

Årsaker til driftsstans i småkraftverk

Av Kristine Molkersrød, Jan Henning L'Abée-Lund og Per Kristian Rørstad

Kristine Molkersrød er Master of Science i fornybar energi og rådgiver i Sarpsborg kommune.

Jan Henning L'Abée-Lund er Dr. philos. i biologi og seniorrådgiver ved Norges vassdrags og energidirektorat (NVE) med tilsyn av vassdagsanlegg som arbeidsområde.

Per Kristian Rørstad er Dr.scient. i økonomi og forsker ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU).

Summary

Causes to periods of no production in small hydropower plants. A survey of 256 small Norwegian hydropower plants was conducted to reveal the causes for temporary stops in production of electricity. Only 59 responded adequately. However, we found no (statistical) significant difference in the number of periods without production between those who responded to the questionnaire and those who did not respond. Water discharge, grid and operational problems was responsible for periods of no production in over 85 % of the hydropower plants. In total, these causes were responsible for 97 % of all incidents of no production. Hydropower licenses may contain restrictions on hydro-peaking, but no significant difference was found between plants with and without such restrictions.

Sammendrag

En spørreundersøkelse rettet seg mot 256 små vannkraftverk for å dokumentere årsakene til driftsstans i kraftverkene. Kun 59 besvarte undersøkelsen på en slik måte at dataene kunne benyttes i analysene. Det var ingen signifikant forskjell i antall stans mellom de som svarte og de som unnlot å besvare spørsmålene. Undersøkelsen viste at vannføring, distribusjonsnettet

og driftsforstyrrelser hver for seg var årsaker til stans i over 85 % av kraftverkene. I alt bidro de til 97 % av alle rapporterte stans. Vi kunne ikke påvise forskjell i årsakene til stans i kraftverk med konsesjonsvilkår om jevn drift og kraftverk uten slik restriksjon.

Innledning

Tusenårsskiftet markerte en overgang fra utbyggingen av store vannkraftverk med sine tilhørende magasin til en storstilt utbygging av små vannkraftverk (Vøllestad et al. 2018). Det er to forhold som i vesentlig grad bidro til denne utviklingen. I 2004 presenterte Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) et kart som viste potensialet for småkraftverk (Jensen 2004). Dermed var hovedgrunnlaget for søknader om kraftproduksjon presentert. Deretter ville politikerne stimulere til økt satsing på fornybar kraft. Dette skulle oppnås med el-sertifikater som ble introdusert med egen forskrift som trådte i kraft 1. januar 2012. Disse små vannkraftverkene er i stor grad elvekraftverk med svært liten magasin kapasitet. Størrelsen på inntaksdammen til slike kraftverk varierer ut fra topografiske forhold, men er generelt liten. Dette betyr at produksjonen av elektrisitet varierer i takt med vannføringen.

I Norge er det 1317 vannkraftverk under 10 MW i drift pr. 1.1.2019 (www.nve.no). Mange av disse har i konsesjonen betingelser om jevn drift og at effektkjøring ikke er tillatt. Dette kravet er satt ut fra kunnskapen om at effektkjøring har negativ påvirkning på vannvegetasjon, vanninsekter og fisk (Imbert & Perry 2000, Flodmark & Vøllestad 2004, Bejarano et al. 2017). I 2016 ble det gjennomført et studie for å se i hvilken grad kravet til jevn drift ble etterlevd (L'Abée-Lund & Otero 2017). Totalt ble 256 kraftverk som var satt i drift i perioden 2005-2014 analysert med hensyn på antall stans i løpet av kalenderåret 2015. Analysen viste et stort antall stopp-start i alle kraftverkene, og at det ikke var noen forskjell mellom kraftverk som hadde restriksjoner i driften og de som kunne kjøre fritt. Flere mulige årsaker til dette ble presentert. For å få mer kunnskap om årsakene til stopp-start i kraftverkene, ble det gjennomført en spørreundersøkelse av de samme 256 kraftverkene i 2017.

