

Testing av vinterforhold for modifiserte Coandainntak

Eirik Aal

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: desember 2017

Hovedveileder: Leif Lia, IBM

Medveileder: Knut Alfredsen, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk



MASTEROPPGÅVE HAUST 2017

Student *Eirik Aal*

**Tittel: TESTING AV VINTERFORHOLD FOR MODIFISERTE
COANDAINNTAK**

1 INNLEDNING

Det har sidan 2011 blitt bygd 15 inntak med Coanda-rister (kalla Coandainntak) i Noreg. Inntaksristene har vist seg å fungere svært godt under dei fleste driftsforhold. Det er svært utfordrande å løyse alle utfordringane i eit inntak med lite djup og kraftig tilstrøyming. Coandaristene er i seg sjølv inga ny oppfinning, men det er har blitt prøvd ut fleire modifikasjonar av inntakstypen dei siste åra; Grizzly-inntak med overbygg likt Tyrolerinntak, snorkel som trekk djupt vatn og tilslutt inntaksrister med større lysopning enn 1 mm. Basert på feltobservasjonar viser det seg at haust- og vinterforhold framleis kan vere utfordrande, spesielt i situasjonar med raske temperaturfall i periodar med stor vassføring, med eller utan modifikasjonar. Vinterproblem er på ingen måte unikt for Coandainntak, men prinsippet med Coandainntak er at dei skal klare seg heilt utan manuell reinsk i alle årstider, slik at kravet til sjølvreinking her er større enn på andre inntak.

2 BAKGRUNN

For at nemnte modifikasjonar skal kunne tilrådest brukt av alle aktørar, må dei verifiserast at uavhengige partar. NTNU Vassdragslaboratoriet har utført slike verifikasjonar for fleire inntakstyper med støtte ifrå NVE. Modifikasjonar nemnt i avsnitt 1 skal no verifiserast.

Snorkelen funnen opp av Hallbjørn Brekke i Tafjord vart allereie prøva ut vinteren 2016/2017, men effekten og den eventuelle gevinsten er ikkje dokumentert. Deformasjonar og endringar på snorkelen viser også at det er rom for endringar i utforminga.

Driftproblem rapportert frå inntak eig av NGK/Småkraft i Todalen i Hallingdal kan ha med både lysopning og type drivgods å gjere. Dette må undersøkast slik at rette tiltak kan diskuterast for inntaka.

3 HOVUDPUNKT I ARBEIDET

Arbeidet er eit sjølvstendig arbeid der kandidaten skal planlegge, førebu og gjennomføre det som er innhaldet i oppgåva. Arbeidet bygger på metodikk og resultat funnen i prosjekt- og masteroppgåver som vart gjennomført i 2016.

Oppgåva skal innehalde, men ikkje nødvendigvis vere avgrensna til spørsmåla som er lista opp her:

1. Gjennomgang av funksjonen til snorkel
2. Gjennomgang av funksjon til rister med ulik lysopning
3. Gjennomføre kapasitetstestar med snorkel i skalamodell i Vassdragslaboratoriet, med og utan kjøling av vatn/inntak
4. Innhenting av resultat frå måleutstyr på Dyrkorninntaket vinter 2016/2017
5. Samanlikning av observert og målt sarmengde (dersom mogeleg)
6. Utarbeide forslag til endring av utforming av snorkelen (dersom nødvendig)
7. Vurdering av funksjonen til ulike modifikasjonar for Coandarister
8. Rapportering

5 KONTAKTPERSONER

NTNU Leif Lia, professor (formell rettleiar)
 Knut Alfredsen, professor (medrettleiar)

Tafjord Kraft AS Per Kåre Skudal/Hallbjørn Brekke

NGK/Småkraft Jon Olav Volden

Diskusjon med og bidrag frå kollegaer og medarbeidarar på NTNU, SINTEF, Tafjord Kraft AS og eventuelt andre kraftselskap er tilrådd. Bidrag som nyttast i oppgåva skal alltid refererast til på rett vis.

5 RAPPORTFORMAT, REFERANSER OG ERKLÆRING

Oppgåva skal skrivast i eit tekstbehandlingsprogram slik at figurar, tabellar, foto osb. får god rapportkvalitet. Rapporten skal innehalde eit samandrag, ei innhaldsliste, ei litteraturliste og opplysningar om andre relevante referansar og kjelder. Oppgåva skal leverast i B5-format som .pdf i DAIM og trykkast i tre eksemplar som sendast direkte frå trykkeri til faglærer/institutt. Samandraget skal ikkje gå over meir enn 450 ord og skal vere eigna for elektronisk rapportering.

Masteroppgåva skal ikkje leverast seinare enn den leveringsfristen som kjem fram i DAIM (20 veker + offentlege fridagar vårsemesteret).

Trondheim, 22. september 2017

Leif Lia, professor

Sammendrag

Måleinstrumenter har vært utplassert ved Coandainntaket på Dyrkorn vintersesongen 2016/2017. Befaring dit ble utført i 18.08.2017 for å hente opp det siste måleutstyret og observasjoner fra befaringen er kommentert. Data fra en Shallow Water Ice Profiling Sonar, temperaturloggere, viltkamera og driftsdata er sammenlignet for å undersøke effekten av en snorkel, som er en spesiell modifikasjon for dette inntaket. Resultatene viser at snorkelen ikke fungerer som tenkt. Den tar ikke inn varmere vann enn i overflaten og kraftverket står når rista er tilfrosset men snorkelen burde levert nok vann.

Laboratorieforsøk er gjennomført med SWIPS og kunstispartikler av plast i et basseng for å ha en kontrollserie med kjente betingelser. Resultatene viser tydelige utslag på alle utslipp av plastpartikler og serien gir sammenligningsgrunnlag for feltobservasjonene.

Kapasiteten til en modell av Coandarist med snorkel ble forsøkt målt ved modellforsøk i både normal romtemperatur og kjølerom. Dette mislyktes fordi pumpene ga for lite vann, men modellens oppførsel i kuldegrader og med is i vannet ble observert.

Coandainntakene ved Tverråni og Nybuelvi i Todalen, Hallingdal har hatt problemer siden oppstart, med gjengroing sommerstid og gjenfrysing vinterstid. Befaring dit ble utført 16.08.2017. Observasjoner fra denne, resultater fra målinger, gjennomførte endringer og oppfølging gjennom høsten har blitt videre diskutert. Alger ble påvist i vannprøvene fra inntakene og en rist på det ene inntaket ble byttet til tyrolerrist. Denne viste seg å fungere både mot gjengroingen og under isen.

På bakgrunn av erfaringer fra Todalen, litteratur og samtaler med ristprodusenten DULAS er det forsøkt sagt noe om hvordan lysåpning påvirker kapasiteten til inntak med Coandarister.

Avslutningsvis i denne oppgaven blir forslag gitt til utbedringer for snorkel, før modifikasjoner av Coandarister generelt blir vurdert.

Abstract

The Coanda screen intake at Dyrkorn was subject to measurements through the winter of 2016/2017. The last instruments were picked up in August 2017, and observations from this field trip are commented in this paper. Data from a Shallow Water Ice Profiling Sonar, temperature loggers, wildlife cameras and hydropower production data have been compared. The purpose of the deployment was to investigate the effect of a special snorkel modification for this intake. The results in this thesis show that the snorkel does not work as planned. It does not take in warmer water than from the surface and thus fails to supply the power plant in the situations it is designed for.

A laboratory experiment was done to provide a control series with SWIPS, artificial ice made of plastic and a pool with known dimensions and volumes of water and plastic particles. The results show a nice simulation of ice or particles in the water, and a comparison between this series and the field observation is discussed.

Model experiments were done as an attempt to measure the capacity of a Coanda screen model with and without snorkel. This was done in normal room temperature and in a cold laboratory. This partly failed, due to the pumps not supplying enough water, but the performance of the model in different temperatures were observed.

The Coanda screen intakes at Tverråni and Nybuelvi in Todalen, Hallingdal have had problems since startup, with blockage from vegetation or algae in summer as well as ice problems in winter. A field trip was made in august 2017, and observations from the trip are discussed in this paper. Results of an analysis of two water samples from the field trip show that algae and other vegetation are the source of the problems in summer. One screen at Tverråni was changed to a tyroler type screen in September, and this proved successful against both algae and ice problems.

Based on the experiences from Todalen, literature and conversation with the Coanda screen producer DULAS, the effects on capacity from the opening between bars in the screens are discussed.

Finally, improvements on the snorkel are proposed and modifications for Coanda screens are discussed.

Forord

Å jobbe med denne masteroppgaven har vært både interessant, givende og til tider krevende. Ettersom den har bestått av å jobbe med flere separate tema framfor ett har den bydd på god variasjon, både i innhold og arbeidsmåte.

En stor takk går til mine to veiledere for god hjelp underveis, mye tålmodighet, stor interesse i arbeidet mitt, gode diskusjoner og svar på mine spørsmål. De har utfylt hverandre, der hovedveileder Leif Lia har gitt særlig veiledning om Coandainntak, hydraulikk og om oppgaven generelt, mens medveileder Knut Alfredsen har gitt god veiledning angående måleinstrumenter, historikk om tidligere utplassering på Dyrkorn og deltok dessuten på laboratorieforsøk med SWIPS.

Takk også til Øystein Rafoss og Svein Halveg ved NGKU, Einar Hovin ved NGK drift, Dylan Roberts fra Dulas, Ståle Haugen hos Brødrene Dahl og driftspersonell for en god og interessant befarings til inntakene ved Nybuelvi og Tverråni, men også for gode statusoppdateringer gjennom høsten. Ekstra takk til Dylan for hjelp til økt kunnskap om Coandarister.

Andreas Huss hos Tafjord Kraft fortjener takk for godt og effektivt samarbeid med opphenting av måleutstyr ved inntaket på Dyrkorn, og takk også til Håvard Linge Alstadsæter ved Tafjord Kraft for hjelp med driftsdata fra Dyrkorn kraftverk.

Mine kolleger på Verkstedloftet har gitt mye glede og motivasjon underveis, med sosialt samvær og avkobling i nødvendige pauser, gode diskusjoner og spørsmål om oppgaven. Takk særlig til Rodrigo Suarez for flere gode litteraturtips og til tidligere masterstudent Niklas Kovanen Sæten for hjelp med SWIPS.

Laboratoriearbeidet hadde ikke vært det samme uten Geir Tesaker, som med sin dyktighet og snarrådighet sørget for både egnet sted for kjøleromsforsøk, tilgang til bruk av basseng for SWIPS-forsøk, avverging av mulig oversvømmelse og raske og gode reparasjoner.

Trondheim, 23.12.2017

Eirik Aal

Innhold

Sammendrag	iii
Abstract	v
Forord	vii
1. Innledning	1
2. Teori	3
2.1. Coandarister og lysåpning	3
2.2. Inntakene i Todalen, Hallingdal.	6
2.3. Dyrkorn og vinterdrift	6
2.4. Snorkelen ved Dyrkorn.....	7
2.5. SWIPS og SARR	8
3. Metode	11
3.1. Feltmåling ved Dyrkorn vinteren 2016/2017	11
3.2. Instrumentering vinteren 2016/2017	12
3.3. Databehandling av feltdata	12
3.4. Befaring til Dyrkorn 18. august 2017	13
3.5. Laboratorieforsøk med snorkel.....	14
3.6. Laboratorieforsøk med SWIPS-kalibrering.....	16
3.6.1. Forberedelser:.....	16
3.6.2. Oppsett og instrumentering	16
3.7. Befaring til Hallingdal 16.08.17	17
4. Resultater	21
4.1. Fryseepisoder Dyrkorn vinter 2016 / 2017	21
4.1.1. Første fryseepisode (21.11.17-22.11.17).....	23
4.1.2. Rare SWIPS-målinger 25.11.2016	24
4.1.3. Fryseepisode 03.01.17 – 06.01.17	25
4.1.4. Fryseepisode 13.01.17 – 17.01.17.....	26
4.1.5. Fryseepisode 06.02.17 – 09.02.17	27
4.1.6. Fryseepisode 23.02.17 – 25.02.17	28
4.2. Laboratorieforsøk med snorkel.....	29
4.3. Laboratorieforsøk med SWIPS.....	32
4.4. Resultater fra Hallingdal.....	35
5. Diskusjon	37
5.1. Feltobservasjoner ved Dyrkorn	37

5.1.1.	Generelt	37
5.1.2.	Første fryseepisode 21.11 – 22.11.2016.....	38
5.1.3.	Fryseepisode 03.01.17 – 06.01.17.....	38
5.1.4.	Fryseepisode 13.01.17 – 17.01.17.....	38
5.1.5.	Fryseepisode 06.02.17 – 09.02.17.....	38
5.1.6.	Fryseepisode 23.02.17 – 25.02.17.....	38
5.2.	Laboratorieforsøk med SWIPS.....	39
5.3.	Lab snorkel	39
5.4.	Probleminntakene Tverråni og Nybuelvi	40
5.5.	Forslag til endring av snorkelen	40
5.6.	Vurdering av funksjon til modifikasjoner for Coandarister	41
6.	Konklusjoner og videre arbeid.....	43
7.	Litteraturliste.....	47
	Vedlegg 1 – større diagrammer	49

Tabell 1	Romtemperatur ved kjøleromsforsøk	30
Tabell 2	Observasjoner ved SWIPS-forsøk i laboratorium	33

Figur 1	Coandaeffekt på skje	3
Figur 2	Inntaket ved Dyrkorn sett nedstrøms	7
Figur 3	Snorkelen i drift sett fra lukehuset.....	8
Figur 4	Dyrkorn inntak sett nedstrøms under nedtapping.....	14
Figur 5	Litermål, plastkar og fiskehåv foran bassenget.....	17
Figur 6	Oversiktsbilde av inntaket ved Tverråni.....	18
Figur 7	nærbilde av belegget på rista.....	19
Figur 8	oversiktsbilde av inntaket ved Nybuelvi.....	19
Figur 9	Åmelignende vesen ved Nybuelvi	20
Figur 10	Temperaturer mellom -10°C og 10 °C.....	22
Figur 11	Temperaturplott med fokus på vanntemperatur.....	22
Figur 12	Lufttrykk i kPa, målt ved lukehus	22
Figur 13	Vannføring i elv, gjennom kraftverk og totalt	22
Figur 14	Vannføring, med fokus på driftsvannføring	23
Figur 15	Produksjon ved Dyrkorn kraftverk vinteren 2016/2017	23
Figur 16	Utslag på SWIPS ved første fryseepisode.....	24
Figur 17	Merkelige verdier og deretter ingen målinger med SWIPS.....	24
Figur 18	Flom ved inntaket 25.11.16.....	25
Figur 19	Isbelagt rist 05.01.17	26
Figur 20	Snødekt rist 15.01.2017	27
Figur 21	Isdekt rist 07.02 kl. 13:00 og 13.02. kl. 13:00.....	27
Figur 22	Variierende isdekke 07.02 kl. 13:00 og 13.02. kl. 13:00.....	28
Figur 23	Sarr og is på rist under fryseepisode 25.02.17 og etterpå, 26.02.17	28

Figur 24 Vann over og gjennom snorkelmodell	29
Figur 25 Vanntemperatur ved kjøleromsforsøk	30
Figur 26 Vann gjennom rist og is i magasin ved kjøleromsforsøk	31
Figur 27 Øverste spalter delvis igjenfrosset	31
Figur 28 Oppsett i IPS5LinkE ved første SWIPS-forsøk	32
Figur 29 Oppsett i IPS5LinkE ved andre SWIPS-forsøk	33
Figur 30 Plott fra ProfileView over andre SWIPS-forsøk	34
Figur 31 Første halvdel av andre SWIPS-forsøk	34
Figur 32 Andre halvdel av andre SWIPS-forsøk	35
Figur 33 Ny rist ved Tverråni	36

1. Innledning

Coandainntak er forholdsvis nytt i Norge. Det første ble bygget på Dyrkorn og satt i drift i 2011, og mellom da og 2015 er 15 blitt bygd. Inntak for småkraftverk møter en del utfordringer, da dette stort sett er inntak fra elver og bekker med lite dyp og kraftig tilstrømning. Klassiske utfordringer er derfor blant annet is, drivgods, sedimenter og luftmedrivning. Å løse alle disse problemene kan være krevende, men Coandaristene har vist seg å fungere svært godt ved de fleste driftsforhold.

Forskjellige modifikasjoner eksisterer, deriblant med riståpninger på 0.5 mm, 1 mm eller 2 mm, såkalte Grizzlyinntak med overbygg lignende som på Tyrolerinntak og til og med en variant med snorkel som trekker inn vann dypere enn fra overflaten.

Selv om det jevnt over har vært gode erfaringer og Coandaristene er mer eller mindre selvrensende og vedlikeholdsfrie, har feltobservasjoner vist at høst- og vinterdrift fortsatt har noen utfordringer. Dette gjelder særlig i perioder med raske temperaturfall og stor vannføring. Vinterproblemer er vanlig på mange typer inntak, men ettersom Coandaristene i prinsippet skal klare seg helt uten manuell rensk til alle årstider blir kravet til selvrensning større enn på andre inntak.

For at modifikasjoner skal kunne anbefales brukt for alle aktører, må de først verifiseres av uavhengige parter. Vassdragslaboratoriet ved NTNU har tidligere utført slike verifikasjoner for flere inntakstyper med støtte fra NVE, og det er behov for verifisering av de nevnte modifikasjonene av Coandainntak.

Varianten med snorkel ble oppfunnet av Hallbjørn brekke i Tafjord Kraft og utprøvd allerede vinteren 2016/2017. Den teoretiske funksjonen til denne er alt beskrevet, men effekten og den eventuelle gevinsten er ikke dokumentert. Deformasjoner på snorkelen viser også at det er rom for endringer i utforming.

Selv om en rapport viser at eierne er svært fornøyde med sine inntak (Midttun, 2016), har to av inntakene (som da rapporten ble skrevet fortsatt var under bygging) hatt problemer helt siden driften startet i 2016. Dette gjelder inntakene ved Tverråni og Nybuelvi i Todalen, Hallingdal. Disse er eid av NGK/Småkraft og problemene har tilsynelatende med både lysåpning og type drivgods å gjøre. Problemene ved disse må undersøkes nærmere slik at gode tiltak kan diskuteres for disse inntakene.

2. Teori

2.1. Coandarister og lysåpning

Kraftverksinntak for småkraft i bekk eller elv møter en del utfordringer man ikke opplever på samme måte med dykkede inntak i et større magasin. Først og fremst er vannstanden vanligvis vesentlig lavere, og både tilgjengelig dyp over og under inntaket er derfor også mindre enn for et konvensjonelt inntak i magasin. Dette gjør at problemer som luftmedrivning, sedimenter, is og drivgods må tas stilling til for selv små kraftverk med inntak i bekk eller elv. Disse problemstillingene antas kjent og vil ikke bli videre utdypet her.

En type inntak som løser mange av disse problemene er Coandainntak. Dette er en type overfallsinntak, der vann ledes over en terskel og en akselerasjonssone, før det tas inn gjennom Coandarister til en samlekanal i selve damkonstruksjonen. Derfra kan vannet fraktes videre gjennom rør til kraftstasjonen.

Det spesielle med Coandarister er at de er spesialdesignet til å utnytte Coandaeffekten. Kort sagt er dette fluiders evne til å tiltrekkes og bøyes av nær konvekse overflater. En enkel måte å illustrere Coandaeffekten på er ved å la en skje henge med skaftet mellom to fingre eller i en snor og med ryggen på bladet inn mot rennende springvann. Ved å gradvis flytte skjeen nærmere vannstrålen vil strålen bøyes av langs skjeen når den kommer nær nok. Skjeen på sin side trekkes mer inn i vannstrålen som følge av dette. Dette er vist i Figur 1.



Figur 1 Coandaeffekt på skje

Den samme effekten utnytter man på Coandarister ved å la ristene ha svært tynne grindstaver og små lysåpninger, der stavene har horisontal lengderetning istedenfor vertikal, og hver stav er vinklet for å best lede nederste sjikt av vannmassen inn i inntaket. Slik «skreller» man av vann for hver grindstav til enten alt vannet er tatt inn eller til kapasiteten er nådd og resten går til overløp. Det finnes også rette rister, der stavene ikke har vinkelendringer på samme måte som nevnt over, men virkemåten er likevel den samme. Hvordan et Coandainntak ser ut vil vises på en rekke bilder senere i oppgaven, og blir derfor ikke vist her.

Inntak med Coandarister har etter hvert blitt bygd mange steder i verden og med til dels ganske ulike klimatiske og hydrauliske forhold. Blant annet er det bygd en rekke inntak i USA (særlig i California), Canada, Sveits, New Zealand og Wales, men også her hjemme. I

Norge alene har det blitt bygd 15 inntak med Coandarist fra Norges første Coandainntak ble bygd i 2011 og fram til 2016. Dette ifølge en rapport nevnt i en presentasjon av (Midttun, 2016). Selve rapporten ble ikke funnet i arbeidet med denne oppgaven, selv om den også eksisterer som Word-dokument, og derfor er presentasjonen brukt som kilde istedenfor.

Størrelsen og kapasiteten på Coandainntak varierer veldig fra sted til sted. Blant annet nevner (Wahl, 2003) at et inntak fra 1982 ved Prather Ranch i California ble bygd for en slukeevne på $4 \text{ ft}^3/\text{s} \approx 0.08 \text{ m}^3/\text{s}$, mens et annet ved Forks of Butte i samme stat er oppgitt å sluke $210 \text{ ft}^3/\text{s} \approx 6 \text{ m}^3/\text{s}$. Til sammenligning har Coandainntaket ved Dyrkorn på Sunnmøre totalt en kapasitet på $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Et eksempel på et vesentlig større anlegg der Coandarister er installert, er Montrose Creek i British Columbia, Canada. Med et over 60 m langt inntak og dimensjonert for en produksjonsvannføring på $22.3 \text{ m}^3/\text{s}$ er dette foreløpig verdens største Coandainntak.

Det er gjort en del forskning på hvordan Coandarister fungerer under ulike forhold, samt på Coandaristers kapasitet. Mye arbeid er blant annet gjort i regi av USBR (The Bureau of Reclamation):

(Wahl, 2003) gir en detaljert guide for design og dimensjonering av Coandarister, basert på laboratorieeksperimenter. Samme rapport gir også en innføring i bruk av programvaren COANDA, som er laget nettopp for design av Coandarister.

Dette er basert på blant annet (Wahl, 2001) som går i detalj om numerisk modellering og Coandaristers hydrauliske ytelse, samt (Wahl, Einhellig og Wahl, 2000), som tok for seg hydromeknikken bak strømmingen gjennom ei Coandarist.

(Wahl, 2013) kommer fram til en ny ligning for bedre beregning av kapasiteten, ved å finne et nytt uttrykk for en kalibrasjonskoeffisient C_{cv} . Denne er noe vanskeligere å håndregne på enn den gamle, men skal være mer korrekt også for nedre del av ristene, og derfor kunne brukes til å designe rister med høyere kapasitet. Endringen skal være implementert i nyeste utgave av COANDA-programvaren og vil kunne være til nytte for produsenter av Coandarister.

(Nøvik, Lia og Opaker, 2014) gjorde rede for Coandarister i kalde klima, delvis basert på arbeidet til (Opaker, 2012) om vinterdrift av Coandainntak. Dette fokuserte særlig på hvordan sarr virker inn på inntakets evne til å operere.

Kapasiteten til et Coandainntak kan beregnes for eksempel ved å bruke COANDA-programvaren nevnt over, eller ved hjelp av metodikk beskrevet i for eksempel (Wahl, 2003) eller (Wahl, 2013). Det er også vanlig av produsenter å oppgi kapasiteten til en rist per lengdeenhet.

For eksempel oppgis risttypen brukt på Dyrkorn til å ha en kapasitet på 140 L/s/m rist. Med en overløpslengde på 15 meter blir inntakskapasiteten $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$. Det er for øvrig mer enn kraftverkets slukeevne, som er på $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Opaker, 2012).

(Sæten, 2016) utførte en kapasitetsberegning for Dyrkorns Coandarist med snorkel, for å se på om denne teoretisk kunne ta inn nok vann til å drive kraftverket også ved tilfeller der resten av rista er fryst til. Det ble vist at snorkelen på Dyrkorn har teoretisk kapasitet på ca. 120 L/s .

I praksis vil snorkelen gi mindre vann, ettersom tverrsnittet ikke blir fylt selv ved vannstand over taket på snorkelen. Dette er sett i laboratorieforsøk (Sæten, 2016), men også i senere

utført laboratoriearbeid i forbindelse med denne masteroppgaven. Dessuten har dagens snorkel på Dyrkorn deformasjoner som reduserer inntakskapasiteten ytterligere.

Når det gjelder lysåpning, viste (Wahl, 2003) at den er kun en av mange parametere som virker inn på kapasiteten til en Coandarist. Resultatene viser at kapasiteten generelt øker når lysåpningen er større, og at dette skjer i større grad når helningen på rista er flat enn når den er bratt. Det er viktig at grindstavene er vinklet for å få den avskjærende effekten. Ellers vil det eneste som avledes være på grunn av gravitasjon. Grindstavenes bredde har logisk nok motsatt effekt av lysåpningene. Når grindstavenes bredde øker, reduseres kapasiteten. Dette er mer sensitivt når det forbiledes vann (såkalt bypass flow).

