

# Regresjonsanalyse av pH – og hårdhets-observasjoner i Sørlandselver

*Cand.real. Arne Henriksen*

Arne Henriksen er ansatt som seksjonsleder ved Norsk institutt for vannforskning, kjemisk avdeling. Han er cand.real fra Universitetet i Oslo i 1958, med kjemi som hovedfag.

*Etter foredrag i Norsk Forening for Vassdragspleie og Vannhygiene 24. januar 1972 i Ingeniørenes Hus.*

Vitenskapelig konsulent Einar Snekvik ved Direktoratet for jakt, viltstell og ferskvannsfiske har siden 1965 foretatt målinger av pH og hårdhet i en rekke Sørlandselver. De data og diagrammer Snekvik har vist i sine rapporter tyder på en klar nedgang i pH i løpet av perioden 1965—70 for en rekke av de elvene som er undersøkt.

Det er hevdet fra flere hold at økningen av sure komponenter i nedbøren kan gi en utvasking av næringskomponenter fra jordsmonnet. Hvis dette er tilfelle, burde det være mulig å kunne påvise en økning av hårdheten i disse vassdrag. Hårdheten gir som kjent et mål for vannets innhold av kalsium og magnesium.

Ved NIVA er det i den senere tid anvendt forskjellige former for regresjonsanalyse i problemstillinger om sammenheng mellom parametre i naturlig vann. I samarbeid med vitenskapelig konsulent E. Snekvik har

vi anvendt noen av disse metoder på hans pH- og hårdhetsdata fra endel Sørlandselver for perioden 1965—70.

Hensikten med denne undersøkelse var å påvise eventuell statistisk signifikans i de tendenser til nedgang i pH som E. Snekviks data synes å antyde, og samtidig påvise eventuell signifikant tendens til økning i hårdhet i de samme vassdrag.

En fullstendig presentasjon av denne statistiske analyse vil bli publisert et annet sted. I dette innlegg skal bare kort omtales de anvendte statistiske metoder og hovedresultater.

De statistiske beregninger er utført på Univac 1108 i samarbeid med cand.real. Rolf Volden, Norsk Regnesentral.

Vi har anvendt to former for regresjonsanalyse på de foreliggende data, lineær regresjon og fullregresjon.

En lineær regresjonsanalyse går ut på å finne om og hvor mye en variabel varierer med variasjonen i en annen parameter. Korrelasjonskoeffisienten antyder graden av sammenheng mellom de to parametre.

Regresjonsanalyse består i å tilpasse en ligning av formel:

$$(1) \quad y = a + b x$$

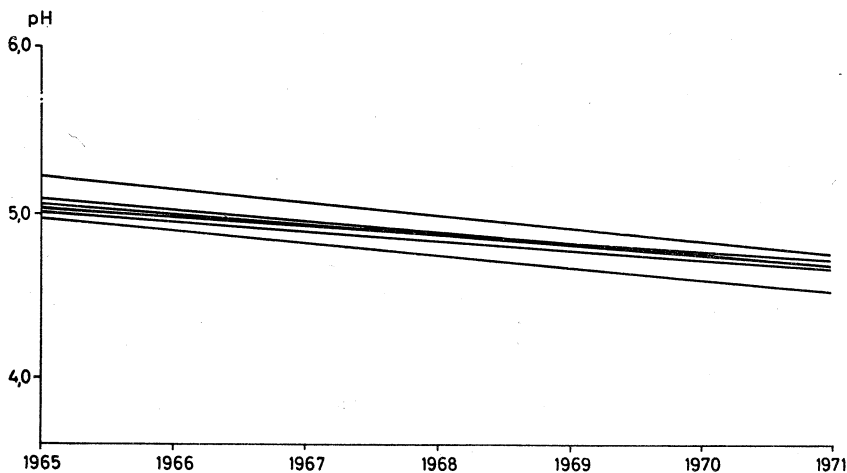
til en gitt mengde observasjonssett av  $x$  og  $y$ , ved minste kvadraters metode. Denne ligning representerer en rett linje der  $a$  og  $b$  er konstanter som bestemmes ut fra observasjonsmaterialet.  $a$  gir linjens skjæringspunkt med  $y$ -aksen og  $b$  gir linjens hellingsvinkel med  $x$ -aksen. Fortegnet for  $b$  angir om det er positivt eller negativt forløp av linjen.

