

Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Realfag og teknologi

Kartlegging av industrielt utslipp fra Otraledningen til Kristiansandsfjorden, og vurdering av behov for reduksjon av utslippet

Survey of industrial discharges from the "Otra pipeline" to the Kristiansandsfjord, and evaluation of need for reduction of the discharge

Solveig Matre Gåsland
Kjemi og bioteknologi

Forord

Denne masteroppgaven ble skrevet våren 2017 og gjort i samarbeid med Odderøya Renseanlegg i Kristiansand, som finansierte arbeidet. Oppgaven er et sluttprodukt av min mastergrad i Kjemi og Bioteknologi ved NMBU. Hovedveileder har vært Harsha Ratnaweera og biveiledere har vært Torleif Jacobsen og Knut Rudi.

Etter to trivelige somre med prosjektarbeid på Odderøya Renseanlegg, fikk jeg stor interesse for VA-bransjen. Jeg ble derfor veldig interessert i å skrive en oppgave for Odderøya Renseanlegg, også fordi det innebar en praktisk problemstilling. Prøvene ble hentet i Kristiansand og Vennesla kommune, mens laboratoriearbeidet ble gjort på Odderøya Renseanlegg og NMBU.

Jeg har fått god hjelp fra mange personer i arbeidet med denne oppgaven. Først vil jeg takke min eksterne veileder seksjonsleder Torleif Jacobsen for å ha foreslått denne oppgaven og kommet med mange gode råd underveis. Videre skal også driftsoperatør/labansvarlig Per Otto Bronebakk ha stor takk for lån av laboratoriet, anskaffelse av utstyr, kjøring av prøver til de eksterne laboratoriene og god veiledning. Takk også til Monica Fredvik for faglig hjelp med oppgaven.

Takk til Roy Lund og Britt G. Iversen fra henholdsvis Huntonit og Støleheia Avfallsanlegg, for hjelp med prøvetaking og faglige innspill. Jeg vil også takke ansatte på Støleheia Avfallsanlegg for å ha hjulpet med snøskuffing og tilrettelegging for prøvetakinga der.

Hovedveileder Harsha Ratnaweera og biveileder Knut Rudi fortjener også en stor takk for faglig og praktisk veiledning underveis.

På NMBU-laben fikk jeg mye hjelp av både Inga og Kristin. Stor takk til dere begge. Takk til Ingvild, Marta Sofie og Torbjørn for gode samtaler og arbeidsfellesskap i Jordfagsbygget. Takk til familien i Kristiansand som har huset og tatt godt vare på meg i forsøksperioden. Til slutt vil jeg takke min forlovede Aleksander, for støtte og tålmodighet med meg denne våren.

Solveig Matre Gåsland

Ås, 12.05.17

Sammendrag

Kristiansandsfjorden tilføres mye forurensninger og miljøtilstanden overvåkes. Mange undersøkelser og miljøtiltak har vært gjort for å bedre forholdene. Elva Otra, som renner ut i Kristiansandsfjorden, var tidligere svært forurenset av prosessvann. Otraledningen ble bygget i 1995. Prosessvannet ble ført inn i ledningen, og ut på dypt vann i Østerhavn i Kristiansandsfjorden. Tiltaket forbedret forholdene i Otra betraktelig, og skapte et økt miljøengasjement for situasjonen i Kristiansandsfjorden. I denne oppgaven ble dagens utslipp fra Otraledningen kartlagt. Å kartlegge utslippskilder til Kristiansandsfjorden er en viktig del av prosessen med å nå miljømålene for fjorden.

Prøver ble hentet fra elvevann, Huntonit, Støleheia Avfallsanlegg og Hagen luftekum. Elvevannet fra Otra er det første vannet som føres inn i Otraledningen. Videre slippes prosessvann fra Huntonit og Støleheia Avfallsanlegg på. Ved Hagen luftekum har prosessvannet blitt blandet med elvevannet. Det representerer dermed det samlede utslippet som slippes ut i Kristiansandsfjorden. Vannmengde, Tot-P, konduktivitet, pH, KOF, SS, tungmetaller, tarmbakterier og totalt antall bakterier ble målt.

Analysene viste høye utslipp av KOF, SS og tungmetaller fra Huntonit. Støleheia Avfallsanlegg hadde høye verdier av tungmetaller, tarmbakterier og totalt antall bakterier. Prøvene fra Hagen hadde høye verdier av KOF, sink og kobber.

Vann-nett opplyser at det er en dårlig økologisk tilstand i Kristiansandsfjorden. Sink og kobber er to av flere miljøgifter som har altfor høye nivåer. Tilstanden for KOF er ikke oppgitt, men utslippet fra Otraledningen ligger generelt over kommunale grenseverdier. Av hensyn til miljøsituasjonen i Kristiansandsfjorden, vil det dermed være aktuelt å redusere utslippene av KOF, sink og kobber fra Otraledningen.

Abstract

The Kristiansandsfjord receives much pollution and the environmental state is monitored. Much research and abatement efforts have been done to improve the conditions. The river Otra, which flows into the Kristiansandsfjord, was previously very polluted by industrial waste water. The "Otra pipeline" was built in 1995. The industrial waste water was lead into the pipeline, and out in deep water in Østerhavn in the Kristiansandsfjord. The efforts improved the conditions in Otra considerably, and created an increased environmental engagement for the situation in the Kristiansandsfjord. In this thesis the present discharges from the "Otra pipeline" was surveyed. To survey sources of discharges to the Kristiansandsfjord is an important part of the process of reaching the environmental goals for the fjord.

Samples were taken from river water, Huntonit, Støleheia waste facility and Hagen lufttekum. The river water is the first water lead into the "Otra pipeline". Further the industrial waster water from Huntonit and Støleheia is discharged. At Hagen lufttekum the industrial waster water has been mixed with the river water. This represents the total discharges that are released into the Kristiansandsfjord. Water amount, Tot-P, conductivity, pH, COD, SS, heavy metals, gut bacteria and total amount of bacteria were analysed.

The analysis showed high discharges of COD, SS and heavy metals from Huntonit. Støleheia waste facility had high values of heavy metals, gut bacteria and total amount of bacteria. The samples from Hagen had high values of COD, zinc and cobber.

Vann-nett informs that there is a bad ecological state in the Kristiansandsfjord. Zinc and cobber are two of several environmental toxins that have too high levels. The case for COD is not given, but the discharges from the "Otra pipeline" are generally over the municipal limits. With respect to the environmental conditions in the Kristiansandsfjord, it will be relevant to reduce the discharges of COD, zinc and cobber from the "Otra pipeline".

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
Innholdsfortegnelse	IV
Ordforklaringer	VII
Forkortelser	VIII
Figuroversikt	IX
Tabelloversikt	X
1. Innledning	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.1.1 Kristiansandsfjorden.....	1
1.1.2 Otra.....	2
1.1.3 Otraledningen.....	3
1.2 Problemstilling.....	5
1.2.1 Mål for oppgaven.....	5
1.3 Renseanlegg hos Huntonit og Støleheia Avfallsanlegg.....	6
1.3.1 Huntonit.....	6
1.3.2 Støleheia Avfallsanlegg.....	8
1.4 Lovverk og tillatelser.....	9
1.4.1 Huntonit.....	9
1.4.2 Støleheia Avfallsanlegg.....	10
1.5 Kjemiske analyser.....	10
1.5.1 Fosfor.....	10
1.5.2 Organisk stoff.....	11
1.5.3 Kjemisk oksygenforbruk.....	12
1.5.4 Konduktivitet.....	12
1.5.5 pH.....	13
1.5.6 Suspendert stoff.....	14
1.5.7 Tungmetaller.....	15
1.6 Biologiske analyser.....	15
1.6.1 Tarmbakterier.....	15
1.6.2 Antall bakterier.....	17

2. Materiale og metode	19
2.1 Prøvetaking.....	19
2.2 Prøvesteder.....	19
2.2.1 Elvevann.....	20
2.2.2 Huntonit.....	20
2.2.3 Støleheia Avfallsanlegg.....	21
2.2.4 Hagen luftekum.....	21
2.3 Analysemetoder.....	21
2.3.1 Fosfor.....	22
2.3.2 Kjemisk oksygenforbruk.....	22
2.3.3 Konduktivitet.....	22
2.3.4 pH.....	23
2.3.5 Suspendert stoff.....	23
2.3.6 Tungmetaller.....	24
2.3.7 Tarmbakterier.....	24
2.3.8 Antall bakterier.....	24
2.4 Dataanalyse og beregninger.....	26
3. Resultater	27
3.1 Vannmengde.....	27
3.2 Kjemiske analyser.....	28
3.2.1 Fosfor.....	28
3.2.2 Kjemisk oksygenforbruk.....	29
3.2.3 Konduktivitet.....	31
3.2.4 pH.....	32
3.2.5 Suspendert stoff.....	33
3.2.6 Tungmetaller.....	34
3.3 Biologiske analyser.....	37
3.3.1 Tarmbakterier.....	37
3.3.2 Antall bakterier.....	41
3.4 Gjennomsnittsverdier og standardavvik.....	43
4. Diskusjon	44
4.1 Prøveoppsett.....	44
4.2 Sammenligning med årsrapporter.....	44

4.3	Vannmengde.....	46
4.4	Utslipet fra prøvepunktene	47
4.4.1	Elvevann: Referansepunktet.....	47
4.4.2	Huntonit og Støleheia: Forurensningsbidraget.....	47
4.4.3	Hagen: Det samlede utslippet til Kristiansandsfjorden	54
4.5	Miljøpåvirkning.....	55
4.5.1	Forurensningsbidraget fra Otraledningen.....	55
4.5.2	Pluggkjøring	57
4.6	Fremtidig arbeid	58
5.	Konklusjon	60
6.	Referanser	61
	Vedlegg A – Informasjon og merknader til analyser	i
	Vedlegg B – Grenseverdier og tilstandsklasser til tungmetaller	v
	Vedlegg C – Rådata for mengden av metaller i prøvene	vi
	Vedlegg D – Grenseverdier for TKB i sjøvann.....	viii
	Vedlegg E – Rådata for antall tarmbakterier	ix
	Vedlegg F – Reaksjonsoppsett og blandinger til måling av antall bakterier	xi
	Vedlegg G – Gjennomsnitt og standardavvik.....	xiii

Ordforklaringer

Amplifisere	Kopiering av DNA
Detergent	Rensemiddel
Eutrofiering	Opphopning av næringsstoffer i vannet
Fekal	Forbundet med avføring
Konduktivitet	Ledningsevne i vann ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Lysering	Ødeleggelse av cellemembranen
Nukleotid	Molekyl som er byggestein i DNA/RNA
Patogen	Sykdomsfremkallende
Pluggkjøring	Rensing av vannrør med plugg
Primer	Kort DNA-sekvens brukt til PCR-reaksjonen
Resipient	Mottaker av avløpsvannet

Forkortelser

BOF	Biokjemisk oksygenforbruk
CFU	Colony forming unit
CV	Coefficient of variation
DNA	Deoksyribonykleinsyre
<i>E.coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EHEC	Enterohemoragisk E.coli
HUS	Hemolytisk uremisk syndrom
KB	Koliforme bakterier
KOF	Kjemisk oksygenforbruk
MPN	Most probable number
NIVA	Norsk institutt for vannforskning
NMBU	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
PAH	Polyaromatiske hydrokarboner, tjærestoffer
PCB	Polyklorerte bifenyler
PCR	Polymerasekjedereaksjon (polymerase chain reaction)
qPCR	Kvantitativ PCR (quantitative PCR)
RPM	Revolutions per minute
SFT	Statens forurensningstilsyn
SS	Suspendert stoff
TBK	Termotolerante koliforme bakterier
TBT	Tributyltinn
TOK	Total organisk karbon
Tot-P	Total mengde av fosfor (total phosphorous)

Figuroversikt

Figur 1.1: Kart over Kristiansandsfjorden med utslippssted for Otraledningen markert	1
Figur 1.2: Flytskjema over renseanlegget til Huntonit	6
Figur 1.3: Flytskjema over renseanlegget til Huntonit, ytterligere forenklet	7
Figur 1.4: Flytskjema over renseanlegget til Støleheia Avfallsanlegg	8
Figur 1.5: Sammenhengen mellom de fekale indikatorbakteriene	16
Figur 2.1: Bilde fra kommunens driftskontrollsystem, med oversikt over luftekummer	20
Figur 2.2: Vakuumpoppsett til filtrering av suspendert stoff (SS)	23
Figur 3.1: Vannmengden i Otraledningen	27
Figur 3.2: Totalt fosfor (Tot-P) i Otraledningen	28
Figur 3.3: Kjemisk oksygenforbruk (KOF) i Otraledningen	29
Figur 3.4: Kjemisk oksygenforbruk (KOF) fra Huntonit	30
Figur 3.5: Konduktivitet i Otraledningen	31
Figur 3.6: pH i Otraledningen	32
Figur 3.7: Suspendert stoff (SS) i Otraledningen	33
Figur 3.8: Suspendert stoff (SS) fra Huntonit	34
Figur 3.9: Antall prøver i hver klasse for ulike metaller, fra Støleheia	35
Figur 3.10: Antall prøver i hver klasse for ulike metaller, fra Huntonit	35
Figur 3.11: Antall prøver i hver klasse for ulike metaller, fra Hagen	36
Figur 3.12: Antall prøver i hver klasse for ulike metaller, fra elvevann	36
Figur 3.13: Koliforme bakterier (KB) i Otraledningen	38
Figur 3.14: Termotolerante koliforme bakterier (TKB) i Otraledningen	39
Figur 3.15: Antall prøver i hver tilstandsklasse, for TKB	40
Figur 3.16: <i>E.coli</i> i Otraledningen	41
Figur 3.17: Mengde DNA i prøvene	42

Tabelloversikt

Tabell 1.1: Utslippsgrenser for organisk stoff (KOF) og suspendert stoff (SS) fra Huntonit ..	9
Tabell 3.1: Inndeling av mengden DNA basert på Cp-verdier	42
Tabell 4.1: Sammenligning av resultatene med verdier fra årsrapporter fra Huntonit	44
Tabell 4.2: Sammenligning av resultatene med verdier fra årsrapporter fra Støleheia	45
Tabell 4.3: P-verdier fra t-test	45
Tabell 4.4: Totalt utslipp fra Huntonit og Støleheia i 2015 og 2016	48
Tabell 4.5: Gjennomsnittsverdier fra Hagen før/etter pluggkjøring	58

Tabell i Vedlegg B:

Tabell B.1: Øvre grenseverdier for klassifisering av tilstand for ulike metaller	v
--	---

Tabell i Vedlegg D:

Tabell D.1: Grenseverdier for termotolerante koliforme bakterier (TKB)	viii
--	------

Tabeller i Vedlegg F:

Tabell F.1: Oppsett av MagMax – plater til DNA ekstraksjon	xi
Tabell F.2: Konsentrasjoner og reaksjonsblanding til qPCR	xi

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

1.1.1 Kristiansandsfjorden

Kristiansandsfjorden tilføres mye forurenset stoff fra både kommunalt og industrielt avløpsvann (Molvær 1981; Molvær & Bjerkeng 2003). Det har vært mange undersøkelser av området og utslippene i fjorden (Molvær 1981). NIVA gjorde den første ordentlige resipientundersøkelsen av fjorden, i 1968-1970. Siden 1980-tallet har det vært flere undersøkelser av miljøgifter i sedimenter og organismer i Kristiansandsfjorden (Schøyen et al. 2014).

På 1980- og 1990-tallet ble utslippet fra industrien sterkt redusert (Multiconsult & Fylkesmannen i Vest-Agder 2007). Likevel var det fremdeles mye miljøgifter i fisk og skaldyr. Trolig var årsaken rester av miljøgifter i sedimenter.

Nedre Otra var tidligere svært forurenset av prosessvann fra industrien (Oug & Håvardstun 2012). For å bedre forholdene i elva, ble Otraledningen bygget i 1995, med utslipp i Østerhavn. Dette var et stort og viktig miljøtiltak, som bedre vannmiljøet i Otra sterkt. Det bidro også til et økende miljøengasjement for situasjonen i Kristiansandsfjorden (Fredvik 2017). Mer historie om Otra og Otraledningen omtales i de neste delkapitlene. Kart over Kristiansandsfjorden er vist i Figur 1.1, med utslippssted til Otraledningen markert.



Figur 1.1: Kart over Kristiansandsfjorden med utslippssted for Otraledningen markert (svart pil) (miljøstatus.no 2017; Oug & Håvardstun 2012).

I 2000 ble det dannet en arbeidsgruppe som skulle utarbeide tiltak for å forbedre miljøforholdene i fjorden (Vinje 2007). I tillegg ble Kristiansandsfjorden ett av fem nasjonale pilotprosjekter i 2001. Målet var å få erfaringer fra miljøarbeidet med forurenset sjøbunn. Arbeidsgruppa fikk ansvaret for prosjektet, som ble gjennomført i 2002-2006. De arbeidet med fjerning, innkapsling og deponering av forurenset sjøbunn (Multiconsult & Fylkesmannen i Vest-Agder 2007). Dette bedret miljøtilstanden tydelig, men likevel ble Kristiansandsfjorden fortsatt regnet som sterkt forurenset. Da vanndirektivet (vannforskriften) kom i 2007, ble arbeidsgruppa videreført som ei ”Fjordgruppe” (Schøyen et al. 2013). ”Fjordgruppa” skulle overvåke miljøtilstanden i henhold til vannforskriften.

Områdene rundt Glencore (tidligere Falconbridge) Nikkelverk og Elkem har vært særlig overvåket, grunnet høye utslipp av miljøgifter (Schøyen et al. 2014). Glencore ligger i Hannviksbukta og Elkem på Fiskå (Figur 1.1). Under pilotprosjektet fra 2002 til 2006 gjennomførte Glencore og Elkem flere miljøtiltak, som reduksjon av utslipp og tildekking av sedimenter (Vinje 2007). Begge bedriftene har krav om å overvåke utslippet (Fredvik 2017). I dag består Elkem av både Elkem Solar og Elkem Carbon. Det er i hovedsak Elkem Carbon som bidrar til utslippene i Kristiansandsfjorden.

Fra 2010 til 2013 gjennomførte NIVA et overvåkningsprogram av miljøgifter i blåskjell i Kristiansandsfjorden (Schøyen et al. 2013). Resultatet viste at konsentrasjonen av de fleste miljøgifter hadde gått ned, sammenlignet med forrige store undersøkelse i 2006.

1.1.2 Otra

Otra er Sørlandets lengste elv og renner fra Setesdalen til Kristiansand (Heggstad & Thorsnæs 2015). Nedre del av elva, mellom Vennesla og Kristiansand, har tidligere vært forurenset fra industripåslipp, utbygging av vannkraft og sur nedbør (Hindar & Grande 1987).

I 1976 startet overvåking av nedre Otra, for å finne tiltak mot forurensningen (Hindar & Grande 1987). Hunsfos fabrikker, som nå er nedlagt, hadde store påslipp med mye organisk stoff og syre. Dette førte til blant annet dårlige leveforhold for fisk. Tidligere var elva rik med fisk, spesielt laks. Fra midten av 1950-årene gikk bestanden sterkt ned på grunn av påslipp fra Hunsfos fabrikker, Huntonit og Høie fabrikker. Høie fabrikker ble senere koblet til det kommunale kloakknett (Kaste et al. 1994). Statens forurensningstilsyn (SFT) og Norsk

institutt for vannforskning (NIVA) kom med råd for å øke fiskebestanden og rekreasjonsverdien i nedre Otra (Hindar & Grande 1987).

I 1989 kom NIVA med flere utslippsalternativer, som skulle bedre tilstanden i nedre Otra (Molvær et al. 1989). Utslippene kom da fra treforedlingsindustrien: Hunsfos fabrikker og Huntonit. NIVA foreslo tre alternativer:

1. *Alle fremtidige utslipp går til Otra.*
2. *Delt utslipp mellom Otra og Kristiansandsfjorden.*
3. *Alle fremtidige utslipp går i ledning til Kristiansandsfjorden.*

Alternativ 3 ble valgt og i 1993 startet byggingen av en industriledning (Otraledningen) (Molvær 1994). Denne gikk fra Hunsfos fabrikker i Vennesla til Kristiansandsfjorden. I 1995 var Otraledningen ferdig og skulle få avløpsvann fra Hunsfos fabrikker, Huntonit og Støleheia Avfallsanlegg (omtalt som Støleheia i oppgaven).

Ledningen har en diameter på 665 mm og utslipp på 55-60 m dyp i Østerhavn (Molvær 1994). Opprinnelig var total vannmengde i ledningen 350 l/s. Sjøvannet fortynner avløpsvannet 8-10 ganger, og Fylkesmannens krav blir da innfridd. Kravet er at det ikke skal være dårlige oksygenforhold ved utslippsstedet. Sure utslipp og KOF-utslippene ble dermed redusert i nedre Otra, som forbedret vannkvaliteten (Kaste et al. 1997).

På grunn av Otraledningen gikk nedre Otra fra å være det mest forurensede vassdraget i Vest-Agder, til å bli blant landets beste lakseelver (Fylkesmannens miljøvernavdeling 2007).

1.1.3 Otraledningen

Et oversiktskart over Otraledningen er vist i Figur 2.1, under 2.2 Prøvesteder. Da Otraledningen ble etablert i 1995 var det planlagt påslipp fra tre industrier: Hunsfos fabrikker, Huntonit og Støleheia Avfallsanlegg (Oug & Håvardstun 2012). I 2011 gikk Hunsfos fabrikker konkurs og stengte (Gram 2012; Oug & Håvardstun 2012). I dag er det dermed tre påslippspunkter til Otraledningen:

1. Elvevann fra påslippspunktet til tidligere Hunsfos Fabrikker (Oug & Håvardstun 2012).
2. Avløpsvann fra renseanlegget til Støleheia Avfallsanlegg (Avfall Sør 2009).
3. Prosessvann fra renseanlegget til Huntonit (Hindar et al. 2010).

Da Otraledningen ble bygget i 1995, hadde den en gjennomstrømning på 350 l/s (Molvær 1994). Vannmengden var da stor nok til at slam ikke ble sedimentert i ledningen, og ledningen var dermed selvrensende (Jacobsen 2017).

Sommeren 2012 var det ekstremt dårlig gjennomstrømning i Otraledningen, og det ble derfor gjennomført pluggkjøring (Jacobsen 2017). Vannmengden var da under 100 l/s. Over tid hadde slam tettet igjen ledningen. Trolig var dette gammel tremasseslam fra Hunsfos fabrikker (Tybakken 2016). Den dårlige gjennomstrømningen gjorde at vannmengden fra elvevannet ble redusert, selv om bedriftene fortsatt hadde samme utslippsmengde (Jacobsen 2017). Totalt utslipp til Kristiansandsfjorden ble dermed mindre fortynnet. Etter 2012 har det blitt gjort flere pluggkjøringer, som har forbedret gjennomstrømningen i Otraledningen (Tybakken 2016).

I 2008-2011 foretok NIVA en resipientundersøkelse i Østerhavn, ved utslippet fra Otraledningen (Oug & Håvardstun 2012). Området var et av flere sjøresipienter for kommunalt avløpsvann som ble overvåket. Hovedfokuset for undersøkelsen var miljøgifter og bunnforhold. Kobber, kvikksølv, nikkel, PAH, PCB og TBT hadde forhøyede verdier. For alle stoffene, unntatt PCB og TBT, var det høyere verdier i indre Østerhavn 20 m dyp enn ved utslippsstedet på 50 m dyp i Østerhavn. Tilførselen av miljøgifter fra Otraledningen hadde ingen påvisbar sammenheng med de forhøyede verdiene i Østerhavn. I bunnen av Østerhavn ble det funnet mye dødt krypsiv, som kommer fra Otra. Store mengder krypsiv har medført oksygenfattige forhold ved utslippsstedet til Otraledningen.

Huntonit og Støleheia Avfallsanlegg er de to industriene som slipper på Otraledningen i dag (Oug & Håvardstun 2012). Renseprosessen og lovverk/tillatelser hos disse bedriftene er beskrevet under henholdsvis 1.3 Renseanlegg hos Huntonit og Støleheia Avfallsanlegg og 1.4 Lovverk og tillatelser.

1.2 Problemstilling

Kristiansand Ingeniørvesen er ansvarlig for driften av Otraledningen, og er derfor opptatt av utslippene fra ledningen til Kristiansandsfjorden (Jacobsen 2017).

De store mengdene dødt krypsiv gjør det vanskelig å undersøke bunnforholdene i Østerhavn (Oug & Håvardstun 2012). Ulempen med bunnforholdene gjør det veldig aktuelt med andre undersøkelser av utslippet. Å analysere avløpsvannet, før det slippes i fjorden, gir dermed verdifull informasjon i miljøvurderingen av Østerhavn og Kristiansandsfjorden.

Det er ingen tidligere større undersøkelser av det samlede utslippet fra Otraledningen, før det slippes ut i Østerhavn. Dette er problemstillingen jeg vil ta for meg i denne oppgaven.

Oppgaven kan bidra i prosessen med å oppnå gode miljøforhold i Kristiansandsfjorden.

1.2.1 Mål for oppgaven

Hensikten med denne oppgaven er å kartlegge dagens utslipp fra Otraledningen til Kristiansandsfjorden.

Kartleggingen innebærer å se på mengden og sammensetningen av utslippet fra Otraledningen. Dette kan vise om utslippet strider med utslippstillatelser og/eller har en betydelig negativ påvirkning på vannmiljøet i Kristiansandsfjorden.

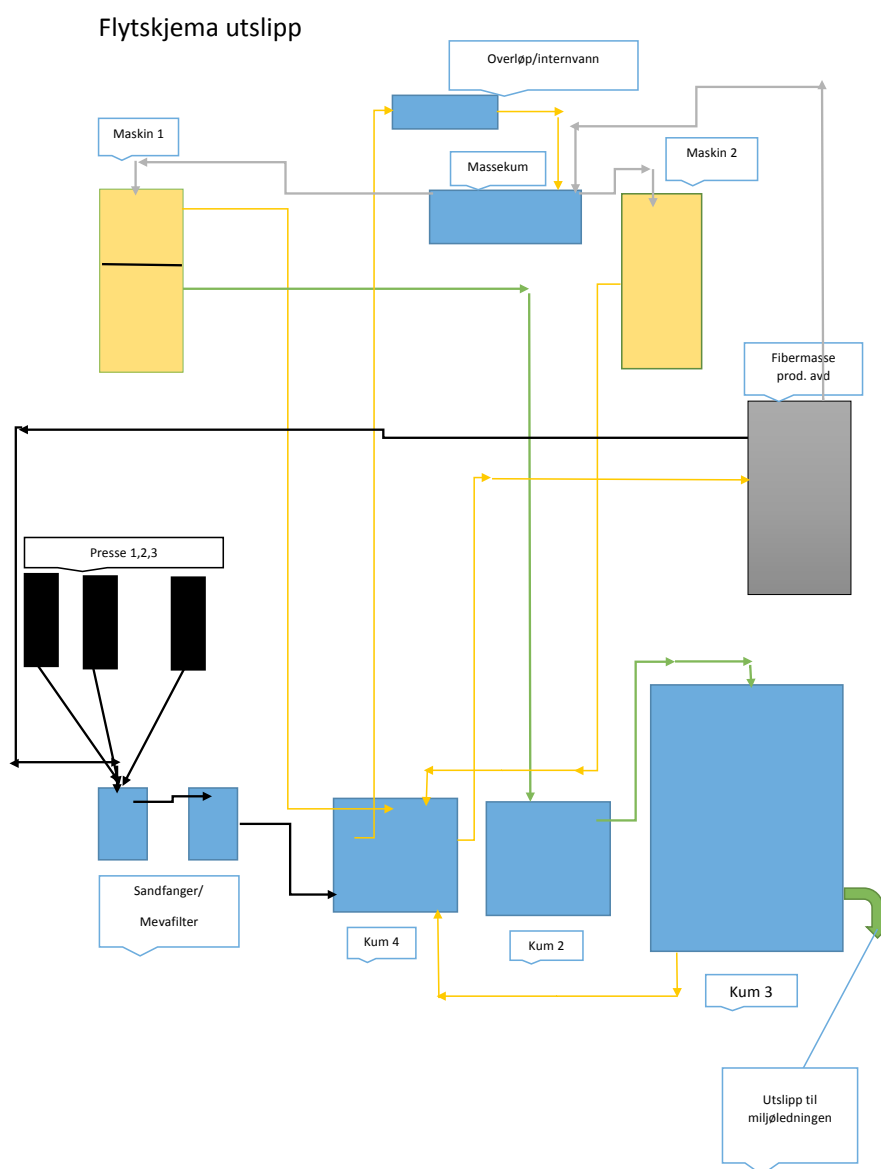
Resultatene vil i hovedsak sammenlignes med: Årsrapporter, utslippstillatelser og grenseverdier. Jeg vil deretter drøfte om det er behov for reduksjon av utslippet eller andre tiltak.