Materiale og metode

Perioden som undersøkelsen dekker er fra 1. mai 2016 til 30. april 2017. Spørsmålene ble delt inn i to hovedgrupper; spørsmål knyttet til selve kraftverket, og spørsmål knyttet til årsakene til stans av kraftverket (Molkersrød 2018). Spørsmålene knyttet til kraftverket angikk kraftverkets alder, hvem som hadde ansvaret og om denne også utførte daglig drift, og om kraftverket inngikk i et større selskap med mange kraftverk. Årsakene til stans ble delt inn i følgende kategorier; vannføring, nettproblemer, tekniske forhold ved vannveien, driftstekniske forhold, økonomi, og andre/ukjente forhold.

Det ble lagt opp til en web-basert spørreundersøkelse. Før utsendelsen hadde vi fått e-postadressen til de personene som ville stå for besvarelsen. Spørreundersøkelsen ble sendt til disse personene slik at det kunne avgis individuell besvarelse for alle 256 kraftverkene. Det ble satt en frist for besvarelsen, men ellers ingen betingelser. Av de 256 kraftverkene var det 70



Illustrasjonsbilde fra et typisk småkraftverk Foto: Jan Henning L'Abée Lund

som svarte på spørreundersøkelsen. Mangelfull utfylling av skjema var en vesentlig årsak til at 11 av disse måtte utelukkes, og at datasettet til slutt besto av tilstrekkelige svar fra 59 kraftverk.

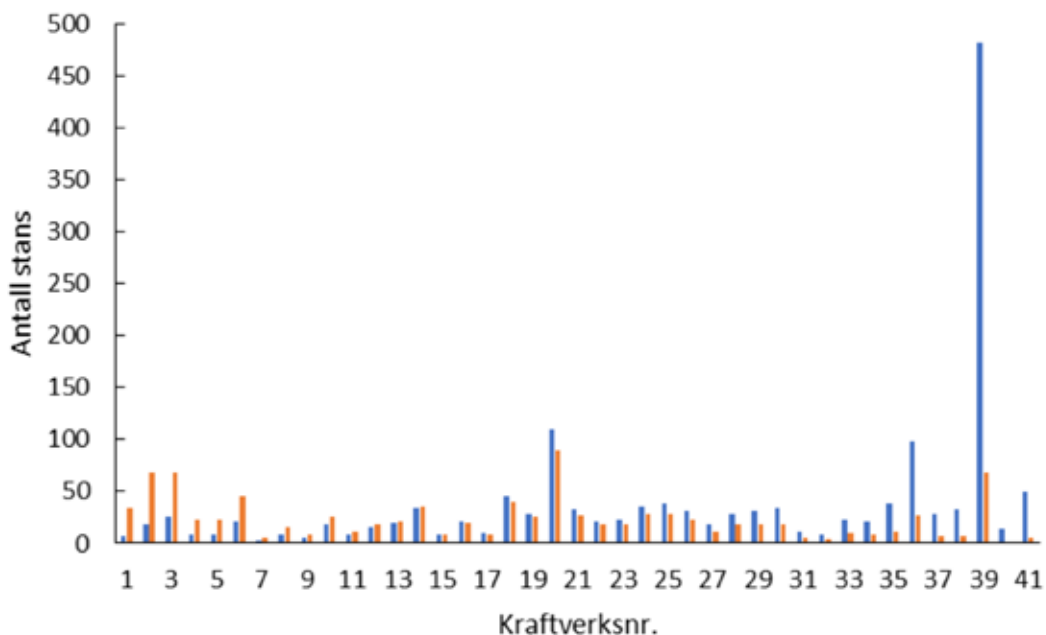
I tillegg til resultatene fra spørreundersøkelsen har vi brukt data fra Statnett SF. De mottar data om kraftproduksjonen fra alle norske kraftverk. Det opereres med timesverdier som innebærer at en stans må ha en varighet på mer enn en time, om den skal bli oppfattet som null produksjon og dermed en stans i produksjonen. Disse verdiene representerer dermed en fasit på om et kraftverk produserer, eller ikke, i løpet av en gitt time. Produksjonsdata for alle 256 kraftverkene for perioden 1. mai 2016-30. april 2017 ble oversendt fra Statnett SF.

