

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse: Brekke 23 52 80
Postboks 333, Blindern Gaustadalleen 46 69 60
Oslo 3 Kjeller 71 47 59

Rapportnummer: 0-80002-08
Undernummer: IV
Løpenummer: 1483
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Øvre Otra. Samspill forsurening - regulering på strekningen Harteavatn - Sarvsfoss. Overvåkingsrapport 77/83	Dato: 31. mai 1983
	Prosjektnummer: 0-80002-08
Forfatter(e): Richard F. Wright	Faggruppe: Miljøteknisk
	Geografisk område: Vest-Agder
	Antall sider (inkl. bilag): 23

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn, Oslo. Statlig program for forurensningsovervåking.	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt:

Øvre Otra er sterkt regulert for produksjon av vannkraft. Fra juni 1982 ble strekningen Harteavatn-Sarvsfoss "tørrlagt". Otravannet blir ført gjennom tunnel-systemer og "takrenner" utenfor elveleiet. På denne strekningen domineres elven av tilrenningen fra sidebekkene. Dette vannet har lavere pH og alkalitet enn Otra ved Harteavatn.

Våren 1981 ble forurensningstilstanden i sidebekkene undersøkt. Beregninger indikerer at etter reguleringen vil pH i Otra ved Hoslemo kunne bli så lav som pH 5.4. Før reguleringen var pH 6.2-6.4 Vannkvaliteten etter reguleringen vil ligge nær, men fortsatt over grensen for skade-effekter på fisk.

Statlig program	
Overvåkingsrapport 77/83	
Øvre Otra	
Snøsmelting	Otra
Regulering	Forsuring
Harteavatn	Sarvsfoss

4 emneord, engelske:
1. Otra
2. Hydroelectric power
3. Acidification
4. Snowmelt

Prosjektleder:

RF Wright

Divisjonssjef:

Egil Gjessing

For administrasjonen:

H. E. Sande
Karsten Ovevann

ISBN 82-577-0618-3

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
Oslo

0 - 80002-08

ØVRE OTRA

SAMSPILL FORSURING - REGULERING PA
STREKNINGEN HARTEVATN - SARVSFOSS

Oslo, 31. mai 1983

Forfatter: Richard F. Wright

For administrasjonen:

John Erik Samdal

Lars N. Overrein

FORORD

Overvåking av Otra administreres og koordineres av Statens forurensningstilsyn (SFT) og er finansiert med midler fra Miljøverndepartementet/SFT, Vassdragsrådet for nedre Otra og Oteraaens Brukseierforening. Aust-Agder Fylkeslaboratorium for Vannanalyser står for rutineinnsamling og til dels også analyse av vannprøver fra OTRAS øvre del. Det faglige arbeidet koordineres av Norsk institutt for vannforskning (NIVA).

Overvåkingsprogrammet for Otra består i rutinemessige kjemiske og biologiske undersøkelser samt spesielle undersøkelser knyttet til øvre og nedre Otra. I 1981 var samspillet regulering - sur nedbør valgt som spesiell undersøkelse i Øvre Otra. Undersøkelsen ble rettet mot strekningen Hartevatn - Sarvsfoss. Resultatene fra denne undersøkelsen rapporteres her. Undersøkelsen ble fullført ved NIVA. I/S Øvre Otra v/ Brokke Kraftverk takkes for hjelp med prøvetaking. Oteraaens Brukseierforening skaffet vannføringsdata.

INNHALDSFORTEGNELSE:

	Side
FORORD	2
SAMMENDRAG	4
INNLEDNING	5
UNDERSØKELSE SOPPLEGGET	10
RESULTATER OG DISKUSJON	11
REFERANSER	23

SAMMENDRAG

Øvre Otra er sterkt regulert for produksjon av elektrisk kraft. Fra juni 1982 går mesteparten av vannet fra Otra gjennom tunnel-systemer fra Hartevatn til Brokke kraftverk. Strekningen Sarvsfoss - Brokke fikk sterkt redusert vannføring allerede i 1976. Strekningen Hartevatn - Sarvsfoss fikk redusert vannføringen i juni 1982.

Otras nedbørfelt mottar betydelige mengder sur nedbør, og for-suring har ført til mange fisketomme vann. Reguleringen resulterer i at Otravann med noe bedre kvalitet ledes fra øverste del av vassdraget utenom elveleiet. De "tørrlagte" strekningene domineres av tilrenning fra sidebekkene.

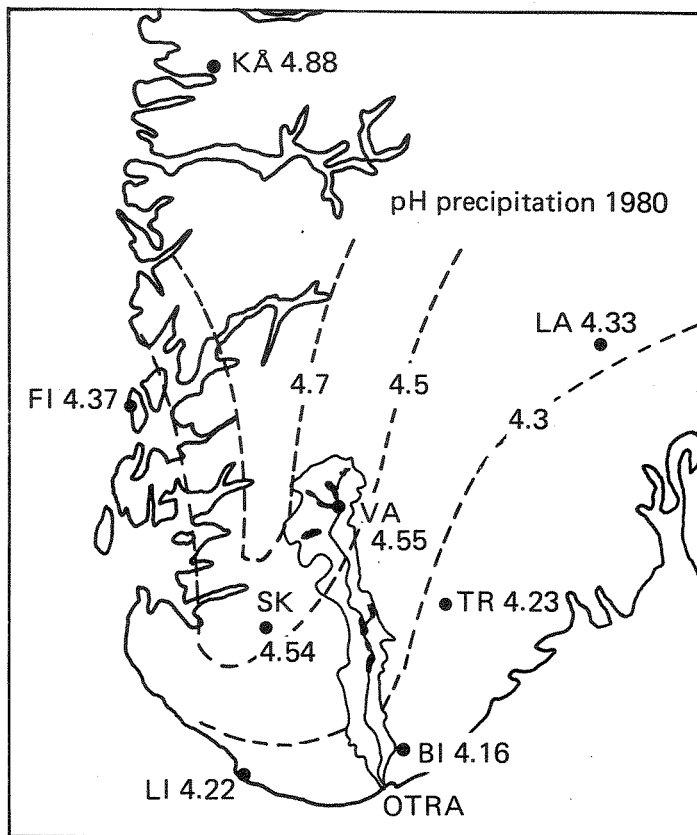
Våren 1981 ble sidebekkene ved Hartevatn - Sarvsfoss undersøkt. Kjemiske målinger under snøsmeltingsperioden indikerer at etter reguleringen vil pH i Otra ved Hoslemo kunne bli så lav som pH 5,4. Før reguleringen i 1981 var pH målt til 6,2-6,4. Vannkvaliteten etter reguleringen vil ligge over, men temmelig nær grensen for skade-effekter på fisk.

INNLEDNING

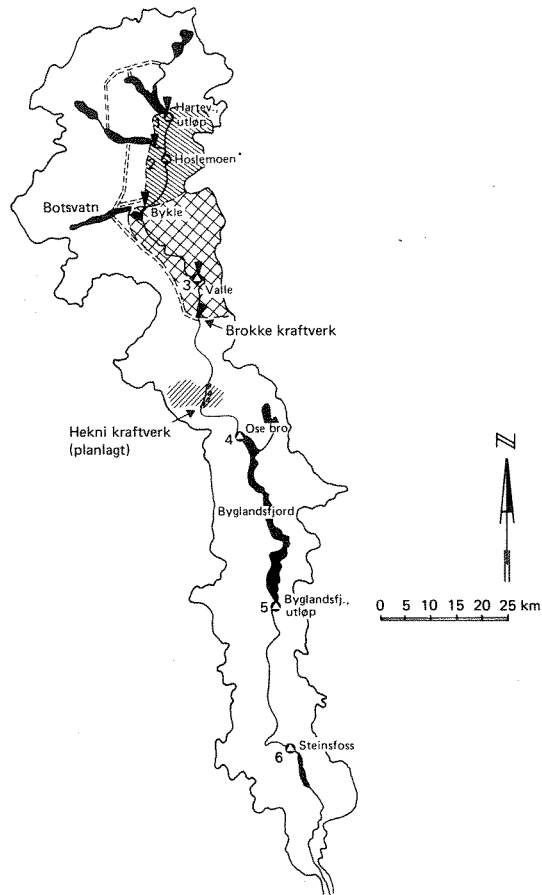
Sur nedbør, vannforsuring og fiskedød preger store deler av Sørlandet. Otras nedbørfelt mottar betydelige mengder av sure forbindelser fra atmosfæren (figur 1). Samtidig er Otra sterkt regulert for produksjon av vannkraft. Både sur nedbør og reguleringsinngrep kan påvirke vannkvaliteten. Skadevirkningene av forsuringen kan både minskes og forverres ved reguleringsinngrep, avhengig av størrelsen av inngrepet og manøvreringsreglementet (Muniz et al., 1979, Wright 1983). Våren 1979 f.eks. døde fisk i Nidelva som følge av eksponering til surt, aluminiumholdig vann. Fiskedøden forklares ved at utløpene til tre store vannmagasiner oppstrøms ble helt stengt under snøsmeltingsperioden, og elven nedstrøms fikk sterkt surt avrenningsvann fra sidebekkene (Muniz et al., 1979). Slipp av en minstevannføring av mindre surt vann fra disse magasinene, kunne antagelig ha reddet fisken.

To strekninger i Otravassdraget har fått vannføringen sterkt redusert som følge av reguleringsinngrep. Strekningen Bykil - Brokke, forbi Valle, ble først berørt i 1964 ved bygging av "takrennesystem" fra Botsvatn til Brokke kraftverk (fig. 2). Avrenningene fra Botsvatn og bekkene på vestsiden av Otra ble ledet i tunnel gjennom selve Otra. Middelvannføringen ved Valle ble dermed redusert fra $78 \text{ m}^3/\text{s}$ til $19 \text{ m}^3/\text{s}$ (Rørslett et al., 1981). I 1977 ble vannføringen ytterligere redusert til $10 \text{ m}^3/\text{s}$ da tunnelen Sarvsfoss - Botsvatn ble tatt i bruk.

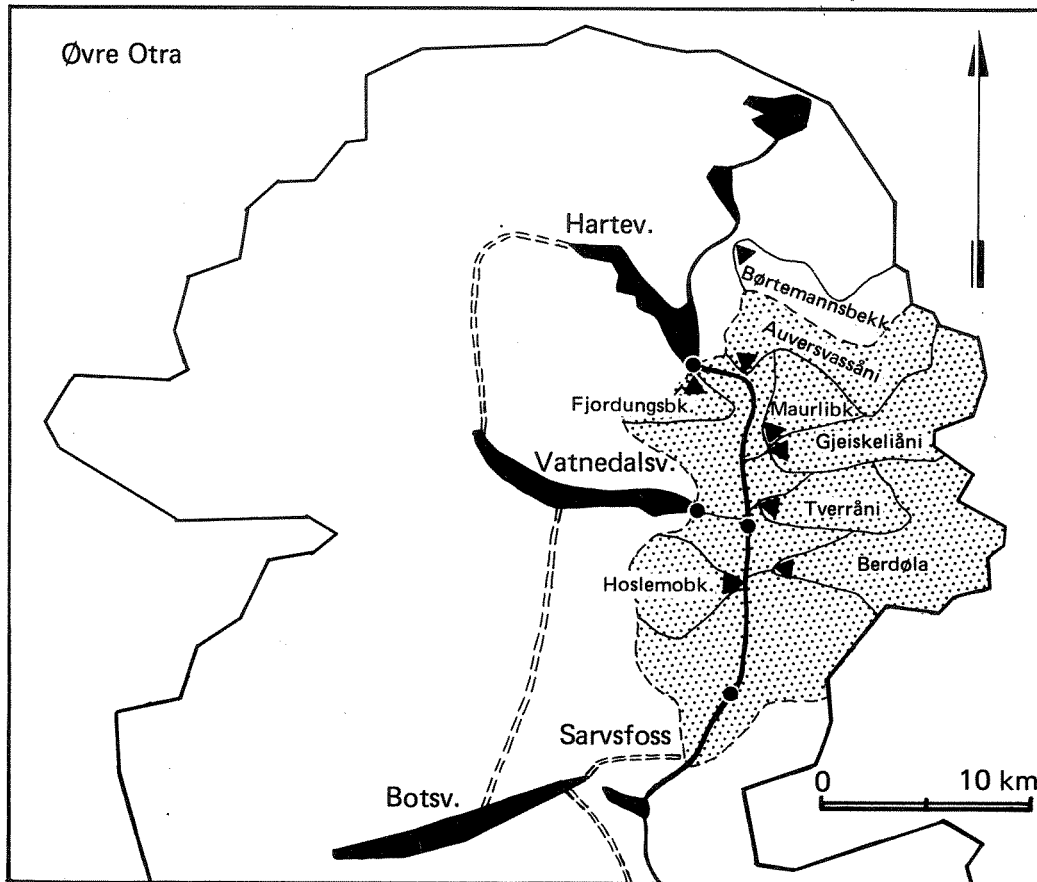
Vannkvaliteten ved Valle er endret som følge av disse reguleringsinngrepene. Data fra de rutinemessige overvåkingsundersøkelsene viser at Otra ved Valle kan betraktes som "sideelv" (Wright og Grande, 1981, Grande et al., 1982). Når avrenningsvannet fra de ovenforliggende deler av Otras nedbørfelt avskjæres og transporteres gjennom tunnel-systemet, vil restvannet i Otra hovedsakelig bestå av vannet fra sidebekkene på østsiden av dalen (fig. 2). Dette vannet kommer fra områder med meta-



Figur 1. Veiet middel-pH i nedbør i 1980 målt ved norske bakgrunnsstasjoner (SFT 1982) i forhold til Otras nedbørfelt. Stasjon VA er ved Vatnedalsvatn.



Figur 2. Otravann nedbørfelt. På strekningen Sarvsfoss (Bykle) - Brokke ble vannføringen sterkt redusert i 1976. Strekningen Hartevatn - Sarvsfoss (Bykle) ble berørt fra juni 1981. Stiplede linjer viser tunnelsystemet for overføring av Otravann.



Figur 3. Strekningen Hartevatn - Sarvsfoss med de 7 sideelvene som inngikk i undersøkelsen. Sideelvenes nedbørfelt og de områder mellom bekkene er inntegnet. Børtemannsbekk drenerer idag til Hartevatn, men et utbyggingsalternativ innebærer overføring til Auversvassåni. Sirklene viser prøvetakingssteder i selve Otra (utløp Hartevatn, Berdalsbro og Stavenes bro). Trekantene viser prøvetakingssteder i sideelvene.

Tabell 1. Nedbørfeltene til elvene Otra på strekningen Hartevatn - Sarvsfoss ned til Hoslemo og arealet av diffuse områder mellom bekkene (tilrenningen til Otra). Ved beregning av vannkvalitet i Otra ved Hoslemo er den kjemiske vannkvalitet for avrenningen fra diffusområdene antatt lik den i den nærmeste bekken.

	Nedbørfelt km ²	Diffuse områder km ²	Totalt areal for vannkvalitetsberegninger	
			km ²	%
<u>Vestsiden</u>				
Fjordungsbk.	5,4	18,0	23,4	14
Hoslemobk.	16,0	7,1	23,1	14
<u>Østsiden</u>				
Auversvassåni	23,5	1,5	25,0	15
Maurlibk.	9,6	6,0	15,6	9
Gjeiskeliåni	34,8	5,8	40,6	24
Tverråni	15,5	3,4	18,9	11
Berdøla	23,1		23,1	14
Sum	127,9	41,8	169,7	100 %

morfe-sedimentære bergarter som er noe mer motstandsdyktig mot sur nedbør enn større deler av Otras nedbørfelt (granittiske - gneissiske bergarter). Ved Valle har elvevannet relativt høyere konsentrasjoner av kalsium, magnesium og bikarbonat, samt høyere pH enn Otra både ovenfor tunnel-inntak ved Sarvsfoss og nedenfor utløpet ved Brokke kraftverk (Wright og Grande, 1981).

I byggetrinn III inngår et stort, nytt magasin ved Vatnedalsvatnet, et nytt "takrennesystem" og et nytt kraftverk ved Botsvatn (Holen kraftverk). Vannet fra Hartevatn pumpes via flere innsjøer til Vatnedalsmagasinet (fig. 2). Utløpet ved Hartevatn består dermed bare av den konsesjonspålagte minstevannføring, og sideelven, Løyningsåni fra Vatnedalsvatnet, fører ikke lenger vann. Strekningen Hartevatn - Sarvsfoss fikk sterkt redusert vannføring fra ca. juni 1981 da pumpestasjonen ved Hartevatn ble satt i drift.

Våren 1981 var vannføringen og vannkvaliteten i Otra på strekningen Hartevatn - Sarvsfoss "normal" for siste gang. Fra og med 1982 var strekningen dominert av tilrenningen fra sidebekkene. I forsuringspåvirkede vassdrag er pH ofte lavest under snøsmeltingen, og vannkvaliteten kan da bli kritisk for fisk og andre organismer. Denne undersøkelsen gikk ut på å forutsi endringen i vannkvalitet i Otra ved Hoslemo etter reguleringen. Prøvetaking og analyser ble utført våren 1981.

UNDERSØKELSESOPPLEGGET

Vannprøver ble tatt tre ganger i løpet av våren 1981 i syv sidebekker på strekningen Hartevatn - Sarvsfoss (fig. 3, tabell 1). I tillegg ble prøver tatt ved Løyningsåni (utløpet av Vatnedalsvatn, Børtemannsbekk og Otra ved utløpet av Hoslevatn, Berdalsbro og Stavenes bro (like ovenfor Sarvsfoss)). Prøvene i sidebekkene ble tatt 13. april, før snøsmeltingen tok til, 19. mai ved flom og 17. juni etter snøsmeltingen.

I tillegg ble det tatt ukentlige prøver på syv steder i Otra i perioden 13. april til 16. juni.

Kjemisk analyseprogram omfatter hovedioner samt pH, konduktivitet og aluminium. De ukentlige prøvene fra Otra ble analysert kun for pH og konduktivitet. Analysene ble utført ved NIVA, og resultatene er gitt i tabellene 2-4.

Vannføringsdata foreligger for Otra ved Hoslemoen, Valle, Brokke hovedvanmerke og for Løyningsåni.

RESULTATER OG DISKUSJON

Kjemidataene viser at de øvre bekkene og utløp Hartevatn har litt høyere konsentrasjoner av kationene kalsium og magnesium (fig. 4) og alkalitets- og pH-verdiene er også litt høyere enn i bekkene lenger ned (Hoslemobekk og Berdøla)(fig. 5). Denne forskjellen skyldes antakelig forskjeller i de geologiske forhold i nedbørfeltene.

Belastningen av sur nedbør er størst ved kysten og avtar mot de øvre deler av Otravassdraget. Veiet middel-pH, målt på nedbørstasjonen ved Vatnedalen, er ca. 4,5 (SFT 1982), litt surere enn den pH 4,7 terskelen hvor forsuring fører til skadevirkninger i de mest ømfintlige vann.

Vannkjemien i bekkene viser det typiske mønster over tid i snøsmelteperioden (fig. 4 og 5). Før smeltingen tar til i april, er konsentrasjonene av hovedioner som f.eks. kalsium og magnesium relativt høye. Bekkene består for det meste av grunnvann. I mai under maksimumsmelting og flom er konsentrasjonene lavere som følge av fortykning med snøsmeltevann. Etter smeltingen i juni går konsentrasjonene opp igjen, men bare delvis til vintertilstanden. Jordvannet eller grunnvannet er delvis blitt skylt ut med ionefattig smeltevann. Dette mønsteret er typisk for store deler av Norge (Johannessen et al., 1980).

Tabell 2. pH i prøvene tatt i øvre Otra våren 1981.

Dato (År, mnd, dag)	Harte- vatn	Hoslemo	Sarvs- fossen	Byki1	Botsvatn, luke	Valle	Ovenfor Brokke	Brokke, avløp	Hekni
	600	590	581	-	-	564	554	553	548
810413	6,44	6,42	6,21	-	-	-	5,91	5,27	5,44
810422	6,31	6,31	-	5,80	-	5,58	5,75	5,96	5,71
810429	6,42	6,44	-	5,76	-	5,81	5,86	6,06	5,95
810506	6,41	6,52	-	5,82	-	5,72	5,92	6,09	5,92
810512	6,42	6,03	-	5,83	-	5,28	5,45	4,97	5,25
810519	6,32	6,22	6,17	-	-	-	5,93	4,99	5,66
810526	6,13	6,10	-	6,28	6,45	6,10	5,96	5,77	5,63
810603	6,21	6,18	-	5,91	5,94	5,68	5,80	5,73	5,70
810610	6,29	6,28	-	6,17	5,99	6,00	5,94	5,78	5,68
810616	6,43	6,37	6,36	6,25	5,97	6,01	6,20	5,71	5,86

Tabell 3. Konduktiviteten ($\mu\text{S}/\text{cm}$ ved 20°C) i prøvene tatt i øvre Otra våren 1981.

Dato (År, mnd., dag)	Harte- vatn	Hoslemo	Sarvs- fossen	Bykil	Botsvatn, Tuke	Valle	Ovenfor Brokke	Brokke avløp	Hekni
	600	590	581	-	-	564	554	553	548
810413	14,8	18,4	19,2	-	-	-	21,3	20,5	19,7
810422	17,8	18,3	-	23,1	-	19,4	18,4	18,0	18,1
810429	18,8	19,2	-	22,4	-	19,4	19,2	17,4	17,5
810506	18,1	18,3	-	21,6	-	19,4	19,7	17,4	18,3
810512	18,5	14,8	-	18,1	-	14,9	14,2	16,0	14,3
810519	13,8	12,7	12,3	-	-	-	13,2	15,0	13,3
810526	13,1	12,8	-	11,8	14,9	12,2	12,2	11,3	11,7
810603	13,3	12,4	-	12,7	13,1	12,8	13,9	11,8	11,7
810610	12,3	11,9	-	12,9	13,4	13,8	13,2	11,7	12,1
810616	13,6	12,4	12,0	12,6	13,4	13,5	14,2	11,2	12,1

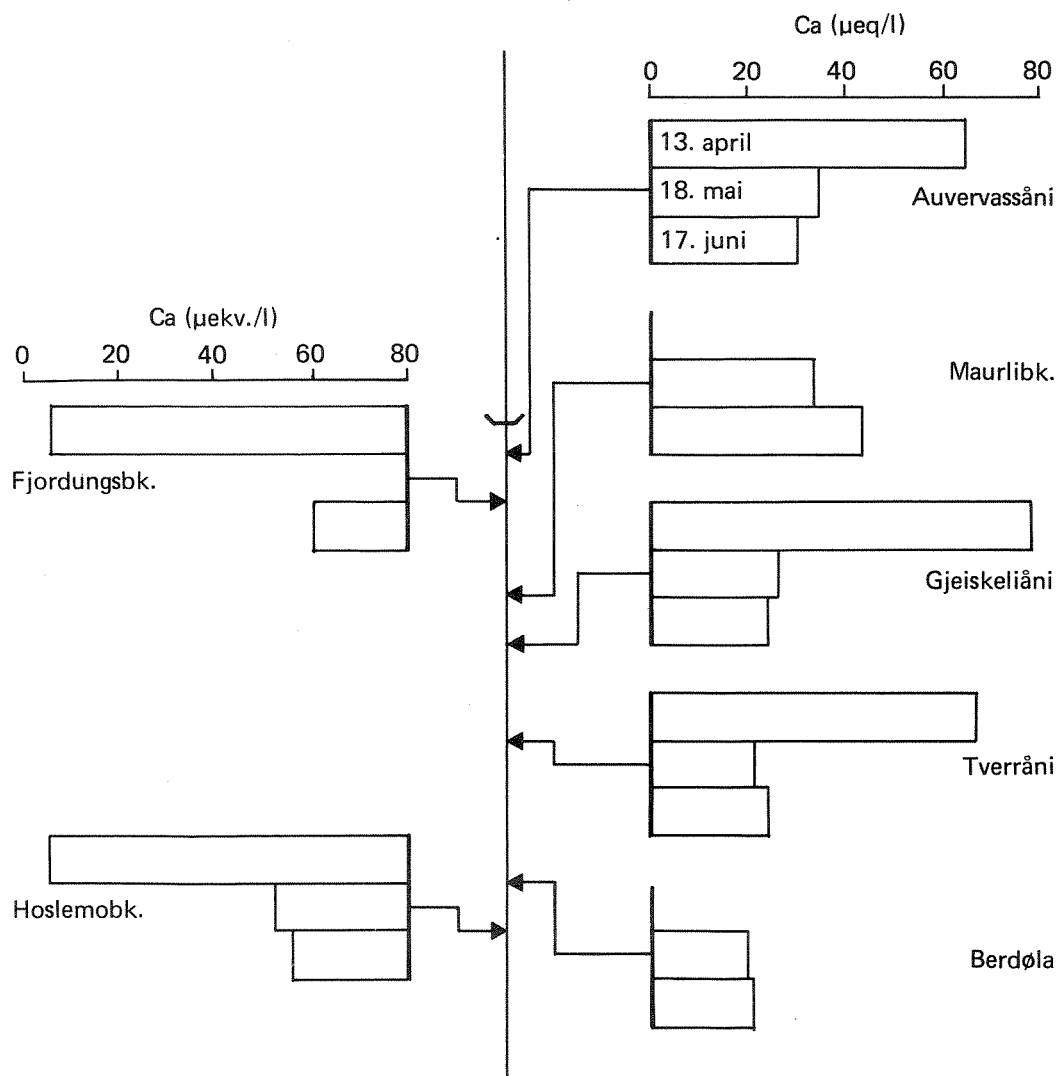
Tabell 4. Kjemiske data for prøver tatt våren 1981 i øvre Otra og sidebekkene. Enhet: µkv/l.

Lok.	Stasjon	Lok.	Stasjon
535	Otra, Ose bro	1589	Hoslemobekken
548	Otra, Hekni	1592	Løyningsåni
553	Avløp Brokke	1600	Fjordungsbekken
554	Otra, ovenfor Brokke	2590	Berdøla
564	Otra, Valle	2593	Tverråni
581	Otra, Sarvsfoss	2595	Gjeiskeliåni
590	Otra, Hoslemo	2596	Maurlibekken
600	Otra, utl. Hartevatn	2599	Auversvassåni
		2605	Børtemannsbekken

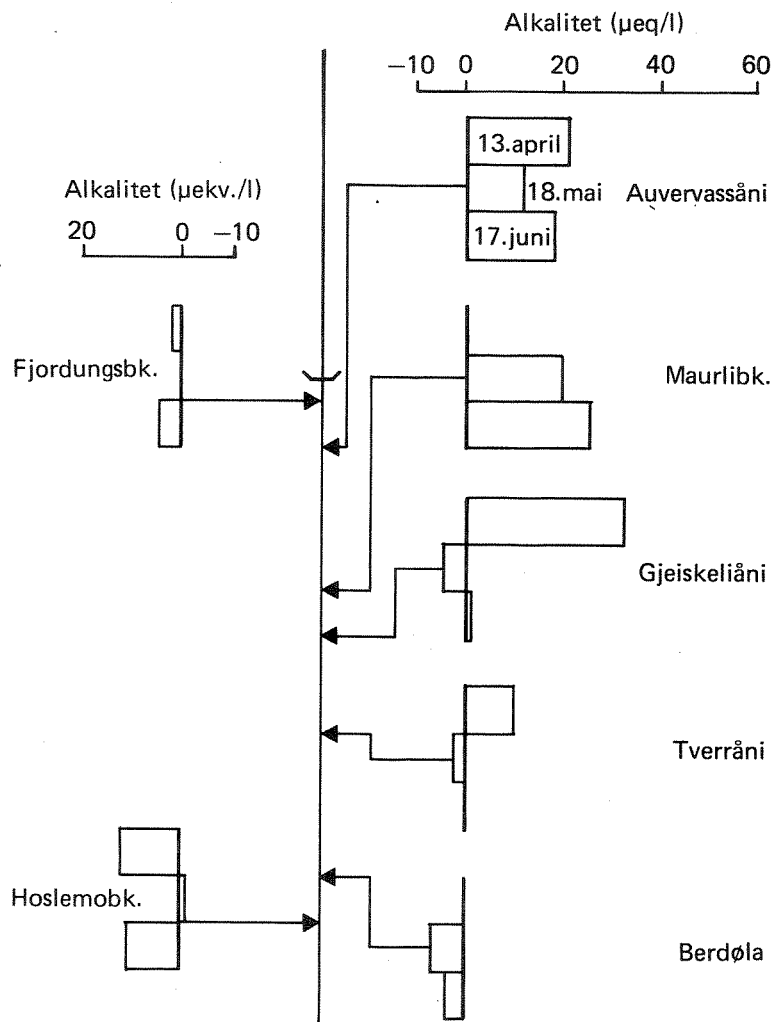
FILKODE: OTRA		NAVN: OTRA							OVERVAKNING			
LOK	A M D R N G	EH+	ENA	EK	ECA	EMG	EAL	ECL	ES04	EN03	ALK-X	
535	810115	.7	37.0	8.2	47.9	16.5	4.4	56.4	41.6	10.0	27.2	
535	810216	.8	32.6	4.3	48.4	14.0	4.4	42.3	37.5	10.0	27.2	
535	810316	.9	51.3	14.6	59.4	18.1	4.4	56.4	41.6	11.4	47.2	
535	810421	1.8	67.4	10.2	56.9	29.6	20.0	90.3	58.3	8.6	12.0	
535	810515	2.5	53.1	14.8	28.4	14.8	13.3	62.1	43.7	6.4	13.1	
535	810615	1.3	43.1	5.4	40.9	15.6	10.0	48.0	37.5	6.8	18.6	
535	811007	2.5	34.8	4.1	40.4	15.6	15.6	36.7	66.6	6.4	1.6	
535	811115	1.1	52.2	7.9	50.4	17.3	7.8	59.2	45.8	8.6	20.7	
535	811216	1.0	36.5	5.6	49.9	13.2	5.0	42.3	37.5	9.3	6.4	
548	810413	3.6	64.8	8.4	51.4	25.5	21.1	90.3	60.4	6.4	5.3	
548	810519	2.2	46.1	4.9	36.9	14.0	10.0	50.8	31.2	6.8	8.7	
548	810617	1.4	37.4	3.6	36.9	14.0	10.0	42.3	37.5	5.0	8.7	
553	810413	5.4	77.0	4.9	45.4	24.7	17.8	95.9	54.1	10.4	.0	
553	810519	10.2	53.1	2.8	18.0	13.2	15.0	59.2	31.2	8.2	.0	
553	810617	1.5	38.7	3.1	33.9	14.8	10.6	45.1	37.5	7.1	8.7	
554	810413	1.2	69.2	14.3	64.9	30.4	14.5	90.3	64.5	18.2	18.6	
554	810519	1.2	43.9	5.4	42.9	14.8	9.5	48.0	33.3	6.4	14.2	
554	810617	.5	41.8	5.9	55.9	17.3	6.1	45.1	52.0	5.0	20.7	
564	810113	1.5	56.1	6.4	59.9	25.5	8.9	76.2	70.8	7.9	46.2	
564	810218	1.3	53.5	4.9	68.4	25.5	8.9	64.9	64.5	7.9	19.7	
564	810317	.9	62.2	11.3	88.3	28.0	8.9	70.5	70.8	12.9	39.9	
564	810407	.5	65.7	32.7	97.3	40.3	7.8	84.6	75.0	15.0	74.4	
564	810512	6.5	46.1	6.1	34.9	17.3	22.2	53.6	41.6	3.6	2.9	
564	810616	.8	40.9	6.1	55.4	18.1	3.9	42.3	54.1	2.5	25.0	
564	810715	.8	33.5	4.6	48.9	14.0	10.0	33.9	35.4	6.1	19.7	
564	810915	.3	40.0	4.1	62.4	18.1	2.2	36.7	45.8	6.4	32.5	
564	811013	1.2	35.2	6.6	57.4	16.5	5.6	36.7	50.2	9.3	18.6	
564	811117	1.3	49.6	8.2	67.9	23.0	10.0	53.6	85.4	13.6	18.6	
564	811216	1.2	53.1	9.7	91.3	24.7	6.7	53.6	87.4	15.7	20.7	
581	810413	.6	63.5	6.1	68.9	25.5	7.8	84.6	47.9	9.6	32.5	
581	810518	.6	41.3	4.3	47.9	14.8	10.0	48.0	29.1	6.4	25.0	
581	810617	.4	34.8	2.8	45.9	13.2	6.7	39.5	31.2	7.1	22.9	
590	810113	.9	31.8	3.8	39.9	14.0	1.1	48.0	35.4	10.7	35.7	
590	810218	.4	32.2	2.8	54.9	15.6	2.2	42.3	29.1	11.4	36.7	
590	810317	.3	37.8	4.1	63.9	17.3	2.2	42.3	33.3	12.9	45.1	
590	810407	.2	40.9	4.3	74.8	21.4	4.4	56.4	39.6	15.4	46.2	
590	810413	.3	57.4	5.9	71.9	23.9	6.7	73.3	43.7	10.7	40.9	
590	810512	1.0	47.4	5.4	51.4	18.1	14.5	56.4	37.5	7.5	20.7	
590	810518	.6	41.3	4.3	51.4	15.6	8.3	45.1	29.1	6.8	29.3	
590	810616	.5	35.7	3.3	48.4	14.0	8.3	42.3	27.1	2.5	30.4	
590	810617	.4	36.5	3.1	47.9	13.2	6.7	42.3	27.1	7.9	26.1	
590	810715	.5	30.5	2.8	48.4	12.3	4.4	28.2	29.1	6.4	27.2	
590	810810	.5	25.7	2.8	48.4	12.3	1.1	28.2	43.7	5.7	34.6	
590	810915	.2	34.8	2.8	58.9	14.8	2.8	31.0	31.2	8.9	42.0	
590	811013	.6	27.8	3.3	56.4	14.0	3.3	28.2	33.3	7.1	31.4	
590	811117	.4	30.5	3.6	58.9	15.6	4.4	33.9	37.5	8.6	42.0	
590	811216	.3	34.8	4.3	77.3	16.5	3.9	36.7	31.2	10.0	44.1	
600	810113	.5	30.5	3.3	51.4	15.6	1.1	45.1	31.2	7.1	49.3	
600	810218	.4	31.8	2.6	59.9	16.5	3.3	39.5	29.1	9.3	45.1	
600	810317	.3	37.0	5.4	77.8	19.7	4.4	39.5	31.2	8.6	75.4	
600	810407	.2	33.9	4.3	76.8	20.6	1.1	33.9	35.4	10.7	72.3	

Tabell 4, forts.

FILKODE: OTRA		NAVN: OTRA		OVERVAKNING							
LOK	A M D R N G	EH+	ENA	EK	ECA	EMG	EAL	ECL	ES04	EN03	ALK-X
600	810413	.3	37.4	4.9	67.4	18.9	2.2	39.5	35.4	9.6	57.7
600	810512	.3	51.3	6.1	79.3	23.9	5.6	56.4	39.6	11.1	61.9
600	810519	.4	43.9	4.9	56.9	16.5	3.9	48.0	22.9	7.1	38.8
600	810616	.4	39.6	4.1	54.9	14.8	10.0	45.1	29.1	8.6	37.8
600	810617	.3	41.8	5.4	53.9	14.8	8.9	50.8	25.0	8.9	33.5
600	810715	.4	30.5	2.8	48.9	12.3	4.4	33.9	25.0	6.4	30.4
600	810810	.6	26.1	2.8	47.4	12.3	2.2	28.2	33.3	7.1	26.1
600	810915	.2	33.9	2.6	57.9	14.8	3.3	31.0	31.2	7.5	37.8
600	811013	.6	27.8	3.8	58.4	14.0	3.3	31.0	31.2	7.1	38.8
600	811117	.4	30.0	3.8	59.4	15.6	3.3	33.9	37.5	7.1	46.2
600	811216	.5	31.3	4.1	67.9	14.0	5.0	39.5	35.4	9.3	31.4
610	810317	.3	27.8	2.8	63.9	16.5	1.1	28.2	27.1	5.7	53.5
610	810407	.2	27.0	2.6	70.4	17.3	1.1	28.2	31.2	1.4	62.9
1541	811007	24.5	28.3	2.6	17.0	12.3	32.2	25.4	66.6	3.6	0.0
1542	811007	20.9	33.5	3.3	20.0	14.3	33.4	28.2	75.0	.7	0.0
1543	811007	20.4	40.9	3.6	27.9	16.5	24.5	36.7	89.5	2.1	0.0
1545	811007	21.4	30.5	2.0	20.5	13.2	21.1	28.2	66.6	2.1	0.0
1589	810518	3.5	44.8	4.9	27.9	13.2	8.9	50.8	37.5	2.9	2.9
1589	810617	1.4	27.8	2.8	24.0	9.9	7.8	25.4	22.9	.7	12.0
1592	810413	.3	108.8	16.1	296.4	50.2	14.5	282.1	62.5	58.2	79.6
1592	810518	.5	56.1	10.0	147.7	23.0	11.1	107.2	39.6	41.8	47.2
1592	810617	.0	78.7	25.8	404.2	62.5	83.4	197.5	58.3	174.9	172.3
1600	810413	3.7	128.8	8.7	73.9	41.1	11.1	180.5	68.7	15.0	5.3
1600	810617	1.7	30.0	2.3	20.5	9.0	6.7	28.2	25.0	2.1	6.4
2541	811007	16.2	53.1	2.8	29.4	24.7	26.7	53.6	91.6	.7	0.0
2543	811007	26.3	42.6	2.0	25.0	19.7	28.9	39.5	89.5	.7	0.0
2546	811007	25.1	32.6	2.6	25.9	15.6	25.6	31.0	77.0	2.1	0.0
2590	810518	7.2	33.9	3.3	20.0	9.9	12.8	31.0	35.4	8.6	.0
2590	810617	3.8	24.4	1.3	21.0	9.0	10.6	19.7	31.2	2.1	.0
2593	810413	1.3	86.1	5.4	67.4	30.4	10.0	107.2	58.3	13.6	12.0
2593	810518	4.1	29.6	3.3	21.5	8.2	10.0	28.2	27.1	5.0	1.6
2593	810617	1.5	25.7	1.0	24.5	9.0	7.8	22.6	31.2	.7	1.6
2595	810413	.7	70.0	6.4	78.3	29.6	5.6	90.3	54.1	12.1	33.5
2595	810518	4.6	32.6	2.8	25.9	9.9	11.1	31.0	31.2	9.6	.0
2595	810617	1.9	21.8	1.0	24.0	8.2	7.2	19.7	29.1	4.6	2.9
2596	810518	.9	29.6	5.1	33.4	10.7	4.4	25.4	20.8	3.6	20.7
2596	810617	.8	36.1	2.0	42.9	14.8	8.3	33.9	27.1	.7	26.1
2599	810413	.7	59.6	5.6	64.9	23.0	7.8	79.0	47.9	9.6	21.8
2599	810518	1.2	40.9	4.1	34.4	11.5	5.6	42.3	27.1	6.1	13.1
2599	810617	.5	25.7	1.8	29.9	9.0	2.2	28.2	27.1	3.6	18.6
2605	810413	.5	95.7	8.7	110.3	38.7	3.3	124.1	64.5	18.2	57.7
2605	810518	1.3	31.3	5.6	37.4	11.5	23.9	28.2	25.0	2.9	21.8
2605	810617	.5	24.8	2.0	33.4	9.9	3.3	19.7	25.0	1.4	19.7



Figur 4. Ca. konsentrasjoner ($\mu\text{ekv./l}$) målt i sidebekkene til Otra på strekningen Hartevatn - Sarvsfoss våren 1981.



Figur 5. Alkalitet ($\text{HCO}_3\text{-H}^+$) ($\mu\text{ekv/l}$) i sidebekkene til Oтра på strekningen Hartevatn - Sarvsfoss.

Også alkaliteten viser både forskjellen mellom de øvre og de nedre bekkene. Likeledes er det til dels store variasjoner i løpet av smelteperioden (fig. 5). Her er alkalitet definert som bikarbonatkonsentrasjon minus H^+ -konsentrasjonen. Alle konsentrasjoner er i $\mu\text{ekv/l}$.

$$\text{alk} = \text{HCO}_3 - \text{H}^+ \quad (1)$$

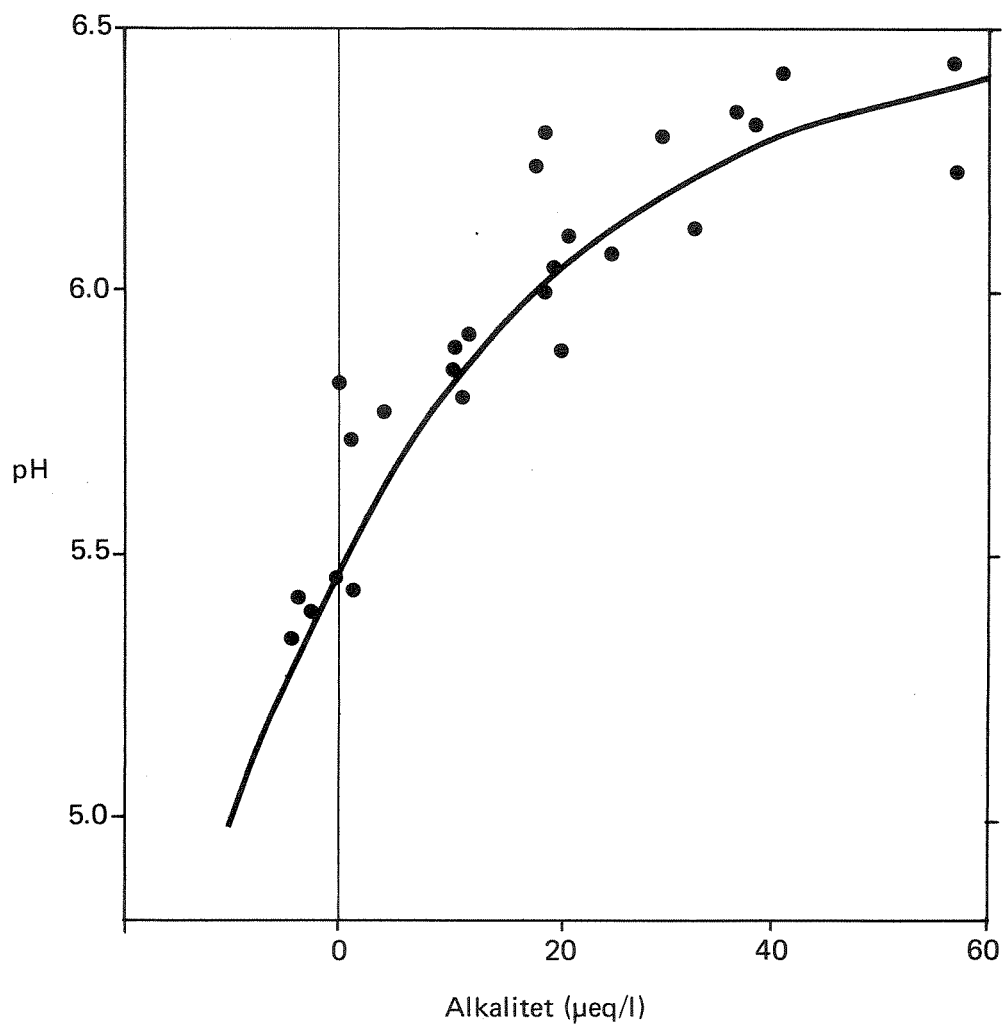
Bikarbonatkonsentrasjon måles ved titrering av prøven med HCl til fast endepunkt, pH 4,5. Målte verdier er korrigert til infleksjonspunkt - alkalitet etter Henriksen (1982). Alkalitet er negativ i sure prøver og positiv i prøver med høy pH. Omslagspunktet for prøvene fra øvre Otra er ca. 5,4 (fig. 6). Det empiriske forholdet mellom pH og alkalitet danner grunnlag for estimering av pH gitt alkalitet.

Våren 1981 var nedbørfeltet til Otra ved Hoslemo totalt 622 km^2 , derav 453 km^2 (70%) ovenfor utløpet av Hartevatn og 169 km^2 mellom utløp Hartevatn og Hoslemo. Utløpet av Vatnedalsvatnet var stengt, og Løyningsåni hadde ubetydelig vannføring (mindre enn $1 \text{ m}^3/\text{s}$).

Beregningene av vannkvalitet i Otra ved Hoslemo er basert på antagelsene om at

- a) vannføringen i sidebekkene er proporsjonal med nedbørfeltets areal,
- b) avrenningen fra diffuse områder mellom bekkene er kjemisk lik nærmeste bekk, og
- c) vannføringen fra Hartevatn-utløpet etter reguleringen er null. I virkeligheten blir det en minstevannføring ved Hartevatn-utløpet på $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, men denne kan neglisjeres ved beregningen av kjemisk sammensetning ved Hoslemo.

For tre av bekkene mangler data, og disse er estimert etter beste skjønn. Beregningen gjøres for summen av kalsium og magnesium, alkalitet og total-aluminium. pH beregnes ut fra alkaliteten (fig. 6).



Figur 6. Forhold mellom pH og alkalitet ($\text{HCO}_3\text{-H}^+$) for vannprøver tatt i Otra og sidebekkene våren 1981.

Beregningene indikerer at hvis utløpet i Hartevatn hadde vært stengt våren 1981, hadde pH i Otra ved Hoslemo under vårflommen vært så lav som pH 5,4 (tabell 5). Total-Al hadde vært 90 $\mu\text{g Al/l}$. Med full avrenning fra Hartevatn er pH ved Hoslemo beregnet til 6,2-6,3. Dette stemmer godt med observert pH 6,2-6,4 (tabell 5). Beregningen indikerer at reguleringen vil føre til en pH-senkning fra ca. 6,3 til 5,4, som tilsvarer en senkning i alkalitet på ca. 20 $\mu\text{ekv/l}$ i Otra ved Hoslemo (fig. 7).

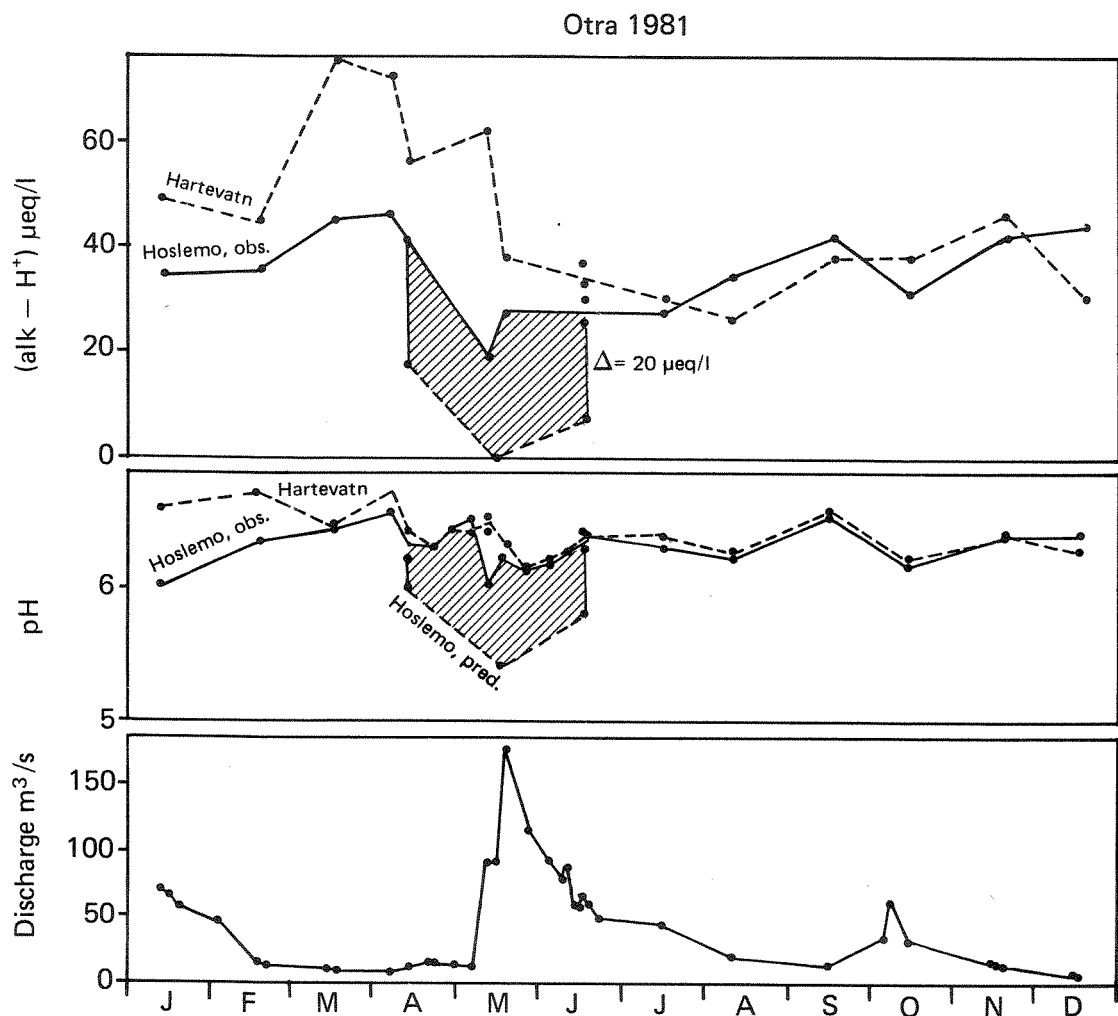
En konservativ grense for skadeeffekter på ørret ligger på ca. pH 5,2 og total-Al 100 $\mu\text{g/l}$. Etter reguleringen vil vannkvaliteten ligge nær men fortsatt over grensen for skadeeffekter for fisk.

Jo lenger ned i Otras nedbørfelt man kommer, desto større er belastningen av sur nedbør, og desto surere er sidebekkene. Strekningen Hartevatn - Sarvsfoss ligger høyt oppe i vassdraget, og belastningen er forholdsvis liten. Derfor vil effekten av reguleringen på forsuringsgrad være relativt beskjeden. Lenger ned i vassdraget kan effekten bli større.

En tilsvarende undersøkelse i forbindelse med det planlagte kraftverket er Hekni (Grande og Wright, 1982), konkluderer med at hvis Otra ved Hekni ledes gjennom en tunnel, vil fisk ikke kunne leve på den "tørrlagte" strekningen, med mindre mottiltak innføres.

Tabell 5. Beregnet (areal-veiet middel) vannkjemi i Otra ved Hoslemo etter reguleringen. Det er antatt at det ikke tilføres vann fra Hartevatn eller Vatnedalsvatn. Beregningen er basert på vannkjemien målt i sidebekkene våren 1981. I tillegg er vannkjemien før reguleringen beregnet. pH er estimert fra empiriske forhold mellom alkalitet og pH. ^a Estimert verdi.

Bekk	Areal %	Ca* + Mg*, µeq/l			Alkalitet, µeq/l			Total-Al, µg/l			pH		
		13/4	18/5	17/6	13/4	18/5	17/6	13/4	18/5	17/6	13/4	18/5	17/6
Fjordungsbekken	14	115	30 ^a	30	2	-5 ^a	5	100	100 ^a	60	5,4	-	5,8
Hoslemobekken	14	111	41	34	12	-1	11	90	80	70	5,8	5,5	5,8
Auversvassåni	15	88	46	39	21	12	18	70	50	20	6,1	5,9	6,2
Maurlibekken	9	100 ^a	44	58	30 ^a	20	25	50 ^a	40	75	-	6,0	6,1
Gjeiskeliåni	24	118	36	32	33	-5	1	50	100	65	6,1	5,3	5,7
Tverråni	11	108	30	34	11	-2	0	90	90	70	5,9	5,4	5,8
Berdøla	14	108 ^a	30	30	8 ^a	-7	-4	100 ^a	115	95	-	5,1	5,4
Hoslemo, beregnet etter reguleringen	169 km ²	109	37	36	18	0	7	80	90	60	6,0	5,4	5,8
Hartevatn, observert 1981	453 km ²	86	73	70	57	38	37	20	35	90	6,4	6,3	6,3
Hoslemo, observert 1981	622 km ²	95	67	62	41	28	30	60	75	75	6,4	6,2	6,3
Hoslemo, beregnet 1981	622 km ²	92	63	61	46	28	29	35	50	70	6,3	6,2	6,2



Figur 7. Vannføring, pH og alkalitet målt (obs.) i Otra ved Hoslemo og Hartevatn i 1981. Predikerte (pred.) verdier for pH og alkalitet er beregnet for 3 tidspunkter våren 1981 under antakelse av at utløpet fra Hartevatn stenges (etter reguleringen 1982). Alkalitet er definert som $\text{HCO}_3\text{-H}^+$. Predikert nedgang i alkalitet er ca. 20 µekv/l (skravert felt). Minimum-pH blir ca. 5,4.

REFERANSER

- Grande, M. og R.F. Wright, 1982. Hekni kraftverk. Vurdering av resipientforhold i forbindelse med eventuell utbygging. 0-81096 NIVA, Oslo, 27 s.
- Grande, M., R.F. Wright, P. Brettum, T. Lindgaard og R. Romstad, 1982. Otra 1981 rutineovervåking. Rapp. 55/82, 74 s.
- Henriksen, A., 1982. Alkalinity and acid precipitation research. Vatten 38: 83-85.
- Johannessen, M., A. Skartveit og R.F. Wright, 1980. Streamwater chemistry before, during and after snowmelt, s. 224-225. In D. Drabløs og A. Tollan (red.) Ecol. Impact Acid Precip., SNSF-prosjektet, 1432 As-NLH, 383 s.
- Muniz, I.P., H. Leivestad og V. Bjerknes, 1979. Fiskedød i Nidelva (Arendalsvassdraget) våren 1979. TN 48/79, SNSF-prosjektet, 1432 As-NLH, 29 s.
- Rørslett, B., T. Tjomsland, J.E. Løvik, E. Lydersen, M. Mjelde og M. Grande, 1981. Undersøkelse av øvre Otra. 0-72198, NIVA, Oslo, 180 s.
- SFT, 1982. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Statlig Program for Forurensningsovervåking. Rapp. 64/82, 176 s.
- Wright, R.F. og M. Grande, 1981. Otra 1980 rutineovervåking. Statlig Program for Forurensningsovervåking. Rapp. 6/82, 55 s.
- Wright, R.F., 1983. Water chemistry: interaction of stream regulation and acid precipitation. In Proc. 2nd. Intern. Sym. Regulated Streams, Universitetsforlaget, Oslo.