Forsøk med Coandarister og ulike lysåpninger har tidligere blitt utført ved vassdragslaboratoriet på NTNU i en del av BEDUIN-prosjektet. I disse forsøkene ble det testet tre ulike Coandarister fra ristprodusenten Dulas, og kapasiteten til disse ble målt, samt hvordan de oppførte seg ved ulike mengder sand og gress. Resultatene viste at kapasiteten var sensitiv for tetting av sedimenter med små kornstørrelser og at gress kan tette risten men at gresset lett kan spyles vekk av seg selv. Coandaristene ble i denne rapporten ikke anbefalt ved sedimentproblemer, men ble kalt godt egnet mot drivgods som løv og gress (Huber, 2005).

Det ble nevnt i samtaler med Dylan Roberts hos ristleverandøren Dulas under befaringsdagen 16.08.17 og senere gjennom epostkorrespondanse 13.11.17 og 14.11.17 at det finnes lite tilgjengelig informasjon om Coandarister utenom den nevnte forskningen ved USBR og NTNU. Dulas sine egne rister stammer alle opprinnelig fra den originale Type A-risten fra produsenten Aquadyne. Denne risten var den samme som ble brukt som utgangspunkt ved USBR i utviklingen av deres COANDA-programvare.

De fleste av Dulas egne utviklinger av ristvarianter videre har oppstått som et resultat av å måtte løse nye problemer der det har oppstått. Der modifikasjonene har fungert har disse blitt tatt med som mulige løsninger ved nye prosjekter. Dette gjelder blant annet høykapasitetsristene i halv høyde (type C) og med 2 mm lysåpning. Erfaringene viser at det også kan være problemer med høykapasitetsristene, ved at de ikke selvrensnes like godt og at de åpenbart slipper gjennom mer drivgods. De er likevel bedre på dette enn tyrolerristene, som sluker mye større drivgods enn Coandaristene.

Dulas erfaringer fra Norge er at ristene med 1.5 mm lysåpning er mye bedre på selvrensing enn de med 2 mm lysåpning. Roberts nevner videre noe også (Wahl, 2003) antyder, nemlig at forholdet mellom lysåpningen og stavbredden er viktig. Dersom åpningen blir for stor fester ikke vannet seg like effektivt til toppen av grindstavene, og den skjærende effekten reduseres. Dersom lysåpningen blir for liten gjør geometrien til stavene det lettere for smått drivgods å sette seg fast. Dette reduserer både kapasiteten og selvrensingsevnen. Et godt design klarer å balansere dette. For å gjøre det enda litt vanskeligere er hver elv forskjellig. Dermed kan noe som fungerer utmerket i en elv fungere dårlig i nærmeste nedbørsfelt. Slikt kan bli oppdaget først etter produksjonsstart og må ordnes løpende i etterkant, men dette er også noe av drivkraften bak nye løsninger.

2.2. Inntakene i Todalen, Hallingdal.

Som rapporten nevnt av (Midttun, 2016) viser, er det stort sett gode erfaringer med Coandainntakene som er bygd i Norge. Eierne har rapportert lite problemer og krav til vedlikehold og sier selv de er fornøyde eller svært fornøyde med denne typen inntak.

To inntak som nevnes i denne rapporten er inntakene ved Nybuelvi og Tverråni i Todalen, Hallingdal. Disse var ikke ferdigstilt da rapporten kom ut, og ved disse er situasjonen en helt annen enn man hadde forventet.

Siden driften ble startet sommeren 2016 har det her vært problemer med redusert kapasitet som følge av gjentetting. Til tider har behovet for rensk vært så stort at personell har måttet koste rista flere ganger daglig. Ifølge driftspersonellet selv ble det erfart at ristene tettet seg oftere ved høyere lufttemperatur.

I tillegg har det ved disse to inntakene vært store problemer med is vinterstid. I motsetning til det man har erfart andre steder, der ristene åpner seg selv etter kort tid, har man i lengre perioder hatt tykke islag på rista og i magasinet.

Ettersom erfaringer ved disse to inntakene avviker fra det man har sett andre steder, er det av stor interesse å finne ut hva problemene skyldes, og ikke minst hvordan de kan løses. Det ble derfor i august 2017 gjennomført en feltbefaring der representanter fra ristprodusent, leverandør, utbygger, eiere, driftspersonell og NTNU deltok. Detaljer fra denne befaringsen og tilhørende observasjoner og resultater vil bli diskutert senere i denne oppgaven.

2.3. Dyrkorn og vinterdrift

Norges første Coandainntak ble satt i drift ved Dyrkorn på Sunnmøre i 2011. Selv om det internasjonalt tidligere var bygd en rekke lignende inntak, var det knyttet noe spenning til hvordan dette ville fungere ved norske forhold. Særlig var det av interesse å finne ut hvordan dette fungerte vinterstid, og allerede i 2012 ble det bekreftet at inntaket fungerte tilfredsstillende vinterstid (Opaker, 2012). Selv om det til tider kunne fryse på rista, ble det observert at isen hadde en tendens til å gå av seg selv, gjerne under et døgn etter tilfrysing.

Det ble også foreslått tiltak til forbedringer ved inntaket som kunne redusere nedetiden i drift ytterligere vinterstid. Observasjonene resulterte også i en publikasjon om Coandaristers funksjon i kaldt klima, der særlig tilfrysing av ristene på grunn av sarr ble beskrevet. Hovedkonklusjonen var at ristene fungerte godt, selv i perioder med tykt isdekke over rista (Nøvik, Lia og Opaker, 2014).

Dyrkorn kraftverk ligger ved bygda Dyrkorn mellom Stordal og Sjøholt på Sunnmøre. Det har en maksimal ytelse på 2.8 MW, en slukeevne på 1.5 m³/s og en brutto fallhøyde på 220.8 m fra det nye inntaket. Inntaket er plassert på en betongdam med en inntakslengde på 15 m, en tappeluke på høyre side og et lukehus på venstre bredd. Med en inntakskapasitet på 2.1 m³/s, overstiger dette kraftverkets slukeevne, og rista tar dermed utnyttet kapasitet selv ved full drift. Imidlertid er minstevannføringskravet ved Dyrkorn 50 L/s, og dette vannet tas også inn gjennom inntaket før det forbislippes via et utløpsrør fra lukehuset.



Figur 2 Inntaket ved Dyrkorn sett nedstrøms

Figur 2 viser coandainntaket ved Dyrkorn sett direkte nedstrøms. Både elva oppstrøms, magasinet, hull i dammen fra tappeluken, snorkelen, rista, lukehuset over inntakskammeret og utløpsrør til minstevannføring er synlig på bildet.

2.4. Snorkelen ved Dyrkorn

Blant forslagene som ble nevnt av (Opaker, 2012) er en snorkel. Denne ble oppfunnet av Hallbjørn Brekke ved Tafjord Kraft, og ble spesialbygd på stedet ved Dyrkorn. Hovedfunksjonen til denne er at den skal ta inn vann fra magasinet selv når det ligger is på rista. I tillegg fungerer den som tak slik at snøfall ikke kan legge seg og bidra til mer is. Det er også mulig snorkelen har en liten isolerende effekt på vannmassene som tas inn, men temperaturforskjellen denne bidrar med er ikke veldig stor.

Snorkelen ble bygget på høyre side av inntaket, nært tappeluken. Det eksisterer ikke nøyaktige tegninger av snorkelen, men lengden er målt til 1.30 m, og den tar inn vann fra 1.8 meters dyp. Figur 3 viser et nærbilde av snorkelen i drift sett fra lukehuset. Bildet er et utsnitt fra et av de første bildene tatt med viltkamera i november 2016, og dessverre sank observasjonsvinkelen til kameraet noe mot høyre like etter dette. De fleste av bildene fra dette viltkameraet viser derfor ikke utløpet av snorkelen.



Figur 3 Snorkelen i drift sett fra lukehuset

Det ble i 2016 utført laboratorieundersøkelser med modell av snorkelen for å se nærmere på dens funksjon. I tillegg ble det utplassert en Shallow Water Ice Profiling Sonar (heretter kalt SWIPS) for å undersøke om sarr i vannet kunne strømme inn i snorkelen og forårsake tilfrysing. Det ble vist at snorkelen kunne ha en positiv effekt i form av at den muligens bidrar til raskere dannelse av isdekke i resten av magasinet, men det ble ikke avdekket om den tok inn sarrfritt vann (Sæten, 2016).

2.5. SWIPS og SARR

Sarr som fenomen er tidligere grundig beskrevet av blant andre (Carstens, 1966) og (Daly, 1994). Kort forklart er sarr en type ispartikler som ofte finnes flytende i overflaten eller suspendert i vannmassene. Ved underkjøling, altså vanntemperaturer under frysepunktet, kan sarrpartiklene bli aktive og kleber seg lett fast i objekter og hverandre.

Sarr kan derfor i tillegg til annen isgang bidra til gjenfrysing på inntak i elv. En studie ved et vannforsyningsinntak i St. Lawrence River, Quebec, Canada viste hvordan det i løpet av en vinter ble observert 100 episoder med aktivt sarr og bunnis, hvorav dette i 35 tilfeller ledet til gjenfrysing/isblokkering på inntaket (Richard og Morse, 2008).

Måling av sarr er opp gjennom årene forsøkt gjort på en rekke ulike måter, deriblant måling av endringer i elektrisk konduktivitet (Tsang, 1985), elektromagnetisk puls (Yankielun og Gagnon, 1999) og undervannsfotografi (Daly og Colbeck, 1986).

(Ghobrial, Loewen og Hicks, 2012) viste hvordan man i laboratorium kunne bruke sonar til å måle konsentrasjonen av suspendert sarr i vannmassen. Dette ble gjort med to ulike varianter av SWIPS. Ettersom man i laboratorium jobber under kjente forhold, gir dette mulighet for å kalibrere sensorer og kontrollmåle mengder og størrelser ved hjelp av andre verktøy.

Det er også blitt vist at SWIPS kan brukes til å registrere drivende sarr i overflaten, så vel som suspendert i vannmassen, blant annet i Peace River, Alberta (Jasek *et al.*, 2005) og (Marko og Jasek, 2010a, 2010b, 2010c). (Ghobrial, Loewen og Hicks, 2013) viste hvordan SWIPS også kunne brukes til å måle overflateis ved fryseepisoder i elv.

Selv om resultatene av feltmålingene med SWIPS på Dyrkorn av (Sæten, 2016) ikke viste hvordan sarr eller is i vannmassen og overflaten påvirker snorkelens funksjon eller drift av kraftverket, er det trolig at dette lar seg gjøre, og dette vil bli forsøkt senere i denne oppgaven.

3. Metode

3.1. Feltmåling ved Dyrkorn vinteren 2016/2017

(Opaker, 2012) viste blant annet hvordan en snorkel på Dyrkorn i teorien kunne være en mulig måte å lede vann inn i inntaket selv ved vinterforhold. Etter at en snorkel faktisk ble bygget på Dyrkorn, viste (Sæten, 2016) gjennom modellforsøk blant annet hvordan snorkelen overtoppes før den går full. I tillegg ble det i forbindelse med dette satt ut måleinstrumenter på Dyrkorn i november 2016.

Hensikten med instrumenteringen var å samle inn data for vintersesongen 2016/2017, og det var tenkt at instrumentene fra disse skulle hentes opp sommeren 2016. Dataseriene fra disse målingene var tiltenkt videre arbeid i for eksempel en senere prosjekt- og/eller masteroppgave.

I denne oppgaven er data fra de forskjellige sensorene sammenlignet og dermed perioder med kuldegrader i vannet (underkjølt vann) observert. Forhold for sarr eller is er i disse periodene forsøkt beskrevet og sammenlignet med driftsdata. Samlet er dette brukt som grunnlag for bedre å vurdere snorkelens effekt ved vinterdrift.

Behandling av feltdata tok mye lenger tid enn først planlagt. Dette skyldes blant annet en stor mengde ny programvare å sette seg inn i og at brukerveiledning til disse delvis er fraværende eller mangelfull. Tidligere masterstudent Niklas Kovanen Sæten har imidlertid skrevet noe supplerende informasjon her, og har i tillegg vært behjelpelig med å svare på tekniske spørsmål. Særlig data fra SWIPS-sensoren ga mye problemer, men det lot seg til slutt gjøre å plote lesbare data for deler av sesongen.

Data fra alle sensorene unntatt SWIPS-sensoren ble samlet i et felles regneark og synkronisert på tid, ettersom det ble brukt ulike måleintervaller.

Ved å sammenligne data fra de ulike sensorene er 13 fryseepisoder observert i løpet av sesongen. Dette er oppnådd ved å se på perioder der det har vært registrert kuldegrader i vannet og sjekke om det er synlig sarr eller is på bilder fra viltkameraene for samme periode. Deretter er det sett på driftsdata for de aktuelle tidspunktene.

I utgangspunktet var det tenkt å sammenligne data fra temperatursensorene i de periodene det ble målt kuldegrader av sensoren like under overflata, for så å se på profilplott fra SWIPS-enheten. Dette burde kunne gi en pekepinn på om partikler i vannsøylen registrert av SWIPS-enheten er sarr eller ikke. Dessverre gir SWIPS-enheten ikke lesbare data for hele vinteren, men kun i enkelte perioder. Temperaturdata, driftsdata og bilder fra viltkamera har derfor vært hovedkilder til informasjon fra måleperioden.

Instrumenteringen er nærmere beskrevet i kapittel 3.2 og nødvendig programvare blir beskrevet i kapittel 3.3 Resultater fra feltobservasjonene finnes i kapittel 4.1 og vil i kapittel 5.1 bli diskutert og sammenlignet med blant annet driftsdata for samme periode.

3.2. Instrumentering vinteren 2016/2017

Lufttemperatur og lufttrykk ble målt med en HOBO U20-enhet, montert på veggen til lukehuset ved inntaket. Temperaturmålingene fra denne er oppgitt å ha en oppløsning på 0.10 °C ved 25 °C og en nøyaktighet på ± 0.44 °C mellom 0°C og 50 °C. Trykksensoren er oppgitt å ha en oppløsning på 0.02 kPa og en nøyaktighet på $\pm 0.3\%$, med 0.62 kPa som maksimal feil (Onset, 2016).

Vanntemperatur ble også logget med en SBE56 temperaturlogger, plassert på dammen omtrent 20 cm under overflaten. Denne har ifølge produsenten en oppløsning på 0.0001°C og en nøyaktighet på ± 0.002 °C mellom -5°C og +35 °C (Sea-Bird, 2014).

SWIPS-enheten var montert på en stålramme med bein, sammen med enda en SBE56 temperaturlogger på et av beina. Ramma ble plassert ut noen meter oppstrøms dammen, og beina skrudd ned i grusen. Ved utplassering var det store mengder sedimenter i magasinet, og det ble plassert ut store steiner oppstrøms sensoren for å beskytte mot utvasking (Sæten, 2016). SWIPSen har innebygd trykksensor, temperatursensor, helningssensor (tilt), intern lagring med minnekort, mulighet for batteridrift eller ekstern strømforsyning og en oppoverpekende sonar med to mulige operasjonsfrekvenser. Sonaren er oppgitt å ha en presisjon på ± 0.05 for ismålinger. Helningssensoren har en nøyaktighet på 0.01 °, mens den innebygde temperatursensoren har en oppløsning på 0.05°C og en nøyaktighet på ± 0.1 °C.

Et webkamera på lukehuset har mulighet til å overføre bilder i sanntid, men ettersom det er mest interessant å kunne se historiske data opp mot bilder, ble to viltkamera montert opp for sesongen og satt opp til å ta bilder hver time med dagslys. Et Moultrie-kamera ble brukt til å ta bilde av selve inntaksrista, mens et Reconyx-kamera ble montert på ei bjørk omtrent 15 meter oppstrøms lukehuset, med observasjonssektor mot magasinet. Et utvalg bilder tatt med disse vil bli brukt i resultatene og diskusjonsdelen.

3.3. Databehandling av feltdata

De fleste av sensorene nevnt i avsnittet om instrumentering krever egen programvare for å settes opp før utsetting, overføre data til datamaskin og konvertere data til leselig format. I tillegg har en rekke annen programvare vært nyttig underveis i arbeidet.

Microsoft Excel 2016 er brukt i sammenstillingen av datasettene etter de har blitt konvertert til et leselig format, for eksempel .csv-filer (kommadelte filer for regneark eller tekstbehandlere) og .xml-filer.

Lightworks er et videoredigeringsprogram som har blitt brukt til å raskt kunne bla i bildeseriene fra viltkameraene. Dette har vært et nyttig verktøy for å lettere finne fryseepisoder og få mer forståelse over utviklingen gjennom vinteren.

HOBOWare brukes til å sette opp og lese av HOBO U20-enheten. Denne kan brukes til å endre innstillinger og klargjøre til utsetting, lese av eller nullstille minnet fra enheten. I tillegg kan dataserier plottes og analyseres i programmet eller eksporteres til ulike regnearkformat.

IPS5LinkE er programmet som brukes til å sette opp SWIPS før utplassering, men som også kan brukes til avlesning i sanntid dersom datamaskinen er tilkoblet i måleperioden. Ved å justere parametere kan man skreddersy målingene til stedet og tidsrommet man skal ha

SWIPS utplassert. Programmet kan også brukes til å hente ut datafiler, men dette anbefales ikke ved store/normale datamengder ettersom det vil ta svært lang tid. I stedet anbefales det å ta ut minnekortet og overføre filer fra dette. Derimot fungerer programmet godt til å slette data fra enheten før ny måling, noe som er nødvendig.

IPS5Extract brukes til å hente ut og konvertere data fra .00X-filer (der X er et heltall – vanligvis 1 eller 2), som er et lagringsformat SWIPS bruker. Filformatet for eksport kan være blant annet .csv-filer eller .pro-filer som viser dataprofiler i ProfileView. Programmet kan hente ut data fra en stor mengde .00X-filer samtidig, men det kan kun benyttes én konfigurasjonsfil av gangen. Ved behov for å lese av for eksempel 300 filer samtidig, kan det være vanskelig å finne riktig konfigurasjonsfil, eller å finne en som faktisk fungerer.

ProfileView brukes til å vise profiler av registreringer i vannsøylen over tid, samt en rekke andre sensordata fra SWIPSen. Dette krever at .pro-filene som ble eksportert fra IPS5Extract ikke er korrupte eller medfører andre feil, noe som ikke alltid er tilfelle.

3.4. Befaring til Dyrkorn 18. august 2017

De instrumentene som ikke var plassert i selve inntaksmagasinet på Dyrkorn ble hentet ut på forsommeren 2017, men rammen med selve SWIPS-enheten, tilhørende kabel, en temperaturlogger og en opphengt boks for det ene viltkameraet var fortsatt utplassert over sommeren. Befaring for innhenting av utstyr og inspeksjon av forholdene ble derfor utført 18.08.2017. Meddeltaker på befaringen var Andreas Huss fra Tafjord Kraft.

Før opphenting av utstyret måtte magasinet tappes ned. Deretter ble SWIPS-enheten forsøkt lokalisert ved å følge kabelen. Denne satt fast under en trestokk, men det lyktes å få den løs ved å gå ut med vadebukse. Rammen med utstyr var ikke å finne umiddelbart, men etter mye graving med hender og en krafse ble den til slutt funnet under et tykt lag med sedimenter. Dette ble dessverre ikke tatt bilde av, men sedimentmengdene var synlig vesentlig større enn på bilder fra tidligere befaringer. Små mengder av dette ble spylt ut via bunntappeluken når vannstanden var lav nok.

Figur 4 viser inntaket fra nedstrøms side under nedtappingen. Legg merke til størrelsen på snorkelen og at det er mindre løv på denne seksjonen av rista.



Figur 4 Dyrkorn inntak sett nedstrøms under nedtapping

Både ramme, temperaturlogger, SWIPS-enhet, kabel og boksen for viltkamera virket til å være i god stand, men dette ble først bekreftet senere ved uthenting av data på NTNU.

3.5. Laboratorieforsøk med snorkel

For å bli mer kjent med snorkelens funksjon ble laboratorieforsøk utført med en liten Coandaristmodell. Denne er bygd av Brødrene Dahl og består av et nedre magasin, et lite overløp med Coandarist, et øvre magasin og et rørsystem med to pumper, som har separate strømforsyninger. Nedre magasin har mulighet til å tappes ved å åpne en ventil. Dette kan også delvis gjøres i øvre magasin, men her stikker ventilen for mye opp til å kunne tappe karet helt. Ventilen til øvre magasin brukes også til å regulere vanntilførselen fra pumpene.

Nedre magasin har et volum på litt under 100 L om det fylles helt opp, men for alle praktiske formål bør det ikke fylles til mer enn rundt 80 L. Øvre magasin har et volum på ca. 8L før vann renner over overløpet. Med snorkel kan vannstanden likevel stige høyere opp. Rista i modellen har en bredde på 294 mm mellom «beskyttelsesstavene, og en ytre bredde på 300 mm. Inntaksristas lengde er 350 mm, med en lysåpning på 1 mm og en stavbredde på 1.5mm.

Forsøk med modellen har tidligere blitt gjennomført i andre masteroppgaver både med og uten snorkel. Blant annet har den blitt brukt til å teste frysing på rist (Opaker, 2012) og til å vise hvordan snorkelen fungerer (Sæten, 2016).

I denne masteroppgaven var målet med denne modellen å gjennomføre forsøk både i normal romtemperatur og i kjølerom både for å teste kapasiteten til snorkelen og å se hvordan den fungerer med kuldegrader og is i vannet.

Første forsøk ble gjennomført i vanlig romtemperatur i vassdragslaboratoriet. Først uten og deretter med snorkel. Hensikten med dette var å bli kjent med hvordan modellen fungerte og deretter teste kapasiteten til snorkelen.

Nedre magasin ble fylt med 60 L vann, før strømforsyningene til pumpene ble koblet til. Øvre ventil ble deretter åpnet helt slik at øvre magasin ble fylt og vannet deretter begynte å renne over rista. Det ble deretter skrudd på ventilen for å se hvordan modellen reagerte.

Neste test var med snorkel. For å sørge for at denne satt tilstrekkelig godt på ble denne forsiktig holdt på plass med to skrustikker og små treklosser. Snorkelmodellen er spesialtilpasset Coandaristmodellen og ble laget i 2016. På samme måte som snorkelen i felt tar den inn vann dypere enn fra overflaten i tillegg til at den delvis fungerer som tak over rista.

Etter forsøket i vanlig romtemperatur ble strømmen til pumpene trukket ut og modellen omhyggelig tømt for vann. Etter samtale med Geir Tesaker ved vassdragslaboratoriet ble det funnet ut at kjølerom i kjelleren var ledige og at disse kunne brukes til det planlagte isforsøket. Til vanlig brukes disse kjølerommene til testing av varmegjennomstrømming gjennom tunnelvegg, men rommene skulle ikke brukes den aktuelle perioden.

Modellen ble båret ned i et av disse rommene, sammen med totalt 30 L vann som skulle brukes til å lage is. Isproduksjonen ble gjort i to plastkar med stor bunnflate. Temperaturen i kjølerommet ble deretter justert til -5°C for å sikre frysing av vannet. Etter avtale kunne kjøleviftene stå på over natta.

Når vannet var frosset ble isen knust og mer vann til magasinene båret ned. Nedre magasin ble fylt med 30 L vann og deretter ble rommet forlatt en times tid for å la temperaturen i vannet synke nærmere frysepunktet. 30 L is ble fordelt i øvre og nedre magasin underveis i forsøket. En SeaBird SBE56 temperaturlogger ble brukt for å måle vanntemperaturen.

Forsøket i kjølerom ble igangsatt med en romtemperatur på -5°C . Det ble tidlig observert at vannstanden ville stige såpass i øvre magasin at vann ville renne over snorkelen fremfor gjennom dersom ventilen ble åpnet for mye. Vanntilgangen ble derfor satt til $\frac{3}{4}$ åpning av øvre ventil gjennom forsøket.

Romtemperaturen ble justert underveis i forsøket og observasjoner notert og dokumentert med bilder. Forsøket ble avsluttet ved 13°C , hvorpå kjøleviftene ble slått av og døren til kjølerommet åpnet slik at temperaturene i rommet og vannet skulle stige raskt. Magasinene ble deretter tappet for vann, før temperatursensoren ble hentet opp og avlest.

Resultater fra forsøkene finnes i kapittel 4.2.

3.6. Laboratorieforsøk med SWIPS-kalibrering

3.6.1. Forberedelser:

Ettersom utplasseringen av SWIPS på Dyrkorn vinteren 2016/2017 hadde gitt noen overraskende resultater (se kapittel 4.3), ble det besluttet å gjennomføre laboratorieforsøk med SWIPS i november 2017. Hensikten var både å finne ut om SWIPS sensoren hadde tatt skade av utplasseringen eller flommen, og å teste sensorens målinger i sanntid og med lagring. Alt dette med kjent volum partikler, vannføring og vanndybde.