Oppgaven innebærer kjemiske og biologiske analyser, som er aktuelle og relevante for utslipp i Kristiansand kommune. Analyser har jeg gjort på Odderøya Renseanlegg og NMBU. Noen analyser ble gjort av to eksterne laboratorier: Eurofins og Vannlaboratoriet i Kristiansand. Jeg inkluderte en molekylærbiologisk analyse av antall bakterier, ettersom molekylærbiologi er min spesialisering innen kjemi og bioteknologi.

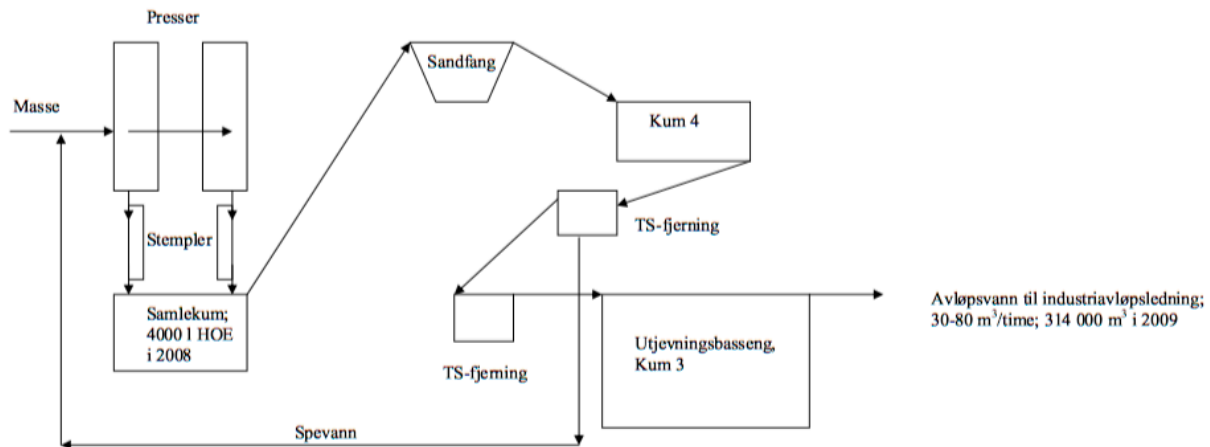
1.3 Renseanlegg hos Huntonit og Støleheia Avfallsanlegg

1.3.1 Huntonit

Huntonit produserer trefiberplater som består av 70 % vann og 30 % tørrstoff (Hindar et al. 2010). Det meste av prosessvannet blir brukt videre i produksjonen, mens overskuddsvannet går i Otraledningen. En forenklet oversikt over produksjonen er vist i Figur 1.2. En ytterligere forenkling av prosessen er vist i Figur 1.3.



Figur 1.2: Flytskjema over rensenanlegget til Huntonit (Lund 2017). Svarte piler indikerer prosessvann med mest suspendert stoff (SS). Grå piler er fibermasse produsert i fibermasseavdelingen. Gule piler er prosessvann fra maskin 1 og 2. Grønne piler er det reneste prosessvannet, med minst SS, som Huntonit slipper på Otraledningen/miljøledningen.



Figur 1.3: Flytskjema over renseanlegget til Huntonit, ytterligere forenklet fra Figur 1.2 (Hindar et al. 2010)

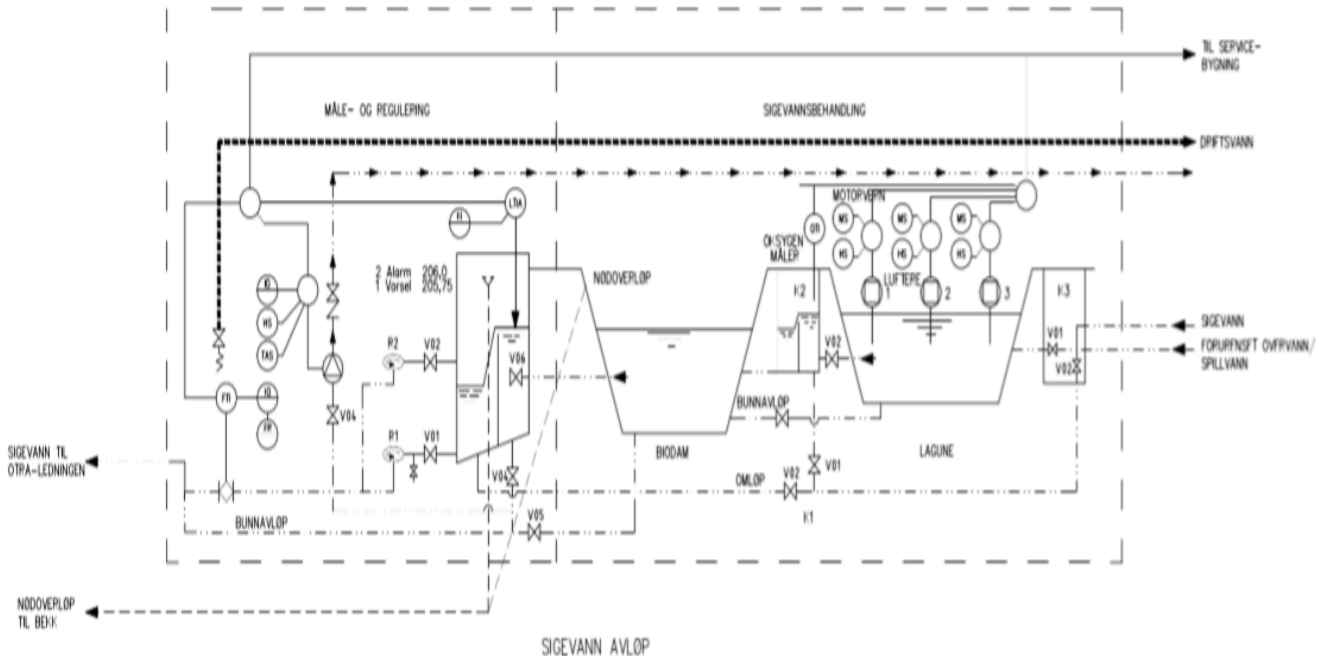
Produksjonen danner fibermasse, av vann og tørrstoff, og pumper massen i en massekum. (Hindar et al. 2010; Lund 2017). Den fordeler massen likt på maskin 1 og 2. Maskinene drenerer og former fibermassen. Hydrauliske presser vil presse massen til trefiberplater. Pressene er markert som presse 1,2,3 på Figur 1.2. Overskuddsvann går ned i en samleikum, så over til et sandfang som fjerner småpartikler. Et mevafilter (1000 μm porestørrelse) fjerner enda mer småpartikler. Så blir prosessvannet pumpet til kum 4, hvor det kommer prosessvann fra begge maskinene. I kum 4 blir tørrstoff separert ut, og mesteparten av vannet pumpes tilbake i produksjonen. Vannet brukes som spevann/internvann. Overskuddsvannet blir renset for tørrstoff enda en gang, ved bruk av en polymer. Huntonit bruker aluminiumsulfat, for å få en optimal pH 4 for prosessen. Videre går overskuddsvannet inn i et utjevningsbasseng (kum 3), som fungerer som en bufferkum. Den tilfører vann til kum 4 om nivået der er for lavt. Kum 2 mottar renere prosessvann, som går videre til kum 3. Fra kum 3 går overløpet til Otraledningen (kalt miljøledning i Figur 1.2 og industriavløpsledning i Figur 1.3).

Påslippet til Otraledningen avhenger av produksjonen, men er stort sett ganske jevnt gjennom uka (Lund 2017). En prøvetaker registrerer vannmengden og tar mengdeproposjonale døgnprøver. Huntonit bruker døgnprøvene til analyser. I helga er det ingen produksjon og dermed ikke påslipp til Otraledningen.

1.3.2 Støleheia Avfallsanlegg

Støleheia Avfallsanlegg produserer sigevann fra avfallsdeponi og spillvann fra kompostering og gjenvinning (Vatland 2011). Anlegget slipper renset avløpsvann på Otraledningen.

Tegning av renseanlegget er vist i Figur 1.4. Hovedpunktene omtales under.



Figur 1.4: Flytskjema over renseanlegget til Støleheia Avfallsanlegg (Hjelnes COWI AS 1995)

Avløpsvannet ledes inn i to seriekoblede åpne basseng: luftet lagune og sedimenteringsdam (Bergh-Christensen 2013; Hjelnes COWI AS 1995). Sigevann og spillvann går først gjennom en luftet lagune på 10.000 m³ (Bergh-Christensen 2013). I lagunen blir vannet rørt om og blandet med luft gjennom overflateluftere, som bidrar til nedbrytning av organisk stoff og oksidasjon av metaller. Videre går vannet til en sedimenteringsdam (biodam i Figur 1.4) som er på 13.000 m³. Metaller og andre partikler danner fnokker i biodammen. Partiklene sedimenterer i bunnen og danner slam. Sugebiler tapper ned vannet og frakter slammet tilbake til deponiet. Slam fjernes fra begge bassengene med jevne mellomrom (Iversen 2017). Bunnslammet ble fjernet i luftet lagune i 2005 og 2013. I sedimenteringsbassenget ble bunnslammet fjernet i 2002, 2008 og 2016. Når bunnslammet fjernes blir også slammet basiskarakterisert og deponert på eget deponi (Iversen 2011). Anlegget slipper renset avløpsvann på Otraledningen og regulerer påslippet etter nedbørsmengden (Iversen 2017; Vatland 2010). Ved lite nedbør er vannmengden mindre, mens ved mye nedbør er vannmengden mer. Deponiet har et jevnt tilsig fra renseanlegget, likevel er det ikke alltid et påslipp til Otraledningen.

1.4 Lovverk og tillatelser

Som driftsansvarlig har Kristiansand Ingeniørvesen ingen direkte egne krav for utslippet gjennom Otraledningen til Kristiansandsfjorden (Jacobsen 2017). Kravene er stilt til bedriftene ut fra aktuelle lover og tillatelser, og er omtalt under.

1.4.1 Huntonit

Huntonit fikk i 2010 ”tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven”, til å forurense i produksjon av trefiberplater (Sorteberg & Bjertnæs 2010). Det ble satt rammer for den årlige produksjonen, og krav om varsling ved vesentlige endringer. Tillatelsen sier at bedriften har plikt til å redusere forurensningen så langt som mulig. Hvis det skjer endringer i driften, som øker forurensningsfaren, skal dette også varsles. For utslipp til vann er det utslippsbegrensninger på KOF, SS og vannmengde (Håland 2016). Utslippsgrensene for KOF og SS er vist i Tabell 1.1. Huntonit har en internkontroll hvor de blant annet måler utslippet av KOF, SS og vannmengde.

Tabell 1.1: Utslippsgrenser for organisk stoff (KOF) og suspendert stoff (SS) fra Huntonit (Håland 2016).

Utslippskomponent	Utslippskilde	Utslippsgrense (fra 2015) Halvårsmiddel tonn/døgn
KOF	Prosessvann	8,0
SS	Prosessvann	0,25

I en kontroll fra 2008 ble det gitt en anmerkning til Huntonit om at virksomheten hadde høyt organisk utslipp (KOF) (Samstad et al. 2008). Huntonit har krav om å undersøke muligheter for reduksjoner i organisk utslipp. På bakgrunn av denne utredningen kan det bli satt nye utslippsgrenser fra forurensningsmyndighet.

I 2015 fikk Huntonit en tilbakemelding etter inspeksjon fra Fylkesmannen (Fylkesmannen i Vest-Agder 2015). De fikk dispensasjon for utslippskrav av KOF, i henhold til forurensningsloven. Dispensasjonen krever at Huntonit fortsatt jobber med å redusere KOF-utslippene og oppdatere om tilstanden.

1.4.2 Støleheia Avfallsanlegg

Støleheia Avfallsanlegg har fått tillatelse til virksomhet etter forurensningslovens forskrift om gjenvinning og behandling av avfall kapittel 9 om deponering av fall (Egerhei & Egeland 2009). Tillatelsen setter begrensning for mengde avfall deponert og når anlegget skal legge ned deponiet. Den omhandler også sigevannet som går ut i Otraledningen (Egerhei & Egeland 2009; Skjævestad & Schnug 2016). Sigevannet skal overvåkes og renses med bruk av beste tilgjengelige teknologi. Forurensning skal reduseres så langt som mulig, og tiltak skal bli gjort for å redusere sigevannsmengden. I en kontroll av Fylkesmannen i Vest-Agder (2013) ble det funnet et avvik fra blant annet avfallsforskriften og en tillatelse etter forurensningsloven (Egerhei & Egeland 2009). Avvik fra avfallsforskriften gjaldt mangelfull mottakskontroll av avfallet som kommer inn, som blant annet kan gi høyere verdier av miljøgifter i sigevannet. Bruddet på tillatelsen gjaldt rensing av sigevannet. Dette var ikke gjort slik tillatelsen fra 2009 krevde. Kravene innebar blant annet en oppgradering av renseanlegget og tiltak for å bedre renseeffekten.

1.5 Kjemiske analyser

1.5.1 Fosfor

Det finnes mange ulike næringsstoffer i vann, men de to viktigste er nitrogen og fosfor (Ødegaard et al. 2014). Nitrogen er begrenset næringsstoff i sjøvann, mens fosfor er begrenset næringsstoff i ferskvann. For mye næringsstoff i vannet (eutrofiering) kan gi flere negative konsekvenser. Denne overgjødningen kan blant annet skyldes avrenning fra jordbruket eller utslipp av avløpsvann. Økt næring kan gi algevekst, og når algene dør vil bakterier bruke opp oksygen til å bryte ned de døde algene. Dette vil gi oksygenmangel i vannet. Andre negative konsekvenser er: økt turbiditet, endret smak, giftstoffer fra algene, og lukt på vannet. Eutrofierte vannkilder er derfor uegnet som drikkevann. Kontroll av næringsutslipp til vann er derfor viktig, for å unngå eutrofiering.

Tidligere var det problemer med eutrofiering i både Oslofjorden og Mjøsa (Ødegaard et al. 2014). Dette var en viktig grunn til at flere renseanlegg ble bygd i Norge på 1970-tallet. Rensingen ble særlig rettet mot fosforfjerning ved bruk av kjemisk rensing. Fosfor fjernes ved å tilsette et fellingskjemikalium, ofte et aluminium- eller jernsalt, som bindes til fosforet i vannet. Det dannes fнокker som fjernes ved partikkelseparasjon. I 2006 ble det stilt strengere krav til fosforutslipp, som følge av implementeringen av EUs avløpsdirektiv i norsk lov.

Fosfor finnes i celler til både mennesker, dyr og planter. Det er livsnødvendig fordi det blant annet inngår blant annet i DNA (Kofstad & Pedersen 2015). I avløpsvann kan fosfor være både bundet og løst, og finnes primært som (Ødegaard et al. 2014):

- *Organisk bundet fosfor.*
- *Uorganisk fosfor: ortofosfat (PO_4^{3-}) og polyfosfat ($P_2O_7^{4-}$ og $P_3O_{10}^{5-}$).*

Organisk bundet fosfor finnes lite i vann (Ødegaard et al. 2014). Polyfosfat er det også lite av etter fosforforbudet i vaskemidler. Fosfor i avløpsvann er derfor primært i form av ortofosfat, som er den formen planter kan ta opp fosfor i. Kravene til fosforutslipp fra forurensningsforskriften er i form av totalt fosfor (Tot-P), som er summen av alt organisk og uorganisk fosfor.

1.5.2 Organisk stoff

Organiske stoffer er forbindelser som består av karbon og hydrogen, også kalt hydrokarboner (United States Department of the Interior 1981). Eksempler på organiske stoffer er: karbohydrater, proteiner, fettsyrer og detergenter (Ødegaard et al. 2014).

Organiske stoffer finnes overalt i miljøet, både i naturlige og syntetiske produkter, og kan være både oppløst i vann eller bundet til partikler (United States Department of the Interior 1981; Ødegaard et al. 2014). Analyse av organiske stoffer er en viktig del av vannkvaliteten. For mye organisk stoff i vannet kan gi oksygenmangel, som følge av nedbrytningen av de organiske stoffene. I tillegg til å være skadelig for miljøet, kan store mengder organisk stoff gi farge og lukt til vannet.

Det skilles mellom lett og tungt nedbrytbart organisk stoff, for å vite hvordan organisk stoff påvirker miljøet (Ødegaard et al. 2014). Mengden organisk stoff kan bestemmes ved hjelp av flere metoder: Biokjemisk oksygenforbruk (BOF), kjemisk oksygenforbruk (KOF) eller totalt organisk karbon (TOK). BOF og KOF har utslippskrav, og brukes derfor til analyse av organisk stoff i avløpsvann. TOK brukes gjerne ved analyse av små mengder organisk stoff, og aktuelt å bruke på ganske rent vann. I denne oppgaven brukes KOF, som er den enkleste og mest aktuelle metoden. Teorien til denne metoden beskrives i neste delkapittel.

1.5.3 Kjemisk oksygenforbruk

Kjemisk oksygenforbruk (KOF) måler mengden nedbrutt organisk stoff i vann (Pedersen 2014). Metoden gjøres ved å tilsette oksidasjonsmiddelet kaliumdikromat ($K_2Cr_2O_7$). KOF viser altså hvor mye oksygen som må til for å bryte ned alt organisk stoff, i for eksempel avløpsvann (Fredvik 2017). Høy KOF-verdi kan dermed gi oksygenfattige forhold i resipienten. Målet på totalt oksygenforbruk gir et bilde av hvordan oksygenforholdene i resipienten forstyrres av avløpsvannet (Pisarevsky et al. 2005).

Dikromat reagerer med oppløst og suspendert materiale i vannet (Norsk Standard NS-ISO 15705:2002 2002). Massekonsentrasjonen til oksygen er lik mengden forbrukt dikromat. Dette forholdet brukes til å regne ut hvor mye oksygen som er forbrukt. Kvaliteten på resultatet er primært basert på hvor fullstendig oksidasjonen er. Metoden er godt egnet til analyse av avløpsvann, men kan være problematisk i avløpsvann fra enkelte industrier. Dette er fordi avløpsvann fra industri kan inneholde forbindelser, som ikke oksideres ved bruk av metoden til Norsk Standard.

Vannprøvene tilsettes svovelsyre (H_2SO_4) og kaliumdikromat ($K_2Cr_2O_7$) (Norsk Standard NS-ISO 15705:2002 2002). Katalysatoren sølvsulfat (Ag_2SO_4) brukes for å oksidere forbindelser som sent brytes ned. For å redusere klorinterferens tilsettes også kvikksølvulfat ($HgSO_4$). Mengden redusert dikromat bestemmes ved å måle hvor mye Cr^{3+} som absorberes ved $600\text{ nm} \pm 20\text{nm}$. For denne standarden er maksnivå for KOF-mengden er 1000 mg/l .

Målinger av KOF i avløpsvannet er viktig fordi det inngår i rensekravene under forurensningsforskriften (Klima- og miljødepartementet 2004). Forskriften setter begrensning for KOF-konsentrasjonen i utslipp fra renseanlegg.

1.5.4 Konduktivitet

Konduktivitet (ledningsevne) er et mål på konsentrasjonen av oppløste ioner i en vannprøve (Norsk Standard NS-ISO 7888 1993). Det kan derfor brukes som et mål for mengden salter i vannet, som kan lede elektrisk strøm (Ødegaard et al. 2014). Salter i vann, for eksempel klorid (Cl^-) eller sulfat (SO_4^{2-}), kan i høye konsentrasjoner ha sammenheng med forurensning eller sjøvannsblanding. De kan også bidra til korrosjon på ledningsnettet. Enheten for konduktivitet er $\mu\text{S/cm}$ og analysen påvirkes av: ionenes konsentrasjon og egenskaper, løsningens temperatur og viskositet. Mange instrumenter kompenserer automatisk etter

temperatur (Norsk Standard NS-ISO 7888 1993). Typiske konduktivitetsverdier i ferskvann, avløpsvann og saltvann er henholdsvis på 1, 200 og 35000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ødegaard et al. 2014). Metoden kan brukes som en erstatning for alkalitetsmålinger, for å undersøke renseprosessen.

Konduktivitet kan indikere endringer i vannet som følge av flom, sjøvannsinnblanding, fordampning eller forurensning (Fredvik 2017; Rose et al.). For eksempel kan et utslipp fra jordbruk gi økt konduktivitet. Det skyldes tilførsel av ulike forbindelser som løses opp i vann, og kan blant annet gi ioner av: klor, fosfat og nitrat.

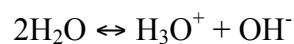
1.5.5 pH

Surhetsgraden i vann angis ved en pH-verdi, som er et mål på aktiviteten/konsentrasjonen til H^+ -ioner i vannet (Norsk Standard NS-EN ISO 10523:2012 2012; Ødegaard et al. 2014).

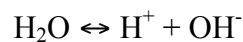
Definisjonen av pH er (Ødegaard et al. 2014):

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Rent vann er en amfolytt, som betyr at det kan reagere både som syre og base, og har nøytral $\text{pH} = 7$ (Ødegaard et al. 2014). Dette er basert på at vann foreligger i en konstant kjemisk likevekt:



Forenklet kan det skrives slik:



pH-verdien forteller om vannløsningen er: Sur (pH mellom 1 og 7), nøytral ($\text{pH} = 7$) eller basisk (pH mellom 7 og 14) (Pedersen 2015). Ved sur/lav pH er det flere H^+ -ioner enn OH^- -ioner, og motsatt ved basisk/høy pH. Når konsentrasjonen av H^+ -ioner er lik konsentrasjonen OH^- -ioner, er løsningen nøytral.

Målinger av pH er viktig ettersom veldig lave/høye verdier er giftige for vannorganismer og kan medføre korrosjon (Norsk Standard NS-EN ISO 10523:2012 2012). Renseprosessen

påvirkes også av pH, og pH-målinger er derfor en viktig del av driftskontrollen i et renseanlegg. Temperatur påvirker pH og skal derfor oppgis sammen med pH-verdien. Mange andre faktorer kan også påvirke pH-verdien. Målinger av pH skal derfor gjøres under så like forhold som mulig.

For å måle pH-verdien brukes et pH-meter, som er en elektrokjemisk celle med en glasselektrode og en referanselektrode (Norsk Standard NS-EN ISO 10523:2012 2012). pH-meteret angir en pH-verdi basert på aktiviteten av H^+ -ioner mellom elektrodene, også kalt potensialdifferansen eller spenningen.

1.5.6 Suspendert stoff

Utslipp av suspendert stoff (SS) er også regulert av forurensningsforskriften og er derfor en viktig driftsparameter i avløpsvann (Ødegaard et al. 2014). Suspenderte partikler er partikler med en størrelse mellom 1,0 μm og 100 μm , og oppgis i vekt SS per liter vann.

SS fra avløpsvann kan bestå av både organisk stoff, uorganisk stoff og mikroorganismer (Ødegaard et al. 2014). Er det mye SS i avløpsvannet kan dette bidra til: slam, gass, oksygenforbruk og lukt i resipienten. Dette påvirker både flora og fauna negativt, og er i tillegg lite innbydende om det samles opp i strandsonen. Vanlige verdier av SS i naturlig vann, kommunalt avløpsvann og rensset avløpsvann er henholdsvis under 1, 200 og under 20 mg SS/l. Ofte vil avløpsvann fra industri inneholde mer SS enn sanitært avløpsvann.

For å analyses SS blir vannprøven filtrert, filteret tørket og veid (Ødegaard et al. 2014). Tidligere krevde forurensningsforskriften filtre med en porestørrelse på 0,45 μm (Ødegaard et al. 2014). I en rapport om primærrensing av Ødegaard (2005) ble porestørrelsen for filtre til måling av SS diskutert. Det ble påpekt at filtre med porestørrelse på 0,45 μm kan gå tett når avløpsvannet filtreres. Mindre mengde avløpsvann må da brukes, og vil bidra til større usikkerhet i resultatet. For å løse dette kan man gjøre seriefiltrering, ved å først filtrere gjennom 1,2 μm GF/C filtre og deretter gjennom 0,45 μm filtre. I dag er kravet om porestørrelsen justert til 1,2 μm for filtre til måling av SS (Klima- og miljødepartementet 2004).

1.5.7 Tungmetaller

Tungmetaller er metaller med en tetthet høyere enn 5 g/cm^3 (Miljødirektoratet 2016c). Noen av tungmetallene regnes som miljøgifter, blant annet: bly, krom, kadmium og kvikksølv (Miljødirektoratet 2016b). Miljøgifter er stoffer som kan gjøre stor skade i naturen ved at de er: giftige, lite nedbrytbare, oppkonsentreres i næringskjeden og kan overføres til neste generasjon. Tungmetaller langs norskekysten kan komme fra industri, luft- eller havstrømmer (Miljødirektoratet 2016c). Mengden av tungmetaller blir overvåket i både fisk, skalldyr og bunnsedimenter.

Vanligvis inneholder naturlig vann lite tungmetaller (Ødegaard et al. 2014). Giftige tungmetaller i vannet er ofte et tegn på forurensning. Avløpsvann inneholder mer tungmetaller, men nivået er likevel relativt lavt på grunn av strenge utslippskrav.

