

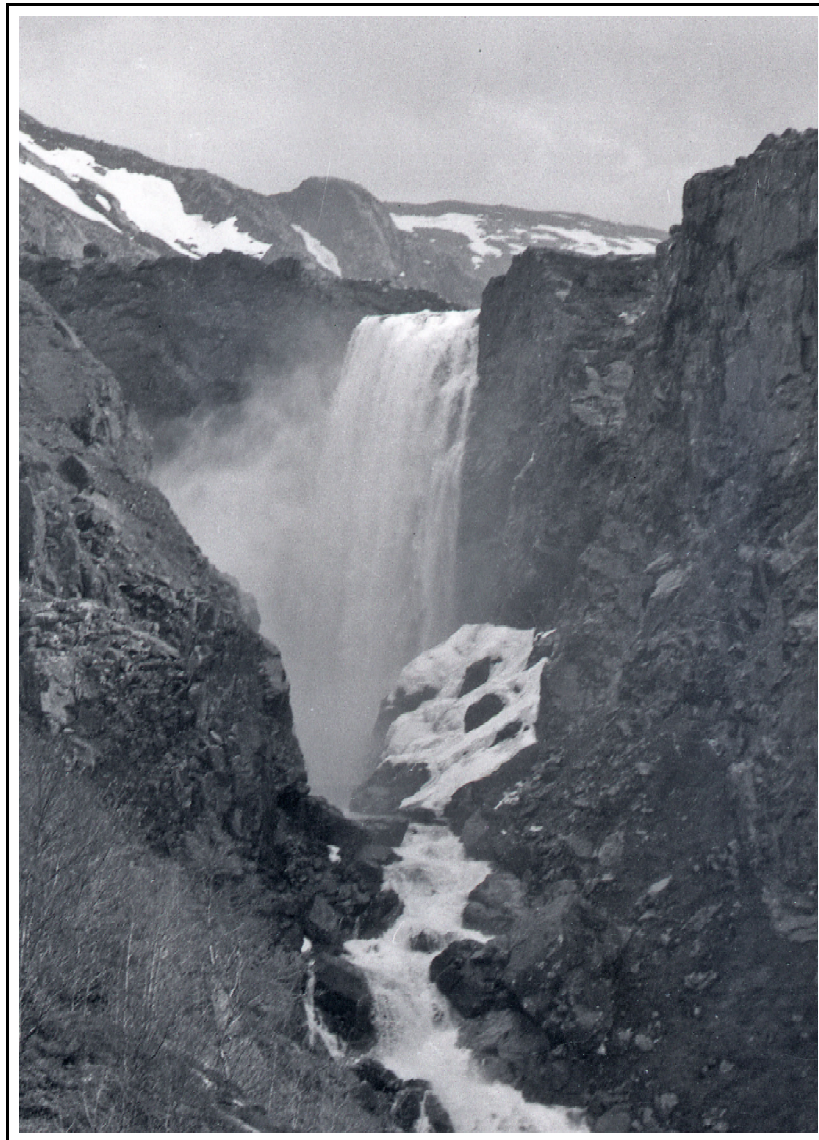


**Fylkesmannen i Rogaland**  
**Miljøvern avdelingen**

---

***MODELLBEREGNINGER AV  
VANNKVALITET I STORÅNA***

*VED ULIKE SCENARIER FOR SLIPPING  
AV MINSTEVANNFØRING*



Rykanfossen 1930 (foto: Otto Floor/Statsarkivet)

---

# MILJØ-NOTAT

## FYLKESMANNEN I ROGALAND MILJØVERNAVDELINGEN



Postadresse:  
Postboks 0059  
4001 STAVANGER  
Tlf. 51 56 87 00

Kontoradresse:  
Statens Hus  
Lagårdsveien 44  
4010 STAVANGER

<i>Forfatter(e):</i> Espen Enge	<i>Notatnr.:</i> 2 – 2010 (Internettversjon – pdf-format)
<i>Prosjektansvarlig(e):</i> Per Terje Haaland	<i>Dato:</i> 11.11.2010
	<i>Faggruppe:</i> Fisk
<i>Emneord:</i> Årdalselva, minstevannføring, vannkvalitet	<i>Geografisk område:</i> Årdal
	<i>Antall sider:</i> -
<i>Finansieringskilde:</i> FM	<i>ISSN-nummer:</i> 0803-0170
	<i>Arkivnummer:</i> -
<i>Sammendrag:</i>  Storåna tåler påslipp av vann tilsvarende minstevannføringer på 1 & 2 m <sup>3</sup> /s i en normal-situasjon (ref. Nes eller Kaltveit), uten at dette gir ugunstig vannkvalitet.  Minstevannføring på 4 m <sup>3</sup> kan medføre noe for surt vann i Storåna, og kalking bør vurderes. Trolig er utlegging av 15 t grovkalk/år nedstrøms dammen på Breiava tilstrekkelig.	

### TITTEL:

<p><b>Miljønotat nr. 2 - 2010</b></p> <p><b>Modellberegninger av vannkvalitet i Storåna ved ulike scenarier for slipping av minstevannføring.</b></p>
---

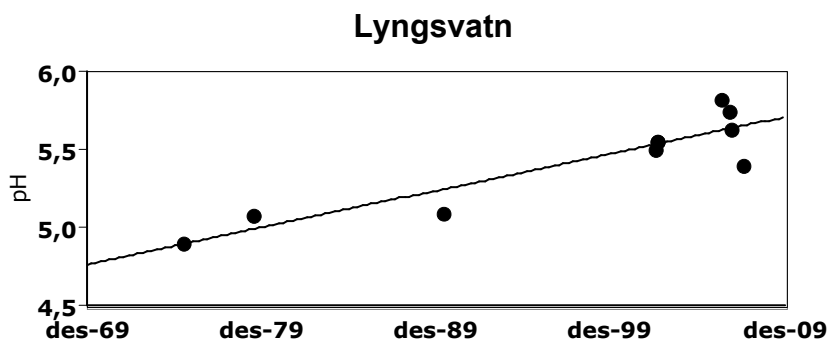
## 1. INNLEDNING

Årdalsvassdraget er sterkt regulert. En betydelig del av Storåna er overført til Lyse, og øvre deler av sidevassdraget Bjørg er overført til Ulla-Førre. Restvannføringen nede i Årdal er ca. 1/3 av uregulert vannføring.

Øvre deler av Årdalsvassdraget er påvirket av forsuring, og mange av innsjøene har mistet fiskebestandene. Vannet fra disse områdene føres i dag direkte til Lysefjorden via Lysebotn kraftverk. Reguleringen har derfor vært positiv for vannkvaliteten (pH) i selve Årdalselva.

I 1990 var det store overløp på reguleringsmagasinene. Det sure ionefattige vannet fra høyfjellet dominerte vannkvaliteten i hele vassdraget nedstrøms, og dette gav omfattende fiske-død (Nordland 1991).

Vannet fra øvre deler av vassdraget samles i Lyngsvatn, som er hovedmagasinet i reguleringen. Vannkvaliteten i Lyngsvatn (fig. 1) gir derfor en god indikasjon på vannkvaliteten i disse områdene. På 1970-tallet var pH-verdiene rundt 5, men har økt til omlag 5.5 etter 2000. Vannkvalitetsforbedringene (+0.024 pH/år) er i overensstemmelse med forbedringer registrert i fylket generelt (Enge og Lura 2003).



**Figur 1: pH-verdier i Lyngsvatn 1975-2006. Et par målinger fra 1975 er utelatt pga. usikker opprinnelse og kvalitet.**

Etter fiskedøden i 1990 har det vært reist spørsmål om vassdraget trenger kalking, og det har blitt utarbeidet kalkingsplan (Hindar et al. 1996). Forvaltningens foreløpige konklusjon var den gang at vannkvaliteten i en normalsituasjon var akseptabel, men at det var et klart behov for kalking i overløpssituasjoner. Siden behovet for kalking var langt mer akutt i andre elver, og siden konsesjonen snart skulle revideres, ble Årdal foreløpig satt "på vent" mhp. kalking. En slik kalking ville dessuten ha gitt både doseringstekniske og plasseringstekniske utfordringer.

Spørsmålet om kalking er nå på nytt blitt aktuelt. NVE har foreslått minstevannføringer på 2.0 og 1.0 m<sup>3</sup>/s i Storåna, og Lyse har foreslått 4.0 & 1.5 m<sup>3</sup>/s i forbindelse med nye utbyggingplaner. Dette vannet må nødvendigvis slippes fra et av magasinene oppe på fjellet, som har surere vannkvalitet enn selve Årdalselva.

## 2. METODER

### **2.1 Undersøkelsesopplegg og strategi**

Det er foretatt vannkjemiske målinger på utvalgte stasjoner over en tidsperiode på 2 år, og samtidig registrert vannføring. Dette er benyttet til å lage en modell for å simulere vannkvaliteten ved ulike scenarier for slipping av minstevannføring.

### **2.2 Hydrologi**

Det er avlest vannføring (vannstand) ved Nes, Kaltveit og Bjørg, og noe mer sporadisk også ved Leirberget. Det er benyttet vannføringskurver fra Lyse for målepunktene, med unntak av Nes, som ble kalibrert som del av denne undersøkelsen. Vannføringsmålingene ved Nes ble gjort ved "relativ saltfortynning".

Blandingsforholdet mellom vannet fra Storåna ved Nes og Lyngså er estimert fra målt klorid i de to elvene separat og i blandingsvannkvaliteten. Den relative andelen "Lyngså" av totalen ( $Q_{Lyngså} + Q_{Nes}$ ) kan estimeres utfra massebalansen for klorid:

$$Q(REL)_{Lyngså} = \frac{Cl_{Egeland} - Cl_{Nes}}{Cl_{Lyngså} - Cl_{Nes}}$$

Eller som forholdstall mellom de to elvene:

$$Q_{Lyngså} = Q(REL)_{Lyngså} / (1 - Q(REL)_{Lyngså}) * Q_{Nes}$$

Da vannføringen ved Nes er målt, kan vannføringen i Lyngsåna estimeres.

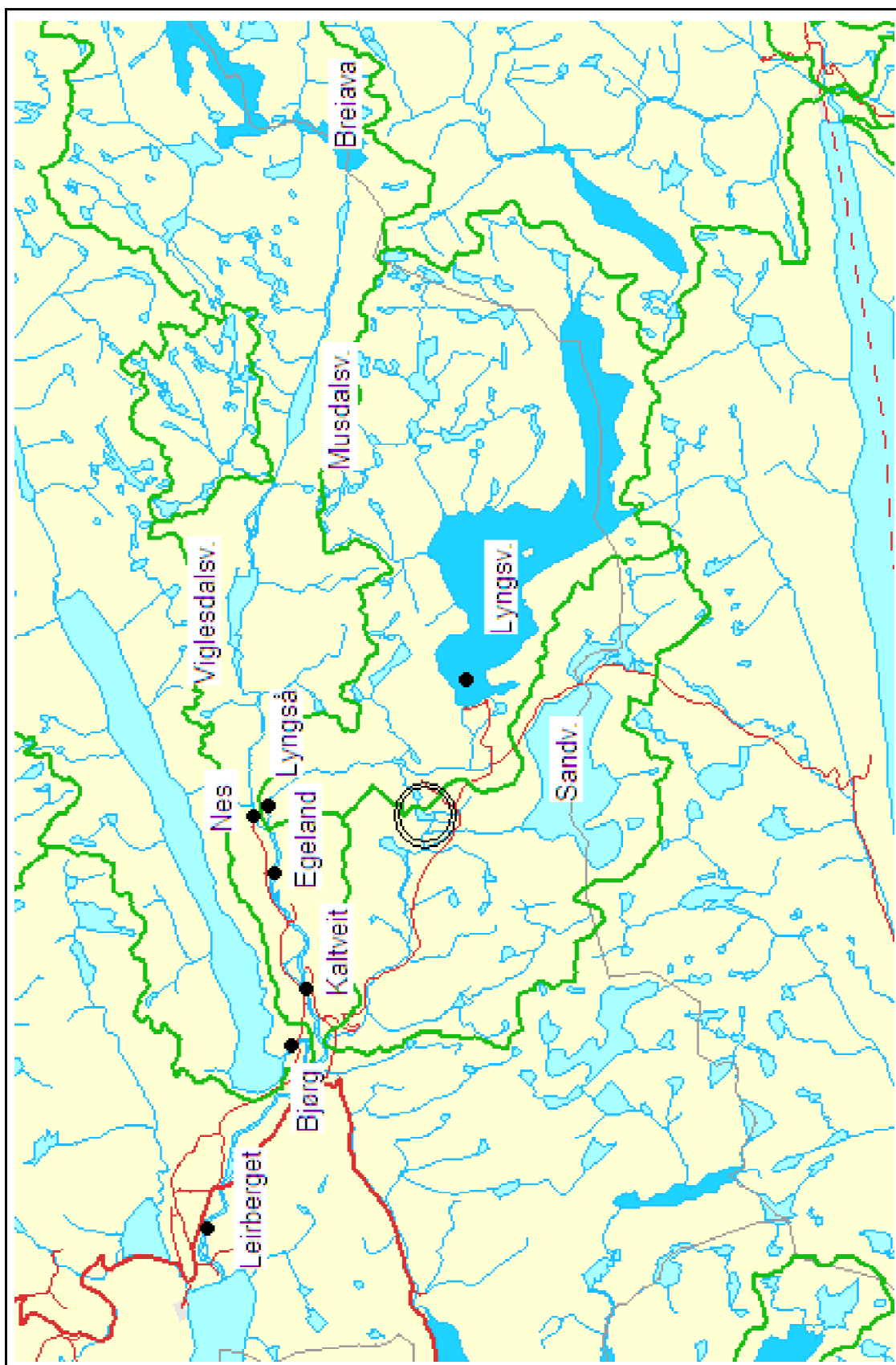
### **2.3 Vannkjemisk overvåkning**

**2.3.1 Vannprøvelokaliteter:** I 2005 ble det hentet vannprøver på 4 lokaliteter i Storåna mellom Nes og Kaltveit (fig. 2):

- Nes
- Lyngså
- Egeland (oppstrøms)
- Kaltveit bro

Den kraftige sjøsaltepisoden vinteren 2005 (Hindar og Enge 2006) gjorde noe av 2005-materialet lite representativt. Det ble derfor bestemt å videreføre undersøkelsene i 2006, og i tillegg utvide antall stasjoner. Nye stasjoner i 2006:

- Ullestad
- Bjørg (prøvested Bergeland)
- Leirberget
- Lyngsvatn (spora disk prøvetaging)



*Figur 2: Oversiktskart over prøvestasjoner (●) i Årdalsvassdraget. Dobbel sirkel representerer lokaliteter som har avløp i begge retninger, både mot Nes og mot Ullestad. (kartgrunnlag: nve.no)*

**2.3.2 Vannkjemiske målinger:** I 2005 ble det analysert pH, konduktivitet, alkalitet og kalsium. Fargetall ble målt sporadisk. I 2006 ble fargetall målt på alle prøvene. I tillegg ble det også målt klorid i 2006 for å kvantifisere sjøsalteffekter.

pH ble bestemt på med pH-meter av type Cole-Parmer, med elektrode Radiometer GK2401C (referanse: "Standard Methods" 4500-H<sup>+</sup>). Konduktivitet ble bestemt med konduktivimeter av type Cole-Parmer (referanse: "Standard Methods" 2510). Fargetall ble bestemt fotometrisk ved 410 nm (ufiltert). Alkalitet ble bestemt ved titrering til pH=4.50 med H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, og omregning til ekvivalens-alkalitet, "ALK<sub>E</sub>" (referanse: Henriksen 1982). Kalsium ble bestemt med ioneselektiv elektrode (referanse: Radiometer 2000). Klorid ble titrert konduktometrisk med AgNO<sub>3</sub> (referanse: Modifisert etter Vogel 1961).

**2.3.3 Vannkjemiske simuleringer og beregninger:** Enge og Hemmingsen (2010) har foretatt modellberegninger av uregulert vannkvalitet i Sira med utgangspunkt i data fra lange observasjonsserier. Metodikken som ble utviklet i forbindelse med dette arbeidet er også benyttet her.

Hovedprinsippet for slike beregninger er at for konservative parametre representerer blandingsvannkvaliteten volumveid middel av alle enkeltbidragene. pH i blandingen estimeres med utgangspunkt i empiriske sammenhenger med konservative parametrene. Det vises til Enge og Hemmingsen (2010) for nærmere beskrivelse.

Det er imidlertid en forskjell i forhold til beregningene i Sira: I Sira ble vannkjemien nede i selve hoveddalføret beregnet som en ren blanding av ulike vannkvaliteter og vannmengder fra flere høyereliggende delfelter. I Årdal må det i tillegg også tas hensyn til direkte effekter på vannkvaliteten som følge av geologi/løsmasser nede i selve hoveddalføret.

Normalt er forvittringshastigheten styrt av selve forvittringsreaksjonen på overflaten av mineralet, og ikke av massetransportprosessen (Stumm og Morgan 1996). Da kan forvittringshastigheten skrives  $r = k * A$ , hvor k er en forvittringskonstant, og A er mineraloverflaten (Stumm og Morgan 1996). I praksis betyr dette en tilnærmet konstant "utlekking" av forvittringsprodukter til vannfasen.

Det er simulert for lokalitetene Nes og Kaltveit, da dette er aktuelle steder å referere minstevannføring til. **Det er i beregningene forutsatt at vannet slippes fra Breiava.**

### 3. RESULTATER

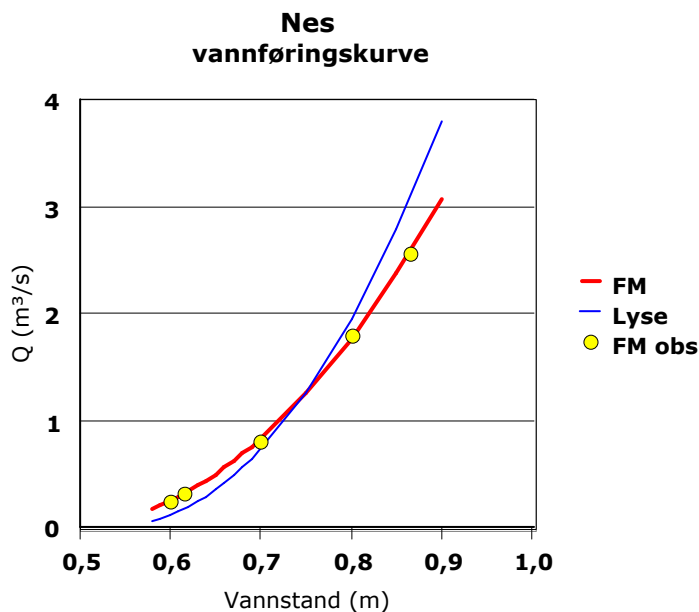
#### 3.1 Resultater av målinger

**3.1.1 Hydrologi:** Det ble utført 5 vannføringsmålinger på Nes (tab. 1), på vannføringer fra 0.25 - 2.57 m<sup>3</sup>/s, tilsvarende 9 - 92% av middelvannføringen (middelvannføring: NVE-atlas).

*Tabell 1: Målinger av vannføringer ved Nes*

Dato	Vannstand m	Q(målt) m <sup>3</sup> /s	Metode	Merknad
01.06.2006	0,800	1,80	rel. saltfortynning	-
03.07.2006	0,700	0,82	rel. saltfortynning	-
16.08.2006	0,615	0,33	rel. saltfortynning	kanal gjennom sandbanke
24.08.2006	0,600	0,25	rel. saltfortynning	kanal fra sist
28.10.2006	0,865	2,57	rel. saltfortynning	-
$\log(Q) = 1.252 + 2.083 \cdot \log(VST - 0.47)$			( $r^2=1.000$ , $n=5$ )	

Vannføringskurven viste små avvik i forhold til tidligere kurve utarbeidet av Lyse (fig. 3). Det må imidlertid tas hensyn til mulige endringer i kurven over tid pga. en større sandbanke i måledammen, som mulig er ustabil (omtales seinere).



*Figur 3: Vannføringskurver for Storåna v/Nes. Både ny kurve, utarbeidet av Fylkesmannen og den gamle kurven (Lyse) er vist i figuren.*

*Vannføring Lyngsåna:* I Lyngsåna er det ingen vannføringsmålinger og vannføringen er estimert med utgangspunkt i vannføringen ved Nes og målt klorid.

For prøver uten klorid ble denne estimert utfra empirisk sammenheng mellom Cl, Ca og konduktivitet ( $r^2=0.92$ ,  $p<0.001$ ,  $n=27$ ) med data fra stasjonene Nes, Lyngså og Egeland.

$$\text{Cl (mg/l)} = 0.21 * \text{Kond (}\mu\text{S/cm)} - 1.08 * \text{Ca (mg/l)} - 0.33 \quad [1]$$

Blandingsforholdet er kun basert på de datoer hvor det er beregnet flux. Det ble funnet:

$$Q_{\text{Lyngså}} = 0.5 * Q_{\text{Nes}}$$

hvor 0.5 er det gjennomsnittlige forholdstallet ( $n=10$ ). Selv om dette varierer over tid, er det likevel benyttet middelvei i beregningene pga. av at usikkerhetene i enkeltmålingene blir for stor til at disse kan benyttes enkeltvis.

I Lyngsåna har Sandvatn/Urdatn-feltet avløp i begge retninger, både mot Nes og mot Ullestad (fig. 2). I ulike sammenhenger er det antatt at fordelingen er 50-50 mot Nes og Ullestad. Med dette utgangspunkt kan forholdstallet mellom  $Q_{\text{Lyngså}}$  og  $Q_{\text{Nes}}$  beregnes til omlag 0.7 basert på normalavløp (NVE-atlas).



**3.1.2 Vannkjemi:** Årsmidlene for pH på elvestasjonene 6.04-6.41, hvilket er fullt brukbart for laks (tab. 2). Enkeltmålinger på de forskjellige stasjonene varierte mellom 5.64-6.59 og 5.26-6.78 i 2005 og 2006 (fig. 4, vedlegg). De laveste verdiene ble imidlertid målt i sideelver (Lyngsåna og Ullestadåna).

På stasjonene i selve hovedelva var pH-verdiene sjelden under 6. Lavest målte pH i 2005 og 2006 ble observert på stasjonen Kaltveit (2005: pH=5.83; 2006: pH=5.86). På f.eks. stasjonen "Nes" var laveste pH-verdi 6.05 både i 2005 og 2006 (fig. 4, vedlegg).

**Tabell 2: Middelerverdier for vannkjemiske parametre i 2005 og 2006 (rådata: vedlegg).**

Lokalitet	dato	n	pH	Kond. µS/cm	Ca mg/l	Cl mg/l	ALK µekv./l	Farge mg Pt/l
Nes	2005	6	6,26	19,8	0,61	-	17,2	-
	2006	10	6,32	15,0	0,63	2,20	23,9	11,0
Lyngså	2005	6	6,19	21,4	0,70	-	19,8	-
	2006	10	6,04	17,6	0,58	2,70	16,5	15,0
Egeland	2005	6	6,18	20,5	0,64	-	17,8	-
	2006	10	6,29	16,0	0,64	2,36	21,9	11,9
Kaltveit	2005	6	6,18	22,2	0,79	-	22,7	-
	2006	10	6,28	19,3	0,84	2,61	30,3	11,9
Bergeland	2005	3	6,39	20,9	0,79	-	20,7	-
	2006	9	6,28	20,2	0,77	3,23	20,7	6,7
Lyngsvatn	2006	3	5,74	11,7	0,31	1,65	6,6	5,9
Ullestadåna	2006	9	6,20	18,3	0,68	2,74	24,1	19,3
Leirberget	2006	10	6,41	23,2	1,08	3,15	36,2	10,5

På stasjonen Bergeland, som representerer sideelva "Bjørg" (utløpselv fra Øvre Tysdalsvatn) var det små variasjoner i vannkjemien over året (fig. 4, vedlegg). Stabiliteten i vannkjemien skyldes at vannet er stort og har lang oppholdstid, noe som utjevner vannkjemiske variasjoner over tid.

Vannkvaliteten i lokalitetene oppe på fjellet er nærmest konstant. Prøver tatt i magasinene, og innsjøene på fjellet langs Viglesdalen i perioden 2002 - 2007 (vedlegg) viste pH=5.61±0.16, konduktivitet=10.8±2.7 µS/cm og Ca=0.26 ± 0.05 mg/l (n=14).



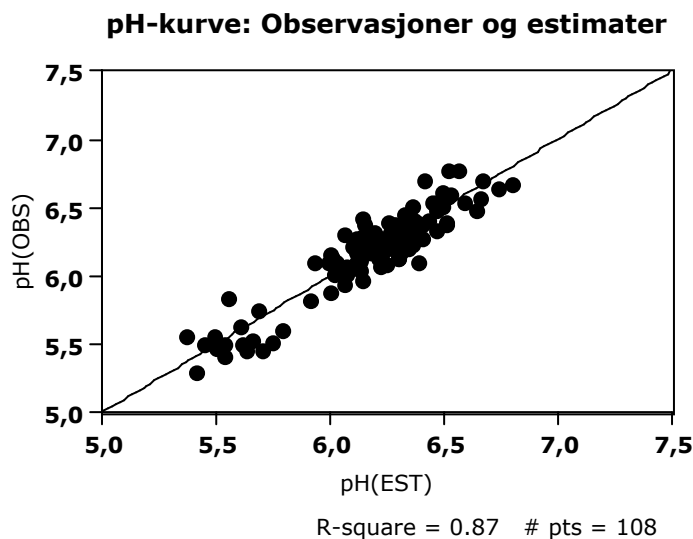
I de videre kjemiske bearbeidelser er det også inkludert data fra “pH-kartene” i Rogaland fra 2002 og 2007 (Enge og Lura 2003, Enge 2008). I forbindelse med disse prosjektene ble det hentet vannprøver fra flere av magasinene i Årdalsvassdraget, i tillegg til andre uregulerte innsjøer som drenerer mot Viglesdal (vedlegg). For alle disse prøvene forelå data på pH, konduktivitet og kalsium, mens dekningsgraden for andre parametre var varierende. Det ble derfor valgt å benytte en empirisk pH-kurve basert på de nevnte parametre:

pH var godt korrelert til  $\log(\text{Ca})$  & konduktivitet ( $r^2=0.87$ ,  $p<0.001$ ,  $n=108$ ):

$$\text{pH}_{\text{EST}} = 7.29 - 0.036 \cdot \text{KOND}(\mu\text{S}/\text{cm}) + 2.18 \cdot \log\{ \text{Ca}(\text{mg}/\text{l}) \} \quad [2]$$

I første omgang ble alle ( $n=116$ ) observasjoner benyttet, men på grunnlag av residualanalyse, ble 8 “outliers” tatt ut. Den tilsynelatende negative effekten av konduktivitet på pH ( $p<0.001$ ) er en samvarianseffekt, og ble også funnet i Sira.

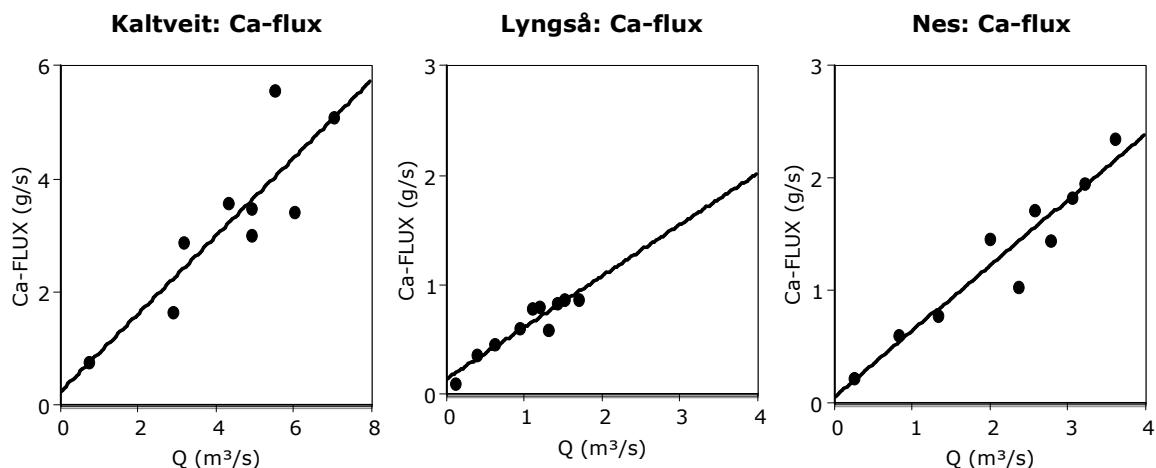
Samsvaret mellom estimater og observasjoner var meget bra (fig. 5). 91% av estimatene var innenfor usikkerheten i selve pH-målingene ( $\pm 0.2$  pH).



**Figur 5: Estimert og observert pH for 108 prøver fra Årdalsvassdraget 2002-2007 (rådata: vedlegg)**

### 3.2 Resultater av simuleringer og beregninger:

3.2.1 Estimerer av Ca-flux fra feltene: Med utgangspunkt i Ca-verdier og vannføringer er det estimert flux (g/s) av Ca fra ulike felt (fig. 6).



Figur 6: Estimerer av Ca-flux fra ulike felt i Årdalsvassdraget

Regresjonslinjene (“flux-kurvene”) for de forskjellige målesteder blir da (enheter: se fig. 6):

<b>Nes:</b>	$\Delta M_{Ca}/\Delta t = 0.06 + 0.58 \cdot Q$	$(r^2=0.91, n=10)$	[3]
<b>Lyngsåna:</b>	$\Delta M_{Ca}/\Delta t = 0.14 + 0.47 \cdot Q$	$(r^2=0.89, n=10)$	[4]
<b>Kaltveit:</b>	$\Delta M_{Ca}/\Delta t = 0.23 + 0.69 \cdot Q$	$(r^2=0.76, n=9)$	[5]

Alle regresjonene var signifikante ( $p < 0.01$ ). Selve konstantleddene var imidlertid ikke signifikant forskjellige fra 0 ( $p > 0.01$ ). Konstantleddene representerer forvitningsbidragene av Ca, og skal åpenbart være  $> 0$ . Tilsynelatende mangel på signifikans skyldes trolig begrenset observasjonsmateriale og sammensetningen av materialet. Det er derfor valgt å gå videre med regresjonene slik de er vist [3] - [5], selv om det er usikkerheter knyttet til størrelsen av konstantleddene (forvitringen).

Kalsiumverdiene ble ikke korrigert for det marine bidraget. Dette ville vært mest korrekt, da buffereffekten skyldes det ikke-marine bidraget av Ca og Mg (Henriksen 1980). Det marine Ca-bidraget var imidlertid meget lavt. Basert på tilgjengelige verdier for både Ca og Cl (tab. 2), ble dette bidraget estimert til omlag 6-11%.

**3.2.2 Modell:** Dette gir følgende modeller for Ca for de ulike prøvelokaliteter:

$$\text{Nes:} \quad \text{Ca} = 0.58 \cdot Q_n / (Q_n + Q_s) + 0.26 \cdot Q_s / (Q_n + Q_s) + 0.06 / (Q_n + Q_s) \quad [6]$$

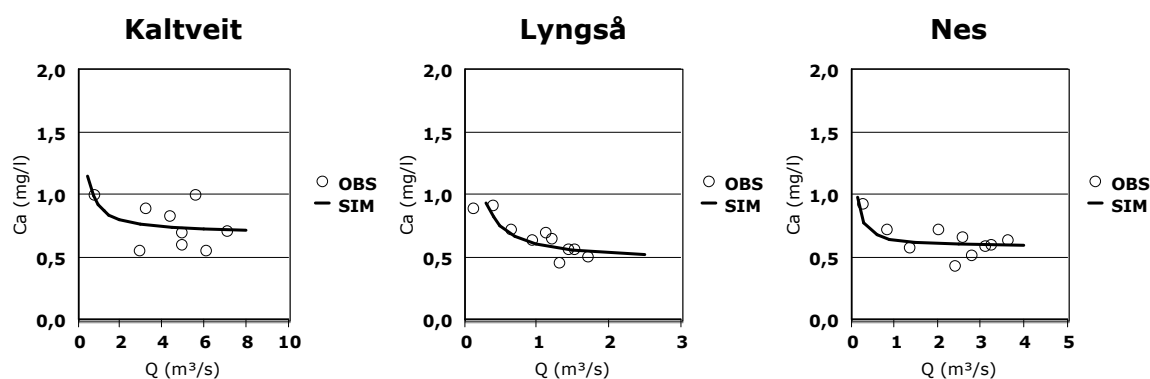
$$\text{Lyngså:} \quad \text{Ca} = 0.47 \cdot Q_n / (Q_n + Q_s) + 0.26 \cdot Q_s / (Q_n + Q_s) + 0.14 / (Q_n + Q_s) \quad [7]$$

$$\text{Kaltveit:} \quad \text{Ca} = 0.69 \cdot Q_n / (Q_n + Q_s) + 0.26 \cdot Q_s / (Q_n + Q_s) + 0.23 / (Q_n + Q_s) \quad [8]$$

(Q: m<sup>3</sup>/s, Ca: mg/l, “n” og “s” står for hhv. “naturlig” og “slipping”)

Modellene for konduktivitet er laget etter samme prinsipp, med unntak av at det geologiske bidraget er neglisjert. Når disse modellene, samt pH-kurven [2] kobles med vannføringer, kan pH ved ulike scenarier for slipping av minstevannføring simuleres.

**3.2.3 Simuleringer - test av modell:** Det var godt samsvar med observert og simulert kalsium ved de aktuelle vannføringene (fig. 7).



**Figur 7: Simulert og estimert Ca ved ulike vannføringer (dagens situasjon, uten slipp)**

For de to mållokalitetene Nes og Kaltveit var differansen mellom simulert og observert Ca henholdsvis  $-0.01 \pm 0.12$  mg/l (n=10) og  $-0.01 \pm 0.14$  mg/l (n=9). For pH var differansene, henholdsvis  $-0.1 \pm 0.2$  (n=10) og  $0.1 \pm 0.2$  (n=9). For stasjonene under ett, var pH-differansen  $0.0 \pm 0.2$  (n=19). De tilsvarende usikkerhetene i estimatene er beregnet til  $\pm 0.3$  pH.

Dette viser at simuleringsmodellen “treffer” Ca-verdiene tilfredsstillende, mens det er noe større usikkerheter knyttet til pH, og som må tas i betraktning ved tolkning av resultatene.

**3.2.3 Simuleringer av vannkvalitet ved slipping av minstevannføring fra Breiava:** Det er benyttet middelerverdier for innsjøene på fjellet som "slipp-vannkvalitet". Konduktivitetsverdiene i simuleringene var middelerverdier fra 2006. 2005 ble ikke benyttet pga. varierende grad av sjøsalteffekter. Simulerte sjøsalteffekter er utført med utgangspunkt i 2006-midlene, tillagt 10% for magasinene og 50% i restfeltene.

Simuleringene viste at de høyeste minstevannføringene i utgangspunktet forutsatte en del vann i elva for at pH-verdiene ikke skulle synke til under 6.0 (tab. 3&4). Samtidig viste simuleringene av sjøsalteffektene var betydelige.

**Tabell 3: Simulerte pH-verdier ved Nes med varierende slipping av minstevannføring (ref. Nes)**

<b>NES</b>		<b>IKKE SJØSALT</b> (middel-konduktivitet)																					
		(vannføringer: m <sup>3</sup> /s)																					
		<table border="1"> <tr><td>Ca(slipp)</td><td>0,26</td><td>mg/l</td></tr> <tr><td>Ca(felt)</td><td>0,58</td><td>mg/l</td></tr> <tr><td>Ca(felt)konst.</td><td>0,06</td><td>g/s</td></tr> <tr><td>Kond(slipp)</td><td>11,0</td><td>µS/cm</td></tr> <tr><td>Kond(felt)</td><td>15,0</td><td>µS/cm</td></tr> </table>							Ca(slipp)	0,26	mg/l	Ca(felt)	0,58	mg/l	Ca(felt)konst.	0,06	g/s	Kond(slipp)	11,0	µS/cm	Kond(felt)	15,0	µS/cm
Ca(slipp)	0,26	mg/l																					
Ca(felt)	0,58	mg/l																					
Ca(felt)konst.	0,06	g/s																					
Kond(slipp)	11,0	µS/cm																					
Kond(felt)	15,0	µS/cm																					
<b>Q(Nes)</b>	<b>(nat. u. slipp)</b>	<b>0,00</b>	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>	<b>2,0</b>	<b>4,0</b>	<b>8,0</b>															
<b>Q(slipp)</b>	<b>0,0</b>	-	6,4	6,3	6,3	6,3	6,3	6,2															
	<b>0,5</b>	6,0	6,1	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2															
	<b>1,0</b>	5,8	6,0	6,1	6,1	6,1	6,2	6,2															
	<b>1,5</b>	5,8	5,9	6,0	6,0	6,1	6,1	6,2															
	<b>2,0</b>	5,7	5,9	5,9	6,0	6,0	6,1	6,2															
	<b>2,5</b>	5,7	5,8	5,9	6,0	6,0	6,1	6,1															
	<b>3,0</b>	5,7	5,8	5,9	5,9	6,0	6,1	6,1															
	<b>3,5</b>	5,7	5,8	5,9	5,9	5,9	6,0	6,1															
	<b>4,0</b>	5,7	5,8	5,8	5,9	5,9	6,0	6,1															
	<b>8,0</b>	5,6	5,7	5,7	5,8	5,8	5,9	6,0															

<b>NES</b>		<b>SJØSALTPÅVIRKET</b> (kond slipp=+10%, kond restfelt=+50%)																					
		(vannføringer: m <sup>3</sup> /s)																					
		<table border="1"> <tr><td>Ca(slipp)</td><td>0,26</td><td>mg/l</td></tr> <tr><td>Ca(felt)</td><td>0,58</td><td>mg/l</td></tr> <tr><td>Ca(felt)konst.</td><td>0,06</td><td>g/s</td></tr> <tr><td>Kond(slipp)</td><td>12,1</td><td>µS/cm</td></tr> <tr><td>Kond(felt)</td><td>22,5</td><td>µS/cm</td></tr> </table>							Ca(slipp)	0,26	mg/l	Ca(felt)	0,58	mg/l	Ca(felt)konst.	0,06	g/s	Kond(slipp)	12,1	µS/cm	Kond(felt)	22,5	µS/cm
Ca(slipp)	0,26	mg/l																					
Ca(felt)	0,58	mg/l																					
Ca(felt)konst.	0,06	g/s																					
Kond(slipp)	12,1	µS/cm																					
Kond(felt)	22,5	µS/cm																					
<b>Q(Nes)</b>	<b>(nat. u. slipp)</b>	<b>0,00</b>	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>	<b>2,0</b>	<b>4,0</b>	<b>8,0</b>															
<b>Q(slipp)</b>	<b>0,0</b>	-	6,1	6,1	6,0	6,0	6,0	6,0															
	<b>0,5</b>	5,9	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0															
	<b>1,0</b>	5,8	5,9	5,9	5,9	5,9	6,0	6,0															
	<b>1,5</b>	5,7	5,8	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9															
	<b>2,0</b>	5,7	5,8	5,8	5,9	5,9	5,9	5,9															
	<b>2,5</b>	5,7	5,8	5,8	5,8	5,9	5,9	5,9															
	<b>3,0</b>	5,6	5,7	5,8	5,8	5,8	5,9	5,9															
	<b>3,5</b>	5,6	5,7	5,8	5,8	5,8	5,9	5,9															
	<b>4,0</b>	5,6	5,7	5,7	5,8	5,8	5,9	5,9															
	<b>8,0</b>	5,6	5,6	5,7	5,7	5,7	5,8	5,9															

Her er det forutsatt slipping av vann fra Breiava, og vannkvaliteten er simulert for Storåna v/Nes bro, før samløp med Lyngsåna. Tall understreket tilsvarer en minstevannføring på 1.0 m<sup>3</sup>/s, uthevet 2.0 m<sup>3</sup>/s og uthevet+understreket 4.0 m<sup>3</sup>/s. Usikkerheten er omlag ± 0.3 pH.

*Merknad: Til grunn for tabellen ligger pH-verdier som ikke er avrundet, og disse bestemmer også fargekodingen. Ved avrundning til en (1) desimal kan dette tilsynelatende gi "feil farge" i noen tilfeller.*

**Tabell 4: Simulerte pH-verdier ved Kaltveit med varierende slipping av minstevannføring (ref. Kaltveit)**

<b>KALTVEIT</b>		<b>IKKE SJØSALT</b> (middel-konduktivitet)																					
(vannføringer: m <sup>3</sup> /s)		<table border="1"> <tr> <td>Ca(slipp)</td> <td>0,26</td> <td>mg/l</td> </tr> <tr> <td>Ca(felt)</td> <td>0,69</td> <td>mg/l</td> </tr> <tr> <td>Ca(felt)konst.</td> <td>0,23</td> <td>g/s</td> </tr> <tr> <td>Kond(slipp)</td> <td>11,0</td> <td>µS/cm</td> </tr> <tr> <td>Kond(felt)</td> <td>19,0</td> <td>µS/cm</td> </tr> </table>							Ca(slipp)	0,26	mg/l	Ca(felt)	0,69	mg/l	Ca(felt)konst.	0,23	g/s	Kond(slipp)	11,0	µS/cm	Kond(felt)	19,0	µS/cm
Ca(slipp)	0,26	mg/l																					
Ca(felt)	0,69	mg/l																					
Ca(felt)konst.	0,23	g/s																					
Kond(slipp)	11,0	µS/cm																					
Kond(felt)	19,0	µS/cm																					
Q(Kal)	(nat. u. slipp)	0,00	0,5	1,0	1,5	2,0	4,0	8,0															
Q(slipp)	0,0	-	6,7	6,5	6,4	<b>6,4</b>	<b>6,3</b>	6,3															
	0,5	6,6	<u>6,4</u>	6,4	<b>6,3</b>	6,3	6,3	6,3															
	1,0	<u>6,2</u>	6,2	<b>6,3</b>	6,3	6,3	6,3	6,3															
	1,5	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2															
	2,0	<b>6,0</b>	6,1	6,1	6,1	<u>6,2</u>	6,2	6,2															
	2,5	5,9	6,0	6,1	<u>6,1</u>	6,1	6,2	6,2															
	3,0	5,9	6,0	<b>6,0</b>	6,1	6,1	6,1	6,2															
	3,5	5,8	<u>5,9</u>	6,0	6,0	6,1	6,1	6,2															
	4,0	<b>5,8</b>	5,9	5,9	6,0	6,0	6,1	6,2															
	8,0	<u>5,7</u>	<b>5,8</b>	5,8	5,9	5,9	6,0	6,1															

<b>KALTVEIT</b>		<b>SJØSALTPÅVIRKET</b> (kond slipp=+10%, kond restfelt=+50%)																					
(vannføringer: m <sup>3</sup> /s)		<table border="1"> <tr> <td>Ca(slipp)</td> <td>0,26</td> <td>mg/l</td> </tr> <tr> <td>Ca(felt)</td> <td>0,69</td> <td>mg/l</td> </tr> <tr> <td>Ca(felt)konst.</td> <td>0,23</td> <td>g/s</td> </tr> <tr> <td>Kond(slipp)</td> <td>12,1</td> <td>µS/cm</td> </tr> <tr> <td>Kond(felt)</td> <td>28,5</td> <td>µS/cm</td> </tr> </table>							Ca(slipp)	0,26	mg/l	Ca(felt)	0,69	mg/l	Ca(felt)konst.	0,23	g/s	Kond(slipp)	12,1	µS/cm	Kond(felt)	28,5	µS/cm
Ca(slipp)	0,26	mg/l																					
Ca(felt)	0,69	mg/l																					
Ca(felt)konst.	0,23	g/s																					
Kond(slipp)	12,1	µS/cm																					
Kond(felt)	28,5	µS/cm																					
Q(Kal)	(nat. u. slipp)	0,00	0,5	1,0	1,5	2,0	4,0	8,0															
Q(slipp)	0,0	-	6,4	<u>6,2</u>	6,1	<b>6,1</b>	<b>6,0</b>	6,0															
	0,5	6,5	<u>6,2</u>	6,1	<b>6,1</b>	6,0	6,0	5,9															
	1,0	<u>6,2</u>	6,1	<b>6,1</b>	6,0	6,0	6,0	5,9															
	1,5	6,0	<b>6,0</b>	6,0	6,0	6,0	6,0	5,9															
	2,0	<b>5,9</b>	6,0	6,0	6,0	<u>6,0</u>	6,0	5,9															
	2,5	5,9	5,9	5,9	<u>5,9</u>	5,9	5,9	5,9															
	3,0	5,8	5,9	<u>5,9</u>	5,9	5,9	5,9	5,9															
	3,5	<b>5,8</b>	<u>5,8</u>	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9															
	4,0	<b>5,8</b>	5,8	5,8	5,9	5,9	5,9	5,9															
	8,0	<u>5,7</u>	<b>5,7</b>	5,7	5,8	<b>5,8</b>	5,8	5,9															

Her er det ikke forutsatt noe spesielt "slippeded" (Breiava/Lyngsvatn). Såpass langt nede i vassdraget som Kaltveit, vil ulike slippedsteder trolig gi forskjeller i simulert vannkvalitet som er mindre enn usikkerhetene i beregningene (se kap. 4.5). Tall understreket tilsvarende en minstevannføring på 1.0 m<sup>3</sup>/s, uthevet 2.0 m<sup>3</sup>/s og uthevet+understreket 4.0 m<sup>3</sup>/s. Usikkerheten er omlag ± 0.3 pH.

*Merknad: Til grunn for tabellen ligger pH-verdier som ikke er avrundet, og disse bestemmer også fargekodingen. Ved avrundning til en (1) desimal kan dette tilsynelatende gi "feil farge" i noen tilfeller.*

## 4. VURDERING

### 4.1 Hydrologi

Første gang vannføringene på de forskjellige målestasjonene i vassdraget ble sammenholdt, viste dette en del vannføringer som var lite sannsynlige. Det ble antatt at dette skyldtes utilstrekkelig kalibrering på et eller flere av målepunktene, evt. at vannføringskurvene hadde endret seg pga. profil-forandringer. Med utgangspunkt i opplysninger framkommet i forbindelse med revisjon av konsesjonen, ble det som en arbeidshypotese gått ut i fra at målingene ved Nes ikke hadde tilstrekkelig nøyaktighet. Som følge at dette er det foretatt kontroll-/kalibrering av vannføringskurven på Nes. Det ble observert relativt små endringer i forhold til eksisterende kurve (fig. 3). Ved vannføringer på 1-2 m<sup>3</sup>/s var kurvene nær sammenfallende. Det synes derfor ikke som om det kan være vannføringskurven ved Nes som er årsaken til nevnte uoverensstemmelser. Seinere har NVE/Lyse laget ny kurve/komplettert eksisterende kurve på Kaltveit. Når denne nye kurven ble lagt til grunn i beregningene, var det godt svar mellom samtidige målinger av vannføringer på ulike punkter i vassdraget.

I selve terskedammen på Nes hvor målestaven står, ligger det en større grusansamling (i hver fall i 2005/06). Under vannføringsmålingene ble det registrert at denne av og til kunne påvirke vannstanden lokalt rundt målestaven. På lave vannføringer (< 0.5 m<sup>3</sup>/s) lå toppen av denne grusen over vannet, og det ble registrert noe lavere vannstand rundt målestaven enn lenger ute. Det ble da "sparket" en kanal gjennom grusen, slik at vannstandene utjevnet seg. Det ble ikke visuelt registrert at dette var noe problem på større vannføringer.

I begynnelsen av november 2006 inntraff en meget stor flom i vassdraget. Det registreres at to vannføringsmålinger i etterkant av denne viste noe avvik i forhold til kurven, og disse er derfor utelatt. Årsaken er noe usikker, men en viss endring i profilet pga. de store vannføringene kan ikke utelukkes. En annen mulighet kan være at flommen kan ha flyttet på grusbanken i terskedammen, og at dette har endret strømningsforhold og derved vannstanden rundt målestaven. Omfanget av vannføringsmålinger etter flommen har imidlertid ikke vært omfattende nok til å fastslå om kurven virkelig har endret seg. Det bør foretas noen vannføringsmålinger for å kontrollere om den "nye" vannføringskurven (fig. 3) fortsatt gjelder.

Nesten alle vannprøvene er hentet før denne flommen. Kurven er derfor uten videre benyttet i de vannkjemiske beregningene og vurderingene.

Det estimerte forholdstall mellom vannføringene i Lyngså og ved Nes (=0.5) gjelder kun for det aktuelle datamaterialet, og er ikke omfattende nok til generelle vurderinger av forholdet mellom disse to elvene. Forholdstallet blir til sammenlikning 0.7 med antakelse om 50-50 fordeling av Sandvatn-feltet mot Ullestad og Nes, men dette tallet er også beheftet med usikkerhet.



## **4.2 Vannkjemi**

I de øvre deler av Årdalsvassdraget er vannkvaliteten nærmest konstant, både mhp. tid og sted (vedlegg). Grunnen til dette er i hovedsak homogene geologiske forhold med harde langsomt-forvitrende bergarter i hele dette området.

Nedover i vassdraget økte kalsium-verdiene. Sporadisk prøvetaging i Viglesdalen (Musdalsvatn og Viglesdalsvatn) viste Ca-verdier på 0.4-0.7 mg/l (vedlegg). Også videre nedover vassdraget økte Ca-verdiene (middelverdier fra tab. 2):

<b>Nes:</b>	<b>0.6 mg/l</b>
<b>Egeland:</b>	<b>0.6 mg/l</b>
<b>Kaltveit:</b>	<b>0.8 mg/l</b>
<b>Leirberget:</b>	<b>1.1 mg/l</b>

Det er viktig å bemerke at sideelvene på disse strekningene ikke kan forklare økningene i kalsium i selve hovedvassdraget. Eksempelvis har prøvestasjonene Kaltveit og Bergeland, som representerer vassdragets to store hovedgreiner (Storåna og Bjørg), begge Ca på omlag 0.8 mg/l. Nede ved Leirberget (5 km etter samløpet) er Ca økt til 1.1 mg/l. Det eneste sidevassdraget som kan påvirke vannkvaliteten i dette området er Ullestadåna, men denne har lavere Ca-verdi (0.7 mg/l). Også lenger oppe i vassdraget vises dette tydelig: På strekningen mellom prøvestasjonene Egeland og Kaltveit (2-3 km) øker Ca fra 0.6 til 0.8 mg/l, uten at det finnes noen sidevassdrag på denne strekningen. Ca-økningen må derfor skyldes effekter av geologi/løsmasser nede i selve dalen (forvittringsbidrag av Ca).

Grunnvann kan inneholde mye Ca, selv om overflatevannet er Ca-fattig. Et godt eksempel på dette er fra Kvinen i Sirdal. Her har innsjøene i området Ca-verdier på 0.3-0.4 mg/l, mens et lite grunnvannsutspring nord for turiststasjonen har Ca=30 mg/l (Enge 2001).

Mens vannføringene i overflatevannet varierer betydelig, viser grunnvannsstrømninger små variasjoner over tid (K. Solberg, pers.medd.). Det er derfor sannsynlig at konstantleddene i fluxkurven representerer en jevn tilførsel av Ca via grunnvann, som opprinnelig stammer fra forvitring av Ca-holdige mineraler.

Vinteren 2005 inntraff en sjøsaltepisode i forbindelse med stormen "Inga" (Hindar og Enge 2006). I Årdal resulterte dette i forhøyede verdier for bl.a. konduktivitet og reduserte pH-verdier på flere av stasjonene (fig. 4, vedlegg). Sjøsalteffektene var tydeligst i de mest kystnære feltene Lyngsåna og Ullestadåna. Det var også på disse stasjonene laveste verdier for pH ble registrert. pH-fallene var tydelige, men ikke dramatiske. Dette skyldes trolig at Na<sup>+</sup> ikke bare ble ionebyttet med H<sup>+</sup>, men også med basekationer, noe som også tidligere er påvist i Årdal (Hindar et al. 1993). På materialet fra Årdal fra 2005/06 ble det funnet klar sammenheng mellom Ca og klorid ( $r^2=0.44$ ,  $p<0.001$ ,  $n=62$ ) noe som støtter denne antakelsen.

Det ble også funnet sammenheng mellom "forsuring" (alkalitetstap) og klorid ( $r^2=0.32$ ,  $p<0.001$ ,  $n=62$ ), noe som trolig skyldes forsuringseffekter av episodisk sjøsaltpåvirkning.

### **4.3 Modellen**

Modellen estimerer først en Ca-verdi utfra vannføring, vannkjemi og geologiske feltparametre. Dessuten estimeres konduktiviteten i blandingsvannkvaliteten. Til slutt kobles dette til den empiriske pH-kurven [2].

Siden modellen er basert på regresjoner, “midles” variasjoner bort, men disse gjenspeiles likevel i standardavvikene til regresjonskoeffisientene. Koeffisientene i fluxkurvene [3] - [5] hadde alle til dels betydelige standardavvik. På vannføringer > 50% av middelvannføring, var det imidlertid bare stigningskoeffisienten som gav bidrag av betydning, og denne hadde relative standardavvik på omlag 10-20%.

Modellen estimerer derfor en middelvei for vannkvalitet under gitte forutsetninger, selv om enkeltobservasjonene kan avvike fra dette. Når grensene for “akseptabel vannkvalitet” settes må det derfor tas hensyn til at faktisk vannkvalitet kan avvike fra simulerte verdier.

Det ble ikke funnet signifikant forskjell mellom estimert og observert Ca ( $p > 0.05$ ), verken for Nes eller Kaltveit.

Modellen benytter en “universell” pH-kurve [2], som var forutsatt å kunne benyttes i hele vassdraget. På enkeltstasjons-nivå kan det forekomme avvik fra denne universelle kurven. Imidlertid var observasjonsmaterialet fra enkeltstasjonene for lite, og verdiområdet for smalt, til at det er gått videre med separate kurver for enkeltstasjoner. Det er valgt å benytte den “universelle” pH-kurven, men samtidig ta hensyn til nevnte avvik i vurderingene. For hele materialet under ett, er usikkerheten i beregningene estimert til  $\pm 0.3$  pH

### **4.4 Simulert vannkvalitet**

Aktuelle strategier for minstevannføring er 2.0 & 1.0 m<sup>3</sup>/s og 4.0 & 1.5 m<sup>3</sup>/s. Førstnevnte er fra NVE’s innstilling til OED, og sistnevnte er et forslag fra Lyse i forbindelse med nye utbygginger i vassdraget.

Det legges til grunn at pH i utgangspunktet ikke skal synke under 6.0 (grønn). En pH-verdi på 5.8-6.0 vurderes som “tvilsom” (“gul”) og pH < 5.8 som “dårlig” (rød).

**4.4.1 Normal-situasjon, uten sjøsalteffekter:** *Nes:* Simuleringene viste at det må være >0.3, >0.8 og > 1.8 m<sup>3</sup>/s i restvannføring for at elva (v/Nes) skal “tåle” slipping opp til 1.0, 2.0 og 4.0 m<sup>3</sup>/s. Dagens middelvannføring ved Nes er ca. 2.8 m<sup>3</sup>/s (NVE-atlas). For 4.0 m<sup>3</sup>/s minstevannføring må det påregnes at pH-verdiene ved Nes periodevis vil bli liggende på under 6. Også ved de lavere minstevannføringene (2.0 & 1.0 m<sup>3</sup>/s) vil pH-verdiene av og til synke til litt under 6. *Kaltveit:* Her tåles både 1.0 og 2.0 m<sup>3</sup>/s i minstevannføring, selv om alt vannet må slippes. Minstevannføring på 4.0 m<sup>3</sup> krever minst 1.0 m<sup>3</sup>/s i restvannføring. Ved Kaltveit er middelvannføringen trolig rundt 5 m<sup>3</sup>/s (noe usikkert, Sandvatn-feltet har avløp i to retninger ved flom).

Dersom restvannføringen ved Nes og Kaltveit blir så lav som  $\approx 10\%$  av  $Q_{\text{middel}}$  (Nes:  $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , Kaltveit:  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), noe som ikke vil være uvanlig en tørr sommer, blir vurderingen av de forskjellige minstevannføringsscenariene:

<b>Oppsummering vannkvalitet:</b>	<b>Lokalitet</b>	<b>1.0 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>2.0 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>4.0 m<sup>3</sup>/s</b>
(ikke sjøsalt)	Nes	OK	tvilsom	dårlig
	Kaltveit	OK	OK	tvilsom

Det synes derfor lite trolig at minstevannføringer på  $1.0$  og  $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$  vil medføre skadelige effekter i Storåna. Minstevannføring på  $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$  gir jevnt over for dårlig vannkvalitet.

**4.4.2 Med sjøsalteffekter:** Erfaringer fra Sira-Kvina viste at det var restfeltene som ble sterkest påvirket av sjøsalteffektene (Enge 1993). De store magasinene oppe på fjellet utjevnet effektene, og disse viste bare litt høyere verdier for klorid og konduktivitet enn normal-situasjonen. Simuleringene ble derfor utført med 2006-midler +10% i konduktivitet for vannet som slippes, og +50% for restfeltet.

Nes: Simuleringene viste at det må være  $>0.6$  og  $>1.8 \text{ m}^3/\text{s}$  i restvannføring for at elva (v/Nes) skal "tåle" slipping opp til  $1.0$  og  $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Selv uten slipping vil pH synke under  $6.0$  ved  $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kaltveit: Her tåles  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  i minstevannføring, selv om alt vannet må slippes. Simuleringene viste at det må være  $>0.4 \text{ m}^3/\text{s}$  i restvannføring for at elva (v/Kaltveit) skal tåle slipping opp til  $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$  (6% av middel-Q), mens pH selv uten slipping vil synke til litt under  $6$  ved  $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Dersom restvannføringen ved Nes og Kaltveit blir så lav som  $\approx 10\%$  av  $Q_{\text{middel}}$  (Nes:  $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , Kaltveit:  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), noe som ikke vil være uvanlig en tørr sommer, blir vurderingen av de forskjellige minstevannføringsscenariene:

<b>Oppsummering vannkvalitet:</b>	<b>Lokalitet</b>	<b>1.0 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>2.0 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>4.0 m<sup>3</sup>/s</b>
(sjøsaltpåvirket)	Nes	tvilsom	dårlig	dårlig
	Kaltveit	OK	OK	tvilsom

Ved minstevannføring  $1.0$  og  $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$  blir vannkvaliteten ved Nes periodevis for dårlig. Ved Kaltveit opprettholdes god vannkvalitet selv i en moderat sjøsaltepisode. Minstevannføring på  $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$  gir ugunstig vannkvalitet.

Ved en ekstrem sjøsalteffekt i restfeltene, kan det oppstå en situasjon hvor vannet inne på fjellet har bedre vannkvalitet enn nede i selve hovedelva. Med +10% konduktivitet i vannet som slippes, inntreffer dette når konduktiviteten i restfeltene er omlag 3 ganger middelverdi ( $\approx 50 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). I slike tilfeller forbedres vannkvaliteten i hovedelva som følge av slippingen, selv om pH-verdiene likevel ikke kommer opp i  $6.0$  som er minimums akseptabel verdi. Slik effekt er påvist i Sira-Kvina anleggene i forbindelse med sjøsaltepisoden i 1993 (Enge 1993).

Forsuringssituasjonen er vesentlig forbedret i løpet av de siste 20 år (fig. 1). Ved ytterligere forbedringer vil dette redusere faren for dårlig vannkvalitet i Årdalselva under slipping av minstevannføring. I noen situasjoner er vannkvaliteten "på grensen" med utgangspunkt i

aktuelle slippe-scenarier, og selv ved små forbedringer i forsuringssituasjonen kan ugunstig vannkvalitet unngås. Imidlertid er det tegn på at forbedringene i forsuringssituasjonen nå skjer mye langsommere enn før, siden mye av forbedringspotensialet allerede er tatt ut (Enge 2008).

Det er også viktig å bemerke at oppfyllelse av et minstevannføringskrav referert Kaltveit kan gi ugunstig vannkvalitet lenger oppe i vassdraget. Eksempel:

I en gitt situasjon er et minstevannføringskrav på 2.0 m<sup>3</sup>/s ved Kaltveit oppfylt slik:

<b>Restvannføring:</b>	<b>0.5 m<sup>3</sup>/s</b>
<b>Slipp:</b>	<b>1.5 m<sup>3</sup>/s</b>
-----	
<b>SUM minstevannføring:</b>	<b>2.0 m<sup>3</sup>/s</b>
-----	

Dette gir i utgangspunktet en simulert pH-verdi på 6.1 ved Kaltveit. Basert på avlesinger av vannstand utført ved vannprøvehenting, kan vannføringen ved Kaltveit grovt anslås til 1.5-2 x vannføringen ved Nes. En restvannføring på 0.5 m<sup>3</sup>/s ved Kaltveit tilsvarer da 0.3 m<sup>3</sup>/s ved Nes. Slipping av 1.5 m<sup>3</sup>/s forbi Nes med denne restvannføringen gir pH 5.8-5.9 (interpolert etter tab. 3).

#### **4.5 Slipping fra Lyngsvatn**

Nede i selve Storåna blir vannkvaliteten tilnærmet uavhengig av slippested. Her nede er det forholdet mellom det totale vannvolum fra feltet mot det totale forvittringsbidraget av Ca fra feltet som er avgjørende, tilnærmet uavhengig hvordan dette fordeler seg lenger oppe i feltet.

Det er mulig at slipping fra Lyngsvatn gir mindre pH-fall i Lyngsåna enn slipping fra Breiava gir oppstrøms Nes (jfr. forvittringsbidragene fra de forskjellige delfelt, kap. 3.2.1). Estimatenes av disse bidragene er imidlertid forbundet med usikkerhet. Det kan derfor ikke trekkes konklusjoner utover at de to slippestedene neppe vil gi forskjellig vannkvalitet nede i selve Storåna.

## 5. OPPFØLGING OG AVBØTENDE TILTAK

### **5.1 Vannkjemisk oppfølging**

Registreringene av vannkjemisk og vannføring bør videreføres. Særlig vurderes dette viktig for stasjonene Nes, Lyngså, Egeland og Kaltveit. Modellen er basert på relativt begrenset antall målinger, særlig på lave vannføringer, så supplering med nye observasjoner med påfølgende "rekalibrering" av modellen bør vurderes.

### **5.2 Videre simuleringer**

Det bør gjennomføres ytterligere simuleringer, hvor denne vannkjemiske modellen kobles til faktiske (målte) vannføringer fra en lang observasjonsserie fra et representativt vannmerke. Da vi hyppigheten av slipping, og ved hvilke vannføringer det må slippes, kunne simuleres.

Dette gir bedre grunnlag til å bedømme varigheten av ugunstig vannkvalitet, og hva skadelig effekt dette eventuelt kan ha for laks gjennom ulike livsstadier, samt å vurdere mulige avbøtende tiltak og omfanget av dette.

### **5.3 Kalking**

Et mulig avbøtende tiltak er kalking. I utgangspunktet er det to strategier som kan være aktuelle:

Alt. 1: Kalking av vannet som slippes

Alt. 2: Oppkalking av Musdalsvatn

#### **Alt. 1: Kalking av vannet som slippes:**

Kalking av sluppet vann kan ikke garantere god vannkvalitet nede i selve Storåna, men ved kalking av minstevannføringen vil det uansett ikke være sluppet vann som har forårsaket ugunstig vannkvalitet.

Det er eksempelvis beregnet kalking av sluppet vann til pH=6.0, som representerer omlag dagens vannkvalitet i Viglesdalsvatn, og pH=6.5 som er anbefalt vannkvalitet for smolt i kalkede elver.

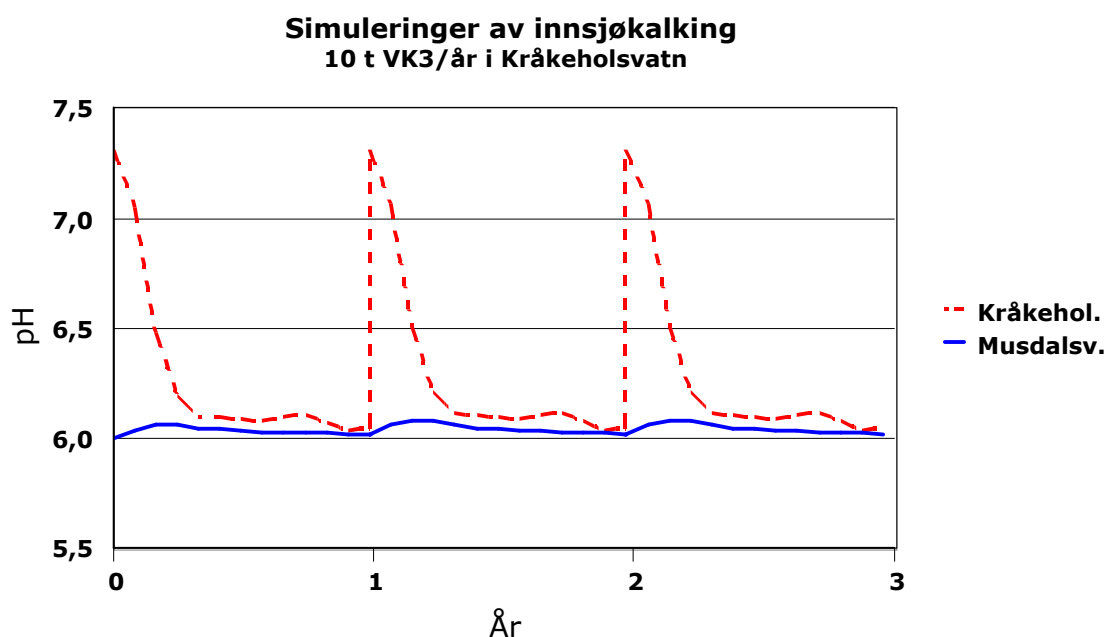
*pH=6.0:* Vannet må kalkes fra 0.26 til 0.39 mg Ca/l (pH=6.0), tilsvarende en økning på 0.13 mg/l (=0.33 mg/l CaCO<sub>3</sub>). Dette er en meget lav dosering, så det kan forsøkes med grovkalk eller skjellsand direkte i elveløpet. Selv om slik enkel kalking langt fra representerer noen perfekt dosering, utjevnes kalkingeffekten likevel i de store innsjøene Musdalsvatn og Viglesdalsvatn på grunn av lang oppholdstid. Et eksempel på denne utjevningseffekten er vist i fig. 8, hvor det som illustrasjon er simulert på direkte kalking i Kråkeholsvatn med 10 t VK3-kalk årlig. Allerede nede i Musdalsvatn var denne effekten nesten fullstendig utjevnet, og gav seg utslag i en nesten konstant pH-økning over tid.

Benyttes grovkalk med 90% CaCO<sub>3</sub>-ekv og minimumsestimat av løselighet (50%) tilsvarer dette 0.72 g kalk/m<sup>3</sup> = 0.72 t/Mm<sup>3</sup>. Eksempelvis vil slipping av 1 m<sup>3</sup>/s i 1 måned (30d) tilsvare 2.6 Mm<sup>3</sup> og 1.9 t kalk. Lyse har antydnet total slipping på 20 Mm<sup>3</sup>, hvilket teoretisk tilsvarer 15 tonn kalk, dersom det er mulig å dosere denne ut noenlunde proporsjonalt med vannmengdene.

Kalkmengdene og kostnadene av selve kalken blir derfor helt marginale. En større utfordring vil imidlertid være å få plassert kalken ut, og få tilpasset kalkmengden så noenlunde til vannmengden som slippes. Kalken bør legges ut et par ganger i året på strekningen Breia-va-Kråkeholsvatn, fortrinnsvis ved starten av typiske minstevannføringsperioder.

Dersom grovkalk i elveløpet ikke fungerer tilfredsstillende, bør det vurderes andre alternativer. Både en eller annen form for dosering direkte på vannet som slippes, eller alt. 2 kan da vurderes. Ved slipping av store vannmengder bør dette uansett vurderes.

*pH=6.5*: Krever omlag 3 ganger mer kalk enn kalking til *pH=6.0*, men i tillegg er det sannsynlig at en såpass høy dosering vil kreve mer avansert doseringsteknikk enn antydnet for den lave doseringen.



**Figur 8: Utjevning av kalkingseffekt i Musdalsvatn**

**Alt. 2: Årlig kalking av Musdalsvatn:** Denne løsningen vil kunne gi gunstig vannkvalitet ved Nes uavhengig av slippestrategi og mengder som slippes. I tillegg kan slik kalking kompensere for dårlig vannkvalitet i overløpssituasjoner. Det har tidligere inntruffet episoder med fiskedød i Årdal i forbindelse med overløp på magasinene (Nordland 1991). Denne strategien kan imidlertid medføre at det kalkes opp større volumer enn hva som faktisk viser seg å trenge kalking. Samtidig bør også betenkelighetene med å fullkalke en innsjø som i seg selv ikke har noe kalkingsbehov, tas i betraktning. Årlige kalkmengder er usikre, men det kan antydes i størrelsesorden 50 t. Det trengs opploddinger i Musdalsvatn og Viglesdalsvatn, og dessuten noe mer vannkjemi fra disse sjøene før dette kan beregnes med sikkerhet.

## 6. KONKLUSJON

- Med unntak av ved Nes, hvor pH periodevis kan gå litt under 6.0, vil en minstevannføring på 1.0 & 2.0 m<sup>3</sup>/s, trolig ikke gi skadelige vannkjemiske effekter verken ved Nes eller Kaltveit i en normalsituasjon.
- Minstevannføring på 4.0 m<sup>3</sup>/s, krever relativt mye vann i elva for at vannkvaliteten skal "tåle" såpass mye slipping. Kalking bør vurderes.
- Sjøsalteffekter er av stor betydning for vannkvaliteten i Årdalsvassdraget. I sjøsaltepisoder er toleransen for vannslipp lavere.
- Ytterligere forbedret forsuringssituasjon vil redusere risikoen for ugunstig vannkvalitet i Storåna under slipping av minstevannføring. Det er imidlertid knyttet usikkerhet til videre forbedringer av forsuringssituasjonen.
- Prøvetaging med samtidige registreringer av vannføringer bør videreføres. Modellen bør "rekalibreres" når mer data foreligger. Modellen bør kobles til lange tidsserier for vannføring for å kvantifisere de vannkjemiske effektene av ulike slippestrategier over tid.

## 7. LITTERATUR

- Enge, E (1993):** Fiskedød i nedre deler av Sira februar 1993. (*notat til DN*)
- Enge, E. (2001):** Fiskeribiologiske undersøkelser i Sirdal juli 2001. (*prosjektrapport, oppdragsgiver: Sira-Kvina*)
- Enge, E. (2008):** Forsuringsstatus for Rogaland 2007 - pH-kart. *Fylkesmannen i Rogaland, Miljøvernavdelingen*
- Enge, E. og Hemmingsen (2010):** Modellberegninger av vannkjemiske effekter av vassdragsreguleringer - eksempel fra Sira-Kvina-reguleringen. (*VANN 03-2010, s. 333-344*)
- Enge, E. og Lura, H. (2003):** Forsuringsstatus i Rogaland 2002. *Ambio Miljørådgeving, rapport 10014-1*
- Henriksen, A. (1980):** Acidification of freshwaters - a large scale titration. s. 68-74 i: *Drab-løs, D. og Tollan, A.: Ecological impact of acid precipitation, SNSF*
- Henriksen, A. (1982):** Alkalinity and acid precipitation research. *VATTEN 38: 83-85*
- Hindar, A. og Enge, E. (2006):** Sjøsaltepisoder under vinterstormene i 2005 - påvirkning og effekter på vannkjem i vassdrag. *NIVA-rapport LNR 5114-2006*
- Hindar, A., Henriksen, A., Tørseth, K. og Lien, L. (1993):** Betydningen av sjøsaltanriket nedbør i vassdrag og mindre nedbørfelt. Forsuring og fiskedød etter sjøsaltepisoden i januar 1993. *NIVA, O-93129*
- Hindar, Atle; Kroglund, Frode; Skiple, Anja; Brandrud, Tor Erik og Kaste, Øyvind (1996):** Tiltak mot forsuring av Årdalselva. *Kalkingsplan (NIVA)*
- Nordland, Jostein (1991):** Fiskedød i Årdalselva i 1990 (*Fylkesmannen i Rogaland: Miljø-rapport 4-91*).
- Radiometer (2000):** ISE-Ca - Calcium Electrode - Operating Instructions (*Radiometer Analytical*)
- Stumm, W. and Morgan, J.J. (1996):** Aquatic chemistry. *Wiley-Interscience Publication, New York*
- Vogel, A. (1961):** A text-book of quantitative inorganic analysis (3. edt.). *Longman, London 1961.*



## 8. VEDLEGG: VANNKJEMISKE DATA

Resultater fra overvåkning av lokaliteter i Årdalsvassdraget 2005 og 2006 og data fra "pH-kart Rogaland" 2002 og 2007 (Enge og Lura 2003, Enge 2008). Merknad: Enkelte av dataene fra tydet på utilstrekkelig blanding ved Egeland på visse vannføringer. *(Kond\* er H<sup>+</sup>-korrigert)*

nr	Lokalitet	dato	pH	Kond. µS/cm	Kond* µS/cm	Ca mg/l	Cl mg/l	ALK µekv./l	Farge mg Pt/l
1	Nes	24.03.2005	6,05	25,8	25,5	0,72		11	
1	Nes	04.04.2005	6,16	24,4	24,2	0,65		16	
1	Nes	24.04.2005	6,38	23,3	23,2	0,73		19	
1	Nes	19.06.2005	6,31	16,6	16,4	0,44		16	
1	Nes	05.08.2005	6,33	14,8	14,6	0,55		19	
1	Nes	17.09.2005	6,32	14,1	13,9	0,58		22	13
1	Nes	24.03.2006	6,32	17,9	17,7	0,74	2,5	28	5
1	Nes	01.05.2006	6,28	15,3	15,1	0,52	2,2	24	9
1	Nes	24.05.2006	6,30	14,4	14,2	0,59	2,0	23	9
1	Nes	26.05.2006	6,26	14,7	14,5	0,61	2,0	22	18
1	Nes	03.07.2006	6,52	13,8	13,7	0,73		23	
1	Nes	24.08.2006	6,71	15,3	15,2	0,93	1,9	36	2
1	Nes	28.10.2006	6,41	15,1	15,0	0,67	2,4	27	16
1	Nes	06.11.2006	6,28	13,1	12,9	0,49	1,8	21	17
1	Nes	25.11.2006	6,10	14,8	14,5	0,46	2,3	19	12
1	Nes	09.12.2006	6,05	16,0	15,7	0,54	2,7	15	11
2	Lyngså	24.03.2005	5,64	32,3	31,5	1,01		21	
2	Lyngså	04.04.2005	6,10	20,1	19,8	0,51		9	
2	Lyngså	24.04.2005	6,42	20,1	20,0	0,64		22	
2	Lyngså	19.06.2005	6,59	20,7	20,6	0,71		30	
2	Lyngså	05.08.2005	6,07	16,3	16,0	0,60		16	
2	Lyngså	17.09.2005	6,32	19,0	18,8	0,73		21	7
2	Lyngså	24.03.2006	6,38	21,6	21,5	0,78	3,3	31	7
2	Lyngså	01.05.2006	6,13	15,1	14,8	0,46	2,4	18	10
2	Lyngså	24.05.2006	6,19	16,7	16,5	0,58	2,5	18	11
2	Lyngså	26.05.2006	6,17	16,7	16,5	0,57	2,6	18	22
2	Lyngså	03.07.2006	6,54	20,6	20,5	0,92		25	
2	Lyngså	24.08.2006	6,70	21,6	21,5	0,90	3,2	34	1
2	Lyngså	28.10.2006	6,26	17,5	17,3	0,66	2,8	20	21
2	Lyngså	06.11.2006	5,30	10,6	8,8	0,21	1,6	-3	27
2	Lyngså	25.11.2006	5,51	17,2	16,1	0,33	2,9	6	15
2	Lyngså	09.12.2006	5,26	18,0	16,1	0,38	3,0	-2	21
3	Egeland	24.03.2005	5,88	27,4	26,9	0,73		13	
3	Egeland	04.04.2005	6,10	22,7	22,4	0,60		11	
3	Egeland	24.04.2005	6,28	22,9	22,7	0,77		20	

nr	Lokalitet	dato	pH	Kond. µS/cm	Kond* µS/cm	Ca mg/l	Cl mg/l	ALK µekv./l	Farge mg Pt/l
3	Egeland	19.06.2005	6,32	17,3	17,2	0,46		19	
3	Egeland	05.08.2005	6,22	15,7	15,5	0,58		21	
3	Egeland	17.09.2005	6,28	16,7	16,5	0,68		23	7
3	Egeland	24.03.2006	6,34	19,4	19,2	0,80	2,7	30	5
3	Egeland	01.05.2006	6,23	15,2	15,0	0,55	2,3	23	10
3	Egeland	24.05.2006	6,30	15,0	14,8	0,62	2,1	20	11
3	Egeland	26.05.2006	6,26	15,5	15,3	0,56	2,2	19	22
3	Egeland	03.07.2006	6,54	15,7	15,6	0,75		24	
3	Egeland	24.08.2006	6,77	17,1	17,0	0,85	2,3	33	2
3	Egeland	28.10.2006	6,38	15,9	15,8	0,72	2,3	26	18
3	Egeland	06.11.2006	6,01	13,0	12,7	0,45	1,8	15	19
3	Egeland	25.11.2006	6,08	16,3	16,0	0,53	2,7	19	11
3	Egeland	09.12.2006	5,97	17,0	16,6	0,57	2,8	10	10
4	Kaltveit	24.03.2005	6,17	26,7	26,5	0,85		18	
4	Kaltveit	04.04.2005	6,18	24,0	23,8	0,72		17	
4	Kaltveit	24.04.2005	6,36	24,3	24,1	0,90		27	
4	Kaltveit	19.06.2005	6,31	18,9	18,7	0,56		23	
4	Kaltveit	05.08.2005	6,20	16,9	16,7	0,70		22	
4	Kaltveit	17.09.2005	5,83	22,2	21,7	1,00		29	11
4	Kaltveit	24.03.2006	6,40	28,3	28,2	1,3	3,3	51	5
4	Kaltveit	01.05.2006	6,21	16,8	16,6	0,61	2,4	24	11
4	Kaltveit	24.05.2006	6,24	16,8	16,6	0,71	2,2	24	11
4	Kaltveit	26.05.2006	6,29	16,9	16,7	0,56	2,3	23	19
4	Kaltveit	03.07.2006	6,54	19,4	19,3	1,0		38	
4	Kaltveit	24.08.2006	6,64	24,2	24,1	1,4	2,9	56	3
4	Kaltveit	28.10.2006	6,34	18,1	17,9	0,83	2,6	29	16
4	Kaltveit	06.11.2006	6,08	13,6	13,3	0,46	1,9	16	20
4	Kaltveit	25.11.2006	6,18	18,9	18,7	0,73	2,8	22	10
4	Kaltveit	09.12.2006	5,86	20,3	19,8	0,79	3,1	18	12
5	Ullestadåna	17.09.2005	6,21	18,5	18,3	0,69		20	19
5	Ullestadåna	24.03.2006	6,42	22,5	22,4	0,87	3,3	40	5
5	Ullestadåna	01.05.2006	6,01	15,4	15,1	0,47	2,3	16	17
5	Ullestadåna	24.05.2006	6,22	17,4	17,2	0,55	2,7	22	17
5	Ullestadåna	26.05.2006	6,23	17,2	17,0	0,58	2,6	19	32
5	Ullestadåna	03.07.2006	6,58	20,6	20,5	0,97		34	
5	Ullestadåna	24.08.2006	6,78	22,8	22,7	1,1	3,3	55	4
5	Ullestadåna	28.10.2006	6,14	18,0	17,7	0,69	2,9	19	33
5	Ullestadåna	06.11.2006	5,46	12,6	11,4	0,30	1,8	0	34
5	Ullestadåna	25.11.2006	5,94	18,4	18,0	0,55	3,0	13	13
6	Bergeland	19.06.2005	6,39	21,4	21,3	0,76		20	
6	Bergeland	05.08.2005	6,45	21,0	20,9	0,80		20	
6	Bergeland	17.09.2005	6,32	20,4	20,2	0,81		22	7

nr	Lokalitet	dato	pH	Kond. µS/cm	Kond* µS/cm	Ca mg/l	Cl mg/l	ALK µekv./l	Farge mg Pt/l
6	Bergeland	24.03.2006	6,13	20,8	20,5	0,78	3,4	17	8
6	Bergeland	01.05.2006	6,18	20,8	20,6	0,72	3,4	20	5
6	Bergeland	24.05.2006	6,22	20,7	20,5	0,75	3,4	20	5
6	Bergeland	26.05.2006	6,24	20,7	20,5	0,72	3,3	18	6
6	Bergeland	03.07.2006	6,48	20,6	20,5	0,92		21	
6	Bergeland	24.08.2006	6,60	19,4	19,3	0,94	3,1	24	3
6	Bergeland	28.10.2006	6,33	19,2	19,0	0,78	3,0	23	9
6	Bergeland	06.11.2006	6,21	19,8	19,6	0,69	3,1	21	9
6	Bergeland	25.11.2006	6,12	19,5	19,2	0,62	3,1	22	9
6	Ø. Tysdalsv.	11.08.2002	6,62	21,4	21,3	0,97			10
6	Ø. Tysdalsv.	31.07.2007	6,10	21,3	21,0	0,87			22
7	Leirberget	24.04.2005	6,41	25,1	25,0	1,05		32	
7	Leirberget	24.03.2006	6,49	33,3	33,2	1,8	4,0	61	6
7	Leirberget	01.05.2006	6,27	20,0	19,8	0,75	2,9	28	8
7	Leirberget	24.05.2006	6,40	20,0	19,9	0,82	2,9	27	8
7	Leirberget	26.05.2006	6,37	19,8	19,7	0,74	2,9	26	16
7	Leirberget	16.06.2006	6,52	24,5	24,4	0,95		38	3
7	Leirberget	03.07.2006	6,57	24,4	24,3	1,3		41	
7	Leirberget	24.08.2006	6,68	30,5	30,4	1,9	3,6	66	3
7	Leirberget	28.10.2006	6,38	21,3	21,2	0,98	3,3	31	17
7	Leirberget	06.11.2006	6,09	16,5	16,2	0,62	2,4	15	24
7	Leirberget	25.11.2006	6,28	22,0	21,8	0,91	3,2	28	10
mag.	Breiava	11.08.2002	5,48	8,6	7,4	0,21			
mag.	Breiava	15.08.2007	5,46	9,7	8,5	0,25			12
mag.	Lyngsvatn	20.09.2002	5,56	12,2	11,2	0,21			
mag.	Lyngsvatn	26.05.2006	5,83	13,1	12,6	0,39		9	4
mag.	Lyngsvatn	06.11.2006	5,75	10,8	10,2	0,28	1,6	5	9
mag.	Lyngsvatn	25.11.2006	5,64	11,1	10,3	0,26	1,7	7	5
mag.	Lyngsvatn	15.08.2007	5,41	16,1	14,7	0,29			12
mag.	Nilsebuvatn	11.08.2002	5,51	8,8	7,7	0,22			
mag.	Nilsebuvatn	15.08.2007	5,50	8,9	7,8	0,20			18
mag.	Nilsebuvatn	14.10.2007	5,60	9,9	9,0	0,30			18
Vigl.	Mågevann	08.09.2002	5,84	8,3	7,8	0,22			<5
Vigl.	Steggjadal	12.05.2002	5,56	7,5	6,5	0,20			5
Vigl.	Steggjadal	02.08.2007	5,52	9,4	8,3	0,28			23
Vigl.	Dukolltjørn	05.09.2002	5,94	16,6	16,2	0,32			<5
Vigl.	Musdalsv.	12.05.2002	5,53	19,1	18,1	0,37			5
Vigl.	Viglesdalsv.	12.05.2002	6,14	21,4	21,1	0,72			5
Vigl.	Viglesdalsv.	01.10.2007	6,10	14,5	14,2	0,50			12

## OVERSIKT OVER MILJØRAPPORTER

---

- Nr. - 1989: Utkast til verneplan for våtmark i Rogaland. ISBN-82-90914-00-8.
- Nr. 1 - 1989: Registrerings- og kontrollarbeid i Orrevassdraget. Et evalueringsprosjekt. ISBN-82-90914-01-6.
- Nr. 2 - 1989: Kalkingsplan for Rogaland - november 1989. ISBN-82-90914-02-4.
- Nr. 3 - 1989: Vannkvalitet og fiskebestand i kalkede vann i Rogaland. ISBN-82-90914-04-0.
- Nr. 4 - 1989: Fiskeribiologiske undersøkelser. Stølsvann og Stemmevann i Lund kommune 2.-3. september 1988. ISBN-82-90914-05-9.
- Nr. 1 - 1990: Bly - stål. Intervjuundersøkelse blant jegere på Jæren om bruken av stålhagl 1988 og 1989. ISBN-82-90914-03-2.
- Nr. 2 - 1990: Hjort på Karmøy. Bestandsforhold og forvaltningsspørsmål. ISBN-82-90914-06-7.
- Nr. 3 - 1990: Overvåking av lakseparasitten Gyrodactylus salaris i Rogaland fylke - 1989. ISBN-82-90914-07-5.
- Nr. 4 - 1990: Driftsplan for Skaulen og Seljestad villreinområde. Revidert 1990. ISBN-82-90914-08-3.
- Nr. 5 - 1990: Prøvefiske i Store Stokkavann - juli 1988. ISBN-82-90914-09-1.
- Nr. 6 - 1990: Fiskeribiologiske undersøkelser i Jensavann. Juli 1988. ISBN-82-90914-10-5. ISSN-0802-8427.
- Nr. 7 - 1990: Årsmelding 1989. ISSN-0802-8427.
- Nr. 8 - 1990: Fiskeribiologiske undersøkelser i Brekke- og Holmavassdragene, Karmøy kommune, august 1990. ISSN-0802-8427.
- Nr. 1 - 1991: Hjorteregistreringer i Maldal-Kviå, Sauda kommune 1990. ISSN-0802-8427.
- Nr. 2 - 1991: Vannkvalitet og fiskebestand i kalkede vann i Rogaland 1990. ISSN-0802-8427.
- Nr. 3 - 1991: Avfallsplan Rogaland. Forprosjekt. ISSN-0802-8427.
- Nr. 4 - 1991: Fiskedød i Årdalselva i 1990 i forbindelse med overløp fra reguleringsmagasiner. ISSN-0802-8427.
- Nr. 5 - 1991: Fiskeribiologiske undersøkelser i fem innsjøer på Jæren, 1990. ISSN-0802-8427.
- Nr. 6 - 1991: Årsmelding 1990. ISSN-0802-8427.
- Nr. 7 - 1991: Fiskeribiologiske undersøkelser i Blåsjømagasinet, Ulla/Førre, Suldal og Bykle kommuner, Rogaland og Aust-Agder fylke. ISSN-0802-8427.
- Nr. 8 - 1991: Miljødataprojektet. "Målstyrt resipientorientert forvaltning" (MRF). Forprosjekt. ISSN-0802-8427.
- Nr. 9 - 1991: Helsekontroll og smitteforebyggende tiltak ved kultivering av vassdrag i Rogaland. Referat fra kurs arrangert i Stavanger 15. september 1991. ISSN-0802-8427.
- Nr. 1 - 1992: Årsmelding 1991. ISSN-0802-8427.
- Nr. 2 - 1992: Vannkvalitet og fiskebestand i kalkede vann i Rogaland 1991. ISSN-0802-8427.
- Nr. 3 - 1992: Tetthetsregistreringer av laks og aure i Rogalandsvassdrag, 1991. ISSN-0802-8427.
- Nr. 4 - 1992: Fiskeribiologiske undersøkelser i Ulla-Førre-vassdraget, 1991. ISSN-0802-8427.
- Nr. 1 - 1993: Årsmelding 1992. ISSN-0802-8427.
- Nr. 2 - 1993: Tetthetsregistreringer av laks og aure i Rogalandsvassdrag, 1992. ISSN-0802-8427.
- Nr. 3 - 1993: Skogbruk og miljøvern på vestlandet. Referat frå seminar i Stavanger 10. - 11. november 1992. ISSN-0802-8427.
- Nr. 4 - 1993: Kommunal vilt- og fiskeforvaltning. Referat fra seminar i Stavanger 18.-19. februar 1993. ISSN-0802-8427.
- Nr. 1 - 1994: Vannkvalitet og fiskebestand i kalkede vann i Rogaland 1992. ISSN-0802-8427.
- Nr. 2 - 1994: Kultiveringsplan for anadrome laksefisk og innlandsfisk i Rogaland. ISSN-0802-8427.
- Nr. 3 - 1994: Verneinteresser i Fuglestadvassdraget. ISSN-0802-8427.
- Nr. 4 - 1994: Inngrep og forstyringer i sentrale deler av Setesdal-Ryfylke villreinområde. ISSN-0802-8427.
- Nr. 5 - 1994: Årsmelding 1993. ISSN-0802-8427.
- Nr. 6 - 1994: Verneinteresser i Håvassdraget. ISSN-0802-8427.
- Nr. 7 - 1994: Tilfeller av landbruksforureining og kontroll av silo- og gjødselanlegg i Rogaland i 1993 vurdert mot tidlegare år. ISSN-0802-8427.
- Nr. 1 - 1995: Årsmelding 1994 for miljøvernavdelinga. ISSN-0802-8427.
- Nr. 2 - 1995: Slamplan for Rogaland - Anbefalinger til fremtidige løsninger. ISSN-0802-8427.
- Nr. 3 - 1995: Vasspest - Kartlegging av spredningsfare i Rogaland. ISSN-0802-8427.
- Nr. 4 - 1995: Revidert verneplan for Jærstrendene landskapsvernområde. ISSN-0802-8427.
- Nr. 5 - 1995: Sanitærutslipp i Rogaland- Omfang pr. 1994 og fremtidige krav til rensing. ISSN-0802-8427.
- Nr. 1 - 1996: Årsmelding 1995 for miljøvernavdelinga. ISSN-0802-8427.
- Nr. 2 - 1996: Kraftledninger og fugledød på Jæren. ISSN-0802-8427.
- Nr. 1 - 1997: Oppdrett i Rogaland - Fylkesmannens innspill til en bærekraftig utvikling. ISSN-0802-8427.
- Nr. 2 - 1997: Bruk av bly- og stålhagl til andejakt på Jæren 1995. ISSN-0802-8427.
- Nr. 3 - 1997: Årsmelding 1996 for miljøvernavdelinga. ISSN-0802-8427.
- Nr. 4 - 1997: Vannkvaliteten i Rogaland - Statusoversikt pr. 1996. ISSN-0802-8427.
- Nr. 5 - 1997: Evaluering av kommunale avfallsplaner i Rogaland. ISSN-0802-8427.
- Nr. 1 - 1998: Årsmelding 1997 for miljøvernavdelinga. ISSN-0802-8427.
- Nr. 2 - 1998: Jærstrendene landskapsvernområde - Fugl og ferdsl. Del 1: Litteraturstudie. ISSN-0802-8427.
- Nr. 1 - 1999: Årsmelding 1998. Miljøvernavdelinga. ISSN-0802-8427.
- Nr. 2 - 1999: Overvåking av lakselus på sjøaure i Rogaland sommeren 1998. ISSN-0802-8427.
- Nr. 1 - 2000: Fiskedød i Håelva, Rogaland - juli 2000. Presentasjon av resultater fra fylkesmannens arbeid. ISSN-0802-8427.
- Nr. 1 - 2002: Tiltaksplan for opprydning av forurensede sedimenter i Stavanger Havn. ISSN-0802-8427.

- Nr. 1 - 2003: Forvaltningsplan for freda rovdyr i Rogaland 2003 –2008. ISSN-0802-8427.  
 Nr. 2 - 2003: Evaluering av Forskrift for nydyrking. Effekter på miljøverdiene på Jæren, i Vindafjord og Bjerkreim i Rogaland.
- Nr. 1 - 2006: Forvaltningsplan for rovvilt i region 1. Sogn og Fjordane, Hordaland, Rogaland og Vest-Agder. ISSN-0802-8427.
- Nr. 1 - 2007: Supplerande kartlegging av naturtyper i Rogaland i 2006. (John Bjarne Jordal). ISSN-0802-8427. ISBN 978-82-90914-11-5. EAN: 9788290914115. (Internettversjon – pdf-format).
- Nr. 1 - 2008: Supplerande kartlegging av naturtyper i Rogaland i 2007. (John Bjarne Jordal, John Inge Johnsen). ISSN-0802-8427. ISBN 978-82-90914-12-2. EAN:9788290914122. (Internettversjon – pdf-format).  
 Nr. 2 - 2008: Evaluering av Naturbase for Rogaland. (John Bjarne Jordal) ISSN-0802-8427. ISBN 978-82-90914-13-9. EAN:9788290914139. (Internettversjon – pdf-format).
- Nr. 1 - 2009: Supplerande kartlegging av naturtyper i Rogaland i 2008. (John Bjarne Jordal, John Inge Johnsen). ISSN-0802-8427. ISBN 978-82-90914-14-6. EAN:9788290914146. (Internettversjon – pdf-format).
- Nr. 1 - 2010: Forvaltningsplan for Harvalandsvatnet naturreservat, Sola kommune, Rogaland. ISSN-0802-8427.
- Nr. 2 - 2010: Forvaltningsplan for Søylandsvatnet naturreservat, Hå kommune, Rogaland. ISSN-0802-8427.
- Nr. 3 - 2010: Supplerande kartlegging av naturtyper i Rogaland i 2009. (Geir Gaarder, John Bjarne Jordal, Helge Fjeldstad, John Inge Johnsen). ISSN-0802-8427. ISBN 978-82-90914-15-3. EAN: 9788290914153. (Internettversjon – pdf-format).
- Nr. 4 - 2010: Naturtyper, biologisk mangfold og bevaringsmål i Jærstrendene landskapsvernområde. ISSN-0802-8427.

## **OVERSIKT OVER MILJØNOTATER**

---

- Nr. 1 - 1990: Prøvefiske i Kollhomtjørn 17.juni 1990. (Espen Enge). ISSN-0803-0170
- Nr. 1 - 1991: Tetthetsregistreringer av laks og aure i Rogalandsvassdrag, 1990. ISSN-0803-0170.  
 Nr. 2 - 1991: El-fiske i tilløpsbekker/elver til Lundevatn. 1991. ISSN-0803-0170.  
 Nr. 3 - 1991: Prøvefiske i Hagavatn 26. juni 1991. ISSN-0803-0170.  
 Nr. 4 - 1991: Prøvefiske i Vostervatn - 1991. ISSN-0803-0170.
- Nr. 1 - 1992: Prøvefiske i Riskedalsvatn 1991. ISSN-0803-0170  
 Nr. 2 - 1992: Ekspansjon av krypsiv (*Juncus bulbosus* L.) i kalkede vann i Rogaland. ISSN-0803-0170.
- Nr. 1 - 1993: Utprøving av Helland-kalkdoserer i Brådlandselva i Frafjord. ISSN-0803-0170.
- Nr. 1 - 1994: Overvåking av krypsiv i fire vann i Rogaland 1992-1994. ISSN-0803-0170  
 Nr. 2 - 1994: Studietur til Skottland for miljøvernavdelinga, naturforvaltningsseksjonen 29. august - 2. september1994. ISSN-0803-0170.
- Nr. 1 - 1995: Tettleiksregistreringar av laks og aure i Rogalandsvassdrag 1994. ISSN-0803-0170.
- Nr. 1 - 1996: Veileder for utfylling av SSB-avløp spørreskjema. ISSN-0803-0170.
- Nr. 1 - 1997: Tetthetsregistreringer av laks og aure i Rogalandsvassdrag 1996. ISSN-0803-0170.
- Nr. 1 - 1999 Tettleiksregistreringar av laks og aure i Rogalandsvassdrag 1993. ISSN-0803-0170.  
 Nr. 2 - 1999 Tettleiksregistreringar av laks og aure i Rogalandsvassdrag 1995. ISSN-0803-0170.  
 Nr. 3 - 1999 Fiskeundersøkelser i Rogalandsvassdrag 1997. ISSN-0803-0170.  
 Nr. 4 - 1999 Tettleiksregistreringar av laks og aure i Rogalandsvassdrag 1998. ISSN-0803-0170.
- Nr. 1 - 2001 Tettleiksregistreringar av laks og aure i Rogalandsvassdrag 1999. ISSN-0803-0170.  
 Nr. 2 - 2001 Fiskebestand i kalka vann i Rogaland 1993. ISSN-0803-0170.  
 Nr. 3 - 2001 Fiskebestand i kalka vatn i Rogaland 1994. ISSN-0803-0170.  
 Nr. 4 - 2001 Fiskebestand i kalka vatn i Rogaland 1995. ISSN-0803-0170.
- Nr. 1 - 2004 Tettleiksregistreringar av laks og aure i Rogalandsvassdrag 2000. ISSN-0803-0170.  
 Nr. 2 - 2004 Tettleiksregistreringar av laks og aure i Rogalandsvassdrag 2001. ISSN-0803-0170.  
 Nr. 3 - 2004 Tettleiksregistreringar av laks og aure i Rogalandsvassdrag 2002. ISSN-0803-0170.  
 Nr. 4 - 2004 Fiskebestand i kalka vatn i Rogaland 1999. ISSN-0803-0170.
- Nr. 1 - 2010 Fiskeundersøkelser i tilknytning til forsuring, restbestander og kalking i Rogaland i 2009. ISSN-0803-0170. (Internettversjon – pdf-format).  
 Nr. 2 - 2010 Modellberegninger av vannkvalitet i Storåna ved ulike scenarier for slipping av minstevannføring. ISSN-0803-0170. (Internettversjon – pdf-format).