Forsøket skulle gjennomføres sammen med veileder Knut Alfredsen, men klargjøring og forberedelser utenfor laboratorium kunne gjøres på egenhånd. Nødvendig tid til forsøket ble anslått til mellom noen timer og omtrent en arbeidsdag for selve forsøket, gitt at forberedelsene var gode nok.

Fordi utstyret bruker ulike programmer til registrering, konvertering og profilering av data, var det på forhånd stor usikkerhet knyttet til hvorvidt laboratorieforsøket ville gi brukbare resultater. Særlig ettersom oppsettet i flere av programmene har bratt læringskurve og tidvis manglende bruksanvisning. Den eneste personen tilknyttet NTNU med erfaring i bruk av utstyr og programmer var tidligere masterstudent Niklas Kovanen Sæten, som hadde brukt denne i både laboratorium og felt på Dyrkorn. Takket være hjelp over facebook og ved nærmere studering av hans prosjekt- og masteroppgaver, lyktes det å koble sensoren til pc og forberede oppsett før laboratorieforsøket.

Det lyktes ikke å registrere målinger i sanntid eller å konvertere registreringene til lesbare profiler ved prøveoppsett før laboratorieforsøket. Årsaker til dette kan være at prøveoppsettet ble gjort i luft og ikke i vann, at det ikke ble bruk BURST-modus eller en kombinasjon av dette. Det ble likevel antatt at dette ville kunne løses i laboratoriet.

På grunn av at sonaren har en justerbar lockoutavstand på minst 0.5 meter, måtte tanken eller bassenget som skulle brukes være en god del dypere. Opprinnelig var det ønskelig å bruke ei dyp renne der det fra før stod en overtoppingsmodell, da denne skulle ha tilstrekkelig dyp og god tilgang på vann. Denne renna var imidlertid opptatt til andre forsøk. Etter samtale med Geir Tesaker ved vassdragslaboratoriet ble det planlagt å bruke tanken i enden av en flombølgemodell. Plan B var å bruke en stor tom papirdunk, da denne skulle ha tilstrekkelig dyp, men ville være vesentlig mer upraktisk å tømme.

Ved oppmøte og klargjøring for oppsett på forsøksdagen ble det imidlertid antatt at tanken likevel var for grunn, og at plan B kunne gi for mye støy i målingene på grunn av forholdsvis lite volum og korte avstander mellom veggene i papirdunken. Det ble derfor anbefalt og avtalt å bruke utløpsbassenget fra en labyrintoverløpsmodell, da denne både hadde tilstrekkelig dyp, stort nok volum, tilgang på vann og dessuten ikke skulle brukes av andre på forsøksdagen.

3.6.2. Oppsett og instrumentering

Utløpstanken fra flomløpsmodellen ble målt med målebånd til rundt 120 cm dybde, og antatt mulig vannstand opptil omtrent 110cm. Dette skulle gi omtrent 90cm vannstand over sensor. Tanken og modellen er tilkoblet pumpe-/sirkulasjonssystem og vannforsyningen er regulerbar ved å skru på en ventil. Det ble antatt at 50 L/s ville være nok til å fylle bassenget nokså raskt, for deretter å justere ned til for eksempel 20 L/s gjennom forsøket.

SWIPS-sensor ble koblet opp via tilhørende lang strømkabel og med skjøteledning fra laboratoriets verksted. Enheten var gjennom forsøket også tilkoblet datamaskin via USB-adapter for seriellport. For eventuelt gjentak av forsøket gjøres det oppmerksom på at adapteren krever egen driver.

Programvare som ble brukt under forsøket var Ups5LinkE for styring av enheten, Ips5Extract for konvertering av .00X-filer og ProfileView for bedre oversikt over målinger gjennom profilet over tid. Microsoft Word ble brukt til loggføring, og utklippverktøy ble brukt for å ta skjermbilder i tillegg til eksportfunksjonen i ProfileView. Kommunikasjon mellom PC og SWIPS ble testet og funnet i orden.

Det ble brukt kunstisbiter av plast til å simulere flytende partikler eller is i vannet. Bitene er av varierende størrelse og form, fra kuber på 1x1x1 cm til flak på 1x15x15 cm. Det ble brukt litermål og tre ulike plastdunker for å tilsette ulike volum av plastbiter under forsøket. For å hente inn plastbitene mellom hvert utslipp, ble det brukt en stor fiskehåv.

Utstyret som ble brukt til forsøket er vist i figur 5.



Figur 5 Litermål, plastkar og fiskehåv foran bassenget.

Observasjoner og resultater fra forsøket vil bli kommentert i kapittel 4.3.

3.7. Befaring til Hallingdal 16.08.17

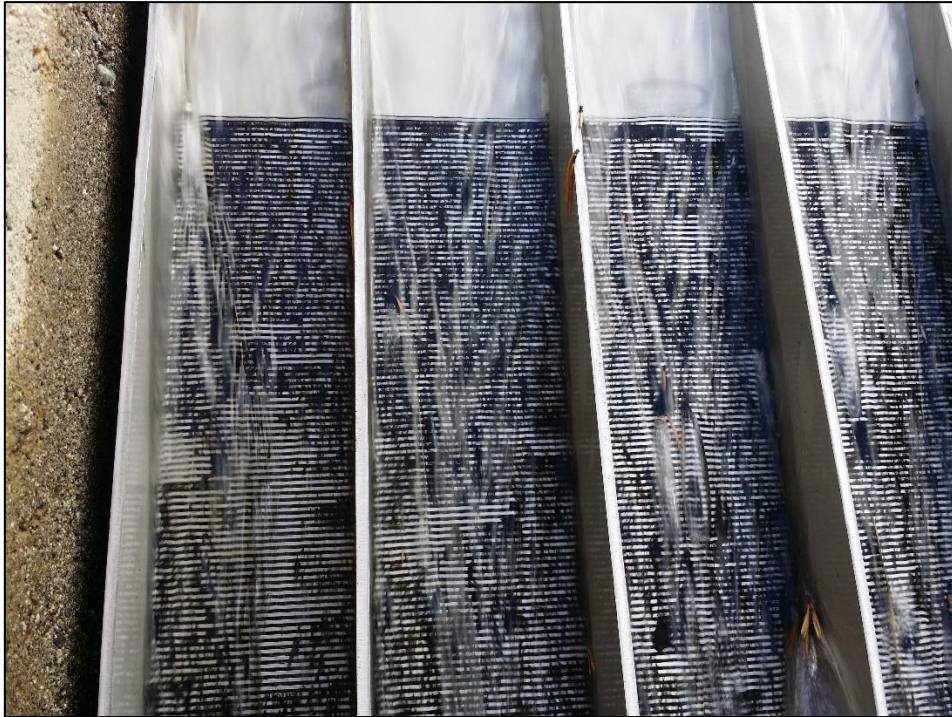
Som nevnt innledningsvis har det vært problemer med inntakene ved Tverråni og Nybuelvi i Todalen, Hallingdal. Det ble derfor gjort en feltbefaring dit DATO med representanter fra både ristprodusent, leverandør, utbygger, eiere, driftspersonell og NTNU tilstede. Hensikten var å la alle parter se med egne øyne status under drift ved inntakene, få en bedre felles forståelse av situasjonen og drøfte videre mulige løsninger på problemene.

Figur 6 viser et oversiktsbilde av inntaket ved Tverråni fra nedstrøms side. Legg merke til at det selv på avstand er mulig å se mørke skygger i øvre del av ristene. Det er også noe løv og barnåler på nedre del av ristene, men ikke i nærheten av i samme omfang som resten av belegget.



Figur 6 Oversiktsbilde av inntaket ved Tverråni

Figur 7 viser et nærbilde av belegget på rista. Dette er typisk mørkegrønt eller svart, delvis slimete og ser ut til å være en form for planterester eller annet organisk materiale. Det er gjerne flere cm langt, mykt og har en tendens til å pakke seg rundt grindstavene. Det ble ved befaringen demonstrert hvordan ristene sommerstid blir forsøkt kostet eller skrapet med en planke, gjerne opptil flere ganger daglig. Å bruke en planke til dette var ifølge representant for ristprodusenten ikke å anbefale, da dette i verste fall kan skade grindstavene. Det er likevel lett å forstå driftspersonellets frustrasjon med tett rist. Vannprøve ble tatt før befaringen fortsatte.



Figur 7 nærbilde av belegget på rista

Figur 8 viser et oversiktsbilde av inntaket ved Nybuelvi. Det er noe mindre enn ved Tverråni, men ellers en nokså lik konstruksjon.



Figur 8 oversiktsbilde av inntaket ved Nybuelvi

Som man så vidt kan se på figur 8, er det også her problemer med gjengroing av rista, men erfaringsmessig hadde det ikke vært like store problemer her som ved Tverråni. Det ble på

befaringen imidlertid lagt merke til en slags små larver som ser ut til å feste seg til metallet på ramma nært kritisk punkt på overløpet, like over rista. Et nærbilde av en dette fenomenet er vist på figur 9. Vannprøve skal ha blitt tatt også ved Nybuelvi.



Figur 9 Åmelignende vesen ved Nybuelvi

Det ble også avlagt en visitt et godt stykke lenger oppstrøms for inntaket ved Tverråni. Her ble det også tatt vannprøve og det ble dessuten observert at lignende materiale som det man observerte på rista var å finne langs bunnen ved vegetasjonen i vannet nær land. En stor del av nedbørsfeltet er for øvrig myr.

Avslutningsvis ble det avholdt et møte for å diskutere hva som videre bør gjøres ved inntakene. Hovedmålet vil være å løse problemene, men det er også av interesse å se om det kan hjelpe å bytte til rister med en annen lysåpning. Det ble derfor besluttet å installere rister med annen lysåpning på deler av inntaket ved Tverråni. Det skulle i løpet av kort tid være mulig å sette inn en mer tradisjonell rist (ikke Coanda), men Coandarister med annen lysåpning kunne ta noe lengre tid. Ifølge ristprodusent skulle de være klare til å starte produksjon så snart de fikk forespørsel. I tillegg til dette ble vannprøvene sendt inn til analyse.

4. Resultater

4.1. Fryseepisoder Dyrkorn vinter 2016 / 2017

De periodene det er målt negative temperaturer i vannet har i denne oppgaven blitt kalt fryseepisoder. Det har totalt vært 13 fryseepisoder gjennom vintersesongen, der et krav for å kalle det en egen fryseepisode er at de har skjedd på tydelig adskilte tidspunkt. Der det har vært flere tilfeller av vekselvis plussgrader og minusgrader på samme dag har dette derfor blitt telt fortsatt kun som én episode.

I figurene 10 til 15 vises de ulike sensordata, vannføringsdata og produksjon for hele vintersesongen. På grunn av datasettets størrelse har grafene måttet krympes. Tekst er derfor utelatt på figurene, men hver graf vil bli forklart, før et utvalg av fryseepisodene beskrives mer i detalj. Grafer med bedre oppløsning og med etiketter er tilgjengelig i vedleggene. På grunn av problemene med SWIPS gjennom sesongen, er diagrammer fra ProfileView kun tatt med der disse har gitt resultater, og med større versjon tilgjengelig i vedleggene.

Figur 10 viser lufttemperatur (grå), bunntemperatur (oransje) og vanntemperatur nær overflaten (blå). For å gjøre grafen mer lesbar er temperaturaksen avgrenset til å gjelde mellom $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rutenettet har en oppløsning på $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ vertikalt og 14 dager horisontalt for hver rute. Oppstartsdato er 16.11.2016.

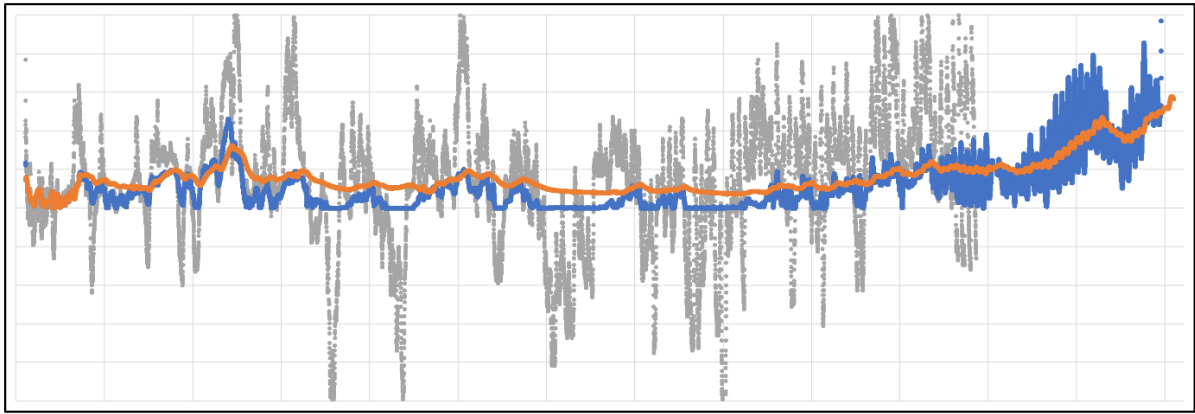
Figur 11 viser det samme som figur 10, men med temperaturskalaen fra $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ og oppløsning på $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ vertikalt. Ellers er alt likt. Dette gir bedre inntrykk av likheter og forskjeller mellom verdiene fra de to vanntemperaturloggerne gjennom sesongen.

Figur 12 viser lufttrykk (gult plott), målt i kPa. Oppløsningen på rutenettet er 1 kPa vertikalt og 14 dager horisontalt, som på de andre figurene. Ettersom det er vanskelig å tyde grafen uten etiketter, er referansetrykk på 100 kPa markert som grønn strek.

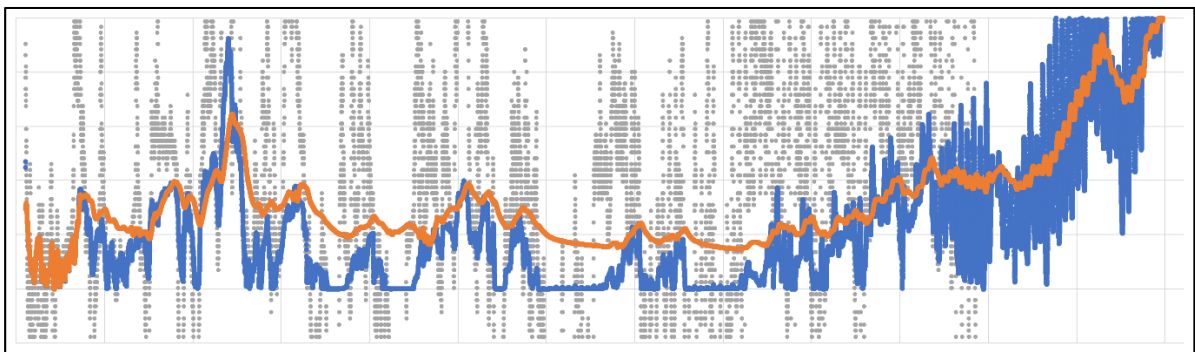
Figur 12 viser vannføring i samme tidsperiode som de andre grafene. Vertikalaksen har oppløsning på $2\text{ m}^3/\text{s}$ per strek. Oransje plott er driftsvannføring, blått plott er vannføring i elva nedstrøms inntaket og grått plott er total vannføring.

Figur 14 viser detaljutsnitt av vannføringsgrafene, med fokus på driftsvannføringen. For dette diagrammet er oppløsningen på vertikalaksen satt til $0.5\text{ m}^3/\text{s}$.

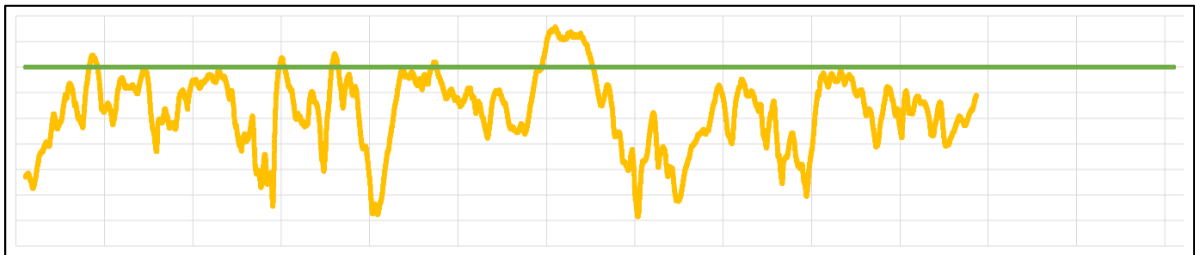
Figur 15 viser produksjonen i MWh i samme periode (grønt plott). Hver strek på vertikalaksen tilsvarer 0.1 MWh.



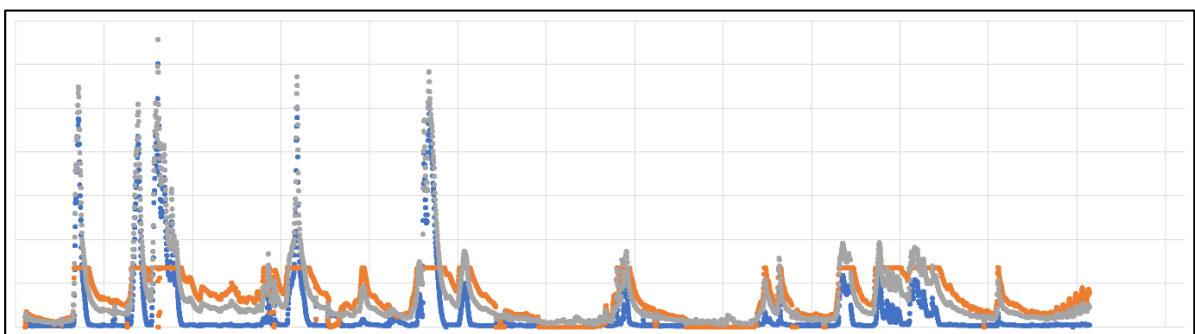
Figur 10 Temperaturer mellom -10°C og 10 °C



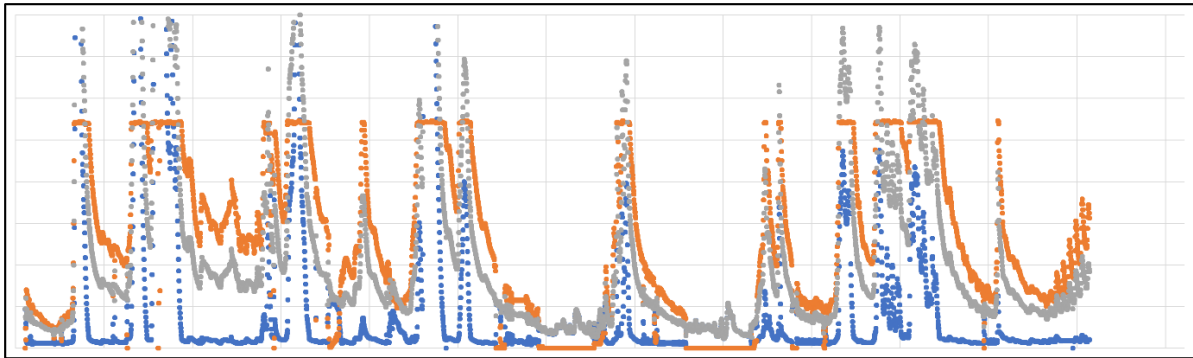
Figur 11 Temperaturplott med fokus på vanntemperatur



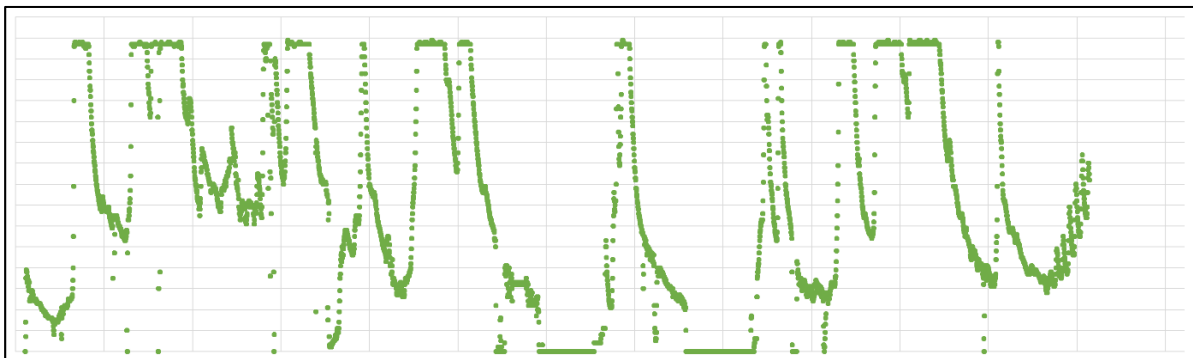
Figur 12 Lufttrykk i kPa, målt ved lukehus



Figur 13 Vannføring i elv, gjennom kraftverk og totalt



Figur 14 Vannføring, med fokus på driftsvannføring



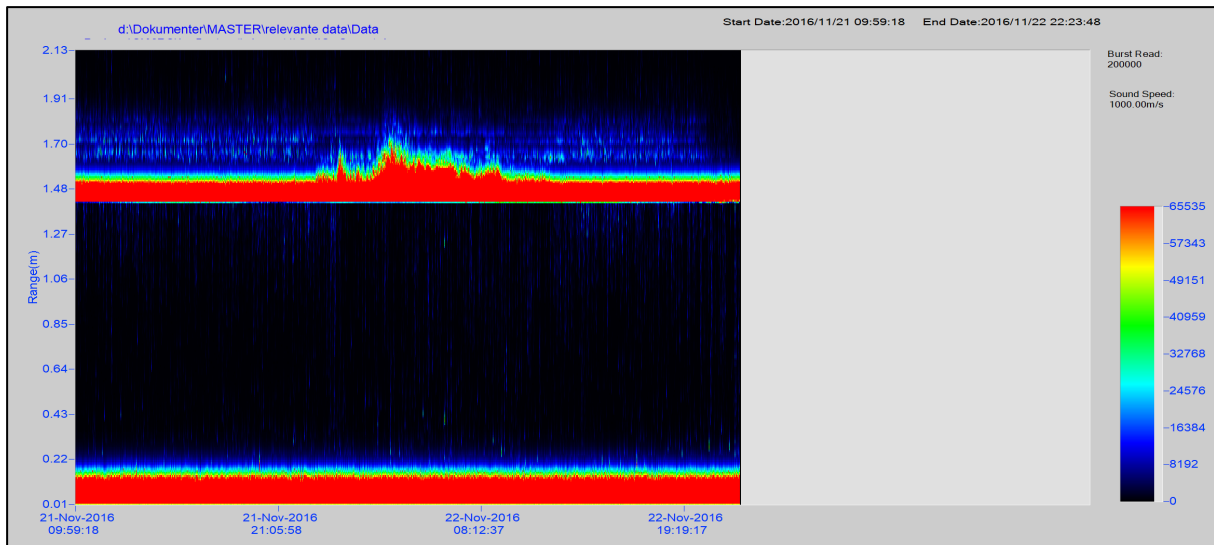
Figur 15 Produksjon ved Dyrkorn kraftverk vinteren 2016/2017

4.1.1. Første fryseepisode (21.11.17-22.11.17)

Underkjøling ble registrert i tidsrommet mellom 21.11. kl. 2330 og 22.11. kl. 0130. Dette er en forholdsvis kort periode, men både temperatursensoren på bunnen og like under vannflata har registrert minusgrader, hvorav lavest målte temperatur er på $-0.008\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ved tidspunktet denne temperaturen ble målt, var lufttemperaturen ved lukehuset $-2.61\text{ }^{\circ}\text{C}$ og lufttrykket 96.89 kPa . Det er verdt å merke seg at vanntemperaturen på bunn og nær overflaten i dette tidsrommet er nesten identisk.

Viltkameraene viser ingenting spennende i dette tidsrommet, ettersom de ikke var oppsatt med infrarød blits eller nattkapasitet. Kun det ene kameraet tok bilder om natta, men disse var helt mørke.

SWIPS-enheten viser litt utslag i denne perioden, som vist i figur 16. Legg merke til at det ikke først og fremst er målinger i vannsøylen som vises ved dette tidspunktet, da det knapt nok er mulig å se forskjeller i målingene før, under og etter hendelsen skal ha skjedd. Derimot vises det at støyen «over» vannflaten er betydelig større fra omtrent det tidspunktet det er påvist underkjølt vann og fram til morgenen etter.

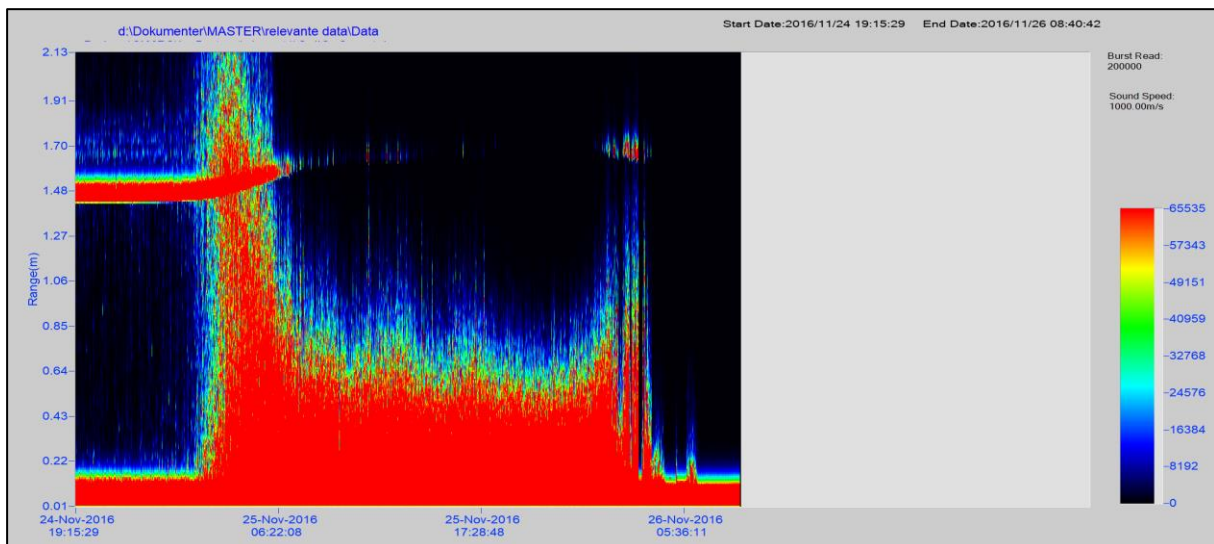


Figur 16 Utslag på SWIPS ved første fryseepisode

Driftsdata fra perioden viser at produksjonen og driftsvannføringen gikk ned mot null i samme periode som temperaturen registrerte kuldegrader i vannet, men den stoppet ikke helt.

4.1.2. Rare SWIPS-målinger 25.11.2016

SWIPS-enheten gir stabile målinger de knapt to første ukene etter utplassering. Deretter skjer det en merkelig utvikling der det plutselig registreres veldig mye støy over sensoren, før den bare gir identisk profil for hele resten av sesongen. Den merkelige overgangen er vist på figur 17.



Figur 17 Merkelige verdier og deretter ingen målinger med SWIPS



Figur 18 Flom ved inntaket 25.11.16

Bilder fra viltkamera viser at det er en liten flom på tidspunktet SWIPS-enheten gir rare verdier og deretter slutter å gi meningsfulle verdier. Bilde fra samme dag som SWIPS-enheten slutter å virke er vist i figur 18. Flommen varer i omtrent to dager, noe som bekreftes av vannføringsdata fra driftssentralen. Flommer med tilsvarende størrelse forekommer 3-4 ganger til på starten av vinteren etter dette.

4.1.3. Fryseepisode 03.01.17 – 06.01.17

Dette er første episode som brer seg over et lengre tidsrom på flere dager. Minusgrader er målt av sensoren like under overflaten i perioden 03.01. kl. 14:35 – 15:35 og deretter kl. 19:30 – 20:00. Fra 04.01 kl. 08:00 til 06.01. kl. 04:40 ble det kontinuerlig målt negativ temperatur nær overflaten. Kaldeste vanntemperatur i perioden ble målt til $-0.0093\text{ }^{\circ}\text{C}$, og lufttemperaturen ved samme tidspunkt var $-11.631\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det er verdt å merke seg at bunntemperaturen i alle fryseepisodene fra og med denne episoden aldri er negativ. Derimot er den nå mye mer stabil, nesten alltid høyere enn vanntemperaturen nær overflaten og tilsynelatende med en liten forsinkelse i forhold til den andre loggeren. Typisk temperatur er på mellom $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ helt frem til mai 2017.

Viltkameraene viser i perioden tiltakende mengder is og snø både i magasinet og på rista, men det er kun 05.01. at rista ser ut til å være helt isbelagt. Inntaket med islagt rist er vist på figur 19. Vann renner tydelig over isen, men det er ikke mulig å se om noe også renner under.

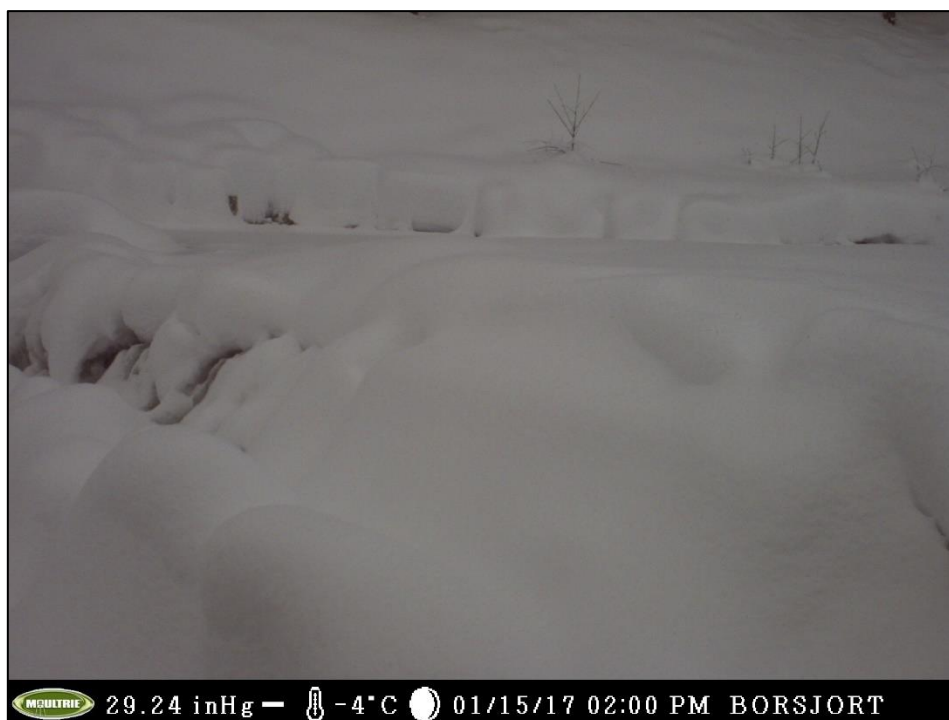


Figur 19 Isbelagt rist 05.01.17

Vinkelen på viltkameraet ved rista gjør at det heller ikke vises om noe renner ut av snorkelen. Driftsdata viser imidlertid at noe vann tas inn i hele perioden, men kun omtrent 20 L/s på det minste. Magasinet er omtrent isfritt 09.01. SWIPS-enheten lot seg ikke lese av for denne perioden.

4.1.4. Fryseepisode 13.01.17 – 17.01.17

Det er i denne perioden målt underkjølte temperaturer av loggeren nær overflaten, men driftsvannføringen og produksjonen ser ikke ut til å påvirkes mye av dette. Faktisk tas det inn vesentlig mer vann enn det snorkelen skal være i stand til å sluke, så vann må komme inn under isen på deler av rista.



Figur 20 Snødekt rist 15.01.2017

Bilder fra perioden viser tilfrysing med is og snø på rist, og isdekke med snø også i magasinet. Dette er illustrert på figur 20, som er tatt av viltkameraet ved rista 15.01. kl. 14:00. Det er ikke mulig å se av bildene om vann renner under snøen og isen, men driftsdata lyver neppe. Viltkameraene viser også at isen har gått fra magasinet natt til 19.01.

4.1.5. Fryseepisode 06.02.17 – 09.02.17

I denne perioden ble vinterens kaldeste vanntemperatur nær overflaten målt: $T_{ws} = -0.0179$ °C. Dette skjedde den 06.02. kl. 19:40. Da var lufttemperaturen $T_a = -0.549$ °C, mens lufttrykket ved lukehuset var på $P_a = 99.914$ kPa. Selv om fryseepisoden er definert til tidsrommet 06.02. til 09.02. varte følgene av den i praksis mye lengre, ettersom det satte kraftverket ut av drift fram til 15.02.



Figur 21 Isdekt rist 07.02 kl. 13:00 og 13.02. kl. 13:00



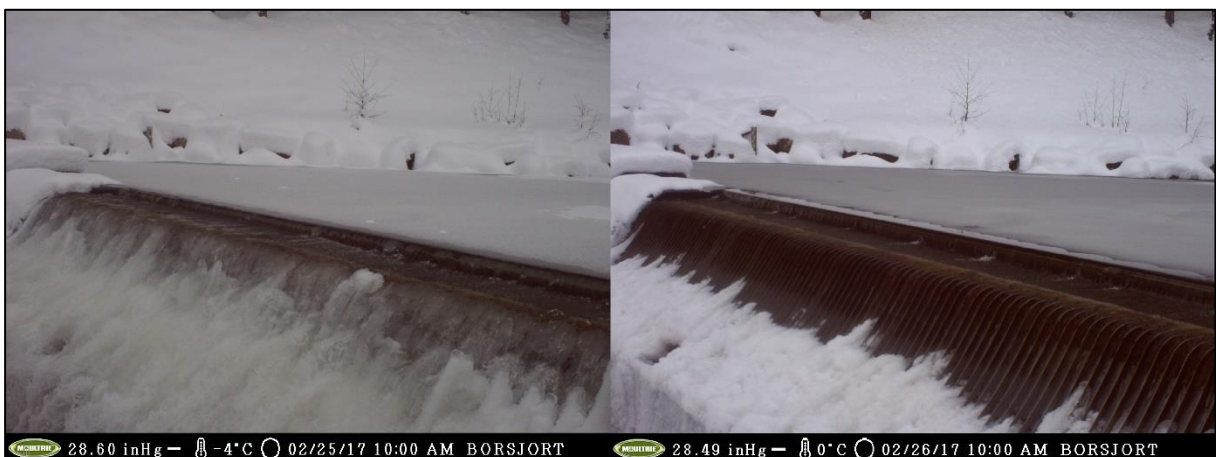
Figur 22 Varierende isdekke 07.02 kl. 13:00 og 13.02. kl. 13:00

Viltkameraene viser at det er isdekke på rista i perioden, men at isdekket i magasinet først kommer etter hvert. Isen går gradvis fra 15.02. og det er helt isfritt 20.02. Dette sammenfaller med timingen til produksjonsvannføringen, der produksjonen er stanset helt mellom 06.02. og 15.02., før den gradvis tar seg opp og er ved full drift 20.02. Figur 21 og 22 viser rista og magasinet ved to ulike tidspunkter i denne perioden.

4.1.6. Fryseepisode 23.02.17 – 25.02.17

I denne perioden veksler vanntemperaturen en del mellom plussgrader og minusgrader, men det ser ikke ut til å påvirke driftsdata i nevneverdig grad. Driften opprettholdes under hele fryseepisoden.

Viltkameraene viser at det tidvis er både is, snø og sarr på rista og i magasinet, men også at det renner noe vann over rista. Figur 23 viser rista dekket av sarr og delvis is, like før minusgradene i vannet opphører. Rista begynner å renses for is og sarr like etterpå. Figuren viser også rista et døgn senere.



Figur 23 Sarr og is på rist under fryseepisode 25.02.17 og etterpå, 26.02.17

4.2. Laboratorieforsøk med snorkel

Forsøket i normal romtemperatur ga ingen spesielle resultater utover å bekrefte at snorkelen tar inn vann lavere enn overflaten, at rista tar unna vannet som ledes gjennom snorkelen og at en hel del av vannføringen pumpene gir ledes over snorkelen når den øverste ventilen åpnes for fullt.

Med 60 L vann i nedre magasin til å begynne med hadde rista ingen problemer med å ta inn alt vannet pumpene ga når ventilen var helt åpen og modellen ble kjørt uten rist. Dette viser at pumpene eller ventilen er det som begrenser hvor mye vann modellen kjører med, og at man aldri egentlig får testet ristas kapasitet med dagens oppsett.

Figur 24 viser hvordan vann renner både over og gjennom snorkelen når ventilen er helt åpen.

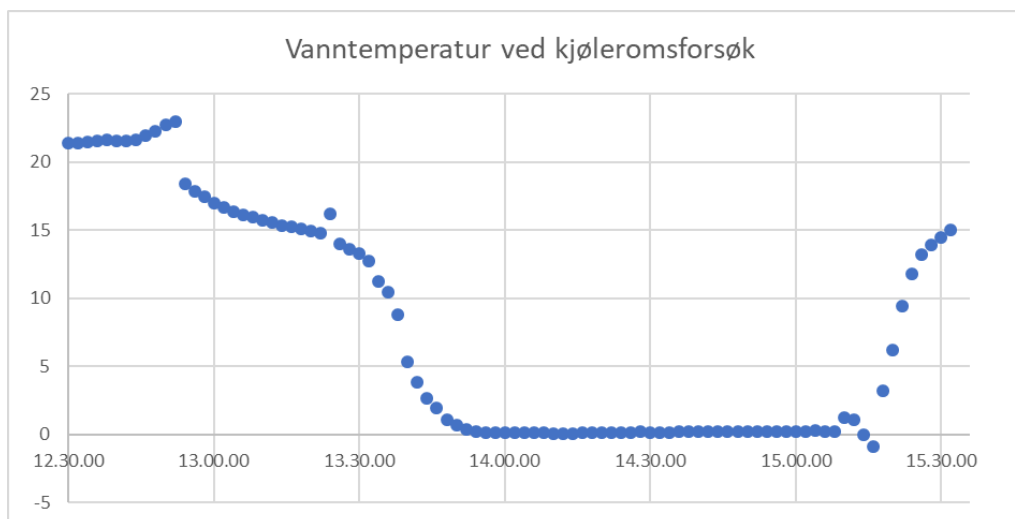


Figur 24 Vann over og gjennom snorkelmodell

Det at vannet renner over snorkelen er likevel en nyttig observasjon, da det viser at selv på nokså lav vannføring, klarer ikke snorkelen i modellen å ta unna nok vann. Snorkelen dekker ikke hele rista, så når rista er ren blir vannet som ledes over snorkelen også tatt inn.

Etttersom pumpene ikke klarte å levere nok vann gjennom ventilen til øvre magasin, lot det seg ikke gjøre å måle modellens kapasitet hverken med eller uten snorkel. Kjøleromsforsøket ble derfor begrenset til å observere hvordan modellen med snorkel oppfører seg med vann nær frysepunktet og med stadig kaldere romtemperatur.

Vanntemperaturen gjennom forsøket i kjølerommet ble målt med en SeaBird SBE56 temperaturlogger, og et plott av dette er vist i figuren under.



Figur 25 Vanntemperatur ved kjøleromsforsøk

Som figur 25 viser, ble sensoren tatt med ned og lagt i vannet ca. klokka 12:40. Vanntemperaturen var da fortsatt høy, men sank gradvis. Til å begynne med ble det ikke tilsatt is i magasinene, men da dette ble gjort mellom klokka 13:30 og 14:00, synker temperaturen raskt. Temperaturspranget på slutten er fra når sensoren ble hentet opp.

Lufttemperaturen underveis i forsøket ble bare registrert ved å lese av displayet ved døra til kjølerommet. En tabell over avlesninger og observasjoner ved ulike tidspunkt er vist i tabell 1.

Tabell 1 Romtemperatur ved kjøleromsforsøk

Tidspunkt	Avlest temperatur	Kommentar
1315	-5 °C	Forsøket starter. Is ble gradvis hatt i nedre og øvre magasin fra 13:30 inntil alle 30 L is var tilsatt klokka 13:55.
1405	-7.8 °C	Skrudde til -10 klokka 14:00. Temperaturen synker nokså raskt. Observerte is på deler av de øvre spaltene.
1440	-10.2 °C	Senket temperatur til -13 °C. Is på øvre spalter og noen istapper under øvre magasin.
1505	-13 °C	Forsøket avsluttes. Vifter slås av og dør åpnes. Pumper stoppet og modellen tømt for alt unntatt is. Is (vann) fjernet senere.

Figur 26 viser modellen underveis i kjøleromsforsøket. Legg merke til is i magasinet, istapper fra skilleplata under øvre magasin og at vann renner gjennom rista.



Figur 26 Vann gjennom rist og is i magasin ved kjøleromsforsøk

Figur 27 viser hvordan de øverste spaltene er frosset til, men at vannet fortsatt finner veien gjennom rista. Merk for øvrig at noe finner veien rundt de øvre spaltene og tas inn bak der rista egentlig begynner. Vinkelen på bildet er noe skeiv, men det er ikke vanskelig å forestille seg hvor loddlinjen går.



Figur 27 Øverste spalter delvis igjenfrosset

Resultatene fra forsøkene blir videre diskutert i kapittel 5.3.

4.3. Laboratorieforsøk med SWIPS

Registrering av data ble startet allerede ved oppstart av fyllingen av bassenget med en vannføring på 50 L/s. Det ble imidlertid raskt oppdaget lekkasjer i bassenget, der det største problemet var at den ene enden av bassenget holdt på å revne. Første gjennomføring ble derfor hurtig avbrutt. Forsøket ble deretter utsatt til senere på dagen mens reparasjoner ble gjennomført. Resultater fra første gjennomføring ble analysert mens lim og fugemasse tørket.

Første forsøk ble kjørt med oppsett som vist i figur 28. Burst mode var ikke valgt, da det var ukjent om dette hadde noen innvirkning på målingene. Sensorperiode var bevisst satt kort (til 10 sekunder). Ved oppsett på Dyrkorn var sensorperioden til sammenligning 300 sekunder.

Ips5LinkE Version 2.1.05 (20140619) (c) ASL Environmental Sciences Inc.

Deploy | **Operating Schedule** | Unit [53027] | Coefficients | Real Time | File | Special Functions | View Data | Preferences | About

Operating Mode: Target Detection | Sound Speed (m/sec): 1450.5 | Battery Requirements: Main 0.41 Ah, Tx 0.02 Ah, Delayed Start 0.00 Ah

Data Storage: FLASH and RS232 | Tx Battery Pack Amp Hours: 10 | Main Battery Pack Amp Hours: 160 | Total Storage Requirements: 4.77 Mb

Number of Phases: 2

Deployment File: Manually Edited Values

Resources computed for interval: Nov 16, 2017 09:37:40 - Nov 18, 2017 07:54:21

Summary | P1 | P2

Set Phase Start Date | Phase Start Date: Nov 16, 2017 09:37:40 | End Date: Nov 17, 2017 01:09:48 | Copy Phase: 1

Set Start Date to Now

Duration [15.536 hrs]: 15.536 | Hours

Phase Type [Ice Profiling]: Ice

Ping Period [1.0 sec]: 1

Sensor Period [10 pings]: 10.0 | Seconds

Max. Range [264 samples]: 3.000 | Meters

Lock Out [44 samples]: 0.500 | Meters

Burst Period [NO BURST DATA]: 0.0 | Seconds

NO BURST DATA: 0.0 | Seconds

Ice Gain: 1 | Burst Gain: 1

Ice Start/Stop Amplitude: 10000 | 9000

Burst Start/Stop Amplitude: 35000 | 25000

Pulse Length [68 uS]: 68

Dig. Rate [64 kHz] [0.0113 m/sample]: 64000

Min. Persistence [62 uS (4 samples)]: 4

Maximum Targets [3]: 3

Phase Tx Amp Hours: 0.005

Phase Main Amp Hours: 0.181

Phase Storage (Mb): 1.64

Standard Pings: 55929

Burst Pings: 0

Extra Pings: 0

Sensor Pings: 5593

Total Pings: 55929

Base Ping Rate: 1 Hz

Ping Processing Time (sec)

Regular Ping: 0.066203000

Sensor Ping: 0.141203000

Profile Ping: 0.000000000

* Parameters in yellow are non-standard settings *

Go to the Summary Table

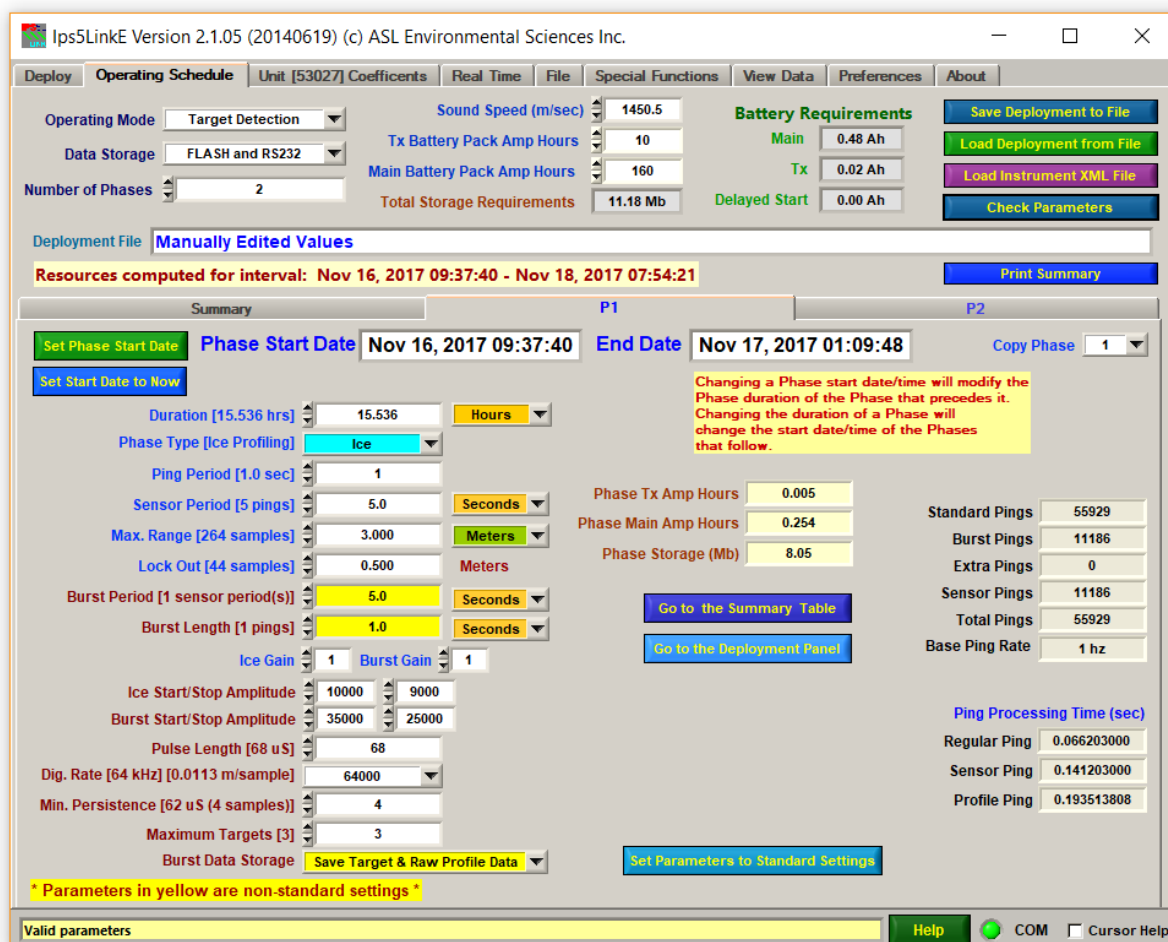
Go to the Deployment Panel

Set Parameters to Standard Settings

Help | COM | Cursor Help

Figur 28 Oppsett i IPS5LinkE ved første SWIPS-forsøk

Fanen Real Time viste at det ble gjort målinger underveis og at sensoren detekterte mål, men det lyktes hverken å vise sanntidsdata som graf eller å vise profilet i ettertid. Ved forsøk på å vise filen i ProfileView kom det bare feilmeldinger. Hva dette skyldes er ikke godt å si, men tilsvarende feilmelding dukket også opp ved flere forsøk på å lese data fra Dyrkorn. Før andre gjennomføring ble burst-modus aktivert, og oppsettet ble satt som vist i figur 29.



Figur 29 Oppsett i IPS5LinkE ved andre SWIPS-forsøk

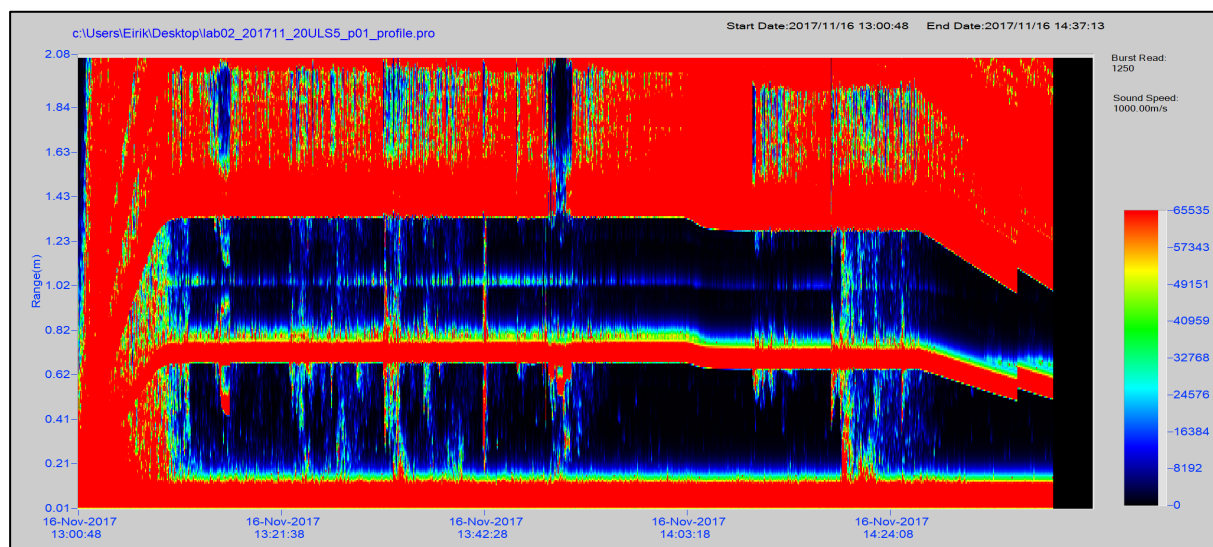
Videre ble plastbiter klargjort og SWIPSENS posisjon utbedret. Fylling av bassenget ble gjort med vannføring på 20 L/s istedenfor 50 L/s, og bassenget viste denne gang ingen svakhetstegn utover forventede små lekkasjer fra tunnelen mellom overløpet og bassenget.