Alle statistiske tester ble utført i R-studio versjon 3.4.4. Siden dataene i materialet i liten grad var normalfordelte, ble ikke-parametriske tester benyttet. Signifikansnivå ble satt til 5 %. Antall stans er i denne artikkelen gjennomgående presentert som medianverdi sammen med minste og største verdi.

Resultater

Enhver spørreundersøkelse som baserer seg på et utvalg, kan være beheftet med feil i representativitet. Vi var i stand til å undersøke dette ved å benytte produksjonsdata fra Statnett SF. Dette datasettet ble delt i to; de som svarte med å oppgi antall stopp i spørreundersøkelsen (41 kraftverk) og de som ikke gjorde det (215 kraftverk). De to gruppene var ikke statistisk forskjellige (Wilcoxon Rank-Sum test, $P=0,07$), men det var en tendens at deltagerne i spørreundersøkelsen (som oppga antall driftsstans) hadde lavere antall stans (19; 2-90) enn de som ikke besvarte dette spørsmålet i undersøkelsen (24; 0-142). Vi vurderer det derfor slik at respondentene er et representativt utvalg og at resultatene fra spørreundersøkelsen gir et tilnærmet reelt uttrykk for driften av kraftverkene.

Det var en svak tendens (Wilcoxon Signed-Rank, $P=0,07$) til at kraftverkene som inngikk i spørreundersøkelsen oppga noen flere stans (22; 3-482) enn det som fremgikk av produksjonsdataene til Statnett SF (19; 2-90) (Figur 1). Det var kun ett kraftverk som rapporterte like



Figur 1. Antall stans hos 41 kraftverk rapportert i spørreundersøkelsen (blå søyler) og registrert av Statnett (røde søyler) for perioden 1.5.2016-30.4.2017.

mange stans (n=9) som antallet registrert i produksjonsdataene til Statnett SF, mens det var henholdsvis 14 kraftverk som underrapporterte og 26 som overrapporterte antall stans sammenlignet med produksjonsdataene. Selv om de høyeste relative avvikene (antall stans oppgitt som prosent av antall stans i produksjonsdataene) mellom de to datasettene ble påvist ved lavest antall stans i produksjonsdataene, var det ingen signifikant sammenheng ($R^2=0,03$, $P>0,1$).

