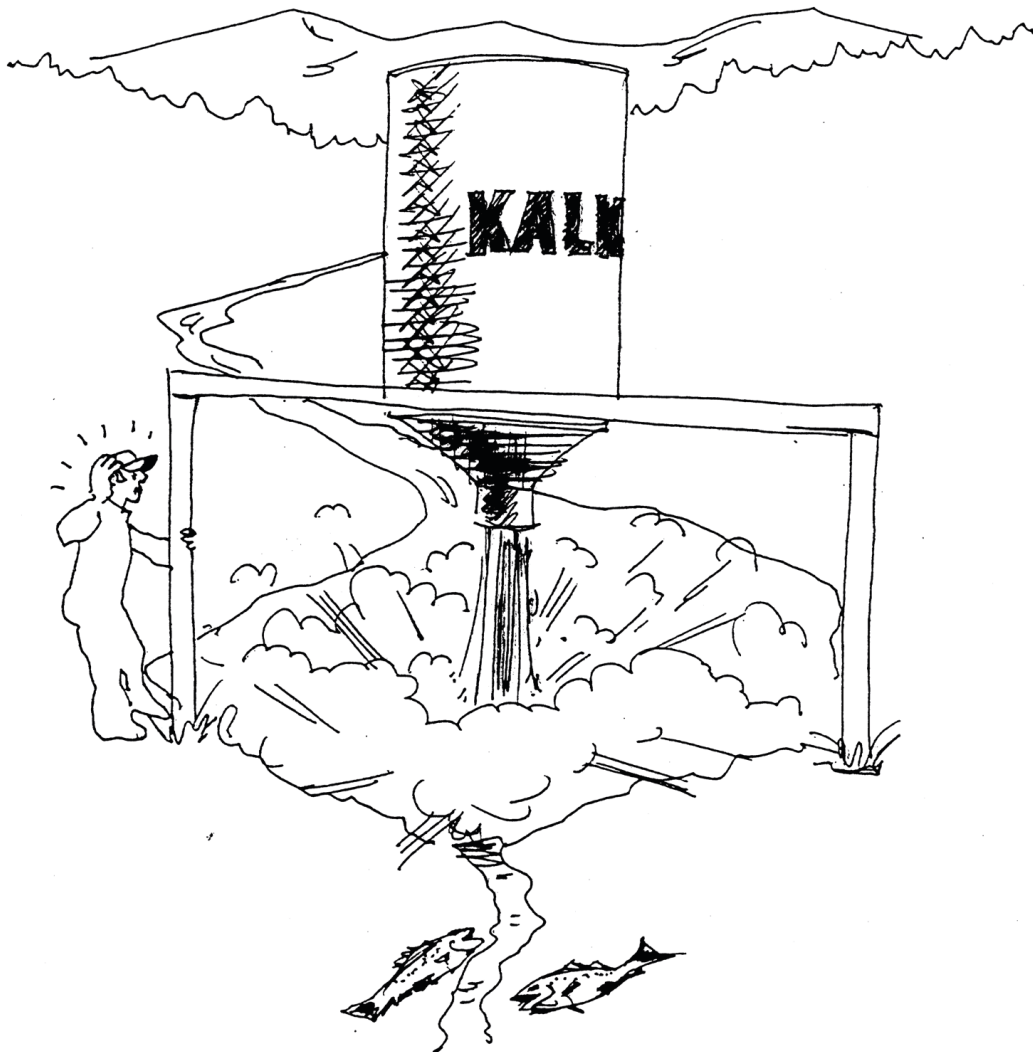


Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Arendalsvassdraget

År 2018



Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

HovedkontorGautadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00**NIVA Region Sør**Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00**NIVA Region Innlandet**Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00**NIVA Region Vest**Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00**NIVA Danmark**Njalsgade 76, 4. sal
2300 København S, Danmark
Telefon (45) 39 17 97 33Internett: www.niva.no

Tittel Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Arendalsvassdraget År 2018	Løpenummer 7395-2019	Dato 11.06.2019
Forfatter(e) Rolf Høgberget Jarle Håvardstun Liv Bente Skancke	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Aust-Agder	Sider 18

Oppdragsgiver(e) Froland kommune	Oppdragsreferanse Trude Engesland
	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 17134

Sammendrag

Driftskontroll av Bøylefoss kalkdoseringsanlegg i Arendalsvassdraget gjennomføres for å avdekke effektiviteten til anlegget. Denne statusrapporten gir en dokumentasjon på driften i rapporteringsperioden (2018) og inneholder samtidig en fortegnelse over hendelser og avvik som kan danne grunnlag for forbedringstiltak knyttet til driftsrutiner, installasjoner eller kalkingsstrategi. Gjennom en lang periode om sommeren var pH høy oppstrøms anlegget slik at det ikke var behov for kalkdosering. Da anlegget doserte var pH nedstrøms anlegget tidvis meget høy. Umiddelbare pH-økninger ble også registrert i forbindelse med store flommer. Det etterlyses raskere reaksjon i styringsautomatikken slik at slik pH-økning dempes. I perioden med ekstra høye pH-mål ble pH registrert for lav i noen tilfeller. Driftssikkerheten var likevel god. pH oppstrøms anlegget var spesielt lav i tre perioder (ikke kvalitetssikrete tall). Det er ønskelig med en oppgradering av denne stasjonen slik at den vil fungere som en automatisk pH-overvåkingsstasjon der målingene kvalitetssikres etter gjeldende rutiner for overvåkingsstasjoner.

Fire emneord	Four keywords
1. Vassdrag	1. River system
2. Kalkdosering	2. Lime dosing
3. Overvåking	3. Monitoring
4. Måleteknikk	4. Measuring technique

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

Rolf Høgberget
ProsjektlederØyvind Kaste
KvalitetssikrerHeleen De Wit
ForskningslederISBN 978-82-577-7130-0
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

© Norsk institutt for vannforskning. Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse.

**Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i
Arendalsvassdraget
År 2018**

Forord

Erfaringer har vist at anlegg for dosering av kalksteinsmel i rennende vann ofte ikke produserer riktig kalkdose til vassdraget. Anleggene er kostnadskrevende både i etablering og drift. Det er derfor avgjørende for et økonomisk forsvarlig resultat at driften er så optimal som mulig. Ideelt sett innebærer optimal dosering at driften er kontinuerlig, uten avbrekk av noe slag, og at dosen til enhver tid er riktig.

NIVA har utviklet et system for effektiv kontroll av driften av kalkdoseringsanlegg ved bruk av enkel sensorteknologi og effektiv informasjonsflyt.

