



KLIMA- OG
FORURENSNINGS-
DIREKTORATET

Statlig program for forurensningsovervåking
Rapportnr. 1121/2012

Overvåking av langtransporterte forurensninger 2011 Sammendragsrapport

TA
2933
2012

Utført av:





KLIMA- OG
FORURENSNINGS-
DIREKTORATET

Statlig program for forurensningsovervåking

Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør

SPFO-rapport: 1121/2012

TA-2933/2012

ISBN 978-82-577-6114-1

Oppdragsgiver: Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif),
Direktoratet for naturforvaltning (DN), Landbruks- og
matdepartementet (LD)

Utførende institusjoner: NILU, NIVA, NINA, LFI, Uni Miljø,
Skog og landskap

Overvåking av langtransporterte forurensninger 2011

**Rapport
1121/2012**

Sammendragsrapport



Prosjektansvarlig: NIVA
NIVA-prosjektnummer: O-10200
NIVA-rapport: 6379-2012

Forord

Denne rapporten presenterer sammendrag av resultatene for 2011 fra tre overvåkingsprogrammer: “Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør”, “Overvåkingsprogram for skogskader” (OPS) og “Program for terrestrisk naturovervåking” (TOV). Disse tre programmene organiserer omfattende måleprogrammer på luft, vann, jord, skog og annen vegetasjon samt akvatisk og terrestrisk fauna. Resultatene rapporteres i forskjellige hovedrapporter og delrapporter, og det kan derfor være vanskelig å få den totale oversikten over hovedresultatene fra overvåkingsprogrammene og hvordan de kompletterer og utfyller hverandre. Vi presenterer her en kortfattet og samlet oversikt over de viktigste resultatene fra de tre overvåkingsprogrammene. For en grundig dokumentasjon om gjennomføring og resultater henviser vi til rapportene som denne Sammendragsrapporten baserer seg på.

Hovedansvarlige for utarbeidelse av denne rapporten har vært:

“Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør”

Luft og nedbør: Wenche Aas, Stein Manø, Sverre Solberg og Karl Espen Yttri (NILU)

Vannkjemi: Brit Lisa Skjelkvåle, Liv Bente Skancke, Øyvind A. Garmo og Tore Høgåsen (NIVA)

Bunndyr: Arne Fjellheim og Godtfred A. Halvorsen (LFI, Uni Miljø)

Krepsdyr: Ann Kristin Schartau, Thomas C. Jensen og Bjørn Walseng (NINA)

Fisk: Randi Saksgård og Trygve Hesthagen (NINA)

OPS Samlet redigering: Kjell Andreassen (Skog og landskap)

Landsrepresentative flater: Volkmar Timmermann (Skog og landskap)

Intensive flater: Nicholas Clarke og Volkmar Timmermann (Skog og landskap)

TOV Samlet redigering: Erik Framstad (NINA)

Markvegetasjon: Per Arild Aarrestad (NINA) og Vegar Bakkestuen (NHM, UiO), samt Tonje Økland, Jørn-Frode Nordbakken og Ingvald Røsberg (Skog og landskap)

Epifytter: Inga E. Bruteig og Marianne Evju (NINA)

Fauna: John Atle Kålås og Torgeir Nygård (NINA)

NIVA, Oslo, juni 2012

Brit Lisa Skjelkvåle
Redaktør

Innhold

Status effekter av langtransporterte forurensninger i Norge i 2011	9
1. Innledning	19
1.1 Presentasjon av programmene	19
1.2 Overvåkingsprogrammene i internasjonalt perspektiv	20
2. Luft og nedbør	22
2.1 Svovel- og nitrogenforbindelser (hovedkomponenter)	22
2.2 Bakkenært ozon.....	27
2.3 Tungmetaller	29
2.4 Organiske miljøgifter	31
2.5 Partikler (PM ₁₀ og PM _{2,5}) i luft.....	32
3. Det akvatiske miljøet	34
3.1 Effekter på vannkjemi	37
3.2 Effekter på akvatisk fauna.....	52
3.2.1 Effekter på bunndyr	52
3.2.2 Effekter på krepsdyr.....	59
3.2.3 Effekter på fisk.....	67
4. Det terrestriske miljøet	78
4.1 Effekter på skog	81
4.2 Effekter på markvegetasjon	85
4.3 Effekter på epifytter	89
4.4 Effekter på fuglefauna.....	92
5. Referanser	96

Status effekter av langtransporterte forurensninger i Norge i 2011

Det er langt igjen før forsuringproblemet i Norge er løst

Forsuringssituasjonen har blitt bedre. Det er likevel langt igjen før forsuringproblemet i Norge er løst. Fremdeles mottar store deler av Sør-Norge mer forsurende komponenter enn naturen greier å ta hånd om uten at det blir negative effekter. Klimatiske endringer og økt utlekking av nitrogen er eksempler på prosesser som kan stanse eller reversere den positive utviklingen.

Både sulfat og nitrat avtar i nedbør

Reduserte utslipp av svovel i Europa har medført at konsentrasjonen av sulfat i nedbør i Norge har avtatt med 75-91 % fra 1980 til 2011. Nitrogenutslippene går også ned. I Sør-Norge har nitrat- og ammoniumkonsentrasjonen i nedbør avtatt med hhv 29-49 % og 44-61 % i samme tidsperiode. Endringene er i samsvar med rapporterte utslippsreduksjoner i Europa. Konsentrasjonen av sterk syre, sulfat og nitrat i nedbør i Sør-Norge er noe lavere i 2011 enn i 2010, men mer nedbør gav høyere avsetning i 2011.

Nedgangen i sulfat og nitrat i vann og vassdrag fortsetter og forsuringen reduseres

Nedgangen i sulfatdeposisjon har redusert sulfatkonsentrasjonen i elver og innsjøer opp mot 90% fra 1980 til 2011. Reduksjonen har vært størst i Sør-Norge. Nedgangen i sulfat har flatet ut fra 2008 og fram til 2011. Forsuringssituasjonen har blitt bedre siden midten av 90-tallet, med økning i syrenøytraliserende kapasitet (ANC), alkalitet og pH, og nedgang i uorganisk aluminium (LAL, "giftig aluminium"), men trendene er i ferd med å flate ut.

Den akvatiske faunaen er i ferd med å reetablere seg

Vi ser også en bedring i den akvatiske faunaen. Det er begynnende og til dels stabil gjenhenting av bunndyrsamfunn i elvene. Forholdene for fisk har også blitt bedre etter midten av 1990-tallet, mens situasjonen for bunndyr og krepsdyr i innsjøene er mer ustabil. Den klareste forbedringen er registrert på Sør-Vestlandet. I noen av våre mest forsuringbelastede områder er imidlertid den økologiske tilstanden dårlig for både bunndyr, krepsdyr og fisk.

Skogens helsetilstand er noe svakere

Alle tre overvåkede treslag i Norge viste lavere kronetetthet i 2011 enn i 2010. Kronetettheten synker etter tre sesonger på rad med en tydelig bedring i kronetilstand. Det ble også observert økt misfarging hos alle treslagene og for bjørk har dette skjedd tre år på rad. Skogtilstanden regnes som nokså stabil til tross for svingninger. Luftforurensninger og ugunstige værforhold kan føre til en svekking av trærnes helsetilstand - enten direkte eller indirekte ved at mengden av naturlige skadegjørere økes så mye at trærnes vitalitet skades.

Tilbakegang for plantearter i enkelte områder

Endringer i markvegetasjonen i bjørkeskog i Lund (Rogaland) indikerer stor nitrogenbelastning. Økte algemengder på bjørkestammer i Lund tyder også på dette. Tilbakegang for flere karplantearter og moser i bjørkeskog i Åmotsdalen (Sør-Trøndelag) skyldes trolig sterkt beitepress. Reduksjon i artsantall og tilbakegang for flere moser i granskog i Grytdalen (Telemark) kan dels skyldes sterkt beitepress fra smågnagere i 2010/2011, men også klimaendringer. Epifytter på trær i Lund og Åmotsdalen viser redusert skadeomfang, noe som for Lund kan skyldes redusert forurensningsbelastning. Det er fremdeles betydelige nivåer av organiske miljøgifter i egg hos flere rovfuglarter, men det er ikke registrert endringer i fuglebestander i TOV-områdene som kan knyttes til forurensningseffekter.

Luft og nedbør

Utslipp

Utslippene av svoveldioksid, nitrogenoksider og ammoniakk har blitt redusert i Europa med hhv. 65 %, 25 % og 29 % fra 1990 til 2009 (EMEP Status report 1/2011).

Utslippsreduksjonen, spesielt for svovel, er en del høyere om man ser fra 1980 (Tørseth *et al.* 2011).

Svovel og nitrogen

Konsentrasjonene av sulfat og nitrat i 2011 var gjennomgående noe lavere eller på samme nivå som foregående år, ammonium noe høyere på flere stasjoner. Våtavsetningen for de fleste komponenter var en del høyere i 2011 sammenlignet med 2010 pga mer nedbør. 2011 var et vått år, nedbørmengden for Norge som helhet var 130 % sammenlignet med normalen (met.no 2011).

Årsmiddelkonsentrasjonene av sulfat i nedbør har avtatt signifikant siden 1980 på alle målesteder, mellom 75 % og 91 % (54 % og 81 % fra 1990). I luft er reduksjonene for svoveldioksid med 1980 som referanseår beregnet til å være mellom 89 % og 97 % (75 % og 95 % fra 1990), og for sulfat mellom 78 % og 95 % (59 % og 65 % fra 1990).

Årsmiddelkonsentrasjonene av nitrat i nedbør har blitt redusert mellom 29 % og 49 % siden 1980 på stasjonene i Sør-Norge. Fra 1990 har reduksjonen vært i samme størrelsesorden. For ammonium i nedbør har det også vært en signifikant reduksjon fra 1980, mellom 44 % og 61 %, ved nesten alle de samme målestasjonene, mens det har vært en økning ved Tustervatn. Lignende endringer observeres fra 1990. Årsmiddelkonsentrasjonen av ammonium i luft viser en signifikant reduksjon siden 1993 på ca. 50 %. For summen nitrat+salpetersyre var det en ganske tydelig nedgang fra 1990, men de siste årene har konsentrasjonsnivået steget en del, og ingen gjennomgående signifikante trender observeres. Imidlertid har det vært en tydelig og signifikant nedgang for NO₂ (30-74 %) på de tre fastlandsstasjonene. Innholdet av basekationenet kalsium er redusert ved flere stasjoner.

Ozon

Store deler av Europa, inkludert Sør-Norge, opplevde en «dårlig sommer» med mye regn og skyer i 2011, noe som førte til et år med få ozonepisoder og generelt lave nivåer. Ozonnivåene i Norge var imidlertid noe høyere enn i 2010, som var et «bunnår» når det gjelder ozon. EUs «target value» for ozon er oppfylt i Norge med god margin, mens langtidsmålet (ingen dager med 8-timers verdi > 120 µg/m³) ble brutt på alle stasjonene unntatt Tustervatn i 2011. Det var ingen overskridelser av UN-ECEs grenseverdi for plantevekst (tre-måneders AOT40) på de norske stasjonene i 2011. Grenseverdien for skog har nå blitt redusert fra 10 000 ppb-timer til 5000 ppb-timer, og denne grensen ble brutt på to av de norske stasjonene; Birkenes og Haukenes. Høyeste timemiddel i 2011 var 168 µg/m³ på Birkenes, og EUs meldingsgrense på 180 µg/m³ ble dermed ikke overskredet.

Metaller

De høyeste årsmiddelkonsentrasjoner av bly og sink ble målt på Hurdal. Høyest nivå av de andre metallene ble observert på Svanvik i Sør-Varanger grunnet store industriutslipp på Kolahalvøya. Våtavsetningen av kadmiium var størst på Birkenes. Hurdal hadde høyest avsetning av bly og sink. For de andre elementene er det høyest våtavsetning på Svanvik.

Blyinnholdet i nedbør har avtatt med ca. 90 % siden 1980, med unntak av Svanvik som ikke viser noen trend. Innholdet av sink i nedbør har avtatt med 75 % siden 1980 på Birkenes og

Kårvatn, mens kadmiuminnholdet har avtatt med 90 % eller mer på stasjoner med observasjoner fra 1980. Kvikksølvkonsentrasjonen i nedbør på Lista/Birkenes har blitt redusert med 39 % siden 1990. I luft er det tydelig reduksjon av bly på tidsserien Lista/Birkenes på 63 % siden 1991. Det er også en reduksjon i luftkonsentrasjonene på flere elementer (As, Cd, Cr, Ni og V). Nivåene for alle metallene, med unntak av kvikksølv, er 2-3 ganger høyere på Birkenes enn det som er målt på Zeppelin og Andøya.

Miljøgifter

På Zeppelin-observatoriet ble det observert det laveste årsmiddel siden målingene startet for parameterne sum HCH, sum DDT, sum klordaner og sum PCB. Sum PAH var blant de laveste verdiene målt til nå. HCB har steget litt for hvert år siden 2007.

På Andøya-observatoriet var de følgende parametere noe lavere enn i fjor: sum HCH, sum DDT, sum PCB, sum PAH og sum tetraBDE.

På Birkenes-observatoriet var følgende parametere de laveste som er målt til nå på Birkenes/Lista: HCB, sum HCH, sum PCB 7 og sum PAH. Nivået av HCB og sum HCH i nedbør var blant de laveste målt til nå og sum PCB 7 hadde den laveste verdien til nå.

Partikler

For 2011 foreligger det målinger av PM₁₀ og PM_{2,5} for stasjonene Birkenes, Hurdal og Kårvatn. Årsmidlet for PM₁₀ varierte fra 3,6 – 7,0 µg/m³, mens det for PM_{2,5} varierte fra 2,6 til 4,3 µg/m³. Årsmidlet av PM₁₀ for stasjonene Hurdal og Kårvatn var ca 20-50 % lavere enn det som ble observert for Birkenes. Årsmidlet for PM_{2,5} var omtrent likt for stasjonene Birkenes og Hurdal, mens det for Kårvatn var ca 40 % lavere. Årsmidlet for PM₁₀ på Birkenes i 2011 var 10 % høyere enn gjennomsnittet for perioden 2000 – 2011. For første gang siden målingene av PM₁₀ startet på Birkenes var NO₃⁻ den dominerende enkeltforbindelsen med 17 % av massekonsentrasjonen av PM₁₀ på årsbasis. Det relative bidraget av SO₄²⁻ gikk ytterligere ned og utgjorde kun 14 % av PM₁₀ på Birkenes. For Hurdal og Kårvatn var OC den dominerende fraksjonen og utgjorde henholdsvis 24 % og 25 % av PM₁₀.

Vannkjemi

Reduserte tilførsler av svovel gjennom luft og nedbør har hatt en markert innvirkning på konsentrasjonene av ikke-marin sulfat i vann og vassdrag. Nedgangen i sulfat varierer fra 44 % til 81 % for innsjøer for perioden 1986-2011. For perioden 1980-2011 har enkelte stasjoner en nedgang opp mot 90 %. Nedgangen i sulfat er klart større i perioden 1990-2000 enn i perioden 2001-2011. Siden 2008 har sulfatnivået vært på samme nivå, hele landet sett under ett; enkelte regioner har hatt en liten nedgang, mens andre har hatt en liten økning.

Nedgangen i tilførsler av nitrat og ammonium har ikke vært like markert som for sulfat. Nitrat viser likevel nedgang i innsjøer i alle regioner. Konsentrasjonene av nitrat varierer en del fra år til år, fordi nitrat er en viktig del av næringskretsløpet og dermed er påvirket av mange biologiske prosesser. De høyeste konsentrasjonene av nitrat i avrenningen måles i de områdene av Norge der nitrogen-deposisjonen er høyest (Sør-Vestlandet).

Nedgangen i sulfat og nitrat har hatt en tydelig positiv innvirkning på forsuringsskjemien i alle lokalitetene innen overvåkingsprogrammet med økning i pH, syrenøytraliserende kapasitet (ANC) og alkalitet og nedgang i labilt aluminium (uorganisk ”giftig” aluminium).

Økningen i ANC var klart større i perioden 1990-2000 enn i perioden 2001-2011. ANC i 2011 er den nest høyeste som er registrert så langt innen overvåkingen. Det samme mønsteret gjelder også for pH. For labilt aluminium er nedgangen større i perioden 1990-2000 enn i perioden 2001-2011, og verdiene fra 2010 og 2011 er de laveste som er registrert hittil i overvåkingen.

Alkalitet viser få endringer før 2000, og noe mer positive endringer (økning) etter 2001. Årsaken til dette er at det ikke var alkalitet i vannet (bikarbonatbuffersystem) de første årene etter 1990. Bufferkapasiteten har etter hvert bygget seg opp slik at vi nå igjen har alkalitet i mange av våre overvåkingsinnsjøer. Så lenge det ikke var alkalitet i vannet var det heller ikke mulig å måle endringer. Den høyeste gjennomsnittlige alkalitetsverdien registrert hittil i overvåkingen finner vi i 2011.

Basekationene (kalsium og magnesium) viser ingen systematiske trender i de forskjellige regionene; vi finner både signifikant økning, avtak og ingen signifikant trend.

Organisk karbon (TOC) som er fulgt med interesse de siste årene pga en økende trend, viser statistisk signifikant økning i syv regioner i perioden 1990-2000 og fire regioner i perioden 2001-2011. Endringene i TOC er altså noe mindre i den siste perioden sammenlignet med perioden før, men forskjellene er veldig små. Samtidig ser vi at gjennomsnittskonsentrasjonen for TOC i 2011 er den høyeste som er målt siden overvåkingen av innsjøene startet i 1986.

I Øst-Finnmark så vi en markert økning i Ni- og Cu-konsentrasjoner i vann fra 2003 til 2004. Dette er en sannsynlig respons på den økte deposisjonen av Ni i området. Konsentrasjonsnivået av Cu og Ni har vært stabilt (høyt) siden 2004.

Akvatisk fauna

Invertebrater

Overvåkingen av bunndyr i elver viser at skadene på faunaen har avtatt i løpet av de siste 20 årene. Den bedre tilstanden vises både ved økt mangfold og ved økte andeler av forsuringfølsomme bunndyr i tidligere kronisk sure lokaliteter. Det er først og fremst lokaliteter i de mest forsurete områdene i sørvest som er blitt bedre i denne perioden. Det biologiske mangfoldet i de lokalitetene som overvåkes var i 2011 ennå lavt sammenlignet med ikke-forsurete lokaliteter i samme regioner. Rekoloniseringen av den mest følsomme faunaen er fremdeles ustabil. Overvåkingen viser generelt at skadene på bunndyrfaunaen er størst om våren. Den sørligste lokaliteten, i Farsund kommune, er et eksempel på dette med sporadisk tilstedeværelse av de mest følsomme bunndyrartene om høsten. De to siste årene har pH vært høy (> 6). Dette er en sannsynlig årsak til at registreringen av den sterkt sensitive døgnfluen *Baetis rhodani* var den største som er registrert etter at overvåkingen ble startet i 1981.

Innsjøundersøkelsene av bunndyr og småkreps startet i 1996. Overvåkingsdataene fra 2011 indikerer at forsuringssituasjonen fremdeles er alvorlig i sørlige deler av Østlandet, på Sørlandet og Vestlandet (klassifisert som moderat til sterkt forsuringsskadet), men at det nå er en klar, om enn liten, positiv utvikling i økologisk tilstand i enkelte innsjøer, spesielt i Sørlandet-Vest (region V). Innsjøene i Øst-Finnmark har en økologisk tilstand som viser relativt store år-til-år variasjoner, noe som kan skyldes andre forhold enn forsuring. For de øvrige regionene er det kun et fåtall innsjøer som har vært fulgt over tid og det er derfor vanskelig å ha noen formening om utviklingen i forsuringstilstanden. Krepsdyrundersøkelsene indikerer at miljøforholdene i de siste to årene har vært relativt gunstige. Artsantall og andel

forsuringsfølsomme arter i mange av innsjøene var blant de høyeste som er registrert i løpet av 16 år med overvåking. Totalt sett er imidlertid endringene små over de årene overvåkingen har pågått. Selv om enkelte av innsjøene som overvåkes årlig viser indikasjoner på en positiv utvikling, er mengden av forsuringsfølsomme invertebrater fremdeles lave og ustabile. Resultatene viser at vannkvaliteten i mange forsurete innsjøer fremdeles er dårlig for overlevelse og reproduksjon hos forsuringsfølsomme invertebrater. Det forventes at biologisk gjenhenting tar vesentlig lengre tid for innsjøene enn for elvene, og selv når vannkvaliteten har blitt tilfredsstillende kan det ta flere år før en klar biologisk respons observeres.

Fisk

Fisken er i betydelig grad berørt av forsurening i mange vassdrag i Sør-Norge, og pr. 1990 var det henholdsvis rundt 9 600 tapte og 5 400 skadde innsjølevende bestander. Beregningene er basert på lokaliteter med en størrelse over 3,0 hektar. Aure er hardest rammet, med rundt 8 200 tapte og 3 900 skadde bestander. Videre er nærmere 1 900 abborbestander enten blitt skadet eller gått tapt, mens et tilsvarende samlet tall for røye, mort, ørekyt og gjedde er 1 110 bestander.

Fisk i flere regioner viser nå en positiv bestandsutvikling, spesielt i Sørlandet-Vest (region V), Vestlandet-Sør (region VI) og Øst-Finnmark (region X). I Sør-Norge er imidlertid enkelte fiskebestander fortsatt påvirket av forsurening. I tillegg er fisken ennå ikke reetablert i mange innsjøer der de stedege bestandene har gått tapt. Situasjonen for fisk er derfor fortsatt alvorlig i de mest forsuringbelastede områdene. I tilløpsbekker til innsjøer i Vikedalsvassdraget i Rogaland har tettheten av aureunger vist en klar økning i løpet av de siste 15 åra. Midt-Norge og nordover har gode fiskebestander uten forsuringsskader, med forbehold om noen små innsjøer på Jarfjordfjellet i Øst-Finnmark.

Terrestrisk miljø

Skog

I årene fra 2004 til 2007 avtok kronetettheten for både gran, furu og bjørk etter en relativt stabil periode på slutten av 1990-tallet med en økning frem til år 2004. I perioden 2008 til 2010 ble det registrert økende kronetetthet for alle treslagene, før kronetettheten sank igjen i 2011. For kronefarge har tilstanden vært nokså stabil for gran og særlig for furu de siste åra med relativt lite misfarging. For bjørk var det også lite misfarging i 2008-2009, mens det i perioden 2009 til 2011 ble registrert en betydelig forverring av kronefargen. Kronetilstanden er betinget av en rekke faktorer og ulike stresspåvirkninger, slik som aldring, sjukdommer (eksempelvis ulike sopper), vekstbetingelser og klimastress (tørke og frost). Når trær skranter eller blir sjuke skyldes dette ofte et samspill av slike naturlige påvirkninger. De variasjonene vi har sett de siste årene skyldes ofte sopp- og insektskader som igjen er betinget av klimatiske forhold. Tilførsler av luftforurensninger kan komme i tillegg eller i samspill med disse påvirkningene. Bidraget fra forurensningene er vanskelig å fastslå fordi denne påvirkningen har vært svært liten i forhold til de andre påvirkningsfaktorene. I fremtiden vil eventuelle utslag av et endret klima trolig spille en større rolle. Resultater fra skogøkologiske undersøkelser viser at det er betydelige variasjoner fra år til år i enkelte målinger. Disse variasjonene ligger likevel innenfor det som er vanlig i boreal barskog.

Terrestrisk flora og fauna

I 2011 ble markvegetasjonen undersøkt i overvåkingsområdene i Lund (Rogaland), Åmotsdalen (Sør-Trøndelag) og Grytdalen (Telemark). Registrerte endringer i markvegetasjonen i bjørkeskog i Lund, med økning for grasene engkvein og blåtopp, forekomst av alger på bakken og tilbakegang for blåbær, tyder på fortsatt stor

nitrogenbelastning. Framgang for svakt næringskrevende moser kan tyde på redusert forsuring og en viss økning i næringstilførsel, da jordsmonnet viser en svak økning av pH, total nitrogen, utbyttbare kationer og basemetning. Reduksjon i artsantall og tilbakegang for mange karplantearter og noen færre moser i bjørkeskogen i Åmotsdalen skyldes trolig sterkt beitepress fra husdyr, så vel som tidligere sterk beiting av smågnagere (2007, 2010). I granskog i Grytdalen er det blitt mindre av mange arter av karplanter for hele overvåkingsperioden, mens moser har gått betydelig tilbake i artsantall og mengde av mange arter både i hele overvåkingsperioden og i siste periode (2003-2011). Grytdalen ligger i en del av landet som tidligere var sterk påvirket av forurensning, noe som kan ha bidratt til utviklingen for karplanter. Også sterk beiting av smågnagere i 2010/2011 kan ha bidratt til tilbakegangen, kanskje særlig for grasarter og for mosene, men tilbakegang i artsantall av og mengder for små moser kan også relateres til klimaendringer.

Registreringer av epifyttisk vegetasjon på stammer av bjørk (på furu i Solhomfjell) viser en klar sammenheng mellom lavenes forekomst og skadestatus og registrerte forurensningsbelastninger i nedbøren, med lavest dekning og høyest skadeomfang i sørlige områder. Kartlegging av epifyttfloraen i Lund og Åmotsdalen viste redusert skadeomfang på lav i begge områder og økt dekning av lav i Åmotsdalen. I Lund gikk imidlertid dekning av lav ned, samtidig som dekning av alger stadig øker. Disse endringene er konsistente med lavere svovelnedfall og et mildt klima med lengre vekstsesong de siste tiårene, mens Lund er utsatt for fortsatt høy nitrogenavsetning.

Fuglefaunaen i TOV-områdene viser ikke observerbare effekter av langtransporterte eller lokale forurensninger. Overvåkingen av rovfugl (kongeørn og jaktfalk) i TOV-områdene viser generelt god produksjon også i de forurensete områdene i Sør-Norge, selv om produksjonen varierer en god del på grunn av fluktuasjoner i næringsgrunnlaget. Det er registrert betydelige nivåer av ulike organiske miljøgifter i egg av rovfuglarter som vandrefalk, dvergfalk og havørn. Nivåene er generelt synkende, men eggskallet hos enkelte av artene er fremdeles tynnere nå enn før stoffene ble tatt i allmenn bruk etter 1947. For spurvefugl er det ingen tegn til vesentlig annerledes bestandsvariasjoner i sørlige, forurensningsbelastete områder enn i nord. Svarthvit fluesnapper har tidligere år vist noe lavere klekkesuksess i de sørligste områdene, men har i flere år vist klekkesuksess på samme nivå i sørlige som i nordlige områder. De siste årene har det vært en nedgang i spurvefuglbestandene i flere av fjellområdene, trolig på grunn av ugunstig vær i deler av hekkesesongen. Etter dårlig klekkesuksess for svarthvit fluesnapper i enkelte områder i flere av de siste årene, var klekkesuksessen mer normal i 2011.

Summary

About the monitoring programmes

This report covers the main results for 2011 from three national monitoring programmes “Monitoring of long-range transboundary air pollution”, “Monitoring programme for forest damage” (OPS) and “Programme for terrestrial ecosystem monitoring” (TOV). These three programmes organize extensive monitoring of air, water, soil, forest and other terrestrial vegetation, and aquatic and terrestrial fauna.

Air and precipitation

The concentration in precipitation of main ions in precipitation in 2011 is somewhat less the level in 2010, except for ammonium, but the deposition is higher, especially in south of Norway due to relatively high precipitation.

Since 1980 the content of sulphate in precipitation at the various sites decreased by 75-91 % (54-81 % since 1990). Similar reductions in airborne concentrations were between 89 %-97 % (78-95 % since 1990) and 78-95 % (59-65 % since 1990) for sulphur dioxide and sulphate, respectively. The nitrate and ammonium concentrations have significant decrease in concentration in precipitation at most sites in southern Norway, between 29 % and 49 % reduction for nitrate and 44 % to 61 % for ammonium since 1980. There is also a decrease in the observed ammonium in air, about 50 % since 1993, but no significant trend in the sum nitrate in air. The NO₂ concentration has decreased between 30-74 %.

EU's target value for ozone is met in Norway while the long-term objective (no days with a running 8-hour value > 120 µg/m³) was not met at any station except Tustervatn in 2011. There were no exceedances of UN-ECE's critical level for plant growth (three-month's AOT40) at the Norwegian stations in 2011. The critical level for forest (5000 ppb hours) was exceeded at two of the Norwegian stations; Birkenes and Haukenes. The maximum hourly average in 2011 was 168 µg/m³ at Birkenes, and EU's information threshold of 180 µg/m³ was thus not exceeded.

For 2011 the annual mean concentration of PM₁₀ ranged from 3.6 – 7.0 µg/m³, while the corresponding range for PM_{2.5} was 2,6 - 4,3 µg/m³. The annual mean concentration of PM₁₀ at Hurdal and Kårvatn was 20 – 50 % lower than that observed at Birkenes. The annual mean concentration of PM₁₀ at Birkenes was 10 % higher than average annual mean for the period 2000 – 2011, whereas for PM_{2.5} it was close to 10 % higher than the average annual mean for the period 2001 – 2011. For the first time since the measurements of PM₁₀ started in year 2000, NO₃⁻ was the major constituent of PM₁₀ at Birkenes, constituting 17 % of PM₁₀ on an annual basis. The relative contribution of SO₄²⁻ continued to drop, constituting no more than 14 % of PM₁₀ at Birkenes on an annual basis. For the sites Hurdal and Kårvatn, OC was the major contributor to PM₁₀ accounting for 24 % and 25 % of PM₁₀ on an annual basis, respectively.

The annual mean concentrations of lead and zinc were highest in Southern Norway. For the other elements measured in precipitation, the highest concentrations were found at Svanvik in Sør-Varanger due to emissions in Russia. The wet deposition, however, is generally highest in Southern Norway. There has been a substantial reduction of heavy metals in precipitation in Norway since 1980; more than 90% for lead, except Svanvik, 75 % for zinc at Birkenes and Kårvatn, 90 % for cadmium. For lead in air the decrease in Southern Norway since 1991 is 63

%. There is no observed significant trend in the average concentrations of mercury in air, but a reduction of 39 % is seen in the precipitation in south of Norway.

At the Zeppelin observatory (AMAP) the following parameters had the lowest value measured until now: sum HCH, sum DDT, sum chlordanes and sum PCB. Sum PAH was amongst the lowest measured until now. The level of HCB has increased slightly each year since 2007. At the Andøya observatory the level of the following parameters was lower than in the previous year: sum HCH, sum DDT, sum PCB, sum PAH and sum tetraBDE. At the Birkenes observatory the following parameter had the lowest level measured until now at Birkenes/Lista: HCB, sum HCH, sum PCB 7 and sum PAH. The level of HCB and sum HCH in deposition was amongst the lowest measured until now and sum PCB 7 had the lowest value measured until now.

Water

The decrease in sulphur deposition has caused a decrease in the concentration of sulphate in surface waters in Norway by approx. 44-81% from 1986 to 2011. For the period 1980-2011 some single station show decrease up to 90 %. The decrease in sulphate was much stronger in the 11-year period 1990-2000 than from 2001-2011. The last 4 years (2008-2011), the average value for sulphate in 78 lakes has been on the same level. There has also been a decrease in nitrate, although much smaller than the decrease in sulphate, in all parts of Norway. As a response to the decrease in sulphate (and nitrate), the acidification situation in lakes and rivers showed a clear improvement in the 1990s with increase in pH and ANC (Acid Neutralizing Capacity) and a decrease in inorganic (toxic) aluminium. The changes have been less pronounced from 2001-2011 compared to 1990-2000. The improvements have been most pronounced in southernmost Norway, and somewhat less pronounced in western and eastern parts of the country. Even the less affected areas in central and northern Norway, and the areas close to the Russian border influenced by pollution from the Kola Peninsula, have shown a positive development in surface water chemistry related to acidification. The highest concentrations of TOC registered so far were in 2011, and the overall pattern is still increasing trends in TOC.

In eastern part of Finnmark there was an increase in concentrations of Ni and Cu in the lakes from 2003 to 2004, most probably due to the increased emissions from the Ni-smelter on the Russian side, and the increased deposition of Ni in the area. The concentrations of Ni and Cu have been on the higher level since 2004.

Aquatic fauna

Invertebrates

The invertebrate monitoring in rivers demonstrate that acidification damages generally have decreased during the last two decades. The biodiversity has increased, acid-sensitive invertebrates show increased distribution and are in a process of occupying areas which earlier were damaged. The southernmost locality gives an example to this. Here the most sensitive mayflies have been recorded some years. The populations are however unstable, probably as a result of strong sea-salt episodes during the winter. The pH during the two last years was the highest recorded during the monitoring programme. This was probably a reason for the build-up of the strongest population of the sensitive mayfly *Baetis rhodani* recorded during the 31 year of monitoring this locality.

The monitoring of benthic invertebrates as well as planktonic and littoral microcrustaceans in lakes (1996-2011) confirm the general trend that watersheds in southernmost Norway are

more damaged than those situated further north and in the central mountain areas of Southern Norway. Monitoring of microcrustaceans indicates that the water quality was relatively good in 2011. Some acidified lakes, especially in the south-western part of Norway, show signs of slight improvements during the last years, with increased presence of acid-sensitive fauna and increased biodiversity. Biological recovery of lake communities are, however, still weak and unstable and therefore the ecological status of most lakes are unchanged. For some few sites the improvements are unambiguous, indicating that the invertebrate fauna is now recovering in these lakes. However, many acidified lakes are still too toxic to support biological recovery. Furthermore, the recovery time is generally longer for lake invertebrates than for river invertebrates.

Fish

The current status of fish populations in Norwegian lakes greater than 3.0 ha have been assessed in relation to effects of acidification during recent years. The number of lost and damaged populations of the six most common species of fish were per 1990 estimated to be about 9600 and 5400, respectively. Brown trout has suffered the most severe damage with a total loss of 8200 stocks. Lakes in southernmost Norway have suffered the highest damage with about 5000 lost brown trout stocks. Test-fishing with gill nets in lakes throughout Norway, indicate an increase in fish abundance in most areas. However, in the most damaged areas in southernmost Norway fish populations may still be low in abundance, which can be due to acidification. The density of young brown trout in tributaries to lakes in Vikedal and Bjerkreim watersheds in south-western Norway (Rogaland County) has increased significantly since the mid 1990s. The density of young brown trout in Gaular watershed in western Norway has been more unstable. However, there has been an increase in abundance in recent years.

Terrestrial ecosystems

Forest

In the years from 2004 until 2007, crown density for Norway spruce, Scots pine and birch was slightly reduced after a stable period followed by some years of improvement from the late 1990s until the year 2004. In the period 2008 to 2010, crown density improved for all tree species, before it declined again in 2011. Crown colour has been relatively stable for Norway spruce and especially for Scots pine in the last years with only small amounts of discolouring for the observed trees. For birch, small amounts of discolouring were observed in 2008 to 2009. However, from 2009 to 2011 a considerable worsening of crown colour was observed for birch. Crown condition is determined by a number of factors and stresses, such as age, diseases (e.g. various fungi), growth conditions and climatic stress (drought and frost). When trees show signs of poor health, this is often due to an interaction of some of these natural causes. The varying crown condition we have seen in the last years has mainly been due to a combination of climatic stress to the trees and favourable climatic conditions for fungi and insects. Effects of air pollutants may come in addition to or interaction with these factors. The effect of pollutants on forest condition has been small compared with other factors and thus hard to estimate. In the future, effects of climate change may play a larger role. Results from ecological investigations on the intensive monitoring plots suggest that the forest environment in general is stable, although there have been large fluctuations from year to year in some measurements. However, these fluctuations are probably within the normal range of variation for boreal coniferous forests.

Terrestrial flora and fauna

In 2011 the ground vegetation was investigated in the monitoring sites in Lund (Rogaland), Åmotsdalen (Sør-Trøndelag) and Grytdalen (Telemark). Observed changes in the ground vegetation of birch forest in Lund, with an increase in abundance for the grasses *Agrostis capillaris* and *Molinia caerulea*, occurrence of algae on the ground, and a reduction for *Vaccinium myrtillus*, indicate a continued high deposition of nitrogen. Increases in the abundance of weakly nutrient-demanding bryophytes may indicate reduced acidification and some increase in nutrients, reflected by a minor increase in soil pH, Kjeldahl nitrogen, exchangeable cations and base saturation. Reductions in recorded species numbers and the abundance of several vascular plants and some bryophytes in Åmotsdalen are probably due to strong grazing pressure from livestock, as well as previous grazing by small rodents (2007, 2010). In spruce forest in Grytdalen many vascular plants have decreased in abundance since 1988 and number and abundance of bryophytes have decreased, both from 1988 to 2011 and since 2003. Grytdalen is located in a part of Norway with previously high levels of pollutants, a possible contributing factor in the reduction of many vascular plants. Strong grazing by small rodents in 2010/2011 may also have contributed to the decrease in abundance, especially for grass species and bryophytes, but reduced species number and abundance of small bryophytes are probably also related to climate change.

Surveys of epiphytic vegetation on birch trunks at the monitoring sites (pine at Solhomfjell) show clear relationships between lichen cover and damage status and deposition patterns of pollutants, with the lowest cover and highest damage frequency in the southern-most sites. The epiphytic flora of the monitoring sites in Lund and Åmotsdalen showed reduced damage frequency on lichens in both sites and an increase in coverage in Åmotsdalen. In Lund the lichen cover decreased, as the cover of algae continued to increase. These changes may be linked to effects of reduced sulphur deposition and a milder and moister climate the last few decades. However, Lund is still affected by high levels of nitrogen deposition.

The bird populations of the monitoring sites do not show observable effects of long-range or local pollution. Golden eagles and gyrfalcons at the monitoring sites exhibited similar patterns of production at southern polluted sites compared to northern sites, although with considerable variability due to fluctuations in their food supply. There are still significant levels of toxic organic compounds in eggs of several species of birds of prey. The levels have been declining, but their effect on i.a. eggshell thickness is still higher than pre 1947. There is no indication that population variation in passerine birds is significantly different in southern compared to northern sites. Hatching success of pied flycatchers has also been at comparable levels in southern and northern sites for several years. During the last few years passerine bird populations have decreased somewhat at most mountain sites. After some years of poor hatching success for pied flycatchers at individual sites, hatching success was at normal levels in 2011.

1. Innledning

I Norge er det i dag tre overvåkingsprogrammer som overvåker effekter av langtransporterte forurensninger på økosystemer; ”Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør”, ”Overvåkingsprogram for skogskader” (OPS) og ”Program for terrestrisk naturovervåking” (TOV). Disse tre programmene organiserer omfattende måleprogrammer på luft, vann, jord og skog samt akvatisk og terrestrisk fauna. Dette er store og arbeidskrevende programmer hvor mange norske forskningsmiljøer er involvert. Resultatene rapporteres i forskjellige hovedrapporter og delrapporter, og det kan derfor være vanskelig å få den totale oversikten over hovedresultatene fra overvåkingsprogrammene og hvordan de kompletterer og utfyller hverandre.

Vi ønsker her å gi en kortfattet og samlet oversikt over de viktigste resultatene fra de tre overvåkingsprogrammene. For en grundig dokumentasjon om gjennomføring og resultater henviser vi til rapportene som denne sammendragsrapporten baserer seg på (se kapittel 5).

Felles for alle overvåkingsprogrammene er en målsetning om at resultatene skal brukes for å vurdere behovet for tiltak og å vurdere virkninger av tiltak. Overvåkingen skal dessuten gi en oversikt over forurensningssituasjonen og nødvendig kunnskap om generelle forurensningsproblemer, og er i mange tilfeller et ledd i internasjonale avtaler som Norge har underskrevet. Overvåkingen gjennomføres for å kunne:

- treffe beslutninger om tiltak nasjonalt
- dokumentere effekter av internasjonale avtaler
- dokumentere behov for ytterligere tiltak internasjonalt og styrking av avtalene
- vurdere behov for og eventuelt omfang av reparerende tiltak
- gi grunnlag for informasjon generelt til politikere, myndigheter og publikum

1.1 Presentasjon av programmene

Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør

Programmet for ”Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør” startet i 1980 i regi av Statens forurensningstilsyn (SFT) (i dag Klima- og forurensningsdirektoratet, Klif) etter avslutningen av forskningsprosjektet ”Sur nedbørs virkning på skog og fisk” (SNSF-prosjektet). Formålet til ”Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør” er blant annet å klarlegge endringer i luft, vannkjemi og jord relatert til langtransporterte luftforurensninger over tid og hvilken virkning dette har på akvatisk fauna (bunndyr, krepsdyr og fisk). Klif har hovedansvaret for koordineringen av overvåkingsprogrammet og administrerer overvåkingen av atmosfæriske tilførsler og den vannkemiske overvåkingen. Direktoratet for naturforvaltning (DN) administrerer den biologiske delen. Det faglige ansvaret for de forskjellige delene av programmet er fordelt mellom Norsk institutt for luftforskning (NILU) (atmosfæriske tilførsler), Norsk institutt for vannforskning (NIVA) (vannkjemi), Norsk institutt for naturforskning (NINA) (fisk- og krepsdyrundersøkelser) og LFI, Uni Miljø (bunndyrundersøkelser).

Overvåkingsprogram for skogskader (OPS)

Landbruksdepartementet er oppdragsgivere og finansierer ”Overvåkingsprogram for skogskader” (OPS) som ble opprettet i 1985. Formålet til OPS er blant annet å klarlegge skadeomfanget på norsk skog, vise utviklingstendenser over tid, og belyse i hvilken grad langtransporterte luftforurensninger fører til skogskader i Norge. Programmet blir utført av NILU (atmosfæriske tilførsler) og Skog og landskap med landsrepresentative undersøkelser av skogtilstanden og av skogøkologiske undersøkelser på ICP Forests intensivflater. Skog og landskap koordinerer OPS.

Program for terrestrisk naturovervåking (TOV)

Program for terrestrisk naturovervåking (TOV) ble startet av Direktoratet for naturforvaltning (DN) i 1990 for å belyse effektene av langtransporterte forurensninger på representative terrestriske økosystemer i norsk natur. Programmet omfatter studier av effekter av forsuring, nitrogengjødsling, metaller og organiske miljøgifter. Det foregår dels som integrerte studier av jord, vegetasjon og fauna i sju overvåkingsområder og dels i form av landsomfattende og regionale kartlegginger av status for noen biologiske forurensningsindikatorer. DN står for finansiering av TOV og har støttet seg til et fagråd i utviklingen og gjennomføringen av programmet. Det faglige ansvaret for de forskjellige delene av programmet er lagt til NINA (markvegetasjon i bjørkeskog, epifyttisk vegetasjon, fauna, miljøgifter i næringskjeder) og Universitet i Oslo (vegetasjon i barskog i Solhomfjell). Fra og med 2001 er TOV generelt orientert mot effekter av ulike påvirkningsfaktorer på biologisk mangfold.

I 1988 etablerte Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (fra 2006 Norsk institutt for skog og landskap) vegetasjonsovervåking i granskog. Siden 2001 er resultatene fra denne vegetasjonsovervåkingen og fra TOVs vegetasjonsovervåking i bjørkeskog (barskog i Solhomfjell) i økende grad sett i sammenheng. Fra 2005 har DN bidratt med midler til videreføring av vegetasjonsovervåkingen i granskog, og fra 2007 er resultatene fra både bjørkeskog og granskog presentert i samme rapport.

1.2 Overvåkingsprogrammene i internasjonalt perspektiv

Resultater fra de norske overvåkingsprogrammene er et viktig redskap for norske forvaltningsmyndigheter til å holde en oversikt over naturtilstanden i Norge og hvordan den påvirkes/endres av langtransporterte forurensninger. Resultatene brukes imidlertid også til å oppfylle Norges forpliktelser i de internasjonale avtalene under “Konvensjonen om langtransporterte grenseoverskridende luftforurensninger” (CLRTAP Convention on Long-range Transboundary Air Pollution) som ble etablert i 1979. CLRTAP er en rammeavtale som har til formål å verne mennesker og miljø mot luftforurensning. Konkrete forpliktelser om utslippsreduksjoner er nedfelt i protokoller. I dag finnes det syv protokoller under konvensjonen som regulerer utslipp. Årstallene i parentes viser når protokollen ble undertegnet;

1. **Nitrogenprotokollen (1988)** forplikter landene til å redusere sine NO_x-utslipp til 1987-nivå.
2. **VOC-protokollen (1991)** forplikter landene til å redusere utslippene av flyktige organiske komponenter (VOC) med 30 % relatert til 1988 (eller et valgfritt år mellom 1984 og 1990).
3. **Svovelprotokollen (1985)** forplikter landene til å redusere utslippene av svovel med 30 %

4. **Den 2. Svovelprotokollen (1994)** forplikter landene til å redusere sine utslipp av svovel slik at overskridelsen av tålegrensen for tilførsler av svovel reduseres med minst 60 % relativt til 1980-nivå. Denne protokollen erstatter den 1. Svovelprotokollen.
5. **Tungmetallprotokollen (1998)** forplikter landene til å gjennomføre tiltak for å redusere utslippene av tungmetaller (Pb, Hg, Cd) til 1990-nivå eller en gitt referanse mellom 1985 og 1990.
6. **POP-protokollen (1998)** forplikter landene til å gjennomføre tiltak for å redusere utslippene av et utvalg (ca. 20) persistente organiske forbindelser (POP) i forhold til 1990 eller en gitt referanse mellom 1985 og 1990.
7. **Multi-effekt/multi-forurensningprotokollen (Gøteborg-protokollen) (1999)** tar for seg forsuring, eutrofiering og bakkenær ozon som forårsakes av utslipp av svovel, nitrogenoksider, ammonium og flyktige organiske komponenter (VOC). Denne protokollen ble revidert mai 2012 (se avsnitt 2.1)

Gjennom protokollene forplikter landene seg til å overvåke utslipp, tilførsler og effekter av langtransporterte forurensninger. Alle aktivitetene er organisert i samarbeidsprogrammer hvor programsentre er ansvarlig for samordning og rapportering av data fra alle deltagende land. Et program omhandler registrering av utslipp, overvåking av luft- og nedbørkjemi samt modellering av hvordan luftforurensninger beveger seg (Det europeiske måle- og evalueringsprogrammet for langtransporterte forurensninger - EMEP). I tillegg finnes syv forskjellige programmer (International cooperative programmes - ICPs) som omhandler effekter; vann (ICP Waters), skog (ICP Forests), økosystem struktur (ICP Integrated Monitoring), vegetasjon (ICP Vegetation), materialer (ICP Materials), tålegrenser (ICP Modelling and Mapping) og menneskelig helse (Joint TF on Human Health (sammen med WHO)).

Norge bidrar aktivt innen de fleste av disse programmene, både med data og med faglig ekspertise. Resultater fra de norske overvåkingsprogrammene "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør", OPS og TOV bidrar til å oppfylle de norske forpliktelsene om å overvåke effektene av de forskjellige protokollene. Data fra programmene blir rapportert direkte til EMEP og ICP-ene hvor de blir bearbeidet og rapportert sammen med data fra andre europeiske og nord-amerikanske land.

Programmet "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør" bidrar også til å oppfylle Norges forpliktelser om overvåking og rapportering av økologisk tilstand i vannforekomster ihht EUs Vanndirektiv.

2. Luft og nedbør

Den atmosfæriske tilførselen av forurensende forbindelser overvåkes ved måling av kjemiske forbindelser i luft og nedbør. Forurensningene tilføres med nedbør, og ved tørravsetning av gasser og partikler. Målet for overvåking av luftens og nedbørens kjemiske sammensetning på norske bakgrunnsstasjoner er å registrere nivåer og eventuelle endringer i tilførselen av langtransporterte forurensninger. Bakgrunnsstasjonene er derfor plassert slik at de er minst mulig påvirket av nærliggende utslippskilder. NILU startet regelmessig prøvetaking av døgnlig nedbør i 1971, med de fleste stasjonene på Sørlandet. Senere er stasjonsnett og måleprogrammet utvidet for å gi bedret informasjon om tilførsler i hele landet.

Måling av kjemiske hovedkomponenter i nedbør ble i 2011 utført døgnlig ved kun en stasjon (Birkenes) og på ukebasis ved femten stasjoner (*Figur 1*). Konsentrasjonene av tungmetaller i nedbør er bestemt på fire stasjoner med ukentlig prøvetaking. De uorganiske hovedkomponentene i luft er bestemt på totalt seks stasjoner med ulik prøvetakingsfrekvens. Kontinuerlige målinger av ozonkonsentrasjoner i luft er utført på åtte stasjoner. Partikkelmålinger av PM₁₀ og PM_{2,5} er utført på tre stasjoner, der partikkelmasse og organisk og elementært karbon (OC og EC) er bestemt. Organiske miljøgifter og tungmetaller i luft er bestemt på tre stasjoner og en stasjon med nedbørprøvetaking av organiske miljøgifter.

2.1 Svovel- og nitrogenforbindelser (hovedkomponenter)

Utslipp

Utslipp av forurensninger til atmosfæren skjer fra en lang rekke naturlige og antropogene kilder. Forbrenning av fossilt brensel er den viktigste kilde til svoveldioksid og nitrogenoksider i Europa. I tidsrommet 1950-1970 var det en markert økning i utslippene av både svoveldioksid og nitrogenoksider, men siden 1980 har utslippene av spesielt svovel blitt redusert signifikant pga internasjonale avtaler (kapittel 1.2). Utslippene av svoveldioksid, nitrogenoksider og ammoniakk har blitt redusert med hhv. 65 %, 25 % og 29 % fra 1990 til 2009 (EMEP 2011). Utslipsreduksjonen, spesielt for svovel, er en del høyere om man ser fra 1980, men det er naturlig å sammenligne med 1990 da dette er referanseåret man bruker i Gøteborgprotokollen. Målsetningen var å redusere svovelutslippene med 63 % innen år 2010 sammenlignet med 1990. Utslippene av nitrogenoksider og ammoniakk skal reduseres med henholdsvis 41 % og 17 %. I mai 2012 ble Gøteborg-protokollen revidert, og det ble satt nye utslippsmål fram mot 2020 med 2005 som basisår. De 27 EU landene har tatt på seg følgende forpliktelser SO₂: 59 %, NO_x: 43 %, nmVOC: 28 %, ammoniakk: 6 % og PM_{2,5}: 22 %.

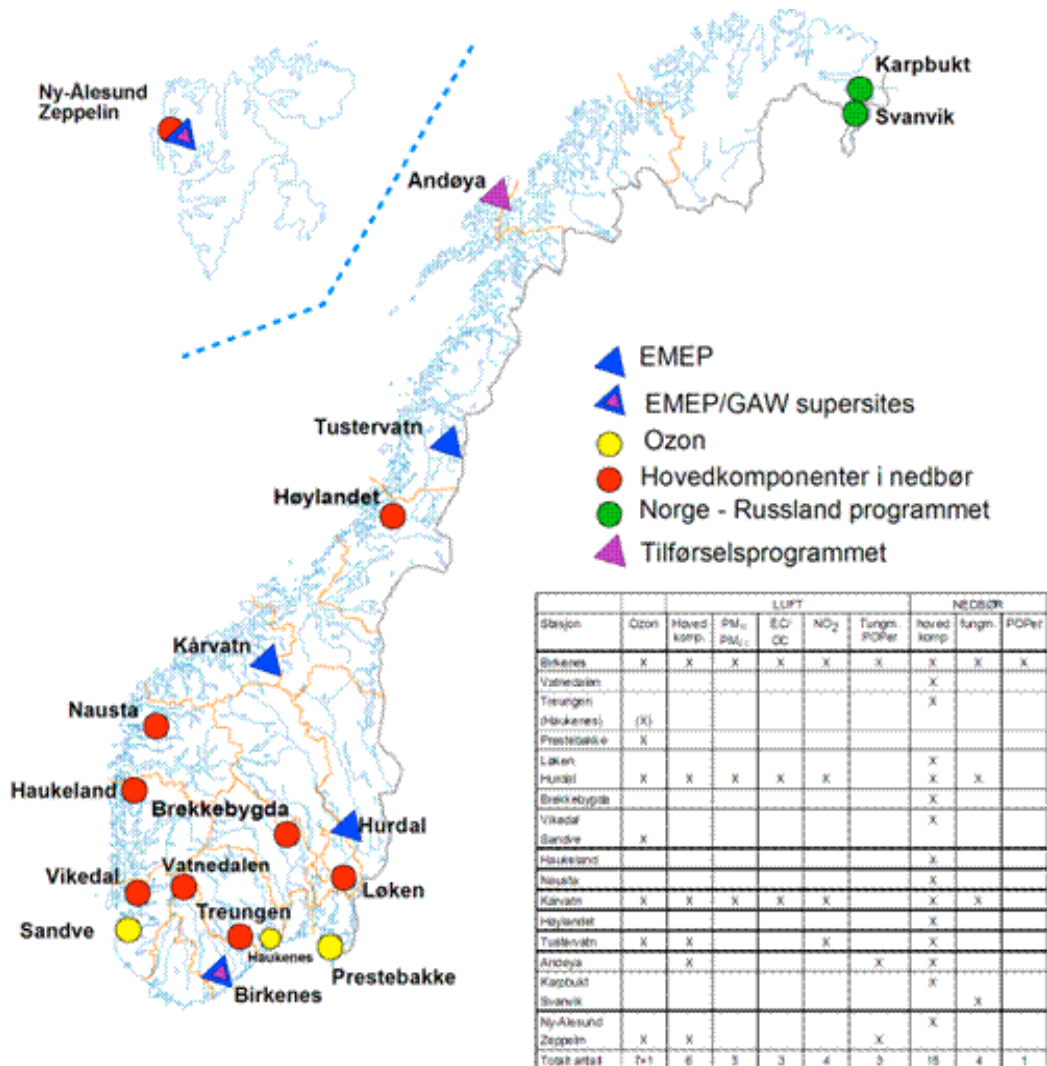
Nedbørkjemi - våtavsetninger

Ioneinnholdet utenom sjøsalter i nedbør avtar nordover fra Sør-Norge og er minst i fylkene fra Møre og Romsdal til Troms. De høyeste årsmiddelkonsentrasjonene for de fleste hovedkomponentene ble i 2011 målt på Birkenes. Våtavsetningen av sulfat, nitrat, ammonium og sterk syre var størst langs kysten fra Aust-Agder til Hordaland. Regionale fordelinger av middelkonsentrasjoner og våtavsetninger er vist på kart i *Figur 2*.

Det er ikke noen klar generell sesongvariasjon, men den høyeste avsetningen tenderer å komme på vårsiden. Avsetningen er dog varierende fra stasjon til stasjon og gjenspeiler ofte nedbørvariasjonen hvor 2011 var et spesielt vått år. Nedbørmengden for Norge som helhet, var 130 % sammenlignet med normalen (met.no info, 13/2011), og dette er det våteste året siden 1900.

I et lengre tidsperspektiv har årsmiddelkonsentrasjonene av sulfat og sterk syre avtatt betraktelig de siste 20 årene. *Figur 3* viser veide gjennomsnittsverdier for fem representative målesteder på Sørlandet og Østlandet, og man ser klart reduksjonen av nedbørens sulfatinnhold. Innholdet av nitrat og ammonium viser også en nedadgående trend.

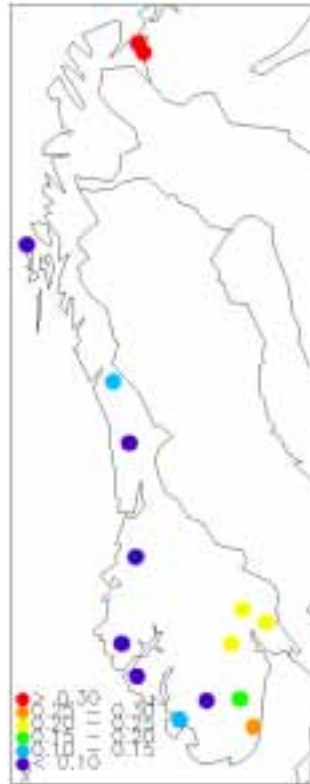
Årsmiddelkonsentrasjonene av sulfat i nedbør har avtatt signifikant siden 1980 på alle målesteder. I perioden 1980-2011 var reduksjonen i sulfatkonsentrasjoner mellom 75 % og 91 %; fra 1990 mellom 54 % og 81 % reduksjon.



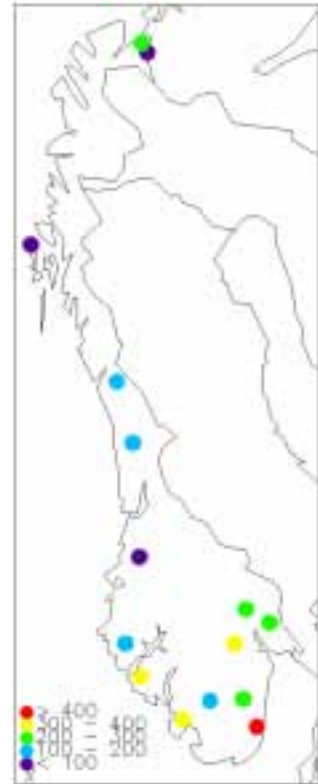
Figur 1. Lokalteter som inngår i overvåkingsprogrammet for atmosfærisk tilførsel og bakkenær ozon i 2011.

Figure 1. Localities in the monitoring program for atmospheric deposition and ground level ozone in 2011.

Sulfat –
konsentrasjoner
i nedbør 2011
mg S/l



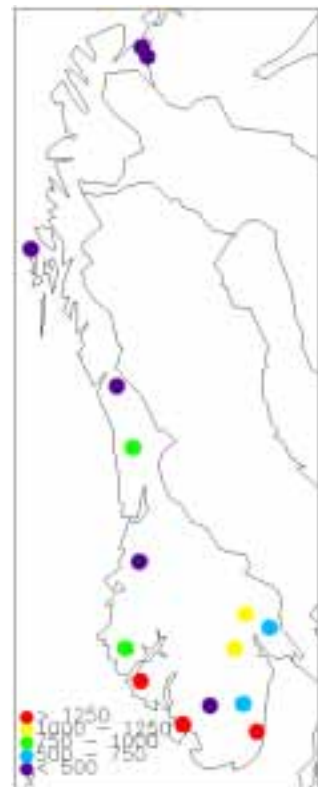
Sulfat –
våtavsetning i
nedbør 2011
mg S/m²



pH
middelverdier
2011



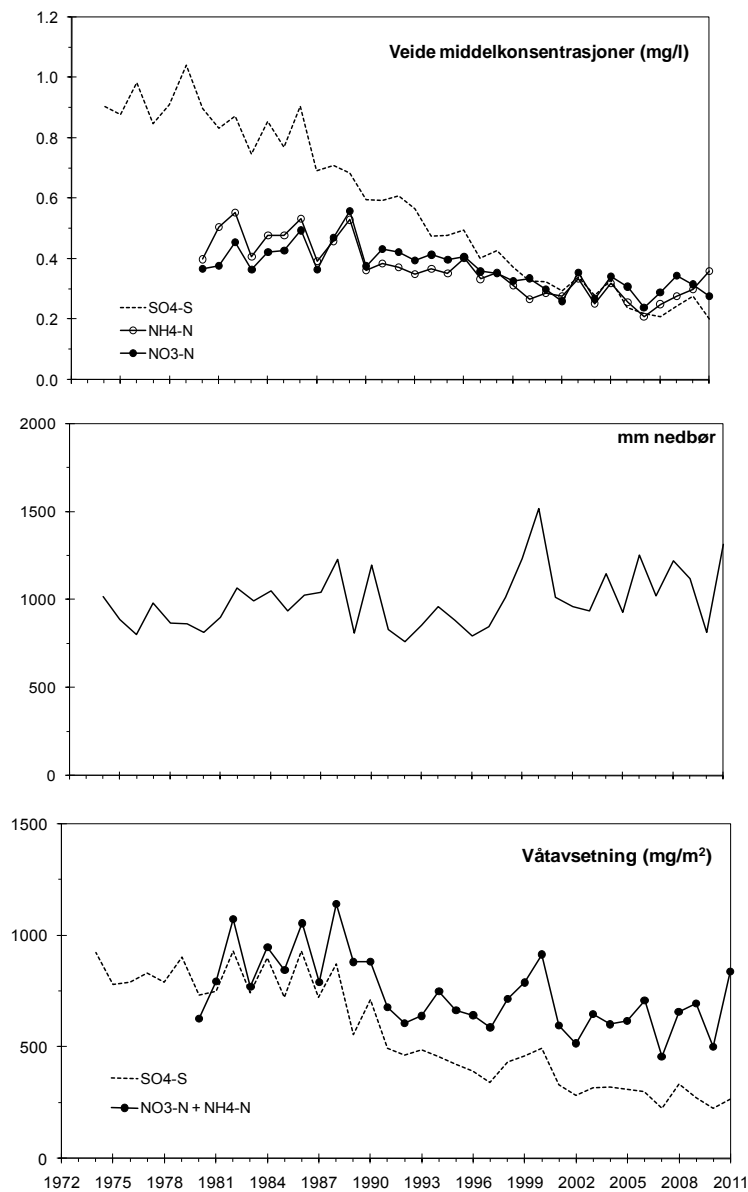
Sum nitrat og
ammonium
avsetning
2011
mg N/m²



Figur 2. Middelkonsentrasjoner i nedbør av sulfat og pH, våtavsetning av sulfat og nitrat + ammonium på norske bakgrunnsstasjoner i 2011.

Figure 2. Annual mean concentrations of sulphate and pH, and wet deposition of sulphate and nitrogen compounds in Norway, 2011.

Årsmiddelkonsentrasjonene av nitrat har en signifikant reduksjon siden 1980 på Kårvatn og alle stasjonene sør for denne. Reduksjonene har vært på mellom 29 % og 49 %. For ammonium har det vært en signifikant reduksjon ved nesten alle de samme målestasjonene utenom Vatnedalen og Kårvatn. Reduksjonen har vært noe større enn for nitrat, mellom 44 % og 61 %. Det har vært en økning av ammoniumkonsentrasjonen på Tustervatn, sannsynligvis pga økt lokal landbruksaktivitet. Nitrogentrendene er signifikante også fra 1990, men noe lavere reduksjoner enn sammenlignet med 1980. Basekationer (representert ved kalsium) har også hatt en signifikant reduksjon på flere stasjoner.



Figur 3. Veide årsmiddelkonsentrasjoner av sulfat (sjøsaltkorrigert), nitrat og ammonium, gjennomsnittlige årlige nedbørmengder og våtavsetninger av sulfat og nitrogenkomponenter fra 1973 til 2011 for fem representative stasjoner på Sørlandet og Østlandet: Birkenes, Vatnedalen, Treungen, Gulsvik/Brekkebygda og Løken.

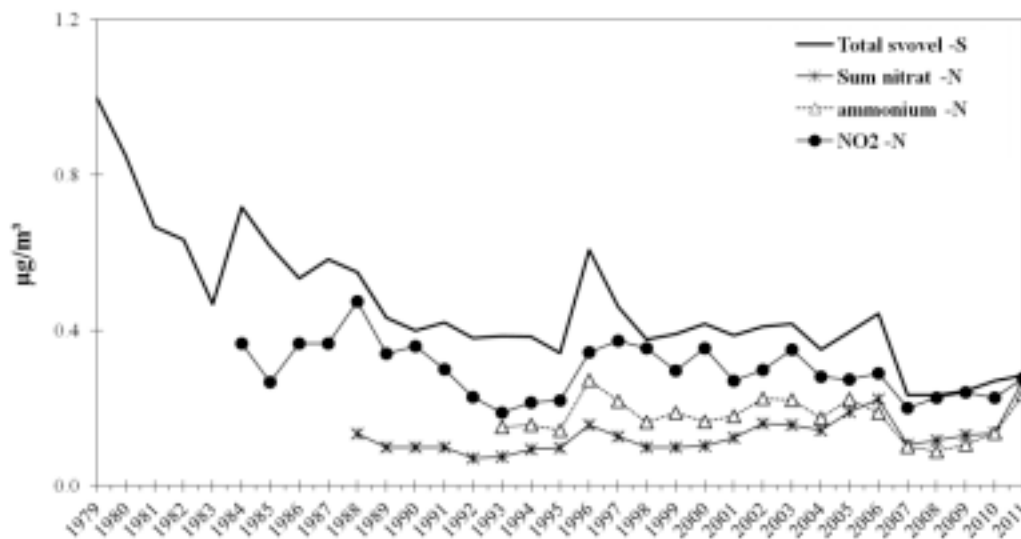
Figure 3. Annual mean concentrations of sulphate (corrected for sea salts), nitrate and ammonium, averaged annual precipitation amounts and wet deposition of sulphur and nitrogen from 1973 to 2011 based on fem representative sites in Southern Norway.

Luftens innhold av forurensninger – tørravsetninger av svovel og nitrogen

Årsmiddelkonsentrasjonene av svoveldioksid i luft var høyest på Birkenes med $0,11 \mu\text{g S/m}^3$, mens Hurdal og Zeppelinfjellet viser nesten samme nivå med $0,10 \mu\text{g S/m}^3$. Høyeste døgnmiddel for svoveldioksid ble målt på Zeppelinfjellet med $2,0 \mu\text{g S/m}^3$ 13. mars 2011, og trajektoriene for denne dagen viser også at luftmassene kommer fra Sibir. Høyeste årsmiddel av partikulært sulfat ble målt på Birkenes ($0,33 \mu\text{g S/m}^3$). Den høyeste episoden ble observert på Birkenes 4. november ($3,20 \mu\text{g S/m}^3$) hvor trajektoriene viser at luften kommer rett sørfra og Sentral-Europa. Også Hurdal observerer en relativt høy sulfatepisode med $2,06 \mu\text{g S/m}^3$ 27. februar. Det er høye sulfatepisoder både på Hurdal og Birkenes i perioden 25.-28. februar grunnet lufttransport fra kontinentet.

Høyest NO_2 -nivå observeres på Hurdal med årsmiddel på $0,79 \mu\text{g N/m}^3$. Denne stasjonen påvirkes av den store biltrafikken i denne regionen. Den høyeste døgnmiddelverdien av NO_2 ble også målt på Hurdal ($10,3 \mu\text{g N/m}^3$) 27. januar. Årsmiddel- og prosentkonsentrasjonene viser at stasjonene i Sør- og Øst-Norge har de høyeste nitrogendioksidnivåene. Månedsverdiene for NO_2 var høyest i vintermånedene. Høyeste årsmiddelverdier for "sum nitrat" og for ammonium hadde hhv. Birkenes med $0,27 \mu\text{g N/m}^3$ og Hurdal med $0,41 \mu\text{g N/m}^3$.

Årsmiddelkonsentrasjonene av nitrogenkomponentene i luft i 2011 var generelt en del høyere sammenlignet med 2010, og på nivå med 2006. De mellomliggende årene har til sammenligning vært lave *Figur 4*. For svovel var nivået relativt likt foregående år. I et lengre tidsperspektiv har reduksjonene for svoveldioksid med 1980 som referanseår, blitt beregnet til å være mellom 89 % og 97 % (78-95 % fra 1990), og for sulfat mellom 77 % og 81 % (59-65 % fra 1990) på fastlands-Norge.



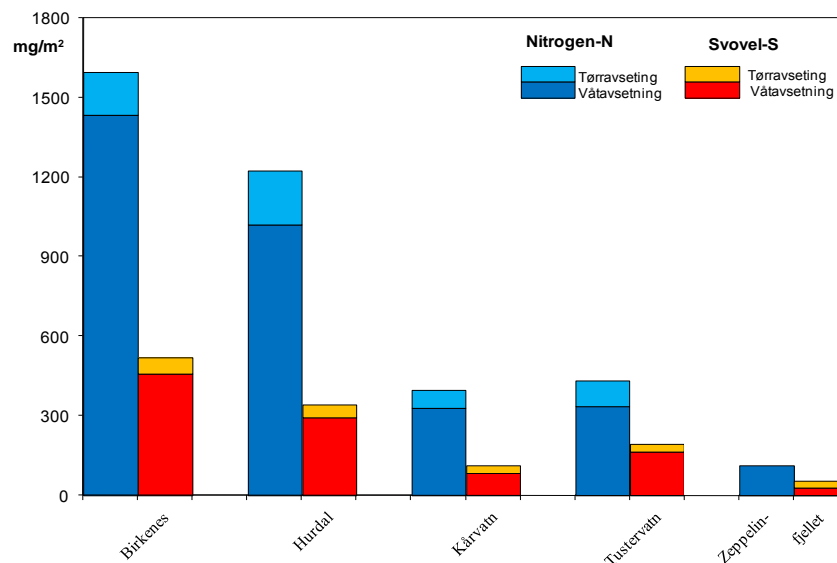
Figur 4. Midlere årlige konsentrasjoner i luft av total svovel ($\text{SO}_2 + \text{SO}_4^-$), oksidert nitrogen ($\text{HNO}_3 + \text{NO}_3$), redusert nitrogen (NH_4) og NO_2 på tre norske EMEP-stasjoner (Birkenes, Kårvatn og Tustervatn).

Figure 4. Average annual mean concentrations of airborne sulphur, oxidized and reduced nitrogen compounds at three Norwegian EMEP sites Birkenes, Kårvatn and Tustervatn.

Årsmiddelkonsentrasjonen av ammonium viser en signifikant reduksjon på 50 % siden 1993. Før dette ble ikke målingene av redusert nitrogen splittet opp i ammonium og ammoniakk. Summen nitrat+salpetersyre i luft viser ingen entydig tendens siden målingene startet i mellom 1986 og 1989. Det er både positive og negative trender. Imidlertid har det vært en tydelig og signifikant nedgang for NO₂; en reduksjon på 30-74 % på de tre fastlandsstasjonene, *Figur 4*.

Totalavsetning av svovel og nitrogen fra luft og nedbør

Figur 5 viser at våtavsetningen bidrar mest til den totale avsetningen. Bidraget av tørravsatt svovel til den totale avsetning var 13–33 % om sommeren og 7–19 % om vinteren. Tørravsetningen for nitrogenkomponenter bidrar for det meste relativt mer til totalavsetningen enn hva som er tilfelle for svovelforbindelser, især om sommeren. I 2010 og 2011 er muligens tørravsetningsbidraget for redusert nitrogen noe underestimert da det ikke er brukt målte ammoniakkverdier, men antatt et bidrag på 8 % i forhold til målte ammoniumverdier.



Figur 5. Estimert totalavsetning (sum av våt- og tørravsetning) av svovel- og nitrogenforbindelser på norske bakgrunnsstasjoner i 2011.

Figure 5. Estimated total deposition (dry and wet deposition) of sulphur- and nitrogen compounds at Norwegian background monitoring sites in 2011.

2.2 Bakkenært ozon

Forhøyede nivåer av bakkenært ozon er et problem i sommerhalvåret og er vanligvis knyttet til perioder med varmt, tørt og solrikt vær. I tillegg skyldes høye ozonnivåer i Norge hovedsakelig transport av forurensede luftmasser fra kontinentet og forutsetter dermed tilstrekkelig vindtransport fra sørlig sektor (sørøst til sørvest). Det er med andre ord en nær sammenheng mellom værlaget i sommerhalvåret og ozonnivået. I 2011 var det relativt varmt vær og lite nedbør i april, men utover sommeren mer vått. Ozonnivåene i 2011 gjenspeiler dette værlaget, med høye konsentrasjoner i april og generelt lave nivåer deretter. Også i Europa for øvrig, var 2011 et år med lave ozonnivåer (EEA 2012).

Den høyeste maksimumsverdien i 2011 ble registrert på Birkenes med 168 µg/m³, og dernest på Hurdal (151 µg/m³) og Prestebakke (149 µg/m³), dvs godt under terskelverdien for

informasjon til befolkningen på $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. EU-direktivet (EU 2008) gir en målverdi («target value»), som skal være oppfylt innen 2010: Antall dager med overskridelse av maksimal løpende 8-timers middel på $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ skal være 25 eller færre. Målverdien («antall dager») skal regnes som et middel over tre sammenhengende år. På de norske stasjonene er «target value» for ozon oppfylt med god margin. EU-direktivet inneholder også et langtidsmål («long-term objective»), som sier at 8-timersverdien på $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ikke skal overskrides. Det er ikke gitt noen tidsfrist for å oppnå dette målet. I 2010 var langtidsmålet oppfylt ved alle stasjoner unntatt Prestebakke, mens i 2011 ble det brutt på alle stasjoner unntatt Tustervatn. Dette viser at ozonnivåene varierer mye fra år til år. Dette er illustrert i *Tabell 1* der antall episodedøgn og maksimal timemiddelverdi er gitt for 2011 og de foregående 10 årene. Et episodedøgn er definert som et døgn med maksimal timemiddelverdi på minst $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på ett målested eller minst $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på flere målesteder. I *Tabell 1* er også tatt med antall datoer hvert år siden 2000 med overskridelse av grenseverdien på $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som 8-timers middelverdi. Det er imidlertid viktig å merke seg at antall episodedøgn og antall datoer med overskridelse av grenseverdien på $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ er summert for alle målestasjonene. Siden stasjonsnettet for bakkenært ozon har blitt betydelig redusert de siste årene er tallene for de ulike årene i *Tabell 1* dermed ikke direkte sammenlignbare.

Tabell 1. Antall episodedøgn og høyeste timemiddelverdier 2001-2011.

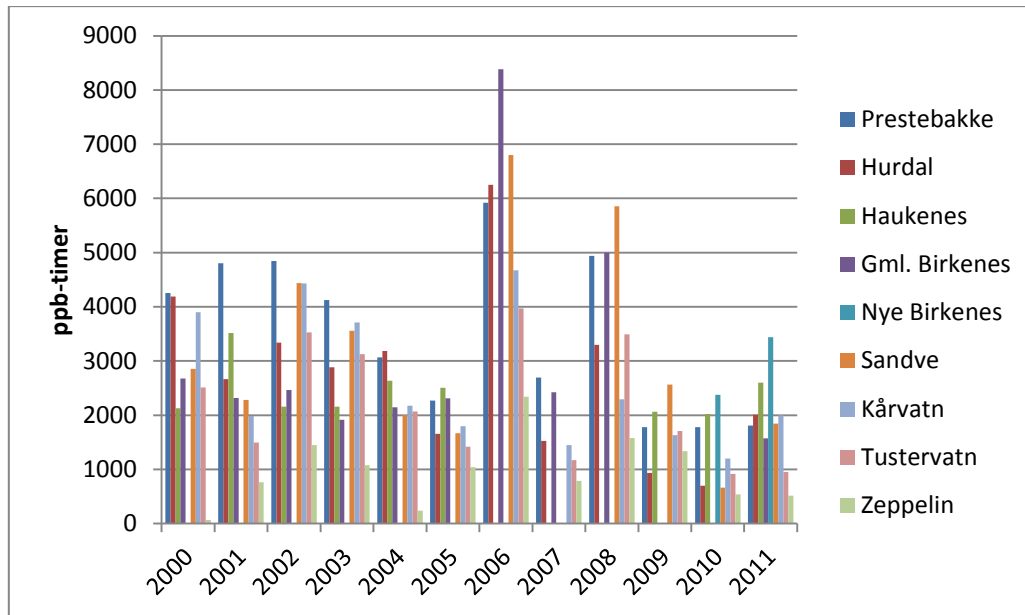
Table 1. Number of exceedance days and highest annual max values for 2001-2011.

År	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Antall episodedøgn	4	19	13	15	8	26	8	14	3	1	9
Høyeste timemiddelverdi ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	144	151	162	150	144	186	139	160	142	145	168
Antall datoer med overskridelse av EU-grenseverdien på $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ^{a)}	5	18	15	21	7	28	8	16	9	3	12

^{a)} Løpende 8-timers middel

Grenseverdien for beskyttelse av vegetasjon er basert på parameteren AOT40, som betegner summen av ozonverdiene som overstiger 40 ppb gjennom vekstsesongen. Grenseverdien for landbruksvekster, 3000 ppb-timer (mai-august), ble ikke overskredet på noen av stasjonene i 2011. Høyest var verdien på Birkenes med 1776 ppb-timer. Pga revisjoner i manualen har grenseverdien på skog blitt redusert fra 10 000 ppb-timer til 5000 ppb-timer (april-september). Denne ble i 2011 overskredet på Birkenes og Haukenes. Høyest var verdien på Birkenes med 6541 ppb-timer. Reduksjonen i grenseverdi for skog kan vise seg å få en del betydning for antall overskridelser i Norge.

EU-direktivets målverdi ("target value") på 9000 ppb-timer, som skal være oppfylt innen 01.01.2010, er i dag oppfylt ved alle de norske stasjonene (*Figur 6*). Verdier over langtidsmålet ("long-term objective") på 3000 ppb-timer har imidlertid forekommet i mange av de siste ti årene. Vi gjør oppmerksom på at AOT-verdiene vist i *Figur 6* refererer til tremåneders perioden mai-juli (som er angitt i direktivet), uten noen "nordisk tilpasning". Med en såkalt nordisk tilpasning, dvs. med beregningsperioden 15. mai til 15. august, ville AOT-verdiene blitt noe lavere i og med at ozonnivået generelt er lavere i august enn i mai i Norge.



Figur 6. 3-måneders AOT-verdi (1. mai – 31. juli) for årene 2000-2011.

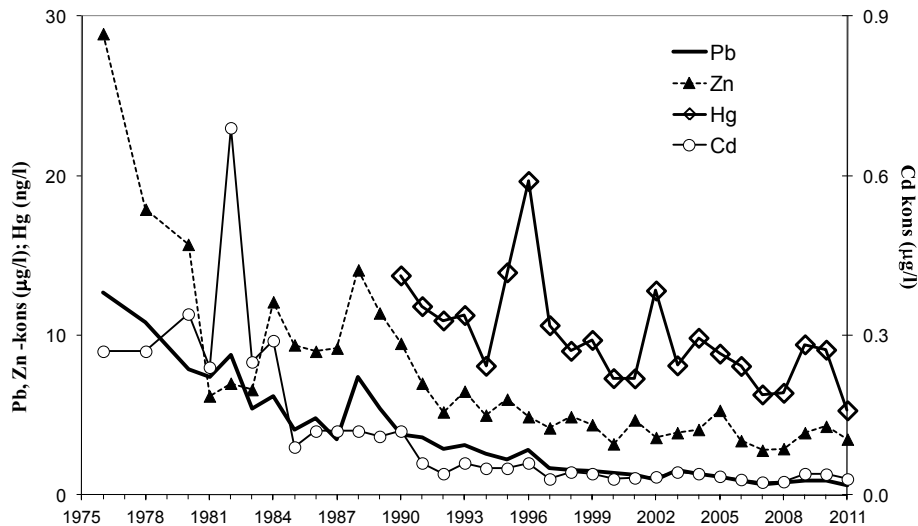
Figure 6. 3-months AOT value (1 May – 31 July) for the years 2000-2011.

2.3 Tungmetaller

Konsentrasjoner av metaller i nedbør

De høyeste årsmiddelkonsentrasjoner av bly og sink ble målt på Hurdal med hhv 0,92 og 6,4 ng/L. Høyest nivå av de andre metallene ble observert på Svanvik i Sør-Varanger grunnet store industriutslipp på Kolahalvøya. Våtavsetningen av bly, krom og vanadium var størst på Birkenes. Hurdal hadde høyest avsetning av sink. For de andre elementene er det høyest våtavsetning på Svanvik.

Det er relativt små forskjeller i 2011 sammenlignet med 2010, men blyinnholdet i nedbør har avtatt med ca. 90 % eller mer på stasjoner med målinger fra 1980 (Figur 7). Hurdal med målinger fra 1987 viser en reduksjon på mer enn 70 %, mens Svanvik ikke viser noen signifikant trend. Innholdet av sink har avtatt med ca. 75 % siden 1980 på Birkenes og Kårvatn, mens kadmiuminnholdet har avtatt med 90 % i samme tidsperiode og stasjoner. Ingen signifikant trend på Svanvik for noen av disse elementene, derimot en økning i nikkel, kobber og kobolt siden 1987. Dette skyldes et signifikant hopp i observasjonene fra 2003 til 2004, Noe som kan komme av endret sammensetning i malmen som blir brukt i smelteverket i Nikel. Kvikksølvkonsentrasjon i nedbør på Birkenes var en del lavere i 2011 enn i 2010. For perioden 1990 til 2011 har reduksjonen vært på 39 % om man kombinerer observasjonene på Lista og Birkenes, Figur 7.



Figur 7. Middelskonsentrasjonene av bly, kadmium og sink i nedbør på Birkenes, Aust-Agder for årene 1976-2011. For kvikksølv er målingene fra 1990-2003 fra Lista.

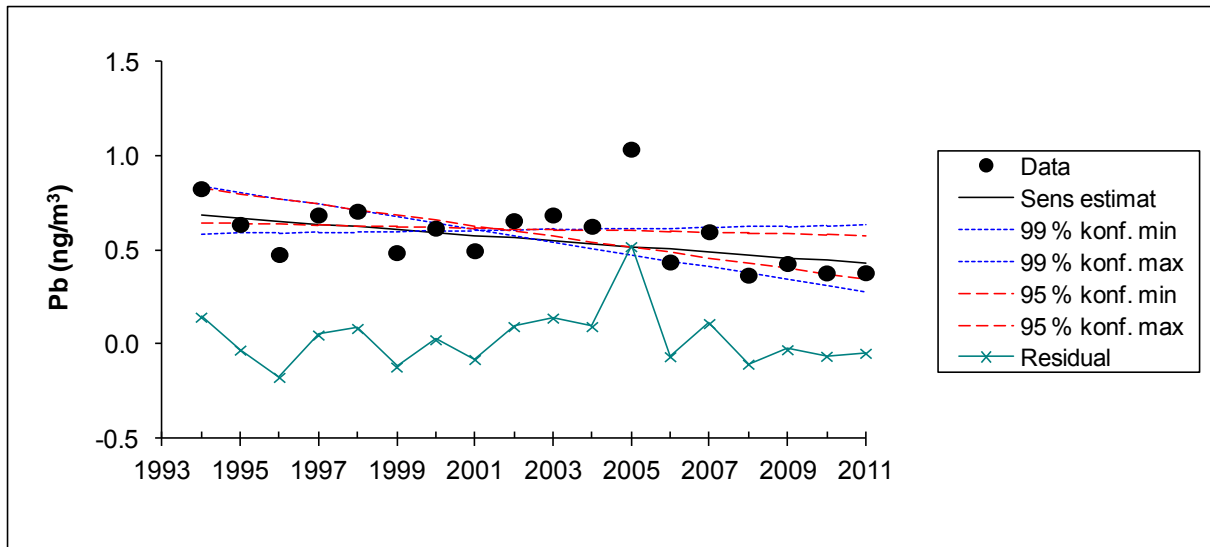
Figure 7. Annual mean concentrations of Pb, Cd and Zn in precipitation at the site Birkenes, 1976-2011. For mercury the measurements was at Lista between 1990 and 2003.

Konsentrasjoner av metaller i luft

Nivåene for alle metallene med unntak av kvikksølv er 2 - 3 ganger høyere på Birkenes enn det som er målt på Zeppelin og Andøy. Dette skyldes at Birkenes er nærmere kildene på kontinentet. Forskjellen mellom kvikksølv og de andre tungmetallene skyldes at kvikksølv eksisterer i atmosfæren hovedsakelig i elementær form, mens andre tungmetaller er knyttet til partikler. Kvikksølv får dermed en bedre spredning enn andre tungmetaller, men også for kvikksølv er nivået høyere på fastlandet enn på Zeppelin.

De fleste elementene har høyest konsentrasjon om vinteren og lavest konsentrasjon om sommeren, spesielt tydelig for Zeppelin. Dette skyldes plasseringen av storskala værsystemer. Et høytrykkssystem over Sibir presser den arktiske front lenger sør vinter og vår, slik at viktige forurensningsområder kommer innenfor de arktiske luftmasser i denne perioden.

På Lista/Birkenes er det en signifikant reduksjon i luftkonsentrasjon for As, Cd, Cr, Pb, Ni og V. Mest markant er reduksjonen i Pb med 63 % siden 1991 (Figur 8). På Zeppelin er det signifikant reduksjon i luftkonsentrasjonene for As, Cd, Pb, Ni og V for perioden 1994-2011. Bly har blitt redusert med 35 %. Kadmium har blitt redusert med ca 35 % på begge stasjoner, men trenden er ikke veldig tydelig (signifikans på 0.1)



Figur 8. Trendanalyse for konsentrasjon av bly i luft på a) Lista (1991-2004) og Birkenes (2004-2011).

Figure 8. Trend analysis of lead in air at the combined dataset from Lista (1991-2004) and Birkenes (2004-2011).

2.4 Organiske miljøgifter

Det har vært målt organiske miljøgifter i luft på ukebasis fra april 1993 på Zeppelin som en del av AMAP programmet. Måleprogrammet i luft og nedbør for CAMP startet på Lista 1991, men disse aktivitetene ble flyttet til Birkenes januar 2004. Høsten 2009 ble det opprettet en ny stasjon på Andøya som del av Tilførselsprogrammet (Green *et al.* 2011).

På Birkenes-observatoriet var følgende parametere de laveste som er målt til nå på Birkenes/Lista: HCB, sum HCH, sum PCB 7 og sum PAH. Nivået av HCB og sum HCH i nedbør var blant de laveste målt til nå og sum PCB 7 hadde den laveste verdien til nå.

På Zeppelin-observatoriet ble det observert det laveste årsmiddel siden målingene startet for parametere sum HCH, sum DDT, sum klordaner og sum PCB. Sum PAH var blant de laveste verdiene målt til nå. HCB har steget litt for hvert år siden 2007. På Andøya-observatoriet var de følgende parametere noe lavere enn i fjor: sum HCH, sum DDT, sum PCB, sum PAH og sum tetraBDE.

I Tabell 2 er det gjort en sammenligning av nivåene på Andøya, Birkenes og Zeppelin. For de fleste komponentene er Birkenes høyere enn de nordlige stasjonene på Andøya og Zeppelifjellet, men med noen unntak som α -HCH, HCB, TBA, HBCD og PBDE hvor de høyeste årsmidlene observeres på Zeppelifjellet. Nivåene på Andøya er stort sett lavere enn på Zeppelin. Disse ikke entydige forskjellene kan tyde på at stasjonene er påvirket av litt ulike kildeområder og muligens ulik hyppighet av observerte episoder. Det tas kun én todagersprøve pr uke og årsmidlet er derfor beheftet med en del usikkerhet. Videre har ulike POPer varierende egenskaper og potensial for transport til arktiske strøk både via luft og hav.

Tabell 2. Sammenligning av gjennomsnitt og min/maks verdier for 2011 på Birkenes, Andøya og Zeppelin. Enhet: pg/m^3 , unntatt PAH (ng/m^3) og PCDD/PCDF/no-PCB (fg/m^3 TE).

Table 2. Comparison of annual averages and min/max values in 2011 at Birkenes, Andøya and Zeppelin. Unit pg/m^3 , except PAH (ng/m^3) and PCDD/PCDF/no-PCB (fg/m^3 TE).

	Birkenes			Andøya			Zeppelin		
	Årsmiddel	Min.	Maks.	Årsmiddel	Min.	Maks.	Årsmiddel	Min.	Maks.
sum PAH	4,36	-	18,7	1,15	-	10,8	2,10	-	11,4
sum DDT	2,44	0,48	14,0	0,64	0,07	2,62	0,42	0,08	1,72
sum klordan	1,08	0,17	2,39	1,13	0,03	1,89	0,91	0,11	1,65
∑HCH	5,78	0,51	23,1	1,17	0,45	3,54	0,89	0,50	1,87
∑HCH	3,93	2,46	14,3	4,71	3,49	7,99	6,32	3,72	11,5
sum HCH	9,71	2,98	32,9	5,78	1,13	9,05	7,21	4,36	13,3
HCB	46,5	25,4	78,5	24,3	9,28	66,1	81,0	66,8	95,3
sum PCB	10,5	3,93	46,3	7,97	2,26	15,8	9,92	5,32	20,3
PCDD	2,78	0,001	26,0						
TBA	3,78	1,34	8,19	4,78	0,45	14,2	8,01	0,01	28,9
sum tetraPBDE	0,12	-	0,27	0,06	0,03	0,14	0,38	-	3,82
sum HBCD	0,38	-	1,39				0,27	-	0,89
sum PFSOA/PFOS/PFOA	1,83	-	4,60	0,74	-	2,10	0,96	-	2,88

2.5 Partikler (PM₁₀ og PM_{2,5}) i luft

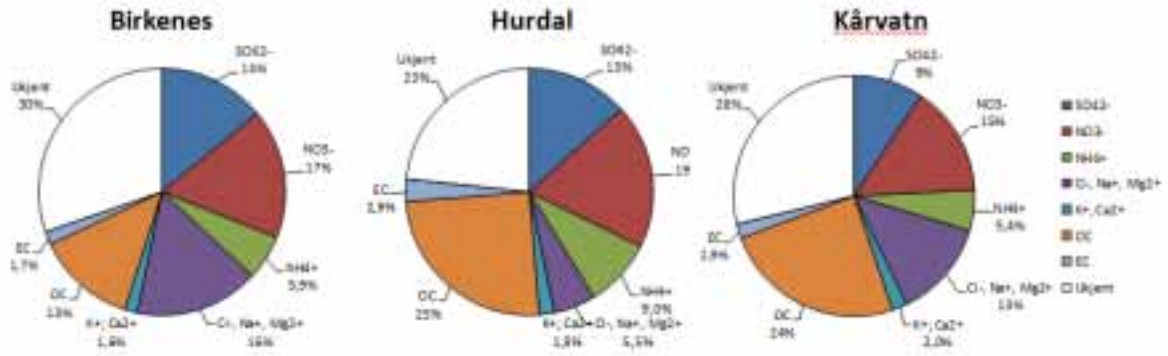
Partikler har vært et fokusområde de siste årene pga effekter både på helse og klima. Partikler i luft har en kompleks sammensetning bestående av mange ulike kjemiske forbindelser fordelt på et stort antall forskjellige partikkelstørrelser. Partiklenes kjemiske sammensetning gir informasjon om utslippskilder samt fysiske og kjemiske prosesser som finner sted i atmosfæren.

For 2011 var årsmidlet for PM₁₀ på Birkenes $7,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hvilket er $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ høyere enn gjennomsnittsverdien for perioden 2000 – 2011. På Hurdal og Kårvatn var årsmidlene hhv. $5,8$ og $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bakgrunnsnivået av PM₁₀ ligger lang under den årlige grenseverdien satt av EU ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), samt de reviderte retningslinjene fra WHO ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). I likhet med tidligere år, ble de høyeste PM konsentrasjonene observert på våren/tidlig sommer.

For Birkenes var årsmidlet for PM_{2,5} $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hvilket er $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ høyere enn gjennomsnittsverdien for perioden 2001 – 2011. På Hurdal og Kårvatn var årsmidlene hhv. $4,3$ og $2,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Årsmidlene for PM_{2,5} ligger lang under den årlige grenseverdien satt av EU ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), og det utgjør 40 % eller mindre av årsmidlet i de reviderte retningslinjene fra WHO som er på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Den gjennomsnittlige kjemiske sammensetning (massebalanse) av PM₁₀ på de tre stasjonene hvor dette ble målt i 2011, er illustrert i Figur 9. Den kanskje mest markerte forskjellen med hensyn på relativ kjemisk sammensetning av PM₁₀ for de tre stasjonene, var det omtrent dobbelt så store relative bidraget av organisk karbon (OC) på stasjonene Hurdal (25 %) og Kårvatn (24 %) sammenlignet med Birkenes (13 %). Videre var et betydelig sjøsaltbidrag karakteristisk for Birkenes (16 %) og Kårvatn (13 %), sammenlignet med kun 5,5 % for Hurdal. Hurdal utmerket seg imidlertid med et betydelig høyere bidrag av elementært karbon

(EC) (2,9 %) enn for Birkenes og Kårvatn (1,7 – 1,9 %). Det høyeste relative bidraget av sekundære uorganiske aerosoler (SIA) til PM₁₀ ble observert for Hurdal (41 %), etterfulgt av Birkenes (37 %) og Kårvatn (30 %). For første gang siden målingene startet på Birkenes i 2001, er nitrat den dominerende enkeltkomponenten i PM₁₀.



Figur 9. Gjennomsnittlig kjemisk sammensetning (massebalanse) av PM₁₀ in 2011.

Figure 9. Mean chemical composition of PM₁₀ in 2011.

3. Det akvatiske miljøet

Programmet

Overvåking av det akvatiske miljøet dekkes i sin helhet gjennom programmet "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør".

I overvåkingsprogrammet for effekter i vann er Norge delt inn i 10 regioner. Inndelingen er basert på en relativt lik forurensningsbelastning innen hver region, samt biogeografiske og meteorologiske forhold. Hovedhensikten med inndelingen er å kunne vise utviklingen av forurensningssituasjonen i ulike deler av Norge. De 10 regionene er vist i *Figur 10*, og er som følger:

- I. Østlandet - Nord
- II. Østlandet - Sør
- III. Fjellregion – Sør-Norge
- IV. Sørlandet - Øst
- V. Sørlandet - Vest
- VI. Vestlandet - Sør
- VII. Vestlandet - Nord
- VIII. Midt-Norge
- IX. Nord-Norge
- X. Øst-Finnmark

Figur 10. Inndeling av Norge i 10 regioner basert på forurensningsbelastning (S- og N-deposisjon), meteorologi og biogeografi. Punktene viser biologiske overvåkingslokaliteter i 2011.

Figure 10. Regional division of Norway based on extent of acidification, meteorology and biogeography. Dots show biological monitoring sites in 2011.



Vannkjemisk overvåking

De kjemiske forholdene i vann og vassdrag overvåkes ved måling av kjemiske hovedkomponenter i vann. Programmet omfatter undersøkelser i innsjøer og feltforskningsområder, samt i to elver (*Figur 11*). Målet for overvåkingen er å registrere konsentrasjonsnivåer og eventuelle kjemiske endringer som kan knyttes til endringer i tilførsler av langtransporterte forurensninger. Resultatene brukes som underlag for å forstå de biologiske responsene. Utførlig beskrivelse av metodikken er i årsrapporten fra overvåkingen (Klif 2011).



Figur 11. Lokalteter som inngår i det vannkjemiske overvåkingsprogrammet i 2011.

Figure 11. Locations in the surface water monitoring programme 2011.

Biologisk overvåking

Det biologiske overvåkingsprogrammet omfatter undersøkelser av:

- Bunndyr i innsjøer og elver
- Planktoniske og litorale krepsdyr (småkreps) i innsjøer
- Fiskebestander i innsjøer og elver

Den biologiske overvåkingen gir informasjon om korttidseffekter og akkumulerte effekter av forurensning på vannlevende organismer, og er dessuten nødvendig for å kunne evaluere effekten av forurensningsreducerende tiltak over tid. Utvalget av overvåkingslokaliteter for biologiske undersøkelser er mindre egnet for å studere regionale forskjeller i forurensningsskader og -utvikling.

Innsjøprogrammet omfattet opprinnelig omkring 100 innsjøer (BIOLOK-sjøer), hvorav 10 lokaliteter undersøkes hvert år mht. både bunndyr, krepsdyr og eventuelt fisk der dette finnes (Gruppe 1-sjøer), 10 lokaliteter undersøkes hvert år mht. bunndyr og krepsdyr (Gruppe 2-sjøer), mens de øvrige innsjøene undersøkes hvert 4-5 år (Gruppe 3-sjøer). Aktiviteten ble gradvis redusert fra 2002 og antall Gruppe 3-sjøer er nå mer enn halvert. En av Gruppe 1 sjøene som har vært overvåket helt siden 1996, Øvre Jerpetjern i region II (Østlandet – Sør) er tatt ut av programmet fom. 2011. I 2011 ble totalt 24 innsjøer undersøkt (Figur 10 og Tabell 3). Hovedvekt ble lagt på region IV (Sørlandet – Øst) og VII (Vestlandet – Nord) i tillegg til årlige innsjøer fordelt på de øvrige åtte regionene. Innsjøovervåkingen har pågått siden 1996, og for noen få av innsjøene foreligger det data på bunndyr og krepsdyr fra alle 16 årene. Det gjennomføres dessuten bunndyrundersøkelser i fem vassdrag fordelt på regionene V-VII (to

av disse overvåkes hvert andre år). Tidligere ble fiskebestandene i disse også undersøkt, men fra 2009 gjennomføres fiskeundersøkelser kun i Vikedalsvassdraget.

Mer detaljert informasjon om metodikk for overvåking av biologi i ferskvann samt vurdering av forurensningstilstanden basert på denne, er presentert i årsrapporten for 2010 (Klif 2011) og i klassifiseringsveilederen (Direktoratsgruppa for vanddirektivet 2009).

Eventuelle forurensningsskader vil være avhengig av en kombinasjon av ulike kjemiske, fysiske og biologiske forhold. Den kjemiske overvåkingen kan derfor kun gi indikasjoner om biologiske skader. En tidsforskyvning mellom kjemisk gjenhenting ("recovery") og biologisk gjenhenting i tidligere forurensede lokaliteter, må dessuten forventes.

*Tabell 3. Innsjøer som ble undersøkt i 2011 mht vannkjemi, bunndyr, planktoniske- og litorale krepsdyr samt fisk. Årlige intensivsjøer (Gruppe 1-sjøer) er angitt med uthevet skrift mens øvrige innsjøer som overvåkes årlig (Gruppe 2-sjøer) er merket med *.*

Table 3. Locations in the monitoring programme 2011.

Lok.nr	Region	Fylke	Kommune	Innsjø	NVE-vannr.	Vannkjemi	Bunndyr	Krepsdyr	Fisk
I-1	I	He	Stor-Elvdal	Atnsjøen	126	x	x	x	(x)
I-5	I	He	Engerdal	<i>Stortjørna*</i>	32130	x	x	x	
II-2	II	Ø	Aremark	<i>Bredtjenn*/Breitjern</i>	3555	x	x	x	
II-12	II	B	Flå	<i>Langtjern*</i>	7272	x	x	x	
III-1	III	Op	Sel	<i>Rondvatn*</i>	231	x	x	x	
III-5	III	T	Hjartdal	<i>Heddersvatn*</i>	69	x	x	x	
IV-3	IV	AA	Grimstad	Bjorvatn	10482	x	x	x	
IV-4	IV	AA	Birkenes	Risvatn	11074	x	x	x	x
IV-5	IV	AA	Evje og Hornnes	Lille Hovvatn	10069	x	x	x	
IV-8	IV	VA	Vennesla	Drivenesvatn	11147	x	x	x	x
IV-9	IV	VA	Vennesla	<i>Songevatn*</i>	11078	x	x	x	
IV-10	IV	VA	Søgne	Kleivsetvatn	11592	x	x	x	x
V-1	V	VA	Farsund	Saudlandsvatn	21894	x	x	x	x
V-4	V	R	Sokndal	Ljosvatn	21438	x	x	x	
V-8	V	R	Bjerkreim	<i>Lomstjørni*</i>	20451	x	x	x	
VI-3	VI	R	Vindafjord	Røyrvatn	22548	x	x	x	
VII-1	VII	Ho	Vaksdal	Oddmundalsvatn	26511	x	x	x	x
VII-4	VII	Ho	Masfjorden	Markhusdalsvatn	26000	x	x	x	
VII-6	VII	Ho	Masfjorden	<i>Svartetjern*</i>	26133	x	x	x	
VII-8	VII	SF	Gaular	Nystølsvatn	1651	x	x	x	x
VII-10	VII	SF	Gaular	Holmevatn	29741	x	x	x	x
VIII-1	VIII	Op	Lesja	Svartdalsvatn	34660	x	x	x	
IX-5	IX	T	Tranøy	<i>Nedre Kaperdalsvatn*</i>	2380	x	x	x	
X-5	X	F	S-Varanger	<i>Dalvatn*</i>	64282	x	x	x	

3.1 Effekter på vannkjemi

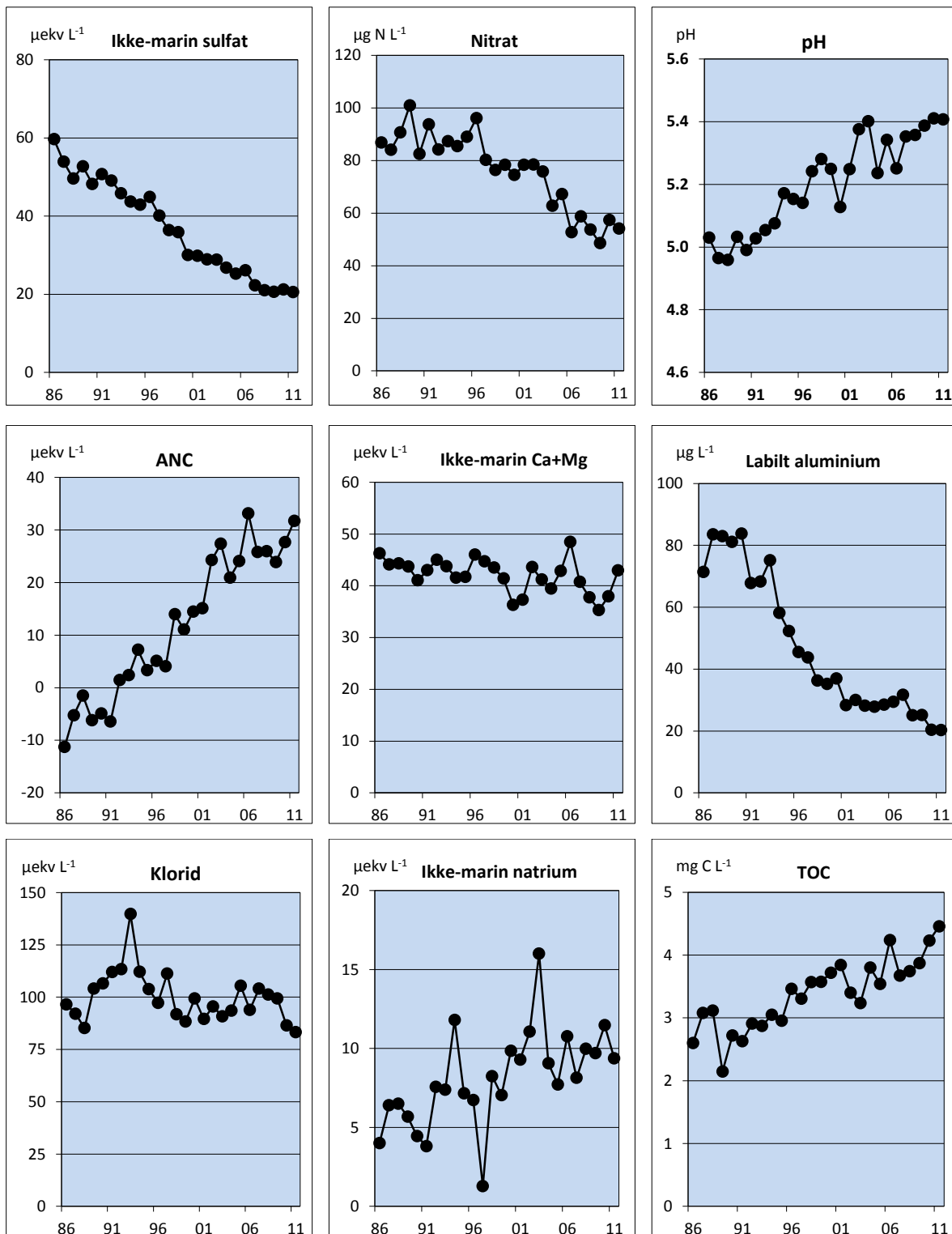
Reduserte tilførsler av svovel gjennom luft og nedbør har hatt en markert innvirkning på konsentrasjonene av ikke-marin sulfat i vann og vassdrag (*Figur 12*). Nedgangen i sulfat varierer fra 44 % for innsjøer i region X (Øst-Finnmark) til 81 % for innsjøer i region II (Østlandet-Sør) for perioden 1986-2011, mens enkeltlokaliteter (feltforskningsstasjoner) i Sør-Norge viser reduksjoner opp til 88 % for perioden 1980-2011 (*Tabell 4*). Konsentrasjonene av sulfat for landet sett under ett har vært på samme nivå siden 2008; enkelte regioner har hatt en liten nedgang, mens andre har hatt en liten økning.

Nedgangen i tilførsler av nitrat og ammonium har ikke vært like markert som for sulfat. Nitrat viser likevel signifikant nedgang i innsjøer i alle regioner, men nedgangen har vært mer i ”trappetrinn” enn for sulfat. Det var en markert nedgang i nitrat fra 1996 til 1997 og deretter fra 2005 til 2006 (*Figur 12*). Konsentrasjonene har holdt seg på det nye lave nivået siden 2006. Konsentrasjonene av nitrat varierer en del fra år til år, fordi nitrat er en viktig del av næringskretsløpet og dermed er påvirket av mange biologiske prosesser. De høyeste konsentrasjonene av nitrat i avrenningen måles i de områdene av Norge der nitrogen-deposisjonen er høyest (region V, Sørlandet-Vest).

Nedgangen i sulfat og nitrat gjennom overvåkingsperioden har hatt en tydelig positiv innvirkning på forsureningskjemien i alle lokalitetene innen overvåkingsprogrammet. Hele landet sett under ett (*Figur 12* og *Figur 13*) viser en klar økning i pH, selv om år til år variasjonene er relativt store. Gjennomsnittlig pH (5,41) i 2010 og 2011 er de høyeste som er registrert så langt innen overvåkingen. Syrenøytraliserende kapasitet (ANC) og alkalitet viser også jevn økning. ANC i 2011 er den nest høyeste som er registrert så langt innen overvåkingen. Samtidig viser også verdien for labilt aluminium (uorganisk ”giftig” aluminium) den laveste verdien som er registrert hittil i overvåkingen, og er på samme nivå som i 2010.

Gjennomsnittskonsentrasjonen av TOC i 2011 er den høyeste som er registrert så langt innen overvåkingen.

Gjennomsnittlig endring i 78 innsjøer fra hele landet



Figur 12. Endring i gjennomsnittlige konsentrasjoner for et utvalg av komponenter i 78 innsjøer fra 1986-2011 fordelt over hele landet (se Figur 11).

Figure 12. Trends in average concentrations of a selection of components in 78 lakes from 1986-2011 all over Norway (see Figure 11 for locations).

Tabell 4. Endring i ikke-marin sulfat per år i $\mu\text{ekv L}^{-1}$ for perioden 1980 til 2011 for elver og feltforskningsstasjoner, og for perioden 1986 til 2011 for innsjøene. Tallene er basert på lineær regresjon.

Table 4. Changes in non-marine sulphate per year in $\mu\text{eq L}^{-1}$. Time period 1980 to 2011 for rivers and calibrated catchments and 1986 to 2011 for lakes. The results are based on linear regression.

Innsjøer Region	Antall innsjøer	1986 SO ₄ * $\mu\text{ekv L}^{-1}$	2011 SO ₄ * $\mu\text{ekv L}^{-1}$	% nedgang fra 1986-2011
I. Østlandet - Nord	1	56	18	-67
II. Østlandet - Sør	15	98	19	-81
III. Fjellregion - Sør-Norge	3	36	9	-76
IV. Sørlandet - Øst	14	61	15	-75
V. Sørlandet - Vest	11	58	14	-76
VI. Vestlandet - Sør	3	33	8	-76
VII. Vestlandet - Nord	5	19	6	-69
VIII. Midt-Norge	10	17	8	-51
IX. Nord-Norge	5	19	8	-59
X. Øst-Finnmark	11	73	41	-44

Elver	Region	1980 SO ₄ * $\mu\text{ekv L}^{-1}$	2011 SO ₄ * $\mu\text{ekv L}^{-1}$	% nedgang 1980-2011
Gjerstad	IV	110	34	-69
Årdalselva	VI	35	13	-61
Feltforskningsstasjoner				
Langtjern	II	73	12	-83
Storgama	II	79	10	-88
Birkenes	IV	127	32	-75
Kårvatn	VIII	15	7	-56

Statistisk beregning av trender for viktige forsureningsparametere fordelt på regioner (Tabell 5) viser at mange av endringene vi observerer er signifikante. Vi har delt den statistiske analysen på 11-års periodene 1990-2000 og 2001-2011 for å se om styrken i trendene øker eller avtar.

Sulfat har store årlige endringer i begge 11-års periodene, men endringene er klart større i perioden 1990-2000, enn i perioden 2001-2011. Nitrat viser signifikant nedgang i flere av regionene i begge tidsperiodene, men endringene er små. Likevel er det er klar nedadgående trend som er omtrent like sterk i begge periodene.

Basekationene (kalsium og magnesium) viser ingen systematiske trender (øker, avtar, ingen trend) i noen av de to periodene. ANC viser klar økning i begge 11-års periodene, og endringene er klart størst i den første perioden.

H⁺ viser nedgang i begge periodene (hvilket betyr økning i pH). Styrken på endringene i H⁺ er styrt av buffere i vannet, slik at det kan være litt vanskelig å sammenligne de to tiårene direkte. Den statistiske analysen viser likevel at endringene er større i perioden 1990-2000 enn perioden 2001-2011. Alkalitet viser få endringer før 2000, og noe mer positive endringer (økning) etter 2001. Årsaken til dette er at det ikke var alkalitet i vannet (bikarbonatbuffersystem) de første årene etter 1990. Bikarbonatssystemet har etter hvert

bygget seg opp slik at vi nå igjen har alkalitet i mange av våre overvåkingsinnsjøer. Så lenge verdiene var under 0 var det heller ikke mulig å måle endringer.

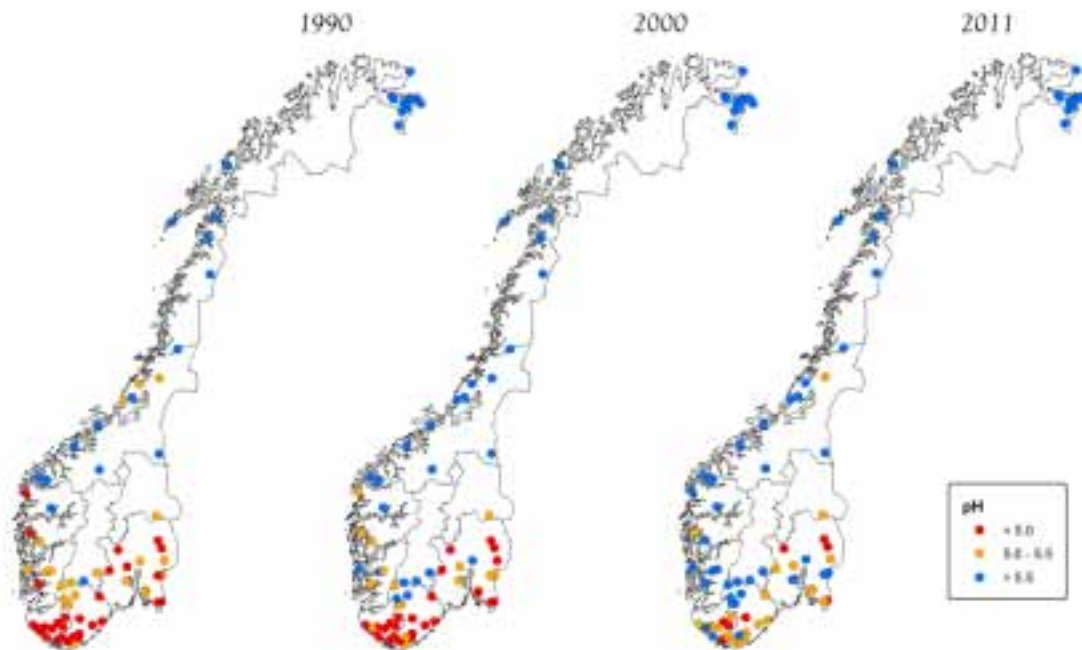
Konsentrasjonene av labilt Al viste til dels stor endringer i perioden 1990-2000, mens endringene i den siste 11-års perioden har vært mindre. Det er bare region V, Sørlandet –Vest, som viser signifikant og klar nedgang i perioden 2001-2011.

Organisk karbon (TOC) som er fulgt med interesse de siste årene pga en økende trend, viser statistisk signifikant økning i fire regioner i perioden 2001-2011 og syv regioner 1990-2000. Endringene i TOC er altså noe mindre i den siste perioden sammenlignet med perioden før, men forskjellene er veldig små. Samtidig ser vi at gjennomsnittskonsentrasjonen for TOC i 2011 er den høyeste som er målt siden overvåkingen av innsjøene startet i 1986.

Tabell 5. Tosidig regional Kendall test og estimert trend for perioden 1990-2000 og 2001-2011. Verdiene angir estimert trend for de enkelte regioner. Signifikante resultater ($p < 0,05$) vises i gult (avtagende) og blått (økende). N er totalt antall observasjoner i regionen i perioden (bare høstprøver).

Table 5. Two-sided regional Kendall tests for trends for the period 1990-2000 and 2001-2011. Values are estimated trends. Significant results ($p < 0,05$) shown in yellow (decreasing) and blue (increasing). N is the total number of observations in the region in the period (only autumn samples).

Region	År	N Ant. obs	Ikke-marin SO ₄	NO ₃	Ikke-marin Ca+Mg	Alkalitet	ANC	H ⁺	Labilt Al	TOC
			µekv L ⁻¹ år ⁻¹	µekv L ⁻¹ år ⁻¹	µekv L ⁻¹ år ⁻¹	µekv L ⁻¹ år ⁻¹	µekv L ⁻¹ år ⁻¹	µekv L ⁻¹ år ⁻¹	µekv L ⁻¹ år ⁻¹	µg L ⁻¹ år ⁻¹
1	1990-2000	11	-1.94	-0.02	0.50	0.75	1.85	-0.02	-1.00	0.30
2		164	-3.63	-0.11	-1.09	0.00	2.72	-0.26	-6.00	0.30
3		32	-1.29	-0.10	-0.13	0.00	1.60	-0.16	-2.20	0.02
4		151	-1.49	-0.14	-0.06	0.00	2.18	-0.47	-6.29	0.10
5		121	-1.92	-0.13	0.12	0.00	2.61	-1.00	-8.50	0.08
6		32	-1.20	-0.19	0.33	0.00	1.64	-0.41	-2.75	0.01
7		55	-0.52	-0.07	0.16	0.00	0.60	-0.19	-0.83	-0.02
8		110	-0.45	-0.02	0.28	0.83	0.91	-0.06	0.00	0.01
9		55	-0.44	0.00	-0.01	1.07	0.78	-0.05	-0.40	0.03
10		121	-1.27	0.01	-0.26	0.64	1.14	-0.01	0.00	-0.02
1	2001-2011	11	-0.82	0.00	0.10	-0.47	0.77	0.11	0.17	0.24
2		163	-1.89	-0.06	-0.72	0.00	0.92	0.00	0.31	0.21
3		31	-0.71	-0.13	0.15	0.53	1.03	-0.03	0.00	0.02
4		154	-0.96	-0.24	-0.05	0.00	1.20	-0.12	-1.00	0.03
5		116	-1.23	-0.54	-0.12	0.00	1.70	-0.47	-3.80	0.05
6		33	-0.60	-0.21	-0.22	0.43	0.86	-0.11	-1.00	0.02
7		54	-0.52	-0.19	0.08	0.00	0.69	-0.11	-0.43	0.01
8		108	-0.24	-0.04	0.08	0.14	0.09	-0.01	0.00	0.00
9		54	-0.36	0.00	-0.07	0.18	0.40	-0.01	0.22	0.02
10		116	-0.87	0.00	0.07	0.54	0.82	-0.02	0.00	0.00



Figur 13. pH i overvåkingsinnsjøene i 1990, 2000 og 2011. Figuren illustrerer tydelig forbedringen i forsuringssituasjonen, ved at sjøene blir mindre sure (får høyere pH). Enkelte sjøer på Østlandet er fortsatt røde og dette er forårsaket av høyt humusinnhold som gir naturlig lav pH.

Figure 13. pH in the monitoring lakes in 1990, 2000 and 2011. The figures clearly illustrate the improvement in surface water acidification, with increasing pH in the lakes. Some lakes in Eastern Norway are still “red”. This is due to high content of humic substances and therefore a natural low pH.

Trender for perioden fra 1986 til 2011 for de 10 ulike regionene er framstilt i Figur 14 - Figur 19. Hvert punkt på disse kurvene representerer gjennomsnittsverdier for et antall innsjøer (se Tabell 5).

Østlandet – Nord (region I)

Regionen Østlandet – Nord strekker seg fra skogkledde områder i sør til trebare og alpine områder i nord. Forurensningsbelastningen er lav, likevel ser vi en stabil nedgang i sulfat fra år-til-år, samtidig med en klar bedring i vannkvalitet mhp forsuring. I denne regionen har vi bare én lokalitet, men den er typisk for forsuringfølsomme sjøer i denne regionen. Fra 2001 til 2007 flatet konsentrasjonen av ikke-marin sulfat ut på et nivå mellom $25-28 \mu\text{ekv L}^{-1}$, og 2009-2011 har konsentrasjonen vært $20-21 \mu\text{ekv L}^{-1}$. pH viser økende trend fra $\text{pH} < 5,3$ før 1993 til $> 5,5$ etter 2002. Lave pH-verdier i denne innsjøen sammenfaller med høye konsentrasjoner av TOC. I denne innsjøen er TOC vanligvis i konsentrasjonsintervallet $4-6 \text{ mg C L}^{-1}$, men enkelte år har vesentlig høyere konsentrasjoner som f. eks $13,5 \text{ mg C L}^{-1}$ i 2006, 10 mg C L^{-1} i 2009 og $8,8 \text{ mg C L}^{-1}$ i 2011. ANC, som er et mål på vannets syrenøytraliserende effekt, har relativt høye verdier i denne lokaliteten. Fram til 1992 var $\text{ANC} < 20 \mu\text{ekv L}^{-1}$. Fra 2002 til 2011 (med unntak av 2008) har verdien vært $> 50 \mu\text{ekv L}^{-1}$. Labilt Al (den formen som er giftig for fisk) var i perioden frem til 1990 opp til $37 \mu\text{g L}^{-1}$,

men har siden 1991 (med unntak av 2005) vært $< 10 \mu\text{g L}^{-1}$. Nitrat viser nedgang i perioden og har i dag konsentrasjoner ned mot $1 \mu\text{g N L}^{-1}$ som er deteksjonsgrensen for analysemetoden vi bruker. Nitrat kan som nevnt tidligere, variere en del fra år-til-år. Organisk karbon (TOC) viser en signifikant økning i denne lokaliteten, både i perioden 1990-2000 og i perioden 2001-2011.

Østlandet – Sør (region II)

Region Østlandet – Sør er skogdekket, og har det høyeste nivået av TOC av alle regionene. Flere av sjøene har TOC fra 15 til 20 mg C L^{-1} . I denne regionen finner vi også det høyeste sulfatnivået. Dette skyldes en kombinasjon av høy belastning, relativt lite nedbør og dermed lengre oppholdstider i innsjøene sammenlignet med innsjøer i mer nedbørrike deler av Norge. Innsjøene i denne regionen har vist en kraftig forbedring i forsuringssituasjonen gjennom overvåkingsperioden. Ikke-marin sulfat er redusert med gjennomsnittlig 81 % fra 1986 til 2011 i de 15 sjøene som representerer denne regionen. Sulfatkonsentrasjonene i 2011 ($25 \mu\text{ekv L}^{-1}$) er den laveste som er registrert. Gjennomsnittsverdien for pH var $< 5,0$ fram til 1993 og økte til 5,0 - 5,2 i perioden 1994 til 2011, med unntak av høsten 2000 (pH 4,87) som var preget av flom. ANC viser en jevnt økende trend. Fra 1986 til 1991 var gjennomsnittlig ANC ca $0 \mu\text{ekv L}^{-1}$, men siden 2003 har alle ANC-verdiene vært $> 40 \mu\text{ekv L}^{-1}$. Innsjøene som representerer denne regionen hadde ikke alkalitet fram til 1993 ($< 1 \mu\text{ekv L}^{-1}$). Siden da har bikarbonatsystemet sakte bygget seg opp, og nivået er nå omkring $10 \mu\text{ekv L}^{-1}$. Gjennomsnittsverdien av labilt Al var i perioden fram til 1994 $> 90 \mu\text{g L}^{-1}$, men har siden avtatt markert. Fra 2001 til 2007 har labilt Al vært $< 65 \mu\text{g L}^{-1}$, og fra 2008 $< 50 \mu\text{g L}^{-1}$. Det er ikke signifikant nedgang i nitrat siden 2001, mens TOC har vist en jevn økning gjennom hele 90-tallet; fra $< 9 \text{ mg C L}^{-1}$ fram til 1997, til foreløpig høyeste registrerte gjennomsnittsverdi på 12 mg C L^{-1} i 2011.

Fjellregion – Sør-Norge (region III)

Alle de tre lokalitetene i fjellregionen i Sør-Norge ligger over tregrensa. Regionen er dominert av fjellområder med skrinn jord og lite vegetasjon. Dette reflekteres blant annet i lave nivåer av TOC i innsjøene ($< 1 \text{ mg C L}^{-1}$) og generelt lavt innhold av basekationer ($\text{Ca} < 0,6 \text{ mg L}^{-1}$). Forurensningsbelastningen er relativt lav, og sulfatnivået i innsjøene er i dag på nivå med det vi finner i de minst belastede regionene i Norge. Likevel finner vi også her en markert nedgang i sulfat på 76 % fra 1986 til 2011. I årene 2000-2006 var gjennomsnittsnivået for sulfat tilnærmet uforandret ($15\text{-}17 \mu\text{ekv L}^{-1}$), mens årene 2008-2011 viser et nytt og lavere nivå ($12 \mu\text{ekv L}^{-1}$). ANC har vist en jevn økning hele perioden fra $< 10 \mu\text{ekv L}^{-1}$ fram til 1998 og $> 20 \mu\text{ekv L}^{-1}$ siden 2004. ANC vil sannsynligvis aldri bli særlig høy i dette området pga det generelt ionefattige vannet. pH har vist en jevn økning, og verdien i 2010 var den høyeste som er registrert så langt (pH 6,07). Labilt Al viser nedgang fra et gjennomsnittsnivå på $> 30 \mu\text{g L}^{-1}$ i perioden 1986-1990 til konsentrasjoner $< 10 \mu\text{g L}^{-1}$ siden 2009. Nitrat viser nedgang fra nivåer $> 80 \mu\text{g N L}^{-1}$ før 1999 og $< 50 \mu\text{g N L}^{-1}$ siden 2006. TOC viser en svak økning også i denne regionen og gjennomsnittskonsentrasjonen i 2011 på $1,14 \text{ mg C L}^{-1}$ er den høyeste som er registrert så langt.

Sørlandet – Øst (region IV)

Regionen Sørlandet – Øst strekker seg fra kysten, gjennom skogbeltet til høyereliggende heiområder. Forurensningsbelastningen er høy, og sulfatnivået i innsjøene i denne regionen er også høyt. Nedgangen i sulfat i de 14 innsjøene som representerer denne regionen har vært 75 % fra 1986 til 2011. Nedgangen i sulfat flatet noe ut fra 2000-2006, men har de tre siste årene (2007-2011) ligget på et konsentrasjonsnivå fra $19\text{-}22 \mu\text{ekv L}^{-1}$. Regionen har vært sterkt forsuret, men det er nå klare tegn til bedring. Gjennomsnittlig pH var < 5 fram til 1993 og $>$

5,1 siden 2001. GjennomsnittspH i 2011 var 5,38, som er den høyeste verdien som er registrert. ANC har vært sterkt negativ med konsentrasjoner $< -20 \mu\text{ekv L}^{-1}$ fram til 1991. Siden 2002 har gjennomsnittsnivået vært $> 10 \mu\text{ekv L}^{-1}$, og gjennomsnittskonsentrasjonen i 2011 på $24 \mu\text{ekv L}^{-1}$ er den høyeste verdien som er registrert så langt. Tilsvarende gjelder for alkalitet som fram til 1993 var $< 0 \mu\text{ekv L}^{-1}$. Siden 2002 har alkalitet med ett unntak vært $> 5 \mu\text{ekv L}^{-1}$, og den høyeste verdien finner vi i 2011. Labilt Al har avtatt fra nivåer $> 100 \mu\text{g L}^{-1}$ fra 1986 til 1993 til $< 45 \mu\text{g L}^{-1}$ siden 2001, og også for labilt Al finner vi den lavest registrerte gjennomsnittskonsentrasjonen i 2011 på $28 \mu\text{g L}^{-1}$. Det er en avtagende trend i nitrat fra konsentrasjoner $> 130 \mu\text{g N L}^{-1}$ fram til 1996 til $< 100 \mu\text{g N L}^{-1}$ siden 2003. TOC viser en klar tendens til økning fra et gjennomsnittlig konsentrasjonsnivå $< 3 \text{mg C L}^{-1}$ i perioden 1986 til 1995 til $> 3 \text{mg C L}^{-1}$ siden 1996. Gjennomsnittsverdien i 2011 på $4,57 \text{mg C L}^{-1}$ er den høyeste som er registrert så langt.

Sørlandet – Vest (region V)

Regionen Sørlandet – Vest er dominert av heiområder med lite jordsmonn og lite vegetasjon. Denne regionen har den høyeste forurensningsbelastningen, og inntil i år har dette vært den regionen med de mest forsurede innsjøene. I 2011 har forsuringssituasjonen i denne regionen bedret seg slik at det nå er region II Østlandet – Sør som har den tvilsomme æren av å være den mest forsurede regionen (basert på innsjøene som inngår i dette overvåkingsprogrammet). De 11 innsjøene som representerer region V, har lav gjennomsnittlig verdi for pH (5,13) og alkalitet ($2 \mu\text{ekv L}^{-1}$). Sørlandet - Vest har også den høyeste gjennomsnittlige konsentrasjon av nitrat som en konsekvens av høy N-deposisjon i dette området av landet. Regionen må fremdeles karakteriseres som betydelig forsuret, men situasjonen er i ferd med å bedres. På samme måte som i de andre regionene, ser vi en kraftig nedgang i sulfat, 76 % fra 1986 til 2011, en økning i pH og ANC og nedgang i labilt Al. Siden 2007 viser pH gjennomsnittsverdier $> 5,0$. ANC har økt fra konsentrasjonsnivåer $< -50 \mu\text{ekv L}^{-1}$ til nivåer $> 0 \mu\text{ekv L}^{-1}$, og var i 2003 for første gang positiv ($4 \mu\text{ekv L}^{-1}$). Labilt Al viser nedgang fra konsentrasjoner $> 165 \mu\text{g L}^{-1}$ i perioden fram til 1994 til $< 75 \mu\text{g L}^{-1}$ siden 2002. Den laveste gjennomsnittsverdien av labilt Al ($28 \mu\text{g L}^{-1}$) er registrert i 2011. Nitrat viser nedgang, fra gjennomsnittskonsentrasjonen $> 200 \text{N L}^{-1}$ før 2002 til $< 190 \text{N L}^{-1}$ siden 2003. TOC viser en svakt økende trend med lavere konsentrasjoner før 1994 ($< 2,3 \text{mg C L}^{-1}$) enn perioden 1995-2011 ($2,3\text{-}3,4 \text{mg C L}^{-1}$).

Vestlandet – Sør (region VI)

Regionen Vestlandet – Sør er preget av lite skog og mye åpne heiområder med til dels lite vegetasjon og skrint jordsmonn. Forurensningsbelastningen er moderat. Nedbørmengdene er store (1500-3000 mm) og dette medfører fortynning av overflatevannet slik at ionestyrken er lav, med lave konsentrasjoner av basekationer (gjennomsnittlig Ca $0,4\text{-}0,5 \text{mg L}^{-1}$) og TOC ($1,5\text{-}2 \text{mg C L}^{-1}$). Sulfatnivået i innsjøene i regionen er lavt, og innsjøene er moderat forsuret. Nedgangen i sulfat i de tre innsjøene, som representerer denne regionen, er 76 % fra 1986 til 2011. Gjennomsnittsverdien for sulfat i 2007-2011 har vært $10\text{-}12 \mu\text{ekv L}^{-1}$. Denne regionen viste for første gang i 1996 en gjennomsnittlig positiv verdi for ANC. Verdiene for ANC varierer imidlertid en del fra år-til-år på grunn av variasjon i ikke-marine basekationer (spesielt kalsium). I 2011 var gjennomsnitts ANC $17 \mu\text{ekv L}^{-1}$. Siden 1996 har pH vært $> 5,4$. 2008 hadde den høyeste registrerte gjennomsnittsverdien så langt (pH 5,88). I 2009 til 2011 har gjennomsnittlig pH vært 5,78. Sammenfallende med dette viser labilt Al en nedadgående trend. Gjennomsnittsverdien for labilt Al var $> 30 \mu\text{g L}^{-1}$ før 1993 og $< 10 \mu\text{g L}^{-1}$ siden 2008. Nitratnivået er relativt høyt (gjennomsnittlig $74 \mu\text{g N L}^{-1}$ i 2011) av samme grunn som i regionen Sørlandet-Vest (høy N-deposisjon og lite kapasitet for retensjon av nitrogen i jorda).

Det er en svak, men signifikant nedgang i nitrat, og TOC viser en svak, men signifikant økning.

Vestlandet – Nord (region VII)

Region Vestlandet-Nord har mange likhetstrekk med Vestlandet-Sør, men forurensningsbelastningen er lavere og nedbørmengdene større. Dette medfører at ionestyrken i innsjøene i denne regionen er den laveste av alle regionene ($\text{Ca} < 0,3 \text{ mg L}^{-1}$). Region VII har det laveste gjennomsnittlige konsentrasjonsnivået av sulfat av alle de 10 regionene. Nedgangen i sulfat har vært markert i overvåkingsperioden (69 %), og gjennomsnittskonsentrasjonen av ikke-marin sulfat i de 5 sjøene som representerer denne regionen, var $6 \text{ } \mu\text{ekv L}^{-1}$ i 2011. Dette har resultert i endringer i forsuringsskjemien. ANC har økt fra $< -10 \text{ } \mu\text{ekv L}^{-1}$ før 1991 til $> 4 \text{ } \mu\text{ekv L}^{-1}$ siden 2001. pH har økt fra $< 5,2$ før 1991 til $> 5,4$ etter 2002 og $> 5,60$ siden 2008. Labilt Al har avtatt fra nivåer $> 25 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ til $< 10 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ siden 2001. Gjennomsnittskonsentrasjonen av nitrat var $> 70 \text{ } \mu\text{g N L}^{-1}$ i alle årene før 2007, men siden 2007 har verdiene vært $< 60 \text{ } \mu\text{g N L}^{-1}$. TOC ikke viser ingen trend i denne regionen.

Midt-Norge (region VIII) og Nord-Norge (region IX)

Disse to regionene spenner over store områder med svært variert natur fra vegetasjonsfattig kystlandskap til høyfjell og skogkledde innlandsområder. Forurensningsbelastningen er lav i hele området. Sulfatnivået i innsjøene i disse regionene er nå $8\text{-}10 \text{ } \mu\text{ekv L}^{-1}$. Region VI, VII, VIII og IX har nå omtrent samme konsentrasjonsnivå av sulfat. Nivået begynner å nærme seg antatt naturlig bakgrunnsnivå for ikke-marin sulfat. De 15 innsjøene, som representerer disse to regionene, må likevel karakteriseres som svakt sure. Selv i disse regionene med svært lav forurensningsbelastning, ser vi en nedgang i sulfat (hhv. 51 % og 59 % fra 1986 - 2011), økning i alkalitet, ANC og pH og nedgang i labilt Al. Gjennomsnittsverdien av ANC har vært i intervallet $25\text{-}40 \text{ } \mu\text{ekv L}^{-1}$ siden ca 2001. Begge regionene har vist en svak økning i pH fra starten av overvåkingen, og gjennomsnittsverdien for pH er i 2011 hhv. 6,02 og 6,16 i region VIII og IX. Nitrat viser en svak nedgang selv i disse regionene som i utgangspunktet har veldig lave konsentrasjoner. Gjennomsnittlig konsentrasjonsnivå av nitrat var i 2011 hhv. 17 og $10 \text{ } \mu\text{g N L}^{-1}$ i region VIII og IX. TOC viste signifikant økning i begge regionene i perioden 1990-2000, men ikke i perioden 2001-2011. Det er likevel interessant å merke seg at de høyeste gjennomsnittskonsentrasjonene for disse to regionene ble registrert i 2010 for region VIII ($2,37 \text{ mg C L}^{-1}$) og i 2011 for region IX ($1,6 \text{ mg C L}^{-1}$).

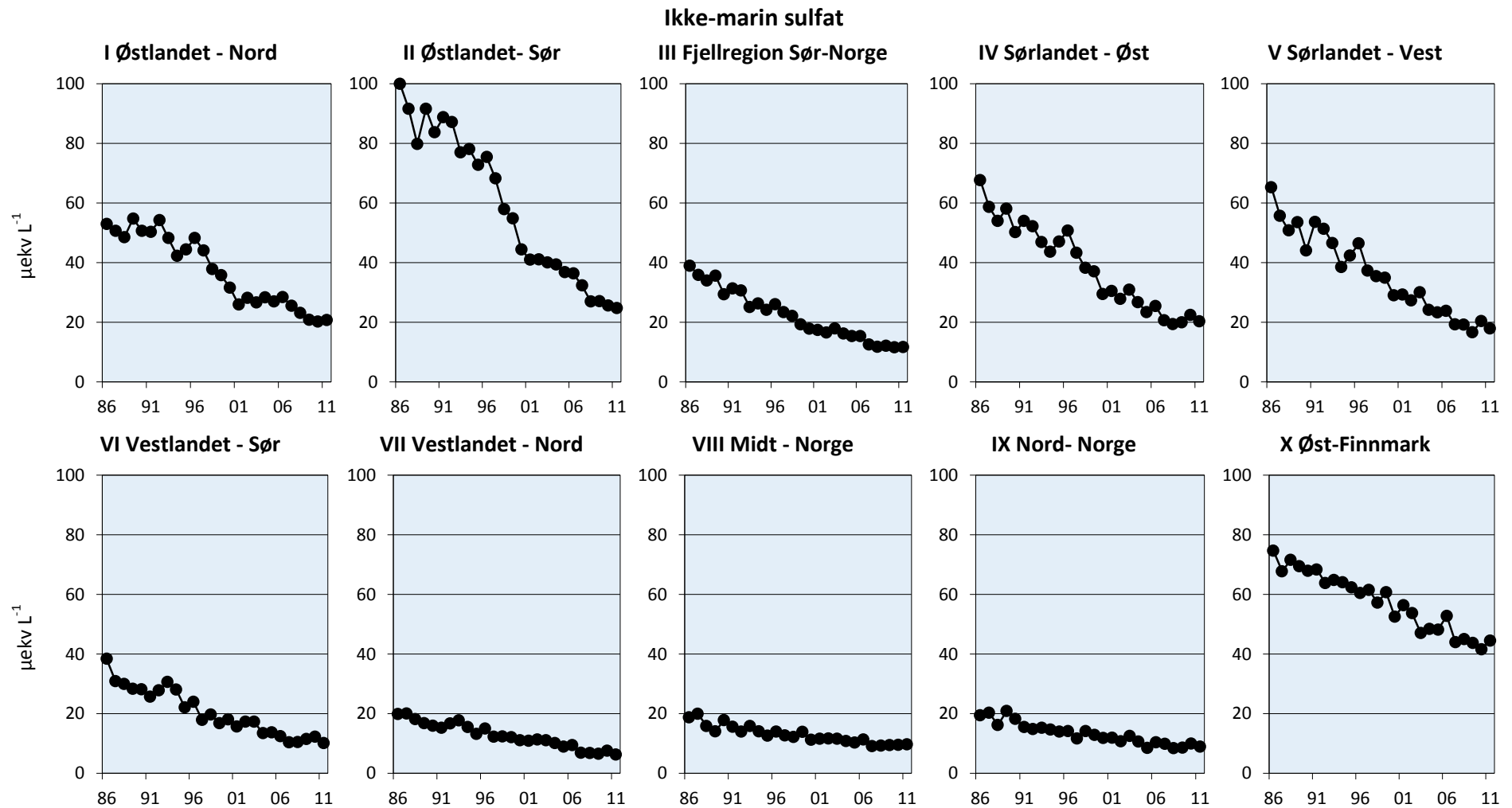
Øst-Finnmark (region X)

Region Øst-Finnmark dekker områdene inn mot Kolahalvøya, og er påvirket av svovel, kobber- og nikkelutslipp fra smelteverksindustrien. Forurensningsbelastningen av svovel er relativt stor, mens N-deposisjonen er lav. Utslippene av SO_2 fra Ni-verket er redusert med 75 % fra 400.000 tonn i 1979 til 100.000 tonn i 2006. Siden 2004 har NILU målt økte konsentrasjoner av tungmetaller i nedbør, særlig nikkel og kobber, men også andre komponenter som kobolt.

Undersøkelser i 1986 viste at konsentrasjonene av sulfat i innsjøene i Øst-Finnmark var mer enn fordoblet siden 1966 og var på samme nivå som de mest utsatte innsjøene på Sørlandet. Selv større innsjøer hadde lite igjen av sin opprinnelige motstandskraft mot forsuring. Undersøkelser i 1987-1989 viste at store områder i Sør-Varanger ville få omfattende skader og tap av fiskebestander hvis belastningen med sur nedbør fra smelteverkene på Kolahalvøya økte ytterligere. Innsjøovervåkingen frem til 1991 tydet på at den negative forsuringsutviklingen hadde stoppet opp og stabilisert seg på 1986-nivået. I 1992 var pH-verdiene gjennomgående høyere enn tidligere. Siden 1993 har gjennomsnittlig pH for disse

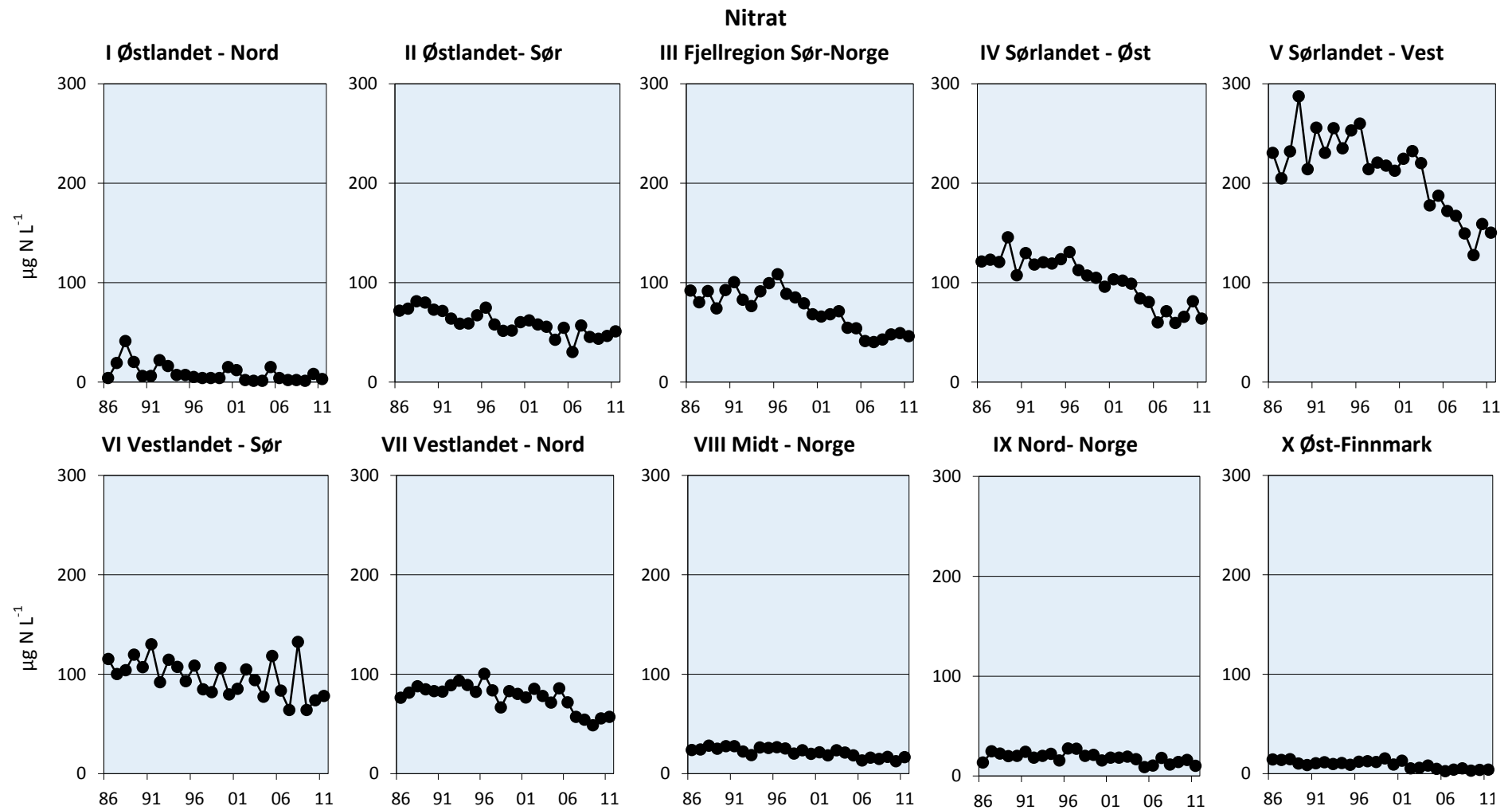
sjøene vært > 6 . I 2009 var gjennomsnittlig pH 6,47, som er den høyeste verdien som er registrert så langt innen overvåkingen (pH 6,41 i 2011). Samtidig ser vi en økende trend i alkalitet og ANC. Sulfat har vist nedgang på 44 % fra 1986 til 2011, og gjennomsnittskonsentrasjonen for 2007-2011 har vært mellom 42 - 45 $\mu\text{ekv L}^{-1}$ med den laveste gjennomsnittskonsentrasjonen i 2010. Konsentrasjonen av labilt Al har i hele overvåkingsperioden vært $< 10 \mu\text{g L}^{-1}$.

I Øst-Finnmark er det også overvåking av seks små innsjøer på Jarfjordfjellet. I disse innsjøene måles det på metaller. Overvåkingen viser at Ni-konsentrasjonene i disse sjøene har økt fra gjennomsnittlig 8-11 $\mu\text{g L}^{-1}$ i perioden 1990 - 2003, til 12-16 $\mu\text{g L}^{-1}$ i perioden 2004-2011. Cu-konsentrasjonen har tilsvarende økt fra gjennomsnittlig 1,5 - 2,5 $\mu\text{g L}^{-1}$ i perioden 1990 - 2003, til 3,0 - 3,5 $\mu\text{g L}^{-1}$ i perioden 2005-2011. Dette er mest sannsynlig en respons på den økte deposisjonen av Ni i området.



Figur 14. Trender for perioden 1986-2011 for ikke-marin sulfat for innsjøer i de 10 regionene.

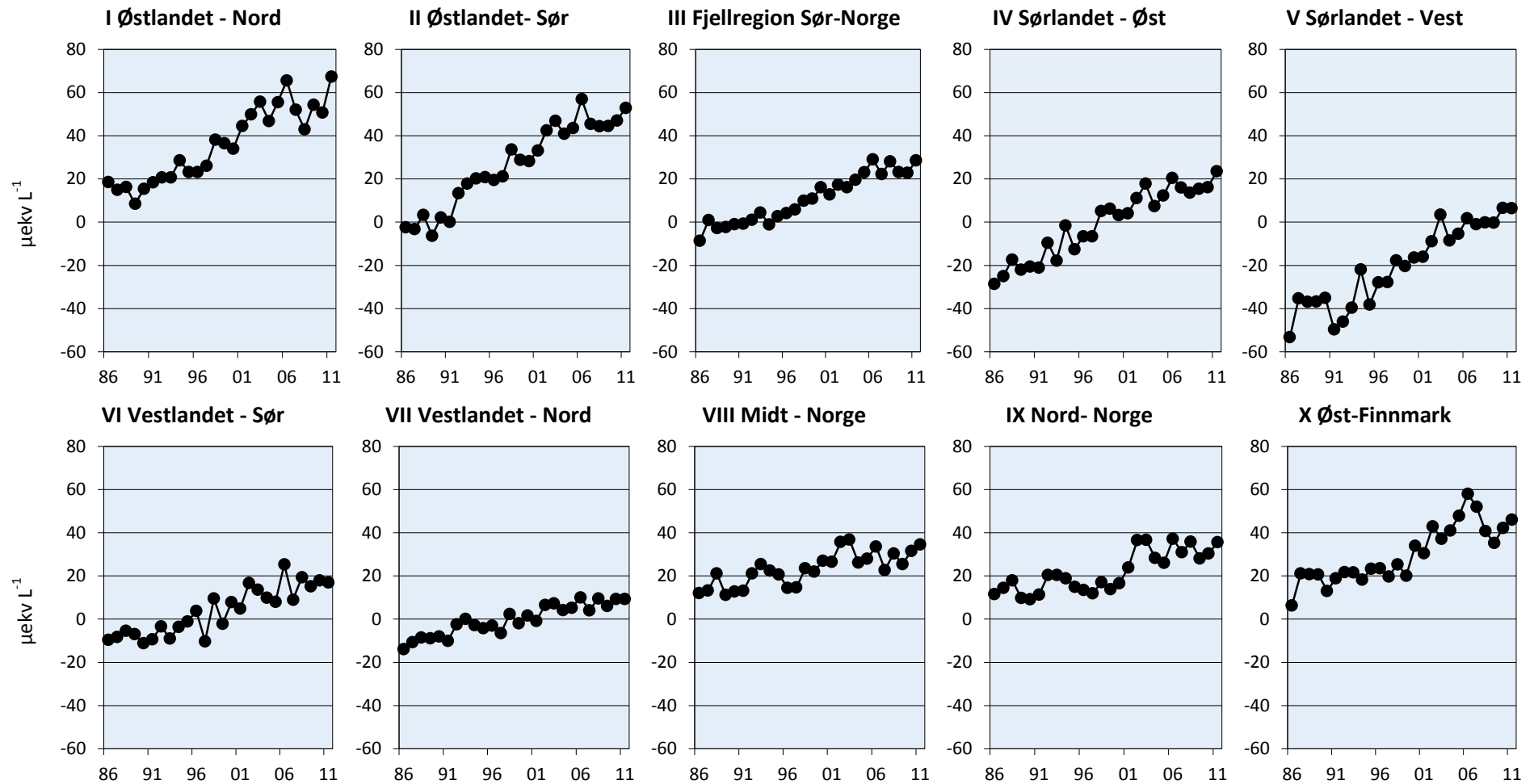
Figure 14. Trends for 1986-2011 in non-marine sulphate in lakes in the 10 regions.



Figur 15. Trender for perioden 1986-2011 for nitrat for innsjøer i de 10 regionene.

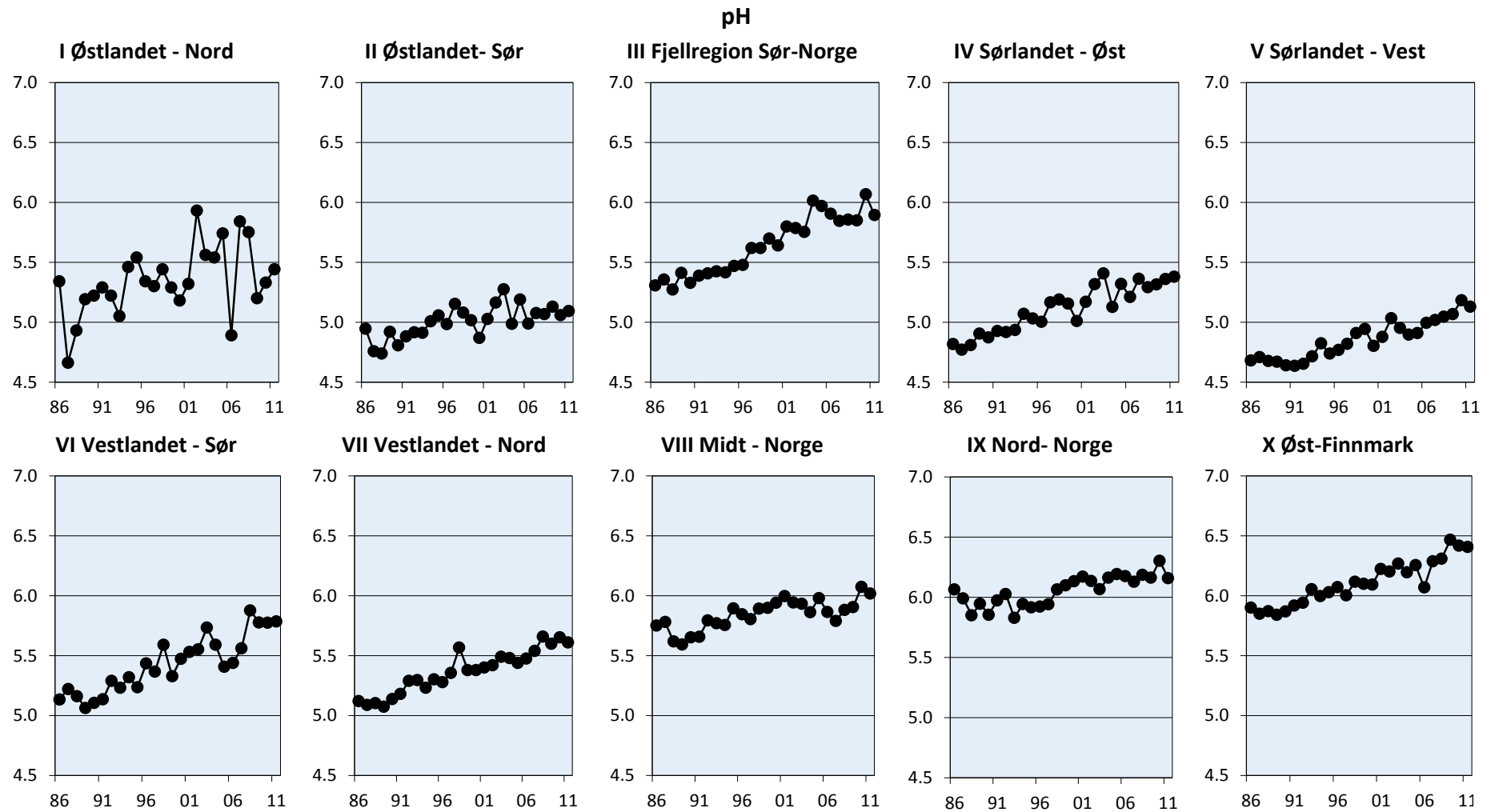
Figure 15. Trends for 1986-2011 in nitrate in lakes in the 10 regions.

ANC - Syrenøytraliserende kapasitet



Figur 16. Trender for perioden 1986-2011 for ANC (syrenøytraliserende kapasitet) for innsjøer i de 10 regionene.

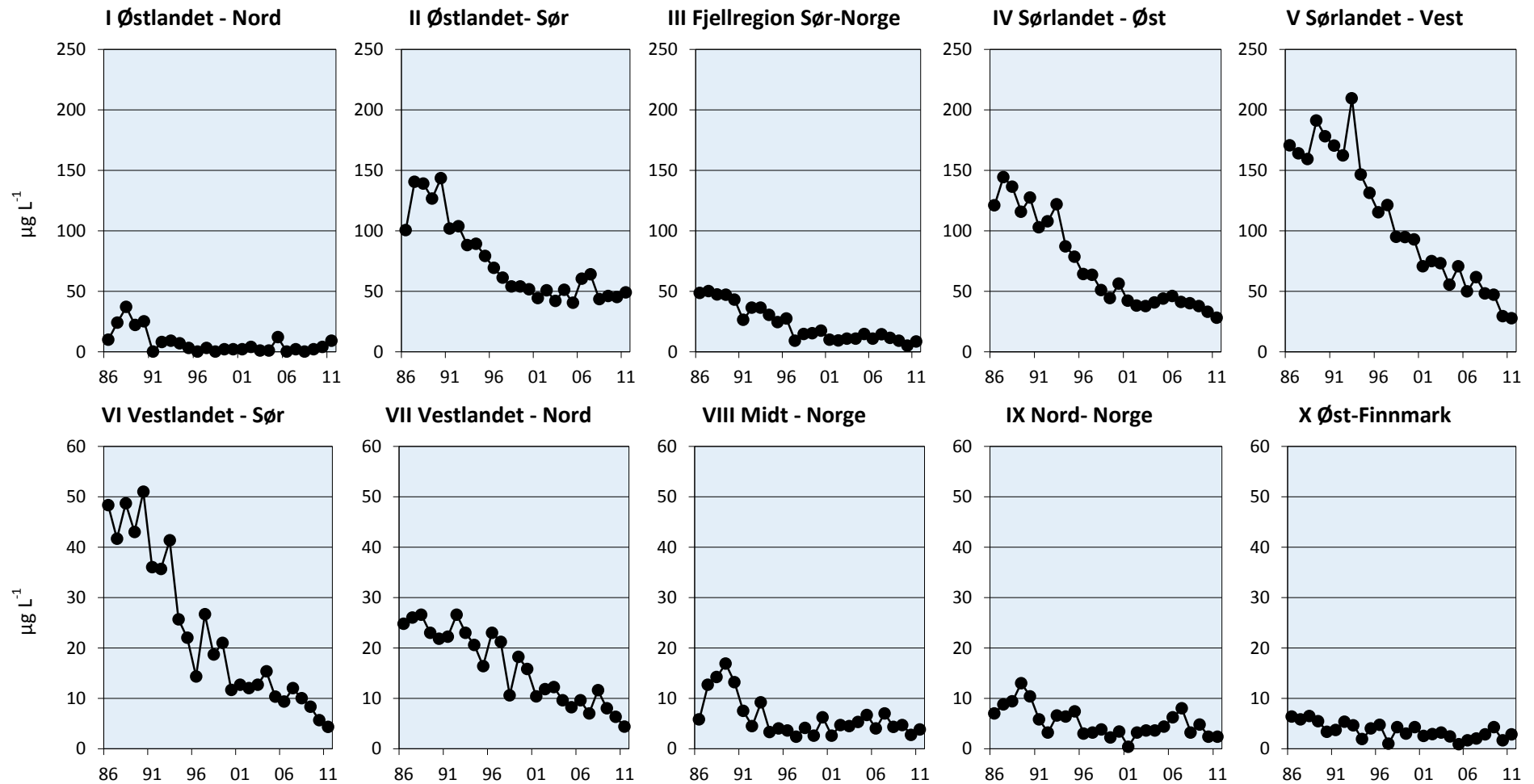
Figure 16. Trends for 1986-2011 in ANC (Acid Neutralizing Capacity) in lakes in the 10 regions.



Figur 17. Trender for perioden 1986-2011 for pH for innsjøer i de 10 regionene.

Figure 17. Trends for 1986-2011 in pH in lakes in the 10 regions.

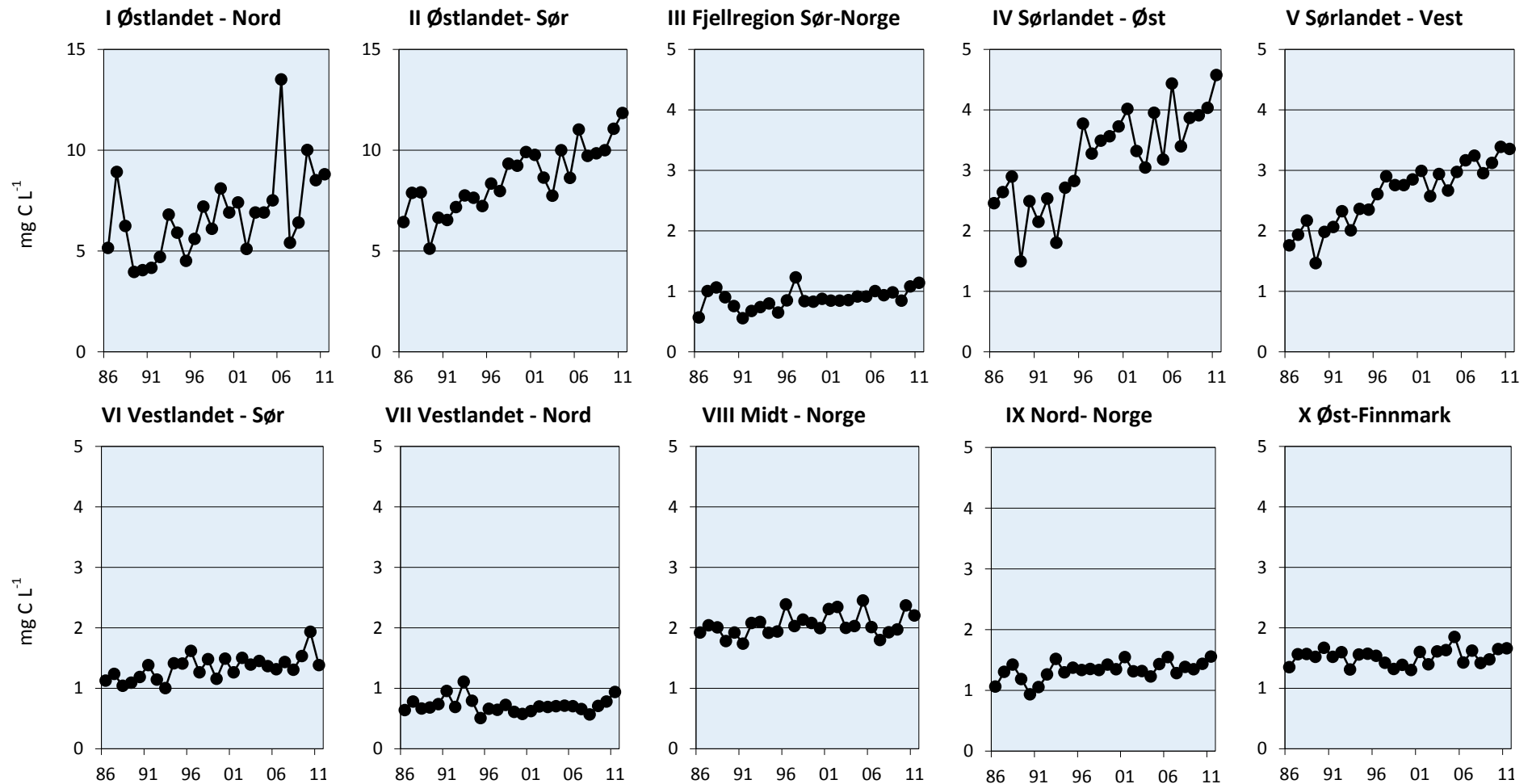
Labilt aluminium (uorganisk bundet aluminium)



Figur 18. Trender i LAl (labilt uorganisk (bundet) aluminium) for perioden 1986-2011 for innsjøer i de 10 regionene.

Figure 18. Trends for 1986-2011 in labile Al in lakes in the 10 regions.

TOC – Total organisk karbon



Figur 19. Trender i TOC (total organisk karbon) for perioden 1986-2011 for innsjøer i de 10 regionene. NB! Forskjellige Y-akser.

Figure 19. Trends in TOC (Total Organic Carbon) for the period 1986-2011 in lakes in the 10 regions. NB! Different Y-axis.

3.2 Effekter på akvatisk fauna

3.2.1 Effekter på bunndyr

Regionale bunndyrundersøkelser i elver

De regionale bunndyrundersøkelsene i elver omfatter overvåking av fem vassdrag. Fra og med 2002 blir to av vassdragene prøvetatt annet hvert år. I 2011 ble det samlet inn prøver fra tre vassdrag. Ogna og Gaularvassdraget ble ikke prøvetatt. Resultatene viser at forsureningsskadene i alle vassdrag er redusert sammenlignet med tilstanden rundt 1990. Forskjellene i skadeomfang mellom de undersøkte vassdragene er også blitt mindre i de senere år, men samtidig har den biologiske gjenhenting stagnert noe. Resultatene fra 2011 viser små endringer sammenlignet med 2010. Som tidligere, viser bunndyrfaunaen at forsureningen er sterkest på våren.

Sørlandet - Vest (region V)

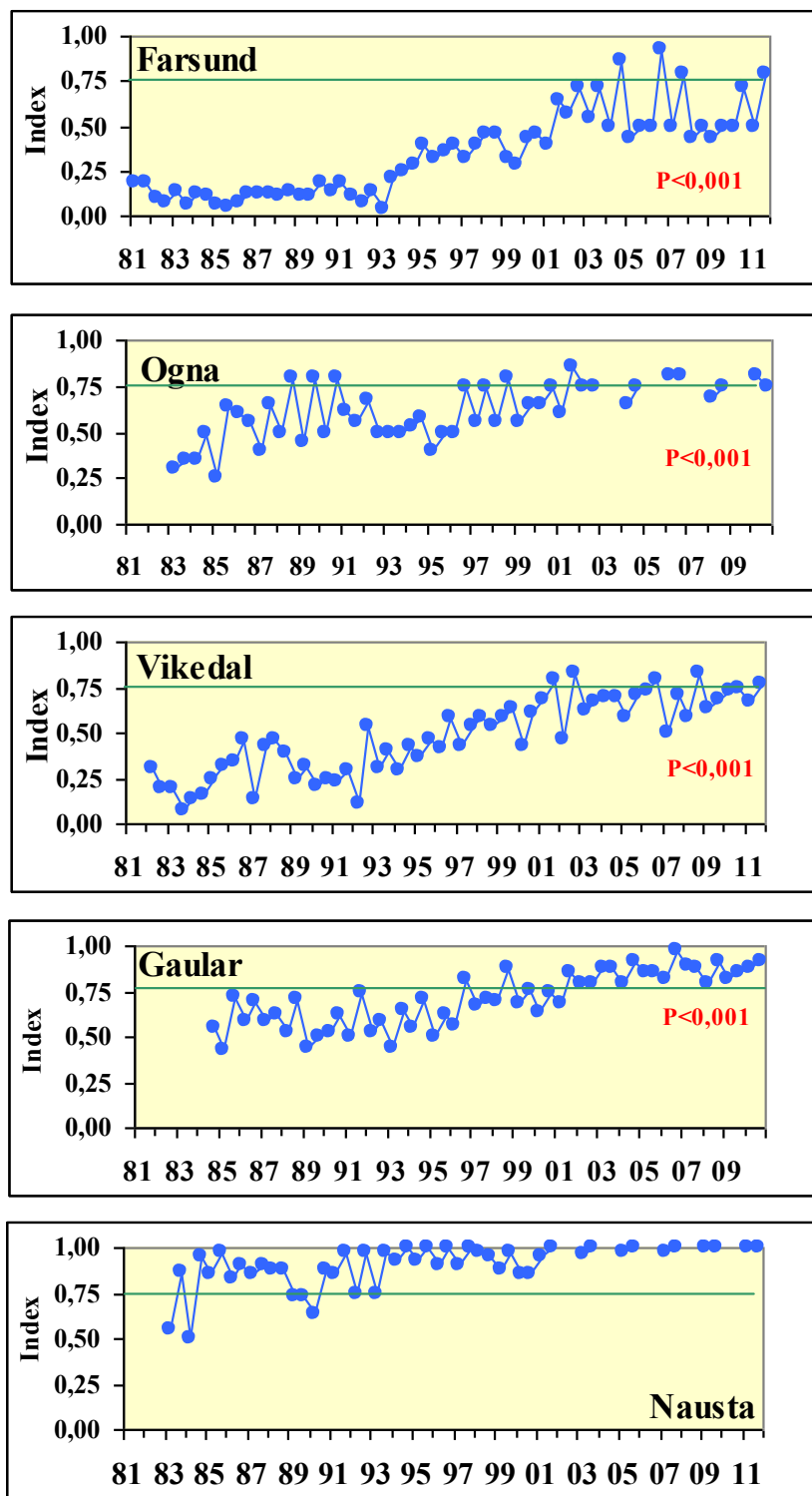
Lokalitetene ved Farsund var sterkt forsureningsskadd i perioden 1981-1993 (*Figur 20*). Etter 1993 fulgte en periode der lokalitetene ble kolonisert av moderat forsureningssensitive bunndyrarter. Den vanligste av disse artene, *Hydropsyche siltalai*, ble registrert da overvåkingen av vassdraget startet opp i 1981. I de påfølgende år var den borte, for så å dukke opp igjen i 1992. I de senere år har arten stabilisert seg på et høyere bestandsnivå. I 2001 ble den sterkt sensitive døgnfluearten *Baetis rhodani* registrert for første gang i området. Bestandene av denne arten viser en ustabil forekomst. De største skadene er blitt registrert om våren. I 2011 ble det registrert 48 individer av arten, det høyeste tallet som har vært registrert. Dette indikerer at vannkvaliteten var god dette året. Vannkjemiske prøver viser at pH i Saudlandsvatnet gradvis er blitt bedre i den perioden lokaliteten har vært overvåket. Sommeren 2011 var den 6,27 (juni) og 6,20 (august). Moderat følsomme bunndyr ser ikke ut til å være nevneverdig påvirket av forsurening. Regresjonsanalyser viser at det har vært en signifikant bedring ($p < 0,001$) av forsureningsindeksen i Farsund-området i de årene overvåkingen har pågått.

Vestlandet - Sør (region VI)

Bunndyrundersøkelsene i de ukalkede delene av Vikedalsvassdraget viste at det ennå er markerte forsureningsskader i deler av nedbørfeltet. Forsureningsindeksene (*Figur 20*) viser at dette vassdraget var sterkt skadd på 1980-tallet. I de senere år har det vært en positiv utvikling av både forsureningsindeksen og det biologiske mangfoldet. I vassdraget finnes det lokaliteter med god vannkvalitet og med en uskadet bunndyrfauna. Disse lokalitetene har stor betydning som kilder for rekolonisering etter sure episoder. Regresjonsanalyser viser at det har vært en signifikant bedring ($p < 0,001$) av forsureningsindeksen i Vikedalsvassdraget etter 1990.

Vestlandet - Nord (region VII)

Naustavassdraget har hatt en tilfredsstillende utvikling med hensyn på forsureningsskader på bunndyrfaunaen fra overvåkingen startet i 1983. Vassdraget hadde periodevis skader i de ti første årene. Senere ble situasjonen bedre, og Nausta kan i dag betegnes som det minst forsurete av overvåkingsvassdragene (*Figur 20*). I 2011 ble det registrert sterkt forsureningssensitive bunndyr på alle overvåkingstasjonene både vår og høst.



Figur 20. Forsuringsindekser for overvåkingsvassdragene. Horisontal linje angir miljømålet (god økologisk tilstand jfr. vannforskriften). For nærmere forklaring henvises til hovedrapporten.

Figur 20. Acidification score for invertebrates in the monitored rivers. The horizontal lines indicate the environmental goal according to the EU water framework directive. The index is described in the main report.

Regionale bunndyrundersøkelser i innsjøer

Østlandet - Nord (region I)

De årlige innsjøene Atnsjøen og Stortjørna ble undersøkt i 2011. Til sammen fire arter døgnfluer ble registrert i prøvene fra Atnsjøen. Tettheten av den sterkt forsuringfølsomme døgnfluen *Baetis rhodani* var høy i utløpselva. Dette indikerer en uskadet fauna. Videre ble det registrert åtte arter av steinfluer. Blant disse var det to moderat følsomme taxa, *Isoperla grammatica* og *Capnia* sp. Det ble påvist ni arter/slekter av vårfluer. Tre av disse er kjent for å være sensitive for surt vann. I 2011 ble det registrert en art ferskvannssnegl, *Gyraulus acronicus*. Sneglen *Radix balthica*, som har vært vanlig tidligere, ble ikke påvist i 2011. Videre ble det også registrert følsomme krepsdyr, *Daphnia* sp., i bunnprøvene. Resultatene fra Atnsjøen varierer litt fra år til år med hensyn på antall arter og mengden av sensitive taksa. Dette skyldes mest sannsynlig naturlige variasjoner framfor endringer i forsuringssituasjonen.

Stortjørna har vist moderat til liten forsuringsskade tidligere. *B. rhodani*, som har hatt sporadisk forekomst i de seneste år, ble ikke registrert i 2011. Vekslingen i forekomst indikerer ustabile forhold og varierende surhetstilstand fra år til år. Det ble registrert en forsuringssensitiv steinfluesart, *Isoperla grammatica*. Blant vårfluene ble det bare påvist tolerante arter. Lokaliteten må på basis av faunaen i 2011 karakteriseres som moderat skadet av forsuring, med en ustabil tilstand over tid.

Østlandet - Sør (region II)

I region II blir Langtjern og Bredtjern undersøkt årlig. Resultatene fra disse innsjøene viser små endringer i status sammenlignet med foregående år. I Langtjern ble det påvist småmuslinger. Bredtjern hadde en sterkt skadet fauna. Samlet viser faunaen i innsjøene i region II at området bærer preg av forsuringsskade, en situasjon som har vært stabil siden overvåkingen startet.

Fjellregion - Sør-Norge (region III)

I region III blir Rondvatn og Heddersvatn undersøkt årlig. I Rondvatn ble det registrert tre sensitive taksa av bunndyr i 2011. Den sterkt følsomme døgnfluen *Baetis rhodani* ble registrert i utløpsbekken om høsten. Det ble registrert to arter sensitive steinfluer, *Capnia* sp. og *Diura nanseni*. Faunaen over tid viser at innsjøens forsuringstatus er stabilt god. Det ble registrert to moderat sensitive steinfluearter i utløpet av Heddersvatn: *Capnia* sp. og *Diura nanseni*. Våre registreringer i region III viser at følsomme insektarter kan forekomme i meget tynn vannkvalitet. Dette kommer særlig til syne i Rondvatnet, som er svært ionefattig.

Sørlandet - Øst (region IV)

I region IV ble totalt syv innsjøer undersøkt. Bjorvatn, Lille Hovvatn og Sognevatn undersøkes årlig, mens Risvatn, Drivenesvatn, Sognevatn og Kleivsetvatn undersøkes hvert fjerde år. I Bjorvatn er det tidligere bare påvist taksa som er tolerante for surt vatn med unntak av 2002 hvor det ble registrert småmuslinger, *Pisidium* sp. Innsjøen fremstår derfor som meget sterkt forsuringsskadet. I Lille Hovvatn kan tilstedeværelse av småmuslinger i strandsonen og registrering av den moderat sensitive steinfluen *Isoperla grammatica* i utløpsbekken tyde på at vatnet er i ferd med å gjenhente seg fra en tidligere sterkt skadet tilstand. I Sognevatn ble det funnet syv følsomme taksa høsten 2011. De vanligste taksa var de sterkt følsomme døgnfluene *Baetis rhodani* og *Caenis horaria*, steinflueslekten *Isoperla* sp. og vårflueslekten *Hydropsyche* sp. De fleste registreringene ble gjort i utløpet. I selve vatnet ble det, i likhet med de foregående år, påvist svært følsomme døgnfluer. Sognevatnet må på basis av faunaen karakteriseres å være lite forsuringsskadet. Risvatn og Kleivsetvatn hadde mange sensitive bunndyrarter. Gode tettheter av sensitive døgnfluer i begge vatn viser

at de har en god vannkvalitet. I Drivenesvatnet ble det registrert følsomme steinfluer og vårfluer. Dette indikerer moderat foruringskade.

Sørlandet - Vest (region V)

I region V undersøkes Saudlandsvatn, Ljosvatn og Lomstjørni årlig. I Saudlandsvatn ble det i 2011 påvist seks følsomme taksa. De seneste års resultater viser at forekomstene av de mest følsomme bunndyrene fortsatt er meget ustabile og at små vannkjemiske endringer kan slå disse ut igjen. En økende andel av sensitive organismer viser at det biologiske mangfoldet i Saudlandsvatn utvikler seg i positiv retning. Av arter som har etablert stabile bestander i de seneste årene kan nevnes døgnfluene *Cloeon* sp. og *Siphonurus* sp. samt vårfluen *Hydropsyche* sp. I Ljosvatn ble det registrert to moderat sensitive vårfluer, *Wormaldia* sp. og *Hydropsyche siltalai*. Lokaliteten vurderes som meget sterkt foruringskadet, men sporadiske funn av sensitive bunndyr kan tyde på at vatnet er inne i en fase av begynnende gjenhenting. I Lomstjørni ble det funnet elleve følsomme taksa bestående av meget følsomme og moderat følsomme arter. Døgnfluene *Baetis rhodani* og *B. fuscatus* var tallrike i utløpsbekken. I strandsonen ble det registrert sensitive døgnfluearter som *Cloeon simile* og *Siphonurus alternatus*. Antall følsomme individ er økende, og Lomstjørni fremstår nå som lite foruringskadet. Resultatene fra innsjøene som undersøkes årlig i region V indikerer en økning i biologisk mangfold over tid.

Vestlandet - Sør (region VI)

I region VI ble Røyrvatnet undersøkt i 2011. Etter mange år med sterk foruringskade har Røyrvatnet vist tegn til en begynnende gjenhenting av bunndyrfaunaen i de siste fem årene. I 2011 ble det registrert fem moderat sensitive bunndyrtaksa i lokaliteten: steinfluene *Isoperla grammatica* og *Diura nanseni* samt vårfluene *Hydropsyche siltalai*, *Lepidostoma hirtum* og *Itytrichia lamellaris*. Røyrvatn synes nå å føye seg til en generell positiv utvikling for regionen, se elveundersøkelsene.

Vestlandet - Nord (region VII)

I region VII ble totalt fem innsjøer undersøkt i 2011. Markhusdalsvatn, Nystølsvatn og Svartetjern undersøkes årlig, mens Oddmundalsvatn (Vaksdal) og Holmevatnet (Gaular) undersøkes hvert fjerde år. Bunnfaunaen i Markhusdalsvatn var meget sterkt foruringskadet frem til 1999. Fra dette året er det sporadisk registrert moderat sensitive bunndyrarter i lokaliteten. I 2011 ble det funnet to moderat forsuringssensitive arter. Steinfluen *Isoperla grammatica* ble registrert i utløpsbekken og døgnfluen *Siphonurus alternatus* ble registrert i strandsonen. Nystølsvatn hadde en periode med sterkt foruringskadet bunnfauna i årene 2000 og 2001. Etter dette har vatnet vist sporadiske tegn til forbedring, med registreringer av moderat sensitive bunndyr. I 2011 ble den moderat sensitive steinfluen *Diura nanseni* registrert i utløpet. Nystølsvatn er svært ionefattig og følgelig følsom for forsuring. I Svartetjern ble det kun påvist tolerante arter. Holmevatn ligger nedstrøms Nystølsvatn og ligner denne innsjøen av type. Innslaget av følsomme bunndyrarter var større i Holmevatnet. Det ble her registrert tre moderat sensitive arter: døgnfluen *Ameletus inopinatus* og steinfluene *Isoperla grammatica* og *Diura nanseni*. Samlet sett har det foregått markerte forbedringer i deler av region VII, mens andre lokaliteter fortsatt viser skader på bunndyrfaunaen.

Midt-Norge (region VIII)

I region VIII undersøkes Svartdalsvatn årlig. Det ble påvist tre moderat forsuringssensitive bunndyrarter i dette vatnet. Døgnfluen *Siphonurus lacustris* og steinfluen *Capnia* sp. ble registrert i strandsonen, mens steinfluen *Diura nanseni* ble registrert i utløpselven.

Nord-Norge (region IX)

I region IX er Nedre Kaperdalsvatn undersøkt siden 1999. Antall registrerte taksa og individer har vært lavt i innsjøen. I 2011 ble det registrert tre moderat forsuringfølsomme taksa: døgnfluen *Ameletus inopinatus*, steinfluen *Isoperla grammatica* samt småmuslinger (*Pisidium* sp.). Lokaliteten karakteriseres som meget næringsfattig, noe som kan forklare den artsfattige faunaen. Dette tilsier også at innsjøen er svært følsom for surt nedfall.

Øst-Finnmark (region X)

I region X skal bunnfaunaen i Dalvatn undersøkes årlig. Det ble ikke tatt bunndyrprøver i denne lokaliteten i 2011.

Trender i bunndyrobbservasjoner

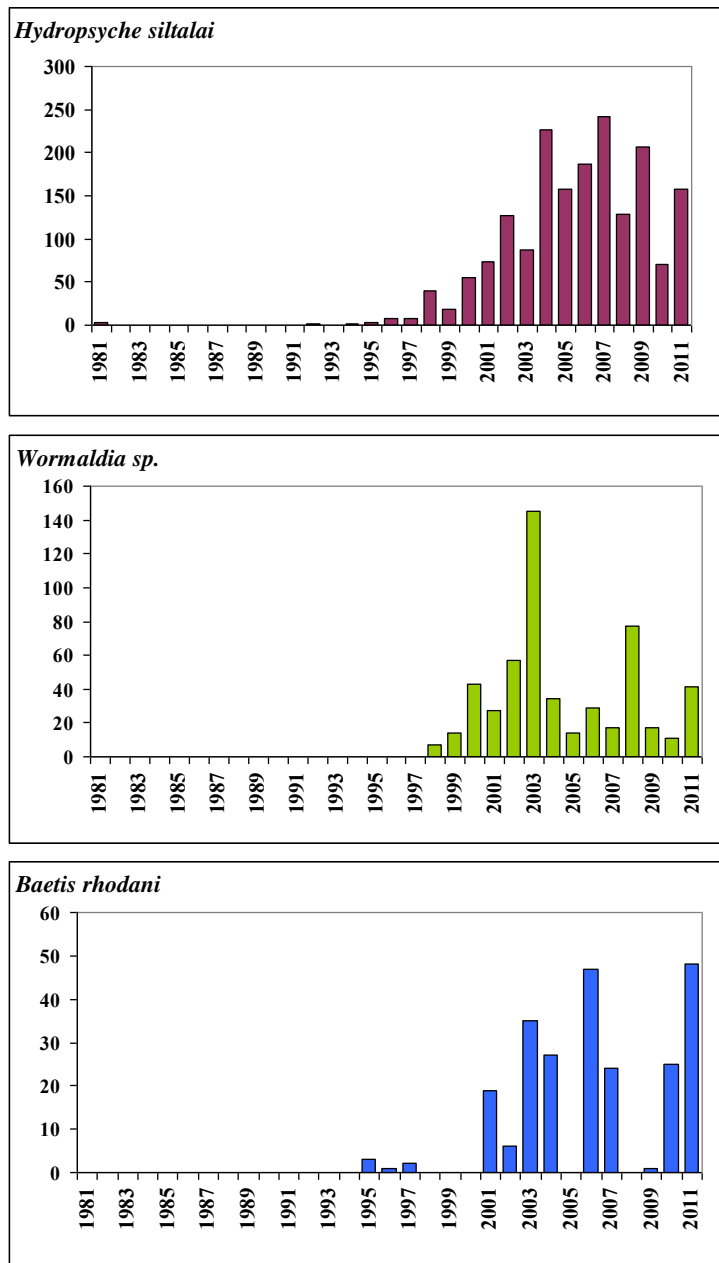
En del av elvene og innsjøene som inngår i overvåkingen har vært undersøkt over lange tidsrom. Lille Hovvatn (region IV) har vært undersøkt over 15 år (referanse til det nærliggende kalkete Store Hovvatn). Innsjøen var meget sterkt forsuret i perioden 1977 til 1980. I siste halvdel av nittitallet ble det sporadisk registrert moderat forsuringfølsomme arter: småmuslinger (*Pisidium* sp.) og døgnfluen *Siphonurus* sp. Sistnevnte er blitt registrert sporadisk i lokaliteten og bestanden må karakteriseres som ustabil. I 2011 ble det registrert en ny moderat forsuringfølsom art, steinfluen *Isoperla grammatica*. Rekrutteringen av disse sensitive bunndyrene skjer sannsynligvis fra det nærliggende Store Hovvatn, der de har blitt tallrike etter kalking.

Saudlandsvatn (region V) har vært overvåket siden 1981. Utviklingen av følsomme taksa i Saudlandsvatn og nærliggende områder har vært meget positiv fra 1990, med økt mangfold av sensitive arter. Vårfluene *H. siltalai* og *Wormaldia* sp. er eksempler på følsomme arter som kom tilbake i siste halvdel av nittitallet i bekkelokaliteter nær Saudlandsvatn (Figur 21).

Den sterkt forsuringssensitive døgnfluen *B. rhodani* har vist en ustabil gjenhentingsprosess i dette området. I 2011 ble det registrert 48 eksemplarer av arten. Sporadisk fravær er sannsynligvis forårsaket av sure episoder. Vannkvaliteten er foreløpig for ustabil for en permanent etablering. Moderat følsomme arter viser derimot stabile bestander.

I tidligere rapporter er det påpekt at det er blitt registrert flere igler i lokaliteter på Sørlandet. I region V er kun en igleart, blodigle, oppført som sikker for regionen, mens andre igler er angitt med usikker forekomst i Fauna Norvegica (Aagaard & Dolmen 1996). Dyregruppen har trolig vært sparsomt utbredt i regionen tidligere, noe som kan skyldes forsuring. Vi har indikasjoner på at iglene er moderat følsomme for surt vann, mens noen av deres viktigste næringsorganismer, som f. eks. snegl, er meget følsomme. Overvåkingen har vist at tøyet flatigle (*Helobdella stagnalis*), hundegle (*Erpobdella octoculata*) og andegle (*Theromyzon tessulatum*) har blitt mer vanlige i flere lokaliteter på Sørlandet. I 2011 ble det registrert igler i Kleivsetvatnet og Saudlandsvatnet. Utviklingen tolkes som en positiv effekt av redusert forsuring både på iglene og på viktige næringsdyr.

I region VI har den delen av Vikedalsvassdraget som ligger oppstrøms kalkdosereren inngått i overvåkingen siden 1982. Elva fra Flotavatn har gjennom hele perioden hatt sporadiske innslag av den moderat forsuringfølsomme steinfluen *Diura nanseni* (Figur 22).



Figur 21. Antall registrerte individer av vårfluene *Hydropsyche siltalai* og *Wormaldia sp.* samt døgnfluen *Baetis rhodani* i Saudlandsområdet, Farsund, i perioden 1981-2011.

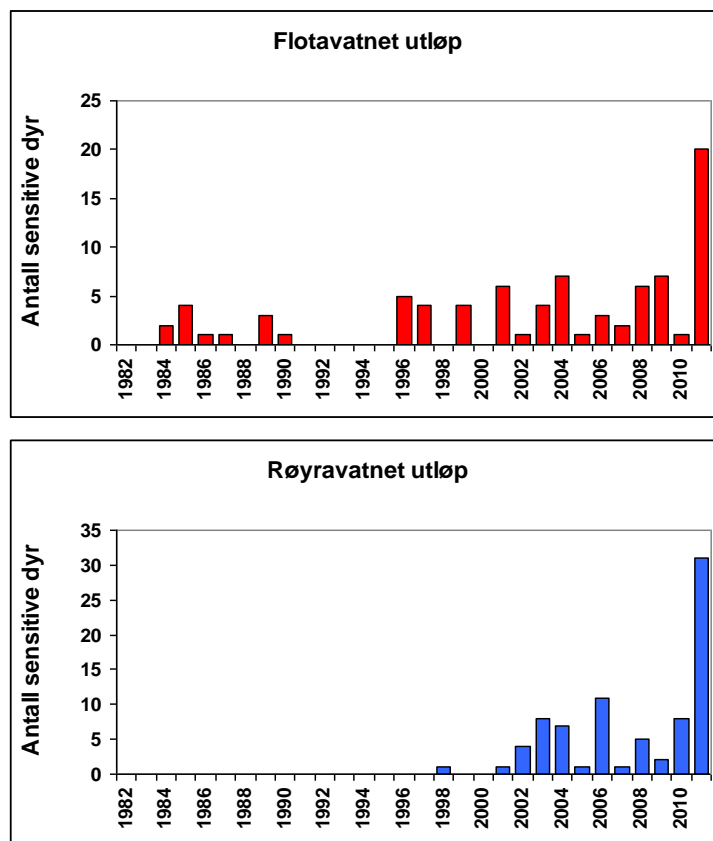
Figur 21. Total number of the caddisflies *Hydropsyche siltalai* and *Wormaldia sp.* and the mayfly *Baetis rhodani* in the Saudland area, Farsund, during 1981-2011.

Døgnfluen *B. rhodani* ble første gang påvist i elva fra Flotavatnet i 2001. I 2011 registrerte vi fem individer av arten her. Utviklingen over tid viser at forurensningsnivået i lokaliteten er ennå ikke akseptabelt. Det biologiske mangfoldet i lokaliteten vil øke dersom vannkvaliteten bedres. Bunndyrfaunaen i elva fra Røyrvatn har vist at lokaliteten var sterkt forurenet i perioden 1982-1997. Situasjonen i de senere årene viser en endring i positiv retning (Figur 22), med redusert forurensningsskade og økning i biologisk mangfold. Det observeres årlig ulike moderat sensitive arter. I 2006 ble *Baetis rhodani* registrert for første gang i lokaliteten, da det ble funnet ett individ av arten i utløpselva. Arten ble registrert på nytt i 2008 og i 2010, men

ikke i 2011. Vi regner med at det ennå vil ta tid å etablere en stabil bestand av arten i denne lokaliteten. I tillegg til *B. rhodani* ble det registrert flere moderat sensitive bunndyr i lokaliteten: steinfluene *Diura nanseni* og *Isoperla grammatica* samt vårfluene *Itytrichia lamellaris*, *Lepidostoma hirtum*, *Hydropsyche silatalai* og *H. pellucidula*.

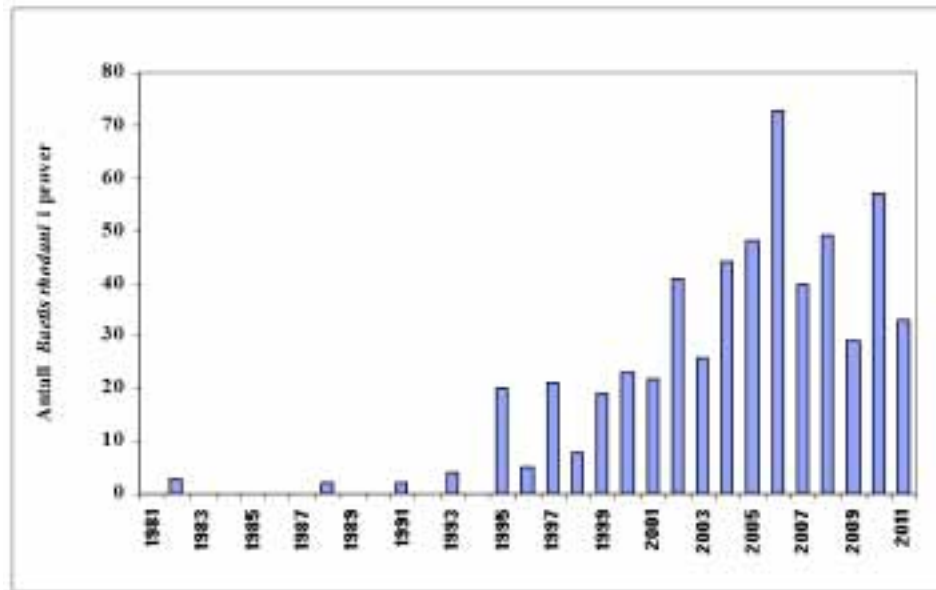
Den nedre, ukalkete delen av Vikedalsvassdraget har vist en markert gjenhenting av bunndyrfaunaen i de senere år. Utviklingen i bestanden av døgnfluen *B. rhodani* i en lokalitet som ligger nedstrøms Fjellgardsvatnet, er et eksempel på dette (Figur 23). Her ble arten bare registrert sporadisk i tidsrommet 1982 til 1994. Etter 1995 viser arten stabile forekomster.

I region VII har vi overvåket Markhusdalsvatn siden 1991 og innløp og utløpselv fra Nystølsvatn siden 1984. Den førstnevnte av de to lokalitetene har vært meget sterkt forsuret i mesteparten av perioden, men i 1999 ble det funnet moderat forsuringfølsomme taksa. Prøvene fra de siste årene indikerer ustabil vannkjemi, til tross for en positiv tendens i utviklingen av følsom fauna og biologisk mangfold. Bunndyrfaunaen i Nystølsvatn, som var sterkt forsuret i 2000 og 2001, har også vist en positiv utvikling de siste årene.



Figur 22. Forekomst av forsuringssensitive bunndyr i utløpselvene fra Flotavatnet og Røyrvatnet, Vikedalsvassdraget, i perioden 1982-2011.

Figure 22. Numbers of acid-sensitive benthic animals in the outlet rivers from Lake Flotavatnet and Lake Røyrvatnet, River Vikedalsvassdraget, in the period 1982-2011.



Figur 23. Forekomst av døgnfluen *Baetis rhodani* i en ukalket elvelokalitet nedstrøms Fjellgardsvatnet i Vikedalsvassdraget i perioden 1982-2011.

Figure 23. Numbers of the acid-sensitive mayfly *Baetis rhodani* in an unlimed locality in the main River Vikedalsvassdraget during 1982-2011.

3.2.2 Effekter på krepsdyr

Totalt ble det i 2011 registrert 66 arter av planktoniske og litorale krepsdyr, hvorav 41 arter vannlopper (Cladocera) og 25 arter hoppekreps (Copepoda; cyclopoide og calanoide). De fleste av disse har en vid geografisk utbredelse og er tolerante mht. de fleste miljøforhold, inklusive forsuring. Eksempler på forsuringfølsomme arter er *Daphnia longiremis*, *D. longispina*, *Eucyclops macrurus* og *E. speratus*. Arter innen slekten *Daphnia* spp. har en sentral funksjon som surhetsindikatorer, både for dagens innsjøer og i historisk sammenheng. Allerede ved pH 6,0 begynner artene å opptre med avtagende frekvens, og de mangler med få unntak i lokaliteter med pH lavere enn 5,5. En ny art, vannloppen *Acroperus angustatus*, ble registrert i 2011. Den ble kun funnet i en av innsjøene. Arten er tidligere bestemt som den mer vanlig forekommende arten *Acroperus harpae*, men nye studier viser at dette er snakk om to arter (Sinev 2009).

Artsantallet for den enkelte lokalitet varierte i 2011 mellom 10 og 40. Antall arter i en lokalitet er avhengig av vannkvaliteten, geografisk beliggenhet, klimaforhold og biologiske forhold for øvrig. Lavest artsrikdom finnes i sure lokaliteter og da spesielt i kombinasjon med ugunstige klimatiske forhold (kort vekstsesong og lave sommertemperaturer), og hvor innholdet av TOC er lavt. I de mest forsuringsskadede lokalitetene vil det være få forsuringfølsomme arter. To av de mest vanlig forekommende krepsdyrartene, den cyclopoide hoppekrepsen *Cyclops scutifer* og den calanoide hoppekrepsen *Eudiaptomus gracilis*, har forskjellig toleranse for forsuring, der førstnevnte art er mest følsom. Mest tolerant er imidlertid små vannlopper, som *Bosmina longispina* og *Chydorus sphaericus*. Forholdet mellom de tre gruppene av krepsdyr (vannlopper, calanoide hoppekreps, cyclopoide hoppekreps) brukes derfor for å identifisere innsjøer med store forsuringsskader fra de som er mindre forsuret.

Fordi forekomsten av mange av de forsuringssensitive artene er bestemt av andre miljøfaktorer (for eksempel klima, kalsiumkonsentrasjon og fiskepredasjon) i tillegg til forsuring, finnes det også uforsurete innsjøer med lav artsdiversitet, lav andel av forsuringfølsomme arter og dominans av arter som er karakteristisk for ferskvannlokaliteter. Kunnskap om forventet naturtilstand er avgjørende for å kunne vurdere hvor forsuringsskadede krepsdyrsamfunnet er.

Østlandet – Nord (region I)

Totalt er det registrert 59 arter i region I basert på overvåkingen i perioden 1997-2011. To av innsjøene undersøkes årlig. Atnsjøen (Stor-Elvdal) er en referansesjø med ingen eller kun ubetydelige forsuringsskader. Andelen forsuringfølsomme individer viser likevel en liten økning over tid. Stortjøna (Engerdal) er moderat forsuret og andelen forsuringfølsomme småkreps er relativt lav, vanligvis i underkant av 20 %. I 2011 var andelen 22 %. De siste fire årene er det registrert flere forsuringfølsomme arter tilhørende hoppekrepslekten *Eucyclops*. *Eucyclops speratus*, som regnes som moderat forsuringfølsom, ble registrert i 2008 og 2009, mens både *E. denticulatus* og *E. macruroides* ble funnet i 2011. Den siste regnes som svært forsuringfølsom. Både *E. denticulatus* og *E. macruroides* er i sammenheng med sur nedbør overvåkingen nye for regionen. I tillegg er to innsjøer i region I undersøkt hvert fjerde år (1998, 2002, 2006, 2010). I den ene av disse, Måsabuttjøna (Rendalen), er *Daphnia longispina* funnet i alle år med undersøkelser. For øvrig er andelen forsuringfølsomme arter lav både i denne innsjøen og i Fjellvatn (Sør-Aurdal).

I 1998 ble faunaen i totalt 11 innsjøer i region I undersøkt. Basert på krepsdyrfaunaen ble enkeltstående innsjøer i regionen den gang vurdert å være ubetydelig/lite til sterkt forsuringsskadede (svært god/god – dårlig økologisk tilstand). Undersøkelsene gir så langt ingen, eller kun svake tegn på en positiv utvikling i forsuringssituasjonen i region I.

Østlandet – Sør (region II)

Totalt er det registrert 69 arter i region II basert på overvåkingen i perioden 1996-2011. Totalt åtte innsjøer er undersøkt hvert fjerde år eller oftere. Antall krepsdyrarter og andel forsuringfølsomme arter varierer mellom år, men samlet sett har det ikke vært noen endringer etter 2002 (se figur 46 i Klif 2011).

Dafnier er funnet i fem av totalt 12 undersøkte innsjøer i denne regionen, og for fire av disse ble det også registrert dafnier i 2009/2010. Tre av lokalitetene i region II undersøkes årlig. Bredtjenn er en av de mest forsuringsskadede overvåkingssjøene i regionen, med lav artsdiversitet og dominans av arter som synes begünstiget av forsuring. En forsuringfølsom vannloppe, *Alona karelica*, ble for første gang registrert i 2008, men denne er ikke funnet siden. Fra Langtjern (Flå) fins det, i tillegg til nyere krepsdyrundersøkelser, planktondata fra 1977. Prosentvis forekomst av den forsuringfølsomme arten *Daphnia longispina* i planktonet har i alle år vært lav. Andelen har imidlertid vært noe høyere etter 2003, men på samme nivå som i 1977. Den moderat følsomme hoppekrepsen *Acanthodiatomus denticornis* viste en tendens til økende mengder i planktonet i perioden 2001-2008, men mengdene av denne har siden vært svært lave. Øvre Jerpetjern (Notodden) ble tatt ut av overvåkingen f.o.m. 2011. Innsjøen er påvirket av veivalter i tillegg til forsuring. Andelen forsuringfølsomme arter var relativt høy i årene 2005-2008 (18-21 %) mens den var lav i 2009 og 2010 (13-14 %). I Langvatn (Oslo), som er undersøkt årlig i perioden 1996-1999 og siden hvert fjerde år, er det registrert relativt høy andel forsuringfølsomme arter. Blant annet ble den svært forsuringfølsomme hoppekrepsen, *Eucyclops macrurus*, registrert som ny art i 2009. Dafnier er imidlertid kun registrert i 1997 og i 2006.

For enkeltlokaliteter i region II vurderes forsuringsskadene som liten til meget stor basert på krepsdyrfaunaen (god - svært dårlig økologisk tilstand). Resultatene fra region II gir så langt ingen eller kun svake tegn på en positiv utvikling i forsuringssituasjonen i regionen. Relativt store år til år variasjoner tyder på at vannkvaliteten er marginal i forhold til de krav som stilles for reetablering av forsuringfølsomme arter av småkreps.

Fjellregion - Sør-Norge (region III)

Totalt er det registrert 42 arter i region III basert på overvåkingen i perioden 1996-2011. Fra to av lokalitetene fins det årlige krepsdyrdata siden 1997. I Heddersvatn (Hjartdal), som også ble undersøkt i 1978, ble *Cyclops scutifer* registrert for første gang i 1999 og ble funnet i små mengder i de påfølgende årene. I 2009 og 2010 utgjorde arten hele 10-30 % av planktonet. Dette kan tolkes som en respons på bedring i vannkvaliteten. I Rondvatn (Otta) ble det i 2010 registrert tre nye forsuringfølsomme arter; blant annet hoppekrepsen *Arctodiaptomus laticeps* og vannloppen *Daphnia longispina*. Dafnier er ikke tidligere registrert i innsjøen, verken i undersøkelser gjennomført på 1940-tallet eller i 1986, og den ble heller ikke gjenfunnet i 2011. Vi er derfor usikre på om det finnes en bestand av dafnier i Rondvatn eller om prøven har blitt forurenset. Begge de to øvrige artene ble funnet igjen i 2011, *A. laticeps* med en økt bestand. Både Rondvatn og Heddersvatn har en artsfattig krepsdyrfauna; totalt er det kun registrert hhv. 21 og 26 arter i løpet av overvåkingsperioden. I Heddersvatn er andelen forsuringfølsomme arter lav og variabel (0-19 %), mens denne er relativt høy i Rondvatn (20-42 %). Det er sannsynlig at det er andre forhold en forsuring, for eksempel dårlig utviklet litoralsone, ugunstig klima og marginal vannkvalitet med lave ionekonsentrasjoner, som er begrensende faktorer for småkreps i disse fjellsjøene.

Innsjøene i region III er vurdert som ubetydelig/lite til sterkt forsuringsskadet (svært god/god - dårlig økologisk tilstand) basert på krepsdyrfaunaen. Resultatene fra region III indikerer at en gradvis bedring av vannkvaliteten nå følges av en svak, men positiv utvikling i krepsdyrfaunaen i innsjøer som tidligere har vært forsuringsskadet.

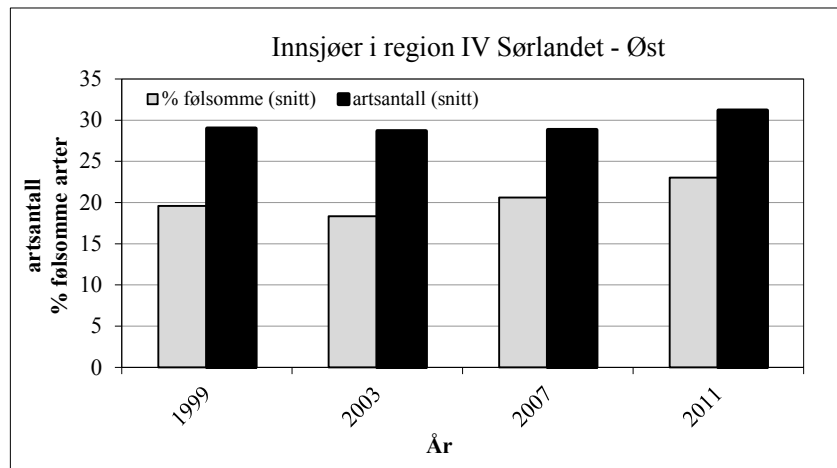
Sørlandet - Øst (region IV)

Totalt er det registrert 68 krepsdyrarter i region IV i perioden 1996-2011. Tre av innsjøene overvåkes årlig. Bjorvatn (Birkenes) er moderat forsuringsskadet. De siste årene, særlig fra 2003, er det kommet inn flere moderat forsuringfølsomme arter av småkreps som tidligere ikke er registrert i innsjøen. Andelen forsuringfølsomme arter har vært lav (vanligvis <20 %), men har økt og de siste fire årene har andelen variert mellom 21 og 31 %. Krepsdyrundersøkelsene indikerer en klar forbedring av forsuringstilstanden i Bjorvatn. Lille Hovvatn (Birkenes) hører til de mest forsuringsskadete overvåkingssjøene, og krepsdyrsamfunnet gir ingen tegn på endringer i forsuringstilstanden. I perioden 2005-2011 er det kun registrert forsuringstolerante arter. I 2011 ble det funnet en ny art; vannloppen *Iliocryptus sordidus*, men heller ikke denne er antatt å være spesielt følsom for forsuring. I 1998 og i 2009 ble det funnet noen få individer av hoppekrepsen *Cyclops scutifer*. Etablering av denne vanlig forekommende arten er ofte et første tegn på en bedring i vannkvaliteten, men lave tettheter og kun sporadiske funn underbygger vurderingen av at Lille Hovvatn fremdeles er svært forsuringsskadet. Songevatn (Songdalen/Vennesla) hører til de mest artsrike innsjøene med totalt 57 arter av krepsdyr registrert i forbindelse med overvåkingen i perioden 1997-2011. Andelen *Daphnia longispina* i planktonet økte gradvis fra kun sporadiske funn og svært lave tettheter i 1997 til ca 5 % i 2003. Deretter har andelen av *Daphnia longispina* variert mellom <1 og 7 %. Predasjon fra fisk kan være en forklaring på at dafniene ikke utgjør en større andel av planktonet. I 2010 ble det funnet en ny svært forsuringfølsom art i Songevatn, hoppekrepsen *Cryptocyclops bicolor*, som tidligere kun er funnet i tre lokaliteter i

Aust-Agder. Arten ble ikke gjenfunnet i 2011, men der i mot ble det registrert to nye arter. Den ene av disse, *Acroperus angustatus* ble tidligere bestemt som den mer vanlig forekommende arten *Acroperus harpae*, men nye studier viser at dette er snakk om to arter. I Songevatn antar vi at begge arter har vært til stede i hele overvåkingsperioden.

Risvatn (Birkenes), Drivnesvatn (Vennesla) og Kleivsetvatn (Søgne) blir undersøkt hvert fjerde år. Artsantallet er høyt i alle innsjøene og andel forsuringfølsomme arter varierer mellom 20 og 30 %. Risvatn, som er den innsjøen med høyest artsantall og høyest andel forsuringfølsomme arter, har også en liten bestand av dafnier. I Risvatn ble det i 2011 registrert tre nye arter, hvorav en er, i sammenheng med overvåkingen, ny for regionen; hoppekrepsen *Ectocyclops phaleratus*. Arten har en begrenset utbredelse og er ofte assosiert med næringsrike vann. Også i Kleivsetvatn ble det registrert tre nye arter, hvorav to arter er moderat forsuringfølsomme. Drivnesvatn har tidligere hatt en bestand av dafnier, men arten ble ikke registrert verken i 2007 eller i 2011.

Gjennomsnittlig artsantall og andel forsuringfølsomme arter i region IV har økt svakt i perioden 1999-2011 (Figur 24), men sammenligningen er kun basert på et fåtall innsjøer.



Figur 24. Gjennomsnittlig antall arter av småkreps (*Cladocera* + *Copepoda*) og andel forsuringfølsomme småkreps (% av totalt antall arter) for 6 innsjøer i region IV (Sørlandet – Øst) undersøkt i 1999, 2003, 2007 og 2011.

Figure 24. Average numbers of microcrustacean species (*Cladocera* + *Copepoda*) and relative number of acid sensitive species (% of total number of species) for 6 lakes in region IV (southern coast of Norway - east) monitored in 1997, 2003, 2007 and 2011.

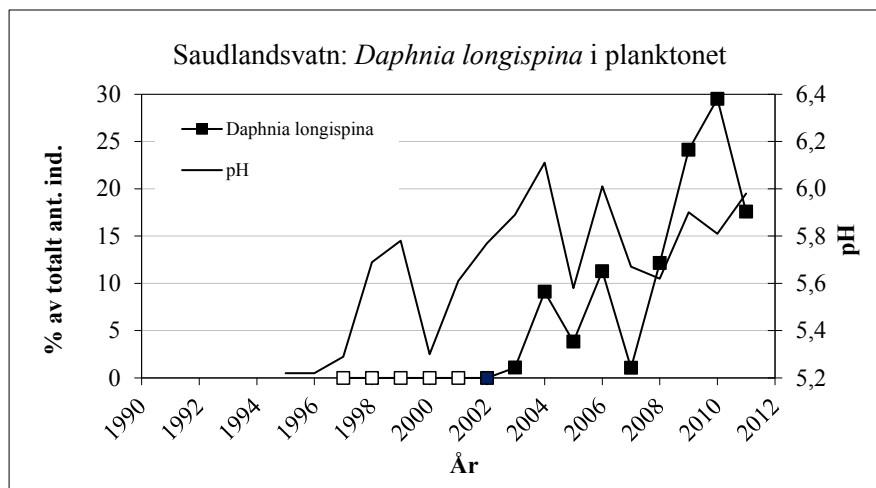
Krepsdyrsamfunnene viser stor variasjon og forsuringsskadene er vurdert som liten til meget stor (god – svært dårlig økologisk tilstand) for enkeltsjøene i region IV. Enkelte innsjøer viser små, men ustabile, positive endringer, men de fleste innsjøene viser ingen indikasjoner på endringer i forsuringstilstanden over overvåkingsperioden.

Sørlandet - Vest (region V)

Totalt er det registrert 59 arter i region V i overvåkingsperioden 1996-2011. Seks av innsjøene i regionen er undersøkt hvert fjerde år eller oftere. Tre av innsjøene i region V blir undersøkt årlig. I Saudlandsvatn (Farsund) ble det i 2002, for første gang, funnet individer av *Daphnia longispina* i planktonet. Andelen av *D. longispina* har siden økt og denne har enkelte

år, spesielt etter 2008, vært en av de dominerende planktonartene (Figur 25). Andelen forsuringfølsomme arter har også økt de siste årene og varierer vanligvis mellom 20 og 25 %. Samlet indikerer resultatene en begynnende gjenhenting av krepsdyrfaunaen i innsjøen. Lomstjørnei (Bjerkreim) vurderes som svakt til moderat forsuringsskadet med høye andeler forsuringfølsomme arter. Andelen *Daphnia longispina* i planktonet varierer imidlertid mellom år, og er sjelden større enn 5 %. Ljosvatn (Sokndal) hører til de mest forsuringsskadete av overvåkingssjøene våre. I perioden 2005-2007 har det imidlertid blitt registrert totalt fire nye moderat forsuringfølsomme arter i Ljosvatn; kun en av disse er funnet i påfølgende år. Andelen forsuringfølsomme arter er generelt lav og varierer dessuten mellom år. I 2011 ble det for eksempel kun registrert en forsuringfølsom art mens det i 2010 ble funnet tre slike arter. Forholdene i Ljosvatn er foreløpig for ustabile og ugunstige til en mer permanent etablering av forsuringfølsomme arter.

Innsjøene i region V er klassifisert som litt/moderat til sterkt forsuringsskadet (god – svært dårlig økologisk tilstand) basert på krepsdyrfaunaen. Resultatene fra region V indikerer at en gradvis bedring av vannkvaliteten følges av en svak, men positiv utvikling i krepsdyrfaunaen i de minst forsuringsskadete av innsjøene i denne regionen.



Figur 25. Andel (% av totalt individantall) av vannloppen *Daphnia longispina* i Saudlandsvatn (region V, Sørlandet - Vest) i 1997-2011. Åpne symboler: ingen funn av dafnier i planktonprøver. pH er fra høstprøver (unntak 2004: gjennomsnitt av prøver tatt vår og sommer).

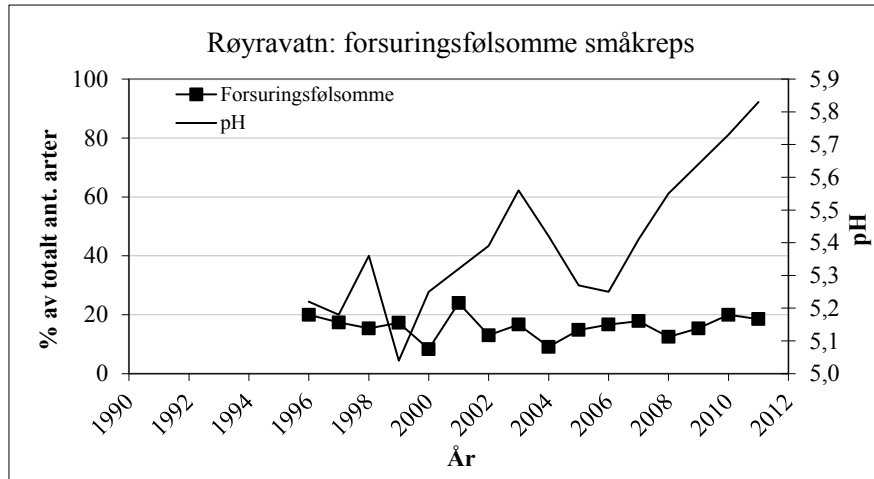
Figure 25. Relative abundance (% of total numbers) of the water-flea *Daphnia longispina* (Cladocera) recorded in Lake Saudlandsvatn (region V, southern coast of Norway - west) in 1997-2011. Open symbols: no records of daphnids in plankton samples. pH values from samples taken in the autumn or mean value based on samples taken in spring and summer.

Vestlandet - Sør (region VI)

Totalt er det registrert 45 krepsdyrarter i region VI i perioden 1996-2011. Kun Røyravatn i Vindafjord blir undersøkt årlig. Her ble det i forbindelse med bunndyrundersøkelsene i 2000 registrert individer av *Daphnia* sp. i utløpselva. Først i 2009 ble *Daphnia galeata* funnet i planktonet, og da kun med ett individ i en prøve fra strandsonen. Arten ble ikke funnet verken i 2010 eller 2011. Likevel er det sannsynlig at dafnier finnes i svært lave tettheter i innsjøen. En ny moderat forsuringfølsom art, *Paracyclops affinis*, ble registrert i 2010.

Krepsdyrundersøkelsene gir ellers ingen tegn på endringer i forursingssituasjonen i Røyrvatn (Figur 26).

Forsuringsskadene basert på krepsdyrfaunaen er vurdert som moderat til stor (moderat – dårlig økologisk tilstand) for enkeltjøene i region VI. Samlet sett vurderes forursingstilstanden for region VI å være uforandret basert på krepsdyrundersøkelsene.



Figur 26. Andel (% arter) av forsuringsfølsomme småkreps (*Cladocera* + *Copepoda*) i Røyrvatn (region VI, Vestlandet - Sør) i 1996-2011. pH er fra høstprøver.

Figure 26. Relative occurrence (% of total species numbers) of acid sensitive microcrustaceans (*Cladocera* + *Copepoda*) in Lake Røyrvatn (region VI, south-western Norway) in 1997-2011. pH values from samples taken in the autumn.

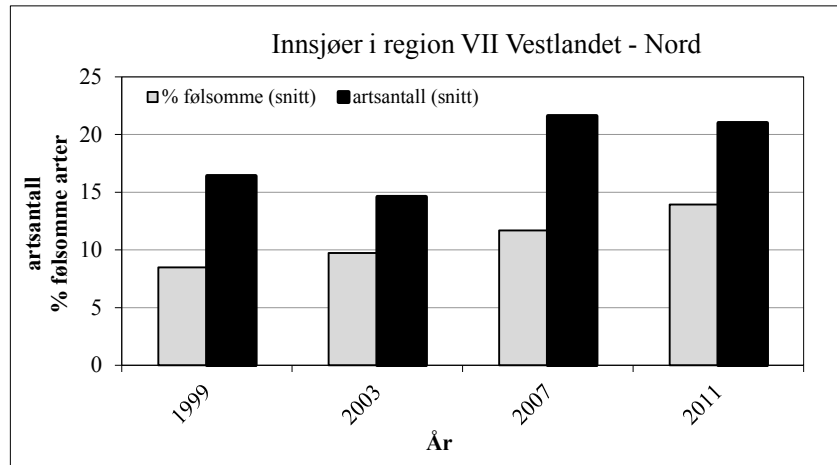
Vestlandet - Nord (region VII)

Totalt er det registrert 52 krepsdyrarter i region VII i perioden 1996-2011. For tre av innsjøene i regionen fins det årlige krepsdyrdata; Markhusdalsvatn og Svartetjern (begge Masfjorden) og Nystølsvatn (Gaular). Andelen forsuringsfølsomme arter er lav i alle innsjøene, som for øvrig viser relativt store år til år variasjoner mhp. krepsdyrfaunaen. I Svartetjern har både antall arter og andelen forsuringsfølsomme arter økt siden 2004. Andelen forsuringsfølsomme arter i Markhusdalsvatn var generelt noe høyere i perioden 2006-2010 sammenlignet med årene før 2006, men i 2011 var andelen lav, kun 7 %. I Nystølsvatn ble det i 2009 registrert en ny moderat forsuringsfølsom art, vannloppen *Alona intermedia*, denne ble funnet på nytt i 2011. Samtidig ble en svært forursingstolerant art, vannloppen *Acantholeberis curvirostris*, funnet for første gang i Nystølsvatn. Sett under ett så viser verken Nystølsvatn eller Markhusdalsvatn noen klar trend mhp. krepsdyrfaunaen.

Oddmundalsvatn (Vaksdal) og Holmevatn (Gaular) undersøkes hvert fjerde år, siste gang i 2011. Artsantall og andel forsuringsfølsomme arter er lavt i begge innsjøer. I 2011 ble det registrert to nye arter i Oddmundalsvatn, hvorav en er moderat forsuringsfølsom. I Holmevatn ble det kun registrert en ny forursingstolerant art. Andel forsuringsfølsomme arter var på samme nivå som tidligere (Holmevatn) eller noe høyere (Oddmundalsvatn).

Gjennomsnittlig artsantall og andel forsuringsfølsomme arter i region VII har økt svakt i perioden 1999-2011 (Figur 27), men sammenligningen er kun basert på et fåtall innsjøer.

I 1999 ble krepsdyrfaunaen i totalt 12 innsjøer i regionen undersøkt. Innsjøene i region VII ble den gang klassifisert som ubetydelig/litt til sterkt/svært sterkt forurensningskaded (svært god/god-dårlig/svært dårlig økologisk tilstand). Overvåkingssjøene i regionen er alle næringsfattige med lave kalsiumkonsentrasjoner ($0,1-1,0 \text{ mg Ca L}^{-1}$). Det er sannsynlig at forurensningssituasjonen er vurdert som mer alvorlig enn det som er realiteten. Datagrunnlaget er dessuten ikke tilstrekkelig til å vurdere om det har vært noen endring i forurensningstilstanden basert på krepsdyrfaunaen.



Figur 27. Gjennomsnittlig antall arter av småkrep (Cladocera + Copepoda) og andel forurensningsfølsomme småkrep (% av totalt antall arter) for 5 innsjøer i region VII (Vestlandet – Nord) undersøkt i 1999, 2003, 2007 og 2011.

Figure 27. Average numbers of microcrustacean species (Cladocera + Copepoda) and relative number of acid sensitive species (% of total number of species) for 5 lakes in region VII (north-western Norway) monitored in 1997, 2003, 2007 and 2011.

Midt-Norge (region VIII)

Totalt er det registrert 58 arter av krepsdyr i region VIII basert på overvåkingen i 1996-2011. Kun Svartdalsvatn i Lesja overvåkes årlig. Undersøkelser av denne høyfjellslokaliteten viser årlige forekomster av den forurensningsfølsomme vannloppen *Daphnia longispina*. Med unntak av 1999 og 2000 utgjør dafniene kun en liten mengde av planktonet, og de siste seks årene har andelen vært $< 1 \%$. Lave tettheter av dafnier er også registrert i andre ionefattige klarvannssjøer (Schartau *et al.* 2006).

Innsjøene i region VIII er vurdert som lite til sterkt forurensningskaded (svært god – dårlig økologisk tilstand) basert på krepsdyrfaunaen. Innsjøene i denne regionen er alle næringsfattige med lave konsentrasjoner av kalsium ($0,3 - 1,1 \text{ mg Ca L}^{-1}$) og andre ioner. Det er derfor sannsynlig at forurensningssituasjonen i enkelte av lokalitetene er vurdert som mer alvorlig enn det som er realiteten.

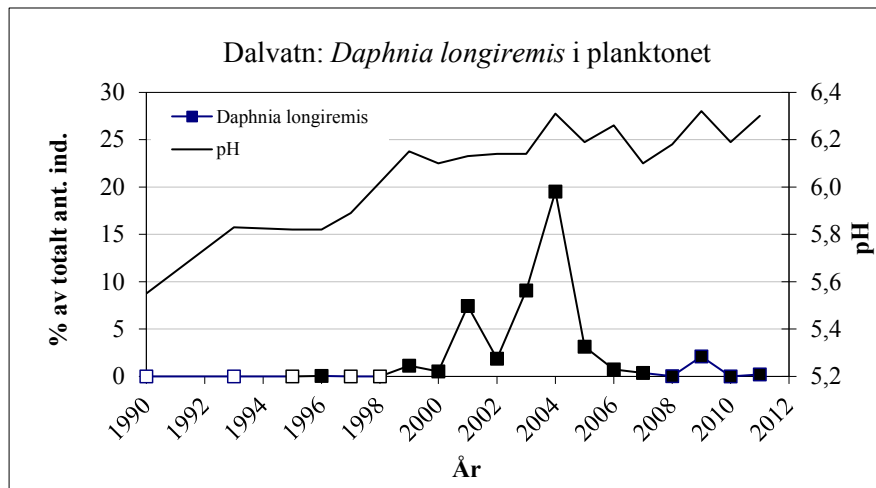
Nord-Norge (region IX)

Kun Nedre Kaperdalsvatn i Tranøy kommune undersøkes årlig. Krepsdyrfaunaen er artsfattig med dominans av moderat forurensningstolerante arter. For øvrig varierer krepsdyrfaunaen relativt mye mellom år.

I 1999 ble seks innsjøer i region IX undersøkt. Totalt ble det registrert 35 arter av planktoniske og litorale krepsdyr. Innsjøene i region IX ble den gang vurdert som ubetydelig/litt til moderat forurensningsskadet (svært god/god – moderat økologisk tilstand) basert på krepsdyrfaunaen. Det er sannsynlig at forurensningssituasjonen i enkelte av lokalitetene er vurdert som mer alvorlig enn det som er realiteten. Artsantall og diversitet er naturlig lav i næringsfattige innsjøer.

Øst-Finnmark (region X)

Totalt er det funnet 44 arter av krepsdyr i region X basert på overvåkingen i perioden 1996-2011. Fire av innsjøene i regionen er undersøkt hvert fjerde år eller oftere. Kun Dalvatn på Jarfjordfjellet i Sør-Varanger blir undersøkt årlig. Fra denne lokaliteten fins det også data fra de fleste år i perioden 1990-1995. Andelen av den forurensningsfølsomme vannloppen *Daphnia longiremis* i planktonet økte fra den første gang ble registrert i 1996 til om lag 20 % i 2004. Mengden av dafnier har imidlertid vært svært lav de siste seks årene til tross for at den vannkjemiske overvåkingen indikerer stabilt god vannkvalitet (Figur 28). Mengden av andre forurensningsfølsomme arter varierer også over år, men var spesielt høy i 2004 og noe lavere de siste årene.



Figur 28. Andel (% av totalt individantall) av vannloppen *Daphnia longiremis* i Dalvatn (region X, Øst-Finnmark) i 1990-2011. Åpne symboler: ingen funn av dafnier i planktonprøver. pH fra høstprøver i samme periode.

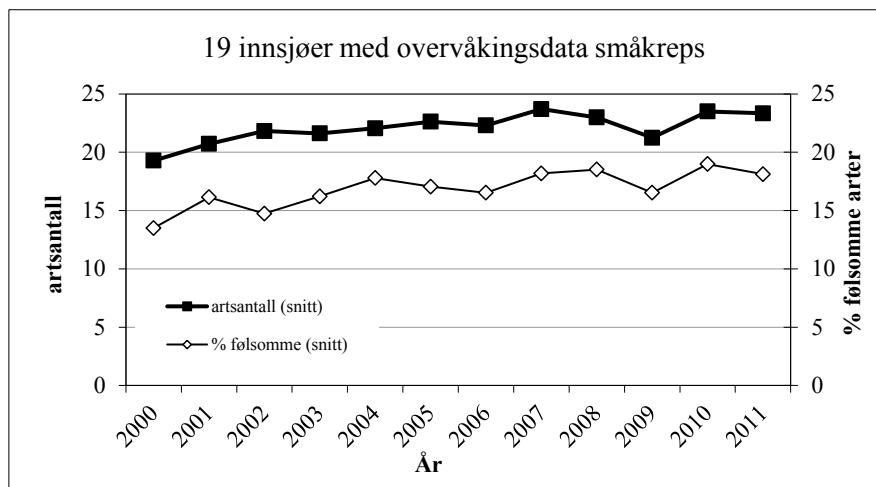
Figure 28. Relative abundance (% of total numbers) of the water-flea *Daphnia longiremis* (Cladocera) recorded in Dalvatn (region X, Eastern Finnmark) in 1990-2011. Open symbols: no records of daphnids in plankton samples. pH is from samples taken during autumn.

Etter 2000 er det sannsynlig at andre forhold enn forurensning har hatt en betydning for utviklingen i krepsdyrfaunaen i Dalvatn. For eksempel kan forekomst av krepsdyrspisende fiskearter (røye og trepigget stingsild) være en forklaring på at dafniene ikke utgjør en større andel av planktonet. De siste årene har dessuten NILU målt økte konsentrasjoner av tungmetaller, særlig kobber og nikkel, i nedbør på Jarfjordfjellet. De store vannloppene er følsomme for tungmetaller, men det er imidlertid usikkert om nivåene i Dalvatn er så høye at disse kan forklare nedgangen i tettheten av dafnier.

Innsjøene i region X er klassifisert som litt/moderat til sterkt forurensningsskadet (god/moderat - dårlig økologisk tilstand) basert på krepsdyrfaunaen.

Trender i krepsdyrobservasjoner

Totalt 19 av lokalitetene som ble undersøkt i 2011, var innsjøer som overvåkes årlig (Gruppe 1- og Gruppe 2 sjøer) inkludert tre referansesjøer; 16 av innsjøene er undersøkt siden 1997 eller tidligere. Fra og med 2000 finnes det årlige krepsdyrdata fra alle innsjøene. Basert på snittverdier har det vært en liten økning i andel forsuringfølsomme småkreps og antall arter fram til 2007 (Figur 29). Deretter er resultatene mindre entydige. Av de forurete innsjøene har i underkant av halvparten vist enkelte indikasjoner på endringer i positiv retning, med reetablering av forsuringfølsomme arter, økte tettheter av dafnier, og økte andeler av forsuringfølsomme krepsdyrarter. Fra omkring 2005 har det imidlertid vært betydelige år-til-år variasjoner, og situasjonen synes å ha stagnert noe. Dette til tross for at vannkvaliteten synes å være tilfredsstillende. Disse variasjonene kan ha andre årsaker enn forsuring, for eksempel variasjoner i tettheten av planktonspisende fisk. For flertallet av innsjøene er mengden av forsuringfølsomme invertebrater fremdeles lave og ustabile.



Figur 29. Gjennomsnittlig antall arter av småkreps (*Cladocera* + *Copepoda*) og andel forsuringfølsomme småkreps (% av totalt antall arter) for 19 innsjøer med årlige undersøkelser i perioden 2000-2011.

Figure 29. Average numbers of microcrustacean species (*Cladocera* + *Copepoda*) and relative number of acid sensitive species (% of total number of species) for 19 lakes with yearly studies in the period 2000-2011.

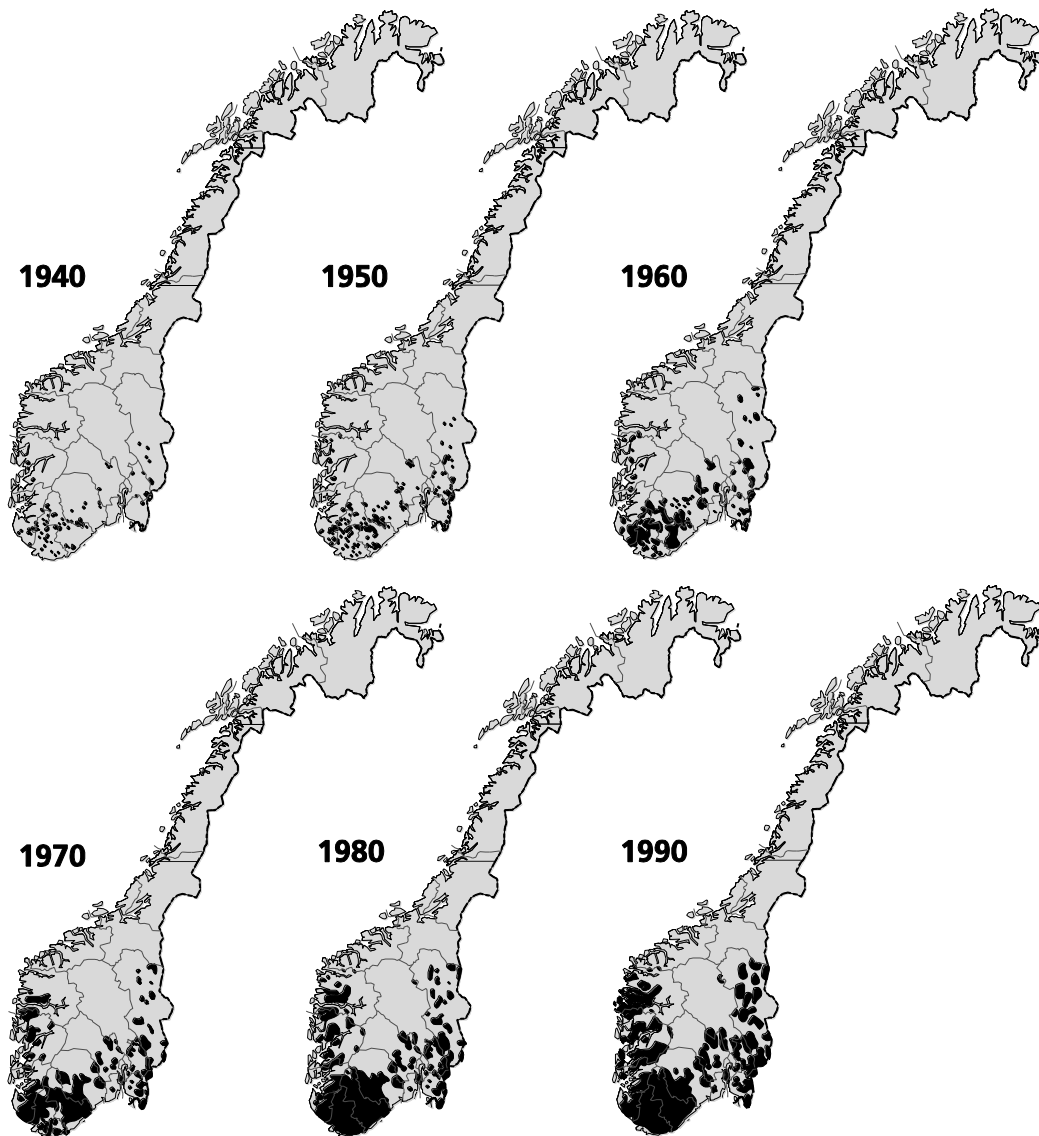
Sørlandet - Vest (region V) er den av regionene som viser den klareste positive utviklingen, spesielt mhp. andel forsuringfølsomme arter. Resultatene samsvarer også med den positive utviklingen som er registrert for annen fauna i denne regionen. Flertallet av overvåkingssjøene i regionen er kun litt til moderat forurete, og det er blant disse vi kan forvente den raskeste responsen på forbedringer i vannkvaliteten. For de øvrige regionene er endringene i krepsdyrfaunaen så små at forsuringstilstanden samlet sett vurderes som uforandret basert på utvalget av overvåkingssjøer.

3.2.3 Effekter på fisk

Regionale intervjuundersøkelser for å beregne antall tapte og skadede bestander

I Sør-Norge har ca. 8 200 stedegne innsjølevende aurebestander gått tapt som følge av forsuring. Agderfylkene har blitt påført de største fiskeskadene, med rundt 5 000 tapte

aurebestander. Telemark og Rogaland hadde også omfattende skader, med henholdsvis rundt 660 og 1 300 tapte aurebestander. I tillegg har nærmere 4 000 aurebestander blitt redusert. Forsuringen har også forårsaket betydelige effekter på abbor, med rundt 1 900 skadde eller tapte bestander. I tillegg er nærmere 1 110 bestander av røye, mort, ørekyt og gjedde enten tapt eller blitt skadet pga. forsuring. På begynnelsen av 1990-tallet ble landarealet med forsuringsskadde fiskebestander beregnet til 51 500 km² (Figur 30). I perioden 1990 - 2006 ble imidlertid skadearealet i redusert med rundt 38 %. I de siste åra har mange fiskebestander enten blitt reetablert eller økt pga. en bedret vannkvalitet gjennom kalking eller naturlig gjenhenting. I mange innsjøer har utsettinger gjort at et stort antall aurebestander har blitt styrket.



Figur 30. Areal (land- og innsjøareal) med tapte og skadde fiskebestander relatert til forsuring rundt 1940 og fram til rundt 1990. Skadearealet på 1990-tallet var 51 500 km².

Figure 30. Areas including both land and surface water with damaged fish populations in Norway from the 1940s to the 1990s, due to acidification. Damaged area in the 1990s was 51.500 km².

Bestandsundersøkelser av fisk i innsjøer

Hensikten med fiskeundersøkelser i innsjøer er å (i) dokumentere hvordan forurensningen påvirker ulike fiskearter og fiskesamfunn og (ii) relatere fangstutbyttet til ulike vannkjemiske parametre. I 2011 ble seks lokaliteter prøvofisket fordelt på tre regioner (region IV, V og VII). I tillegg blir Atnsjøen (lok I-1) prøvofisket hvert år som en del av "Nettverk for biologisk mangfold i ferskvann". Tvetervatn (lok II-1), St. Lyseren (lok II-4), Langvatn (lok II-5), og Songsjøen (lok VIII-12) ble undersøkt som en del av Basisovervåkingen i 2011. Alle disse lokalitetene var tidligere inkludert i sur nedbør overvåkingen.

Da den biologiske overvåkingen ble satt i gang tidlig på 1980-tallet, ble det prøvofisket med SNSF-garnserier. En slik serie består av åtte enkeltgarn (27 x 1,5 m), med maskeviddene 10-45 mm. Disse garnene ble satt enkeltvis fra land, og dekte vanligvis dybdeintervallet 0-6 m. Siden tidlig 1990-tall har Nordiske oversiktsgarn (30 m x 1,5 m) med 12 maskevidder fra 5 til 55 mm vært benyttet ved prøvofiske. Disse garnene blir satt etter standard metode (NS-EN 14757). For å kunne sammenlikne fangstutbyttet på de to garnseriene i innsjøer der begge garnseriene er brukt, er kun fangstene på 0-6 m dyp på maskeviddene 10-45 mm på Nordiske oversiktsgarn benyttet. Fangstutbyttet blir uttrykt som antall individ fanget pr. 100 m² garnareal pr. natt, eller ca. 12 timers fiske (Cpue).

For å sammenlikne fangstutbyttet hos aure og abbor i en lokalitet eller region over tid, har vi benyttet en forsuringindeks (FoIn) ut fra en bestemt forventning. Indeksen varierer mellom 0 og 1, og fangstutbyttet i ikke-skadde bestander, dvs. minst God økologisk tilstand, av aure og abbor er satt ut fra en ekspertvurdering, til henholdsvis > 15 og 30 individ pr. 100 m² garnareal på Nordiske oversiktsgarn (Tabell 6). For begge arter gir det en forsuringindeks på 0,75. FoIn er delt inn i fem klasser etter skadegrad.

Tabell 6. Klassifisering av aure- og abborbestander ut fra fangstutbytte på garn (pr. 100 m² garnareal), fordelt på fem klasser på basis av en forsuringindeks (FoIn). Verdier på < 0,25 og ≥ 1,0 representerer henholdsvis meget tynne eller tapte bestander som gir svært dårlig tilstand (Klasse 5), og meget tette bestander som gir svært god tilstand (Klasse 1). For aure er grenseverdiene for fangstutbyttet fastsatt for bestander uten rekrutteringsbegrensninger. For bestander som er rekrutteringsbegrenset, dvs. dersom gyte- og oppvekstarealet utgjør mindre enn 0,5 % av innsjøarealet (oppvekstratio på < 50), er det fastsatt andre grenser mellom tilstandsklassene mht. fangstutbytte (jf. Klassifiseringsveileder 01:2009).

Table 6. Classification of ecological status based on brown trout and perch populations assessed by catches from test-fishing, divided into five classes: Class 1: high, Class 2: good, Class 3: moderate, Class 4: poor and Class 5: bad.

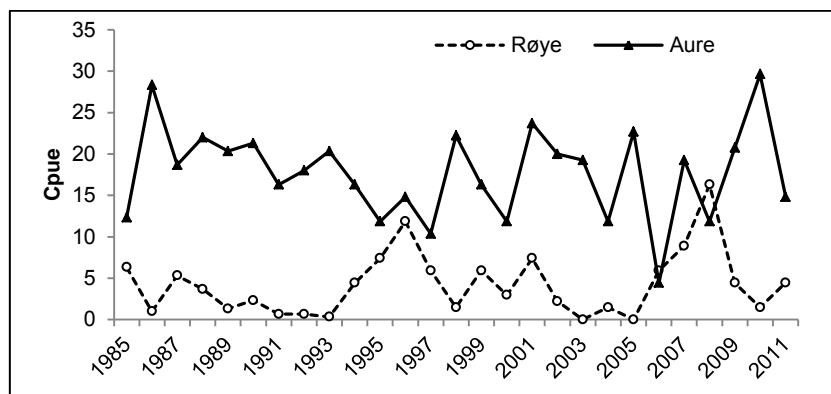
Klasse	Indeksverdi	Bestandstetthet	Aure	Abbor	Tilstand
1	≥1,0	Meget tett bestand	>20	>40	Svært god
2	0,75-0,99	Middels tett bestand	15-19,9	30-39,9	God
3	0,50-0,74	Relativ tynn bestand	10-14,9	20-29,9	Moderat
4	0,25-0,49	Tynn bestand	5-9,9	10-19,9	Dårlig
5	<0,25	Meget tynn eller tapt bestand	<4,9	<9,9	Svært dårlig

Indeksverdier blir bare beregnet for bestander i lokaliteter som har vært prøvofisket. Innsjøer med tapte bestander er ekskludert fordi en reetablering ofte er avhengig av en aktiv introduksjon (utsettinger). Sjøen om vannkvaliteten har blitt tilfredsstillende for fisk, kan fysiske barrierer hindre en naturlig reetablering. Det er ikke tatt hensyn til at naturtilstanden

til ulike fiskearter kan variere mellom lokaliteter. En verdi under 1,0 trenger heller ikke å bety at en fiskebestand er påvirket av forsurening. En lavere tetthet enn forventet kan skyldes at f. eks en innsjølevende aurebestand kan være rekrutteringsbegrenset fordi tilløpsbekkene har lite eller uegnet gytesubstrat, eller at rekrutteringen i enkelte år er påvirket av ugunstig klimatiske forhold pga. tørke eller flom. En aurebestand kan også være utsatt for konkurranse fra andre arter, og bestander i lokaliteter med f. eks. abbor eller gjedde er derfor ekskludert ved beregning av FoIn.

Østlandet – Nord (region I)

I region I ble det ikke gjennomført prøvefiske i 2011, med unntak av Atnsjøen som er inkludert i ”Nettverk for biologisk mangfold i ferskvann.” Generelt har fiskebestandene i denne regionen hatt en positiv utvikling i løpet av undersøkelsesperioden siden 1996. Spesielt har aurebestanden i Stortjørna økt kraftig, fra en tynn bestand i 1998 til en middels tett bestand i 2010 (Klif 2011). I én lokalitet er aurebestanden fortsatt tynn (Måsåbutjern, lok I-3), til tross for en forholdsvis god vannkvalitet (SFT 2007). En manglende bestandsøkning hos aure i denne lokaliteten skyldes mest sannsynlig at gytebekkene mangler egnet gytesubstrat. Denne aurebestanden er derfor ekskludert ved beregning av forsureningsskadene. De fleste innsjøene i denne regionen har eller har hatt bestander av aure, mens røye, ørekyte og steinsmett er registrert i én eller flere innsjøer. Atnsjøen har gode bestander av både aure og røye. I perioden 1985-2011 har fangstutbyttet for de to artene i bunnære områder (0-12 m dyp) variert mellom henholdsvis 4-30 og 0-16 individ (*Figur 31*). For røye er imidlertid tettheten størst på 12-35 m dyp, med 2-40 individ pr. 100 m² garnareal.



Figur 31. Fangstene av aure og røye pr. 100 m² garnareal (Cpue) på 0-12 m dyp av Atnsjøen (lok I-1) i perioden 1985 - 2011.

Figure 31. Catches of brown trout and Arctic charr in the epibenthic zone of Lake Atnsjøen (lok I-1) from 1985 to 2011. The catches are expressed in number of fish caught per 100 m² net area (Cpue).

Østlandet – Sør (region II)

I region II ble tre lokaliteter prøvefisket i 2011 som en del av Basisovervåkingen (Tvetervatn, St. Lyseren og Langvatn). Alle de undersøkte abborbestandene i denne regionen har nå blitt svært tette, og vurderes ikke lenger som skadde (Klif 2011). Derimot er alle aure- og røyebestandene fremdeles tynne, noe som trolig skyldes sterk konkurranse fra abbor. I Øvre Jerpetjern og Nedre Furuvatn er det satt ut aure, men pr. 2010 hadde det ennå ikke forekommet naturlig rekruttering. Begge disse bestandene må derfor fortsatt betegnes som meget tynne (ikke stedegen fisk). Forsuringsskadene på fiskebestander i region II er avtakende, sjøl om fisketettheten fortsatt er lav i noen lokaliteter.

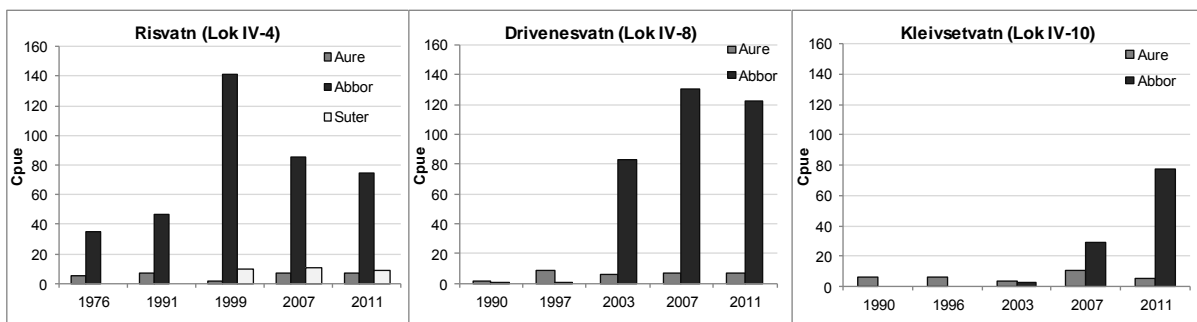
Fjellregionen i Sør-Norge (region III)

Det ble ikke prøvofisket i region III i 2011. Alle de undersøkte innsjøene ligger mer enn 1000 m.o.h., og de fleste har forholdsvis tynne eller middels tette bestander av aure- og/eller røye. I Rondvatn gikk røyebestanden tapt på 1980-talet. I åra 1998-2000 ble det satt ut røye, og den har nå reprodusert og gitt opphav til en tett bestand. Regionen har en forholdsvis lav forurensningsbelastning. Vi antar derfor at spesielt aurebestandene i disse høyfjellssjøene i stor grad er rekrutteringsbegrenset framfor forsuringsskadet.

Sørlandet - Øst (region IV)

Effektene av forsuringen i region IV har vært svært omfattende, med mange tapte aure- og abborbestander (Figur 30). I denne regione ble tre lokaliteter prøvofisket i 2011.

Karakteristisk for overvåkingslokalitetene i denne regionen er at de har forholdsvis tynne aurebestander. Derimot er bestandene av abbor tette. Det har vært en positiv utvikling av abborbestandene i alle de tre undersøkte lokalitetene (Figur 32). Abborbestandene i både Drivenesvatn og Kleivsetvatn hadde tidligere svært dårlig tilstand, men tilstanden i begge kan nå klassifiseres som svært god. I Drivenesvatn skjedde bestandsøkningen allerede i perioden 1997 - 2003 (Figur 32). I Kleivsetvatn ble fangstene av abbor mer enn fordoblet fra 2007 til 2011. Det er likevel betydelig lavere enn i Drivenesvatn. I Risvatn har abborbestanden vært forholdsvis tett i hele undersøkelsesperioden, idet fangstutbyttet allerede i 1976 tilsa god tilstand. Denne abborbestanden har hatt svært god tilstand helt siden 1991.

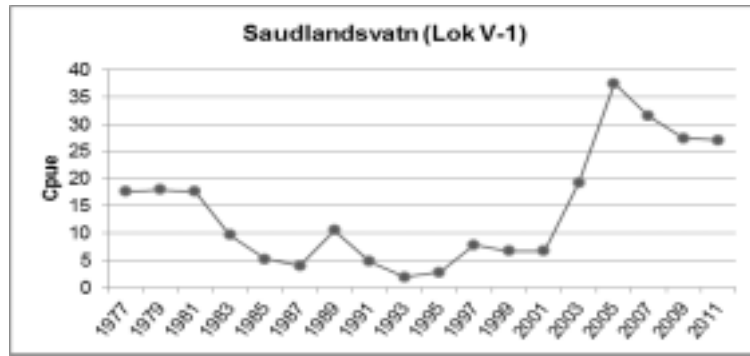


Figur 32. Fangstene av aure, abbor og suter i Risvatn (lok IV-4), og av aure og abbor i Drivenesvatn (lok IV-8) og Kleivsetvatn (lok IV-10) i enkelte år fra 1976 til 2011. Fangstene er tatt på 0-6 m dyp og uttrykt som antall individ pr. 100 m² bunngarnareal pr. natt (Cpue).

Figure 32. Catches of brown trout, perch and tench in the epibenthic zone of Lake Risvatn (lok IV-4), of brown trout and perch in Lake Drivenesvatn (lok IV-8) and Lake Kleivsetvatn (lok IV-10) in different years from 1976 until 2011. The catches are expressed in numbers caught per 100 m² net area per night (Cpue).

Sørlandet – Vest (region V)

Sørlandet har flest tapte og skadde fiskebestander pga forsuring her i landet (Figur 30). I region V ble bare Saudlandsvatn prøvofisket i 2011. Av de fire andre aurebestandene som inngår i programmet, vurderes nå bare to som skadde; Rundavatn og Vestre Flogevatn. Rundavatn ble sist prøvofisket i 1997, og bestandsforholdene kan derfor ha endret seg. I Vestre Flogevatn økte fangstutbyttet av aure noe fram til 2009, men bestanden må fremdeles karakteriseres som tynn. I Saudlandsvatn ble aurebestanden kraftig redusert på begynnelsen av 1980-tallet, og den holdt seg lav helt fram til 2001 (Figur 33). Seinere har imidlertid bestanden økt kraftig, og har nå svært god tilstand. Elfisket på inn- og utløpet av Saudlandsvatn viser at rekrutteringen til bestanden også har vært god i seinere år (Figur 37).

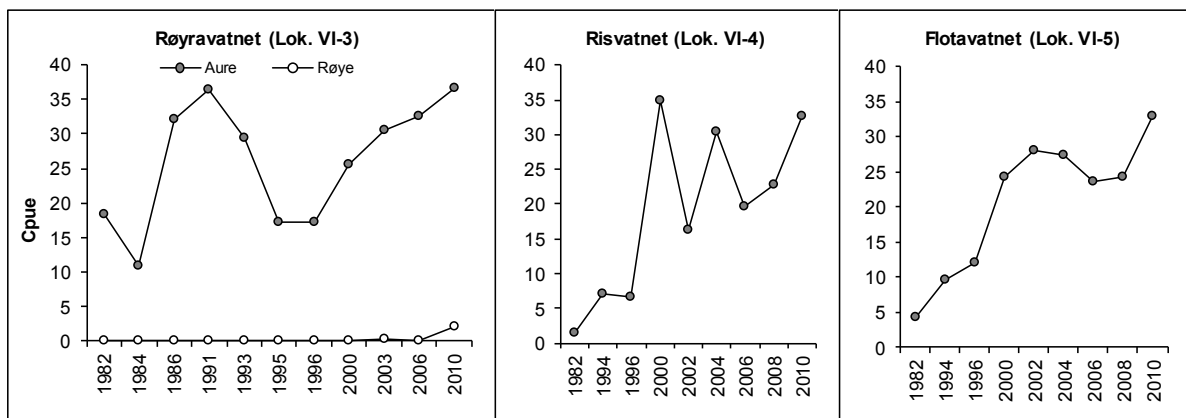


Figur 33. Fangstene av aure pr. 100 m² bunngarnareal pr. natt (Cpupe) på 0-12 m dyp i Saudlandsvatn (lok V-1) i perioden 1977-2011.

Figure 33. Catches of brown trout in the epibenthic zone (0-12 m depth) of Lake Saudlandsvatn (lok V-1) during the period 1977-2011. The catches are expressed in number of fish caught per 100 m² net area per night (Cpupe).

Vestlandet-Sør (region VI)

I region VI ble ingen lokaliteter prøvofisket i 2011. Her har alle de undersøkte fiskebestandene hatt en positiv utvikling de siste 10-15 åra (Klif 2011). Dette har medført en endring av forsuringindeksen fra svært dårlig/dårlig tilstand før 1990 til god eller svært god tilstand i seinere år. Risvatn og Flotavatn hadde begge tynne aurebestander fram til slutten av 1990-tallet, men seinere har de økt kraftig (Figur 34). I det siste tiåret har aurebestanden i Risvatn variert noe i størrelse. Den vurderes nå som ikke-skadet med forsuringindeks > 1, dvs svært god tilstand. I Røyrvatn inntraff den positive bestandsutviklingen hos aure noe tidligere enn i Risvatn og Flotavatn, med en klar økning allerede fra 1982/84 til 1986. Derimot skjedde det en bestandsreduksjon på midten av 1990-tallet, men i seinere år har den igjen økt. Røyrvatn har også en liten bestand av røye.

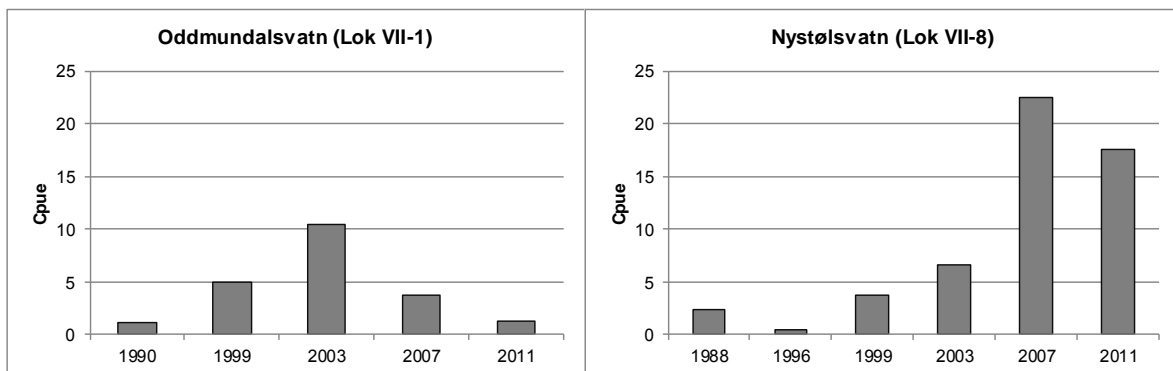


Figur 34. Fangstene av aure og røye pr. 100 m² bunngarnareal pr. natt på 0-6 m dyp (Cpupe) i Røyrvatn (lok VI-3) og av aure i Risvatn (lok VI-4) og Flotavatn (lok VI-5) i Vikedalsvassdraget i perioden 1982-2010.

Figure 34. Catches of brown trout and Arctic charr in the epibenthic zone of Lake Røyrvatn (lok VI-3), and of brown trout in the lakes Risvatn (lok VI-4) and Flotavatn (lok VI-5) in Vikedal watershed between 1982 and 2010. The catches are expressed in numbers per 100 m² net area per night (Cpupe).

Vestlandet-Nord (region VII)

I region VII ble to lokaliteter prøvefisket i 2011. Forsuringsindeksen for de undersøkte aurebestandene har variert fra tynn/meget tynn til middels tett/tett. Oddmundalsvatn har en meget tynn bestand av aure (*Figur 35*). I Nystølsvatn har aurebestanden hatt en positiv utvikling etter 2003 (*Figur 35*). Tilstanden for denne aurebestanden kan nå karakteriseres som god, mot svært dårlig på 1980 og 1990-tallet. Høsten 2011 ble det påvist rekord høy tetthet av yngel på innløpet av Nystølsvatn. Det er fortsatt en del tapte og reduserte aurebestander i denne regionen (*Figur 30*).



Figur 35. Fangstene av aure pr. 100 m² bunngarnareal (Cpue) på 0-12 m dyp i Oddmundalsvatn (lok VII-1) og Nystølsvatn (lok VII-8) i enkelte år i perioden 1988-2011.

Figure 35. Catches of brown trout in the epibenthic zone of Lake Oddmundalsvatn (lok VII-1) and Nystølsvatn (lok VII-8) in different years from 1988 to 2011. The catches are expressed in number of fish caught per 100 m² net area per night (Cpue) in epibenthic areas.

Midt-Norge (region VIII)

I region VIII ble ingen innsjøer prøvefisket i 2011. De fleste aurebestandene i regionen har hatt en positiv utvikling i seinere år, men med store variasjoner i forsuringsindeksen (Klasse 2-4). Forsuringsbelastningen for regionen er blant de laveste i landet (se kap 3.1).

Nord-Norge (region IX)

Siste prøvefiske i denne regionen ble foretatt i 1999. Alle de undersøkte innsjøene har aure, og de med mer enn ett års data viser små endringer i fangstutbytte. Resultatene fra de aktuelle innsjøene gir ingen indikasjoner på fiskeskader. Region IX har også lav forurensningsbelastning (se kap 3.1).

Øst-Finnmark (region X)

I region X ble ingen av de tre innsjøene som inngår i overvåkingsprogrammet prøvefisket i 2011. I alle disse lokalitetene har det vært en økning i fangstutbyttet av aure fra 1990-tallet og fram til 2008 (SFT 2009). To av lokalitetene har også røye. Erfaringstall fra lokaliteter med aure og røye tyder på at aurebestandene i disse lokalitetene har gått fra dårlig/svært dårlig tilstand på begynnelsen av 1990-tallet, til svært god tilstand. Aurebestanden i Første Høyfjellsvatn består kun av utsatt fisk pga. manglende gytebekker, og innsjøen er tatt ut av fiskeprogrammet. Regionen har store årlige variasjoner i forurensningsbelastning, men vannkvaliteten har bedret seg kraftig i løpet av de siste 15 åra (se kap. 3.1).

Rekrutteringen hos aure i bekker

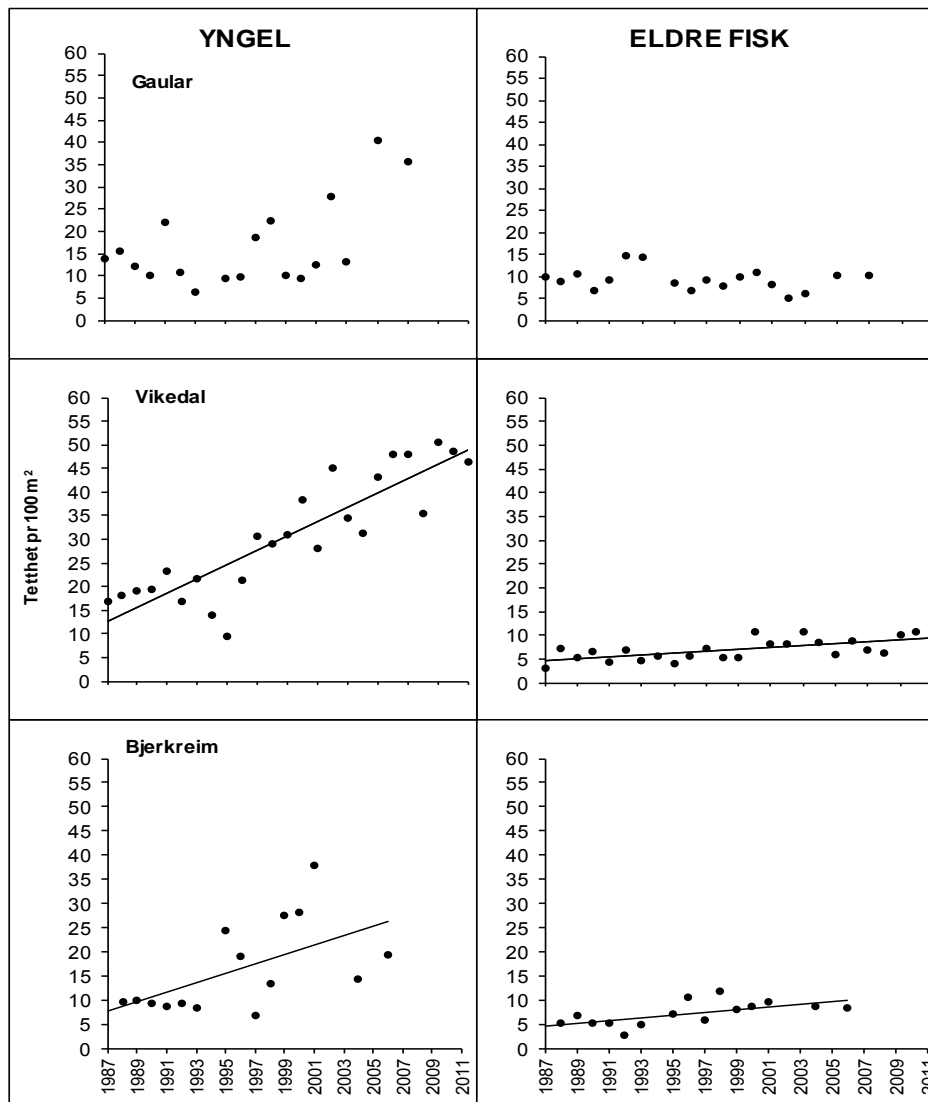
Hensikten med disse undersøkelsene er å påvise mulige endringer i rekrutteringen hos aure i lokaliteter med forsurningsfølsom vannkvalitet, og analysere hvilke vannkjemiske parametere som påvirker tettheten. Innsjølevende aure gyter vanligvis i innløp/utløp og tilløpsbekker, hvor yngelen oppholder seg i en periode før den vandrer ut i tilstøtende innsjø.

Reproduksjonssvikt med høy dødelighet på egg- og yngelstadiet er den vanligste årsaken til tap av aurebestander i forsurningsområder. Dette resulterer i at de innsjølevende fiskebestandene etter hvert avtar, samtidig med at det blir en dominans av eldre og større individ. Forekomsten av ungfisk i gytebekker blir undersøkt vha elfiske.

I 1987 ble det satt i gang rekrutteringsundersøkelser på inn/utløp og i tilløpsbekker til innsjøer i Gaularvassdraget i Sogn og Fjordane og Vikedal- og Bjerkreimsvassdraget i Rogaland. Det ble gjennomført årlig elfiske i alle tre vassdragene fram til og med 2001. Siden har det bare vært årlige undersøkelser i Vikedalsvassdraget. I Gaularvassdraget har det vært fiskeundersøkelser i 2002, 2003, 2005 og 2007, og i Bjerkreimsvassdraget i 2004 og 2006. I 2011 ble det elfisket i 23 lokaliteter i Vikedalsvassdraget, med en samlet fangst på 640 individ. All fisk blir lengdemålt, og den ble satt tilbake i vedkommende bekk etter avsluttet fiske. Ut fra lengdefordelingen blir det skilt mellom yngel (0+) og eldre individ ($\geq 1+$). Siden 1993, har tettheten av fisk i de to aldersgruppene blitt beregnet på basis av elfiske over tre omganger. I perioden 1987-92 ble hver lokalitet avfisket bare én gang. For denne perioden blir fisketettheten beregnet ut fra fangstsannsynligheten etter tre omganger fra 1993 til 2011. Hvert år blir tettheten justert i forhold til vannføringen under elfisket fordi dette påvirker fangsteffektiviteten. Det blir tatt vannprøver fra hver lokalitet i forbindelse med elfiske.

I bekker i Vikedalsvassdraget har rekrutteringen hos aure økt kraftig siden undersøkelsene startet i 1987. På 1980-tallet var gjennomsnittlig tetthet for alle stasjoner samlet rundt 20 individ pr. 100 m². Tidlig på 1990-tallet inntraff en klar bestandsnedgang, noe som blant annet skyldtes sjøsaltepisoder. Siden midten av 1990-tallet og fram til i dag har imidlertid yngeltettheten økt fra rundt 30 til 45-50 individ pr. 100 m² (Figur 36). Det synes som om mengden yngel i bekkene i Vikedalsvassdraget er i ferd med å nå bæreevnen. Også blant eldre aureunger har det vært en klar bestandsøkning, og tettheten ligger på rundt 8-10 individ pr. 100 m². Bjerkreimsvassdraget har også tettheten av yngel og eldre aureunger økt i seinere år. I Gaularvassdraget har tettheten av aureunger variert mye i løpet av forsøksperioden. Resultatene fra de siste åra det foreligger data fra, tyder imidlertid på en positiv utvikling også i dette vassdraget.

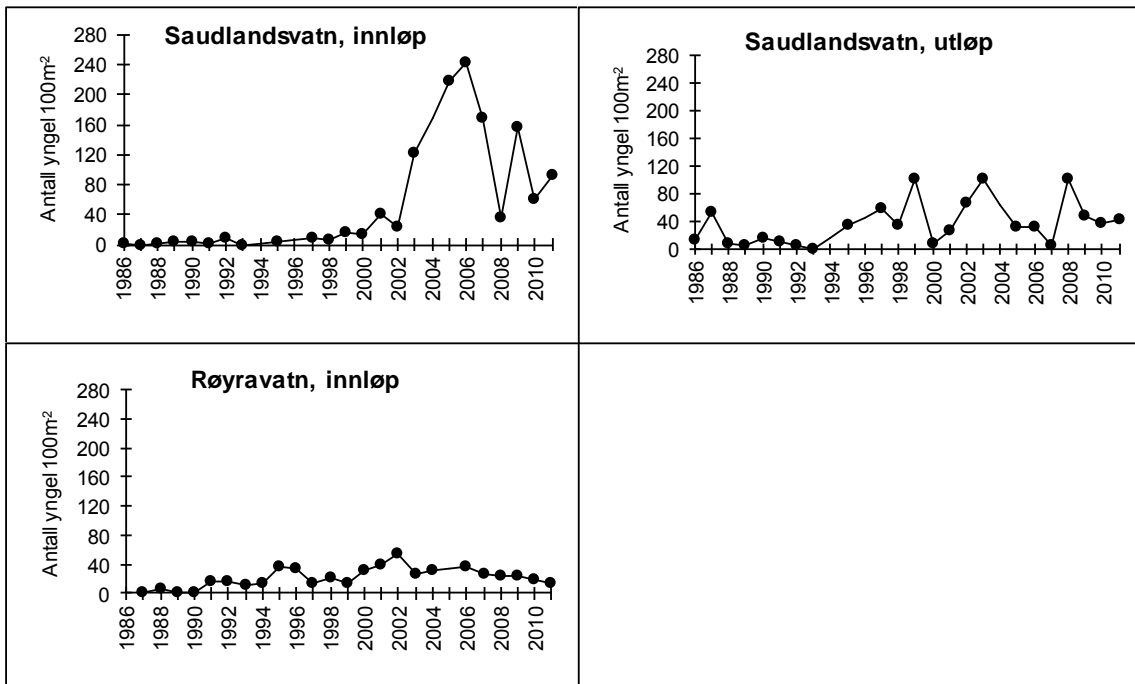
Rekrutteringen til aurebestanden i Saudlandsvatn ved Farsund (Vest-Agder) har stort sett vært overvåket hvert år siden 1986 (Figur 37). Bestandsøkningen som ble registrert i innsjøen tidlig på 2000-tallet, skyldtes først og fremst økt rekruttering på utløpet. Her ble det allerede i 1995 funnet en tetthet på over 30 yngel pr. 100 m². Seinere har det vært store årlige variasjoner i mengden yngel på utløpet, men med en kraftig tilbakegang i perioden 2005-07. I 2008 var rekrutteringen igjen svært god, mens den har avtatt noe i de siste åra. Tettheten i 2011 var på nivå med det som ble registrert i de to foregående åra (40-45 individ pr. 100 m²). Innløpet av Saudlandsvatn hadde lave tettheter av yngel fram til 2001, da det ble registrert 42 individ pr. 100 m². Men to år seinere var det nesten tre ganger mer yngel, med 120 individ pr. 100 m². I 2005 og 2006 var det en ytterligere bestandsøkning, til rundt 220 og 310 yngel pr. 100 m². I 2007 avtok tettheten noe, men den var likevel høy med 170 individ pr. 100 m². Seinere har rekrutteringen på innløpet vært svært varierende, med relativt lave tettheter både i 2008 og 2010 (40-60 individ pr. 100 m²). I 2011 var yngeltettheten igjen god, med over 90 individ pr. 100 m².



Figur 36. Beregnet gjennomsnittlig tetthet av yngel og eldre aureunger pr. 100 m² bunnareal i bekker i Gaular-, Vikedal- og Bjerkreimsvassdraget i perioden 1987-2011 (minus 2004, 2006, 2008-2011 for Gaular og minus 2002, 2003, 2005, 2007- 2011 for Bjerkreim). Linjer er trukket der det er en statistisk sammenheng mellom tetthet og tid (år).

Figure 36. Estimated mean density per 100 m² stream area for young-of-the-year (age 0+) and older specimens (age ≥1+) of brown trout in streams in Gaular-, Vikedal- and Bjerkreim catchments from 1987 to 2011 (except for 2004, 2006 and 2008-2011 in Gaular, and 2002, 2003, 2005 and 2007- 2011 in Bjerkreim). Lines are given in cases of a positive statistical relationship ($p < 0.05$) between density and time (year).

På innløpselva til Røyrvatn i Vikedalsvassdraget har det vært bra med aureyngel siden 1995, men det har vært til dels store årlige variasjoner i rekrutteringen. I både 2004 og 2006 var yngeltettheten middels høy, med henholdsvis 31 og 37 individ pr. 100 m². I de fire siste åra har den variert mellom 15-27 individer pr. 100 m² (Figur 37).

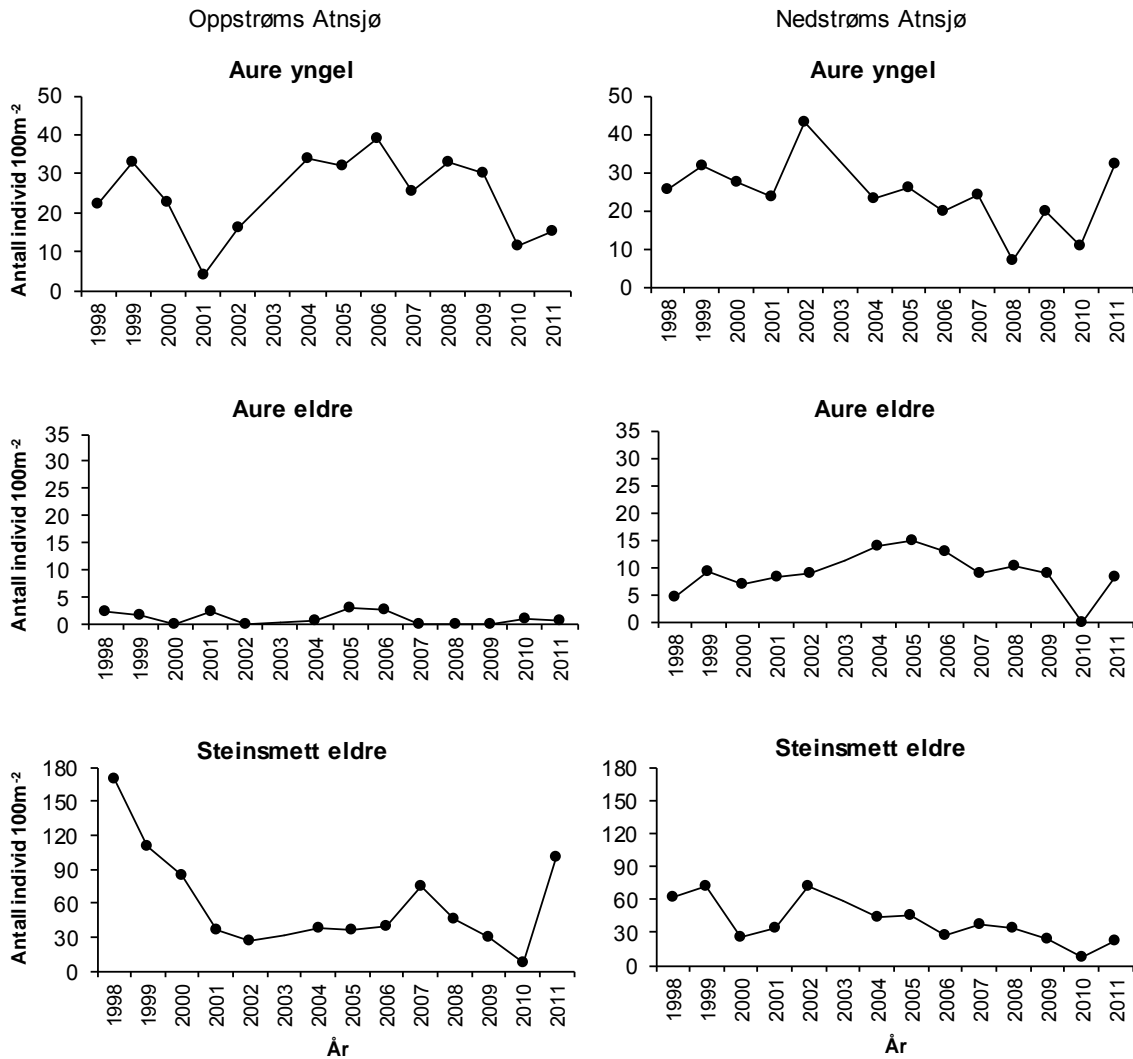


Figur 37. Antall aureyngel pr. 100 m² bunnareal på innløpet og utløpet av Saudlandsvatn (1986-2011) og på innløpet av Røyrvatn (1987-2011). Det ble ikke elfiske på innløpet og utløpet av Saudlandsvatn i 1994, 1996 og 2004, og på innløpet av Røyrvatn i 2005.

Figure 37. Estimated mean density per 100 m² stream area of young-of-the-year (age 0+) brown trout in the inlet and outlet of Lake Saudlandsvatn (1986-2011) and in the inlet of Lake Røyrvatn (1987-2011).

Atna i Atnavassdraget i Oppland/Hedmark ble i perioden 1986-1991 elfisket i regi av FORSKREF. I 1998 ble elva inkludert i det biologiske overvåkingsprogrammet, med to stasjoner både oppstrøms og nedstrøms Atnsjøen. Det var ingen innsamling av fisk i 2003. Fiskesamfunnet i Atna domineres av aure og steinsmett, med et ubetydelig innslag av ørekyte og harr nedstrøms Atnsjøen. Elva har bra forekomst av aureyngel, med 15-35 individ pr. 100 m² i de siste åra (Figur 38). Tettheten av yngel er vanligvis høyest i øvre deler av vassdraget. I de to siste åra har tettheten vært noe lavere enn i tidligere år (15 individer pr. 100 m² i 2011). I 2008 og 2010 hadde de to stasjonene nedstrøms Atnsjøen uvanlig lave tettheter av aureyngel. I 2011 var det imidlertid en klar oppgang i yngeltettheten, med 32 individ pr. 100 m². Lave tettheter i 2010 skyldtes trolig høy vannføring under elfisket, noe som påvirket fangsteffektiviteten.

Øvre deler av Atna har lave tettheter av eldre aureunger (alder ≥ 1+). Aure fra Atnsjøen gyter i dette området, og aureungene vandrer i stor grad tilbake til innsjøen i løpet av første leveår. Atna nedstrøms Atnsjøen har derimot betydelig høyere tettheter av eldre aureunger, med 8-15 individ pr. 100 m². Dette er avkom av stedeagne individ, da denne elvestrekningen trolig ikke fungerer som rekrutteringsområde for aure fra Atnsjøen. Tettheten av eldre steinsmett (alder ≥ 1+) har variert mye både oppstrøms og nedstrøms Atnsjøen. Øvre deler har nå mye lavere tettheter av steinsmett enn i perioden 1998-2000. I 2010 var tetthetene spesielt lave, trolig pga høy vannføring under elfisket. I 2011 ble det igjen registrert høye tettheter av steinsmett i øvre deler av Atna, med > 100 individ pr. 100 m². Tettheten av yngel av steinsmett kan ikke beregnes fordi de er svært små (18-24 mm) og har lav fangsteffektivitet.



Figur 38. Tettheten av aure og steinsmett i Atna på stasjoner oppstrøms og nedstrøms Atnsjøen i perioden 1998-2011, uttrykt som antall individ pr. 100 m² bunnareal. Auren er splittet opp i yngel (0+) og eldre individ (≥ 1+), mens bare tettheten av eldre steinsmett (≥ 1+) er presentert. I 2003 ble det ikke foretatt innsamling av fisk i Atna.

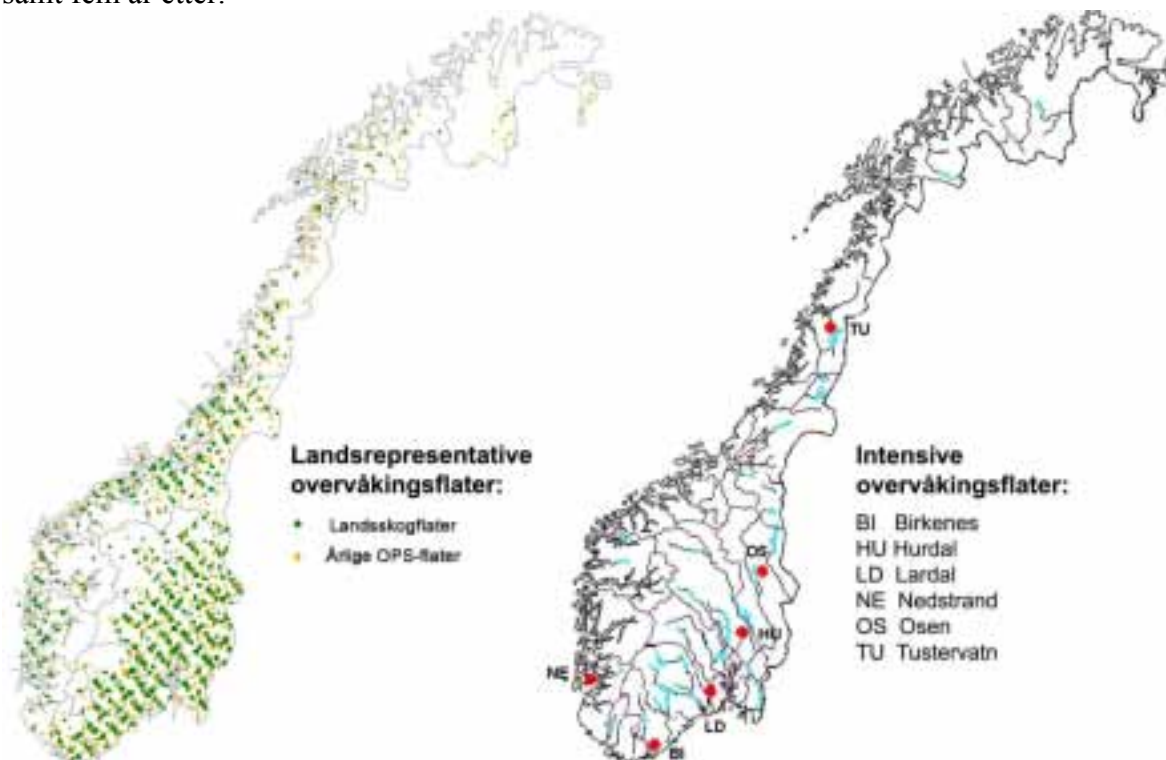
Figure 38. Estimated mean density 100 m⁻² stream area for young-of-the-year (age 0+) and older (≥ 1+) brown trout, and for older individuals of Siberian sculpin (≥ 1+), upstream and downstream of Lake Atnsjøen (1987-2011). No fish was collected in 2003.

4. Det terrestriske miljøet

Overvåking av det terrestriske miljøet består av to overvåkingsprogrammer. OPS belyser endringer i skog og skogøkosystemer og TOV belyser endringer i annen vegetasjon og fauna.

Overvåking av skog

OPS har to sett av permanente overvåkingsflater; Landsrepresentative flater og Intensivt overvåkede flater (Figur 39). Overvåkingen på de **landsrepresentative flater** startet på midten av 1980-tallet. Fra 1989 til 2000 ble kronetilstanden til alle gran- og furutrær registrert årlig på flater i et 9x9 km rutenett i landets skogareal, mens bjørk ble overvåket i et 18x18 km nett fra 1992 til 2001. Fra 2001/2002 har den nasjonale overvåkingen av gran-, furu- og bjørkeskog bestått av detaljerte kroneregistreringer for alle trær på et utvalg av flatene i 9x9 km nett. Dette utvalget er tilpasset standardnettet til ICP Forests (16x16 km, som tilsvarer en flate pr. 256 km²). I tillegg kommer registreringer av kronetetthet og kronefarge på observasjonstrær av gran og furu i landsskogtakseringens flatenett (3x3 km) med femårige omdrev. De **intensivt overvåkede flatene** har et mer omfattende måleprogram der eksempelvis kjemisk analyse av jordvann og barnåler inngår. På 6 flater i eldre barskog utføres detaljerte målinger av kjemisk innhold i nedbør, kronedrypp, jordvann og næringsinnhold i nåler. I tillegg vurderes trærnes kronetilstand og markvegetasjonens dekning. I tilknytning til disse flatene måles det også tilførsel av luftforurensning. På intensivflatene i OPS undersøkes jordvann i tre jorddybder ved hjelp av lysimetre som kontinuerlig suger opp vann i den telefrie tiden av året: Humussjiktet (5 cm dyp), øvre mineraljord (15 cm dyp) og nedre mineraljord (40 cm dyp). For de først etablerte flatene i OPS er tidsserien nå over 25 år. I tillegg ble det tatt jordprøver ved etableringen av flatene, samt fem år etter.



Figur 39. Lokalteter som inngår i overvåkingsprogram for skogskader (OPS). De landsrepresentative flater til venstre og de intensive flater til høyre.

Figure 39. Sites in the Norwegian monitoring programme for forest damage (OPS).

De årlige registreringene fra de **landsrepresentative flatene** og registreringene fra de **intensivt overvåkede flatene** rapporteres til det Europeiske skogskadeprogrammet ICP Forests. Metodene som brukes i skogskadeovervåkingen er utviklet og nedfelt i manualen (UNECE 2011) som brukes av alle de deltagende landene i det internasjonale skogskadesamarbeidet (ICP Forests). Kronetetthet, kronefarge og skadeomfang vurderes på alle trær som inngår. Kronetetthet uttrykker en estimert bar- eller løvmasse i % av et tenkt fulltett tre under rådende voksestedsbetingelser. Kronefarge hos bartrær angir graden (% misfarging) av gule, gulgrønne eller brune nåler i kronen og for bjørk ulike nyanser av gult på bladene. Kroneregistreringen reflekterer påvirkningen av biotiske, abiotiske og antropogene stressfaktorer, kombinasjoner og gjensidige påvirkninger av disse på trekronene.

Overvåking av markvegetasjon, epifyttisk vegetasjon og fauna

Programmet for terrestrisk naturovervåking (TOV) gjennomføres i hovedsak som integrerte studier av jord, vegetasjon og fauna i sju overvåkingsområder etablert på fastlandet i 1988-93, henholdsvis ett område i barskog i Solhomfjell og seks i bjørkeskog (se *Figur 40*). Her studeres kjemiske forhold i ulike økosystemkomponenter, foruten endringer i samfunns-, bestands- og reproduksjonsforhold hos dyr og planter. Områdene er valgt ut for å dekke hovedgradientene i belastninger av langtransporterte forurensninger i representative og viktige norske naturtyper, som samtidig er lite påvirket av andre menneskelige aktiviteter. I tillegg til studier i overvåkingsområdene foretas landsomfattende og regionale kartlegginger av miljøgifter i utvalgte dyregrupper og tilstand for epifyttisk vegetasjon. For overvåkingskomponenter i TOV som ikke rapporteres her, henvises til DN (1997) og Framstad *et al.* (2003) for en redegjørelse av angrepsmåte og metoder for datainnsamling.

Vegetasjonen utgjør basis for næringskjeder i terrestriske økosystemer og integrerer effekter av nedbørskjemi, jordbunnsforhold og lokalklima. De mange artene av karplanter, moser og lav har et bredt spekter av responser på variasjoner i naturgitte og menneskeskapt miljøforhold. *Markvegetasjonen* overvåkes i de seks TOV-områdene i bjørkeskog og i barskog i Solhomfjell med en rullerende frekvens på fem år for hvert område.

Vegetasjonsovervåkingen i granskog i regi av Norsk institutt for skog og landskap ble etablert i 10 områder i perioden 1988-1992 (T. Økland 1996; se *Figur 40*). For alle områdene er det lagt opp til vegetasjonsanalyser hvert femte år, men fra 2002 er kun åtte områder videreført, med 8-årig omløp fra og med 2008, av økonomiske grunner. Vegetasjonsovervåkingen både i granskog og bjørkeskog følger samme standard metoder for feltundersøkelser og dataanalyser (jf T. Økland *et al.* 2004). Markvegetasjonen registreres i (minst) 50 faste analyseruter à 1 m² lagt ut i forhold til hovedgradienter i lokal miljøvariasjon (jordas fuktighet, surhet og innhold av næringsstoffer), der artsforekomster kvantifiseres som forekomst i 16 småruter à 625 cm² innen hver 1 m² analyserute (frekvensmål) og som prosent dekning i hver analyserute. I tilknytning til hver analyserute er også tresjiktet beskrevet, og det er tatt jordprøver for analyse av jordstruktur og -kjemi. Dataene analyseres ved hjelp av multivariate og andre statistiske metoder for å undersøke endringer over tid og relatere endringer til naturlige og/eller menneskeskapt miljøpåvirkninger. I 2011 ble markvegetasjonen i bjørkeskog undersøkt i Lund (Rogaland) og Åmotsdalen (Oppdal, Sør-Trøndelag), mens den i granskog ble undersøkt i Grytdalen naturreservat i Telemark.

Lav er mye brukt som bioindikator på luftkvalitet, der tilbakegang av lavarter ofte kan knyttes til luftas innhold av svovelforbindelser eller til gjødslingseffekten av nitrogen. Sur nedbør påvirker også lavene indirekte gjennom forsuring av substratet. Lav har artsspesifikk reaksjon på ulike forurensningstyper. Forekomst og artssammensetning kan derfor gi et mål på luft- og nedbørkvaliteten i et område. I TOVs overvåkingsområder registreres tilstanden for epifyttisk

vegetasjon (lav, moser, alger) ved kvantitativ karakterisering av artssammensetning, dekning og synlig skade på lav, på stammen av utvalgte trær (furu i Solhomfjell, bjørk i øvrige områder) i prøvefelt lagt ut i høydegradienter. Det blir også tatt prøver for kjemisk analyse (pH i bark, nitrogen og svovel i vanlig kvistlav). Registreringene foregår med en rullerende frekvens på fem år i hvert område. I 2011 ble epifytter undersøkt på trær i Lund og Åmotsdalen.



Figur 40. Kart over overvåkingsområdene for markvegetasjon i gran- og bjørkeskog. Lokalitetene som inngår i programmet for terrestrisk naturovervåking (TOV) med dekning av epifytter og fauna omfatter områdene med bjørkeskog samt Solhomfjell. I lokalitetene Øyenskavlen og Lundsneset foregår ikke lenger aktiv datainnsamling.

Figure 40. Map of the monitoring sites for ground vegetation in spruce (gran) and birch (bjørk) forest. Sites covered by the Programme for terrestrial nature monitoring (TOV) with coverage of epiphytes and fauna include sites with birch forest as well as Solhomfjell. Active sampling is no longer conducted at sites Øyenskavlen and Lundsneset.

Spurvefugler omfatter en rekke arter med ulike krav til habitat og næring. Som gruppe vil de kunne gi variert respons på ulike endringer i miljøet, inklusive forurensninger. Slike responser vil bl.a. kunne uttrykkes ved endringer i reproduksjon eller bestandsnivåer. I TOV-områdene undersøkes bl.a. endringer i hekkebestanden av spurvefugl ved hjelp av årlige takseringer i 200 faste punkter lagt ut i forhold til hovedgradienter i miljøforholdene i hvert

overvåkingsområde. I tillegg foretas årlige undersøkelser av klekkesuksessen hos svarthvit fluesnapper i 50 oppsatte fuglekasser i hvert område (i Lund, Solhomfjell, Gutulia og Åmotsdalen i 2011).

Rovfugler befinner seg på toppen av næringskjedene, de integrerer miljøgifter fra et omfattende geografisk område, og de er ansett for å være følsomme for påvirkning fra forurensninger, f.eks. ved redusert reproduksjon. I TOV undersøkes tykkelsen av eggskall og nivået av klororganiske stoffer og tungmetaller i egg hos flere arter av rovfugl, basert på landsomfattende innsamlinger og periodevise analyser. Dette er internasjonalt mye brukte indikatorer på hunnfuglenes belastningsstatus ved starten av forplantningssesongen. Mulige effekter av akkumulerte miljøgifter studeres også ved å følge bestandsutvikling og reproduksjonssuksess hos kongeørn og jaktfalk i noen av overvåkingsområdene. Minst 10 territorier i hvert område takseres årlig ved at alle kjente hekkeplasser innenfor et nærmere definert område oppsøkes, og ev. antall produserte unger blir registrert.

4.1 Effekter på skog

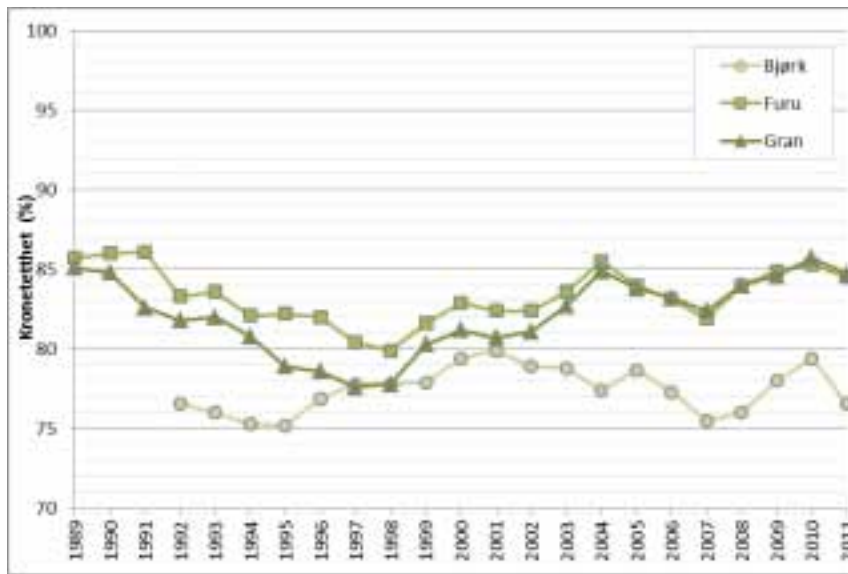
Resultatene fra skogovervåkingen i Norge i 2011, landet sett under ett, viser at skogens helsetilstand, uttrykt ved kronetetthet og kronefarge, ble svekket for både gran, furu og bjørk. Hos alle de overvåkede treslagene ble det i 2011 registrert en nedgang i kronetetthet i forhold til året før. Dette er første året med synkende kronetetthet etter tre sesonger på rad med en tydelig bedring for de tre overvåkede treslagene. Tilsvarende ble det observert økt misfarging hos alle treslagene. Det ble registrert relativt få biotiske og abiotiske skader på gran og furu i 2011, mens nesten en tredjedel av bjørketrærne var skadet, for det meste av målere eller bjørkerustsopp.

Kronevurderinger på det landsrepresentative flatenett (ICP Forests Level I)

I 2011 ble 1774 flater oppsøkt i *den landsrepresentative overvåkingen*, og det ble utført kronetilstandsregistreringer på totalt 9968 trær (Timmermann *et al.* 2012). Kronetilstanden ble bedømt på 4488 grantrær, 3103 furutrær og 2377 bjørketrær. Gjennomsnittlig kronetetthet i 2011 var 84,7 % for gran, 84,5 % for furu og 76,6 % for bjørk (*Figur 41*). Dette representerte en 1 % for gran, 0,8 % for furu og 2,8 % for bjørk sammenlignet med året før. Fra 1989 til 1997/98 var det en årlig nedgang i kronetetthet for gran og furu, mens trenden i perioden 1998 til 2004 har vært en økning. Fra 2004 til 2007 avtok kronetetthet igjen, før den i perioden fram til 2010 økte hos både gran og furu. Hos bjørk har kronetettheten hatt en positiv utvikling i perioden 1994 til 2001, mens den etter dette har hatt en synkende tendens fram til 2007, da bjørk hadde den nest laveste kronetettheten i hele overvåkingsperioden. Til tross for en økning fra 2007 til 2010, har bjørk etter den kraftige nedgangen i 2011 igjen lav gjennomsnittlig kronetetthet. Nedgangen i bjørkas kronetetthet i 2011 var den største i hele overvåkingsperioden fra et år til et annet. Andelen trær med fulltete kroner i 2011 var for gran 53,7 %, for furu 39 % og for bjørk bare 21,5 %. Dette representerer en nedgang for gran på 4,3 %-poeng, for furu på 1,7 %-poeng og for bjørk på 8,2 %-poeng sammenlignet med året før. Andelen trær med sterk kroneutglisning (kronetetthet <40 %) økte for gran til 3,6 %, for furu til 1,1 % og bjørk til 5,2 %. Som forventet har eldre trær generelt lavere kronetetthet enn yngre trær. Særlig gjelder dette for gran der trærne over 60 år har rundt 20 % lavere kronetetthet enn de yngre trærne.

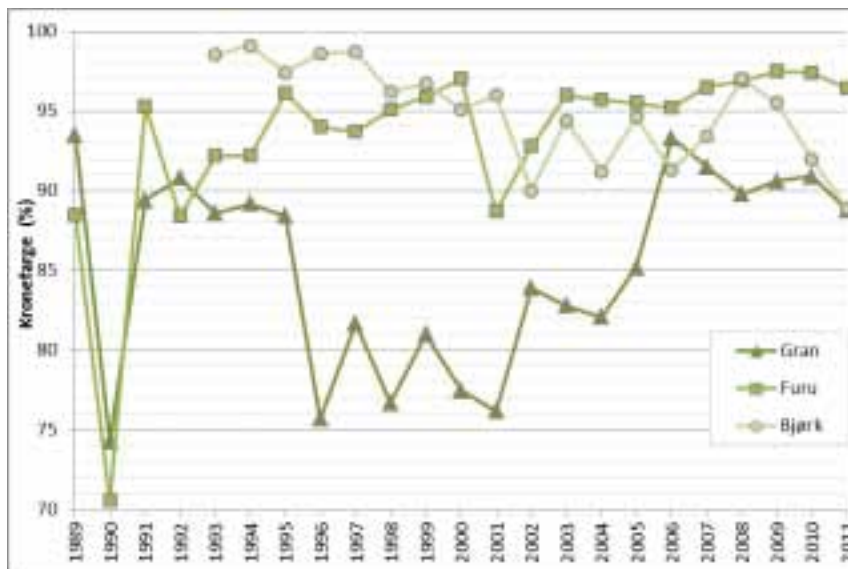
Det var svært lite misfarging hos alle de overvåkede treslagene i 2011 (*Figur 42*). 88,8 % av alle grantrærne var normalt grønne (0-10 % misfarging), mens 96,4 % av furutrærne og 88,9 % av bjørketrærne var normalt grønne i 2011, til tross for at alle treslagene hadde en nedgang

i andelen normalt grønne trær fra 2010 til 2011 (hhv. 2,1, 1 og 3,1 %). Nesten ingen av gran- og furutrærne hadde sterk misfarging (mer enn 60 % misfarging), mens 3,2 % av bjørketrærne var i denne klassen, en økning på 2,2 % i forhold til 2010.



Figur 41. Utvikling i kronetetthet på de landsrepresentative flater for gran, furu og bjørk fra 1989-2011.

Figure 41. Development of crown density for Norway spruce, Scots pine and birch on the national representative plots 1989-2011.



Figur 42. Utvikling i kronefarge på de landsrepresentative flater for gran og furu fra 1989 og for bjørk fra 1993, fram til 2011, ICP Forests standard metode. Prosentandel normalt grønne trær (0-10 % misfarging).

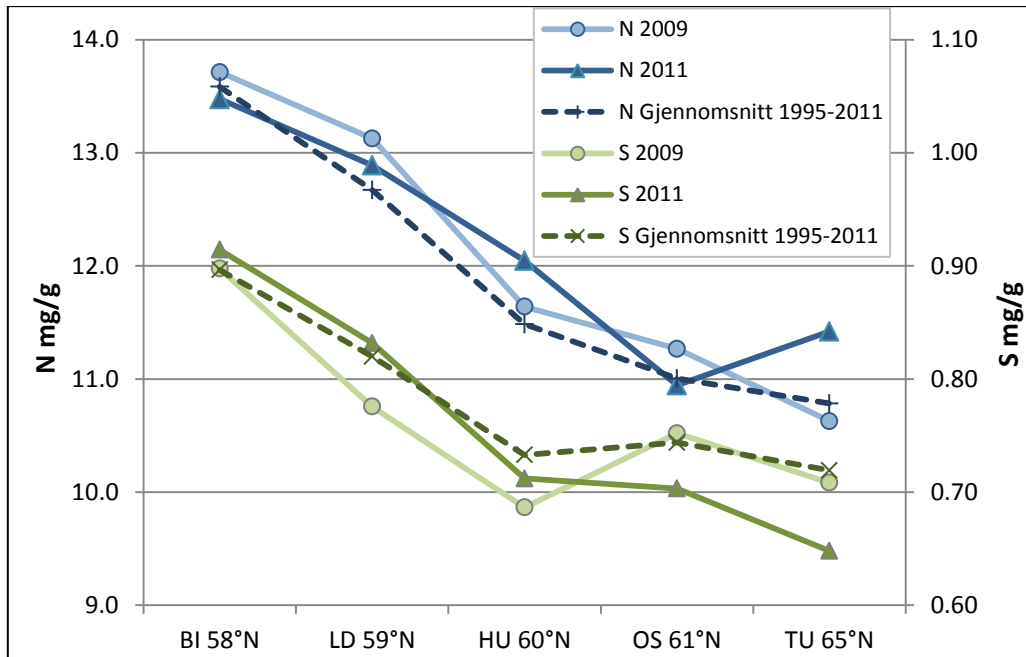
Figure 42. Development of crown colour for Norway spruce, Scots pine and birch on the national representative plots 1989-2011, ICP Forests standard method. Percentage normal green trees (0-10 % discolouration).

Det ble registrert få skader i den landsrepresentative overvåkingen på gran og furu i 2011. 7 % av grantrærne og 4,2 % av furutrærne hadde en eller annen form for skade, for det meste med abiotiske årsaker som snø, tørke og vind (hhv. 1,7 og 1,2 %). Få sopp- og insektskader ble registrert på bartrærne. Hos bjørk var 32,2 % av trærne skadet; 10,6 % av målere eller andre insekter, og 14,2 % av bjørkerustsopp eller andre sopper. Skader med abiotiske årsaker ble registrert hos 3,5 % av de undersøkte bjørketrærne. I forhold til toppårene 2007-08 var det fortsatt en nedgang i antall målerskader på bjørk i 2011, mens skader forårsaket av bjørkerustsopp fortsatte å øke. I tillegg til trær som var hogd, ble det registrert totalt 37 trær på de oppsøkte flatene som hadde dødd av naturlige årsaker.

Skogøkologiske undersøkelser på intensivt overvåkede flater (ICP Forests Level II).

Fra 2010 til 2011 økte kronetettheten på nesten alle granflater, og gjennomsnittet i 2011 lå på 82,8 % (mot 80,3 % året før) på de intensivt overvåkede flatene (Andreassen *et al.* 2012). Overvåkingsflata i Tustervatn i Nordland hadde med 73,4 % lavest kronetetthet av alle flater. Tustervatn hadde dessuten høyest andel trær med skader, stort sett i form av dieback. Andelen grantrær med normal grønn farge sank fra 2010 til 2011 på flatene i Hurdal og Tustervatn, mens den økte i Birkenes, Lardal og Voss. Mest misfarging ble registrert i Hurdal, hvor mer enn halvparten av trærne var misfarget, og i Lardal der en tredjedel av trærne var misfarget i 2011. Gjennomsnittlig andel trær med normal grønn farge på granflatene var 82 % i 2011, mot 80 % året før.

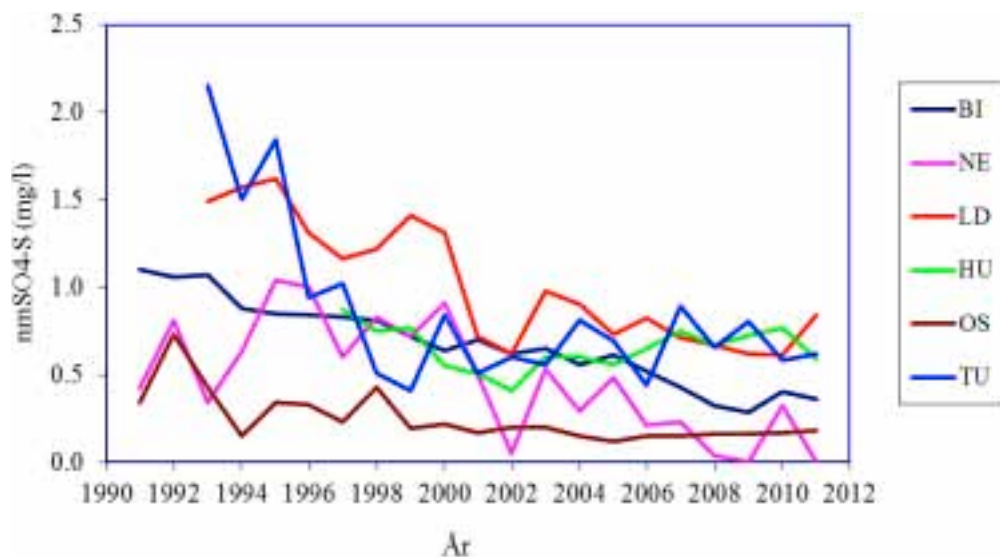
Kjemisk analyse av barnåler blir gjennomført annethvert år. Prøvetrærne har, med ett unntak, vært de samme siden 1995. Konsentrasjonen av nitrogen (N) i barnålene i 2011 avtok i Birkenes, Lardal og i Osen fra forrige nåleanalyse i 2009. I Hurdal, Voss og i Tustervatn økte N-konsentrasjonen. Flata på Sørlandet (Birkenes) hadde den høyeste konsentrasjonen av N i barnålene, 13,5 mg/g, og det var kun på denne flata at N-innholdet i barnålene lå i området for tilstrekkelig næringskonsentrasjon i 2011. På de andre flatene lå N-konsentrasjonen under mangelgrensa. N-mangel er imidlertid normal i boreale barskoger, hvor dette er det viktigste vekstbegrensende næringsstoffet. Birkenes har hatt relativt stabile N-verdier i barnålene siden 1999. Flata i Birkenes, som er mest utsatt for langtransporterte forurensninger, hadde, som i tidligere år, de høyeste svovel (S) -verdier i barnålene av alle overvåkingsflater i 2011, og Birkenes var også den eneste flata som hadde verdier over optimumsgrensa for S. Konsentrasjonen av S i barnålene i Birkenes har siden 2001 hatt en økende tendens. Innholdet av S i barnålene økte på de tre sørlige flatene fra 2009 til 2011 (Birkenes, Lardal, Hurdal), mens det avtok på de nordlige flatene i Osen og Tustervatn. I Tustervatn lå konsentrasjonen av S under mangelgrensa, og i Hurdal og Osen så vidt over denne. Konsentrasjonen av både N og S i barnåler avtar med økende breddegrad langs en nord-sør gradient fra Birkenes i sør (58°23'N) via Lardal (59°26'N), Hurdal (60°22'N) og Osen (61°16'N) til Tustervatn i nord (65°53'N) (Figur 43). Konsentrasjonen av kalsium (Ca), kalium (K) og magnesium (Mg) i barnålene lå i området for normal eller optimal næringskonsentrasjon på alle flater i 2011, med unntak av Hurdal, der konsentrasjonen av K lå under mangelgrensa. Konsentrasjonen av fosfor (P) var lav i Birkenes, Hurdal og Voss. Selv om barnålenes P-konsentrasjoner var lave på noen av flatene, var de likevel på et tilstrekkelig nivå i forhold til de lave N-konsentrasjonene, med unntak av Osen. Her ble det målt lave verdier for forholdet mellom N og P og til en viss grad også mellom N og Ca, noe som indikerer at det er for lite nitrogen på denne flata i forhold til disse næringsstoffene. De andre makronæringsstoffene fantes i tilstrekkelige konsentrasjoner i forhold til N på alle flater.



Figur 43. Nord-sør gradienten fra Birkenes i sør via Lardal, Hurdal og Osen til Tustervatn i nord for nitrogen- (øverst) og svovelinnhold (nederst) i barnåler. Data fra 2009 og 2011 og gjennomsnittet for hele perioden (1995-2011) for hver av de fem flatene.

Figure 43. North-south gradient for nitrogen (top) and sulphur (bottom) concentrations in Norway spruce needles.

Tilførselen av forurensende stoffer til Norge er i tillegg til utslippsmengde og vindretning også avhengig av nedbørmengde. Mye av de variasjonene vi har sett de siste årene kan sannsynligvis tilskrives meteorologiske forhold. Langtidstrenden har likevel vært positiv med mindre atmosfærisk tilførsel som igjen gir utslag i lavere konsentrasjoner i jordvann, spesielt av ikke-marint sulfat (Figur 44).



Figur 44. Langtidstrender i ikke-marint (nm) SO_4-S i jordvann fra 15 cm-sjiktet.

Figure 44. Long-term trends in non-marine (nm) SO_4-S in soil water from 15 cm depth.

Nedfallet av ikke-marint sulfat har vært avtakende, særlig sør i landet, siden 1990. Nedfallet av uorganisk nitrogen har også blitt redusert, men ikke i like stor grad. I 2011 var det høy nedbør på flere av flatene, og det har ledet til økt deposisjon, blant annet av uorganisk nitrogen. Jordvannets pH var høyest på Tustervatn i Nord-Norge. Konsentrasjoner av nitrat i jordvann er generelt lave, oftest nær eller under deteksjonsgrensen. Imidlertid kan det forekomme episoder, normalt kortvarige, med høyere nitratkonsentrasjoner. Tilførsel av sjøsalter er betydelig på de kystnære feltene, spesielt Nedstrand, og gjenspeiles i Na- og Cl-konsentrasjoner i nedbøren og jordvannet. Risikoen for aluminiumforgiftning i vegetasjonen er normalt liten med konsentrasjoner i jordvannet som normalt ligger godt under de toksiske grensene. Økte aluminiumkonsentrasjoner kan forekomme etter stormer der sjøsaltnedfallet har vært stort, men det er tvilsomt om disse har noen varig effekt på skogøkosystemet. Til tross for økt deposisjon på flere flater i 2011, ser det ut til at tilførselen av forsurende stoffer har i stor grad stabilisert seg på de fleste av overvåkingsflatene.

4.2 Effekter på markvegetasjon

Markvegetasjonen i bjørkeskog i Lund og Åmotsdalen

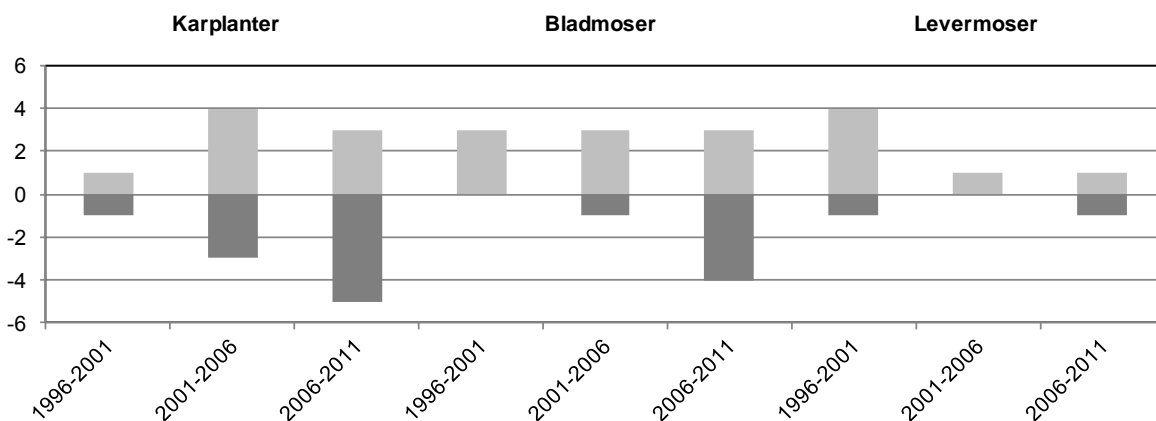
Ved utgangen av 2011 var markvegetasjonen i overvåkingsområdene i bjørkeskog analysert tre ganger i Møsvatn og fire ganger i øvrige områder med bjørkeskog, etter at undersøkelsesdesignet ble justert i 1993 for å kunne følge og beskrive endringer i et bredt spekter av vegetasjonstyper. I 2011 ble markvegetasjonen i overvåkingsområdene i Lund (Rogaland) og Åmotsdalen (Sør-Trøndelag) analysert for fjerde gang (1996, 2001, 2006, 2011), og resultater av endringer fra siste periode 2006-2011 og i hele perioden 1996-2011 presenteres her. Overvåkingsområdet i Lund ligger i et område av Norge som har vært og til dels fremdeles er sterkt påvirket av langtransportert forurensning, mens overvåkingsområdet i Åmotsdalen er lite påvirket av slik forurensning.

I de 50 reanalyserte rutene fra Lund i 2011 ble 75 arter registrert: 33 karplanter, 24 bladmoser, 16 levermoser, én lav og ett taxon av alger. Totalt antall registrerte arter var høyere enn i alle de foregående undersøkelsesårene (hhv 69, 71 og 69 arter i 1996, 2001 og 2006), med særlig økning i antall arter av bladmoser. *Figur 45* viser antall arter med signifikant økning eller tilbakegang i mengde (ved frekvensmål) mellom de ulike registreringsårene. I perioden 2006-2011 ble det funnet signifikant framgang (ved prosent dekning eller frekvensmål) for tepperot og grasene engkvein og blåtopp, mens seks karplantearter gikk signifikant tilbake (blåbær, tyttebær, fugleteig, linnea, maiblom, skogstjerne). For hele overvåkingsperioden 1996-2011 ble det registrert signifikant framgang for fire karplantearter (stri kråkefot, tepperot, engkvein, blåtopp) og tilbakegang for de samme artene med tilbakegang i siste 5-årsperiode, samt røsslyng. Blant mosene viste fire arter signifikant framgang (etasjemose, matteflette, kystkransmose, skogkrekemose) og fem arter tilbakegang (blanksigd, ribbesigd, glansjammemose, furumose, skogflak) i perioden 2006-2011. De fire moseartene som gikk fram i perioden 2006-2011, har også vist framgang for hele perioden 1996-2011 under ett. Det samme gjelder for artene som viste tilbakegang, unntatt blanksigd og furumose.

Overvåkingsområdet i Lund har vært sterkt berørt av langtransportert forurensning. Mens svovelavsetningen er vesentlig redusert i overvåkingsperioden, er nitrogenavsetningen fortsatt vesentlig høyere enn tålegrensene for boreal lauvskog. Framgang for en del svakt næringskrevende moser kan være en indikasjon på bedre næringstilgang og mindre forsuring, da jordsmonnet viser en svak økning i pH, total nitrogen, utbyttbare kationer og basemetning fra 1996 til 2011. Økt dekning av grasene engkvein og blåtopp, forekomst av alger på bakken og tilbakegang av blåbær (målt ved dekningsgrad) er alle indikasjoner på høy

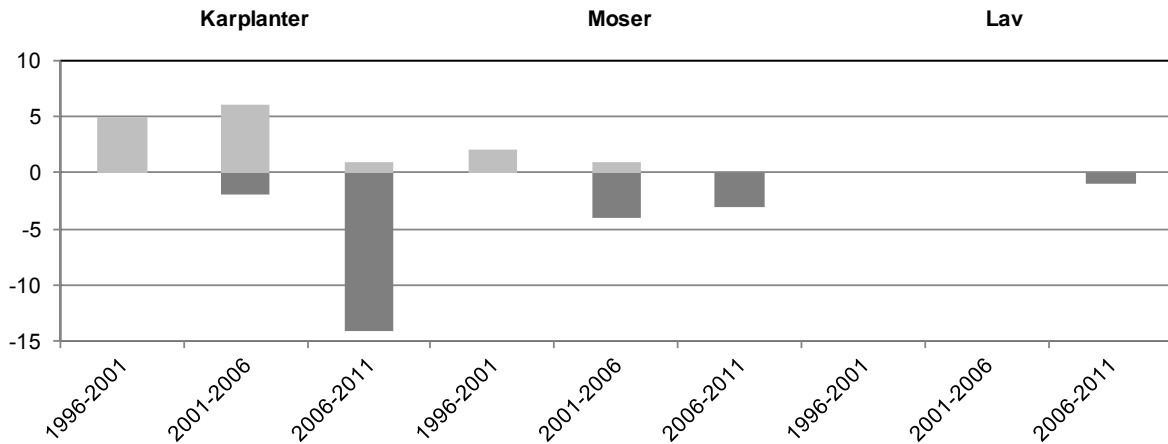
nitrogenbelastning. Det siste tiåret har månedsmiddeltemperaturen for vekstsesongen juni-august vært høyere enn normalverdiene for fra perioden 1961-1990, og de siste fem årene har månedsnedbøren også ligget over normalen. Framgang av store moser som etasjemose skyldes trolig et varmere klima med økt lengde på vekstsesongen, og økt nedbør har ført til økt vekst av fuktighetskrevenne moser og en viss tilbakegang av tørketålende moser.

I de 50 reanalyserte rutene fra Åmotsdalen i 2011 ble 82 arter registrert: 49 karplanter, 15 bladmoser, 9 levermoser og 9 lavarter. Totalt antall registrerte arter var lavere enn i alle de foregående undersøkelsesårene (hhv 91, 86 og 91 arter i 1996, 2001 og 2006), med særlig reduksjon i antall arter av karplanter og lav. *Figur 46* viser antall arter med signifikant økning eller tilbakegang i mengde (målt som frekvens) mellom de ulike registreringsårene. I perioden 2006-2011 ble det (ved begge mengdemål) bare funnet signifikant framgang for røsslyng, mens hele 18 karplantearter gikk signifikant tilbake (krekling, tyttebær, harerug, skrubebær, stormarimjelle, skogstorkenebb, fugletelg, gjøksyre, perlevintergrønn, engsoleie, gullris, skogstjerne, legeberonika, smyle, gulaks, engfrytle, hårfrytle, finnskjegg). For hele overvåkingsperioden 1996-2011 ble det registrert signifikant framgang for røsslyng, krekling, tyttebær, stri kråkefot, linnea og engkvein og tilbakegang for 12 arter (hvorav ni med tilbakegang også i siste 5-årsperiode). Også i Åmotsdalen er det en tilbakegang av blåbær. Blant mosene viste ingen arter signifikant framgang og tre arter (ribbesigd, furumose, buttflik) tilbakegang i perioden 2006-2011. For hele overvåkingsperioden viste én moseart (sprikelundmose) signifikant framgang, mens fire (bergsigd, blanksigd, ribbesigd, buttflik) viste tilbakegang. Ingen lavarter viste signifikant framgang i siste eller hele overvåkingsperioden, mens én lavart (bleikbeger) viste signifikant tilbakegang i mengde i perioden 2006-2011 og to andre lavtaxa (grå reinlav, brunbeger) viste tilbakegang for hele overvåkingsperioden.



Figur 45. Antall arter av karplanter, bladmoser og levermoser i overvåkingsområdet i Lund med signifikant framgang (positive verdier) eller tilbakegang (negative verdier) mellom analyseårene 1996, 2001, 2006 og 2011, basert på frekvensmål av arter i overvåkingsruter. Småplanter av trær og andre arter med lav persistens mellom år er ikke tatt med.

Figure 45. Number of species of vascular plants (Karplanter), mosses (Moser), and hepatics (Levermoser) showing significant increase (positive values) or decrease (negative values) between the census years 1996, 2001, 2006 and 2011 at the Lund monitoring site, based on frequency abundance of species within monitoring plots. Seedlings of trees and other species with low persistence between years are not included.



Figur 46. Antall arter av karplanter, moser og lav i overvåkingsområdet i Åmotsdalen med signifikant framgang (positive verdier) eller tilbakegang (negative verdier) mellom analyseårene 1996, 2001, 2006 og 2011, basert på frekvensmål av arter i overvåkingsruter. Småplanter av trær og andre arter med lav persistens mellom år er ikke tatt med.

Figure 46. Number of species of vascular plants (Karplanter), bryophytes (Moser), and lichens (Lav) showing significant increase (positive values) or decrease (negative values) between the census years 1996, 2001, 2006 and 2011 at the Åmotsdalen monitoring site, based on frequency abundance of species within monitoring plots. Seedlings of trees and other species with low persistence between years are not included.

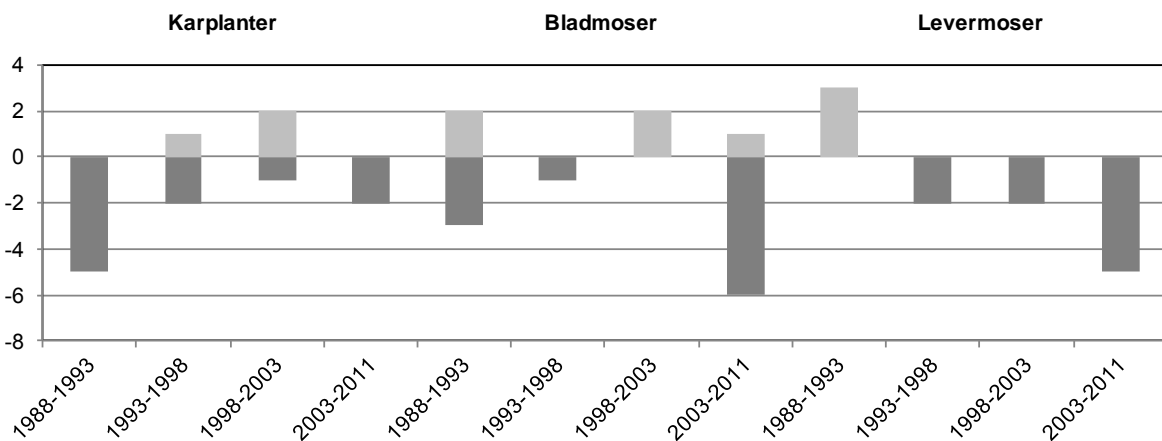
Overvåkingsområdet i Åmotsdalen er lite berørt av langtransportert forurensning. Nedgangen i antall arter og tilbakegangen i mengde for flere arter skyldes trolig særlig høyt beitepress, dels fra husdyr, men trolig også på grunn av stor smågnagerbestand i 2007 og 2010. Varmere og lengre vekstsesong enn normalt kan være årsak til en viss framgang for mer tørketålende arter som stri kråkefot og røsslyng på bekostning av mer fuktighetskrevenne arter som blokkebær og blåbær. Klimaendringene kan også forklare at de fuktighetskrevenne artene dvergjamne, tranebær og moseslekten tvebladmose har forsvunnet fra analyserutene siden 1996, sammen med lite varmekjære fjellplanter som fjellfiol, fjelltimotei og setergråurt.

Markvegetasjonen i granskog i Grytdalen naturreservat i Telemark

Ved utgangen av 2011 er markvegetasjonen i overvåkingsområdene i granskog analysert fem ganger i fire av områdene og fire ganger i fire av de ti opprinnelige områdene som undersøkes av Norsk institutt for skog og landskap. Vegetasjonsanalysene i Lundsneset og Øyenskvilen er ikke videreført etter 2002 av økonomiske grunner. I 2011 ble overvåkingsområdet i Grytdalen undersøkt for femte gang (1988, 1993, 1998, 2003 og 2011), og resultatene presenteres her. Overvåkingsområdet i Grytdalen naturreservat i Telemark ligger i et område av landet som har/har hatt stor avsetning av langtransporterte forurensninger.

I de 50 reanalyserte rutene i Grytdalen ble 87 arter registrert i 2011: 31 karplanter, 28 bladmosearter (inkludert 4 torvmosearter), 24 levermosearter og 4 lavararter. Totalt antall registrerte arter var betydelig lavere enn i 1988 (98 arter), men også lavere enn i 1998 og 2003 (med hhv 91 og 96 arter) og omtrent på nivå med antall arter i 1993 (88 arter). Antall registrerte arter av de ulike artsgruppene i 2011 var lavere enn eller på samme nivå som for de aller fleste øvrige årene (unntatt for karplanter i 1993). Figur 47 viser antall arter med signifikant økning eller tilbakegang i mengde (målt som frekvens) mellom de ulike registreringsårene. I perioden 2003-2011 ble det funnet signifikant tilbakegang for to

karplantearter (maiblom, smyle). I samme periode viste hele seks bladmosearter (blanksigd, ribbesigd, glansjammemose, furumose, kystkransmose, firtannmose), fem levermosearter (lyngskjeggmose, piggtrådmoser, skogflak, myrglefsmose, buttflik) og to lavtaxa (pulverbrunbeger, stubbesyl) signifikant tilbakegang i mengde, mens kun én torvmoseart (lyngtorvmose) viste økning. Artssammensetningen er også signifikant endret.



Figur 47. Antall arter av karplanter, bladmoser og levermoser i overvåkingsområdet i Grytdalen med signifikant framgang (positive verdier) eller tilbakegang (negative verdier) mellom analyseårene 1988, 1993, 1998, 2003 og 2011, basert på frekvensmål av arter i overvåkingsruter. Småplanter av trær og andre arter med lav persistens mellom år er ikke tatt med. Bladmoser inkluderer her torvmoser.

Figure 47. Number of species of vascular plants (Karplanter), mosses (Bladmoser), and hepatics (Levermoser) showing significant increase (positive values) or decrease (negative values) between the census years 1988, 1993, 1998, 2003 and 2011 at the Grytdalen monitoring site, based on frequency abundance of species within monitoring plots. Seedlings of trees and other species with low persistence between years are not included. Sphangnum sp. is included in mosses.

For 23-årsperioden 1988-2011 ble det registrert signifikant tilbakegang for 11 karplantearter (tyttebær, sauetelg, fugletelg, linnea, stri kråkefot, maiblom, gjøkesyre, teiebær, gullris, skogstjerne, smyle), mens ingen arter har økt signifikant i mengde. Blant bladmosene ble det registrert signifikant tilbakegang for fem arter (sprikelundmose, blanksigd, flakjammemose, glansjammemose, furumose), mens to arter (bergsigd, matteflette) har økt signifikant i mengde. I denne perioden ble mengden av fire levermosearter (lyngskjeggmose, myrglefsmose, stubbeblonde, buttflik) signifikant redusert, mens én (sumpflak) økte i mengde. Artsmangfoldet i granskogsflatene i Grytdalen er totalt sett redusert, spesielt når man ser på hele perioden siden overvåkingen startet. Antall arter pr analyserute er i hele 23-årsperioden signifikant redusert for de fleste artsgruppene, i gjennomsnitt med -2,4 arter pr rute. Reduksjonen i antall levermoser pr rute var i hele perioden var -1,4 arter. Mange karplanter og en del små moser har fått reduserte frekvenser i hele 23-årsperioden, mens enkelte store moser har økt i dekningsgrad i analyserutene i løpet av perioden 1993-2011.

Mengdereduksjonen for karplanter, og til dels for moser i siste perioden og hele 23-årsperioden, kan trolig delvis skyldes svært sterk beiting av smågnagere i 2010/2011. Lengre vekstsesong for moser på grunn av lange, milde høster har trolig også bidratt betydelig til reduksjonen for spesielt små moser (levermoser og små bladmoser) fordi enkelte store

mosearter, som etasjemose, har økt i prosent dekning (selv om det ikke er signifikant økning i smårutefrekvens) i analyserutene, på tross av beitingen fra smågnagere. Fortettingen i bunnsjiktet pga sterk vekst og formering av dominerende store moser gjør det vanskelig for små moser å overleve og bidrar således til lavere artsmangfold for mosene.

4.3 Effekter på epifytter

Den kartlagte epifyttvegetasjonen i alle de sju TOV-områdene (i Solhomfjell på furu, i øvrige områder på bjørk) domineres av arter typiske for fattigbarksamfunn som har forholdsvis lavt artsmangfold. Dette har bl.a. sammenheng med barkens pH-verdi, næringsstatus og struktur. Totalt er 145 taksoner (arter eller slekter) registrert på stammen av de utvalgte trærne i de sju TOV-områdene i løpet av kartleggingsrundene (hhv 4 og 5 gjenkartlegginger i tre og fire områder). Epifyttvegetasjonen i de fleste områdene er dominert av bladlavarer som vanlig kvistlav (*Hypogymnia physodes*), bristlav (*Parmelia sulcata*), snømållav (*Melanelia olivacea*) og gul stokklav (*Parmeliopsis ambigua*). I 2011 ble epifyttvegetasjonen i overvåkingsområdene i Lund og Åmotsdalen kartlagt for femte gang.

Til tross for at overvåkingsområdet i Lund (Rogaland) ligger nær kysten i et område som klimatisk er antatt gunstig for vekst av lav, er lavvegetasjonen på stammer av bjørk sparsom (*Figur 48*). Dessuten er en stor andel av laven registrert som skadd (*Figur 49*). Lund skiller seg også ut som det eneste TOV-området med registrert algevekst på undersøkelsestrærne (*Figur 50*). Dekningen av alger har økt gjennom hele perioden og utgjorde totalt 82 % av det kartlagte stammearealet i 2011. Dette blir tolket dels som en effekt av den høye nitrogentilførselen i området og dels som resultat av milde og fuktige høster i mange av de siste årene.

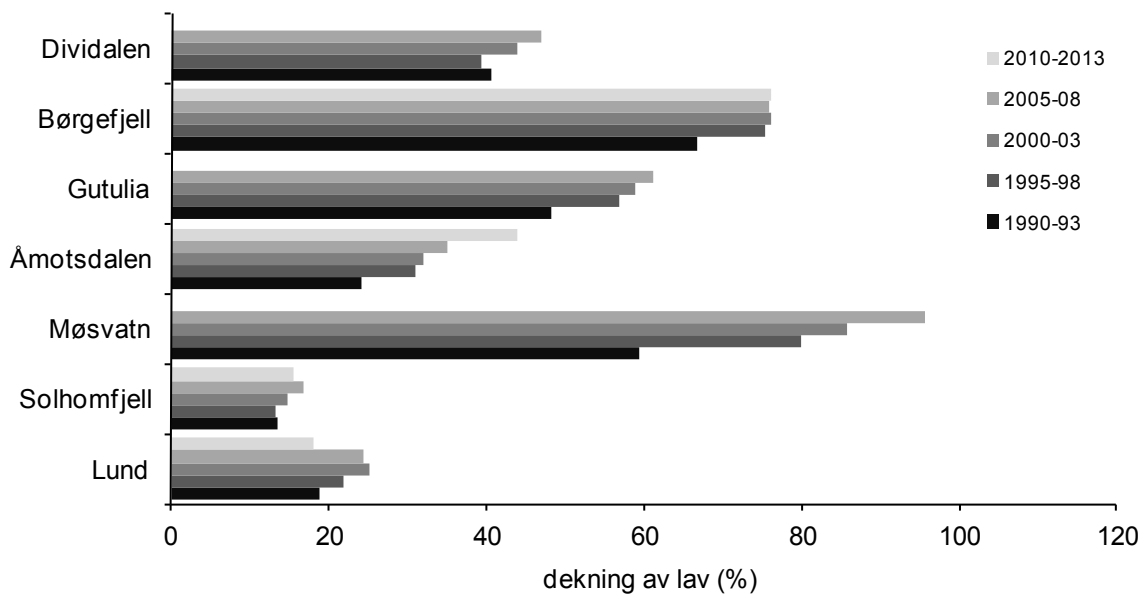
I Solhomfjell kartlegges epifyttene på furu, som har fattigere epifyttflora og generelt lavere dekning enn bjørk. Solhomfjell-området har i lengre tid vært utsatt for betydelige forurensningsbelastninger. Den betydelige reduksjonen i skadefrekvens for lav på furu i Solhomfjell (*Figur 49*) er konsistent med effekter av reduksjon i svovelnedfall og forsuring i dette området.

Åmotsdalen og Dividalen representerer de mest typiske fjellbjørkeskogsamfunnene når det gjelder epifyttisk lav, med stor dominans av snømållav. Total lavdekning er ikke spesielt høy i disse områdene, trolig først og fremst av klimatiske årsaker. Vind og snø kan hindre lavens etablering og vekst både direkte og ved å forårsake større avflaking av never. Det er en viss økning i lavdekningen i Åmotsdalen og Dividalen, men andelen skadd lav har gått noe opp i enkelte av de siste kartleggingene (*Figur 48* og *Figur 49*). Det er særlig økt skade på snømållav, noe som kan ha sammenheng med klimaet.

Det er mest lav på trestammene i Møsvatn, Gutulia og Børgefjell (*Figur 48*). Det frodige inntrykket i Gutulia og Møsvatn blir også understreket av de store forekomstene av brunskjegg (*Bryoria* spp.), arter som er følsomme for forurensninger. Lang skoglig kontinuitet og beskyttet habitat, samt innslag av furuskog, kan være med på å forklare de store forekomstene av brunskjegg og det store artsmangfoldet. Spesielt i Møsvatn-området har skadeomfanget gått betydelig ned (*Figur 49*), og brunskjegg har vist tydelig framgang, fra 1,8 % dekning i 1992 til 22,4 % dekning i 2007. Dette kan tolkes som en respons på nedgangen av svovel i luft og nedbør de siste tiårene. Også i Gutulia er skadeomfanget redusert, uten at det er naturlig å knytte dette til endringer av forurensningsbelastninger i dette området med generelt liten forurensningspåvirkning. I Børgefjell, et område med minimalt

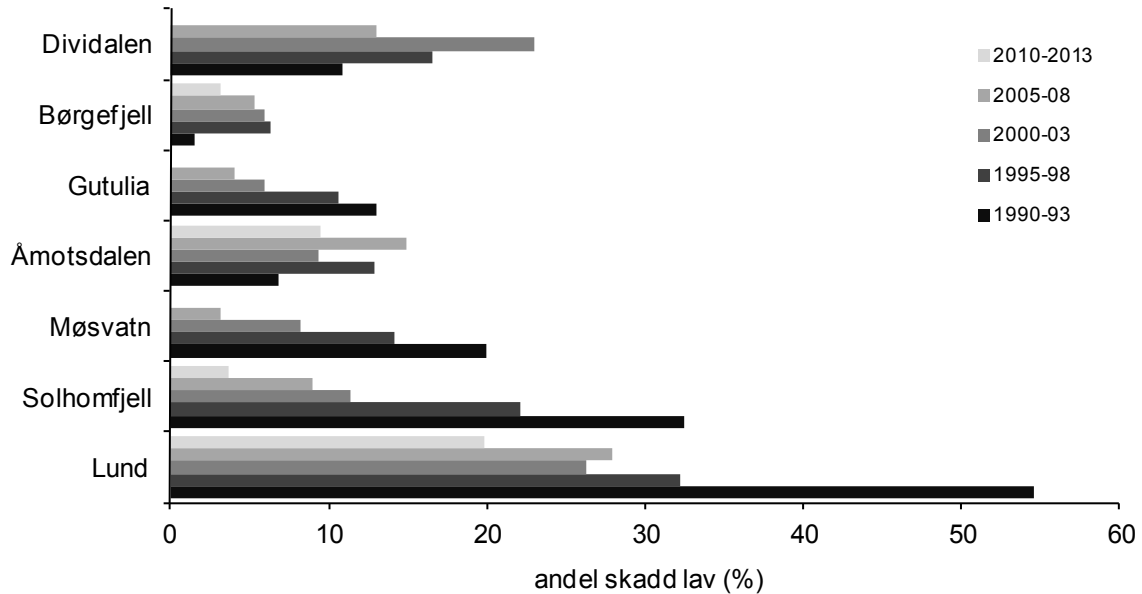
nedfall av forurensende stoffer, er skadefrekvensen forholdsvis lav, og den har blitt gradvis redusert siden andre gangs kartlegging (Figur 49). Økningen fra første til andre gangs kartlegging kan ha sammenheng med klimabetinget skade på bl.a. snømållav, som også er vesentlig redusert i frekvens gjennom overvåkingsperioden.

Det er registrert høyere lavdekning på trærne ved gjenkartleggingene i de fleste TOV-områdene. Økt lavdekning kan skyldes en kombinasjon av naturlig suksesjon ved at skogen blir eldre, og at sammensetningen av nedbøren eller klimaet har blitt gunstigere for lavvekst. Mindre svovelinnhold og mer nitrogen kan virke positivt på epifyttvegetasjonen. Slik sett reflekterer gjentatte lavregistreringer en klar sammenheng mellom lavenes forekomst og skadestatus og registrerte forurensningsbelastninger i nedbøren, både i forhold til geografiske variasjonsmønstre og ved endringer over tid.



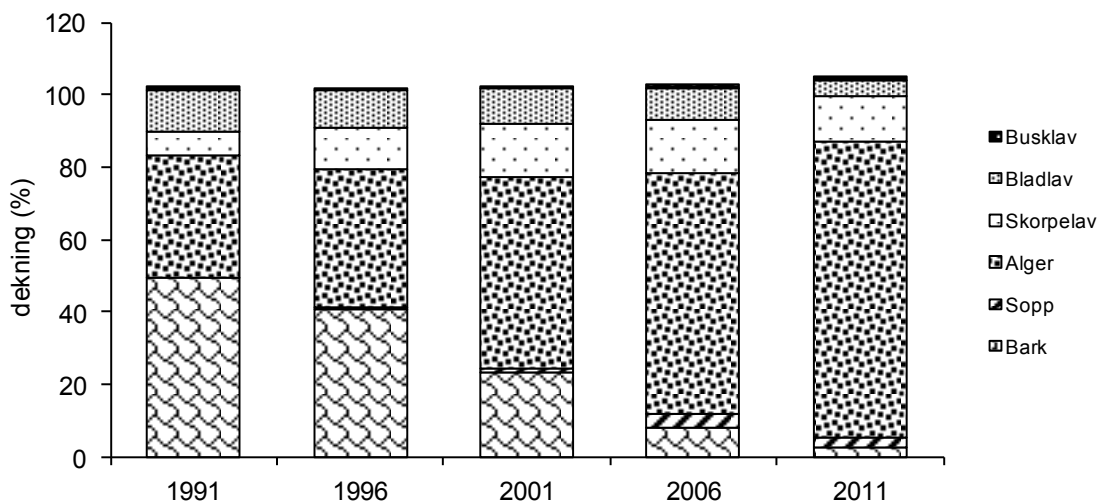
Figur 48. Dekningen av epifyttiske lav på prøvetrær i overvåkingsområdene for første periode (1990-93) og ved gjenanalyse (1995-98, 2000-03, 2005-08, 2010-13), angitt som total dekning av lav i prosent av kartlagt stammeareal. Følgende prøvefelt er ikke tatt med: Børgefjell prøvefelt 0 (etablert 2005), Åmotsdalen prøvefeltene 6 og 7 (etablert 2004), Møsvatn prøvefeltene 6 og 7 (etablert 2007).

Figure 48. Cover of epiphytic lichens on sample trees at the monitoring sites for the first period (1990-93) and at re-analysis (1995-98, 2000-03, 2005-08, 2010-13), given as total lichen cover in per cent of mapped trunk area. The following sample plots are not included: Børgefjell plot 0 (established 2005), Åmotsdalen plots 6 and 7 (established 2004), Møsvatn plots 6 and 7 (established 2007).



Figur 49. Andel skadet lav på prøvetrær i overvåkingsområdene for første periode (1990-93) og ved gjenanalyse (1995-98, 2000-03, 2005-08, 2010-13), angitt som prosent av total registrert lavdekning. Følgende prøvefelt er ikke tatt med: Børgefjell prøvefelt 0 (etablert 2005), Åmotsdalen prøvefeltene 6 og 7 (etablert 2004), Møsvatn prøvefeltene 6 og 7 (etablert 2007).

Figure 49. Proportion of damaged lichens on sample trees at the monitoring sites for the first period (1990-93) and at re-analysis (1995-98, 2000-03, 2005-08, 2010-13), given as per cent of total censused lichen cover. The following sample plots are not included: Børgefjell plot 0 (established 2005), Åmotsdalen plots 6 and 7 (established 2004), Møsvatn plots 6 and 7 (established 2007).



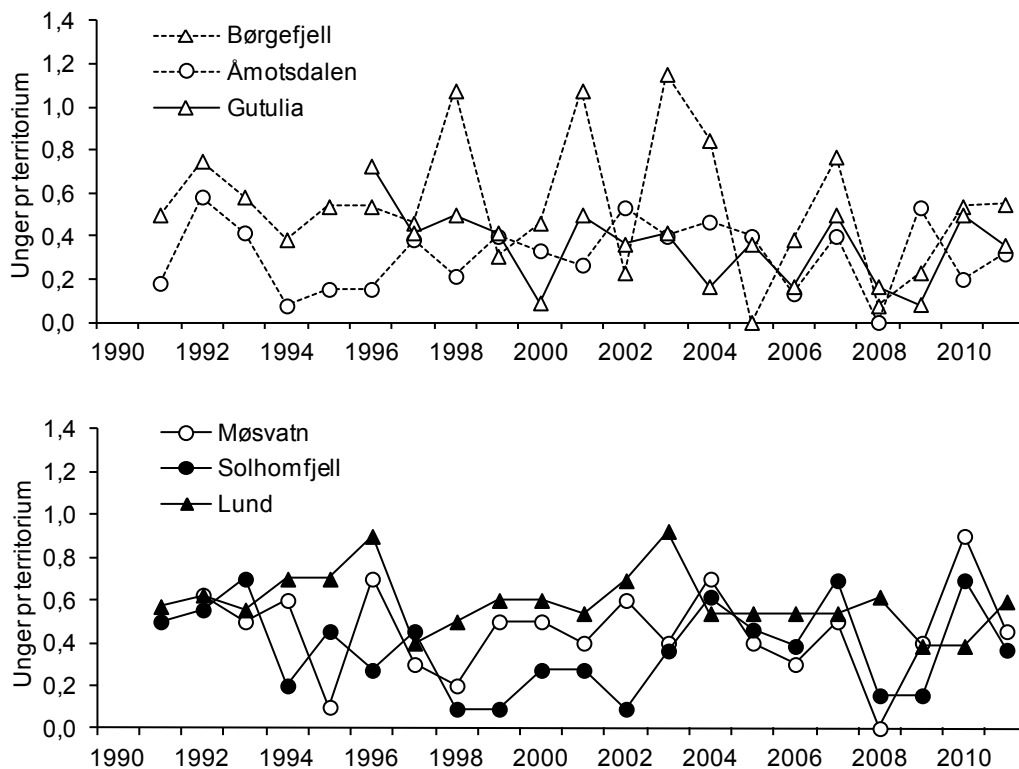
Figur 50. Andel av lav, alger og sopp på prøvetrær i overvåkingsområdet i Lund 1991-2011, angitt som prosent av totalt undersøkt stammeareal.

Figure 50. Proportion of lichens, algae and fungi on sample trees at the monitoring site in Lund 1991-2011, given as percent of total investigated trunk area.

4.4 Effekter på fuglefauna

Rovfugler

Ungeproduksjonen hos kongeørn og jaktfalk er generelt sterkt avhengig av tilgang på føde, dvs forekomst av hønsefugler og hare for kongeørn og ryper for jaktfalk. For kongeørn vil imidlertid også tilgangen på kadaver fra vilt og husdyr kunne være en viktig føderessurs. Resultatene fra overvåkingsområdene viser betydelig variasjon fra år til år i ungeproduksjonen hos kongeørn, noe som ofte kan relateres til variasjon i tilgangen på næring. Dette mønsteret er enda mer utpreget for jaktfalk. Overvåkingen av kongeørn og jaktfalk i perioden 1991–2011 har vist at ungeproduksjonen ligger innenfor normal variasjon for alle de undersøkte bestandene. Produksjonen av kongeørnunger er ikke vesentlig annerledes for de sørlige, forurensningsbelastede overvåkingsområdene Lund og Solhomfjell enn for de nordlige områdene Åmotsdalen og Børgefjell (Figur 51). I perioder har ungeproduksjonen hos kongeørn vært lav i enkelte områder (f.eks. Solhomfjell 1998-2003, 2008-2009), uten at en har funnet noen klar årsak til dette. I 2011 var ungeproduksjonen hos kongeørn litt lavere enn medianverdien for perioden 1993-2010 i Åmotsdalen og Gutulia, mens øvrige områder viste normal eller litt høyere produksjon i 2011.



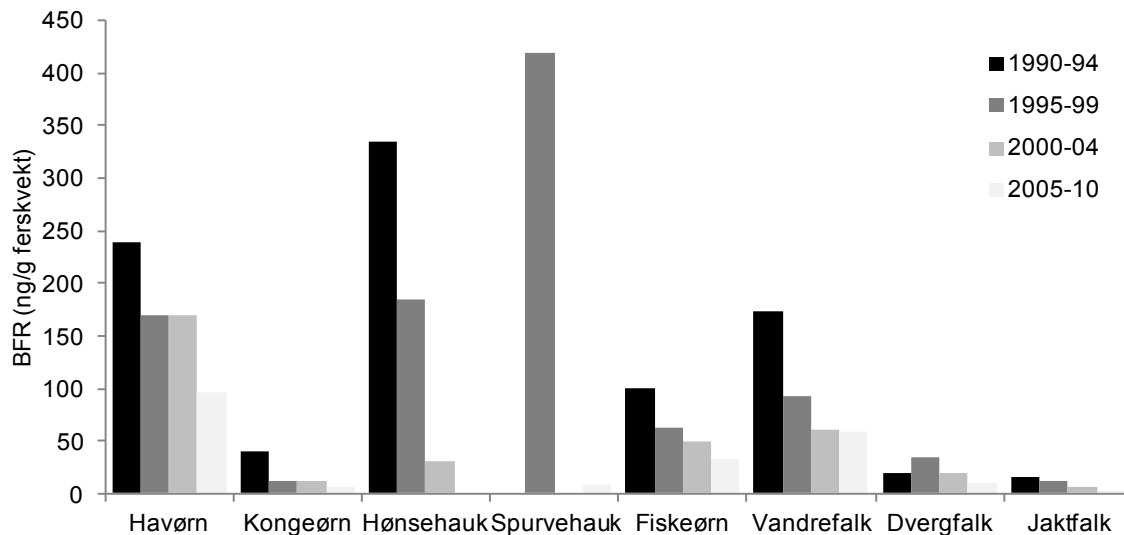
Figur 51. Ungeproduksjon pr undersøkt territorium hos kongeørn i TOV-områder 1991-2011.

Figure 51. Production of young per investigated territory of golden eagles at the monitoring sites 1991-2011.

Miljøgifter i rovfuglegg

Ved sammenstilling av publiserte og upubliserte data helt tilbake til 1966 og egne analyser i regi av TOV har vi nå utviklingstrender for miljøgifter i rovfuglegg for 40-50 år for enkelte arter. Resultatene viser at nivåene av de klassiske miljøgiftene (DDT, PCB etc) er på vei

nedover i norske rovfugler, og det synes også å være tilfelle for nyere miljøgifter som bromerte flammehemmere (Figur 52). De fleste analysene viser nivåer under antatte faregrenser (Nygård & Polder 2012). Det er noe usikkerhet når det gjelder bromerte flammehemmere og perfluorerte alkylstoffer (PFAS), da materialet ennå er lite og tidsserien kort. Vi vet ennå lite om mulige biologiske effekter av disse stoffene, som brukes til overflatebehandling av tekstiler mv, samt til brannhemmende formål. De høyeste belastningsnivåene av organiske miljøgifter i egg finnes fortsatt i dvergfalk, vandrefalk og havørn. DDE og PCB er fortsatt de dominerende stoffene. DDE, som har sterk eggskallfortynnende effekt, er høyest i dvergfalk, mens PCB og bromerte flammehemmere er høyest i havørn og hubro. De fleste organiske miljøgiftene er positivt korrelert med hverandre, og derfor kan det være vanskelig å påvise stoff-spesifikke effekter. Kvikksløvnivåene ser ut til ha stabilisert seg på et nivå som sannsynligvis er godt over de før-industrielle bakgrunnsnivåene, og havørna, vandrefalken og dvergfalken har de høyeste nivåene. For de fleste artene er eggskallene i ferd med å bli tykkere, men de har for de fleste artene ennå ikke nådd opp til normale verdier fra tiden før DDT kom i alminnelig bruk (før 1947). Bestandene av de fleste artene av rovfugl i Norge ser ut til å være stabile eller økende, og dette skyldes utvilsomt delvis redusert miljøgiftbelastning.



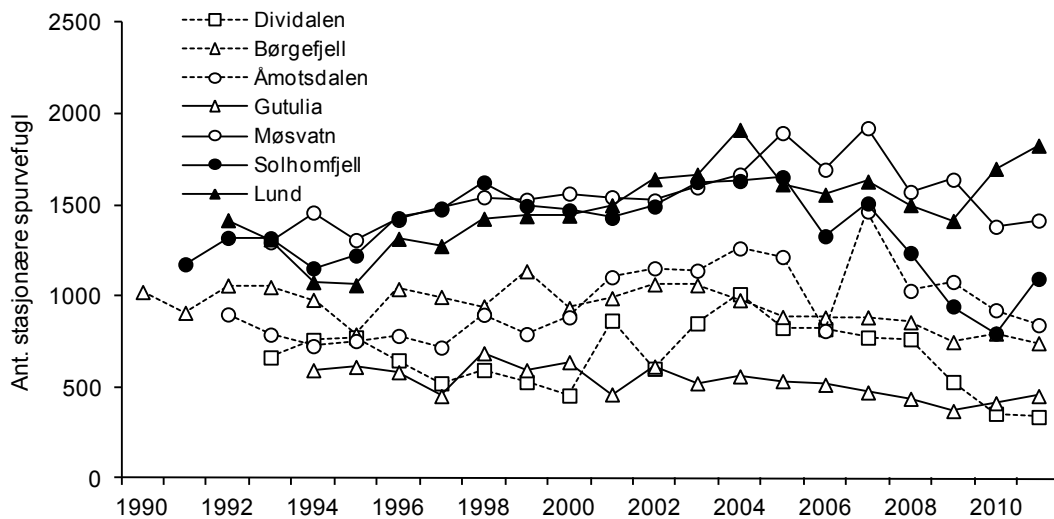
Figur 52. Sum av bromerte flammehemmere (BFR) i egg av noen norske rovfuglarter 1990-2010. Verdiene er regnet ut på basis av gjennomsnittsverdiene i de enkelte kull. Tendensen er nedadgående for alle artene, men den er signifikant bare for vandrefalk, dvergfalk og jaktfalk.

Figure 52. Brominated flame retardants (BFR, ng/g fresh weight) in some Norwegian bird of prey eggs 1990-2010. The trend is negative for all species, but significant only for peregrine (vandrefalk), merlin (dvergfalk), and gyrfalcon (jaktfalk).

Spurvefugler

Spurvefuglartene i overvåkingsområdene er i hovedsak knyttet til nordboreale og alpine økosystemer der artsantallet er betydelig lavere enn i mellom- og sørboreale økosystemer. De sørligste områdene, Lund og Solhomfjell, inkluderer en større andel mellom- og sørboreale økosystemer, men det er likevel stor grad av likhet i spurvefuglfaunaen for TOV-områdene. Etter 2011-sesongen har vi tidsserier for bestandsutviklingen for spurvefugl på minst 18 år i de ulike områdene, noe som gir grunnlag for å vurdere utviklingen av spurvefuglbestander i boreal skog. Noen få av de aktuelle fugleartene, f.eks. bjørkefink og gråsisik, viser særlig stor

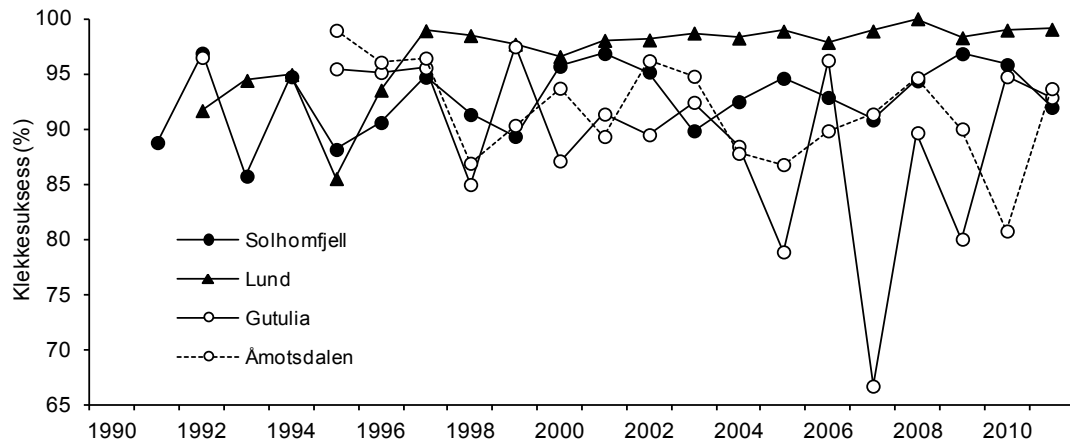
bestandsvariasjon mellom år og områder og har en invasjonspreget forekomst. Hvis vi utelater observasjoner av slike arter, viser takseringene at de sørlige områdene (Lund, Solhomfjell, Møsvatn) generelt har flere observasjoner av spurvefugl enn de nordlige (*Figur 53*). Ut fra områdenes generelle produktivitet er dette som forventet. Sammenlignet med medianverdien for perioden 1990-2010 var det i 2011 færre observasjoner av spurvefugl i alle TOV-områdene unntatt Lund. Siden 2007 har det vært en tydelig nedgang for flere av områdene, spesielt Solhomfjell (litt opp fra det laveste nivået i 2010), Møsvatn, Åmotsdalen og Dividalen. For artene med mest typisk invasjonsartet opptreden (bjørkefink, gråsisik og grønnsisik) ble det registrert økning i bestandene fra 2010 til 2011 i Lund, Børgefjell og Dividalen, mens det var en liten nedgang for de andre områdene. Bestandsendringene over tid tyder ikke på at det er vesentlige forskjeller mellom sørlige og nordlige områder. Det er altså ikke noe som tyder på at høyere forurensningsbelastning i sørlige områder har påviselige effekter på bestandsnivåer av spurvefugl i boreal skog for perioden 1990-2011. Nedgangen i spurvefuglbestandene i fjellområdene de siste årene kan muligens knyttes til perioder med kaldt, ugunstig vær i kritiske perioder i hekkesesongen i disse årene.



Figur 53. Bestandsendringer hos 'stasjonære' spurvefugler i TOV-områdene 1990-2011.

Figure 53. Changes in the populations of regular, territorial passerine birds at the monitoring sites 1990-2011.

For reproduksjonsovervåkingen for svarthvit fluesnapper har vi nå dataserier for flere år fra både sørlige (mye belastede) og nordlige (lite belastede) overvåkingsområder. Klekkesuksessen, målt ved andel klekte egg i forhold til lagte egg, viser noe variasjon fra år til år i de fleste områdene (*Figur 54*). I den første delen av overvåkingsperioden (1991-96) kan det se ut til at de sørlige områdene Lund og Solhomfjell hadde lavere klekkesuksess enn de nordlige. Siden 1997 har imidlertid klekkesuksessen ligget vel så høyt i sørlige som i nordlige områder. Spesielt har klekkesuksessen i Gutulia i perioder ligget lavt, noe som trolig skyldes uheldige lokale klimaforhold. I 2011 var klekkesuksessen svært god i Lund, på middels nivå (sammenlignet med perioden 1991-2010) i Solhomfjell, og på brukbart nivå for Gutulia og Åmotsdalen. Overlevelsen av unger fra klekte egg til flygedyktig alder har (med få unntak) vært relativt høy (minst 90 %) for alle år og områder, uten tegn til lavere ungeoverlevelse i sør enn i nord.



Figur 54. Klekkesuksess hos svarthvit fluesnapper i TOV-områder 1991-2011, angitt som klekte egg i prosent av lagte egg i kull som ikke ble ødelagt.

Figure 54. Hatching success of pied flycatchers at the monitoring sites 1991-2011, given as hatched eggs in per cent of laid eggs in clutches that were not destroyed.

5. Referanser

Luft og nedbør

- EEA 2012. Air pollution by ozone across Europe during summer 2011. Overview of exceedances of EC ozone threshold values for April–September 2011. EEA Technical report No 1/2012.
- EMEP 2011. Transboundary acidification, eutrophication and ground level ozone in Europe in 2009. EMEP status report 1/2011. Norwegian Meteorological Institute (EMEP Report 1/2011).
- EU 2008. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. Off. J.Eur. Com., L 141, 11/06/2008, 1-44
- Green, N.W., Heldal, H.E., Måge, A., Aas, W., Gäfvert, T., Schrum, C., Boitsov, S., Breivik, K., Iosjpe, M., Yakushev, E., Skogen, M., Høgåsen, T., Eckhardt, S., Christiansen, A.B., Daae, K.L., Durand, D. & Debloskaya, E. 2011. Tilførselsprogrammet 2010. Overvåking av tilførsler og miljøtilstand i Nordsjøen. Oslo, NIVA. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport nr 1097/2011. TA-2810/2011 (NIVA-rapport 6187 2011).
- met.no 2011. Været i Norge. Klimatologisk oversikt året 2011. Meteorologisk institutt (met.no info 13/2011).

Vannkjemi og vannbiologi

- Direktoratsgruppa vanndirektivet 2009. Veileder 01:2009. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. Direktoratsgruppa for gjennomføring av vanndirektivet, 181 s.
- Klif 2011. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport – effekter 2010. Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif). Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 1094/2011. TA 2793/2011, 159 s.
- Schartau, A.K., Brettum, P., Fiske, P., Hesthagen, T., Johansen, S.W., Mjelde, M., Raddum, G.G., Skjelkvåle, B.L., Saksgård, R. & Skancke, L.B. 2006. Referanseavssdrag for effektstudier av sur nedbør. Kjemiske og biologiske forhold i Bondalselva og Visavassdraget, Møre og Romsdal, 2002-2006. NINA Rapport 199, 99 s.
- SFT 2007. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport – Effekter 2006. - SFT-rapport 1000/2007, TA-2322/2007. 158 s.
- SFT 2009. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport – Effekter 2008. - SFT-rapport 1057/2009, TA-2546/2009. 163 s.
- Sinev, A.Y. 2009. Discrimination between two sibling species of *Acroperus* (Baird, 1843) from the Palearctic (Cladocera: Anomopoda: Chydoridae). - *Zootaxa* 2176: 1-21.
- Aagaard, K. & Dolmen, D. 1996. Limnofauna Norvegica. Katalog over norsk ferskvannsfauna. s. 130 – 135. Tapir Forlag, Trondheim.

OPS

- Andreassen, K., Clarke, N., Timmermann, V., Røsberg, I. 2012. Intensiv skogovervåking i 2011. Resultater fra ICP Forests Level 2 flater i Norge. Rapport fra Skog og landskap xx/2012. In prep.
- Timmermann, V., Andreassen, K., Hysten, G. 2012. Helsetilstanden i norske skoger: Resultater fra den landsrepresentative skogovervåkingen i 2011. Rapport fra Skog og landskap xx/2012. In prep.
- UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) 2011. Revised manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Programme Coordinating Center, ICP Forests. Hamburg. Revised 2011.

TOV

- DN 1997. Natur i endring. Program for terrestrisk naturovervåking 1990-1995. Direktoratet for naturforvaltning, Trondheim. 160 s.
- Framstad, E. (red.). 2012. Terrestrisk naturovervåking i 2011: Markvegetasjon, epifytter, smågnagere og fugl. Sammenfatning av resultater. NINA Rapport 840, 107 s.
- Framstad, E., Bakkestuen, V., Bruteig, I.E., Kålås, J.A., Nygård, T. og Økland, R.H. 2003. Natur i endring. Terrestrisk naturovervåking 1990-2002. NINA Temahefte 24, 30 s.
- Nygård, T. & Polder, A. 2012. Miljøgifter i rovfuglegg i Norge. Tilstand og tidstrender. NINA Rapport 834: 52s.
- Økland, T. 1996. Vegetation-environment relationships of boreal spruce forest in ten monitoring reference ar-eas in Norway. *Sommerfeltia* 22: 1-349.
- Økland, T., Bakkestuen, V., Økland, R.H. og Eilertsen, O. 2004. Changes in forest understory vegetation in Norway related to long-term soil acidification and climate change. *Journal of Vegetation Science* 15: 437-448.

Referer til denne rapporten som:

- Klif 2012. Overvåking av langtransporterte forurensninger 2011. Sammendragsrapport. Klif rapport 1121/2012, TA-2933/2012. NIVA-rapport 6379-2012.



Klima- og forurensningsdirektoratet
 Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo
 Besøksadresse: Strømsveien 96
 Telefon: 22 57 34 00
 Telefaks: 22 67 67 06
 E-post: postmottak@klif.no
 Internett: www.klif.no

Utførende institusjoner NILU, NIVA, NINA, LFI, Uni Miljø, Skog og landskap	ISBN-nummer 978-82-577-6114-1
---	----------------------------------

Oppdragstakers prosjektansvarlig Brit Lisa Skjelkvåle	Kontaktperson Klif Gunnar Skotte	TA-nummer TA-2933/2012
--	-------------------------------------	---------------------------

	År 2012	Sidetall 96	Klifs kontraktnummer 5012001
--	------------	----------------	---------------------------------

Utgiver Norsk institutt for vannforskning NIVA-rapport 6379-2012	Prosjektet er finansiert av Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) Direktoratet for naturforvaltning (DN) Landbruks- og matdepartementet (LD)
--	--

Forfatter(e) Ann Kristin Schartau (NINA), Arne Fjellheim (LFI, Uni Miljø), Bjørn Walseng (NINA), Brit Lisa Skjelkvåle (NIVA), Erik Framstad (NINA), Godtfred A. Halvorsen (LFI, Uni Miljø), Inga E. Bruteig (NINA), Ingvald Røsberg (Skog og landskap), John Atle Kålås (NINA), Jørn-Frode Nordbakken (Skog og landskap), Karl Espen Yttri (NILU), Kjell Andreassen (Skog og landskap), Liv Bente Skancke (NIVA), Marianne Evju (NINA), Nicholas Clarke (Skog og landskap), Per Arild Aarrestad (NINA), Randi Saksgård (NINA), Stein Manø (NILU), Sverre Solberg (NILU), Thomas C. Jensen (NINA), Tonje Økland (Skog og landskap), Tore Høgåsen (NIVA), Torgeir Nygård (NINA), Trygve Hesthagen (NINA), Vegar Bakkestuen (NHM-UiO), Volkmar Timmermann (Skog og landskap), Wenche Aas (NILU), Øyvind A. Garmo (NIVA).
--

Tittel - norsk og engelsk Overvåking av langtransporterte forurensninger 2011. Sammendragsrapport Monitoring long-range transboundary air pollution 2011. Summary report
--

Sammendrag Rapporten presenterer sammendrag av resultatene for 2011 fra tre overvåkingsprogrammer: "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør", "Overvåkingsprogram for skogskader" (OPS) og "Program for terrestrisk naturovervåking" (TOV). The report presents results for 2011 from three national monitoring programmes on long-range transboundary air pollution.
--

4 emneord Overvåking Luftforurensning Akvatisk miljø Terrestrisk miljø	4 subject words Monitoring Air pollution Aquatic environment Terrestrial environment
--	--



Klima- og forurensningsdirektoratet

Postboks 8100 Dep,
0032 Oslo

Besøksadresse: Strømsveien 96

Telefon: 22 57 34 00

Telefaks: 22 67 67 06

E-post: postmottak@klif.no

www.klif.no

Om Statlig program for forurensningsovervåking

Statlig program for forurensningsovervåking omfatter overvåking av forurensningsforholdene i luft og nedbør, skog, vassdrag, fjorder og havområder. Overvåkingsprogrammet dekker langsiktige undersøkelser av:

- overgjødsling
- forsuring (sur nedbør)
- ozon (ved bakken og i stratosfæren)
- klimagasser
- miljøgifter

Overvåkingsprogrammet skal gi informasjon om tilstanden og utviklingen av forurensningssituasjonen, og påvise eventuell uheldig utvikling på et tidlig tidspunkt. Programmet skal dekke myndighetenes informasjonsbehov om forurensningsforholdene, registrere virkningen av iverksatte tiltak for å redusere forurensningen, og danne grunnlag for vurdering av nye tiltak. Klima- og forurensningsdirektoratet er ansvarlig for gjennomføringen av overvåkingsprogrammet.