

Hva er og hvorfor bygger man hybride solkraftverk?

Produksjonen fra et solcellepanel følger solens gang gjennom dager og år, noe som gir variabel kraftproduksjon på tidsskalaer fra sesonger til sekunder. I markeder med et betydelig innslag av solkraftproduksjon kan denne variabiliteten få flere konsekvenser:

- Solkraftverkoperatører har begrenset kontroll på kraftpriser og er i økende grad utsatt for tap knyttet til kraftsalg i perioder med lave og/eller negative priser i spotmarkedet.
- Prosesser for tilkobling til kraftnettet og selve nettkapasiteten blir stadig viktigere begrensninger.
- Nettets spenning og/eller frekvens kan tvinges utenfor påkrevde nivåer av variabel kraftproduksjon. Dette gjelder spesielt i situasjoner der den variable kraftproduksjonen er betydelig i forhold til lokal nettkapasitet.

Det er heldigvis mange måter å bøte på disse utfordringene på, både for solkraftoperatørene selv og for nettselskapene. En rekke løsninger er kommersielt tilgjengelige og allerede tatt i bruk rundt om i verden. Blant løsningene er såkalte **hybridkraftverk**, en samlebetegnelse på kraftverk som nyttiggjør seg av flere produksjonsteknologier og/eller energilagring, ofte i form av batterilagring. Erfaring viser at hybridkraftverk kan gi flere viktige fordeler:

- Hybridkraftverk gjør det mulig å i større grad kontrollere når kraft leveres, noe som tar ned risikoen for inntektstap forbundet med kraftsalg i perioder med lave og/eller negative priser i spotmarkedet.
- Hybridkraftverk gjør det mulig å redusere variabilitet, noe som både forenkler prosesser for tilkobling til kraftnettet og bedrer utnyttelsen av allerede tilgjengelig nettkapasitet.
- Hybridkraftverk kan bidra med viktige nettstøttefunksjoner og hente lønnsomhet i reservemarkedene.

Samlet sett kan hybridkraftverk av ulike typer bidra til økt forsyningssikkerhet i et energisystem der variabel kraftproduksjon øker i omfang eller til og med dominerer. For ordens skyld er det verdt å nevne at selv solkraftverk uten batteristøtte kan bidra med viktige nettstøttefunksjoner. Et eksempel er bruk av dynamisk struping, et annet er frekvensstøtte og reaktiv effekt levert av moderne, smarte omformere (invertere).

Hybridkraftverk gjør det mulig for solkraftverkoperatørene å delta i ulike kraftmarkeder, noe som gir flere kilder til lønnsom drift. Mulighetene er flest når batterier inngår i hybridkraftverket. For det første gjelder dette rene **kraftmarkeder** (energy only markets), der verdien ligger i selve kraftleveransene (kWh). Hybridkraftverk gjør det mulig å høste

lønnsomhet fra arbitrasje ved utnytte mulighetene for kraftkjøp i perioder med svært lave eller negative priser, og samtidig unngå kraftsalg i de samme periodene. På samme måte kan kraftsalg i større grad rettes mot og kraftkjøp i større grad unngås i perioder med høyere kraftpriser. For aktører som aktivt byr inn i day-ahead og intraday-markedene vil kontroll over kraftleveransene også gjøre det mulig å redusere påførte kostnader forbundet med feilberegnete kraftbud (imbalance fees).

Flere hybridkraftverk rundt om i verden opererer i såkalte **kapasitetsmarkeder**, hvor betalingen avhenger av evnen til å levere konstant effekt (W) gjennom hele eller deler av døgnet. Denne typen markeder er ofte regulert gjennom kraftkjøpsavtaler (power purchase agreements (PPAs)). I tillegg kan hybridkraftverk høste lønnsomhet i **reservemarkedene**, og bidra med viktige nettstøttefunksjoner som frekvens- og spenningsstøtte.