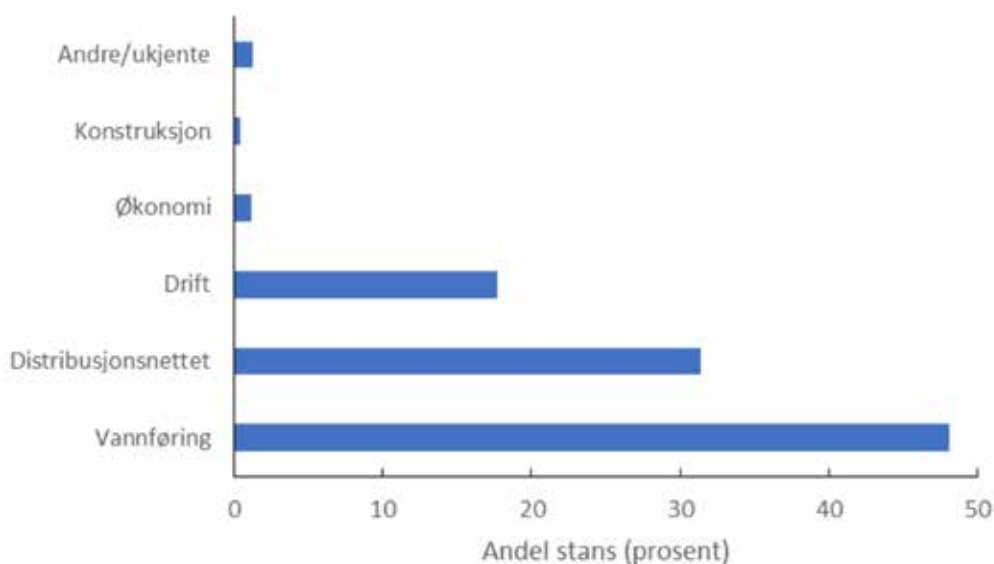
Det var betydelig forskjell i driftsstrukturen av kraftverkene. I alt 17 kraftverk ble driftet som selvstendige enheter. Driften av 10 kraftverk inngikk i en portefølje av 2-11 kraftverk, og 14 kraftverk inngikk i en portefølje av 12-29 kraftverk. Det kunne ikke vises at driftsstruktur hadde signifikant påvirkning i antall stans (Wilcoxon Rank-Sum test, $P>0,5$). Det var en tendens til at kraftverk som ble driftet av den samme som var ansvarlig for kraftverket, hadde færre stans (20; 3-110) enn kraftverk som blir driftet av personell uten tilsvarende ansvarsforhold (31; 9-482). Forskjellen var imidlertid ikke signifikant (Wilcoxon Rank-Sum test, $P=0,06$). Antall driftsår kan tenkes å påvirke antall stans. Det kunne imidlertid ikke påvises noen signifikant sammenheng mellom antall stans og antall driftsår ($R^2=0,04$, $P>0,1$). Vi kunne heller ikke påvise

noen signifikant forskjell i antall stans mellom kraftverkene som hadde restriksjon i driften (25; 7-98) og de som kunne kjøre fritt (16; 3-482) (Wilcoxon Rank-Sum test, $P>0,1$).

Årsakene til stans kan deles inn i to tydelige grupper (Figur 2). De viktigste årsakene til stans i den ene hovedgruppen var knyttet til vannføring (48 % av totalt antall stans), distribusjonsnettet (31 %) og driftsforhold (18 %). Disse tre årsakene ble hver for seg rapportert hos mer enn 85 % av kraftverkene og utgjorde til sammen 97 % av alle stansene. Innen vannføring var naturlig variasjon i vannføring (62 % av antall stans) og krav til minstevannføring (30 %) de viktigste årsakene. Innen driften av kraftverket utgjorde tekniske feil ved turbin/ledeapparat og rensk av inntaksrist henholdsvis 38 % og 25 % av antall driftsstansene. For den andre hovedgruppen var årsaker knyttet til konstruksjonsmessige forhold, økonomi og ukjente grunner. Disse tre årsakene og utgjorde kun 3 % av alle driftsstansene. Det er en gjennomgående trend at dette gjaldt uavhengig om konsesjonen setter krav om jevn drift eller ikke.

Diskusjon

Spørreundersøkelsen kartla årsakene til stans i små vannkraftverk i perioden fra 1. mai 2016 til



Figur 2. Fordeling av innrapporterte antall stans på de seks hovedkategoriene til stans.

31. april 2017. Undersøkelsen resulterte i tre hovedfunn. For det første kunne vi ikke vise at forhold knyttet til kraftverket eller driften påvirket antall stans i undersøkelsesperioden. For det andre fant vi at årsakene til stans i småkraftverk i hovedsak skyldes vannføringsforhold, distribusjonsnettet og ordinær drift av anlegget. For det tredje kunne vi ikke vise at vilkår i konsekvensen om jevn drift påvirket antall stans i undersøkelsesperioden. Undersøkelsen inneholdt ingen spørsmål om vannføring nedstrøms inntaket og utløpet fra kraftverket ved stans, dvs. om konsekvenskrav blir etterlevd eller ikke.