Ved denne gjennomføringen lot det seg gjøre å se sanntidsdata på graf og i tillegg vise profiler i ProfileView både mens forsøket pågikk og i ettertid. Resten av observasjonene fra andre gjennomføring er oppsummert under i tabell 2. Disse kan sammenlignes opp mot bildene fra ProfileView etter gjennomført forsøk, som er vist i figurene 30, 31 og 32.

Tabell 2 Observasjoner ved SWIPS-forsøk i laboratorium

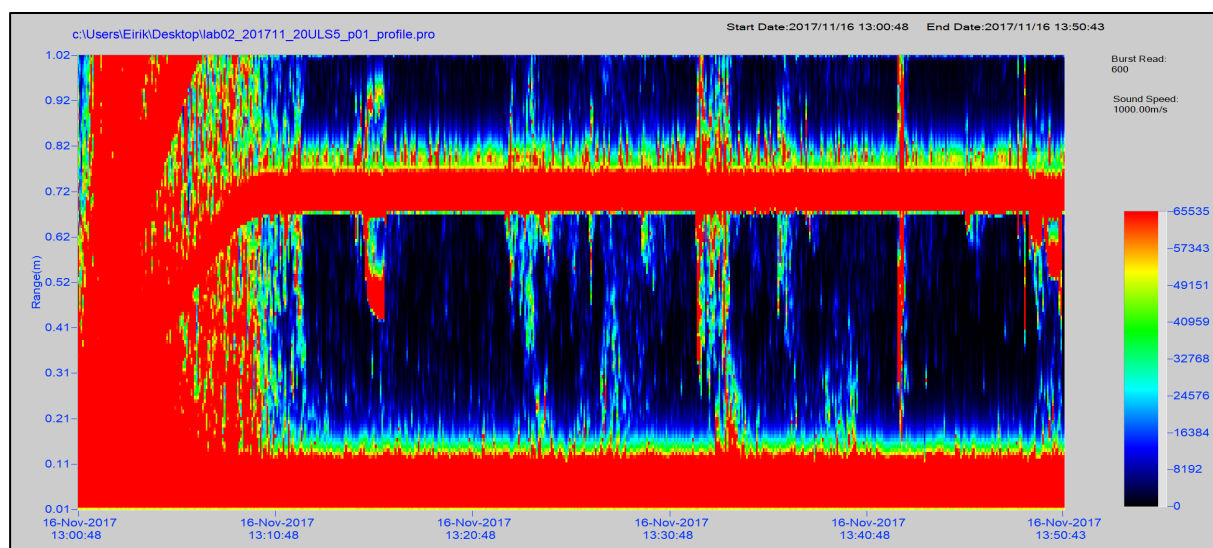
Tidspkt.	Mengde	Observasjon / kommentar
13:08	3 L	Sensor reagerer fint. Samlet så sammen det meste med håv.
13:15	3L	Brukte de samme plastbitene, men holdt nå håven i ro.
13:22	6 L	Oppsamling ca. 13:25
13:27	6 L	Senket og vregnte kasse ved nytt slipp 13:32. «Åpen råk» omtrent kl. 13:32 og oppsamling 13:35
13:45	9L	Slapp og lot det drive forbi. Deretter oppsamling.
13:50	9L	La håv med 9 L over sensor. Dyttet noe ned for å se om det ga utslag.

14:00		Tappet ned magasinet noe ved å strupe vannføring til 10 L/s
14:10	9 L	Vannstand sunket med 4.5 cm målt på overløpet like før slipp. Det meste fisket opp ca. 14:12
14:17	25 L	Storslipp. Ga stort utslag på sensor. Begynte å håve inn 14:19.
14:25		Tomt for plast. Vinket over som avslutning. Deretter nedtapping av bassenget.

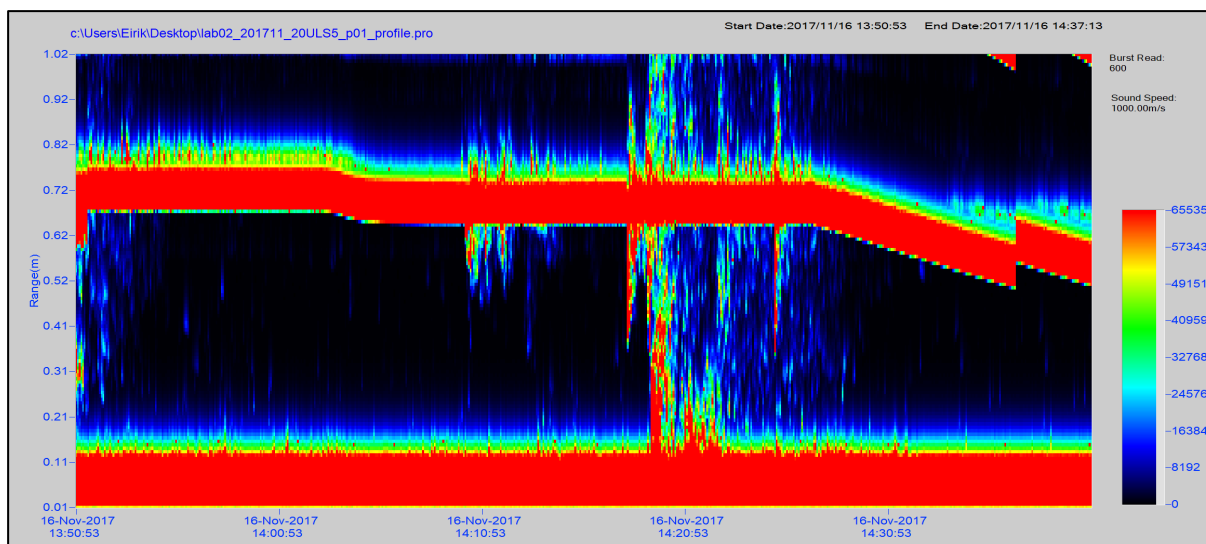


Figur 30 Plott fra ProfileView over andre SWIPS-forsøk

Figuren viser hele andre gjennomkjøring i en graf. For bedre leselighet følger to grafer med halvdeler av gjennomkjøringen. Legg merke til at denne første grafen ser ut til å ha flere nivåer. Det er fordi signalet reflekteres flere ganger, og grafen dekker flere ganger bassengets dybde. Ved å sette ProfileView til å vise kun første meter over sensor, får vi et bedre bilde.



Figur 31 Første halvdel av andre SWIPS-forsøk



Figur 32 Andre halvdel av andre SWIPS-forsøk

Resultatene vil videre bli drøftet i diskusjonsdelen av denne masteroppgaven, men en forklaring av figurene hører med her. Figur 30, 31 og 32 viser eksporterte bilder fra ProfileView. Figur 30 viser hele andre gjennomføring, mens figur 31 og 32 viser henholdsvis fram til og etter burst nummer 601 (som tilsvarer klokka 13:50:53).

Diagrammene tolkes slik: Horisontal akse viser tiden, mens vertikal akse viser dybde over topp av sensor. Det nederste røde feltet med tilhørende gradvis overgang til svart er støy nær sensor (lockoutavstand er 0.5 m). Nedkanten av neste røde felt er vannflaten, mens alt mellom disse to røde feltene er registrerte partikler eller objekter i vannsøylen over sensor. Når dette området bare er svart eller mørkeblått, er det ingen tydelige registreringer i vannsøylen. Jo nærmere fargen er rød i dette området, jo flere registreringer er gjort. Over det røde «båndet» der vannflaten er, ser man et slags speilvendt bilde av område under. Dette er støy og refleksjoner av målingene under, og det gir heller ingen mening i å prøve å tolke målinger over vannflata, så disse skal ignoreres.

4.4. Resultater fra Hallingdal

Etter samtale med Øystein Rafoss fra E-CO 31.10.17 ble det klart at rapporten med vannprøveresultatene var klar. I prøven fra Nybuelvi ble det funnet organisk materiale under nedbrytning og omtrent like bestanddeler makroalger og mikroalger.

Makroalgene er de direkte synlige algene i vannet, og i prøven fra Nybuelvi er det 4 arter som nevnes som «framherskende»: *Microspora amoena*, *Oedogonium cf. cyathigerum*, *Bulbachoete cf. borealis* og *Stigeoclonium tenue*.

Mikroalgene er observerbare med mikroskop. Prøven fra Nybuelvi inneholder også 4 «framherskende» mikroalger: *Tabellaria flocculosa*, *Staurastrum gracile*, *Nephrocytium lunatum* og *Cosmarium cf. impressulum*.

Prøven fra Nybuelvi karakteriseres som en driftsprøve, noe som vil si at den er preget av transportert materiale, med alger båret med de strømmende vannmassene.

Prøven fra Tverråni viste stor forekomst med grønnfarget materiale av algenatur, mens planktoninnholdet var lite. Dødt organisk materiale blant annet fra høyere planter var også tilstede. Hvilke alger som er framherskende er noe ulikt prøven fra Nybuelvi. Makroalgene som nevnes er: *Bulbochoaete cf. borealis*, *Microspora amoena*, *Stigeochlonium tenue*, *Stigonema mamillosum* og *Cladophora sp.*

Mikroalgene som nevnes fra Tverråni er: *Tabellaria flocculosa*, *Achnanthes cf. minutissima* og *Navicula lanceolata*.

Prøven fra Tverråni betegnes som en begroingsprøve, altså organismer som lever fastsittende på et underlag. Den nevnte andelen dødt organisk materiale inneholdt blant annet trådsmale blad (siv, *Juncus sp.*) som er løsrevet fra elvas bunnvegetasjon.

Det ble kommentert i prøverapporten at algene i prøvene omfatter arter som er vanlige å finne i norske vassdrag. Partikkelinnholdet var lavt og surhetsgraden omtrent pH 5.5-6.2. Dette nevnes som å gi forutsetning for utvikling av rentvannsarter.

I videre epostkorrespondanse 31.10.17 og 03.11.17 med Øystein Rafoss hos E-CO og Eivind Hovin fra Norsk Grønnkraft nevnes det at det ble besluttet den 12. september å bytte ut 3 av ristene. Dette samsvarer med det man ble enig om på møtet 16. august. En ny rist skal ha blitt installert innen epostkorrespondansen og denne ble erfart å fungere tilfredsstillende. De to andre ristene var ennå ikke klare. Rista som ble satt inn var ikke en Coandarist, men av mer tradisjonell type, med grindstaver parallelt strømrretningen. Halve rista har lysåpning 12 mm og resten 20 mm. Det ble ikke observert noen problemer med alger på den nye rista. Det nevnes at den nye rista ikke klarer å sluke unna alt vann ved stor vannføring, men at dette antakeligvis lar seg gjøre dersom resten av ristene på inntaket byttes ut med tilsvarende.

Ny epost fra Øystein Rafoss den 11.12.17 viser at den nye rista også fungerer godt også ved vinterforhold. Som figur 33 viser, renner vann inn inntaket selv om rista ellers er dekket av et tykt lag is. Dette er en klar forbedring fra forrige rist, som var tett av is ved lignende forhold sist vinter.



Figur 33 Ny rist ved Tverråni

5. Diskusjon

5.1. Feltobservasjoner ved Dyrkorn

5.1.1. Generelt

Temperaturmålingene viser at lufttemperaturen ikke overraskende varierer mye mer enn vanntemperaturen gjennom hele vinteren. Som vist i resultatkapitlet var vanntemperaturen på bunn og nær overflaten i starten omtrent helt lik. Differansen mellom målingene ved disse to sensorene er mindre i den første perioden enn den oppgitte usikkerheten fra produsenten.

25.11.2016 skjer det imidlertid noe som gir store utslag på bunntemperaturen. Etter dette er bunntemperaturen gjennomgående mye mer stabil enn temperaturen nær overflaten, og differansen mellom disse to er tidvis stor. Dette samsvarer ikke med de første målingene, og bunntemperaturen ser etter denne datoen dessuten ut til å endres med en forsinkelse i forhold til vanntemperaturen.

SWIPS-enheten viser betydelige utslag i ProfileView fra samme tid som temperatursensoren begynner å gi rare resultater, før sonaren plutselig ikke lenger registrerer noen mål over bunnen av magasinet bortsett fra støy ved sensoren. Ettersom bilder fra viltkamera i samme periode viser stor vannføring over rista og driftsdata viser svært høy vannføring i elva, er det rimelig å tro at oppførselen til SWIPS og temperaturlogger kan tilskrives begravelse i sedimenter ved første flom etter utsetting. Dette bekreftes videre av at SWIPS-enheten måtte graves fram med krafse fra under et tykt lag med sedimenter ved befaringen 18.08.2017.

Basert på hvor like verdier de to vanntemperaturloggerne viste før den første flommen er det sannsynlig at de ville hatt samme oppførsel videre om ikke rammen på bunnen hadde blitt begravd av sedimenter. Ergo er det rimelig å anta at temperaturen så å si helt lik i hele vannmassen, og man kan ikke garantere at snorkelen ikke tar inn vann med høyere temperatur enn i overflaten.

Bilder fra fryseepisodene viser at tidspunktene for når underkjølt vann er målt stemmer overens med is på rista og/eller i magasinet er observert. I noen tilfeller har is vært synlig på rist og i magasin vesentlig lengre enn det er målt underkjølt vann, og i enkelte tilfeller er ikke hele rista synlig tilfrosset selv om det er både is i magasinet og på deler av rista.

Driftsdata viser at produksjonen synker drastisk ved noen fryseperioder og stanser helt ved andre fryseperioder. Dette kan tolkes som at rista under snorkelen ikke alltid fryser selv om resten av rista fryser, men det kan også skyldes at ikke hele rista utenfor snorkelen er frosset til i de periodene kraftverket fortsatt kan produsere. Dette stemmer bedre overens med bilder fra viltkamera.

Rista under snorkelen skal ha en kapasitet på omtrent $140 \text{ L/s/m} * 1.3\text{m} = 180 \text{ L/s}$, og driftsdata viser at kraftverket har kjørt også i enkelte perioder med lavere driftsvannføring enn dette selv når det har vært registrert underkjølt vann i magasinet. Dette skjedde blant annet 25.02.2017, men bilder fra viltkamera viser at vann rant over rista også utenfor snorkelen i dette tidsrommet. Altså var ikke rista helt tilfrosset. Hadde dette vært tilfelle og det likevel hadde vært drift med lavere vannføring enn det snorkelen skal kunne sluke, ville dette tydet på at snorkelen er i stand til å drive kraftverket selv om resten av rista er frosset til. Dette er ikke bevist. Videre vil de utvalgte fryseepisodene nevnt i resultatdelen bli diskutert nærmere.

5.1.2. Første fryseepisode 21.11 – 22.11.2016

Ved denne episoden var det lav nok vannføring til at snorkelen skulle kunne sluke alt. Det er imidlertid ingen ting som tyder på at rista var tilfrosset, og det er mer sannsynlig at det er tatt inn over hele inntaket. Viltkamerabilder før og etter viser ingen tegn til is i magasinet eller på rista og det er fortsatt produksjon ved kraftverket.

Profilen fra SWIPS i denne perioden viste ikke store forskjeller på målinger før, under eller etter hendelsen skal ha skjedd, men støyen over vannflaten var økt en periode. Støyen over vannflaten er egentlig bare summen av støyen nær sensoren og alle målingene som er gjort mellom sensoren og vannflaten. Økt støy over vannflaten bør derfor bety at det er registrert flere partikler i vannmassen. Det kan ikke leses ut fra diagrammet hva slags partikler det er, men ettersom det er økt antall når det er målt underkjølte temperaturer, kan det antyde at det er snakk om aktivt sarr. Når temperaturene stiger over frysepunktet er ikke sarrpartiklene lenger aktive. Ettersom det i dette tilfellet er registrert partikler i vannet også etter temperaturen ble positiv, er det rimelig å anta at dette er passivt sarr.

Ettersom ingen senere fryseepisoder har tilgjengelige SWIPS-data, er sammenligningsgrunnlaget for tynt til å si med sikkerhet om det er snakk om sarr eller ikke, men det passer med temperaturmålingene, og den mest nyttige observasjonen her er at det ser ut til å være samme temperatur i hele vannmassen. Med andre ord kan aktivt sarr også finnes i vannet selv lavere enn snorkelens inntak, og dermed havne på rista under snorkelen.

5.1.3. Fryseepisode 03.01.17 – 06.01.17

Selv med kuldegrader i vannet tar inntaket inn vann under hele denne fryseepisoden. Rista er bare tilfrosset en av dagene, og det er sannsynlig at vann har kommet til gjennom hele rista og ikke bare gjennom snorkelen.

5.1.4. Fryseepisode 13.01.17 – 17.01.17

Kraftverket har i denne perioden høyere drift enn det rista under snorkelen klarer å sluke, og det må derfor komme vann gjennom en større andel av inntaket selv om rista er dekket av snø og is.

5.1.5. Fryseepisode 06.02.17 – 09.02.17

Denne episoden er veldig interessant, ettersom den viser tydelig sammenhengen mellom underkjølte temperaturer og at kraftverket står når hele rista er dekket av is.

5.1.6. Fryseepisode 23.02.17 – 25.02.17

Det som er spesielt med denne episoden er at den viser drift i kraftverket selv med underkjølte temperaturer målt i vannet. Det er lite nok vann som kommer inn til at det kunne vært snorkelen som forsynte alt, men det renner fortsatt vann over resten av rista i det meste av tidsrommet.

Samlet viser dette utvalget av fryseepisoder at dagens snorkel ikke gir nok vann til å drive kraftverket ved de fleste fryseepisodene ettersom kraftverket står når rista er synlig dekket av is. Unntaket er når både rist og magasin er dekket, men da kommer vann til under hele rista. Ettersom snorkelen sannsynligvis kan ta inn underkjølt vann er det rimelig å tro at aktivt sarr forårsaker gjenfrysing av rista også under snorkelen når det skjer på resten av rista.

5.2. Laboratorieforsøk med SWIPS

Som figurene og tabellen i kapittel 4.3 viser, er det tydelige utslag på målingene for hvert utslipp. Alle utslipp av plast gjennom forsøket kan finnes igjen i diagrammene fra ProfileView. Det er også lett å se vannflaten og hvordan vannstanden endres ved fylling og nedtapping av bassenget.

Sammenlignet med diagrammene fra feltobservasjonene på Dyrkorn, ser man at målingene ligner i den første perioden før sensoren ble nedgravd på Dyrkorn. Utslippene av plast er mye tydeligere enn noen partikler som ble registrert på Dyrkorn, men dette bør også forventes med mindre man hadde hatt mange liter partikler i vannmassen over sensor også i felt.

Ettersom sensoren i felt ble begravd så tidlig, er det ikke godt å si nøyaktig hvordan profiler fra periodene med underkjølt vann ville sett ut. Det er likevel sannsynlig at profilene ville hatt lignende utslag som ved utslippene i dette forsøket, men kanskje ikke like spontant. Ulik tidsoppløsning, varighet på hver måling og andre parametere er kilder som ville kunne gi forskjeller på profilene.

Kort oppsummert viser laboratorieforsøket at SWIPS-enheten fungerer godt til å registrere mål både i overflaten og dypere i vannprofilet. Erfaringene med hvordan profilene ser ut i et slikt forsøk med kjente parametere er nyttig, og kan brukes som sammenligningsgrunnlag mot tidligere gjennomførte forsøk og ved planlegging og gjennomføring av framtidige forsøk eller utsetting i felt.

5.3. Lab snorkel

Forsøkene utført på modellen av Coandarista med og uten snorkel ga ingen tydelige svar på spørsmål om ristmodellens kapasitet eller snorkelens kapasitet. De viser imidlertid at rista lett tar unna alt vann pumpene kan levere til øvre magasin i modellen og at snorkelen ikke klarer å ta unna den samme vannføringen uten at noe renner over. Ettersom rista selv uten snorkel og med maksimal vannføring fra pumpene kun tar inn vann fra de øverste spaltene mens noe renner over, viser dette at modellsnorkelens kapasitet er for liten.

Kjøleromsforsøket viste at is kan dannes i de øvre spaltene av rista, men klarte ikke tydelig å vise hvordan snorkelens kapasitet blir påvirket av dette.

Det er mulig modellen ikke var tilstrekkelig akklimatisert før forsøket ble satt i gang. Det samme kan sies om vannet som ble tilført. Dette ble gjort delvis bevisst for å unngå at pumpene frøs til, men påvirket sannsynligvis resultatet i negativ favør. Tidspress ved forsøket er også en mulig faktor til hvorfor kjøleromsforsøket ikke ga mer gjenfrysing.

Gjentak av forsøket måtte utelukkes på grunn av mangel på tid, men det finnes minst to innfallsvinkler for å få større suksess i et eventuelt gjentak av forsøket. Ved for eksempel å forsøke å gjenta forsøkene av (Opaker, 2011), men med snorkel i tillegg, kan kanskje frysing under snorkelen bedre observeres og eventuelt kapasiteten med snorkel påvises. En annen mulighet kan være å bevisst legge is i bunnen av rista for å prøve å få isvekst og gjentetting av snorkelen fra nedstrøms side.

Kort oppsummert var forsøket bare delvis vellykket. At is ble observert på rista under snorkelen betyr ikke at hele rista ville frosset til om forsøket hadde fortsatt, men det utelukker

det heller ikke. At ikke hele rista frøs til betyr heller ikke at dette er snorkelens fortjeneste. Derimot viser gjenfrysingen av øvre del av rista at snorkelen i dette tilfellet ikke klarte å forhindre dette. Dersom det samme skjer i virkeligheten, for eksempel ved at underkjølt vann med aktivt sarr tas inn gjennom snorkelen, og dersom dette videre gir isvekst og gjenfrysing på rista under snorkelen vil dette føre til driftsstans, uavhengig av snorkelens dimensjoner.

5.4. Probleminntakene Tverråni og Nybuelvi

Som resultatene fra analysen av vannprøvene viser, er det både mikroalger, makroalger og dødt organisk materiale i vannet fra teststedene. Det ligger noe usikkerhet i hvilken prøve som kommer fra hvilken lokasjon, da det helt sikkert ble tatt prøver fra Tverråni og et rolig parti av elva oppstrøms (ved vegkanten i overgang mellom rolig myrsjø/elvesving og et raskere elveparti), mens det er litt mer usikkert om det faktisk ble tatt prøver ved Nybuelvi. Det kan dermed ligge menneskelig feil med tilhørende følgefeil bak hvilken prøve som stammer fra hvor. Uansett hvor de ble tatt viser prøvene at det merkelige grønne/svarte belegget på Coandaristene skyldes alger og annet organisk materiale.

Ettersom det ble planlagt å bytte ut enkelte av ristene ved inntaket på Tverråni, kunne dette gitt verdifull informasjon om hvordan ulik lysåpning virker inn på driften både sommerstid og vinterstid, samt om å endre lysåpning kunne løst problemene. Ettersom det ikke ble byttet til andre Coandarister er det ikke mulig å si noe konkret om dette i denne masteroppgaven. Likevel er det interessant å se at å bytte til en annen rist med stor lysåpning og stavretning parallelt strømningsretningen ser ut til å fungere tilfredsstillende.

Hvorvidt dette forflytter problemet til nåler/turbin er ikke tema for denne oppgaven, men det er verdt å være oppmerksom på at man da også åpner for at andre større partikler slipper inn gjennom inntaket. Uansett er det interessant å se at den nyinnsatte rista ser ut til å unngå både problemene med organisk materiale og is, og det vil sannsynligvis være svært interessant å følge med på utviklingen videre ved begge inntakene.

5.5. Forslag til endring av snorkelen

Laboratorieforsøkene med snorkelmodell viste at snorkelen må ta inn tar inn lite vann i forhold til det rista klarer å sluke unna. Feltobservasjonene gjennom vinteren viste at snorkelen ikke klarte å ta unna nok vann til å drive kraftverket i perioder med kuldegrader i vannet og is på rista. Det er derfor rimelig å tro at rista fryser til selv under dagens snorkel ved Dyrkorn, eller i det minste at den ikke tar inn nok vann i disse periodene. Ved befaringen i august ble det observert at innløpet til snorkelen fortsatt hadde deformasjoner selv etter utbedringen som ble gjort ved utplassering i 2016.

