



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Stans i små norske vannkraftverk – En undersøkelse av årsaker til stans og mulige miljøpåvirkninger av effektkjøring/start-stopp.

Stops in small Norwegian hydropower plants –
A study of causes and environmental impacts of
hydropeaking/start-stop.

Kristine Molkersrød

Fornybar energi

Sammendrag

Det finnes mange små vannkraftverk i Norge, og driften av disse kan være ujevn og innebære start-stopp av kraftverket. Stans ved kraftverkene kan resultere i rask endring av vannføring og vannstand i vassdraget og dette kan medføre negative konsekvenser for miljøet. Fysiske konsekvenser som tørrlegging av elvebunn, endring i hyporeisk sone, vanntemperatur, isforhold og bunnforhold resulterer i økologiske konsekvenser for organismene som lever i og rundt vassdrag.

På grunn av miljøkonsekvensene er det for mange av kraftverkene satt vilkår i konsesjonen om at typisk start-stopp kjøring ikke skal forekomme.

For å kartlegge stansårsakene er data hentet inn ved bruk av spørreundersøkelse. Konsesjonærene for 256 små vannkraftverk ble invitert til å være med på undersøkelsen. Disse har tidligere vært gjenstand for kartlegging av start-stopp. Totalt hadde spørreundersøkelsen 59 respondenter. I spørreundersøkelsen er årsakene til stans delt inn i seks hovedkategorier, og noen var delt videre inn i underkategorier. Produksjonsdata om de 256 kraftverkene ble hentet fra Statnett SF, og er benyttet i tillegg til dataene fra spørreundersøkelsen.

Resultatet av kartleggingen viste at hovedårsakene til stans i kraftverkene er «Vannføring», «Kraftlinjeproblemer» og «Driftstekniske årsaker». Størrelsen på selskapenes anleggsporetefølje, om det er en eller flere som er involvert i driften/styringen, og tilsynet av kraftverket og alderen på kraftverket virket ikke å ha noen påvirkning på antall stans.

Abstract

There are a numerous number of small scale hydro power plants in Norway, and operating these hydropower plants may result in stops and starts. Stops in operation can lead to rapid and frequent changes in water discharge and water level, which in turn can lead to negative consequences for the environment. Physical impacts like periodic dewatering, change in hyporheic zone, change in water temperature, unstable ice conditions and change in substrate conditions impact further the biological life in and around the watercourses.

To reduce the environmental consequences many of the hydropower plants have licence conditions restricting them from practising typical start-stop operation.

To research the causes of stops in the operation of the hydropower plants, a questionnaire has been used to collect data. The licence holders of 256 small hydropower plants were invited to participate in the survey. The same 256 hydropower plants have earlier been subject to a study regarding start-stop practice in small hydropower plants. There was a total of 59 respondents to the questionnaire. The stops could be registered in six main categories in the questionnaire, and some of the categories were further divided into sub categories. Data regarding production in the hydropower plants were collected from Statnett SF and analysed in addition to the data collected from the questionnaire.

The results showed that the main causes of stops in the operation of the hydropower plants in this study were “Water discharge”, “Faults on power lines” and “Operational technical causes”. The number of hydropower stations the companies were responsible for, how many people involved in the operation and supervision of the hydropower plants and the age of the plants did not seem to affect the number of stops.

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på mitt 5-årige studieløp i fornybar energi ved Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng og er skrevet våren 2018.

Stans ved små vannkraftverk ble tema for oppgaven fordi jeg kom i kontakt med han som ble min biveileder, Jan Henning L'Abée-Lund, fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Han presenterte meg for problemstillinger knyttet til start-stopp ved små kraftverk og påpekte viktigheten av å finne årsakene til stansene. Jeg ser behovet for mest mulig effektiv kraftproduksjon samtidig som jeg ønsker å ta best mulig vare på miljøet, så dette syntes jeg var spennende å dykke dypere i.

I forbindelse med masteroppgaven er det flere jeg ønsker å takke. Jeg vil først og fremst takke mine to veiledere Per Kristian Rørstad ved NMBU, som var min hovedveileder, og Jan Henning L'Abée-Lund for meget god veiledning.

Videre ønsker jeg å takke Rune Skjevdal og Svein Halveg fra Norsk Grønnkraft Utbygging AS for et informativt møte om hvordan (små) kraftverk fungerer og hva de kunne se for seg var mulige årsaker til stans/start-stopp i kraftverkene. Jeg ønsker også å takke de jeg var i kontakt med på NVEs bibliotek og de ved NVEs regionkontor i Tønsberg som stilte opp på møte med meg, og med hjelp per telefon og e-post.

Sist, men ikke minst, vil jeg takke mamma og pappa for god hjelp og støtte gjennom hele studieløpet. Jeg takker også kjæresten min, Henrik, som har motivert meg, særlig i skrivefasen av oppgaven.

Horten, 10.05.2018

Kristine Molkersrød



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Innhold

Sammendrag	I
Abstract	II
Forord	III
Figur- og tabelloversikt	IX
Figurer	IX
Tabeller	X
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn og tema.....	1
1.2 Problemstilling og avgrensing	3
1.3 Oppgavens oppbygging	4
2 Beskrivelse av små vannkraftverk.....	5
3 Lovgrunnlag, konsesjon og vilkår	7
4 Definisjon av stans og start-stopp	9
5 Miljøpåvirkninger av effektkjøring/start-stopp	10
5.1 Fysiske konsekvenser av effektkjøring/start-stopp.....	10
5.1.1 Tørrlegging av elvebunnen	10
5.1.2 Den hyporeiske sone	11
5.1.3 Vanntemperatur.....	11
5.1.4 Isforhold	12
5.1.5 Bunnforhold	12
5.2 Økologiske konsekvenser av effektkjøring/start-stopp	13
5.2.1 Bunndyr.....	13
5.2.2 Elvemusling	14
5.2.3 Fisk.....	14
5.2.4 Fugl	15
5.2.5 Pattedyr	16
5.2.6 Planter	16
5.3 Totale konsekvenser	16
6 Metode.....	18
6.1 Valg av metode	18
6.2 Fremgangsmåte.....	18
6.3 Spørreskjemaets utforming	20

6.4 Fordeler og utfordringer med spørreskjemaet	20
7 Resultater.....	22
7.1 Datasettets representativitet	22
7.2 Antall kraftverk som rapporterer stans fordelt på kategorier	22
7.2.1 Kraftlinjeproblemer.....	23
7.2.2 Vannføring	23
7.2.3 Driftstekniske årsaker	24
7.3 Antall stans innen hver kategori	25
7.3.1 Vannføring	27
7.3.2 Kraftlinjeproblemer.....	28
7.3.3 Driftstekniske årsaker	28
7.4 Antall stans i forhold til størrelsen på selskapenes anleggsporfølje	28
7.5 Antall stans og daglig drift av kraftverket	31
7.6 Antall stans og alder på kraftverk.....	32
7.7 Data fra spørreundersøkelsen og Statnett sine data	33
7.7.1 Sammenligning mellom svarene fra spørreundersøkelsen og Statnetts registreringer av antall stans for de samme kraftverkene	34
7.8 Statnetts produksjonsdata	35
7.8.1 Antall kraftverk som står og tid på året.....	35
7.8.2 Antall stans og antall nedetimer.....	36
8 Diskusjon.....	39
8.1 Diskusjon av datagrunnlag og utfordringer	39
8.2 Diskusjon av resultater	40
8.2.1 Undersøkelse av representativitet av datagrunnlaget fra spørreundersøkelsen	40
8.2.2 Hovedårsaker til stans rapportert i spørreundersøkelsen	40
8.2.3 Antall stans i forhold til selskapenes anleggsporfølje	42
8.2.4 Antall stans og daglig drift av kraftverket	42
8.2.5 Antall stans og alder på kraftverk.....	43
8.2.6 Sammenligning mellom svarene fra spørreundersøkelsen og Statnetts registreringer av antall stans for de samme kraftverkene	43
8.2.7 Antall kraftverk som står og tid på året	44
8.2.8 Nedetimer og antall stans per kraftverk.....	44
9 Konklusjon	46
10 Referanseliste	48

11 Vedlegg	52
Vedlegg 1 Spørreskjema.....	52
Vedlegg 2 Statistiske tester.....	56

Figur- og tabelloversikt

Figurer

Figur 1: Kraftverk som benytter et lite magasin/inntaksbasseng, og som har utløp til innsjø.

Figur 2: Kraftverk som benytter et lite magasin/inntaksbasseng, og som har utløp i elv.

Figur 3: Antall vannkraftverk som har rapportert en eller flere stans i seks ulike hovedkategorier i perioden 01.05.2016-30.04.2017.

Figur 4: Antall kraftverk som rapporterer stans i hovedkategorien «Vannføring», delt i underkategorier.

Figur 5: Antall kraftverk som har rapportert stans i hovedkategorien «Driftstekniske årsaker», delt i underkategorier.

Figur 6: Antall stans i prosentandel per hovedkategori.

Figur 7: Antall stans i prosentandel for hovedkategorien «Vannføring» delt i underkategorier.

Figur 8: Antall stans i prosentandel for hovedkategorien «Driftstekniske årsaker» delt i underkategorier.

Figur 9: Antall stans hos selskap som kun drifter ett kraftverk.

Figur 10: Antall stans per kraftverk hos selskap som drifter fra 2 til 11 kraftverk.

Figur 11: Antall stans per kraftverk hos selskap som drifter fra 12 til 29 kraftverk.

Figur 12: Svart "ja" på følgende spørsmål: "Er den ansvarlige for kraftverket, den som drifter/styrer kraftverket, den samme som har daglig tilsyn med kraftverket?"

Figur 13: Svart "nei" på følgende spørsmål: "Er den ansvarlige for kraftverket, den som drifter/styrer kraftverket, den samme som har daglig tilsyn med kraftverket?"

Figur 14: Antall stans fordelt på turbinens alder. Hvert punkt representerer en turbin/et kraftverk.

Figur 15: Antall stans rapportert i spørreundersøkelsen vs. antall stans registrert av Statnett for perioden 01.05.2016 til 30.04.2017. Punktdiagram.

Figur 16: Antall stans rapportert i spørreundersøkelsen vs. antall stans registrert av Statnett for perioden 01.05.2016 til 30.04.2017. Stolpediagram.

Figur 17: Antall kraftverk som har produksjon lik null (kraftverk som står) i perioden 01.05.2016 til 30.04.2017.

Figur 18: Antall timer med null produksjon (antall nedetimer) per kraftverk i perioden 01.05.2016 til 30.04.2017.

Figur 19: Antall nedetimer og antall stans fra 01.05.2016 til 30.04.2017.

Tabeller

Tabell 1: Denne tabellen viser kun de kraftverkene som har oppgitt stans i antall, og deres fordeling per antall stans.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn og tema

Tidlig på 1900-tallet var det i Norge registrert mer enn 600 elektrisk anlegg, hvor omtrent halvparten av disse var drevet av elektrisk kraft fra vannkraftverk, vannkraften begynte å få en dominerende rolle i samfunnet (Thue 1996). For å hindre at utenlandske investorer skulle kjøpe opp mesteparten av elvestrekningene som egnet seg til vannkraftutbygging, kom loven om konsesjon i 1906. Loven innebar at det trengtes konsesjon både for utenlandske og norske uansvarlige selskapers erverv av vannfall. Med konsesjoner kunne det stilles vilkår (Hveding 1992). Det første vilkåret som ble stilt gjaldt hjemfallsrett, senere kom vilkår om kraftavståelse og konsesjonsavgifter til kommuner og stat (Faugli 2012). Naturhensyn var på dette tidspunktet ikke enda inkludert i vilkårene.

I den første perioden av vannkraftens utbygging ble de negative konsekvensene på natur, landskap og miljø sett på som ubetydelig opp mot fordelene som var å hente i utbyggingen (Hveding 1992). Store utbyggingsplaner ble midlertid kritisert, og grønne verdier hadde eksistert siden 20-tallet. Dette ble fanget opp av politikerne, som i 1960 ved kongelig resolusjon opprettet en komité; «Undersøkelseskomiteén vedrørende fredning mot vassdragsutbygging» (Eie 2016). Med konsesjoner som satte vilkår for å avbøte ulemper på naturen, ble man i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) oppmerksom på at det var et behov for kompetanse innenfor dette fagfeltet (Eie 2016). Det ble opprettet et kontor i NVE i 1964, Kontoret for landskapspleie og naturvern, som blant annet skulle sørge for at vassdragene etter kraftutbyggingen var godt estetisk utformet, og at det var vannspeil i elveløpene (NVE 2016).

I 1944 var det registrert 1818 småkraftverk på under 1 MW, i 1979 var kun 250 av disse fortsatt i drift. Hovedgrunnen var at personalkostnadene til drift og vedlikehold var for høye. Teknikken i disse kraftverkene krevde omtrent kontinuerlig tilsyn og manuell regulering. (Hveding 1992).

Bygging av småkraftverk ble aktualisert igjen på 1960- og 70-tallet (Hveding 1992). Teknologiløsningene ble bedre og kraftverkene ble for det meste automatisk styrt, samtidig som kostnader ved driftsstans ble sterkt redusert, fordi kraftverkene nå ble knyttet til større nett (Hveding 1992).

I dag eksisterer det et 1255 små kraftverk (kraftverk under 10 MW) i Norge (Midttun 2018). Kraftverk inntil 10 MW er angitt som mikro-, mini- og småkraftverk (Forskrift om vassdragsmyndigheter 2000). Mikrokraftverk er kraftverk under 0,1 MW, minikraftverk er mellom 0,1 MW og 1 MW, mens småkraftverk er mellom 1 MW og 10 MW (NVE 2010). Å

skille mellom små kraftverk og småkraftverk gjøres ikke av alle, og begrepene brukes om hverandre. Bruken av begrepene avhenger også av hvilken tidsepoke vi befinner oss i.

Før kraftverk bygges må det avgjøres om det trengs konsesjon. Noen av de minste kraftverkene vi har i Norge i dag ansees som så små at de volder liten skade/ulempe. Disse kan bygges uten konsesjon. For større kraftverk der fordelene ved utbygging vurderes å være større enn ulempene, gis det konsesjon med vilkår. Vilkårene skal avbøte de negative effektene av utbyggingen. Et av disse vilkårene kan være jevn drifting av kraftverket som skal sørge for at brå endringer i vannstand ikke forekommer. Det er ønskelig å unngå typisk start-stopp kjøring av kraftverkene.

Start-stopp kjøring vil si at kraftverket starter opp og stenges igjen (stanses), noe som kan føre til store variasjoner i vannstand og vannføring. Start-stopp kjøring kan til en viss grad sammenlignes med effektkjøring, da begge deler forårsaker ujevn drift av kraftverket. Ujevn drift er uheldig for miljøet, og samsvarer sjelden med vannstandsvariasjoner som ville oppstått naturlig (Bakken et al 2016). Til tross for at det gis begrensninger på start-stopp kjøring i konsesjonsvilkår, er det likevel i en nylig publisert studie av små kraftverk i Norge avdekket at start-stopp praktiseres i mange små kraftverk (L'Abée-Lund & Otero 2018). Studien foreslo flere mulige årsaker til praktiseringen av start-stopp kjøringen. Disse var knyttet til egenskaper ved kraftverket, distribusjonsnett og økonomi. Studien konkluderte med at mer detaljerte undersøkelser er nødvendige for nærmere innbyrdes rangering. Denne masteroppgaven undersøker stansene og årsakene til disse ved små norske vannkraftverk.

1.2 Problemstilling og avgrensing

Denne masteroppgaven tar utgangspunkt i L'Abée-Lund & Otero (2018) sin undersøkelse av start-stopp praktisering i små kraftverk i Norge. Oppgaven viderefører arbeidet med en kartlegging av årsaken til stans ved små kraftverk ved bruk av spørreundersøkelse. Dataene som samles inn sees også sammen med produksjonsdata innhentet fra Statnett SF.

Problemstillingen for oppgaven er:

Hva er årsakene til stans ved små vannkraftverk i Norge?

For å belyse denne problemstillingen skal jeg:

- Kartlegge hva som rapporteres som hovedårsaken(e) til stans hos små kraftverk. Jeg forventer at naturlig variasjon i vannføring sammen med stans for å overholde krav om minstevannføring kommer til å havne høyt oppe, da turbinen(e) er direkte avhengig av en viss vannføring for å produsere strøm. I tillegg ser jeg for meg at driftstekniske årsaker vil stå for en del av stansene, da det her inngår stans som forårsakes av tekniske problemer som jeg ser for meg kan være ganske vanlig.
- Undersøke om det er en sammenheng mellom antall stans og hvor mange andre vannkraftverk selskapene drifter (selskapets anleggsporfølje). Jeg forventer at store selskap har mer erfaring med drift av kraftverk, og at dette medfører at kraftverk som driftes av store selskap vil ha færre stans enn kraftverk som driftes av mindre selskap.
- Undersøke om det er en sammenheng mellom antall stans og hvordan vannkraftverkene driftes. Jeg forventer at det vil være færre stans ved kraftverk hvor kun en person har ansvar for drift/styring og tilsyn, som fører til at han/hun følger kraftverket tettere og derfor tidligere oppdager forhold som kan forårsake stans enn om det er flere personer som deler på oppgaven.
- Undersøke om det er sammenheng mellom antall stans og alder på kraftverk. Jeg forventer at det vil være et høyere antall stans ved nye enn ved eldre kraftverk. Jeg ser for meg at nye kraftverk trenger å «kjøres inn», og at de dermed har flere stans enn eldre.

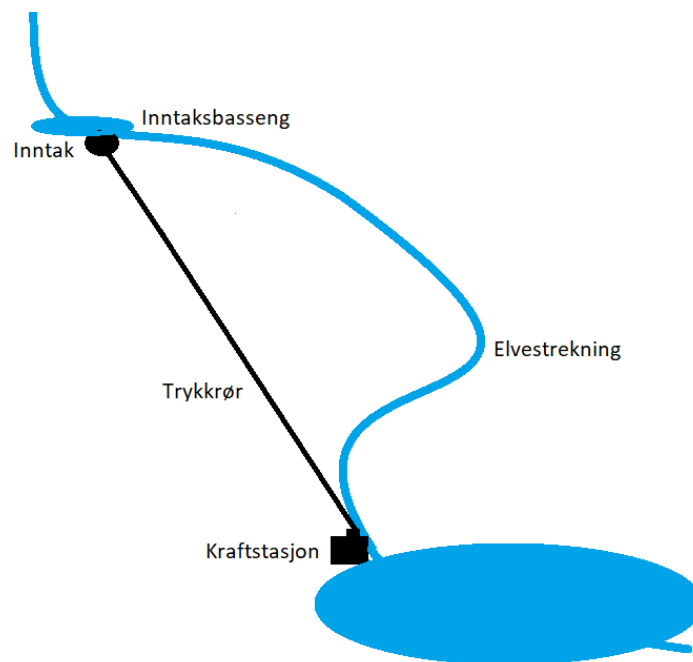
- Undersøke om antall stans respondentene rapporterer i spørreundersøkelsen stemmer med antall stans registrert i Statnett sine produksjonsdata for de samme kraftverkene. Jeg forventer at det skal være tilnærmet samsvar mellom antall stans respondentene selv rapporterer og stans registrert i Statnetts produksjonsdata. Samtidig registrerer Statnett sin produksjon på timesbasis, så det er forventet at noen kraftverk vil ha et litt høyere antall rapporterte stans enn Statnett registrerer. Jeg forventer ikke at denne forskjellen vil være særlig stor.
- Undersøke når på året det er færrest kraftverk som produserer energi. Jeg forventer å finne at det er færre kraftverk som produserer energi de tidene på året det er liten avrenning. Tilsvarende forventer jeg at det er mange kraftverk i produksjon når avrenningen er stor.
- Undersøke sammenheng mellom antall stans og antall nedetimer (antall timer uten kraftproduksjon) kraftverkene har. Jeg forventer en forskjell i antall stans mellom kraftverk med få og mange nedetimer.

