

# Effektkjøring av magasinkraftverk

## Hvor godt utnytter norske magasinkraftverk potensialet for effektkjøring?

### ØKENDE BEHOV FOR EFFEKTKJØRING AV NORSK VANNKRAFT

Norske vannkraftverk har god reguleringsevne. Denne reguleringsevnen blir stadig viktigere på grunn av de store omstillingene som pågår i energisystemet. Regulerbare termiske kraftverk i Europa fases ut, og det kommer mye variabel kraftproduksjon fra vind- og solkraftverk. Samtidig legges mye av energibruken over fra å være fossil til å bli elektrisk. Kapasiteten for å utveksle kraft med nabolandene våre har økt. Bedre kunnskap om potensialet for effektkjøring i norske vannkraftverk og hvilke barrierer som hindrer at potensialet utnyttes er nødvendig, for å realisere utnyttet potensial på en fornuftig og miljømessig skånsom måte.

På oppdrag fra NVE har THEMA gjennomført en studie av den kortsiktige fleksibiliteten, eller graden av effektkjøring, i det norske vannkraftsystemet. Vi har hatt fokus på tre spørsmål:

- Hvor fleksibelt er det norske vannkraftsystemet på kort sikt?
- Hvor mye av fleksibilitetspotensialet utnyttes?
- Hvilke restriksjoner kan eventuelt forklare at potensialet ikke blir utnyttet?

Det er en rekke tekniske, regulatoriske og markedsmessige forhold som begrenser effektkjøringen av norske vannkraftverk. Når vi tar hensyn til disse begrensningene, viser analysen at vannkraftprodusentene utnytter mye av potensiale for kortsiktig fleksibilitet.

### HVA ER EFFEKTKJØRING?

Effektkjøring er begrepet vi bruker når produksjonen fra et kraftverk med vannmagasin endres innenfor et kort tidsintervall. Slik kortsiktig fleksibilitet skiller seg fra sesongfleksibilitet, altså evnen til å flytte produksjon mellom lengre tidsperioder.

### Verdifaktor beskriver grad av effektkjøring

Verdifaktoren til et kraftverk er forholdstallet mellom gjennomsnittlig oppnådd kraftpris og gjennomsnittlig pris. Magasinkraftverk kan oppnå en høy verdifaktor ved å styre produksjonen slik at den i størst mulig grad samvarierer med prisen. Også uregulerbare kraftverk kan ha høy verdifaktor, dersom det er høy korrelasjon mellom pris og tilsig.

### Optimalitetsgrad beskriver hvor mye potensial for effektkjøring blir utnyttet

Optimalitetsgraden til et kraftverk er definert som forholdet mellom faktisk observert verdifaktor og maksimalt teoretisk oppnåelig verdifaktor. Et kraftverk som utnytter hele potensialet for effektkjøring, oppnår dermed en optimalitetsgrad på 100 prosent. Vi kan beregne optimalitetsgraden ved å benytte modellbaserte simuleringer som inneholder informasjon om tekniske, regulatoriske og markedsmessige begrensninger knyttet til hvert kraftverk.

NVE har ansvar for å forvalte landets vann- og energiresurser, utvikle samfunnets evne til å håndtere flom- og skredfare og varsle om naturfare. NVE har hovedkontor i Oslo og regionkontor i Narvik, Trondheim, Hamar, Førde og Tønsberg. I tillegg har vi senter for fjellskredovervåking i Stranda og Kåfjord.

**NVE hovedkontor**  
Middelthunsgt. 29  
Postboks 5091, Majorstuen  
0301 Oslo  
Telefon: (+47) 22 95 95 95  
nve@nve.no

**Prosjektinfo**  
Oppdragstaker/forfatter: THEMA Consulting Group  
Prosjektleder: Dr. Arndt von Schemde  
Oppdragsgiver: NVE, Energi- og konsesjonsavdelingen  
Prosjektleder: Maria Sidelnikova: msi@nve.no

## NORSKE VANNKRAFTPRODUSENTER UTNYTTER I STOR GRAD MULIGHETER FOR EFFEKTJØRING I SPOTMARKEDET

Vannkraftprodusenter har et sterkt fokus på hvordan de skal planlegge og optimalisere produksjonen sin. Dette ser vi ved å sammenligne observert effektkjøring med simulert optimal effektkjøring. Vi har intervjuet en rekke norske vannkraftprodusenter, som bekrefter disse analysene.

