

Solskinnslandet Norge: en reise mot 2050

William Throndsén, NTNU

Eva Rosenberg, IFE

Tomas Moe Skjølsvold, NTNU

Roger Sørheim, NTNU

Kari Aamodt Espegren, IFE



Innhold

Solskinnslandet Norge: en reise mot 2050	3
Introduksjon.....	3
Analyser av solkraft i det norske energisystemet	4
Kvantitative analyser.....	4
Forutsetninger	4
Analyseresultat	6
Oppsummering	8
Samfunnsprosesser for solkraftlandet Norge	9
Norge som innovasjonshub for ny fornybar kraft.....	9
Befolkningens bruk av solceller	10
Solceller i næring og industri	11
Konkluderende refleksjoner	13
Vedlegg 1: Analyseforutsetninger:.....	15
Vedlegg 2: Modellverktøy	22
Referanser	24

CenSES mai 2019

ISBN: 978-82-93198-32-1

Solskinnslandet Norge: en reise mot 2050

Introduksjon

Se for deg at du reiser med tidsmaskin til år 2050. Det norske samfunnet som møter deg er gjenkjennelig, men har også trekk som gjør det tydelig for deg at mye har skjedd mens du var på tidsreise. En del bygninger du kjenner godt har forsvunnet, og er erstattet med nye bygg og annet innhold. Bilene du ser rundt deg er uten unntak elektriske, og det er langt flere som sykler og går enn du er vant til. I de fleste nabolag er biloppstillingsplassene tatt i bruk til helt andre ting – man må nå ha spesialtillatelse for å eie personbil i bynære strøk. En av de tingene du legger merke til som er annerledes enn i 2019 er at de fleste bygninger har solcellepaneler enten på taket eller integrert bygningsmaterialene. Elektrisitet fra solceller har blitt en helt sentral del av den norske energimiksen og leverer omtrent 20 TWh hvert eneste år. Med tanke på at Norges kraftproduksjon i dag er på ca. 140 TWh årlig, er dette en betydelig økning. Hvordan skal vi komme dit?

I CenSES interesserer vi oss for utviklingen når det gjelder solceller og installert solkraftkapasitet. Hvilke samfunnsprosesser kan vi se for oss som leder oss mot en fremtid hvor solkraft har en fremstående rolle i Norge? Eventuelt, hvilke prosesser vil kunne bremse en slik utvikling? Målet er å dra veksler på perspektiver fra CenSES som kan hjelpe oss med å belyse dette. Vi benytter energisystemmodellering som kan si noe om hvordan prisutvikling, energietterspørsel og teknologilæringskurver kan virke sammen for å endre fremtidens energimiks. Vi kombinerer dette med en sammenstilling av konkrete erfaringer fra feltet i dag og et prosessorientert blikk for å måle hva mulighetsrommet er for endringer mot en mer solrik kraftmiks i 2050.

Diskusjonen om spredning av solkraft er per i dag relativt snever, og knytter som regel an til prisutviklingen for solcellepaneler. Mange hevder at dersom investeringskostnaden er lav nok vil utviklingen «gå av seg selv». Dette er problematisk, fordi idéen om at dette skjer av seg selv med lav pris skjuler det betydelige arbeidet som likevel må gjøres av mange aktører for å få solkraften til å bli en velfungerende del av norsk kraftmiks. Nye forretningsmodeller må utvikles, nye praksiser og rutiner for vedlikehold og drift må på plass, i tillegg til en stor utvidelse i installatørkapasiteten. Videre vil det antakelig være kontinuerlig behov for justeringer i standarder og regelverk på ulike nivå.

For å komme bort fra tanken om at lav pris automatisk gir et radikalt annerledes energisamfunn i 2050 vil vi derfor løfte blikket. Vi vil se bredere på hva slags rolle solceller kan spille i overgangen til et lavkarbonsamfunn i Norge. I tillegg til å vurdere forskjellige scenarioer for prisutvikling, diskuterer vi hvordan teknologi- og kunnskapsutvikling kan organiseres for å lykkes med innovasjonsarbeid på feltet, slik at Norge også kan bli en aktør som høster de industrielle fruktene av en slik utvikling. Videre diskuterer vi politiske rammevilkår og koblingen til kombinasjoner av solceller, elbiler og batteriteknologi. Til sist knytter vi dette til teknologibrukere og deres ulike roller, samt potensielt nye måter å organisere kraftmarked og forretningsmodeller i en verden med stadig flere, mindre og spredte kraftinstallasjoner. Vi er interesserte i samspillet mellom industri og politikk, og hvordan pionervirksomhet innenfor fornybar energi og lavkarbonløsninger allerede arbeider med lokale og nasjonale myndigheter med mål om å gjøre rammevilkårene for eksempel for solkraft bedre enn de er i dag.

Et viktig utgangspunkt for diskusjonen vår er et ønske om å kombinere potensielle utviklingsbaner basert på energisystemmodeller med kvalitative og prosessorienterte diskusjoner for å tegne et bilde av de potensielle fremtidsbildene av en kraftsektor med en stor andel solkraft. Dermed er dette også en øvelse i å etablere en dialog mellom forskningstradisjoner som sjelden samarbeider tett. Der energisystemmodellene gjør en tekno-økonomisk optimalisering av fremtidig utvikling, har de kvalitative studiene gjerne befattet seg med samtiden eller fortiden og lagt vekt på å beskrive

kompleksitet. Denne analysen har utfordret begge fagtradisjonene ved å kombinere sine innsikter om solkraft til å tegne et mer helhetlig bilde.

Analyser av solkraft i det norske energisystemet

I kapittelet som følger presenteres en analyse av solkraft i det norske energisystemet, basert på forskjellige scenarioer av energietterspørsel, kraftpriser, grad av teknologilæring, og dermed kostnad på investering i solkraft. Konklusjonene viser at teknologilæring vil være viktig for å øke opptak av mer solkraft i samfunnet. I lys av dette går vi gjennom regulativa og forskriftsmessige tiltak som vil fremme solkraft i Norge, samt hva vi vet om små- og mellomstore sluttbrukeres erfaringer med bruk av solkraft.

Kvantitative analyser

Forutsetninger

Vi har benyttet energisystemmodellen TIMES-Norway for å kvantifisere og belyse hvordan teknologilæring, energietterspørsel og ulike rammebetingelser kan virke sammen og endre fremtidens energimiks. Analysene er bygget opp rundt ulike alternativer av følgende parametere:

- Energieterspørsel
- Krafthandelspriser
- Teknologilæringskurver
- Rammebetingelser som f.eks. skatter og avgifter

Først ser vi på energietterspørsel. Frem mot 2050 kan vi se for oss at etterspørsel etter kraft vil øke fra moderat til et høyt nivå, men vi kan også tenke oss at den vil ligge omtrent på stedet hvil. Dette vil ha innvirkning på utvikling av solkraft. Tre ulike alternativer for kraftforbruk er derfor analysert her:

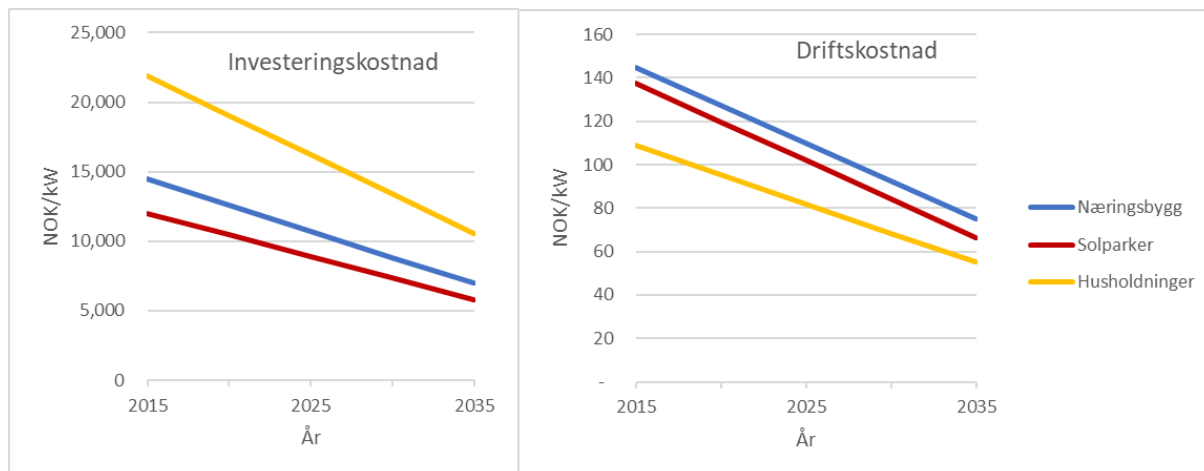
1. Basis, moderat utvikling (30-40 TWh økt kraftforbruk sammenlignet med i dag)
2. Høyt kraftbehov (ca. 80 TWh mer enn i dag)
3. Lavt kraftbehov (omtrent på dagens nivå)

Vi har i disse tider debatt om eksport av norsk kraft til utlandet via de såkalte utenlandskablene, og rollen til Norge som et grønt batteri for Europa, og hvordan dette utvikler seg vil påvirke etterspørselen etter kraftproduksjon i Norge mot 2050. Dermed vil mengden kraft som eksporteres i fremtiden ha stor innflytelse på utviklingen av norsk solkraftutvikling, men også prisnivået på denne eksporten. I tillegg til prisnivået er variabiliteten i prisene en faktor som må vurderes. I analysene er følgende alternativer brukt:

1. P1 (Basis): middels variabilitet som inkluderer mye sol og vind men også antar bruk av lagring og forbrukerfleksibilitet
2. P2 (lav variabilitet): lik dagens spotpriser, svak økning til 2022, deretter konstant
3. P3 (høy variabilitet): variabilitet som inkluderer mye sol og vind, men ikke inkluderer høy grad av laststyring og lagring (i snitt samme prisnivå som P1)
4. P4 (lav variabilitet): lik dagens spotpriser, 50% prisøkning til 2030, deretter konstant
5. P5 (lav variabilitet): lik dagens spotpriser, 40% lavere snittpris enn P1

En annen faktor som vil påvirke utviklingen av solkraft i Norge frem mot 2050 er i hvor stor grad vi klarer å mobilisere kunnskap og utvikling til å skape teknologilæring. Høyere teknologilæring skaper fordeler for teknologien og gjør den rimeligere. Utgangspunktet for teknologilæringen er her basert på NVEs kostnadsrapport 2017, der kostnadene forutsettes å reduseres til 48% av dagens nivå i 2035.

viser utviklingen i investeringskostnader og driftskostnader for solcelleanlegg i henholdsvis boliger, næringsbygg og solparker frem til 2035.