1.3 Oppgavens oppbygging

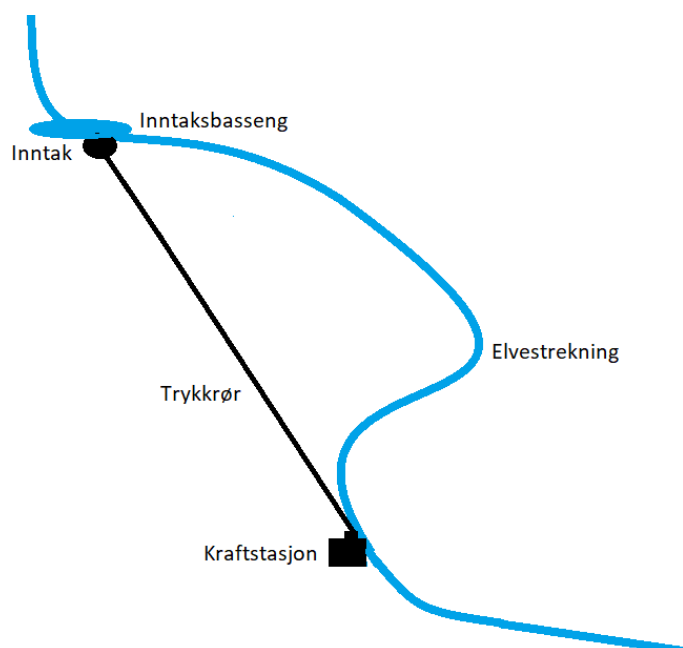
Denne oppgaven består av 9 kapitler, i tillegg referanseliste og vedlegg. Oppgaven starter med å skissere oppbyggingen av små kraftverk og hvilke direkte effekter en stans i kraftverket medfører, i kapittel to. Kapittel tre redegjør jeg for lovgrunnlag for konsesjoner og vilkår, mens jeg i kapittel fire forklarer hvordan jeg har definert en stans i kraftverk. De ulike miljøkonsekvensene som følger av effektkjøring/start-stopp forklares i kapittel fem. Det er disse konsekvensene som er grunnlaget for vilkåret om å unngå typisk start-stopp kjøring. I kapittel seks presenteres metodedelen for oppgaven. Resultater fra spørreundersøkelsen og Statnett sine data presenteres i kapittel syv. Oppgaven avsluttes med en diskusjon av resultater i kapittel åtte, og en konklusjon i kapittel ni.

2 Beskrivelse av små vannkraftverk

Konsekvensene nedstrøms kraftverket forårsaket av stans/start-stopp er avhengig av om utløpet ender i elv/rennende vann eller innsjø eller fjord. Ved kraftverk med utløp i elv vil det være større risiko for negative miljøkonsekvenser enn for kraftverk med utløp i magasin, innsjø eller fjord (Harby & Bogen 2012). Frekvensen av stans er avhengig av inntaket, et stort inntaksvolum vil øke driftstimene i forhold til et lite (pers. medd. J.H. L'Abée-Lund, NVE). Et stort inntaksvolum vil dermed medføre færre stans. Nedenfor følger to illustrasjoner over hvordan et lite kraftverk i et vassdrag kan se ut.



Figur 1. Kraftverk som benytter et lite magasin/inntaksbasseng, og som har utløp til innsjø.



Figur 2. Kraftverk som benytter et lite magasin/inntaksbasseng, og som har utløp i elv.

Blant små kraftverk er hovedvekten elvekraftverk, og kun et fåtall benytter seg av inntaksmagasiner. For de aller fleste kraftverk er det likevel vanlig å ha et lite inntaksbasseng.

En stans i et kraftverk vil resultere i at det ikke er gjennomstrømming i vannveien/trykkrøret mellom inntaket og utløpet fra kraftverket. Har kraftverket kun et lite inntaksmagasin, vil dette fort fylles opp og vannet begynner å renne i det naturlige elveløpet. Avhengig av avstand og fallforhold mellom inntak og kraftverk vil det kunne ta flere timer før vannføringen nedstrøms kraftverket blir slik den var før stans. Har kraftverket et større inntaksbasseng eller et magasin må dette først fylles opp (gitt at det ikke allerede er fullt) før vannet begynner å renne i elveløpet, noe som kan ta ytterligere lenger tid.

Nedstrøms kraftverket vil en enkeltstående stans/start-stopp medføre reduksjon i vannføring med tilhørende tørrlegging av deler av vanddekt areal. Stadige stans vil kunne påvirke nedenforliggende elvestrekning med endring i vanntemperatur-, is- og bunnforhold.. Dette er forhold som kan påvirke vassdragsmiljøet negativt (Bakken et al. 2016).

3 Lovgrunnlag, konsesjon og vilkår

De fleste små kraftverk faller inn under bestemmelsene i vannressursloven (2000). Større vannkraftverk, men også noen av de små kraftverkene er regulert av vassdragsreguleringsloven (1917). NVE er vedtaksmyndighet for små kraftverk med installert effekt fra og med 1 MW opp til 10 MW. For kraftverk med installert effekt på under 1 MW er det kommunen som er konsesjonsmyndighet, med visse unntak (vannressursloven 2000). Unntakene er gitt i «Forskrift om kommunens myndighet i mindre vannkraftsaker» (2017). For unntakene er NVE vedtaksmyndighet. For anlegg som av NVE er vurdert ikke å være konsesjonspliktige (se nedenfor) skjer saksbehandlingen i kommunen etter plan- og bygningsloven, med mindre de kan bygges i samsvar med eksisterende konsesjonsvilkår (NVE 2015).

Konsesjon til bygging av kraftverk kreves for «[...] vassdragstiltak som kan være til nevneverdig skade eller ulempe for noen allmenne interesser i vassdraget [...]» (vannressursloven 2000, § 8). For å avklare konsesjonsplikten, må det gjøres undersøkelser og kvalifiserte vurderinger om utbyggingen kan føre til nevneverdig skade eller ulempe. I vannressurslovens forarbeider kommer det frem at det legges en vid forståelse av begrepet «allmenne interesser», og begrepet inkluderer «[...] blant annet fiskens frie gang, allmenn ferdsel, naturvern, biologisk mangfold, friluftsliv, vitenskapelige interesser, kultur- og landskaphensyn, jordvern og hensyn til flom og skred m.v.» (NVE 2010, s. 107). Dette medfører sjelden at kraftverk med installert effekt på over 1 MW får konsesjonsfritak (NVE 2010).

Konsesjon skal kun gis dersom fordelene ved et tiltak overstiger ulempene for allmenne og private interesser. Dette stiller krav om at «[...] konsekvensene for relevante allmenne interesser må være tilstrekkelig belyst før NVE kan fatte en beslutning om det skal gis konsesjon, og eventuelt på hvilke vilkår konsesjonen kan gis.» (NVE 2010, s. 107). Konsekvensen for hvert enkelt fagtema (bl.a. naturmiljø, landskapsbilde og kulturmiljø) skal vurderes, og den overordnede metoden er å benytte er Statens vegvesen håndbok 140 om konsekvensanalyser. Slike konsekvensutredninger skal inneholde temaene registreringer, verdivurdering, omfang av påvirkning, konsekvensvurdering og avbøtende tiltak (NVE 2010).

Behovet for vurdering av konsekvensutredning gjelder alle anlegg for produksjon av vannkraft (Forskrift om konsekvensutredninger 2017). Små kraftverk kan pålegges å utarbeide en konsekvensutredning, men for de aller fleste utarbeides det kun en miljørapport (pers. medd. L. Midttun, NVE). Ved utarbeidelse av miljørapporter er prosedyren at en person som er

uavhengig i forhold til kraftverket drar ut i vassdraget og gjør undersøkelser. NVE kan be om tilleggsundersøkelser hvis de finner at noe ikke er tilfredsstillende kartlagt (pers. medd. L. Midttun, NVE).

Til alle konsesjoner er det knyttet vilkår (vannressursloven 2000). Noen er standardvilkår, mens andre kan være spesielle for det aktuelle kraftverket (pers. medd. L. Midttun, NVE). Alle som får konsesjon må utarbeide en detaljplan som skal godkjennes før byggeprosessen starter. Denne skal inneholde detaljerte og konkrete beskrivelser om hvordan konsesjonens vilkår skal etterfølges, både i byggeprosessen, i driftsperioden og ved nedleggingen av kraftverket (pers. medd. L. Midttun, NVE).

Jevn kjøring av kraftverk kan være et av vilkårene i konsesjonen. I noen tilfeller presiseres denne jevne kjøring ved at man får beskrevet hvor hurtig og hvor mye vannstanden kan endres over en gitt periode. I slike tilfeller kan det være spesielt viktige fiskeinteresser i vassdraget (pers. medd. L. Midttun, NVE). Hensikten med vilkåret er å ha en stabil vannføring i vassdraget nedstrøms kraftverket. Vilåret om jevn kjøring kan også inkludere at «typisk start-stopp kjøring» ikke skal forekomme. Vilåret eksisterer for å minimere skader og konsekvenser for miljøet.

Hvis vilkårene ikke overholdes vil dette kunne resultere i reaksjoner som pålegg om retting, overtredelsesgebyr eller politianmeldelse (Eie 2016).

4 Definisjon av stans og start-stopp

Fordi begrepet stans ble benyttet i spørreundersøkelsen blir dette benyttet i oppgaven når jeg omtaler stans i kraftproduksjon i forbindelse med start-stopp kjøring. I denne sammenhengen brukes begrepet stans som et synonym til begrepet stopp.

En del av datagrunnlaget benyttet i denne studien kommer fra Statnett som registrerer produksjonsdata fra kraftverk på timesbasis. Statnett sine produksjonsdata baserer seg på matet energimengde inn på nett per time. Om et kraftverk for eksempel produserer 100 MW i en halv time vil dette bli registrert som 50 MWh/h for denne timen. For at en stans skal registreres i Statnett sine data, må kraftverket ha null produksjon i en time eller mer.

I spørreundersøkelsen oppgir respondenten når det er registrert stans, og det er respondenten som avgjør hva som er en stans. Dette kan medføre at stans blir fanget opp med en finere tidsskala som kan resultere i et mer detaljert kartlegging for hvert kraftverks antall stans.

I skrivende stund pågår det en diskusjon i NVE om hvordan begrepet «start-stopp» skal defineres (pers. medd. J.H. L'Abée-Lund, NVE). I denne studien vil ikke varigheten på stansene tillegges vekt. En stans regnes som en stans når produksjonen viser null eller når respondenter i undersøkelsen kategoriserer noe som en stans.

5 Miljøpåvirkninger av effektkjøring/start-stopp

Start-stopp kjøring kan sammenlignes med effektkjøring, og konsekvensene av start-stopp kjøring og effektkjøring kan ha mange likheter (Bakken et al. 2016). Effektkjøring er definert ved at driften varieres for å etterkomme svingninger i etterspørsel etter kraft, eller for å dekke behovet for stabilisering av kraftnettet. Økonomi og prisen på kraft er med på å bestemme mønsteret i effektkjøringen (Bakken et al. 2016). Til forskjell fra regelmessigheten til effektkjøring vil start-stopp kjøring ha et tilfeldig forløp siden stans oftest er knyttet til forhold som er utenfor kraftverkets herredømme.

Det er lite forskning å vise til om årsaker til at små kraftverk har høyt antall stans i produksjonen av kraft. Derimot finnes en del forskning om årsaken til at disse stansene er uønskede – altså de generelle negative effektene ujevn drift av vannkraftverk har og innvirkning på miljø.

Miljøvirkningene av effektkjøring og start-stopp kjøring vil variere med typen vannkraftverk, altså om kraftverket har utløp i elv eller rennende vann, magasin eller innsjø, eller i marint miljø (Bakken et al. 2016). Harby & Bogen (2012) sa at vannkraftverk som effektkjøres, og som har utløp til elv har betydelig større risiko for å gi negative effekter på fysiske og biologiske forhold enn kraftverk som har utløp til magasiner, innsjøer og fjorder.

Mange av de små kraftverkene vi har i Norge er elvekraftverk. I en Excel-fil med oversikt over vannkraftverk i Norge, tilsendt meg per mail fra Midttun (2018), er det listet opp 1255 små kraftverk. Av disse er 1057 elvekraftverk, det vil si 84 % av alle små kraftverk. De resterende 16 % er klassifisert som magasin kraftverk. Start-stopp kjøring i små kraftverk kan samlet få store miljøkonsekvenser.

5.1 Fysiske konsekvenser av effektkjøring/start-stopp

Effektkjøring/start-stopp kan gi både fysiske og økologiske konsekvenser. Nedenfor omtales de ulike fysiske konsekvensene effektkjøring/start-stopp ved små kraftverk kan medføre.

5.1.1 Tørrlegging av elvebunnen

Tørrlegging av elvebunnen ansees å være en av de største utfordringene ved effektkjøring (Bakken et al. 2016). Tørrlegging vil 1) avhenge av tverrprofilen, er det slakt vil tørrlagt areal være stort, og 2) være størst rett nedstrøms kraftverket fordi tilsig fra restfeltet vil virke

utjevner nedover, samtidig som det er tregghet i systemet (som følge av hyporeisk sone) (pers. medd. J.H. Labée-Lund, NVE). Naturlig nok vil en stans ved vannkraftverket også kunne resultere i tørrlegging av elvebunnen.

5.1.2 Den hyporeiske sone

«Den hyporeiske sonen er området under og ved siden av elvestrekningen med en blanding av grunnvann og overflatevann.» (Bakken et al. 2016, s. 42). Raske endringer i vannstanden i elver påvirker strømmingen i hyporeisk sone. Dette vil igjen potensielt kunne påvirke vannkvalitet og temperatur (Bakken et al. 2016). Den hyporeiske sonen kan være svært viktig i elver hvor det er effektkjøring, da den kan «[...] fungere som skjul for bunndyr, bidra til overlevelse av plommeseekkyngel og strandet fisk, og videre hindre frysing av egg og bunndyr». (Bakken et al, 2016, s. 42). Ved start-stopp kjøring vil vannstanden i elver kunne endres fort og videre påvirke den hyporeiske sone.

5.1.3 Vanntemperatur

Når det skjer raske endringer i vannføring, kan dette også påvirke temperaturen i vannet nedstrøms utløpet av kraftverket. En endring i temperaturen kan få konsekvenser for isforhold (Bakken et al. 2016).

«I elver som kun påvirkes av endret vannføring, vil en forvente å få følgende temperaturendringer:

1. Redusert vannføring gir raskere og større døgnvariasjoner, raskere temperaturstigning om våren og tilsvarende raskere avkjøling utover høsten.
2. Økt vannføring gir det motsatte resultatet; langsommere temperaturvariasjoner både på døgn- og sesongbasis.» (Tvede 2006, s. 29f.).

Ved hyppig start-stopp kjøring vil det kunne resultere i at det i perioder forekommer redusert vannføring, mens det i andre perioder forekommer økt vannføring nedstrøms utløpet. Slik kan temperaturene potensielt svinge mye og lage ustabile forhold. Også i strekningen av elva mellom inntaket og kraftstasjonen vil slike svingninger i vannføring og temperatur oppstå når det er overløp.

Som nevnt er hovedvekten av de små kraftverkene elvekraftverk, men det finnes også noen magasin kraftverk. Ved kraftverk med magasin avhenger vanntemperaturen nedstrøms

kraftstasjonen mye av mengden vann som går gjennom kraftstasjonen. Jo større mengde vann fra magasinet, jo mer vil temperaturen på vannet som er påvirket av kraftverksdriften bli påvirket av temperaturen på vannet i magasinet. I tillegg påvirkes dette av når på året effektkjøringen foregår (Bakken et al. 2016). En rask endring i temperaturen på vannet nedstrøms magasinet skjer når de naturlige temperaturforskjellene er størst. I Norge er dette gjerne om sommeren og på vinteren (Bakken et al. 2016).

5.1.4 Isforhold

Temperaturen i vassdraget påvirker også isforholdene. Isforholdene i elva kan bli påvirket av kraftverkets drift, og motsatt kan isforholdene påvirke hvordan kraftverkene driftes (Bakken et al. 2016). Isdannelse i vannveien kan skape problemer for selve konstruksjonen i kraftverket. For å forhindre isdannelse i vannveien, som kan ødelegge konstruksjoner, kan det bli behov for å starte kraftverk som egentlig står. Dannelse av sarr, som er små iskrystaller som flyter i vannet, kan føre til utfordringer fordi det kan feste seg til varegrindene og det kan oppstå isdammer (Tvede 2006). Dette kan medføre stans i kraftverket.

I følge Bakken et al. (2016) er en typisk konsekvens av produksjon av kraft i vassdrag mindre isdekke og mer ustabile isforhold. Hyppig start-stopp kjøring fører til ujevne forhold i vannføringen i vassdraget, noe som kan hindre dannelse av is.

5.1.5 Bunnforhold

Sammensetningen av bunnmaterialet i elver og hvordan det forflytter seg avhenger av flommer. Jevn vannstrøm medfører en «armering» av elvebunnen, som vil si at bunnen i elva pakker seg og det blir færre hulrom i elvebunnen (Bakken et al. 2016). At det blir færre hulrom i elvebunnen medfører at det blir færre steder å gjemme seg og gyte for bunndyr og fisk (Bakken et al. 2016). Ved kraftverk hvor det er slik at det stanses når det er (for) lite vann i elva, og som startes opp i perioder med mye vann/flom, vil vannstrømmen i elva mellom inntak og kraftstasjon bli jevnere. Dette kan medføre armering av elvebunnen.

5.2 Økologiske konsekvenser av effektkjøring/start-stopp

De fysiske konsekvensene av effektkjøring/start-stopp medfører en rekke potensielle økologiske konsekvenser som kan være store og langvarige. Disse konsekvensene påvirker hvordan akvatiske organismer, pattedyr og fugler lever i, og bruker vassdragene.

5.2.1 Bunndyr

Bunndyr er virvelløse organismer som lever på og i bunnsedimentene i rennende vann. Insekter er ofte dominerende, men også andre bunndyr som snegler, fåbørstemark, muslinger og krepsdyr er vanlige (Bakken et al. 2016). De har varierende preferanser når det gjelder strømhastighet, temperatur, vannkjemi og substrat. Bunndyr er viktig føde for fisk, i tillegg til at de omsetter dødt materiale. De utgjør som regel en stor del av artsmangfoldet man finner i ferskvann (Bakken et al. 2016).