Som et ledd i å bedre oversikten over den daglige driften ved anlegget samt introdusere et ekstra hjelpeverktøy for operatører og annet personell i kalkingsprosjektet, ble driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Arendalsvassdraget etablert. En kontraktsfestet avtale om driftskontroll innebærer gjennomgang av driftsdata flere ganger i uken, samt dokumentasjon av driften ved en kortfattet avviksrapport hvert år. I 2018 opphørte en tidligere avtale om ansvaret for pH-målingsutstyret nedstrøms anlegget som styrer kalkdoseringen. Kontroll av pH-målingsfunksjonen som prosess-signal utføres derfor ikke lenger av NIVA, men tillegges driftsansvarlig på anlegget.

Den daglige driften av driftskontrollsystemet utføres av fast personell på NIVA bestående av Jarle Håvardstun, Liv Bente Skancke og Rolf Høgberget. Kartmaterialet i rapporten er utarbeidet av Jarle Håvardstun.

Oppdragsgiver er den interkommunale stiftelsen Styringsgruppa for kalking av Arendalsvassdraget, bestående av alle involverte kommuner i vassdraget.

Grimstad, 29.05 2019

Rolf Høgberget

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	9
1.1	Driftskontrollsystemet	9
1.2	Kalkingsstrategien i vassdraget.....	9
1.3	Ord og uttrykk.....	10
2	Driften av anlegget	12
3	Tiltak.....	14
3.1	Vannstand og vannføringsmålinger	14
3.1.1	Vannstand.....	14
3.1.2	Vannføring.....	14
3.2	Dosering ved flom.....	15
3.3	Temperaturen nedstrøms anlegget.....	15
3.4	pH oppstrøms anlegget som overvåkingstasjon	15
4	Referanser og tidligere rapporter	18

Sammendrag

Bøylefoss kalkdoseringsanlegg ble satt i drift høsten 2005, og driftskontrollen ved anlegget ble etablert i mai 2006. Hensikten med etableringen var å skape stabil og god vannkvalitet for anadrom fisk i den nedre delen av Nidelva (Arendalsvassdraget). Anlegget er det eneste i Arendalsvassdraget, og mye avhenger derfor av at det fungerer tilfredsstillende til enhver tid.

Denne statusrapporten gir en dokumentasjon på driften i rapporteringsperioden (2018) og inneholder samtidig en fortegnelse over hendelser og avvik som kan danne grunnlag for forbedringstiltak knyttet til driftsrutiner, installasjoner eller kalkingsstrategi.

Sensorene som benyttes til driftskontrollsystemet fungerte tilfredsstillende i hele perioden, unntatt pH nedstrøms anlegget som var utilgjengelig i ca. en måned om høsten.

Gjennom en lang periode om sommeren var pH høy slik at det ikke var behov for kalkdosering. pH nedstrøms anlegget var tidvis meget høy. Umiddelbare pH-økninger ble også registrert i forbindelse med store flommer. Årsaken til økende pH under flom er resuspensjon av sedimentert kalk langs elvebunnen. Det etterlyses raskere reaksjon i styringsautomatikken slik at pH-økningen dempes.

pH ble også registrert for lav i noen tilfeller. Samtlige tilfeller oppsto i tiden med ekstra høye pH-mål. Driftssikkerheten må likevel karakteriseres som generelt god.

pH-signalene oppstrøms anlegget viste spesielt lave verdier i tre perioder da pH ble registrert i området pH 5,5 (ikke kvalitetssikrete tall). Svært redusert kalkingsvirksomhet i vassdraget gjør at pH oppstrøms anlegget i større grad reflekterer langtidseffekter på pH uten påvirkninger fra kalking. Det er derfor ønskelig med en oppgradering av stasjonen slik at den vil fungere som en automatisk pH-overvåkingsstasjon.

Vannstanden ble ikke registrert identisk i driftskontroll-loggeren og MikaCom (anleggets driftssystem). Det er gjort tiltak for å rette på dette, men fortsatt oppsto en ulikhet fra midt i august. Årsaken til dette er uviss. Vannføringsberegningene i de to systemene blir sannsynligvis gjort med forskjellige tabeller. Gjeldende tabell er gjengitt i rapporten.

Summary

Title: Evaluation of lime dosing operation in Arendal River in 2018

Year:2019

Author(s): Rolf Høgberget, Jarle Håvardstun and Liv Bente Skancke

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7130-0

NIVA has developed methods permitting an efficient control of lime dosers in streams. The control involves simple sensor technology and an efficient information flow. This system is used to improve and ensure a cost-efficient liming. The information generated is an aid to operators, water managers and is extensively used for quality control issues.

This report summarizes results from the evaluation in Arendal River in 2018, and includes recommendations based on discrepancies from optimal operation detected in 2018

1 Innledning

1.1 Driftskontrollsystemet

Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg er et system som ble utviklet av NIVA i 1996 og 1997 for å avdekke effektiviteten til de enkelte kalkdoseringsanleggene. Systemet er basert på registrering av kalkforbruk som vektreduksjon i kalkdoseringsanleggets beholdningstank (kalksilo) og vannføringen ved kalkingspunktet. I tillegg registreres pH-verdiene ved pH-styrte anlegg. For detaljert informasjon om systemets oppbygging og virkemåte vises det til Høgberget og Hindar (1998).

Kalkdoseringsanleggene styrer i hovedsak doseringen etter to forskjellige prinsipper:

Vannføringsstyring: Et vannføringsstyrt kalkdoseringsanlegg skal kalke med fast dose. Dosen beregnes på grunnlag av hvor stor del av nedbørfeltet som skal avsyres og ønsket vannkvalitet fra en kalk-pH-titreringskurve. Doseringen er proporsjonal med vannføringen. Ved å sammenligne dose-målet med den faktiske dosen gitt av driftskontrollen, får man et mål på effektiviteten til anlegget.

pH-styring: pH-verdier som blir målt i elva nær kalkingsanlegget er koblet til doseringen av kalk slik at disse overstyrer signalene fra vannføringsstyringen. Ved å sammenligne det fastsatte pH-målet for den aktuelle strekning i elva med de faktisk målte pH-verdier nedstrøms anlegget vises effektiviteten til anlegget.