Det er betydelig variasjon i strukturen til kraftmarkedet rundt om i verden. Hybridkraftverk kan bidra til å skape et velfungerende energisystem med lavere kraftpriser og bedre nett kvalitet samtidig som andelen variabel kraft i nettet øker. Dette krever imidlertid at denne typen kraftverk faktisk får lov til å hente lønnsomhet i relevante markeder.

Batteristøttede solkraftverk

Den enkleste formen for hybride solkraftverk er solkraftverk med batterier. Denne kraftverkformen er i svært rask vekst rundt om i verden. Den eksakte rollen og designet til slike kraftverk avhenger av lokale markeder og reguleringer, men et enormt volum av batteristøttede solkraftverk bidrar i dag inn i de ulike kraftmarkedene nevnt over.

Batterier kan også bli relevant for utbyggingen av bakkemonterte solkraftverk i Norge. Det er flere grunner til dette, men nettilknytning er en viktig driver. I november 2024 lanserte Statnett en forenklet tilknytningsprosess for produksjonsanlegg med lagringsløsninger. Om denne prosessen skriver Statnett selv på sine nettsider:

«Et solkraftanlegg med batteri som både vil levere og ta strøm fra nettet trenger ikke å avklares med Statnett så lenge maksimal utveksling ikke overstiger 5 MW. Installert effekt for produksjonen skal ikke overstige 10 MW. Eventuelt uttak av kraft fra nettet til lading av batteriet, skal ikke overstige 20 GWh årlig.»

Denne forenklingen er ment å muliggjøre bygging av større solkraftverk enn tidligere uten avklaring med Statnett. Solkraftverk med en kapasitet inntil 10 MW skal nå kunne bygges så lenge det inneholder et batteri som sikrer at anlegget driftes slik at det aldri leveres eller hentes mer enn 5 MW til/fra nettet. I tillegg er det et mål om at batterikapasiteten tilgjengeliggjøres for andre fleksibilitetstjenester når dette er mulig. Dette er en spesielt stor

mulighet i de delene av året det er lite solkraftproduksjon å kompensere for. Statnetts uttalte mål med denne ordningen er å gi økt tilgang til solenergi og økt fleksibilitet i nettet.

Grensen på 5 MW utveksling gjelder inntil videre, men Statnett utelukker ikke at denne grensen vil økes fremover etter de sammen med de regionale nettselskapene har bygget erfaringer fra ordningen. Dessuten er det slik at en grense på 1 MW opprettholdes i områder det annet ikke anses å være driftsmessig forsvarlig i dag. Nettkapasitet må fortsatt avklares med det lokale nettselskapet.

Hybride sol- og vindkraftverk og sol- og vannkraftverk

Solkraftverk kan kombineres med kraftverk basert på andre teknologier, noe som kan gi flere viktige fordeler. Samlokaliserte hybridkraftverk skiller seg fra virtuelle kraftverk bestående av flere kraftverk på ulike steder og tilknytningspunkter som styres koordinert ved å være tilpasset samme tilknytningspunkt og kraftlinje. Dette kan gi flere viktige fordeler:

- Bedre utnyttelse av eksisterende tilknytningspunkter
- Bedre utnyttelse av tilgjengelig nettkapasitet og redusert behov for nettutvidelser
- Jevnere kraftproduksjon og økt forsyningssikkerhet
- Forenklet tilgang til nett ved utvidelse av eksisterende kraftproduksjon
- Muligheter for besparelser i både CAPEX, OPEX og utviklingskostnader
- Bedre utnyttelse av allerede påvirket areal

Hybridkraftverk basert på ulike former for kraftproduksjon vil kunne inneholde batterier for å gjøre det mulig for kraftverksoperatøren å øke lønnsomheten gjennom mer effektiv deltakelse i de ulike kraftmarkeder beskrevet i avsnittet over, i tillegg til reservemarkedene.