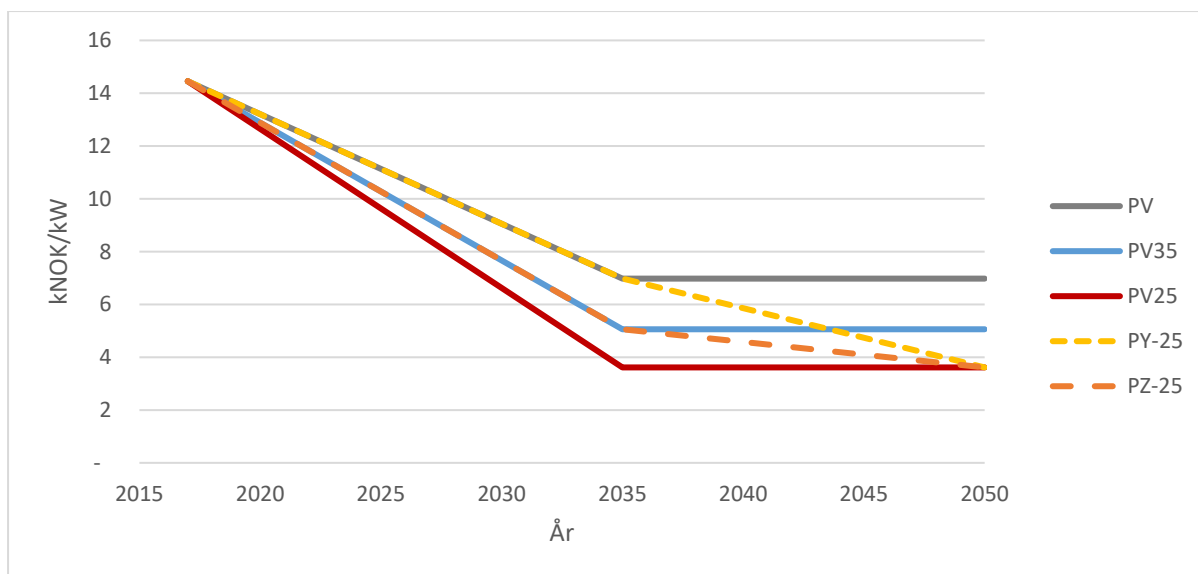
Figur 1: Investerings- og driftskostnader for ulike typer solcelleanlegg fra 2015 til 2035, kr/kW.

Vi har også sett på hva som vil skje dersom prisene faller raskere, og om de fortsetter å synke etter 2035. Fire ulike alternativer er brukt:

- PV35: kostnadene i 2035 er 35% av dagens kostnader (i stedet for 48% som i basis)
- PV25: kostnadene i 2035 er 25% av dagens kostnader
- PY25: kostnadene er 48% av dagens kostnader i 2035 og 25% av dagens kostnader i 2050
- PZ25: kostnadene er 35% av dagens kostnader i 2035 og 25% av dagens kostnader i 2050

I Figur 2 er disse fire alternativene vist for investeringskostnader i næringsbygg, men samme utvikling er brukt for husholdninger og solparker, og også for driftskostnadene. Alternativ PY25 tilsvarer omtrent at teknologilæringen fortsetter i samme takt helt til 2050 (dvs. den stopper ikke opp i 2035 som antatt i basisscenariet).

En kostnadsreduksjon kan skje på mange måter. Hittil har det vært en reduksjon i alle deler av verdikjeden, men mest i solcellemodulene. Fremover vil også reduksjon av total systemkostnad være av stor betydning (Solenergiklyngen, 2018). I våre analyser er det antatt en levetid på 25 år, da det er en vanlig garantitid i dag, men faktisk levetid er ofte lengre og allerede i dag er det ikke uvanlig med garantitider på 30 år. En økning av levetiden fra 25 til 35 år vil grovt regnet redusere kostnadene med 30%. Kostnadene kan også representere prisforskjellen mellom vanlig bygningsmateriale og bygningsmateriale med PV integrert, såkalt bygningsintegrert PV (BIPV). Fasadematerialer varierer stort i prisnivå. BIPV er konkurransedyktig på pris om man ikke skal velge aller billigste løsning.



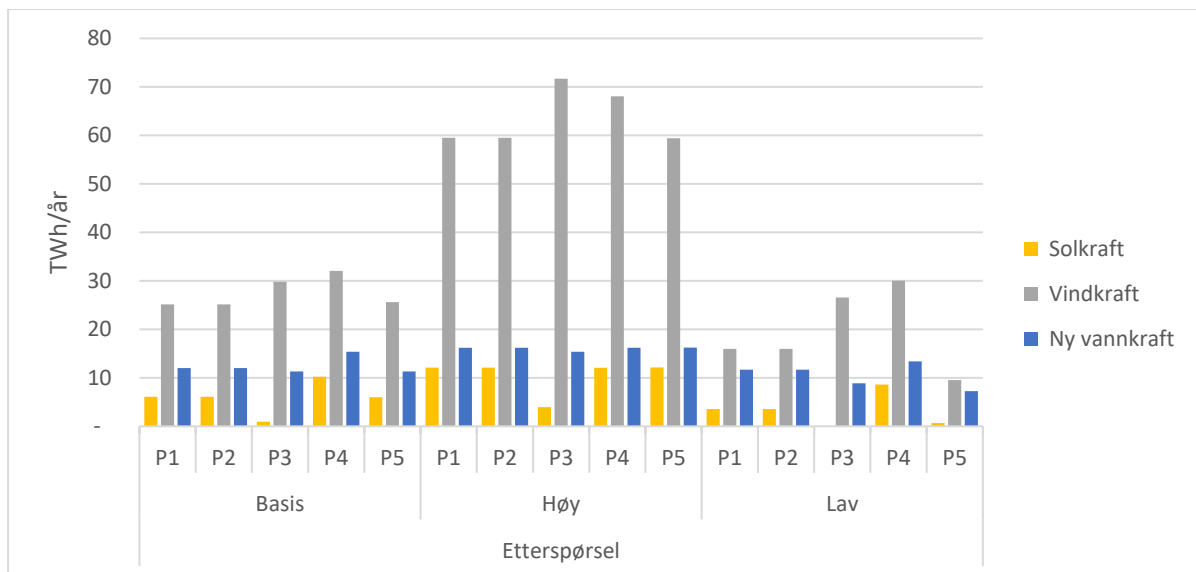
Figur 2: Alternative kostnadsutviklinger for kostnader, illustrert for investeringskostnader i næringsbygg, 2017-2050, kkr/kW

Ulike rammebetingelser er også analysert:

- Elavgift øker kostnadene for konvensjonell kraft. Hva skjer med solkraftens rolle hvis den fjernes eller dobles?
- CO2-avgift vil kunne øke etterspørselen etter fornybar kraft, som sol. Hva skjer med solkraft om vi har CO2-avgift? Hva om den fjernes?
- Det foreligger planer om å eksportere norsk kraft i økende grad i fremtiden, noe som kan øke etterspørselen etter solkraft. Hva skjer om det innføres et minimumskrav til netto krafteksport?
- Hva er effekten av en kombinasjon av minimumskrav til krafteksport og økt teknologilæring?
- Til slutt har vi sett for oss at det potensielt kan forekomme begrensning av vindkraftproduksjon basert på lokal motstand mot vindkraftutbygging, og hva effekten av dette eventuelt vil kunne bli.

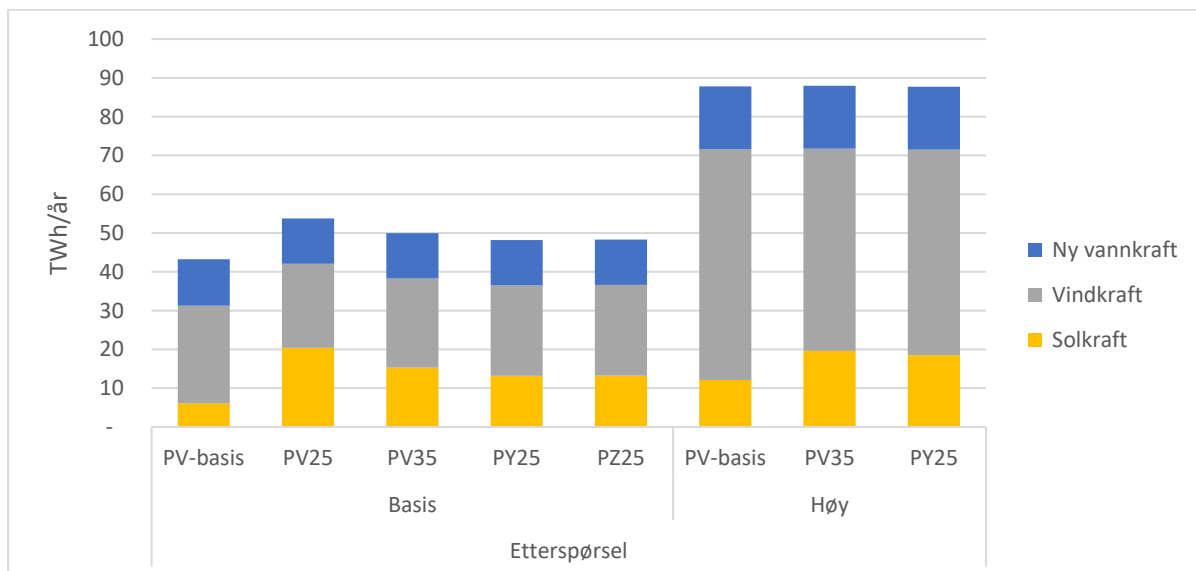
Analyseresultat

Mengden solkraft er sterkt avhengig av norsk kraftbehov. I alle analyser er størsteparten av ny kraftproduksjon vindkraft og inntil 16 TWh ny vannkraft. Figur 3 viser hvordan utviklingen i kraftproduksjonen avhenger av etterspørselsbehovet og krafthandelspriser. Basisetterspørselen, med moderat utvikling (30-40 TWh økt kraftforbruk sammenlignet med i dag) medfører en økning på 1 til 10 TWh solkraft i 2050. Hvis etterspørselsbehovet øker betydelig, øker kraftproduksjonen fra solcelleanlegg til 4 til 12 TWh. Men dersom etterspørselsbehovet forblir omtrent på dagens nivå, vil bruken av solkraft ligge på 0 til 9 TWh per år. Med basispriser blir mengden solkraft i 2050 6 TWh med basis etterspørsel, 12 TWh med høy etterspørsel og 4 TWh med lav etterspørsel.