En av de største konsekvensene av effektkjøring/start-stopp er som nevnt stranding av organismer. Vekslingen mellom tørrlegging av elvebunnen og vanndekking er kritisk for bunndyr, fordi noen grupper av bunndyr er trege og ikke i stand til å følge variasjonene i vannstand (Bakken et al. 2016). Harby et al. (2004) fant i sine studier gjort i Nidelva i Trøndelag at i området som var mest utsatt for tørrlegging var mengden bunndyr bare 10 prosent i forhold til området som alltid var vanndekt. Områdene utsatt for effektregulering var også fattigere på arter (Harby et al. 2004). Også Herland (2012) fant i to effektregulerte elver en reduksjon i tetthet, artsdiversitet og artsrikhet av døgn- og steinfluer i sonene som ble utsatt for tørrlegging sammenlignet med bunndyr ovenfor kraftverket og i sonen av elva som ikke var utsatt for tørrlegging.

Bunnfaunaen i en elv vil hele tiden drive med strømmingene i vannet (Bakken et al. 2016). Bruno et al. (2010) og Bruno et al. (2013) finner en økning i drifting av bunndyr som konsekvens av økning i vannstrøm. Bruno et al. (2013) finner også en adferdsdrift som forårsakes av plutselig endring i temperatur som følge av økning i vannstrøm. Dette gir økt dødelighet og tap av bunndyr i elver som er effektkjørte.

I en studie av effekten på miljø ved planlagt utbygging av små kraftverk, ble det sommer og høst 2004 utført digital kartanalyse og feltundersøkelser ved fem vassdrag i Telemark og syv i Rogaland (L'Abée-Lund 2005). Blant annet var bunndyrsamfunn kartlagt (Saltveit & Bremnes 2005). I 2008 ble det foretatt en etterundersøkelse, hvor blant annet disse forundersøkelsene fra

2004 ble fulgt opp (Frilund 2010). Etterundersøkelsen viste at det generelt ikke var store endringer i bunndyrfaunaen etter utbyggingen. Det ble imidlertid funnet at der vanddekt areal var redusert som følge av reduksjon i vannføringen var produksjonen av bunndyr lavere. Det nevnes også at endringer som kan skje over lang tid, som endringer i begroing som følge av at vannføringen blir mer stabil, også kan få konsekvenser for bunndyrfaunaen (Bremnes et al. 2010). En av elvene, Tveitåna, hadde ingen krav til minstevannføring, noe som resulterte i at de øverste strekningene nedenfor inntaksdammen ble tørrlagt. Her var det ikke lenger registrert noen akvatiske bunndyr (Bremnes et al. 2010).

5.2.2 Elvemusling

Elvemuslinger lever hovedsakelig i elver og bekker (Larsen 2012). Elvemuslingen er avhengig av laks eller ørret, da den på larvestadiet lever på gjellene til disse fiskene. Etter å ha sittet på gjellene til fisken i ca. 10-11 måneder, slipper muslingen fisken og havner nede i bunnsubstratet. Der lever muslingen nedgravd til den er ca. 5-8 år gammel, og først da begynner den å bli synlig på elvebunnen. Når den er 10-15 år gammel blir den kjønnsmoden (Larsen 2012). Elvemuslingen kan leve i opptil 280 år (Larsen 2012). Elvemuslingen er en truet art og fikk i Norge en egen handlingsplan i 2006 (Direktoratet for naturforvaltning 2006).

Endringer i vanddekt areal, vannhastighet, vanntemperatur og substratkvalitet kan påvirke leveområdet til muslingene. Fordi muslinger har så strenge habitatkrav er det sannsynlig at blant annet effektkjøring fører til store forstyrrelser (Larsen & Österling 2012). Det er de små elvene som relativt sett er mest følsomme, da de reagerer raskere på hydrologiske forandringer enn større elver (Larsen & Österling 2012). Start-stopp kjøring i små vassdrag kan potensielt føre til store konsekvenser for elvemuslingen.

Elvemuslinger er også utsatt for stranding ved lav vannføring. Noen muslingarter kan tåle korte perioder med tørrlegging, på grunn av en kombinasjon av at de kan lukke seg og fordi substratet ikke tørker helt under kortere perioder med lav vannstand (Larsen & Österling 2012). Stranding gjør også muslinger mer utsatt for predasjon (Larsen & Österling 2012).

5.2.3 Fisk

Rask senking av vannstand kan resultere i at ungfisk strander. All fisk som strander vil ikke nødvendigvis dø, da det er registrert at noe fisk overlever flere timer i substratet (Saltveit et al.

2001). Både for laks og ørret er det slik at de minste individene holder seg nærmest elvebredden (Berg et al. 2014). Dette gjør ungfisk mer utsatt for stranding enn eldre fisk. Temperatur, tid på året og døgnet var viktige faktorer i strandingsraten sammen med vannstand (Saltveit et al. 2001). Med jevn drift kan fisken rekke å komme seg ut på dypere vann før områder tørrelegges (Saltveit et al. 2001). Fisk som strander er svært utsatt for predatorer som pattedyr og fugl (Bakken et al. 2016). En brå stans kan være svært kritisk for fisk.

Effektkjøring/start-stopp kan også påvirke fisk som ikke utsettes for tørrelegging fordi hele elva blir preget av mer variable forhold (Bakken et al. 2016). Både dyp, substrat, vannkvalitet, vannhastighet og næringsforhold blir påvirket (Saltveit et al. 2006). Dette kan føre til at fisken blir mer stresset og det kan endre dens energiomsetning (Bakken et al. 2016). Dette igjen kan medføre konsekvenser for fiskens overlevelse og produksjon (Saltveit et al. 2006). En studie av 16 små kraftverk i Ter River (Spania) viste at fisken var mindre tallrik, hadde lavere vekt og generelt var i dårligere hold, noe avhengig av fiskeart, sammenlignet med kontrollområder uten kraftverk (Benejam et al. 2016).

Manglende isdekke gjennom vinteren representerer en endring i habitatet til fisken. Dødeligheten hos ungfisk kan øke fordi mangelen på is fører til at fiskens aktivitet øker og den blir mer utsatt for predasjon (Harby & Bogen 2012).

Studier gjort av Orpwood et al. (2006) viser at fiskens vekst ikke nødvendigvis blir påvirket av variasjon i mattilgang, men at den bruker mer tid på å lete etter mat når mattilgangen er liten. Dette vil sannsynligvis påvirke risikoen for å bli utsatt for predasjon. Da bunndyrbestanden kan påvirkes av effektkjøring/start-stopp påvirker dette potensielt fiskens tilgang på mat.

5.2.4 Fugl

Effektkjøring og raske endringer i vannføring kan påvirke mattilgangen til fugler. Stranding av organismer og mer åpne arealer om vinteren kan gjøre det enklere å få tak i mat. Fugler er svært mobile og flytter seg raskt langs en elv, og bedret tilgang på mat kan tiltrekke seg flere fugler (Bakken et al. 2016).

Fossekalen er Norges nasjonalfugl, og Walseng & Jerstad (2011) hevder at undersøkelser viser at det grovt sett er slik at fossekalen gjerne hekker i vassdrag hvor det er småkraftressurser. For fossekalen er det viktig at reirene legges over rennende vann slik at ekskrementer fra ungene blir vasket vekk. Slik unngås det at ekskrementene tiltrekker seg rovdyr til reirplassen

(Walseng & Jerstad 2011). Når vannføringen reduseres vil området rundt reirene bli tørrlagt. Hvis denne tørrleggingen rundt reirene skjer før etableringsfasen vil hekkingen ikke starte. Hvis tørrleggingen forekommer senere vil fugleungene være mer utsatt for predasjon (Walseng & Jerstad 2011). Periodevis tørrlegging og raske vannstandsendringer kan også medføre konsekvenser for næringstilgangen til fossekallen, overnattingsplasser og myteplasser, hvor de to sistnevnte kan føre til at fuglen er mer utsatt for byttedyr (Walseng & Jerstad 2011).

5.2.5 Pattedyr

Pattedyr blir i liten grad negativt påvirket av bygging og drift av små kraftverk. Et unntak kan være oteren (NVE 2010). Den lever hovedsakelig av fisk, og kan både påvirke og bli påvirket av fiskebestanden (Bakken et al. 2016). Hvis fiskebestanden i elva blir redusert kan dette påvirke oteren negativt. Tørrlegging av elvebredden og mer ustabil isdekke som følge av effektkjøring kan imidlertid gjøre det enklere for oteren å finne mat (Bakken et al. 2016).

5.2.6 Planter

Plantelivet i og langs vassdrag kan også påvirkes av unormale variasjoner i vannføring og vannstand forårsaket av effektkjøring (Bejarano et al. 2018). Konklusjoner fra en litteraturstudie gjort av Bejarano et al. (2018) er at noen plantearter forsvinner mens andre øker i utbredelse i området omtalt som «hydropeaking zone» (område i elva som periodevis tørrlegges på grunn av effektkjøring).

5.3 Totale konsekvenser

Påvirkningen av start-stopp kjøring på miljø kan være stor. Konsekvenser som oppstår kan gi ringvirkninger. Vannhastighet, vanntemperatur, vannstand, endringer i elvebunnen og endringer i isforhold kan påvirke flere aspekter ved livet i og langs elver (Bakken et al. 2016). Hvordan de forskjellige organismene blir påvirket kan igjen medføre utfordringer for andre organismer.

Variasjoner i vannstrøm kan medføre endringer i habitat og leveområder. Påvirkes bunndyrbestanden av start-stopp kjøring, vil dette gi mindre mat til fisken, og den vil bruke mer tid på å lete etter mat (Orpwood et al. 2006). Dermed blir fisken mer utsatt for predasjon. Elvemuslingen er direkte avhengig av fisk i larvestadiet (Larsen 2012), og redusert fiskebestand

kan gi utfordringer for elvemuslingen. Det er viktig ved potensielle miljøvirkninger fra vannkraftverk, ikke kun å fokusere på isolerte konsekvenser ved start-stopp kjøring, men se sammenhengene og ringvirkninger mellom ulike konsekvenser. Ikke alle effektene er nødvendigvis negative for alt liv i og ved elvene. Ved at bunndyr, fisk og elvemusling strander, kan det gi lettere tilgang til næring for fugl og pattedyr (Bakken et al. 2016).

Antallet vannkraftverk i ett og samme vassdrag kan gi større konsekvenser samlet enn ett kraftverk i et vassdrag. For å kunne ivareta miljøet best mulig er det viktig å se de store sammenhengene, og forstå helheten i en potensiell konsekvens ved uheldig drift også i de små kraftverkene.

Når man kjenner de negative konsekvensene som kan oppstå ved effektkjøring/start-stopp både skal og bør typisk start-stopp kjøring unngås. Første trinn for å unngå dette er å avdekke årsakene til stans hos kraftverkene.

6 Metode

Denne studien tar utgangspunkt i de samme 256 kraftverk som tidligere har vært gjenstand for studier om små kraftverk og start-stopp kjøring (L'Abée-Lund & Otero 2018). Alle kraftverkene er små kraftverk (under 10 MW) med kun få unntak, og ble satt i drift mellom 2005 og 2014.

6.1 Valg av metode

For å svare på problemstillingen ble det utarbeidet et spørreskjema som ble sendt ut elektronisk til dem som innehadde konsesjonene til de 256 små kraftverkene. Spørreskjema ble benyttet for å nå ut til flest mulig, og for at det skulle bli relativt raskt og enkelt å svare.

I tillegg ble det hentet inn data fra Statnett SF som viser timesproduksjonen for hvert enkelt kraftverk for perioden 01.01.2016 til 30.04.2017, hvor jeg har benyttet meg av dataene for tolv måneders perioden 01.05.2016 til 30.04.2017.

6.2 Fremgangsmåte

I forkant av min undersøkelse ble det sendt ut et brev fra NVE med informasjon til konsesjonærene til de 256 kraftverkene som var gjenstand for undersøkelsen gjort av L'Abée-Lund og Otero (2018), med spørsmål om mottakerne ønsket å delta i spørreundersøkelsen. De som ønsket å være med på undersøkelsen oppga til NVE e-post adressen til den som skulle besvare spørsmålene. NVE sendte ut spørreundersøkelsen i to runder med håp om å få inn mange svar. Fordi respondentene fikk et brev på forhånd, fikk de som ønsket å delta tid til å forberede seg på temaet for undersøkelsen. Noen spurte også om de kunne få se spørsmålene på forhånd, noe de fikk.

Spørreundersøkelsen er utformet av meg med god hjelp fra hovedveileder Per Kristian Rørstad ved NMBU og Jan Henning L'Abée-Lund fra NVE. I tillegg hadde Jan Henning L'Abée-Lund og jeg et møte med Norsk Grønnkraft Utbygging AS v/ Rune Skjevdal, daglig leder, og Svein Halveg, utbyggingsleder, om hva de kunne se for seg kunne være årsak til start-stopp kjøring ved drift av små kraftverk. På dette møtet fikk jeg også en bedre grunnforståelse av hvordan (små) kraftverk fungerer.

Spørreskjemaet ble sendt ut av NVE som også behandlet alle e-post adresser og kontakt med respondentene. Dataene fra spørreundersøkelsen ble anonymiserte på den måten at hvert kraftverk fikk en p-kode, samme p-kode som Statnett bruker på kraftverkene i sine data, slik at disse datasettene kunne kobles sammen. Jeg fikk tilsendt dataene etter at de var anonymiserte. Dataene som kom inn fra spørreundersøkelsen, måtte til dels bearbeides manuelt, da det var anledning til både å skrive tekst og registrere numeriske verdier i svarrutene. Det var også anledning til å oppgi antall stans som prosentandel av totalt antall stans per kraftverk. Disse valgmulighetene førte til forskjellige svarstiler fra respondentene, der noen skrev siffer mens andre brukte tallord og i tillegg skrev kommentarer. Stans oppgitt som prosentdel førte til omregning av antall til prosent før svarene kunne brukes.

Dataene fra Statnett beskrev kraftverkens produksjon. I disse produksjonsdataene estimeres energivolumet som mates inn på nettet hver time. Det vil si at ved en produksjon på 100 MW i en halv time, registreres dette som 50 MWh/h i inneværende time. Det vil si at en stans må vare i en time eller mer for å bli registrert som stans. Dataene ble brukt for å finne ut hvor mange stans hvert kraftverk hadde og hvor mange timer hvert kraftverk hadde null produksjon. Ved bruken av Statnett sine data registrerte jeg en stans når produksjonen var null. For hver time som har verdien null etter en time som har en verdi over null registreres det en stans. Og motsatt for hver time som har en verdi over null og som kommer etter en time med verdien null registreres en start. Når det var registrert en null etter en null ble dette sett på som en stans som varte i lengre tid.

For å kartlegge ulike årsaker til stans, delte jeg dataene inn i ulike grupper og sammenlignet gruppene. Både Excel og statistikkprogrammet RStudio, versjon 3.4.4, ble brukt til å analysere dataene. I RStudio brukte jeg Shapiro-Wilk normality test for å finne ut om dataene var normalfordelte. Fordi kun en av gruppene jeg delte dataene inn i var normalfordelte, brukte jeg de ikke-parametriske testene Wilcoxon Rank-Sum test og Wilcoxon Signed-Rank test. Lineær regresjonsanalyse ble brukt for å teste sammenheng mellom alder og antall stans, og sammenheng mellom antall stans rapportert i spørreundersøkelsen og antall stans registrert i Statnetts produksjonsdata for de samme kraftverkene. Alle tester som er gjort har et signifikansnivå på 0.05.

6.3 Spørreskjemaets utforming

Spørreundersøkelsen er utformet i to deler, i del 1 ble det stilt noen generelle spørsmål, del 2 presenterte seks kategorier hvor respondentene kunne oppgi hvilken kategori/årsak de mener stansene forekommer i. Undersøkelsen tar for seg årsaker til stans i det hydrologiske året 01.05.2016-30.04.2017 for å få så ferske data som mulig. Spørreskjemaet er vist i vedlegg 1.

Del 1 (den «generelle» delen) består av 7 spørsmål. Her var målet å skape et bilde av hvordan kraftverket «ser» ut, som f.eks. hvor gammelt det er, om den ansvarlige for kraftverket, den som drifter/styrer kraftverket, er den samme som har det daglige tilsynet, om kraftverket er del av et stort selskap som drifter mange kraftverk, om kraftverket har et reguleringsvolum og hvordan forholdet til minstevannføring er. Svarene på disse spørsmålene kan være med på å vise om det eksisterer forskjellige driftsmønstre i forhold til stans.

Del 2 av spørreundersøkelsen omhandler årsaken til stansene. Her er det gitt seks hovedkategorier hvor noen også har underkategorier. Hovedkategoriene er: stans grunnet vannføring, stans grunnet kraftlinjeproblemer, stans grunnet teknisk løsning vannvei, stans av driftstekniske årsaker, stans av økonomiske årsaker og stans av andre årsaker/vet ikke årsaken. Til sist i spørreskjemaet var det satt av en rubrikk for eventuelle kommentarer. Det var også mulig å velge om man ville oppgi stansene som antall eller som prosentdel, (f.eks. 20 % av stansene skyldes vannføring). Om man oppga svar i antall stans eller prosentandel måtte det hakes av for i starten av del 2. I tillegg var det også mulig å skrive i svarrutene hvis man hadde spesielle kommentarer. Slik var det mulig også å fange opp de litt mer «spesielle» årsakene til stans.

6.4 Fordeler og utfordringer med spørreskjemaet

Fordelen med elektronisk spørreskjema er at man kan få inn data fra mange respondenter på relativt kort tid. I tillegg kommer svarene rett inn på et Excel-ark og blir enklere å arbeide med.

Hovedutfordringen med spørreskjema var å få inn nok svar på spørreundersøkelsen. Av de 256 som fikk spørsmål om å være med på undersøkelsen, er det kun 70 som har sendt inn svar. For å få et så riktig bilde av virkeligheten som mulig, er det viktig å ha et solid datagrunnlag. Av disse 70 måtte elleve fjernes fra datagrunnlaget av forskjellige grunner, slik at jeg stod igjen med 59 svar. Noen måtte fjernes fordi de rett og slett ikke skulle fått undersøkelsen i første

omgang (feilsending, oppdaget fordi kraftverkene manglet i Statnett sine produksjonsdata), mens andre måtte fjernes fordi de ikke hadde besvart mer enn kun noen få spørsmål.

Ved utforming av spørreundersøkelser er det viktig at spørsmålene er så enkle som mulig, og de skal være enkle å svare på. Det er også viktig at spørsmål ikke skal kunne misforstås. En utfordring jeg støtte på under utformingen av undersøkelsen var at noen av kategoriene (del 2) i svaralternativene overlappet, det måtte en del justeringer til for å prøve å unngå dette. I denne undersøkelsen var det viktig at stansene ble kategorisert riktig, at respondentene ikke skulle kunne oppgi samme stans i to eller flere kategorier.

7 Resultater

Først undersøker jeg om gruppen som har svart på spørreundersøkelsen i antall stans, dvs. ikke i prosent, er representativ for alle de 256 kraftverkene, ved bruk av Statnetts produksjonsdata i kapittel 7.1. Kapittel 7.2-7.6 presenterer resultater fra dataene innhentet ved hjelp av spørreundersøkelsen. Her starter jeg med å undersøke *hvor mange kraftverk* som har rapportert en eller flere stans innenfor de forskjellige kategoriene (kapittel 7.2), før jeg undersøker *antall stans* som er rapportert i de forskjellige kategoriene (kapittel 7.3). Dataene deles så inn i flere grupper hvor jeg undersøker sammenhenger mellom *antall stans* i de ulike gruppene (kapittel 7.4-7.6).