Hybride sol- og vindkraftverk

Hybride sol- og vindkraftverk er en kraftverksform som får stadig mer oppmerksomhet både i Norge og i resten av verden. En viktig driver for denne typen kraftverk er at begge teknologiene de er basert på gir variabel kraft, men at de er relativt komplementære i sine produksjonsprofiler på både kortere og lengre tidshorisont. Kombinasjonen av sol- og vindkraft er særs spennende både når vi ser på muligheten for jevnere kraftproduksjon og bedre utnyttelse av kraftnett. I tillegg er det i dag en betydelig vindkraftkapasitet i drift som kan hybridiseres med solkraft.

Solkraftverk har en spesiell fordel når det kommer til hybridisering av andre kraftverk. Dette er en svært modulær og skalerbar form for energiproduksjon det er lett å tilpasse eksisterende anlegg.

Flere studier viser at denne formen for hybridisering gir begrensede tap knyttet til clipping (~5%) selv om man rett og slett legger produksjonsprofilene fra de to kraftverkene oppå hverandre¹. Enkelt forklart kan vi si at et vindkraftverk på 100 MW kan hybridiseres med et solkraftverk på 100 MW og fortsatt nyttiggjøre seg av den samme nettkapasiteten på 100 MW uten store tap i kraftproduksjon og inntekt.

Selv om det er mulig å få til lønnsom hybridisering av vindkraftverk med solkraft også i Skandinavia er det konkrete utfordringer som må håndteres². Dersom man plasserer solkraftverket mellom eller i umiddelbar nærhet til vindmøllene vil både et dynamisk skyggemønster og muligheter for iskast fra turbinbladene måtte hensyntas. I tillegg er terrenget ikke alltid egnet for rimelig eller skånsom utbygging av solkraftverk. Dette er faktorer som kan påvirke CAPEX, OPEX og selve konsesjonsarbeidet. Imidlertid vil det i kunne være tilgjengelig areal tett opptil vindkraftverket som er påvirket av eksisterende produksjon som muliggjør felles drift og utnyttelse av felles fysisk og elektrisk infrastruktur.

Hybride sol- og vannkraftverk

En annen interessant form for hybridkraftverk er hybride sol- og vannkraftverk. Dette er en kombinasjon som kan gjøre det mulig å fase inn betydelige mengder av variabel solkraft i et kraftverk som fortsatt kan levere jevnt og forutsigbart året og døgnet gjennom. I Norge vil vannkraftverket i stor grad bære hovedansvaret for å sikre jevn produksjon. Imidlertid vil solkraftverk også her i tørrår med økt solkraftproduksjon og redusert tilsig kunne spille en rolle for forsyningssikkerheten. På sørlige breddegrader er sesongavhengigheten til produksjonen fra vannkraftverk ofte betydelig sterkere, og her vil hybride sol- og vannkraftverk kunne spille en svært viktig rolle i denne sammenhengen.

Plasseringen av solkraftverket kan være en utfordring. Det kan være begrenset tilgang til gunstig og akseptabelt areal rundt vannkraftverkernes reservoarer i tilstrekkelig nærhet til fysisk og elektrisk infrastruktur. Dette har skapt en mulighet for innfasing av flytende solkraftverk på vannkraftreservoarer rundt om i verden. I Norge vil et tøffere vinterklima i

¹ "Influence of high-resolution data on accurate curtailment loss estimation and optimal design of hybrid PV-wind power plants", Ø.S. Klyve, R. Grab, V. Olkkonen and E.S. Marstein, Applied Energy (2024) DOI: 10.1016/j.apenergy.2024.123784

² "Retrofitting Wind Power Plants into Hybrid PV-Wind Power Plants: Impact of Resource Related Characteristics on Techno-Economic Feasibility", Ø.S. Klyve, V. Olkkonen, M.M. Nygård, D. Lingfors, E.S. Marstein and O. Lindberg, Applied Energy (2025) DOI: 10.1016/j.apenergy.2024.124895

høyden der reservoarene stort sett er plassert kunne påvirke både teknologivalg, CAPEX og OPEX betydelig i denne sammenhengen, noe som må tas i betraktning.