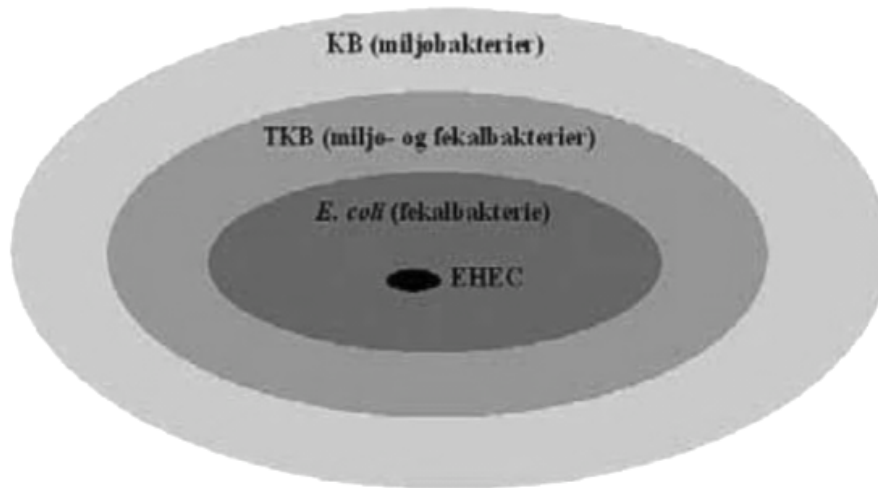
Kristiansandsfjorden har vært sterkt forurenset av flere miljøgifter, blant annet tungmetaller (Molvær & Bjerkeng 2003). Tiltak er gjort for redusere direkte utslipp av miljøgiftene, men bunnsedimenter er fortsatt forurenset og påvirker organismer i fjorden.

1.6 Biologiske analyser

1.6.1 Tarmbakterier

Tarmbakterier tilhører den naturlige tarmfloraen og er sentrale i fordøyelsen (Aabakken 2015). Selv om de normalt hindrer vekst av farlige bakterier, kan noen av tarmbakteriene også fremkalle sykdom. I kommunalt avløpsvann er derfor tarmbakterier veldig vanlig og de kan brukes som en indikator på sykdomsfremkallende mikroorganismer eller andre forurensninger (Baalsrud 1994).

Noen av de vanligste indikatorbakteriene for fekal forurensning er koliforme bakterier (KB), termotolerante koliforme bakterier (TKB) og *Escherichia coli* (*E.coli*) (Paruch & Mæhlum 2011). Disse bakteriene gir ulik informasjon om forurensningen. De er derfor nyttige å analysere for sammen. Figur 1.5 viser sammenhengen mellom disse tre indikatorbakteriene.



Figur 1.5: Sammenhengen mellom de fekale indikatorbakteriene: koliforme bakterier (KB), termotolerante koliforme bakterier (TKB) og *E.coli* (Paruch & Mæhlum 2011). I midten er EHEC, som er en svært sykdomsfremkallende variant av *E.coli*.

KB er en stor gruppe bakterier som er gram-negative, stavformede, ikke sporedannende og tilhører familien *Enterobacteriaceae* (Paruch & Mæhlum 2011). Disse bakteriene finnes både i tarmen og andre steder i miljøet, og kalles derfor miljøbakterier. Det betyr at funn av KB kan ha en fekal opprinnelse eller en ikke fekal opprinnelse.

TKB er en undergruppe under KB (Paruch & Mæhlum 2011). Bakteriene kalles termotolerante siden de kan vokse under høye temperaturer, der ofte kun fekale bakterier klarer å vokse. Likevel inneholder gruppa også bakterier som er ikke-fekale. Disse bakteriene er derfor definert som miljø- og fekalbakterier. TKB er en sterkere indikator på fekal forurensning enn KB.

Den viktigste indikatorbakterien på en fekal forurensning er likevel *E.coli*, siden de bare finnes i tarmen (Paruch & Mæhlum 2011). Dette er koliforme bakterier som utgjør en undergruppe av TKB, slik Figur 1.5 viser. *E.coli* utgjør en viktig del av den mikrobielle floraen i tykktarmen og er stort sett harmløse. De finnes i høye konsentrasjoner i avføring fra mennesker og varmblodige dyr. En liten andel av *E.coli* bakteriene er patogene. En av de farligste *E.coli* bakteriene er Enterohemoragisk *E.coli* (EHEC), som er markert i midten på Figur 1.5. Hemoragisk kolitt og hemolytisk uremisk syndrom (HUS) forårsakes av denne bakterien. Analysering av patogene *E.coli* er ganske omfattende og derfor analyseres det oftere på alle *E.coli* bakteriene. Dermed vil funn av *E.coli* bety fekal forurensning, men ikke

nødvendigvis av patogene *E.coli*. *E.coli* kan overleve lenge utenfor tarmen. Et fekalt utslipp med *E.coli* kan derfor være flere måneder eller år gammelt.

I sjøvann vil tarmbakteriene fortynnes og raskt dø ut (Baalsrud 1994). Sjøvann med tarmbakterier tyder derfor på ferske og nære forurensningsutslipp. Det har vært vanskelig å påvise en sammenheng mellom mengden av disse tarmbakteriene i sjøvann og faren for å bli syk ved bading. Dette kan skyldes ulike rapporterte resultater, tvetydig datamateriale, geografiske og folkehelsemessige forskjeller.

Normalt er sykdomsrisikoen ved friluftsbad (badestrand e.l.) lav (Folkehelseinstituttet 2015a). Det er fordi det sjelden er utslipp av avløpsvann i nærheten av badeplasser, og på grunn tarmbakterienes korte levetid i sjøvann. Likevel er det nødvendig med jevnlig badevannskontroller, for å fange opp eventuelle endringer i bakterienivået.

Av de tre indikatorbakteriene analysert for i denne oppgaven er det kun TKB som har grenseverdier i sjøvann (Molvær 1997). Grenseverdiene er delt inn i tilstandsklasser. Disse er oppgitt i Tabell D.1 i Vedlegg D.

1.6.2 Antall bakterier

Å bestemme antall bakterier er interessant, ettersom bakterier finnes overalt i verden og kan fremkalle sykdom (Boutaga et al. 2003; Tønjum 2016). For å bestemme totalt antall bakterier i en prøve kan flere metoder brukes (Hazan et al. 2012).

To vanlige metoder er: Å dyrke bakterier i kultur og analysere mengden DNA gjennom kvantitativ polymerase kjedereaksjon (qPCR) (Hazan et al. 2012). Dyrking av bakterier er en eldre metode basert på telling av antall fremdyrkede kolonier (CFU). Fordeler med metoden er at den kan brukes til alle konsentrasjoner av bakterier, og kun levende bakterier regnes med. En ulempe er at faren for å telle feil er stor, fordi mange kolonier kan ligge tett. Metoden tar også lang tid og krever mer arbeid, når mange prøver skal analyseres.

En nyere og raskere metode er real-time PCR, også kalt kvantitativ PCR (qPCR) (Boutaga et al. 2003; Heid et al. 1996). Denne metoden er mer sensitiv og raskere å gjennomføre ved mange prøver, sammenlignet med CFU-metoden. I hovedsak er denne metoden basert på

deteksjon av gensekvensen 16S rRNA. Dette genet finnes det ett eller flere av i alle bakterier, og er godt bevart gjennom tida. Ved å måle mengden 16S rRNA kan man dermed anslå antallet bakterier i opprinnelig prøve.

I PCR-reaksjonen vil genet bli kopiert mange ganger, slik at det kan detekteres (Mullis 1990). DNA-et vil vekselvis utsettes for varme og kulde. Ved høy temperatur vil DNA-tråden åpnes, og ved lav temperatur festes primere til DNA-et. DNA-polymerase festes til primerne og kopierer DNA-tråden med komplementære nukleotider. I neste omgang vil både nye og gammel DNA-tråd kveiles opp og kopieres på ny. Reaksjonen er dermed eksponentiell og gir mange DNA-kopier på kort tid.

I en qPCR-reaksjon vil DNA-mengden kunne måles basert på fluoresens (Smith & Osborn 2009). Fluoriserende molekyler bindes til DNA-et, og gjør at mengden DNA kan måles. Noen fluoriserende molekyler bindes til spesifikke DNA-sekvenser, mens andre (uspesifikke) bindes til alt dobbeltrådet DNA. Eksempler på slike er henholdsvis TagMan og SYBR Green, hvorav siste er den mest brukte.

Ved begge metodene skjer selve kvantifiseringen likt (Smith & Osborn 2009). I en qPCR – maskin amplifiseres DNA og fra hver syklus sendes det ut fluoresens, som detekteres av maskinen. Resultatet er en amplifiseringskurve, med antall sykluser plottet mot mengde fluoresens. Ut fra amplifiseringskurven finner man en Ct-verdi. Denne brukes til å måle opprinnelig mengde DNA i prøven.

I denne oppgaven vil SYBR Green brukes, og resultatene gir en Cp-verdi (tilsvarende Ct-verdien). Denne vil brukes for å anslå mengden bakterie-DNA i prøven.

2. Materiale og metode

2.1 Prøvetaking

Det ble hentet prøver fra fire prøvepunkter langs Otraledningen, i to prøveperioder: 16-20.02.17 og 02-06.03.17. Prøveperioden var fra torsdag til mandag, for å fange opp eventuell variasjon over helga. Mellom prøveperiodene ble Otraledningen pluggkjørt (21.februar), for å bedre vannstrømmen gjennom ledningen. Den dårlige vannstrømmen i ledningen ble omtalt i innledningen av denne oppgaven.

De fire prøvepunktene var: Elvevann ved gamle Hunsfos Fabrikker, Huntonit, Støleheia Avfallsanlegg og Hagen luftekum. Det ble vurdert hvorvidt en rulettprøvetaker med timeuttak skulle installeres, for å se på variasjonen i utslippet hver time i døgnet. Dette ble valgt bort ettersom det kun var én prøvetaker tilgjengelig, og det var vanskelig å sette opp på alle prøvepunktene. Det ble i tillegg vurdert som tilstrekkelig for kartleggingen av utslippet med følgende oppsett: Øyeblikksprøve fra elvevannet, døgnprøve fra Huntonit, egenlaget ”døgnprøve” fra Støleheia Avfallsanlegg og tre prøver fra Hagen luftekum.

Prøvene ble hentet på morgenen (stort sett kl.07.30-09), formiddagen (kl.12-13) og ettermiddagen (kl.15.45-17). Følgende prøver ble hentet hver dag:

1. Øyeblikksprøve fra elvevannet (morgen)
2. Døgnprøve fra Huntonit (morgen)
3. Tre øyeblikksprøver fra Støleheia (morgen, formiddag og ettermiddag). Disse ble blandet til en ”døgnprøve” i slutten av dagen.
4. Tre øyeblikksprøver fra Hagen (morgen, formiddag og ettermiddag).

2.2 Prøvesteder

De fire prøvepunktene, er markert på kartet i Figur 2.1. Mer informasjon om prøvepunktene er gitt i de neste delkapitlene.



Figur 2.1: Bilde fra kommunens driftskontrollsystem, med oversikt over luftekummer og påslipp til Otraledningen. Vann ble hentet fra fire prøvepunkter, markert i kartet som prøvepunkt 1-4. Tilhørende sted/navn tilknyttet ledningen er i rød sirkel til høyre for hvert prøvepunkt. Prøvepunktet fra Støleheia er markert cirka ved påslippet til Otraledningen. Selve vannprøven ble imidlertid hentet ved utslippet fra anlegget. Utslipet til Kristiansandsfjorden er i Østerhavn, ved Galgeberg luftekum.

2.2.1 Ellevann

Prøven fra ellevannet ble hentet fra Hunsfos luftekum, som får vann både fra elva og det gamle røret til Hunsfos. Prøven fra ellevannet var en øyeblikksprøve, som ble hentet på morgenen. Det vil være liten variasjon i utslippet fra ellevannet, siden prøvepunktet er før bedriftens påslipp til Otraledningen. Derfor ble det kun tatt en øyeblikksprøve fra dette punktet hver dag.

2.2.2 Huntonit

Fra Huntonit ble det hentet en døgnprøve, som bedriften selv tok fra sin døgnprøvetaker. Døgnprøven er en blanding av utslippet i løpet av et døgn, mellom kl.08 til kl.08 dagen etter. Bedriften hadde ingen produksjon over helga, og prøvetakeren deres fikk da heller ikke tatt ut noen prøve. På søndag var det dermed intet utslipp og ingen prøve kunne tas da. For å få likt

antall prøver fra alle prøvepunktene, ble det hentet en prøve fra Huntonit tirsdagen etter hver prøveperiode. Denne døgnprøven inkluderte utslipp fra både mandag og tirsdag.

2.2.3 Støleheia Avfallsanlegg

På Støleheia Avfallsanlegg ble det hentet ut 1 liter øyeblikksprøve morgen, formiddag og ettermiddag. Disse tre øyeblikksprøvene ble blandet til en ”døgnprøve”. Bedriften har ikke egen prøvetaker som tar døgnprøver, slik som Huntonit. Det ble dermed laget en egen ”døgnprøve”, basert på de tre øyeblikksprøver hentet på tre ulike tidspunkter i løpet av dagen.

2.2.4 Hagen luftekum

Det ble hentet prøver fra Hagen luftekum morgen, formiddag og ettermiddag. Alle ble analysert, for å se mulig døgnvariasjon i utslippet. Eventuell døgnvariasjon vil ikke få særlig fokus i denne oppgaven. Imidlertid kan det være interessant for videre undersøkelser. Hagen luftekum befinner seg etter påslippene fra bedriftene, og det slippes ikke mer på ledningen etter dette punktet (Figur 2.1). Prøvene fra Hagen luftekum viser dermed det endelige utslippet fra Otraledningen til Kristiansandsfjorden. Ledningen ble luftet før uttak av prøvene, for å skylle ut eventuelle partikkelrester som lå i tanken. Dette ble gjort med alle prøvene unntatt alle Hagen 16.02.17 og Hagen morgen 17.02.17.

2.3 Analysemetoder

Under prøveperioden egne analyser gjort på laboratoriet til Odderøya Renseanlegg: pH, konduktivitet, KOF, Tot-P, SS og filtrering til molekylærbiologiske analyser på NMBU. Molekylærbiologiske analyser for antall bakterier ble gjort ved NMBU. Det ble også sendt analyser til to eksterne laboratorier: Eurofins og Vannlaboratoriet i Kristiansand. Eurofins analyserte for tarmbakterier: *E.coli*, termotolerante koliforme og koliforme bakterier. Vannlaboratoriet analysert for tungmetaller: Arsen (As), sink (Zn), nikkel (Ni), bly (Pb), kadmium (Cd), krom (Cr), kopper (Cu) og kvikksølv (Hg). Ved uttak av hver prøve ble det registrert vannmengde som ble avlest fra avløpsavdelingens driftskontrollsystem. Analysemetodene gjort på laboratoriene og på Odderøya Renseanlegg omtales i de påfølgende delkapitlene.

2.3.1 Fosfor

Mengden av total fosfor (Tot-P) ble analysert ved bruk av ferdige reagenser fra Hach Lange: LCK 350 (rød pakke) og LCK 349 (grønn pakke) (Lange LCK 349 ; Lange LCK 350). Grønn pakke, med analyseområdet 0,05-1,5 mg/l PO₄-P, ble brukt for elvevannet. Rød pakke har et analyseområdet på 2-20 mg/l PO₄-P, og ble brukt på øvrige prøver. Prøvene ble varmet på Hach Lange LT 200 varmblokk.

Først ble DosiCap Zip fjernet fra korken (Lange LCK 349 ; Lange LCK 350). Så ble 2,0 ml eller 0,4 ml prøve tilsatt, for henholdsvis bruk av grønn eller rød pakke. Korken ble snudd, festet på røret og prøven ble ristet for å blandes med reagensene. Så ble prøven varmet i 100°C i 1 time og avkjølt i 30 minutter eller mer. Etter avkjøling ble prøven ristet og 0,2 ml eller 0,5 ml av reagens B tilsatt, for henholdsvis grønn og rød pakke. Så ble DosiCap C skrudd på og prøven ristet. Etter 10 minutter ble Tot-P verdien avlest i et Hach Lange DR 2800 spektrofotometer.

2.3.2 Kjemisk oksygenforbruk

Kjemisk oksygenforbruk (KOF) ble analysert ved bruk av ferdige reagenser fra Hach Lange LCK 314 (blå pakke) og LCK 114 (rød pakke) (Lange LCK 114 ; Lange LCK 314). For elvevannet ble blå pakke brukt, som har et analyseområde på 15-150 mg/l O₂. For øvrige prøvene ble rød pakke brukt. Analyseområde for rød pakke er 150-1000 mg/l O₂. Prøven fra Huntonit ble i forkant testet og hadde svært høye KOF-verdier. Den ble derfor fortynnet 10 ganger før den ble analysert. Alle prøvene ble varmet på Hach Lange LT 200 varmeblokk.

Først ble reagensrøret ristet og 2 ml prøve tilsatt (Lange LCK 114 ; Lange LCK 314). Røret ble ristet igjen, satt på koking i 148°C i 2 timer og så avkjølt i 30 minutter. Til slutt ble KOF-verdien avlest i et Hach Lange DR 2800 spektrofotometer.

2.3.3 Konduktivitet

Det ble brukt et Hach HQ40d Portable Multi Parameter for å måle konduktivitet i prøvene. Apparatet ble kalibrert ved starten av prøveperioden. Sonden ble skylt i springvann og rørt rundt i prøven i 20 sekunder. Så trykket man på knappen, og ventet på resultatet.

2.3.4 pH

For å måle pH i prøvene ble det brukt et pH-meter fra Lutron (PH-221), som laboratorieansvarlig kalibrerer jevnlig. pH-målingen ble gjort ved å skylle sonden i springvann, røre sonden rundt i prøven i 20 sekunder og deretter avlese målingen etter stabilisering.

2.3.5 Suspendert stoff

For filtrering til måling av suspendert stoff (SS) ble det brukt en oppsats som skapte vakuum ved bruk av vanntrykk (Figur 2.2). Det ble brukt Whatman GF/C filtre med porestørrelse 1,2 μm , i henhold til Norsk Standard (Norsk standard NS-EN 872 2005) og en elektronisk presisjonsvekt, sartorius BP 310 P.



Figur 2.2: Vakuumpoppsett til filtrering av suspendert stoff (SS).

Først ble filteret veid på en aluminiumsskål og satt på filtreringsoppsettet. Så ble 100 ml vannprøve tilsatt. Prøven fra Huntonit tettet seg fort. Derfor ble kun mellom 28 ml og 65 ml tilsatt derfra. Etter filtrering ble filteret satt tilbake på aluminiumsskålen og tørket i 105°C i én time. Filtratet ble satt i kjøleskap, ettersom det senere ble brukt for filtrering til molekylærbiologiske analyser. Når tørkingen var ferdig ble filter og aluminiumsskål veid igjen, og filteret ble fryst og senere fraktet til NMBU.

Suspendert stoff ble regnet ut ved å bruke følgende formel (Norsk standard NS-EN 872 2005):

Formel 1: utregning av suspendert stoff

$$\rho = \frac{1000 \times (b - a)}{V}$$

ρ : suspendert stoff (mg/l)

b: massen (mg) av aluminiumsskålen og tørket filter etter filtrering

a: massen (mg) av aluminiumsskålen og filter før filtrering

V: volum (ml) av tilsatt prøve

2.3.6 Tungmetaller

Vannlaboratoriet i Kristiansand utførte analysene av tungmetaller i henhold til EPA 200.7-200.8 (EMMC: Method 200.7 ; EMMC: Method 200.8).

2.3.7 Tarmbakterier

Analysene av tarmbakterier ble gjort av Eurofins i Kristiansand. For *E.coli* og koliforme bakterier ble analysen gjort i henhold til Norsk Standard NS-EN ISO 9308-2 (2014).

Analysen av termotolerante koliforme bakterier ble gjort i henhold Norsk Standard NS 4791:1 (1990).

2.3.8 Antall bakterier

For å analysere for antall bakterier ble både filter og filtrat etter SS brukt videre. Filtratet ble videre filtrert gjennom 0,40 µm glassfiberfilter MN 85/200 fra Macherey-Nagel. Prøvene ble så tørket på rundt 27-30 grader i én time. Ettersom det var vanskelig å holde temperaturen konstant i tørkeskapet varierte temperaturen også litt over/under dette området. Filtrene ble så fryst og senere ble alle filtrene (GF/C og MN 85/200) fraktet i kjølebag og satt på frys på NMBU i - 20°C. Prøvene fra første prøveperiode ble filtrert 28.02.17 og prøvene fra andre prøveperiode ble filtrert 07.03.17.

Måling av antall bakterier på NMBU ble gjort gjennom flere trinn: forberedelse av prøvene, proteinase behandling, DNA ekstraksjon og qPCR. Mengden av genet 16S rRNA ble målt, for å bestemme antallet bakterier i prøvene. For å kunne gjøre qPCR-reaksjonen på ett brett, med maks 96 prøver, ble GF/C filtrene fra Hagen 2 ikke inkludert. Dermed ble det totalt 90 filtre til analysen av antall bakterier: 50 GF/C-filtre fra SS og 40 MN 85/200-filtre.

I forberedelsen ble 0,25 g syrevaskede kuler ($\leq 106 \mu\text{m}$) og 500 µl STAR buffer (Roche, Germany) tilsatt i et 2 ml prøverør (SARTSTEDT, Germany). Deretter ble alle filtrene kuttet i fire deler, og ¼ av filteret ble tilsatt i et prøverør. Mellom hvert tilsetning ble både saksa og pinsetten, dyppet i 96 % etanol og sterilisert over en gassflamme.

Cellene ble så knust, lysert og DNA gjort tilgjengelig både mekanisk og enzymatisk. For det mekaniske steget ble prøvene ristet i 40 sekunder i Fastprep 96 ved 1800 rpm, to ganger, med

3 minutters mellomrom. Ristingen gjorde at kulene knuste cellene, slik at DNAet ble tilgjengelig.

Etterpå fulgte det enzymatiske steget, med lysering av cellene. Da ble prøvene først sentrifugert ved 13.000 rpm i minst 10 minutter. De fleste prøvene ble sentrifugert flere ganger. Årsaken var at filtrene svulmet så mye at prøveuttaket ble vanskelig. Dette gjaldt spesielt de tykkere glassfiberfiltrene (MN 85/200).

Til proteinase-behandlingen ble det brukt en KingFisher 96-KF plate (Prøveplate). Det ble tilsatt og blandet i hver brønn: 50 µl av supernatanten, 50 µl lysis buffer og 5 µl Proteinase K. Platen med prøveblandingen ble inkubert ved 55°C i 10 minutter ("ProteinaseLGCmini") i en KingFisher Flex robot (ThermoFisher Scientific, USA).

Etter lysering og proteinase-behandling var DNAet tilgjengelig for ekstraksjon. For ekstraksjonen ble 6 plater laget etter oppskriften i Tabell F.1 i Vedlegg F. DNAet ble ekstrahert ved prosedyren "MagMiniLGC" i KingFisher Flex roboten.

Total mengde rensed DNA ble målt gjennom et Quant-iT™ assay. Det ble laget en Working Solution ved å blande 0,1 ml Quant-iT™ buffer og 19,9 ml Quant-iT™ reagens (1:200 forhold). To standardprøver ble laget ved å tilsette 190 µl av Working Solution og 10 µl av aktuell standard i et rør. For hver prøve ble 198 µl working solution og 2 µl eluert prøve tilsatt i et rør. Standardprøver og prøver ble blandet i vortex i 2-3 sekunder, og så inkubert i 2 minutter i romtemperatur. Qubit™ fluorometeret ble kalibrert ved bruk av standardprøvene. Etter kalibrering ble alle prøvene avlest i Qubit™ fluorometeret.

Antall bakterier ble kalkulert ved bruk av qPCR. Det ble laget en mastermix til 100 prøver av: Polymerase mix, primerne og nukleasefritt vann. Dette ble fordelt i alle brønnene. Etter at mastermixen var tilsatt, ble ekstrahert DNA (templat DNA) tilsatt. Det ble laget en negativ kontroll med nukleasefritt vann og en negativ kontroll med *E.coli*.

Følgende er også oppgitt i Vedlegg F: Konsentrasjoner og reaksjonsblandinger til qPCR (Tabell F.2), programmet for amplifisering og innholdet i polymerase mixen.

Fra reaksjonen ble amplifiseringskurver og Cp-verdier hentet ut. Cp-verdiene er grunnlaget for resultatene i denne oppgaven.

2.4 Dataanalyse og beregninger

Alle dataanalyser og beregninger ble gjort i Excel. T-test ble brukt for å sammenligne gjennomsnittsverdier fra resultatene, med årsrapporter fra Huntonit og Støleheia. Gruppene ble sammenlignet for å se om det var signifikante forskjeller mellom dem. En tosidig type 2 t-test ble valgt, med signifikansnivå på 5% ($\alpha = 0,05$). Resultater under 0,05 ble regnet som signifikante.

T-testen brukes ”for å teste om det er signifikant forskjell mellom gjennomsnittet av to datasett” (Syvertsen 2005). Nullhypotesen sier at det er ingen signifikant forskjell mellom gjennomsnittet av datasettene. For å teste denne hypotesen, må akseptert nivå for forkastningsfeil velges. Dette nivået kalles signifikansnivå. Vanligste signifikansnivå er 5% ($\alpha = 0,05$), og da godtas ”5% sjanse for å gjøre en forkastningsfeil” (Syvertsen 2005). Resultatet av en t-test gir en p-verdi. Er $p < \alpha$ forkastes nullhypotesen, og det antas at det er en signifikant forskjell mellom gjennomsnittet i datasettene. Er $p > \alpha$ beholdes nullhypotesen, og det antas at det er ingen signifikant forskjell mellom gjennomsnittet av datasettene.

I utregninger av gjennomsnitt og standardavvik er ”coefficient of variation” (CV) inkludert (Everitt & Skrondal 2010). Oppgaven har mange ulike parametre, som har ulike definisjoner av hva som er høye verdier. CV-verdien er et forholdstall mellom gjennomsnitt og standardavvik, som tar høyde for slike forskjeller. På denne måten kan resultatet fra alle parameterne sammenlignes. Et høyt CV-tall viser at det er stor usikkerhet knyttet til resultatet.

3. Resultater

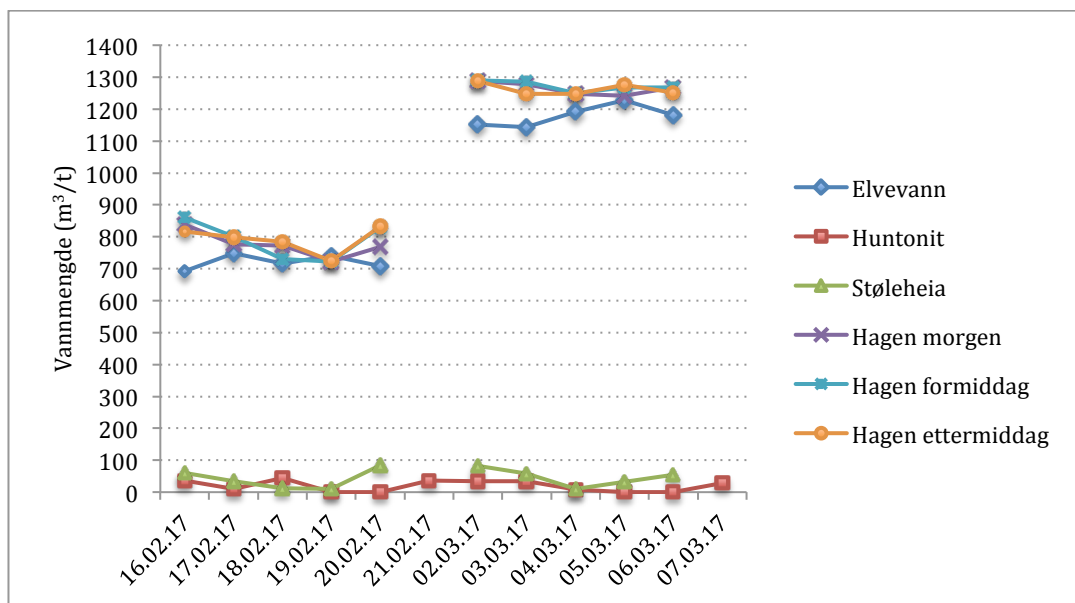
Resultatene fra alle analysene er presentert i figurer. Omtrentlig klokkeslett for målt vannmengde og prøveuttak, og dato er tatt med i Vedlegg A. Tid og dato for prøvetaking kan ha sammenheng med resultatene.