1.2 Kalkingsstrategien i vassdraget

De to store innsjøene Nisser og Fyresvatn ble kalket vinteren 1996/1997 og høsten 1997 med hhv. 10000 og 8000 tonn kalk. Samtidig ble vannkvaliteten i Nesvatn bygget opp med tiltak oppstrøms denne innsjøen. Høsten 2005 ble disse tiltakene supplert med kalkdoserer ved Bøylefoss i Froland kommune. Målet med denne dosereren er å sikre stabil god vannkvalitet for anadrom fisk i den nedre delen av elva. I dag er effekten av de to store innsjøkalkingene i Nisser og Fyresvatn nærmest bortfalt, og vannkvaliteten oppstrøm Bøylefoss må betraktes som nær ukalket (Hindar mfl. 2017).

Bøylefossanlegget er styrt etter pH både oppstrøms og nedstrøms dosereren. Målestasjonen for pH nedstrøms anlegget er plassert på Evenstad, se Figur 1. Målet med kalkingen er at pH ved Rykene (ca. 25 km nedenfor Bøylefoss) skal være over 6,2 i perioden 15. februar – 14. april, 6,3 i perioden 15. april -31. mai og over 6,0 ellers i året. Det forhøyede pH-målet om våren skyldes at laksesmolt er mer sårbar for lav pH enn de andre stadiene i laksens livssyklus. Tidspunktet for smoltifiseringen og smoltutvandringen fra elva vil variere mellom år, og er hovedsakelig bestemt av daglengde, elvetemperatur og vannføring. Smoltutvandringen vil de fleste år havne innenfor den angitte perioden med forhøyet pH mål i elva. På grunn av variasjoner i vårutviklingen med lave elvetemperaturer er det nå innført muligheter for justering av tidsintervallene for de forskjellige pH-målene i smoltperioden avhengig av elvetemperaturen om våren. For å kompensere for tilførsler av surt vann mellom Bøylefoss og Rykene, må pH-kravene ved Evenstad være noe høyere enn målet ved Rykene om våren og høsten. Det er montert driftskontrollsystem på kalkdoseringsanlegget.

Optimal kalkdosering er avhengig av at det måles riktige pH-verdier. Også i 2018 ble kvaliteten av målingene sikret gjennom arbeidet i et eget interkalibrerings-program (pH-lauget) og jevnlig også annen oppfølging av NIVA. pH-verdiene ved den automatiske overvåkingsstasjonen på Rykene i 2018 er kvalitetssikret av NIVA og blir publisert i årsrapporten fra tiltaksovervåkingen til Miljødirektoratet for 2018.

1.3 Ord og uttrykk

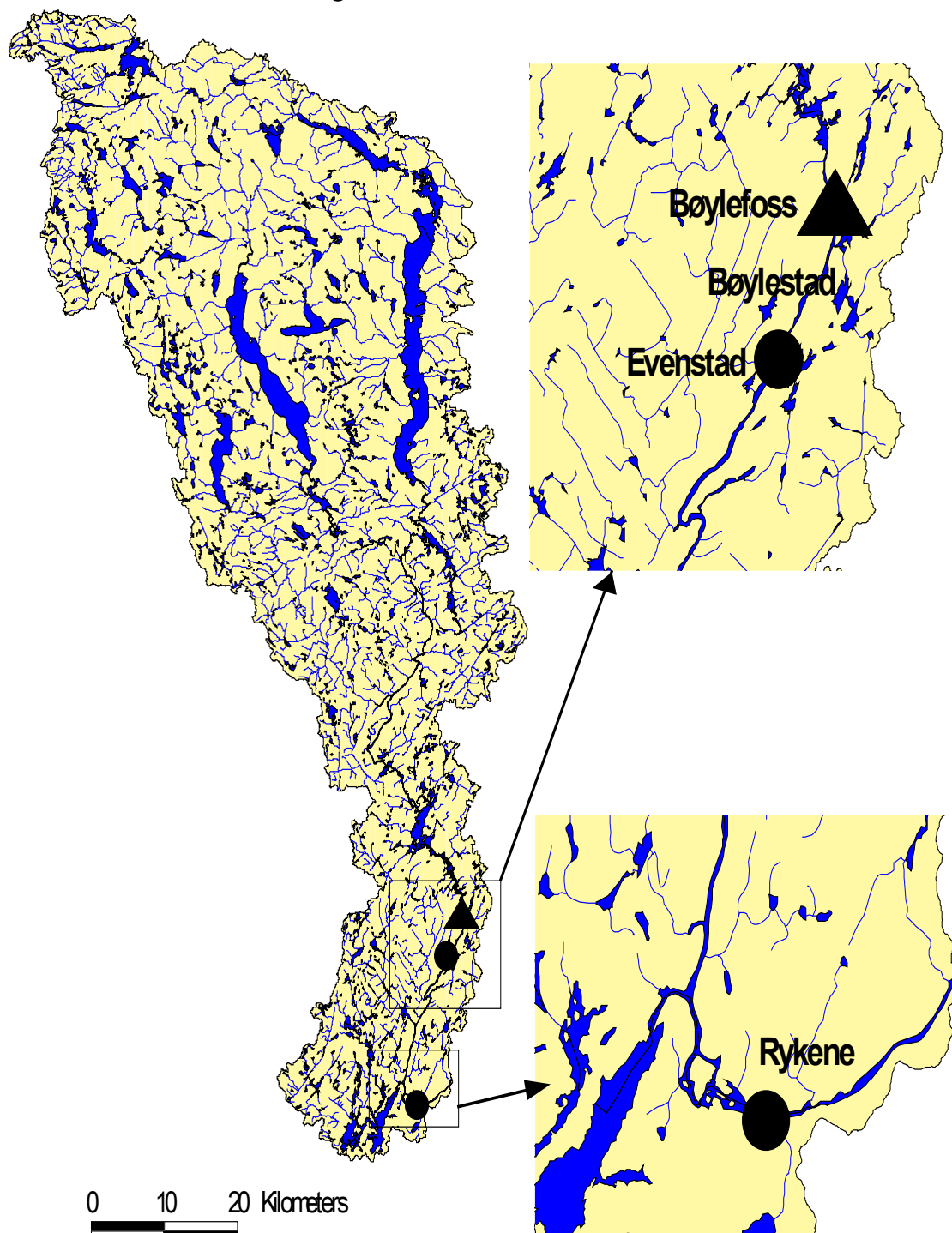
Det forekommer en del ord og uttrykk i rapporten som kan være vanskelig å forstå betydningen av. For å lette leserens forståelse av innholdet presenteres her en liste med ord og uttrykk som vanligvis benyttes i rapporteringen:

Ord/uttrykk	Forklaring
Dosering	Brukes om generell tilsetning av kalk, men den egentlige betydningen er tilsetning av kalk per tidsenhet. I rapporten benyttes oftest g/s, dosering per sekund.
Dose	Dosering av kalk per volum vann. Den vanligste enheten er g/m ³ , gram kalksteinsmel per m ³ vann i elva.
PLS-dose, styringsdose	Styringssignalet (g/s) som benyttes av doseringsanlegget for tilsetning av kalk dividert på vannføringen forbi anlegget (m ³ /s). Dette er den dosen anlegget «tror» den gir til elva. Enheten er g/m ³ .
Driftskontrolldose	Den kalkdosen som er beregnet levert elva på grunnlag av kalkvektsreduksjon i beholdningstank/kalksilo per tidsenhet dividert på akkumulert vannmengde forbi doseringsanlegget i samme tidsrom.
Timesdose	Den driftskontrolldosen som er levert i løpet av en time. Verdien er gjennomsnittet av aktuelle timesdoser til elva. For eksempel vil en vektreduksjon på 0,9 tonn i løpet av en time gi en timesdose på 5 g/m ³ ved vannføring 50 m ³ /s, (akkumulert vannmengde er da 180000 m ³).
Langtidsdose	Den gjennomsnittlige driftskontroll-dosen som er levert elva siden siste påfylling av kalk i beholdningstank/kalksilo. På kurvene som vises i rapporten kan det være store utslag. Dette oppstår i forbindelse med begynnende utregning fra ny beholdning. Årsaken er stor unøyaktighet i veieutstyret. Derfor settes en begrensning i når regneverket får lov til å begynne med doseberegninger. I denne tiden vises siste gjeldende verdi som en horisontal strek.
pH-mål	Den til enhver tid gjeldende verdi for hvor høy man ønsker at pH skal være i elva. Verdien blir ofte fastsatt av Fylkesmannens miljøvernavdeling i samarbeid med kalkingsstiftelsen for vedkommende kalkingsprosjekt.
pH-krav	Det pH-kravet som blir satt i styringsautomatikken ved et pH-styrt doseringsanlegg med pH-nedstrøms anlegget som styringssignal. pH-kravet er ofte høyere enn pH-målet for elveavsnittet.
PLS	«Programmerbar logisk styring». Forkortelsen er ofte benyttet som betegnelse på styringsautomatikken på kalkdoseringsanlegg.
UPS	«Uninterruptible power supply». Forkortelse på ekstra energikilde (strømkilde) som benyttes når nettspenningen uteblir.
Kyvette, pH-/målekyvette	Beholder som pH-elektroder og termometer er plassert i. Det skal være kontinuerlig gjennomstrømmende vann i målekyvetta for å få riktige pH- og termometermålinger.
Vannmerke	Vertikal stav med avmerkinger som viser vannstanden i metriske enheter (meterstav). Vannmerket er satt opp i forhold til et 0-punkt på stedet som avmerking i «fast fjell» eller i forhold til moh. (meter over havet).
Beholdning	Lageret av kalk eller annet avsyingsmiddel på kalkdoseringsanlegget.

Prosesskalibrering

Sette en kjent pH-verdi som avlesingsverdi i et pH-meter. Det har da alltid vært gjennomført en tidligere 2 pkt. kalibrering på pH-meteret (kalibrering mot bufferne pH 4 og 7).

Arendalsvassdraget



Figur 1. Kart over nedbørfeltet til Arendalsvassdraget med utsnitt av to områder som viser plasseringen av kalkdoseringsanlegget (triangel) og pH-målepunkter (sirkler).

2 Driften av anlegget

Bøylefoss kalkdoseringsanlegg styres etter vannføring og pH både oppstrøms og nedstrøms dosereren. Kalkdoseringsanlegget kan styres slik at en fast pH-verdi oppnås nedstrøms anlegget. Denne måles på Evenstad 6 km nedenfor kalkdoseringsanlegget, og data sendes kontinuerlig opp til anlegget. Anlegget doserer kalk slik at pH øker til et fastsatt pH-krav som står i forhold til pH-målene for lakseførende strekning. Dette kravet er vanligvis noe høyere enn pH-målet fordi man ønsker å ha noe bufferkapasitet å tære på ved raske pH-svingninger i elva. Oppvandringshinder for laks er kraftstasjonen på Bøylefoss, like ovenfor doseringsanlegget. Ved de to kraftverkene, Rykene og Evenstad, er det bygget henholdsvis laksetrapp m/laksesluse og fangstkammer. Ved lakseslusa på Rykene sluses 500-1500 fisk hvert år. Ved Evenstad fanges fisken i kammeret og flyttes deretter manuelt over kraftverksdammen. Dette sørger derfor for at fisken kan vandre videre til Bøylefoss. Det er gjennom mange år også plantet lakserogn oppstrøms Evenstad.

Loggeren som samler driftskontrolldata fungerte gjennom hele 2018

Signaler for vannstand, dosering, beholdning og pH oppstrøms anlegget ble registrert kontinuerlig, kun avbrutt av to kortvarige avbrudd med få timers varighet 30. - 31. januar og 11. juli. pH nedstrøms ble ikke registrert i en periode på 32 dager fra 21. september.

Om sommeren var det ikke behov for dosering fra anlegget. Likevel ble det dosert noe for å hindre at kalksteinsmel stivnet og dermed svekket doseringsevnen (5,5 tonn). Dette vedvarte i 14,5 uker fra 1. juli til 9. september (Figur 2).

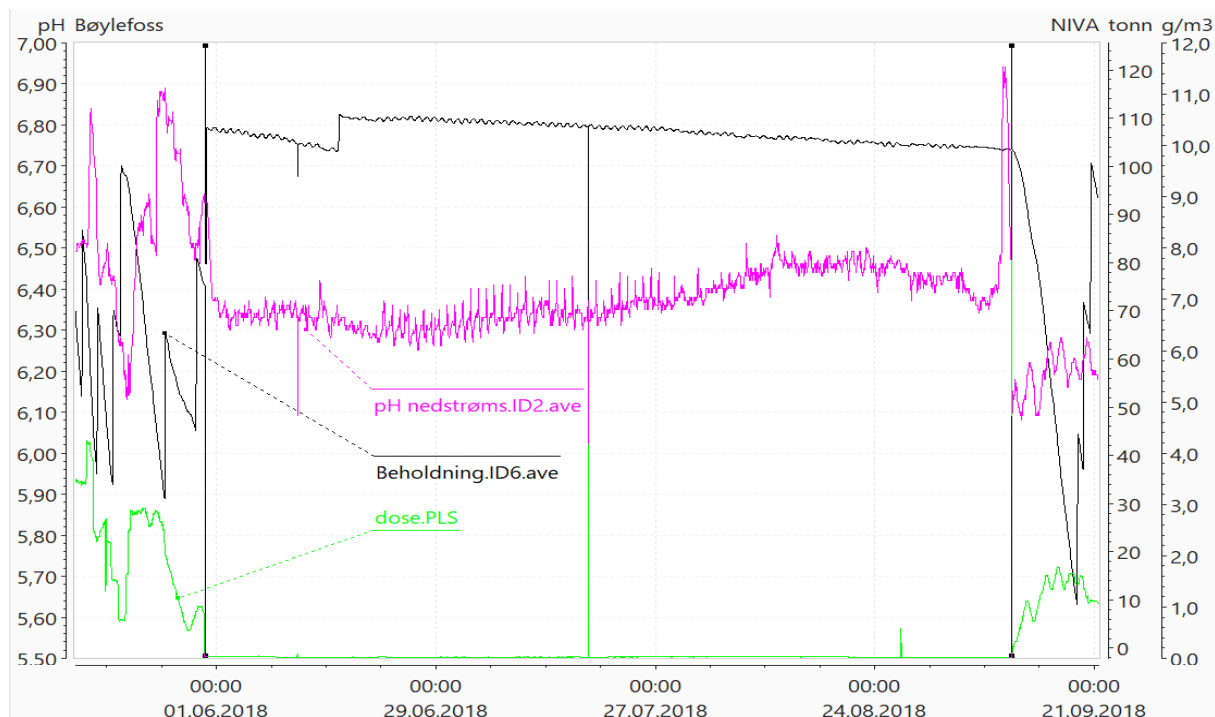
Temperaturdata er bare tilgjengelig fra målinger oppstrøms doseringsanlegget. Høyeste målte vanntemperatur var 23,4 °C den 29. juli.

pH-signalene oppstrøms anlegget var intakt hele året. Det var ikke langvarige stopp i gjennomstrømmingen av målekyvetta. pH var kontinuerlig lavere enn pH 5,5 i en periode på 2 uker fra 25.april. Også om høsten ble det registrert spesielt lave verdier (Figur 3). Disse pH-dataene er ikke kvalitetssikret.

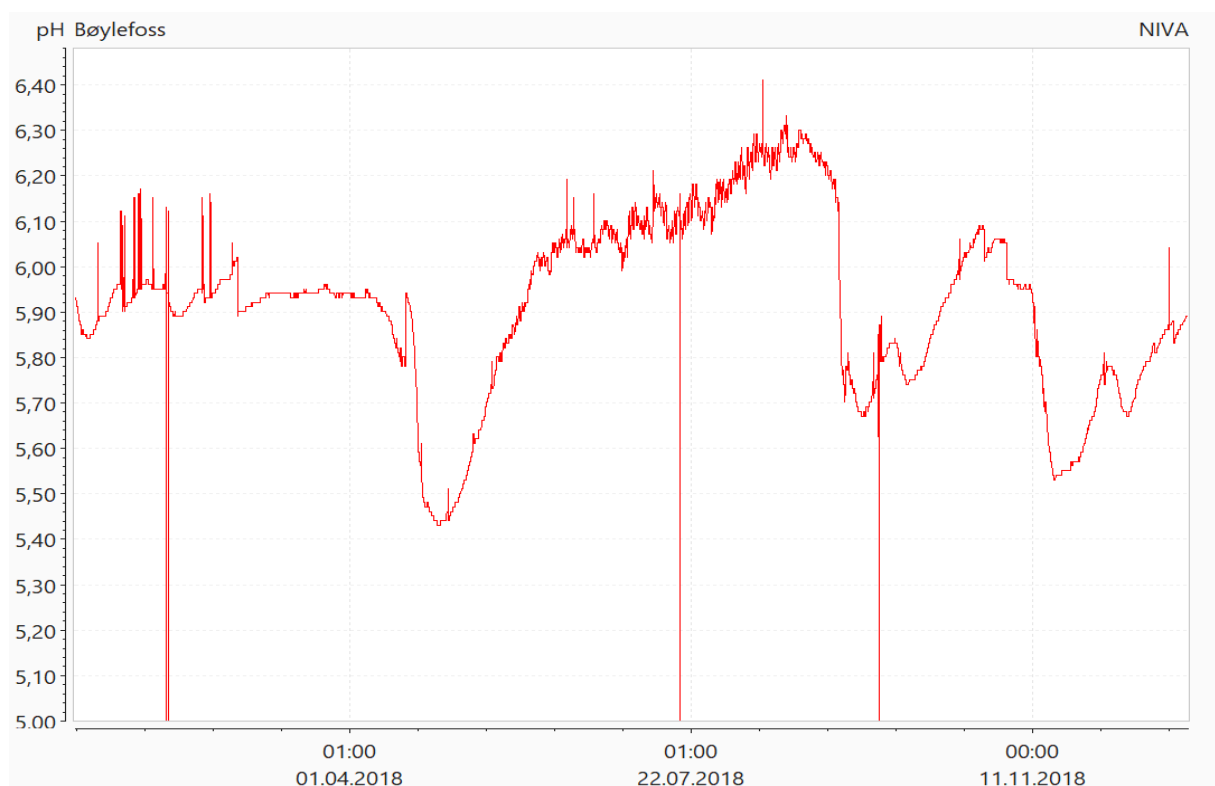
pH nedstrøms anlegget var tidvis meget høy i syv uker fra 14 april. pH var også økende om sommeren selv om det ikke ble dosert kalk. Umiddelbare pH-økninger ble registrert i forbindelse med stor flomutvikling 9. september og 13. november. Alle disse forholdene vises på Figur 4. Det var til sammen 8 dager der pH var for lav i forhold til pH-målet. Samtlige tilfeller oppsto i tiden med ekstra høye pH-mål (pH 6,4) (Tabell 1).

Tabell 1. Antall dager pH var under målet i 2018. Tilfeller med varighet under 8 timer er ikke medregnet.