Kartleggingen av årsakene til driftsstans viste at vannføring, distribusjonsnettet og drift var svært viktige årsaksfaktorer. Kraftverkene som inngikk i denne undersøkelsen har små inntaksbasseng. Det begrenser muligheten til å lagre vann. De driftes derfor etter vannføringen til enhver tid. Et markert avvik fra dette generelle mønsteret ble registrert for ett kraftverk som selv rapporterte om nær 500 stans i løpet av undersøkelsesperioden. Dette må være kortvarige stans (under 1 times varighet) siden Statnetts produksjonsdata for det samme kraftverket viste ca. 70 stans. Det aktuelle kraftverket har ikke restriksjoner til kjøremønster i sin konsesjon. Om man legger til grunn at vannføringen i perioder var stor nok til kontinuerlig drift, indikerer det høye antallet at det er to stans i døgnet i perioder med lite tilsig. Om disse er sammenfallende med døgnvariasjonen i pris, har vi ikke grunnlag for å uttale oss om (det er variasjon i prisen for elektrisk kraft gjennom døgnet (www.nordpoolgroup.com)). Det er derfor mulighet for at kraftproduksjonen tilpasser seg markedsprisen i periodene med svært mange stans. I studien til L'Abée-Lund & Otero (2018) ble det dokumentert stor variasjon i timesproduksjon av kraft, med lavest produksjon om natten.

Det er naturlig stor variasjon i vannføring. I perioder med stor vannføring kan kraftverket driftes med full last. I den andre enden av skalaen er nedbørfattige perioder med lavt tilsig. I slike perioder må produksjonen reduseres før kraftverket må stoppes. I tillegg kommer et generelt krav om slipp av minstevannføring. Under slike

forhold spiller turbintype inn. Siden Francis-turbinen har lavere virkningsgrad enn Pelton-turbinen ved lavt pådrag, betyr det at de må stanses ved en relativt høyere vannføring enn Pelton-turbinen. Det kan være en medvirkende årsak til at flere respondenter har uttrykt at kravet til slipp av minstevannføring var en viktig årsak til stans. En annen forklaring kan være knyttet til slukeevnen til turbinen. Denne uttrykkes ofte som prosent av middelvannføringen og er som regel mellom 150 og 300 % (L'Abée-Lund & Otero 2018). Jo høyere slukeevnen er, jo tidligere må kraftverket stanse når vannføringen synker. Denne spørreundersøkelsen omfattet ikke denne problematikken.

Spørreundersøkelsen viste at distribusjonsnettet var oppført som en viktig årsak til stans. Driftsforstyrrelser i nettet har flere årsaker (Hansen 2017). De kan være forårsaket av vedlikehold, værforhold som tordenvær, vind og snø/is, eller biologiske faktorer som elektrolyse og mangelfull traséydding. Kraftverk bygges der hvor energipotensialet er størst. Det betyr at de vanligvis ble etablert i grisgrendte strøk med tilhørende få kraftlinjer med lavt spenningsnivå. Antall feil pr. kilometer kraftledning er mer enn seks ganger større på slike ledningsnett (1-22 kV) enn ledninger som har høyere spenning (Hansen 2017). Når små kraftverk hovedsakelig er tilkoblet dette lave spenningsnivået, gjør dette at sannsynligheten for stans på grunn av nettproblemer kan bli stor. I tillegg til en direkte konsekvens av disse faktorene, kan slike faktorer også ha en indirekte årsak på kraftverksdriften. Statnett SF er systemansvarlig i Norge og har som oppgave å sørge for at det til enhver tid er balanse mellom produksjon og forbruk av kraft. Det innebærer at de må iverksette tiltak ved driftsforstyrrelser i nettet. Et slikt tiltak kan være å pålegge stans i utvalgte kraftverk for å oppnå stabilitet. Slike hendelser vil en vannkraftprodusent kunne oppleve som et problem i distribusjonsnettet.

