

Modalselva i Hordaland; vannkjemisk overvåking i 2011



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Midt-Norge

Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Modalselva i Hordaland; vannkjemisk overvåking i 2011	Løpenr. (for bestilling) 6345-2012	Dato April 2012
	Prosjektnr. Undernr. O-26061	Sider Pris 20
Forfatter(e) Øyvind A. Garmo Liv Bente Skancke	Fagområde Sur nedbør	Distribusjon Fri
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Hordaland, Miljøvernnavdelingen	Oppdragsreferanse
--	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Formålet med dette prosjektet er å følge den vannkjemiske utviklingen i Modalselva, samt å støtte opp om tolkning og forståelse av de biologiske endringene som skjer i vassdraget. Modalselva har, i likhet med mange andre elver på Vestlandet, svært lite ioner og forsuringfølsom vannkvalitet. Vannkvaliteten i Modalselva har blitt vesentlig bedre som følge av redusert tilførsel av langtransportert forurensning. Året 2011 var preget av mye nedbør og episoder med høy tilførsel av sjøsalter. I 2011 var maksimumskonsentrasjonen av labilt aluminium (LAI) den høyeste siden 2008. Minimumsverdiene av pH og syrenøytraliserende kapasitet (ANC) var de laveste siden 2008. ANC, pH og LAI-konsentrasjon oppfylte i 2011 ikke de grensene for god tilstand som er foreslått i veilederen til vannforskriften. Etter at prøvetaksingssted ble flyttet lenger opp i elva våren 2002, viser flere av parametrene, inkludert nitrat, basekationer og organisk karbon, mindre svingninger enn tidligere.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Overvåking 2. Vannkemi 3. Forsuring 4. Tidstrender 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Monitoring 2. Water Chemistry 3. Acidification 4. Trends
---	---



Øyvind A. Garmo
Prosjektleder



Thorjorn Larssen
Forskningsleder
ISBN 978-82-577-6080-9



Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsdirektør

Modalselva i Hordaland;
vannkjemisk overvåking i 2011

Forord

Vannkjemisk overvåking av Modalselva har vært en del av Statlig program for forurensningsovervåking i perioden 1980 - 2003, finansiert av Statens Forurensningstilsyn. I april 2003 ble overvåkingsstasjonen lagt ned som følge av budsjettkutt.

Fra og med 2006 har den vannkjemiske overvåkingen blitt videreført. I denne perioden har overvåkingen vært finansiert av Miljøvernavdelingen ved Fylkesmannen i Hordaland. Kontaktperson har vært Kjell Hegna. Prøvetaker i 2011 var Kjell Langeland.

Hamar, april 2012

Øyvind Garmo

Innhold

Innhold	4
Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
2. Metodikk	8
3. Resultater	9
3.1 Sulfat og nitrat	9
3.2 Basekationer	10
3.3 Alkalitet og ANC	11
3.4 pH	12
3.5 Aluminium	13
3.6 "Sjøsalter" – klorid og natrium	14
3.7 Organisk materiale	15
4. Referanser	17
Vedlegg A. Vannkjemiske analyser	18

Sammendrag

Modalselva i Modalen kommune i Hordaland har en svært ionefattig og forsuringsfølsom vannkvalitet som er typisk for elver på Vestlandet. Lav kalsiumkonsentrasjon ($< 0,5$ mg/L) indikerer at naturens tålegrense for forsurening er lav. Konsentrasjonen av organisk karbon i vannet er også svært lav med årsmiddelverdier lavere enn 1 mg/L i de fleste år.

Modalselva var i perioden 1980-2003 en del av Statlig program for forurensningsovervåking i regi av SFT (nå Klima- og forurensningsdirektoratet - Klif), men prøvetakingen ble nedlagt i 2004. Overvåkingen ble gjenopptatt i 2006, finansiert av Fylkesmannen i Hordaland.

Luftbåren tilførsel av sulfat har hatt en gradvis reduksjon gjennom måleperioden 1980-2011. Aritmetisk årsmiddelverdi av beregnet ikke-marin sulfat var ca. 20-30 $\mu\text{ekv/L}$ på begynnelsen av 1980-tallet, ≤ 21 $\mu\text{ekv/L}$ på 1990-tallet, og har etter 2005 vært ≤ 11 $\mu\text{ekv/L}$. Årsmiddelverdien for ikke-marin sulfat i 2011 var 6 $\mu\text{ekv/L}$ som er marginalt høyere enn det laveste årsmiddelet som er registrert (5 $\mu\text{ekv/L}$ i 2008).

Nitrat har vist mindre svingninger og mye lavere maksimumskonsentrasjon etter at prøvetakingspunktet i 2002 ble flyttet lenger opp i elvestrengen. Før 1998 var alle årsmiddelverdier for nitrat høyere enn 100 $\mu\text{g N/L}$, mens årsmidlene i de siste 5 årene har vært lavere enn 90 $\mu\text{g N/L}$. I 2011 varierte konsentrasjonen mellom av nitrat mellom 0 og 140 $\mu\text{g N/L}$.

Nedgangen i langtransportert sulfat har gitt bedre vannkvalitet i form av økt alkalitet, ANC og pH, og lavere konsentrasjoner av labilt aluminium (LAl) gjennom måleperioden. Årsmiddelverdien for pH har økt fra 5,2-5,5 på 1980-tallet til 5,7-5,9 mellom 2006 og 2009. I 2011 var årsmiddelverdien for pH 5,84. Dette er ca 0,1 enhet lavere enn 2010-verdien på 5,96 som er det høyeste registrerte årsmiddelet i Modalselva.

Prøver fra Modalselva som viser alkalitet eller ANC nær 0 $\mu\text{ekv/L}$ forekommer sjeldnere enn før. Etter 2005 har årsmiddelverdiene for alkalitet økt fra 6 $\mu\text{ekv/L}$ til 10 $\mu\text{ekv/L}$ i 2011. Enkeltverdiene for alkalitet i prøver fra 2011 hadde en spredning på 0-20 $\mu\text{ekv/L}$, mens ANC-verdiene lå i intervallet -2 til 29 $\mu\text{ekv/L}$. For første gang siden 2008 ble det registrert en negativ ANC-verdi, men årsmiddelverdien var tilnærmet lik den fra 2010.

Labilt aluminium (LAl), dvs. den delen av aluminium som antas å være giftig for fisk og andre organismer med gjeller, har avtatt fra årsmiddelkonsentrasjoner opp mot 50-65 $\mu\text{g/L}$ på slutten av 1980-tallet og begynnelsen av 1990-tallet, til 4-11 $\mu\text{g/L}$ i 2006-2011. Maksimumskonsentrasjonene fra 2011 på 22 $\mu\text{g/L}$ (april) og 15 $\mu\text{g/L}$ er de høyeste enkeltmålinger siden mars i 2008, og inntraff i forbindelse med de kraftigste sjøsaltepisodene siden 2002.

Minimumsverdiene av pH og ANC var de laveste siden 2008. ANC, pH og LAl-konsentrasjon oppfylte i 2011 ikke de grensene for god tilstand som er foreslått i veilederen til vannforskriften. Etter at prøvetakingssted ble flyttet lenger opp i elva våren 2002, viser flere av parametrene, inkludert nitrat, basekationer og organisk karbon, mindre svingninger enn tidligere.

Summary

Title: Monitoring water chemistry in river Modalselva, Hordaland County, W. Norway in 2011

Year: 2012

Author: Øyvind A. Garmo and Liv Bente Skancke

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6080-9

River Modalselva has very low ionic strength and an acid sensitive water quality which is typical for rivers in Western Norway. Calcium levels are very low (< 0.5 mg/L) and so is the critical load with respect to deposition of acids. Concentrations of organic carbon are also very low with annual means lower than 1 mg/L most years.

Between 1980 and 2003, Modalselva was monitored through the governmental programme for monitoring of pollution led by SFT (now the Climate and Pollution Agency – Klif), but the sampling stopped in 2004. The monitoring was resumed in 2006, funded by the county governor of Hordaland.

Airborne delivery of sulphate has been gradually reduced between 1980 and 2011. Arithmetic annual mean of calculated non-marine sulphate was approximately 20-30 $\mu\text{eqv/L}$ in the beginning of the 1980s, ≤ 21 $\mu\text{eqv/L}$ in the 1990s, and ≤ 11 $\mu\text{eqv/L}$ after 2005. The annual mean of non-marine sulphate was 6 $\mu\text{eqv/L}$ in 2011, which is marginally higher than the lowest mean so far (5 $\mu\text{eqv/L}$ in 2008).

Nitrate has shown smaller spread and much lower maxima after the point of sampling was moved further upstream in 2002. Annual means of nitrate were higher than 100 $\mu\text{g N/L}$ prior to 1998, but in the last 5 years they have been lower than 90 $\mu\text{g N/L}$. The concentration of nitrate varied between 0 and 140 $\mu\text{g N/L}$ in 2011.

The decrease in long-range transport of sulphate has resulted in better water quality, i.e. higher alkalinity, ANC and pH, and lower concentrations of labile aluminium (LAI) through the measurement period. The annual mean of pH has increased from 5.2-5.5 in the 1980s to 5.7-5.9 between 2006 and 2009. In 2011 the annual mean pH was 5.84. This is approximately 0.1 unit lower than the 2010 value of 5.96 which is the highest annual mean observed so far in River Modalselva.

Samples that show alkalinity or ANC near 0 $\mu\text{eqv/L}$ occurs less frequent than before. Annual mean alkalinity has increased from 6 $\mu\text{eqv/L}$ in 2005 to 10 $\mu\text{eqv/L}$ in 2010 and 2011. In 2011 measured alkalinity varied between 0 and 20 $\mu\text{eqv/L}$ and calculated ANC between -2 and 29 $\mu\text{eqv/L}$. In 2011 a negative ANC value was registered for the first time since 2008, but the annual mean was similar to the value from 2010.

Labile aluminium, i.e. the fraction of aluminium that is assumed to be toxic to fish and other aquatic organisms with gills, has declined from annual means of 50-65 $\mu\text{g/L}$ at the end of the 1980s and beginning of the 1990s, to 4-11 $\mu\text{g/L}$ between 2006 and 2011. Maxima of 22 $\mu\text{g/L}$ (April) and 15 $\mu\text{g/L}$ (December) represent the highest measurements since March 2008, and were associated with the strongest sea salt episodes since 2002.

Minimum values of pH and ANC were the lowest since 2008. Values from 2011 of ANC, pH and LAI concentration did not meet requirements for “good condition” as defined in the guidelines of the water framework directive. Several parameters, including nitrate, base cations and organic carbon, show less variability after the point of sampling was moved further upstream in spring 2002.

1. Innledning

Modalselva i Modalen kommune i Hordaland er svært ionefattig, og kalsiumverdiene er svært lave (<0,5 mg/L). Dette gir en forsuringfølsom vannkvalitet hvor naturens tålegrense for forsuring også er svært lav. Denne vannkvaliteten er typisk for elver på Vestlandet.

Fra 1980 til 2003 ble vannkvaliteten i Modalselva overvåket i forbindelse med Statlig program for forurensningsovervåking, som ble ledet av daværende Statens Forurensningstilsyn. I april 2003 ble overvåkingsstasjonen lagt ned som følge av budsjettkutt. NIVA fortsatte prøvetakingen et par måneder i 2004. Overvåkingen ble deretter gjenopptatt i 2006 og videreført med Fylkesmannen i Hordaland som oppdragsgiver.

Formålet med dette prosjektet er å videreføre overvåkingen av den vannkjemiske utviklingen samt å støtte opp om tolkning og forståelse av de biologiske endringene som skjer i vassdraget.

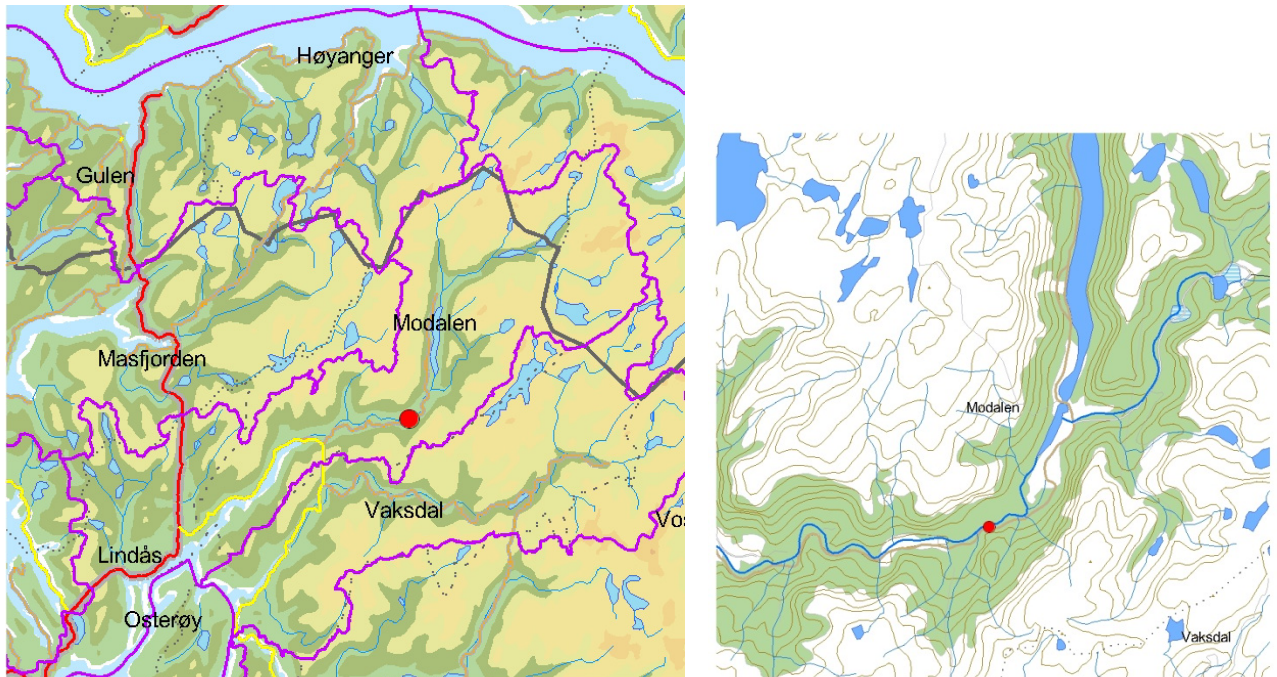
Laksen ble borte fra vassdraget tidlig på 1970-tallet. Mellom 1993 og 1997 ble det ikke registrert ungfisk i Modalselva (Bjerknes *et al.* 2007). I perioden 2003 - 2006 ble det påvist laks, men tettheten var lav (1-6 individer per 100 m²). Nyetableringen av laks settes i sammenheng med at hovedløpet har fått bedre vannkvalitet noe som er dokumentert gjennom den vannkjemiske overvåkingen av Modalselva.

2. Metodikk

Etter at prøvetakingen ble tatt opp igjen i 2006, har det vært lagt opp til månedlig prøvetaking i Modalselva. I 2011 ble det tatt 12 prøver. Det var ingen prøvetaking i november, men det ble tatt to prøver i desember. Årets siste prøve ble tatt i romjula, og fanget opp en sjøsaltepisode som kom i kjølvannet av mye vind og nedbør langs kysten i vest.

Analysemetodikk er som beskrevet i program for "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør" (Klif 2011). Prøvene som ble tatt i Modalselva i 2011, ble analysert mhp. pH, konduktivitet, alkalitet, total nitrogen, ammonium, nitrat, total organisk karbon (TOC), klorid, sulfat, reaktivt aluminium, ikke-labilt aluminium, kalsium, kalium, magnesium og natrium. Labilt aluminium beregnes som differansen mellom reaktivt og ikke-labilt aluminium, mens ANC beregnes som differansen mellom ekvivalenter av sterke basekationer (kalsium, magnesium, natrium og kalium) og sterke syreanioner (klorid, sulfat og nitrat).

Prøvetakingsstasjonen var opprinnelig ved Farestveit. Mot slutten av 1999 ble det observert brå endringer i vannkjemien. Etter en nøyere gjennomgang av data begynte vi å få mistanke om at tilsig rett oppstrøms prøvetakingsstasjonen gav ustabil vannkvalitet. Det var spesielt TOC som viste store svingninger. I løpet av 2001 ble det tatt prøver forskjellige steder i elva for å se om andre prøvetakingspunkter kunne egne seg bedre. Prøvetakingsstedet ble deretter flyttet til omtrent midtveis mellom Haugen og Espeneset, OV 3346 NS 67491 (Figur 1), noe som er ca 1 km oppstrøms Farestveit. Første prøve på det nye stedet ble tatt i mai 2002.



Figur 1. Kart som viser hele nedbørsfeltet til Modalselva (venstre figur), og et kart i mindre målestokk (høyre figur) som viser litt mer detaljert lokalisering av prøvetakingsstasjonen f.o.m. mai 2002 (rødt punkt).

3. Resultater

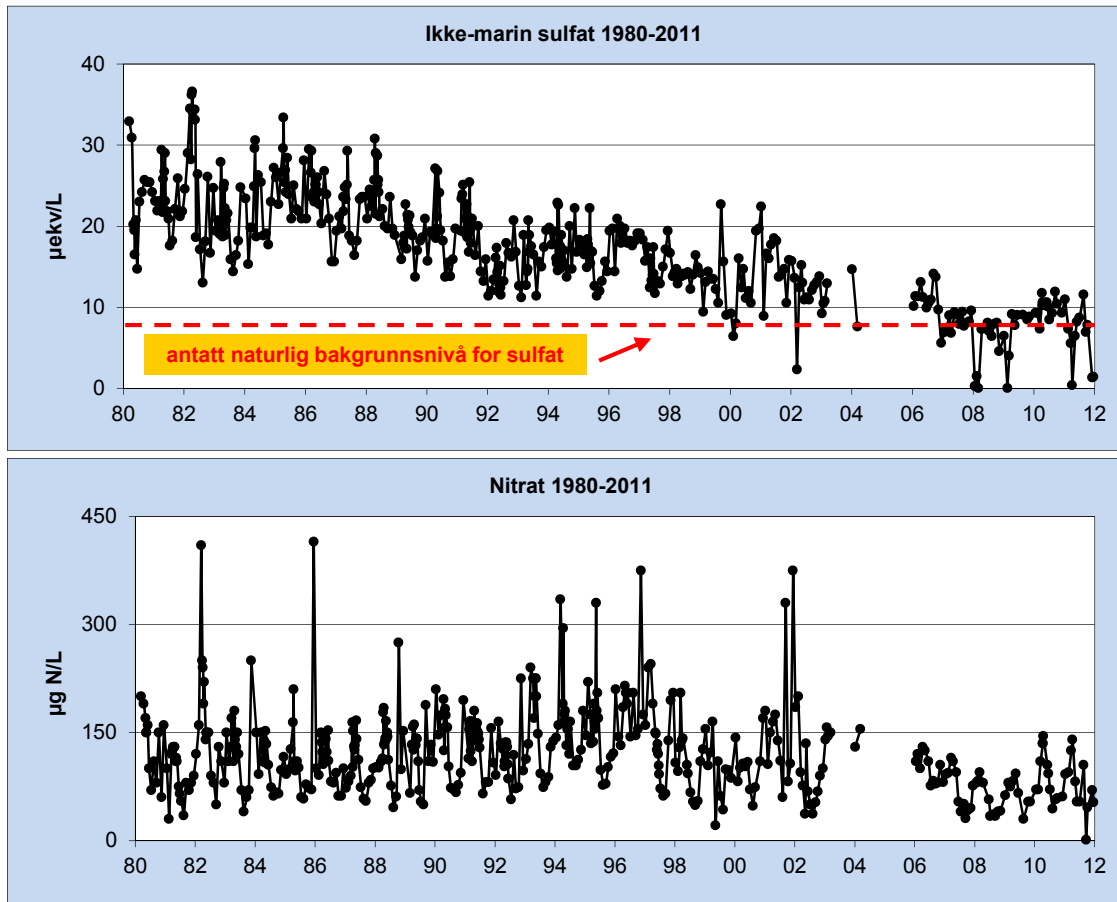
Prøvetakingen i Modalselva startet i 1980. Tidsserien er lang, men prøvetakingsfrekvensen har variert og det har også vært år uten prøvetaking. Resultatene for nitrat, alkalitet, pH, basekationer, TOC og ANC viste stor variasjon før prøvetakingsstedet ble flyttet i 2002.

Tabell 1 og Tabell 2 i Vedlegg A inneholder hhv. primærdata for dette aktuelle rapporteringsåret (2011) og årsmiddelverdier for utvalgte parametere for hele tidsperioden. For årene 2002, 2004 og 2005 er det ikke beregnet årsmidler på grunn av flytting av prøvetakingssted (2002) og mangelfull prøvetaking (2004 og 2005). I Figur 2 til Figur 8 er resultatene av enkeltmålinger for tidsrommet 1980-2011 presentert grafisk for et utvalg av parametere. I Figur 9 vises figurer med årsmiddel for ni parametere. Resultater fra før 2011 er rapportert i SFT (2003 og tidligere rapporter i samme serie), Skjelkvåle og Skancke (2007-2010) samt Garmo og Skancke (2011).

3.1 Sulfat og nitrat

Det har vært en klar reduksjon i konsentrasjonen av ikke-marin sulfat (SO_4^*), dvs. målt sulfatkonsentrasjon minus sulfat som kan tilskrives avsetning av sjøsalter, siden prøvetakingen startet i 1980. Konsentrasjonen av SO_4^* lå i området 13-37 $\mu\text{ekv/L}$ (171 prøver) på 1980-tallet og i området 9-27 $\mu\text{ekv/L}$ (164 prøver) på 1990-tallet (Figur 2). Etter år 2000 har det ikke blitt registrert høyere SO_4^* -konsentrasjon enn 22 $\mu\text{ekv/L}$. Innen måleperioden har årsmiddelverdi for SO_4^* sunket fra maksimalverdien på 27 $\mu\text{ekv/L}$ i 1982 til minimumsverdien på 5 $\mu\text{ekv/L}$ i 2008. De to siste årene har årsmiddelverdien vært hhv. 10 og 6 $\mu\text{ekv/L}$ (Figur 9). Det er tidligere beregnet at "naturlig bakgrunnsnivå" for ikke-marin sulfat er ca 8 $\mu\text{ekv/L}$ (Henriksen *et al.* 1988). Det er sannsynlig at bakgrunnsverdien i Modalselva er enda lavere (se også avsnitt 3.2).

Da prøvetakingsstasjonen var ved Farestveit, var det store svingninger i nitratkonsentrasjonene både innen samme år og mellom år (Figur 2). Variasjonen ble betydelig mindre etter at prøvetakingsstedet i 2002 ble flyttet lenger opp i elva. Årsmiddelverdiene for nitrat er betydelig lavere etter år 2005 sammenlignet med før. I perioden 2006 -2011 har høyeste registrerte konsentrasjon vært 145 $\mu\text{g N/L}$. I september 2011 ble det registrert ny minimumskonsentrasjon for nitrat (<1 $\mu\text{g N/L}$).

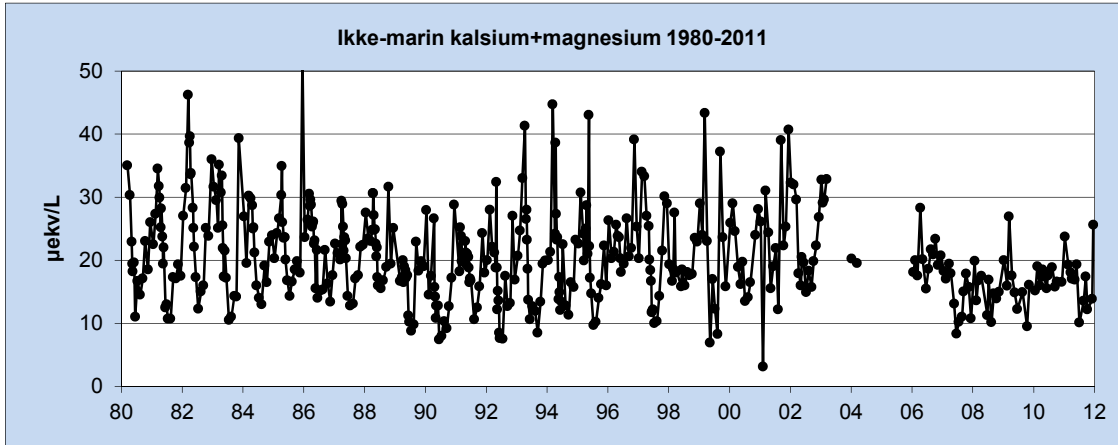


Figur 2. Alle enkeltobservasjoner av ikke-marin sulfat og nitrat for perioden 1980-2011. Antatt naturlig bakgrunnsnivå for ikke-marin sulfat er markert med rød, stiplede linje.

3.2 Basekationer

Modalselva ligger i et område hvor berggrunnen forvitrer sakte (dvs. den brytes veldig sakte ned) og avgir svært lite ioner til vann. Forvitringen skjer hovedsakelig i jordsmonnet som er tynt. I tillegg mottar dette området mye nedbør. Nedbørsnormalen for 1961-1990 angir nedbørsmengdene i Modalen til ca 2900 mm per år, og så mye nedbør gir høy fortykning. Alle disse tre faktorene sammen (treg forvitring, tynt jordsmonn, store nedbørsmengder) fører til at konsentrasjonen av ioner (inklusive sulfat, se avsnittet over) i vannet er lav. Konsentrasjonene av basekationer svinger noe fra år til år. Svingningene kan være forårsaket av variasjoner i årlig nedbørsmengde og fordelingen av nedbør gjennom året.

Prøvene fra Modalselva har svært lavt innhold av kalsium og magnesium, og verdiene har variert mindre etter flyttingen av stasjonen. De lave konsentrasjonene indikerer at vannkvaliteten er svært forsuringfølsom, og at vilkårene for vannlevende organismer er marginale. Vannprøvene i 2011 hadde kalsium- og magnesiumkonsentrasjoner på hhv. $\leq 0,57$ og $0,54$ mg/L, noe som er litt høyere enn året før (Figur 3 og Figur 9). Prøven tatt i slutten av desember 2011 var preget av dårligere vannkvalitet (lav ANC og pH) på grunn av en sjøsaltepisode som også medførte en økning i konsentrasjonene av basekationene. I 2011 var nedbørsmengden i Modalen nær 120 % høyere enn normalt. I desember som var den mest nedbørrike måneden, falt det 461 mm nedbør (met.no 2012).



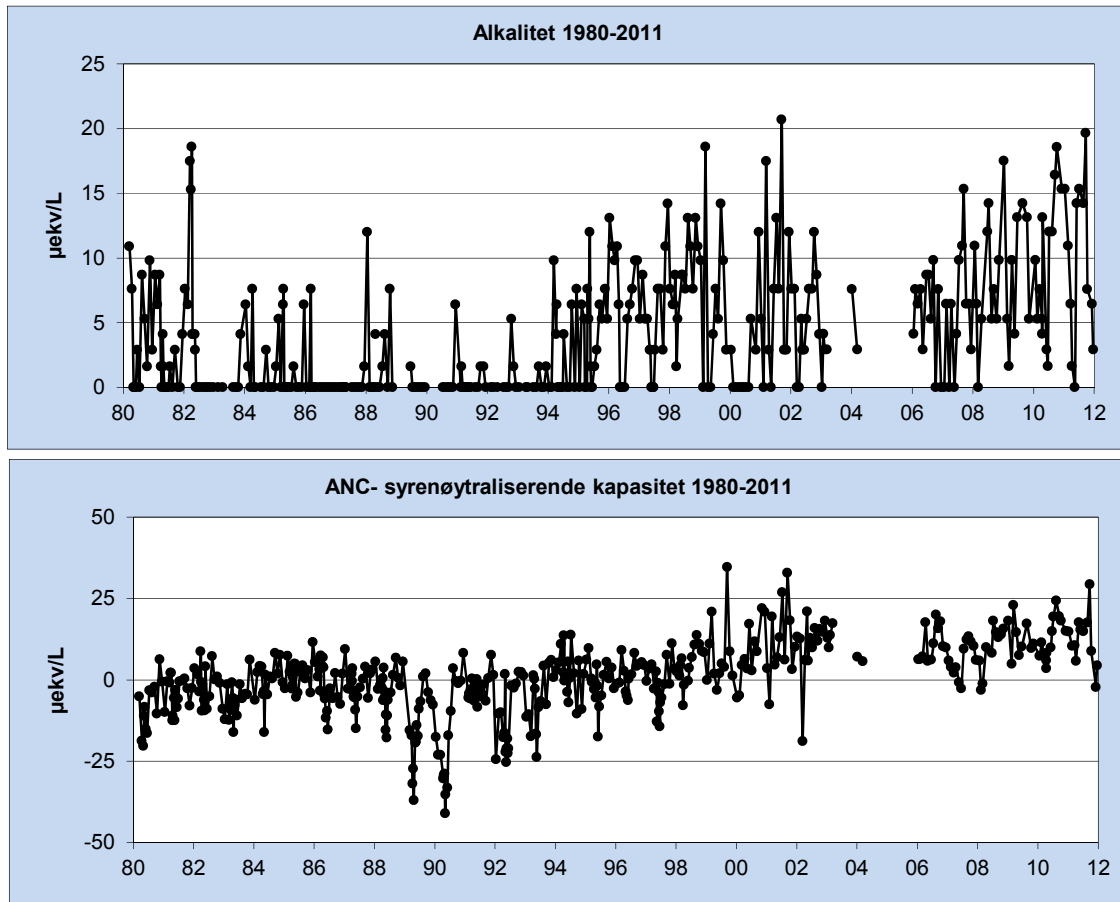
Figur 3. Alle enkeltobservasjoner av ikke-marin Ca+Mg for perioden 1980-2011.

3.3 Alkalitet og ANC

Alkalitet og ANC (syrenøytraliserende kapasitet) er begge mål på vannets evne til å bufre tilførsel av syre, men førstnevnte måles ved titrering og sistnevnte beregnes som differansen mellom summen av sterke basekationer og summen av sterke syreanioner. Nedgangen i sulfat indikerer bedring i forurensingssituasjonen og har gitt bedre vannkvalitet i form av økt alkalitet, ANC og pH, og lavere konsentrasjoner av labilt aluminium gjennom måleperioden (se delkapitler under om de to sistnevnte).

På 1980- og 1990-tallet hadde mange av prøvene alkalitet nær 0 µekv/L. Fra 1994 har det vært en tendens til økning i alkalitet. Enkeltverdiene svinger betydelig gjennom året og i motsetning til for flere andre parametre, har ikke variasjonen blitt mindre etter flytting av prøvetakingssted. For perioden 2006 -2011 har det vært en økning i årsmiddelverdi fra 6 til 10 µekv/L (Figur 4, Tabell 2, Vedlegg A).

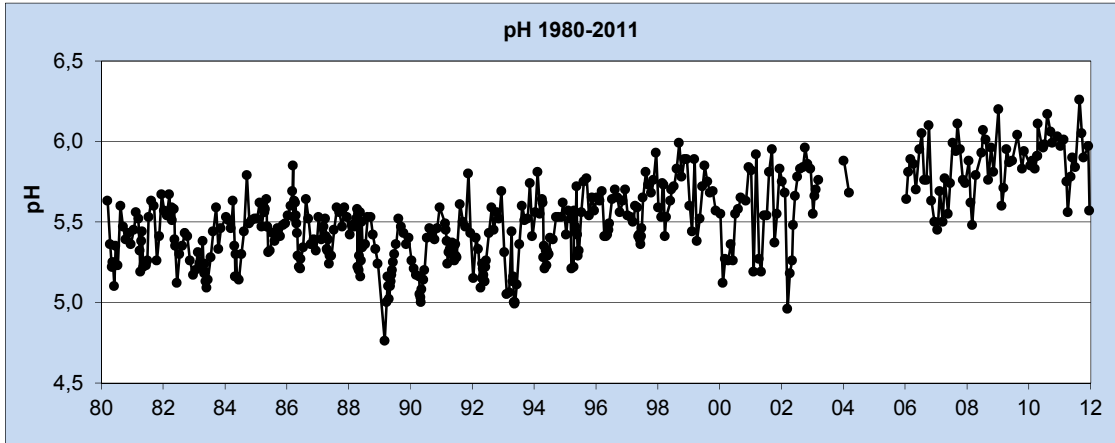
Gjennom måleperioden har det også vært en økning av ANC i Modalselva. Verdiene har endret seg fra negative årsmiddelverdier for ANC ned mot -17 µekv/L (1990) til > 10 µekv/L for de fleste av årene på 2000-tallet. Verdiene svinger noe, men med unntak av årsmiddelverdien i 2007 (6 µekv/L) har verdiene ligget på 10-13 µekv/L siden 2006. De siste årene har enkeltprøvene hatt positiv ANC-verdi. I 2011 ble det for første gang siden 2008 registrert en negativ ANC-verdi (-2 µekv/L den 13/12). Prøvene tatt 15/4 og 27/12 hadde høyt innhold av sjøsalter og redusert vannkvalitet, men ANC-verdien ble allikevel positiv for begge prøvene. Henriksen *et al.* (1995) foreslo at kritisk verdi for ANC mht. innlandsørret ligger omkring 10 µekv/L i svært ionefattig vann. I klassifiseringsveilederen til Vannforskriften, er grenseverdien mellom god og moderat tilstand mht. ANC satt til 40 µekv/L i årsmiddelverdi for vanntyper som Modalselva (lavland, kalkfattig og klar elv med laks) (Direktoratsgruppa Vanndirektivet 2009). Ionekonsentrasjonene i Modalselva er imidlertid så lave at det neppe er realistisk å forvente at årsmiddelverdien for ANC skal nå 40 µekv/L.



Figur 4. Alle enkeltobservasjoner av alkalitet og beregnede verdier for ANC for perioden 1980-2011.

3.4 pH

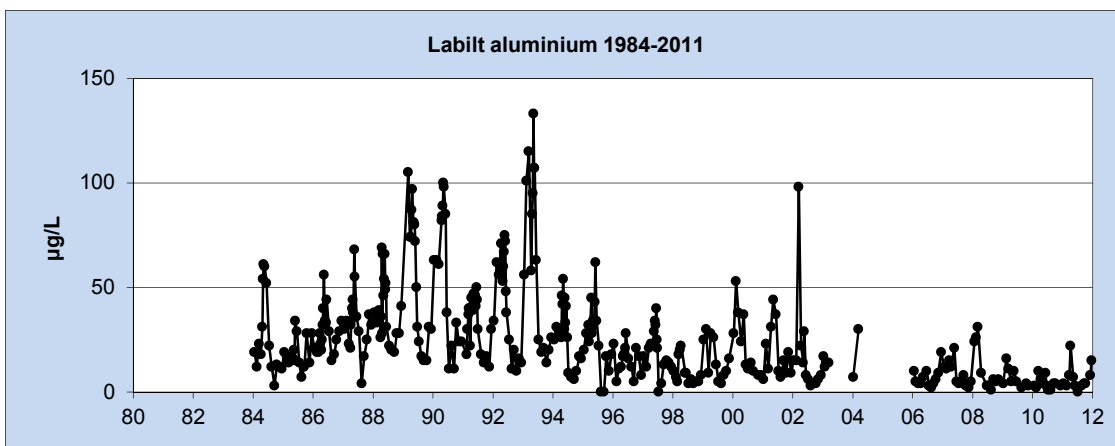
Det har vært en klar økning i pH i Modalselva siden 1980 (Figur 5, Figur 9). Verdiene har økt fra pH 5,2-5,5 på 1980-tallet til pH 5,7-5,9 i siste halvdel av 2000-tallet. Årsmiddelverdien for pH økte hvert år mellom 2007 og 2010 (5,7-6,0), og i 2010 ble den hittil høyeste årsmiddelverdien i måleserien registrert. I 2011 falt imidlertid årsmiddel-pH noe (5,84). Det skyldes trolig de store nedbørmengdene dette året og sjøsaltepisodene som ble fanget opp i stikkprøvene fra april og desember da pH falt til 5,6 (den laveste verdien siden 2008). Ny maksimalverdi for pH innen måleperioden ble målt 31/8 (6,26), men den generelle vannkvaliteten for stikkprøvene var allikevel noe dårligere enn for foregående år. Fem av de 12 stikkprøvene hadde pH i området 6,0-6,3, mens de øvrige prøvene hadde pH-verdi i intervallet 5,6-5,9. I klassifiseringsveilederen til Vannforskriften, er grenseverdien mellom god og moderat tilstand mht. pH satt til 6,2 som minimumsverdi for vanntyper som Modalselva (lavland, kalkfattig og klar elv med laks) (Direktoratsgruppa Vanndirektivet 2009).



Figur 5. Alle enkeltobservasjoner av pH for perioden 1980-2011.

3.5 Aluminium

Labilt aluminium (LAI) representerer de formene for aluminium som er giftigst for fisk og andre gjellelevende organismer. Det er maksimumskonsentrasjonene av labilt aluminium som har størst økologisk relevans, og disse er i dag mye lavere enn på 1980- og 1990-tallet selv om verdiene fortsatt svinger noe fra år til år. Løseligheten av aluminium er kontrollert av pH, slik at når pH øker vil LAI avta. Som vist over, har pH økt gjennom måleperioden og likeledes har maksimalverdien for LAI blitt redusert. I 1993 ble det registrert flere enkeltprøver med LAI-verdi $> 100 \mu\text{g/L}$ i Modalselva (Figur 6). Etter 2005 har maksimumsverdien vært $31 \mu\text{g/L}$ i stikkprøvene. Selv om det ble tatt færre prøver per år de siste årene enn på 1990-tallet, illustrerer dette at vannkjemien har blitt bedre. Innholdet av labilt aluminium i stikkprøvene i 2011 var lave ($\leq 8 \mu\text{g/L}$), med unntak av to prøver. Prøvene fra april og romjula hadde vannkvalitet som var preget av sjøsaltepisoder, og hadde LAI på hhv. 22 og $15 \mu\text{g/L}$. Dette er de høyeste verdiene som er registrert siden 2008. I klassifiseringsveilederen til Vannforskriften, er grenseverdien mellom god og moderat tilstand mht. LAI satt til $10 \mu\text{g/L}$ som maksimumsverdi for vanntyper som Modalselva (lavland, kalkfattig og klar elv med laks) (Direktoratsgruppa Vanddirektivet 2009). Årsmiddelverdien for labilt aluminium var noe høyere enn minimumsverdien for måleperioden ($4 \mu\text{g/L}$ i 2010), men allikevel relativt lav ($7 \mu\text{g/L}$, Figur 9).

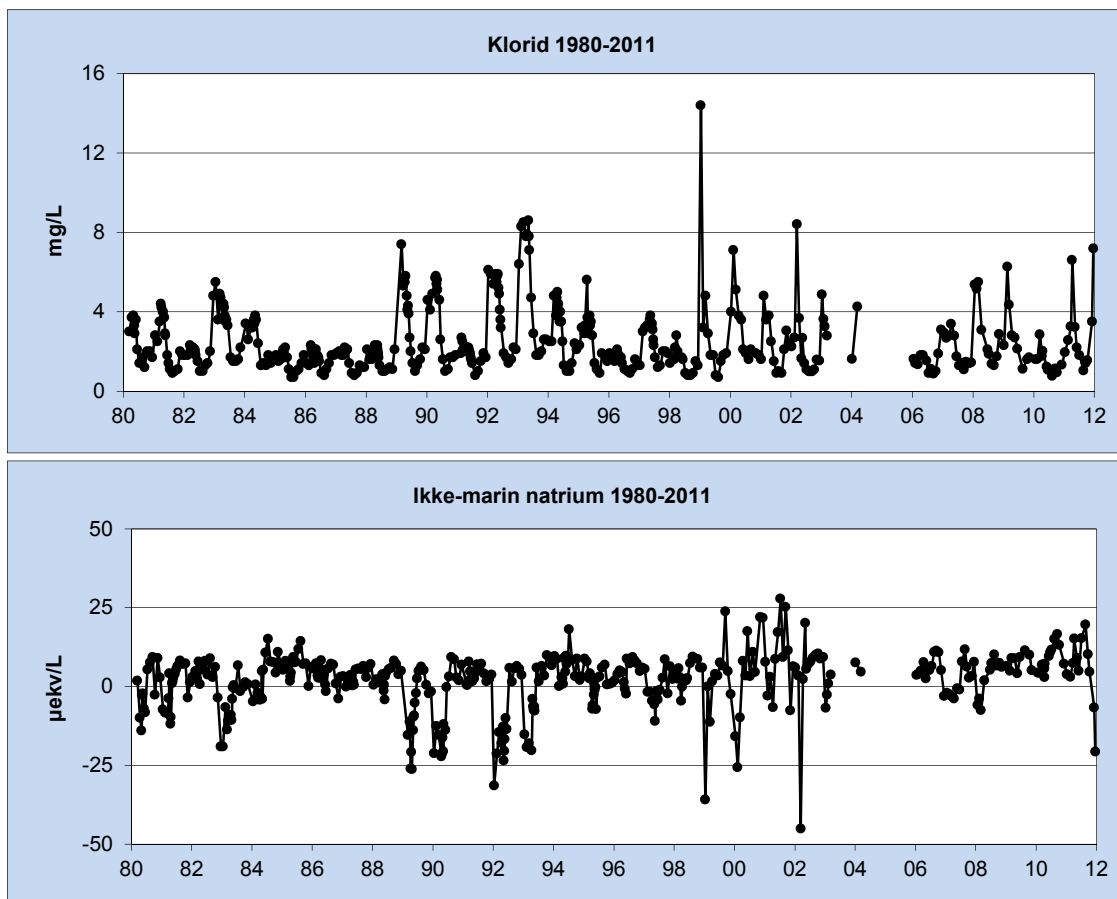


Figur 6. Alle enkeltobservasjoner av labilt aluminium (LAI) for perioden 1984-2011.

3.6 "Sjøsalter" – klorid og natrium

Tilførselen av forsurende forbindelser er kraftig redusert, og dette har hatt en positiv effekt på vannkvaliteten i Sør-Norge. Tilførsel av sjøsalter kan likevel føre til episoder med dårlig vannkvalitet. Sjøsaltepisoder oppstår fra tid til annen i forbindelse med at kraftige vinterstormer bringer store mengder sjøsalter inn over land. I områder som er kronisk forsuret, kan natrium i sjøsaltet bytte ut H^+ - og Al^{3+} -ioner slik at disse vaskes ut sammen med klorid. Dette er forklaringen på at beregnet konsentrasjon av ikke-marin natrium kan vise negative verdier (Figur 7). Sjøsaltepisoder kjennetegnes for øvrig av kraftig økning i klorid, fall i pH og ANC, og økt LAI. I områder som ikke er forsuret vil det være de «ufarlige» ionene til kalsium og magnesium som byttes ut med natrium.

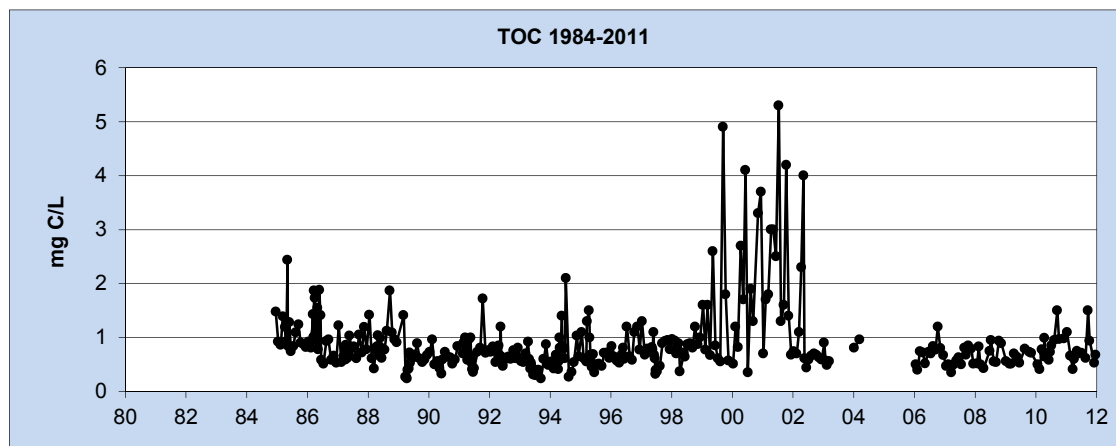
Resultatene fra Modalselva viser at vassdraget tidvis er utsatt for sjøsaltepisoder. Stikkprøven tatt 20/3-2002 er et eksempel på dette. I den prøven ble det målt kloridkonsentrasjon på 8,4 mg/l, beregnet verdi for ikke-marin natrium på -45 $\mu\text{ekv/L}$, pH 4,96, LAI på 98 $\mu\text{g/L}$ og ANC på -19 $\mu\text{ekv/L}$. I tidsrommet 2003-2010 ble det ikke avdekket alvorlige sjøsaltepisoder, men kloridkonsentrasjonene i prøvene tatt 15/4 og 27/12 i 2011 er de høyeste siden 2002 (Figur 7). Disse prøvene hadde også de laveste pH-verdiene (5,6) og høyeste LAI-konsentrasjonene (22 og 15 $\mu\text{g/L}$) registrert i 2011. Årsmiddelverdien for klorid (3,03 mg/L) var høyere enn i de to foregående årene, men identisk med verdien fra 2008 (Figur 9).



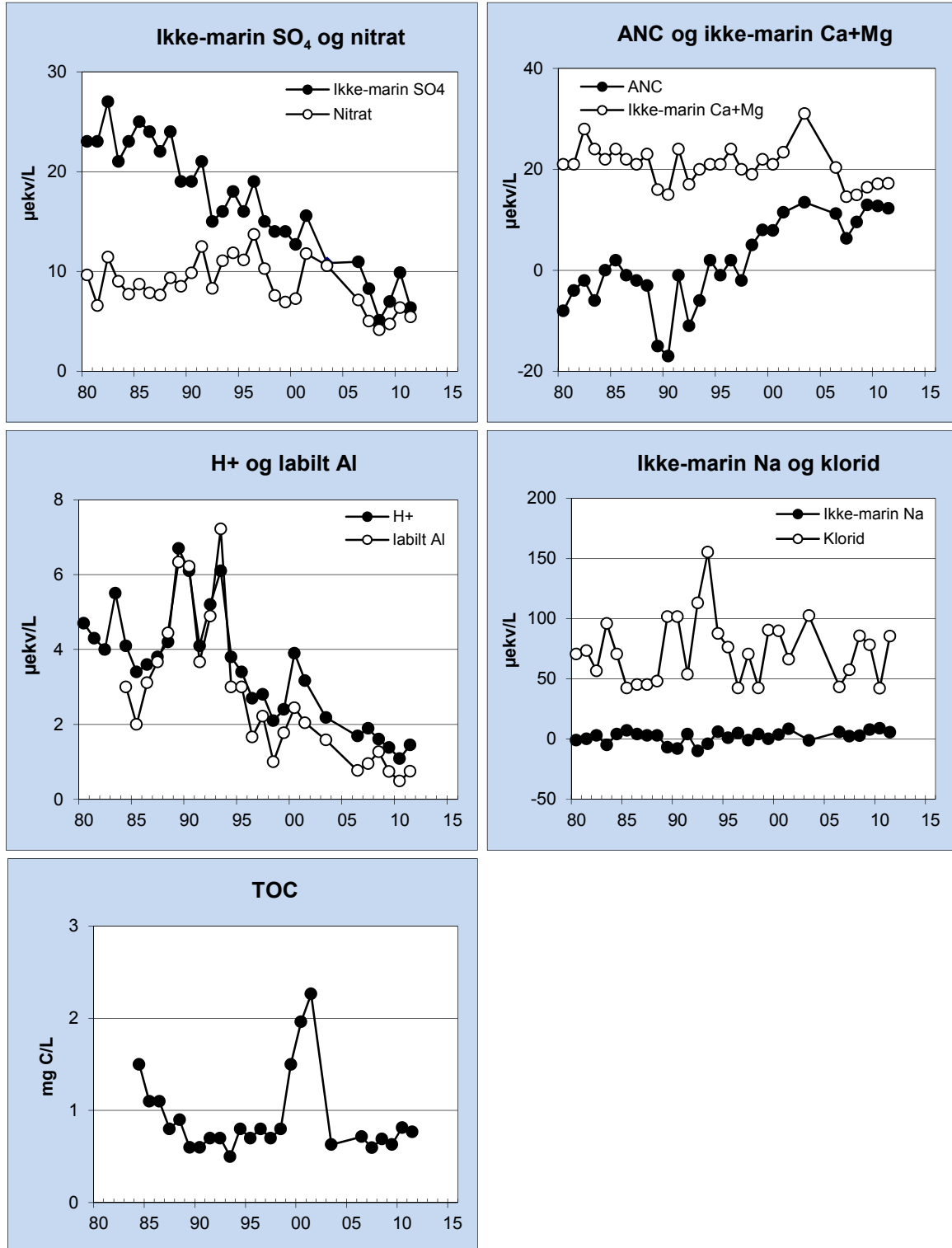
Figur 7. Alle enkeltobservasjoner av "sjøsalter" – klorid og natrium for perioden 1980- 2011.

3.7 Organisk materiale

Prøvetaksstedet ble flyttet i mai 2002 etter at det ble registrert uvanlig høye konsentrasjoner av totalt organisk karbon (TOC) fra slutten av 1999 til mai 2002 (opp til 5 mg/L, mot < 3 mg/L før 1999). Fra 2006 har årsmiddelverdiene for TOC ligget stabilt på 0,6-0,8 mg C/L som er samme nivå som før 1999 (Figur 9). Stikkprøvene i 2011 hadde verdier i området 0,44-0,77 mg C/L, og det er på samme nivå som året før (Figur 8).



Figur 8. Alle enkeltobservasjoner av total organisk karbon for perioden 1984-2011. Perioden 1999-2002 er omtalt og forklart spesielt i teksten.



Figur 9. Trender i et utvalg av vannkjemiske måleparametere for perioden 1980-2011. Hvert punkt representerer aritmetisk middelværdi av alle målingene gjennom året. Det er ingen verdier for årene 2002, 2004 og 2005. Punktene for 2003 er basert på kun fire prøver.

4. Referanser

- Bjerknes, V., Gabrielsen, S.E. & Halvorsen, G.A. 2007. Vurdering av vannkjemiske og biologiske tiltak i Modalsvassdraget. En pilotstudie. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). OR-5508, 38 s
- DirektoratsgruppaVanndirektivet, 2009. Veileder 01:2009 Klassifisering av miljøtilstand i vann, 179 s.
- Garmo, Ø. A. & Skancke, L.B. 2011. Modalselva i Hordaland; vannkjemisk overvåking i 2010. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), OR-6152, 20 s.
- Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T. S., Sevaldrud, I. S. & Brakke, D. F. 1988. Lake acidification in Norway-present and predicted chemical status. *Ambio* 17: 259-266.
- Henriksen, A., Posch, M., Hultberg, H. & Lien, L. 1995. Critical loads of acidity for surface waters - Can the ANClimit be considered variable? *Water Air Soil Pollut.* 85: 2419-2424.
- Klif 2011. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport - Effekter 2010. Statlig program for forurensningsovervåking 1094/2011. TA-2793/2011, 159 s.
- met.no 2012. Nedbørhøyder for 2011 fra meteorologisk stasjon Modalen, samt normalperioden 1961-1990. Meteorologisk institutt, Oslo.
- SFT 2003. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport – Effekter 2002. Rapport 886/2003. Statlig program for forurensningsovervåking. Statens forurensningstilsyn, Oslo.
- Skjelkvåle, B. L. & Skancke, L. B. 2007. Modalselva i Hordaland; vannkjemisk overvåking i 2006. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), OR-5388, 17 s.
- Skjelkvåle, B. L. & Skancke, L. B. 2008. Modalselva i Hordaland; vannkjemisk overvåking i 2007. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), OR-5599, 17 s.
- Skjelkvåle, B. L. & Skancke, L. B. 2009. Modalselva i Hordaland; vannkjemisk overvåking i 2008. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), OR-5802, 23 s.
- Skjelkvåle, B. L. & Skancke, L. B. 2010. Modalselva i Hordaland; vannkjemisk overvåking i 2009. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), OR-5973, 19 s.

Vedlegg A. Vannkjemiske analyser

Tabell 1. Vannkjemi for 12 enkeltobservasjoner i Moddalsevna i 2011.

Dato	pH	Kond mS/m	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	NO ₃ -N µg/L N	Alk mmol/L	Alk-E µekv/L	Al/R µg/L	Al/I µg/L	LAI µg/L	TOC mg/L C	Tot-N µg/L N	NH ₄ -N µg/L N	ANC µekv/L
18.01.2011	5,97	1,24	0,47	0,16	1,18	0,21	1,96	0,80	92	0,045	15	24	20	4	1,1	180	7	15
28.02.2011	6,01	1,42	0,44	0,16	1,50	0,16	2,57	0,71	95	0,041	11	11	8	3	0,66	160	7	10
31.03.2011	5,75	1,69	0,43	0,17	1,98	0,18	3,25	0,72	125	0,037	6	15	7	8	0,41	175	3	11
15.04.2011	5,56	2,97	0,48	0,20	4,03	0,24	6,61	0,94	140	0,033	2	38	16	22	0,60	190	6	6
20.05.2011	5,78	1,76	0,35	0,25	2,0	0,20	3,22	0,76	82	0,032	0	21	14	7	0,75	180	<2	18
10.06.2011	5,90	1,25	0,38	0,18	1,34	0,15	2,20	0,70	54	0,044	14	13	10	3	0,70	112	4	15
13.07.2011	5,84	1,08	0,24	0,11	1,36	0,14	1,81	0,67	54	0,045	15	9	9	0	0,71	123	3	15
31.08.2011	6,26	0,86	0,26	0,09	1,03	0,15	1,04	0,70	105	0,044	14	9	6	3	0,62	190	5	18
28.09.2011	6,05	0,97	0,32	0,13	1,02	0,36	1,41	0,53	<1	0,049	20	23	19	4	1,5	150	8	29
17.10.2011	5,90	0,94	0,25	0,12	0,97	0,14	1,55	0,59	46	0,038	8	14	10	4	0,94	150	2	9
13.12.2011	5,97	1,66	0,35	0,17	1,79	0,13	3,49	0,55	70	0,037	6	19	11	8	0,53	150	5	-2
27.12.2011	5,57	3,08	0,57	0,54	3,53	0,27	7,19	1,07	53	0,034	3	28	13	15	0,68	190	7	4
Mid	5,84	1,58	0,38	0,19	1,81	0,19	3,03	0,73	76	0,040	10	19	12	7	0,77	163	5	12
Min	5,56	0,86	0,24	0,09	0,97	0,13	1,04	0,53	<1	0,032	0	9	6	0	0,41	112	<2	-2
Max	6,26	3,08	0,57	0,54	4,03	0,36	7,19	1,07	140	0,049	20	38	20	22	1,5	190	8	29

Tabell 2. Gjennomsnittsverdier for perioden 1980 til 2011. Hvert tall representerer aritmetisk middelværdi for alle observasjoner gjennom året. Ingen data for 2002 (prøvetaksstasjonen ble flyttet i mai dette året), 2004 (kun to prøver) og 2005 (ingen prøvetaking). Dataene for 2003 er basert på kun fire prøver.

Ar	pH	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	NO ₃ -N µg N/L	Alk-E µekv/L	Al/R µg/L	Al/II µg/L	LAI µg/L	TOC mg C/L	Tot-N µg N/L	NH ₄ -N µg N/L	H ⁺ µekv/L	ANC µekv/L	CM* µekv/L	SO ₄ * µekv/L	Na* µekv/L	
1980	5,33	0,43	0,19	1,37	0,21	2,5	1,5	135	4	57						4,7	-8	21	23	-1	
1981	5,37	0,43	0,2	1,41	0,2	2,6	1,5	92	2	52						4,3	-4	21	23	0	
1982	5,40	0,49	0,2	1,17	0,23	2,0	1,6	160	5	48						4,0	-2	28	27	3	
1983	5,26	0,48	0,27	1,78	0,22	3,4	1,5	126	1	64						5,5	-6	24	21	-5	
1984	5,38	0,43	0,21	1,49	0,21	2,5	1,4	108	2	41	14	27	1,5			4,1	0	22	23	4	
1985	5,47	0,41	0,17	1,01	0,20	1,5	1,4	122	2	37	19	18	1,1			3,4	2	24	25	7	
1986	5,44	0,39	0,16	1,00	0,18	1,6	1,4	110	0	45	17	28	1,1			3,6	-1	22	24	4	
1987	5,42	0,37	0,16	0,98	0,17	1,6	1,3	107	0	46	13	33	0,8			3,8	-2	21	22	3	
1988	5,38	0,40	0,18	1,01	0,17	1,7	1,4	131	2	52	12	40	0,9	198	10	4,2	-3	23	24	3	
1989	5,18	0,37	0,26	1,83	0,19	3,6	1,4	119	0	69	12	57	0,6	170		6,7	-15	16	19	-7	
1990	5,22	0,37	0,25	1,81	0,21	3,6	1,4	138	1	66	10	56	0,6	191		6,1	-17	15	19	-8	
1991	5,38	0,44	0,18	1,17	0,22	1,9	1,3	175	3	46	13	33	0,7	238		4,1	-1	24	21	4	
1992	5,28	0,42	0,28	2,01	0,22	4,0	1,3	116	1	62	18	44	0,7	169		5,2	-11	17	15	-10	
1993	5,22	0,52	0,38	2,99	0,24	5,5	1,5	155	0	80	15	65	0,5	210		6,1	-6	20	16	-4	
1994	5,42	0,44	0,23	1,85	0,22	3,1	1,3	166	2	50	23	27	0,8	225		3,8	2	21	18	6	
1995	5,47	0,42	0,22	1,55	0,19	2,7	1,2	156	4	50	23	27	0,7	202		3,4	-1	21	16	1	
1996	5,56	0,41	0,16	0,94	0,25	1,5	1,1	192	6	35	19	15	0,8	259		2,7	2	24	19	5	
1997	5,55	0,40	0,21	1,39	0,21	2,5	1,1	144	5	38	19	20	0,7	194		2,8	-2	20	15	-1	
1998	5,68	0,35	0,14	0,94	0,15	1,5	0,9	106	8	28	18	9	0,8	172		2,1	5	19	14	4	
1999	5,62	0,46	0,25	1,8	0,29	3,2	1,1	97	7	55	39	16	1,5	202		2,4	8	22	14	0	
2000	5,41	0,45	0,24	1,85	0,18	3,2	1,1	102	2	84	62	22	2,0	194		3,9	8	21	13	4	
2001	5,50	0,44	0,21	1,49	0,31	2,3	1,1	165	8	74	56	18	2,3	274		3,2	11	23	16	8	
2002																					
2003	5,66	0,58	0,32	2,00	0,24	3,6	1,0	148	2	29	15	14	0,6	204		2,2	13	31	11	-1	
2004																					

Ar	pH	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	K mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	NO ₃ -N µg N/L	Alk-E µekv/L	Al/R µg/L	Al/II µg/L	LAI µg/L	TOC mg C/L	Tot-N µg N/L	NH ₄ -N µg N/L	H ⁺ µekv/L	ANC µekv/L	ClM* µekv/L	SO ₄ * µekv/L	Na* µekv/L	
2005																					
2006	5,77	0,39	0,13	0,99	0,14	1,53	0,74	100	6	18	11	7	0,7	166	7	1,7	11	20	11	6	
2007	5,72	0,31	0,15	1,18	0,14	2,04	0,68	70	6	21	13	9	0,6	134	6	1,9	6	15	8	2	
2008	5,79	0,35	0,18	1,75	0,17	3,03	0,67	58	8	25	14	11	0,7	129	6	1,6	10	15	5	3	
2009	5,86	0,37	0,16	1,72	0,14	2,77	0,70	66	9	20	13	7	0,6	125	5	1,4	13	16	7	8	
2010	5,96	0,34	0,12	1,03	0,14	1,49	0,68	89	10	17	13	4	0,8	151	7	1,1	13	17	10	9	
2011	5,84	0,38	0,19	1,81	0,19	3,03	0,73	76	10	19	12	7	0,8	163	5	1,5	12	17	6	5	

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no