Figur 3: Ny kraftproduksjon i 2050 ved ulike etterspørselsalternativer (Basis, høy, lav) og krafthandelspriser (P1-P5), TWh/år (se forklaring av analysene i vedlegg 1)

Hvis teknologilæringen fortsetter utover det man ser for seg i dag, øker mengden solkraft i fremtiden. I Figur 4 vises resultatene fra analysene med utviklingsbanene vist i Figur 2. Den raskeste teknologiutviklingen (PV25) forutsetter at kostnadene i 2035 er 25% av dagens nivå, og dette gir 20 TWh solkraft i 2050 gitt basisalternativene for etterspørsel og krafthandelspriser. Hvis det går litt saktere og dette nivået først oppnås i 2050 (alternativ PY25) så vil solkraftproduksjonen være 13 TWh. Et større elforbruk vil kunne kompensere for lavere teknologilæring, og vi kan oppnå 20 TWh solkraft ved en teknologilæring tilsvarende kostnader på 35% av dagens nivå i 2035 eller 25% i 2050.

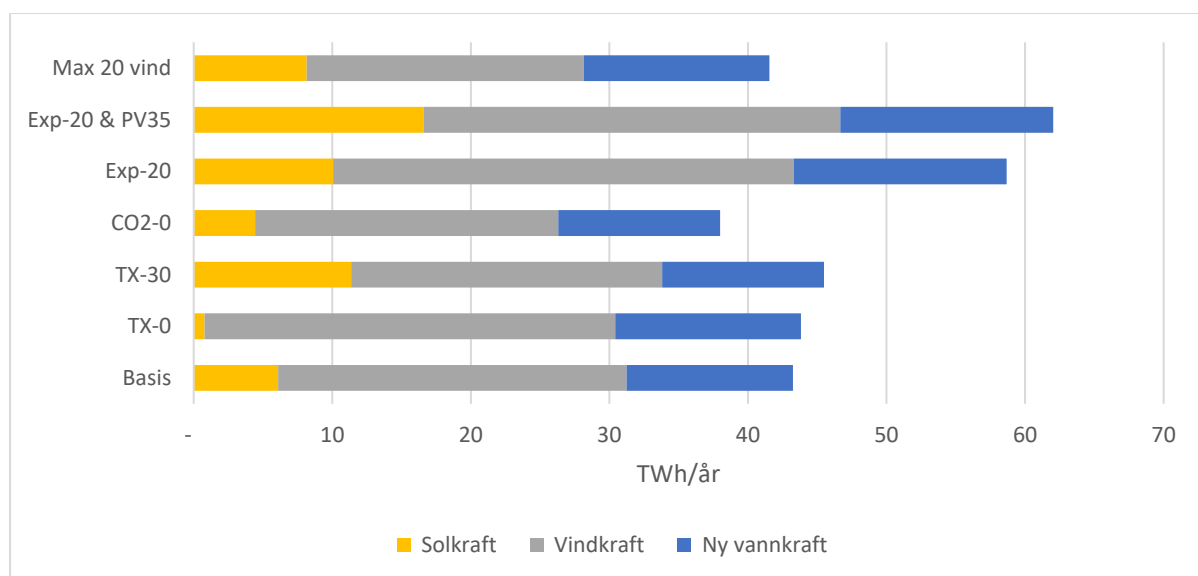


Figur 4: Kraftproduksjon i 2050 som funksjon av utviklingsbane for solkraftkostnader, TWh/år

Effekten av de ulike rammebetingelsene er presentert i Figur 5, hvor grunnforutsetningene er basis energietterspørsel og basis krafthandelspriser (analyseforutsetningene er beskrevet i vedlegg). I grunnanalysen blir det 6 TWh solkraft. Hvis elavgiften fjernes reduseres solkraftproduksjonen til 1 TWh. Motsatt vil en dobling av elavgiften nesten doble solkraften, til totalt 11 TWh. Hvis man ikke inkluderer en CO₂-avgift vil solkraft-produksjonen reduseres til 4 TWh. Et krav om minimum 20 TWh netto eksport av norsk kraft, fører til en økning av norsk solkraft til 10 TWh. Hvis dette kombineres

med sterkere teknologilæring (kostnader i 2035 er 35% av dagens nivå), vil produksjonen øke til 17 TWh.

En begrensning av vindkraftproduksjon som følge av folkelig motstand til maksimum 20 TWh gir økt solkraft til 8 TWh. I dette tilfellet blir vindkraftproduksjonen redusert med 5 TWh og solkraftproduksjonen økt med 2 TWh. Hvis alternativene med høy etterspørsel, som gir mye vindkraftproduksjon, analyseres med samme begrensning om maks 20 TWh vindkraft, vil betydningen for solkraft bli større. Analysen med høy etterspørsel og basis krafthandelspris gir 60 TWh vind. Hvis dette scenariet kombineres med maks 20 TWh vindkraft, vil andelen solkraft øke til 17 TWh.



Figur 5: Ny elproduksjon som funksjon av elavgift, CO2-avgift og krav om minimum eksport, analysert med grunnforutsetningene for energietterspørsel og krafthandelspriser, TWh/år

Oppsummering

Denne analysen har sett på utviklingen av solkraft i Norge som en funksjon av energietterspørsel, krafthandelspriser, teknologilæringskurver, og ulike rammebetingelser som f.eks. skatter og avgifter, og krav til eksport. Av de alternativene som er analysert oppnås 20 TWh solkraft bare dersom 1) teknologilæringen reduserer kostnader for solkraft i 2035 til 25% av dagens nivå, eller 2) at økt elforbruk tillater lavere teknologilæring med kostnader for solkraft i 2035 som er 35% av dagens nivå. Når det kommer til krafthandelsprisene har vi sett at variabiliteten i disse har stor betydning, når prisen i perioder er veldig lav, men ellers er effekten liten.

Når det gjelder effekten av de ulike parameterne med rammebetingelser kan det nevnes at det med dagens elforbruk og med grunnforutsetninger for kostnadsutvikling mm., så vil det bli investert i kun 3,5 TWh solkraft. Dermed avhenger en økt investering i solkraft en økning i norsk elforbruk, hvis alle andre faktorer antas uforandrede. Allikevel er ikke dette forholdet lineært, siden mye av det økte forbruket dekkes av vind- og vannkraft. Disse fortsetter dermed å være sterke konkurrenter til solkraft, og dette fortsetter å gjelde om det innføres krav om netto krafteksport. Økt forbruk kan dermed ikke alene bidra til en økning i solkraften på 20 TWh i 2050, og dette viser viktigheten av ytterligere reduksjon i kostnader eller behovet for andre insentiver. Kombinasjonen av økt forbruk og redusert kostnad kan gi 20 TWh solkraft i Norge i 2050. Dette viser at behovet for teknologilæring er større enn forventningene tilsier i dag, og kravet i vårt basisscenario er relativt strengt: for å nå 15 TWh i 2050

må man ned i en tredjedel av dagens kostander allerede i 2035. For å nå 20 TWh må kostnadene ned i en fjerdedel av dagens (når andre faktorer ikke endres).

Vi har sett at rammebetingelser kan gi delvis store utslag. Elavgiften har for eksempel stor betydning, og null avgift gir nesten null solkraft, doubling av elavgift gir nesten en doubling av solkraft. Likeledes øker mengden solkraft som følge av CO₂-avgift, og krav om minimum 20 TWh krafteksport øker som nevnt solkraft på samme måte som økt elforbruk, men da i konkurranse med vind- og vannkraft. Siden særlig vindkraften er en sterk konkurrent til solkraft, viser det seg (som forventet) at en begrensning av vindkraftproduksjon på grunn av for eksempel folkelig motstand øker mengden solkraft i Norge.

Samfunnsprosesser for solkraftlandet Norge

I den forrige delen la vi fram en energisystemanalyse av mulighetsrommet for økt solkraft i Norge fram til 2050. Vi så at en økning i solkraft er avhengig av et økt elforbruk og en økt eksport, men at mye av det økte forbruket med stor sannsynlighet vil bli dekket av vind- og vannkraft, som fortsetter å være skarpe konkurrenter til solkraften. Med andre ord er solkraftpotensialet fullstendig avhengig av det man i modellanalyse gjerne refererer til som teknologilæring. Men der slike analyser godt kan sies å ha et godt mål for hva god teknologilæring innebærer, nemlig reduserte kostnader, svarer de ikke på hvordan god teknologilæring kan legges til rette for. I det følgende vil vi derfor diskutere betingelsene for innovasjon og implementering av solkraft i Norge frem mot 2050. Vi vil diskutere dette på tre nivå. Først myndighetenes mulighetsrom når det gjelder å forme utviklingen. Deretter vil vi se på hva slags rolle befolkningen vil kunne tenkes å spille. Til sist vil vi se på en gruppe aktører, som vi i denne sammenhengen kan kalle mellomliggende aktører: bedrifter og andre som både har mulighet til å påvirke «oppover» mot lokale og nasjonale myndigheter, og «nedover» mot ansatte, kunder og andre deler av befolkningen.

Norge som innovasjonshub for ny fornybar kraft

Et Norge i 2050 der solkraft utgjør 20 TWh av kraftproduksjonen er et Norge der næringslivet har gjennomgått store endringer. Olje og fisk er ikke lenger de viktigste næringene, og landet er blitt en ledende hub for forskning og kommersialisering av ny fornybar teknologi. Det startet allerede i 2020-årene under Røttingen-epoken i Norges forskningsråd med visjonære tanker om en mer helhetlig forsknings- og kommersialiseringspolitikk for ny fornybar energi. Røttingen-perioden hadde følgende hovedelementer:

1. Langsiktige internasjonale forskningskonsortier hvor målet var å løfte fram nye radikale løsninger for ny fornybar energi. Et av disse var et program for mer og bedre utnyttelse av solkraft.
2. Tydelige skattemessige insentiver for at ledende selskap ville bruke tid og ressurser til å utvikle ny fornybar. Dette innebar også tydelige politiske styringssignaler til ledende norske selskaper som Equinor, Hydro, Telenor om deres aktive og svært langsiktig rolle i utviklingen av radikale innovasjoner bl. a. med fokus på solkraft.
3. Aktiv og direkte bruk av lovregulering og forskrifter for at alle nye bygg (først næringsbygg) ble pålagt å ha solkraft som en sentral energibærer.
4. Egne insentivpakker for oppstart og kommersialisering av ny teknologi. Et tydelig signal til talentene om hvor nye teknologibedrifter bør etableres. Dette innebar også tilrettelegging for internasjonale oppstartsbedrifter skulle etablere seg i Norge.
5. Et eget nytt «evergreen» fond for investering i ny fornybar. Finansieringen for dette fondet ble gjort ved at 1 % av Statens pensjonsfond («oljefondet») i 2020 ble satt av til investeringer

i norske ny fornybar-bedrifter. En beslutning som nå i 2050 framstår som svært viktig og avgjørende for å ha lyktes med en ny industrialisering av Norge på 2030-tallet.

Disse tiltakene var nødvendige for å fase inn mer ny fornybar kraft i det norske energisystemet, og for å dekke det store behov for en visjonær og godt koordinert satsing på forskning og kommersialisering. Det innebar også satsinger som ikke i seg selv ledet fram til nye innovasjoner, men som gav god avkastning i form av investering i kunnskap og talent. For Norge sin rolle i en sentral posisjon i utviklingen og implementering av solkraft ble det avkrevd en innsats og vilje på politisk nivå til å tenke opptil 20 år fram i tid. Da man satte seg målet om at produksjonen av solkraft skulle opp til 20 TWh i 2050 innså man at teknologilæringen måtte skje i et langt raskere tempo enn det vi ser i dag. Det krevde en tydelig og mindre næringsnøytral forsknings- og kommersialiseringspolitikk, og det innebar at Norge som nasjon faktisk satset på dette framfor noe annet.

Men selv om myndighetene vil være en viktig aktør for å bidra til innsatsen som skal til for å øke opptak og bruk av solkraft i Norge, er det bedrifter og forbrukere sammen med markedsaktørene som må skape gode konfigurasjoner av produksjon og virksomhet for at investering i lokal produksjonskapabilitet. Det er ikke gjennom frittstående anlegg med solceller det vil bli gjennomslag for solkraft i Norge, til det er konkurransen med vind og vann alt for sterk. Men solceller vil i mange tilfeller kunne gi mening både for bedrifter og husholdninger, og de kan bidra til at andelen av solkraft i norsk kraftmiks øker ved å bli prosumenter, altså produsere egen solkraft til salg og eget konsum.

Befolkningens bruk av solceller

En andel av norsk kraftproduksjon i 2050 bestående av 20 TWh solkraft er en betydelig økning. Men konvensjonell, sentralisert kraftverksutbygging kan i tilfellet solkraft behjelpes ved at mange små- og mellomstore aktører investerer i lokal, privateid produksjonskapasitet. Av de mange demonstrasjonsprosjekter i regi av lokale energi- og nettselskap som er i gang rundt omkring i landet, har vi sett at vanlig størrelse på et solcelleanlegg montert på privat hustak er omkring 3-5 kWp. Erfaringer fra disse prosjektene tilsier at årsproduksjonen i slike anlegg, lav om vinteren og høy om sommeren, er på rundt 3500-5500 kWh. Det må dermed omtrent 5 millioner slike anlegg til for å nå 20 TWh, og det er dermed åpenbart at disse løsningene må komplementeres om 20 TWh er målet.

I 2050 er allikevel private solcelleanlegg vanlig, og de fleste som deltar på kraftmarkedet er ikke bare forbrukere men også krafttilbydere, eller såkalte prosumenter. Den ekstra kapasiteten som produseres lokalt kan prosumenter selvsagt benytte for å unngå og handle strøm fra nettet. Men dersom de genererer et overskudd de ikke får brukt selv, kan de selge det tilbake til markedet gjennom den såkalte plusskundeordningen som ble innført allerede i 2017. Begge deler gir gevinst, men som regel er det mest gunstig fra et økonomisk standpunkt å benytte det man produserer lokalt fremfor å selge det tilbake til nettet. Som vi så i analysen utgjør elavgiften en viktig faktor for om det blir investert i sol. En kWh kjøpt medfører nettopp ekstra kostnader i form ikke bare elavgift, men av nettleie og skatter. Disse kostnadene kan tjenes inn igjen ved å selge tilsvarende overskuddsproduksjon tilbake til nettet til spotpris. Dette har medført at lagring i form av batterier, og smarte systemer som besørger at solkraft produsert på dagtid da ingen er hjemme, går til å fore trege laster som oppvarming av rom og vann, og slike løsninger har bidratt til å øke nytten av solkraft. I enkelt tilfeller der nettselskapene ser seg tjent med økte andeler av kortreist kraft for å spare utgifter til nettutbygging, kompenseres prosumentene med et påslag ved tilbakesalg. Elmarkedet i 2050 er i det hele tatt rikt på ordninger for småprosumenter, slik at den lokalt produserte kapasiteten kan brukes til det som er mest fordelaktig fra både kundens og systemets ståsted.

Ser man seg tilbake i 2050 ser man at de siste 30 årene har tiden det tar før et solcelleanlegg er blitt tilbakebetalt variert så mye som 10-30 år. Men nå, på grunn av økt etterspørsel, kostnadsreduksjon,

og gode panteordninger på gamle anlegg som forutsetter re-investering i solceller, har det blitt mer vanlig med 5-10 år. Levetiden til anlegg har også økt. Men andre faktorer som har bidratt til å vekke interessen for solceller hos husholdningene er at de utgjør elegante teknologiske løsninger, for eksempel solenergiproduserende tak. Dette har appellert til den norske sansen for nøyksomhet og nytteverdi, og en sterk tanke om at solceller er en naturlig del av den teknologiske utviklingen i samfunnet har slått rot. Internasjonalt er Norge i forkant av utviklingen av bygningsintegrert PV, såkalt BIPV, og det har vist seg at en jevn tilførsel av solkraft har bidratt til å demme opp for økningen i kraftprisene som for alvor inntraff i kjølvannet av den ekspansive utbyggingen av utenlandskabler på tidlig 20-tall.

En annen utfordring som var vidt spredt rundt tusenårsskiftet, manglende energibevissthet, har også blitt imøtekommet av solkraftens økende rolle i samfunnet. Ved å ha produksjonskapasiteten tett på er både barn og voksne bevisst elektrisitetens flyten på en måte som er iboende for dem i hverdagen. I og med at andelen lokalt produsert solkraft har økt i takt med utbredelsen av elbil, ser også folk på solceller som en mulighet for å kjøre på egen strøm. Slik har antakelig elektrifisering av transport økt elektrisitetsetterspørselen i tråd med det analysen i det foregående viser, men virkemiddelbruken for elbil har også vært med på å øke interessen for solceller. Kombinasjonseffektene av dette har også gjort batterier mer kostnadseffektive og attraktive for hjemmebruk. Samtidig var de voldsomme vindkraftdiskusjonene rundt 2020 viktig for å skape et politisk og folkelig engasjement for solkraft som et fornuftig alternativ til «monstervindmøller» og frislipp av storkraftkapital på norske fjell og vidder. Solkraft representerer den andre siden og utgjør, i ordets rette forstand, kraft til folket.

Markedet for solcelleanlegg i 2050 er modent og økende. Dersom ikke solkraftproduserende teknologi allerede er fastmontert i boligen man flytter inn i, er det enkelt å skaffe seg et solcelleanlegg. Pakkeløsninger tilpasset det enkelte huset med alle komponenter ferdig montert er tilgjengelig fra flere uavhengige tilbydere som også leverer med strømvtaler. Strømlleverandører og nettselskap er også delaktige i dette markedet. Ikke sjelden er nyoppførte hus ferdig utstyrt med solkraftproduksjon, og i bygg- og anleggssektoren må byggherre som regel hente inn solcellemontør, en spisskompetanse som også har tilført arbeidslivet nye aktører. Privat og heleid er likevel ikke den mest vanlige måten å bruke solceller på. Strømlleverandører leverer produksjonskapasitet (også mikrovind) som et ledd i å utvide sine porteføljer og øke sin uavhengighet fra kraftbørsene. Nettselskap driver, gjennom sine markedsavdelinger, statlig regulerte kundeprogram der de leverer solceller til borettslag og bygg i den kommunale servicesektoren, i tillegg til at landbruket er en stor samarbeidspartner. Mange som ikke har ressurser til egne anlegg er innlemmet i slike prosjekter nettopp fordi det er et godt tilbud på solceller – enkelte har fått de til kostpris – men også fordi det har fordeler for nettselskap. Solkraft har det de kaller «nettnytte». På denne måten har befolkningens bruk av solceller ikke bare vært avhengig av individuelle holdninger. En viktig del av solkraftens inntog har vært at det har blitt lagt til rette for at byggenæring, solcelleleverandører og nye markedsaktører introduserer løsninger som gjør at private husholdninger ikke må være egne entreprenører for å bli prosumenter. Et viktig ledd i suksessen har således vært muligheten for å lage forretningsmodeller på tvers av etablerte næringer.

Solceller i næring og industri

Som ovenfor nevnt er ikke målet om 20 TWh mulig å nå utelukkende ved hjelp av privatkunder, og i 2050 er de også blitt tungt tatt i bruk på næringsbygg. En katalysator for bruk av solceller på næringsbygg er at nytten av solcellene ikke har blitt vurdert isolert, men som en del av en større helhet. På denne måten er gevinsten av de allerede reduserte investeringskostnadene ytterligere komplementert ved at samspillseffekter med den øvrige driften skaper betydelige besparelser for virksomheten. Slike effekter har man hentet ut både i landbruks-, industri- og næringssektoren. Sistnevnte sektor representerer en betydelig del av bygningsmasse som ikke lenger utgjøre like store

andeler av etterspørsel etter generering av varme og kulde. Man har kommet hit gjennom å betrakte arbeidet med å fase inn store mengder solkraft som en komponent i et bredere arbeid med systeminnovasjon.

I tiden etter klimaforliket på 10-tallet ble også metoder for å beregne klimahensyn utviklet slik at dette i større grad kunne telle i anbuds- og anskaffelsessammenheng. I første omgang gikk offentlig sektor ut med klimamål i sine anbud, og etter at næringslivet omsider kom etter, er det blitt vanlig å tenke at det å drive sine virksomheter med fornybar kraft styrker konkurranseevnen. For eksempel har transportsektoren benyttet seg av solkraft-installasjoner på sine lagerbygg som en del av en større strategi for å gjøre seg fornybarbaserte. Andre eksempler er kontorsektoren som gjennom flere prosjekter har etablert plussbus av høy kvalitet som også er konkurransedyktige utleieobjekter og således har livets rett i et markedsperspektiv. Slike bygg er imidlertid langt mer enn takflater med store solcellepanel: egenprodusert strøm tenkes i sammenheng med omlegging av områdets kollektivtrafikk, man arbeider med nye former for fleksibilitetsløsninger både innad i et mikrogrid, og mellom mikrogrid og det bredere strømsystemet.

Engros- og transportvirksomheten i landet, som beskjeftiger seg med å lagre og distribuere varer til butikker og restauranter over hele landet ved hjelp av sine mange lastebiler, er én sektor der solkraft har fått en stor rolle i 2050. I samarbeid med bilindustrien har det foregått et omfattende arbeid mot å redusere fossile utslipp ved å føre varetransporten over på hydrogen. I dette tilfellet spilte store mengder solceller en nøkkelrolle. I utgangspunktet var det en smal sak å fylle de mange tusen kvadratmeter med lagerbygg med solkraft, med den målsetning om å bli selvforsynt med strøm. Selv i 2050 vil de fleste brukere av solkraft oppdage at tilbudet er størst når etterspørselen er lav, fordi mesteparten av vår etterspørsel går med til oppvarming – et behov som minker i takt med at solinnstrålingen øker. På grunn av at en stor del av engrosvirksomheten avhenger av å holde betydelige mengder matvarer kalde i store kjølehaller er solceller spesielt godt egnet til å møte denne etterspørselen, siden den sammenfaller med at sola skinner. Etter hvert har også mange av disse virksomhetene investert i egne anlegg som produserer hydrogen, som kan utnytte overskuddskraft til å produsere hydrogen som igjen har utviklet fossilavhengigheten til logistikkdelen av sektoren. I 2050 går tungtransport på hydrogen fremstilt av norsk fornybar kraft.

På grunn av sin sentrale posisjon i varehandelen spilte engrossektoren en betydelig rolle i den større omleggingen fra fossilt i transportsektoren, delvis på grunn av solcellesatsingen sin. Lastebiler som leverer varer i sentrale strøk pleide å bidra til en betydelig del av utslipp av CO₂ og lokal luftforurensning. Elektriske lastebiler drevet av solcelleprodusert hydrogen gir sitt eneste utslipp i form av vann. I 2050 gir dette konkurransefordeler blant annet ved at utslippsreducerende løsninger vektet tungt i anbudskonkurranse. I takt med den økende energibevisstheten i samfunnet for øvrig, arbeider bedrifter generelt også aktivt mot sine ansatte, for eksempel gjennom å etablere investeringsfond som støtter ansatte som selv ønsker å gjøre «grønne» investeringer på hjemmefronten – for eksempel i sol.

Historien viser i 2050 at de næringslivsaktørene som sto tilbake, selv hadde gjort seg involvert i å gjøre fremtiden strengere ved å bidra i transportpolitiske beslutningsprosesser og høringer, samtidig som de utviklet løsninger for å tilpasse seg en slik fremtid. Industrien viste seg dermed som en viktig mellomliggende aktør i samfunnets overgang til en fossilfri hverdag. De mest konkurransedyktige virksomhetene arbeidet i denne perioden aktivt mot nasjonale og lokale myndigheter for å få strengere virkemidler samtidig som de sørget for innovasjonsfortrinnet som ga dem fordelene ved innføringen av slike virkemidler.

Konkluderende refleksjoner

Vi har i dette notatet diskutert ulike måter å tenke rundt storskala innfasing av solkraft i den norske kraftmiksen. Utgangspunktet har vært et ønske om å kombinere kunnskap fra ulike fagtradisjoner i CenSES. Vi har mobilisert innsikt fra energisystemmodellering, kombinert med kunnskap basert på ulike former for mer prosess- og handlingsorienterte studier av teknologiske endringsprosesser. Dermed har vi diskutert hvordan dette er et sett endringer forankret i individuelle faktorer som pris og teknologilæring, samtidig som vi i stor grad har betonet at en slik endring vil kreve en form for systeminnovasjon hvor politikk, forretningsmodeller, kultur og adferd blant aktører på ulike samfunnsnivå må spille sammen for at solkraft skal bli en stor og sentral del av kraftmiksen i 2050.

På den ene siden viser resultater fra analyser med energisystemmodellen at solcellenes lønnsomhet må bedres gjennom at prisen på solceller reduseres betydelig eller integreres i bygget. Økt kraftetterspørsel, økte kraftpriser og avgifter har også positiv innvirkning på installert solkraft. Samtidig er det ikke gitt at en økt etterspørsel vil bli besvart av sol, og en økning i solkraft utfordres kraftig av vind og vann. En måte å imøtekomme denne utfordringen på er ved å tilgodese en evne solkraften alene kan skilte med, nemlig å gjøre folket selv til strømprodusenter. For at dette skal være fornuftig bør prisen på tilbakesalg av solkraftprodusert strøm opp. En annen måte å øke nytten av solkraft på er å modne og innføre flere muligheter for lagring og automatisering i husholdningene, ettersom lite tyder på at vanlige strømkunder i stor grad vil være interesserte i å jobbe hardt for å optimalisere eget forbruk og produksjon. Det er imidlertid viktig at vi i arbeidet med dette, allerede nå tar inn over oss at også implementeringen av slike løsninger i stor skala krever systeminnovasjon innenfor teknologi, politikk og kultur for å bli fullintegrerte deler av et kraftsystem, samfunn og hverdagsliv.

For å nå de ambisiøse målene skissert i denne teksten, må flere aktører arbeide aktivt for å promotere ny fornybar energiteknologi. En av måtene dette kan skje på er ved å i langt større grad enn i dag incentivere for nye typer samarbeidskonstellasjoner på tvers av bransjer, og mellom ulike forskningsmiljøer og bransjeaktører. Dette vil antakelig øke teknologilæringen og utbredelsen av solkraft vesentlig i Norge. Like viktig er det imidlertid at dette også vil øke muligheten for kommersialisering av nye teknologier, nye bransjer og organiseringsformer. Dermed kan Norge bli mer enn et land med mye solkraft installert, og utvikle en sentral posisjon som foregangsland innenfor solkraft og relaterte bransjer.

I dag skjer mye av eksperimenteringen i skjæringspunktet mellom forskning og bransje gjennom pilot- og demonstrasjonsprosjekter. Erfaringene fra CenSES viser at det er mulig med mer pilotering og mer involvering av prosumenter enn det vi til nå har sett. Pilotbrukere er viktige for arbeidet med å bringe teknologi inn i samfunnet. Teknologien blir testet i virkelige situasjoner og både teknologien og selve innpassingen av den kan utvikles og justeres basert på kunnskapen om prosumentenes adferd. Videre er disse "early adopters" viktige ambassadører for at nye løsninger faktisk skal tas i bruk. Våre studier viser også at teknologibrukere gjennom å delta i slike prosjekter kan bidra med viktige innspill i innovasjonsprosessen, samt å utvide forståelsen av hva slags rolle solcellepiloten skal spille i et lokalmiljø. Mens nettselskapene har et forholdsvis isolert blikk på nettnytte og energiselskap på profitt, er mange av brukerne langt mer interesserte i at solcellene kommuniserer med omgivelsene, slik at de kan være med på å skape diskusjon og energiengasjement. Samtidig peker mange av dagens pilotprosjekter på det som antakelig er en viktig kulturutfordring for storskala bruk av solceller i Norge. Foreløpig appellerer solcellene mest til en spesielt ivrig gruppe mennesker med interesse for teknologi eller miljø. Et økt trykk fra virkemiddelapparatet for å stimulere pilotaktivitet hvor alternative stemmer samt nye fag- og teknologikonstellasjoner vektlegges vil også øke sjansen for at vi finner

forretningsmodeller, praksiser og bransjemodeller som appellerer til stadig større deler av befolkningen.

Alt dette peker på at teknologiutvikling og –implementering er prosesser som både formes av og er med på å forme sentrale samfunnsprosesser. Det er selvsagt vanskelig å spå hvordan samfunnet i det store og hele vil utvikle seg fremover, men noen momenter kan være verd å peke på.

Det første er den økende samfunnsdebatten og kontroversene vi i dag ser rundt stadig flere nye energiteknologier. I den norske debatten har frontene stått steilt rundt landbasert vindkraft. Mange tror at det å flytte vindmøller offshore gjør dem mindre kontroversielle. Erfaringer fra Storbritannia de siste årene viser imidlertid med all tydelighet at det også kan bli store og svært vanskelige kontroverser og konflikt mellom interesser rundt installasjoner til havs. Solkraft fremstår dermed som en teknologi som kan avlaste slike kontroverser. På den andre siden er det imidlertid stor sannsynlighet for at også solkraft vil bli forbundet med kontrovers dersom deres utbredelse blir stor nok. Solkraft er i diametralt motsatt posisjon til dette, og istedenfor naturinngrep kan den ta plass der det uansett ikke foregår noe fra før, som for eksempel på et tak eller en husvegg. Dermed er solkraften nært hus og hjem, og den kommer den enkelte husstand direkte til gode.

For det andre, siden solkraft er så tett forbundet med bygg, kan vi se for oss at utviklingen i bygg- og anleggssektoren med relevante forskrifter og direktiver vil være viktige for innfasingen av solkraft. En mulighet vil selvsagt være å påby alle bygg å implementere solkraft eller andre fornybare energiproduksjonsformer. Vi tror imidlertid det vil kunne være mer fruktbart å åpne opp for eksperimentering med varianter av ulike former for bygningsdirektiver i ulike soner, slik at man altså ikke bare arbeider med å pilotere teknologi, men også politikk. Slik eksperimentering har i noen bydeler rundt i Norge vært svært viktig for å legge til rette for mikrohus, ofte med solkraftinstallasjoner – og noen ganger helt frakoblet strømmettet. Slike bygg legger antakelig til rette for mer bærekraftige- og solkraft-vennlige livsstiler enn andre bygg gjør, men oppfyller ikke kravene i dagens forskrifter (TEK 17). Reguleringsmessig eksperimentering har fremmet dette, noe som også kan skje for solkraft mer generelt. Dette setter store krav til felles satsing mellom organisasjoner som Norges forskningsråd, Innovasjon Norge, SIVA og ENOVA.

For det tredje kan solkraft i større grad enn konkurrentene utnytte potensialet for desentralisert og lokalisert kraftproduksjon. I forbindelse med den stadige utviklingen av smarte strømmett som bruker IKT til å regulere kraftflyt i sanntid på mikronivå kan dette aspektet ved solkraft for alvor utnyttes. Lokal og kortreist kraft kan spille en rolle for å redusere behovet for utbygging i nettinfrastrukturen, og på denne måten bidra med en viss nettnytte. Dette må også ses i sammenheng med elektrifisering av transportsektoren med påfølgende utvikling i ladeinfrastruktur og økt forbruk i og omkring tettbygde strøk, samt utviklingen av lagringsteknologi og muligheter for laststyring. Solkraft er tilgjengelig stort sett når folk er opptatt med andre ting, og gode systemer for å forvalte produksjonen i disse periodene vil øke verdien av solkraft betydelig.

Vedlegg 1: Analyseforutsetninger:

Energisystem modellen TIMES-Norway er brukt for å analysere hvor mye solkraft som er økonomisk i fremtidens energisystem under ulike betingelser. En beskrivelse av TIMES-Norway er inkludert i vedlegg 2.

Felles forutsetninger for alle analysene

- Globale brenselpriser basert på WEO 2017 (IEA, 2017)
- Skatter og avgifter lik som i 2017 (Regjeringen, 2017)
- Nettleie 27 øre/kWh (gjennomsnitt for 2017) (SSB, 2017)
- Elsertifikatpris 150 kr/MWh frem til 2035 (for investeringer frem til 2020)
- CO₂-avgift 1000 kr/t CO₂
- Krav om investering i økt overføringskapasitet til NO3 og NO1 hvis det investeres i økt kraftproduksjon i NO4
- Krav om balanse eller netto krafteksport totalt over året
- Moderat utvikling av teknologilæring av hydrogenteknologier
- Analysert 6 år (2015-2020-2030-2040-2050-2070)
- Vindkraft:
 - Kostnader og potensialer er basert på NVEs konsesjonsdatabase
 - Antar at teknologilæring gir 24% lavere investeringskostnad og driftskostnad i 2035 sammenlignet med 2015 (NVE, 2017)
- Vannkraft:
 - Basert på informasjon fra NVE og konsesjonssøknader
 - Potensial og LCOE for lav og høy kostnadsklasse av regulerbar vannkraft og lav/middels/høy kostnadsklasse av uregulerbar vannkraft basert på diskusjoner med NVE
- Solkraft:
 - Solinnstråling beregnet for hvert elspotområde ved hjelp av modellen PV-syst (se beskrivelse nedenfor)
 - Kostnader basert på NVEs kostnadsrapport 2017 (NVE, 2017)
 - 25 års levetid (NVE, 2017)
 - Ikke sertifikater for solkraft i disse analysene
 - Øvre begrensning av solkraft i næringsbygg og husholdninger er 9 TWh/år per type
 - Øvre begrensning av solparker er 4 TWh/år

De variabler som er variert er:

- Energietterspørsel
- Krafthandelspriser
- Teknologilæring solkraft
- Noen politikk alternativer (elavgift, CO₂-avgift, krav om minimum nettoeksport av kraft)

Energietterspørsel

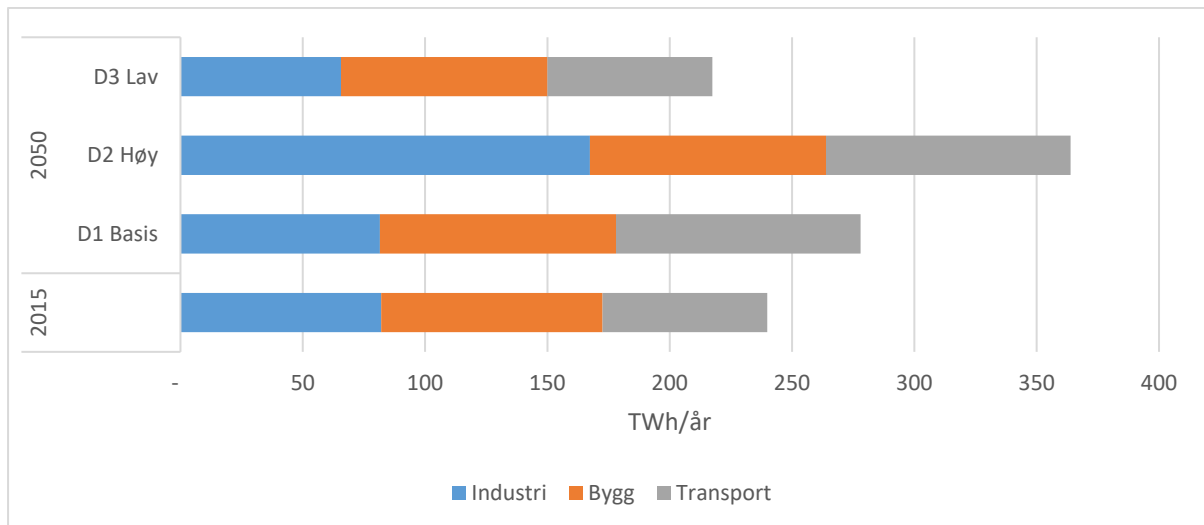
Etterspørsel av energiservice er eksogen input til TIMES-Norway. Tre ulike utviklingsbaner for energietterspørsel er analysert:

- D1 (Basis): Industrien er konstant unntatt for offshore elektrifisering. Næringsbygg er beregnet ved hjelp av økning i areal som er beregnet basert på befolkningsvekst.

Husholdninger, annen tjenesteyting, landbruk og bygg & anlegg øker tilsvarende befolkningsveksten i SSBs middelscenario (29% befolkningsvekst til 2050 sammenlignet med 2015) (SSB, 2016)

- D2 (Høy): Industri har dobbelt så stor etterspørsel i 2050 som i 2015 (likt fordelt på alle bransjer). For bygg og transport er etterspørselen lik Basis (følger befolkningsvekst og Nasjonal Transport Plan (Samferdselsdepartementet, 2017))
- D3 (Lav): Husholdninger og transport har lik etterspørsel i 2050 som i 2015, tjenesteyting noe lavere enn i 2015, og industri er 20% lavere enn i 2015 (reduksjon likt fordelt på alle bransjer).

Energieterspørsel i 2015 og i 2050 for de tre etterspørselsscenariene er presentert i Figur 6.



Figur 6: Tre ulike utviklingsbaner for energieterspørsel i 2050, TWh/år

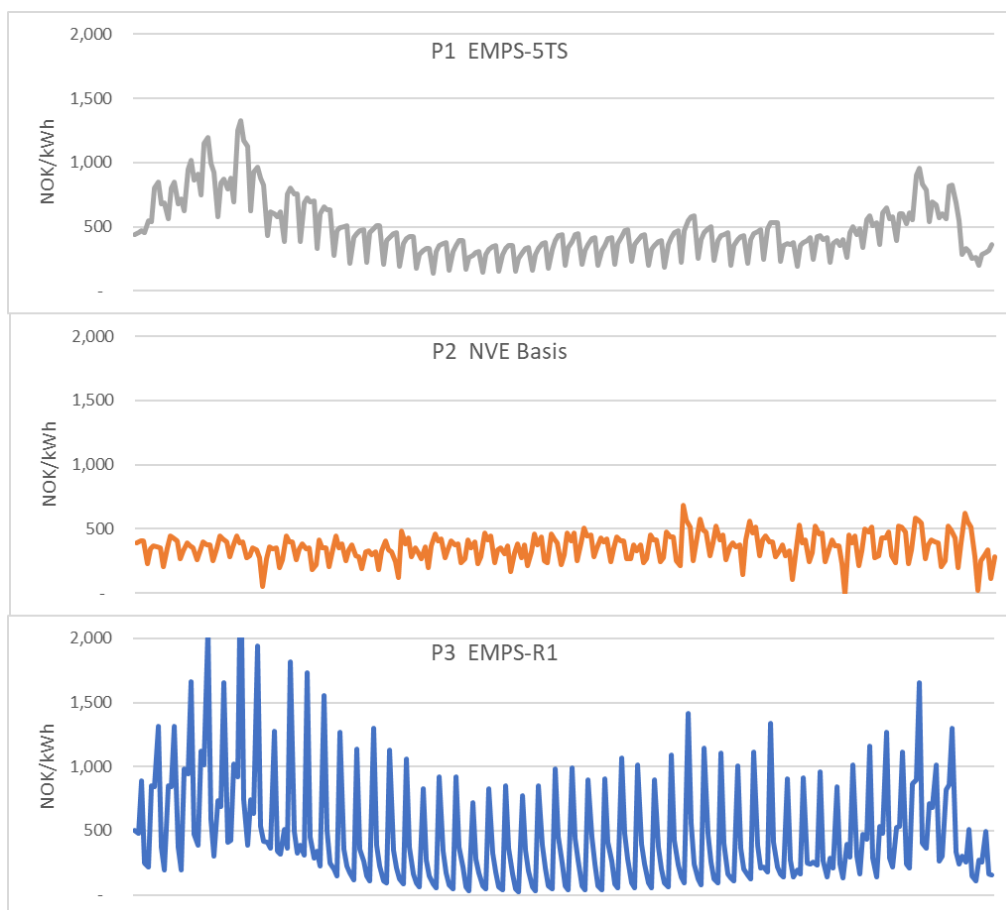
Krafthandelspriser

Nivå og variabilitet i krafthandelspriser med naboland er en viktig, eksogen forutsetning til TIMES-Norway. Ulike nivåer og variabilitetsprofiler for pris på krafthandel med naboland er derfor analysert:

- P1 (Basis): variabilitet som inkluderer mye sol og vind men også antar bruk av lagring og ulike former for tilpassing fra forbrukere
- P2 (lav variabilitet): norsk pris: økning til 36 øre/kWh i 2022, deretter konstant (NVE, 2018)
- P3 (høy variabilitet): variabilitet som inkluderer mye sol og vind, men ikke inkluderer høy grad av forbrukerfleksibilitet og lagring
- P4 (lav variabilitet): norsk pris: økning til 54 øre/kWh i 2030, deretter konstant (NVE, 2018)
- P5 (lav variabilitet): norsk pris: 22 øre/kWh fra 2030-2050 (NVE, 2018)

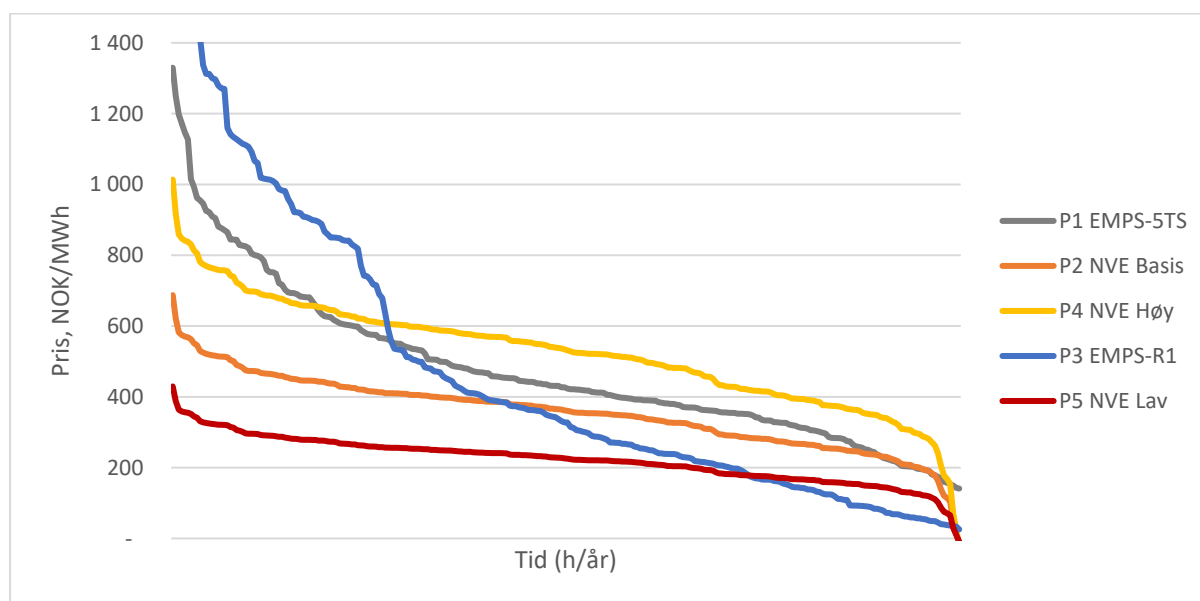
Krafthandelsprisene P1 og P3 er basert på data fra KPN-prosjektet Norwegian Energy Road Map, og her er prisene basert på data fra eHighways X7-scenario med høy fornybar andel i europeisk kraftproduksjon (Bruninx et.al., 2015). P2-prisene er basert på profilen til elspotprisen i 2017 og nivået i NVEs kraftmarkedsanalyse 2018 (NVE, 2018).

I Figur 7 vises et eksempel på hvordan de tre ulike kraftprisene ser ut for Danmark i 2050. Tilsvarende priser er inkludert i analysene for Sverige, Finland, Tyskland, Nederland og Storbritannia. Prisene utvikles fra dagens elspotpriser i 2017 til variabiliteten og nivået i 2050.



Figur 7: Sammenligning av tre ulike pristyper i Danmark per tidsavsnitt i TIMES-Norway (NOK/MWh per tidsavsnitt; 260 tidsavsnitt per år)

Figur 8 viser at prisalternativ P3 har en betydelig andel tidsavsnitt med lavere pris enn 20 øre/kWh (200 NOK/MWh). Alternativene P1 og P2 har pris lavere enn 20 øre/kWh i ca. 5% av tidsavsnittene, men P3 har det i 29% av tidsavsnittene. Det lave prisalternativet, P5, har også en pris under 20 øre/kWh i 29% av tidsavsnittene, mens det høye prisalternativet, P4, bare har en pris under 20 øre/kWh i 2% av tidsavsnittene.



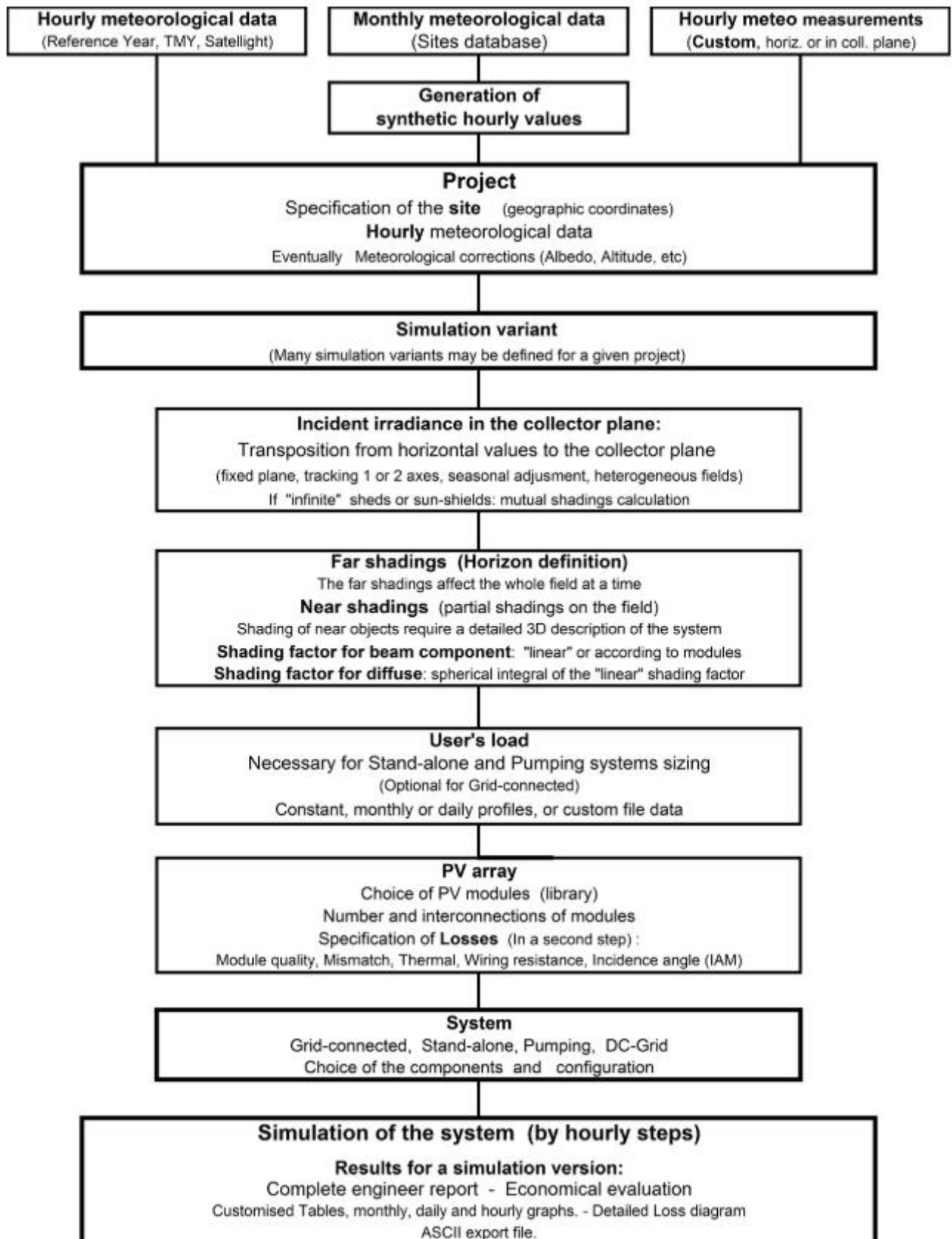
Figur 8: Krafthandelspriser for de fem prisalternativene sortert etter pris og antall tidsavsnitt, NOK/MWh

Kraftproduksjon fra solceller

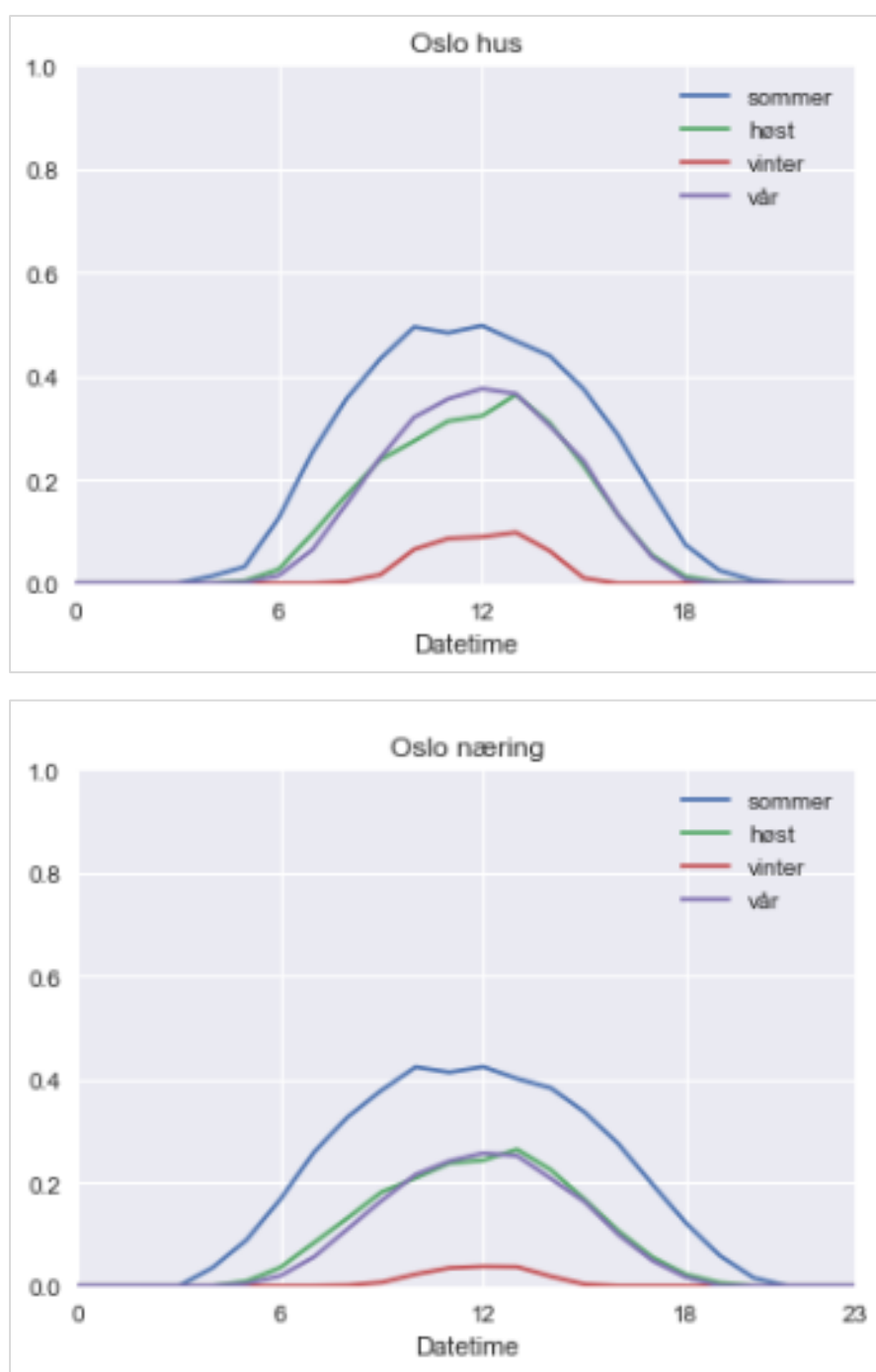
Forventet solenergi fra et anlegg gitt en viss solinnstråling er beregnet for en utvalgt by i de fem elspotområdene. Tallene er basert på et konvensjonelt anlegg med moduler og invertere som er i bruk i næringsbygg i dag. Ved bruk av andre moduler/invertere vil tallene være annerledes. For eksempel hvis virkningsgraden økes, vil også potensiell produksjon øke.

Data er beregnet med programvaren PVsyst som følger oppskriften illustrert i Figur 9 (PVsyst, 2019). Data er beregnet for boliger med en vinkel på solcellepanelene på 30° og vendt mot sør, næringsbygg med en vinkel på 10° og vendt mot øst/vest, samt for bygningsintegrert PV i fasader, med en vinkel på 90° og vendt mot øst/sør/vest. For solparker er optimal vinkel for hver by brukt og panelene er vendt mot sør. Optimal vinkel for Oslo, Bergen og Kristiansand er 42° , mens det for Tromsø og Trondheim er 50° . Meteorologisk data hentes fra Meteonorm for de fem byene. I Figur 10 er profilene for Oslo vist; for sommer, høst, vinter og vår, og for solkraft på boligtak og solkaft på tak av næringsbygg.





Figur 9 Illustrasjon av beregningsrutinene (PVsyst, 2019)



Figur 10: Solinnstråling for ulike typer PV-anlegg i Oslo, gjennomsnitt for sommer, høst, vinter og vår.

En sammenstilling over utførte analyser er presentert i Tabell 1.

Tabell 1 : Utførte analyser med kjennetegn

Navn	Etterspørsel	Krafthandels-pris	PV læringskurve	Annet
D1P1	Basis (D1) ca 165 TWh el	Basis (P1)	Basis (48 % av dagens nivå i 2035)	
D1P2	Basis	P2 (lav vol.)	Basis	
D1P3	Basis	P3 (høy vol.)	Basis	
D1P4	Basis	P4 lav vol. høy snitt	Basis	
D1P5	Basis	P5 lav vol. lav snitt	Basis	
D1P1PV25	Basis	Basis (P1)	25% i 2035	
D1P1PV35	Basis	Basis (P1)	35% i 2035	
D1P1PY25	Basis	Basis (P1)	48% i 2035, 25% i 2050	
D1P1PZ25	Basis	Basis (P1)	35% i 2035, 25% i 2050	
D1P1EX20	Basis	Basis (P1)	Basis	Netto krafteksport >20 TWh
D1P1EXPV	Basis	Basis (P1)	35% i 2035	>20 TWh
D1P1CO20	Basis	Basis (P1)	Basis	0 CO2-avgift
D1P1TX0	Basis	Basis (P1)	Basis	0 elavgift
D1P1TX30	Basis	Basis (P1)	Basis	30 øre/kWh elavgift
D1P1WIMX	Basis	Basis (P1)	Basis	<20 TWh vind
D1P3PV25	Basis	P3 (høy vol.)	25% i 2035	
D2P1	Høy ca 210 TWh el	Basis (P1)	Basis	
D2P2	Høy	P2 (lav vol.)	Basis	
D2P3	Høy	P3 (høy vol.)	Basis	
D2P4	Høy	P4 lav vol. høy snitt	Basis	
D2P5	Høy	P5 lav vol. lav snitt	Basis	
D2P1PV35	Høy	Basis (P1)	35% i 2035	
D2P1PY25	Høy	Basis (P1)	48% i 2035, 25% i 2050	
D2P1WIMX	Høy	Basis (P1)	Basis	20 TWh vind
D3P1	Lav ca. 130 TWh el (dagens nivå)	Basis (P1)	Basis	
D3P2	Lav	P2 (lav vol.)	Basis	
D3P3	Lav	P3 (høy vol.)	Basis	
D3P4	Lav	P4 lav vol. høy snitt	Basis	
D3P5	Lav	P5 lav vol. lav snitt	Basis	

Vedlegg 2: Modellverktøy

TIMES-Norway

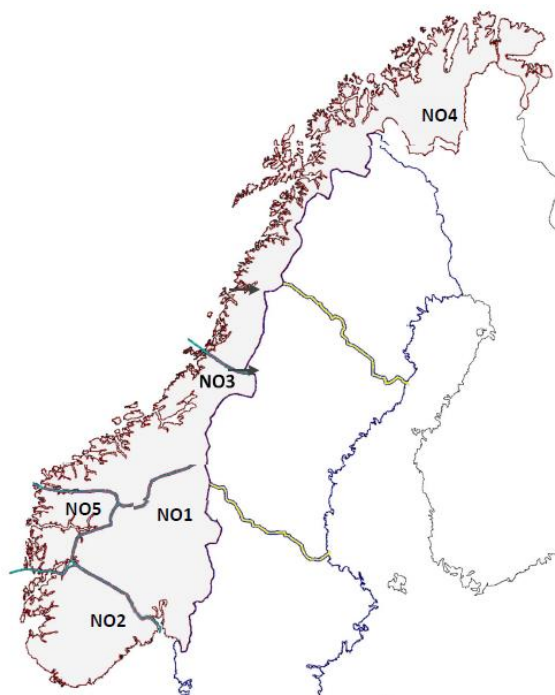
TIMES er et verktøy som benyttes for å lage optimeringsmodeller av hele energisystemet, hvor fremtidens etterspørsel etter energitjenester dekkes til en lavest mulig pris. Energitjenester er eksempelvis oppvarmingsbehov eller transportbehov uavhengig av energibærer. Siden et energisystem inkluderer ulike former for energiproduksjon, -overføring og sluttbruk, vil en energisystemmodell kunne ta hensyn til samspillet mellom forskjellige deler av energisystemet og konkurransen mellom ulike energibærere og teknologier.

TIMES-Norge er en energisystemmodell av det norske fastlandet med en regioninndeling som tilsvarer dagens fem kraftprisområder. TIMES-Norge har et startår i 2015 med et perfekt fremsyn mot 2050. For å fange opp driftsvariasjoner i energiproduksjon og -forbruker er hvert år delt inn i 260 tidsavsnitt. Modellen har en detaljert beskrivelse av sluttbruk, hvor etterspørselen etter energitjenester er delt inn i 400 sluttbrukergrupper innenfor industri, bygg og transport. Denne etterspørselen kan dekkes av eksisterende og nye typer teknologier som anvender ulike energibærere, som elektrisitet, bioenergi, fjernvarme, hydrogen og fossile energibærere. Andre inngangsdata er brenselpriser, kraftpriser i omkringliggende land, fornybare ressurser, skatter og avgifter og teknologidata (kostnader, virkningsgrader og teknologilæring).

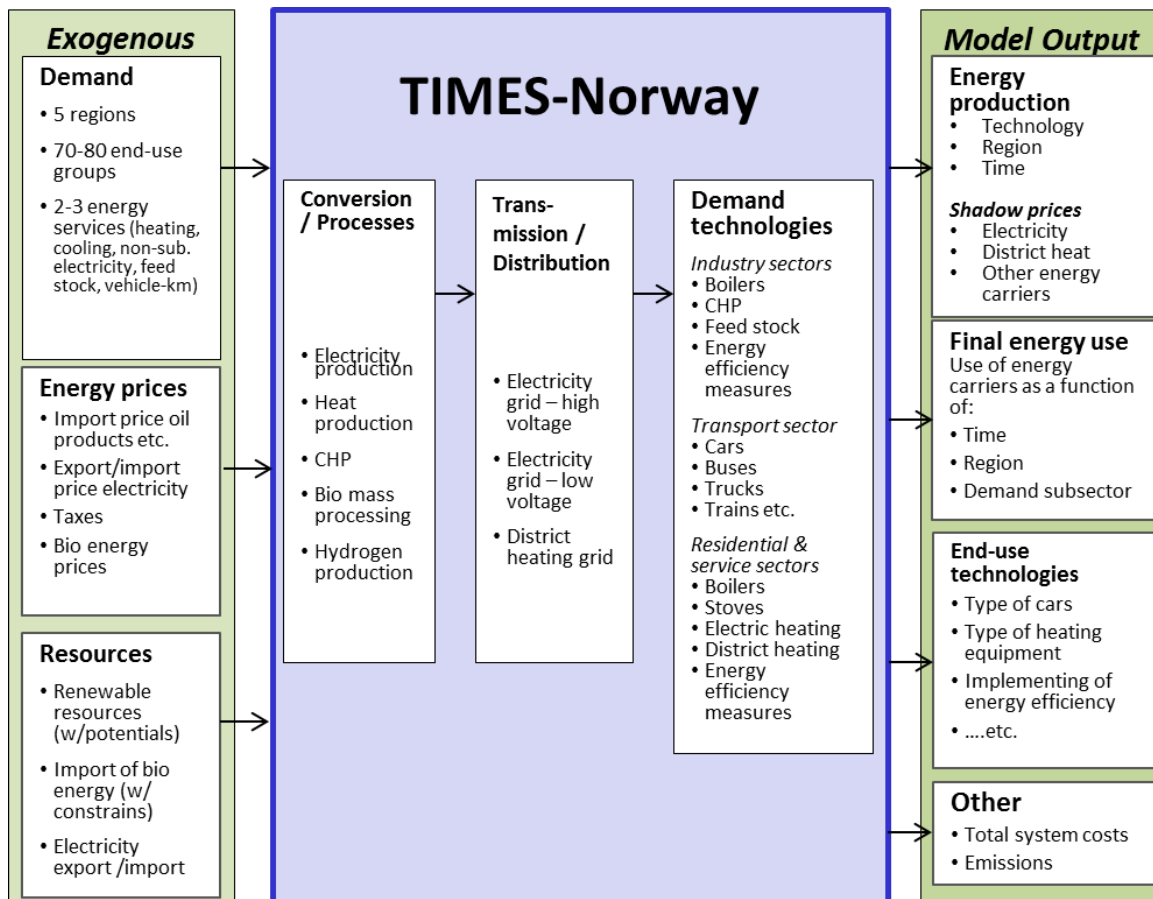
Resultatene fra TIMES-Norge inkluderer både investering i og drift av energiproduksjon, -overføring og etterspørselsteknologier. Samlet gir dette en detaljert energi- og CO₂-balanse av det norske energisystemet og nasjonale elektrisitetspriser.

Regioninndeling

I analysene er Norge delt i fem geografiske områder, tilsvarende elspot-områdene, som vist i Figur 11.



Figur 11: Regioninndeling i TIMES-Norway



Figur 12: Prinsippskisse TIMES-Norway

Referanser

Bruninx K, Orlic D, Couckuyt D, and et. al, "D 2.1 Data sets of scenarios for 2050," 2015, Available: <http://www.e-highway2050.eu/results/> (Accessed June 2017)

IEA (2017). World Energy Outlook 2017, IEA.

NVE (2017). Kostnader i energisektoren, NVE.

NVE (2018). Kraftmarkedsanalyse 2018-2030.

PVsyst, <https://www.pvsyst.com/>, accessed Mar. 2019

Regjeringen (2017). "Avgiftssatser 2017." from <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/skatter-og-avgifter/avgiftssatser-2017>

Samferdselsdepartementet, Nasjonal Transportplan 2018-2029, Meld. St. 33 (2016-2017), 2017

Solenergiklyngen, Multiconsult, Asplan Viak, Solenergisystemer og sol i systemet, 2018

SSB (2017). "Elektrisitetspriser." from <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elkraftpris/kvartal>.

SSB (2016). Befolkningsframskrivninger, 2016-2100. Oslo, Norway.

CenSES - Center for Sustainable Energy Studies

Det humanistiske fakultet
NTNU
N-7491 Trondheim
Norway

www.cense.no
censes@ntnu.no

View the report online: www.censes.no/publikasjoner
Order a copy of the report: cense@ntnu.no

Photo front cover: istockphoto
ISBN: 978-82-93198-32-1