At vi ikke kunne påvise noen klare sammenhenger mellom antall stans og forhold knyttet til egenskaper hos kraftverket, må bero på at det var andre og mer vesentlige årsaker knyttet til

dette. Det var en tendens til at en nær kobling mellom eierskap og daglig drift resulterte i færre stans. Det kan indikere at daglig ettersyn har en effekt. For små vannkraftverk er inntaksbassenget og tilstopping av inntaket av vital betydning. Spesielt på høstparten er det fare for tilstopping på grunn av kvist, løv og annet materiale viktig. Slike forhold utgjorde en beskjeden andel av antall (<5 %) stans. Et effektivt ettersyn av inntaksristen er derfor trolig årsaken. Mer utfordrende for kraftverkene er tydeligvis de uforutsette feilene i kraftverkene som forårsaker driftsstans. Siden det ikke kunne dokumenteres noen forskjell mellom ulike driftsmønstre ved kraftverket, synes derfor feilene å være av en uforutsigbar karakter.

Det var kun ett kraftverk der det var samsvar mellom antall stans oppgitt av rapportør og produksjonsdata fra Statnett. Generelt svarte respondentene noen flere stans enn det som kunne leses fra produksjonsdataene. Hovedårsaken til denne «under-registreringen» i produksjonsdataene er trolig at flere perioder uten stans hadde en varighet under 1 time. Vi har ingen formening om årsaker til at kraftverk rapporterte et lavere antall stans enn det som fremgår av produksjonsdataene.

Konklusjon

Spørreundersøkelsen viste at vannføring, distribusjonsnett og driftsrelaterte problemer ved kraftverkene tilsammen sto for 97 % av antall rapporterte driftsstans, og utgjorde henholdsvis 48 %, 31 % og 18 % av driftsstansene. Når det gjelder vannføring var naturlig variasjon i vannføring (62 % av antall driftsstans) og krav til minstevannføring (30 %) de viktigste faktorene.

Når det gjelder driftsmessige forhold ved kraftverkene utgjorde tekniske feil ved turbin/ledeapparat og rensk av inntaksrist henholdsvis 38 % og 25 % av driftsstansene. Nesten alle (85-93 %) respondentene opplyste at de hadde opplevd en eller flere stans grunnet vannføring, distribusjonsnett eller driftstekniske forhold. Det hadde ingen betydning for antall stans om kraftverket hadde krav om jevn drift.

Referanser

- Bejarano, M.D., Jansson, R. & Nilsson, C. 2017. The effects of hydropeaking on riverine plants: a review. *Biological Reviews* 93, 658-673. DOI: 10.1111/brv.12362
- Flodmark, L. E. W., Vøllestad, L. A., & Forseth, T. 2004. Performance of juvenile brown trout exposed to fluctuating water level and temperature. *Journal of Fish Biology* 65, 460-470. DOI:10.1111/j.0022-1112.
- Hansen, H. (red.) 2017. Driften av kraftsystemet 2017. NVE rapport nr. 60, 65 s.
- Imbert, J. B., & Perry, J. A. 2000. Drift and benthic invertebrate responses to stepwise and abrupt increase on non-scouring flow. *Hydrobiologia* 436, 191-208. DOI:10.103/A:1026582218786
- Jensen, T. (red.) 2004. Beregning av potensial for små kraftverk i Norge. NVE rapport 19, 92 s.
- L'Abée-Lund, J.H & Otero, J. 2018. Hydropeaking in small hydropower in Norway – compliance with license conditions? *River Research and Applications* 34, 372-381. DOI:10.1002/rra.3258
- Molkersrød, K. 2018. Stans i små norske vannkraftverk – en undersøkelse av årsaken til stans og mulige miljøpåvirkninger av effektkjøring/start-stopp. Masteroppgave, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. 69 s.
- Vøllestad, L.A., Skurdal, J. & L'Abée-Lund, J.H. 2018. 10 års erfaring med nasjonale laksevassdrag – virker systemet? *Vann* 53, 102-117.