I kapittel 7.7 sammenlignes dataene fra spørreundersøkelsen med Statnetts produksjonsdata vedrørende *antall stans*, før kapittel 7.8 presenterer resultater fra Statnetts produksjonsdata.

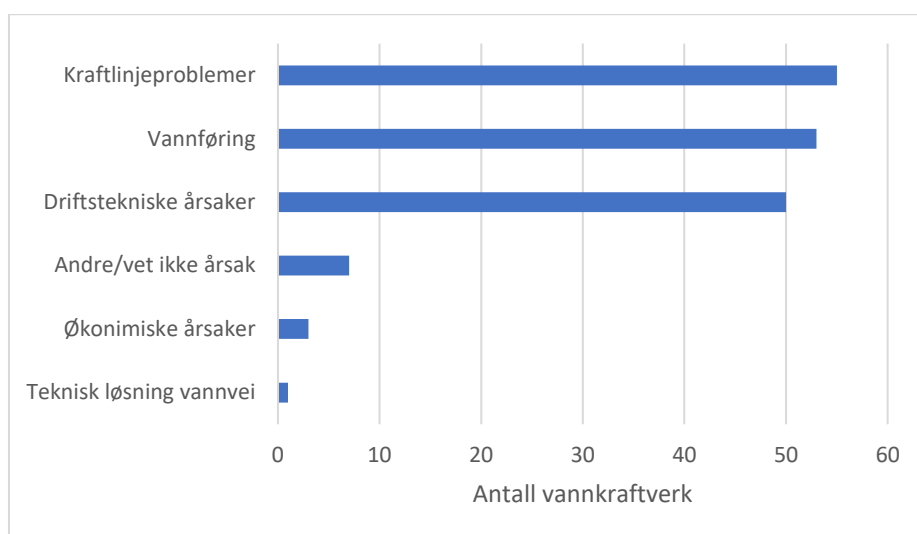
Se vedlegg 2 for å se alle tester som er gjennomført.

7.1 Datasettets representativitet

For å undersøke om mine respondenter er et representativt utvalg av de 256 kraftverkene, har jeg benyttet produksjonsdataene hentet fra Statnett. De 256 kraftverkene er delt i to grupper – de som svarte på spørsmålene i antall stans og de som ikke svarte. De to gruppene ble testet mot hverandre med hensyn til antall stans ut fra Statnetts produksjonsdata. Testen viser at de som har besvart spørreundersøkelsen er et representativt utvalg når det gjelder antall stans (Wilcoxon Rank-Sum test, $W = 3619.5$, $p\text{-verdi} = 0.07$). Jeg legger dermed til grunn at det også vil gjelde de andre spørsmålene jeg har stilt.

7.2 Antall kraftverk som rapporterer stans fordelt på kategorier

Først presenteres *antall vannkraftverk* som har rapportert en eller flere stans innenfor seks ulike hovedkategorier. Svarene fra 59 kraftverk er kartlagt. Hvert kraftverk hadde muligheten til å rapportere stans i alle kategoriene, og flere kraftverk har rapportert stans i mer enn en kategori. Det var flest kraftverk som rapporterte en eller flere stans i hovedkategoriene «Kraftlinjeproblemer», «Vannføring» og «Driftstekniske årsaker», mens i hovedkategoriene «Økonomiske årsaker», «Teknisk løsning vannvei» og «Andre/vet ikke årsak» var det betydelig færre kraftverk som rapporterte stans (figur 3).



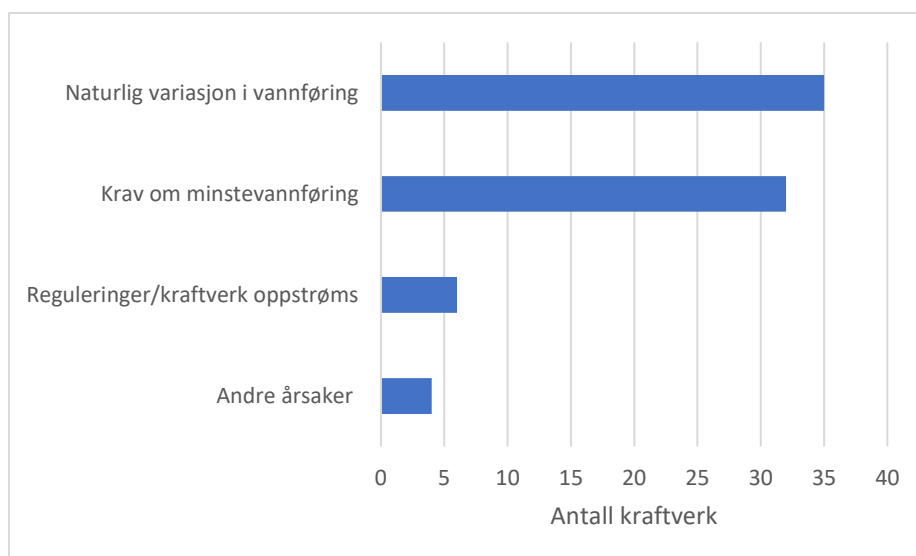
Figur 3. Antall vannkraftverk som har rapportert en eller flere stans i seks ulike hovedkategorier i perioden 01.05.2016-30.04.2017. Hvert kraftverk kunne rapportere stans innen flere kategorier. Figuren inneholder 59 observasjoner.

7.2.1 Kraftlinjeproblemer

Årsaker som forårsaker stans og er relatert til kategorien «Kraftlinjeproblemer», anser jeg utfra kommentarene i svarene på spørreundersøkelsen å ligge utenfor kraftverkets «ansvarsområde». Denne kategorien har jeg ikke gått inn i en ytterligere inndeling av, men konstaterer at nesten alle kraftverkene har opplevd en eller flere stans knyttet til kraftlinjeproblemer.

7.2.2 Vannføring

Hovedkategorien «Vannføring» er delt opp i fire underkategorier; «Naturlig variasjon i vannføring», «Krav om minstevannføring», «Reguleringer/kraftverk oppstrøms» og «Andre årsaker». Her er det flest kraftverk som knytter en eller flere stans til de to første kategoriene (figur 4).

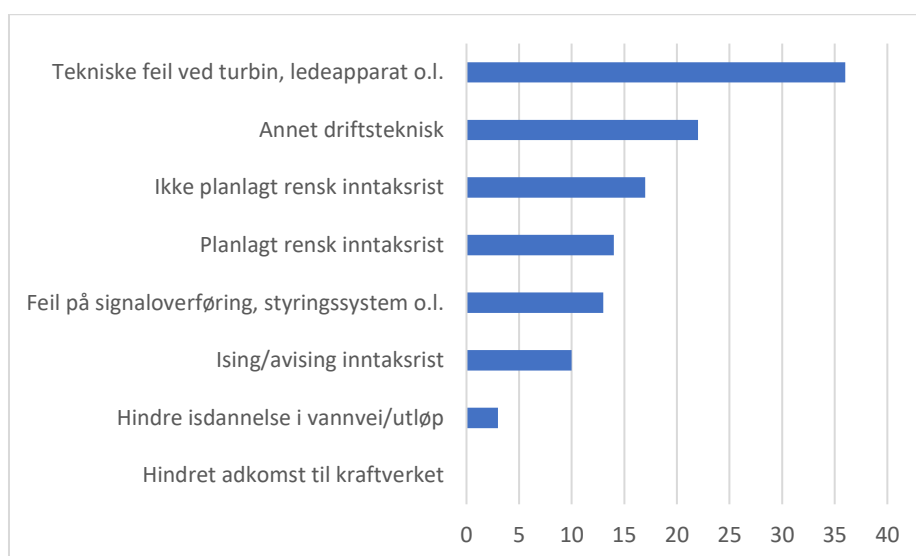


Figur 4. Antall kraftverk som rapporterer stans i hovedkategorien «Vannføring», delt i underkategorier. Hvert kraftverk kunne rapportere stans innen flere underkategorier.

Kategoriene «Naturlig variasjon i vannføring» og «Krav om minstevannføring» er nært knyttet til hverandre. Da turbinene er direkte avhengig av en viss vannføring for å kunne produsere vil den naturlige variasjonen i vannføring føre til at turbinene i perioder ikke kan produsere. I teorien kan vannføringen være stor nok til at turbinene kan produsere selv om vannføringen er lav, men når det legges til et krav om minstevannføring må denne slippes forbi kraftverket og den restvannføringen som da er igjen vil ikke være stor nok til at turbinene kan produsere. Med kategorien «Krav om minstevannføring» var det tenkt at det skulle registreres stans hvis kraftverket måtte stanses for å overholde kravet om minstevannføring, til tross for at vannmengden totalt sett kunne være stor nok til at turbinene kunne produsere. For «Naturlig variasjonen i vannføring» var tanken at kategorien skulle forstås slik at om det oppstod en vannføring som var for liten til å dekke turbinenes minste slukeevne, uavhengig av minstevannføringskrav, skulle det registreres stans her.

7.2.3 Driftstekniske årsaker

De fleste kraftverkene som rapporterer en eller flere stans i denne hovedkategorien plasserer årsaken i underkategorien «Tekniske feil ved turbin, ledeapparat o.l.», mens «Annet driftsteknisk» følger som nummer to (figur 5). Underkategorien «Annet driftsteknisk» omhandler ofte stans på grunn av kontroll av utstyr, service og vedlikehold. Mange kraftverk angir også en eller flere stans grunnet rensk av inntaksrist som årsak.



Figur 5. Antall kraftverk som har rapportert stans i hovedkategorien «Driftstekniske årsaker», delt i underkategorier. Hvert kraftverk kunne rapportere stans innen flere underkategorier.

7.3 Antall stans innen hver kategori

I dette kapittelet presenteres fordelingen av *antall stans* fordelt på hoved- og underkategoriene, og svarene fra 57 kraftverk er analysert. Det er to kraftverk som har oppgitt stansene sine i intervaller, disse er fjernet fra datagrunnlaget til analysen. Ved summering av verdien i svarene fra respondentene som har oppgitt svar i prosentandel, er det syv kraftverk som ikke ender på 100 prosent «antall» stans. De har endt på alt fra 90 til 105 prosent. Fordi jeg her er mest interessert i å undersøke årsaken(e) til stansene er disse med datagrunnlaget for analysen i dette kapittelet til tross for dette. Fordi noen har oppgitt svar som antall stans per kategori i prosentandel, og andre i antall, er alt gjort om til prosentandeler.

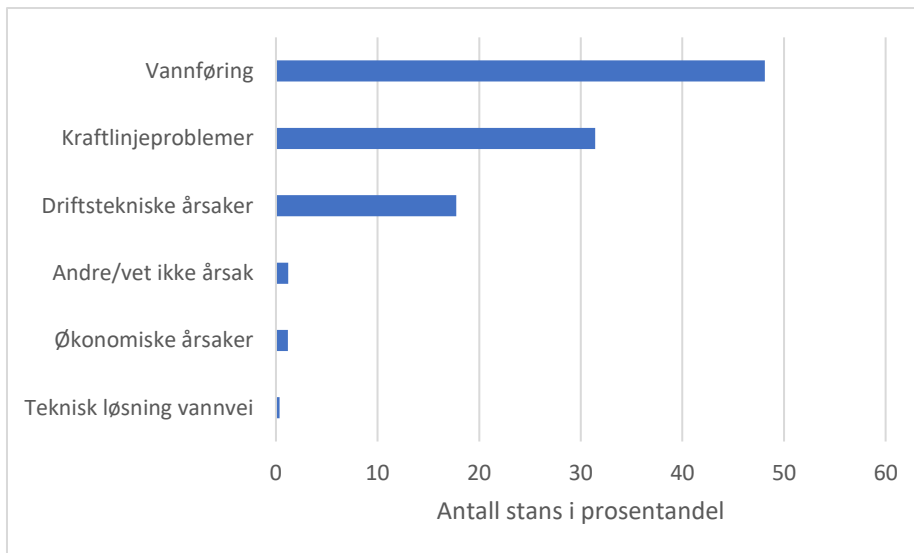
For å gi leseren et inntrykk av omtrent hvor på skalaen antallet stans ligger, følger en oversikt over stans for dem som har oppgitt stans i antall. Antall stans per kraftverk for dem som har oppgitt svar i antall, ligger på mellom 3 og 482 stans (se tabell 1). For de 18 resterende kraftverkene som var med på spørreundersøkelsen var svarene oppgitt i prosentandel eller intervaller. De er derfor ikke med i tabell 1.

Tabell 1. Denne tabellen viser kun de kraftverkene som har oppgitt stans i antall, og deres fordeling per antall stans.

Antall stans oppgitt i spørreundersøkelsen	Antall kraftverk
3 - 20	17
21-40	19
41-60	2
61-80	0
81-100	1
101-120	1
121-500	1
Totalt antall kraftverk	41

Som tabell 1 viser ligger flertallet av kraftverkene innenfor intervallene 3 til 40 stans, mens fem kraftverk har registrert at de har flere enn 40 stans.

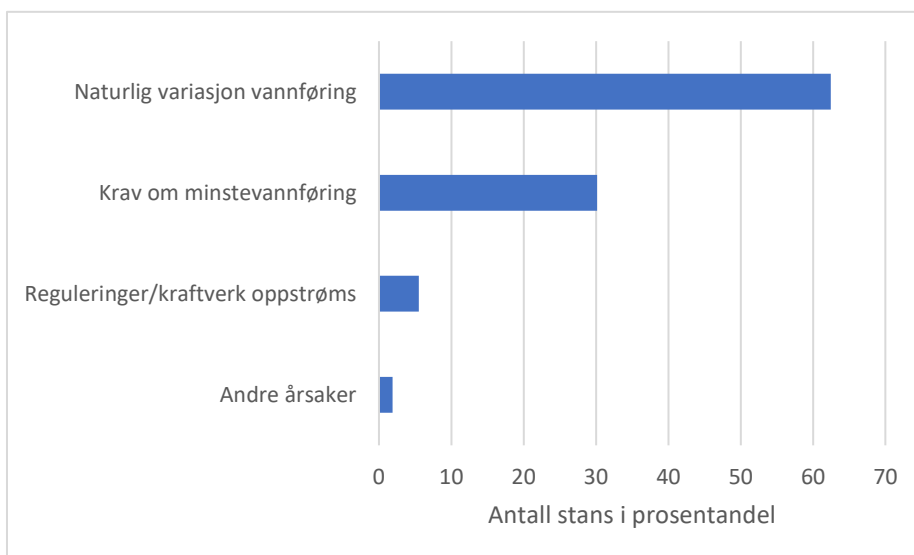
Figur 6 viser en oversikt over antall stans i prosentandel fordelt på hovedkategoriene. «Driftstekniske årsaker», «Kraftlinjeproblemer» og «Vannføring» er de kategoriene hvor prosentandelene antall stans er høyest. Kategoriene «Teknisk løsning vannvei», «Økonomiske årsaker» og udefinierbare årsaker har lave prosentandeler.



Figur 6. Antall stans i prosentandel per hovedkategori. 57 observasjoner.

7.3.1 Vannføring

Hovedkategorien med høyest antall stans i prosentandel er kategorien «Vannføring». Innenfor denne kategorien er underkategoriene «Naturlig variasjon i vannføring» og «Krav om minstevannføring» de største (figur 7).



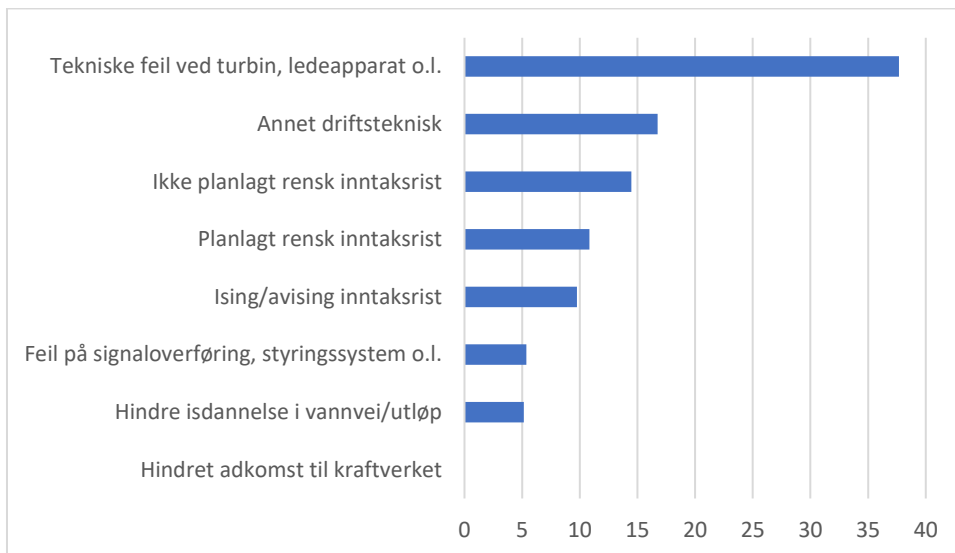
Figur 7. Antall stans i prosentandel for hovedkategorien «Vannføring» delt i underkategorier. 52 observasjoner.

7.3.2 Kraftlinjeproblemer

Hovedkategorien «Kraftlinjeproblemer» har ingen underkategorier, og står for omtrent 30 prosent av alle stans.

7.3.3 Driftstekniske årsaker

Hovedkategorien «Driftstekniske årsaker» var den tredje største kategorien når antall stans i prosentandel ble undersøkt. Den største prosentandelen antall stans innenfor denne hovedkategorien ligger på underkategorien «Tekniske feil [...]», men også «Annet driftsteknisk» og utfordringer med inntaksrist er registrert som årsaker til et visst antall stans (Figur 8).



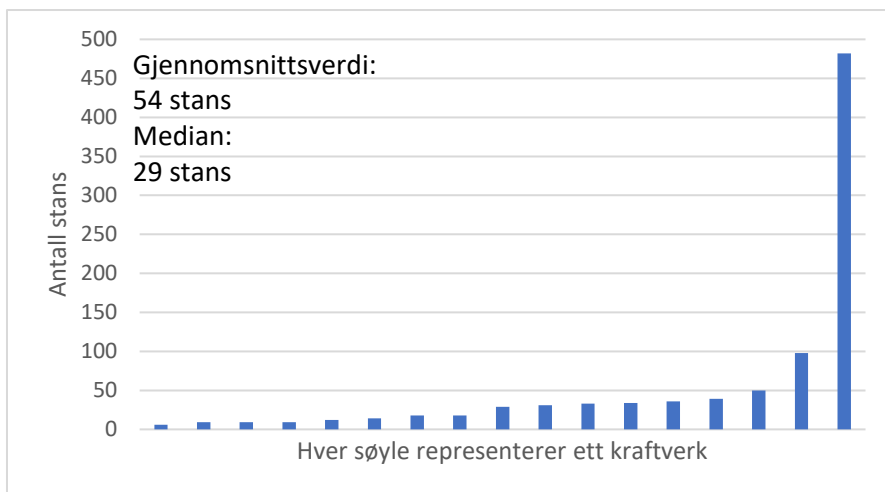
Figur 8. Antall stans i prosentandel for hovedkategorien «Driftstekniske årsaker» delt i underkategorier. 48 observasjoner.