Rådata for metaller og tarmbakterier er tatt med i henholdsvis Vedlegg C og E. Disse er inkludert for å vise hvilke tall som var over/under deteksjonsgrensene, ettersom dette ikke kommer fram i figurene. Resultater fra metaller og TKB vil sammenlignes med grenseverdier fra vannforskriften. Rådataen viser tallene bak dennes sammenligningen.

Begge prøveperiodene gikk fra torsdag til mandag 16-20.02.17 og 02-06.03.17. Ettersom det var ingen prøve fra Huntonit på søndag (19.02.17 og 05.03.17), ble det i stedet hentet en prøve på tirsdag (21.02.17 og 07.03.17). Fra Hagen ble det tatt med målinger fra morgenen, formiddag og ettermiddag for å se eventuelle trender i variasjonen av utslippet i døgnet.

3.1 Vannmengde

For alle prøveuttakene ble vannmengden målt kort tid etter, fra avløpsavdelingens driftskontrollsystem. Resultatet er vist i Figur 3.1.



Figur 3.1: Vannmengde i Otraledningen målt over to prøveperioder: 16-20.02.17 og 02-06.03.17. På søndag (19.02.17 og 05.03.17) var det intet utslipp fra Huntonit. For å få likt antall prøver fra alle prøvepunktene, ble det hentet en prøve fra Huntonit på tirsdag (21.02.17 og 07.03.17).

Alle vannmengdene var øyeblikksmålinger, målt kort etter prøvene ble hentet.

Vannmengdene fra Hagen var høyest, med verdier mellom 720 og 1300 m³/t. Noe trend over døgnet var ikke tydelig, selv om det var et knapt flertall av lavest verdier om morgenen fra Hagen.

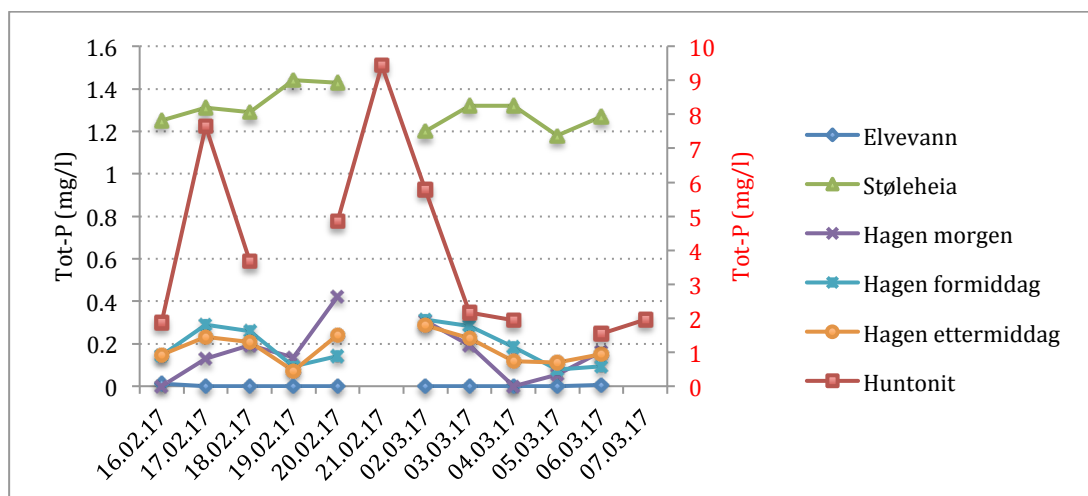
Vannmengden fra Huntonit og Støleheia var under 85 m³/t for alle målingene. Målingene fra Støleheia var et gjennomsnitt av tre målinger som ble gjort i løpet av dagen (se 2.2.3 Støleheia Avfallsanlegg). Støleheia har større vannmengde for stort sett alle prøvene, sammenlignet med Huntonit. Huntonit har kun utslipp når det foregår produksjon, som betyr at vannmengde fra lørdag morgen til mandag formiddag var 0 m³/t (se 1.3.1 Huntonit). Støleheia har ikke alltid påslipp på Otraledningen, selv om det var tilfelle i begge prøveperiodene.

I prøvene fra Hagen og elvevannet var det en betraktelig økning i vannmengden i andre prøveperioden. Laveste vannmengde i andre prøveperioden var 1143 m³/t fra elvevannet. Fra Hagen var laveste verdien 1242 m³/t.

3.2 Kjemiske analyser

3.2.1 Fosfor

Huntonit hadde tydelig det største utslippet av fosfor, som vist i Figur 3.2. Laveste verdien fra Huntonit var 1,54 mg/l Tot-P, mens høyeste verdi fra øvrige punkter var 1,44 mg/l Tot-P fra Støleheia.



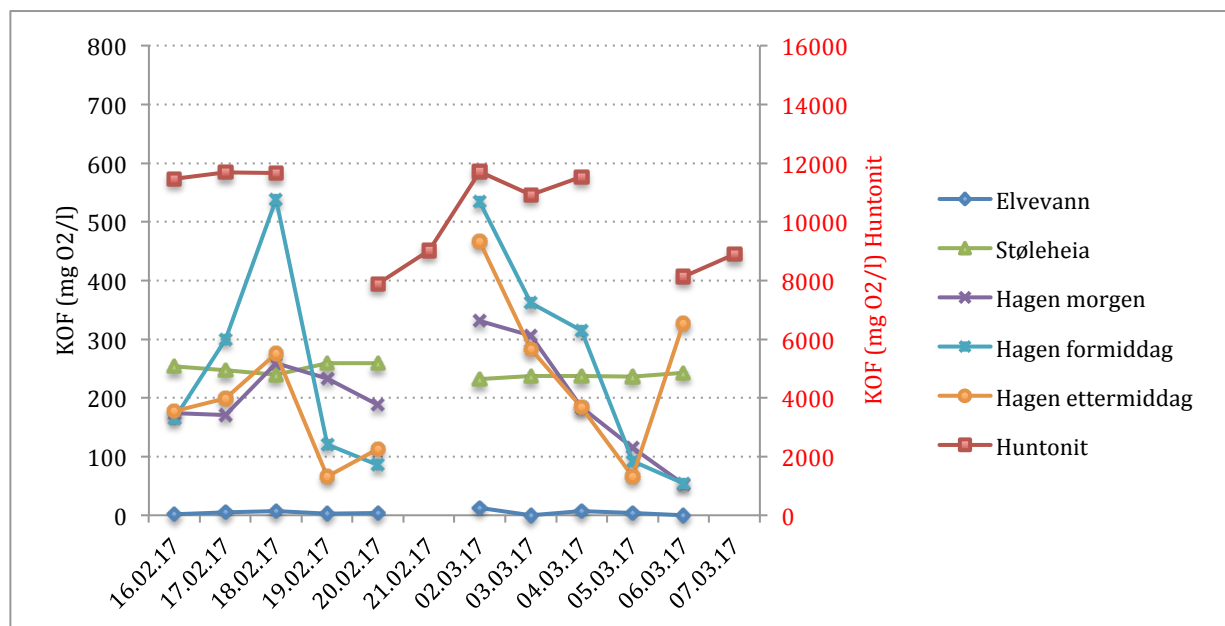
Figur 3.2: Total fosfor (Tot-P) i Otraledningen målt over to prøveperioder: 16-20.02.17 og 02-06.03.17. Høyre y-akse er til verdiene fra Huntonit. På søndag (19.02.17 og 05.03.17) var det intet utslipp fra Huntonit. For å få likt antall prøver fra alle prøvepunktene, ble det hentet en prøve fra Huntonit på tirsdag (21.02.17 og 07.03.17).

For alle datoene lå prøven fra Huntonit høyest, med verdier opp mot 9,43 mg/l Tot-P. Selv om verdiene fra Huntonit var veldig variable, gikk resultatene betraktelig ned i andre prøveperiode. Foruten målingen 02.03.17, så var alle målingene for Huntonit i andre prøveperiode under 2,2 mg/l Tot-P.

Verdiene fra Støleheia lå veldig stabilt mellom 1 og 1,5 mg/l Tot-P for begge prøveperiodene. Alle verdiene fra Hagen var veldig lave, med høyeste verdi på 0,422 mg/l Tot-P for Hagen morgen 20.02.17. Elvevannet hadde lavest verdier, hvor høyeste var 0,011 mg/l Tot-P.

3.2.2 Kjemisk oksygenforbruk

Huntonit skilte seg sterkt ut for målingene av kjemisk oksygenforbruk (KOF) i Otraledningen (Figur 3.3). Laveste måling var 7890 mg O₂/l, og høyeste var 11700 mg O₂/l. Alle verdiene fra de andre prøvepunktene var under 600 mg O₂/l.



Figur 3.3: Kjemisk oksygenforbruk (KOF) i Otraledningen målt over to prøveperioder: 16-20.02.17 og 02-06.03.17. Høyre y-akse er til verdiene fra Huntonit. På søndag (19.02.17 og 05.03.17) var det intet utslipp fra Huntonit. For å få likt antall prøver fra alle prøvepunktene, ble det hentet en prøve fra Huntonit på tirsdag (21.02.17 og 07.03.17).

Fra Hagen var målingene veldig variable. Hagen formiddag hadde som regel høyest verdier fra Hagen, og hadde de to høyeste Hagen-verdiene som var 538 og 534 mg O₂/l. I andre prøveperiode går KOF-nivået jevnt nedover, foruten en høy verdi på Hagen ettermiddag 06.03.17. Fra Støleheia var tallene veldig jevne, mellom 232 og 259 mg O₂/l, men minket litt i

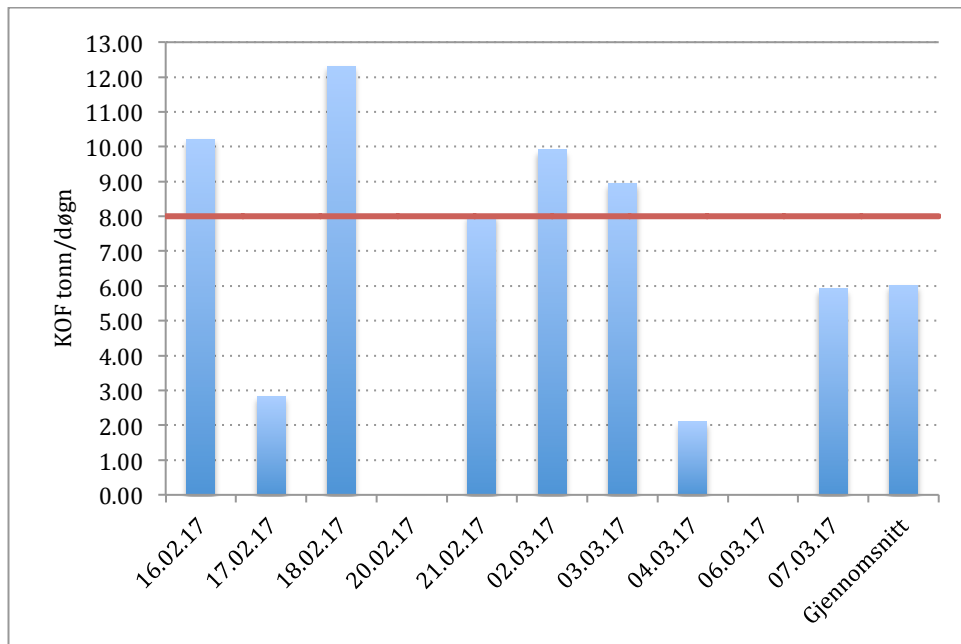
andre prøveperiode. Målingene fra elvevannet var svært lave generelt. To verdier var på 0 mg O₂/l (03.03.17 og 06.03.17), mens høyeste verdi var på 12,1 mg O₂/l (02.03.17).

Huntonit er det eneste punktet som har utslippskrav for KOF til Otraledningen (Tabell 1.1). For å kunne sammenligne resultatene med utslippsgrensene ble verdiene regnet om fra mg/l, via mg/s, til tonn/døgn. Til dette ble vannmengden brukt, og følgende formel:

Formel 2: Omregning fra mg/s til tonn/døgn

$$\frac{1 \text{ mg}}{\text{s}} = \frac{86400}{10^9} \times \frac{\text{tonn}}{\text{døgn}} = \frac{8,64 \times 10^{-5} \text{ tonn}}{\text{døgn}}$$

Resultatet etter denne omregningen er vist i Figur 3.4.

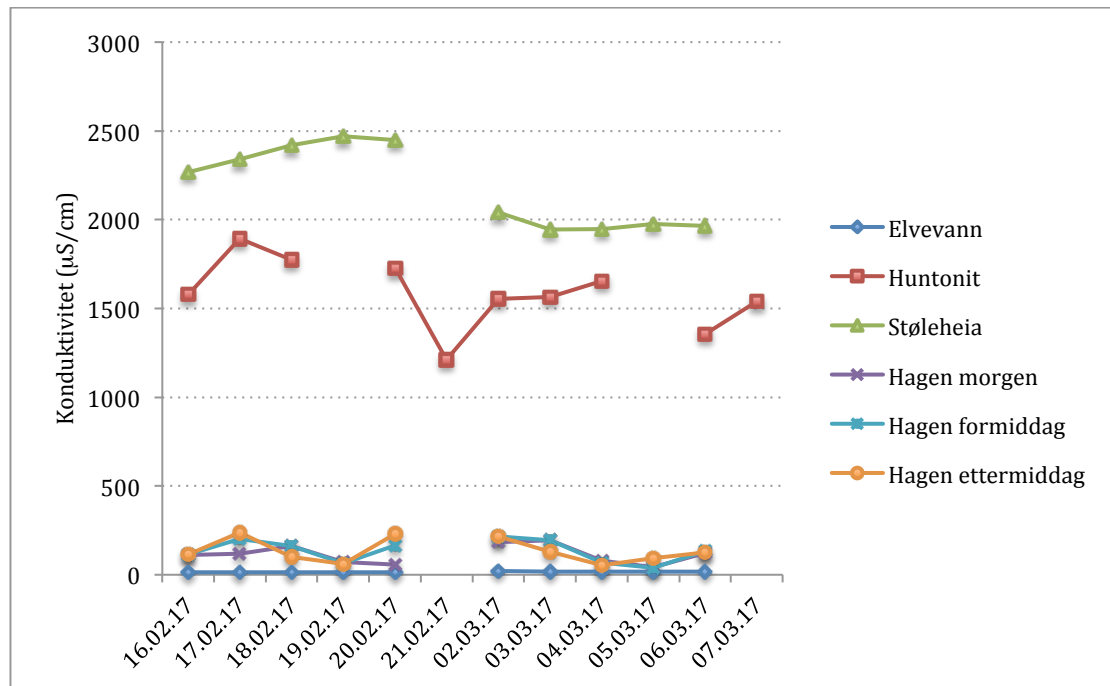


Figur 3.4: Kjemisk oksygenforbruk (KOF) fra Huntonit målt over to prøveperioder: 16-20.02.17 og 02-06.03.17. Utslippsgrensa på 8,0 tonn/døgn er markert med ei rød linje (Håland 2016). Gjennomsnittet for alle målingene er tatt med. Prøvene fra 19.02.19 og 05.06.17 er ekskludert, ettersom det var ingen produksjon disse datoene. Det ble registrert null vannmengde, i prøvene fra 20.02.17 og 06.03.17, siden produksjonen ikke hadde startet for uka og det ble dermed null utslipp i KOF tonn/døgn.

To prøver viste intet KOF, ettersom det var prøver fra mandag før produksjonen til Huntonit startet for uka (20.02.17 og 06.03.17). Fire prøver ligger over utslippsgrensa, men gjennomsnittet for alle prøvene var godt under utslippsgrensa.

3.2.3 Konduktivitet

For konduktivitetmålingene hadde begge bedriftene verdier over 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figur 3.5).



Figur 3.5: Konduktivitet i Otraledningen målt over to prøveperioder: 16-20.02.17 og 02-06.03.17. På søndag (19.02.17 og 05.03.17) var det intet utslipp fra Huntonit. For å få likt antall prøver fra alle prøvepunktene, ble det hentet en prøve fra Huntonit på tirsdag (21.02.17 og 07.03.17).

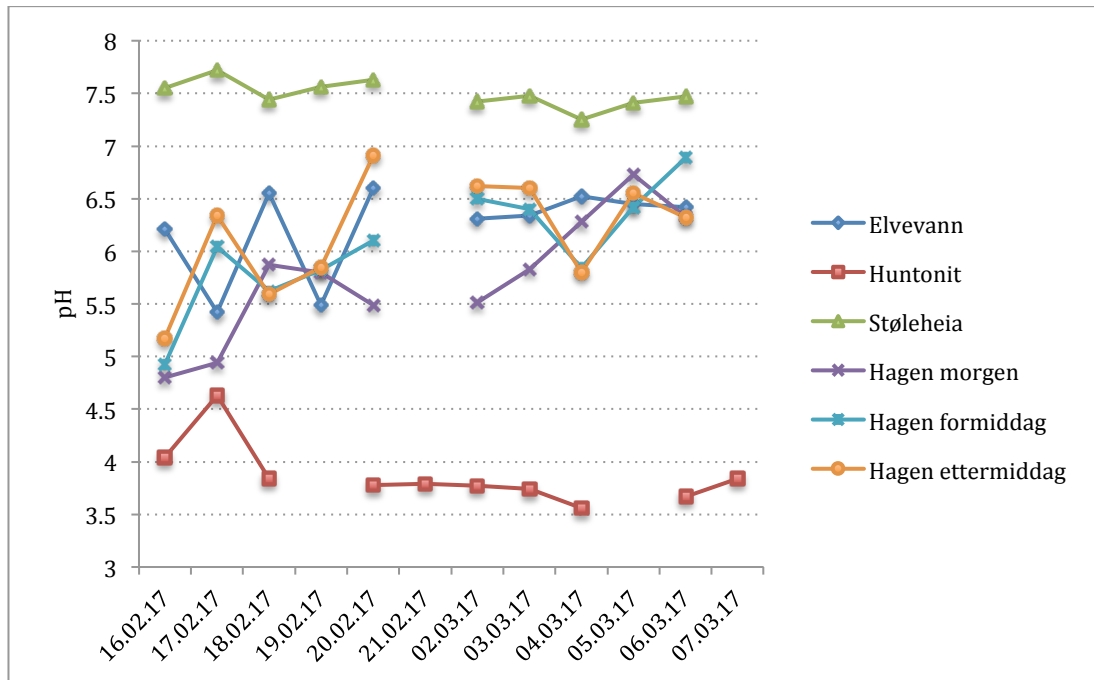
Støleheia hadde de høyeste verdiene, på om lag 1900 til 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. I første prøveperiode var det en generell svak stigning i konduktivitetmålingene, foruten en liten nedgang på målingen 20.02.17. Alle målingene til Støleheia var lavere i andre prøveperiode.

For Huntonit var det ikke et like klart skille mellom prøveperiodene, selv om verdiene generelt lå lavere i andre prøveperiode. Høyeste målingen var 1895 $\mu\text{S}/\text{cm}$ og laveste var 1211 $\mu\text{S}/\text{cm}$, hvorav begge tilhørte første prøveperiode.

Verdiene fra Hagen varierte, men var stort sett ganske lave. Laveste verdi var 39,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ og høyeste 239 $\mu\text{S}/\text{cm}$, fra henholdsvis Hagen formiddag og Hagen ettermiddag. Ellevannet hadde de laveste konduktivitetmålingene, hvor alle var under 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.2.4 pH

Målingene av pH (Figur 3.6) viser at de høyeste verdiene tilhørte Støleheia, mens de laveste verdiene var fra Huntonit. Alle verdiene fra Hagen lå mellom verdiene fra bedriftene.



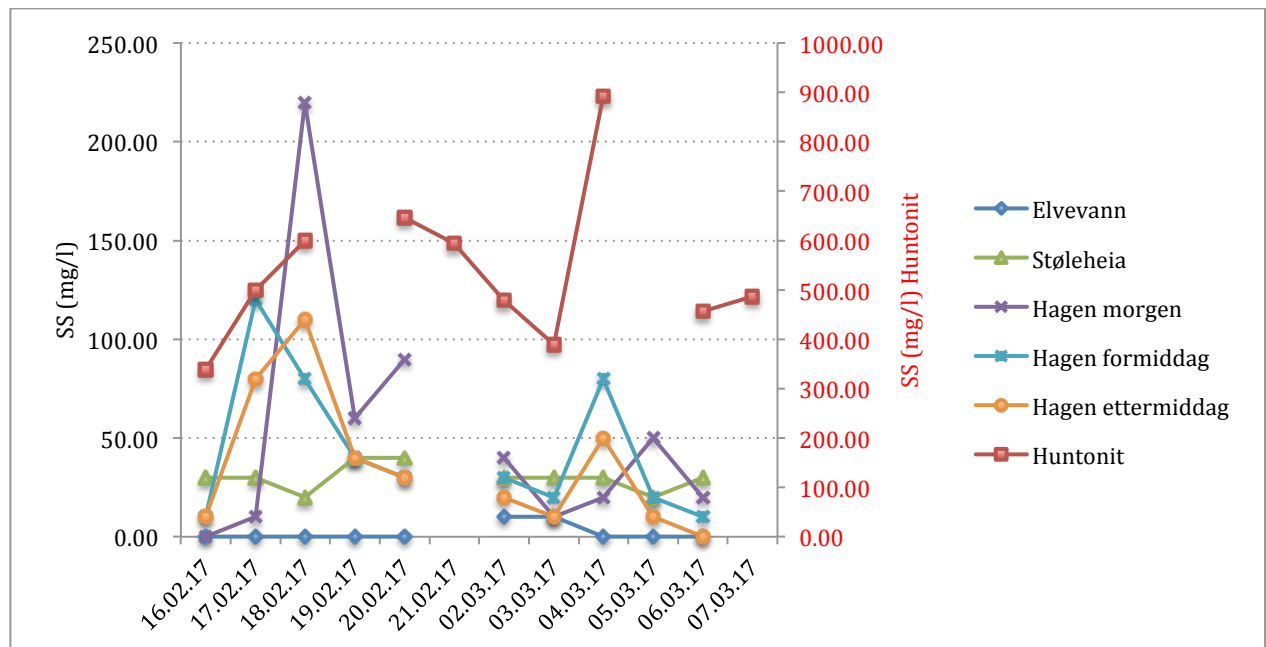
Figur 3.6: pH i Otraledningen målt over to prøveperioder: 16-20.02.17 og 02-06.03.17. På søndag (19.02.17 og 05.03.17) var det intet utslipp fra Huntonit. For å få likt antall prøver fra alle prøvepunktene, ble det hentet en prøve fra Huntonit på tirsdag (21.02.17 og 07.03.17).

Målingene fra prøveperiodene varierte. I andre prøveperiode hadde Støleheia litt lavere pH-verdier generelt, og målingene varierte lite. Huntonit hadde også lavere og mer stabile målinger i andre prøveperiode.

Målingene fra Hagen og elvevannet varierte mye. Stort sett hadde Hagen ettermiddag de høyeste verdiene og Hagen morgen de laveste verdiene i første prøveperiode. I andre prøveperiode var det mindre klare skiller mellom verdiene fra Hagen, selv om verdiene generelt var høyere enn i første prøveperiode. For elvevannet varierte verdiene mellom 5,42 og 6,6 i første prøveperiode. I andre prøveperioden lå de mer stabilt i et område mellom 6,31 og 6,52.

3.2.5 Suspendert stoff

Huntonit utpekte seg tydelig på målingene av suspendert stoff i Figur 3.7. Laveste målingen var 338,46 mg/l SS og den høyeste verdien var 892,86 mg/l SS. Begge lå langt over målingene fra de andre prøvepunktene.

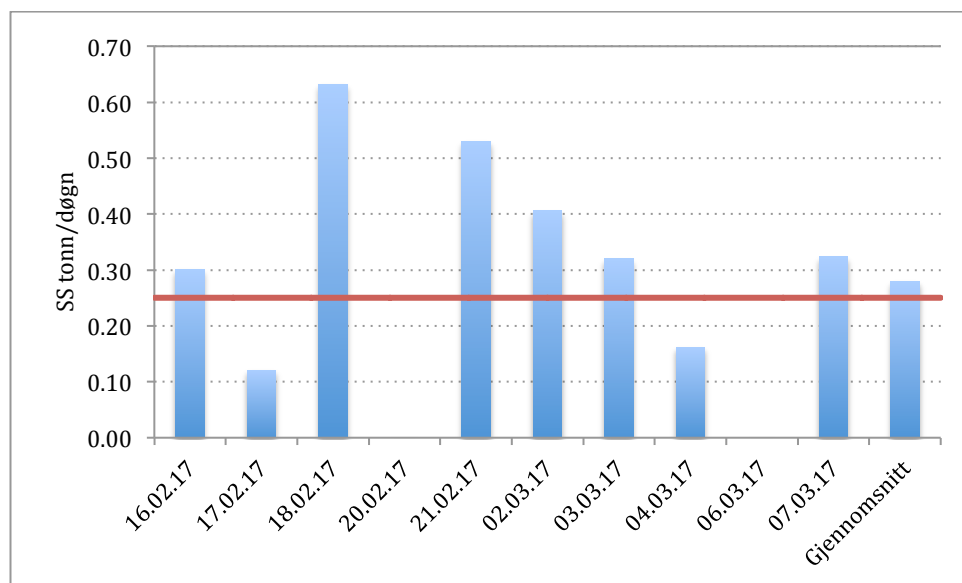


Figur 3.7: Suspendert stoff (SS) i Otraledningen målt over to prøveperioder: 16-20.02.17 og 02-06.03.17. Høyre y-akse er til verdiene fra Huntonit. På søndag (19.02.17 og 05.03.17) var det intet utslipp fra Huntonit. For å få likt antall prøver fra alle prøvepunktene, ble det hentet en prøve fra Huntonit på tirsdag (21.02.17 og 07.03.17).

Verdiene fra Hagen varierte mye. Målingen av Hagen morgen 18.02.17 på 220 mg/l SS, lå godt over de andre målingene fra Hagen, og utpekte seg som den høyeste av målingene fra Hagen. I andre prøveperiode var generelt alle verdiene fra Hagen mye lavere, med høyeste verdi på 80 mg/l SS (Hagen formiddag 04.03.17).

Støleheia hadde veldig lave verdier av SS, som var mellom 20 og 40 mg/l SS. Elvevannet hadde lavest verdier. To verdier var 10 mg/l SS, mens øvrige var 0 mg/l SS.