pH- og hårdhetsdataene fra Sør-

landselvene ble først underkastet en slik lineær regresjonsanalyse som funksjon av tiden. De beregnede korrelasjonskoeffisienter og deres signifikansnivåer er oppgitt i tabell 1. Til en korrelasjonskoeffisient hører alltid et signifikansnivå, som er bestemt av antall observasjoner og den tallmessige størrelse av korrelasjonskoeffisienten. Et signifikansnivå på f.eks. 0,010 betyr at det er en sannsynlighet på 10 % (1 %) at det *ikke* eksisterer en korrelasjon mellom de to parametre. Det er holdbart i denne sammenheng å betrakte korrelasjons-

Tabell 1. *Lineær regresjonsanalyse av Sørlandselver med pH og hårdhet som funksjon av tiden.*

Elv	pH				Hårdhet			
	Ant. obs.	Total korr.	Sign. nivå	$\Delta$ pH pr. år	Ant. obs.	Total korr.	Sign. nivå	$\Delta$ Hårdhet pr. år mg CaO/l
Mandalselva	97	-.580	.000	-.045	51	.286	.004	0,07
Lynga	83	-.250	.023	-.061	49	.222	.044	0,06
Finså	86	-.146	.180	-.044	47	.229	.034	0,15
Søndeledselva	69	-.624	.000	-.100	53	.386	.001	0,08
Nidelva	71	-.407	.000	-.053	54	.386	.001	0,03
Storelva i Holt	51	-.556	.000	-.092	54	.450	.001	0,18
Kammerforselva	63	-.353	.052	-.069	54	.390	.030	0,23
Audna	60	-.568	.000	-.084	53	.556	.000	0,25
Littleåna	76	-.195	.091	-.064	53	.265	.021	0,19
Søgneelva	43	-.174	.264	-.043	42	.262	.080	0,27
Otra	47	-.150	.313	-.051	38	.254	.085	0,15
Kvina	76	.034	.772	+.009	54	.537	.000	0,44
Sira	63	.224	.075	+.018	54	.060	.638	0,01
Topdalselva	51	.083	.715	+.018	54	.442	.001	0,39
Haverstad kraftst.	115	-.580	.000	-.052				
Longa kraftst.	115	-.473	.000	-.071				
Skjerken kraftst.	115	-.590	.000	-.053				
Bjelland bro	115	-.673	.000	-.062				
Kosåni	115	-.636	.000	-.070				



*Fig. 1. Regresjonslinjer for 6 målepunkter i Mandalselva, pH som funksjon av tiden.*

koeffisienter med signifikansnivåer bedre enn 0,100 (10 %) som indikasjon for en klar tendens.

Tabell 1 viser at for de ni første av de betraktede Sørlandselvene er det en signifikant nedgang i pH i perioden 1965—70. Den lineære regresjonsanalyse gir grunnlag for å beregne den midlere reduksjon i pH pr. år. Disse verdier er gjengitt i siste kolonne i tabell 1. Nedgangen i pH er i området 0,05—0,1 pr. år.

Det skal her bemerkes at alle beregninger burde vært utført med  $H^+$ -konsentrasjonene istedenfor pH, idet pH er en logaritmisk funksjon av  $[H^+]$ . Variasjonene i pH er imidlertid såvidt små at en med en god tilnærming kan betrakte pH som en lineær funksjon i det aktuelle område. Observasjonene fra Mandalselva ble forsøksvis behandlet med pH

omregnet til  $[H^+]$ , og resultatet viste en noe høyere signifikans i korrelasjonskoeffisienten.

De fem nederste målestasjoner er dels fra øvre del av Mandalselva, og dels fra tilløp til Mandalselva. De gir alle det samme bilde: en klar signifikant nedgang i pH med tiden. I fig. 1 er regresjonslinjene for Mandalselva og de 5 stasjoner tegnet. Det er interessant at alle regresjonslinjer så å si faller sammen. Det viser at tendensene er tilnærmet identiske i 6 forskjellige målepunkter i samme vassdrag. Denne observasjon bestyrker inntrykket av en signifikant nedgang i pH med tiden.

Tabell 1 viser også at det er en klar økning i hårdheten i alle elvene med tiden, bortsett fra Sira. I siste kolonne er de beregnede økninger i hårdheten pr. år for de enkelte elver

Tabell 2. Lineær- og fullregressjonsanalyse av Sørlandselever.

Etv	pH		Hårdhet					
	Tot.korr.- koeff.	Sign. nivå	Partiell korr.koeff.	Sign. nivå	Tot.korr.- koeff.	Sign. nivå	Partiell korr.koeff.	Sign. nivå
Mandalselva	-.580	.000	-.596	000	.286	.004	.297	004
Sira	.224	075	.240	064	.060	.638	.065	624
Storelva i Holt	-.556	000	-.571	000	.450	.001	.472	001
Audna	-.568	000	-.574	000	.556	.000	.600	000
Littleåna	-.195	091	-.163	.171	.265	.021	.345	003
Søgneelva	-.174	.246	-.245	.104	.261	.090	.294	069
Kvina	.034	.772	.069	.563	.537	.000	.649	000
Nidelva	-.407	000	-.447	000	.386	.001	.443	000
Lynga	-.250	.023	-.235	037	.222	.044	.292	009
Finså	-.146	180	-.081	472	.229	.034	.298	007
Søndeledselva	-.624	000	-.635	000	.218	.072	.393	001
Håverstad kraftv.	-.580		-.626	.000				
Longa kraftv.	-.473		-.475	.000				
Skjerken kraftv.	-.590		-.690	.000				
Bjelland bro	-.673		-.700	.000				
Kosåni	-.636		-.667	.000				

oppgitt. Det fremgår at det er en relativt stor variasjon i hårdhetsøkningen. Spesielt viser Kvina og Topdalselva en sterk økning. Dette er verdt å merke seg, da disse to elver ikke gir noen signifikant forandring i pH i perioden. I disse elver er det foretatt reguleringsinngrep i måleperioden og dette kan ha en viss innflytelse på den kjemiske sammensetningen i vassdraget.

Ser man på det observasjonsmateriale for både pH og hårdhet som ligger til grunn for de ovenstående betraktninger viser dette en relativt stor variasjon i løpet av måleperioden. I fig. 2 er variasjonene i månedsmiddelverdiene av pH over perioden (1965—70) for noen av elvene illustrert. Det fremgår av disse kurvene at det er en klar tendens til systematisk variasjon gjennom året, med to maksima og to minima. Det ser ut til at vår- og høstflommene faller sammen med de to minima, mens vinter- og sommerperiodene faller sammen med de to maksima. Hårdheten viser det samme variasjonsmønster. Det synes derfor å foregå en systematisk variasjon i

begge parametre i løpet av året, og denne variasjon kan representeres ved en harmonisk svingning med to perioder pr. år, slik som inntegnet øverst i fig. 2.

Det er klart at en slik periodisk svingning av både pH og hårdhet gjennom året kan skjule eller gi en falsk, eventuell negativ eller positiv trend i parametrene med tiden. Det kan f.eks. tenkes at en tidlig i perioden har observasjonssett med hovedtyngden i maksimumsområdet for svingningene, mens en i den senere del av måleperioden har hovedtyngden av observasjonssettene i minimumsområdet for svingningene. En lineær regresjonsanalyse av et slikt datamateriale vil derfor kunne resultere i en falsk negativ trend. Det motsatte tilfelle kan også tenkes. Det var derfor av interesse å forsøke å eliminere en eventuell innvirkning av svingningene for derved å bestemme den reelle retning av regresjonslinjen for de to parametre mot tiden.

Dette ble gjort ved å betrakte pH og hårdhet som både en funksjon av tiden og en harmonisk svingning av tiden ved følgende ligning for pH:

$$\text{pH} = A_0 + A_1 T + A_2 \sin \left( \varphi_1 + \frac{2 \pi T}{365} \right) + A_3 \sin \left( \varphi_2 + \frac{4 \pi T}{365} \right) \quad (2)$$

En ser at pH er sammensatt av tre ledd, et lineært ledd med hensyn til tiden og to ledd som uttrykker henholdsvis den første og den annen harmoniske svingning. Ved å tegne kurvene for de enkelte ledd for seg og så konstruere resultatanten av de tre, får man den kurve ligningen uttryk-

ker, slik som illustrert i fig. 3. En innfører her i realiteten årstiden som forklaringsvariabel for pH.

En vanlig lineær regresjon er som tidligere nevnt basert på at variasjonen av en parameter bare er bestemt av variasjonen i en annen parameter. Vi har nettopp vist at

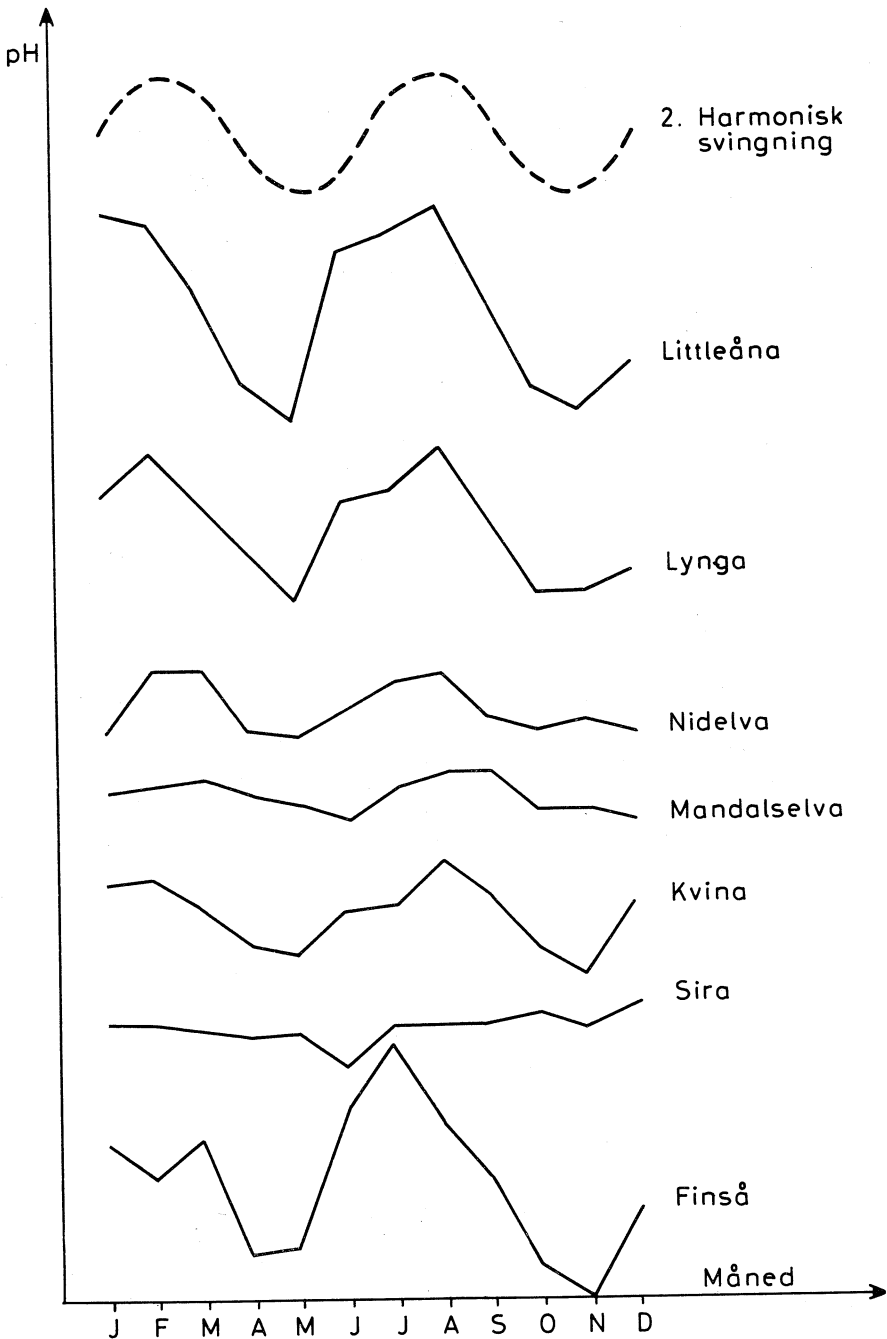


Fig. 2. pH som funksjon av årstiden for noen Sørlandselver.  
Månedsmiddelverdier av pH for perioden 1965—70.

$$pH = A_0 + A_1 T + A_2 \sin\left(\varphi_1 + \frac{2\pi T}{365}\right) + A_3 \sin\left(\varphi_2 + \frac{4\pi T}{365}\right)$$

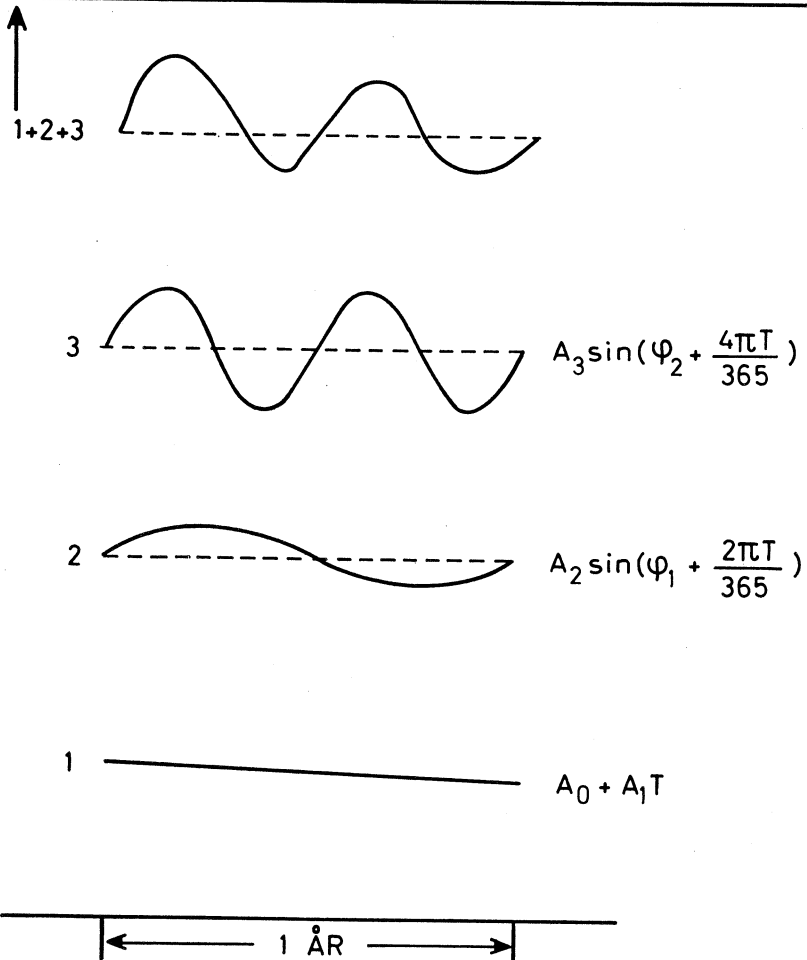


Fig. 3. Grafisk fremstilling av regresjonsligning for pH når det er tatt hensyn til årsvariasjonene av pH.

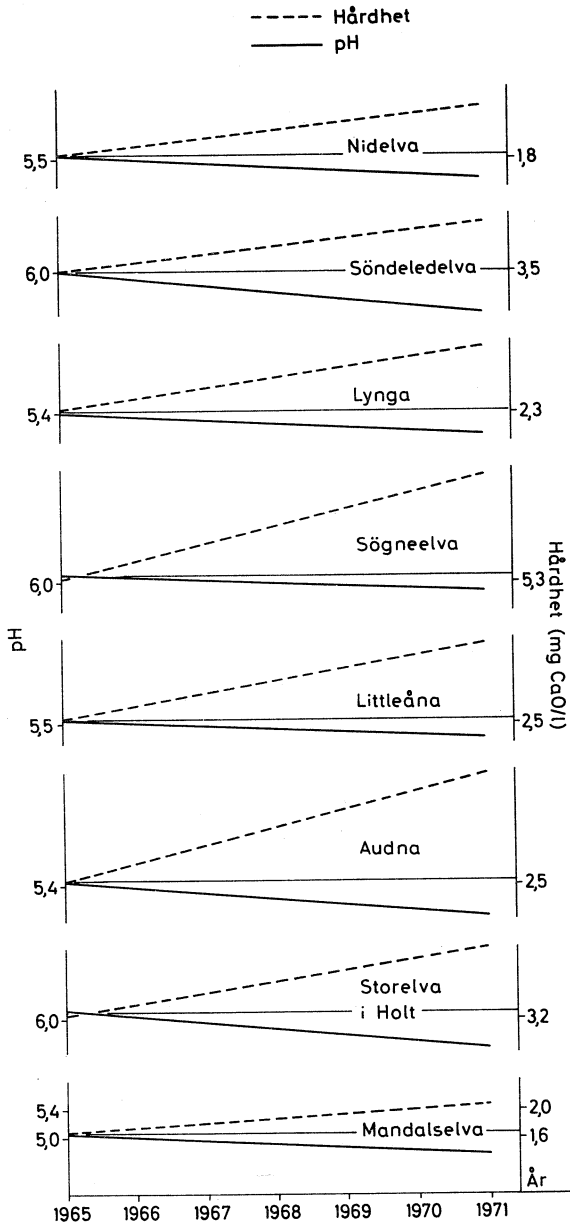


Fig. 4. Regresjonslinjer for pH og hårdhet i noen Sørlandselver for perioden 1965—70.



pH og hårdheten også synes å være en funksjon av årstiden, representert ved en harmonisk svingning med to perioder. Det er derfor klart at f.eks. pH ikke bare er en funksjon av tiden. Årstiden spiller også en vesentlig rolle. Ved å anvende en såkalt fullregresjonsanalyse kan en bestemme pH's sammenheng med tiden, når en har tatt hensyn til årstidsvariasjonene, dvs. at en eliminerer en eventuell innvirkning av årsvariasjonene. Det vil føre for langt her å diskutere hvordan denne analyse er utført, men de viktigste resultatene er summert i tabell 2. Kolonne 1 gir den totale korrelasjonskoeffisient (fra den lineære regresjon i tabell 1). 2. kolonne gir de tilsvarende signifikansnivåer. I kolonne 2 er de partielle korrelasjonskoeffisienter for det lineære ledd i ligning 2 oppgitt sammen med deres signifikansnivåer. Ved å sammenligne de to korrelasjonskoeffisienter (kolonne 1 og 3) ser en at de partielle korrelasjonskoeffisienter for de fleste elver gir det samme eller et høyere signifikansnivå for både pH og hårdhet. Dette vil si at den negative trend av pH og den positive trend i hårdhet er blitt forsterket, eller sikret når en har tatt hensyn til årstidsvariasjonene. Fullregresjonsanalysen viser også at årstidsvariasjonene har en betydelig innvirkning på pH-variasjonene. Disse resultater er ikke tatt med her. Vurderingen av dette skal tas opp senere.

Fig. 4 viser de beregnede regresjonslinjene for det lineære ledd i ligning 2 (dvs. når årstidsvariasjonene er tatt hensyn til) for noen av Sørlandselvene, og illustrerer tendensen i de to parametre med hensyn til tiden. Alle disse linjer indikerer en statistisk sikker nedgang i pH og en statistisk sikker økning i hårdhet i de elver som er angitt.

### KONKLUSJON

Resultatene av de statistiske analyser som er beskrevet ovenfor viser at det er en statistisk sikker tendens til en nedgang i pH i perioden 1965—70 i følgende Sørlandselver: Mandalselva, Storelva i Holt, Audna, Nidelva, Søndeledselva, Søgneelva og Lynga.

Det er også en like sikker tendens til økning av hårdheten i de samme elver. Den statistiske analysen viser også at det er en systematisk variasjon i både pH og hårdhet gjennom året.

E. Snekviks undersøkelser i perioden 1965—70 bekrefter antagelsen om at det foregår en forsurening av vassdragene i det sørlige Norge. Likeledes viser undersøkelsene at det samtidig foregår en utvasking av kalsium fra nedslagsfeltet i det samme området. Det er en klar sammenheng mellom disse to effekter.