7.4 Antall stans i forhold til størrelsen på selskapenes anleggsporfølje

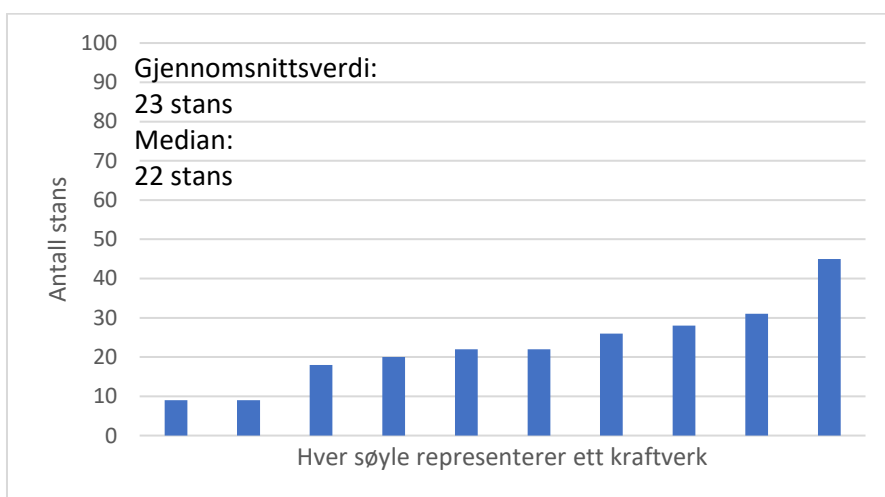
For å finne ut om det er andre årsaker til stans utover de som allerede er nevnt, er det for eksempel interessant å undersøke om antallet stans påvirkes av anleggsporføljen til selskapene. Noen selskap drifter kun ett kraftverk, mens andre selskap drifter et stort antall kraftverk.

Her er det kun de 41 kraftverkene som har oppgitt stans i antall, dvs. ikke i prosent, som er med i analysen (se tabell 1). Det er undersøkt om det er en sammenheng mellom antallet stans og

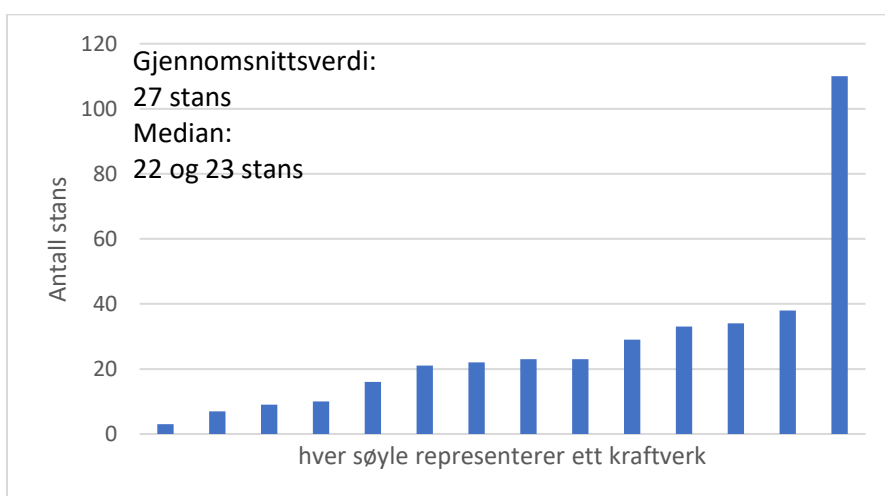
antall kraftverk selskapene drifter. Selskapene drifter alt fra ett til 29 kraftverk. Jeg har valgt å dele inn i tre grupper; de som kun drifter ett kraftverk, de som drifter 2 til 11 kraftverk og de som drifter fra 12 til 29 kraftverk. Disse tallene er presentert i figur 9, 10 og 11 (merk: ulike skalaer på y-aksen).



Figur 9. Antall stans hos selskap som kun drifter ett kraftverk.



Figur10. Antall stans per kraftverk hos selskap som drifter fra 2 til 11 kraftverk.



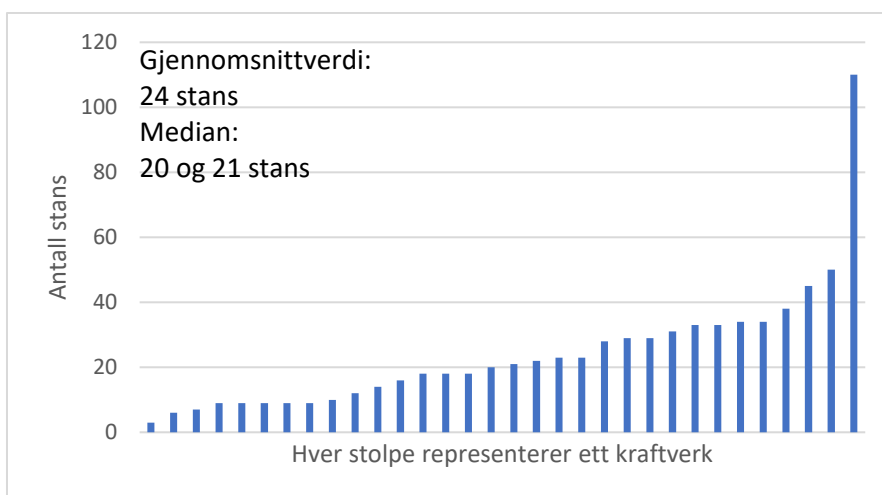
Figur 11. Antall stans per kraftverk hos selskap som drifter fra 12 til 29 kraftverk.

To og to grupper er her testet mot hverandre for å undersøke om det er forskjell i antall stans mellom de tre gruppene. Testen tilsier at det ikke er noen signifikant forskjell i antall stans mellom gruppene (Wilcoxon Rank-Sum test, $W > 69$, p -verdi > 0.59).

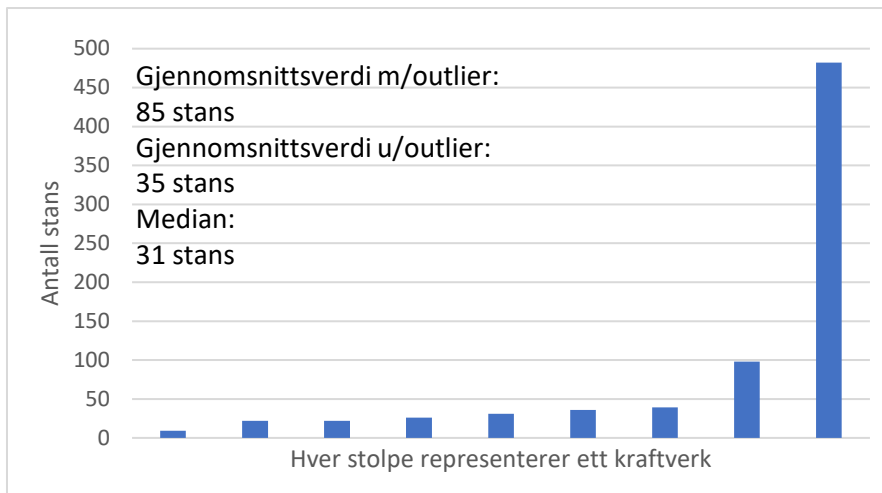
7.5 Antall stans og daglig drift av kraftverket

En annen faktor som er undersøkt, er om bemanningen for den daglige driften/styringen av kraftverket har betydning for antall stans ved kraftverket. Driften/styringen av kraftverket og oppgaven med daglig tilsyn kan utføres av samme person, eller driften/styringen kan utføres av en annen person enn den som har det daglige tilsynet. Når det er en og samme person som har ansvar for drift/styring og daglig tilsyn, kan man forvente at forhold som kan forårsake stans blir oppdaget tidligere enn om det er flere personer som er involvert i tilsynet og driften/styringen.

Disse analysene baseres på de 41 kraftverkene som har oppgitt antall stans i antall, dvs. ikke i prosentandel, i spørreundersøkelsen. Av disse har 32 respondenter/kraftverk svart ja på spørsmålet «Er den ansvarlige for kraftverket, den som drifter/styrer kraftverket, den samme som har daglig tilsyn med kraftverket?» De resterende 9 har svart nei på dette spørsmålet. Antallet stans for de to gruppene er presentert i figur 12 og 13 (merk: ulike skalaer på y-aksen).



Figur 12. Svart "ja" på følgende spørsmål: "Er den ansvarlige for kraftverket, den som drifter/styrer kraftverket, den samme som har daglig tilsyn med kraftverket?"



Figur 13. Svart "nei" på følgende spørsmål: "Er den ansvarlige for kraftverket, den som drifter/styrer kraftverket, den samme som har daglig tilsyn med kraftverket?"

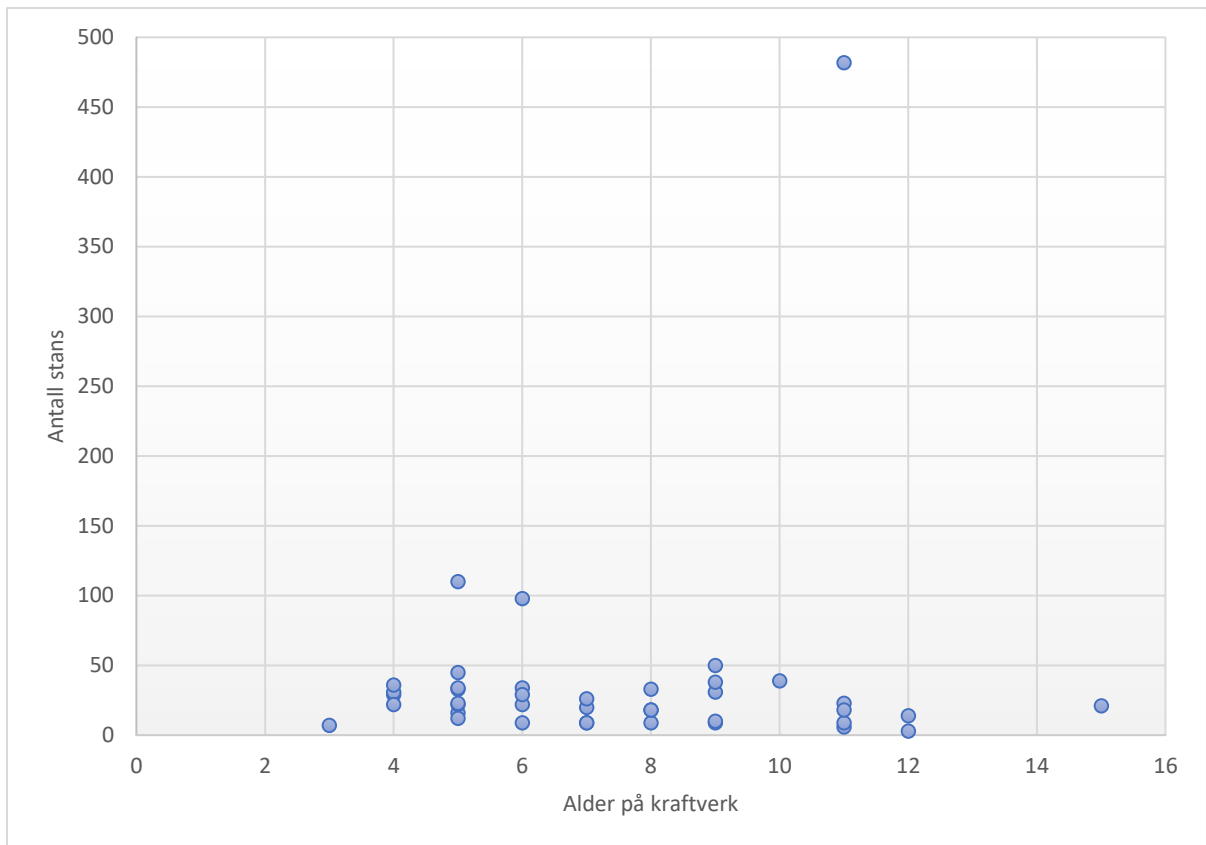
Her er det flest som har oppgitt at det er en og samme person som både drifter/styrer og har det daglige tilsynet med kraftverket (figur 12).

Denne testen har totalt 41 observasjoner. Testen tilsier at det ikke er signifikant forskjell i antall stans om driften/styringen og om det daglige tilsyn gjøres av en eller flere personer (Wilcoxon Rank-Sum test, $W = 84$, p -verdi = 0.06). I den ene gruppen er det ett kraftverk med nær 500 stans som blir betegnet som en «outlier», og det er regnet ut gjennomsnitt antall stans med og uten denne. For test uten «outlier», se vedlegg 2.

7.6 Antall stans og alder på kraftverk

Alderen på kraftverket kan tenkes å ha innvirkning på antall stans, da man kan se for seg en mer stabil drift med økende alder. Er det sånn at kraftverk må «kjøres inn» før de blir stabile?

I spørreundersøkelsen ble det spurt om alder på turbin, generator og styringssystem. Det er her gått ut ifra alder på turbinen, da turbin, generator og styringssystem er oppgitt å være like gamle i de fleste tilfeller. Det er ett unntak der styringssystemet er ett år yngre enn turbin og generator og det er to kraftverk der respondentene ikke har oppgitt hvor gammelt styringssystemet er. Laveste alder på turbin er 3 år, mens høyeste alder på turbin er 15 år. Dataene viser ingen klar sammenheng mellom antall stans og alder på kraftverk (figur 14). Det er rapportert lavt og høyt antall stans både for nye og gamle kraftverk.



Figur 14. Antall stans fordelt på turbinens alder. Hvert punkt representerer en turbin/et kraftverk. 40 observasjoner.

Her har jeg utført en lineær regresjonsanalyse uten «outlieren» (kraftverket med nær 500 stans) da dette kraftverket er atypisk, til tross for at det ikke kan utelukkes at det finnes flere slike kraftverk. (Se vedlegg 2 for test med «outlier».) Analysen viste at det ikke er noen signifikant sammenheng mellom antall stans og alder ($F_{1,37} = 2.55$, $aR^2 = 0.04$, p -verdi = 0.12). Testen forteller at kun 4 % av variasjonen i antall stans skyldes variasjon i alder. Det kan ikke påvises sammenheng mellom antall stans og alder på kraftverkene.

7.7 Data fra spørreundersøkelsen og Statnett sine data

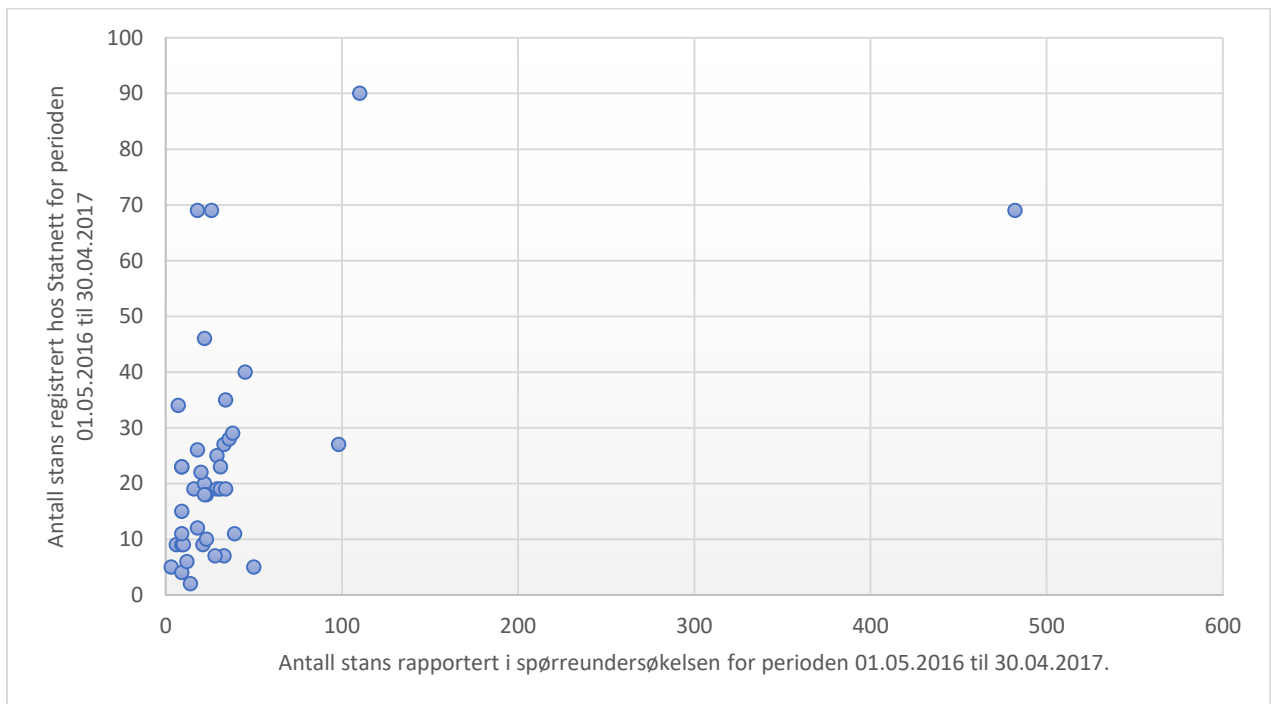
Dataene fra Statnett er basert på informasjon om produksjon for 256 små kraftverk (installert effekt < 10 MW, med kun få unntak). Fra spørreundersøkelsen er det 41 kraftverk som har oppgitt informasjon om antall stans. Hvert kraftverk har fått hver sin kode for å sikre anonymisering. Kraftverkene i spørreundersøkelsen har fått de samme kodene som Statnett har gitt kraftverkene i sine produksjonsdata, på den måten kan dataene fra spørreundersøkelsen

kobles med data fra Statnetts produksjonsdatabase. Begge datasettene referer til tolv månedersperioden 01.05.2016 til 30.04.2017.