Skal snorkelen kunne fungere som tiltenkt, bør derfor utformingen forbedres. Et minstekrav må være å unngå deformasjonene man ser på dagens snorkel. Dette kan oppnås for eksempel ved å bruke et stivere materiale eller en slags armering.

I tillegg kan det være en mulighet er å lage en ny snorkel med større dimensjoner. Dette burde gi bedre kapasitet og vannføring til inntaket enn dagens løsning. Det gir ingen garanti for at rista ikke fryser til, ettersom temperaturmålingene gjennom vinteren viste at bunntemperaturen også var negativ når det var kuldegrader nær overflaten. Altså er det mulig at aktivt sarr også kommer til gjennom snorkelen. Dersom den likevel delvis fungerer, burde

større dimensjoner la mer vann kunne renne gjennom snorkelen. Lengre snorkel (altså at den dekker lengre del av inntaket/overløpet) er også en variant av dette. Dersom snorkelen i motsetning til hva denne oppgaven antyder klarer å forhindre tilfrysing av rista, er det fordelaktig at større del av rista er dekket av snorkel. Dette gjelder både i lengde av dammen og «skjørtelengde» over rista. Med lengre «skjørtelengde» vil mindre snø og is kunne bygge seg opp på nedre del av rista, og dermed mer av ristas kapasitet kunne utnyttes.

5.6. Vurdering av funksjon til modifikasjoner for Coandarister

Som nevnt innledningsvis og gjennom oppgaven, finnes en rekke varianter av modifikasjoner for Coandainntak. De kan lages med rett rist, delvis buet rist, ulik lysåpning, i forskjellige materialer, med eller uten beskyttelsesstaver og med ulik ristlengde.

Dette gjør Coandainntak til svært fleksible løsninger, som kan spesialdesignes til lokale forhold, men der ristene lett kan byttes ut dersom noe må endres. Noen steder kan det for eksempel være tilstrekkelig med en rist uten beskyttelsesstaver, men dersom det viser seg å være behov likevel er det fort gjort å installere rister med dette på.

Snorkelen som modifikasjon til inntak med Coandarist er et spesialdesign som det ikke er kjent å være prøvd ut andre steder enn ved Dyrkorn. Selv om denne oppgaven antyder at dagens løsning ikke fungerer som tiltenkt, kan det være at fremtidige modifikasjoner av denne viser seg å fungere. Dette fordrer at man klarer å ta inn vann som ikke er underkjølt eller inneholder sarr.

En modifikasjon som ikke er sett nevnt noe sted, og som det er noe tvil om vil fungere, er rister med innlagt varmekabler eller varmeelementer. Dette ble foreslått av en slektning av forfatteren av denne masteroppgaven ved et besøk i USA sommeren 2017, og nevnes her som en anekdote fordi det var et kreativt forslag til hvordan man kan forhindre gjenfrysing vinterstid. Grunner til at dette kan være u hensiktsmessig er at det kan trekke litt vel mye strøm og at kabler kan være utsatt for slitasje og vann. Det er heller ikke sikkert varmen vil være tilstrekkelig til å forhindre isvekst og i verste fall kan det virke mot sin hensikt og heller skape nye problemer. Dette kan likevel være en idé å forske videre på om det finnes ressurser tilgjengelig.

Ettersom det er lett å skifte rister ved Coandainntak, bør også det å bytte fra Coandarist til for eksempel Tyrolerrist nevnes som en modifikasjon. Dette ble høsten 2017 delvis utprøvd ved Tverråni, og kan være en glimrende løsning dersom andre alternativer ikke er egnet.

6. Konklusjoner og videre arbeid

Snorkelens funksjon skulle vært å forsyne inntaket med vann selv i perioder der resten av rista er tilfrosset. Dette skulle oppnås ved å ta inn vann fra vesentlig større dyp enn overflaten, delvis isolere vannet på innsiden av snorkelen og holde øvre del av rista fri for snø og is.

Resultatene fra feltobservasjonene ved Dyrkorn som er diskutert i denne oppgaven viser at snorkelen ikke klarer å forsyne inntaket i disse periodene. Driftsdata og bilder fra fryseepisodene viser at kraftverket ikke får vann fra inntaket når rista er tilfrosset og snorkelen i teorien kunne levert nok vann. Snorkelens funksjon som tak over rista ser ut til å fungere mot snø, men det er ingen garanti for at den fungerer mot is, ettersom is kan bygge seg opp fra nederst på rista og oppover under taket. I tillegg ble det i første fryseepisode påvist at vann på bunnen hadde samme temperatur som vann like under overflaten. Dette antyder at også underkjølt vann med aktivt sarr kan komme inn gjennom snorkelen og fryse til denne delen av rista også.

Det lyktes ikke å selv påvise effekten av ulik lysåpning i arbeidet med denne oppgaven, men som vist i teoridelen eksisterer det allerede mye god forskning på dette, og kortversjonen er at kapasiteten til en Coandarist øker når lysåpningen blir større. Dette er blant annet behørig vist av (Wahl, 2003). Samtaler med Dylan Roberts hos ristprodusenten Dulas i august og november 2017 antydet også at forholdet mellom lysåpning og bredde på grindstavene er viktig og at dette kan være vanskelig å få riktig. Lokale forhold kan gi nye problemer selv med en rist som har fungert bra andre steder, og nye tilpasninger kan da åpne for forbedrede produkter til nytte også i senere prosjekter.

Resultatene fra kapasitetstestene er lite konkluderende, først og fremst fordi modellen med dagens oppsett blir begrenset av det pumpene klarer å levere gjennom ventilen til det øvre magasinet. Denne er langt lavere enn det rista kan sluke, og gir derfor ikke noe bilde av ristas kapasitet. Med snorkel kommer enda mindre vann gjennom rista, i hvert fall hvis det kreves at alt skal komme gjennom snorkelen og ikke over den. Forsøkene i kulderommet lyktes også bare delvis. Rista frøs aldri helt til, men det betyr ikke at snorkelen forhindrer tilfrysingen. Det ble likevel oppdaget et tynt islag på de øverste spaltene, noe som antyder at en liten mengde kaldt nok vann kom gjennom snorkelen. Dersom et nytt kulderomsforsøk med snorkel skal gjennomføres i fremtiden, bør det sørges for at både modellen og vannet er tilstrekkelig kaldt før forsøket starter. Dessuten bør det vurderes å bruke enten store mengder snø eller bedre knust is for å kjøle vannet ned ytterligere.

Det må anses som en styrke for feltobservasjonene ved Dyrkorn at det var så mye tilgjengelige data fra ulike typer sensorer som kunne sammenlignes opp mot hverandre og mot driftsdata. Særlig muligheten til å sammenligne vanntemperatur mot bilder og driftsdata har vært uvurderlig i arbeidet med denne oppgaven. Det antas at SWIPS-enheten ville gitt minst like verdifulle data, men ettersom denne ble begravd ved første flom ga den ingen nyttige bidrag videre. Heldigvis rakk den å gjøre litt nytte for seg før dette skjedde, ettersom den registrerte mulig sarr i vannet på samme tid som både temperaturloggeren på ramma og på dammen viste minusgrader.

Det vil sannsynligvis være nyttig å gjøre flere overvåkinger av en hel vintersesong senere, men et par forslag til forbedring her er å sørge for bedre kameravinkel mot rista og å montere

ramma med SWIPS og temperaturlogger direkte til dammen. Ingen av kameraene viste nok av snorkelen til å se om det kom vann ut av den mens resten var isdekt, noe som kunne blitt undersøkt om kamera hadde vært rotert bare noen få grader til siden. En montering av SWIPS og temperaturlogger ved bunnen av dammen kunne dessuten forhindre at ramma ble begravd under sedimenter. En mulig ulempe av montering på dam er at det kan gi mer støy på profilene fra målingene.

Det var ikke mulig å sammenligne observert og målt sarrmengde, ettersom SWIPS-sensoren ble begravd så tidlig, og eneste fryseepisode før dette skjedde på natta. Imidlertid ga laboratorieforsøket med SWIPS og kjente størrelser gode profiler og datasett som kan brukes som sammenligningsgrunnlag for senere utsetninger. Sammenligning mellom profiler fra forsøket og fra den lille perioden SWIPS-enheten ikke var begravd i felt, viser at SWIPS-enheten i felt hadde utslag som ligner litt på det man ser fra laben. Utslaget er likevel veldig smått sammenlignet med det man så i laboratoriet, men dette kan skyldes at sarrmengdene var små og at sarr kanskje gir andre utslag enn en stor mengde plastbiter plassert nær enheten.

Befaringen til probleminntakene i Todalen viste at selv inntaksløsninger som er utprøvd mange steder, ikke trenger å fungere overalt. Resultatene fra vannprøvene viser at det som tetter igjen ristene sommerstid faktisk er alger kombinert med vegetasjonsrester. Ettersom det ble valgt å bytte til ny rist på en seksjon av det ene inntaket ga dette gode muligheter til å observere utviklingen gjennom høsten. Det er gode nyheter at den nye rista ser ut til å fungere godt både sommer og vinter, ettersom den ikke går tett av algebelegget og i tillegg klarer å ta inn vann under isen.

Den nye rista på Tverråni er en variant av tyrolerrist, og har derfor større lysåpning mellom grindstavene enn Coandaristene, og stavene står dessuten vertikalt. Det var opprinnelig snakk om å også teste ut Coandarister med ulik lysåpning ved Tverråni høsten 2017, men disse ble aldri produsert. Dette ville gitt en glimrende mulighet til å sammenligne rister av ulik type og med ulik lysåpning, men selv om det ikke var mulig høsten 2017 kan dette være interessant å studere videre senere.

Selv om denne oppgaven viser at snorkelen på Dyrkorn ikke fungerer som tenkt, kan det hende at varianter av denne kan fungere. Det er usikkert om dagens snorkel fungerer dårlig også fordi den tar inn mindre vann enn planlagt, men det antydes i hvert fall av deformasjoner nederst på innløpet. Dersom en ny snorkel bygges stivere, enten ved å bruke annet materiale eller en form for armering i tillegg, vil den i det minste kunne beholde formen og dermed ta inn vannet den er dimensjonert for. En større snorkel vil kunne gi større kapasitet, men det er usikkert om dette ville forhindre fryseproblemene, ettersom dette ikke nødvendigvis forhindrer underkjølt vann fra å bli tatt inn.

Samla sett er det en styrke at Coandainntak kan bygges med ulike modifikasjoner. At ristene kan leveres med forskjellig antall seksjoner, ulik ristlengde og ulik lysåpning åpner for å skreddersy etter lokale forhold. Beskyttelsesstaver er heller ikke nødvendig overalt, men er en smart beskyttelse av grindstavene. Hvis en snorkelvariant viser seg å fungere godt på vinterstid, vil dette være et godt supplement, men erfaringen mange steder er at inntakene har kort nedetid vinterstid selv uten modifikasjoner. Ettersom det er så lett å bytte rister på Coandainntak, kan det også enkelt bygges om til for eksempel tyrolerinntak. Alt i alt viser dette at inntak med Coandarister er en fleksibel løsning som kan tilpasses en rekke ulike forhold og dermed fungere godt mange steder.

Som videre arbeid fra denne masteroppgaven vil det være naturlig å følge opp probleminntakene i Hallingdal. Dersom det blir aktuelt å teste ulike rister som tidligere nevnt, vil dette være en gylden mulighet til å gi økt kunnskap om hvordan ulik lysåpning påvirker algeproblemer og gjenfrysing. Hvis det ikke er aktuelt, er det uansett interessant å se hvordan et Coandainntak omgjort til Tyrolerinntak fungerer.

For enda bedre kunnskap om hvordan snorkelen fungerer i kulde kan flere forsøk i kjølerom utføres, men i så fall bør utbedringer på modellen gjennomføres eller det bør bygges ny modell spesielt for oppgaven.

Videre feltobservasjoner ved Dyrkorn kan med fordel gjøres, for eksempel i form av å se om en forbedret snorkel (stivere eller større) fungerer og å kontrollere dette med lignende oppsett som under vinteren 2016/2017. Skal slike feltobservasjoner skal gjøres på Dyrkorn, vil det likevel være lurt å forbedre oppsettet av sensorer på bunnen, for eksempel ved å feste disse på vannsida av bunnen til inntaksdammen.

Instrumenteringen ellers var glimrende, og ved eventuelle utsettinger andre steder vil det være en fordel å bruke et lignende oppsett med både flere temperatursensorer, flere kamera og om hensiktsmessig også SWIPS.

7. Litteraturliste

- Carstens, T. (1966) *Experiments with supercooling and ice formation in flowing water*. Univ.-Forl.
- Daly, S. og Colbeck, S. (1986) Frazil ice measurements in CRREL's flume facility, *Proc. Syrup. Ice*, s. 427-438.
- Daly, S. F. (1994) *International Association for Hydraulic Research Working Group on Thermal Regimes: Report on Frazil Ice*. INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR HYDRAULIC RESEARCH WORKING GROUP ON ICE FORCES.
- Ghobrial, T. R., Loewen, M. R. og Hicks, F. (2012) Laboratory calibration of upward looking sonars for measuring suspended frazil ice concentration, *Cold Regions Science and Technology*, 70, s. 19-31.
- Ghobrial, T. R., Loewen, M. R. og Hicks, F. E. (2013) Continuous monitoring of river surface ice during freeze-up using upward looking sonar, *Cold Regions Science and Technology*, 86, s. 69-85.
- Huber, D. (2005) BEDUIN Project. IVT NTNU, INP Grenoble ENSHMG.
- Jasek, M. *et al.* (2005) Instrument for detecting freeze-up, mid-winter and break-up ice processes in rivers, i *13th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers. Sponsored by CGU HS Committee On River Ice Processes and the Environment, Hanover, NH, 34pp.*
- Marko, J. og Jasek, M. (2010a) Sonar detection and measurements of ice in a freezing river I: Methods and data characteristics, *Cold Regions Science and Technology*, 63(3), s. 121-134.
- Marko, J. og Jasek, M. (2010b) Sonar detection and measurement of ice in a freezing river II: Observations and results on frazil ice, *Cold Regions Science and Technology*, 63(3), s. 135-153.
- Marko, J. og Jasek, M. (2010c) Frazil monitoring by multi-frequency Shallow Water Ice Profiling Sonar (SWIPS): present status, i *Proceedings of 20th International Symposium on Ice, Lahti, Finland.*
- Midttun, L. (2016) *Coandainntak - NVEs vurderinger*. Upublisert paper presentert på Småkraftdagene 2016. Bergen.
- Nøvik, H., Lia, L. og Opaker, H. (2014) Performance of Coanda-Effect Screens in a Cold Climate, *Journal of Cold Regions Engineering*, 28(4). doi: 10.1061/(ASCE)CR.1943-5495.0000073.
- Onset (2016). Tilgjengelig fra: <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u20-001-01>.
- Opaker, H. (2012) FUNKSJON TIL COANDAINNTAKSRISTER: ERFARING FRA DYRKORN KRAFTVERK: Institutt for vann- og miljøteknikk.
- Richard, M. og Morse, B. (2008) Multiple frazil ice blockages at a water intake in the St. Lawrence River, *Cold Regions Science and Technology*, 53(2), s. 131-149.
- Sea-Bird (2014). Tilgjengelig fra: <http://www.seabird.com/sbe56-temperature-logger>.
- Sæten, N. K. (2016) *Testing av snorkel for Coandainntak*, NTNU.
- Tsang, G. (1985) An instrument for measuring frazil concentration, *Cold Regions Science and Technology*, 10(3), s. 235-249.
- Wahl, T., Einhellig, R. og Wahl, T. (2000) Laboratory Testing and Numerical Modeling of Coanda-Effect Screens.
- Wahl, T. L. (2001) Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens, *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(6), s. 480-488. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2001)127:6(480).
- Wahl, T. L. (2003) *Design guidance for Coanda-effect screens*. Denver, Colo., Springfield, Va.: U.S. Dept. of the Interior.

- Wahl, T. L. (2013) New testing of coanda-effect screen capacities, *Poster presentation on HydroVision International*, s. 23-26.
- Yankielun, N. E. og Gagnon, J. J. (1999) Laboratory tests of a time-domain reflectometry system for frazil ice detection, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 26(2), s. 168-176.

Vedlegg 1 – større diagrammer

Dette ble lovet i kapittel 4.1, og er vedlagt her for bedre lesbarhet i teksten og for at den oppmerksomme leser skal kunne gjøre sammenligninger selv.

Ettersom etiketter var fraværende på figurene i hovedteksten, kreves en liten forklaring her.

T_a er lufttemperaturen som ble målt av HOBO-enheten ved lukehuset

T_{ws} er vanntemperaturen som ble målt 30 cm under overflaten (ws = water surface)

T_{wb} er vanntemperaturen målt på bunnen (wb = «water, at the bottom») med SBE56-enhet festet på ramma til SWIPSen.

Temperaturen målt av SWIPS-enheten selv er ikke tatt med da denne har for stor usikkerhet til å være nyttig.

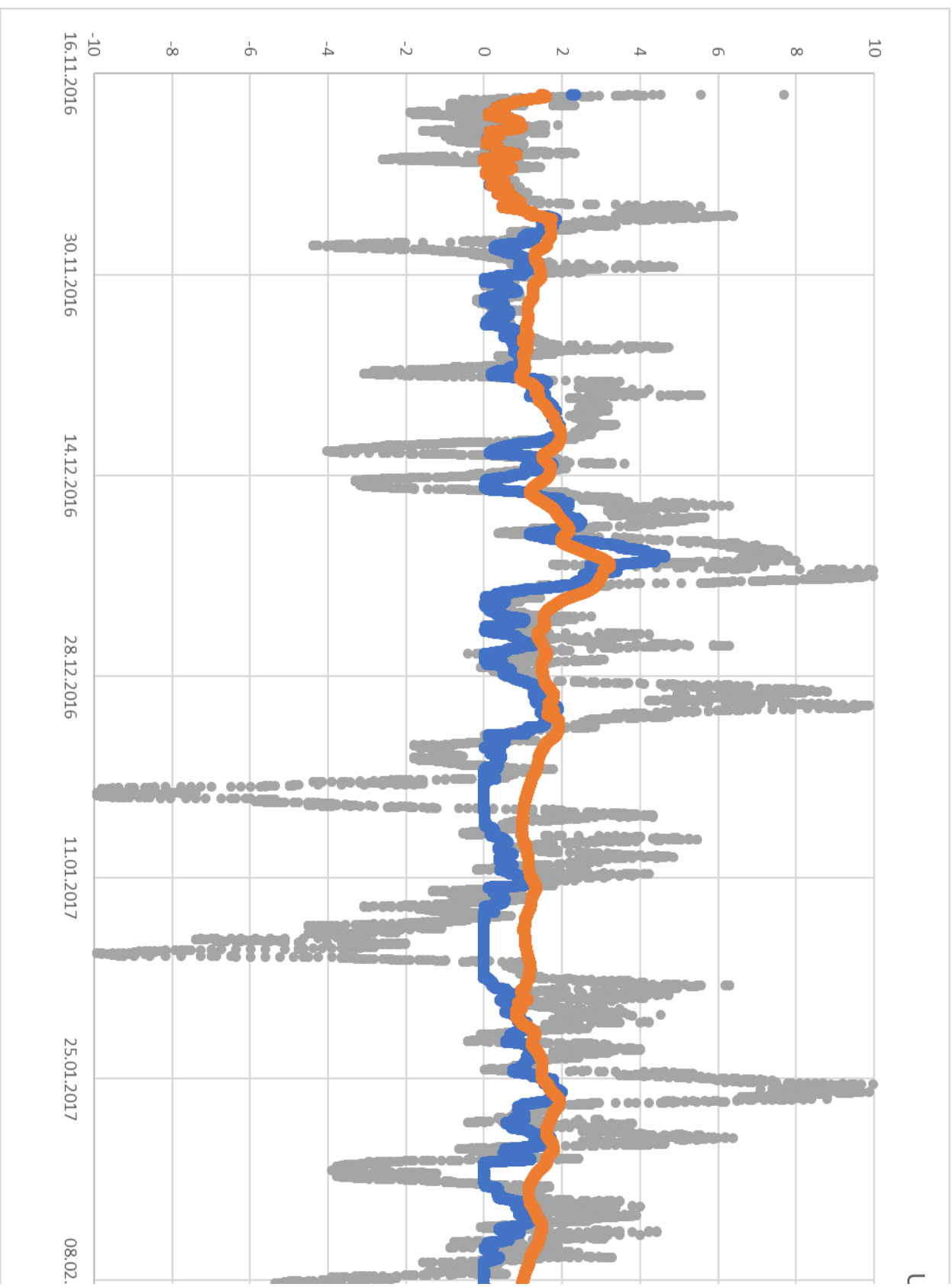
P_{luft,hus} (abs, [kPa]) er lufttrykket målt av HOBO-enheten ved lukehuset, målt i kilopascal.

P_{kontroll} er en verdi satt til 100 kPa for å gjøre det lettere å lese av trykket i hovedteksten.

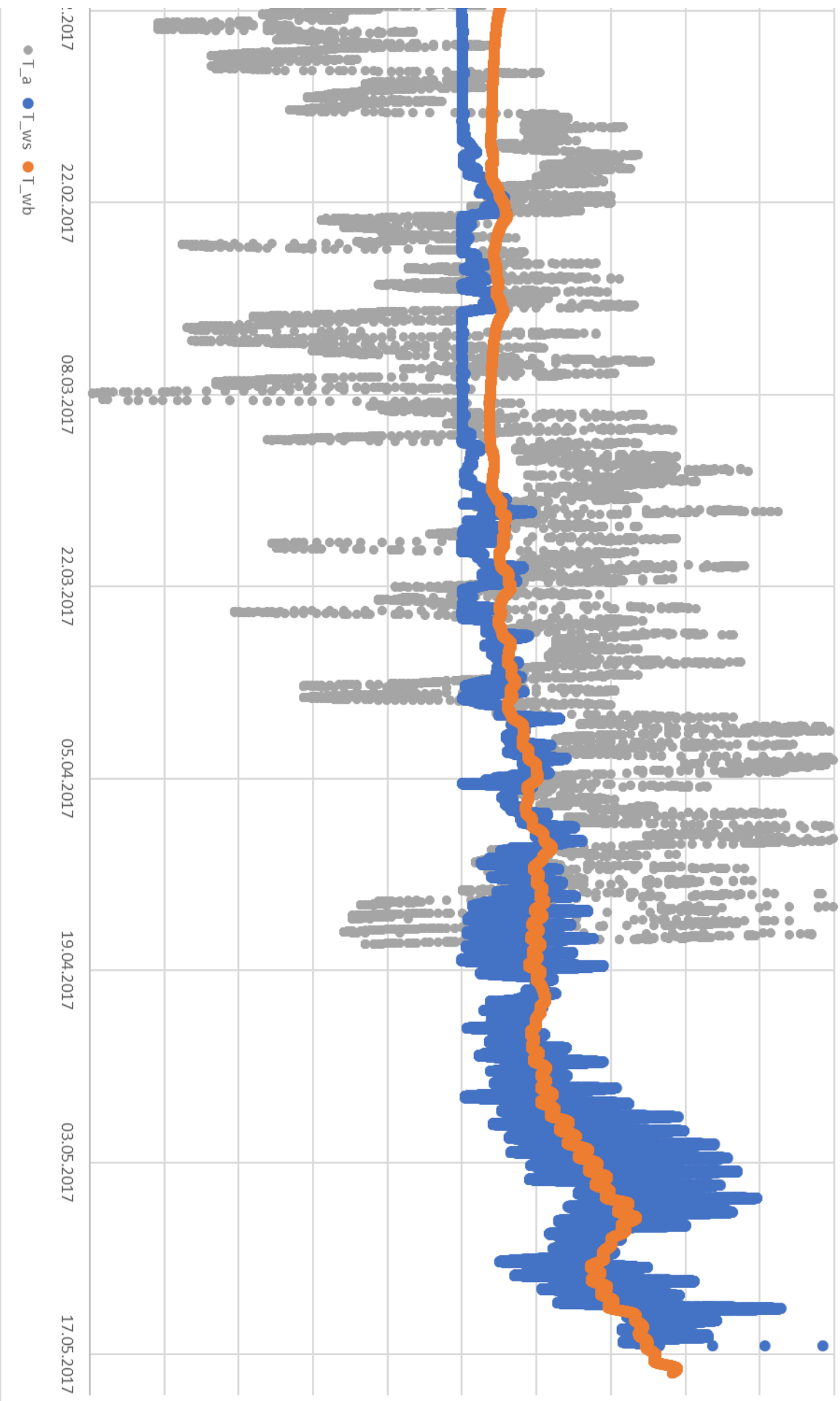
Q_{elv} m³/s er vannføring målt i elva nedstrøms inntaket, målt i m³/s.

