modelleringa av gassproduksjon følgjer same mønster som for oljeproduksjonen, men i eit mindre detaljert opplegg og med fleire restriksjonar på handelen mellom ulike regionar. Enno enklare er modelleringa av kol-marknaden, der utsiktene kombinerer framskrivingar av etterspurnad og prisar med dagens ressursituasjon og produksjonsaktivitet for å fordele produksjonen av kol mellom produktkategoriar og regionar.

Prisar

Teknisk sett er prisane på kol, råolje og naturgass er eksogene i IEA sin WEM-modell. Råoljeprisane blir fastlagt i ein iterativ ad hoc-prosedyre til eit nivå som sikrar investeringar og produksjon som kan møte etterspurnaden. Modellen startar med eit

¹⁰ På dette punktet er IEA sin dokumentasjon igjen både uklar og uetterretteleg. I dokumentasjonen av World Energy Model (IEA, 2015b, s. 33) skriv ein nemleg at Opec ikkje er handtert som ein svingprodusent, men at skranker er lagt på oljetilbodet frå Opec-land for å representere mulege Opec-strategiar. Utan nærmare konkretisering er det igjen umuleg å evaluere modelleringa på eit kritisk punkt for oljeprisdanninga.

¹¹ Hotelling-åtferd let til å være ukjent for oljeprodusentane i IEAs *World Energy Model*. Det er inga eksplisitt dynamisk optimering hos produsentane av olje, korkje innanfor eller utanfor Opec. Likevel legg IEA si modellering og framskriving til grunn at aukande knappheit for fossile brensel (les: olje) er med på å drive både kostnadar og prisar over tid, men utan referanse til kapitalmarknad, rentenivå eller liknande.

opphavleg sett av pris-føresetnadar og kalkulerer deretter investeringar og produksjon av fossile brensel for dette prisnivået. Deretter blir etterspurnaden simulert med same sett av prisføresetnadar. Om ikkje tilbodet møter etterspurnaden, blir tilbodet rekalkulert med ein høgare/lågare oljepris i fleire iterasjonar til balanse i marknaden er oppnådd. Med ei slik tilnærming unngår ein at store lagerendringar blir påkravd for å klarere marknaden. Tilsvarende prosedyrar er ikkje omtalt for prisane på kol og naturgass, men IEA (2015b) etterlet inntrykk av ei enklare tilnærming til prisar utanom råolje.

CO₂-prisar er innarbeidd som eit detaljert sett av eksogene føresetnadar i WEM-modellen for å ivareta kostnadar ved utslepp som blir påført hushald og føretak gjennom energi- og klimapolitikken i enkeltland og regionar. Her tek ein høgde for tiltak som blir innført for å sikre at forureinar betalar, men noko spesifikt kvoteregime med eller utan handel er ikkje modellert.

WEM-modellen kalkulerer forbrukarprisar for fossil energi i kvar sektor og region basert på regional og næringsvis variasjon i energimiks, skattar og avgifter. V Forbrukarprisar for elektrisitet er på tilsvarende vis eit resultat av regionale grensekostnadar ved produksjon, systemdrift, distribusjon, forsyning, skattar og subsidier.

Energi og makroøkonomi

I dei årlege langsiktige energi-framskrivingane tek IEA i bruk *World Energy Model* til design av ulike scenario. Dei siste åra har dei operert med tre ulike scenario, som skil seg frå kvarandre i valet av føresetnadar for energi- og klimapolitikk, teknologiutvikling og energieffektivitet, samt prisføresetnadar.

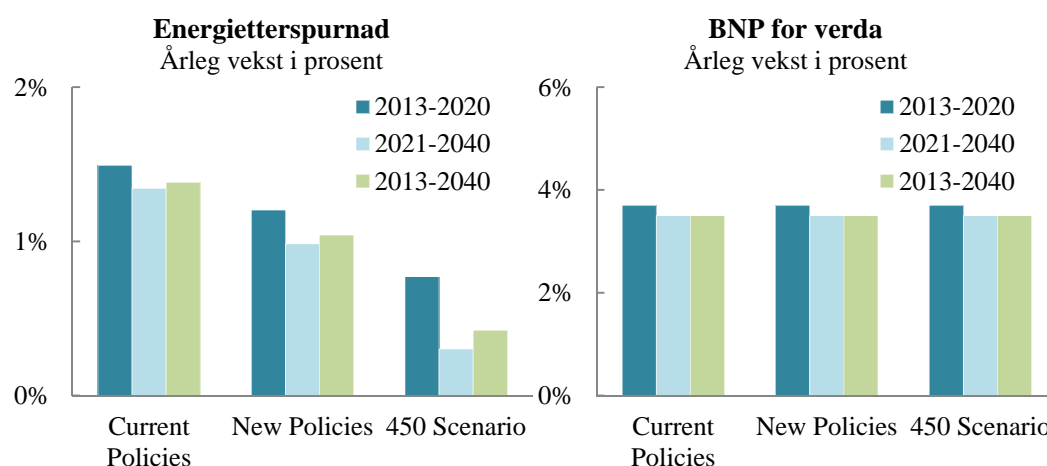
Current Policies er å tolke som eit 'business as usual'-scenario, der politikken av i dag blir ført vidare utan innstrammingar knytt til klimautfordring eller energieffektivisering, og med trendar i teknologi og prisar som i hovudsak følgjer den historiske utviklinga. Dette scenariet gir naturleg nok høg etterspurnad etter energi, lite vriding mot fornybare energikjelder og fortsatt høg vekst i utsleppa av klimagassar.

New Policies er å tolke som IEA sitt hovudscenario, og legg til grunn både annonserte politikktiltak, samt planar og intensjonar for energi- og klimapolitikken i ulike land og regionar. Her innarbeider ein i tillegg nasjonale og regionale ambisjonar for fornybar energi, energieffektivisering, skift mot alternative brensel og kjøretøy, reform av subsidie til fossile brensel, samt prising av CO₂-utslepp. Resultatet er ein meir moderat vekst i energiforbruket og utslepp av klimagassar, men ikkje på langt nær nok til å avgrense den globale oppvarminga til 2°C.

450-scenarioet er difor konstruert som eit døme på kva som skal til for å avgrense konsentrasjonen av klimagassar i atmosfæren til 450 ppm (parts per million), som igjen er det maksimale nivået som kan akseptast om auka i temperaturen på jorda skal

avgrenset til 2°C. 450-scenariet føresett svært aggressive planar og politikk-tiltak for å redusere utslappa av klimagassar, med ambisjonar for teknologiutvikling og energi-effektivisering som er så høge at det går hardt utover og truverd og realisme i øvinga.

Figur 5. IEA sine utsikter for energietterspurnad og økonomisk vekst



Kjelde: IEA (2015a).

Ei relevant hypotese er at den store variasjonen i energipolitikk, teknologiutvikling, energieffektivisering og energiprisar mellom dei tre utviklingsbanane frå IEA (2015) kunne ha implikasjonar for den makroøkonomiske utviklinga. Denne variasjonen burde vidare ha vore reflektert i variasjon i den makroøkonomiske utviklinga mellom land og regionar, avhengig av variasjon i energi- og klimapolitikk mellom dei same landa.

Men slik er det ikkje i dei langsiktige framskrivingane frå IEA. Utsiktene for økonomisk vekst er eksogene for modellen, og har opphav i dei mest ferske makroøkonomiske utsiktene frå OECD (kort til mellomlang sikt) og IMF (lang sikt). Ein svakheit med IEA sin modell og metode er dermed at den makroøkonomiske utviklinga ikkje er eit resultat av framskrivingane. Saka blir ikkje betre av at IEA i tillegg legg til grunn at den økonomiske veksten er den same på tvers av dei tre scenarioa. Det gjensidige samspelet mellom energi og makroøkonomi er dermed langt på veg eit blindt felt i IEA sitt arbeid med energiutsikter.

IEA legg rett nok til grunn at energiutsiktene i stor grad er eit resultat av utviklinga i økonomisk aktivitet, og understrekar jamvel at «The projections in this *Outlook* are, therefore, highly sensitive to the underlying assumptions about the rate and pattern of growth in gross domestic product (GDP)». Men ein neglisjerer altså at verknaden kan gå i motsett retning, ved at energipolitikk, teknologiutvikling og energiprisar kunne påverke den makroøkonomiske utviklinga.

At den økonomiske veksten på kort og lang sikt er under påverknad av energiprisar blir understøtta av den store interessa for akkurat slike spørsmål i den akademiske litteraturen. For land som i hovudsak er forbrukarar/importørar av olje, argumenterer både Jimenez-Rodriguez og Sanchez (2005) og Hamilton (2008, 2012) til dømes for at oljeprissjokk er ein viktig forklaringsfaktor bak konjunkturmessige tilbakeslag. Mykje tydar på at denne koplinga er svekka over tid, og i ei oversikt over litteraturen argumenterer Killian (2008) i tillegg for at verknaden av oljeprissjokk vil avhenge av om sjokket er drive av etterspurnad eller av tilbod. Desto meir interessant blir det når Schwark (2014) modellerer sjokk i energiprisane i ein DSGE-modell, og finn vesentlege verknadar på investeringar, produktivitet og økonomisk vekst på 8-50 års sikt. Implikasjonen er uansett at energiprisar og makroøkonomisk utvikling i praksis blir fastlagt i simultane prosessar, og då burde modelleringa av slike samanhengar og være simultan.

Meir opplagt er det at den økonomiske veksten i land som produserer og eksporterer energirelaterte råvarer vil være påverka av sjokk i politikk, teknologi og prisar knytt til energisektoren, alle fall på kort til mellomlang sikt. Den oljefyrte boomen i norsk økonomi sidan årtusanskiftet er eit klart døme på verknaden av oljeprissjokk på oljeeksporterande land (sjå td Bjørnland og Thorsrud, 2015). I ein spesialstudie av utsiktene for råvareeksporterande land etter oljeprisfallet, argumenterer International Monetary Fund (2015) vidare for at eit tilbakeslag i råvareprisane vil påverke både faktisk og potensiell verdiskaping for slike land. Permanente energirelaterte sjokk vil dermed ha langvarige verknadar på den økonomiske aktiviteten i land som har stor produksjon av energirelaterte råvarer.

Ei gjengs oppfatning er at veksten i verda etter den industrielle revolusjonen har vore understøtta av tilgang til billeg (fossil) energi (sjå td. Stern, 2011; Stern og Kander, 2012). Likevel er det ikkje altfor mykje forskning som tek for seg dei langsiktige verknadane av variasjon i energirelaterte variablar, som til dømes energiprisar. Eit unnatak er Berk og Yetkiner (2014), som nyttar kointegrasjonsmodellar på eit paneldatasett for 15 OECD-land (1977-2011), med klare indikasjonar på at ei auke i energiprisane vil dempe veksten i produksjon og forbruk også på lang sikt. På tilsvarande påviser Stern og Enflo (2013) Granger-kausaltet mellom energiforbruk og økonomisk aktivitet i 150 år med tidsseriedata for svensk økonomi.¹²

Forskjellane mellom IEA sine scenario er i all hovudsak driven av variasjon i energi- og klimapolitikk. Spesielt relevant for denne drøftinga blir dermed verknadar på den overordna makroøkonomiske utviklinga av slike tiltak. IEA sine analysar basert på WEM føresett at variasjon i energi- og klimapolitikken ikkje har makroøkonomiske verknadar, og i alle fall ikkje påverkar den økonomiske veksten. Som premisleverandør gir IEA dermed politikarar i dei 29 industrialiserte vestlege medlemslanda høve til å argumentere for at klimapolitikken ikkje vil verke dempende på økonomisk aktivitet og

¹² Andre studier som peiker i same retning er Stern (2000), Ayres mfl (2013) og Thompson (2014).

syssetsetting. Analysar som tyder på at klimapolitikken ikkje vil ha vesentlege makroøkonomiske kostnader er naturleg nok kjærkomne for politikarar som vegrar seg for å skuffe veljarane sine (sjå td. Stern, 2007; Tol, 2009; New Climate Economy, 2015).

Faren er at etterspurnaden etter slike konklusjonar kan gi opphav til ei slagside i analysar, kommunikasjon og utforming av klimapolitiske planar og tiltak. Desto viktigare blir det å peike på at nyare forskning nyanserer dette biletet (sjå td. Bretschger mfl, 2011; Mohammadi og Parvaresh, 2014; Hartley mfl, 2016;). Ein stadig meir vanleg innfallsvinkel er å sjå klimatiltak som ei langsiktig investering, med avkastning målt mot ein referansebane for økonomisk aktivitet, men først på 30-100 års sikt. Gjennom heile den lange overgangsperioden vil politikken måtte legge til rette for høgare energikostnader og redusert energiforbruk. I realiteten inneber dette ei grunnleggande omveltning av dagens energisystem, gjennom fortrenging av fossile brensel og framvekst av fornybare energiløysingar. Dette vil ha ein dempande verknad på den økonomiske aktiviteten og forbruket gjennom den potensielt lange investeringsperioden (Hartley mfl., 2016), som berre delvis vil bli kompensert gjennom auka investeringar i teknologiutvikling, energi-effektivisering og utvikling av fornybare energikjelder.

Alt i alt trekk denne diskusjonen i retning av at IEA burde opne for variasjon i vekstratane mellom dei tre scenarioa i *World Energy Outlook* (IEA, 2015). Ei endogenisering av den makroøkonomiske utviklinga kunne i så fall innebære at *Current Policies*-scenarioet ville gi litt høgare vekst enn dei to andre utviklingsbanane på 10-30 års sikt, men at veksten deretter ville falle (kraftig) som følge av dei langsiktige kostnadane ved global oppvarming. Tilsvarande kunne ein tenke seg at *450*-scenarioet ville gi litt lågare økonomisk vekst dei første 10-30 åra, men at veksten deretter ville overstige begge dei to alternative utviklingsbanane, etter som investeringane i klimatiltak og –teknologi begynte å gi avkastning. Før denne type variasjon er endogenisert i metodeverk og modell er det vanskeleg å sjå at IEA kan gi fullgod opplysing av forholdet mellom økonomi, energi og klimapolitikk

Utvikling av energi-teknologi

Energisparing, energieffektivisering og utvikling av nye energiløysingar er avgjerande om ein skal lykkast med å redusere dei globale utsleppa av klimagassar og bremse den globale oppvarminga. Direkte politisk regulering – til døme gjennom krav og standardar – samt politisk manipulering av prisar og kostnader er nyttige verkemiddel for å dreie hushald og føretak i rett retning. Men dei skyhøge måla knytt til klimapolitikken er langt utanfor rekkevidde med mindre ein lykkast i å utvikle ny kunnskap og teknologi. Nye teknologiar kan gi redusert energiforbruk både i hushald og føretak, legge til rette for framvekst av nye fornybare energiløysingar, og frigi ressursar til investeringar i klimatiltak.

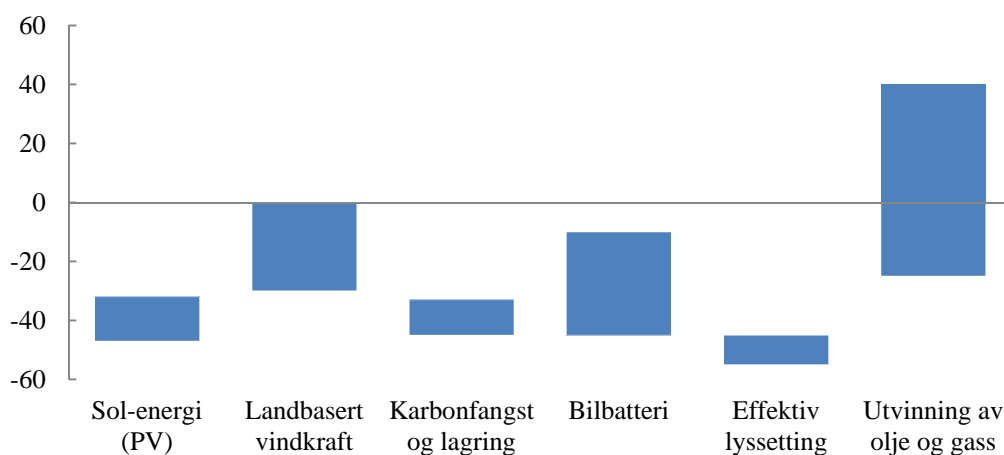
IEA (2015a,c,d) gjer eit poeng av at framveksten av ny teknologi har eit stort potensial for påverknad av energisystemet i verda på lang sikt, og at framskrivingane i *World*

Energy Outlook difor er sensitive for valet av føresetnadar knytt til teknologiske framsteg, og korleis slike framsteg påverkar energieffektivitet, kostnadar ved produksjon og forsyning, samt val av energiberar hos sluttbrukar. I tråd med vanleg praksis er teknologisk utvikling modellerer IEA teknologiutviklinga som ein kontinuerleg prosess, utan plutselige gjennombrøt for nye teknologiar og tilsvarende sprang i kostnadane.

På aggregert nivå kan ein likevel få auge på implikasjonane av teknologiutviklinga, og variasjon i innovasjonsrater mellom dei ulike scenarioa. Til dømes opplyser IEA (2015a) at energiintensiteten for heile verda (energiforbruk per BNP-eining) fell med 45 prosent i perioden 2014-2040 i Current Policies-scenarioet, med om lag 50 prosent i New Policies-scenarioet og med 55 prosent i 450-scenarioet. Litt meir spesifikke døme finn me i Figur 6, med illustrasjon av føresettt akkumulert utvikling i kostnadar per eining ved ulike teknologiar for perioden 2014-2040 i New Policies-scenarioet (IEA, 2014a). Figur 6 illustrerer at det sentrale New Policies-scenarioet i IEA sine framskrivingar legg til grunn eit betydeleg fortsatt fall i kostnadane ved produksjon og forsyning av fornybar energi, og spesielt når det gjeld solenergi. Vindkraft blir tillagt noko mindre potensial for kostnadsreduksjon etter som teknologien er meir moden, samstundes som vindkraft i enkelte område støyter mot skrankar i form av tilgang på landareal og fallande ressurskvalitet.

Figur 6. Utvikling i kostnadar per eining ved ulike teknologiar

Prosentvis endring i perioden 2014-2040, New Policies-scenarioet



Kjelde: IEA (2015a).

Gjennombrøt for CO₂-fangst og lagring er kritisk for IEA sitt 450-scenario, og ambisjonane er skyhøge. Om ein ikkje lykkast med CO₂-fangst og lagring, blir det vesentleg mindre rom for fossile brensler i energimiksen, om ein skal gjere seg håp om å avgrense auka i den globale temperaturen til 2°C. CCS (carbon capture and storage) kan dermed bremse den naudsynte utfasinga av fossile brensler, og utviklinga av CCS-

teknologi blir difor fulgt med argus-auge både av vestlege (oljeavhengige) industriland og av oljeselskapa. IEA har tette band til begge desse interessegruppene.

IEA sitt 450-scenario føresett oppbygging av kapasitet for årleg fangst og lagring av 5,1 milliardar tonn CO₂ på verdsbasis innan 2040, med 3 milliardar tonn i kraftsektoren og 2 milliardar tonn i industrien. Dette svarar til utviklinga av om lag 5000 Mongstad-prosjekt i løpet av ein 20-årsperiode. Om ein startar rundt 2020 må ein dermed i gjennomsnitt bygge om lag 5 slike anlegg kvar veke i 20 år. IEA legg til grunn at skalaøkonomi og læringseffektar vil redusere kostnadane ved CCS med om lag 40 prosent over perioden i *New Policies*-scenarioet.¹³ For 450-scenarioet opplyser ein ikkje om tilsvarande føresetnad, men logikken i scenario-metoden tilseier eit større potensial for kostnadsreduksjon enn i *New Policies*-scenarioet.

Sjølv med denne teknologi-optimismen vil ein trenge årlege investeringar på over 110 milliardar USD gjennom heile 2030-talet for å møte ambisjonane for karbonfangst og lagring i 450-scenarioet. Dette svarar til fem gonger investeringsnivået på norsk kontinentalsokkel i 2015. For at slike investeringar skal gi ei rimeleg avkastning legg IEA (2015) til grunn at kostnaden ved CO₂-utslepp vil auke markant mot 2040 – til 140 USD/tonn CO₂ i OECD-området og 125 USD/tonn CO₂ utanfor OECD-området. Til samanlikning er kvoteprisen i EU i dag om lag 9 USD/tonn CO₂. Dermed er det ikkje så rart at investeringar i CCS-kapasitet i dag står fram som lite interessante hos det store fleirtalet av private aktørar (Emhjellen og Osmundsen, 2015).

For CCS-området verkar det dermed som IEA har tøyd faktagrunnlaget langt, og at ambisjonsnivået i 450-scenarioet føresett ein teknologioptimisme som per dags dato er svakt underbygd både av teori og empiri.¹⁴

Viktige sider ved klimapolitikken blir retta mot reduksjon i bruken av fossile brensler. Difor kjem ein ikkje utanom transportsektoren, der olje inntil nyleg nærmast har hatt monopol som energiberar. Sjølv om billeg gass og nyvinningar knytt til brenselcelleteknologi har opna eit visst potensial for naturgass og hydrogen i transportsektoren, er det elektriske bilar som for tida er omfatta med størst interesse frå politikarar og bilprodusentar. Med skrankar knytt til lagring av straum, køyrelengd, ladingstid og

¹³ Sjå Al-Juaied og Whitmore (2009) og Lohwasser og Madlener (2012) for nærmare analyse av kostnadar og utviklingspotensial for karbonfangst og lagring.

¹⁴ I dag er 13 større CCS-anlegg i drift på verdsbasis (IEA, 2015c), og desse fangar til saman 27 millionar tonn CO₂ kvart år. Av dette er 5,6 millionar tonn lagra under formell overvaking og verifikasjon. Anlegga som er i drift i dag er i tillegg av det enkle slaget, etter som dei er tilpassa i nye prosjekt knytt til oljeraffinering og gassprosessering. Investeringskostnaden er vesentleg lågare ved tilpassing i nye kraftverk og industriprosjekt enn om ein skal bygge CCS-teknologi inn i produserande anlegg ('retrofitting', som på Mongstad). Før CCS-prosjektet på Mongstad blei stoppa, nærma den forventa totalkostnaden for eit fullskala-anlegg seg 30 milliardar kroner (~ 4 milliardar USD) – for ein årleg rensekapasitet på 1 million tonn CO₂. Av dette rakk ein altså å bruke rundt 7 milliardar kroner på eit test-anlegg. Andre stader i verda har ein bygd liknande fullskala-anlegg til ein kostnad på om lag 1 milliard USD per million tonn rensekapasitet (td. Boundary Dam- og Quest-prosjekta i Canada, sjå Global CCS Institute, 2015). Med dei høge ambisjonane i IEA sitt 450-scenario kjem ein ikkje utanom ei storstilt tilpassing av CCS-teknologi i industriprosjekt og kraftverk som allereie er i drift.

infrastruktur, er utvikling av batteriteknologi ein nøkkelfaktor for det framtidige gjennomslaget for el-bilar i transportsektoren.

I *New Policies*-scenarioet ser IEA for seg kostnadsreduksjon knytt til batteriteknologi i området 10-35 prosent over tidsrommet 2014-2040. Utover generelle formuleringar knytt til relative prisar, politiske tiltak og forsterking av historiske innovasjonsratar seier ein lite om kva som skal drive denne utviklinga, kva kostnadsreduksjonen for batteriteknologi vil innebære og korleis teknologien vil spreia mellom sektorar og regionar.

Energieffektivisering har utvilsamt eit stor potensial om ein vil ha energiforbruket ned, og tiltak for meir effektiv energibruk blir tillagt stor vekt i IEA sine analysar. Som eit døme illustrerer Figur 6 eit potensial for kostnadsreduksjon på om lag 50 prosent for lyssetting. Med fortsatt nyvinning og gjennombrøt for LED-lys i etablerte og nye marknader verkar ikkje denne føresetnaden heilt urimeleg. Men lyssetting representerer fortsatt ikkje meir enn 20-25 prosent av elektrisitetsforbruket i verda. I ein skreddarsydd analyse for klimatoppmøtet i Paris (COP21) ser IEA (2015c) for seg at halvparten av reduksjonen i energirelaterte CO₂-utslepp bør kome gjennom tiltak for energieffektivisering om ein skal møte ambisjonen om eit 2-graders scenario.¹⁵ Dermed vil ein avhenge av store framsteg på breiare område enn lyssetting. Eit spørsmål er om andre område finst med eit like stort innsparingspotensial som overgangen frå glødepærer til LED-lys.

Her får ein i tillegg auge på eit anna skyggelagt område i IEA sin modell og analyse. For økonomar er det velkjent at eit faktorspesifikt positivt teknologisjokk kan studerast på same vis som eit fall i prisen på den same innsatsfaktoren (sjå td. Allen mfl, 2011; Sorrell, 2011; Saunders, 2014). Resultatet er ein substitusjonseffekt som vrir etterspurnaden i favør av den meir produktive innsatsfaktoren, medan inntektseffekten vil heve produksjonsnivået slik at etterspurnaden stig for alle innsatsfaktorar. Dette opnar for ein delvis ('rebound') eller full rekyl ('backfire') i energietterspurnaden ved utvikling av nye teknologiar for energi-effektivisering.

Difor visar evalueringar i etterkant at tiltak for energieffektivisering og reduksjon av klimagassutslepp ikkje alltid held det dei lovar (sjå td. Chitnis og Sorrell, 2015). Det er ikkje klart korleis IEA (2014a,b,c) handterer denne type rekyl-effektar, og dokumentasjonen etterlet mistenkeleg få spor av slike verknadar i omtalen av energieffektivisering og implikasjonar for energirelaterte CO₂-utslepp.¹⁶ Dermed blir

¹⁵ Referansen går til IEA (2015c) si spesifiserte tilråding om korleis ein kan kome frå utviklingsbanen for energibruk og CO₂-utslepp som følgjer av summen av innmeldte nasjonale planar om utslippskutt (*INDC* scenario) og vidare til ein bane som let seg sameine med målet om å avgrense den globale oppvarminga til 2°C (*Bridge* scenario).

¹⁶ Med utsikter for økonomisk aktivitet fastlagt utanfor modellen blir det uansett umuleg å ivareta feedback-verknadar via aggregert økonomisk aktivitet.

mistanken styrka om at IEA sine analysar og framskrivingar ikkje legg tilstrekkeleg vekt på fleksibiliteten i økonomisk åtferd.

Den siste søyla i Figur 6 gjeld utvinning av olje og naturgass, der endringa i kostnadar mot 2040 dekker eit stort intervall. Kapløpet mellom teknologiutvikling og ressursmangel er grunnleggande for kostnadsutviklinga ved olje- og gassproduksjon (sjå td. Lindholt, 2013). For konvensjonelle ressursar i umodne olje- og gassprovinsar ser ein gjerne at kostnadane fell som følgje av læringseffektar og tilpassing av ny kunnskap i leiting og feltutvikling. Etter som området modnast, vil uttømmingsmekanismar gradvis ramme både teknologiutvikling og ressurstilgang, og kostnadsutviklinga vil vende opp.

For verda sett under eitt vil dermed kostnadar ved olje- og gassproduksjon dekke eit vidt spekter av utviklingstrekk, og spesielt når ein trekk inn ukonvensjonelle ressursar som skifer-gass, skiferolje og oljesand. Uansett er det grunn til å merke seg at kostnadane ved olje- og gassproduksjon i gjennomsnitt er forventa å auke dei nærmaste 25 åra, medan kostnadar ved fornybar energi er forventa å falle. Isolert sett vil dette støtte opp om ei dreining i energimiksen frå fossile brensel og over mot fornybare energiløysingar.

Teknologiutviklinga i IEA sine analysar og framskrivingar er eksogen, og blir pålagt i form av teknologispesifikke innovasjonsratar for energibruk i ulike sektorar, næringar, land og regionar. I denne prosessen legg ein dermed fast eit vell av koeffisientar for teknologiutvikling, og tillèt varierende innverknad frå klimapolitikk og energiprisar etter beste faglege skjønn. Utover dette er sjølve metoden for modellering av teknologiutvikling laust fundert og svakt dokumentert. I praksis vil teknologiutviklinga være eit resultat av prisar, politikk, økonomisk aktivitet, investeringar, forskning og kunnskapsutvikling. Sjå Gillingham mfl (2011) for ei oversikt over aktuell litteratur om endogene teknologiske framsteg for analysar av klimapolitikk. Ein meir eksplisitt representasjon av denne type prosessar ville gi betre tillit og truverd for IEA sine metodar og modellaparar.

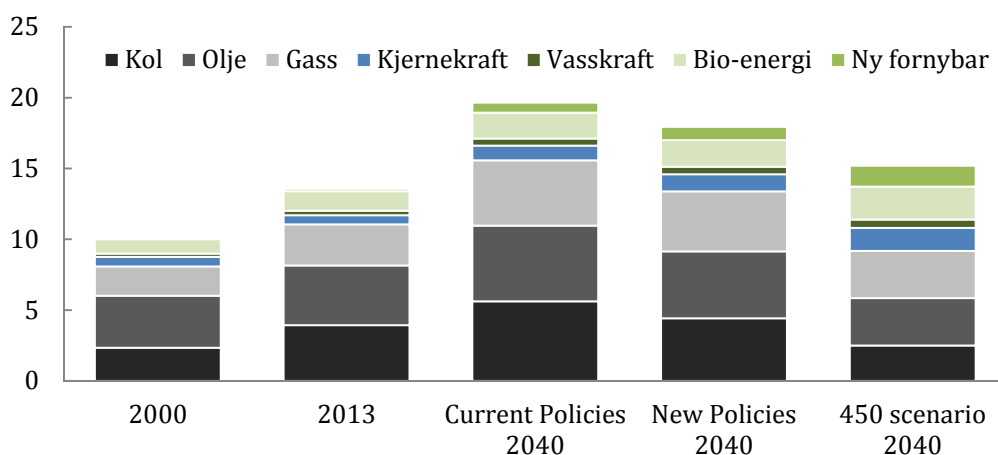
I tillegg reiser framstillinga hos IEA (2015a) mistankar om ei undervurdering av substitusjon og kompensierende åtferd hos optimerande hushald og føretak. Til slutt er det uklart nøyaktig korleis føresetnadar for teknologiutviklinga varierer mellom dei tre hovudscenarioa IEA (2015), og kva som ligg til grunn for denne variasjonen. Til dømes burde ein opplyse klart om korleis variasjonen i energiprisar mellom dei tre scenarioa slår inn i teknologiprosessen, etter som endring i relative energiprisar etter alt å døme vil påverke F&U-investeringar knytt til spesifikke energiberarar (sjå td. Ley mfl, 2016). Sjølv om IEA si framstilling etterlet eit inntrykk av detaljrikdom og omhug, står viktige viktige sider ved teknologiutviklinga dermed att i svakt lys ("black box").

Ny fornybar energi

Tilrettelegging for framvekst av fornybare energikjelder er eit av dei sikraste korta i kampen mot klimagassutslepp. Ein energimiks med mindre fossile brensel og meir

fornybar energi vil gjere det lettare å sameine klimamål med målsettingar om fortsatt vekst og velferdsutvikling. Difor nyt teknologi og forretningsmodellar for fornybar energi stor merksemd, hos styresmakter, blant politikarar og ikkje minst i energinæringa. Fornybar energi omfattar tradisjonell biobrensel og konvensjonell vasskraft til elektrisitetsproduksjon, men dei seinare åra er det spesielt solenergi og vindkraft som er omfatta med størst interesse, med bakgrunn i eit enormt teknisk potensial, kraftig kostnadsreduksjon og utstrakt subsidiering (Timilsina mfl, 2012, Timilsina mfl, 2013).

Figur 7. Primær energietterspurnad i verda fordelt på energiberar og scenario 2000-2040, mrd tonn oljeekvivalentar



Kjelde: IEA (2015a).

Trass i stor interesse og ei rivande utvikling gjennom dei siste 10-15 åra spelar nye fornybare energikjelder fortsatt ei lita rolle i det totale energibiletet. Figur 7 illustrerer fordelinga av global primær energietterspurnad i 2013, med ein fornybar-del på om lag 14 prosent. Med om lag 10 prosent for bio-brensel og 2,5 prosent fordelt på vasskraft, biomasse, jordvarme og solvarme, står mindre enn 1,5 prosent att til moderne fornybare energiløysingar, som i hovudsak er fotonvoltaisk solenergi (PV) og vindkraft, men og omfattar solvarme (CHP) og jordvarme.

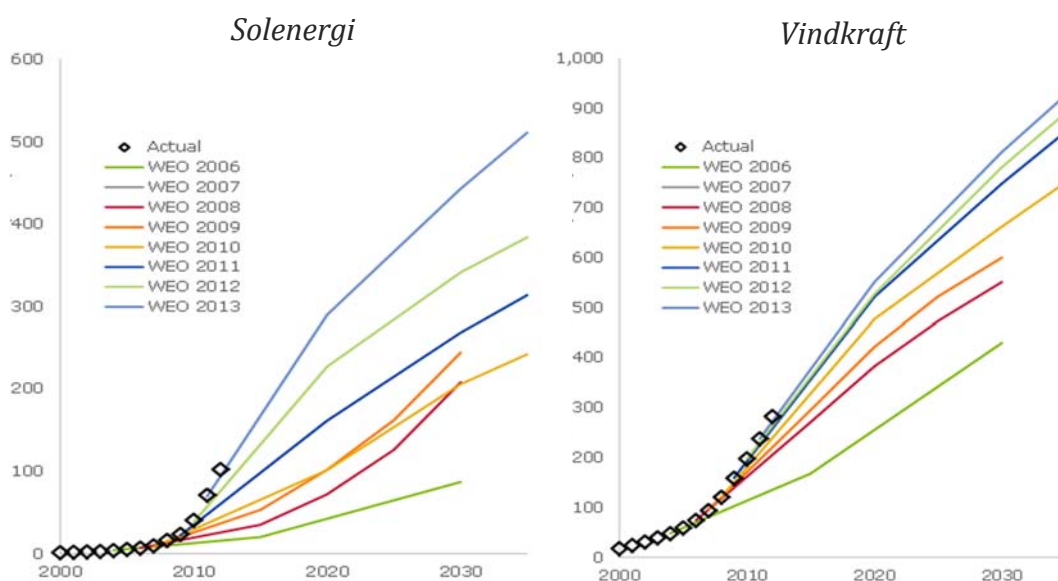
Med ein gjennomsnittleg årleg produksjonsvekst på 8 prosent sidan årtusenskiftet har ny fornybar energi auka sin del av samla primær etterspurnad med 1 prosentpoeng på 13 år. Veksten har vore høgare i slutten av perioden enn til å begynne med, og spørsmålet blir dermed kva ein skal legge til grunn for utviklinga av fornybare energiløysingar i åra som kjem. Før ein ser nærmare på akkurat dette kan det være nyttig med ein kort introduksjon til sjølve modelleringa av fornybar energi (i kraftsektoren) i IEA sin *World Energy Model*.

I ei eiga modellblokk for ny fornybar energi trekk IEA (2015b) på ein kombinasjon av historiske data, økonomiske og ingeniørfaglege metodar for å bygge utsikter for

vindkraft og solenergi i kraftsektoren. Kapasitetsbehovet knytt til ulike former for kraftproduksjon er eit resultat av kalibrerte statiske kostnadsfunksjonar for dei ulike teknologiane. Her inkluderer ein avgifter, støtteordningar og skrankar av areal-messig eller teknisk karakter i kvar land/region av modellen. Investeringar i ulike kjelder til kraftproduksjon er deretter drivne av kapasitetsbehovet. I dei statiske kostnadsfunksjonane opnar ein deretter for eit dynamisk element for å ivareta teknologiske framsteg og dynamisk skalaøkonomi ('learning by doing'). Dynamikken er underlagt restriksjonar som bremser utviklinga over tid, i tråd med eit S-mønster som er vanleg ved generell modellering av produkt- og tenesteutvikling.

Nokon eksakt metode for talfesting av desse samanhengane er ikkje nærmare dokumentert, og relasjonar og spesifikke parametarar er heller ikkje tilgjengelege i publiserte rapportar. Dermed er det vanskeleg å gi ei full evaluering av modelleringa. Men som ein skal sjå tyder mykje på at IEA sin modell og metodeverk er modent for ei oppdatering på dette området, for resultatata har ikkje vore så altfor vellykka.

Figur 8. IEA sine utsikter for solenergi og vindkraft på ulike tidspunkt
Akkumulert installert kapasitet (GW), *New Policies*-scenariot



Kjelde: de Vos og de Jager (2014).

I det sentrale *New Policies*-scenariot legg IEA (2015) til grunn at veksten i fornybar energi utanom vasskraft og bioenergi i gjennomsnitt vil auke med opp mot 7 prosent per år fram mot 2040. Dette er om lag på linje med den gjennomsnittlege veksten sidan årtusenskiftet, men lågare den observerte veksten enn dei aller siste åra. Saka er at IEA sine utsikter for ny fornybar energi kontinuerleg er akterutsegla av den faktiske utviklinga gjennom dei siste 10-15 åra (jfr Figur 8). Eit generelt trekk er at IEA systematisk har føresett ei utflating i investering og kapasitetsbygging for fornybar

energi, trass i at den faktiske investeringsutviklinga har fortsatt å peike oppover. Spesielt for solenergi og vindkraft har ein undervurdert utsiktene, og i alle fall på kort til mellomlang sikt. For dette har IEA naturleg nok møtt undring og kritikk, frå journalistar, fornybar-analytikarar, interesseorganisasjonar, miljø- og klimarørsla og frå representantar for fornybar-næringa sjølv. Eit utval av døme er Cloete (2014), de Vos og de Jager (2014), Osmundsen (2014) og Roberts (2015).

Ei meir detaljert evaluering av IEA sine framskrivinger av fornybar energi til produksjon av elektrisitet finn ein hos Metayer mfl. (2015), som har vurdert utviklinga i utsiktene gjennom alle årlege utgåver av *World Energy Outlook* for perioden 1994-2014. Ikkje overraskande er konklusjonen at utsiktene for solenergi og vindkraft har vore undervurderte.

At IEA ikkje har teke hardt nok i når det gjeld framveksten av fornybare energiløysingar er dermed godt dokumentert. Det neste spørsmålet som dukkar opp er kva forklaringa kan være. Metayer mfl. (2015) argumenterer for at valet av funksjonsform i IEA si modellering legg ei linearisert tvangstrøye på utviklinga av fornybar energi i kraftproduksjonen, som vanskeleg kan føyast til den dynamikken som har kjenneteikna utviklinga av solenergi og vindkraft dei siste åra. Her er det likevel grunn til å tru at parameterisering, ulike restriksjonar og andre føresetnadar (for kostnader) kan spele ei vel så viktig rolle for avviket som det overordna valet av modelleringsstrategi.

Andre forklaringar har politiske overtonar, og enkelte peiker på at IEA ganske enkelt reflekterer interessene til dei 29 industrialiserte medlemslanda, og ikkje minst olje- og energinæringa i desse landa (Roberts, 2015). Implikasjonen kunne i så fall være ei slagside i analysar og framstillingar med opphav i status-quo-preferansar hos viktige interessentgrupper. Om dette var tilfellet burde ein samstundes sjå at IEA la tilsvarande lite vekt på fornybar energi i analyseverksemd, kommunikasjon og rådgjeving. Men det motsette er tilfelle. IEA legg stor vekt på fornybar energi i omgangen med interessentane sine – med utarbeiding av teknologistudier, spesialrapportar og ståande arbeidsgrupper – og nyttar eitkvart høve til å mane verda til å legge til rette for ein forsert framvekst av slike energiberarar.

Ei meir plausibel forklaring er knytt til institusjonell konservatisme kombinert med treig tilpassing av energisystema på nasjonalt og globalt nivå. Tosifra vekst for marginale energiberarar kan vanskeleg rokke ved det store biletet. Den globale energimiksen er og blir ein treig materie. Samstundes er det viktig å huske at målet for IEA nettopp er å kaste lys over det store biletet for energiutviklinga på verdsbasis – på lang sikt. Ei slik prioritering kan stundom være vanskeleg å sameine med presisjon i alle sider av den meir detaljerte utviklinga på kort til mellomlang sikt, og spesielt for meir perifere sider ved energisituasjonen. Sjølv etter eksplosiv vekst for solenergi og vindkraft dei siste åra, er tilskotet frå desse kjeldene til samla elektrisitetsproduksjon i verda trass alt fortsatt under 5 prosent.

Til slutt er det grunn til å peike på at evaluering av eit så mangfaldig arbeid med modellering og framskriving som IEA driv med må gi eit variert resultat. På enkelte område vil ein treffe godt, medan ein er mindre heldige på andre område. Det er heller ikkje prognosar IEA driv med, men scenario-øvingar. Merk til dømes at *Current Policies*-scenarioet er det som har treft best når det gjeld heilt overordna utviklingstrekk knytt til energietterspurnad og utslepp av drivhusgassar, medan den faktiske utviklinga for fornybar energi har vore meir på linje med utsiktene frå *450*-scenarioet. Tendensen i det sentrale *New Policies*-scenarioet er at ein har overvurdert veksten for olje og naturgass, medan veksten er kraftig undervurdert spesielt for kol, men og for fornybare energikjelder (Cloete, 2015).

Til slutt er vanskeleg å ha substansielle innvendingar mot den grunnleggande teorien bak IEA si modellering av fornybar energi. Ei S-form for innfasinga av ny fornybar energi verkar som ei rimeleg tilnærming til dei prosessane som er i sving i kvar marknad. Med ei stigande tilbodskurve i enkeltand og regionar, vil marginalverdien av fornybar energi vidare måtte falle etter som marknaden blir metta. Utflatinga i fornybar-veksten kokar dermed ned til eit spørsmål om timing. Med tilløp til metting i elektrisitetsmarknaden i Vest-Europa, låge olje- og gassprisar og slunkne statskassar kan IEA sine utsikter omsider slå til – før ein veit ordet av det.

Oppsummering

Sterk fagleg leiarskap, høge ambisjonar og god marknadsføring har gitt IEA sin årlege flaggskip-publikasjon *World Energy Outlook* ein leiande status som referansedokument for styresmakter, politikarar, interesseorganisasjonar og næringslivet i det meste som handlar om energi-, miljø- og klimaspørsmål (Mohn, 2015). Desto viktigare blir det å kikke IEA i korta for å sjå til at premissane som blir lagt for energi- og klimapolitikken bygg på godt opplyste føresetnadar og forskingsbaserte analysar.

Fleire område ved IEA sine analysar er problematiske. Energiprisar og økonomisk aktivitet er eksogene for modellen, og det same gjeld eit vell av variablar knytt til energiteknologi og -politikk. Modellverktøyet kan dermed vanskeleg karakteriserast som ein likevektsmodell, og etterlet heller ikkje inntrykk av at teknologisk fleksibilitet har hatt stor merksemd i modellutviklinga, korkje for tilbod eller etterspurnad.

IEA sitt modellverktøy kvalifiserer heller ikkje som makroøkonometrisk modell. Til det er det altfor mykje som ikkje er modellert. I tillegg kjem at modelldokumentasjonen (IEA, 2015b) knappast omtaler dei økonometriske analysane, og heller ikkje rapporterer koeffisientar eller aktuelle resultat. På dette viktige området er det dermed umuleg å vurdere kvaliteten av IEA sin modell.

Samstundes er modellen avgrensa av ei lang rekke restriksjonar, rammevilkår, faste koeffisientar og konstante trendar. Dette reiser mistankar om at modellen gjer det muleg å føresette seg til nær sagt kva utvikling som helst.

I vidareutviklinga av metodar og modellar bør ein opne for ei endogenisering av den økonomiske veksten, slik at variasjon i energiprisar og –politikk faktisk og blir reflektert gjennom forskjellar i økonomisk aktivitet mellom ulike framskrivingsbanar. I tillegg kunne utfallsrommet for framskivingane blitt spent ut ved hjelp av eksogene sektorspesifikke teknologisjokk, eller gjennom stokastisk modellering av teknologiutviklinga, både for tradisjonelle og nye energiformer. Om modelleringa skulle ta ei slik retning måtte ein truleg gitt slepp på delar av detaljrikdommen som no pregar modellapparatet – på godt og vondt.

Gjennomgangen bør elles ha demonstrert at IEA står overfor ei svært krevjande oppgåve. Modellering og framskiving av energi- og klimautsiktene føresett innsikt knytt til geologi, teknologi og økonomi, og er i tillegg eit politisk minefelt. At dette skal gi utsikter og budskap som alle kan einast om, er heilt enkelt umuleg. Desto viktigare er det å huske at IEA sine utsikter ikkje er prognoser, men illustrasjonar av mulege utviklingsbanar basert på tre hovudscenario. Framskivingane frå IEA kan dermed ikkje sjåast som nokon fasit, og usikkerheita er etter alt å døme ikkje mindre enn i tilsvarande analysar frå andre kjelder. Alle partar i diskusjonen rundt utsikter og politikk for energi- og klimasituasjonen gjer dermed lurt i å ta IEA og alle konkurrerande analysar med ei passande klype salt.

Referansar

- Al-Juaied, Mohammed og Adam Whitmore (2009): Realistic costs of carbon capture. *Discussion Paper 2009/08*. Belfer Center for Science and International Affairs. Harvard Kennedy School. Harvard University.
- Allan, Grant, Gilmartin, Michelle, McGregor, Peter, Swales, J. Kim, and Karen Turner. Economics of energy efficiency. In Evans, J. and L. C. Hunt (eds) *International Handbook on the Economics of Energy*. Edward Elgar Publishing. Cheltenham, UK.
- Ayres, Robert U., van den Bergh, Jeroen C. J. M., Lindenberger, Dietmar og Benjamin Warr (2013): The underestimated contribution of energy to economic growth. *Structural Change and Economic Dynamics* 27, 79-88.
- Berk, Istemi og I. Hakan Yetkiner (2014): Energy Prices and Economic Growth: Theory and Evidence in the Long Run. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 36, 228–235.
- BGR (2014): Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen. *Energiestudie*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover.
- Bhattacharyya, Subhes C. (2011): *Energy Economics*, Springer.
- Bjørnland, Hilde C. og Anders Thorsrud (2015). Boom or Gloom? Examining the Dutch disease in two-speed economies. *The Economic Journal* (under vevs).
- BP (2015): *Statistical Review of World Energy*. BP. London.
- Bretschger, Lucas, Ramer, Roger og Florentine Schwark (2011): Growth effects of carbon policies: Applying a fully dynamic CGE model with heterogeneous capital. *Resource and Energy Economics* 33, 963-980.
- Chang, Youngho og Yanfei Li (2015): The revealed relationship between energy consumption and economic growth: Causality, macroeconomics, new trend, and implications. In Yan, Jinyue (red), *Handbook of Clean Energy Systems*. Wiley. New York.
- Chitnis, Mona og Steve Sorrell (2015). Living up to expectations: Estimating direct and indirect rebound effects for UK households. *Energy Economics* (under vevs).
- Cloete, Schalk (2014): Evaluating 15 years of IEA energy forecasts. Blog article. (<http://theenergycollective.com>). 16 December.
- de Vos, Rolf og David de Jager (2014): World Energy Outlook hides the real potential of renewables. Blogg-artikkel. *Energy Post* (<http://www.energypost.eu>). 14 March.
- Emhjellen, Magne og Petter Osmundsen (2015): CCS: Hard to Pass Decision Gates. Under publisering i *SPE Economics & Management*.

Gillingham, Kenneth, Newell, Richard, G. og William A. Pizer (2011): Modeling endogenous technological change for climate policy analysis. *Energy Economics* 30, 2734-2753.

Gillingham, K., Rapson, D. og G. Wagner (2016): The rebound effect and energy efficiency policy. *Review of Environmental Economics & Policy* 10 (1), (under vevs).

Global CCS Institute (2015): The Global Status of CCS 2015. Summary report (<http://www.globalccsinstitute.com>).

Hamilton, James D. (2008): Oil and the macroeconomy. *New Palgrave Dictionary of Economics*. Palgrave. London.

Hamilton, James D. (2012): Oil prices, exhaustible resources, and economic growth. Kapittel 1 i Fouquet, Roger (red.) *Handbook of Energy and Climate Change*. Elgar. Cheltenham UK.

Hartley, Peter, Medlock III, Kenneth B. , Temzelides, Ted og Xinya Zhang (2016). Energy sector innovation and growth: An optimal energy crisis. *The Energy Journal* 37 (1), 233-258.

Heubaum, Harald og Frank Bierman (2015): Integrating global energy and climate governance: The changing role of the International Energy Agency. *Energy Policy* 87, 229-239.

IEA (2015a): *World Energy Outlook*. International Energy Agency. Paris.

IEA (2015b): *World Energy Model*. Documentation. Memo. International Energy Agency. Paris. (<http://www.worldenergyoutlook.org/weomodel>).

IEA (2015c): *Energy and Climate Change*. World Energy Outlook Special Report. International Energy Agency. Paris.

IEA (2015d): *Energy Technology Perspectives 2015: Mobilising Innovation to Accelerate Climate Action*. International Energy Agency. Paris.

IMF (2015): Where are commodity exporters headed? Output growth in the aftermath of the commodity boom. Kapittel 2 i *World Economic Outlook*. International Monetary Fund. October.

Jimenez-Rodriguez, Rebeca og Marcelo Sanchez (2005): Oil price shocks and real GDP growth: Empirical evidence from some OECD. *Applied Economics* 37 (2), 201-228.

Killian, Lutz (2008): The economic effects of energy price shocks. *Journal of Economic Literature* 46 (4), 871-909.

Ley, Marius, Stucki, Tobias og Martin Woerter (2016): The impact of energy prices on green innovation. *The Energy Journal* 37 (1), 41-75.

- Lindholt, Lars (2013): The tug-of-war between resource depletion and technological change in the global oil industry 1981-2009. *Discussion Paper 732*. Statistisk sentralbyrå.
- Lohwasser, Richard og Reinhard Madlener (2012): Economics of CCS for coal plants: Impact of investment costs and efficiency on market diffusion in Europe. *Energy Economics* 34 (3), 850-863.
- Meayer, Matthieu, Breyer, Christian og Hans-Josef Fell (2015): The projections for the future and quality in the past of the World Energy Outlook for solar PV and other renewable energy technologies. *Proceedings*. 31st European PV solar energy conference. 14-18 September. Hamburg, Germany.
- Mohammadi, Hassan og Shahrokh Parvaresh (2014): Energy consumption and output: Evidence from a panel of 14 oil-exporting countries. *Energy Economics* 41, 41-46.
- Mohn, Klaus (2015): Arbeidsjernet frå Ankara. Kommentar-artikkel. *Energi og Klima* (<http://energiogklima.no>).
- Nachtigali, Daniel og Dirk Rübhelke (2016): The green paradox and learning-by-doing in the renewable energy sector. *Resource and Energy Economics* 43, 74-92.
- Oljedirektoratet (2015): Norsk Petroleum. Nettstad for fakta om petroleumsverksemda i Noreg: <http://www.norskpetroleum.no/> (tidlegare Faktaheftet for norsk petroleumsvirksomhet).
- Osmundsen, Terje (2014): How the IEA exaggerates the cost and underestimates the growth of solar power. Blogg-artikkel. *Energy Post* (<http://www.energypost.eu>). 4 March.
- Roberts, David (2015): The IEA consistently underestimate wind and solar power. Why? Blog article. *VOX Energy and Environment* (<http://vox.com>). 12 October.
- Saunders, Harry D. (2014). Recent evidence for large rebound: Elucidating the drivers and their implications for climate change models. *The Energy Journal* 36 (1), 23-48.
- Schwark, Florentine (2014): Energy price shocks and medium-term business cycles. *Journal of Monetary Economics* 64, 112-121.
- Stern, David I. (2000): A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy. *Energy Economics* 22, 267-283.
- Stern, David I. (2011): The role of energy in economic growth. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1219 (1), 26-51.
- Stern, David I. og Kerstin Enflo (2013): Causality between energy and output in the long run. *Energy Economics* 39, 135-146.

Stern, David I. og Astrid Kerner (2012): The role of energy in the industrial revolution and modern economic growth. *The Energy Journal* 33 (3), 125-152.

Sorrell, Steve (2011): The rebound effect: Definition and estimation. In Evans, J. and L. C. Hunt (eds) *International Handbook on the Economics of Energy*. Edward Elgar Publishing. Cheltenham, UK.

Stern, Nicholas mfl (2006): *Stern Review: The economics of climate change*. Cambridge University Press. Cambridge. Storbritannia.

Thompson, Henry (2014): An energy factor proportions model of the US economy. *Energy Economics* 43, 1-5.

Timilsina, G. R., Kurdgelashvili, L. and P. A Narbel (2012). Solar energy: Markets, economics, and policies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 449-465.

Timilsina, G. R., van Kooten, G. C. and P. A. Narbel (2013). Global wind power development: Economics and policies. *Energy Policy* 61, 642-652.

Tol, Richard S. J. (2009): The economic effects of climate change, *Journal of Economic Perspectives* 23 (2), 29-51.

Train, Kenneth E. (2009): *Discrete Choice Models with Simulation*. Cambridge University Press. Cambridge. Storbritannia.

USGS (2012); Assessment of Potential Additions to Conventional Oil and Gas Resources in the World from Reserves Growth. *Fact Sheet FS2012-3052*. United States Geological Survey. Bolder. Colorado.

Van de Graal, Thijs (2012): Obsolete or resurgent? The International Energy Agency in a changing global landscape. *Energy Policy* 48, 233-241.