7.7.1 Sammenligning mellom svarene fra spørreundersøkelsen og Statnetts registreringer av antall stans for de samme kraftverkene

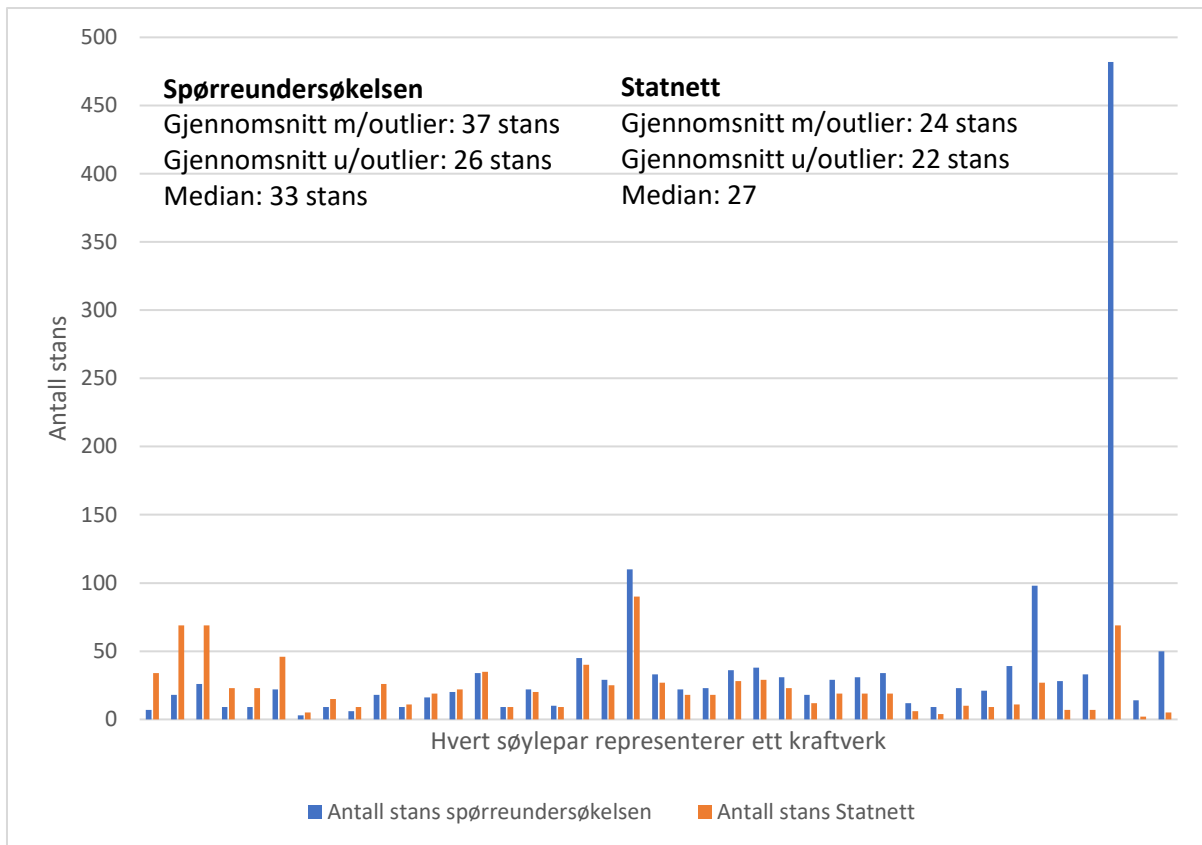
Det er videre interessant å undersøke om det er samsvar mellom rapporterte antall stans i spørreundersøkelsen og antall stans for de samme kraftverkene i Statnetts produksjonsdatabase.

Datagrunnlaget er begrenset til de 41 kraftverkene som har oppgitt antall stans. Antallet stans rapportert i spørreundersøkelsen skiller seg fra antallet stans registrert hos Statnett, og det er relativt stor spredning mellom punktene (figur 15).



Figur 15. Antall stans rapportert i spørreundersøkelsen vs. antall stans registrert av Statnett for perioden 01.05.2016 til 30.04.2017. Hvert punkt representerer ett kraftverk. 41 observasjoner.

Kun ett kraftverk oppgir samme antall stans som Statnett har registrert. I dette tilfellet var det 9 stans. I alt 14 kraftverk oppgir færre stans og 26 kraftverk oppgir flere stans enn det Statnett har registrert (figur 16).



Figur 16. Antall stans rapportert i spørreundersøkelsen vs. antall stans registrert av Statnett for perioden 01.05.2016 til 30.04.2017. 41 observasjoner.

Her har jeg utført statistiske tester uten «outlier» (kraftverket med oppunder 500 stans rapportert i spørreundersøkelsen) da dette kraftverket er atypisk, til tross for at det ikke kan utelukkes at det finnes flere slike kraftverk. (Se vedlegg 2 for statistiske tester som inkluderer «outlier».) Wilcoxon Signed-Rank testen tilsier at det ikke er noen signifikant forskjell mellom antall stans i de to gruppene ($V = 520.5$, p -verdi = 0.07). Denne testen har 40 observasjoner.

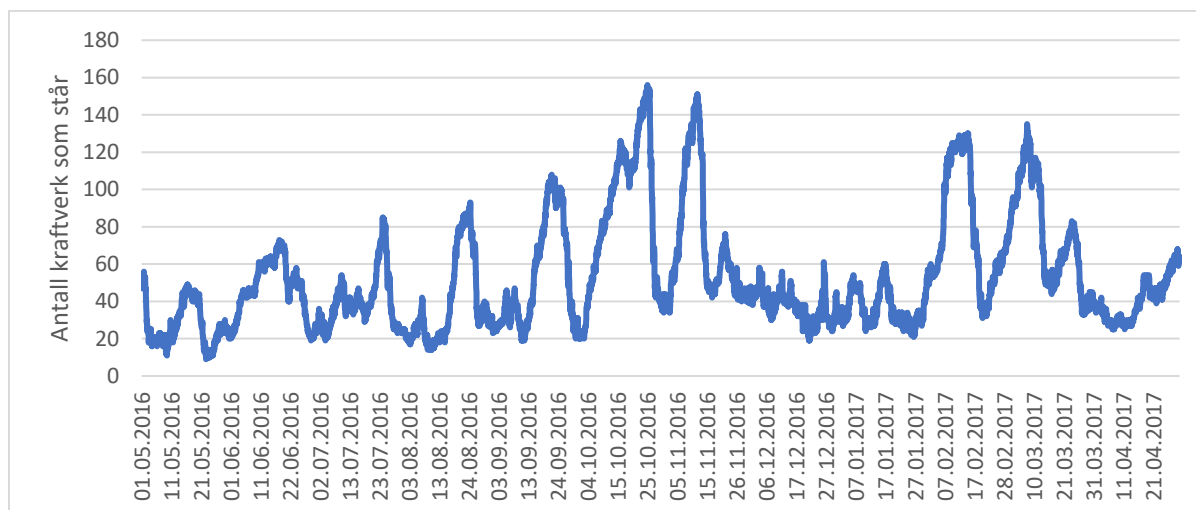
Jeg har også testet i hvilken grad det er en sammenheng mellom de to gruppene. En lineær regresjonsanalyse viser en signifikant sammenheng ($F_{1,38} = 11.72$, $aR^2 = 0.22$, p -verdi < 0.01). Når forklaringsprosenten er 22 %, viser det at det også er mye annet som påvirker svarene fra spørreundersøkelsen.

7.8 Statnetts produksjonsdata

7.8.1 Antall kraftverk som står og tid på året

I Norge er det slik at vannføringen i elvene vanligvis varierer gjennom året. Om vinteren kan det være svært liten vannføring.

I dette kapittelet er det brukt produksjonsdata fra Statnett for perioden 01.05.2016 til 30.04.2017, og det er undersøkt hvor mange kraftverk som har en produksjon på null per time i døgnet (kraftverkene står). Jo høyere topper, jo flere kraftverk har en produksjon lik null.



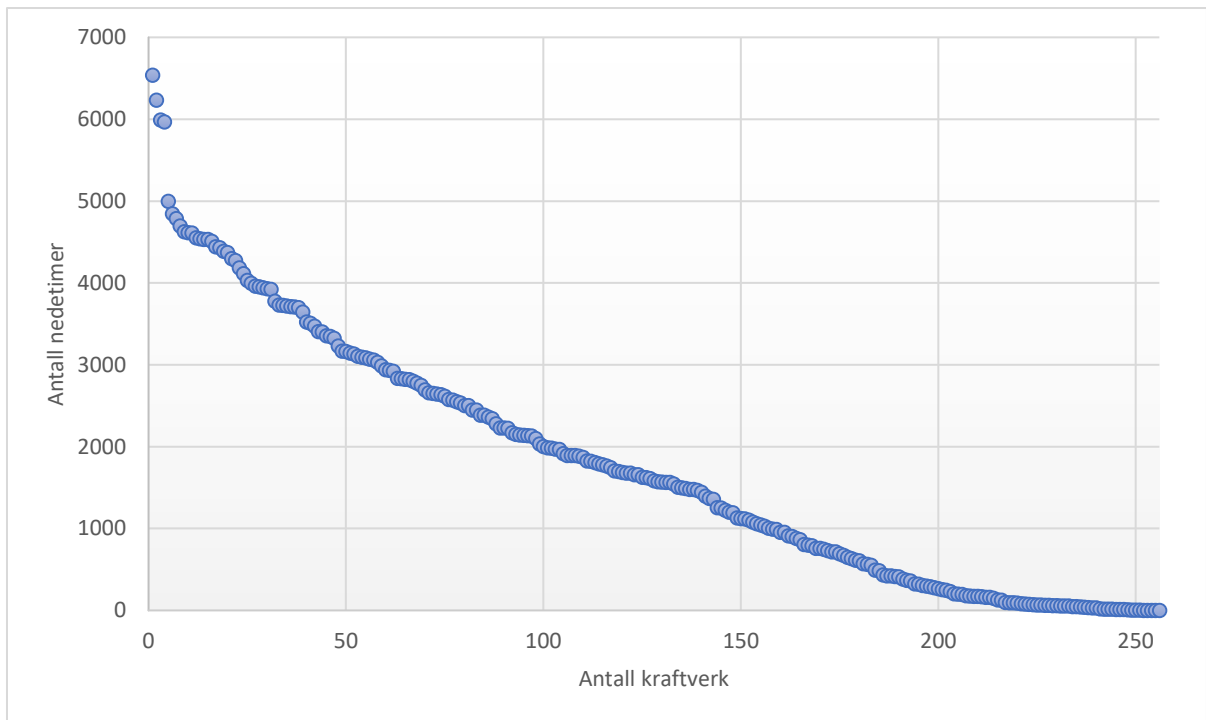
Figur 17. Antall kraftverk som har produksjon lik null (kraftverk som står) i perioden 01.05.2016 til 30.04.2017. 256 observasjoner.

Figur 17 viser at det i perioder i september til november 2016, og i perioder i februar og mars 2017 er flest kraftverk som ikke produserer energi. Resten av året er antall kraftverk som ikke produserer sjelden over 80.

7.8.2 Antall stans og antall nedetimer

For å kunne si noe om årsak til stans kan det også være nyttig å se på hvor mange timer hvert kraftverk har en produksjon lik null (antall nedetimer) for en bestemt periode.

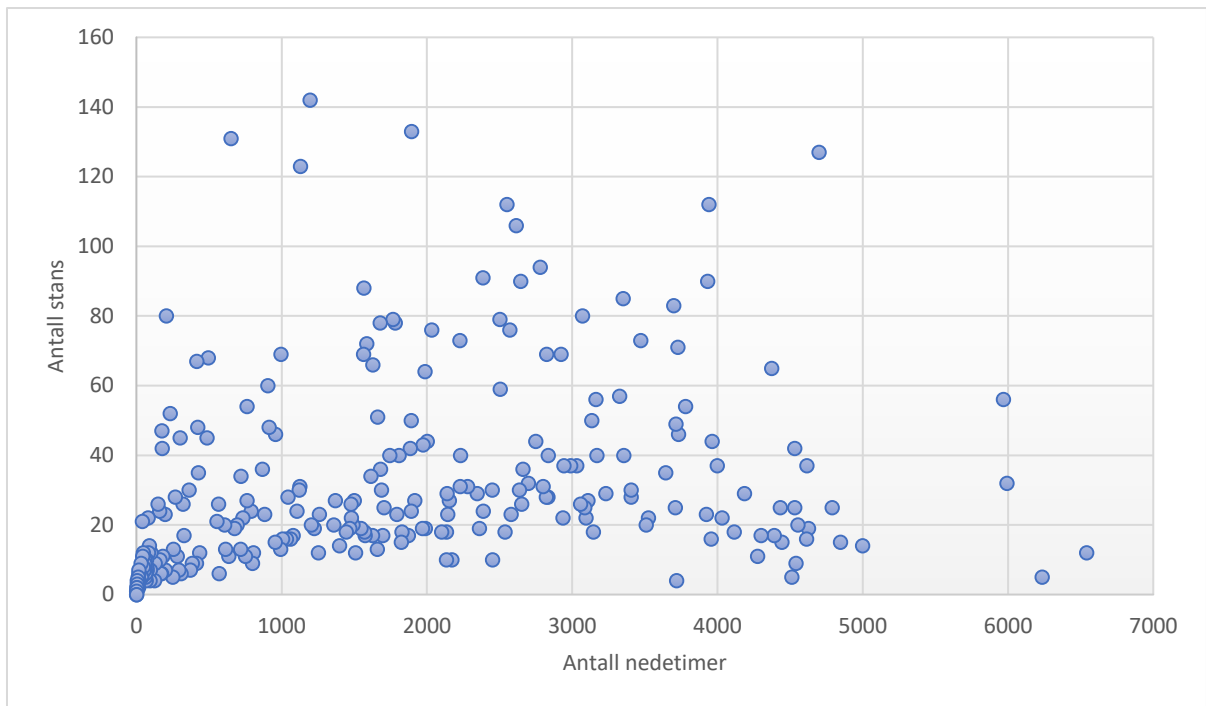
I denne analysen brukes produksjonsdata fra Statnett for 256 kraftverkene i perioden 01.05.16 til 30.04.17. Ett år har 8765 timer.



Figur 18. Antall timer med null produksjon per kraftverk (antall nedetimer) i perioden 01.05.2016 til 30.04.2017. Hvert punkt representerer ett kraftverk. 256 observasjoner.

Omlag 100 av kraftverkene står (produksjon lik null) i 2000 timer eller mer denne perioden, omtrent 25 av disse har 4000 nedetimer (timer med produksjon lik null) eller fler (figur 18). I den andre enden av skalaen er det om lag 100 kraftverk som har en nedetid (produksjon lik null) på 1000 timer eller mindre (se figur 18). Gjennomsnittlig nedetid er ca. 1790 timer.

Om det kan påvises sammenheng mellom antall stans og nedetimer per kraftverk kan det gi verdifull informasjon. Har et kraftverk få stans, men mange nedetimer vitner dette om at kraftverket kan være helt stengt store deler av året.



Figur 19. Antall nedetimer og antall stans fra 01.05.2016 til 30.04.2017. Hvert punkt representerer ett kraftverk. 256 observasjoner.

Kraftverk med få stans kan ha mange nedetimer, akkurat som kraftverk med mange stans kan ha få nedetimer (figur 19).

Jeg har valgt å dele dataene opp i to grupper med hensyn til antall stans. Jeg har delt slik at kraftverkene som har 2000 nedetimer eller mindre utgjør en gruppe, og kraftverkene som har mer enn 2000 nedetimer utgjør en gruppe. Dette gir en gruppe på 100 observasjoner og en gruppe på 150 observasjoner. Kraftverk som har 2000 nedetimer står omtrent $\frac{1}{4}$ av året. Inndelingen er gjort slik fordi utfra figur 19 kommer det frem at de periodene flest kraftverk står utgjør ca. $\frac{1}{4}$ av året.

Test mellom de to gruppene gir en p-verdi < 0.01 og en W på 4610 (Wilcoxon Rank-Sum test). Denne testen har totalt 256 observasjoner. Testen tilsier det ikke kan utelukkes en forskjell i antall stans hos kraftverk med 2000 nedetimer eller mindre og hos kraftverk med 2000 nedetimer eller mer.

8 Diskusjon

8.1 Diskusjon av datagrunnlag og utfordringer

Det lave antallet svar på spørreundersøkelsen har medført at datagrunnlaget er relativt lite. Med biveileder fra NVE, og med NVE som utsender av spørreskjemaet, hadde jeg forventninger om høyere svarprosent. Selv om spørreskjemaet ble sendt ut to ganger var det bare 70 respondenter til spørreundersøkelsen, som til slutt endte på 59, da noen måtte fjernes fra datagrunnlaget.

Hvis denne datainnsamlingen skulle vært gjort på nytt, kunne det med fordel vært lagt ved en «papirutgave» av spørreundersøkelsen til brevet med informasjon og spørsmål om hvem som ville være med på undersøkelsen. Da ville potensielle respondenter fått bedre innsikt i hva de eventuelt takket ja til, og for de som takket ja, ville dette være grunnlaget for en forberedelse før besvarelsen av den elektroniske versjonen. En god forberedelse til undersøkelsen kunne vært en fordel, da det var mange kategorier å plassere stansene i. Jeg kan i ettertid se for meg at kategoriene kunne bli uoversiktlige å holde styr på slik de fremstod i den elektroniske versjonen.

At det var mulig å oppgi svar i prosentandel i del 2 av spørreundersøkelsen har skapt flere utfordringer. Når antallet stans respondentene oppgir skal sammenlignes med antall stans Statnett har registrert i sine produksjonsdata, er ikke disse svarene direkte sammenlignbare når svarene har kommet i prosent. Noen av dem som har oppgitt svarene i prosent har endt opp med alt fra 90 til 105 prosent totalt «antall» stans. Dette kan bidra til feil, da summen av alle stans per kraftverk skal utgjøre 100 prosent. At det var mulig å oppgi antall stans i prosent har også indirekte redusert datagrunnlaget, da jeg ville undersøke hvilke faktorer som kunne påvirke antallet stans hvert kraftverk hadde. Grunnen til at muligheten til å oppgi svar i prosent ble gitt, var at hovedformålet med oppgaven var å finne *årsaken* til stansene, som jo kommer frem av kategoriene uansett. Skulle undersøkelsen vært gjort på nytt, ville jeg kanskje fjernet muligheten respondentene hadde til å oppgi svarene i prosent.

Til tross for at jeg forsøkte å unngå at (under)kategorier skulle overlape hverandre, ser jeg i ettertid at de to underkategoriene, «Naturlig variasjon i vannføring» og «Krav om minstevannføring» kan ha vært vanskelig å skille imellom (se kapittel 7.2.2). Dette kan ha ført til feilregistrering, noe som er bekreftet i en kommentar fra en av respondentene.

At det var mulig å skrive både tall og bokstaver i svarrutene i spørreundersøkelsen, medførte litt ekstra manuelt arbeid. Det ville blitt enklere å bearbeide dataene, om det kun var mulig å

skrive tall i rutene, men samtidig har det muligens blitt mulig å identifisere flere årsaker og få et enda mer korrekt bilde på stansårsakene med denne måten å gjøre det på.

8.2 Diskusjon av resultater

8.2.1 Undersøkelse av representativitet av datagrunnlaget fra spørreundersøkelsen

Da jeg undersøkte om datagrunnlaget fra spørreundersøkelsen var representativt for alle de 256 kraftverkene, brukte jeg datagrunnlaget fra Statnett og undersøkte om det var forskjell i antall stans mellom de som hadde besvart spørreundersøkelsen og de som ikke hadde besvart den. Testresultatene viste ingen signifikant forskjell for antall stans mellom de to gruppene. Dette indikerer at den gruppen som har besvart spørreundersøkelsen er representativ for alle de 256 kraftverkene.

8.2.2 Hovedårsaker til stans rapportert i spørreundersøkelsen

Resultatene viser at de tre hyppigst forekommende årsakene til stans med fokus på *antall kraftverk* som rapporterte en eller flere stans fordelt på kategori, er (i synkende rekkefølge) kraftlinjeproblemer, vannføring og driftstekniske årsaker. Hovedårsakene med fokus på *antall stans* per kategori er (i synkende rekkefølge) vannføring, kraftlinjeproblemer og driftstekniske årsaker.