### Modellering av enkle tekniske begrensninger viser at minst halvparten av potensialet for effektkjøring blir utnyttet

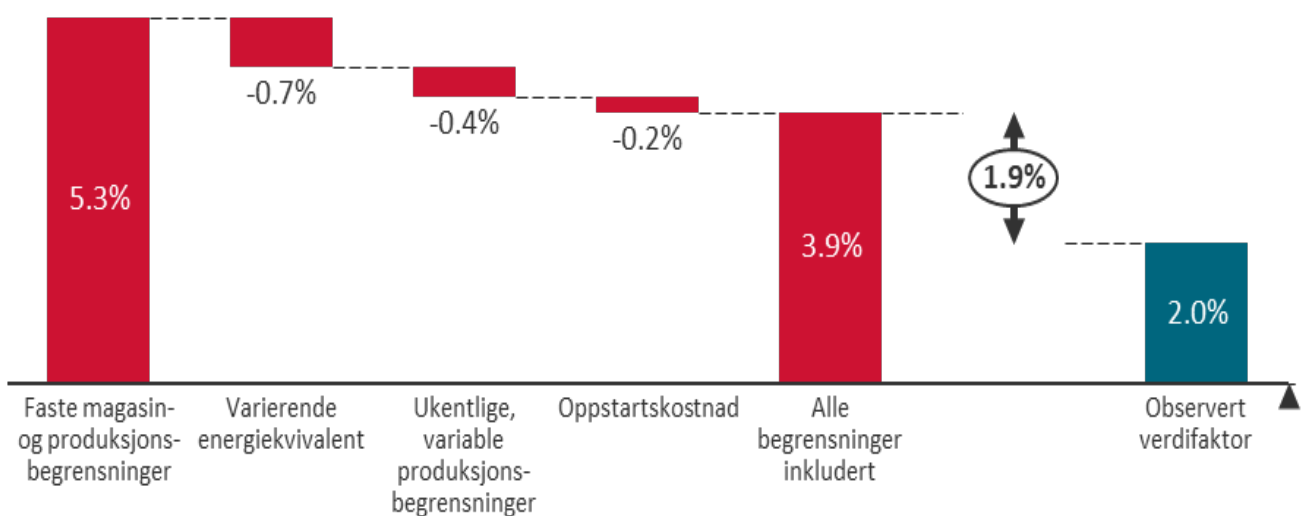
Vi har brukt en modell som tar hensyn til begrensninger i magasin og produksjonskapasitet for hvert kraftverk, for eksempel installert effekt og høyeste og laveste regulerede vannstand for magasiner. Analysen ble justert slik at elementer relatert til sesongplanlegging ble luket ut. Produksjonsvolumet ble justert slik at det tilsvarte observert produksjonsvolum for hver uke. Magasinnivå ved starten og slutten av hver uke er lik observerte. Resultatene fra modellen ga en optimal verdifaktor på 105,3 prosent.

I tillegg til magasin- og produksjonsbegrensninger modellerte vi tre begrensninger for hvert kraftverk. Når vi tar hensyn til disse begrensningene, ser vi at optimal gjennomsnittlig verdifaktor ligger på 103,9 prosent. Gjennomsnittlig observert verdifaktor ligger på 102 prosent. Dette gir en optimalitetsgrad på 51 prosent.

De tre faktorene er:

- **Variierende energiekvivalent:** Vi har tatt hensyn til at energiekvivalenten for kraftverkene varierer av ulike årsaker. Fallhøyde varierer med fyllingsgrad i magasinet. Virkningsgrad varierer med hvor mye kraftverket produserer. Vannkraftverk har et bestpunkt der det produserer mest mulig energi per kubikkmeter vann. Når kraftverket ikke produserer på bestpunktet kreves det mer vann per enhet produsert energi, og virkningsgraden blir lavere.
- **Ukentlige begrensninger for produksjon og tapping:** Disse begrensningene var basert på observert minimum og maksimum produksjon gjennom hver uke i analyseperioden fra 2010 til 2020. Dette gjorde vi for å ta hensyn til begrensninger i kraftproduksjon av ulike årsaker, som vedlikehold, krav til minstevannføring og lignende.
- **Oppstartskostnader:** Oppstartskostnadene reflekterer ekstra vanntap og slitasjekostnader ved oppstart av generatorer.

Analysen viser at kraftverk med høy optimalitetsgrad typisk har en høy verdifaktor i alle uker og alle år, mens kraftverk med lav optimalitetsgrad typisk har en lav verdifaktor, rundt én, i alle uker og alle år. Vi gjorde en detaljert analyse av et enkelt vassdrag. Denne viser at flere av kraftverkene med lav optimaliseringsgrad har vesentlige regulatoriske og miljørelaterte restriksjoner som ikke er fanget opp i modellen. Når vi tar kraftverkene med vesentlige regulatoriske og miljørelaterte restriksjoner ut av datasettet, oppnår de gjenværende kraftverkene en gjennomsnittlig optimalitetsgrad på 80 prosent.



Figur 1: Beregnet optimal verdifaktor med tre ulike begrensninger (i rødt), sammenlignet med observert verdifaktor (blått). Verdier oppgitt på søylene viser verdifaktor minus 100 prosent. Både optimal og observert verdifaktor er volumvektede gjennomsnitt for 119 magasin kraftverk over analyseperioden fra 2010 til 2020.

### Andre restriksjoner kan forklare resten av avviket mellom observert og beregnet optimal grad av effektkjøring

Det er ikke alle begrensninger som er mulig å legge inn i en modell, og som det finnes tilgjengelige data for.

Kraftselskapene vi intervjuet skisserte en rekke andre restriksjoner som kan forklare resten av avviket mellom observerte og modellerte verdifaktorer. Dette betyr at det uutnyttede potensialet for effektkjøring på 1,9 prosentpoeng i Figur 1 i realiteten trolig er lavere enn dette.

### Regulatoriske og miljømessige restriksjoner begrenser effektkjøring

For mange av kraftverkene ga modellen lite variasjon i optimalitetsgrad fra uke til uke. Dette er en indikasjon på at

det er andre restriksjoner enn de som er tatt hensyn til i modellen som hindrer disse anleggene fra å være fleksible. Dette kan være at flere kraftverk ligger etter hverandre i vassdraget, slik at produksjonen i ett kraftverk påvirker driften av andre kraftverk. Det kan også være krav til stabil vannføring, minstevannføring eller restriksjoner på magasinnivå både oppstrøms og nedstrøms i vassdraget. Hvis den lave gjennomsnittlige optimalitetsgraden skyldes et driftsmønster som ikke er optimalt, ville man forventet at resultatene varierte mer fra uke til uke. I en detaljert analyse av ett enkeltvassdrag ser vi at mange av kraftverkene som ikke effektkjører i dette vassdraget har vesentlige regulatoriske og miljørelaterte restriksjoner som ikke er fanget opp i modellen.

#### MER OM ANALYSEN?

Kan du lese i

[NVE ekstern rapport nr. 2/2022 Hvor godt utnytter norske magasinkraftverk potensial for effektkjøring?](#)