Kun Huntonit har utslippskrav for SS, til Otraledningen (Tabell 1.1). Det ble gjort samme omregning som for KOF for å kunne sammenligne med utslippsgrensa. Formel 2, på side 30, ble brukt og resultatet er vist i Figur 3.8.



Figur 3.8: Suspendert stoff (SS) fra Huntonit målt over to prøveperioder: 16-20.02.17 og 02-06.03.17. Utslippsgrensa på 0,25 tonn/døgn er markert med ei rød linje (Håland 2016). Gjennomsnittet for alle målingene er tatt med. Prøvene fra 19.02.19 og 05.06.17 er ekskludert, ettersom det var ingen produksjon disse datoene. Det ble registrert null vannmengde, i prøvene fra 20.02.17 og 06.03.17, siden produksjonen ikke hadde startet for uka og det ble dermed null utslipp i SS tonn/døgn.

To prøver viste intet suspendert stoff, ettersom det var prøver fra mandag før produksjonen til Huntonit startet for uka (20.02.17 og 06.03.17). Flere av prøvene lå langt over utslippsgrensa og gjennomsnittet var litt over utslippsgrensa.

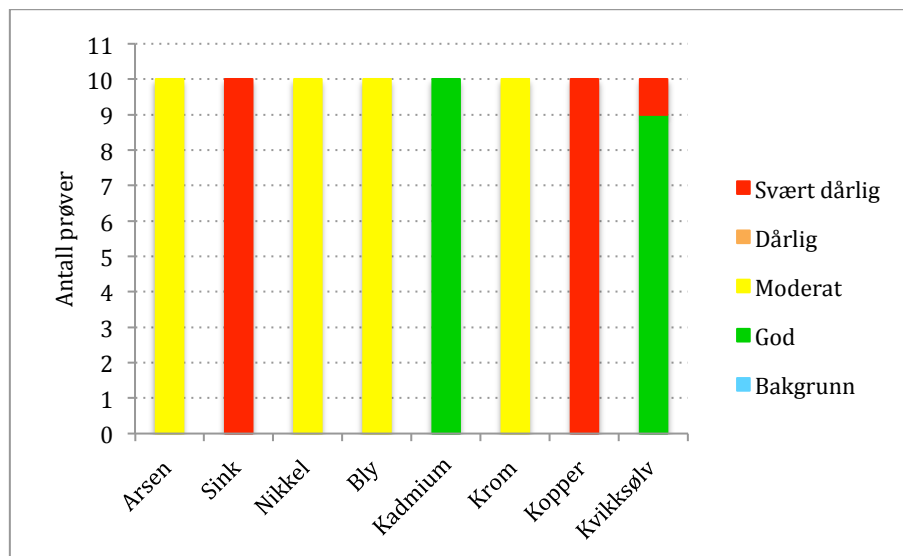
3.2.6 Tungmetaller

Vannlaboratoriet analyserte prøvene for tungmetallene: Arsen (As), sink (Zn), nikkel (Ni), bly (Pb), kadmium (Cd), krom (Cr), kobber (Cu) og kvikksølv (Hg).

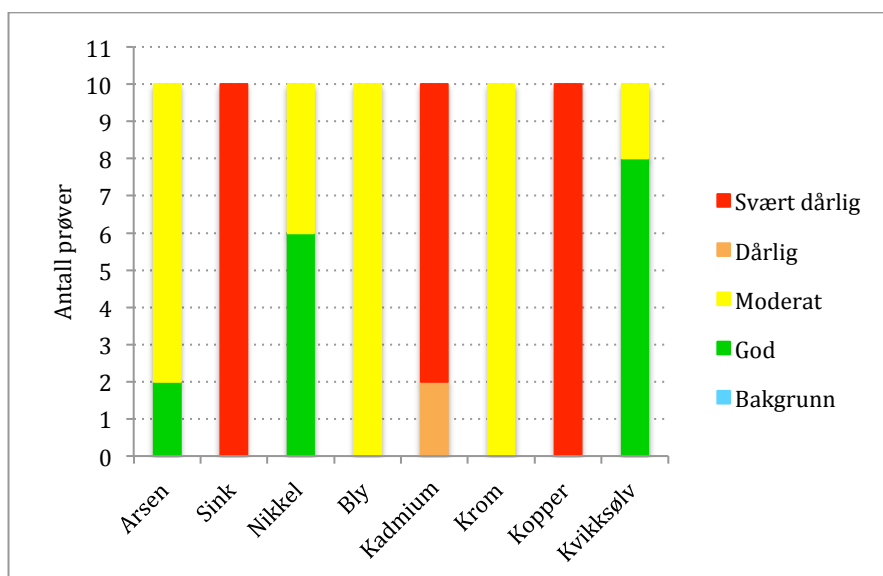
Miljødirektoratet har utarbeidet veiledere for klassifisering av miljøtilstanden i vannforekomster (Miljødirektoratet 2016a). I 2016 kom det en oppdatert veileder M-608, med grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Grenseverdiene indikerer tilstanden i vannet. Veileder M-608 inneholder blant annet grenseverdier og klassifiseringssystem for metaller i kystvann. Disse er oppgitt i Tabell B.1 i Vedlegg B, og blir brukt til sammenligning med resultatene. Noen verdier er hentet fra Kjeldby (2008), som er en eldre klassifiseringsveileder.

Prøveresultatene er gruppert i ulike klasser basert på grenseverdiene i Tabell B.1. For hvert prøvepunkt er klassifiseringen av alle metallprøvene vist. Det var ti prøvedager og dermed ti

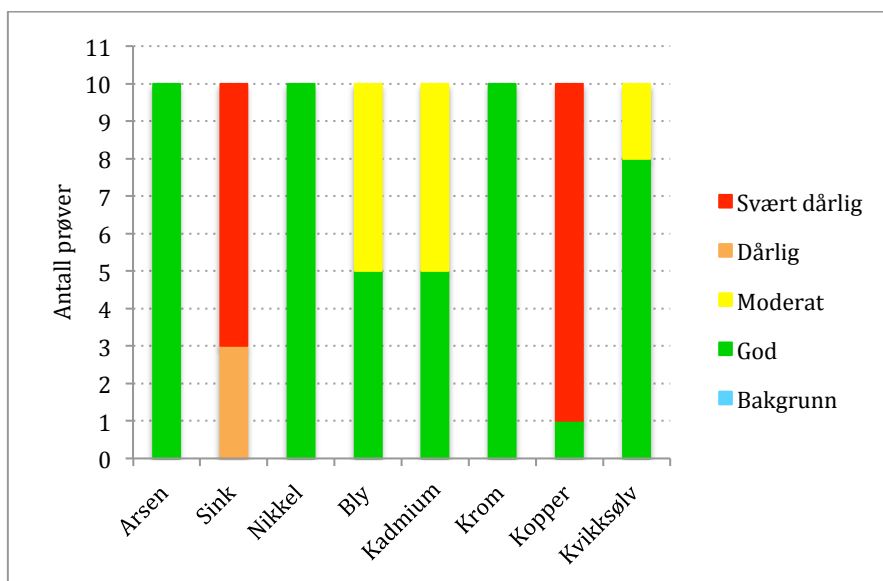
verdier for hvert metall. Antallet prøver i hver klasse, fra hvert prøvepunkt er vist i Figur 3.9, Figur 3.10, Figur 3.11 og Figur 3.12. Rådata er i Vedlegg C.



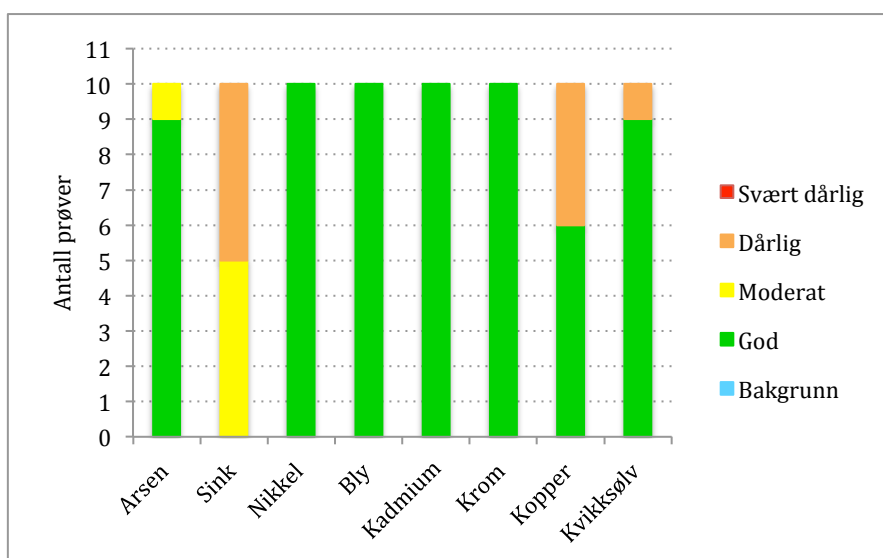
Figur 3.9: Antall prøver i hver klasse for ulike metaller, fra Støleheia.



Figur 3.10: Antall prøver i hver klasse for ulike metaller, fra Huntonit.



Figur 3.11: Antall prøver i hver klasse for ulike metaller, fra Hagen.



Figur 3.12: Antall prøver i hver klasse for ulike metaller, fra ellevann.

De fleste verdiene fra Støleheia var moderate eller svært dårlige (Figur 3.9). De utgjør om lag $\frac{3}{4}$ av alle verdiene. Kun 19 av 80 verdier var gode. Verdiene fra sink og kobber var høyest, hvor alle var svært dårlige. Kadmium hadde kun gode verdier, og dermed lavest verdier totalt.

Huntonit hadde 28 verdier som var svært dårlige (Figur 3.10). Dette var høyeste antall med svært dårlige verdier blant prøvepunktene. Det var 16 gode verdier, mens øvrige var moderate eller dårlige verdier. Igjen hadde sink og kobber høyest verdier, hvor alle var svært dårlige. Kadmium hadde også høye verdier, hvorav åtte var svært dårlige, mens to var dårlige. De

laveste verdiene var fra nikkel og kvikksølv, som hadde henholdsvis seks og åtte gode verdier.

Både Støleheia og Huntonit hadde svært dårlige verdier for både sink og kobber. Rådataen i Vedlegg C viser at Støleheia hadde generelt høyere verdier enn Huntonit, for kobber. Huntonit hadde enormt høye verdier for sink, alle over 1200 µg/l, sammenlignet med Støleheia.

Resultatet fra Hagen var veldig varierende (Figur 3.11). Det var 16 verdier som var svært dårlige. Over halvparten av verdiene var moderate eller dårlige. Også her var verdiene for sink og kobber høyest, med henholdsvis 7 og 9 svært dårlige verdier.

Nesten alle verdiene fra elvevannet var gode (Figur 3.12). Sink hadde høyest verdier, med kun moderate og dårlige verdier. Kopper og kvikksølv hadde noen dårlige verdier, henholdsvis fire og én. Det var én moderat verdi fra arsen. Øvrige verdier var gode.

3.3 Biologiske analyser

Resultatene er fra Eurofins og eget arbeid er utført på NMBU. Eurofins analyserte for tarmbakterier. Det ble målt totalt antall bakterier gjennom molekylærbiologiske analyser på NMBU.

3.3.1 Tarmbakterier

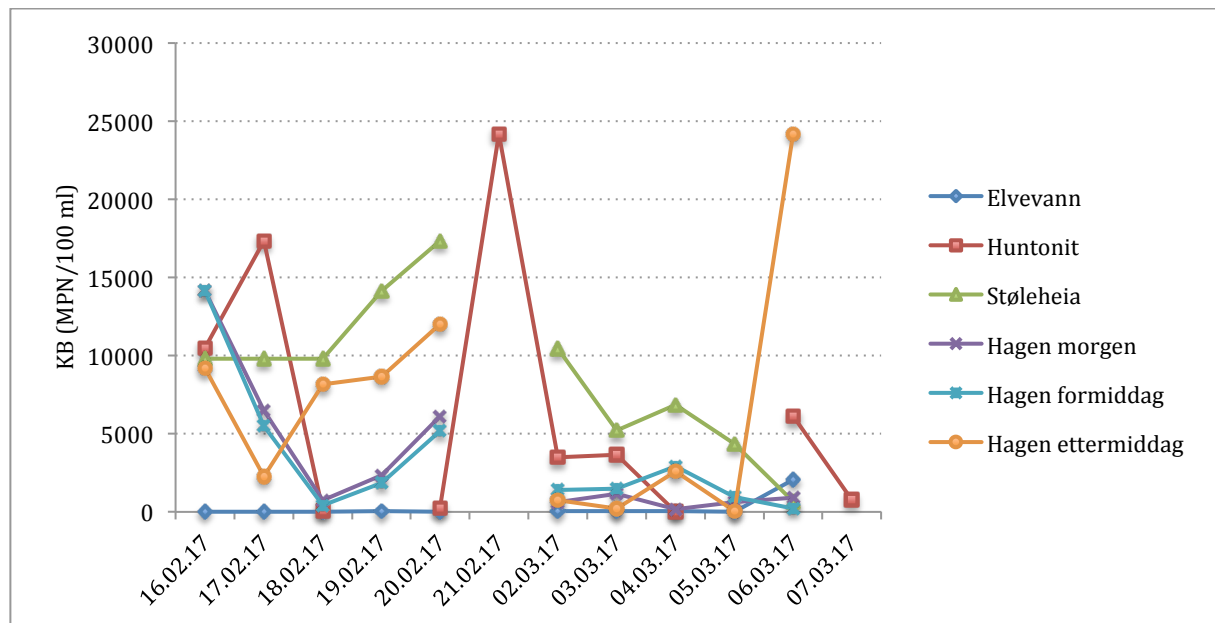
I resultatet for tarmbakterier er verdier over/under deteksjonsgrensa satt lik deteksjonsgrensa i figurene. Hvilke verdier det gjelder vises i rådataen, som er oppført i Vedlegg E.

Eurofins analyserte for tre typer tarmbakterier: koliforme (KB), termotolerante koliforme (TKB) og *E.coli*. Dette er typiske indikatorbakterier for fekal forurensning, og sammenhengen mellom disse er omtalt i 2.4.2 Tarmbakterier.

Industrier har ingen utslippskrav til tarmbakterier (Baalsrud 1994; Molvær 1997). Det har tidligere vært grenseverdier for TKB i sjøvann, og disse tatt med til sammenligning med resultatene (Molvær 1997). Grenseverdier for TKB er inkludert i Tabell D.1 i Vedlegg D.

KB og *E.coli* er oppgitt i MPN/100 ml, mens TKB er oppgitt i cfu/100 ml. MPN står for ”Most probable number” (Gronewold & Wolpert 2008). CFU står for ”Colony-forming-unit”. MPN er dermed basert på sannsynlighet, mens CFU er basert på absolutte tall.

Figur 3.13 viser resultatene for KB, som er gruppa med flest bakterier sammenlignet med TKB og *E.coli* (se 2.4.2 Tarmbakterier).



Figur 3.13: Koliforme bakterier (KB) i Otraledningen målt over to prøveperioder: 16-20.02.17 og 02-06.03.17. På søndag (19.02.17 og 05.03.17) var det intet utslipp fra Huntonit. For å få likt antall prøver fra alle prøvepunktene, ble det hentet en prøve fra Huntonit på tirsdag (21.02.17 og 07.03.17).

Støleheia hadde mange høye verdier av KB. Laveste verdien var 670 MPN/100 ml. Øvrige verdier lå mellom 4300 og 17400 MPN/100 ml.

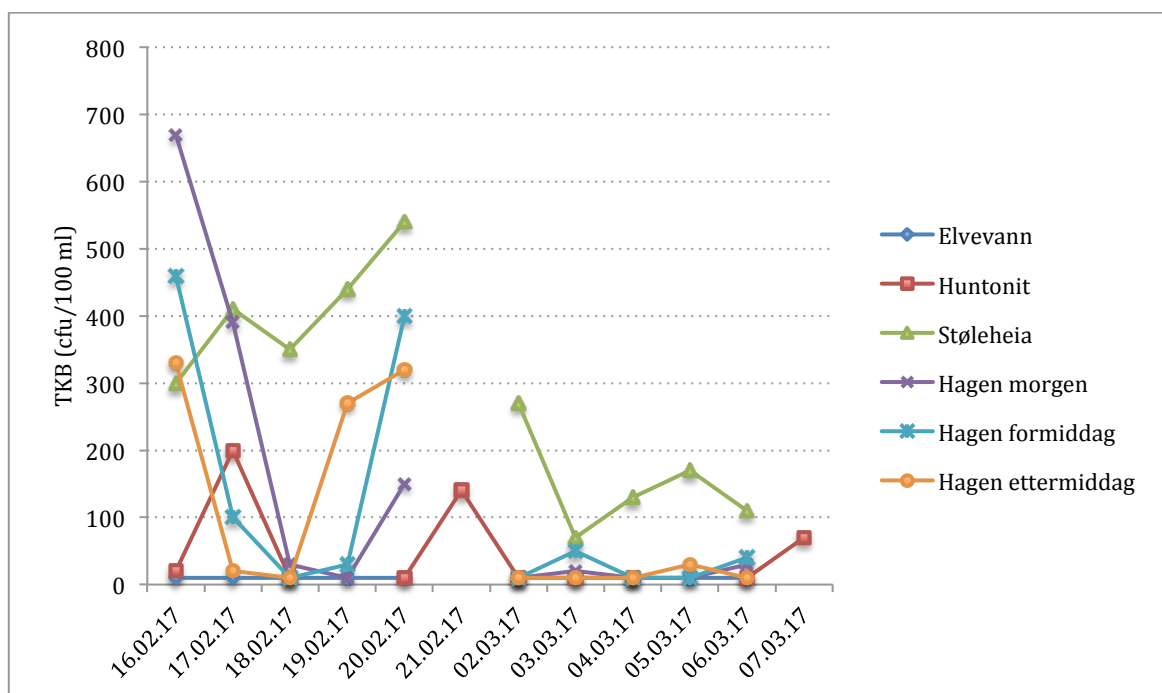
Huntonit hadde noen veldig høye verdier, men verdiene var generelt lavere sammenlignet med Støleheia. Det var én ekstremverdi på over 24192 MPN/100 ml, men det var flest verdier under 4000 MPN/100 ml. Verdiene varierte imidlertid mye.

Utslippene fra Hagen var noe varierende. Hagen ettermiddag hadde generelt de høyeste verdiene. Verdiene fra prøveperiodene var veldig ulike. Foruten en ekstremverdi på prøven 06.03.17 Hagen ettermiddag, så var verdiene generelt mye lavere i andre prøveperiode.

Det var stort sett lave verdier fra elvevannet. Det var én høy verdi på 2050 MPN/100 ml (06.03.17). Resten var 63 MPN/100 ml eller lavere.

For TKB, i Figur 3.14, var verdiene lavere generelt sammenlignet med antallet KB i Figur 3.13. Det er grenseverdier for TKB i sjøvann. Disse verdiene er vist i Tabell D.1 i Vedlegg D, med fargekoder. Rådataen for TKB-verdiene er markert i aktuelle fargekoder, og er oppført i Vedlegg E.

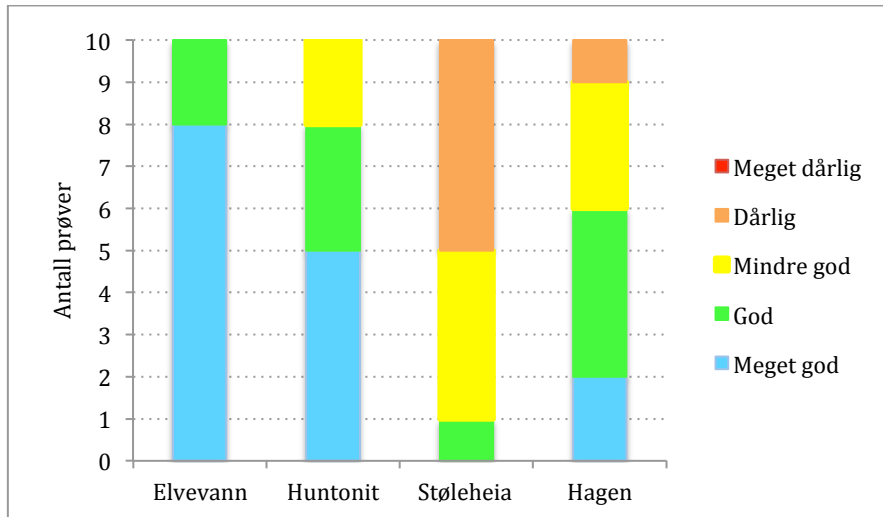
De høyeste verdiene generelt var fra Støleheia, selv om en enkeltverdi fra Hagen morgen (16.02.17) var høyere. Dette var samme tendensen som for KB. Prøvene fra Hagen viste en del variasjon, hvor Hagen formiddag hadde de to høyeste Hagen-verdiene. De laveste verdiene var fra Huntonit og elvevannet. Huntonit hadde generelt lave verdier med 200 cfu/100 ml på det meste. Elvevannet hadde tilnærmet ingen TKB i noen av prøvene.



Figur 3.14: Termotolerante koliforme bakterier (TKB) i Otraledningen målt over to prøveperioder: 16-20.02.17 og 02-06.03.17. På søndag (19.02.17 og 05.03.17) var det intet utslipp fra Huntonit. For å få likt antall prøver fra alle prøvepunktene, ble det hentet en prøve fra Huntonit på tirsdag (21.02.17 og 07.03.17).

TKB-målingene var også veldig forskjellige mellom prøveperiodene. Støleheia hadde høyest verdier i begge periodene. Alle verdiene derfra, unntatt én, lå over 100 cfu/100 ml. Verdiene fra øvrige punkter, i andre prøveperiode, var under 100 cfu/100 ml.

Verdiene fra prøvene ble gruppert etter grenseverdiene i Tabell D.1 i Vedlegg D. Antall prøver i hver tilstandsklasse, fra alle prøvepunktene, er vist i Figur 3.15. For prøvene fra Hagen ble det regnet et gjennomsnitt av prøvene fra morgen, formiddag og ettermiddag.



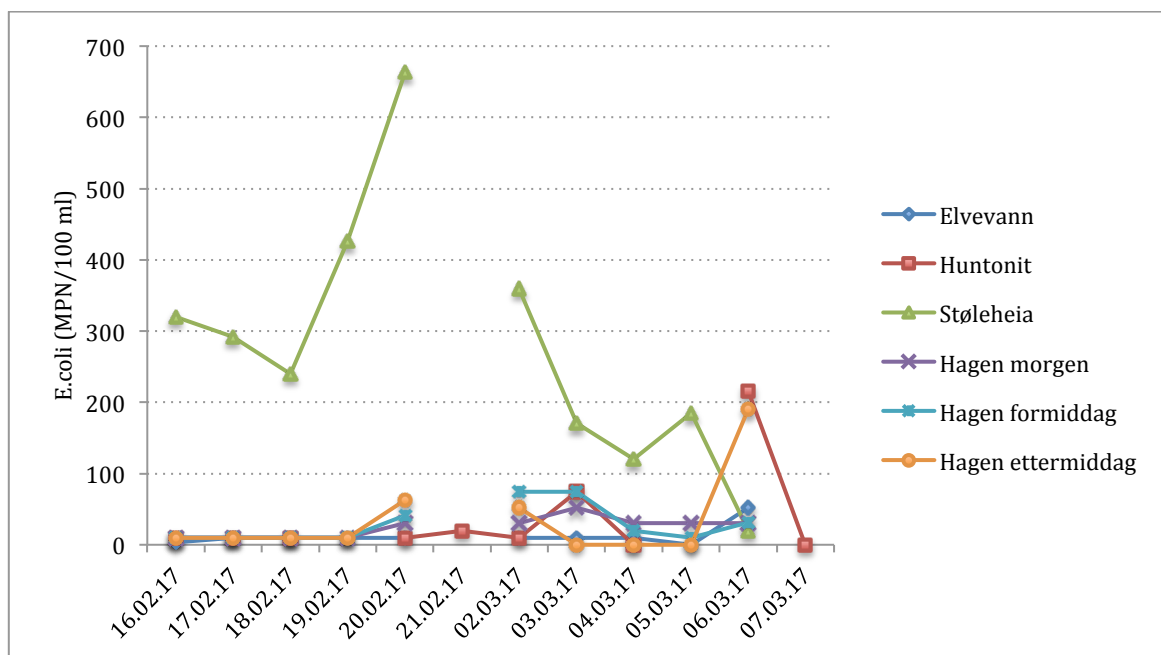
Figur 3.15: Antall prøver i hver tilstandsklasse, for termotolerante koliforme bakterier, fra fire prøvepunkt fra Otraledningen. Tilstandsklassene er: meget god, god, mindre god, dårlig og meget dårlig.

Ingen verdier var meget dårlige, i Figur 3.15. Støleheia kom dårligst ut med flest mindre gode og dårlige verdier. Rådataene i Vedlegg E viser at alle de dårlige verdier tilhørte første prøveperiode. Hagen hadde også en del høye verdier. Det var flest gode og mindre gode verdier. Også for Hagen var verdiene høyere i første prøveperiode, med flere dårlige og mindre gode resultater.

Det var minst TKB i prøvene fra Huntonit og elvevannet. Fra Huntonit var halvparten av verdiene meget gode. I andre prøveperiode var det kun meget gode og gode verdier. For elvevannet var åtte av verdiene meget gode. De to gode verdiene var i andre prøveperiode.

Samlet var det altså var det totalt mye mindre TKB i utslippet fra andre prøveperiode. Verdiene var høyest fra Støleheia og lavest fra elvevannet.

For *E.coli* lå flertallet av verdiene under 100 MPN/100 ml. Resultatet er vist i Figur 3.16 og rådata er i Vedlegg E.



Figur 3.16: *E.coli* i Otraledningen målt over to prøveperioder: 16-20.02.17 og 02-06.03.17. På søndag (19.02.17 og 05.03.17) var det intet utslipp fra Huntonit. For å få likt antall prøver fra alle prøvepunktene, ble det hentet en prøve fra Huntonit på tirsdag (21.02.17 og 07.03.17).

Støleheia hadde mest *E.coli*, for begge prøveperiodene. I første prøveperiode var alle verdiene fra Støleheia over 200 MPN/100 ml, mens øvrige prøver var under 100 MPN/100 ml.

Målingene fra Støleheia gikk generelt ned i andre prøveperiode. Resultatet fra de andre prøvepunktene gikk generelt opp i andre prøveperiode, med særlig økning på 06.03.17.

3.3.2 Antall bakterier

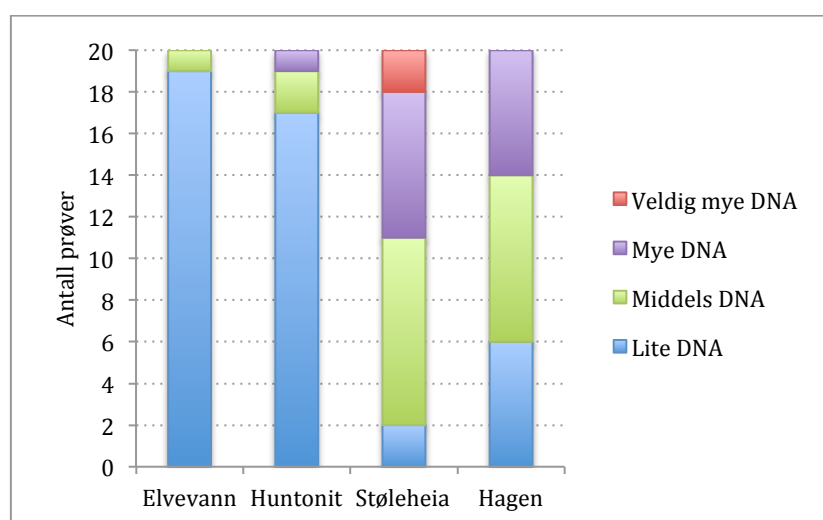
Det ble gjort en qPCR for å undersøke antall bakterier fra prøvepunktene. Kun Cp-verdiene ble brukt til resultatet. Totalt 90 filter ble brukt til denne analysen. Det ble brukt 50 filter fra SS, hvor ingen av Hagen formiddag prøvene ble tatt med (se 2.3.8 Tarmbakterier). Fra andre filtreringen ble det tatt med 40 filter. Det ble regnet et gjennomsnitt for SS-filtrene fra Hagen morgen og ettermiddag. Dermed ble det totalt 80 Cp-verdier til analysering, med 20 fra hvert prøvepunkt.

Resultatene ble gruppert etter Cp-verdiene fra reaksjonen, i nivåer fra lite til veldig mye DNA (Tabell 3.1). Inndelingen er selvlaget.

Tabell 3.1: Inndeling av mengden DNA basert på Cp-verdier.

	Lite DNA	Middels DNA	Mye DNA	Veldig mye DNA
Cp-verdi	30-35	25-30	20-25	Under 20

Tabell 3.1 viser at høye Cp-verdier betyr lite DNA, altså lite bakterier. Lave Cp-verdier betyr mye DNA, altså mye bakterier. Både DNA fra levende og døde bakterier ble registrert. Tabell 3.1 ble brukt til analysering av resultatene. Antall prøver, fra hver prøvepunkt, med lite, middels, mye eller veldig mye DNA er vist i Figur 3.17.



Figur 3.17: Mengde DNA i prøvene fra fire prøvepunkter fra Otraledningen.

Fra Støleheia var det klart flest bakterier, selv om det var varierende resultater (Figur 3.17). Omtrent halvparten av prøvene hadde mye eller veldig mye DNA. Dette var det eneste prøvepunktet med veldig mye DNA i prøvene. Likevel var det også flere prøver med middels og lite DNA fra Støleheia.

Hagen hadde flest prøver med middels mengde DNA. Øvrige prøver hadde lite eller mye DNA, med like mange i hver gruppe. De fleste prøvene fra Huntonit hadde lite DNA totalt. Huntonit hadde to prøver med middels og én med høy mengde DNA. Det var tydelig at elvevannet hadde minst DNA. Foruten én prøve med middels DNA, hadde resten av prøvene fra elvevannet lite DNA.

Mengden DNA samsvarer med antallet bakterier i prøvene. Rangering av prøvepunkter, med høyest til lavest mengde bakterier, blir da slik: Støleheia, Hagen, Huntonit og elvevann.

3.4 Gjennomsnittsverdier og standardavvik

For å vurdere variasjonen i resultatene er gjennomsnittsverdier, standardavvik og CV-verdier vist i Vedlegg G. Tallene vil ikke videre kommenteres i diskusjonen, men er vedlagt for å vise variasjon og usikkerhet tilknyttet til målingene.

For tungmetaller og tarmbakterier var det enkelte ganger verdiene var over/under en deteksjonsgrense. Da ble verdiene satt lik grenseverdien, når gjennomsnittet ble regnet ut. Hvilke verdier dette gjelder er vist i Vedlegg C for tungmetaller og Vedlegg E for tarmbakterier.

Gjennomsnittlig vannmengden er oppgitt i tre tabeller i Vedlegg G. En tabell er basert på total vannmengde, altså alle verdiene. Her vil det være stor variasjon i verdiene fra elvevannet og Hagen. Det skyldes at ledningen ble pluggkjørt (21.02.17) mellom prøveperiodene, og medførte en stor økning i vannmengden i andre prøveperioden. Derfor er det også laget en tabell for verdiene for vannmengde før pluggkjøring (16.02.17 til 20.02.17) og etter pluggkjøring (02.03.17 til 06.03.17).

4. Diskusjon

4.1 Prøveoppsett

Oppgaven er basert på øyeblikksprøver over to prøveperioder på totalt ti dager. Det gir usikkerhet til resultatene på flere måter fordi prøvene: Ble tatt over få dager, kun er fra februar/mars og gir bare en øyeblikksverdi. Likevel kan resultatet belyse status og utviklingen av utslippet fra Otraledningen. Kommunen bruker ofte øyeblikksmålinger til egne målinger. Selv om det gir usikkerhet i målingene, gjør det likevel verdiene i denne oppgaven mer sammenlignbare med kommunale rapporter.

Værforhold og årstider kan påvirke utslippet til Otraledningen. Dette er det ikke tatt hensyn til i denne oppgaven. Det er en svakhet med tanke på å forklare bakgrunnen for verdiene i resultatene.

4.2 Sammenligning med årsrapporter

For å vurdere metoden er gjennomsnitt av resultatene sammenlignet med gjennomsnitt fra Årsrapport 2015 og 2016 til Huntonit og Støleheia. Kun parametre som er oppgitt i årsrapportene, og som er målt i denne oppgaven, vil sammenlignes. Resultatet er vist i Tabell 4.1 og Tabell 4.2.

Tabell 4.1: Sammenligning av resultatene (februar/mars 2017) med verdier fra årsrapporter fra Huntonit (2015 og 2016). Alle verdier er gjennomsnitt (Huntonit 2016; Huntonit 2017).

HUNTONIT	Feb/Mars 2017	2016	2015
KOF (tonn/døgn)	6,02	5,78	5,41
SS (tonn/døgn)	0,28	0,19	0,07
Tot-P (mg/l)	4,09	6,1	7,5

Tabell 4.2: Sammenligning av resultatene (februar/mars 2017) med verdier fra årsrapporter fra Støleheia Avfallsanlegg (2015 og 2016). Alle verdier er gjennomsnitt (Barland 2016; Barland 2017).

STØLEHEIA	Feb/mars 2017	2016	2015
Tot-P (mg/l)	1,3	1,3	1,3
KOF (mg O ₂ /l)	244,4	235	240
Konduktivitet (µS/cm)	2182,9	1900	1560
pH	7,5	7,7	7,5
SS (mg/l)	30,0	45	36
As (µg/l)	4,9	5,6	6
Zn (µg/l)	130,2	60	71
Ni (µg/l)	11,4	12,7	10
Pb (µg/l)	4,5	3	3,4
Cd (µg/l)	0,08	0,1	0,1
Cr (µg/l)	18,8	21	20
Cu (µg/l)	40,2	14	14
Hg (µg/l)	0,04	0,02*	0,02

**Verdien var <0,02, men er satt lik deteksjonsgrensa.*

Tall fra Huntonit er hentet fra årsrapporter i Excel og er beregnet som et gjennomsnitt fra gjennomsnittene i uke 1-26 og 27-53 for KOF og SS. Gjennomsnittet fra Tot-P er basert på gjennomsnittene fra kvartal 1-4. For Støleheia er alle tallene hentet direkte fra årsrapportene. Resultatet fra sammenligningen med årsrapportene er vist i Tabell 4.3.

Tabell 4.3: P-verdier fra t-test, tosidig type 2. Gjennomsnitt av resultatene ble sammenlignet med årsrapporter fra Huntonit og Støleheia fra 2015 og 2016. $\alpha = 0,05$

p-verdi	Feb/mars 2017
Huntonit årsrapport 2015	0,77
Huntonit årsrapport 2016	0,84
Støleheia årsrapport 2015	0,79
Støleheia årsrapport 2016	0,90

Tabell 4.3 viser at alle testene fikk en p-verdi over 0,05. Det var dermed ingen signifikant forskjell mellom gjennomsnittet av: De utvalgte parametrene i denne oppgaven og

årsrapportene til Huntonit og Støleheia fra 2015 og 2016. Resultatet styrker troverdigheten til metodeoppsettet for denne oppgaven.

4.3 Vannmengde

Vannmengden var tydelig høyere i andre prøveperiode, for elvevannet og Hagen (Figur 3.1). Dette skyldes pluggkjøring i Otraledningen mellom prøveperiodene 21. februar.

Vannmengden i Otraledningen har endret seg fra ledningen ble ferdig i 1995 (Oug & Håvardstun 2012) og frem til i dag. Da Hunsfos Fabrikker drev produksjon, var utslippet fra ledningen større. Etter mange år med produksjon ble volumet i Otraledningen lavere, ettersom det ble liggende rester igjen som tettet ledningen (Tybakken 2016). Trolig var dette slamrester fra Hunsfos Fabrikker, som gjorde vannstrømmen mindre.

Luft i ledningen kan også gjøre vannstrømmen mindre (Fredvik 2017). Ledningen kan også flyte opp, om det er luft i ledningen. Små luftlommer i ledningen er dermed også problematisk.

For å få ut rester av sedimentert slam og fjerne luftlommer, er pluggkjøring enkelt og effektivt (Halvorsen 2012; Vann og Rørservice AS 2015). Ved å fjerne slam og luft øker vannmengden igjen.

Eksakt årsak til den tidligere reduserte vannmengden i Otraledningen er uklar (Fredvik 2017). Trolig kan dette være en kombinasjon av både slamrester og luftlommer. Otraledningen ble pluggkjørt 21. februar, mellom prøveperiodene. Vannstrømmen økte, og pluggkjøringen fungerte derfor godt. Vannmengden fra elvevannet og Hagen økte dermed i andre prøveperioden.

Huntonit og Støleheia har egne ledninger som fører vannet inn til Otraledningen. Pluggkjøringen påvirket derfor ikke vannmengden fra bedriftene.

4.4 Utslippet fra prøvepunktene

Verdiene fra prøvepunktene er oppsummert og diskutert i delkapitlene under. Hovedfokuset er bakgrunnen for utslippene fra Huntonit og Støleheia og det endelige utslippet fra Hagen, men verdiene fra ellevannet er også kort oppsummert.

4.4.1 Ellevann: Referansepunktet

Ellevannet ble brukt som referansepunkt for målingene. Dette var for å se om forurensningen kommer fra Huntonit og Støleheia alene, eller om elva også var forurenset.

Ellevannet hadde stort sett lave verdier for: Fosfor, KOF, konduktivitet, SS, de fleste tungmetaller, tarmbakterier, antall bakterier (Figur 3.2, Figur 3.3, Figur 3.5, Figur 3.7, Figur 3.12, Figur 3.13, Figur 3.14, Figur 3.16, Figur 3.17). pH-verdiene varierte rundt pH 6 (Figur 3.6). Sink hadde høyest verdier av tungmetallene, etterfulgt av kobber (Figur 3.1).

I perioden 2010-2014 ble tungmetallene fra Otra målt (Hindar et al. 2017). Kobber og sink hadde høyest verdier, som var tilfelle i denne oppgaven også.

4.4.2 Huntonit og Støleheia: Forurensningsbidraget

Vannmengde

Støleheia hadde en gjennomsnittlig høyere vannmengde enn Huntonit (Vedlegg G). Vannmengden fra Huntonit var en øyeblikksmåling. Støleheias vannmengde var et gjennomsnitt av tre øyeblikksmålinger, i løpet av dagen. Dermed var vannmålingene fra Huntonit ikke like representative som for Støleheia. Dette gir usikkerhet til sammenligningen av vannmengden, og dermed forurensningsbidraget.

Det er viktig å skille på konsentrasjon og mengde på utslippene fra bedriftene. I denne oppgaven er hovedfokuset på totalutslippet. Det er likevel valgt å inkludere en oversikt over totalt utslipp fra bedriftene de to siste årene. Disse er basert på årsrapporter fra 2015 og 2016 (Barland 2016; Barland 2017; Huntonit 2017; Håland 2016) Oversikt over utslippet er vist i Tabell 4.4.

Tabell 4.4: Totalt utslipp fra Huntonit og Støleheia Avfallsanlegg i 2015 og 2016 (Barland 2016; Barland 2017; Huntonit 2017; Håland 2016).

Vannmengde (m ³)	2015	2016
Huntonit	248.014	248.369*
Støleheia Avfallsanlegg	338.363	243.751

**Verdien er basert på totalt hittil i år, fra årsrapport 2016 Excel.*

Tallet kan dermed endres når rapport for Årsrapport helse, miljø og sikkerhet 2016 utgis.

I 2015 var utslippet fra Støleheia en del mer enn utslippet fra Huntonit. I 2016 var imidlertid utslippet veldig likt. Ettersom påslippene til Otraledningen varierer fra år til år, er det vanskelig å sammenligne dem. Total vannmengde er likevel stor fra både Huntonit og Støleheia.

Fosfor

Huntonit hadde størst utslipp av fosfor (Figur 3.2). Støleheia hadde lavere verdier av fosfor.

Fosfor er et viktig næringsstoff og finnes i både mennesker, dyr og planter (Kofstad & Pedersen 2015). Hvis det er for mye fosfor (eller nitrogen) i vann, kan det bidra til eutrofiering (Ødegaard et al. 2014). Fosforrensing er derfor en viktig del av renseprosessen av avløpsvann.

I trær finnes fosfor blant annet i stökkens sevjelag (Hindar et al. 2012). Huntonit produserer trefiberplater, og rester av en del fosfor fra renseprosessen er dermed ikke uventet.

Kjemisk oksygenforbruk

Det kjemiske oksygenforbruket (KOF) var spesielt høyt for Huntonit (Figur 3.3). Verdiene fra Støleheia var mye lavere.

I treforedlingsbransjen er utslipp av organisk stoff et av de største miljøproblemene (Hindar et al. 2012). For mye organisk stoff i vannet kan påvirke oksygenforholdene. Det kan føre til at organismesamfunnet i vannet endres, og det blir en dårlig økologisk tilstand.

Lenge har det vært utfordringer med høye KOF-utslippet fra Huntonit (Oug & Håvardstun 2012). Derfor har Huntonit egne utslippstillatelser til KOF (Tabell 1.1). Figur 3.4 viser at

noen av verdiene ligger over utslippsgrensa. Hvor mye KOF som slippes ut avhenger av hva som produseres, og utslippet kan derfor variere (Lund 2017). Utslippsgrensa i Tabell 1.1 er en månedsmiddel, og derfor sammenlignbart med gjennomsnittet for målingene. Gjennomsnitt for målingene er godt under utslippsgrensa (Figur 3.4). Huntonit har krav om å prøve å redusere KOF-utslippene og oppdatere om tilstanden (Fylkesmannen i Vest-Agder 2015).

Konduktivitet

Støleheia hadde veldig høye konduktivetsmålinger, opp mot 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figur 3.5).

Målingene fra Huntonit var også høye, men var likevel alltid lavere enn Støleheia.

Høy konduktivitet betyr at det er mange oppløste ioner i vannet (Norsk Standard NS-ISO 7888 1993). Dette kan ha sammenheng med forurensning eller sjøvannsblanding og kan medføre korrosjon på ledningsnettet (Ødegaard et al. 2014). Typisk konduktivitet i sjøvann/saltvann er 35000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Et avfallsanlegg får avfall fra diverse kilder (Avfall Sør). Underveis i renseprosessen vil løselige stoffer i avfallet danne oppløste ioner. Det er dermed ikke uventet at Støleheia hadde et høyt konduktivetsnivå. De høye målingene er ikke skadelige på sjøvannet direkte, men er en indikasjon på at vannet kan inneholde forurensede stoffer.

Huntonit bruker aluminiumsulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) som fellingsmiddel i prosessen (Hindar et al. 2010; Ødegaard et al. 2014). Oppløst i vann vil det danne ioner som kan være årsak til høye konduktivetsmålinger fra Huntonit.

pH

Huntonit hadde lavest pH-målinger, hvor de fleste lå under pH 4 (Figur 3.6). Støleheia hadde stabile pH-verdier rundt 7,5.

Under renseprosessen til Huntonit brukes det aluminiumsulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) i fellingsprosessen (Hindar et al. 2010). Når aluminiumsulfat reagerer med vann, dannes det $\text{Al}(\text{OH})_3$. Dette er surt og senker derfor pH-verdien i vannet. For lav pH kan bidra til korrosjon på ledningsnettet (Ødegaard et al. 2014).

Suspendert stoff

Det var klart mest suspendert stoff (SS) fra Huntonit, med høyeste verdi nær 900 mg SS/l (Figur 3.7). Verdiene av SS fra Støleheia lå langt under dette.

Suspendert stoff er et mål på partikkelinnholdet i vannet (Ødegaard et al. 2014). For mye partikler kan blant annet: Gjøre vannet grumsete, forbruke oksygenet i vannet og gi slamavsetning i ledningsnett.

Fra treforedlingsbransjen er det vanlig med utslipp av trefiber (Hindar et al. 2012). Mye trefiber gir høye SS-målinger. Huntonit har lenge hatt store utslipp av suspendert stoff fra produksjonen av trefiberplater (Oug & Håvardstun 2012). Det er gitt utslippstillatelser til SS fra Huntonit, som er vist i Tabell 1.1 (Sorteberg & Bjertnæs 2010). Figur 3.8 viser at Huntonit har flere målinger over utslippsgrensa. Gjennomsnitt ligger litt over utslippsgrensa. Huntonit jobber med å utbedre noen rør som er underdimensjonert (Lund 2017). Dette kan gi reduksjon i SS-utslippet.

Tungmetaller

Alle prøvene fra Huntonit viste svært dårlige verdier for sink og kobber (Figur 3.10). Flertallet av kadmium-verdiene var svært dårlige. Det var kun moderate verdier for bly og krom. Omtrent alle arsen-verdiene var moderate. De fleste verdiene av nikkel og kvikksølv var gode.

Fra Støleheia var også alle prøvene for sink og kobber svært dårlige (Figur 3.9). Alle prøvene fra arsen, nikkel, bly og krom var moderate. Kadmium hadde kun gode verdier. Nesten alle verdiene fra kvikksølv var også gode.

Av tungmetallene i denne oppgaven har følgende ingen biologisk funksjon: kadmium, bly og kvikksølv (Amundsen et al. 2001). Arsen er ikke essensielt for biologiske systemer. Sink og kobber er essensielle mikronæringsstoffer (Amundsen 2008). Nikkel og krom har en viss betydning i biologiske prosesser. Ved for høye konsentrasjoner er imidlertid alle metaller skadelige.

Metaller har ulike kilder i vann og det kan skilles mellom metaller som: Forekommer naturlig i vann, utløses som følge av korrosjon i ledninger og kommer fra forurensede utslipp (Ødegaard et al. 2014). Naturlig vann skal ikke inneholde mye tungmetaller, dersom det ikke er forurenset. Høye metallkonsentrasjoner i vannet kan skade økologien i resipienter.

Norsk vann er vanligvis surt og kalkfattig (Folkehelseinstituttet 2015b). Det gjør at metaller i ledningsnettets korroderer og løses ut i vannet. Sink og kobber er metaller som ofte korroderer i rør (Ødegaard et al. 2014). Dette er metaller som er mindre giftige enn andre tungmetaller. Ofte finnes de i høye konsentrasjoner i naturlig vann, drikkevann og avløpsvann. Kadmium, krom, bly, og kvikksølv er alle giftige tungmetaller som kan komme fra industrien.

Undersøkelser fra sulfatfabrikker i Sverige viste at treforedlingsindustrien hadde høyt utslipp av tungmetaller (Sved 1991). Dette gjaldt eksempelvis for kadmium, bly, kobber og sink. De store kadmium-utslippene vekket mest oppsikt i undersøkelsene, ettersom kadmium er svært giftig. Kilden til metallene er tømmerstokken. I behandlingen av tømmeret vil metallene frigjøres og ende i avløpsvannet. Det var høye verdier fra sink, kadmium og kobber fra Huntonit. Resultatene ligner dermed funnet i de svenske undersøkelsene. Huntonit hadde lave pH-verdier (Figur 3.6). Det gjør vannet surt og korroderende (Ødegaard et al. 2014). Korrosjon også bidra til høye konsentrasjoner av metaller i vannet.

Støleheia Avfallsanlegg mottar avfall fra diverse kilder (Avfall Sør). Metaller er en av avfallskildene til anlegget. Messing er en legering av blant annet kobber og sink, som brukes i mange gjenstander (Store norske leksikon 2009). Høye verdier av metaller, spesielt sink og kobber, fra et avfallsanlegg er dermed å forvente. I renseprosessen blir det meste av metallene værende i slammet (Multiconsult 2016).

Vannforskriften har grenseverdier for utslipp av tungmetaller i vann (Miljødirektoratet 2016a). Mattilsynet kan innføre kostholdsråd dersom det er for høye verdier av tungmetaller i vann (Miljødirektoratet 2013). I vannforskriften er miljømålet at hver vannforekomst skal ha en god økologisk og kjemisk tilstand. Miljømålet skal sikre ”en mest mulig helhetlig beskyttelse og bærekraftig bruk av vannforekomstene” (Miljødirektoratet 2013). Der miljømålet ikke er nådd, skal tiltak gjøres for å oppnå det. Noen unntak fra miljømålet kan forekomme.

Tarmbakterier

Støleheia hadde det største utslippet av følgende tarmbakterier: Koliforme bakterier (KB), termotolerante koliforme bakterier (TKB) og *E.coli* (Figur 3.13, Figur 3.14 og Figur 3.16). Huntonit hadde mye lavere verdier av tarmbakterier, selv om mengden av KB var ganske høy i noen prøver.

Tarmbakterier kan være en indikator på sykdomsfremkallende mikroorganismer eller andre forurensninger (Baalsrud 1994). KB, TKB og *E.coli* er brukt som indikatorbakterier for fekal forurensning (Paruch & Mæhlum 2011). Figur 1.7 viser sammenhengen mellom disse indikatorbakteriene. KB er den største gruppa og kalles miljøbakterier. TKB er en undergruppe av KB, og *E.coli* er en undergruppe av TKB. Resultatene fra denne oppgaven viste at total mengde var størst for TKB og minst for *E.coli*. Dette stemmer overens med størrelsen på gruppene.

I sjøvann vil tarmbakteriene ikke overleve lenge (Baalsrud 1994). Finner man tarmbakterier i sjøen tyder dette dermed på et ferskt utslipp. Målinger av bakterieantall har imidlertid stor usikkerhet. Det er også store forskjeller mellom resultater fra måling av tarmbakterier.

Støleheia har et komposteringsanlegg som inneholder: Bioavfall, avvannet septik og avløpsslam fra renseanlegg (Avfall Sør). Dette omdannes til kompost som brukes til gjødsel (Iversen 2017). Komposteringsanlegget slipper ut spillvann som inneholder mye bakterier. At Støleheia hadde høyest bakterieverdier var dermed som forventet.

Treforedlingsindustrien kan ha høye verdier av KB og TKB i utslippet (Ormerud 1988). Årsaken er trolig bakterien *Klebsiella*. *Klebsiella* er en koliform bakterie som finnes i avføring i små mengder. Noen *Klebsiella* bakterier er også termotolerante. De finnes også i naturen og trives blant annet godt på trær. I avløpsvann fra treforedling er det funnet mye *Klebsiella*. Resultatene i denne oppgaven hadde høye verdier av KB og TKB, som stemmer med rapporten av Ormerud (1988). Noen av prøvene fra Huntonit hadde veldig høye verdier av KB, og noen høye verdier av TKB (Figur 3.13, Figur 3.14). Ettersom det var stort sett lave verdier av *E.coli* i Figur 3.16, kan det antas at de høye verdiene skyldes *Klebsiella*, og ikke et fekalt utslipp.

TKB har grenseverdier i sjøvann, som er vist i Tabell D.1 i Vedlegg D (Molvær 1997). Grenseverdiene er gruppert inn i tilstandsklasser fra meget dårlig til meget dårlig tilstand. Resultatene er gruppert inn i antall prøver i hver tilstandsklasse, ved hvert prøvepunkt i Figur 3.15. Figuren viser enda tydeligere at Støleheia har mest utslipp av bakterier. De fleste prøvene fra Støleheia er i tilstandsklassene dårlig og mindre god. Det er viktig å bemerke at tarmbakteriene ikke vil overleve lenge i sjøvann (Baalsrud 1994). Så selv om det er høye verdier av tarmbakterier i selve utslippet, vil mengden tarmbakterier i sjøvann raskt avta.

Antall bakterier

Totalt antall bakterier var klart størst fra Støleheia (Figur 3.17). Fra Huntonit hadde flertallet av prøvene lite DNA. Ettersom det ble analysert for DNA fra bakterier, betyr mye DNA at det er høy forekomst av bakterier i prøvene. Analysen skiller ikke på bakterietyper, ettersom genet undersøkt (16S rRNA) finnes i alle bakterier. Om det er farlige/ufarlige bakterier vises dermed ikke.

Bakterier finnes overalt på jorda, og i store mengder (Tønjum 2016). En teskje jord kan inneholde flere millioner bakterier. Det er mange forskjellige arter, men kun et fåtall av artene er sykdomsfremkallende. De fleste bakteriene er ufarlige og er viktig i ulike biologiske prosesser. I mange tilfeller er det et gjensidig nytteforhold mellom bakterier og verten de lever på. Uten bakterier ville livet på jorda vært ubeboelig. Bakterier bryter ned organisk materiale og andre organismer er avhengig av dette, for å oppta næring og overleve.

Gruppering av resultatene var basert på en egen inndeling (Tabell 3.1). Denne ble laget for å antyde mengden DNA, og ikke for å vise eksakte verdier. Resultatene kan dermed sammenlignes mellom prøvepunktene, for å se hvilke steder som har høyere/lavere verdier av bakterie-DNA.

Støleheia hadde høyest DNA-verdier, og dermed høyest bakterieantall, av de fire prøvepunktene (Figur 3.17). Dette var også tilfelle for tarmbakterier. Ettersom det er et avfallsanlegg, kommer det inn mange ulike bakterier, fra blant annet kompostering (Avfall Sør). Resultatet var dermed som forventet.

Huntonit hadde flest verdier med lite DNA (Figur 3.17). De produserer trefiberplater og har trolig ikke mye bakterier generelt fra dette avfallet, foruten *Klebsiella* (Ormerud 1988). Det var dermed ikke uventet med lave mengder DNA, og dermed bakterier, fra Huntonit.

4.4.3 Hagen: Det samlede utslippet til Kristiansandsfjorden

Prøvepunktet ved Hagen luftekum er etter at bedriftene har sluppet på det rensede prosessvannet (Figur 2.1). Selv om bedriftene selv har høye verdier, er det mye lavere verdier ved Hagen. Det skyldes at utslippet fra bedriftene er blandet med stor mengde elvevann. Verdiene fra Hagen representerer det samlede utslippet til Kristiansandsfjorden.

Fra Hagen var det lave verdier generelt for: fosfor, konduktivitet, SS og E.coli (Figur 3.2, Figur 3.5, Figur 3.7, Figur 3.16). For både KOF og SS var det en del variasjoner i utslippet på morgen, formiddag og ettermiddag (Figur 3.3, Figur 3.7). pH-verdiene varierte rundt pH 6 (Figur 3.6).

Det er ingen direkte utslippstillatelser for utslippet fra Otraledningen (Jacobsen 2017). Odderøya renseanlegg/Ingeniørvesenet har ansvaret for å drifte ledningen. Fylkesmannen har gitt utslippstillatelser til blant annet KOF, for utslippet fra de kommunale renseanleggene (Egeland & Berget 2013). Renseanleggene driftes av Ingeniørvesenet. Det kan dermed være interessant å sammenligne utslippstillatelsen for Odderøya Renseanlegg med resultatet i denne oppgaven.

Utslippstillatelsen fra Fylkesmannen har en KOF-grense på 125 mg/l for utslipp fra Odderøya Renseanlegg (Egeland & Berget 2013). KOF-verdiene fra Hagen varierte mye, men lå stort sett over denne grenseverdien (Figur 3.3). Både utslippet fra renseanleggene og Otraledningen går i Kristiansandsfjorden. Otraledningen bidrar med store mengder vann i fjorden. Det kan dermed stilles spørsmål om også det burde være utslippskrav direkte til Otraledningen.

Av tungmetaller var det høyest verdier fra sink og kobber (Figur 3.11). Verdiene fra bly, kadmium og kvikksølv var moderate og gode. Arsen, nikkel og krom hadde kun gode/bakgrunn verdier. Det var flere høye utslipp av koliforme og termotolerante koliforme bakterier (Figur 3.13, Figur 3.14). Antallet bakterier var også relativt høyt fra Hagen (Figur 3.17).

I siste NIVA-rapporten fra 2011 ble bunnområdet rundt utslippsstedet i Østerhavn undersøkt (Oug & Håvardstun 2012). Miljøgifter og bunnforhold ble undersøkt, med fokus på miljøgifter som kunne komme fra Otraledningen. Av tungmetaller ble det funnet forhøyede verdier av kobber, kvikksølv og nikkel. Det var lave konsentrasjoner av arsen, bly, kadmium, krom og sink. Det var likevel ingen påvisbar sammenheng mellom utslippet fra Otraledningen og de høye verdiene av enkelte metaller. Til sammenligning ble det i denne oppgaven funnet høye verdier av spesielt sink og kobber fra utslippet. Kvikksølv hadde flest gode verdier, og nikkel kun gode verdier i denne oppgaven.

Vann-Nett (2017) oppgir tilstanden for mange miljøgifter, inkludert tungmetaller. Både sink og kobber ”oppnår ikke god” kjemisk tilstand. Altså er det for mye av disse metallene i Kristiansandsfjorden. Dette gjelder også for bly, kvikksølv og nikkel. Kjemisk tilstand er basert på grenseverdier for vann i vannforskriften (Miljødirektoratet 2013). Miljømålet for Østerhavn er å oppnå en god økologisk tilstand innen 2021 (Vann-Nett 2017). Kjemisk tilstand burde vært bedre, selv om miljømålet for kjemisk tilstand er udefinert. Resultatene i denne oppgaven viste at det var mye sink og kobber i utslippet fra Otraledningen til Østerhavn i Kristiansandsfjorden.

Som nevnt, vil tarmbakteriene ikke overleve lenge i sjøvannet (Baalsrud 1994). Siden verdiene er målt av utslippet og ikke ved utslippsstedet, kan man dermed regne med lavere verdier ved utslippsstedet. Sammenligningen med grenseverdiene ble gjort for å antyde hva som var høye/lave verdier av tarmbakterier i utslippet. Verdiene er ikke tenkt som absolutte grenseverdier siden målingene ikke er tatt fra sjøvann, som grenseverdiene gjelder for.

4.5 Miljøpåvirkning

4.5.1 Forurensningsbidraget fra Otraledningen

Utslippet fra Hagen viser hva som er forurensningsbidraget fra Otraledningen til Kristiansandsfjorden. Kilden til utslippet er fra treforedlingsindustri (Huntonit) og avfallsplass (Støleheia Avfallsplass) (Oug & Håvardstun 2012). Vannet inneholder dermed andre komponenter enn utslippet fra kommunale renseanlegg.

Det er viktig å ta i betraktning at Otraledningen er konstruert slik at utslippet ikke skal skade resipienten (Oug & Håvardstun 2012). Utslippet fortynnes hurtig og mye på utslippsstedet.

Tidligere har oksygenforhold og suspendert stoff vært undersøkt i resipienten. Undersøkelsene viste at avløpsvannet fra Otraledningen har liten påvirkning på resipienten. Det var ingen påvisbar sammenheng mellom de forhøyede verdiene av miljøgifter i sedimentene i Østerhavn og utslippet fra Otraledningen.

Østerhavn er en av flere sjøresipienter for kommunalt avløpsvann som ble overvåket i perioden 2008-2011 (Oug & Håvardstun 2012). Hovedfokuset for denne undersøkelsen var miljøgifter. Området har i dag en dårlig økologisk tilstand og god kjemisk tilstand er heller ikke nådd (Vann-Nett 2017). Miljømål er å oppnå god økologisk tilstand innen år 2021. Målet til den kjemiske tilstanden er udefinert. I Kristiansandsfjorden finnes det en god blanding mange ulike miljøgifter (Hindar et al. 2017). Dersom miljømålene for Kristiansandsfjorden skal nås innen 2021, er det aktuelt å foreta reduksjoner av utslipp der det er mulig.

NIVA har kommet med et utkast til en rapport om overvannsavrenning til Kristiansandsfjorden (Hindar et al. 2017). Denne rapporten var basert på stikkprøver, slik som resultatene i denne oppgaven også var. Det kom tydelig fram at det var mange og veldig ulike forurensningskilder til Kristiansandsfjorden. Utslippene som hadde størst påvirkning kom fra industri og avrenning fra diverse kilder, som veitrafikk og overvann fra kloakk. Store industriutslipp kom spesielt fra Glencore Nikkelverk og Elkem Carbon. Kunnskap om forurensningskilder og forurensningsbidrag er viktig for å kunne forbedre tilstanden i fjorden. Målet om å forbedre den kjemiske tilstanden er basert på slik kunnskap. Starten på et forurensningsregnskap for Østre havn ble laget. Miljøgifter, som metaller, var sammenlignet med grenseverdier (AA-EQS) i vannforskriften, og potensielt viktige kilder til miljøgiftene ble identifisert og karakterisert. I tillegg til utslipp fra industri og overvann, kom det også en del metaller fra Otra. Metallene kommer fra nedbør over hele Otra, og fraktes ned til Kristiansandsfjorden.

Utslipet fra Otraledningen ble beskrevet kort i NIVA-rapporten av Hindar et al. (2017). Det nevnes at vannmengden var ofte på 150 l/s ($560 \text{ m}^3/\text{t}$), og dermed mye mer enn det som slippes på ledningen fra bedriftene. I denne oppgaven ble det gjort målinger av vannmengden både før og etter at ledningen ble pluggkjørt (Figur 3.1). Etter pluggkjøringen var verdiene fra Hagen rundt 350 l/s ($1260 \text{ m}^3/\text{t}$) fra utslippet på Hagen (Vedlegg G). Dette viste en betraktelig bedring i vannmengden, som følge av pluggkjøringen.. Utslipet fra Otraledningen blir dermed veldig fortynnet før det slippes ut i Østerhavn.

I en rapport av COWI om Støleheia Avfallsanlegg, ble utslippet av metaller fra anlegget vurdert (Vatland 2010). Utslippet ble regnet som ubetydelig, sammenlignet med andre utslipp til Kristiansandsfjorden. Spesielt gjaldt dette utslippet fra Glencore Nikkelverk. Det var fremdeles ikke utelukket at utslippet fra Otraledningen bidrar til økt konsentrasjon av forurensende stoffer, i Østerhavn (Oug & Håvardstun 2012).

Med prinsippet om at ”alle monner drar” er selv tilsynelatende ubetydelige utslipp, som fra Otraledningen, også interessante. Mulig reduksjoner i utslippet fra Otraledningen er dermed relevant å undersøke nærmere.

4.5.2 Pluggkjøring

Ledningen ble pluggkjørt mellom prøveperiodene. Dette hadde en stor effekt på vannmengden fra ledningen (Figur 3.1). Større vannmengde i ledningen betyr at utslippet blir enda mer fortynnet.

For å se på effekten av økt vannmengde gjennom ledningen, er verdier før og etter pluggkjøring sammenlignet. Det er regnet et gjennomsnitt fra alle verdiene fra Hagen, både før og etter pluggkjøringa. I tillegg til vannmengden er KOF, SS, sink, kopper og TKB er tatt med. KOF og SS er tatt med ettersom det Huntonit slipper på mye, og har utslippsgrenser for disse (Sorteberg & Bjertnæs 2010). Det var høye verdier for sink og kopper, og disse er derfor også inkludert. TKB har grenseverdier i sjøvann, og er derfor også interessant. Resultatet er vist i Tabell 4.5.

Tabell 4.5: Gjennomsnittsverdier fra Hagen før pluggkjøring (16-20.02.17) og etter pluggkjøring (02-06.03.17). Gjennomsnittet er regnet for alle verdiene fra Hagen: morgen, formiddag og ettermiddag. G: gjennomsnitt, SD: standardavvik, CV: coefficient of variation. Høy CV-verdi betyr høy variasjon sammenlignet med andre parametre.

Gjennomsnitt fra Hagen	Før pluggkjøring		Etter pluggkjøring	
	G ± SD	CV = SD/G	G ± SD	CV = SD/G
Vannmengde (m ³ /t)	785 ± 46	0,059	1266 ± 17	0,014
KOF (mg O ₂ /l)	204 ± 114	0,56	245 ± 152	0,62
SS (mg/l)	62 ± 58	0,93	26 ± 21	0,81
Sink (µg/l)	251 ± 221	0,88	100 ± 80	0,80
Kopper (µg/l)	11 ± 10	0,85	9 ± 3	0,36
TKB (cfu/100 ml)	213 ± 209	0,98	18 ± 13	0,73

Pluggkjøringen førte til økt vannmengde, som vist i Tabell 4.5. KOF-verdiene hadde en gjennomsnittlig økning selv om det var stor variasjon i verdiene (høy CV-verdi). Det var en nedgang i verdiene fra: SS, sink, kobber og TKB. CV-verdiene fra før og etter pluggkjøring viser imidlertid stor variasjon i resultatene.

Pluggkjøringen kan ha en positiv effekt på utslippet fra Otraledningen, basert på resultatene i Tabell 4.5. Utslippet fra bedriftene er det samme, men med større mengde ellevann vil det totale utslippet til Kristiansandsfjorden bli mer fortynnet.

4.6 Fremtidig arbeid

Denne oppgaven er i stor grad basert på øyeblikksprøver i to prøveperioder om vinteren. Å undersøke det totale utslippet under mer varierende værforhold og over flere årstider er aktuelt. Da vil det tas høyde for vær og sesongvariasjoner som kan påvirke utslippene fra Huntonit og Støleheia. Om mulig hadde det vært interessant å ta timeblandeprøver, for å få et enda bedre grunnlag for vurderingen av utslippet.

Fra ellevannet var det flere dårlige verdier for sink og kobber. Mulig kilder bak disse verdiene ble ikke undersøkt i denne oppgaven, men kunne vært interessant å se nærmere på.

Utslippet fra Hagen hadde KOF-verdier over grenseverdiene til utslippet fra Odderøya Renseanlegg (Egeland & Berget 2013). Hagen hadde store variasjoner i KOF gjennom dagen.

For å kunne gi et mer sikkert gjennomsnitt, hadde det vært relevant å ta timeblandeprøver fra Hagen gjennom hele dagen. Det kunne også vært interessant å undersøke hvordan resipienten påvirkes av de høye KOF-verdiene.

Det slippes ut store mengder bakterier fra Otraledningen. Dette viste tallene fra tarmbakterier og totalt antall bakterier i denne oppgaven. Selv om bakteriene ikke overlever lenge i sjøvannet, kunne det vært interessant å ta bakterieprøver ved utslippsstedet (Baalsrud 1994). Tas det flere prøver over tid, kan det vise hvor lang tid som beregnes før bakteriene dør ut. Tidvis høye bakterietall er nyttig å vite om, med tanke på ferdsel i fjorden.

Fosfor er det eneste næringsstoffet det er analysert for i denne oppgaven. Nitrogen kunne vært inkludert. Dette ble ikke gjort av tidsmessige hensyn, for å begrense oppgaven. Å måle nitrogenmengden er likevel også interessant å gjøre, i vurderingen av mulig eutrofiering (Ødegaard et al. 2014).

Mer pluggkjøring kan ha en positiv effekt på utslippet fra Otraledningen. Etter pluggkjøringen kommer det slamrester i sjøvannet, som over tid løses opp. For en mer helhetlig vurdering av pluggkjøringen burde mulig miljøpåvirkning av slammet vurderes mer grundig.

Mange tiltak er gjort for å redusere utslippene til Kristiansandsfjorden, men fortsatt er deler av fjorden veldig forurenset (Multiconsult & Fylkesmannen i Vest-Agder 2007). For å oppnå miljømålet innen 2012 burde tilførsel av flere miljøgifter reduseres (Vann-Nett 2017). Dette gjelder for alle mulige kilder til forurensningen, inkludert Otraledningen. Tiltak som gir størst effekt med minst mulig kostnad er selvsagt foretrukket (Hindar et al. 2017). Flere tungmetaller og PAH er aktuelle å redusere.

5. Konklusjon

Å kartlegge utslippet fra Otraledningen er en sentral del av miljøarbeidet for å forbedre forholdene i Kristiansandsfjorden. Kristiansandsfjorden har lenge vært forurenset, selv om flere oppryddingstiltak er gjort: Fjerning, innkapsling og deponering av forurenset sjøbunn. Store utslippsreduksjoner er gjort fra Glencore nikkilverk og Elkem Carbon. For å oppnå miljømålet innen 2021 trengs det mer kunnskap om forurensningskilder og forurensningsbidrag. En kartlegging av utslippet fra Otraledningen er dermed en viktig del av denne prosessen.

Prøvene fra Huntonit hadde høye verdier av KOF, SS og flere tungmetaller. Gjennomsnittet for KOF lå under, mens gjennomsnittet for SS lå litt over utslippsgrensene til bedriften. Fra Støleheia var det særlig store utslipp av tungmetaller, tarmbakterier og totalt antall bakterier.

Hagen viser det samlede utslippet fra Otraledningen som går ut i Østerhavn. Verdiene fra Hagen viste høye verdier av KOF, sink, kobber og tarmbakterier. Vannprøvene ble tatt av utslippet, før det slippes ut i Kristiansandsfjorden. Når utslippet blandes med sjøvannet vil trolig tarmbakteriene ikke overleve lenge. Mest interessant er dermed de høye verdiene av KOF, sink og kobber fra Hagen. De fleste KOF-verdiene var over utslippsgrensa til Odderøya Renseanlegg. Verdiene av sink og kobber var svært dårlige fra Hagen.

Vann-nett opplyser at tilstanden er dårlig for flere miljøgifter i Østerhavn. Dette gjelder blant annet sink og kobber. Grunnet flere dårlige verdier av miljøgifter, er det en risiko for at miljømålet for 2021 ikke nås. Reduksjon av utslippet av miljøgifter bør derfor gjøres.

Av hensyn til miljøsituasjonen i Kristiansandsfjorden, vil det dermed være aktuelt å redusere utslippene av KOF, sink og kobber fra Otraledningen.

6. Referanser

- Amundsen, C. E., Paulsrud, B., Nedland, K. T., Høgåsen, H., Gjerde, B. & Mohn, H. (2001). Miljøgifter og smittestoffer i organisk avfall. Status og veien videre. *Jordforsk.*
- Amundsen, C. E. (2008). Faktaark 4: Tungmetaller i avløpsvann. *Norsk Vann.*
- Avfall Sør. *Støleheia Avfallsanlegg*. Tilgjengelig fra:
<http://www.avfallsor.no/gjenvinningsstasjoner/stoleheia-avfallsanlegg/> (lest 26.04.17).
- Avfall Sør. (2009). 2009 Årsrapport.
- Barland, K. (2016). Rapport Avfall Sør Husholdning AS. Driftsoppfølging 2015 - Støleheia avfallsanlegg. Miljøovervåking - årsrapport for 2015. *Multiconsult.*
- Barland, K. (2017). Rapport Avfall Sør Husholdning AS. Driftsoppfølging 2016 - Støleheia avfallsanlegg. Miljøovervåking - årsrapport for 2016. *Multiconsult.*
- Bergh-Christensen, L. (2013). Avfall Sør Husholdning AS. Vurdering av renseanlegg for sigevann. *COWI.*
- Boutaga, K., van Winkelhoff, A. J., Vandembroucke-Grauls, C. M. J. E. & Savelkoul, P. H. M. (2003). Comparison of Real-Time PCR and Culture for Detection of *Porphyromonas gingivalis* in Subgingival Plaque Samples. *Journal of Clinical Microbiology*, 41 (11): 4950-4954.
- Baalsrud, K. (1994). Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Grunnlagsrapport om virkninger av tarmbakterier. *Norsk institutt for vannforskning.*
- Egeland, T. & Berget, H. (2013). *Odderøya Renseanlegg - utslippstillatelse*: Fylkesmannen i Vest-Agder. Miljøvernnavdelingen.
- Egerhei, T. & Egeland, T. (2009). Tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven for Renovasjonselskapet for Kristiansandsregionen AS, RKR. *Fylkesmannen.*
- EMMC: Method 200.7. *Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry.*, Revision 4.4. EMMC Version. Cincinnati, Ohio: Environmental monitoring systems laboratory office of research and development U. S Environmental protection agency.
- EMMC: Method 200.8. *Determination of trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma - Mass Spectrometry*, Revision 5.4. EMMC Version. Cincinnati, Ohio: Environmental monitoring systems laboratory office of research and development U. S Environmental protection agency.
- Everitt, B. S. & Skrondal, A. (2010). *The Cambridge Dictionary of Statistics*, Fourth Edition. I, s. 89. United States of America, New York: Cambridge University Press.

- Folkehelseinstituttet. (2015a). *02. Smittespredning gjennom badevann*. Folkehelseinstituttet. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/nettpub/mihe/vann/02.-smittespredning-gjennom-badevan/-normergrenseverdierstandarder-> (lest 22.01.17).
- Folkehelseinstituttet. (2015b). *Korrosjon i ledningsnett*. Folkehelseinstituttet. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/ml/drikkevann/korrosjon-i-ledningsnett/> (lest 26.04.17).
- Fredvik, M. (2017). *Kristiansandsfjorden*: Personlig kommunikasjon. Ingeniørvesenet Kristiansand kommune.
- Fylkesmannen i Vest-Agder. (2013). Inspeksjonsrapport. *Miljøvernavdelingen*.
- Fylkesmannen i Vest-Agder. (2015). Huntonit AS - tilbakemelding etter inspeksjon. *Miljøvernavdelingen*.
- Fylkesmannens miljøvernavdeling. (2007). Suksesshistorier Norge rundt.
- Gram, T. (2012). *Hunfos Fabrikker*. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/Hunfos_Fabrikker (lest 05.01.17).
- Gronewold, A. D. & Wolpert, R. L. (2008). Modeling the relationship between most probable number (MPN) and colony-forming unit (CFU) estimates of fecal coliform concentration. *Water Research*, 42 (13): 3327-3334.
- Halvorsen, D. A. (2012). Konkurransgrunnlag - E03: Sjøledning Vrengesundet: asplan viak.
- Hazan, R., Que, Y.-A., Maura, D. & Rahme, L. G. (2012). A method for high throughput determination of viable bacteria cell counts in 96-well plates. *BMC Microbiology*, 12: 259-259.
- Heggstad, R. & Thorsnæs, G. (2015). *Otra*. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/Otra> (lest 03.01.17).
- Heid, C. A., Stevens, J., Livak, K. J. & Williams, P. M. (1996). Real time quantitative PCR. *Genome Res*, 6 (10): 986-94.
- Hindar, A. & Grande, M. (1987). Otra 1980-1986. Tiltaksorientert overvåking. *Norsk institutt for vannforskning*.
- Hindar, A., Grung, M., Heiaas, H. & Källqvist, T. (2010). Økotoksikologisk karakterisering av avløpsvann fra Huntonit AS i Vennesla. *Norsk institutt for vannforskning*.
- Hindar, A., Rannekleiv, S., Green, N., Norling, K. & Berge, D. (2012). Eksempelsamling - tiltaksorientert overvåking for industribedrifter. *Klima- og forurensningsdirektoratet*.
- Hindar, A., Schøyen, M., Jartun, M. & Rannekleiv, S. B. (2017). Overvannsavrenning av miljøgifter i Kristiansand by og elementer i et forurensningsregnskap for Østre Havn. *Norsk institutt for vannforskning*.

- Hjelnes COWI AS. (1995). *Støleheia Avfallsanlegg, Sigevannsbehandling, Vannforsyning, Flytskjema*: Renovasjonsselskapet for Kristiansandsfjorden.
- Huntonit. (2016). Årsrapport (2015) organiske utslipp til vann fra Huntonit AS (Excel).
- Huntonit. (2017). Årsrapport (2016) organiske utslipp til vann fra Huntonit AS (Excel).
- Håland, H. (2016). Årsrapport 2015. Helse, miljø og sikkerhet. Huntonit.
- Iversen, B. G. (2011). Tømming av slam fra sedimenteringsbasseng 01.08 - 12.08.2016. *Avfall Sør, Husholdning AS*.
- Iversen, B. G. (2017). *Støleheia renseanlegg for sigevann*: Personlig kommunikasjon på mail. Støleheia Renseanlegg.
- Jacobsen, T. (2017). *Otraledningen*: Personlig kommunikasjon på mail. Odderøya Renseanlegg.
- Kaste, Ø., Aanes, K. J. & Lindstrøm, E. A. (1994). Otra 1993 Tiltaksorientert overvåking og konsekvensundersøkelse av industripåslipp. *Norsk institutt for vannforskning*.
- Kaste, Ø., Lindstrøm, E. A., Skiple, A. & Aanes, K. J. (1997). Otra 1996. Tiltaksorientert overvåking og konsekvensundersøkelse av industripåslipp. *Norsk institutt for vannforskning*.
- Kjeldby, M. (2008). Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann: Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. *Statens forurensningstilsyn*.
- Klima- og miljødepartementet. (2004). *Forskrift om begrenning av forurensning (forurensningsforskriften)*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931> (lest 01.02.17).
- Kofstad, P. K. & Pedersen, B. (2015). *fosfor*. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fosfor>.
- Lange LCK 114. *Working procedure LCK114 COD Chemical Oxygen Demand* Tilgjengelig fra: <https://uk.hach.com/cod-cuvette-test-150-1000-mg-l-o-sub-2-sub/product-downloads?id=26370268939&callback=qs> (lest 27.02.17).
- Lange LCK 314. *Working procedure LCK314 COD Chemical Oxygen Demand* Tilgjengelig fra: <https://uk.hach.com/cod-cuvette-test-15-150-mg-l-o/product-downloads?id=26370291408&callback=qs> (lest 27.02.17).
- Lange LCK 349. *Working procedure LCK349 / LCK 349 Phosphorus total / Phosphate ortho* Tilgjengelig fra: <https://uk.hach.com/phosphate-ortho-total-cuvette-test-0-05-1-5-mg-l-po-sub-4-sub-p/product-downloads?id=26370291448> (lest 27.02.17).

- Lange LCK 350. *Working procedure LCK350 / LCK 350 Phosphorus total / Phosphate ortho*
Tilgjengelig fra: <https://uk.hach.com/phosphate-ortho-total-cuvette-test-2-0-20-0-mg-l-po-sub-4-sub-p/product-downloads?id=26370291449&callback=qs> (lest 27.02.17).
- Lund, R. (2017). *Huntonits påslipp til Otraledningen og prøvetaking*: Personlig kommunikasjon. Huntonit.
- Miljødirektoratet. (2013). Veileder 02:2013. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. *Vannportalen. Vann fra fjell til fjord*.
- Miljødirektoratet. (2016a). *Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota*.
- Miljødirektoratet. (2016b). *Miljøgifter*. Miljøstatus - Miljøinformasjon fra offentlige myndigheter. Tilgjengelig fra: <http://www.miljostatus.no/miljogifter> (lest 21.01.16).
- Miljødirektoratet. (2016c). *Tungmetaller langs kysten*. Miljøstatus - Miljøinformasjon fra offentlige myndigheter. Tilgjengelig fra: <http://www.miljostatus.no/tema/hav-og-kyst/miljogifter-langs-kysten/tungmetaller-langs-kysten/> (lest 21.01.16).
- miljostatus.no. (2017). *Kristiansand*. Miljødirektoratet.
- Molvær, J. (1981). Resipientundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Litteraturoversikt over tidligere undersøkelser. *Norsk institutt for vannforskning*.
- Molvær, J., Källqvist, S. T. & Traaen, T. S. (1989). Resipientvurderinger av Otra og Kristiansandsfjorden for utslipp fra treforedlingsindustri. *Norsk institutt for vannforskning*.
- Molvær, J. (1994). Utslipp fra treforedlingsindustri til Kristiansandsfjorden. Rapport 1 Utslippssted og fortytning. *Norsk institutt for vannforskning*.
- Molvær, J. (1997). Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. *Statens forurensningstilsyn*.
- Molvær, J. & Bjerkeng, B. (2003). Pilotprosjekt Kristiansandsfjorden - Risiko for spredning av miljøgifter ved oppankring av skip over forurensede bunnsedimenter. *Norsk institutt for vannforskning*.
- Mullis, K. B. (1990). The unusual origin of the polymerase chain reaction. *Sci Am*, 262 (4): 56-61, 64-5.
- Multiconsult & Fylkesmannen i Vest-Agder. (2007). Pilotprosjekt Kristiansandsfjorden. Opprydding i forurenset sjøbunn 2002-2007.
- Multiconsult. (2016). Tømming av slam fra sedimenteringsbasseng i august 2016 - karakterisering av slammet. *Avfall Sør Husholdning AS*.

- Norsk Standard NS 4791:1. (1990). *Vannundersøkelse: Termotolerante koliforme bakterier og presumptiv E.coli. Membranfiltermetode*: Standard Norge.
- Norsk standard NS-EN 872. (2005). *Vannundersøkelse: Bestemmelse av suspendert stoff. Metode med filtrering gjennom glassfiberfiltre*: Standard Norge.
- Norsk Standard NS-EN ISO 9308-2. (2014). *Vannundersøkelse: Påvisning og telling av Escherichia coli og koliforme bakterier. Del 2: Metode med mest sannsynlige antall (ISO 9308-2:2012)*: Standard Norge.
- Norsk Standard NS-EN ISO 10523:2012. (2012). *Vannundersøkelse: Måling av pH (ISO 10523:2008)*: Standard Norge.
- Norsk Standard NS-ISO 7888. (1993). *Vannundersøkelse: Bestemmelse av konduktivitet (= EN 27888:1993)*: Standard Norge.
- Norsk Standard NS-ISO 15705:2002. (2002). *Vannundersøkelse: Bestemmelse av indeks for kjemisk oksygenforbruk (ST-COD). Småskalametode i forseglede rør.* : Standard Norge.
- Ormerud, K. S. (1988). Forekomst av KLEBSIELLA-bakterier i norske vassdrag med og uten utslipp av avløpsvann fra treforedlingsindustri. *Norsk institutt for vannforskning*.
- Oug, E. & Håvardstun, J. (2012). Resipientovervåking i Kristiansandsfjorden. Undersøkelser i Østerhavn ved utslipp fra Otraledningen 2011. *Norsk institutt for vannforskning*.
- Paruch, A. M. & Mæhlum, T. (2011). Fekale indikatorbakterier. *Kommunalteknikk*, nr.9-2011.
- Pedersen, B. (2014). *Kjemisk oksygenforbruk*. Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/kjemisk_oksygenforbruk (lest 20.01.17).
- Pedersen, B. (2015). *pH*. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/pH> (lest 07.02.17).
- Pisarevsky, A., Polozova, I. & Hockridge, P. (2005). Chemical Oxygen Demand. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 78 (1): 101-107.
- Rose, K., Kelly, D., Kemker, C., Fitch, K. & Card, A. *Conductivity, Salinity & Total Dissolved Solids*. Fundamentals of Environmental Measurements. Tilgjengelig fra: <http://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/-cond11> (lest 24.04.17).
- Samstad, G. R., Fossnes, T. L. & Berget, H. (2008). SFT Revisjonsrapport Huntonit AS.
- Schøyen, M., Håvardstun, J., Øxnevad, S., Borgersen, G., Høgåsen, T. & Oug, E. (2013). Overvåking av miljøgifter i Kristiansandsfjorden i 2012. Undersøkelse av blåskjell, torsk, taskekrabbe, sedimenter og bløtbunnsfauna. *Norsk institutt for vannforskning*.