At vannføring skulle bli en av de hovedårsakene til stans hos små kraftverk er ikke overraskende, da turbinene er direkte avhengig av en viss vannføring for å kunne produsere energi. Dessuten har mange kraftverk også et krav om slipp av minstevannføring å ta hensyn til. At driftstekniske årsaker også er en av hovedårsakene er heller ikke overraskende, da det kan være mange utfordringer knyttet til det driftstekniske. At kraftlinjeproblemer havnet så høyt opp på listen over årsaker var mer uventet, og var ikke noe jeg hadde sett for meg på forhånd. Respondentene oppga blant annet nettutfall på grunn av tordenvær, variasjon i spenning, feil ved tilkobling og utkobling på grunn av arbeid på linjen som årsaker. Her ser jeg i ettertid at det kunne vært hensiktsmessig å be alle respondentene å oppgi hva slags type kraftlinjeproblem som medførte stans eller/og innhente data fra netteiere om «feil» på linjene.

Det jeg derimot hadde forventet skulle havnet høyere opp på listen for årsaker til stans, var «Økonomiske årsaker», selv om dette ikke er en «gyldig» stansårsak hos kraftverkene som har krav om jevn drift. Hos disse bør hensyn til pris på kraft ikke påvirke kjøremønster.

Vannkraftverk bygges i de aller fleste tilfellene fordi de er ment å være lønnsomme, og med tanke om positiv avkastning. Det er kjent at effektkjøring ofte reguleres av økonomi (Bakken et al. 2016), så jeg hadde forventet at det skulle være en del stans forårsaket av økonomisk gevinst. Ikke alle de 256 kraftverkene fra Statnett sine data har vilkår om jevn drifting, så det at noen kraftverk skulle kjøres med hensyn på økonomi var å forvente. Oversikten over hvilke kraftverk som ikke har dette vilkåret er ukjent for forfatteren.

Før en stans kan produksjonen trappes sakte ned og stansen blir «myk». Stans kan også skje uten nedtrapping av produksjon i forkant og produksjonen kan gå fra stor til null på kort tid, stansen blir «brå». Slike brå stans er de som kan ha størst påkjenning på miljøet.

Stans grunnet «Kraftlinjeproblemer» og «Tekniske feil ved turbin, ledeapparat o.l.» kan resultere i brå stans, og vannstandsendringer skjer fort. Dette kan føre til tørrlegging av elvebunnen, organismer reagerer ikke fort nok og ender opp med å strande (Bakken et al. 2016). Brå endringer i temperatur som følge av raske vannstandsendringer kan også medføre stress for organismer (Bruno et al. 2013). For fugl kan stranding av organismer gjøre det enklere å finne mat (Bakken et al. 2016).

For bunndyr som oppholder seg i det naturlige elveløpet mellom inntak og kraftverket kan stans medføre konsekvenser. Stans kan gi økt vannføring her, som videre kan føre til drift av bunndyr (Bruno et al. 2010; Bruno et al. 2013). Når kraftverket starter opp igjen vil vannføringen reduseres til minstevannføring, og driften av bunndyr reduseres. Nedstrøms utløpet av kraftverket vil en brå start kunne føre til økt drift av bunndyr. Endringer i temperatur som skyldes økning i vannstrøm kan også føre til adferdsdrift av bunndyr (Bruno et al. 2013).

En reduksjon i bunndyrbestand kan gi ringvirkninger for fisken, da mange av bunndyrene er mat for fisk. Resultatet av at fisken får redusert mattilgang, er at den bruker mer tid på å lete etter mat, noe som kan medføre at den blir mer utsatt for predasjon (Orpwood et al. 2006). En eventuell endring i fiskebestanden vil i sin tur påvirke oterens mattilgang. Organismer som strander og et mer ustabil isdekke vil gjøre det enklere for oteren å finne mat (Bakken et al. 2016).

Innenfor hovedkategorien «Driftstekniske årsaker» har underkategorien «Annet driftsteknisk» kommet høyt opp som årsak til stans. Her skyldes mange stans kontroll av utstyr, service og vedlikehold. Dette er stans som oftest er planlagt, slik at her er det mulig med en sakte nedtrapping av produksjon, og brå stans kan unngås.

Stans som forårsakes av lav vannføring, enten det er krav om minstevannføring eller ikke, vil resultere i en stans som ikke nødvendigvis er brå. Vannføringen vil sakte reduseres naturlig, og på et tidspunkt vil kraftverket stanse(s). Dette gjør at det er lettere for organismer som er utsatt for stranding å komme seg ut på dypere vann, fordi endringene skjer over lenger tid (Bakken et al. 2016; Saltveit et al. 2001).

Ett av kraftverkene som var med i undersøkelsen hadde oppunder 500 stans i undersøkelsesperioden. Hovedvekten av disse stansene var plassert under kategorien stans grunnet «krav om minstevannføring». Dette tilsvarer omtrent 1,3 stans i døgnet i snitt. Ved et slikt kraftverk er det nærliggende å tro at det er generelt ustabile forhold. Mange av disse stansene er ikke registrert av Statnett, slik at det nok er en del korte stans. Det kan ikke utelukkes at det finnes flere slike kraftverk til tross for at kun ett av dem ble registrert i spørreundersøkelsen. Er det mye start-stopp kjøring ved dette kraftverket vinterstid kan dette også være med på å hindre at det legger seg is på vannet nedstrøms kraftverket, da ustabile forhold kan medføre at isen ikke legger seg (Bakken et al 2016). Dette kan medføre konsekvenser for organismer i og ved vassdrag.

8.2.3 Antall stans i forhold til selskapenes anleggsporfølje

Jeg hadde sett for meg at for selskap som drifter mange kraftverk/anlegg kunne det oppstå færre stans enn i selskap som kun driftet ett/få kraftverk/anlegg fordi store selskap har mer erfaring enn små. Mine resultater viste imidlertid at for de som hadde vært med å svare på spørreundersøkelsen var ikke dette tilfellet. Ifølge mitt datagrunnlag var ikke antall anlegg selskapene driftet av betydning. Antall respondenter er lavt, og dataene utgjør et beskjedent statistisk grunnlag. Den minste gruppen hadde kun 10 respondenter/kraftverk, mens den største hadde 17.

8.2.4 Antall stans og daglig drift av kraftverket

Når det er en og samme person som har ansvar for drift/styring og daglig tilsyn kan man forvente at forhold som kan forårsake stans blir oppdaget tidligere enn om det er flere personer som er involvert i tilsynet og driften, og at dette resulterer i færre stans.

Heller ikke kraftverkets daglige drift syntes å ha innvirkning på antall stans som ble rapportert. Testen jeg utførte tilsier at det ikke er noen forskjell i antall stans om driften/styringen av

kraftverk og daglig tilsyn ble tatt hånd om av en og samme person, eller om det var forskjellige personer som sto for driften/styringen og det daglige tilsynet.

Det er i tillegg slik at ni respondenter har oppgitt at det er flere personer som er involvert i drift/styring og daglig tilsyn, mens 32 respondenter oppgav at en og samme person driftet/styrte og hadde daglig tilsyn med kraftverket. Dette indikerer at ved små kraftverk er det ofte en og samme person som har daglig tilsyn og ansvar for drift/styring.

8.2.5 Antall stans og alder på kraftverk

Jeg hadde sett for meg at ved de nyeste kraftverkene skulle det være et høyere antall stans enn ved kraftverk som har vært i drift en stund. Regresjonsanalysen gjort her tilsier at alder ikke har sammenheng med antallet stans. Denne testen forteller at variasjon i alder forklarer kun 4 % av variasjonen i antall stans.

Det er mulig at antallet stans er høyest kun kort tid etter at kraftverket er satt i drift, for eksempel de 2-3 første månedene. I denne perioden blir «innkjøringsproblemer» løst og driften normalisert. Dermed blir ikke alder en påvirkende faktor på antall stans.

8.2.6 Sammenligning mellom svarene fra spørreundersøkelsen og Statnetts registreringer av antall stans for de samme kraftverkene

Ved sammenligning av antall stans rapportert av respondentene i spørreundersøkelsen og antall stans for de samme kraftverkene i Statnetts produksjonsdatabase kan det forventes å finne en viss forskjell. For Statnetts sine produksjonsdata estimeres energivolumet som mates inn på nettet hver time. Det vil si at ved en produksjon på 100 MW i en halv time, registres da som 50 MWh i denne timen. Det må altså være null produksjon i en time eller mer for at det skal registreres at et kraftverk har null produksjon denne timen. På grunn av dette kan det forventes at det rapporteres noen flere stans fra respondentene i spørreundersøkelsen enn det som registreres gjennom Statnetts produksjonsdata, da man kan forvente at respondentene har/kan ha en finere tidsskala.

Den ene statistiske testen jeg har gjennomført indikerer at det ikke er forskjell i antall stans rapportert i spørreundersøkelsen og antall stans registrert i Statnett sine data. 26 av respondentene/kraftverkene oppgir flere stans enn Statnett har registrert, mens 14 oppgir færre stans. En respondent/ett kraftverk oppgir like mange stans som Statnett har registrert.

At Statnett registrerer produksjon for alle kraftverk kan tenkes å gi en påvirkning på antallet stans som rapporteres i spørreundersøkelsen, da respondentene nok er klar over dette. Testen om sammenheng mellom de to registreringene viser en systematisk samvariasjon, samtidig som modellen ikke forklarer mye av variasjonen i antall stans. Testen tilsier at det er mye annet som påvirker svarene fra spørreundersøkelsen.

For respondentene som har oppgitt flere stans enn Statnett har registrert, er forklaringen nok som nevnt over, at de bruker en finere tidsskala enn Statnett gjør. Det var forventet at kraftverkene selv burde ha rapportert minst det antallet stans Statnett har registrert, på grunn av en forventning om en tidsoppløsning som var på timesbasis eller mindre. Fordi 14 kraftverk rapporterte færre stans enn registrert av Statnett, fører dette til en usikkerhet vedrørende antall stans hos alle kraftverkene. Denne forskjellen kan tyde på at ikke alle har fullstendig oversikt over hvor mange stans hvert kraftverk har.

8.2.7 Antall kraftverk som står og tid på året

Flest kraftverk stod i perioder i september til november 2016 og i perioder i februar og mars 2017. Flest kraftverk var i drift i perioder i mai og juni 2016, i desember 2016, og januar og april 2017. Jeg sammenlignet dato og størrelse på avrenningsdata (seNorge.no¹) med antall kraftverk som var i drift/ikke var i drift. Det var en klar sammenheng mellom avrenning og antall kraftverk som var i drift – i perioder med høy avrenning var mange kraftverk i drift, og i perioder med lav avrenning var få i drift.

8.2.8 Nedetimer og antall stans per kraftverk

Det er registrert både kraftverk med få nedetimer/mange stans, med få nedetimer/få stans, med mange nedetimer/mange stans og med mange nedetimer/få stans.

Omtrent 40 % av kraftverkene i Statnetts data står ca. ¼ av året. Jeg hadde ikke forventet at så mange kraftverk hadde et så stort antall nedetimer. Resultatene viser at det er en forskjell i antall stans ved de kraftverkene med 2000 nedetimer eller mindre og de kraftverkene som har mer enn 2000 nedetimer. En del av forskjellen kan forklares med at veldig få nedetimer gir en fysisk begrensning i antall stans.

¹ seNorge er en kartdatatjeneste som har data om snø, vann, vær og klima i Norge, og er et samarbeid mellom NVE, Meteorologisk institutt og Statens kartverk.

Hvis et kraftverk har mange nedetimer og få stans, betyr det at kraftverket står i lenger tid når det først har stanset. Det kan for eksempel tyde på at det er kraftverk som har et teknisk problem.

For kraftverk som periodevis har mange stans, kunne kanskje sammenhengende stenging av kraftverket i disse periodene være hensiktsmessig for å unngå unødige variable forhold for miljøet og for eventuell slitasje på maskiner og utstyr. Dette kan kanskje være en annen forklaring for noen av kraftverkene som har mange nedetimer og få stans.

9 Konklusjon

Denne kartleggingen av årsaker til stans ved små norske vannkraftverk gav tre hovedårsaker:

- Vannføring – 48 % av totalt antall stans
- Kraftlinjeproblemer – 31 % av totalt antall stans
- Driftstekniske årsaker – 18 % av totalt antall stans

Innen hovedkategorien «Vannføring» var årsakene til stans delt i fire underkategorier. Høyest antall stans var naturlig variasjon i vannføring (62 %) og krav om minstevannføring (30 %). Det syntes videre å være en klar sammenheng mellom avrenning og antall kraftverk som var i drift. I perioder med høy avrenning var mange i drift, og i perioder med lite avrenning var få i drift.

Hovedkategorien «Kraftlinjeproblemer» var ikke delt inn i underkategorier. Respondentene oppga blant annet nettutfall på grunn av tordenvær, variasjon i spenning, feil ved tilkobling og utkobling på grunn av arbeid på linjen som årsaker.

I hovedkategorien «Driftstekniske årsaker» ble det rapportert flest stans i underkategoriene tekniske feil ved turbin, ledeapparat o.l. (38 %), ikke planlagt/planlagt rensk av inntaksrist (25 %) og annet driftsteknisk (17 %).

Årsakene til stans kan påvirke hvordan den opptrer. Om stansen fører til at produksjonen i kraftverket trappes sakte ned mot null (en «myk stans») eller om produksjonen går fra høy til null på kort tid (en «brå stans») kan påvirke konsekvensen av stansen på miljøet.

Størrelsen på selskapenes anleggsportefølje, om det er en eller flere som er involvert i driften og tilsynet av kraftverket og alderen på kraftverket virket ikke å ha noen påvirkning på antall stans.

Med bakgrunn i at det var relativt få respondenter på spørreundersøkelsen, mener jeg det bør forskes mer på årsaken til stans ved små kraftverk. Det høye antallet stans forårsaket av kraftlinjeproblemer burde kartlegges nærmere, og et forslag er å innhente informasjon fra nettselskapene. For å skulle kunne redusere antallet stans med deres potensielle negative innvirkning på miljø er det viktig å ha god kunnskap for å kunne iverksette tiltak for å redusere antall stans.

10 Referanseliste

- Bakken, T.H., Forseth, T. & Harby, A. (red.). (2016). Miljøvirkninger av effektkjøring: Kunnskapsstatus og råd til forvaltning og industri. – *NINA Temahefte* 62. 205 s.
- Bejarano, M. D., Jansson, R., Nilsson, C. (2018). The effects of hydropeaking on riverine plants: a review. *Biological Reviews*, 93 (1): 658-673. doi: 10.1111/brv.12362.
- Benejam, L., Saura-Mas, S., Bardina, M., Solà, C., Munné, A., García-Berthou, E. (2016). Ecological impacts of small hydropower plants on headwater stream fish: from individual to community effects. *Ecology of Freshwater Fish*, 25 (2): 295-306. doi: 10.1111/eff.12210.
- Berg, O.K., Bremset, G., Puffer, M. & Hanssen, K. (2014). Selective segregation in intraspecific competition between juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Ecology of Freshwater Fish*, 23 (4): 544-555. doi: 10.1111/eff.12107.
- Bremnes, T., Saltveit, S.J. & Brittain, J.E. (2010). Bunndyr og småkraft. I: Frilund, G.E. (red.). (2010). Etterundersøkelser ved små kraftverk. Sumvirkninger på landskap, Botaniske verdier og småkraft, Bunndyr og småkraft, Konesjonsfrie mikro- og minikraftverk. *NVE Rapport Miljøbasert vannføring*. 2010:2, s. 48 – 73.
- Bruno, M.C., Maiolini, B., Carolli & Silveri, L. (2010). Short time-scale impacts of hydropeaking on benthic invertebrates in an Alpine stream (Trentino, Italy). *Limnologica*, 40 (4): 281-290. doi: 10.1016/j.limno.2009.11.012.
- Bruno, M.C., Siviglia, A., Carolli, M. & Maiolini, B. (2013). Multiple drift responses of benthic invertebrates to interacting hydropeaking and thermopeaking waves. *Ecohydrology*, 6 (4): 511-522. doi: 10.1002/eco.1275.
- Direktoratet for naturforvaltning. (2006). Handlingsplan for elvemusling, Margaritifera margaritifera. *DN Rapport* 2006:3, 26 s.
- Eie, J.A. (2016). Miljøhensyn inn i norsk vassdragsforvaltning 1963 – 2014. *NVE Rapport*. 2016:52, 197 s.
- Faugli, P. E. (2012). Vann- og energiforvaltning – glimt fra NVEs historie. *NVE Rapport*. 2012:26, 99 s.
- Forskrift om kommunens myndighet i mindre vannkraftsaker. (2017). *Forskrift om kommunens myndighet i mindre vannkraftsaker 15. desember 2017 nr. 2037*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-12-15-2037> (lest 29.04.2018).

Forskrift om konsekvensutredninger. (2017). *Forskrift om konsekvensutredninger 21. juni 2017 nr. 854*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-21-854> (lest 28.04.2018)

Forskrift om vassdragsmyndigheter. (2000). *Forskrift om hvem som skal være vassdragsmyndighet etter vannressursloven 15. desember 2000 nr. 1270*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/DEL/forskrift/2000-12-15-1270> (lest 28.04.2018).

Frilund, G.E. (red.). (2010). Etterundersøkelser ved små kraftverk. Sumvirkninger på landskap, Botaniske verdier og småkraft, Bunndyr og småkraft, Konesjonsfrie mikro- og minikraftverk. *NVE Rapport Miljøbasert vannføring*. 2010:2, 113 s.

Harby, A., Alfredsen, K., Arnekleiv, J.V., Flodmark, L.E.W., Halleraker, J.H., Johansen, S. & Saltveit, S.J. (2004). Raske vannstandsendringer i elver. Virkninger på fisk, bunndyr og begroing. *SINTEF teknisk rapport TR-A5932*. 39 s.

Harby, A. & Bogen, J. (red.). (2012). Miljøkonsekvenser av raske vannstandsendringer. *NVE Rapport Miljøbasert vannføring*. 2012:1, 82 s.

Herland, A.K. (2012). The effect of hydropeaking on density, diversity and species richness of mayflies (Ephemeroptera) and stoneflies (Plecoptera) in two river systems. Masteroppgave i biologi. Trondheim: NTNU.

Hveding, V. (1992). *Vannkraft i Norge*. Trondheim: Universitetet i Trondheim, Norges tekniske høyskole, Institutt for vassbygging. 83 s.

L'Abée-Lund, JH. & Otero, J. (2018). Hydropeaking in small hydropower in Norway – Compliance with licence conditions?. *River Research and Applications*, 2018: 1–10. doi: 10.1002/rra.3258

L'Abée-Lund, JH. (red.). (2005). Miljøeffekter av små kraftverk. Erfaringer fra Telemark og Rogaland. *NVE Rapport*. 2005:3, 79 s.

Larsen, B.M. (2012). Elvemuslinger og konsekvenser av vassdragsreguleringer – en kunnskapsoppsummering. *NVE Rapport Miljøbasert vannføring*. 2012:8, 165 s.

Larsen, B.M. & Österling, M. (2012). Litteraturstudie om vannkraftregulering og elvemusling. I: Larsen, B.M. (2012). Elvemuslinger og konsekvenser av vassdragsreguleringer – en kunnskapsoppsummering. *NVE Rapport Miljøbasert vannføring*. 2012:8, s. 29 – 45.

