

## Forsøk med automatisk pH-styring og kontroll av syredosering i vassdrag



**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internett: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Postboks 2026  
5817 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 23 24 95

**NIVA Midt-Norge**

Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

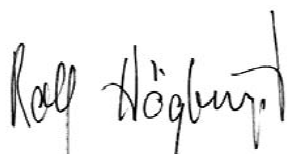
Tittel Forsøk med automatisk pH-styring og kontroll av syredosering i vassdrag.	Løpenr. (for bestilling) 5636-2008	Dato 23.10.2008
	Prosjektnr. Undernr. 26390	Sider Pris 19
Forfatter(e) Rolf Høgberget	Fagområde Måleteknikk	Distribusjon
	Geografisk område	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) NIVA	Oppdragsreferanse
--------------------------	-------------------

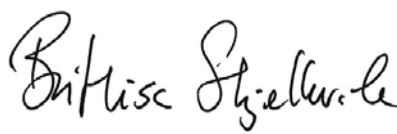
**Sammendrag**

Høsten 2006 og våren 2007 ble det gjennomført forsøk med alternativ elektronikk for settpunktsregulering av pH i elv. Forsøkene ble gjennomført i forbindelse med smittedempende behandling mot *Gyrodactylus salaris* i Sandeelva. Det ble dosert med 30% svovelsyre. Forsøkene viste meget god regulering ved benyttelse av de pumpesystemer som NIVA bruker ved aluminiumsbehandling av elver. Dette gir grunnlag for å stadfeste at metoden vil være formålstjenelig ved alle former for PID-regulering (Proporsjonal pluss Integral regulering med Derivatfunksjon) der signalet gis ut som spennings- eller strømsignal. Metoden forenkler behov for utstyr. Den er derfor enklere og mer økonomisk enn bruk av konvensjonelt pH-målingsutstyr.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reguleringsteknikk</li> <li>2. Elektronisk overvåking</li> <li>3. pH</li> <li>4. Aluminiumsulfatdosering</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Regulation techniques</li> <li>2. Electronic monitoring</li> <li>3. pH</li> <li>4. Dosing of aluminium-sulphate</li> </ol>
--	---



Rolf Høgberget  
Prosjektleder



Brit Lisa Skjelkvåle  
Forskningsleder



Jarle Nygard  
Fag- og markedsdirektør



# **Forsøk med automatisk pH-styring og kontroll av syredosering i vassdrag**



## Forord

Fjerning av lakseparasitten *Gyrodactylus salaris* ved hjelp av ALS (produktnavn på blandingen av svovelsyre og aluminiumsulfat) stiller store krav til nøyaktig dosering av kjemikalier. Gode verktøy for automatisk dosering og fjernovervåking av viktige funksjoner vil forenkle og forbedre doseringen. Forsøk med utprøving av styrings- og overvåkingsverktøy ble gjennomført i Sandeelva i Vestfold høsten 2006 og våren 2007.

NIVA har brukt midler fra sin basisbevilgning til videreutvikling av denne doseringsmetodikken. Rapporteringen i 2008 ble også delvis finansiert av DN (Direktoratet for naturforvaltning).

Det ble gitt meget god hjelp under forberedelser og med praktisk tilrettelegging under forsøkene av personell fra teknisk etat i Sande kommune. Kontaktpersonen i Sande kommune var Kristian Andersen.

Grimstad, 23.10.2008

*Rolf Høgberget*

---



# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2. Gjennomføring</b>	<b>6</b>
2.1 pH-meter og logg/overvåking	7
2.2 Reguleringssteknikk	7
2.3 Laboratorieforsøk	7
2.4 PID-regulering	8
2.5 Feltforsøk med PID-regulering i liten målestokk (300-pumpesystem)	9
2.5.1 Prøving og feiling	9
2.6 Manipulering med parametere	13
2.7 Forsøk med stort doseringsanlegg (700-pumpesystem)	14
2.8 Forsøk med mellomstort anlegg (500-pumpesystem)	15
<b>3. Diskusjon</b>	<b>18</b>
<b>4. Referanser</b>	<b>19</b>

---





## Sammendrag

Fjerning av parasitten *Gyrodactylus salaris* ved hjelp av ALS (aluminiumsulfat) har utviklet seg til å bli en stor oppdragsvirksomhet ved NIVA. Prosjektene er samarbeidsprosjekter med andre institusjoner. Aktiviteten kalles med en fellesbetegnelse "Gyromet". De senere års utvikling har lært oss at vi nå ganske snart kommer til en grense der vi ikke lenger har fysisk kapasitet til å følge opp behandlingen i felt på en tilfredsstillende måte. Oppgavene blir så omfattende, og spredd over så store områder, at det kreves meget store resurser for å følge opp. Et ledd i enklere prosjektgjennomføring vil være bruk av gode verktøy for automatisk korrekt dosering av ALS og fjernovervåking av viktige funksjoner.

Som følge av disse behov ble det gjennomført forsøk med uttesting av et alternativ til bruk av ordinært industri-pHmeter for online-feltmåling av pH høsten 2006 og våren 2007. Forsøkene inkluderte også testing av samspillet mellom pH-måling, signal-overføring til PID-regulator for settpunktsregulering, datalogging og eternettoverføring av innsamlede data. Forsøkene ble gjennomført i et avgrenset område av Sandeelva i Vestfold og i to sidevassdrag til denne. Det ble benyttet samme typer doseringspumper som i Gyromet-prosjektene. Forsøksoppsettene var preget av at det ble benyttet minst mulig ekstra utstyr i forhold til det som allerede finnes i beholdningen til Gyromet.

Det ble gjennomført svært vellykkete reguleringsforsøk. Et med system for lav dosering til bekk ble gjennomført høsten 2006 og to forsøk med mellomstort og stort doseringsanlegg for henholdsvis små og mellomstore elver ble gjennomført våren 2007.

Forsøk med alle varianter av doseringspumper viste at pH-regulering er godt gjennomførbart ved å kombinere bruken av de valgte komponenter. Forsøkene ble gjennomført med spesiell tanke på de doseringsanlegg som benyttes for Als-dosering, men systemet vil fungere like tilfredsstillende også mot andre pumpesystemer så lenge styringssignalet kan gis i spenning eller strømsignal. Ved å utnytte valgmulighetene fullt ut, kan pH-verdiene vedlikeholdes tilnærmet like nøyaktig som på et fullt utstyrt industri pH-meter. Alarmgiver, nødstop, prosesskalibreringer og fjernovervåking er fullt tilgjengelig.

PID-regulering av pH ved å samkjøre de komponenter som her er uttestet, vil være et meget godt verktøy til nøyaktig regulering av kjemikalie-tilsetning til elv. Dermed oppnås de samme muligheter som ved bruk av konvensjonelt utstyr til langt høyere kost. Eksempelvis vil pH-metere med de funksjoner som kreves, koste ca. 10 ganger mer enn vår løsning. En forutsenning for gode resultater er imidlertid at prosess-signalet må innhentes på et sted nedstrøms doseringen der kjemikaliet er homogent innblandet i elvevannet og har reagert tilstrekkelig slik at det er den ønskete effekten som måles. Lengst mulige tilbakemeldingstid ved bruk av valgte regulator er ca. 16,5 minutter.

## 1. Innledning

Fjerning av parasitten *Gyrodactylus salaris* ved hjelp av ALS (svovelsyre og aluminiumsulfat) har utviklet seg til å bli en hovedmetode i utryddelsesarbeidet i Norge. Fra en sped begynnelse med laboratorieforsøk (Soleng m.fl. 1999) (Poleo m.fl. 1997, 2004) og deretter fullskala forsøk i Batnfjordselva i 2003 og 2004 (Lydersen m.fl. 2004, Hytterød m.fl. 2005), har metoden utviklet seg videre. Fra og med 2005 er tre vassdrag behandlet; Lærdalselva (Pettersen m.fl. 2007), Steinkjerelva (Kjøsnes m.fl. 2007, Hagen 2008) og Halsan- og Hestdalselva (Hytterød m.fl. 2008). Etter reinfeksjon er Lærdalselva behandlet på nytt i 2008.

Dosering av svovelsyre og aluminiumsulfat krever store ressurser, og en mest mulig rasjonell gjennomføring er derfor viktig. Et ledd i enklere prosjektgjennomføring vil være bruk av gode verktøy for automatisk korrekt dosering av kjemikalier og fjernovervåking av viktige funksjoner. Forsøk med utprøving av slikt utstyr er derfor gjennomført og resultatene av disse forsøkene rapporteres her.

Doseringsteknikk som rapporteres her er allerede tatt i bruk ved gyrobehandlingene i Steinkjer og Halsan i 2007 og Lærdal i 2008.

## 2. Gjennomføring

Forsøkene ble gjennomført i to sidevassdrag til Sandeelva i Vestfold. Elva har utløp i Sandebukta ved Holmestrand. Årsaken til at denne lokaliteten ble valgt, var at det forelå utslippstillatelse fra SFT til Fylkesmannen i Vestfold for bruk av syreholdig aluminiumsulfat for å hindre spredning av *Gyrodactylus salaris* (heretter kalt gyro) i 2006 (Hytterød m.fl. 2007).

Forsøkene ble gjennomført med tre ulike doseringssystemer. Disse er tilpasset ulike vannføringer og opereres med pumper av tre ulike størrelser. Høsten 2006 ble det gjennomført forsøk i Tollerudbekken med det minste systemet (300-pumpe). Våren 2007 ble det gjennomført forsøk med mellomstor doseringskapasitet (500-pumpe) i Vesleelv og stor kapasitet (700-pumpe) ved Foss mølle i hovedelva. Alle pumpesystemene har forskjellige prinsipper for signalbearbeiding.

Forsøkene i Tollerudbekken høsten 2006 ble avbrutt ved to anledninger før forholdene ble egnet i etterslepet av en sen høstflom. Våren 2007 ble forsøkene samordnet med andre FoU-aktiviteter i elva. Ved Foss mølle ble det gjennomført forsøk med kjemikaliespredning over hele elveprofilen og i Vesleelv pågikk forsøk med å undersøke biologiske effekter av smittebegrensende tiltak (Pettersen 2008). Forsøkene våren 2007 ble gjennomført i slutten av våravsmeltingen fra nedbørfeltets øvre områder. I denne perioden oppsto også en flom som følge av kraftig regnvær.

Det ble benyttet handelsvaren ALS 30-05 fra Kemira. Denne inneholder 30 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> og 5% Al. ALS ble lagret i 1 m<sup>3</sup> plasttanker (IBC; intermediate bulk container) unntatt ved Foss mølle, der det ble plassert en 10 m<sup>3</sup> tank som del av et komplett doseringsanlegg innebygd i en 20' container.

Alle forsøk ble gjennomført i områder med god turbulens i vannet nedstrøms doseringspunktene.

## 2.1 pH-meter og logg/overvåking

Det ble benyttet et enkelt, rimelig og funksjonelt utstyr for automatisk måling og logging av pH. pH ble målt langt nedstrøms doseringspunktet for syre. Signalene fra pH-elektroden ble logget i en standard logger som kunne også benyttes til fjernovervåke prosessen fra en datamaskin

Utstyret er vist i **Figur 1** sammen med den flottøren for sensorer som plasseres i elva.



**Figur 1.** Bilder av pH-målingsutstyret. pH-elektroden og forsterkeren ble montert på en enkel flottør av isopor. Nødvendig utstyr for å kunne sette opp pH-reguleringsforsøket var pc, logger, pumpe og regulator.

## 2.2 Reguleringssteknikk

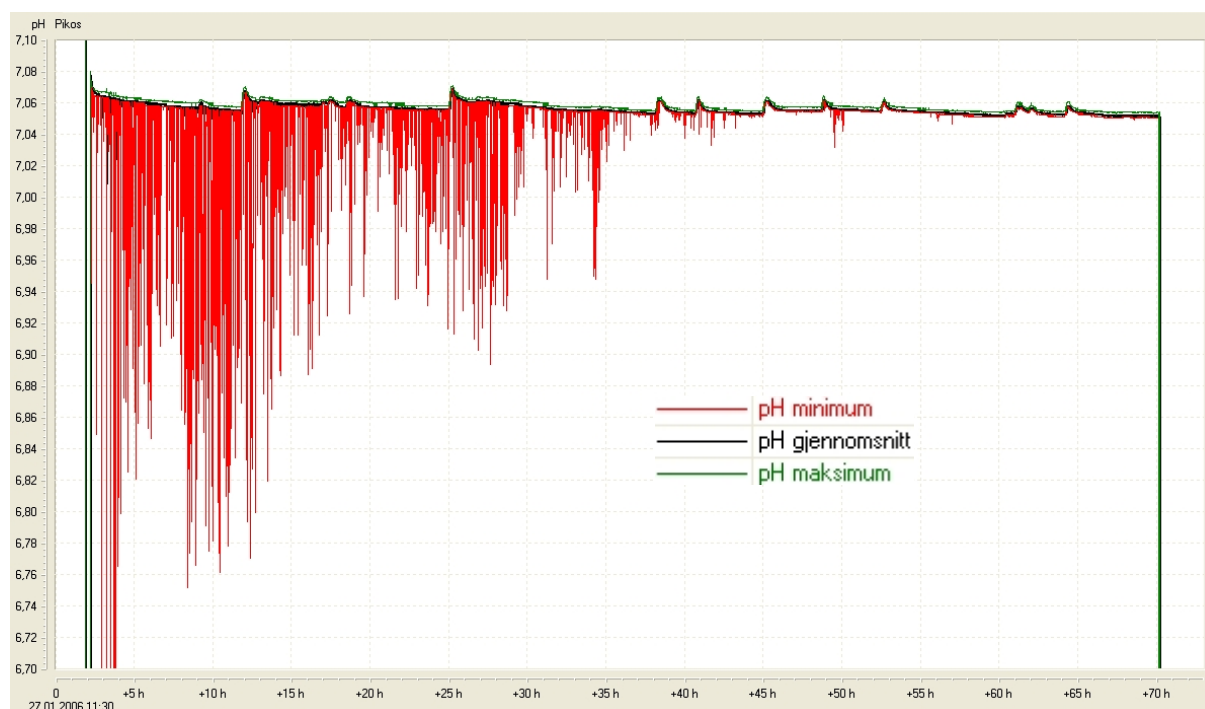
En signalregulator ble benyttet som PID-regulator (Proporsjonal pluss Integral regulering med Derivatfunksjon). Forsøkene ble gjennomført med den samme pumpeteknikken som ble utviklet i forbindelse med prøvedosering av AIS i Batnfjordselva i 2004. Signalomformerer er innebygget i pumpehuset til de WM 300 pumpene vi bruker. Forsøk med forskjellig programmering av denne regulatoren ble gjennomført. Alle komponenter i systemet ble ved disse forsøkene drevet av blyakkumulatorer (24 VDC).

Våren 2007 ble forsøk med 700-doseringsanlegg gjennomført på tilsvarende måte som med 300-pumpa. Begge disse systemene benytter samme type doseringssignal inn til pumpa. Ideelt sett kan derfor signalomformerer settes opp på identisk vis. Imidlertid ble det gjort noen forandringer i kablingen for å kunne prosesskalibrere pH. Jordingsregimet i systemet ble også forandret. Strømtilførselen ble besørget av nettspenning. Denne drev det elektroniske utstyret i tillegg til selve pumpa.

Ved forsøkene i Vesleelv med 500-pumpe ble samme prinsipp benyttet, men oppkoblingen måtte gjøres annerledes da denne pumpa benytter spenning som doseringssignal inn til pumpa. Strøm til pumpa ble besørget av 24 VDC fra blyakkumulatorer.

## 2.3 Laborieforsøk

Det ble først gjennomført laborieforsøk med samme pH-måleutstyr. **Figur 2** viser at verdiene (ett signal per sekund) som ble produsert i begynnelsen av forsøket ikke var helt stabile. Signalene stabiliserte seg deretter.



**Figur 2.** Forsøk med felt pH-måleutstyr og datalogger. Maksimums-, middel- og minimumsverdier av pH ble registrert og lagret.

## 2.4 PID-regulering

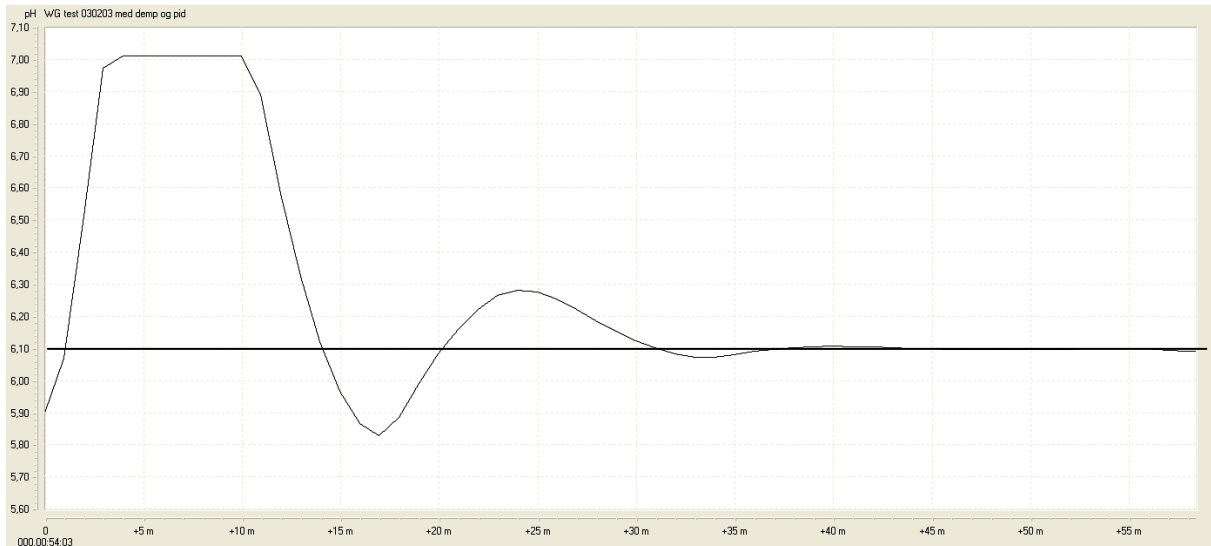
PID-regulering er en form for feed-back prosessstyring av tilsetningsstoffer for å oppnå et på forhånd bestemt mål, et settpunkt. Teknikken er mye benyttet i industri, klimastyring, skip, biler, romfart osv for å regulere nivå, trykk, temperatur eller strøm. NIVA har tidligere brukt PID-regulering ved Logåna vannglassdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget (Høgberget 2004), og forsøkene kunne derfor baseres på erfaringer derfra.

PID-reguleringsteknikken bygger på tre pilarer:

1. **Proporsjonalbåndet (P).** Dette er et uttrykk for ønsket reaksjon på utslag fra settpunktet. Differensen mellom settpunkt og målt verdi multipliseres med invers verdi av forsterkningen. Jo høyere tall, dess tregere reaksjon.
2. **Integralvirkning (I).** Avviket fra settpunktet integreres over en på forhånd satt tid. Tiden må stå i forhold til forventet tid mellom dosering og målt effekt.
3. **Differensialbånd (derivatvirkning; D).** Trenden som måles under utvikling av effekten benyttes som strakstiltak ved normalt trege prosesser. Målte verdier sammenlignes i et tidsintervall som bestemmes manuelt.

Når det settes opp en PID-regulering, begynner man først med å definere settpunktet. Når dette er programmert, settes verdier på de tre nevnte parametere. Samspillet mellom disse avgjør om resultatet blir tilfredsstillende. Dersom det oppstår kontinuerlig bølgeeffekt med fast frekvens i effektkurven, må en eller flere av parameterverdiene forandres. En grunnregel for innjustering av parametere for PID-regulering ved et ukjent objekt, er å sette P til maksimum uten verdier for I og D. Deretter reduseres verdien til effekten begynner å svinge. Verdien settes så til det dobbelte av dette. Neste steg er å sette I til maksimum, så redusere til effekten svinger og så doble den verdien man da har. D settes til en høyere verdi dersom man ikke oppnår ønsket effekt hurtig nok. D er således en hjelpefaktor.

En korrekt innstilt PID-regulering resulterer i rask demping av amplituden (**Figur 3**). I det viste eksempelet oppsto overdosering fordi effekten ennå ikke utgjorde stor I-verdi. pH steg da over maksimum registrerbar verdi (pH 7). Da integrert areal over settpunktet (angitt med rett linje) etter hvert utgjorde mer, sank doseringssignalet. Negative I-verdier (verdier under settpunktet) økte signalet. Amplituden ble dempet effektivt, og svingningene stoppet etter ca. 2 x frekvensen..



**Figur 3.** Eksempel på effekt av PID-regulering ved vannglassdosering til bekk (Høgberget 2004). Kurven viser pH-effekten av optimalt parametervalg.

## 2.5 Feltforsøk med PID-regulering i liten målestokk (300-pumpesystem)

### 2.5.1 Prøving og feiling

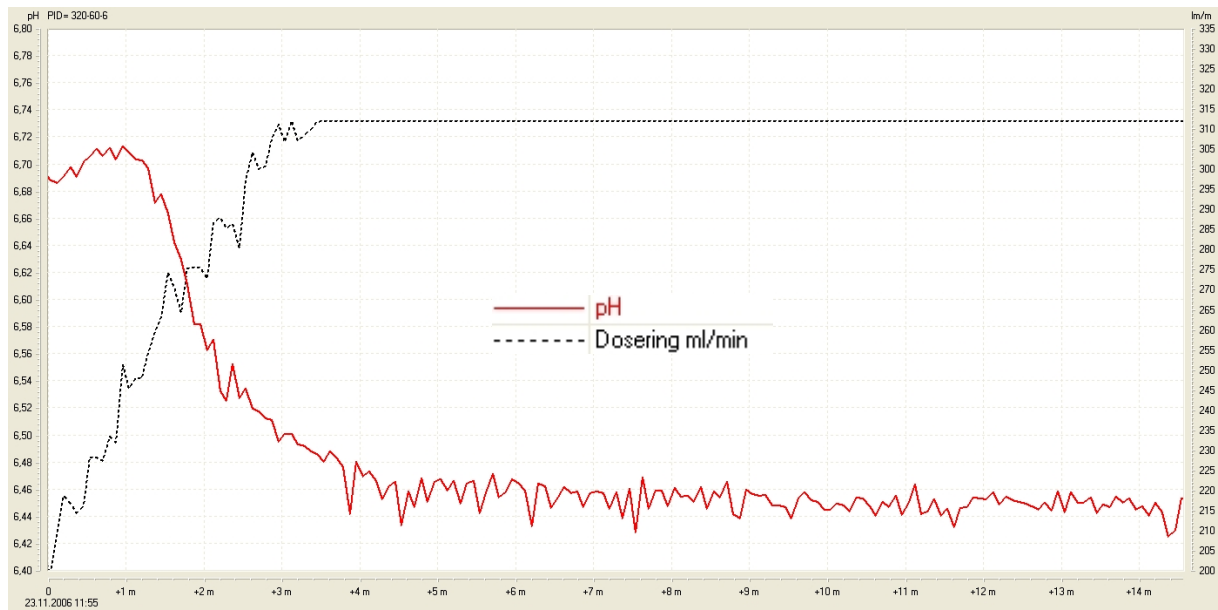
Det ble gjort feltforsøk i Tollerudbekken (**Figur 4**) ved tre anledninger, første gang (06.07.06) ved meget lav vannføring. pH-elektroden ble plassert ca. 40 m nedstrøms doseringspunktet.

Vannhastigheten var ca. 0,2 m/s.



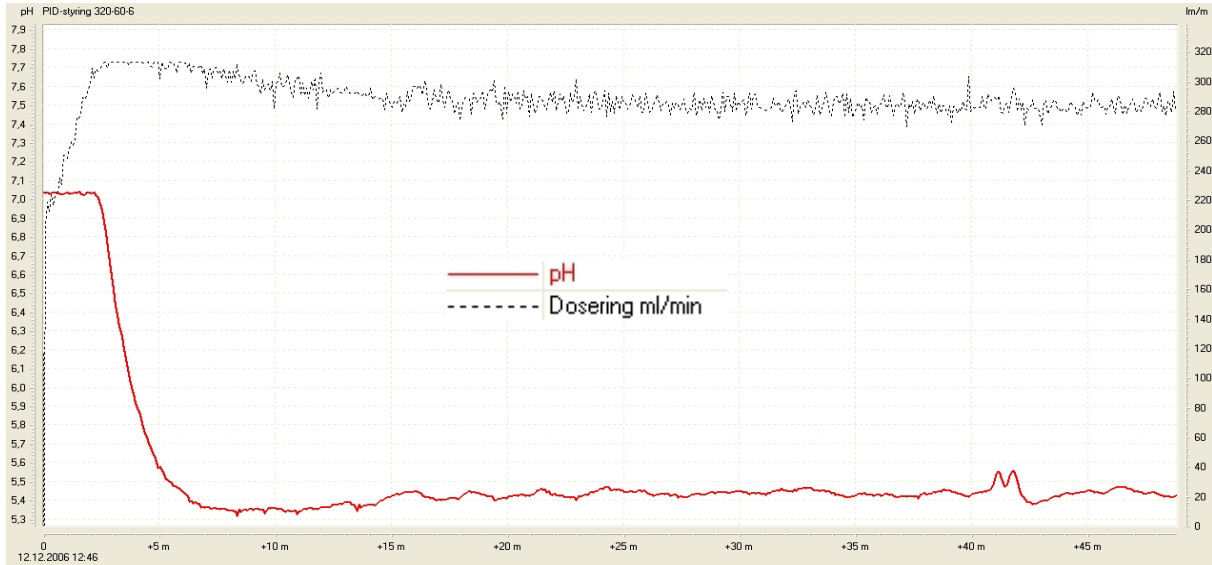
**Figur 4.** Forsøkene i Tollerudbekken høsten 2006 med doseringsutstyr, doseringspunkt og pH-flottør.

Det oppsto en del problemer med utstyret som umuliggjorde dokumentasjon av forsøket. Neste forsøk ble gjort ved flom. Som forventet ble kapasiteten for lav ved stor vannføring i bekken, og pH kunne ikke reduseres til ønsket nivå på pH 5,5 (**Figur 5**). Pumpekapasiteten til 300-pumpa med 4,8 mm slange er 310 ml/min.

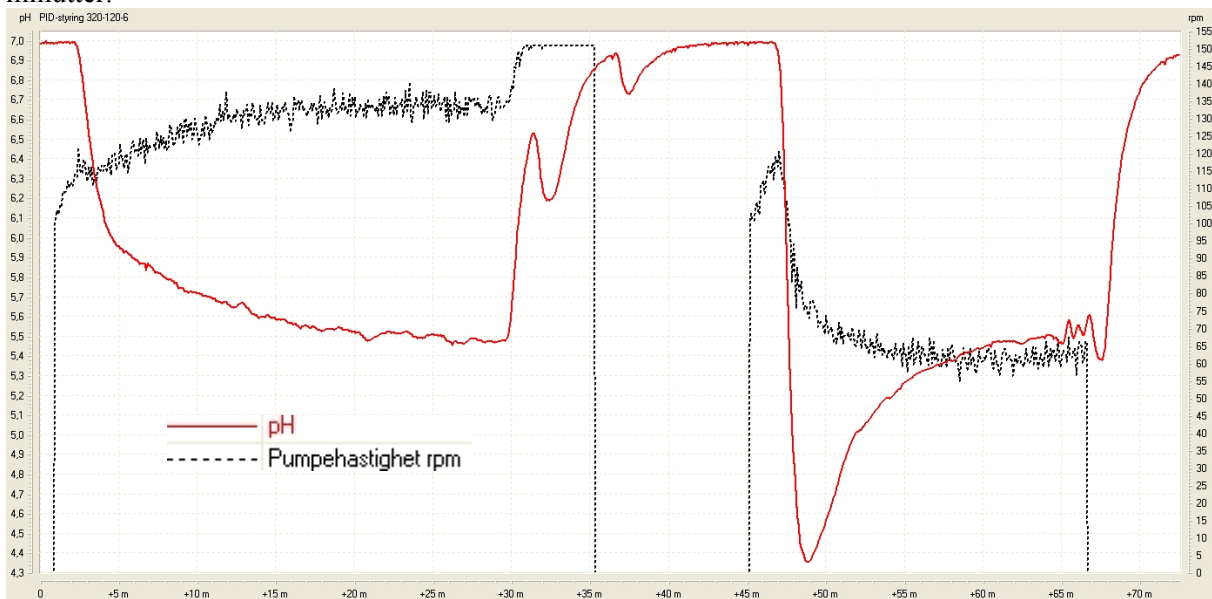


**Figur 5.** Doseringsforsøk ved flom i Tollerudbekken. Figuren viser at reguleringen justerte seg opp til maksimum dosering uten at dette resulterte i ønsket pH-effekt (settpunkt pH 5,5). Doseringskapasiteten på pumpa var for liten.

Etterfølgende forsøk ble gjennomført 12-13.12.06. Da var vannføringen ca. 190 l/s. Elektroden ble plassert ca. 50 m nedstrøms doseringspunktet, og vannet brukte ca. ett minutt på denne strekningen.. Doserings ble startet og kontrollert. Grunnet marginal kapasitet med 4,8 mm slange, ble pumpehastigheten meget høy. Doserings og pH vises på **Figur 6**.



**Figur 6.** Effekt av PID-regulering i 50 minutter. Doseringskapasiteten var i dette tilfellet nesten for lav til å oppnå pH-målet (settpunkt pH 5,5). Full pumpeeffekt i starten medførte noe lav pH i ca. 5 minutter.



**Figur 7.** Effekt av PID-regulering i en periode på totalt 80 minutter med samme parametervalg, men med pumpe slanger på hhv. 4,8 (venstre del) og deretter 8 mm i diameter, se også **Figur 6**.

Grunnet den høye pumpehastigheten ble slangen byttet med 8 mm under forsøket. Dette medførte langt roligere gange (**Figur 7**). Første del av kurven var med identiske forhold som vist i **Figur 6**, men med lenger Integralvirkningstid. Resultatet ble en roligere innjustering uten for lav pH på noe tidspunkt.

Kapasitetsøkningen var mer enn nok til å utløse en pendelvirkning ved oppstart. Settpunktet ble oppnådd, og ny småpendling oppsto rundt settpunktet. Fullt turtall med økende pH midt på kurven skyldes avstengning av ALS-tilførselen ved slangebytte.

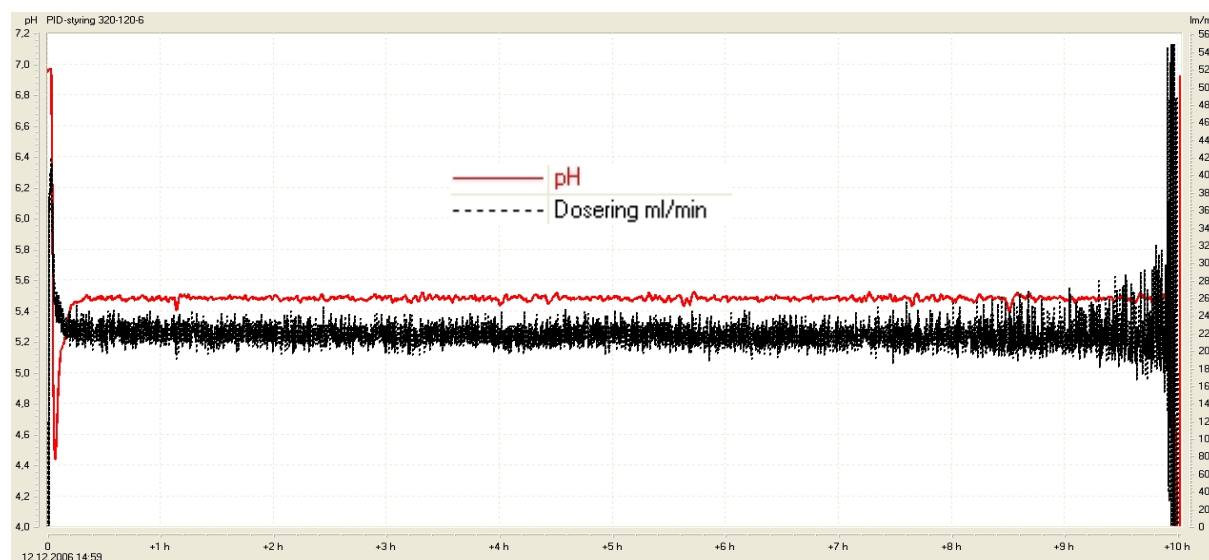


En test over 10 timer ble deretter gjennomført, og anlegget gikk med meget stabil pH-regulering inntil batteriet ble tomt for strøm (**Figur 8**).

Doseringen ved bruk av både 4,8 og 8 mm slange ble kalibrert med måleglass og stoppeklokke (**Tabell 1**). Kapasiteten øker ca. 75 % ved å benytte 8 mm slange i stedet for 4,8 mm.

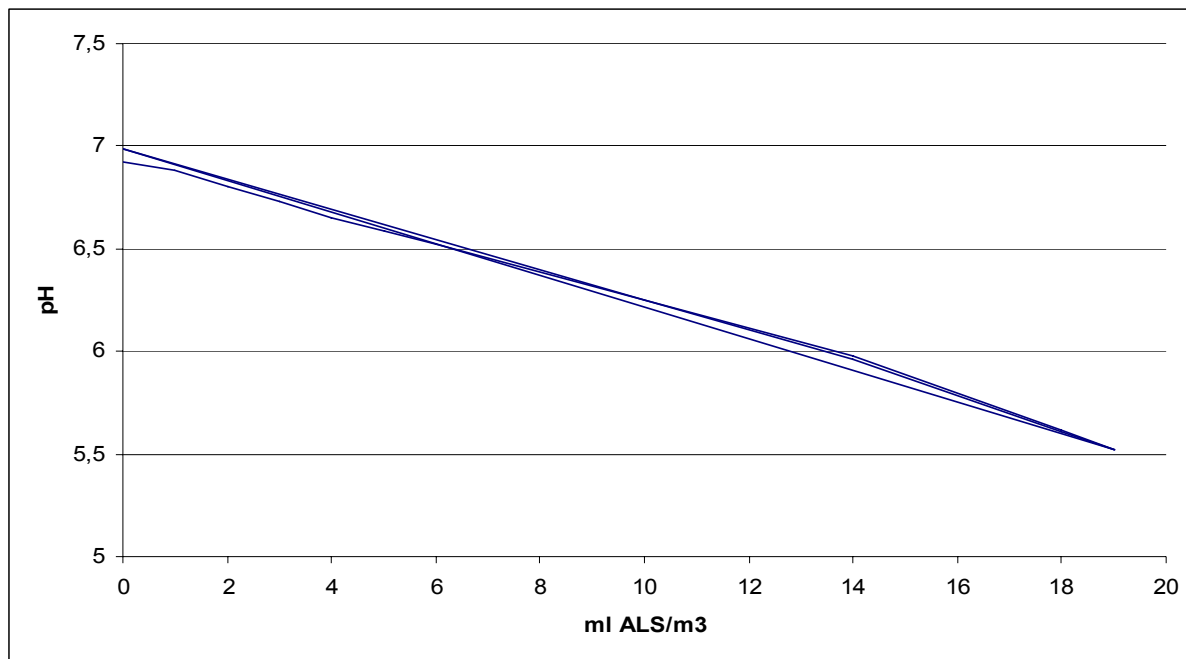
**Tabell 1.** Pumpekapasitet med to forskjellige slangestørrelser ved bruk av det samme pumpehodet (Waltson Marlow 313 vdl).

Slangediameter mm	Styrestrøm, mA	Tid for fylling 50 ml, i sek	Maksimum kapasitet, ml/min
4,8	18,3	10,6	310
8	10,5	10,5	544



**Figur 8.** pH-styring med PID-reguleringsteknikk. Langtidsforsøk som endte i doseringsstopp på grunn av sviktende batterier. Forsøket viser at pH ble justert meget nøyaktig så lenge det var strøm på batteriene.

Det ble gjennomført en titreringsanalyse med vann fra Tollerudbekken for å finne doseringsbehovet på den aktuelle feltdagen (13.12.06). Vannet hadde pH 6,92. ALS 30-05 ble fortynnet 1/1000 og 100 ml prøve ble titrert til pH 5,5 (**Figur 9**). Resultatet viste at man måtte tilsette 19 ml ALS/m<sup>3</sup> vann for å redusere pH til 5,5. Vannprøven ble tatt i etterkant av en stor flom. Alkaliteten pleier normalt å være noe lavere i etterkant av flommer enn ved stabile vannføringsforhold. Det er derfor rimelig å anta at også ALS-behovet var noe lavere enn normalt i Tollerudbekken.



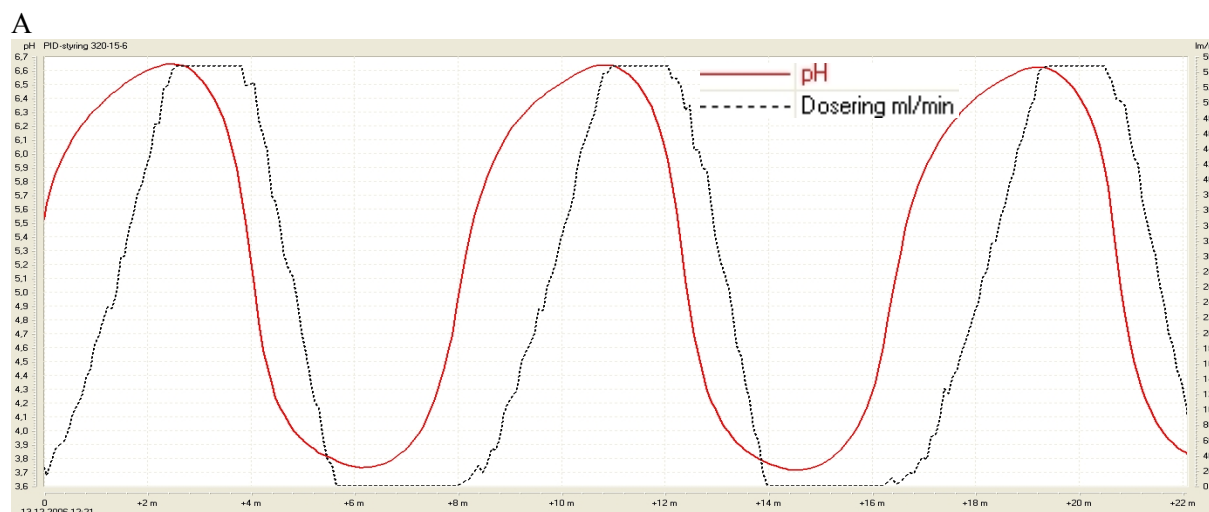
**Figur 9.** Titreringsanalyser med ALS på vann fra Tollerudbekken 13. desember 2006. Kurvene fra to analyser viser at det var behov for 19 ml ALS pr. m<sup>3</sup> vann for å redusere en settpunkt-pH på 5,5.

## 2.6 Manipulering med parametere

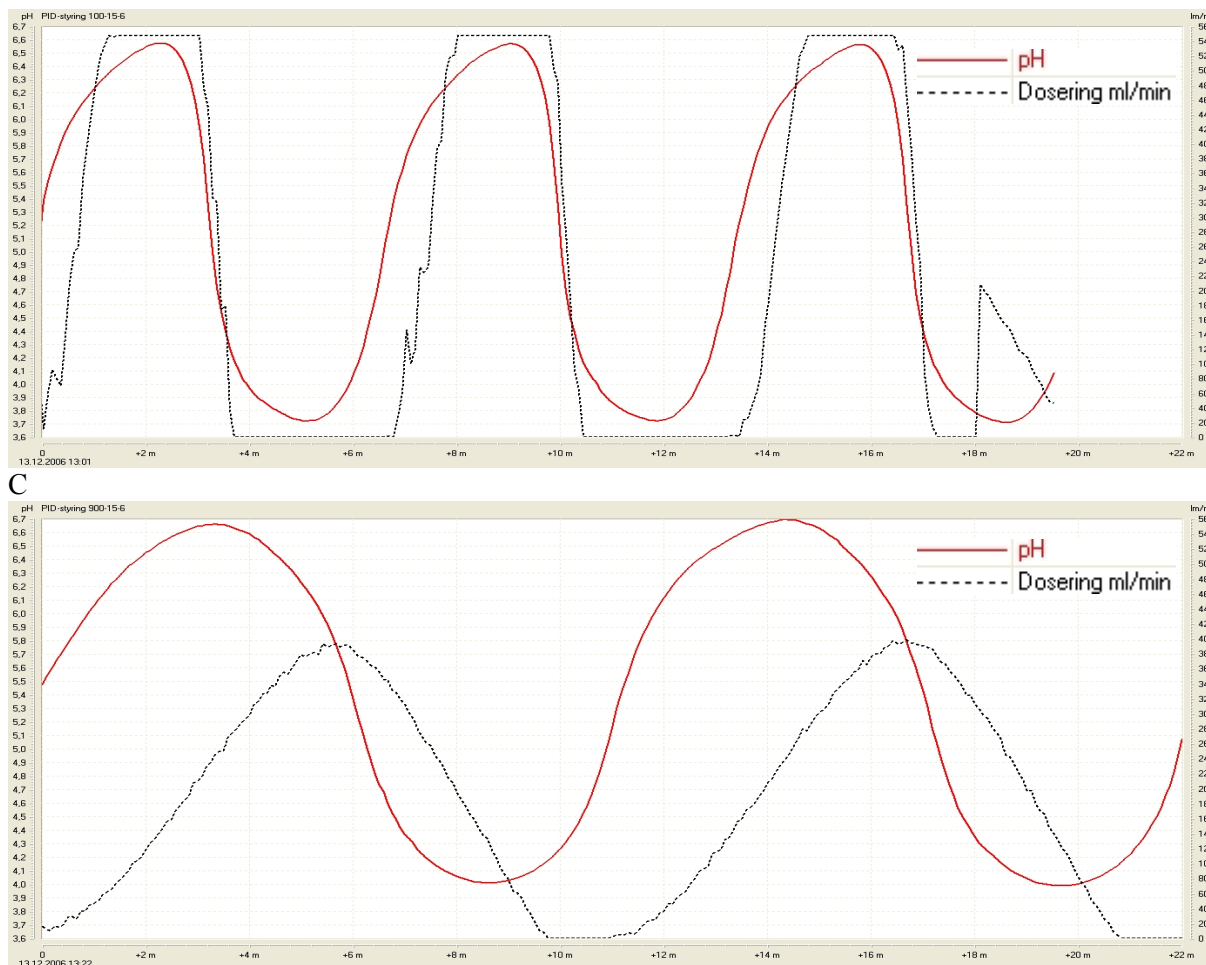
I desember 2006 ble det ved forsøkene i Tollerudbekken manipulert med parametere for å provosere fram feil.

Avstanden fra pH-elektrode til doseringspunkt ble forlenget til ca. 70 m. Dette, sammen med at vannføringen hadde gått noe ned i løpet av natten, førte til at reaksjonstiden økte til ca. 2 minutter.

**Figur 10** A, B og C viser resultater fra forskjellige justeringer i pH reguleringen. Pendlingen varierte med innstilt proporsjonalbånd.



B



**Figur 10.** PID-reguleringsforsøk med en og samme tilbakemeldingstid og flere forskjellige P-verdier. Tilbakemeldingstiden var alt for kort til å oppnå stabil dosering.

## 2.7 Forsøk med stort doseringsanlegg (700-pumpessystem)

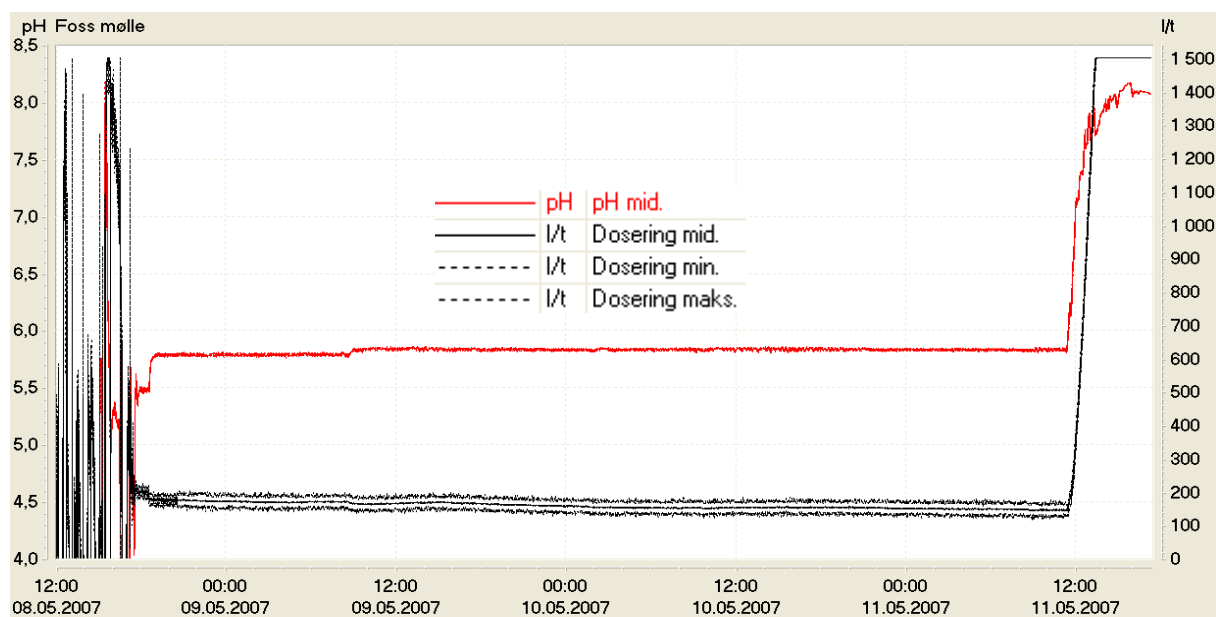
Våren 2007 ble det gjennomført PID-reguleringsforsøk i en skala og i et omfang som tilsvarer de forholdene som er aktuelle i mellomstore elver. Et stort anlegg med 700-pumpe ble plassert nedstrøms Foss mølle i Sandeelva. En doseringsslange med flere dyseåpninger ble strukket over elva for å få god kjemikaliespredning på tvers i elveprofilen. pH-målingspunktet ble montert nedstrøms to svinger i elva og ca. 70 m fra doseringspunktet. Fjernovervåkingsutstyr via mobil-nettet ble etablert for enklere overvåking av doseringsforløpet.

Vannføringen i elva var ved oppstart av forsøket ca.  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Alkaliteten var svært høy, ca. 800  $\mu\text{ekv/l}$ , og pH i elva var 8,1. Vannhastigheten ble målt til 0,4 m/s.

Settpunktet for pH ble satt til 5,5.

Første forsøk ga labile styringssignaler ut til doseringspumpa. Etter en del forsøk ble det funnet kombinasjoner som fungerte meget bra, og pH-verdiene i elva ble spesielt stabile (**Figur 11**). Settpunktet ble satt opp til 5,8 (52,5%) og senere finjustert til 53% for mer skånsom dosering i elva.

Doseringen avtok sakte på grunn av synkende vannføring, og etter 2,73 dager hadde doseringsanlegget dosert ut 10,2 m<sup>3</sup> ALS.



**Figur 11.** ALS-dosering med pH som styringsparameter i Sandeelva ved Foss mølle våren 2007. Doseringen vises med maksimums-, middel- og minimumsverdier for å synliggjøre hvor rolig doseringen forløp.

## 2.8 Forsøk med mellomstort anlegg (500-pumpesystem)

Anlegget ble satt opp i Vesleelv (**Figur 12**), nedstrøms et område som samtidig ble benyttet til andre ALS-forsøk (Pettersen 2008). Det var pH 7 i elva ved starttidspunktet for forsøkene, og vannføringen var 175 l/s.



**Figur 12.** Fra forsøkene i Vesleelv våren 2007; ALS-tank, doseringspumpe (festet til en provisorisk rigg av treverk) og elektroskap til venstre. Nedsenket doseringsslange med flere dysehull for god spredning av ALS i midten og pH-målepunkt med kabelstreck over elva til høyre. Bildene er tatt under flom.

En doseringssslange med flere dysehull ble strukket på tvers av elva. Dysene ble boret med en innbyrdes avstand på ca. 1 m for best mulig innblanding. Målepunktet for pH ble valgt nokså langt fra utløpet av doseringsslangen (55 m), på et punkt der elva gikk i sin første sving etter tilførsel av ALS. Tiden elvevannet brukte på denne strekningen (Th) var 312 sekunder.

ALS-tilsetningen medførte en umiddelbar overdosering som ga meget lav pH i en kort periode før tilbakemeldingsverdiene ble vektet så høyt at doseringen avtok, se **Figur 13**. Reduksjonen i doseringen forløp imidlertid meget langsomt. Det var i praksis umulig å oppnå ønsket pH innen rimelige tidsrammer..

For bedre innregulering ble det forsøkt med et mer følsomt proporsjonalbånd.. Det viste seg likevel vanskelig å oppnå ønsket signalverdi. Pumpekapasiteten ble da uansett for høy i forhold til vannføringen. Derfor ble slangen byttet til en med diameter 1,6 mm.

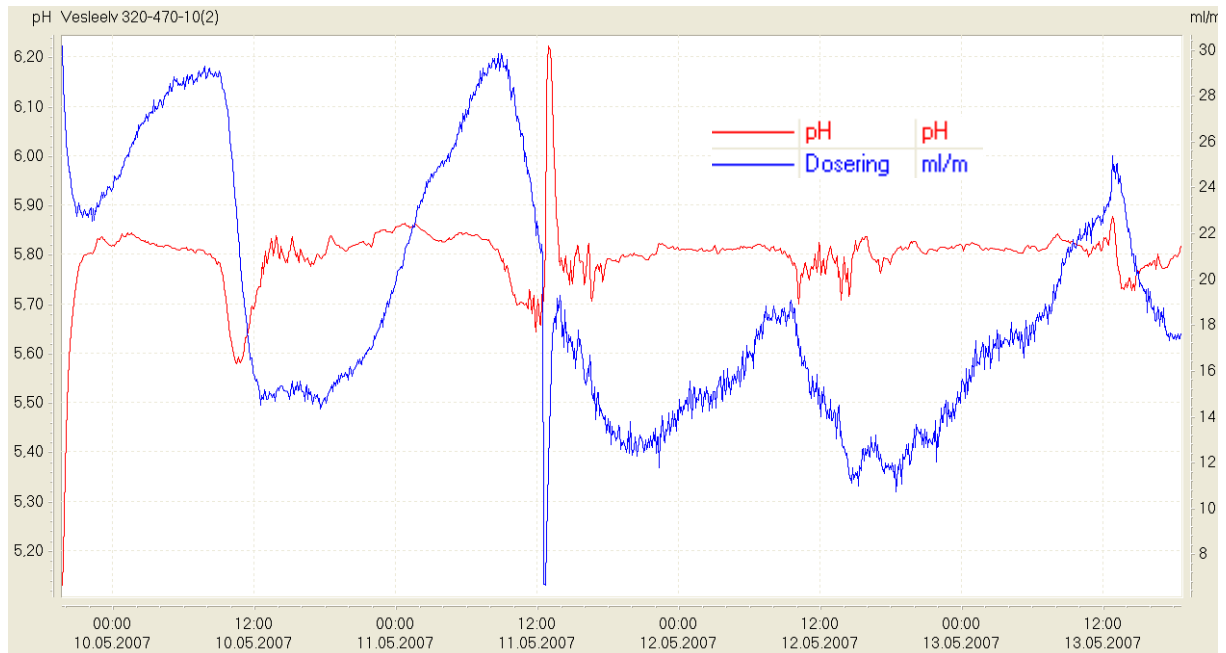
Dosering med redusert pumpekapasitet ble startet under moderate vannføringsforhold den 9. mai. Denne kombinasjonen mellom kapasitet og innstillinger virket tilfredsstillende (**Figur 14**). Imidlertid var reaksjonen på redusert ALS-behov noe treg. Etter noen justeringer ble det oppnådd en raskere pH-justering ved endrete forutsetninger. Styringssignalet ble imidlertid mer ustabil, se **Figur 15**.

Den 13. mai ble batteriene byttet for å sikre fortsatt pumpedrift, og systemet ble strømløst for en kort periode. Dette førte til at regulatoren umiddelbart økte pådraget da strømmen igjen ble satt på, og det oppsto et innsvingningsforløp som ved start av ny dosering.

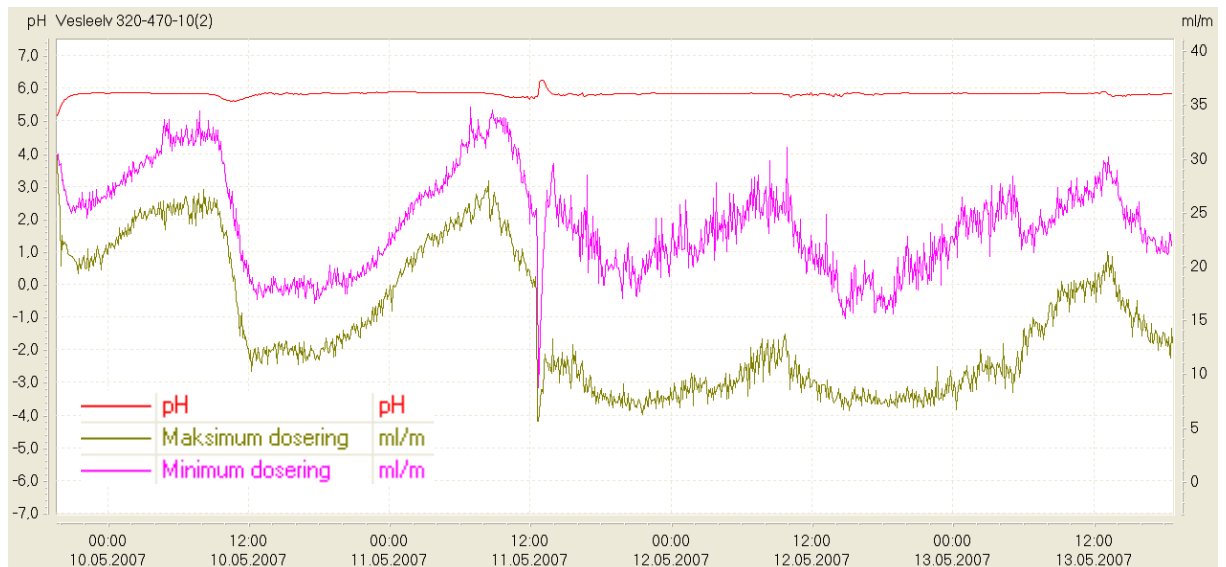
Den 14. mai var det flom i elva. Pumpekapasiteten var da alt for lav, og doseringssignalet gikk opp til maksimum dosering i løpet av relativt kort tid. pH kom ikke under ca. 6,5. Allerede 15. mai var vannføringen mye lavere, men da var elva sur som følge av andre forsøk med ALS-dosering oppstrøms pH-styringsforsøket, og i en periode på over 3 dager var pH under settpunktet slik at doseringen stoppet automatisk.



**Figur 13.** Doseringnivå og pH nedstrøms doseringspunktet i Vesleelv gjennom første del av forsøket våren 2007. Doseringkapasitet og reguleringsinnstillinger passet dårlig overens, og det ble vedvarende surt vann nedstrøms doseringen i lang tid.



**Figur 14.** Doseringsnivå og pH nedstrøms doseringspunktet i Vesleelv ved forsøk med vesentlig redusert pumpekapasitet. Det var batteribytte den 11. mai, derfor vertikale linjer.



**Figur 15.** Maksimum og minimum dosering sammen med pH nedstrøms doseringspunktet i Vesleelv etter overgang til større innstilt forsterkning (P) på regulatoren for PID-regulering. Styringssignalet varierte en del uten at dette påvirket doseringen i negativ retning, se den mer detaljerte pH-kurven i Figur 14.

### 3. Diskusjon

Forsøkene med alle tre varianter av doseringspumper viste at pH-regulering er godt gjennomførbart ved å kombinere bruken av de valgte komponenter. Forsøkene ble gjennomført med spesiell tanke på de doseringsanlegg som benyttes i Gyromet (300- 500- og 700-anlegg), men systemet vil fungere like tilfredsstillende også mot andre pumpesystemer så lenge styringssignalet kan gis i spenning eller strømsignal. Ved å utnytte valgmulighetene fullt ut, kan pH-verdiene vedlikeholdes tilnærmet like nøyaktig som på et fullt utstyrt industri-pHmeter. Alarmgiver, nødstop, prosesskalibereringer og fjernovervåking er fullt tilgjengelig.

Bruk av PID-reguleringen krever innsikt i hvordan dette prinsippet fungerer. For å kunne sette opp en regulering som ikke gir støt-dosering må man utnytte reguleringsprinsippet på en spesiell måte slik at det ikke overdoseres over lange perioder under oppstart av systemet. Bruk av ”ramping” ved grunnstart av dosering og ”hold”-funksjon ved vedlikehold og strømbryting er elementer som må innarbeides. PID-regulering er i utgangspunktet en form for regulering som egner seg godt ved raske tilbakemeldingstider. Derfor er det ikke automatisk et godt valg ved regulering av kjemikalietilsetting i naturlige elvesystemer. Prosess-signalet må innhentes på et sted nedstrøms doseringen der kjemikaliet er homogent innblandet i elvevannet og har reagert tilstrekkelig slik at det er den ønskete effekten som måles. Lengste mulige tilbakemeldingstid ved bruk av valgte regulator er ca. 16,5 minutter. Dersom innblanding og kjemisk reaksjon tar lenger tid enn dette, vil det bli vanskelig å benytte metoden. Imidlertid kan settpunktet velges på skjønn ut fra erfaringer om hvordan den fullstendige effekten kommer til å bli i målområdet for doseringen dersom tilbakemeldingstiden er innenfor tillatte tidsramme.

PID-reguleringsforsøkene i Sande ga forskjellige responser på utgangssignalet avhengig av oppkoblingsform. Forsøk med mA-utgang ga rolige signaler både med 300- og 700-pumpe. Ustabilitet oppsto ved bruk av spenningsutgang mot 500-pumpe. Det er ikke klart hvorfor dette oppsto. Generelt kan et snevert område på inngangssignalet påvirke utgangssignalet dersom dette er oppskalert i forhold til inngangssignalet. Små ustabiliteter i inngangen vil da gi stor påvirkning på utregnet signalutgang. Ved dosering i elv vil det ikke oppstå slike forhold. I stedet for å forsterke faktiske forhold i elven, vil systemet forsterke små ustabiliteter i inngangssignalet.

Det var tre forstyrrende elementer som påvirket forsøkene: Ustabile styringssignaler, feil dimensjonert doseringsslange i forhold til vannføring i flom og annen dosering oppstrøms forsøket som stoppet behov for regulering. Selv med disse påvirkningene viste forsøkene i Vesleelv at doseringen hadde tilfredsstillende forløp gjennom en lang tidsperiode. Ingen av forholdene hindret ervervelse av tilstrekkelig informasjon til å kunne konkludere med svært tilfredsstillende resultater. PID-regulering av pH ved å samkjøre de komponenter som her er uttestet, vil være et meget godt verktøy til nøyaktig regulering av kjemikalietilsetting til elv. Dermed oppnås de samme muligheter som ved bruk av konvensjonelt utstyr til langt høyere kost. Eksempelvis vil pH-metere med de funksjoner som kreves, koste ca. 10 ganger mer enn vår løsning.

## 4. Referanser

- Hytterød, S., Lydersen, E. og Mo, T.A. 2007. Bakgrunnsdokument for søknad om utslippstillatelse for aluminiumsulfat (AlS) og svovelsyre i forbindelse med AlS-behandling mot *Gyrodactylus salaris* i Sandevassdraget. Veterinærinstituttet.
- Hytterød, S., Pettersen, R.A., Høgberget, R., Lydersen, E., Mo, T.A., Hagen, A.G., Kristensen, T., Berntsen, S., Abrahamsen, B., Poléo, A.B.S. 2005. Forsøk på totalutryddelse av *Gyrodactylus salaris* i Batnfjordelva ved hjelp av aluminium som hovedkjemikalium. NIVA rapport L. nr. 5015.
- Høgberget, R., 2004. Driftskontroll av kalkdoseringsanlegg i Mandalsvassdraget. Avviksrapport år 2003. NIVA rapport L. nr. 4904.
- Kjøsnes, A., Urke, H., Hytterød, S., Guttvik, K.T., Pettersen, R.A., Høgberget, R., Moen, A., Sandodden, R., Hagen, A.G., Rustadbakken, A., Olsen, N., Øxnevad, S., Håvardstun, J., Stensli, J.H., Lydersen, E. 2007. Kjemisk behandling mot *Gyrodactylus salaris* i Steinkjervassdragene 2006 NIVA rapport L.nr. 5373.
- Lydersen, E., Bakke, T. A., Høgberget, R., Håvardstun, J., Hyttersød, S., Kristensen, t., Mo, T. A., Pettersen, R. A., Poléo, A. B. S., Rosseland, B. O., Øxnevad, S., 2004. Al-behandling mot *Gyrodactylus salaris* i Batnfjordselva. Sluttrapport 2003. NIVA rapport L. nr. 4783.
- Pettersen, R. A., 2008. Notat utarbeidet av Veterinærinstituttet i Oslo for Fylkesmannen i Vestfold.
- Pettersen, R.T., Hytterød, S., Mo, T. A., Hagen, A.G., Flodmark, L.E.W., Høgberget, R., Olsen, N., Kjøsnes, A.J., Øxnevad, S., Håvardstun, J., Kristensen, T., Sandodden, R., Moen, A., Lydersen, E. 2007. Kjemisk behandling mot *Gyrodactylus salaris* i Lærdalselva 2005/2006 – Sluttrapport. NIVA rapport L.nr. 5349.
- Poléo, A.B.S., Østbye, K., Øxnevad S.A., Andersen, R.A., Heibo, E., Vøllestad A.L. 1997. Toxicity of acid aluminium-rich water to seven freshwater fish species: A comparative laboratory study. *Environmental Pollution*, 2, 129-139.
- Poléo, A.B.S., Schjolden, J., Hansen, H., Bakke, T.A., Mo, T.A., Rosseland, B.O. og Lydersen, E. 2004. The effect of various metals on *Gyrodactylus salaris* (Platyhelminthes, Monogenea) infections in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Parasitology*, 128, 1-9.
- Soleng, A., Poléo, A.B.S., Alstad, N.E.W. & Bakke, T.A. 1999. Aqueous aluminium eliminates *Gyrodactylus salaris* (Platyhelminthes, Monogenea) infections in Atlantic salmon. *Parasitology*, 119, 19-25.



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 samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)