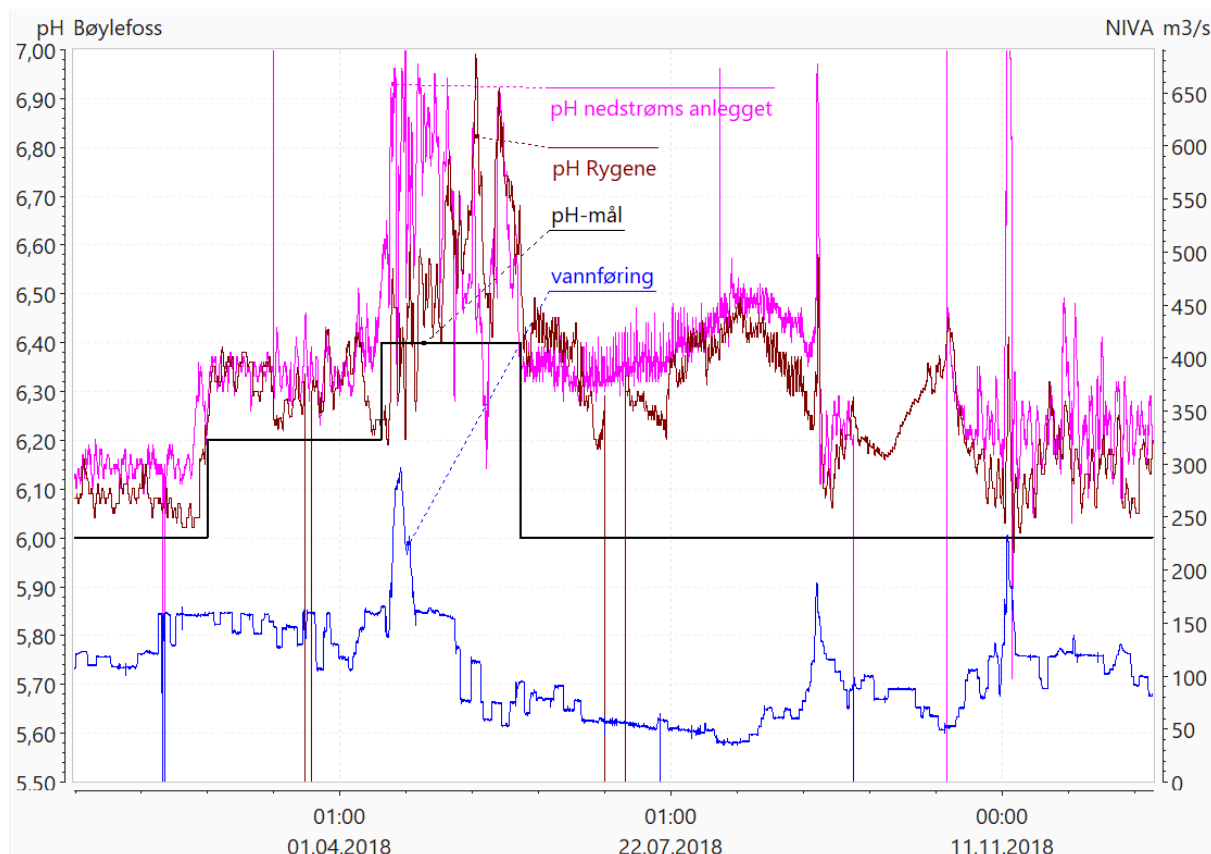
Dato	Dager under pH-målet		Laveste verdi pH	pH-avvik
	Bøylefoss	Rygene		
15.04.2018		3,2	6,2	0,2
20.04.2018	0,5	0,7	6,2	0,2
22.04.2018		0,9	6,2	0,2
26.04.2018		1	6,3	0,1
19.05.2018		2,2	6,1	0,3



Figur 2. pH, beholdning av kalk og PLS-dose på Bøylefoss doseringsanlegg om sommeren 2018. Tiden det ikke var behov for kalkdosering er markert med to vertikale linjer.



Figur 3. pH oppstrøms Bøylefoss doseringsanlegg i hele 2018. (Ikke kvalitetssikrede data)



Figur 4. pH nedstrøms anlegget (Evenstad) og ved Rygene (overvåkingsstasjonen) sammen med pH-målene for kalkingen i 2018.

3 Tiltak

3.1 Vannstand og vannføringsmålinger

3.1.1 Vannstand

Det er tidligere påpekt at vannstanden ikke var identisk registrert i driftskontroll-loggeren og MikaCom (anleggets driftssystem) (Høgberget m.fl. 2018). En del av dette ble oppklart ved at det ble benyttet feil forhold mellom signalstyrke og vannstand i driftskontroll-loggeren. Innstillingen var 0-3,5 m, da den skulle være 0-5 m. Dette forholdet ble rettet opp fra 29. januar. Imidlertid oppsto en ulikhet fra midt i august (Figur 5). Det er uvisst hva årsaken til dette er. Dette bør avklares og rettes opp.

3.1.2 Vannføring

Vannføringsberegninger i tiden med nærmest identiske vannstandsmålinger, 29. januar – 15. august, viser store ulikheter. Sannsynlig årsak er bruk av ulik tabell med sammenhenger mellom vannstand og vannføring. *Tabell 2* er gjeldende tabell. Denne er benyttet i driftskontroll-loggeren, og bør også benyttes i MikCom.

Tabell 2. Gjeldende sammenheng mellom vannstand og vannføring ved Bøylefoss doseringsanlegg.

Korrigert vannstand m	Vannføring m ³ /s
-0,30	0
0,00	40
0,23	60
0,72	104
1,07	127
1,31	169
2,22	282
2,57	370
3,68	520
3,72	550
4,12	630
4,62	770
5,27	975
5,67	1150

3.2 Dosering ved flom.

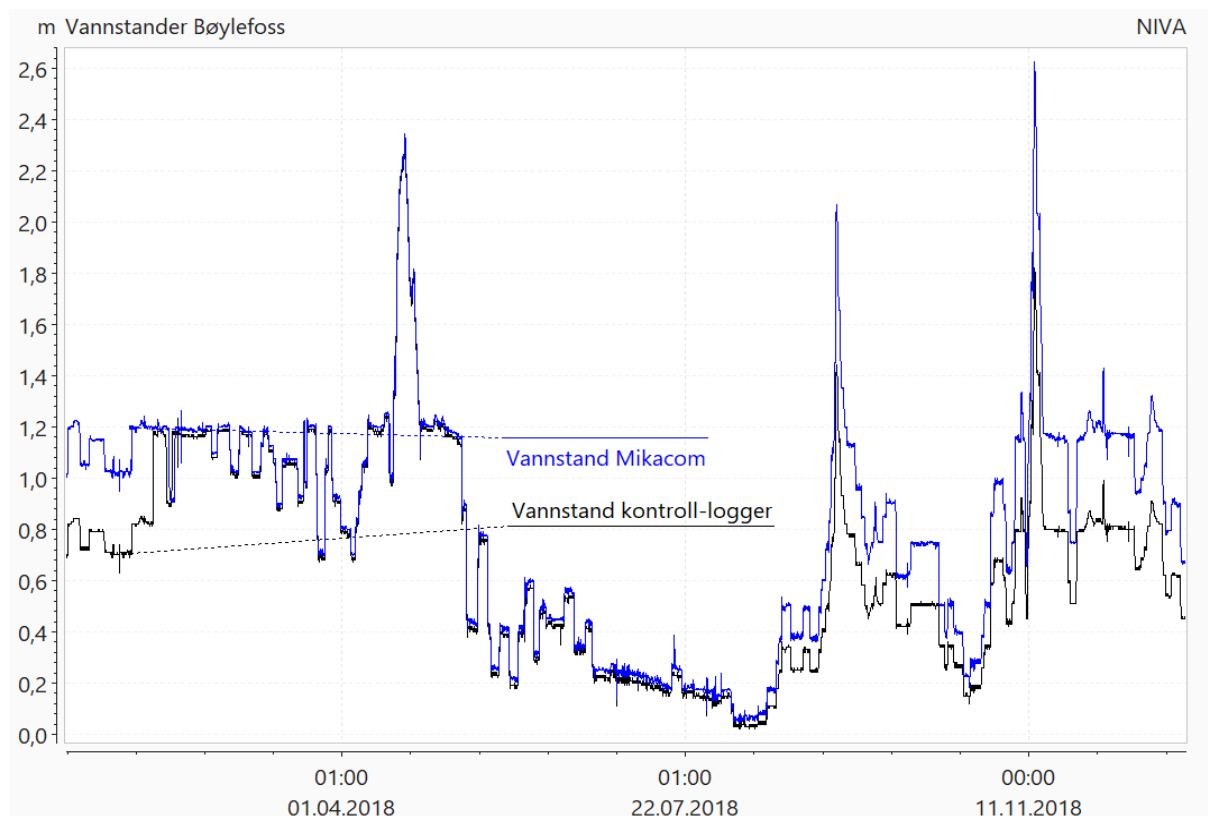
pH øker ofte ved begynnende flom. Denne utviklingen forsterkes ved at styringsautomatikken på anlegget ikke reagerer hurtig nok. Det resulterer i at pH blir unødvendig høy og unødvendig mye kalk doseres. Et eksempel på dette er vist i Figur 7. I dette tilfellet ble det dosert 30 tonn kalk uten at dette var nødvendig. Årsaken til at pH øker under flom er resuspensjon av sedimentert kalk langs elvebunnen som følge av økt energi og turbulens i vannet. Det er tidligere foreslått tiltak til å forhindre slik overdosering (Høgberget m.fl. 2018).

3.3 Temperaturen nedstrøms anlegget

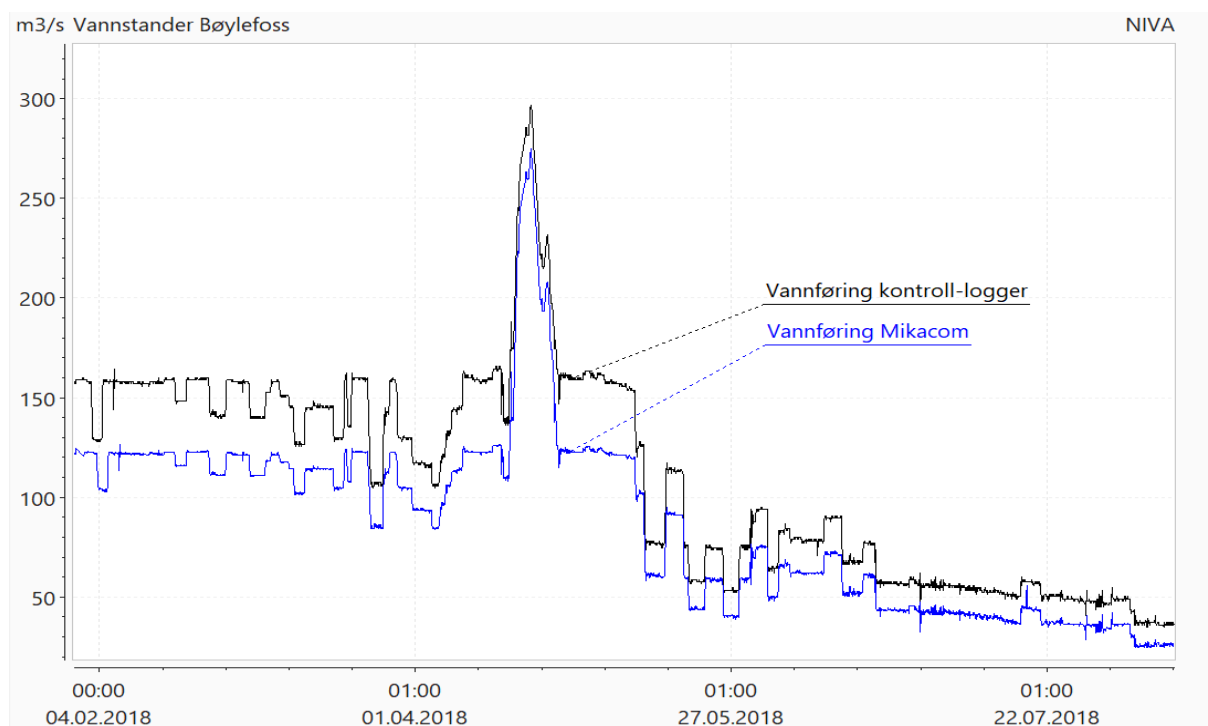
Det er tidligere foreslått installert temperaturmåling nedstrøms anlegget. Grunnet høye kostnader ved slik installering frafalles forslaget.

3.4 pH oppstrøms anlegget som overvåkingsstasjon

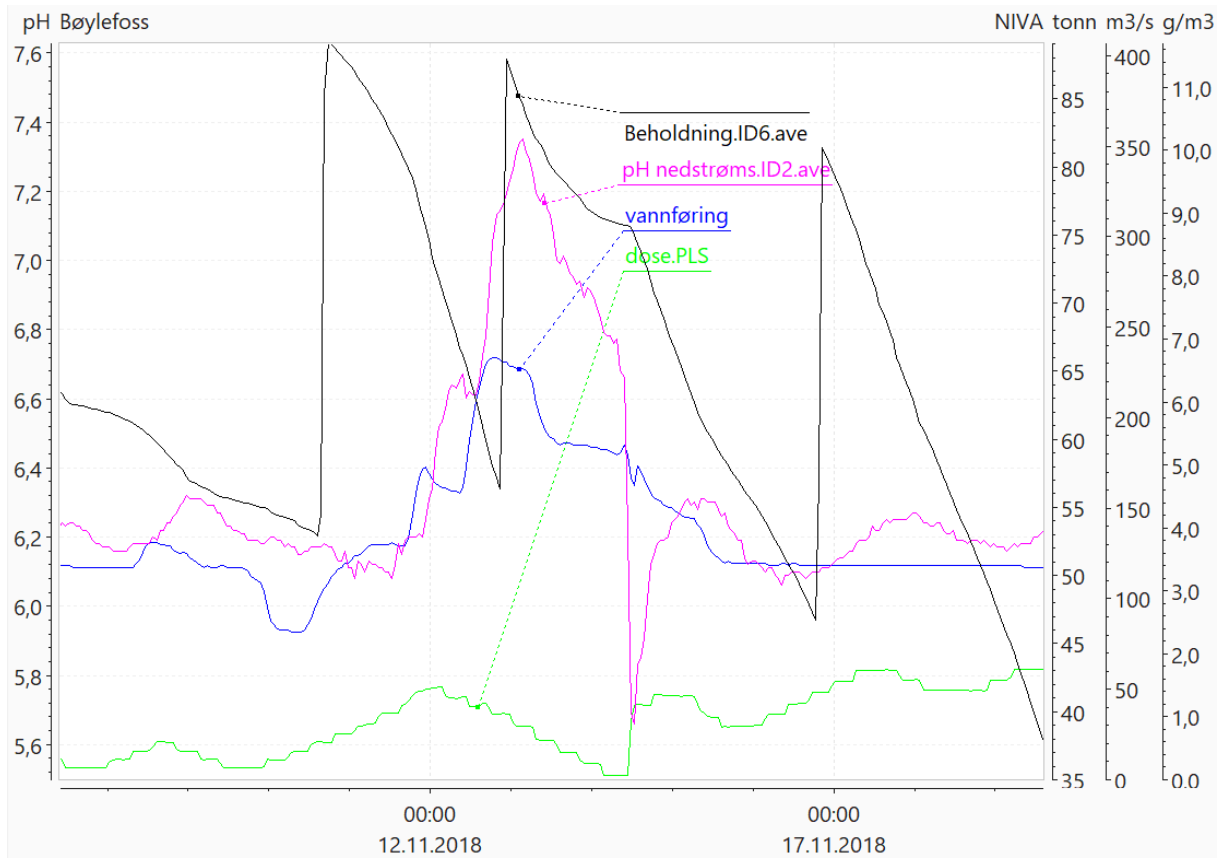
Driften av pH-målestasjonen oppstrøms anlegget foreslås organisert slik at den kan fungere som en automatisk pH-overvåkingsstasjon. Stasjonen er optimalt plassert for å kunne dokumentere langtidsutvikling av forsuringsnivået i Arendalsvassdraget. Det blir stadig mindre sporbare effekter fra tidligere kalking av Nisser og Fyresvatn, og det gjennomføres stadig færre lokale kalkingstiltak. Den samlede effekten av disse kalkingstiltakene blir derfor mindre. Dette åpner for at pH oppstrøms anlegget i større grad reflekterer langtidseffekter på pH uten påvirkninger fra kalkingsvirksomhet i vassdraget. I denne sammenhengen er det også interessant å introdusere tilleggsparametere som utvider nytteverdien av stasjonen. Årsaken til at disse momentene er omtalt her, er at det vil påvirke driften av anlegget positivt gjennom mulighet for tilleggsparametere og bedre service og vedlikehold. Selve prosjektet må imidlertid spilles inn som en søknad til Miljødirektoratet.



Figur 5. Vannstander på Bøylefoss doseringsanlegg i 2018 registrert på to ulike systemer.



Figur 6. Beregnede vannføringer på Bøylefoss doseringsanlegg fra to ulike systemer med identisk registrerte vannstander.



Figur 7. Kalkbeholdning, vannføring PLS-dose og pH nedstrøms Bøylefoss doseringsanlegg i november 2018.

4 Referanser og tidligere rapporter

Haraldstad, T og Høgberget, R. 2014. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Arendalsvassdraget Avviksrapport 2013. NIVA-rapport 6667.

Haraldstad, T og Høgberget, R. 2015. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Arendalsvassdraget Avviksrapport 2014. NIVA-rapport 6860.

Hindar, A., Skancke L. B. og Høgberget, R. 2017. Kalking i laksevassdrag skadet av sur nedbør. Tiltaksovervåking i 2016. Miljødirektoratet rapport M-821 2017.

Høgberget, R. 2010 Driftskontroll av kalkdoseringsanlegget i Arendalsvassdraget. Avviksrapport 2009. NIVA-rapport 5964.

Høgberget, R. 2012 Driftskontroll av kalkdoseringsanlegget i Arendalsvassdraget. Avviksrapport 2011. NIVA-rapport 6344.

Høgberget, R. 2013. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Arendalsvassdraget - Avviksrapport 2012. NIVA-rapport 6516.

Høgberget, R. 2016. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Arendalsvassdraget - Avviksrapport 2015. NIVA-rapport 7035.

Høgberget, R. 2017. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Arendalsvassdraget - År 2016. NIVA-rapport 7158.

Høgberget, R. og Haraldstad, T. 2016. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Arendalsvassdraget Avviksrapport 2015. NIVA-rapport 7035.

Høgberget, R. og Hindar, A. 1998. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg. NIVA-rapport 3824.

Høgberget, R. og Håvardstun, J. 2007. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegget i Arendalsvassdraget. Avviksrapport år 2006. NIVA-rapport 5533.

Høgberget, R. og Håvardstun, J. 2009. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegget i Arendalsvassdraget. Avviksrapport år 2008. NIVA-rapport 5786.

Høgberget, R. og Håvardstun, J. Skancke L. B. 2018. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegget i Arendalsvassdraget. År 2017. NIVA-rapport 7257.

Kaste, Ø., Håvardstun, J. Høgberget, R. 2008. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegget i Arendalsvassdraget. Avviksrapport år 2007. NIVA-rapport 5595.

Høgberget, R. Tveiten, L. 2011. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegget i Arendalsvassdraget. Avviksrapport 2010.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsniv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no