Midttun, L. (2018). Oversikt over antall vannkraftverk. (e-post til Kristine Molkersrød 03.01.2018)

NVE. (2016). 1963: Eget konsesjonsvilkår om naturvern. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/om-nve/vassdrags-og-energihistorie/nves-historie/1963-eget-konsesjonsvilkar-om-naturvern/> (lest 09.05.2018).

NVE. (2015). Små kraftverk. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/energiforsyning-og-konsesjon/vannkraft/sma-kraftverk/> (lest 29.04.2018).

NVE. (2010). Veileder i planlegging, bygging og drift av små kraftverk. *NVE veileder*. 2010:1, 137 s.

Orpwood, J.E, Griffiths, S.W., Armstrong, J.D. (2006). Effects of food availability on temporal activity patterns and growth of Atlantic salmon. *Journal of Animal Ecology*, 75 (3): 677-685. doi: 10.1111/j.1365-2656.2006.01088.x.

Saltveit, S.J., Brabrand, Å. & Barlaup, B.T. (2006). Ungfisk. I: Saltveit, S.J. (red.). (2006). Økologiske forhold i vassdrag – konsekvenser av vannføringsendringer. En sammenstilling av dagens kunnskap. Oslo: NVE, s. 88 – 99.

Saltveit, S.J. & Bremnes, T. (2005). Bunndyr. I: L'Abée-Lund, J.H. (red.). (2005). Miljøeffekter av små kraftverk. Erfaringer fra Telemark og Rogaland. *NVE Rapport*. 2005:3, s. 31 – 61.

Saltveit, S.J., Halleraker, J.H., Arnekleiv, J.V. & Harby, A. (2001). Field experiments on stranding in juvenile atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropowering. *Regulated Rivers*, 17: 609–622. doi:10.1002/rrr.652

Saltveit, S.J. & Wendelbo, R. (2012). Konsekvenser og avbøtende tiltak for ørret i forbindelse med utbygging av små kraftverk. *NVE Rapport Miljøbasert vannføring*. 2012:5, 40 s.

seNorge. Snø-, vær-, vann- og klimadata for Norge. www.senorge.no (lest: 06.05.2018).

Thue, L. (1996). Strøm og styring. Norsk kraftliberalisme i historisk perspektiv. Ad Notam Gyldendal AS 1996. 173 s.

Tvede, A.M. (2006). Vanntemperatur og isforhold. I: Saltveit, S.J. (red.). (2006). Økologiske forhold i vassdrag – konsekvenser av vannføringsendringer. En sammenstilling av dagens kunnskap. Oslo: NVE, s. 27 – 34.

Vannressursloven. (2000). *Lov om vassdrag og grunnvann av 24. november 2000 nr. 82*. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82#KAPITTEL_3 (lest 29.04.2018).

Vassdragsreguleringsloven. (1917). *Lov om regulering og kraftutbygging i vassdrag av 14. desember 1917 nr. 17*. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1917-12-14-17#KAPITTEL_1 (lest 29.04.2018).

Walseng, B. & Jerstad, K. (2011). Fossefall og småkraftverk. *NVE Rapport Miljøbasert vannføring*. 2011:3, 35 s.

11 Vedlegg

Vedlegg 1 Spørreskjema

Spørreskjema om start-stopp av små vannkraftverk

Informasjonen i denne spørreundersøkelsen (både del 1 og del 2) hentes inn av Norges vassdrags- og energidirektorat. Dataene skal bearbejdes og presenteres i en masteroppgave.

Del 1 Generelt. Besvarelsen skal gjelde for tidsrommet 01.05.2016 til 30.04.2017

Svarene på spørsmål 1 og 2 i denne delen vil ikke være tilgjengelig for andre enn Norges vassdrags- og energidirektorat, og vil ikke bli benyttet i masteroppgaven.

Svar på spørsmålene i del 1 så korrekt som mulig, er det noen spørsmål du ikke vet svar på lar du det stå ubesvart.

1. Kraftverkets navn
2. Hvem er konsesjonær? (svar med fulle navn)
3. Er den ansvarlige for kraftverket, den som drifter/styrer kraftverket, den samme som har daglig tilsyn med kraftverket?
Ja Nei
4. Hvor mange andre kraftverk drifter/styrer selskapet totalt?
5. Oppgi alder på nåværende installasjon
Turbinen: år
Generatoren:år
Styringssystemet:år
6. Spørsmålet skal kun besvares hvis kraftverket benytter et reguleringsvolum:
Hva er praktisert reguleringshøyde (høyden mellom «HRV» og «LRV») i inntaksbassenget?
..... meter
Hva er tilhørende vannvolum?
..... m³
7. Spørsmålet skal kun besvares av de som har krav (gitt i konsesjon eller selvpålagt) til minstevannføring:
Hvordan kjøres kraftverket når tilsiget i perioder er mindre enn summen av minste slukeevne og størrelsen på minstevannføringen? (kryss av – kun ett kryss)
Kraftverket stoppes
Aktiv bruk av inntaksbassenget/Redusert minstevannføring

Del 2 Årsaker til start – stopp. Besvarelsen skal gjelde for tidsrommet 01.05.2016 til 30.04.2017

Det presenteres her en liste over mulige årsaker til stans i kraftverket. Svar skal føres inn i svarrutene, der antall stans per årsak er foretrukket som svar, men prosent godtas også. Velg enten antall eller prosent i hele besvarelsen av del 2. Ved svar i prosent skal summen være 100 prosent når alle seks kategoriene er besvart. Les gjennom alle de alternative årsakene som er listet opp før du svarer, og svar så nøyaktig som mulig for den/de årsaken(e) som passer best. Om en stans skyldes flere faktorer velges den viktigste faktoren. En stans kan oppgis en gang. Besvarelsen skal gjelde stans i tidsrommet 01.05.2016 til 30.04.2017

1. Stans grunnet vannføring Gi svar i antall stans eller som prosentandel
- | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
| a) Stans grunnet naturlig variasjon i vannføring, inklusiv flom | Svar i antall stans: | Svar i prosentandel: |
| b) Stans fordi reguleringer/kraftverk oppstrøms påvirker vannføring nedstrøms | Svar i antall stans: | Svar i prosentandel: |
| c) Stans grunnet krav om minstevannføring | Svar i antall stans: | Svar i prosentandel: |
| d) Stans grunnet andre årsaker vannføring. | Svar i antall stans: | Svar i prosentandel: |
- Presiser:*

Når prosentandeler benyttes: Delsum 1: x %

2. Stans grunnet kraftlinjeproblemer

a) Stans grunnet nettoproblematikk/kraftlinjeproblematikk utenfor kraftverkets kontroll	Svar i antall stans:	Svar i prosentandel:
-----------------------------------------------------------------------------------------	----------------------	----------------------

Delsum 2: x %

3. Stans grunnet teknisk løsning vannvei

a) Stans grunnet uheldig eller feil utforming av inntak/utløp/vannvei	Svar i antall stans:	Svar i prosentandel:
-----------------------------------------------------------------------	----------------------	----------------------

Delsum 3: x %

4. Stans av driftstekniske grunner

a) Planlagt stans for rensk av inntaksrist	Svar i antall stans:	Svar i prosentandel:
--------------------------------------------	----------------------	----------------------

b) Ikke planlagt stans for rensk av inntaksrist	Svar i antall stans:	Svar i prosentandel:
c) Stans grunnet ising/avising inntaksrist	Svar i antall stans:	Svar i prosentandel:
d) Stans (start-stopp) grunnet kjøring vinterstid for å hindre isdannelse i vannveien eller utløp	Svar i antall stans:	Svar i prosentandel:
e) Stans grunnet tekniske feil ved turbin, ledeapparat, generator, transformator, vannstandsmåler eller annet	Svar i antall stans:	Svar i prosentandel:
f) Stans grunnet feil på signaloverføring, styringssystem f.eks. ved trådløs overføring av signaler	Svar i antall stans:	Svar i prosentandel:
g) Stans grunnet hindret adkomst til kraftverket på grunn av f.eks. mye snø e.l. (får ikke utført nødvendig arbeid)	Svar i antall stans:	Svar i prosentandel:
Stans grunnet andre driftstekniske årsaker . <i>Presiser:</i>	Svar i antall stans:	Svar i prosentandel

Delsum 4: x %

5. Stans av økonomiske årsaker

a) Stans fordi prisen på kraft er «for» lav	Svar i antall stans:	Svar i prosentandel:
b) Stans på grunn av andre økonomiske årsaker <i>Beskriv her:</i>	Svar i antall stans:	Svar i prosentandel:

Delsum 5: x %

6. Stans av andre årsaker/vet ikke årsaken

a) Stans av andre årsaker <i>Beskriv her:</i>	Svar i antall stans:	Svar i prosentandel:
b) Vet ikke årsaken	Svar i antall stans:	Svar i prosentandel:

Delsum 6: x %

Vedlegg 2 Statistiske tester

Test for hypotese om det er forskjellig antall stans mellom de som har svart (gruppe 1, 41 stk) og de som ikke har svart (gruppe 2, 215 stk) på spørreundersøkelsen. Totalt 256 stk. (Paired = FALSE, two-sided)

H0: Det er ingen forskjell i antall stans mellom gruppene

H1: Det er forskjell i antall stans mellom de to gruppene

Wilcoxon Rank-Sum test

H0: Median number of stops for group 1 = group 2

H1: Median number of stops for group 1 \neq group 2

```
wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: stans by group
w = 3619.5, p-value = 0.06986
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -1.099996e+01  2.917445e-05
sample estimates:
difference in location
      -4.999999
```

P-verdi større enn 0.05. Beholdet H0. Kan ikke si at det er forskjell mellom gruppene.

Test for hypotese om det er forskjell mellom antall stans for kraftverk som er del av selskap som kun drifter dette ene kraftverket («1») og kraftverk som er del av selskap som drifter fra to til 11 andre kraftverk («2»). (Paired = FALSE, two-sided). (totalt 27 kraftverk er med i denne analysen).

H0: Det er ingen forskjell i antall stans mellom gruppe 1 og 2.

H1: Det er forskjell i antall stans mellom gruppe 1 og 2.

Wilcoxon Rank-Sum test

H0: Median number of stops for group 1 = group 2

H1: Median number of stops for group 1 \neq group 2

```
wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  stans by Group
w = 94.5, p-value = 0.6501
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -10.00004  16.99997
sample estimates:
difference in location
           3.000054
```

P-verdi er større enn 0.05. Beholder H0. Kan ikke si at det er forskjell mellom gruppene.

Test for hypotese om det er forskjell mellom antall stans for kraftverk som er del av selskap som kun drifter dette ene kraftverket («1») og kraftverk som er del av selskap som drifter fra 12 til 29 andre kraftverk («3»). (Paired = FALSE, two-sided). (totalt 31 kraftverk er med i denne analysen)

H0: Det er ingen forskjell i antall stans mellom gruppe 1 og 3.

H1: Det er forskjell i antall stans mellom gruppe 1 og 3.

Wilcoxon Rank-Sum test

H0: median number of stops for group 1 = group 3

H1: Median number of stops for group 1 \neq group 3

```
wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  stans by Group
w = 133, p-value = 0.5915
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -9.000068 16.000046
sample estimates:
difference in location
          2.999906
```

P-verdi er større enn 0.05. Beholder H0. Kan ikke si at der er forskjell mellom gruppene.

Test for hypotese om det er forskjell mellom antall stans for kraftverk som er del av selskap som drifter fra to til 11 andre kraftverk («2») og kraftverk som er del av selskap som drifter fra 12 til 29 andre kraftverk («3»). (Paired = FALSE, two-sided). (totalt 24 kraftverk er med i denne analysen).

H0: Det er ingen forskjell i antall stans mellom gruppe 2 og 3.

H1: Det er forskjell i antall stans mellom gruppe 2 og 3.

Wilcoxon Rank-Sum test

H0: Median number of stops for group 2 = group 3

H1: Median number of stops for group 2 \neq group 3

```
wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: stans by Group
w = 69, p-value = 0.9766
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -11.99991  11.00004
sample estimates:
difference in location
 -7.668808e-05
```

P-verdi er større enn 0.05. Beholder H0. Kan ikke si at det er forskjell mellom gruppene.

Test for hypotese om det er forskjell mellom antall stans for de som har svart «Ja» og de som har svart «Nei» på spørsmålet: "Er den ansvarlige for kraftverket, den som drifter/styrer kraftverket, den samme som har daglig tilsyn med kraftverket?" (Med «outlier») (paired = FALSE, two-sided) (totalt 41 kraftverk er med i analysen).

H0: Det er ingen forskjell i antall stans for gruppen som har svart «Ja» og gruppen som har svart «Nei» på spørsmålet.

H1: Det er forskjell i antall stans for gruppen som har svart «Ja» og gruppen som har svart «Nei» på spørsmålet.

Wilcoxon Rank-sum test

H0: Median number of stops for group "Ja" = group "Nei"

H1: Median number of stops for group "Ja" \neq group "Nei"

```
wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: stans by ansvarlige
w = 84, p-value = 0.06038
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -2.699993e+01  2.411068e-05
sample estimates:
difference in location
          -12.35776
```

P-verdi større enn 0.05. Beholder H0. Kan ikke si at det er en forskjell mellom gruppene.

Test for hypotese om det er forskjell mellom antall stans for de som har svart «Ja» og de som har svart «Nei» på spørsmålet: "Er den ansvarlige for kraftverket, den som drifter/styrer kraftverket, den samme som har daglig tilsyn med kraftverket?" (Uten «outlier») (paired = FALSE, two-sided) (totalt 40 kraftverk er med i analysen).

H0: Det er ingen forskjell i antall stans for gruppen som har svart «Ja» og gruppen som har svart «Nei» på spørsmålet.

H1: Det er forskjell i antall stans for gruppen som har svart «Ja» og gruppen som har svart «Nei» på spørsmålet.

Wilcoxon Rank-sum test

H0: Median number of stops for group "Ja" = group "Nei"

H1: Median number of stops for group "Ja" \neq group "Nei"

```
wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: stans by ansvarlige
W = 84, p-value = 0.1404
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -19.000024  2.999978
sample estimates:
difference in location
 -8.000048
```

P-verdi større enn 0.05. Beholder H0. Kan ikke se at det er noen forskjell mellom gruppene.

Lineær regresjonsanalyse

Test for sammenheng mellom alder og antall stans. (uten «outlier»). (totalt 39 kraftverk).

```
Call:
lm(formula = stans ~ alder, data = alder_stans)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-27.911 -13.054  -3.932   4.477  79.048

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  40.850     9.736   4.196 0.000163 ***
alder        -1.980     1.239  -1.597 0.118697
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 21.29 on 37 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.06451, Adjusted R-squared:  0.03923
F-statistic: 2.551 on 1 and 37 DF,  p-value: 0.1187
```

Lineær regresjonsanalyse

Test for sammenheng mellom alder og antall stans (med «outlier») Totalt 40 kraftverk.

```
Call:
lm(formula = stans ~ alder, data = alder_stans_alle)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-49.95 -27.16 -11.34   1.62 432.41

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value
(Intercept)  12.660     34.232   0.37
alder         3.358     4.306   0.78
            Pr(>|t|)
(Intercept)  0.714
alder        0.440

Residual standard error: 75.56 on 38 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.01575, Adjusted R-squared:  -0.01015
F-statistic: 0.6081 on 1 and 38 DF,  p-value: 0.4403
```

Test for hypotese om det er forskjell mellom antall stans oppgitt i spørreundersøkelsen og antall stans registrert hos Statnett for de 41 samme kraftverkene («outlier» er med) (paired = TRUE, two-sided) (41 kraftverk er med i analysen)

H0: Det er ingen forskjell mellom antall stans rapportert i spørreundersøkelsen og antall stans registrert av Statnett.

H1: Det er forskjell mellom antall stans rapportert i spørreundersøkelsen og antall stans registrert av Statnett.

Wilcoxon Signed-Rank test

```
wilcoxon signed rank test with continuity correction

data:  stans by Group
V = 560.5, p-value = 0.04369
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 3.317601e-05 9.499954e+00
sample estimates:
(pseudo)median
 4.999962
```

P-verdi mindre enn 0.05. Forkaster H0. Kan ikke utelukke en forskjell mellom gruppene.

Test for hypotese om det er forskjell mellom antall stans oppgitt i spørreundersøkelsen og antall stans registrert hos Statnett for de 40 samme kraftverkene (uten «outlier») (paired = TRUE, two-sided) (40 kraftverk er med i analysen)

H0: Det er ingen forskjell mellom antall stans rapportert i spørreundersøkelsen og antall stans registrert av Statnett.

H1: Det er forskjell mellom antall stans rapportert i spørreundersøkelsen og antall stans registrert av Statnett.

Wilcoxon Signed-Rank test

```
wilcoxon signed rank test with continuity correction
data: stans by group
V = 520.5, p-value = 0.06953
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.5000021  8.9999529
sample estimates:
(pseudo)median
      4.49997
```

P-verdi større enn 0.05. Beholder H0. Kan ikke se at det er forskjell mellom gruppene.

Lineær regresjonsanalyse

Test for sammenheng mellom antall stans oppgitt i spørreundersøkelsen mot antall stans registrert av Statnett 41 kraftverk er med i analysen (med «outlier»).

```
Call:
lm(formula = spu ~ statnett, data = antall_stans_spu_vs_statnett_alle)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-100.65  -14.56   -5.35    6.07   363.35

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -4.8045     16.1183  -0.298  0.76723
statnett      1.7892      0.5249   3.409  0.00153 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 66 on 39 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2296, Adjusted R-squared:  0.2098
F-statistic: 11.62 on 1 and 39 DF,  p-value: 0.001528
```

P-verdi mindre enn 0.05.

Lineær regresjonsanalyse

Test for sammenheng mellom antall stans oppgitt i spørreundersøkelsen mot antall stans registrert av Statnett (uten «outlier»). 40 kraftverk er med i analysen.

```
Call:
lm(formula = spu ~ Statnett, data = antall_stans_spu_vs_statnett_min_500)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-34.161 -10.450  -1.397   6.605  69.162

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  13.8443     4.7226   2.932  0.00568 **
Statnett      0.5553     0.1622   3.423  0.00150 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 18.99 on 38 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2357, Adjusted R-squared:  0.2156
F-statistic: 11.72 on 1 and 38 DF,  p-value: 0.001495
```

P-verdi mindre enn 0.05.

Test for hypotese om det er forskjell i antall stans hos kraftverk med 2000 nedetimer eller mindre og mer enn 2000 nedetimer (2000 nedetimer er ca ¼ av ett år). (paired = FALSE, two-sided.) (256 kraftverk er med i analysen)

H0: Det er ingen forskjell mellom antall stans hos kraftverk med 2000 nedetimer eller mindre og antall stans hos kraftverk med mer enn 2000 nedetimer.

H1: Det er forskjell mellom antall stans hos kraftverk med 2000 nedetimer eller mindre og hos kraftverk med mer enn 2000 nedetimer.

Wilcoxon Rank-Sum test

H0: median number of stops for group 2000 hours or less = group more than 2000 hours.

H1: median number of stops for group 2000 hours or less \neq group more than 2000 hours.

```
wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: stans by nedetimer
w = 4610, p-value = 3.404e-08
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -17.000045 -8.999952
sample estimates:
difference in location
 -12.99997
```

P-verdi mindre enn 0.05. Forkaster H0. Kan ikke utelukke forskjell mellom gruppene.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway