

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
Blindern

O-196/72

VURDERING AV KJEMISK VANNKVALITET I MANDALSELVA

Saksbehandler: J.E. Samdal

Rapporten avsluttet: 15/10-73

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
1. INNLEDNING	3
2. BAKGRUNN	3
3. PROBLEMSTILLING	4
4. MANDATET OG PROBLEMSTILLINGEN	5
5. VURDERINGER AV VANNETS KJEMI	8
6. KONKLUSJON	12
7. REFERANSER	14

FIGURER

Figur 1. pH som funksjon av årstiden for noen Sørlandselver.	17
Figur 2. Regresjonslinjer for 5 målepunkter i Mandalselva, pH som funksjon av tiden.	18
Figur 3. Regresjonslinjer for pH og hårdhet i noen Sørlandselver for perioden 1965 - 1970.	19
Figur 4. Blanding av vann fra Mandalselva og Finså.	20
Figur 5. Temperatur og nedbør ved to meteorologiske stasjoner, Mandal og Konsmo.	21

## 1. INNLEDNING

Denne rapporten er utarbeidet for overskjønnsretten for Mandalselva. Rapporten er utarbeidet etter avtale på et møte i Kristiansand den 16.11.1972. Tilstede på dette møtet var:

Sorenskriver Kaare Hageler  
Sorenskriver Per Kjær  
Fiskerikonsulent Kjell W. Jensen  
Høyesterettsadvokat Karl Wyller  
Advokat Bjørn Moldenæs  
Advokat Alf Gjølme  
Advokat Olav Bryge  
Avdelingssjef John Erik Samdal.

## 2. BAKGRUNN

Bakgrunnen for vurderingene i denne rapport er undersøkelser som vårt institutt utførte i Mandalsvassdraget i 1964, og andre tidligere undersøkelser.

Etter at underskjønnet var avsluttet ble spørsmålet om undersøkelser av reguleringenes betydning for vannets kjemiske kvalitet tatt opp med oss av Sorenskriveren i Sand. Vi utarbeidet derfor to forslag til undersøkelsesprogram (av 22.10.65 og 13.10.66). Direktoratet for Jakt, Viltstell og Ferskvannsfiske på Ås har etter avtale utført undersøkelser med utgangspunkt i våre to forslag til undersøkelsesprogram.

I årene etter underskjønnet ble avsluttet har det vært kontakt mellom Sorenskriveren i Sand og vårt institutt om hva man kunne gjøre for å skaffe grunnlagsmateriale når det gjelder eventuelle kvalitetsforandringer av vannet i Mandalsvassdraget. I denne kontakt har nedbørens for-  
surning etter hvert fått større interesse som forklaring på eventuelle kvalitetsendringer av vannet i Mandalsvassdraget.

For oss har det vært hensiktsmessig å få formulert et klart mandat for de vurderinger som skal utføres for overskjønnet. Et slikt mandat ble diskutert på det ovenfornevnte møte den 16.11.1972, og er videre konkretisert i notat av 22. og 23.11.1972 ved høyesterettsadvokat Karl Wyller samt hans brev av 27.3.1973 til herr Sorenskriver Kaare Hageler, Grimstad. I brev av 4.12.1972 fra Sorenskriveren i Sand ble vi bedt om å legge vårt arbeid opp etter de opptrukne retningslinjer. Dette er gjort så langt som mulig i denne rapport, men vi har ikke vurdert innholdet i mandatets forskjellige punkter.

### 3. PROBLEMSTILLING

Problemstillingen er komplisert. Spørsmålet er om det i de senere år har foregått kvalitetsendringer for vannet i Mandalsvassdraget. Hvis slike kvalitetsendringer kan påvises, er spørsmålet videre hva som har forårsaket endringene og hvilken virkning endringene vil gi. Som mulig forklaring på endringene sto først reguleringsinngrepene. Det ble antatt at regulering førte til utvasking av sure komponenter fra grunn og vegetasjon, slik at pH avtok. Imidlertid kunne vi ikke i vår korttidsundersøkelse i 1964 påvise en klar forurning i regulerte vassdrag. Dette resultat kunne imidlertid ikke tolkes slik at en forurning ikke hadde foregått. For det første dreiet det seg om en korttidsundersøkelse og det var gått relativt lang tid siden de undersøkte, regulerte magasiner var satt i drift. Vi antok derfor at en langtidsundersøkelse av vassdrag før regulering, i reguleringsfasen og etter at reguleringen var gjennomført, burde utføres. Såvidt vi vet, er slike undersøkelser ikke utført andre steder i landet, når det sees bort fra undersøkelser i Sira-Kvina-vassdraget og nylig påbegynte undersøkelser i Nesjøen (Trøndelag). Undersøkelsene i Sira-Kvina-vassdraget ble utført for å vurdere om regulering førte til forurning, mens undersøkelsene i Nesjøen er foretatt for å studere utvasking av humus. I andre vassdrag har vi påvist kvalitetsendringer, men resultatene av disse undersøkelsene kan neppe anvendes på vurderinger i Mandalsvassdraget, bl.a. fordi disse ikke ble utført med forurningsspørsmålet for øyet.

1. Vanns surhet, pH, kan angis i pH-skalaen som har verdier fra 0 - 14. Nøytralt vann har pH 7. pH-verdier over 7 er basiske, mens pH-verdier under 7 er sure. Når pH synker, blir vannet surere. Stiger pH, blir vannet mer alkalisk.
2. Det er hydroksoniumionet,  $H_3O^+$ , som er ansvarlig for vannets sure egenskaper. Tilsvarende er hydroksylionet,  $OH^-$ , ansvarlig for vannets basiske egenskaper. pH er et mål for konsentrasjonen av hydroksonium, respektive hydroksylioner. I vann foreligger nemlig denne relasjon mellom disse konsentrasjonene:

$$C_{H_3O^+} \cdot C_{OH^-} = 10^{-14}$$

Hvis den ene av disse konsentrasjonene er kjent, kan den annen beregnes. Noe annet beregningsgrunnlag eksisterer ikke.

I nøytralt vann må  $C_{H_3O^+}$  være lik  $C_{OH^-}$ . Herav følger at  $C_{H_3O^+}$  er lik  $10^{-7}$ .

pH er imidlertid en logaritmisk funksjon, idet man har:

$$pH = -\log C_{H_3O^+}$$

Herav følger at  $C_{H_3O^+} = 10^{-pH}$ .

Vanligvis kan man ikke beregne aritmetiske middelverdier av logaritmiske funksjoner. For pH gjelder imidlertid at feil som introduseres ved slik beregning av middelverdier, vanligvis er relativt liten.

Hvis syre, respektiv base, tilsettes vann, synker, respektiv stiger, pH. På grunn av forskjellige kjemiske forhold vil imidlertid vann, f.eks. ved syretilsetning, ha en viss evne til å motvirke en pH-senkning. Kapasiteten av denne evne

kalles bufferkapasitet. Det er særlig bikarbonater,  $\text{HCO}_3^-$ , som har bufferkapasitet i norsk overflatevann.

Innhold av bikarbonater i vannet i Mandalselva er lavt, mens det er betydelig høyere i vannet fra Finså. Dette skyldes nedbørfeltets geologiske karakter. Bikarbonatinnholdet i vannet i Finså varierer i henhold til klimatiske forhold.

- 3.<sup>x)</sup> Det er særlig vannets kjemi i januar - mars, dvs. de måneder da lakserogn klekkes, som har interesse.
- 4.<sup>x)</sup> Før reguleringen besto vintervannføringen i Mandalselva hovedsakelig av grunnvannstilsig. Dette grunnvannstilsig er antatt å ha høyere pH og større mineralsaltinnhold enn overflatevann i Mandalselvas nedbørfelt.
5. Nedbørens kjemiske sammensetning, inkludert pH i de forskjellige nedbørfelter (reguleringsstalter) ønskes vurdert over årets måneder.
6. En vurdering av pH-verdiene i uregulert elv ovenfor og nedenfor Finså-vassdragets innløp skal vurderes.
7. Vannets kjemiske kvalitet, inkludert pH for uregulerte sidevassdrag og hovedvassdrag i forskjellige måneder, skal omtales.
8. Om årsakene til endret pH i vassdraget. Det skal klarlegges om det foreligger en bestemt årsak eller om man må regne med flere samvirkende årsakskomponenter; herunder om reguleringsinngrepene antas å ha influert på pH.
9. Hvis nedbøren er den dominerende årsaksfaktor, skal det utredes om økt vannføring i januar - mars (klekkingsperioden) har ført til lavere pH i vassdraget ovenfor og nedenfor Finså enn forholdet ville vært i uregulert elv.

x)

Vi har ikke vurdert pkt. 3 og 4 faglig.

Mellom pkt. 5 - 9 er det en viss overlapping. Selv om vi er gitt et mandat for våre utredninger, har vi fått muligheter til å trekke fram forhold av interesse uten at dette uttrykkelig er nevnt i mandatet. Enkelte mandatpunkter har det ikke, på grunn av manglende undersøkelser og resultater, vært mulig å utrede i detalj.

## 5. VURDERINGER AV VANNETS KJEMI

Vurderingene i det følgende baserer seg på skjønnsmessige vurderinger og på resultatene av utførte undersøkelser i Mandalsvassdraget og vassdrag som Mandalsvassdraget kan sammenlignes med.

Mandalselvas nedbørfelt består av grunnfjell. Dette er sure og lite eroderbare bergarter. Overflatevannets kvalitet er derfor kjennetegnet ved lav pH og lite innhold av mineralsalter.

Det er usikkert om regulering alene i Mandalsvassdraget kan gi surere vann. Vi peker her på resultatene av våre tidligere korttidsundersøkelser fra 1964. Undersøkelser utført ved Institutt for Vassbygging, NTH, Trondheim, i Nessjøen etter regulering, tyder ikke på markant pH-senkning. Andre undersøkelser i Sira-Kvina-vassdragene indikerer en økning i regulerte vassdrag, og en pH-senkning i uregulerte vassdrag. Disse undersøkelsene representerer imidlertid et referansemateriale med slagside, når man sammenligner regulerte og uregulerte lokaliteter. Dette skyldes at det var bare volummessig ubetydelige vannforekomster som ble spart for regulering. Undersøkelsene i Sira-Kvina-vassdragene klarlegger derfor ikke fullt ut spørsmålet om eventuell innflytelse av regulering på pH.

Byveterinær B. Kjos-Hansen angir at surt vann allerede i 1916 var et problem i Åseral, som ligger i Mandalselvas nedbørfelt. Dette kan tyde på en forsurning før innvirkning av sur nedbør kom på tale. Imidlertid er det usikkert hva som kan legges i denne opplysning. I en undersøkelse vedrørende skader på betongdammer fra 1930 ble det angitt pH 5,7 ved Nomeland på Sørlandet. I 1969 anga vit.kons. Einar Snekvik at Mandalselva

jevnt over har surest vann blant Sørlandselvene. Han opplyste i 1972 at Mandalselva ga liten variasjon i pH. Fra 1964 synes elva å ha blitt surere.

I 1972 påviste cand.real. Arne Henriksen, ved en statistisk bearbeidelse av vit.kons. Einar Snekviks data, at Mandalselva hadde høyest pH i to årsperioder for årene 1965 - 1970 (fig. 1). Disse to periodene var i februar-mars og i august-september. Lavest pH viste vannet i juni og i perioden november - desember. Videre påviste cand.real. Arne Henriksen at pH for 5 prøvesteder i Mandalselva sank markant i perioden 1965 - 1971 (fig. 2). Det ble påvist samme effekt i andre Sørlandselver (fig. 3). Cand.real. Arne Henriksen har opplyst at denne tendens synes å fortsette fra 1971.

Resultatene av den databearbeidelse cand.real. Arne Henriksen har utført på vit.kons. Einar Snekviks observasjoner, viste videre at pH-senkningen pr. år kan beregnes til:

	$\Delta$ pH/år
Mandalselva v/Marnadal ovenfor tilløp Finså	- 0,045
Finså	- 0,044
Mandalselva v/Håverstad kraftstasjon	- 0,052
Mandalselva v/Longa kraftstasjon	0,071
Mandalselva v/Skjerka kraftstasjon	0,053
Mandalselva v/Bjelland bro	0,062
Mandalselva ovenfor tilløp Kosåni	0,070

Ut fra det foregående kan følgende fastslås:

1. Vannet i Mandalsvassdraget med enkelte sidevassdrag er blitt surere.
2. Årsaken til vannets forsurening kan skyldes at nedbøren er forurenset og surere.

Tilbake står etter dette å utrede om reguleringene medfører en forminsket eller forsterket innvirkning på pH i vassdraget og sidevassdrag.



Siv.ing. Erik Røstads utredninger viser at vannføringen i Mandalsvassdraget nedenfor Finsås utløp var 31,0, 27,5 og 43,5 m<sup>3</sup>/s i januar, februar og mars (1961 - 1970) i uregulert tilstand. Dette gir 34,0 m<sup>3</sup>/s i middel, mens Finsåsvassdragets vannføring i samme tidsrom kan settes til 1,25 m<sup>3</sup>/s eller 3,7 % av den totale vannføring i Mandalsvassdraget etter samtløp med Finså.

Vit.kons. Einar Snekvik har undersøkt blandprøver (3/1-1969) av Mandalselva og Finså med hensyn på pH. Resultatene fremgår av figur 4. Hvis resultatene ansees som representative for pH av blandprøver på andre tidspunkter, fåes f.eks.:

pH	% vann fra	
	Mandalselva	Finså
4,82	100	0
4,86	96,3	3,7
5,00	85	15
5,18	73	27
5,36	60	40

Tabellen viser at pH-økningen under disse forutsetninger, som følge av Finsås 3,7 %-ig. innblanding i Mandalselva, blir 0,04 enheter. For å oppnå f.eks. pH 5,00 må det innblandes 15 % Finså-vann.

Vit.kons. Einar Snekvik pekte i 1969 på at allerede fiskerisekretær S.E. Sunde iakttok relativt høy pH i tørre perioder og tydelig pH-senkning under flom. De kalkfattige grunnfjellsområder hadde liten evne til å nøytralisere surt vann. Store sjøer og reguleringer synes å ha utjevne virkning på surheten, mens flomelver viste store variasjoner. I 1972 skrev vit.kons. Einar Snekvik at alle flomelver viste stor spredning i pH-verdiene, med relativt høy pH ved lav vannføring og lav pH under flom. Store innsjøer og vassdragsreguleringer med store magasiner virket sterkt utjevne. Mandalselva viste således liten variasjon i pH, mens Finså var en typisk flomelv og viste spredning for pH-verdiene. Det ble pekt på at vannet i Finså periodevis var surere enn tidligere, og utsetting av lakseyngel var

vellykket først i 1960-årene, men ble mislykket i de senere år.

For å få en forståelse av pH i Mandalsvassdraget i uregulert og regulert tilstand, kan det være nyttig å gjennomgå en årssyklus for nedbør, klimatiske forhold og vannføring i vassdraget. Figur 5 illustrerer temperatur og nedbør ved to meteorologiske stasjoner.

Vi antar nå at nedbøren er surest om høsten og vinteren, men sur nedbør forekommer også på andre årstider. I et vertikalt luftsnitt er antagelig sure komponenter og andre forurensninger jevnt fordelt, men det kan være av betydning at det faller mest nedbør i høyereliggende strøm. Om høsten oppsamles overflatevannet ifølge siv.ing. Erik Røstads utredninger i reguleringsbassengene. Etter cand.real. Pål Mellquists utredninger kan det tenkes at surt overflatevann om høsten kommer i særlig god kontakt med sedimenter m.v. i reguleringsbassengene. Dette vil i så fall føre til en pH-økning. Uten reguleringsbassengene ville det sure overflatevann om høsten føres ut i vassdraget. I løpet av senhøsten og forvinteren faller nedbøren som snø, og tilsiget til reguleringsbassengene er relativt lite, bortsett fra i mildvårsperioder. Siv.ing. Erik Røstad har pekt på at mildvårsperioder med flom kan forekomme relativt hyppig. Han antar at kraftforsyningen i distriktet i slike perioder opprettholdes av elvekraftverk som benytter flomvann. Videre mener han at vestlige, høyereliggende strøk gir mest avløp. I slike mildvårsperioder vil akkumulert, forurenset snø smelte og oppfanges av reguleringsmagasinene. Nedstrøms reguleringsmagasinene ledes smeltevannet ut i vassdraget. Forholdet må variere fra år til år med hensyn til forurensningsmengder, og det kan neppe pekes på et generelt effektmønster.

I slutten av året (desember) foretas det uttapping av magasinene. Vannet som tappes er etter cand.real. Arne Henriksens kurver (figur 1) relativt surt.

Om vinteren (januar-mars) tappes magasinene. Dette vannet er relativt lite surt (figur 1).

Hvor meget høyere pH ville vært i uregulert elv, er ukjent. Fra et grunnfjellsområde nær Kongsberg fant cand.mag. I. Jensen (1970-1971) i et mindre vassdrag at pH ved lavvannsføring i januar, februar og mars lå i området fra 6,5 - 6,7, mens pH i typiske flomperioder (april-mai) var ca. 5,3. Dette fluktuasjonsområde er ikke representativt for det man kunne vente i Mandalselven uten regulering.

Utover våren oppfanges smeltevannet i reguleringsbassengene. Resultater av laboratorieforsøk med smelting av snøprofiler viser at smeltevannet er mest forurenset i første del av "smelteperioden". Om dette også er tilfelle under naturlige forhold er ukjent. I vårperiodern (flomperioden) blir vannet i Mandalsvassdraget, etter cand.real. Arne Henriksens undersøkelser (figur 1), gradvis surere, og pH har et minimum i juni. Fra nedbørfeltene nedstrøms bassengene går de sure komponentene ut i vassdraget.

Fra juli-august av øker vannets pH igjen i Mandalselva (figur 1). I denne perioden, (eller nærmere bestemt fra uke 27), øker vannføringen i vassdraget som følge av tapping fra magasinene. Ny oppfangning av høstflom tar til i uke 36, og fra dette tidspunkt av og utover høsten viser pH igjen avtagende tendens. På forvinteren (uke 48-52) foregår igjen en tapping av relativt surt vann.

## 6. KONKLUSJON

Vi vil konkludere våre vurderinger på følgende måte:

1. Det foreligger ikke sikre undersøkelsesresultater i Mandalselvas nedbørfelt som viser at regulering fører til pH-senkning.
2. Det foreligger ikke sikre undersøkelsesresultater i Mandalselvas nedbørfelt som viser at regulering alene gir pH-økning.
3. Forsurningen i Mandalselva med sidevassdrag antas å skyldes øket forurensning av nedbøren.

4. Sammen med sure komponenter i nedbør foreligger andre forurensningskomponenter. Fordelingen av disse, sammen med sure komponenter i nedbørfeltets forskjellige deler, er komplisert å utrede, og en slik utredning kan ikke foretas på det nåværende tidspunkt. Det er også usikkert når en slik utredning kan utføres og om den vil gi praktiske resultater.
  
5. Hvis Mandalselva var uregulert, antas vinter-vannføringen (lavvannføringen) i større grad enn idag å bestå av grunnvannstilskudd. Vi kjenner ikke dette grunnvannstilslaget kjemiske karakter, og vi kan derfor ikke uttale oss om hvorvidt grunnvannstilslaget ville hatt den nødvendige nøytraliserende virkning på våre dagers sure overflatevann.
  
6. Hvis Mandalselva var uregulert, ville nøytralisasjonsbidraget fra Finsåvassdraget være lite på grunn av dets lave vannføring. Finså gjennomgår på samme måte som Mandalselva, etter all sannsynlighet, en forsurning med tiden. Dette betyr at en eventuell nøytraliserende effekt fra Finså vil avta med tiden.

SAM/WIN

15. oktober 1973

7. REFERANSER

Dannevig, Alf:           Nedbørens innflytelse på vassdragenes surhet, og på fiskebestanden.  
Jeger og Fisker, nr. 3, 1959.

Den Norske Ingeniørforenings Betongkomité:  
Undersøkelser av skader på våre betongdammer og bruddstensdammer i mørtel. Årsak og botemidler. Meddelelse Nr. 1, Den Norske Ingeniørforening, Oslo 1930.

Det norske meteorologiske institutt:  
Norsk meteorologisk årbok, 1968.  
Utg. av Det norske meteorologiske institutt, Oslo, 1969.

Elgmork, Kåre, Hagen, Arne og Langeland, Arnfinn:  
Polluted Snow in Southern Norway during the Winters 1968 - 1971.  
Environ. Pollut. (4), s. 41 - 52, 1973, England.

Henriksen, Arne:       Regresjonsanalyse av pH - og hardhetsobservasjoner i Sørlandselver.  
Foredrag i Norsk Forening for Vassdragspleie og Vannhygiene, 24. januar 1972.  
Vann, nr. 1, 1972, 7. årg., s. 68 - 76.

Henriksen, Arne:       Quantitative Chemical Analysis of Snow,  
Särtryck ur Vatten, nr. 5, 1972, s. 409 - 412.

Huge, Dag:            Notat angående prøvetaking i Nesjøen.  
Institutt for vassbygging, Universitetet i Trondheim, Norges tekniske høgskole, 1970 - 1973.

- Hysing-Dahl, Per: Skadevirkningene av sur nedbør dokumenteres. Forskning **koblet** med internasjonalt samarbeid må til for å bringe resultater.  
Tekn. Ukebl., Bd 120, nr. 20, 10. mai 1973, s. 42 og s. 48.
- Jensen, Ingebrigt: Undergrunnens og nedbørens betydning for sammensetning av elvevann.  
Foredrag i Norsk Forening for Vassdragspleie og Vannhygiene, 24. januar 1972.  
Vann, nr. 1, 1972, 7. årg., s. 77 - 85.
- Jensen, K.W. og Snekvik, E.:  
Low pH Levels Wipe out Salmon and Trout Populations in Southernmost Norway.  
AMBIO, vol. 1, No. 6, desember 1972.
- Kjos-Hanssen, Bjørn: Fiske og surt vann.  
Tekn. Ukebl., Bd 117, nr. 46, 12. november 1970, s. 38.
- Mellquist, Pål: Statistisk analyse av pH-data fra Sira-Kvina-vassdragene 1969 - 1971. VN-rapport 1 - 72.  
Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen, 16.11.1972.
- Røstad, Erik: Mandalselva, Fiskeskjønn - overskjønn, sak 3012.  
Lysaker, 18. april 1972.
- Røstad, Erik: Mandalselva, Tilleggsutredning, sak 3012.  
Stabekk, 14. mars 1973.

Samdal, John Erik: O-64/62, Redegjørelse for resultatene av en kjemisk undersøkelse av vannet i Mandalselvas nedbørfelt. Norsk institutt for vannforskning, 19. oktober 1964.

Samdal, John Erik og Gjessing, E.T.: O-64/62, En kjemisk undersøkelse av regulerte og uregulerte innsjøer i Mandalselvas nedbørfelt. Norsk institutt for vannforskning, 15. oktober 1964.

Snekvik, Einar: Forsurning av elver og vann - Innvirkning på ørret- og laksefisket. Foredrag i Norsk Forening for Vassdragspleie og Vannhygiene, 13. februar 1969. Vann, nr. 3, 4. årg., 1969, s. 113 - 119.

Snekvik, Einar: Forsurning av vassdrag i våre sydligste landsdeler. Foredrag i Norsk Forening for Vassdragspleie og Vannhygiene, 24. januar 1972. Vann, nr. 1, 1972, 7. årg., s. 59 - 67.

Hydrokjemiske data fra Mandalselva.

Hydrological Data/Norden.

IHD Stations Introductory Volume.

National Committees for IHD in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden.

Ås, 1971.

IHD Stations.

Basic Data, National Committees for IHD in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden.

Ås, 1971.

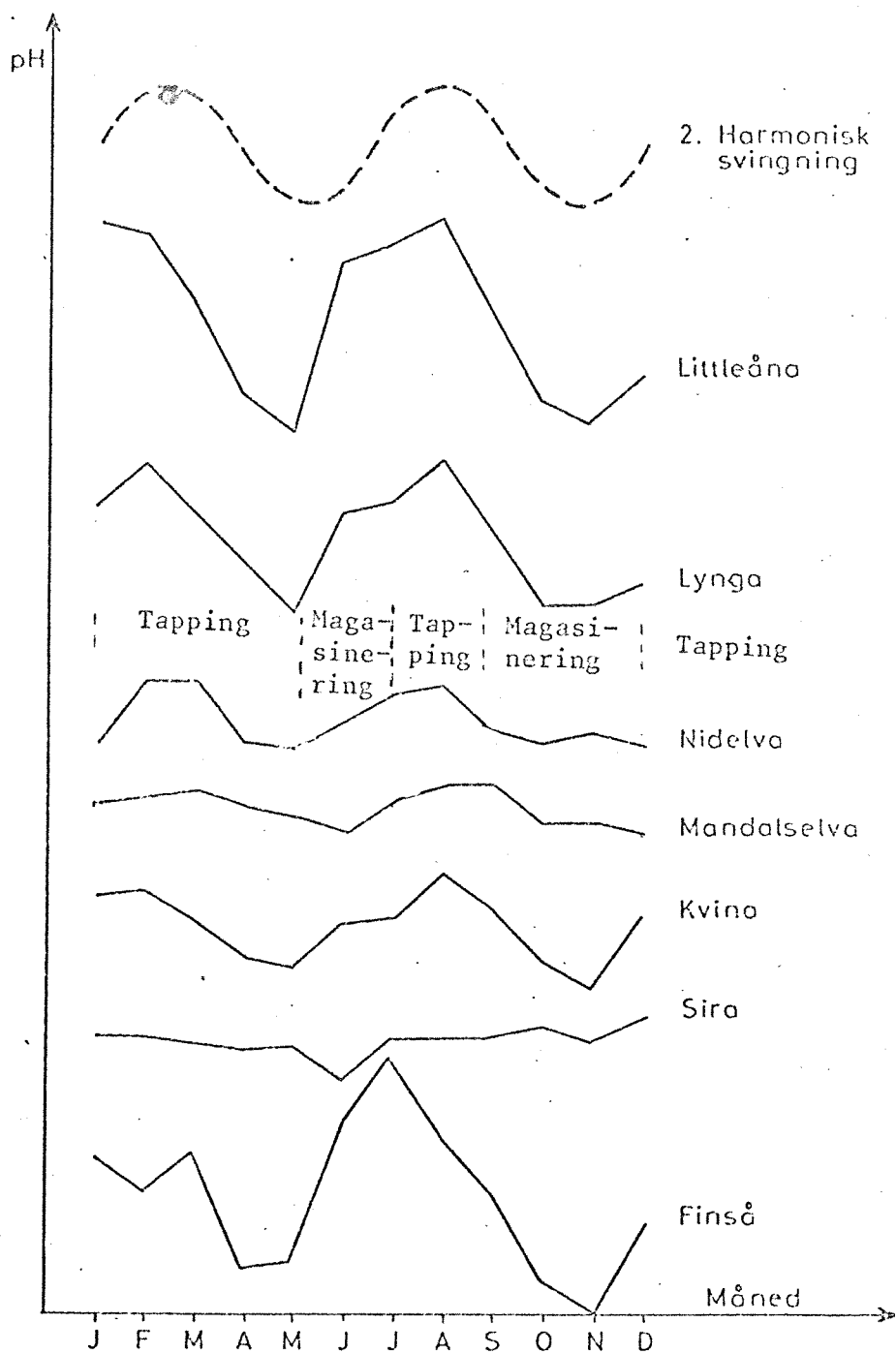


Fig. 1. pH som funksjon av årstiden for noen Sørlandselver.

Etter A. Henriksen, Vann, 1 - 1972, s. 68.



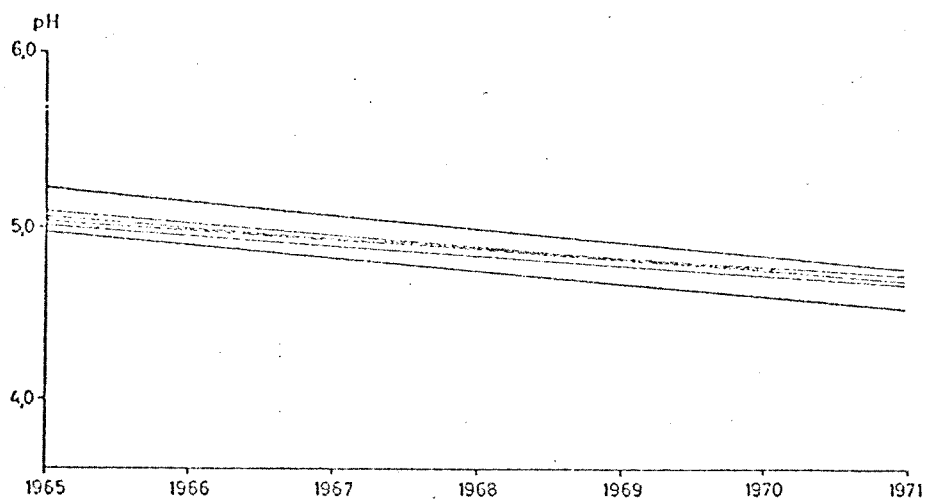


Fig. 2. Regresjonslinjer for 5 målepunkter i Mandalselva, pH som funksjon av tiden.

Etter A. Henriksen, Vann, 1 - 1972, s. 70.

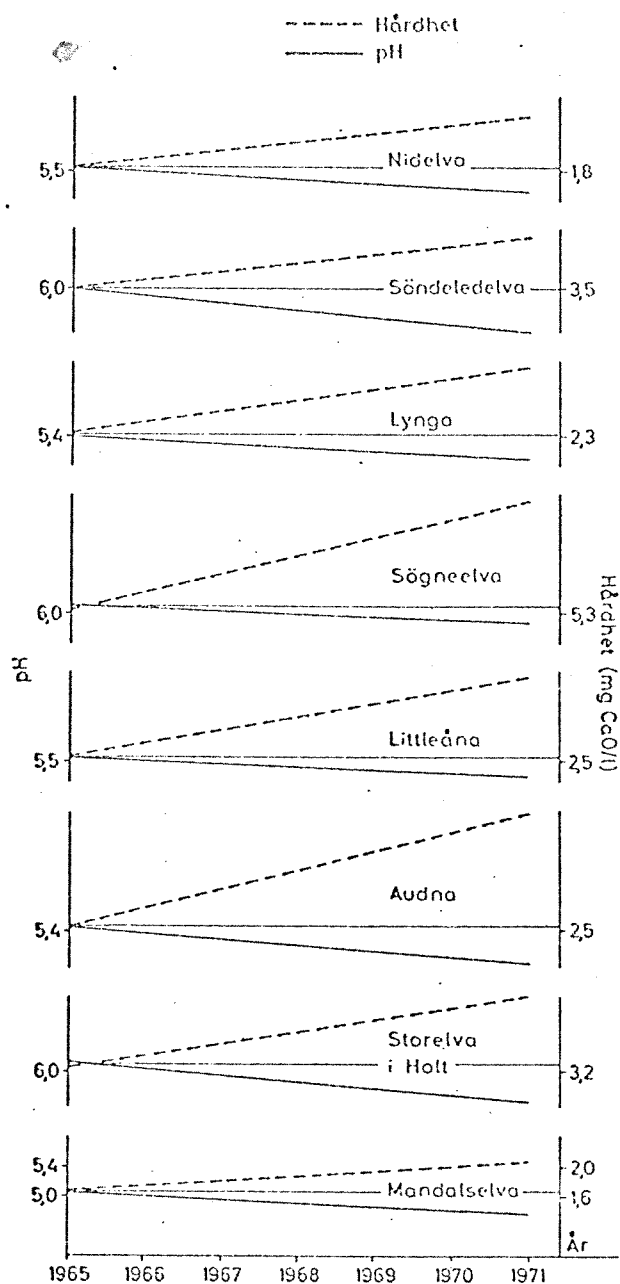
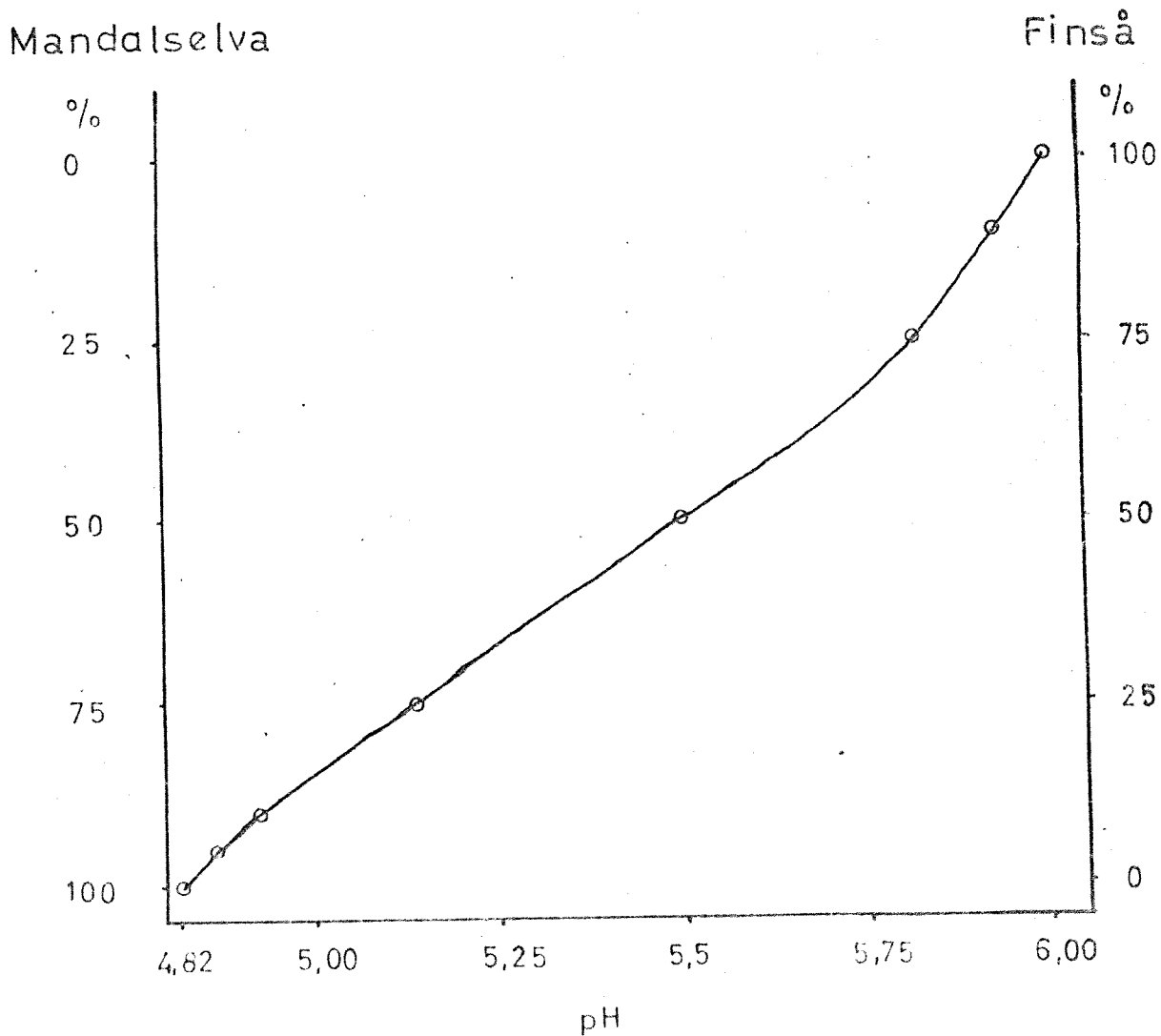


Fig. 3. Regresjonslinjer for pH og hårdhet i noen Sørlandselver for perioden 1965 - 70.

Etter A. Henriksen, Vann, 1 - 1972, s. 75.

Figur 4. Blanding av vann fra Mandøselva og Finså.

### Vannprøver pr. 3/1 - 1969



Figur 5. Temperatur og nedbør ved to meteorologiske stasjoner, Mandal og Konsmo.