Prod m³/s er produksjonsvannføringen, målt i m³/s

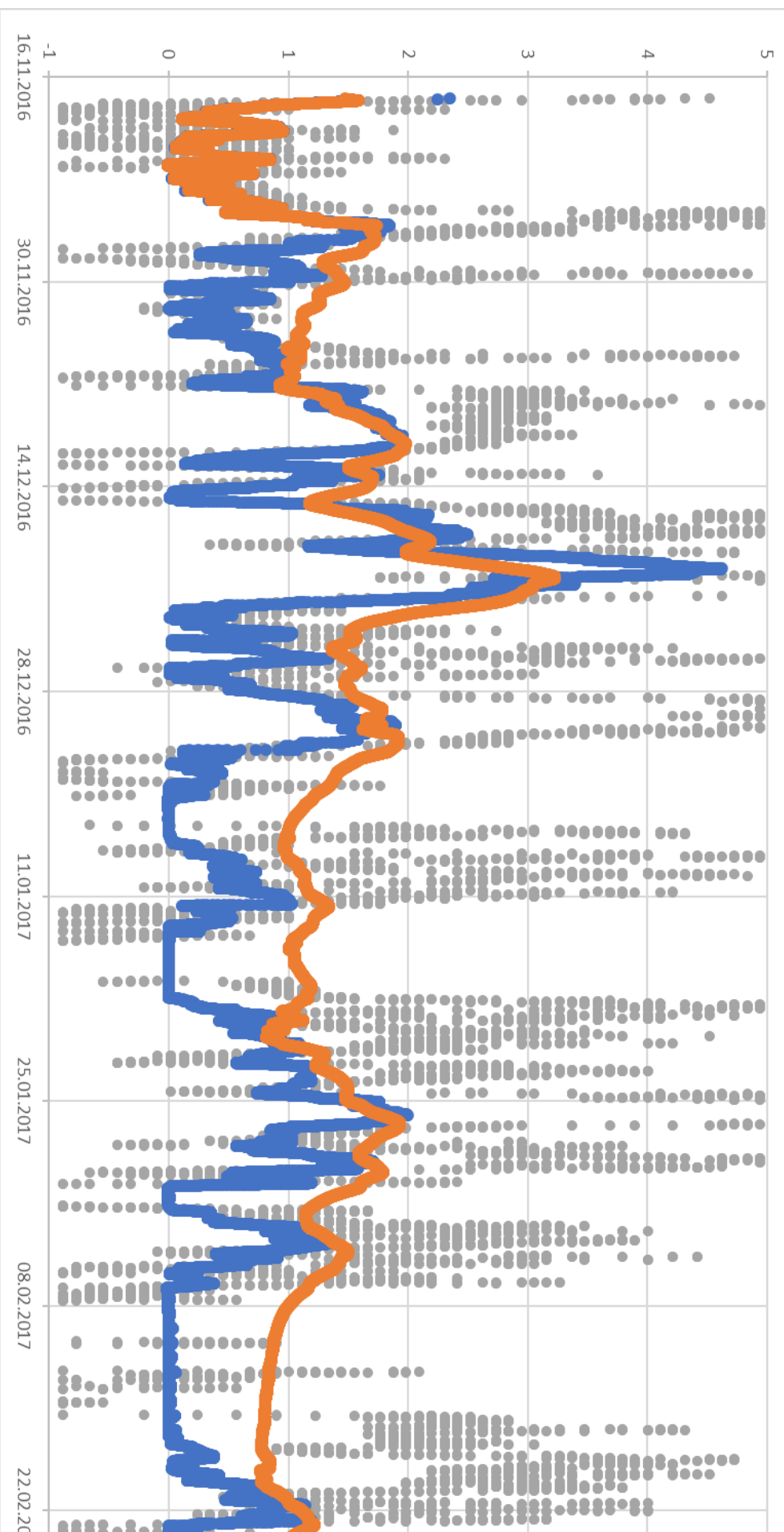
Q_{tot} m³/s er total vannføring. Både denne verdien og Q_{elv} m³/s inneholder et lite restfelt nedstrøms inntaket.



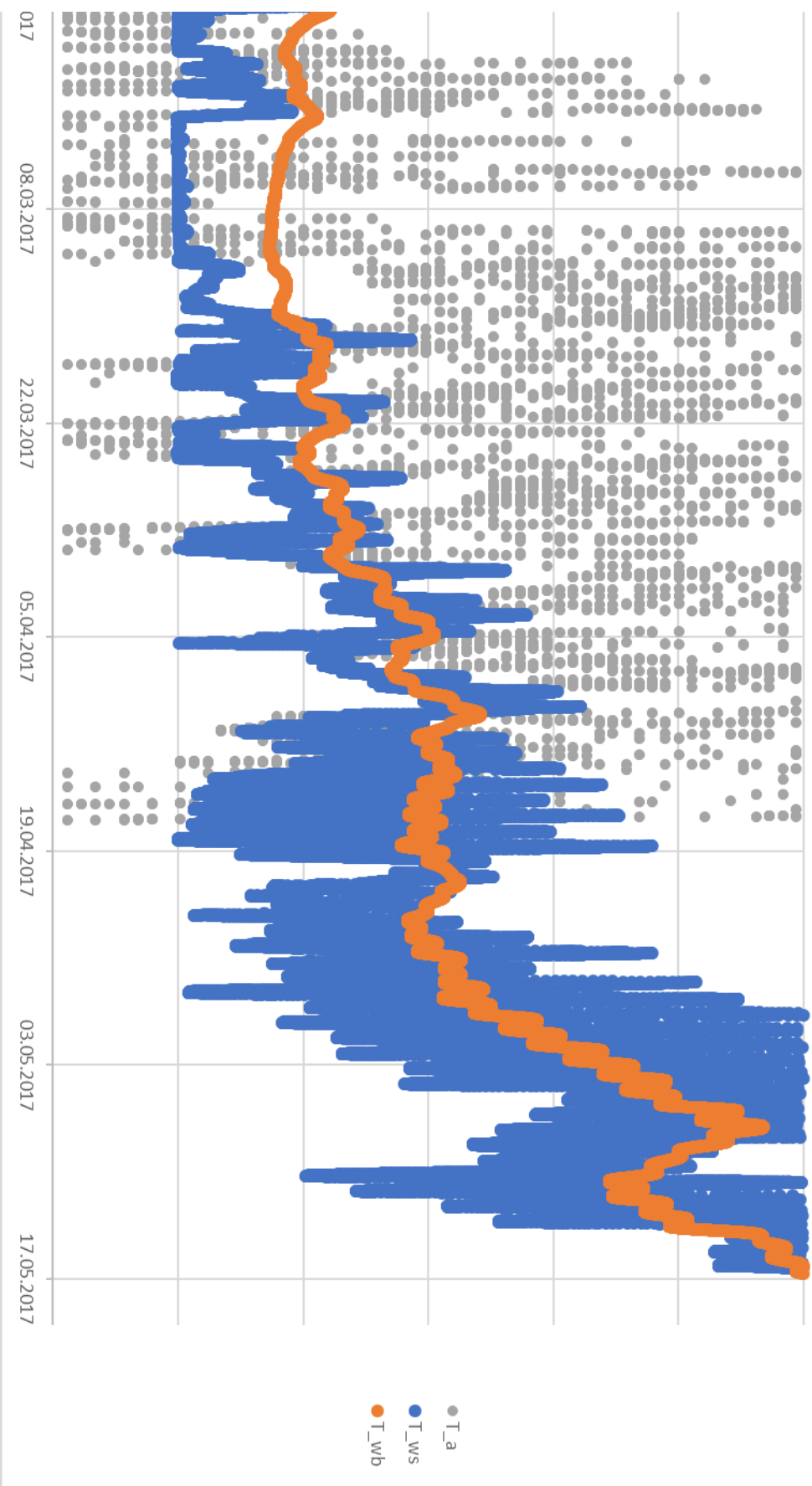
Jtvalgte temperaturer



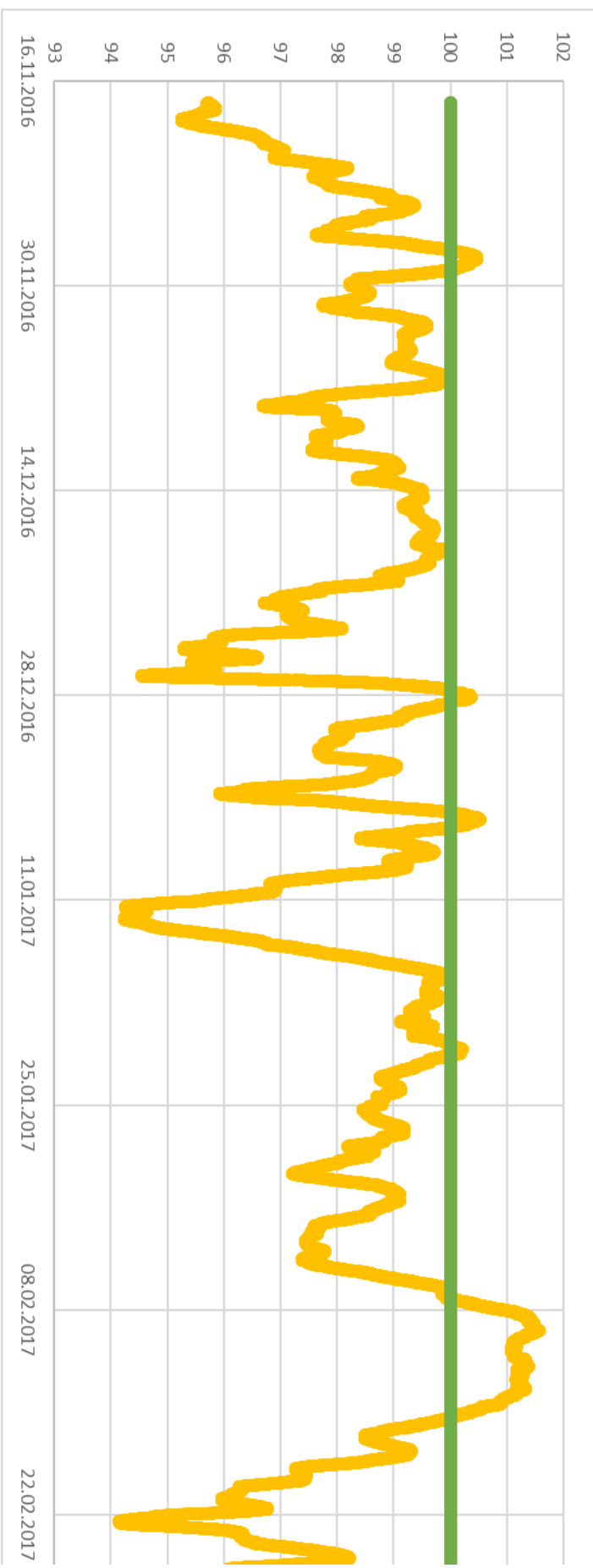
Temperaturer, med fokus på



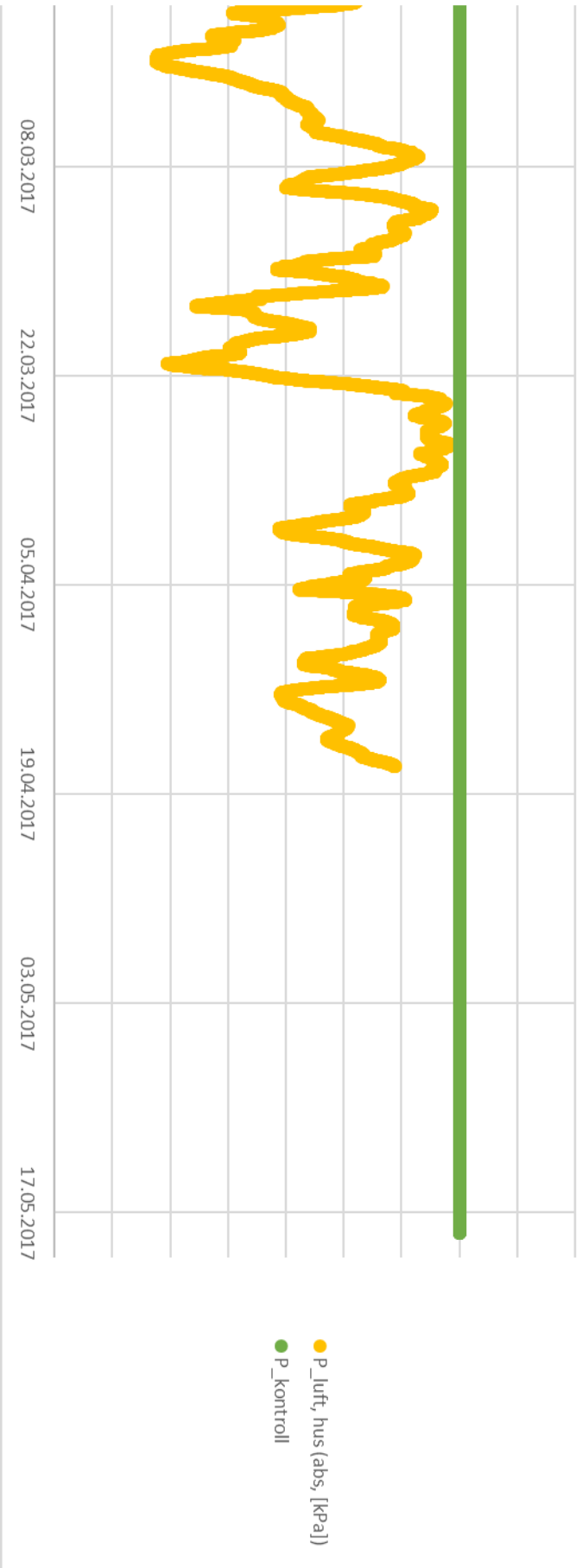
vanntemperaturen



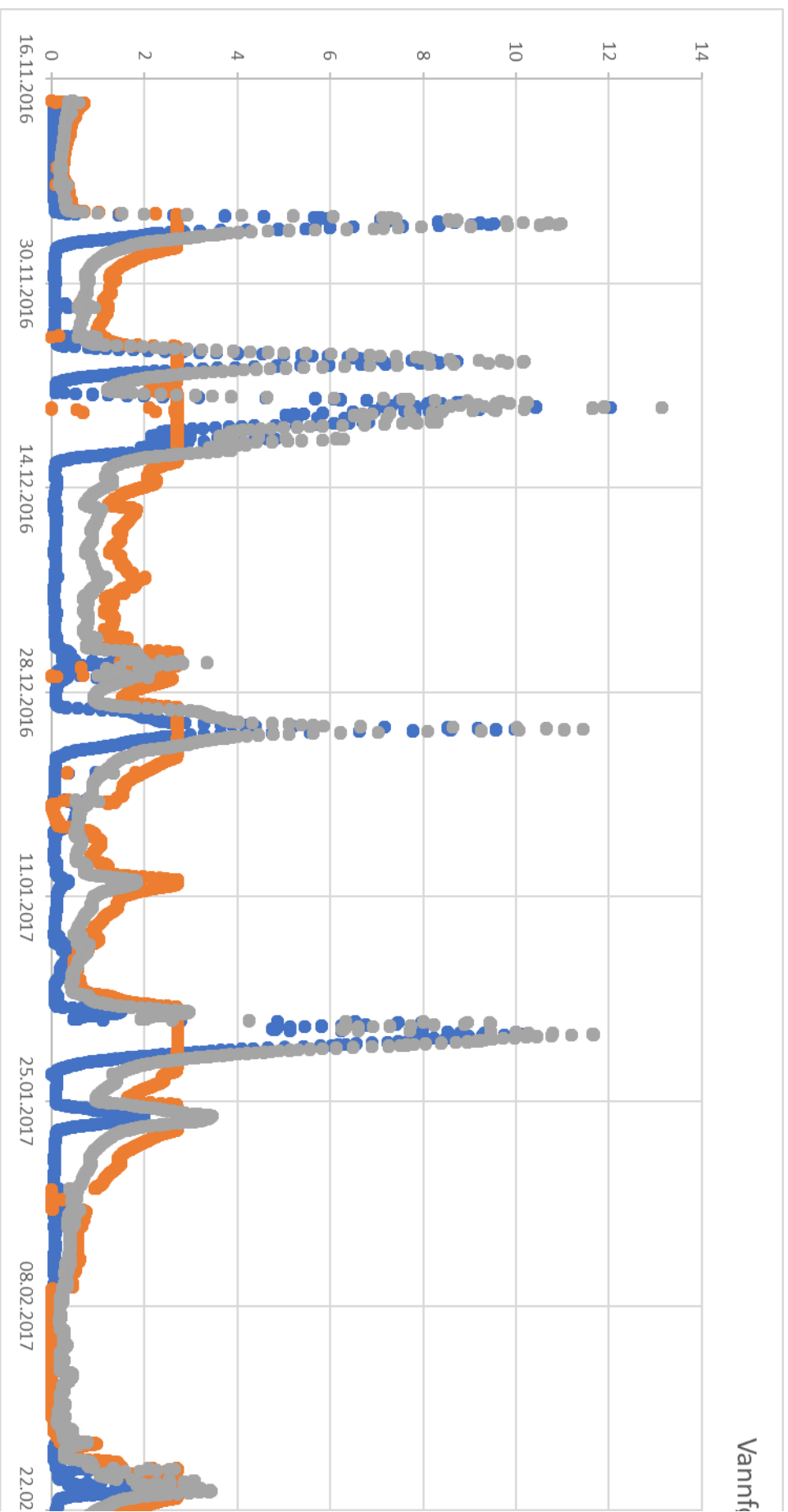
Luftrykk målt



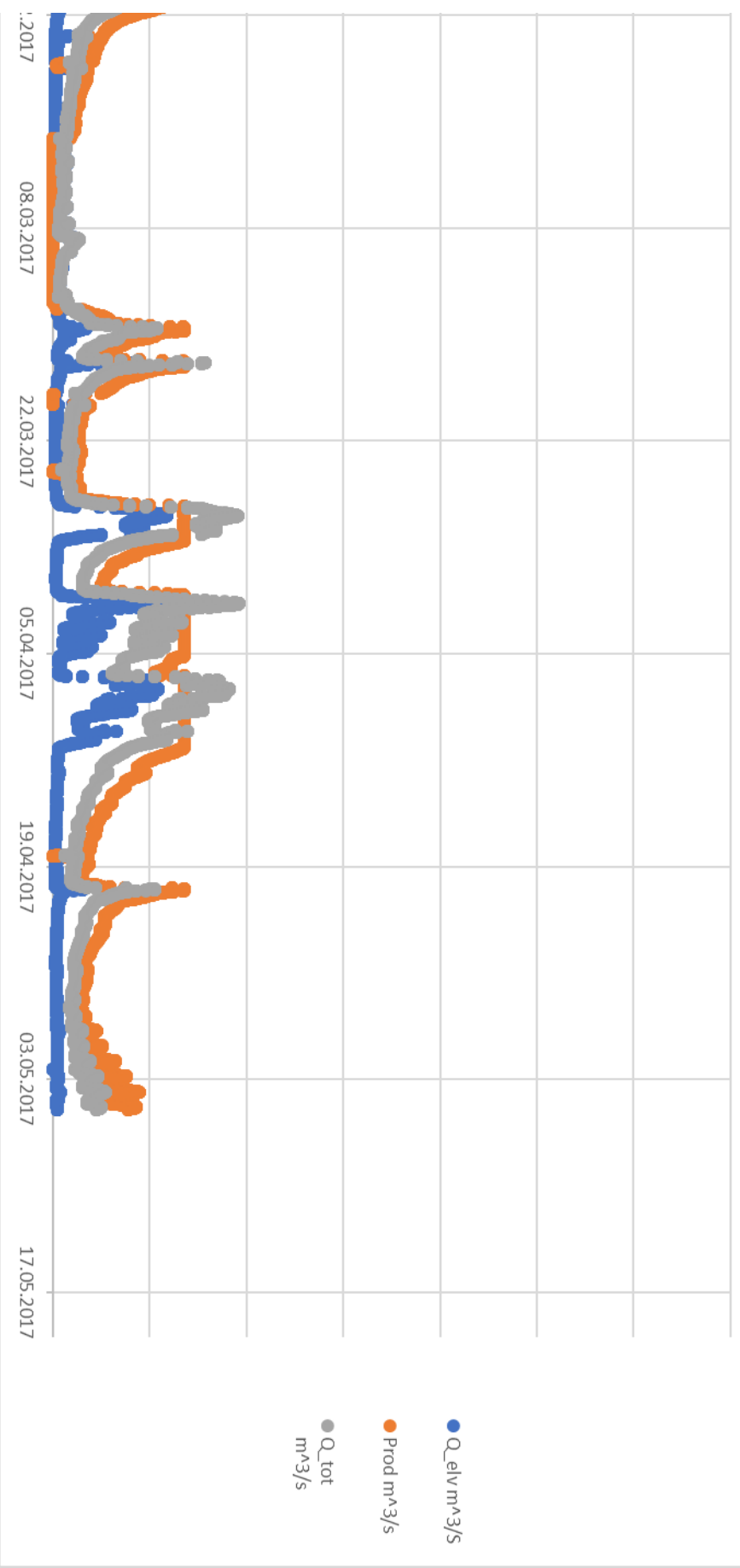
ved lukehus



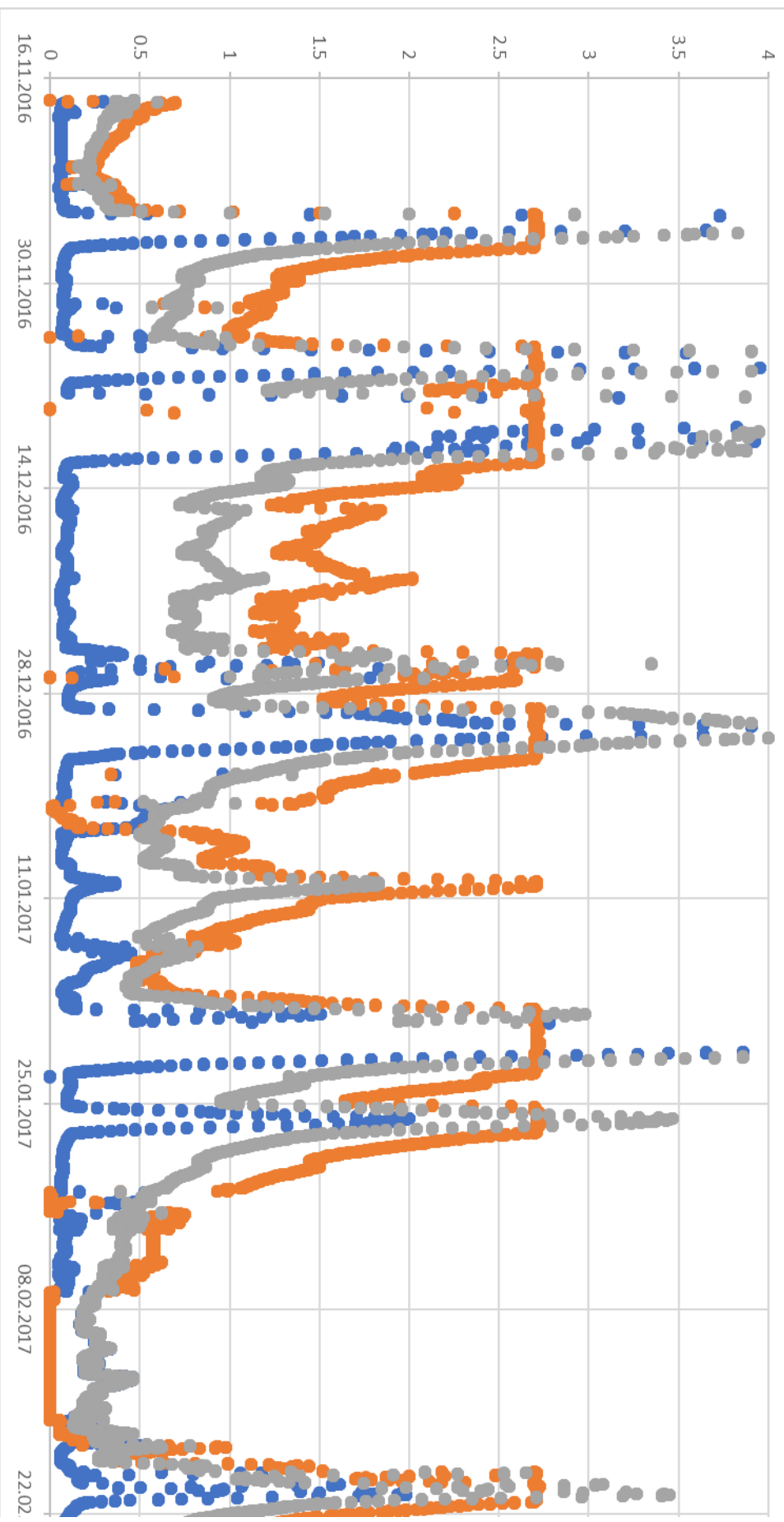
Vannfi



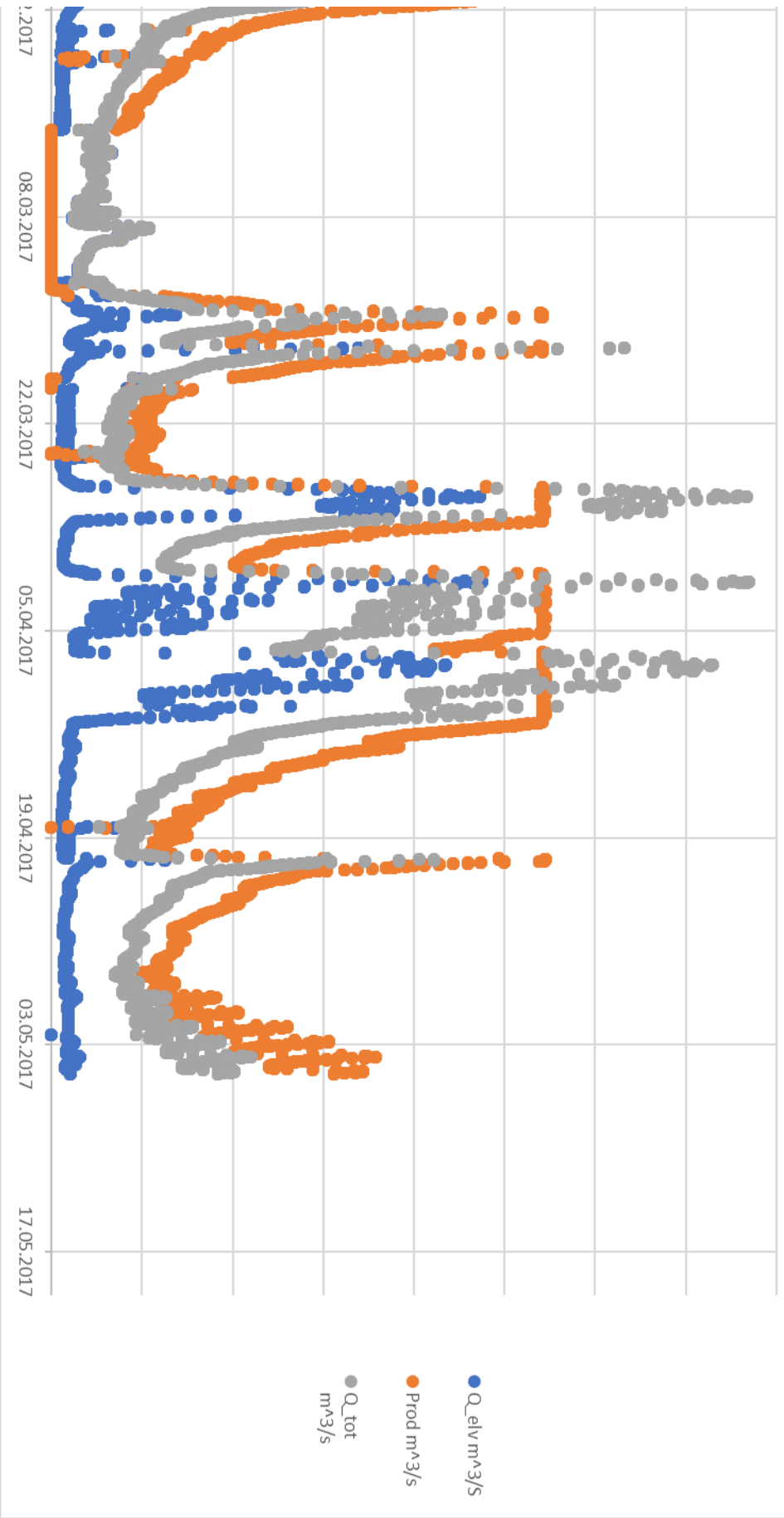
øring



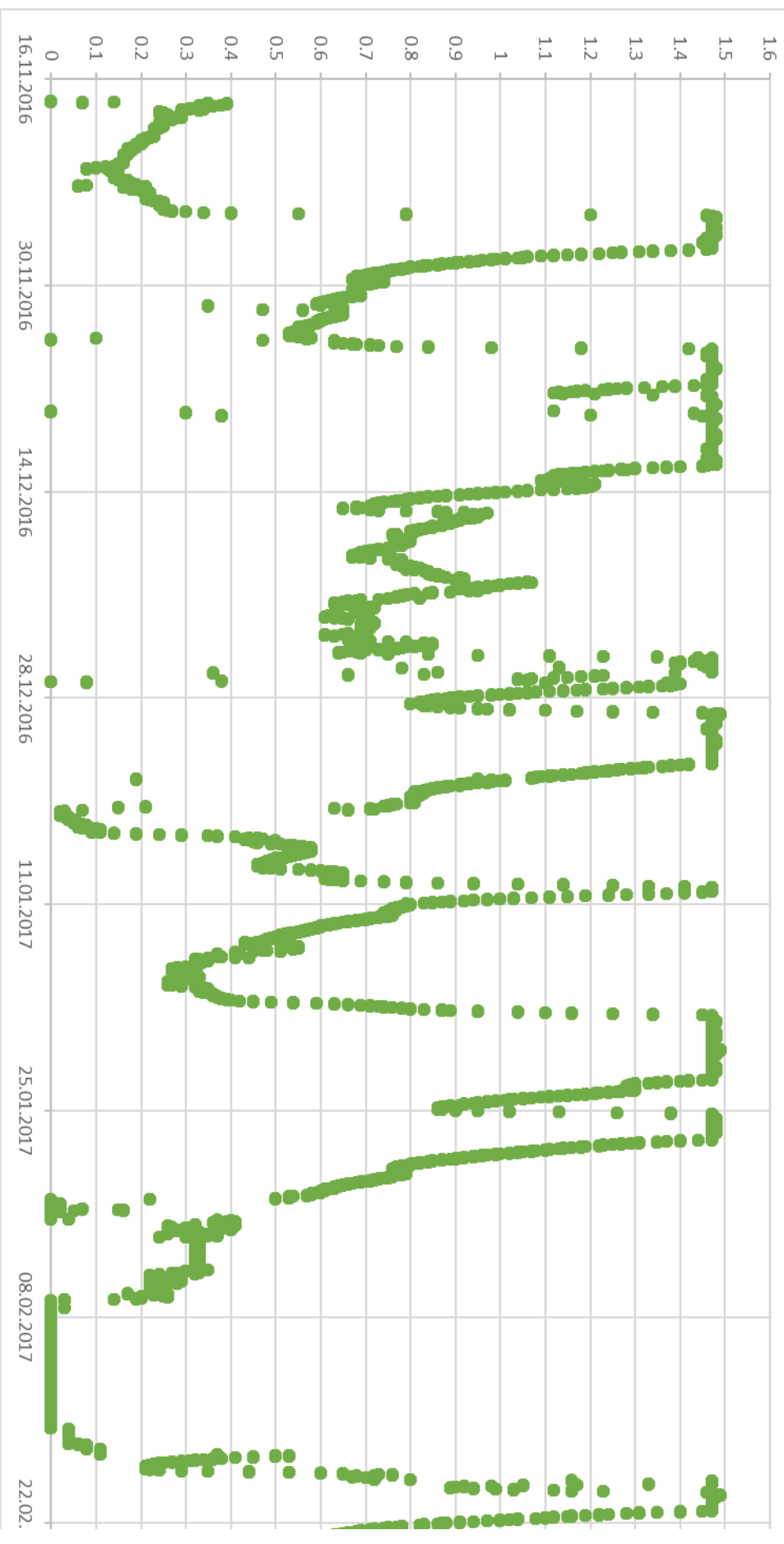
Vannføring, med fokus på



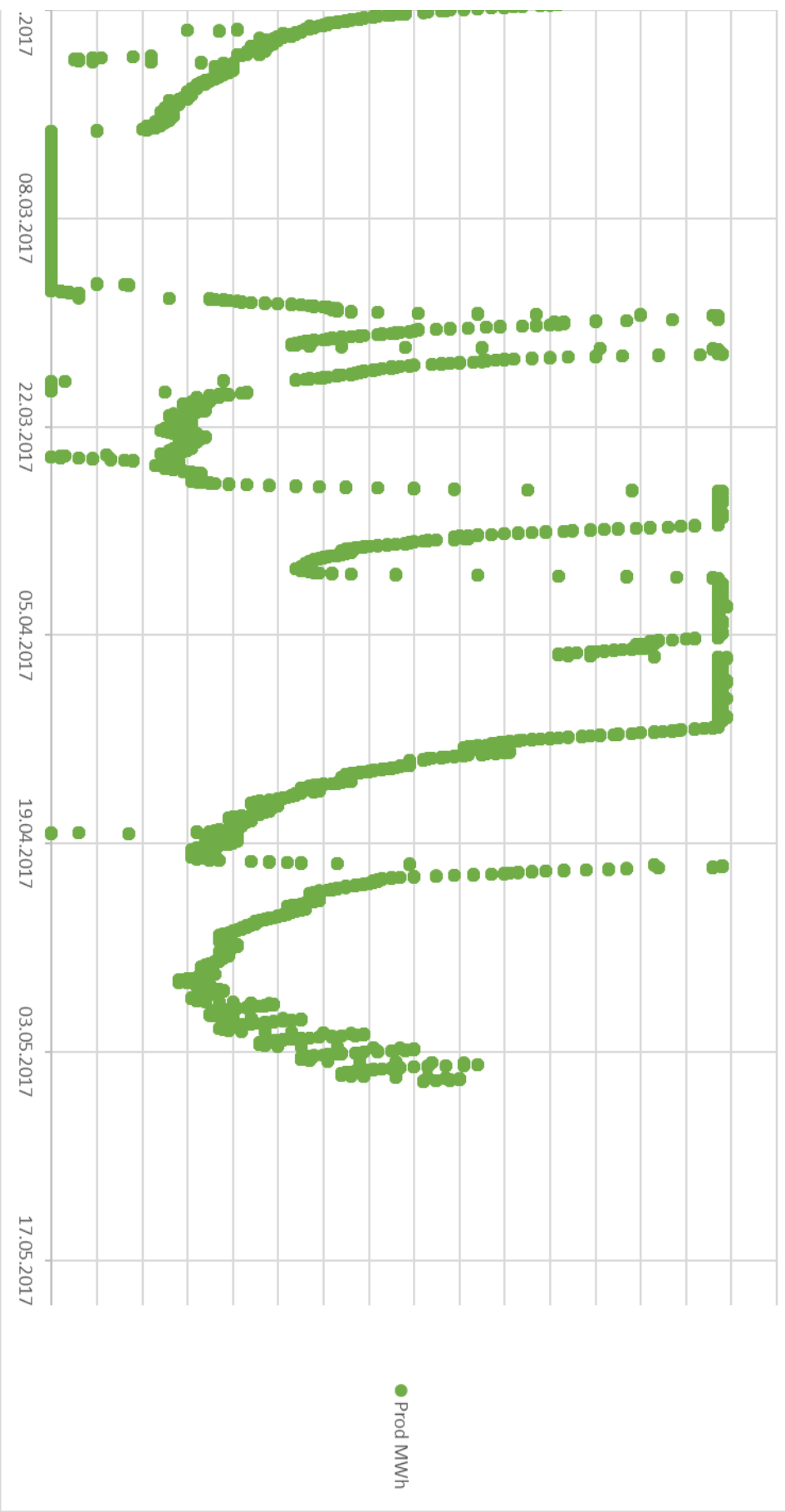
produksjonsvannføringen



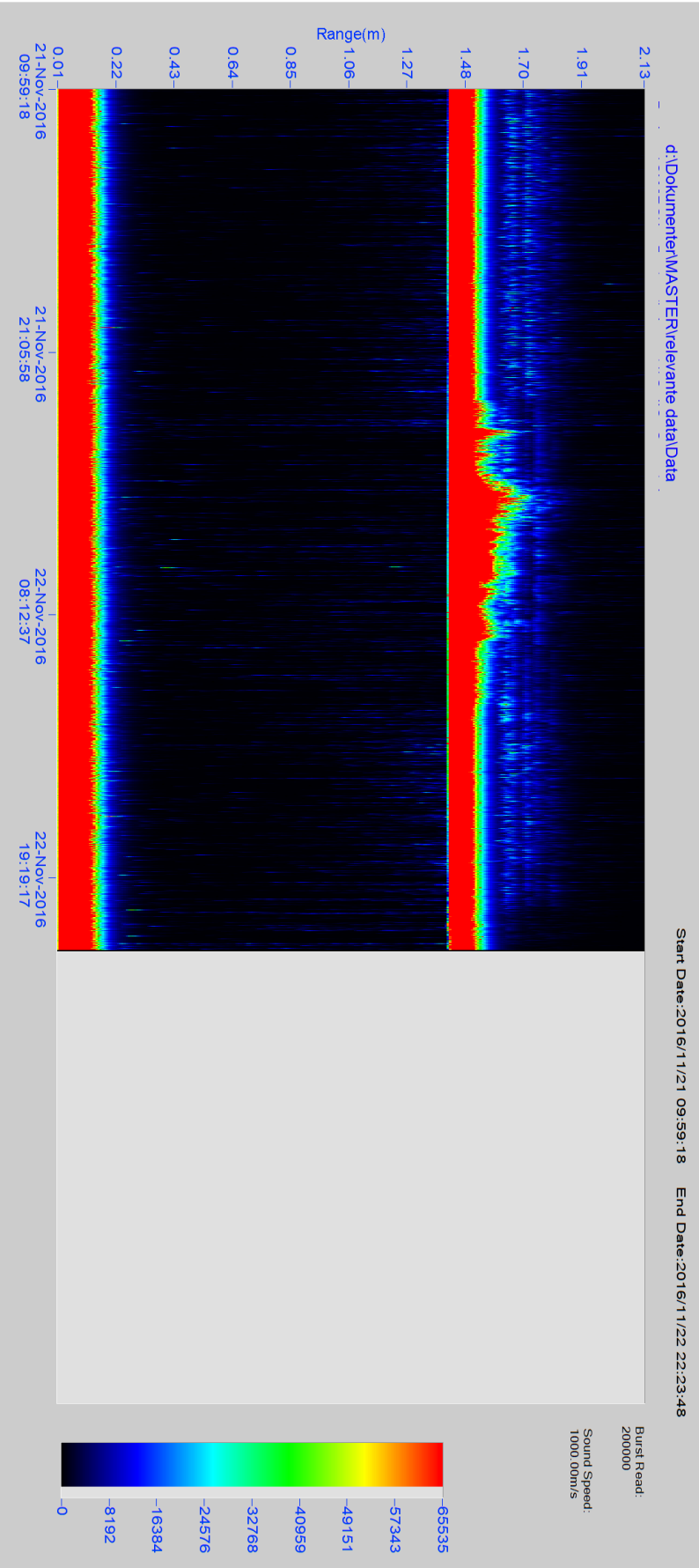
Produksjon



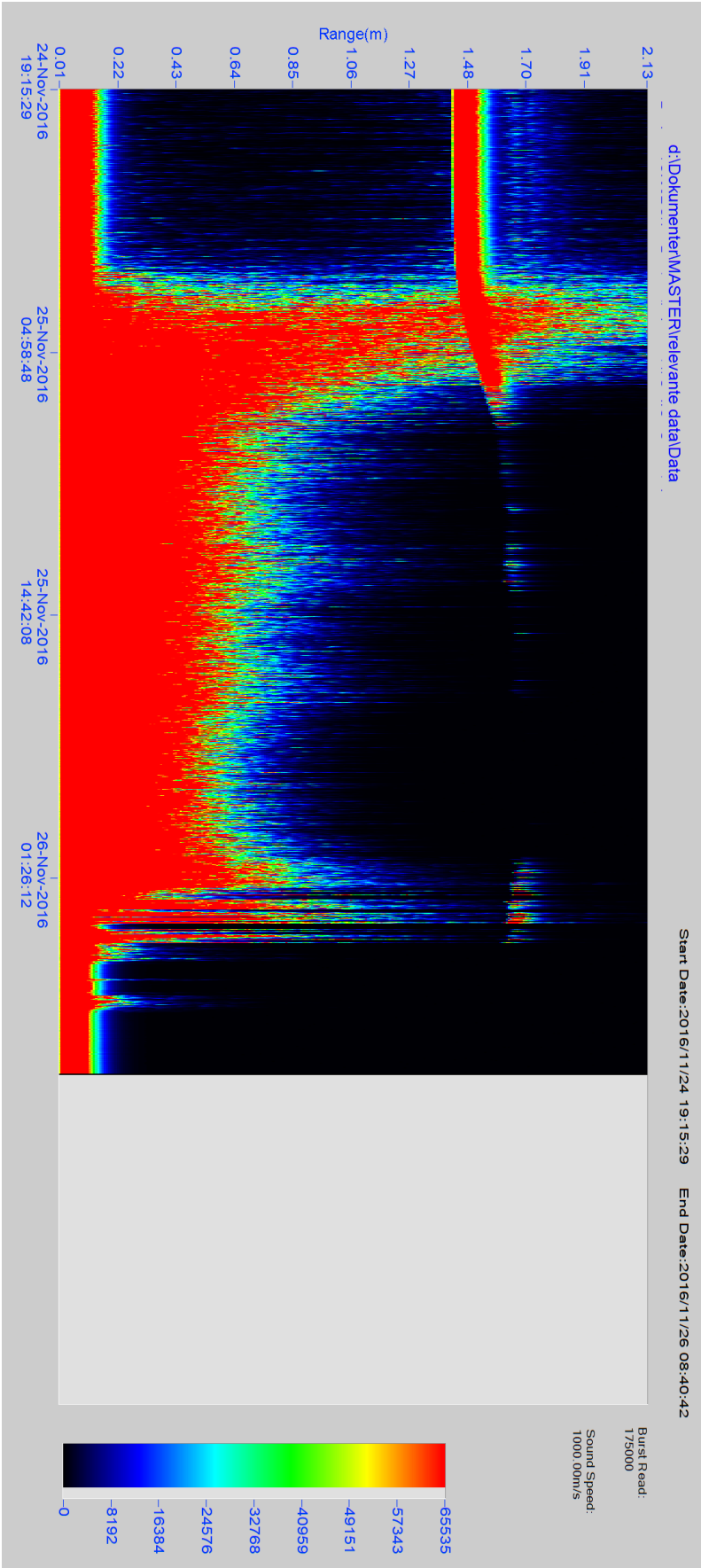
1 [MWh]



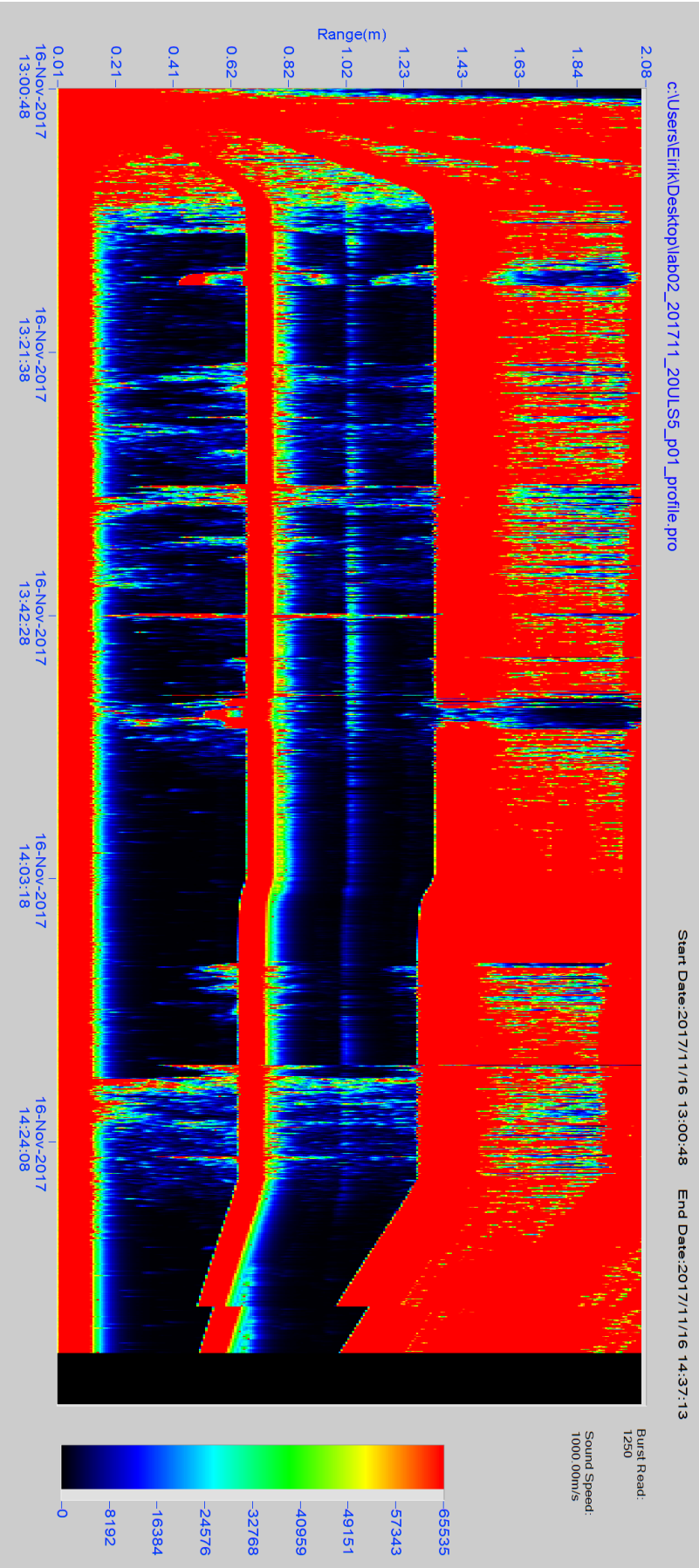
SWIPSens mulige sarrobservasjon 21.11-22.11.2016:



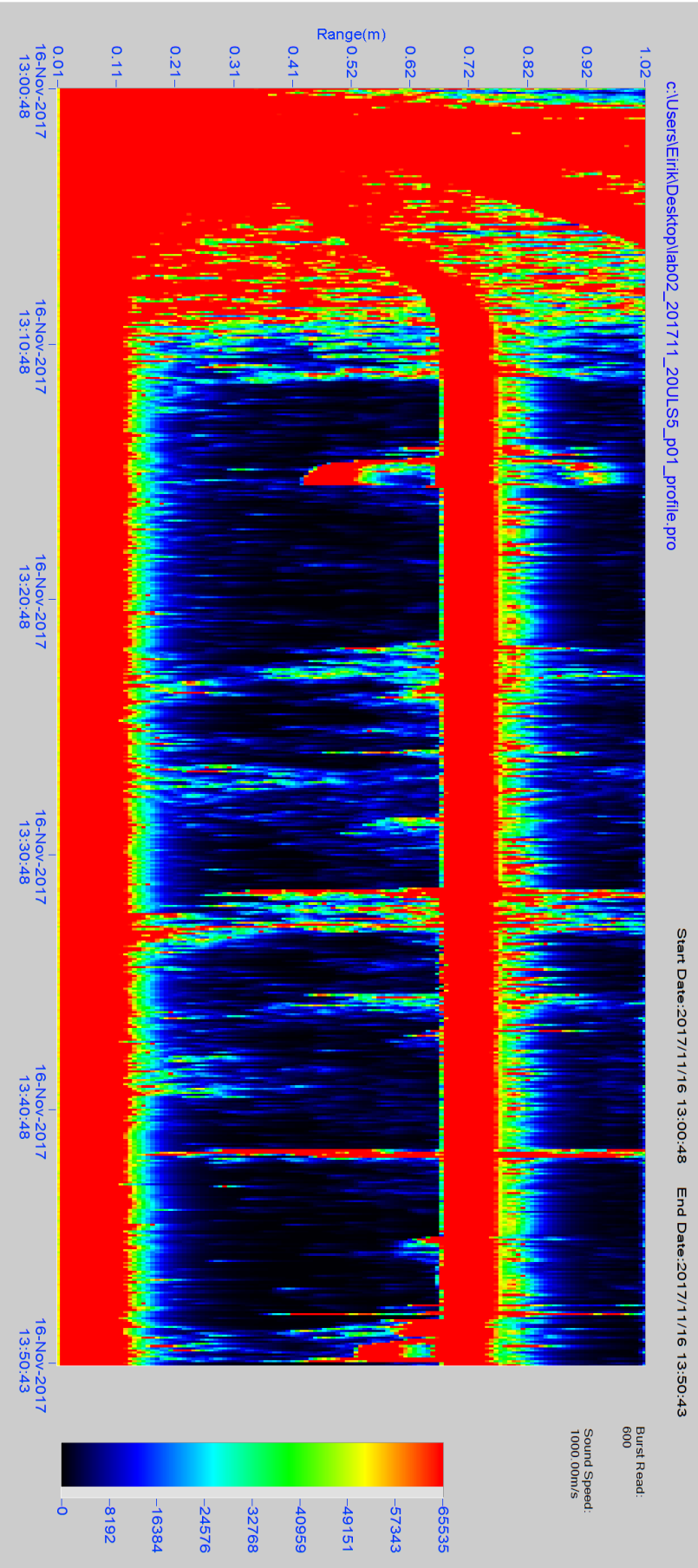
SWIPSen begraves ved flommen 25.11.16



SWIPSen i laboratorium. Samleplott.



SWIPS i lab., del 1.



SWIPS i lab., del 2.