- Schøyen, M., Håvardstun, J., Høgåsen, T., Hjermann, D. & Øxnevad, S. (2014). Overvåking av miljøgifter i Kristiansandsfjorden i 2013. Undersøkelse av blåskjell. *Norsk institutt for vannforskning*.
- Skjævestad, V. & Schnug, L. (2016). Støleheia Avfallsanlegg - Endret tillatelse (tidspunkt for avslutning av deponi). *Fylkesmannen i Aust- og Vest-Agder. Miljøvernnavdelingen*.
- Smith, C. J. & Osborn, A. M. (2009). Advantages and limitations of quantitative PCR (Q-PCR)-based approaches in microbial ecology. *FEMS Microbiol Ecol*, 67 (1): 6-20.
- Sorteberg, S. & Bjertnæs, O. (2010). *Tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven for Huntonit AS*. forurensningsdirektoratet, K.-o.
- Store norske leksikon. (2009). *messing*. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/messing> (lest 01.05.17).
- Sved, R. (1991). *Store kadmium-utslipp fra treforedlingen*. Naturvernforbundet. Tilgjengelig fra: <https://naturvernforbundet.no/naturogmiljo/import/store-kadmium-utslipp-fra-treforedlingen-article14066-1009.html?offset5049=144> (lest 10.05.17).
- Syvvertsen, B. L. (2005). *T_test.doc*. UiO: Universitetet i Oslo, FRM1210 - Vår 2005, Undervisningsmateriale. Tilgjengelig fra: http://www.uio.no/studier/emner/matnat/farmasi/FRM1210/v05/undervisningsmateriale/T_test.doc (lest 10.05.17).
- Tybakken, S. (2016). *Vil vurdere rutineene for plugging av Otra-ledningen*. Kristiansand Kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.kristiansand.kommune.no/aktuelt/vil-vurdere-rutineene-for-plugging-av-otra-ledningen/> (lest 31.01.16).
- Tønjum, T. (2016). *bakterier*. Store medisinske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/bakterier> (lest 27.04.17).
- United States Department of the Interior. (1981). *Organic Substances in Water*. Briefing Papers on Water Quality. Geological Survey Circular 848 - C.
- Vann og Rørservice AS. (2015). *Pluggrensing*. Tilgjengelig fra: <http://www.vannogrorservice.no/index.php/tjenester/rensing/pluggrensing> (lest 24.04.17).
- Vann-Nett. (2017). *Kart: Østergapet-indre*. Tilgjengelig fra: <http://vann-nett.no/portal/Water?WaterbodyID=0130010301-2-C> (lest 21.04.17).
- Vatland, A. (2010). Støleheia avfallsanlegg - Utslipp av prioriterte stoffer - Notat. *COWI AS*.
- Vatland, A. (2011). Støleheia avfallsanlegg - utslipp til vann - årsrapport 2010. *COWI*.
- Vinje, J. E. (2007). Pilotprosjekt Kristiansandsfjorden: Multiconsult.
- Ødegaard, H. (2005). Primærrensing TA-2088/2005: Miljøverndepartementet og SFT.

Ødegaard, H., Lindholm, O., Mosevoll, G., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Østerhus, S. & Heistad, A. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. Hamar: Norsk Vann.

Aabakken, L. (2015). *Tarmbakterie*. Store medisinske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/tarmbakterie> (lest 22.01.17).

Vedlegg A – Informasjon og merknader til analyser

Omtrentlig klokkeslett for målt vannmengde og prøveuttak

Hagen 1, 2 og 3 er fra henholdsvis morgen, formiddag og ettermiddag. En strek i cella betyr at det ikke er prøver fra det aktuelle punktet på gjeldende dato. Alle prøvene fra Huntonit var døgnblandepøver. Øvrige prøver var øyeblikksprøver.

	Elvevann	Huntonit	Støleheia 1	Støleheia 2	Støleheia 3	Hagen 1	Hagen 2	Hagen 3
16.02.17	09:20	døgnprøve	08:30	12:30	15:50	07:35	12:50	16:15
17.02.17	09:00	døgnprøve	08:05	12:15	15:50	07:38	12:40	16:15
18.02.17	08:30	døgnprøve	08:00	12:20	16:10	07:35	12:40	16:40
19.02.17	08:30	døgnprøve	08:00	12:00	15:55	07:30	12:20	16:20
20.02.17	08:35	(ingen produksjon)	07:55	12:05	15:50	07:30	12:30	16:10
21.02.17	-	døgnprøve	-	-	-	-	-	-
02.03.17	08:50	døgnprøve	08:00	12:15	15:45	07:30	12:40	16:05
03.03.17	08:40	døgnprøve	08:00	12:15	15:45	07:30	12:40	16:10*
04.03.17	08:20	døgnprøve	07:50	12:10	16:10	07:20	12:30	16:30
05.03.17	08:50	døgnprøve	08:10	12:10	16:00	07:25	12:30	16:25
06.03.17	08:40	(ingen produksjon)	08:00	12:25	16:00	07:30	12:45	16:25
07.03.17	-	døgnprøve	-	-	-	-	-	-

* Måling av vannmengden ble gjort litt senere. Tidspunktet gjelder for da prøven ble tatt.

Dato for målinger av Tot-P

Hagen 1, 2 og 3 er fra henholdsvis morgen, formiddag og ettermiddag. Tomme celler betyr at prøven ble analysert på gjeldende dato. En strek i cella betyr at det ikke er prøver fra det aktuelle punktet på gjeldende dato.

	Ellevann	Huntonit	Støleheia	Hagen 1	Hagen 2	Hagen 3
16.02.17	17.02.17	17.02.17	17.02.17	17.02.17	17.02.17	17.02.17
17.02.17			20.02.17		20.02.17	20.02.17
18.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17
19.02.17	20.02.17	-	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17
20.02.17	20.02.17	20.02.17	21.02.17	20.02.17	20.02.17	21.02.17
21.02.17	-		-	-	-	-
02.03.17			03.03.17		03.03.17	03.03.17
03.03.17						
04.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17
05.03.17	06.03.17	-	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17
06.03.17			07.03.17			07.03.17
07.03.17	-		-	-	-	-

Dato for målinger av KOF

Hagen 1, 2 og 3 er fra henholdsvis morgen, formiddag og ettermiddag. Tomme celler betyr at prøven ble analysert på gjeldende dato. En strek i cella betyr at det ikke er prøver fra det aktuelle punktet på gjeldende dato.

	Ellevann	Huntonit	Støleheia	Hagen 1	Hagen 2	Hagen 3
16.02.17		17.02.17	17.02.17		17.02.17	17.02.17
17.02.17			20.02.17		20.02.17	20.02.17
18.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17
19.02.17	20.02.17	-	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17
20.02.17						
21.02.17	-		-	-	-	-
02.03.17			03.03.17		03.03.17	03.03.17
03.03.17						
04.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17
05.03.17	06.03.17	-	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17
06.03.17			07.03.17		07.03.17	
07.03.17	-		-	-	-	-

Dato for målinger av konduktivitet

Hagen 1, 2 og 3 er fra henholdsvis morgen, formiddag og ettermiddag. Tomme celler betyr at prøven ble analysert på gjeldende dato. En strek i cella betyr at det ikke er prøver fra det aktuelle punktet på gjeldende dato.

	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen 1	Hagen 2	Hagen 3
16.02.17			17.02.17			17.02.17
17.02.17						
18.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17
19.02.17	20.02.17	-	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17
20.02.17						
21.02.17	-		-	-	-	-
02.03.17			03.03.17			03.03.17
03.03.17						
04.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17
05.03.17	06.03.17	-	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17
06.03.17						
07.03.17	-		-	-	-	-

Dato for målinger av pH

Hagen 1, 2 og 3 er fra henholdsvis morgen, formiddag og ettermiddag. Tomme celler betyr at prøven ble analysert på gjeldende dato. En strek i cella betyr at det ikke er prøver fra det aktuelle punktet på gjeldende dato.

	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen 1	Hagen 2	Hagen 3
16.02.17			17.02.17			17.02.17
17.02.17						
18.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17
19.02.17	20.02.17	-	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17
20.02.17						
21.02.17	-		-	-	-	-
02.03.17			03.03.17			03.03.17
03.03.17						
04.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17
05.03.17	06.03.17	-	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17
06.03.17						
07.03.17	-		-	-	-	-

Dato for målinger av SS

Hagen 1, 2 og 3 er fra henholdsvis morgen, formiddag og ettermiddag. Tomme celler betyr at prøven ble analysert på gjeldende dato. En strek i cella betyr at det ikke er prøver fra det aktuelle punktet på gjeldende dato.

	Ellevann	Huntonit	Støleheia	Hagen 1	Hagen 2	Hagen 3
16.02.17			17.02.17	17.02.17	17.02.17	17.02.17
17.02.17						
18.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17
19.02.17	20.02.17	-	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17
20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17	20.02.17
21.02.17	-		-	-	-	-
02.03.17			03.03.17			03.03.17
03.03.17						
04.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17
05.03.17	06.03.17	-	06.03.17	06.03.17	06.03.17	06.03.17
06.03.17			07.03.17			07.03.17
07.03.17	-		-	-	-	-

Vedlegg B – Grenseverdier og tilstandsklasser til tungmetaller

Tabell B.1: Øvre grenseverdier for klassifisering av tilstand for ulike metaller, ut fra mengden i vannet (Kjeldby 2008; Miljødirektoratet 2016a)

Metaller	Klasse I: Bakgrunn	Klasse II: God	Klasse III: Moderat	Klasse IV: Dårlig	Klasse V: Svært dårlig
Arsen ($\mu\text{g As/l}$)	0,15	0,6	8,5	85	> 85
Sink ($\mu\text{g Zn/l}$)	1,5	3,4	6	60	> 60
Nikkel ($\mu\text{g Ni/l}$)	0,5	8,6	34	67	> 67
Bly ($\mu\text{g Pb/l}$)	0,02	1,3	14	57	> 57
Kadmium ($\mu\text{g Cd/l}$)	0,03	0,2	1,5*	15*	> 15*
Krom ($\mu\text{g Cr/l}$)	0,1	3,4	36	358	> 358
Kopper ($\mu\text{g Cu/l}$)	0,3	2,6	2,6	5,2	> 5,2
Kvikksølv ($\mu\text{g Hg/l}$)	0,001	0,047	0,07	0,14	> 0,14

*Verdier hentet fra Kjeldby (2008)

Vedlegg C – Rådata for mengden av metaller i prøvene

Elvevann	16.02.17	17.02.17	18.02.17	19.02.17	20.02.17	02.03.17	03.03.17	04.02.17	05.03.17	06.03.17
<i>Arsen (µg As/l)</i>	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,631	<0,5	<0,5	<0,5
<i>Sink (µg Zn/l)</i>	5,82	6,95	8,24	4,41	4,33	4,89	5,57	7,31	7,85	6,49
<i>Nikkel (µg Ni/l)</i>	<0,6	0,813	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	0,896	1,22	0,869	<0,6
<i>Bly (µg Pb/l)</i>	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
<i>Kadmium (µg Cd/l)</i>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
<i>Krom (µg Cr/l)</i>	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9
<i>Kopper (µg Cu/l)</i>	<1	1,11	3,18	2,18	1,03	2,48	2,18	3,46	3,64	3,21
<i>Kvikksølv (µg Hg/l)</i>	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,0366	<0,02	<0,02	0,0705	<0,02

Huntonit	16.02.17	17.02.17	18.02.17	20.02.17	21.02.17	02.03.17	03.03.17	04.02.17	06.03.17	07.03.17
<i>Arsen (µg As/l)</i>	1,01	0,84	<1	<1	<2	1,19	1,21	<0,5	0,583	0,93
<i>Sink (µg Zn/l)</i>	1390	1320	1360	1480	1350	1510	1780	1230	1340	1270
<i>Nikkel (µg Ni/l)</i>	7,08	11,4	9,25	9,35	7,18	8,41	9,08	8,37	6,48	8,38
<i>Bly (µg Pb/l)</i>	2,18	5,09	4,07	7,01	3,9	3,24	5,83	4,68	5,8	4,04
<i>Kadmium (µg Cd/l)</i>	16	17,7	20,5	20,1	14,5	17,7	19	16,7	12,6	15,1
<i>Krom (µg Cr/l)</i>	6,74	15,6	9,97	11,7	7,08	8,67	11,9	10,1	8,55	7,82
<i>Kopper (µg Cu/l)</i>	14,1	31,1	22	31,2	19,8	20	29,9	18,8	21,3	19,1
<i>Kvikksølv (µg Hg/l)</i>	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,0236	<0,02	<0,02	0,105	0,203	0,0447

Støleheia	16.02.17	17.02.17	18.02.17	19.02.17	20.02.17	02.03.17	03.03.17	04.02.17	05.03.17	06.03.17
<i>Arsen (µg As/l)</i>	6,46	4,29	4,44	4,5	4,88	5,21	5,58	5,22	4,56	4,23
<i>Sink (µg Zn/l)</i>	151	112	138	127	109	131	123	141	140	130
<i>Nikkel (µg Ni/l)</i>	12,3	10,8	11	10,9	11,3	11,3	11,6	12,1	11,8	11,1
<i>Bly (µg Pb/l)</i>	3,88	4,29	4,23	4,81	4,81	5,02	4,97	4,54	4,61	4,05
<i>Kadmium (µg Cd/l)</i>	0,0544	<0,05	<0,05	0,0549	0,0692	0,123	0,0941	0,0991	0,111	0,101
<i>Krom (µg Cr/l)</i>	20,7	21,1	21,3	21,2	21,1	16,5	15,8	15,9	17,3	17,5
<i>Kopper (µg Cu/l)</i>	18,8	21,8	41,6	51	27,5	36,7	36,5	65,2	64,5	38,5
<i>Kvikksølv (µg Hg/l)</i>	0,0214	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,0289	0,0272	0,0261	0,199	0,031

Hagen (gj.snitt)	16.02.17	17.02.17	18.02.17	19.02.17	20.02.17	02.03.17	03.03.17	04.02.17	05.03.17	06.03.17
<i>Arsen (µg As/l)</i>	<0,5	0,54	<0,5	<0,5	<0,5	0,56	0,53	<0,5	<0,5	<0,5
<i>Sink (µg Zn/l)</i>	46,07	434,83	448,33	202,33	125,37	221,33	86,17	81,20	56,97	52,23
<i>Nikkel (µg Ni/l)</i>	0,89	1,45	1,19	0,70	1,05	1,96	1,45	0,72	1,04	0,83
<i>Bly (µg Pb/l)</i>	1,05	2,34	2,44	2,29	1,40	1,78	0,97	0,68	0,71	0,77
<i>Kadmium (µg Cd/l)</i>	0,11	0,42	0,56	0,22	0,14	0,56	0,37	0,17	0,06	0,16
<i>Krom (µg Cr/l)</i>	0,92	1,55	2,40	1,38	1,30	1,48	1,32	<0,9	<0,9	<0,9
<i>Kopper (µg Cu/l)</i>	1,17	11,88	14,71	20,05	8,55	12,65	6,42	8,45	8,06	9,92
<i>Kvikksølv (µg Hg/l)</i>	<0,02	0,04	0,06	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,06	<0,02

Vedlegg D – Grenseverdier for TKB i sjøvann

Tabell D.1: Grenseverdier for termotolerante kolliforme bakterier (TKB) i sjøvann. Klassifisering av tilstand basert på antall TKB per 100 ml vann. Tilstanden viser forurensningsgrad av TKB. For eksempel betyr "Meget godt" at prøven er lite forurenset, mens ved "Meget dårlig" er prøven sterkt forurenset (Molvær 1997)

Klasse	Tilstandsklasse				
	I Meget god	II God	III Mindre god	IV Dårlig	V Meget dårlig
Konsentrasjon (TKB/100 ml)	<10	10-100	100-300	300-1000	>1000

Vedlegg E – Rådata for antall tarmbakterier

Koliforme bakterier (MPN/100 ml) målt over to prøveperioder. Hagen 1, 2 og 3 er fra henholdsvis morgen, formiddag og ettermiddag.

	16.02.17	17.02.17	18.02.17	19.02.17	20.02.17	21.02.17	02.03.17	03.03.17	04.03.17	05.03.17	06.03.17	07.03.17
Elvevann	15	<10	10	30	10		63	31	32	0	2050	
Huntonit	10500	17330	85		246	>24192	3500	3650	0		6130	800
Støleheia	9800	9804	9800	14136	17329		10462	5200	6870	4350	670	
Hagen 1	14140	6500	727	2359	6131		620	1137	170	640	910	
Hagen 2	14140	5500	419	1872	5172		1400	1500	2925	935	220	
Hagen 3	9200	2247	8164	8664	12033		759	200	2600	41	>24192	

Termotolerante koliforme bakterier (MPN/100 ml) målt over to prøveperioder. Hagen 1, 2 og 3 er fra henholdsvis morgen, formiddag og ettermiddag. Farekodene brukt samsvarer med tilstandsklassene for TKB i sjøvann i Tabell D.1 i Vedlegg D.

	16.02.17	17.02.17	18.02.17	19.02.17	20.02.17	21.02.17	02.03.17	03.03.17	04.03.17	05.03.17	06.03.17	07.03.17
Elvevann	<10	<10	<10	<10	<10		<10	10	<10	10	<10	
Huntonit	20	200	<10		<10	140	<10	<10	<10		10	70
Støleheia	300	410	350	440	540		270	70	130	170	110	
Hagen 1	670	390	30	<10	150		<10	20	<10	<10	30	
Hagen 2	460	100	<10	30	400		10	50	<10	10	40	
Hagen 3	330	20	10	270	320		<10	10	<10	30	<10	

***E. coli* (MPN/100 ml) målt over to prøveperioder. Hagen 1, 2 og 3 er fra henholdsvis morgen, formiddag og ettermiddag.**

	16.02.17	17.02.17	18.02.17	19.02.17	20.02.17	21.02.17	02.03.17	03.03.17	04.03.17	05.03.17	06.03.17	07.03.17
Ellevann	3	<10	<10	<10	<10		10	10	10	0	52	
Huntonit	<10	10	<10		<10	20	10	74	0		216	0
Støleheia	320	292	240	426	663		359	171	120	185	20	
Hagen 1	<10	<10	<10	<10	30		30	52	30	30	30	
Hagen 2	<10	10	<10	<10	41		74	74	20	10	31	
Hagen 3	<10	10	<10	10	63		52	0	0	0	190	

Vedlegg F – Reaksjonsoppsett og blandinger til måling av antall bakterier

Tabell F.1: Oppsett av MagMax – plater til DNA ekstraksjon

<i>Platenummer</i>	<i>Platenavn</i>	<i>Platetype</i>	<i>Innhold</i>	<i>Volum (μl)</i>
1	Prøveplate	KingFisher96	Prøveblanding	105
			Magnetiske partikler	16
			Etanol (96 %)	50
2	Vaskeplate 1	KingFisher96	BLM 1	170
3	Vaskeplate 2	KingFisher96	BLM 2	175
4	Vaskeplate 3	KingFisher96	BLM 2	175
5	Elueringsplate	KingFisher96	Elueringsbuffer	50
6	Spissplate	KingFisher96	Spissplate	

Tabell F.2: Konsentrasjoner og reaksjonsblanding til qPCR

<i>Komponent</i>	<i>Startkonsentrasjon</i>	<i>Sluttkonsentrasjon</i>	<i>Volum for én reaksjon (μl)</i>	<i>Volum tilsatt til Mastermix for 100 prøver (μl)</i>
Polymerase mix*	5x	1x	4	400
Forward primer (341F)**	10 μ M	0,2 μ M	0,4	40
Reverse primer (R806)**	10 μ M	0,2 μ M	0,4	40
Nukleasefritt vann	NA	NA	13,2	1320
Templat DNA		0,1 – 10 ng	2	-
Sluttvolum			20	1800

* Polymerase mix fra Solis BioDyne: 5x HOT FIREPol® EvaGreen® qPCR supermix

** Primere fra Yu Y, Lee C, Kim J, Hwang S: Group specific primer and probe sets to detect methanogenic communities using quantitative real-time polymerase chain reaction.

Biotechnology and bioengineering 2005, 89(6):670-679

For å amplifisere PCR produktet ble LightCycler480 II brukt med følgende program:

95 °C i 15 minutter
40x { 95 °C i 30 sekunder
55 °C i 30 sekunder
72 °C i 45 sekunder

Polymerase mixen inneholder følgende komponenter (Solid Biodyne):

- ✓ HOT FIREPol[®] DNA Polymerase
- ✓ 5x EvaGreen[®] qPCR buffer
- ✓ 12.5 mM MgCl₂ 1x PCR solution – 2.5 mM
- ✓ dNTPs blend containing dUTP/dTTP including dTTP to improve reaction sensitivity and efficiency compared to dUTP
- ✓ EvaGreen[®] dye
- ✓ Internal reference based on ROX dye
- ✓ GC-rich Enhancer
- ✓ Blue visualisation dye

Vedlegg G – Gjennomsnitt og standardavvik

Vannmengde (m ³ /t)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Totalt						
Gjennomsnitt (G)	950,29	23,29	43,76	1019,77	1030,50	1027,08
Standardavvik (S)	242,99	17,84	28,26	259,59	257,92	250,08
CV = S/G	0,26	0,77	0,65	0,25	0,25	0,24

Vannmengde (m ³ /t)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Før pluggkjøring						
Gjennomsnitt (G)	721,22	25,63	40,13	775,22	789,12	791,64
Standardavvik (S)	23,09	20,21	31,54	41,73	61,15	42,22
CV = S/G	0,03	0,79	0,79	0,05	0,08	0,05

Vannmengde (m ³ /t)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Etter pluggkjøring						
Gjennomsnitt (G)	1179,36	20,95	47,40	1264,32	1271,88	1262,52
Standardavvik (S)	33,76	16,80	27,72	19,33	16,48	18,90
CV = S/G	0,03	0,80	0,58	0,02	0,01	0,01

Tot-P (mg/l)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	0,0017	4,09	1,30	0,16	0,19	0,18
Standardavvik (S)	0,0036	2,77	0,09	0,13	0,09	0,07
CV = S/G	2,13	0,68	0,07	0,83	0,48	0,38

KOF (mg O₂/l)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	4,33	10291,00	244,40	201,43	256,64	215,68
Standardavvik (S)	3,71	1603,28	9,89	84,07	181,53	125,35
CV = S/G	0,86	0,16	0,04	0,42	0,71	0,58

Konduktivitet (µS/cm)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	16,60	1585,30	2182,90	114,51	136,03	136,73
Standardavvik (S)	2,66	198,16	226,79	52,65	62,40	67,91
CV = S/G	0,16	0,13	0,10	0,46	0,46	0,50

pH	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	6,23	3,87	7,49	5,76	6,06	6,18
Standardavvik (S)	0,43	0,30	0,13	0,60	0,55	0,55
CV = S/G	0,07	0,08	0,02	0,10	0,09	0,09

SS (mg/l)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	2,00	538,44	30,00	52,00	44,00	36,00
Standardavvik (S)	4,22	156,60	6,67	65,12	36,88	35,34
CV = S/G	2,11	0,29	0,22	1,25	0,84	0,98

Arsen (µg/l)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	0,50	1,02	4,94	0,50	0,52	0,50
Standardavvik (S)	0,04	0,41	0,70	0,03	0,06	0,02
CV = S/G	0,09	0,40	0,14	0,06	0,11	0,05

Sink (µg/l)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	6,19	1403,00	130,20	164,90	196,24	165,31
Standardavvik (S)	1,40	157,34	13,12	179,75	219,13	156,40
CV = S/G	0,23	0,11	0,10	1,09	1,12	0,95

Nikkel (µg/l)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	0,73	8,50	11,42	1,15	1,06	1,17
Standardavvik (S)	0,21	1,41	0,51	0,56	0,47	0,46
CV = S/G	0,29	0,17	0,04	0,49	0,44	0,39

Bly (µg/l)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	0,49	4,58	4,52	1,46	1,52	1,34
Standardavvik (S)	1,2E-16	1,41	0,39	1,15	0,95	0,79
CV = S/G	2,4E-16	0,31	0,09	0,79	0,62	0,59

Kadmium (µg/l)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	0,05	16,99	0,08	0,23	0,31	0,30
Standardavvik (S)	7,3E-18	2,52	0,03	0,17	0,26	0,19
CV = S/G	1,5E-16	0,15	0,35	0,74	0,85	0,63

Krom (µg/l)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	0,89	9,81	18,84	1,09	1,18	1,64
Standardavvik (S)	0,0	2,69	2,42	0,29	0,38	1,15
CV = S/G	0,0	0,27	0,13	0,27	0,32	0,70

Kopper (µg/l)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	2,34	22,73	40,21	10,79	8,88	10,89
Standardavvik (S)	1,0	5,92	16,06	8,81	6,25	6,55
CV = S/G	0,4	0,26	0,40	0,82	0,70	0,60

Kvikksølv (µg/l)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	0,03	0,05	0,04	0,02	0,02	0,06
Standardavvik (S)	0,017	0,06	0,06	0,0014	0,0018	0,05
CV = S/G	0,6	1,23	1,36	0,07	0,09	0,93

Koliforme (MPN/100 ml)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	225,10	6643,30	8842,10	3333,40	3408,30	6810,00
Standardavvik (S)	641,45	8288,91	4825,32	4443,48	4191,82	7491,24
CV = S/G	2,85	1,25	0,55	1,33	1,23	1,10

Termotolerante koliforme (cfu/100 ml)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	10,00	49,00	279,00	133,00	112,00	102,00
Standardavvik (S)	0,00	67,90	157,44	223,41	170,48	142,19
CV = S/G	0,00	1,39	0,56	1,68	1,52	1,39

E.coli (MPN/100 ml)	Elvevann	Huntonit	Støleheia	Hagen morgen	Hagen formiddag	Hagen ettermiddag
Gjennomsnitt (G)	12,50	36,00	279,60	24,20	29,00	34,50
Standardavvik (S)	14,34	66,73	180,03	13,93	26,00	58,94
CV = S/G	1,15	1,85	0,64	0,58	0,90	1,71



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway