

Sturla Dimmen Sæle

Utvikling av 'snorkel' for reduksjon av vinterproblem på Coandainntak

Juni 2019





Kunnskap for en bedre verden

Utvikling av 'snorkel' for reduksjon av vinterproblem på Coandainntak

Sturla Dimmen Sæle

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2019

Hovedveileder: Professor Leif Lia

Medveileder: Professor Knut Alfredsen
Halvor Kjærås

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg - og miljøteknikk

Sammendrag

Hovedmålet med denne prosjektoppgaven er å dokumentere og verifisere funksjonen til snorkel som modifikasjon på Coandainntak ved vinterdrift. Coandainntak er en type selvrensende inntak til små kraftverk, som stort sett har vist gode egenskaper ved de fleste forhold. Hensikten til snorkel som modifisering av inntaket, har vært å hindre at underkjølt vann og sarrpartikler gir igjenfrosset og blokkert inntaksrist.

Teorien bak snorkelen er at man ved å hente vann fra dypet av inntaksbassenget unngår denne typen problemer. Problemet med igjenfrosset inntaksrist er størst i skiftende klima, slik som langs den norske kysten, hvor man vil få flere slike hendelser i løpet av en vintersesong.

I arbeidet med denne oppgaven ble det derfor gjennomført feltundersøkelser for å måle temperaturen i hele vannsøylen i inntaksbassenget, samt registrering av sarrpartikler i det samme området. Det var planlagt gjennomføring av manuell måling av sarrpartikler for å sammenligne med instrumentmålingene. Men dette ble ikke gjennomført grunnet mildvær i den aktuelle perioden.

Feltundersøkelsene ga resultater som viste sarrproduksjon og underkjøling i hele vannsøylen i inntaksbassenget. Dette gir grunn til å anta at snorkelen vil ta inn underkjølt vann, men siden manuell måling av sarrpartikler ikke ble gjennomført, var det ikke mulig å si noe om snorkelens evne til å ta til seg sarr.

Abstract

The main objective of this master thesis is to document and verify the function of snorkel as a modification of Coanda intake during winter operation. Coanda intake is a type of self-cleaning intake to small power plants, which have shown good properties in most conditions. The purpose of the snorkel as a modification of the intake has been to prevent supercooled water and frazil ice particles from causing frozen and blocked intake grids.

The theory behind the snorkel is that, by retrieving water from the depth of the intake basin, this type of problem is avoided. The problem with frozen screens is most significant in changing climates, such as along the Norwegian coast, where one will get more incidents like this during a winter season.

In the work on this thesis, field tests were carried out to measure the temperature of the entire depth of the intake basin, as well as the registration of frazil particles in the same area. It was planned to carry out manual measurement of frazil particles to compare with the instrument readings. But this was not implemented due to mild weather during the current period.

The field tests gave results that showed frazil ice production and supercooling throughout the depth of the intake basin. This gives reason to assume that the snorkel will take in supercooled water, but since manual measurement of frazil particles was not carried out, it was not possible to say anything about the snorkel's ability to absorb this.

Forord

Denne masteroppgaven er den avsluttende delen av et femårig masterprogram i Bygg- og miljøteknikk ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet. Oppgaven bygger på en prosjektoppgave skrevet høsten 2018 og utgjør min fordypning innen Vassdragsteknikk.

Jeg ønsker først og fremst å rette en stor takk til professor Leif Lia, min hovedveileder, for hjelp og inspirasjon til oppgaven.

Tafjord Kraftproduksjon AS fortjener en velfortjent hyllest for hvordan de velvillig har hjulpet meg med det jeg har trengt gjennom hele året. Ikke bare i form av at de har stilt sitt inntaksanlegg på Dyrkorn Kraftverk til disposisjon, men ved generelt å bruke tid og ressurser på en studentoppgave. En spesiell takk til vedlikeholdsleder Hallbjørn Brekke, som har brukt mye tid på å hjelpe meg med det praktiske rundt feltundersøkelsene som er gjennomført. Plan- og utbygningssjef Per Kåre Skudal og kraftanalytiker Atle Martin Frøland har bidratt med viktig produksjonsdata og annen informasjon.

Jeg vil ellers vise takknemlighet ovenfor venner og familie som har støttet meg gjennom hele studietiden og i arbeidet med denne masteroppgaven.

*Alle bekkjin som eg eig skal eg leggje i røyr.
Fjellfossen tek eg med meg når eg døyr.
I fjøset har eg ingenting.
Turbinen er gullkalven min.*

«Jordsjuk» av Stein Torleif Bjella

Trondheim, 9. juni 2019

Sturla Dimmen Sæle

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	V
Abstract.....	VII
Forord	IX
Innholdsfortegnelse	XI
1. Innledning.....	1
2. Bakgrunn og teori.....	3
2.1 Inntak tilknyttet små vannkraftanlegg	3
2.2 Coandainntak	7
2.3 Isdannelse i elveløp	11
2.4 Snorkel til Coandainntak	15
3. Metode.....	20
3.1 Måleinstrumenter.....	20
3.2 Behandling av data fra feltforsøk	22
3.2.1 Viltkamera Reconyx og Moultrie	22
3.2.2 SBE 56.....	22
3.2.3 Vemco Minilog II	22
3.2.4 SWIPS	23
4. Resultater.....	24
4.1 Værforhold vinteren 2018/2019	24
4.2 Forsøk i felt.....	26
4.3 Observasjoner fra viltkamera.....	28
4.4 Tilfrysingsepisoder	31
4.4.1 Tilfrysing 20.11	31
4.4.2 Tilfrysing 11.12-12.12	35
.....	37
4.4.3 Tilfrysing 13.01-14.01	37
.....	37
4.4.6 Tilfrysing 04.03-06.03	39
4.4.7 Tilfrysing 07.03	42
4.4.8 Tilfrysing 09.03	44
.....	45
	XI

4.4.7 Tilfrysing 25.03	46
5. Diskusjon.....	49
6. Konklusjon og videre arbeid	50
7. Litteraturliste	51
Vedlegg A: SWIPS, innstillinger feltforsøk november 2018 – april 2019.	i
Vedlegg B: Produksjonsdata Dyrkorn Kraftverk, november 2018 – april 2019	ii

1. Innledning

Coandainntak er en spesiell type inntak til kraftverk som utnytter den såkalte Coandaeffekten. Dette er en relativt ny type inntaksløsning, og hovedbegrunnelsen for at det benyttes er dets selvrensende egenskaper. Det siste tiåret har det blitt bygget i underkant av 30 slike inntak i Norge, det første i tilknytning til Dyrkorn Kraftverk i 2011. Løsningen er blitt benyttet ved utbygging av vannkraftverk i Nord-Amerika og Mellom-Europa siden 1980-tallet, og var en videreføring av teknologi fra gruveindustrien.

Coandainntaket har i Europa og Nord-Amerika gitt svært gode resultater i forhold til håndtering av drivgods, is og fiskevandring. I Norge har man erfart visse problemer med inntak i områdene langs kysten, slik som ved Dyrkorn kraftverk som er plassert ved Storfjorden på Sunnmøre. Ved små kraftverk med mindre inntaksbasseng kan en oppleve høye produksjonstap på grunn av tilfrysing av inntaksrista, noe som kan oppstå flere ganger gjennom en vinter i områder med et hurtig varierende klima. Et slikt klima kan kjennetegnes med store variasjoner i temperatur og vannføring over kort tid.

Vinteren 2011/2012 ble driften av inntaket til Dyrkorn Kraftverk dokumentert av Henrik Opaker som en del av hans masteroppgave ved NTNU Vassdragslaboratoriet. Et resultat av de funnene som da ble gjort var utviklingen av en snorkel, hvis hensikt var å løse de driftsproblemene Coandainntaket møter med tanke på tilfrysing. Snorkelen ble utviklet av Hallbjørn Brekke fra Tafjord Kraftproduksjon AS, og teorien bak dens funksjon ble beskrevet i 2016 av Niklas Sæten, som en del av hans masteroppgave. (Sæten, 2016a)

Gjennom sin masteroppgave i 2017 kunne Eirik Aal dokumentere at snorkelen ikke fungerte slik man først antok, i tillegg ble det vist til flere tekniske problemer ved selve utformingen. (Aal, 2017)

Snorkelen er bare en av flere modifikasjoner som er foreslått for optimalisering av driften ved Coandainntak. Slike modifikasjoner må verifiseres og dokumenteres av uavhengige aktører, før man kan anbefale bruken av dem. Dette er bakgrunnen for arbeidet med denne oppgaven

Gjennom arbeidet med den foregående prosjektoppgaven som denne masteroppgaven bygger på, ble det høsten 2018 satt i gang nye feltundersøkelser på inntaket til Dyrkorn Kraftverk. Hensikten

med dette var å innhente data om vinterdriften ved inntaket, og da spesielt for å kartlegge i hvilken grad en har produksjon av sarrpartikler i inntaksbassenget.

I denne masteroppgaven ønsker man å gjennomgå og vurdere funksjonen til snorkelen, slik at man eventuelt kan anbefale dette som en god løsning for Coandainntak. Man ønsker også å benytte måledata fra feltundersøkelsene til å vurdere hvorvidt snorkelen på Dyrkorn tar til seg sarrpartikler eller ikke, og vurdere mulige optimaliseringer av utforminga til snorkelen.

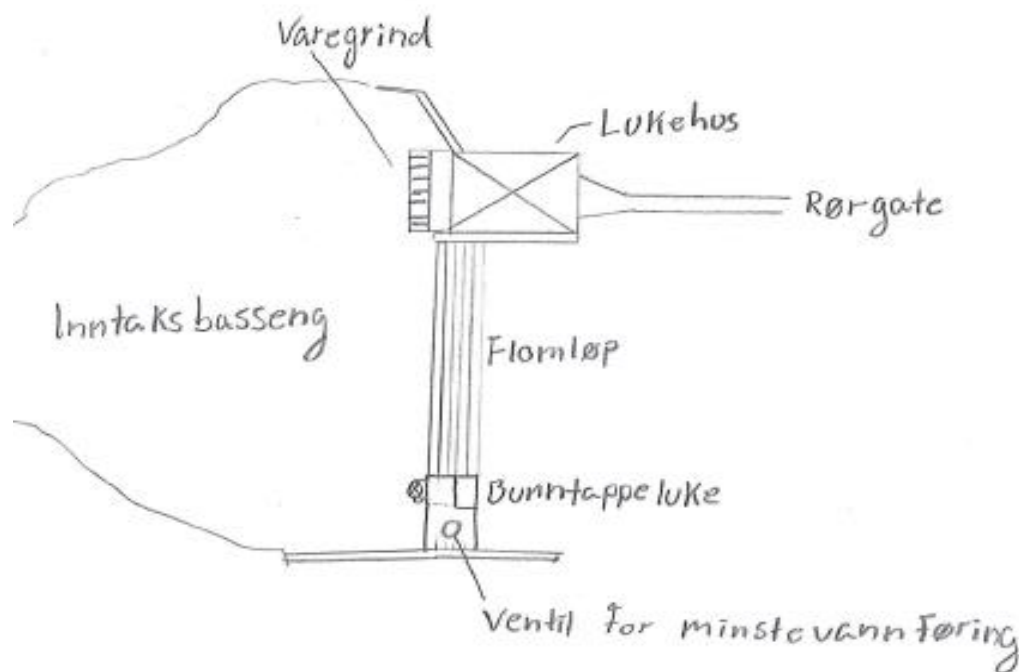
2. Bakgrunn og teori

2.1 Inntak tilknyttet små vannkraftanlegg

Småkraft utgjør det store uforløste potensialet knyttet til utbygging av ny vannkraft i Europa. Tiden for de store vannkraftprosjektene antas å være over, etter massiv utbygging av store dammer og magasin i forrige århundre. Småkraft er i tillegg regnet som en av de mest kostnadseffektive teknologiene for elektrifisering i mindre utviklede områder, hvor kraftbehovet og ressursene er små. (Paich, 2002)

Anlegg med en installert effekt på mellom 1 MW og 10 MW defineres som småkraft, og det er da hovedsakelig snakk om små elvekraftverk. Dette er prosjekter med små muligheter for magasinering av vann, og det benyttes ved slike anlegg hovedsakelig en mindre dam med tilhørende inntaksbasseng. Det eksisterer også løsninger for inntak uten dam, men dette er mest vanlig ved sekundærinntak, da det er en overhengende fare for tørrlagt inntak ved lav vannføring uten dam. (Paich, 2002)

Funksjonen til et kraftverksinntak er å hente vann fra elva til drift av kraftstasjonen. Inntaket skal utformes slik at man får størst mulig utnyttelse av den potensielle produksjonskapasiteten, samtidig som man hindrer at det kommer uønsket drivgods inn i vannveien, samt at man ønsker å påføre fisk og andre deler av naturen minst mulig skade. Inntaket konstrueres med en dam som fungerer som en barriere på tvers av elveløpet, og med dette danner vannspeilet som utgjør inntaksbassenget. I tilknytning til inntaksbassenget finner man selve inntaket, eller innløpet, hvor vannet ledes inn til en egnet vannvei; og via denne videre til kraftstasjonen. Vertikal høydeforskjell mellom inntaket og turbinen i kraftstasjonen utgjør den potensielle produksjonskapasiteten til anlegget, netto fall er brutto vertikal høydeforskjell minus falltap. Alle endringer i strømmereining og tverrsnitt gir tap, i tillegg til tap grunnet friksjon og turbulens i vannveien. (Okot, 2012)



Figur 1 Prinsippskisse med hovedkomponenter i et konvensjonelt inntak til et elvekraftverk med frontalinntak. (Sæle, 2018)

Figur 1 viser en prinsippskisse over et konvensjonelt inntaksområde med frontalinntak som en integrert del av dammen. Frontalinntak er inntak med åpning som står parallelt med strømmen i elva. Et alternativ til frontalinntak er sideinntak som plasseres vinkelrett på strømmen, noe oppstrøms dammen. Da vil man få en buffersone mellom inntaket og dammen, hvor sedimenter og drivgods vil kunne samle seg. (NVE, 2006)

Uavhengig av om man velger frontalinntak eller sideinntak er det viktig med riktig dykking av innløpet, samt riktig dimensjonering av varegrind. Man ønsker hovedsakelig å finne den profilen hvor bunn av innløpet ikke trekker til seg bunnlaster, og topp av innløpet ikke suger til seg drivgods og sedimenter. Dette vil kunne blokkere inntaket og påføre en betydelig økning i falltapet. Det er også særdeles viktig at innløpet ikke suger til seg luft, eller at vannstrømmen trekker med seg betydelig turbulens eller virvler. (NVE, 2006)

Drivgods som blokkerer varegrinda må håndteres, da dette gir redusert produksjon, og i ytterste konsekvens produksjonsstans. I større anlegg med stor produksjon, vil det lønne seg med automatiske grindrenskere, men for mindre kraftverk vil dette som oftest utgjøre en for stor

enkeltinvestering. For små kraftverk er det ofte tilstrekkelig med manuelt tilsyn og rensk, noe som krever gode rutiner om det skal fungere optimalt. Til tross for at det ikke krever noen stor enkeltinvestering er dette et ressurskrevende alternativ i form av at det utgjør mange arbeidstimer for driftspersonellet som må utføre tilsynet og den faktiske rensningen. Det kan også ses på som et reelt risikomoment å utføre denne typen arbeid i et inntaksområde. (NVE, 2006)

Riktig utformingen av inntaksområdet vil ved alle kraftverk være avgjørende og viktig for effekten til kraftproduksjonen. I et mindre elvekraftverk er dette spesielt viktig da inntaksbassenget ofte er grunt og mindre i størrelse, og derfor mer utsatt for svingninger i vannføringen, sedimentering og andre driftsproblemer. Det er derfor viktig å gjøre riktige vurderinger i prosjekteringen av inntaksområdet, og det er essensielt med et vannspeil som gir relativt stille vann ved inntaket. Selv ved mindre inntaksbasseng, vil dette kunne gi en mer forutsigbar og mindre varierende vannstand. Noe som vil sikre en mer kontinuerlig drift av kraftstasjonen, selv ved skiftende vannføring. Det har også klare fordeler med tanke på sedimentering, transport av drivgods, luftmeddriving, samt andre utfordringer knyttet til driften. (NVE, 2006)

Sedimenter vil, avhengig av utforming og dimensjoner, kunne avsettes i bunn av bassenger og fjernes ved anledning. Et rolig vannspeil åpner også opp for etableringen av et fast isdekke på bassenget. Dette vil være med på å beskytte varegrinda mot ising. (NVE, 2006)

Sammenlignet med forhold i resten av verden, spesielt i Sør-Amerika og Asia, er ikke norske vassdrag særlig plaget med mye sedimenttransport. Likevel må man ta hensyn til dette og se på hva slags forhold man har i det aktuelle vassdraget. Sand og silt kan gi en del slitasje på turbiner, dyser og andre maskinelle deler i kraftstasjonen, og kan potensielt bli en betydelig utgiftspost. Man kan gjøre en del for å unngå problemer ved å velge riktig plassering av inntaket. Sedimenter påvirkes av sentrifugalkraften og vil derfor sedimenteres i innersving der elva går gjennom en kurve, og inntaket bør derfor plasseres i enden av en yttersving. Inntaksbasseng vil også kunne fungere som et sedimenteringsbasseng og mye sedimenter vil legge seg her. Dette kan fjernes maskinelt med gravemaskiner, spyles ut gjennom bunntappeluker ved friskeilstrømning, eller suges ut med slamsuger. (Rüther, 2018)

I løpet av vintersesongen er land som Norge særlig utsatt for problemer knyttet til is. Det viktigste tiltaket i så henseende er å hindre tilfrysing av inntaksgrinda, som vil gi økt falltap og i ytterste konsekvens kunne føre til full produksjonsstans. Det er flere årsaker til tilfrysing av varegrind. Har man en varegrind som på grunn av lav vannføring befinner seg i friluft, vil det i kuldeperioder kunne oppstå ising på grindstavene. Snø, sarr og annen drivende is vil kunne feste seg til varegrinda på samme måte som drivgods, og aktivt sarr innehar kohesive egenskaper som gjør at det fester seg lettere til faste overflater. Det er også en fare for blokkering av inntaket dersom det oppstår isgang i elveløpet oppstrøms inntaksbassenget. (NVE, 2006) Mer om dannelse av is i elveløp i delkapittel 2.3 Isdannelse i elveløp.



Figur 2: Tyrolerinntak under flom. (NVE, 2006)

I tillegg til konvensjonelle inntak som er beskrevet i dette kapitlet finnes det flere andre løsninger, som i spesielle tilfeller kan være aktuelt å benytte. Figur 2 viser bilde av et Tyrolerinntak under flom. Dette er en type inntak som er spesielt utviklet for små kraftverk som er utsatt for mye sedimenter og drivgods, og hvor inntaket er plassert i smale og bratte bekker. Inntaket er konstruert som en integrert del av overløpsdammen, og innløpet befinner seg nedstrøms overløpsterskelen. Her er det plassert en varegrind med grindstaver parallelt med strømmereiningen. Vannet vil derfor renne over overløpet, gjennom varegrinden og ned i en underliggende samlekanal. Finere sedimenter vil legge seg i samlekanalen, hvor det kan spyles ut gjennom spylør ved behov. Grovere sedimenter og annet drivgods som ikke går gjennom varegrinda vil på grunn av bratt helning og høy hastighet på vannet spyles videre nedover elveløpet. (NVE, 2006)

En annen spesialløsning er det selvrensende Coandainntaket, mer om dette i delkapittel 2.2 Coandainntak.

2.2 Coandainntak

Coandainntaket er en relativt ny løsning for inntak til små kraftverk. Coandainntaket skal i teorien kunne fungere som helt selvrensende, og kunne driftes uten aktivt vedlikehold. Det vil si at man skal kunne drive inntaket uten å bruke ressurser på å fjerne drivgods, is og løsmasser fra selve innløpet. Manuell rensk er som nevnt tidligere også en arbeidsoppgave det er knyttet en viss risiko til, så et selvrensende inntak vil være gunstig både med tanke på ressursbruk og sikkerhet. (Brødrene Dahl, u.d.)

Coandainntaket utnytter fluidfenomenet vi i dag kjenner som coandaeffekten. Oppkalt etter den rumenske flyingeniøren Henry Coanda, som i 1910 oppdaget fenomenet da han arbeidet med en ny type flyvemaskin hadde utviklet selv, en tidlig utgave av jetmotoren. Fenomenet han oppdaget, som senere skulle bli kjent som Coandaeffekten, går ut på at et fluid som beveger seg på en fast overflate, ved riktige forhold vil fortsette å bevege seg langs denne overflaten, selv om den bøyer seg vekk fra fluidets opprinnelige strømningsretning. (Reba, 1966)



Figur 3: Coandaeffekt vist ved tekanneeksempelet. (technologyreview.com).

Figur 3 viser et klassisk eksempel på hvordan coandaeffekten påvirker en væske, nemlig ved skjenkingen av te fra en tekanne. Skjenker man te ut av tuten på en tekanne, vil man ofte se at

teen fester seg til utsiden av tuten og renner langs denne til bunn av tekannen. Teknologi som utnytter coandaeffekten er i dag i bruk innen flere ulike fagfelt, men har vært spesielt avgjørende i utviklingen av moderne fly- og båtteknologi. (Paritz og Wasan, 1972)



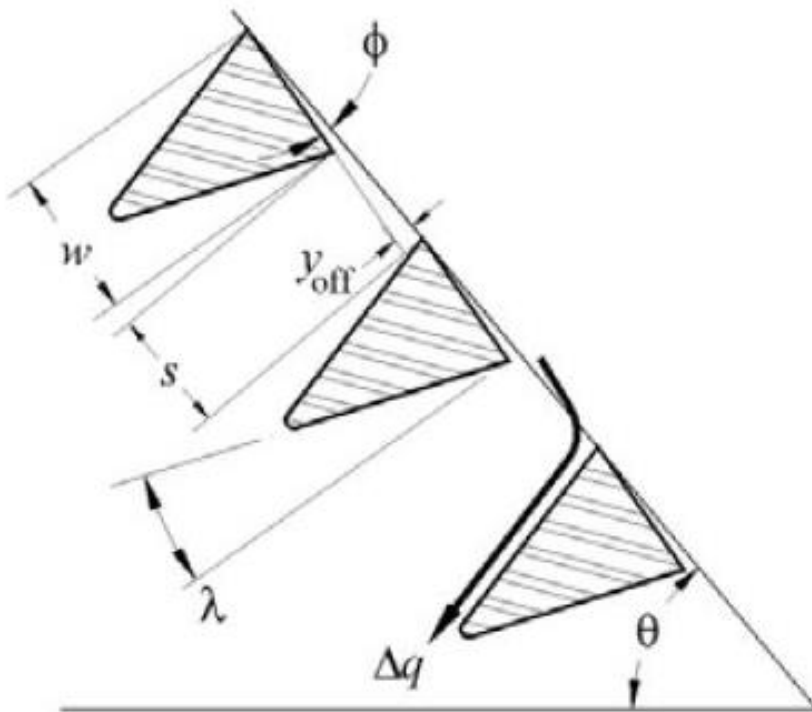
Figur 4: Coandaristen på inntaket til Dyrkorn Kraftverk. Snorkelen kan ses øverst på bildet, mens man nederst ser en ny type løsning for slipp av minstevannsføring. (Sæle, 2018)

Kraftverksinntak som benytter coandarist er som nevnt en unik type, selvrensende inntak. På samme måte som for Tyrolerinntaket er Coandainntaket konstruert som en overløpsdam, hvor selve coandaristen ligger nedstrøms terskelen. Vannet som strømmer over overløpsterskelen akselerer over en akselerasjonssonsplate før det renner over selve risten, hvor innløpet er plassert. Vannet ledes gjennom ristas innløp og ned i en samlekanal, før det videre ledes inn i et reguleringskammer eller samlelum; og derfra videre til kraftstasjonen via vannvegen. Er vannføringen liten og ristas kapasitet overstiger tilsiget, vil alt vannet renne inn i samlekanalen. Det er derfor nødvendig med en egnet løsning for slipp av minstevannsføring. (Wahl og Einhellung, 2000)

Overskuddsvann, fisk og drivgods vil renne forbi risten som vanligvis har en lysåpning på en millimeter. Dette gjør at selv finere materialer går forbi inntaket. Disse selvrensende egenskapene kommer av vannstrømmens høye hastighet ned ristas overflate, vanligvis overstiger denne 2 m/s.

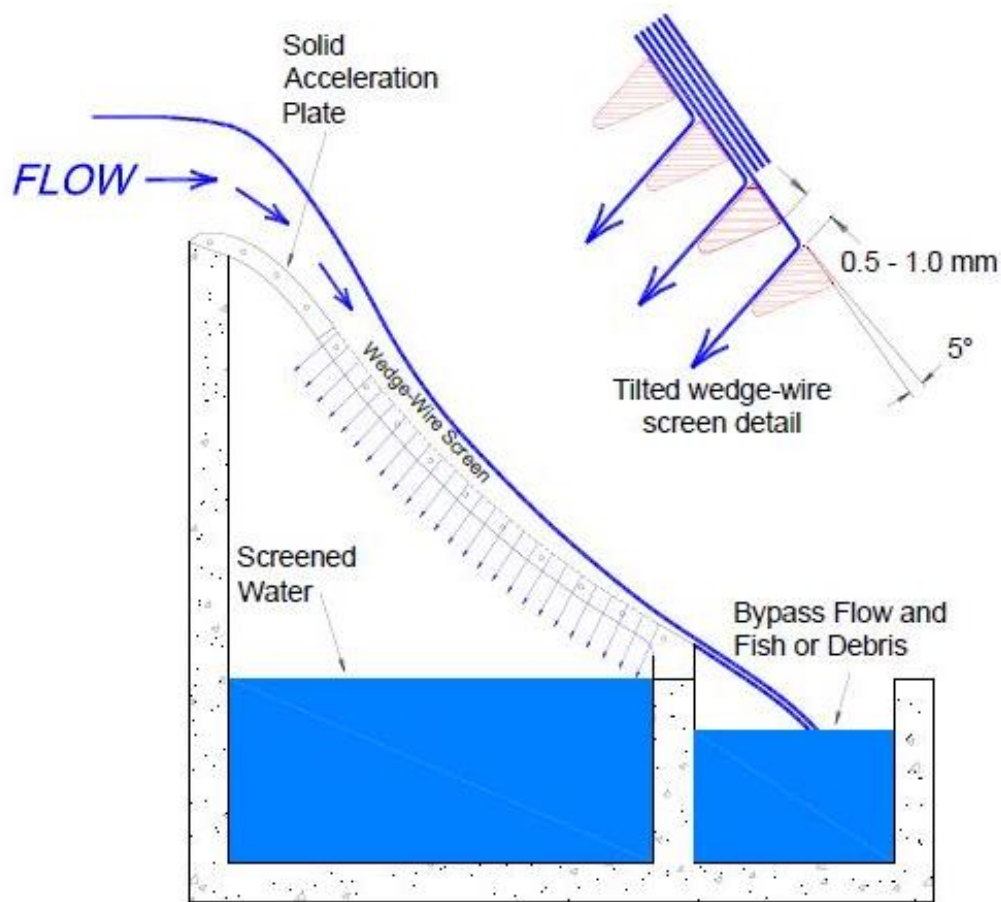
Ved stor vannføring vil overskuddsvann også «spyles» ut av risten, som er med på å fjerne eventuelt drivgods som kan ha festet seg på risten. Coandaristen vil kunne utstyres med vertikale «Boulder bars» som beskytter de fine stålstavene på rista mot slitasje fra drivgods og større sedimenter. (Brødrene Dahl, u.d.)

Selve risten er en konkav bue, med horisontalt orienterte, trekantede stålstaver. Som nevnt er det vanligst med en lysåpning på en millimeter mellom stavene, men produsenter kan levere finere rister hvis det er behov for å sile ut enda finere partikler. Dette kan være finere sedimenter, men også biologisk materiale man av miljøhensyn ikke ønsker skal forlate vassdraget. (Brødrene Dahl, u.d.)



Figur 5: Vinkling av stålstavene på coandaristen. (Wahl, 2017)

En avgjørende faktor for coandaristens funksjon er vinklingen av de horisontale stavene. Stålstavene vinkles slik at man får en skjæreffekt på det nederste laget av vannstrømmen. Typisk her er en vinkel på fem grader i nedstrøms retning, men det forekommer inntak som benytter vinkling i spennet fra tre til seks grader. Se vinkel ϕ i figur 5. (Wahl og Einhellung, 2000)



Figur 6: Coandainntaks funksjon og utforming. (Wahl, 2017)

Til sammen vil risten derfor bestå av en serie staver som «skjærer» vannet ned i samlekanalen. Når det nederste laget av vannstrømmen «skjæres» av vil den danne en vannhinne som fester seg til toppen av staven og drives parallelt med denne ved coandaeffekt til endekanten av staven. Rett i forkant av neste stav vil vannhinnen bøyes ned gjennom lysåpningen og ende i samlekanalen. Se figur 6 for illustrasjon av Coandainntakets funksjon og utforming. (Wahl, 2001)

Hvis stavene ikke hadde vært vinklet slik de er i nedstrøms retning, ville man sett at brorparten av vannstrømmen hadde blitt ledet fra endekanten på en stav til forkanten av neste stav – og ristens funksjon som inntak hadde uteblitt. (Wahl og Einhellung, 2000)

Brødrende Dahl AS som leverer inntaksløsninger med coandarist i Norge, kan opplyse at inntaket fungerer godt med tanke på sine selvrensende egenskaper i forhold til drivgods, is og sedimenter,

samt fiskevandring forbi inntaksdammen. I følge Brødrene Dahl AS vil 70-80% av sandpartikler større enn 0.6 millimeter gå forbi inntaksrista, ved standard lysåpning på en millimeter.

(Brødrene Dahl, u.d.). Erfaringer fra den amerikanske forskeren Tony Wahl, som anses som en av de fremste ekspertene på Coandainntak, viser at sedimenter likevel vil kunne skape problemer ved at partikler i grenseområdet 0.6 millimeter kiler seg fast i lysåpningene mellom stålstavene, i tillegg til at de utgjør en betydelig slitasje på inntaksrista. (Wahl, 2003)

Som nevnt tidligere ble Coandainntaket introdusert allerede på 1980-tallet. Det ble da gjennomført tester ved flere prøveanlegg som kunne bevise inntakets selvrensende og fiskevennlige funksjon. (Ott, et. Al, 1987, via Wahl, 2003). Gjennom kontakt med vedlikeholdsleder Hallbjørn Brekke ved Tafjord Kraftproduksjon AS, har de samme erfaringene blitt bekreftet for inntaket på Dyrkorn Kraftverk.

Den store driftsutfordringen knyttet til Coandainntak i Norge, er vinterdrift av vannkraftverk som ligger i kystområdene hvor man finner et hurtig skiftende klima, med store svingninger i temperatur og vannføring over kort tid. Dette har ført til flere korte tilfrysinger og driftsstans. (Nøvik et al, 2014). Mer om tilfrysing og problemer knyttet til vinterdrift av Coandainntak i et norsk kystklima i delkapittel 2.4 Snorker til Coandainntak.

2.3 Isdannelse i elveløp

Dannelse av is forekommer når vann påføres et varmetap som reduserer temperaturen mot frysepunktet, 0°C. Varmetap er en fysisk prosess som forekommer ved konduksjon, stråling og konveksjon, det frigis energi fra vannet, og den første delen av krystalliseringen vil kreve at vannet er noe underkjølt. (Ashton, 1978) Isdannelse i vann er en prosess som forekommer i både rennende og stillestående vann, men prosessen som fører til frysing er noe ulik i de to tilstandene. (Ashton, 1986).

I laminært og stillestående vann, som innsjøer, vil temperaturreduksjonen føre til krystallisering av vann i overflatesjiktet, noe som gir et fast isdekke. Dette er det man kan se på innsjøer hvor vann kjøles ned under frysepunktet og blir underkjølt, før man får et tynt islag som siden vil ekspandere og vokse seg tykkere. Stigende temperatur vil så føre til oppbrytning av islaget. En

slik krystallisering gir nålformede iskrystaller. Snøfall direkte på vannoverflaten er en annen prosess som bidrar til dannelsen av is på stillestående vann. (Ashton, 1986)

I et elveløp med rennende vann vil det i større grad være snakk om turbulens og bevegelse, noe som gjør at det kreves større grad av underkjøling før vannet krystalliseres og det dannes is. Denne prosessen er også mer kompleks enn den ved stillestående vann. Etableringen av is i en elv skjer som oftest ved utviklingen av sarrpartikler i underkjølt vann, eller ved snøfall direkte på vannoverflaten. I en elv vil dannelsen av is først initieres der det er minst turbulens og der vannet har lavest hastighet. (Ashton, 1986) Inntaksbasseng er et eksempel på et slikt område hvor turbulens og hastighet retarderer.

I boken «River Lake Engineering» beskriver George Ashton isdannelse i et elveløp som en trinnvis prosess. (Ashton, 1986) Det vil i første omgang, som i stillestående vann, kreves nedkjøling av overflatevannet i elven. Dette vil føre til produksjon av sarrpartikler, som deretter vil føres med strømmen nedover elven, samt at det vil forekomme isdannelse langs elvebredden. Hvis hastigheten i elveløpet reduseres, vil sarrpartiklene i neste steg kunne binde seg sammen og danne et tynt islag i vannoverflaten. Ellers vil man kunne se at sarrpartiklene som binder seg sammen lager en slush som føres videre med elven. Snøfall på vannoverflaten, eller tilførsel av snø fra elvebredden, vil også kunne være med på å lage slik slush. Strømmen av slush vil siden fryse til og lage lokale isdekker langs elveløpet. Slike isdekker vil kunne vokse seg større, og også føre til oppdemning av elveløpet. Stigende temperatur vil som i stillestående vann føre til oppbrytning av isdekket, men i en elv vil også hurtig økning i vannføringen bidra i denne prosessen. (Ashton, 1986)

Isdannelse etter snøfall, eller ved tilførsel av snø fra elvebredden, krever lav grad av turbulens og at vannet holder en temperatur rundt frysepunktet, dette er derfor ikke så uvanlig i inntaksbasseng hvor vannføringen er redusert om vinteren. Vannet bruker energi på å smelte snøpartiklene, noe som igjen fører til varmetap og temperaturreduksjon. Når temperaturen i elven er lav nok vil snøpartiklene ikke lenger smelte, men samle seg og danne slush som transporteres med elven. Som nevnt er dannelsen av slush et viktig punkt i prosessen som fører til isdannelse i elveløp. (Ashton, 1986)



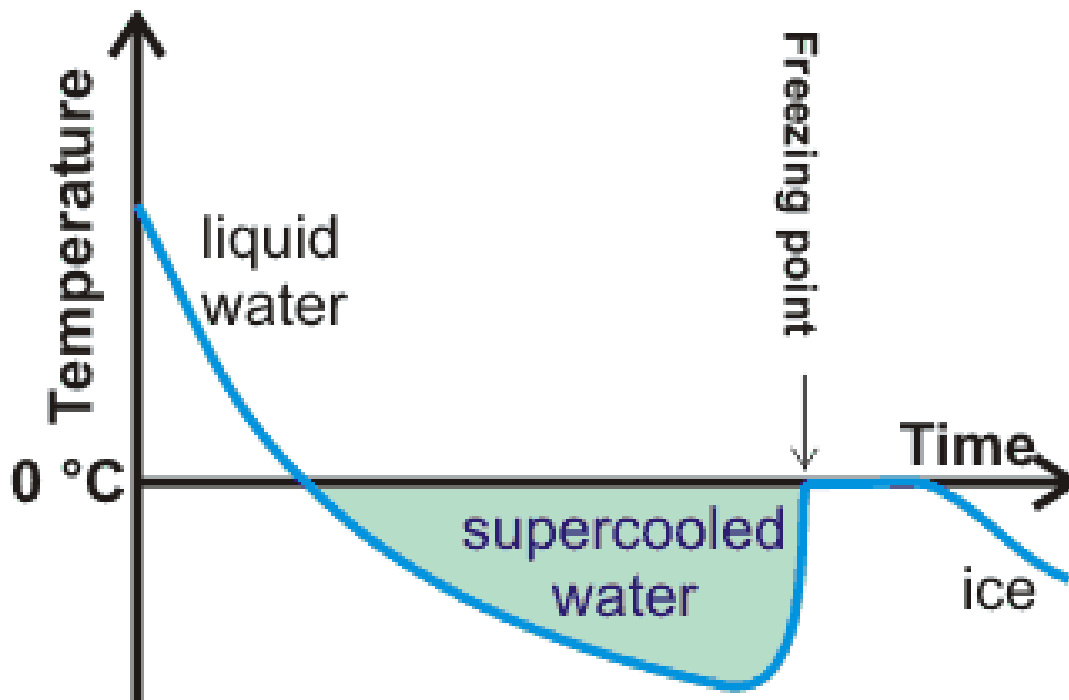
Figur 7: Sarrpartikler i overflaten av elven Saugeen, i Ontario, Cannada. (ctvnews.ca)

Figur 7 viser sarrpartikler i overflaten av en elv med moderat vannføring, de vil her kunne trekke seg sammen og danne et fast isdekke. Sarr er som nevnt ispartikler som dannes ved underkjølt vann i bevegelse. Sarrpartiklene er suspendert i vannstrømmen, og tar form som små, sirkulære krystaller med diamanter i spennet 0.1-5.0 millimeter og tykkelse mellom 25-100 mikrometer. (Schaefer, 1950) Produksjonen av sarrpartikler initieres i overflatesjiktet av elven hvor vannet er underkjølt, men turbulens vil blande det underkjølte vannet og sarrpartiklene inn i hele tverrsnittet av elveløpet. Ved mindre turbulens vil det kunne produseres nålformet sarr, men dette er et mer uvanlig fenomen. (Daly, 1991)

Sarrpartiklene vil på grunn av sin tilstedeværelse i underkjølt vann være aktive og kunne vokse i størrelse, til irregulære plater med diameter på 10-15 millimeter. De vil i denne fasen også kunne binde seg til hverandre og danne større enheter av sarrpartikler. (Ashton, 1978). Den aktive fasen kjennetegnes ved at sarrpartiklene innehar spesielle kohesive overflateegenskaper, som ikke bare gir partiklene evnen til å binde seg til hverandre, men også til andre faste overflater i elveløpet. Dette kan både være elvebredden og elvebunnen, men også konstruksjoner som er dykket i elveløpet. Sarrpartikler som kleber seg til elvebunnen danner bunnis, denne bunnisen kan vokse i høyden og demme opp elveløpet. Konstruksjoner og kunstige barrierer i elveløpet kan blant annet

være en overløpsterskel eller en brupilar, og man kan på slike installasjoner finne omfattende isdekke formet av avsatte sarrpartikler. Hvis sarrpartiklene kommer seg dypt nok i elveløpet vil man også kunne risikere at sarrpartiklene fester seg til og tetter varegrinda foran et vanninntak. (Ashton, 1986)

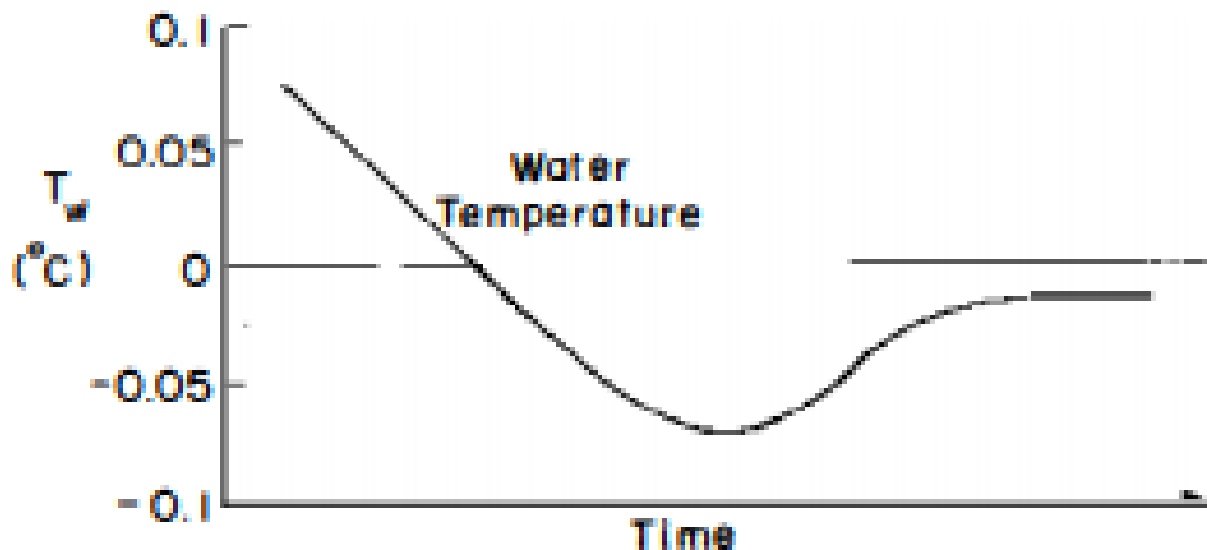
Når Sarrpartiklene munner ut av et stryk og inn i et inntaksbasseng, vil de søke sammen mot overflaten. Er inntaksbassenget langt nok, slik at partiklene når overflaten vil de trekke sammen og danne et islag. Hvis sarrpartiklene ikke kan nå overflaten og holder seg i dybde med et dykket inntak, vil de feste seg til stavene på varegrinda. Det er gjort få forsøk på forholdet mellom vannføring, lengde på inntaksbasseng og tiden det tar for sarrpartikler å nå overflaten



Figur 8: Utviklingen av underkjølt vann ved nedkjøling over tid. (Matthew Szydagis, Brown University)

Forholdene som gir produksjon av sarrpartikler er svært avhengig av tilstrekkelig hastighet på vannføringen og grad av turbulens, samt at vannet i elven må være underkjølt. Figur 8 viser en graf over utviklingen av underkjølt vann ved nedkjøling over tid. Underkjøling i en elv krever store varmetap fra vannoverflaten til lufta, slik varmetveksling krever lave lufttemperaturer, åpen vannflate og klar himmel. Det er kjent at lufttemperaturen må ligge flere grader under 0°C før sarrproduksjonen kan initieres, men en eksakt grenseverdi er ikke definert. Da vannføring og turbulens er en viktig faktor, vil man kunne se at sarrproduksjonen kan begynne tidligere, altså

ved høyere lufttemperatur eller tettere skydekke, i områder med lav vannføring; som for eksempel i inntaksbasseng. (Daly, 1991)



Figur 9: Temperaturutvikling av underkjølt vann ved produksjon av sarrpartikler. (Ashton, 1978)

Figur 9 viser en graf over en typisk temperaturutvikling ved produksjon av sarrpartikler. Som man kan se av figuren vil vannet underkjøles med flere hundredels grader under frysepunktet, før temperaturen igjen stiger mot 0°C . Så lenge vannet holder seg underkjølt, slik som grafen i figur 9, vil sarrpartiklene være aktive å fortsette å vokse og feste seg til hverandre. Produksjonen av sarr er med på å frigjøre energi, og som vi ser av grafen vil dette føre til stigning i vanntemperaturen. Stiger temperaturen opp til frysepunktet eller høyere vil sarrpartiklene gå inn i en passiv fase, og ikke lenger inneha sine kohesive egenskaper. (Ashton, 1978)

2.4 Snorkel til Coandainntak

Som nevnt fungerer Coandainntaket godt i de fleste forhold. En av svakhetene inntaket likevel har er hvordan det håndterer hurtige temperatursvingninger og skiftende vannføring. Det som skiller Coandainntaket fra konvensjonelle inntak, er at det kun benytter seg av overflatevannet i inntaksbassenget. Mens et konvensjonelt inntak blir dykket til optimal dybde med tanke på is, sedimentering og luftmeddriving, er Coandainntaket utviklet slik at det kun tar inn vannføring som renner over overløpsterskelen. (NVE, 2006)

Overflatevannet vil i kuldeperioder kunne føre med seg underkjølt vann, sarrpartikler og snø, som igjen kan føre til tilfrysing av inntaket. Coandaristas plassering i friluft gjør det også utsatt for snøfall direkte på inntaksrista, og muligheten for at selve stålet i rista blir underkjølt, som igjen kan føre til tilfrysing av inntaket.

Tilfrysing av Coandainntaket er i utgangspunktet ikke et stort problem ved de fleste anlegg med denne typen løsninger. Det som likevel er erfart, er at anlegg som er plassert i skiftende klima hurtige temperatursvingninger og varierende vannføring opplever mer produksjonstans på grunn av tilfrysing enn anlegg plassert i et område med et jevnere klima. (Nøvik, et. Al, 2014)

Inntak lokalisert i typiske innlandsklima med lange og kalde kuldeperioder som gjerne strekker seg over en hel vintersesong vil kun oppleve produksjonsstans ved den initielle tilfrysingen. I det inntaket fryser igjen vil det i løpet av kort tid danne seg et islag som dekker rista og tetter innløpet. Erfaringsmessig vil vannet etter omtrent 40 timer selv lage seg en kanal under islaget og renne inn gjennom inntaksrista. Dette islaget vil på grunn av den jevnt kalde vinteren holde seg intakt, og man vil ikke oppleve flere stopp av produksjonen på grunn av tilfrysing. (Nøvik, et. Al, 2014)



Figur 10: Inntaket til Dyrkorn kraftverk, med coandarist og prototype av snorkel.

Inntak plassert i mer skiftende klima, slik som det norske kystklimaet vil oppleve flere slike tilfrysingsepisoder i løpet av en vinter. Det vil også her legge seg et islag på rista, men dette vil ved økende temperatur og vannføring bryte opp. Hvor lenge driftsstansen varer på grunn av tilfrysing er varierende, men tidligere målinger har vist stans i produksjonen på mellom 20 og 40 timer. Når du får flere slike hendelser i løpet av en vinter, vil totalt produksjonstap være merkbart høyere enn ved anlegg med kun en driftsstans i begynnelsen av vinteren. (Opaker, 2012)

Opaker presenterte i sitt arbeid med masteroppgaven «Funksjonen til Coandainntaksrister – erfaringer fra Dyrkorn Kraftverk» flere forskjellige løsninger for å unngå denne typen problemer for Coandainntak. Et av hans forslag var å hente vann fra dypet av inntaksbassenget, hvor det i utgangspunktet vil være mindre underkjølt vann og sarrpartikler enn i overflaten.



Figur 11 Snorkelen på Dyrkorn kraftverk. Foto: Sturla Dimmen Sæle

Figur 10 viser et bilde av inntaket til Dyrkorn Kraftverk, det første inntaket i Norge bygd med coandarist. Dyrkorn Kraft verk er eid og driftet av Tafjord Kraftproduksjon AS, som samarbeidet med Opaker i hans arbeid. De valgte å se på nærmere på de modifikasjonene Opaker foreslo, og dette førte til utviklingen av en såkalt snorkel. Snorkelen skulle ligge som et tak over rista og ned langs dammen. Da ville man få en kanal fra bunn av inntaksbassenget som ville føre vannet med seg derifra og over inntaksrista. Man fikk derfor en løsning som hentet vann fra bunn av inntaksbassenget, istedenfor overflatevann. En prototype av snorkelen ble bygget på inntaket til Dyrkorn Kraftverk av Hallbjørn Brekke fra Tafjord Kraft i 2016. (Sæten, 2016a)

Figur 11 viser prototypen av snorkelen på inntaket på Dyrkorn. Det ble i utviklingen av prototypen benyttet 10 millimeter tykke plater av PE-materiale, og disse ble som nevnt lagt som et lokk, fra dypet av inntaksbassenget, opp langs dammen og over rista; og med åpning i begge ender. Da dette var en prototype bygget på stedet, ble det ikke laget noen tegninger eller annen dokumentasjon av arbeidet. I sitt arbeid med masteroppgaven «Testing av snorkel for Coandainntak» gjennomførte Sæten en oppmåling av snorkelen. Hans målinger viste at snorkelen hentet vann fra omtrent 1.8 meters dyp, og at den dekker 0.9 meter av damkrona, samt 0.5 meter av rista. Av disse er 0.25 meter akselrasjonssone uten innløp, og 0.25 meter rist med lysåpninger. (Sæten, 2016a)

Snorkelen er som nevnt bygd for at vannet skal hentes fra dypet og trykkes opp i snorkelen ved rørstrømning, før det bendes ved terskelen, sendes videre over damkrona og ned over rista. For å oppnå denne rørstrømningen, er man avhengig av at vannstanden i inntaksbassenget står høyere enn topp av snorkelen, slik at man skaper tilstrekkelig differanse i trykkehøyde. Det ble derfor plassert en 0.1 meter høy trelist på overløpsterskelen, utenom der snorkelen ligger. (Sæten, 2016a)

For at snorkelen skal fungere optimalt er man avhengig av at den ikke suger til seg underkjølt vann eller ispartikler som sarr og absorbert snø. Hvis man får et kontinuerlig og tykt isdekke på inntaksbassenget, vil dette muligens hindre nedkjøling av det underliggende vannet, og på denne måten forhindre utviklingen av underkjølt vann og sarrpartikler. Man er også avhengig av at materialet snorkelen er laget av innehar isolerende egenskaper slik at man unngår underkjøling av selve stålet i rista. Det er derfor viktig å få klarhet i hvorvidt snorkelen tar inn sarrpartikler eller ikke, og i hvilke omfang dette eventuelt skjer.

I nevnte masteroppgave av Sæten i 2016 ble det vist at det i visse perioder la seg et tydelig isdekke i forkant av snorkelen, mens det fortsatt var åpent råk foran resten av overløpet. Dette viser at fordelen med fast isdekke foran snorkelen kan utnyttes. På grunn av milde testperioder ble det ikke gjennomført målinger som viste sarrproduksjon eller temperaturforskjeller i vannsøylen. (Sæten, 2016a).

Gjennom arbeidet med masteroppgaven «Testing av vinterforhold for modifisert Coandainntak» viste Eirik Aal i 2017 at snorkelen ikke fungerte som en hevert, slik man tidligere hadde antatt.

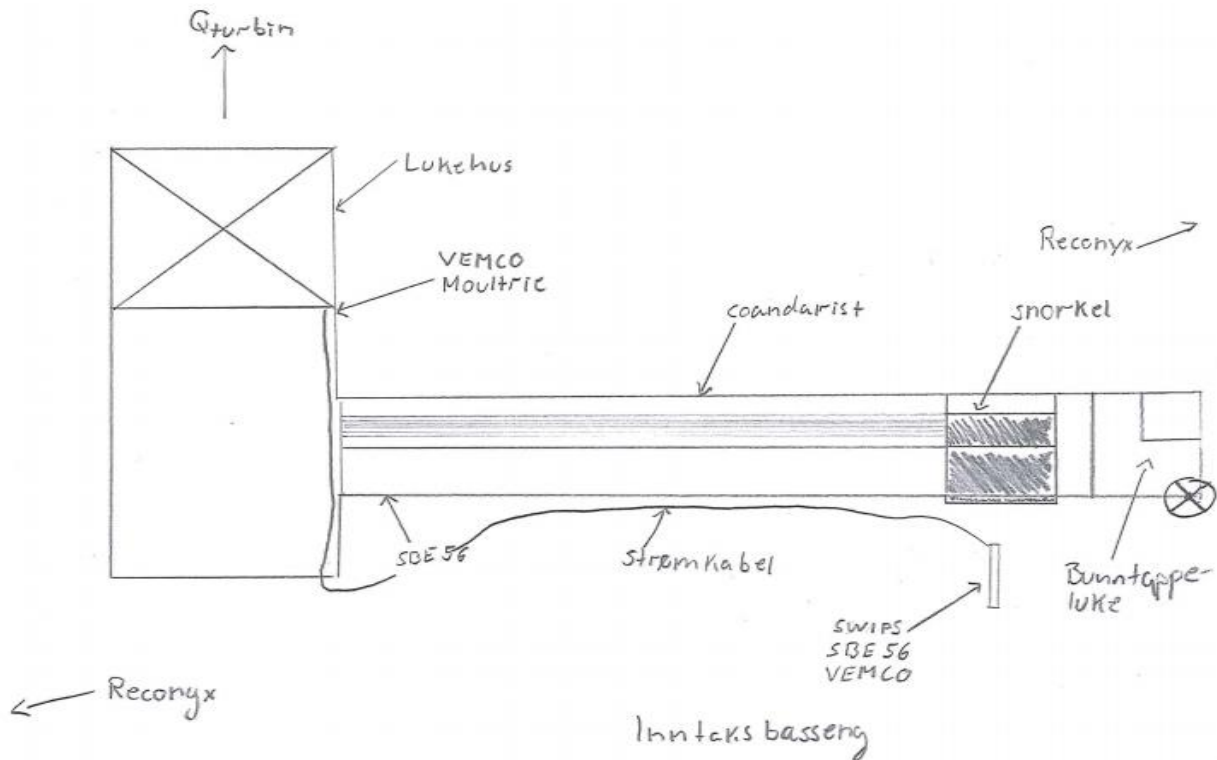
Han klarte også å dokumentere at det ikke var noen betydelig temperaturforskjell fra dypet i inntaksbassenget til overflaten. (Aal, 2017)

3. Metode

Arbeidet med denne masteroppgaven bygger på prosjektoppgaven «Testing av Snorkel for Coandainntak». (Sæle, 2018) Det ble i arbeidet med prosjektoppgaven plassert ut måleutstyr for feltundersøkelser ved inntaket til Dyrkorn Kraftverk. Disse feltundersøkelsene utgjør hoveddelen av metodearbeidet bak denne masteroppgaven.

Hensikten med feltundersøkelsene er å dokumentere temperaturforskjeller og sarrproduksjon i hele vannsøylen, for å dokumentere om snorkelen tar inn underkjølt vann og sarrpartikler. Det er også ønskelig å finne ut ved hvilke dyp man eventuelt må hente vann fra for å unngå underkjøling og sarrpartikler.

3.1 Måleinstrumenter

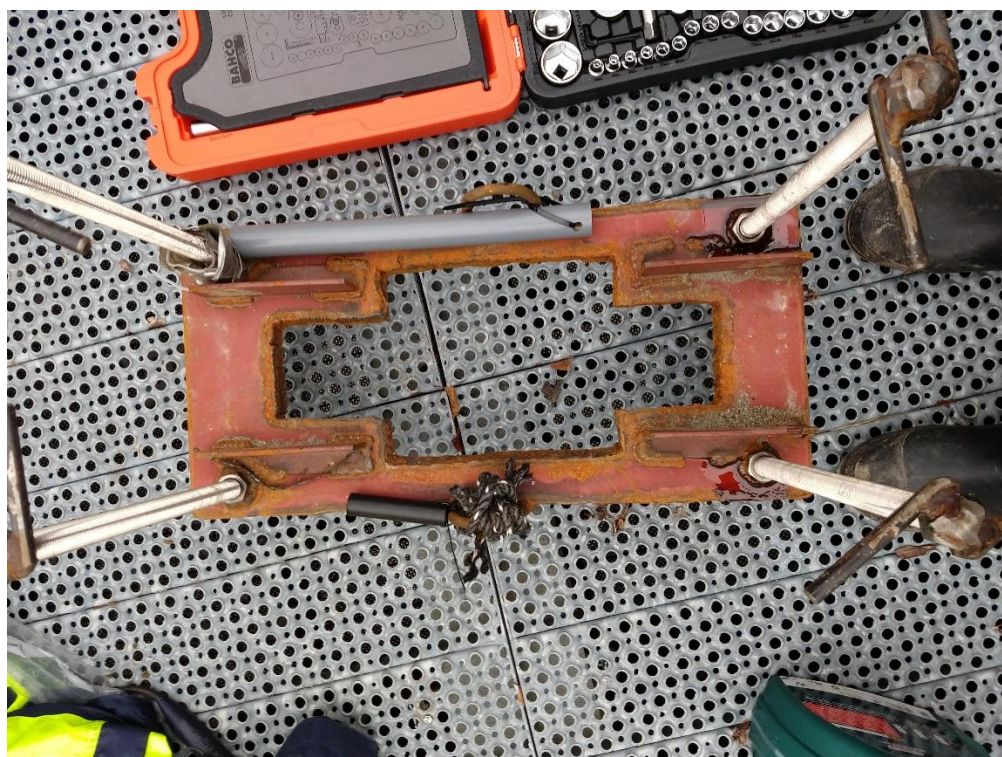


Figur 12: Oversikt over måleutstyr installert på inntaket til Dyrkorn kraftverk for feltforsøk vinteren 2018/2019. (Sæle, 2018)

Figur 12 viser en oversikt over de utplasserte måleinstrumentene på inntaket. Det er plassert ut tre viltkamera for å kunne dokumentere observasjoner av viktige hendelser på inntaket i løpet av måleperioden, et på lukkehuset for overvåking av selve inntaksrista, samt et på hver side av inntaket for overvåking av inntaksbassenget og inntaksrista som en helhet. Kameraet på

lukehuset er av typen Moultrie, mens de på sidene av inntaket er av typen Reconyx. Alle kameraene ble preprogrammerte til å ta et bilde hver time hele vinteren.

På bunn av inntaksbassenget, like i forkant av innløpet til snorkelen ble det plassert en sonar av typen Shallow Water Ice Profiling Sonar, for måling av sarrpartikler i denne delen av inntaksbassenget. (Heretter kun referert til som SWIPS) SWIPSens funksjon og bruk ble ytterligere beskrevet i arbeidet med prosjektoppgaven høsten 2018, se vedlegg A for oversikt over hvordan SWIPSen ble preprogrammert i forkant av feltforsøkene.



Figur 13: Stativ til plassering av SWIPS i bunn av inntaksbassenget. SBE 56 (grå) og Vemco Minilog II (sort) er plassert sammen med SWIPS. (Sæle, 2018)

Det ble også plassert ut fire termometer. De to primærmålerne var av typen SBE 56, og ble plassert ut henholdsvis i bunn av inntaksbassenget sammen med SWIPSen (se figur 13) og like under damkrona i overflaten av inntaksbassenget. SBE 56 er godt egnet til denne typen forsøk da dets målinger leverer en nøyaktighet på ± 0.002 °C, og man vil derfor kunne dokumentere eventuell underkjøling i vannet. (SeaBird, u.d.)

Det ble også plassert ut to målere av typen Vemco Minilog II, som en forsikring ved eventuelle feil i målingene gjort av SBE 56. Vemco Minilog II regnes som et svært robust instrument, så

man var ganske sikker på at disse ville gi gode målinger uansett værforhold. En av disse ble plassert sammen med SWIPSen i bunn av inntaksbassenget (se figur 13), mens den andre ble plassert på lukehuset for måling av lufttemperaturer.

Temperaturmålerens funksjon og egenskaper er ytterligere beskrevet i prosjektoppgaven fra høsten 2018. (Sæle, 2018)

3.2 Behandling av data fra feltforsøk

Følgende metoder og programvarer er benyttet i behandlingen og analysen av rådata fra måleinstrumentene beskrevet i delkapittel 3.1 Måleinstrumenter.

3.2.1 Viltkamera Reconyx og Moultrie

Alle tre viltkamera gjennomførte overvåkingen ved lagring på minnekort av typen SD-HC. Bildene vil bli hentet ut av minnekortene og gjennomgått på datamaskin for å observere hvordan måleperioden har forløpt på inntaket, og for å se etter spesielle episoder man ønsker å undersøke nærmere.

3.2.2 SBE 56

SBE 56 vil leses av ved hjelp av samme programvare som ble brukt i aktiveringen, Seaterm V2 fra produsenten SeaBird. Seaterm V2 gjør det enkelt å hente ut hele dataserier som viser målt temperatur ved måletidspunktet. Dataseriene er kompatible med Excel, som vil bli brukt i analysen av rådataen.

I Excel vil det plukkes ut aktuelle måleperioder som viser temperaturen under spesielle episoder som det vil være aktuelt å undersøke nærmere. Grafiske verktøy i Excel vil brukes der det er egnet og brukes i fremstillingen av resultatene.

3.2.3 Vemco Minilog II

Vemco Minilog II vil leses av ved hjelp av samme programvare som ble brukt i aktiveringen, LoggerVUE, fra produsenten Vemco. Temperaturdata fra Vemco Minilog II vil som nevnt brukes ved behov.

3.2.4 SWIPS

SWIPS lagrer måledata i et minnekort av typen Compact Flash Card. Det enkleste er derfor å ta ut minnekortet av SWIPSen og hente ut rådata direkte fra dette.

De aktuelle målingene ligger i komprimerte filer av typen .00X, og man finner to slike filer per døgn med målinger. Det ligger også vedlagt filer av typen .XML som inneholder konfigureringsdata for hele perioden, og det er da en konfigureringsfil per døgn med måling.

Programvaren Ips5Extract fra produsenten bak SWIPS, ASL Environmental Sciences, vil bli brukt til å hente ut informasjon fra de komprimerte .00X-filene. Måleperioden som strekker seg fra midten av november 2018 til april 2019 inneholder så mye rådata at man også vil være tjent med å plukke ut enkelte perioder å undersøke disse nærmere.

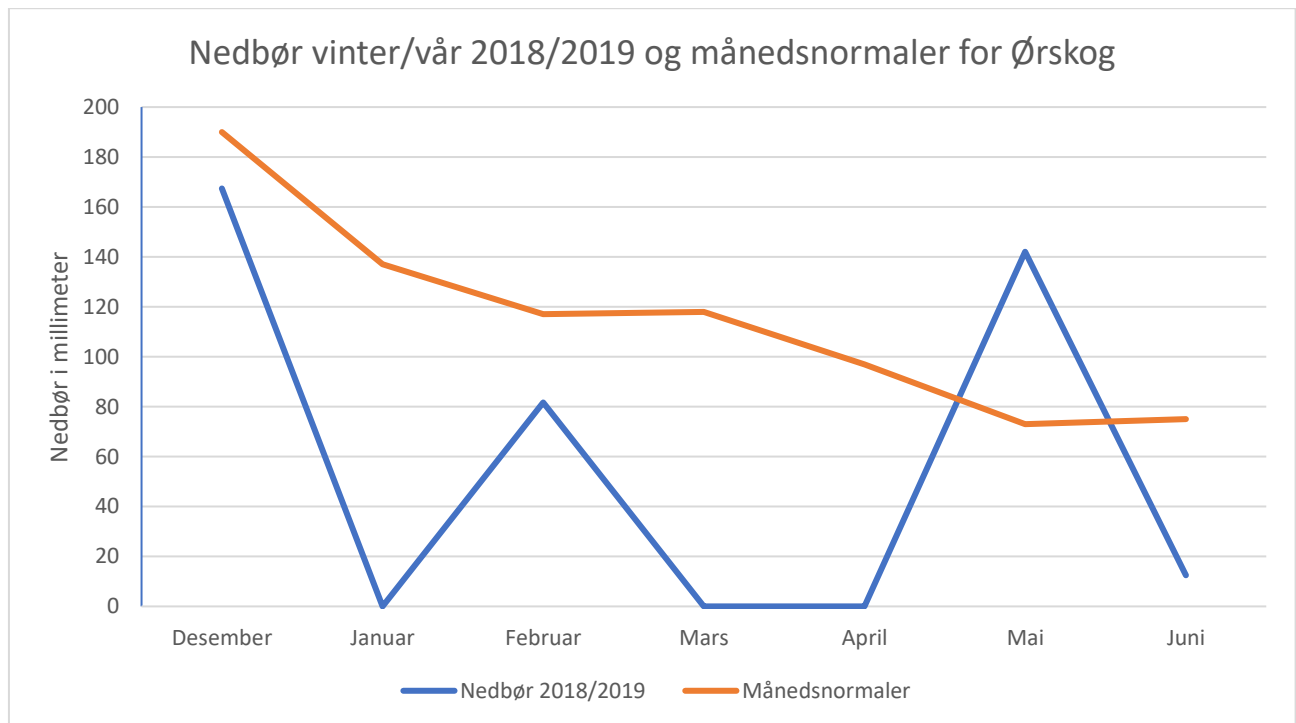
Man kan hente ut en rekke filtyper fra .00X-filene, men det vil i førsteomgang være mest essensielt å hente ut .pro-filer. Disse kan brukes i programvaren Profile View for grafisk fremstilling av målingene.

Profile View brukes som nevnt til å lese av .pro-filer. Man vil da få ut en oversikt over eventuelle partikler i vannsøylen, med fargegradering ut ifra hvilke tetthet og derfor hvilken type partikkel som er registrert. Testing av programvaren gjennom vinteren 2019 har vist at det krever stor prosessorkapasitet i en eventuell maskinvare for å behandle de store filene. Det vil derfor bli anskaffet datamaskin med større arbeidskapasitet.

4. Resultater

4.1 Værforhold vinteren 2018/2019

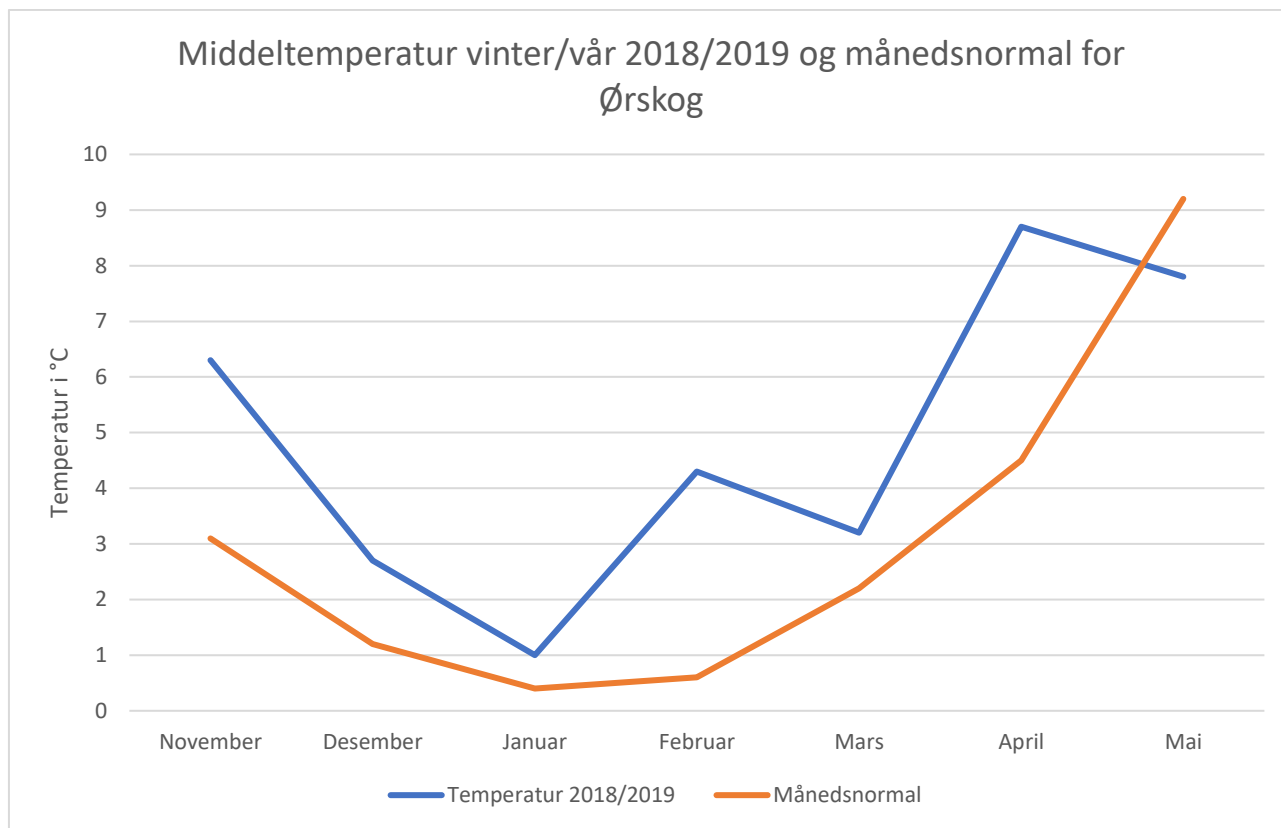
Målinger fra værstasjonen Ørskog 60805 er brukt til å kartlegge hvilke klimatiske forhold som preget området rundt Dyrkorn vinteren og våren 2018/2019. Måledata og normalverdier er hentet fra Metrologisk institutts portal for vær- og klimadata, eklima.met.no.



Figur 14: Nedbør og månedsnormaler desember 2018 - juni 2019.

Grafene i figur 14 fremstiller målt månedsnedbør på Ørskog fra desember 2018 til juni 2019, mot korresponderende månedsnormal for samme målestasjon. Data fra januar, mars og april er fraværende, og årsaken til dette er ukjent. Målingene fra februar viser et betydelig negativt avvik i forhold til normalen, og da januar og februar normalt er de kaldeste månedene i dette området, kan dette ha noe å si i forhold til tilfrysing av inntaket grunnet snøfall.

Mai måned er som man ser av grafen preget av unormalt høye nedbørsverdier. Dette ga utslag i en svært omfattende vannføring forbi inntaket, som igjen førte til vanskeligheter med innhenting av måleutstyr og data.



Figur 15: Middeltemperatur og månedsnormaler november 2018 - mai 2019.

Grafene i figur 15 viser målt middeltemperatur på Ørskog fra november 2018 til mai 2019, mot korresponderende månedsnormaler for samme målestasjon. Som man kan se av grafene ligger de aktuelle vintermånedene på et mildere nivå enn normalen. Spesielt skiller februar seg ut som en unormalt varm måned i 2019, noe som blant annet førte til at man ikke kunne observere noen tilfrysinger av inntaksrista denne måneden. Det gjorde også at en planlagt feltundersøkelse for manuell måling av sarrproduksjon og sarmengder ikke var mulig å gjennomføre.

April skiller seg også ut som en unormalt mild måned. April er også normalt en for varm måned til at man skal kunne forvente omfattende tilfrysing av inntaksrista. Det ga likevel utslag i en svært omfattende smelting av snømagasinene i området rundt inntaket, som igjen førte til vanskeligheter med innhenting av måleutstyr og data.

Helhetlig sett kan man derfor si at måleperioden fra november 2018 og til mai 2019 var preget av unormalt høye temperaturer og lite nedbør.

4.2 Forsøk i felt

Feltforsøkene ble gjennomført slik som beskrevet i kapittel 3. Metode. Den planlagte målingen av sarrproduksjon og sarmengder ble som nevnt ikke gjennomført på grunn av høye temperaturer i februar.

Grunnet unormal stor snøsmelting i april, ble den planlagte innhenting av måleutstyret på Dyrkorn ikke gjennomført som planlagt. Vannføringen i elva var for stor, og tilsiget til inntaksbassenget var større enn kapasiteten på bunntappeluken på dammen. For innhenting av utstyret var man avhengig av å tappe ned inntaksbassenget. Planen videre var da å se om den store snøsmeltingen i april ville gi mindre vannføring enn normalen i mai, en måned det vanligvis er stor vannføring grunnet snøsmelting. Det viste seg at store deler snøen på fjellet hadde smeltet unna i april, men det ble i gjengjeld unormalt mye nedbør i mai. Dette ga nye problemer med tanke på nedtapping av inntaksbassenget og innhenting av utstyret.

Værmeldingene ga gode prognoser med tanke på vannføring mot slutten av mai, og det ble planlagt innhenting 31. mai. Det viste seg at et værskifte natt til den 31. umuliggjorde den planlagte nedtappingen, og innhenting av utstyret som var dykket i inntaksbassenget ble ikke gjennomført. Viltkameraene som var plassert rundt inntaket ble likevel hentet inn for analyse av observasjoner gjennom vinteren. Nedtapping av inntaket ble så gjennomført 7. juni, og det resterende utstyret ble hentet inn.

Alle tre viltkamera ga gode bilder fra hele perioden. Lysforholdene og kameraenes evne til å ta bilder i mørket har variert gjennom vinteren, så det er få gode bilder mellom klokken 20:00 og 09:00. Kameraet som var plassert på lukehuset for observasjon av inntaksrista og snorkelen gikk tom for strøm 29. mars. Det er derfor ingen bilder tilgjengelig fra dette kameraet etter denne datoen, men etter å ha gått gjennom all data er det mulig å anta at de viktigste hendelsene fant sted før dette.

Kameraet som var plassert nord for inntaket mangler bilder fra 29. november til 2. desember. Årsaken til denne feilen er ukjent, men det er mulig å anta at det ligger en feil i kameraets

innstillinger siden det kun er disse datoene det gjelder. Alle bilder fra de tre kameraene ble gjennomgått for å observere hendelser som hadde funnet sted på inntaket gjennom vinteren. Det ble spesielt sett etter synlig sarrproduksjon og dannelse av isdekke på inntaksbassenget, dannelse av is og pakking av is på inntaksrista, samt vannføring og oppbrytning av eventuelle isdekker. En oversikt over hvilke hendelser som ble observert er listet opp i tabell 1 i delkapittel 4.3

Observasjoner fra viltkamera.

Temperaturmålerne av typen SBE 56 var ment som den primære kilden til temperaturdata, mens målerne av typen Vemco Minilog II var ment som en forsikring. Dataene fra SBE 56 viste seg å være veldig gode, og det ble ikke registrert noen forskyvninger av måletidspunkt eller andre feilkilder som har vært et problem ved tidligere forsøk.

Måledata fra SWIPS ble hentet ut via det interne minnekortet og det viste seg at målingene hadde blitt gjennomført som planlagt i hele perioden. Ved utsetting av utstyr 14. november 2018 var det noe usikkerhet rundt SWIPSens interne batteri og strømtilførsel, og om målingene i det heletatt ble gjennomført. Siden SWIPSen kun har internt minne og ikke har mulighet til å kommunisere med andre enheter, var det først ved innhenting av utstyret at man kunne være sikker på at målingene var gjennomført som planlagt.

IPS5Extract ble benyttet til å hente rådata ut av minnekortet, mens programvaren ProfileView ble brukt til å fremstille behandlet rådata visuelt. Det viste seg at tilgjengelig maskinvare ikke hadde tilstrekkelig kapasitet til å kjøre IPS5Extract på en best mulig måte. Det ble derfor bestemt å kjøre enkeltsegmenter av måleperioden gjennom programmet hver for seg, dette var en tidkrevende prosess, men viste seg å være gjennomførbart.

Produksjonsdata for Dyrkorn Kraftverk for hele perioden ble framskaffet ved hjelp fra Tafjord Kraftproduksjon AS.

4.3 Observasjoner fra viltkamera

Det ble som nevnt satt opp tre viltkamera på og rundt inntaket. Et kamera på nordsiden av dammen, et på sørsiden dammen, samt et plassert på lukehuset for overvåkning av inntaksrista og snorkelen. I oversikten som følger i tabell 1 benyttes benevnningen «Kamera Nord», «Kamera Sør» og «Kamera Dam» om de tre kameraene.

Tabell 1: Observasjoner fra viltkamera

Dato	Inntaksrista	Inntaksbassenget
20.11	Begynnende ising av rista. Legger seg ispartikler mellom «boulder bars».	
21.11		Utvikling av tynt islag i forkant av dammen.
22.11	Isen pakker seg noe. Observerer en del vannføring forbi rista, der isen har pakket seg mest.	
25.11		Islaget dekker hele inntaksbassenget.
	Kamera Dam mangler bilder fra 29.11-02.12. Årsak ukjent	
30.11		Begynnende oppbrytning av islag.
04.12	Begynnende ising av rista. Legger seg mellom «boulder bars». Observerer en del vannføring forbi rista, der det har samlet seg mest is.	
05.12	Snøfall legger seg på rista.	Isen dekker hele inntaksbassenget. I perioden 09:00-11:00 legger det seg en del snø på toppen av islaget.
06.12		
07.12	Tydlig vannføring forbi rista.	
08.12		Begynnende oppbrytning av isdekket.
12.12	Observer betydelige mengder pakket is på rista.	

13.12		
21.12	Begynnende oppbrytning av isen.	
22.12		Snøfall. Islaget, med overliggende snølag, dekker hele inntaksbassenget.
25.12	Helt isfri rist for første gang siden 04.12. Observerer betydelig vannføring.	Begynnende oppbrytning av isdekket.
30.12		Første isfrie inntaksbasseng siden 21.11.
07.01		
13.01	Begynnende ising. Legger seg ispartikler på rista.	Observerer mulige flak av akkumulerte sarrpartikler.
14.01	Isen pakker seg noe. Observerer betydelig vannføring forbi rista.	Begynnende oppbygning av isdekke.
15.01	Observerer betydelig vannføring mellom klokken 11:00 og 14:00.	Isdekke med enkel kanal fra elvemunning frem til overløpet.
16.01	Observer tydelig pakking av is på rista. Betydelig vannføring gjennom hele dagen.	
17.01	Snøfall på rista.	Snøfall. Islaget, med overliggende snølag, dekker hele inntaksbassenget.
07.02	Observerer tendenser til oppbrytning av islaget.	Observerer tendenser til oppbrytning av islaget.
08.02		
09.02	Observer isfri rist for første gang siden 13.01.	
11.02	Begynnende ising av rista.	
13.02	Rista er igjen isfri.	

14.02	Observerer betydelig vannføring.	Økende vannføring fører til oppbrytning av islaget
15.02		Fra islagt inntaksbasseng klokken 08:00, observeres det isfritt inntaksbasseng klokken 16:00. Første isfrie inntaksbasseng siden 13.01.
05.03	Observerer betydelig tilfrysing av rista, samt stor vannføring.	Observerer utviklingen av et tynt islag i løpet av dagen.
06.03		Snøfall fører til at det legger seg et lag med snø på islaget.
09.03	Islaget pakker seg noe.	Islaget dekker hele inntaksbassenget.
10.03	Betydelig utvikling av islaget.	Snøfall fører til at det legger seg et lag med snø på islaget
17.03	Betydelig oppbrytning av islaget fra klokken 09:00-18:00.	Begynnende oppbrytning av islaget.
18.03	Observerer isfri rist for første gang siden 05.03. Likevel noe vannføring forbi rista, derfor mulig at rista fortsatt er igjenfrosset. Forbigående vannføring fortsetter fram til 20.03.	
23.03		Første isfrie inntaksbasseng siden 05.03.
24.03	Noe islegging mellom «boulder bars».	
25.03	Fortsatt noe is på rista. Stor vannføring går forbi rista.	
27.03	Isfri rist.	

4.4 Tilfrysingshendelser

Etter observasjoner fra viltkamera og sammenligning av data fra termistatører og produksjonsdata, er det valgt ut et utvalg hendelser i løpet av vinteren. Det er her undersøkt videre med data fra SWIPS om hvorvidt det var sarraktivitet i inntaksbassenget før og under tilfrysingen av inntaksrista.

4.4.1 Tilfrysing 20.11

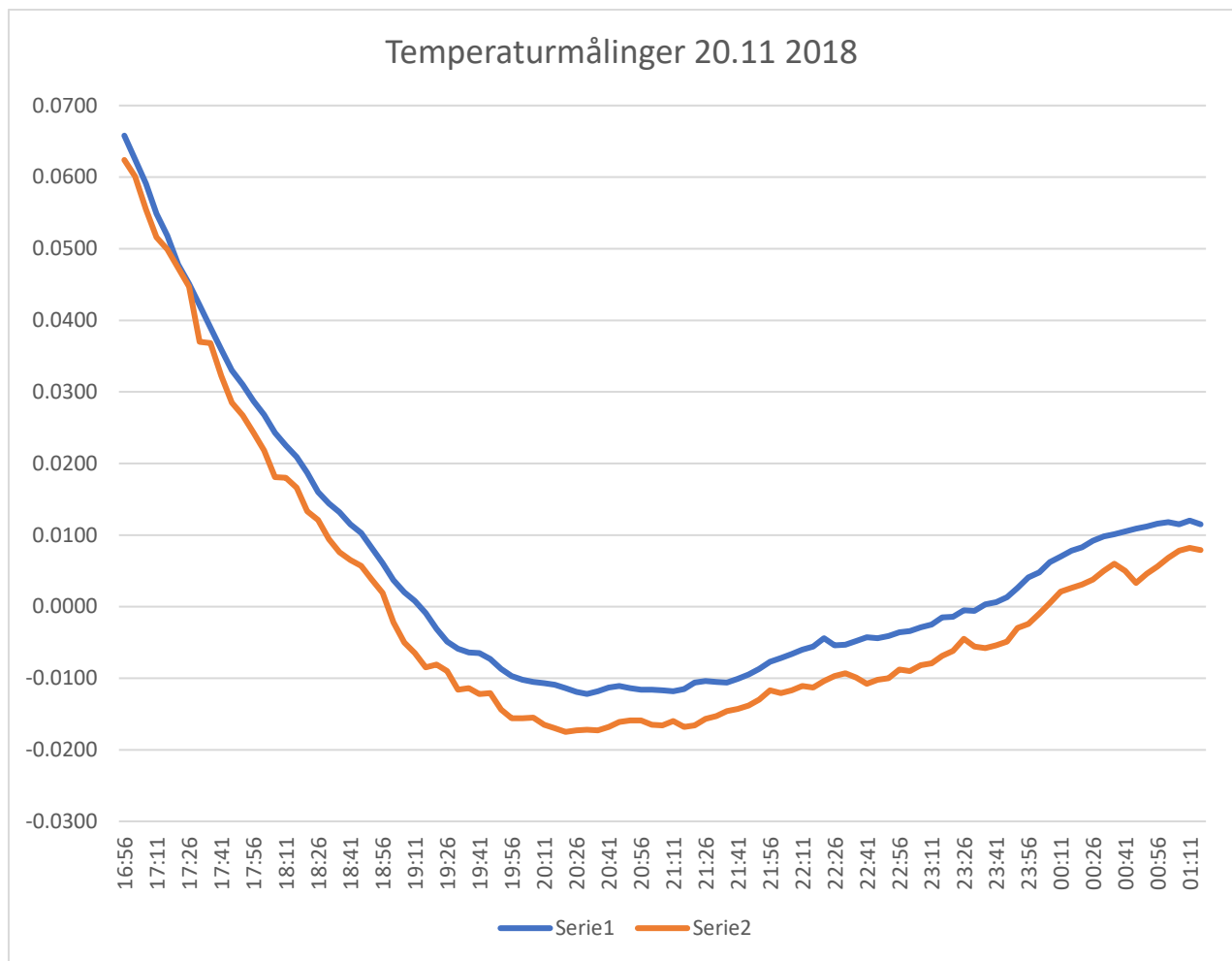


Figur 16: Bilde tatt av inntaksrista klokken 16:00, 20.11.18.

Figur 17: Bilde av inntaksrista klokken 14:00, 21.11.18.

Figur 16 viser et bilde tatt fra viltkameraet på dammen klokken 10:00 den 20. november. Det kan tydelig observeres begynnelsen av ising av inntaksrista, og man ser at noe vannføring her går forbi innløpet og videre nedstrøms dammen.

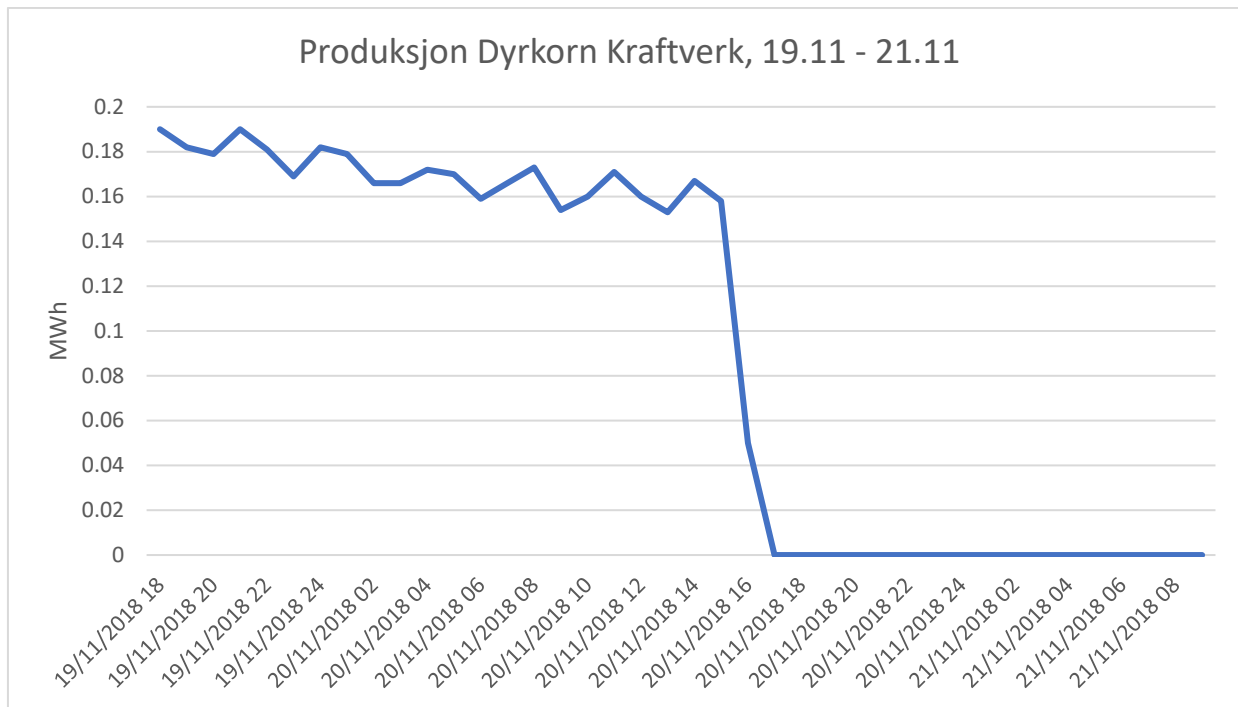
Temperaturen i lufta lå jevnt på mellom -3°C til -4°C fra 19. november og gjennom natta, samtidig som inntaksbassenget har vært uten fast isdekke. Det kan ikke observeres sarraktivitet på inntaksbassenget, men det kan observeres ispartikler på inntaksrista. Dette kan være sarrpartikler som har rent over inntaksrista, mellom «boulder bars»-ene, men også være isdannelse grunnet underkjøling av selve stålet på inntaksrista



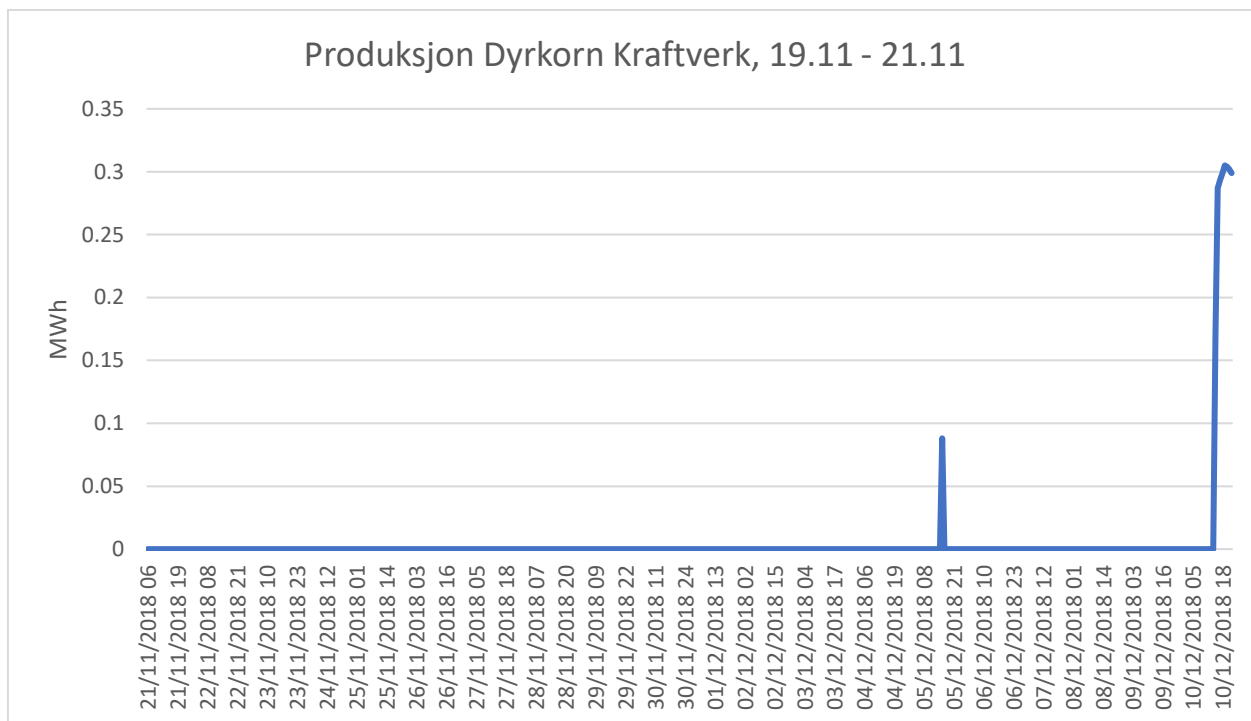
Figur 18: Serie 1 viser temperaturen målt ved SWIPSen på bunn av inntaksbassenget. Serie 2 viser temperaturen målt like under damkrona.

Som man kan se av grafene i figur 18 ble det først dokumentert underkjølt vann i øverste del av inntaksbassenget klokken 19:00 den 20. november, og i bunn av inntaksbassenget klokken 19:16. Siden tilfrysingen startet natt til 20. november er det mulig å anta at den initierende isdannelsen skyldes underkjøling av stålet på rista, og ikke fra sarrpartikler dannet i inntaksbassenget.

Det er likevel interessant at det her blir dokumentert underkjølt vann i bunn av inntaksbassenget, like i forkant av snorkelen. Det er på grunn av dette mulig å anta at det kan dannes sarrpartikler og at sarrpartikler kan klebre seg sammen i dette området. Hvis snorkelen tar til seg sarrpartikler vil man kunne få tilfrysing av inntaksrista selv ved bruk av overliggende snorkel som henter vann fra dypet av inntaksbassenget.



Figur 19: Produksjon Dyrkorn Kraftverk, 19.11-21.11

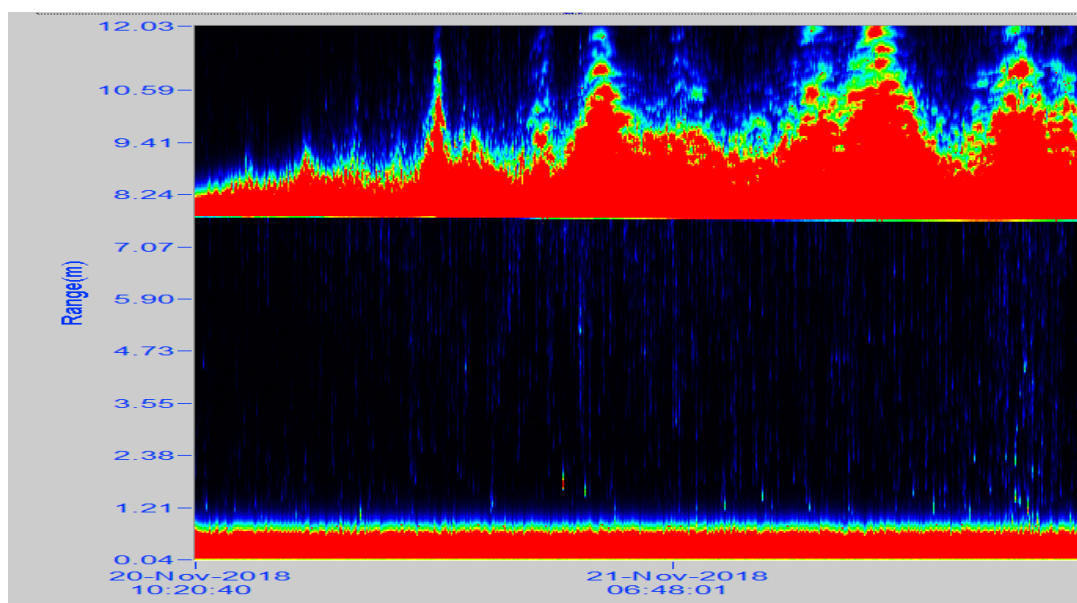


Figur 20: Produksjon Dyrkorn Kraftverk, 19.11-21.11

Figur 19 viser en graf over produksjonen ved Dyrkorn Kraftverk fra klokken 18:00 den 19. november til klokken 08:00 den 21. november. Som man kan se av grafen stanser produksjonen klokken 17:00 den 20. november. Dette er like før det ble dokumentert underkjølt vann i inntaksbassenget, mens temperaturkurven fortsatt var sterkt nedadgående. Det er derfor mulig å anta at man i tidsrommet rundt 16:00 fikk en fullstendig blokkering av inntaksrista på grunn av nedkjøling av inntaksrista eller sarrpartikler som kom drivende fra andre deler av inntaksbassenget.

At det her er snakk om produksjonsstans på grunn av blokkering av inntaket kan tydelig vises gjennom figur 17 som viser et bilde av inntaksrista tatt 14:00 den 21. november. Det er stor vannføring, men denne går forbi innløpet og videre nedstrøms dammen.

Som man ser av grafen i figur 20 produserer ikke kraftstasjonen noe før 10. desember, med unntak av en kort periode den 5. desember. Fra observasjoner gjort med viltkamera kan det tyde på at den lange produksjonsstansen skyldes en kombinasjon av lav vannføring og tilfrysing. Bildene viser forbigående vannføring i langs deler av inntaksrista helt frem til 10. desember.



Figur 21: SWIPS-måling fra perioden 20.11-21.11

Figur 21 viser SWIPS-målinger fra 20. november til 21. november, og viser at det var svært liten partikkelaktivitet i vannsøylen i denne perioden.

4.4.2 Tilfrysing 11.12-12.12

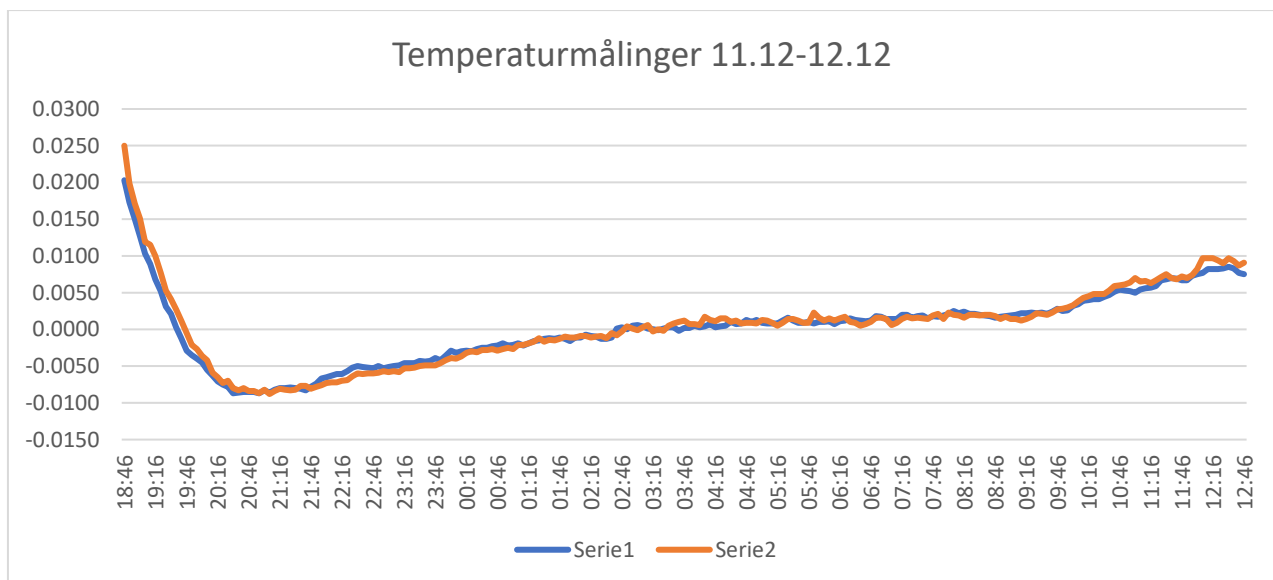


Figur 22: Bilde av inntaksrista klokken 15:00, 11.12



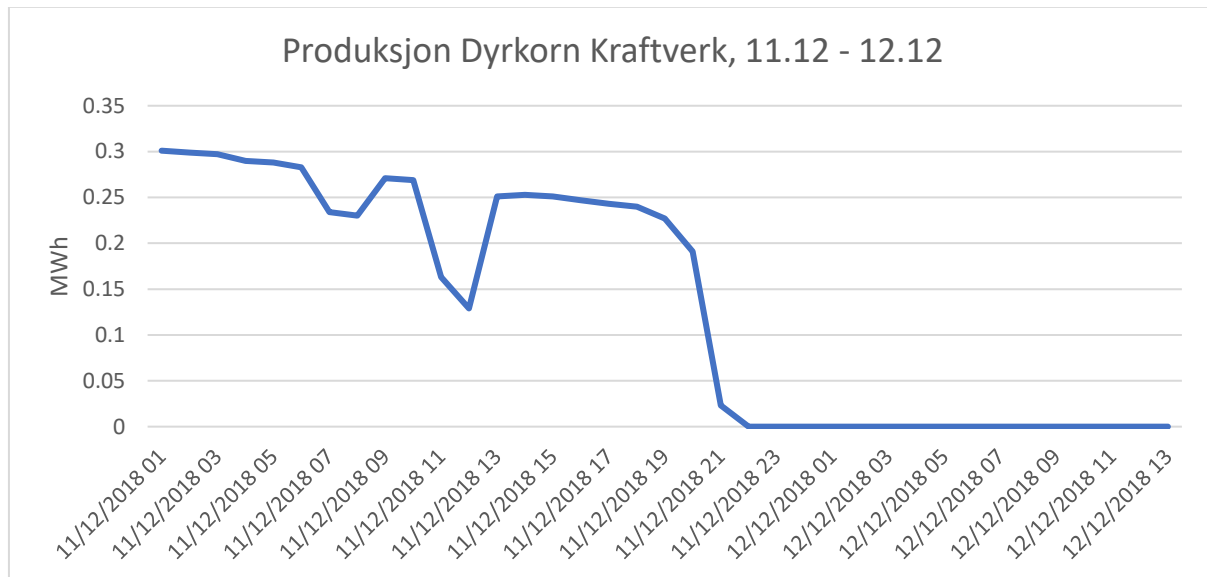
Figur 23: Bilde tatt av inntaksrista klokken 10:00, 12.12

Figur 23 viser et bilde tatt fra viltkameraet på dammen klokken 15:00 den 11. desember, rista er fri for is og kraftstasjonen produserer som normalt. Dette er det siste bildet som er tilgjengelig den 11. desember på grunn av lysforholdene. Det neste tilgjengelige bildet er tatt klokken 10:00 den 12. desember og vises i figur 23. Det kan tydelig observeres omfattende ising av inntaksrista, og man ser at noe vannføring her går forbi innløpet og videre nedstrøms dammen.



Figur 24: Serie 1 viser temperaturen målt ved SWIPSen på bunn av inntaksbassenget. Serie 2 viser temperaturen målt like under damkrona.

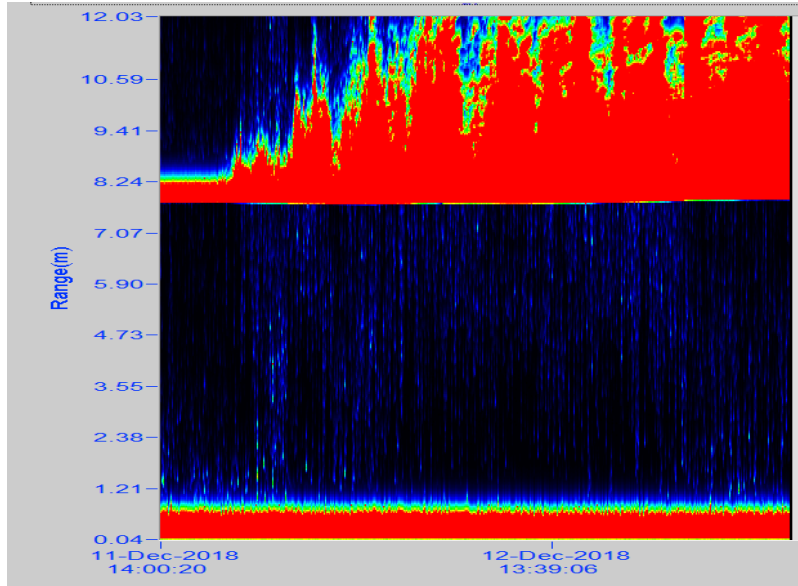
Som man kan se av grafen i figur 24 har man sterkt synkende temperatur i inntaksbassenget fra klokken 18:00 til 21:00 den 11. desember. Både i den øverste delen av inntaksbassenget og i bunn blir det målt underkjølt vann fra klokken 19:46 og frem til klokken 02:36.



Figur 25: Produksjon Dyrkorn Kraftverk, 11.12-12.12

Figur 25 viser en graf over produksjonen ved Dyrkorn Kraftverk fra klokken 01:00 den 11. desember til klokken 13:00 den 12. desember. Som man kan se av grafen stanser produksjonen klokken 22:00, den 11. desember. Dette er i samme tidsrom som temperaturmålerne viser underkjølt vann i inntaksbassenget, og det er derfor mulig at sarrpartikler fra inntaksbassenget har festet seg til rista og skapt gjenfrysning. Bildet i figur 23 viser vannføring forbi inntaksrista, som må kunne anses som tapt produksjonsvann på grunn av tilstoppingen.

Figur 26 viser SWIPS-profil fra 11. desember klokken 14:00 til 12. desember klokken 23:00. Det er tydelig av profilen at det har vært partikler i inntaksbassenget i denne perioden, sett i lys av målingen av underkjølt vann i samme periode er det lett å anta at det er snakk om sarrpartikler. Det er likevel ikke de store mengdene, så tilstoppingen av inntaksrista må også ses i sammenheng med underkjølt stål og underkjølt vann som danner is direkte på rista. Det er tydelig at de sarrpartiklene som registreres er tilstede i hele vannsøylen.



Figur 26: SWIPS-måling fra perioden 11.12-12.12

4.4.3 Tilfrysing 13.01-14.01

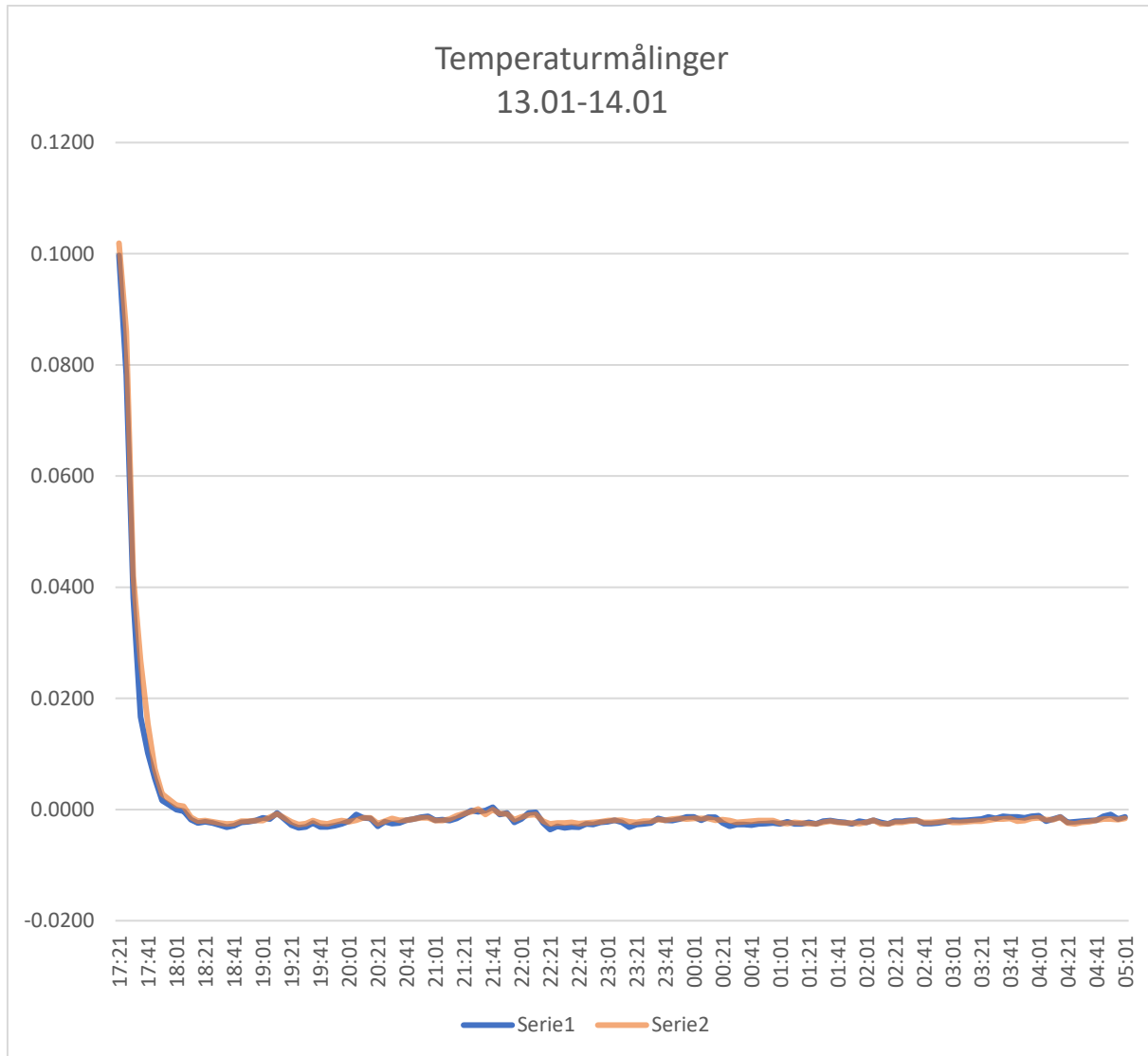


Figur 27: Bilde av inntaksrista klokken 15:00, 13.01

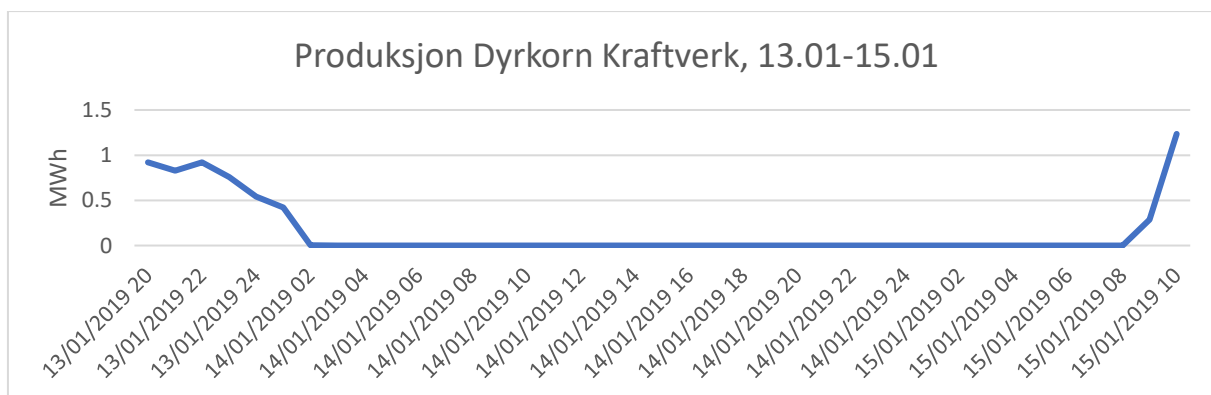


Figur 28: Bilde av inntaksrista klokken 10:00, 14.01

Figur 28 viser bilde av inntaksrista klokken 15:00 den 13. januar. Det er samlet seg noe ispartikler på rista. Figur 27 viser bilde av inntaksrista klokken 10:00 den 14. januar. I løpet av natten har det pakket seg noe is på rista, og vannføringen er stor. Samtidig kan man se av grafene i figur 29 og figur 30 at det blir målt utvikling av underkjølt vann i inntaksbassenget i løpet av natten mellom 13. og 14. januar, samtidig som det er registrert produksjonsstans i samme tidsrom. Dessverre er det skjedd noe med målingene fra SWIPS i denne perioden, og det er derfor ikke mulig å dokumentere tilstedeværelsen av sarrpartikler i inntaksbassenget. Noe som eventuelt kunne vært årsaken til isleggingen og produksjonsstansen.



Figur 29: Serie 1 viser temperaturen målt ved SWIPSen på bunn av inntaksbassenget. Serie 2 viser temperaturen målt like under damkrona.



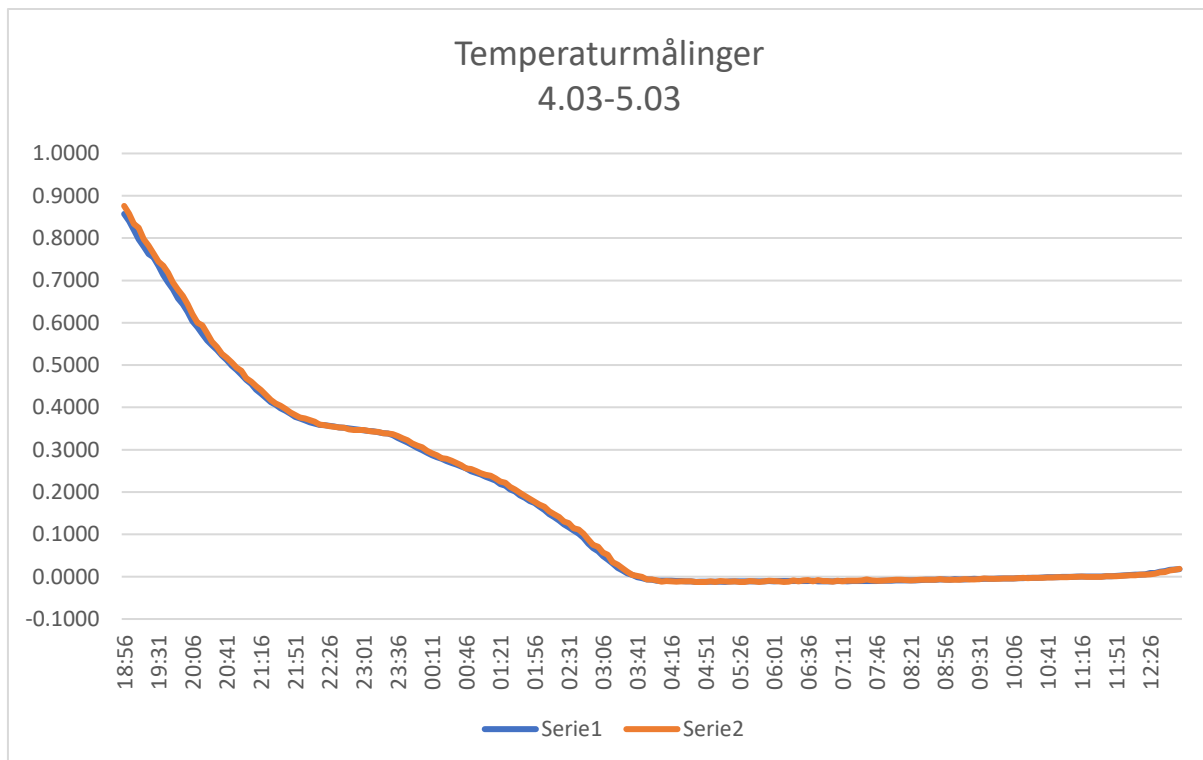
Figur 30: Produksjon Dyrkorn Kraftverk, 13.01-15.01

4.4.6 Tilfrysing 04.03-06.03

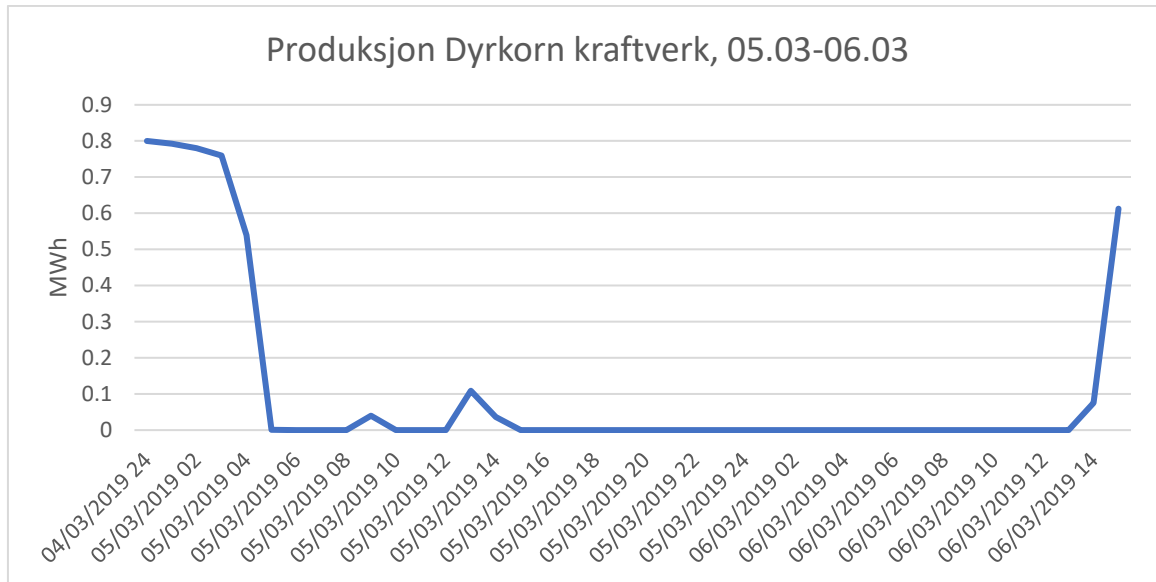


Figur 31: Bilde av inntaksrista tatt klokken 12:00, 04.03 Figur 32: Bilde av inntaksrista tatt klokken 08:00, 05.03

Figur 32 viser et bilde tatt fra viltkameraet på dammen klokken 12:00 den 4. mars, rista er fri for is og kraftstasjonen produserer som normalt. Bildet på figur 31 er tatt klokken 08:00 den 5. mars. Det kan tydelig observeres omfattende ising av inntaksrista, og man ser betydelig vannføring som går forbi innløpet og videre nedstrøms dammen.

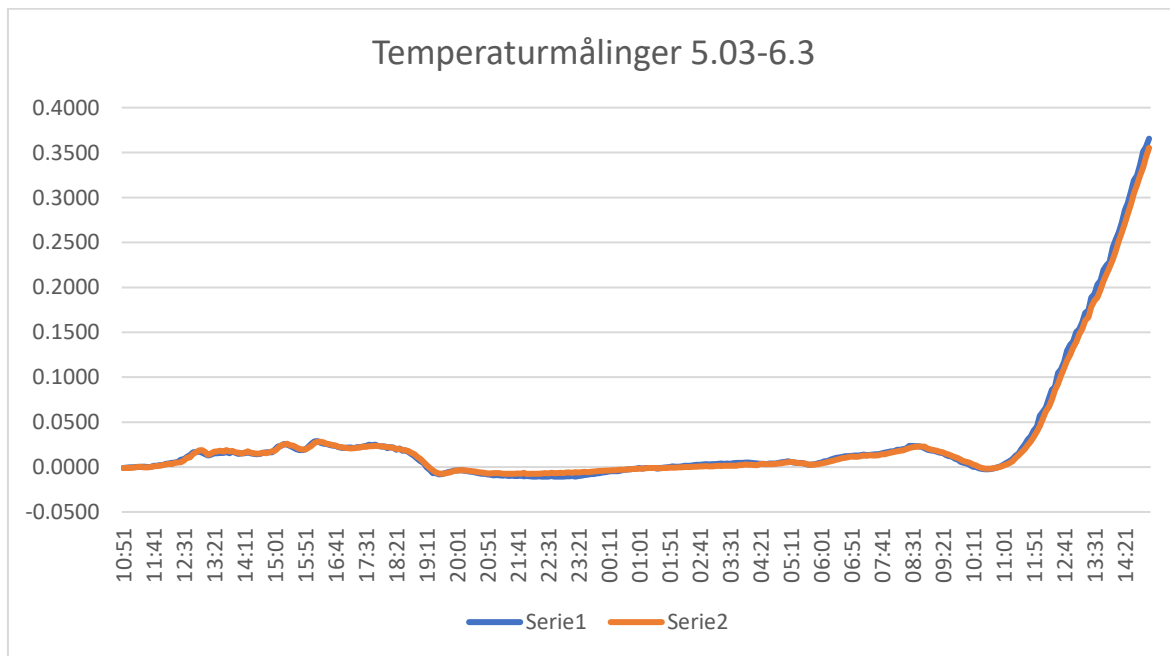


Figur 33: Serie 1 viser temperaturen målt ved SWIPSen på bunn av inntaksbassenget. Serie 2 viser temperaturen målt like under damkrona



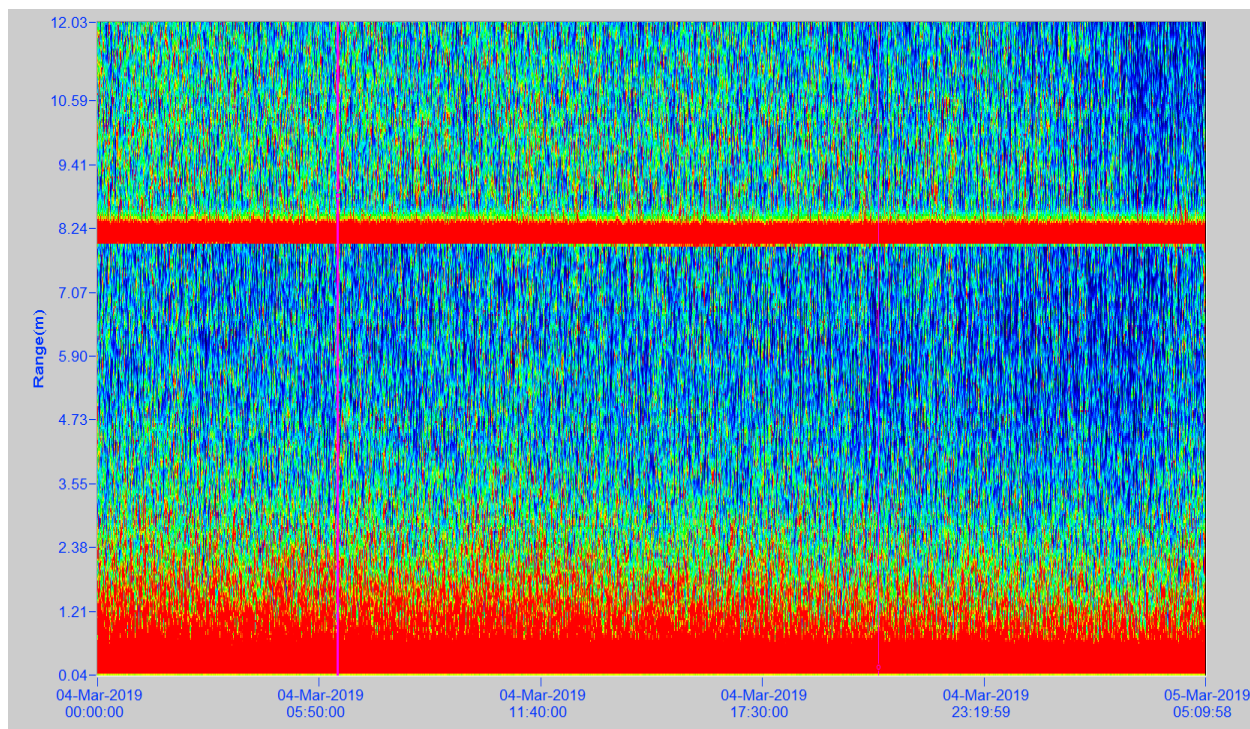
Figur 34: Produksjon Dyrkorn Kraftverk, 05.03-06.03

Grafen i figur 33 viser nedadgående temperatur i inntaksbassenget natt til 5. mars. Temperaturen i vannet ligger rundt frysepunktet helt frem til omtrent klokken 12:00. Grafen i figur 34 viser produksjonen på kraftstasjonen fra 4. mars, klokken 24:00, frem til 6. mars klokken 14:00. Tydelig driftsstans hele denne perioden, med unntak av en liten periode klokken 09:00 og 13:00 5. mars.



Figur 35: Serie 1 viser temperaturen målt ved SWIPSen på bunn av inntaksbassenget. Serie 2 viser temperaturen målt like under damkrona.

Grafen i figur 35 viser oppadgående temperaturer i de periodene produksjonen så vidt starter opp igjen, dette sammen med stor observert vannføring kan være årsak til det inntrufne. Kan for øvrig se av samme graf at temperaturen igjen synker mot kvelden når produksjonen igjen stanser.



Figur 36: SWIPS-profil 4.3-5.3.

SWIPS-profilen i figur 36 viser betydelige mengder registrerte partikler i hele vannsøyla fra 4. desember til 5. desember. Derfor mulig å anta at tilfrysingen av inntaksrista skyldes aktive sarrpartikler. Profilet er et godt bevis på sarrpartiklers tilstedeværelse fra bunn til topp i inntaksbassenget, og det er potensielt mulig for snorkelen å sluke disse.

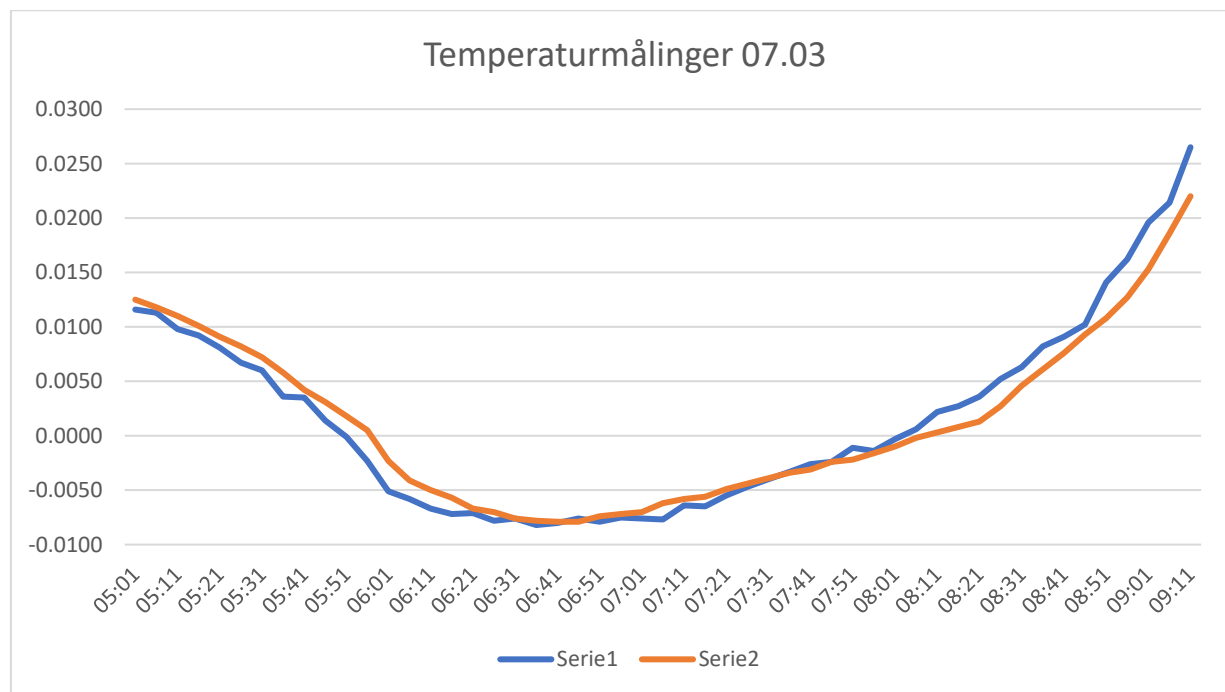
4.4.7 Tilfrysing 07.03



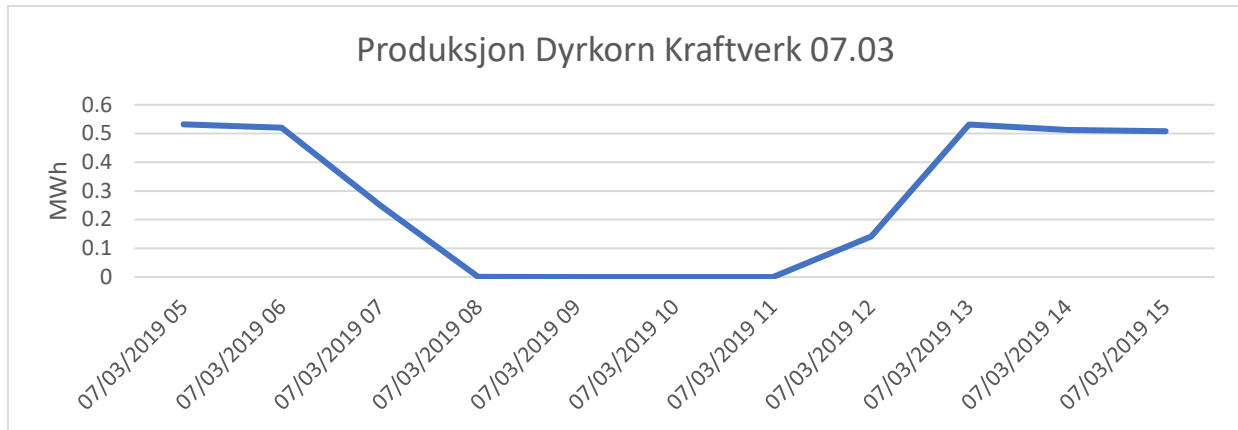
Figur 37: Bilde av inntaksrista tatt 18:00, 06.03

Figur 38: Bilde av inntaksrista tatt 08:00, 07.03

Figur 37 viser et bilde tatt fra viltkameraet på dammen klokken 18:00 den 7. mars, rista er noe iset, men man kan observere vannføring slukt av rista og kraftstasjonen produserer som normalt. Bildet på figur 38 er tatt klokken 08:00 den 7. mars og vises i figur 23. Det kan tydelig observeres omfattende ising av inntaksrista, og man ser betydelig vannføring som går forbi innløpet og videre nedstrøms dammen.

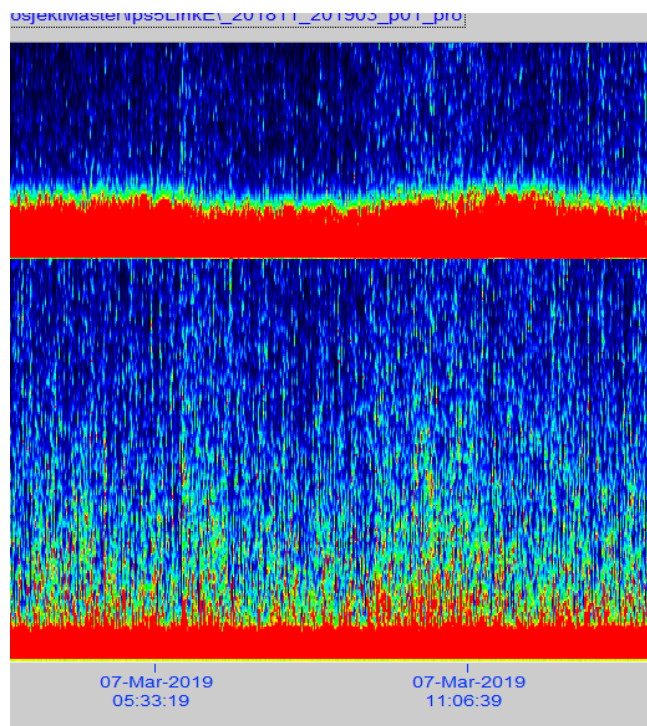


Figur 39: Serie 1 viser temperaturen målt ved SWIPSen på bunn av inntaksbassenget. Serie 2 viser temperaturen målt like under damkrona



Figur 40: Produksjon Dyrkorn Kraftverk, 07.03

Grafen i figur 39 viser nedadgående temperatur i inntaksbassenget 7. mars. Vannet er tydelig underkjølt mellom klokken 06:00 og klokken 07:20. Grafen i figur 40 viser produksjonen på kraftstasjonen 7. mars, og man kan tydelig se at driftsstans inntreffer i samme periode som man har fått tilstedeværelse av underkjølt vann i inntaksbassenget.



Figur 41: SWIPS-profil, 07.03

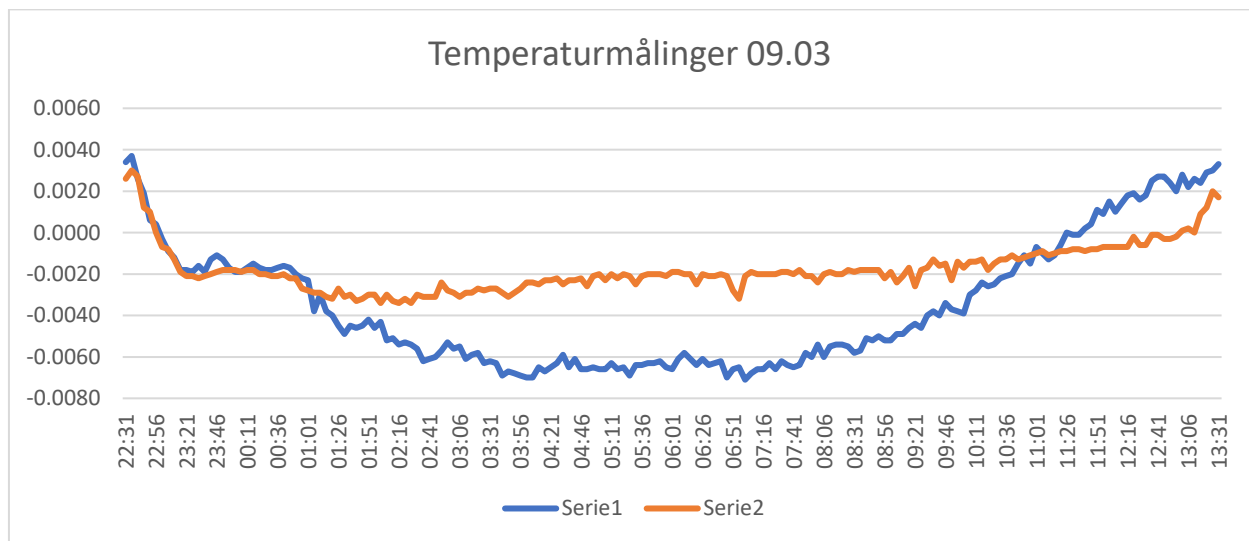
SWIPS-profilen i figur 41 viser betydelige mengder registrerte partikler i hele vannsøyla 7. mars fra klokken 04:00 til 1300. Det er derfor mulig å anta at tilfrysingen av inntaksrista skyldes aktive sarrpartikler.

4.4.8 Tilfrysing 09.03

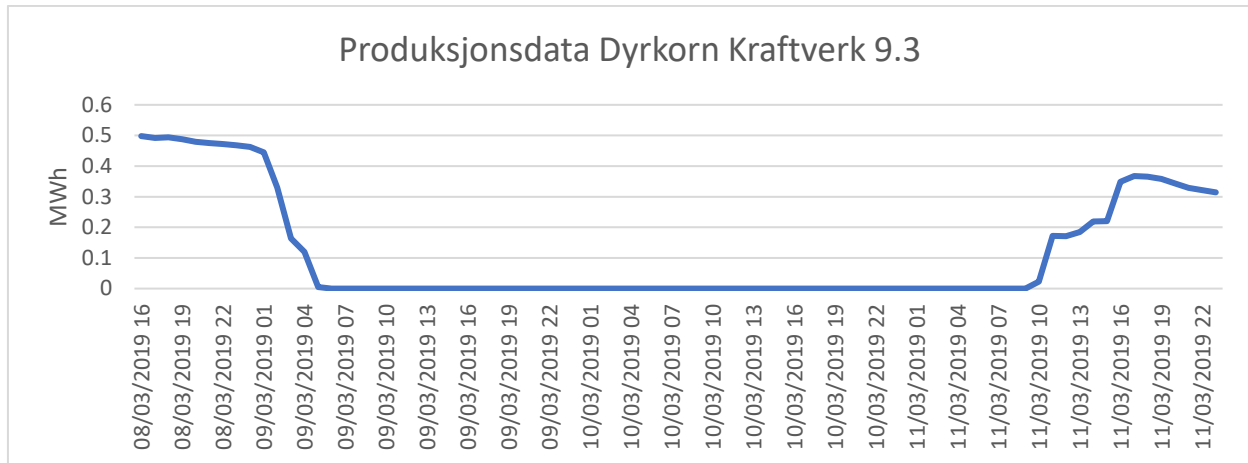


Figur 42: Bilde av inntaksrista tatt 11:00, 09.03

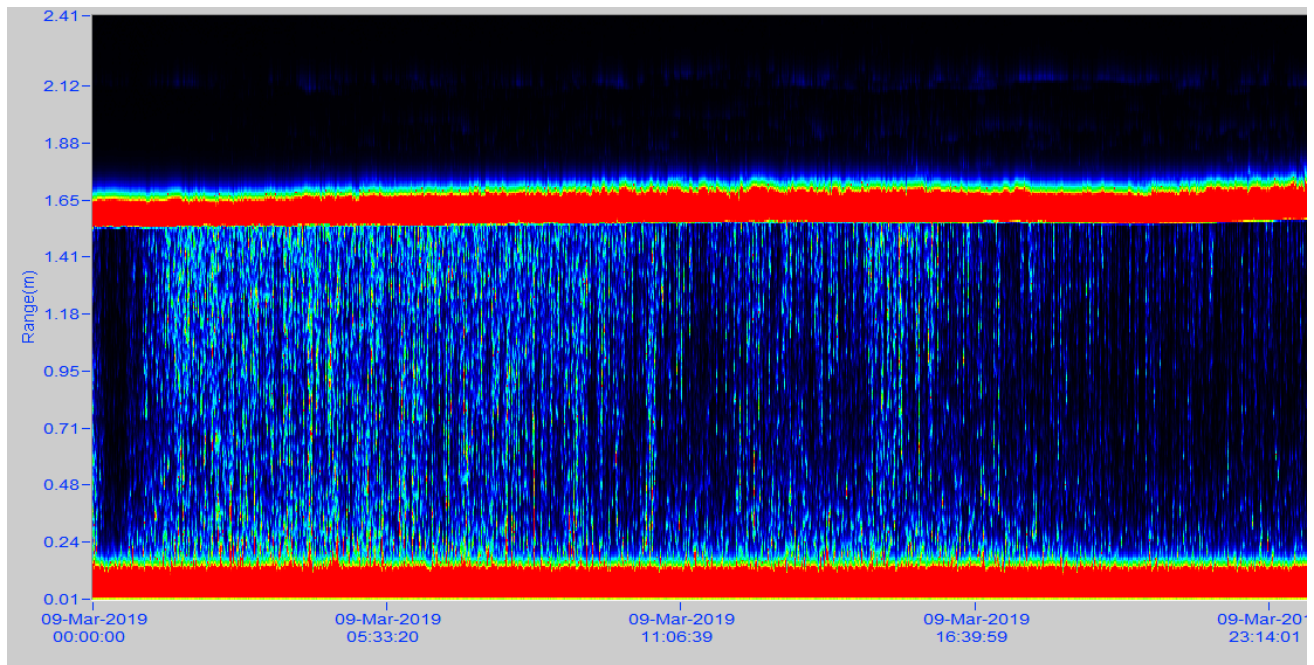
Bildet i figur 42 viser tilstoppet inntaksrista klokken 11:00, 9. mars. Grafene i figur 43 viser nedadgående temperatur, til underkjølt inntaksbasseng fra klokken 22:50, 8. mars. Herfra ser vi noe avvikende temperatur mellom sensorene i bunn av inntaksbassenget og sensoren plassert like under damkrona. Grafen i figur 44 viser begynnende driftsstans fra klokken 04:00, 9. mars.



Figur 43: Serie 2 viser temperaturen målt ved SWIPSen på bunn av inntaksbassenget. Serie 1 viser temperaturen målt like under damkrona



Figur 44: Produksjon Dyrkorn Kraftverk, 09.03



Figur 45: SWIPS-profil 9. Mars

Figur 45 viser SWIPS-profil fra klokken 00:00, 9. mars, til klokken 00:00, 10. mars. Tydelig registrerte sarrpartikler i samme tidsrom som det ble målt underkjølt vann i inntaksbassenget.

4.4.7 Tilfrysing 25.03



Figur 46: Bilde tatt av inntaksrista 07:00, 25.3



Figur 47: Bilde tatt av inntaksrista 08:00, 25.3

Figur 47 og figur 46 viser bilder tatt henholdsvis klokken 07:00 og klokken 08:00, 25. mars. De viser en utvikling i løpet av den timen som har gått mellom de to bildene som har ført til isdannelse og blokkering av inntaksrista.

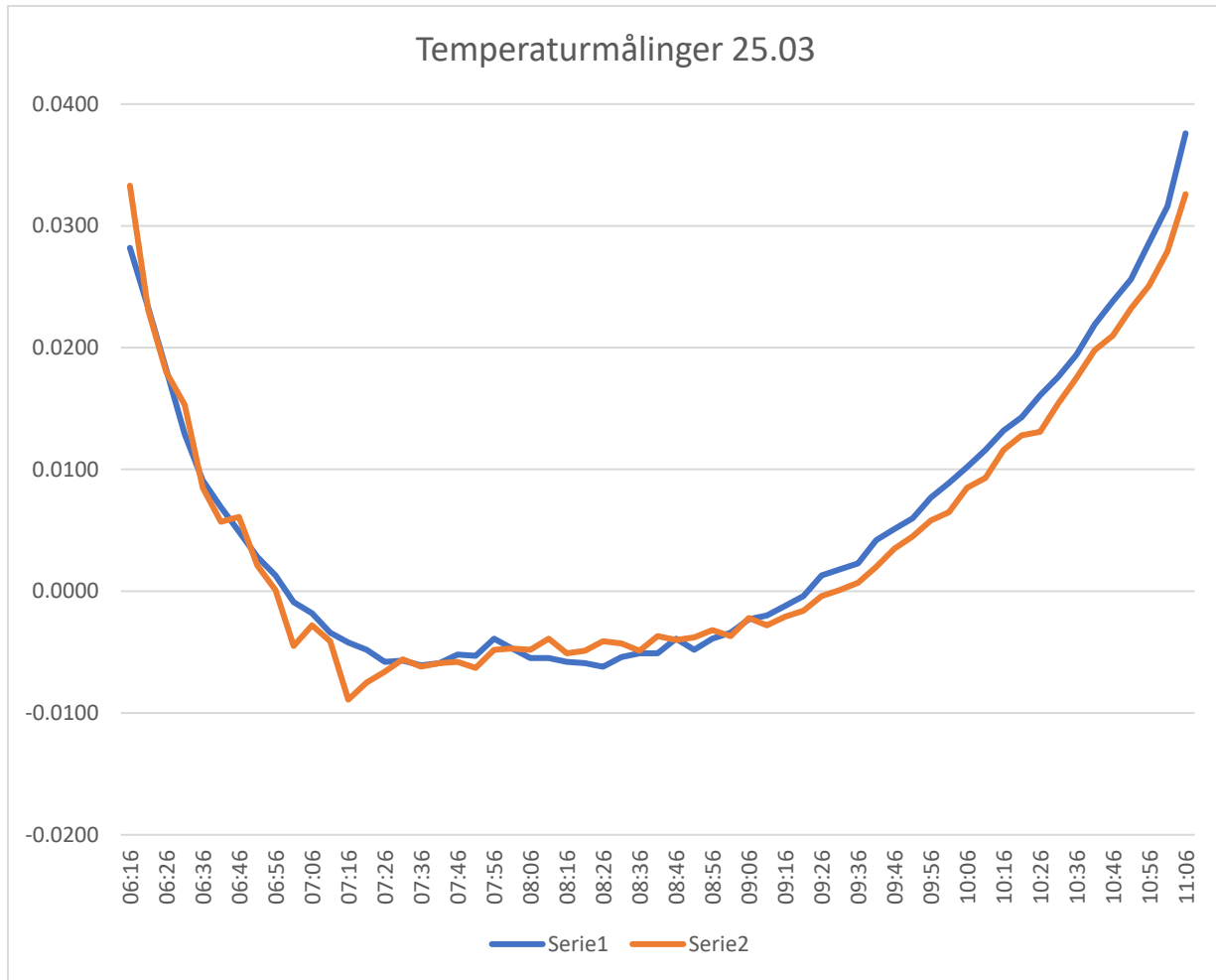


Figur 48: Bilde tatt av inntaksrista 12:00, 25. mars.

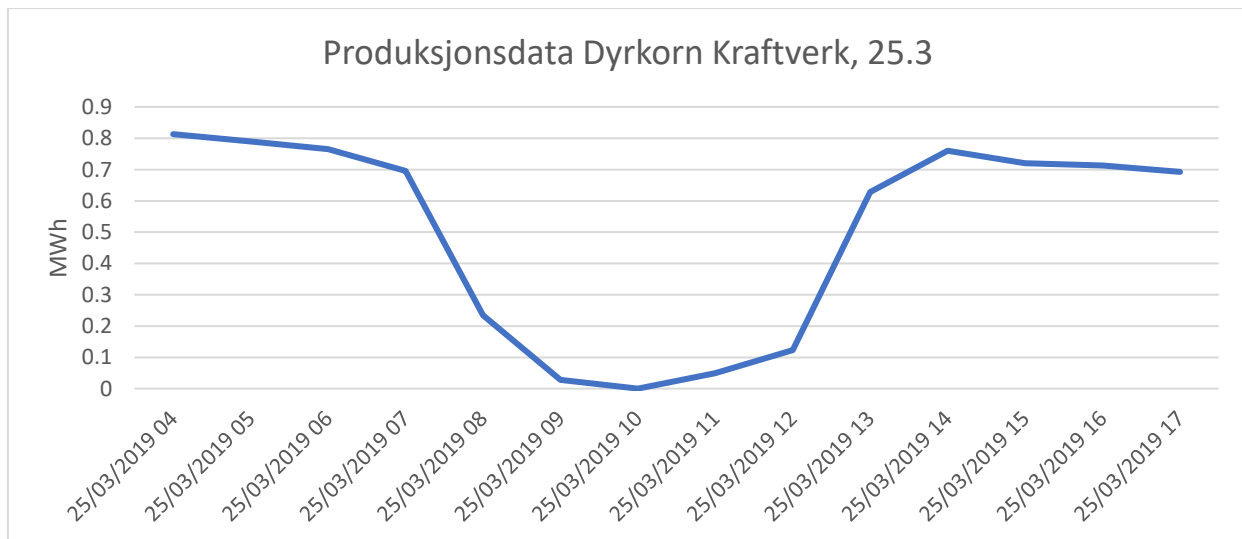


Figur 49: Bilde tatt av inntaksrista 13:00, 25 mars.

Figur 48 og figur 49 viser bilder tatt henholdsvis klokken 12:00 og klokken 13:00, 25. mars. De viser en utvikling i løpet av den timen som har gått mellom de to bildene som har ført til gjenåpning av inntaksrista.

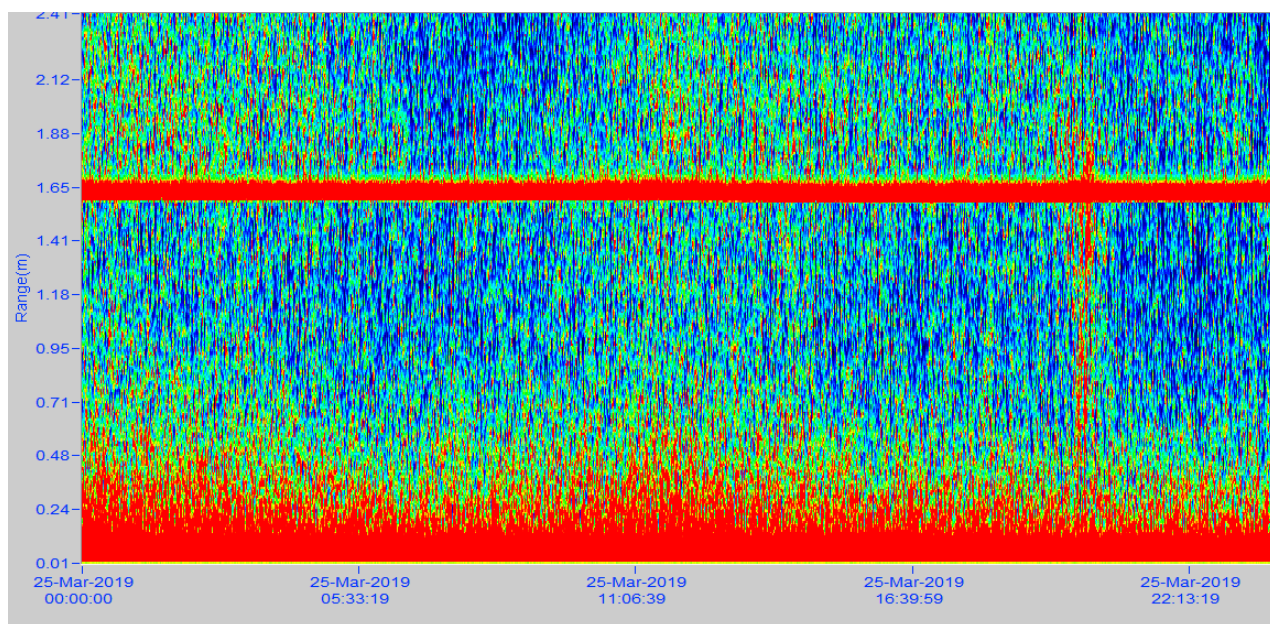


Figur 50: Serie 1 viser temperaturen målt ved SWIPSen på bunn av inntaksbassenget. Serie 2 viser temperaturen målt like under damkrona



Figur 51: Produksjon Dyrkorn Kraftverk, 25.03

Grafen i figur 50 viser nedadgående temperatur i inntaksbassenget 25. mars. Vannet er tydelig underkjølt mellom klokken 06:50 og klokken 09:20. Grafen i figur 51 viser produksjonen på kraftstasjonen 25. mars, og man kan tydelig se at driftsstans inntreffer i samme periode som man har fått tilstedeværelse av underkjølt vann i inntaksbassenger.



Figur 52: SWIPS-profil 25. mars

SWIPS-profilen i figur 52 viser betydelige mengder registrerte partikler i hele vannsøyla gjennom hele 25. mars. Også i de periodene det ikke er registrert underkjøling av vannet i inntaksbassenget.

5. Diskusjon

Som det kommer frem av grafene i delkapittel 4.1 Værforhold vinteren 2018/2019, var det en unormalt tørr og mild vinter, og da spesielt i februar måned. Da de viktigste årsakene til tilfrysing og isdannelse er nedkjøling og snøfall, er det derfor ikke overaskende at denne måneden ikke bar med seg like mange episoder med nedfrysing som det som var antatt på forhånd. Det planlagte feltforsøket med manuell måling av sarrproduksjon ble derfor ikke gjennomført.

Det hadde vært meget interessant å få gjennomført denne oppmålingen, spesielt når målingene i inntaksbassenget viste sarrpartikler og underkjølt vann i hele vannsøylen. Da kunne man dokumentert om snorkelen sluker sarrpartikler eller ikke. Dette er den store svakheten og mangelen ved oppgaven, snorkelens funksjon er avhengig av at den ikke sluker sarrpartikler. Likevel interessant å se måling av underkjølt vann helt i bunn av inntaksbassenget. Dette er også en mulig avskrivning av dagens snorkelløsning.

SWIPSen har gitt jevnt over gode målinger gjennom hele testperioden. Det er likevel noe usikkerhet knyttet til resultatene, da det ble oppdaget algevekst på toppen av sensoren ved innhenting av utstyret. Følgende av dette og hvordan det har påvirket registreringene er til nå ukjent.

Det ble registrert noe ulike årsaker til tilfrysing av inntaket, men tilfrysingene i mars peker klart i retning av at sarrpartikler har spilt en avgjørende rolle. Det kan ses både ved SWIPS-profilene og grafene med målt temperatur i inntaksbassenget.

Utfordringene med å hente inn måleinstrumentene etter endt testperiode har nok ført til utfordringer knyttet til mangel på tid til å få gjennomgått dataene på en best mulig måte. Det er likevel funnet frem til de tydeligste og mest utpregede hendelsene i løpet av vinteren, som på en god måte viser hvordan underkjøling og produksjon av sarrpartikler fører til tilfrysing av inntaksrista. Viktigst er nok likevel at det i løpet av disse episodene er registrert underkjøling og sarrproduksjon i hele vannsøylen.

6. Konklusjon og videre arbeid

Metoden med gjennomføring av feltundersøkelser gjennom en hel vinterperiode, fra november til april viste seg å være en godt egnet metode for å gi gode data om hvordan et Coandainntak av denne typen påvirkes av vinterdrift.

Det er mulig å konkludere med at utstyret som ble brukt og slik det ble satt opp var den optimale metoden. Viltkameraene ga gode bilder, bortsett fra når lysforholdene ikke tillot det, som i visse perioder av vinteren i dette området utgjør brorparten døgnet. Temperaturmålerne viste at temperaturforskjellene i vannsøylen i et slikt grunt og lite inntaksbasseng, var minimale. Det er derfor mulig å konkludere med at snorkelen vil ta til seg underkjølt vann, uavhengig av hvor dypt den stikker.

Videre må det være ønskelig å få gjennomført manuell oppmåling av sarr, helst i sammenheng med snorkelen for å bevise at den faktisk tar til seg partikler av sarr. Hvis dette er tilfelle vil det være kritisk for en eventuell anbefaling av snorkelmodifikasjonen slik den er utformet i dag. Til tross for at det ved SWIPS-målinger er dokumentert sarrpartikler i hele vannsøylen, kan man ikke ut ifra dette konkludere med sikkerhet at snorkelen tar til seg disse partiklene.

Da laboratorieforsøk med Coandainntak og sarrproduksjon krever store ressurser, vil det være mest aktuelt å få gjennomført en slik test i felt ved et eksisterende anlegg. Det som er utfordringen, og spesielt ressurskrevende med laboratorieforsøk er prosessen med å få fremstilt sarrpartikler slik man finner naturlig i elver.

Hvis det viser seg at snorkelen ikke bare sluker underkjølt vann, men også aktive sarrpartikler, vil den miste sin funksjon. Det må derfor være ønskelig å finne en løsning som hindrer at sarrpartikler og underkjølt vann påfører inntaksrista tilfrysing.

7. Litteraturliste

- Aal, E. (2017) *Testing av vinterforhold for modifiserte Coandainntak*. Masteroppgave. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Ashton, G. D., (1978) River ice. *Ann. Rev. Fluid Mech*, (10), s. 369-392
- Ashton, G. D., (1986) *River and lake ice engineering*. Littleton, CO: Water Resources Publications.
- Bjella, S. T. (2011) *Jordsjuk*. Sitert vers fra sangtekst, brukt med godkjenning av tekstforfatteren.
- Brødrene Dahl AS (u.d.) *Fossekalen – Det miljøvennlige inntaket*. Tilgjengelig fra: https://www.dahl.no/globalassets/hovedside/produkter-og-tjenester/vannkraft/kataloger/pdf/fossekalen_small.pdf (Hentet: 12.11.2018).
- Daly, S. F. (1991) *Frazil Ice Blockage of Intake Trash Racks*. (91-1). Hanover, NH: USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory.
- NVE (2006) 26.3 *Inntakshåndboken – Rettledning for utforming av inntak til små kraftverk*. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/veileder/2006/veileder2006_01.pdf (12.09.2018).
- Nøvik, H. (2012) *Coandainntaket – En selvrenskeende inntaksløsning for småkraft i Norge*. Tilgjengelig fra: <https://slideplayer.no/slide/2084187/> (Hentet: 17.12.2018).
- Nøvik, H., Lia, L., Opaker, H. (2014) Performance of Coanda-effect screens in a cold climate, *Journal of Cold Region Engineering*, 28(4).
- Okot, D. K. (2013) Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 26, s. 515-520
- Opaker, H. (2012) *Funksjon til Coandainntaksrister*. Masteroppgave. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Panitz, T., Wasan, D. T. (1972) Flow Attachment to Solid Surfaces: The Coanda Effect. *AICHE Journal*, 18(1), s. 51-57.
- Reba, I. (1966) Applications of the Coanda Effect, *Scientific American*, 214(6), s. 84-93.
- Rüther, N. 2018. HPP headworks exposed to high sediment yield. *TVM5160 Sedimenthåndtering ved vannkraftkonstruksjoner*. (7.11.2018).
- Schaefer, V. J. (1950) The Formation of Frazil and anchor ice in cold water, *Transactions of the American Geophysical Union*, (31), s. 885-893.
- Sea Bird (u.d.) *SBE 56 Temperature Sensor*. Tilgjengelig fra: <https://www.seabird.com/sbe-56-temperature-sensor/product-details?id=54627897760> (Hentet: 10.11.2018)

- Sæle, S. D. (2018) *Testing av snorkel for coandainntak*. Prosjektoppgave. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
- Sæten, N. K. (2016a) *Testing av snorkel for Coandainntak*. Masteroppgave. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Sæten, N. K. (2016b) *Vinterfunksjon av Coandainntak ved Dyrkorn Kraftverk*. Prosjektoppgave. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Wahl, T. L. (2003) *Design guidance for Coanda-effect screens*. (R-03-03). Denver: U.S. Department of the interior Bureau of Reclamation.
- Wahl, T. L. (2003) *Design guidance for Coanda-effect screens*. (R-03-03). Denver: U.S. Department of the interior Bureau of Reclamation.
- Wahl, T. L. (2001) Hydraulic Performance of Coanda-effect screen, *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(6), s. 480-488.
- Wahl, T. L. (2017) *Improving Coanda-effect screen technology*. (ST-2017-6295-01). Denver: U.S. Department of the interior Bureau of Reclamation.

Vedlegg A: SWIPS, innstillinger feltforsøk november 2018 – april 2019.

Funksjon	Fase 1	Beskrivelse
Start Date	Nov 14, 2018 12:00:00	Tidspunkt for initiering av måling.
Duration	170.0000 days	Varighet av måleperioden.
Phase type	Ice Profiling	Spesifisering av ønsket måleprofil.
Main Amp Hrs	216.78	Nødvendig batterikapasitet (ikke tilstrekkelig).
Tx Amp Hrs	1.42	
Mega Bytes	8905.6 Mb	Nødvendig lagringskapasitet (tilstrekkelig).
Pulse Length	68 μ S	Lydpulsens varighet.
DigRate	64 kHz (0.0113 m/sample)	Måleområde.
IceGain	1	Isfaktor. Styrker signalet.
BurstGain	1	Burstfaktor.
PingPeriod	1.0 sec	Målefrekvens. Periode mellom utsending av lydbølger.
Base Ping Rate	1 Hz	
SensorPeriod	1.0 sec [1 pings]	Periode mellom hver sensormåling.
Burst Period	1.0 sec [1 sensors]	Periode mellom hver burst.
Burst Length	1.0 sec [1 pings]	Burstlengde. Angir antall utgående lydbølger per burst.
Range	3.00 m [273 smpl]	Angir rekkevidde for målingene.
Lockout	0.50 m [45 smpl]	Angir startpunkt for målingene.
Max. Targets	3	Angir antall målte objekter som skal registreres per måling.
Ice Start Amplitude	10000	
Ice Stop Amplitude	9000	Bølgelengde på ispartiklene som ønskes registrert.
Burst Start Amplitude	35000	
Burst Stop Amplitude	25000	Bølgelengde for burst som ønskes å måles.
Min Persist	62 us [4 smpl]	Minimum størrelse på mottakende ekko som ønskes registrert.
Target Storage	Burst Profiles & Targets	

Vedlegg B: Produksjonsdata Dyrkorn Kraftverk, november 2018 – april 2019

