



Utvikling av vannkvalitet i Haldenvassdraget

Sammenstilling av lange tidsserier (1968-2013)

Paleolimnologiske undersøkelser i Bjørkelangen og Hemnessjøen



RAPPORT

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

Tittel Utvikling av vannkvalitet i Haldenvassdraget Sammenstilling av lange tidsserier (1968-2013) Paleolimnologiske undersøkelser i Bjørkelangen og Hemnessjøen	Løpenr. (for bestilling) 6652-2014	Dato 01.09.2014
	Prosjektnr. Undernr. 12232	Sider 45
Forfatter(e) Sigrid Haande (NIVA) Thomas Rohrlack (NMBU) Marcia Kyle (NMBU)	Fagområde Ferskvann	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Akershus og Østfold	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Vannområde Haldenvassdraget	Oppdragsreferanse
---	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Haldenvassdraget vannområde ønsket å få sammenstilt de viktigste lange tidsseriene fra utvalgte innsjøer i vassdraget for å fremskaffe bedre kunnskap om utviklingen av vannkvaliteten i Haldenvassdraget og å kunne vurdere miljøtilstanden i Haldenvassdraget iht. vannforskriftens miljømål. Det er viktig å iverksette riktige tiltak for å nå miljømålet om god vannkvalitet. Kan de lange tidsseriene gi svar på om tiltaksgjennomføringen i Haldenvassdraget har gitt gode resultater?</p> <p>Parallelt med arbeidet med sammenstillingen av de lange tidsseriene har det blitt gjennomført paleolimnologiske undersøkelser i to innsjøer i Haldenvassdraget; Bjørkelangen og Hemnessjøen. Målet med disse undersøkelsene har vært å vurdere utviklingen av vannkvaliteten og å kunne vurdere naturtilstanden i disse innsjøene.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Eutrofiering Lange tidsserier Paleolimnologi Vannforskriften 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Eutrophication Long time series Paleolimnology Water Framework Directive
--	--



Sigrid Haande

Prosjektleder



Nikolai Friberg

Forskningsleder

UTVIKLING AV VANNKVALITET I HALDENVASSDRAGET

Sammenstilling av lange tidsserier (1968-2013)

Paleolimnologiske undersøkelser i Bjørkelangen og Hemnessjøen

Forord

Haldenvassdraget har blitt overvåket siden midten av 1960-tallet og det har vært et særlig fokus på problemer knyttet til eutrofiering av vassdraget.

Haldenvassdraget vannområde ønsket å få sammenstilt de viktigste lange tidsseriene fra utvalgte innsjøer i vassdraget for å fremskaffe bedre kunnskap om utviklingen av vannkvaliteten i Haldenvassdraget og å kunne vurdere miljøtilstanden i Haldenvassdraget iht. vannforskriftens miljømål. Det er viktig å iverksette riktige tiltak for å nå miljømålet om god vannkvalitet. Kan de lange tidsseriene gi svar på om tiltaksgjennomføringen i Haldenvassdraget har gitt gode resultater?

Parallelt med arbeidet med sammenstillingen av de lange tidsseriene har det blitt gjennomført paleolimnologiske undersøkelser i to innsjøer i Haldenvassdraget; Bjørkelangen og Hemnessjøen. Målet med disse undersøkelsene har vært å vurdere utviklingen av vannkvaliteten og å kunne vurdere naturtilstanden i disse innsjøene.

Etter samråd med Haldenvassdraget vannområde har vi funnet det hensiktsmessig å samordne disse undersøkelsene i en felles rapport, da de begge belyser utviklingen av vannkvaliteten i Haldenvassdraget og gir vurderinger i forhold til miljøtilstand og miljømål for innsjøene.

Arbeidet er gjennomført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) og Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Vi takker for godt samarbeid med Finn Grimsrud i Haldenvassdraget vannområde, Leif Nilsen hos Fylkesmannen i Oslo og Akershus og Håvard Hornnæs hos Fylkesmannen i Østfold. Vi vil også rette en stor takk til Olav Skulberg på NIVA for hjelp til å finne rapporter og undersøkelser fra 1960- og 1970-tallet og for gode diskusjoner om Haldenvassdraget.

Oslo, 01.09.2014

Sigrid Haande

Innhold

Sammendrag	5
Summary	7
1. Innledning	9
1.1 Bakgrunnen for denne rapporten	9
1.1.1 Rapportens innhold	9
1.1.2 Rapportens oppbygging	10
1.2 Haldenvassdraget	11
1.2.1 Innsjøsystemet Haldenvassdraget	11
1.2.2 Vannkvalitet i Haldenvassdraget	13
1.2.3 Undersøkelser i Haldenvassdraget	15
1.2.4 Meteorologi og hydrologi og et regulert vassdrag	16
1.3 Vannforskriften og klassifisering av miljøtilstand i vann	18
2. Lange tidsserier	19
2.1 Sammenstilling av lange tidsserier	19
2.2 Bjørkelangen	20
2.3 Rødenessjøen	23
2.4 Femsjøen	26
2.5 Hemnessjøen	29
2.6 Tiltaksgjennomføring i Haldenvassdraget og effekter på vannkvaliteten	31
3. Sedimentundersøkelser i Bjørkelangen og Hemnessjøen	33
3.1 Hvorfor paleolimnologi?	33
3.2 Metodikk	33
3.3 Datering av sediment prøver	35
3.4 Biologisk aktivitet og konsentrasjon av alger i innsjøene	35
3.5 Forekomst av toksinproduserende cyanobakterier i innsjøene	38
3.6 Tolkning av resultater fra Bjørkelangen	39
3.7 Tolkning av resultater fra Hemnessjøen	41
4. Felles oppsummering	42
5. Referanser	44

Sammendrag

Det er knyttet store utfordringer til vannkvaliteten i Haldenvassdraget, og kommunene og fylkene som vassdraget renner gjennom har i en årrekke arbeidet med å løse forurensingsproblemene på en samordnet måte. Vannområdeutvalget for Haldenvassdraget ønsket å få sammenstilt de viktigste lange tidsseriene fra utvalgte innsjøer i vassdraget for å fremskaffe bedre kunnskap om utviklingen av vannkvaliteten i Haldenvassdraget. Det utvalgte innsjøene for sammenstilling av lange tidsserier er Bjørkelangen, Rødenessjøen, Femsjøen og Hemnessjøen (Øgderen).

Det har også blitt gjennomført paleolimnologiske undersøkelser i to innsjøer i Haldenvassdraget; Bjørkelangen og Hemnessjøen. Det vil si at det har blitt tatt prøver av sedimentene i disse innsjøene. Sedimentene akkumulerer i innsjøen og er som et arkiv der ulike dyp i sedimentet korresponderer til en ulik tid i innsjøens historie. Paleolimnologiske metoder gir muligheter til å rekonstruere hvordan det akvatiske økosystemet har utviklet seg fra tiden før menneskelige påvirkninger.

Målet med sammenstillingen av de lange tidsseriene har vært å se etter trender i utviklingen av vannkvaliteten i utvalgte innsjøer og om mulig se etter effekter av de gjennomførte tiltakene i Haldenvassdraget. Videre så kan vurderingen av de lange tidsseriene støttes av de paleolimnologiske undersøkelsene som er gjennomført i Bjørkelangen og Hemnessjøen. Målet med disse undersøkelsene har vært å kunne vurdere naturtilstanden og utviklingen i vannkvaliteten i de to innsjøene. Vi ønsker også å vurdere om vannforskriftens miljømål er realistiske for disse innsjøene.

Sammenstillingen av de lange tidsseriene viser i hovedsak at det er vanskelig å se noen klare trender i utviklingen av vannkvalitet i de utvalgte innsjøene. Derfor kan vi heller ikke peke på klare effekter av de gjennomførte tiltakene i Haldenvassdraget. Tidsseriene viser imidlertid at det er en klar sammenheng mellom nedbørsforhold, avrenning og særlig mengden av totalfosfor i innsjøene. Haldenvassdraget kan sies å være spesielt påvirket av klimaeffekter. Oppstrøms av Ørje er det hovedsakelig tilførsel av leirpartikler fra nedbørfeltet som øker tilgang til næring i innsjøene, men denne partikkeltilførselen vil også begrense lystilgang for algeveksten. I hele Haldenvassdraget har også humustilførslene og humusinnholdet i innsjøene økt de siste tiårene. Dette skyldes både en reduksjon i sur nedbør (særlig frem til omtrent år 2000) og endret klima med mer kraftige nedbørsepisoder som gir mer utlekking av humus til vassdragene.

Disse såkalte klimaeffektene kan ha komplekse effekter på transport av totalfosfor og utvikling av algemengde i innsjøene og det kan forekomme store år til år variasjoner i vannkvaliteten. Slike klimaeffekter gjør det derfor også vanskelig å bevise effekten av tiltak.

Haldenvassdraget har størst utfordringer med dårlig vannkvalitet i de nordligste delene av vassdraget. Bjørkelangen har høyt innhold av totalfosfor og det er årlige oppblomstringer av cyanobakterier. Lange tidsserier for totalfosfor og klorofyll-a viser at dette har vært situasjonen i Bjørkelangen siden begynnelsen av 1960-tallet. Videre så viser de paleolimnologiske undersøkelsene at det har vært perioder med algeoppblomstringer i Bjørkelangen de siste 400 år. Dette indikerer at det er andre faktorer enn menneskelig aktivitet som er av betydning for utviklingen av vannkvaliteten i Bjørkelangen.

I et lavlandsvassdrag som Haldenvassdraget, som ligger under den marine grense, og som er sterkt påvirket av klimaeffekter, ser vi at det ikke er enkle årsakssammenhenger og dermed ingen enkle

løsninger på problemene med vannkvaliteten. Dette viser oss at vi ikke har full forståelse for faktorene som styrer utviklingen av algemengde og vannkvalitet i vassdraget.

I klassifiseringsveilederen iht. vannforskriften (Veileder 02: 2013, Direktoratgruppen 2013) finnes i dag ingen egen vanntype med tilpassede miljømål for leirpåvirkede innsjøer. Grunnen til dette er at det ikke er nok kunnskap om naturtilstanden i slike leirpåvirkede innsjøer. De paleolimnologiske undersøkelsene i Bjørkelangen viser da også at det har vært næringsrike forhold i denne innsjøen i over 400 år, og at dette igjen antyder at innsjøen kan være naturlig næringsrik.

Et viktig steg i forvaltningen av leirpåvirkede innsjøer må være å fremskaffe bedre kunnskap om naturtilstanden og deretter å utvikle en egne innsjøtype med realistiske miljømål.

Summary

Title: Development of water quality in Haldenvassdraget river course.
Year: 2014
Author: Haande S, Rohrlack T, Kyle M.
Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: 978-82-577-6387-9

There are great challenges to developing improved water quality in the Halden river course and local counties in the region have worked for years to address pollution problems in a coordinated manner. The Haldenvassdraget river basin district determined that compilation of long term monitoring data from selected lakes in the river course might provide a better understanding of the developmental processes of water quality. Included in this study are the lakes Bjørkelangen, Rødenessjøen, Femsjøen and Hemnessjøen (Øgderen).

In addition, paleolimnological studies were conducted using sediment from two lakes in the Halden river course, Bjørkelangen and Hemnessjøen. Accumulation of sediments in a lake acts as an archive with various depths in the sediment corresponding to different historical times. Paleolimnological methods can be used to reconstruct aquatic ecosystems that could include information before human influence.

The aim of compiling this long time series was to study trends in the development of the water quality in the selected lakes and, if possible, to detect changes in the Halden river course system based on the data collected. Furthermore, paleolimnological studies in Bjørkelangen and Hemnessjøen allowed us to compare and evaluate the historical findings with the long time series data. The aim of this study was to assess the reference conditions in the two lakes and to study the development in water quality. Another goal was to evaluate the environmental objective given in the classification system of the Water Framework Directive.

The long time series showed that it is difficult to observe any clear trends in the development of water quality in the selected lakes. In turn it is also difficult to see clear effects of the management measures taken in the Halden river course. However, the time series did show that there is a clear correlation between precipitation and runoff, especially in the amount of total phosphorus in the lakes. The Halden river course is particularly vulnerable to climate change effects. In the northern part of the water course the heavy influence of clay particles in runoff is increasing the nutrient load in the lakes while the particles are also affecting the light conditions for algal growth. The Halden river course has also experienced an increase in the content of humic substances in the recent decades. This is due to a reduction in acid rain (especially after ~2000) in combination with an increasing severity in rainfall events driven by climate change that is causing more humic substances to leach into the river courses. These so-called climate change effects can have complex consequences on the total phosphorus loads and development of algal biomass in the lakes, as seen in the year-to-year variations in water quality. Such climate change effects make it difficult to prove the effectiveness of management measures.

The Halden river course faces the biggest challenge to attaining adequate water quality in the northernmost parts of the watercourse. Bjørkelangen has a high content of total phosphorous and there are annual blooms of cyanobacteria. The long time series for total phosphorus and chlorophyll

a indicate that this has been the situation in Bjørkelangen since the early 1960s. Furthermore, the paleolimnological studies show that there have been several periods of high algal blooms in Bjørkelangen the last 400 years. This indicates that there are also other factors than only human activity that is of importance for the development of water quality in Bjørkelangen.

In a lowland watercourse like the Halden river course, situated under the marine border and strongly affected by climate change effects, there are no simple causal relationships and thus no simple solutions to the problems of water quality. These results indicate that we do not fully understand the factors that control the development of algal biomass and water quality in this river system.

In the Norwegian classification system according to the Water Framework Directive (Veileder 02: 2013, Direktoratgruppen 2013), there is currently no water type with defined environmental objectives for lakes affected by marine clay. This is due to a lack of accumulated knowledge on the reference conditions in such clay-affected lakes. In addition, the paleolimnological study in Bjørkelangen showed that there have been nutrient rich conditions in this lake for over 400 years, suggesting that historically this lake could be classified as nutrient rich.

One important step in the management of clay affected lakes in this region must be to obtain better information about the reference conditions and then to develop an own lake type with realistic environmental objectives.

1. Innledning

1.1 Bakgrunnen for denne rapporten

1.1.1 Rapportens innhold

Det er knyttet store utfordringer til vannkvaliteten i Haldenvassdraget, og kommunene og fylkene som vassdraget renner gjennom har i en årrekke arbeidet med å løse forurensingsproblemene på en samordnet måte. Haldenvassdraget vannområde er et samarbeidsprosjekt mellom kommunene Aurskog-Høland, Marker, Aremark og Halden, Akershus og Østfold Fylkeskommuner- og Fylkesmenn, samt relevante organisasjoner. Vannområdet arbeider med strategier og tiltak for å bedre vannkvaliteten i vassdraget iht. rammene for vannforvaltning som er gitt i vannforskriften (EUs rammedirektiv for vann integrert i norsk lovverk ved «Forskrift om rammer for vannforvaltningen», kalt vannforskriften). Fastsettelse av miljøtilstanden i Haldenvassdraget følger klassifiseringssystemet som er utførlig beskrevet i Veileder 02:2013 (Direktoratsgruppa 2013).

I løpet av de fem til seks siste tiår er det gjennomført mange undersøkelser i Haldenvassdraget som har hatt stor betydning for vurdering av vassdragets tilstand og utvikling. Undersøkelsene har vært mangesidige og spenner fra grundige limnologiske studier til omfattende overvåking av vannkvaliteten i innsjøene i Haldenvassdraget. Det foreligger derfor et svært mye data som kan fortelle om utviklingen av vannkvaliteten i vassdraget. Overvåkingsdata har imidlertid de siste tiårene i stor grad blitt vurdert for det enkelte år, og det har i mindre grad blitt gjort grundige vurderinger av de lange tidsseriene som foreligger for utviklingen av vannkvaliteten i innsjøene.

Vannområdeutvalget for Haldenvassdraget ønsket å få sammenstilt de viktigste lange tidsseriene fra utvalgte innsjøer i vassdraget for å fremskaffe bedre kunnskap om utviklingen av vannkvaliteten i Haldenvassdraget. Det utvalgte innsjøene for sammenstilling av lange tidsserier er Bjørkelangen, Rødenessjøen, Femsjøen og Hemnessjøen (Øgderen). I de tre førstnevnte innsjøene foreligger det nesten årlige undersøkelser fra 1980-tallet og frem til i dag. På 1960-1970 tallet foreligger det også en del data fra disse innsjøene. I Hemnessjøen foreligger det ikke like gode tidsserier, men vi valgte å ta med denne innsjøen også for å kunne sammenligne overvåkingsdataene med resultatene fra de paleolimnologiske undersøkelsene.

Målsetningen med sammenstillingen av de lange tidsseriene har særlig vært:

- Å finne trender i utviklingen av vannkvaliteten i utvalgte innsjøer i Haldenvassdraget
- Å finne effekter av gjennomførte tiltak i utviklingen av vannkvaliteten i de utvalgte innsjøene i Haldenvassdraget.
- Vurdere miljøtilstanden i Haldenvassdraget iht. vannforskriftens miljømål

Parallelt med arbeidet med sammenstillingen av de lange tidsseriene har det blitt gjennomført paleolimnologiske undersøkelser i to innsjøer i Haldenvassdraget; Bjørkelangen og Hemnessjøen. Det vil si at det har blitt tatt prøver av sedimentene i disse innsjøene. Sedimentene akkumulerer i innsjøen og er som et arkiv der ulike dyp i sedimentet korresponderer til en ulik tid i innsjøens historie. Paleolimnologiske metoder gir muligheter til å rekonstruere hvordan det akvatiske økosystemet har utviklet seg fra tiden før menneskelige påvirkninger.

Vannforskriftens miljømål er definert utfra et akseptabelt avvik fra naturtilstanden, altså en antatt referansetilstand som innsjøene hadde før menneskelig påvirkning. I klassifiseringssystemet er denne naturtilstanden til en stor grad definert utfra data fra referanselokaliteter som antas å være upåvirkede. God miljøtilstand er når miljømålet er oppnådd, og dersom miljømålet ikke er nådd skal tiltak iverksettes for å bedre miljøtilstanden. Det er derfor viktig for en god vannforvaltning at miljømålene er så korrekte som mulig for den enkelte vannforekomst.

Store deler av Haldenvassdraget ligger under den marine grense, og særlig innsjøene nord i vassdraget er sterkt leirpåvirkede. Det finnes ingen egen vanntype for leirpåvirkede innsjøer, nettopp for i det har vært vanskelig å finne upåvirkede referanselokaliteter som kan danne basis for utvikling av gode miljømål. Det har derfor vært ønskelig å vurdere naturtilstanden i innsjøer nord i Haldenvassdraget med paleolimnologiske metoder.

Målet med de paleolimnologiske undersøkelsene har vært:

- Å vurdere naturtilstanden i Bjørkelangen og Hemnessjøen
- Å studere utvikling i vannkvaliteten i Bjørkelangen og Hemnessjøen
- Å vurdere om vannforskriftens miljømål er realistiske for disse innsjøene.

1.1.2 Rapportens oppbygging

Etter samråd med Haldenvassdraget vannområde har vi funnet det hensiktsmessig å samordne disse undersøkelsene i en felles rapport, da de begge belyser utviklingen av vannkvaliteten i Haldenvassdraget og gir vurderinger i forhold til miljøtilstand og miljømål for innsjøene.

Rapporten er bygd opp av følgende hoveddeler:

- ✓ Den første delen gir en beskrivelse av Haldenvassdraget, samt en kort innføring i vannforskriften som klassifiseringssystem for miljøtilstand i vann.
- ✓ Del to beskriver de lange tidsseriene
- ✓ Del tre viser resultatene av paleolimnologiske undersøkelsene.
- ✓ Det er skrevet en felles oppsummering til slutt.

1.2 Haldenvassdraget

1.2.1 Innsjøsystemet Haldenvassdraget

Haldenvassdraget er et av de store stort elve- og innsjøsystemene i Akershus og Østfold og danner grensevassdrag mot Sverige i øst. Vassdraget er 150 km langt fra sitt utspring ved Dragsjøhanken sør for Årnes i Nes til utløpet i Iddefjorden ved Halden. Vassdraget er et typisk lavlandsvassdrag og har mange store innsjøer med kortere elvestrekninger mellom (figur 1).

Nedbørfeltet er 1681 km² og store deler ligger under den marine grense som i dette området ligger på rundt 190 moh. Nedbørfeltet består av mye skog, noe myrområder og jordbrukslandskap i særlig de lavereliggende områdene med mye marine avsetninger. De leir-rike marine avsetningene i nedbørfeltet gjør at Haldenvassdraget er et naturlig næringsrikt vassdrag.

Dette området helt sør-øst i Norge er også kjent for å være en innvandringsportal for mange nye arter til Norge. Det er derfor en høy artsrikdom i Haldenvassdraget, og et eksempel på dette er at stort sett alle kjente arter av innlandsfisk i Norge finnes i innsjøene i vassdraget.

Nedbørfeltet er ikke spesielt tett befolket utenom distriktet rundt Halden. De største tettstedene er Bjørkelangen, Hemnes, Skulerud, Ørje og Aremark, og ellers er det stort sett spredt bebyggelse i jordbruksområdene langs vassdraget.

Haldenvassdragets nedbørsfelt har vært preget av mennesker i lang tid, og det finnes tegn til menneskelig aktivitet langs vassdraget så lang tilbake i tid som til steinalderen (Johansen, 2002). De rike marine avsetningene i området dannet godt jordbruksland, og etter hvert ble vassdraget også brukt som kraftkilde. Haldenvassdraget har fra tidlige tider vært en viktig ferdsels- og næringsåre i området, og vassdraget ble kanalisert med dammer og sluser i 1850-70 for å kunne benyttes til tømmerfløting, skipstrafikk og møllebruk. Det finnes slusesystemer ved Ørje, Brekke og Tistedalsfoss, og i våre dager brukes noen av disse slusene til turistbåttrafikk. Haldenvassdraget er i dag vernet for videre utbygging.

Det knytter seg en lang rekke brukerinteresser til Haldenvassdraget, og disse kan være med på påvirke vannkvaliteten i ulik grad. De viktigste næringsveiene i området er skogbruk og jordbruk, og i den nederste del av vassdraget er det den ulik industrivirksomhet. Haldenvassdraget mottar dermed avrenning fra tettsteder, spredt bosetting, jordbruk og industri. Vassdraget er regulert og har fem vannkraftanlegg i drift. Flere av innsjøene er drikkevannskilder. Rødenessjøen er drikkevannskilde i Marker kommune, mens Femsjøen er drikkevannskilde for Halden. Flere av innsjøene brukes til jordbruksvanning. Haldenvassdraget utgjør også et viktig rekreasjonsområde og er viktig for turistnæringen i området.

Geografiske forhold for innsjøene i hovedvassdraget fremgår i tabell 1. Det er relativt stor variasjon i morfometriske forhold i de ulike innsjøene. Mens Bjørkelangen og Skulerudsjøen er relativt små og grunne innsjøer, er innsjøene lengre sørover i vassdraget større og dypere. Felles for innsjøene er at de har relativt kort teoretisk oppholdstid, altså at vannmassene i innsjøene raskt skiftes ut. Innsjøene har med andre ord lav magasinkapasitet og det er en nær sammenheng mellom avløp og tilløp i vassdraget. De hydrografiske forholdene i innsjøene i Haldenvassdraget er nøye beskrevet av Skulberg og Kotai (1985).



Figur 1. Nedbørfeltet til Haldenvassdraget. Navnene til de store innsjøene i hovedvassdraget er angitt, samt beliggenheten av Ørje sluser.

Tabell 1. Opplysninger og innsjøenes geografiske forhold (etter Skulberg og Kotai, 1978)

Geografiske forhold		Floen	Bjørkelangen	Skulerudsjøen	Rødenessjøen	Øymarksjøen	Aremarksjøen	Asperen	Femsjøen	Hemnessjøen
Meter over havet	m	179	124	118	118	107	105	105	79	133
Største lengde	km	4	5	4	18	17	8	8	6,8	12
Største bredde	km	1	1	0,75	2	2,1	1,75	3	10	2
Overlate areal	km ²	2,4	3,3	1,7	15,3	13,6	7,8	8	10,2	13,3
Største dyp	m	22	12	17	47	35	40	45	50	35
Middeldyp	m	11	7	10	20,4	16	17	18	20	8
Volum	m ³	26	25	18	312	219	135	140	500	103
Nedbørfelt	km ²	49	51,3	15,1	235	152	100	90	126	91
Teoretisk oppholdstid	år	1,1	0,2	0,05	0,7	0,4	0,2	0,2	0,3	2,5

1.2.2 Vannkvalitet i Haldenvassdraget

Det er knyttet store utfordringer til vannkvaliteten i Haldenvassdraget. Nedbørfeltet er rikt på marin leire og innsjøene mottar mye leirpartikler som er rike på fosfor. Andre hovedkilder til næringsstoffer er avrenning fra landbruket og avrenning fra kommunalt og spredt avløp. Det er eutrofiering som er det største problemet i hovedvassdraget. Eutrofiering er økt algevekst (planteproduksjon) forårsaket av økt tilførsel av næringssalter som fosfor og nitrogen. Langtransportert forurensning har også medført påvirkning av forsuring i sidevassdragene, særlig i de vestre og sørlige områdene av nedbørfeltet. Her blir det gjennomført kalking for å opprettholde god vannkvalitet.

Det spesielle med Haldenvassdraget er at de største utfordringene med vannkvaliteten er i de nordligste delene av vassdraget. Øverste del av hovedvassdraget er kraftig eutrofiert, mens vannkvaliteten blir gradvis bedre nedstrøms på vei mot Iddefjorden. Grunnen til det er at det særlig er Bjørkelangen som mottar store mengder av erosjonspartikler som er rike på fosfor. Samtidig avtar betydningen av jordbruk, en annen viktig kilde til næringsstoffer, fra nord til syd. Sedimentasjon og biologiske prosesser fjerner deler av næringsstoffer i innsjøene nedstrøms. Denne selvrensingen i Bjørkelangen og Skulerudsjøen fungerer som en barriere mot forurensningen av innsjøene lengre sør i vassdraget.

Det finnes observasjoner og kvantitative undersøkelser av planteplankton i innsjøene i Haldenvassdraget fra begynnelsen av 1960-tallet og frem til i dag. Flere av innsjøene i hovedvassdraget kan ha oppblomstring av cyanobakterier, men også her er det en endring i planteplanktonsamfunnet fra nord mot sør. I Bjørkelangen er det årlige oppblomstringer av cyanobakterier (blågrønnalger) (figur 2). Kraftige oppblomstringer av cyanobakterier er ofte en tydelig indikasjon på eutrofiering. Også i Hemnessjøen, Skulerudsjøen og Rødenessjøen kan det være dominans av cyanobakterier. I Bjørkelangen, Skulerudsjøen og Rødenessjøen har det blitt observert oppblomstringer av toksinproduserende cyanobakterier (Skulberg og Kotai, 1989). Videre sørover i vassdraget observeres mindre algemengde og dominans av andre grupper av planteplankton.



Figur 2. Oppblomstring av cyanobakterier i Bjørkelangen i august i 2006 (Foto: Haande, NIVA).

1.2.3 Undersøkelser i Haldenvassdraget

De første limnologiske undersøkelser fra Haldenvassdraget gir i hovedsak opplysninger om hydrografiske forhold i noen av innsjøene og ble gjennomført så tidlig som på 1940-tallet (Krog 1941, 1944), og på 1960-tallet (Duklæt 1964, Kollerud 1964, Holtan 1967a, Sønsterud, 1968).

Undersøkelser som fokuserer på vannkvalitet og forurensingsproblemer i de store sjøene i Haldenvassdraget begynner på 1960-tallet (Holtan 1967b, Skulberg 1969) og det første samordnede program for vassdragsundersøkelser i Haldenvassdraget ble startet opp i perioden 1967-1972 (Skulberg 1972). Disse undersøkelsene omfattet en årlig prøve av fysisk-kjemiske parametere og planteplankton (håvtrekk).

På 1970-tallet ble de omfattende vannkvalitetsundersøkelsene i Haldenvassdraget videreført med årlig overvåking av fysisk-kjemiske parametere og planteplankton i innsjøene i hovedvassdraget (Skulberg mfl. 1979). Det ble tatt flere prøver pr. år, både i vekstsesongen og om vinteren. Det ble også gjennomført mikrobiologiske undersøkelser for å vurdere den hygieniske vannkvaliteten og vannets egnethet til drikkevann og badevann i 1977-1978 (Skulberg mfl. 1979).

Observasjoner av planteplanktonsamfunnet i flere av innsjøene i Haldenvassdraget begynte i allerede i 1961 og ble gjennomført ved å ta et håvtrekk i Hemnessjøen, Rødenessjøen, Øymarksjøen, Aremarksjøen og Femsjøen, og etter hvert Bjørkelangen (Skulberg 1965, Skulberg mfl. 1979, Skulberg og Kotai, 1981 og 1982). Dette er ingen kvantitativ analyse, men gir en oversikt over artsmangfoldet og til dels et inntrykk av dominansforhold. Fra 1982 ble det tatt kvantitative planteplanktonprøver i Haldenvassdraget.

På 1980- og 1990-tallet ble overvåkingen i Haldenvassdraget videreført, med fysisk-kjemiske parametere og planteplanktonanalyser, men nå ble vannkvalitetsundersøkelsene i hovedsak konsentrert om innsjøene Bjørkelangen, Rødenessjøen og Femsjøen. None få år ble det også tatt prøver fra flere av innsjøene i Haldenvassdraget. Det ble tatt prøver fra mars til oktober, minimum en prøve pr. måned. Overvåkingen ble koordinert av miljøvernavdelingen hos Fylkesmannen i Østfold (Fylkesmannen i Østfold 2007). Helt frem til 2004 ble overvåkingen videreført delvis av Fylkesmennene i Østfold og Akershus, av ANØ (Avløpssambandet Nordre Øyeren), og av innleide konsulenter (Fylkesmannen i Østfold 2007, Fylkesmannen i Oslo og Akershus, unpubl. oversikt over rapporter).

Fra og med 2005 har Miljøprosjektet Haldenvassdraget (frem til 2007) og deretter Vannområde Haldenvassdraget (fra 2008) hatt ansvaret for overvåkingen av flere innsjøer i Haldenvassdraget, og NIVA har vært ansvarlig for analyser av vannkjemiske parametere og undersøkelser av planteplankton. Bjørkelangen, Skulerudsjøen, Rødenessjøen, Aremarkssjøen, Femsjøen og Hemnessjøen har vært inkludert i denne overvåkingen, og det har blitt tatt prøver annenhver uke fra mai til oktober hvert år (NIVA, Overvåkingsnotat 2005-2014, ikke publisert).

Det foreligger også en rekke undersøkelser fra Haldenvassdraget (for eksempel bunndyr- og begroingsalgeundersøkelser i elver og bekker, kartlegging av edelkreps, signalkreps og krepsepest, undersøkelser av istidskreps), men disse omtales ikke i denne rapporten.

1.2.4 Meteorologi og hydrologi og et regulert vassdrag

Det ligger flere meteorologiske stasjoner i nedbørfeltet til Haldenvassdraget, og i denne rapporten er nedbørdata fra værstasjonen på Ørje brukt (figur 3). Denne stasjonen ligger ved slusene i Ørje og ble etablert som værstasjon av Haldenvassdragets Brukseierforening allerede i 1883.

Vannføring måles i hovedsak ved tre stasjoner, plassert ved slusene i Ørje, Brekke og Tistedalsfoss. Det er Haldenvassdragets Brukseierforening som har ansvaret for å drifte disse stasjonene som inngår i NVEs stasjonsnett for vannføringsstasjoner. Disse stasjonene ble etablert som vannføringsstasjoner på midten av 1800-tallet. I denne rapporten er vannføringsdata fra stasjonen på Ørje brukt (figur 4).

Årsnormalen for nedbøren ved Ørje for perioden fra 1960 og frem til i dag er på 830 mm. For hele Norge er årsnormalen for nedbør for samme periode på 1170 mm. Gjennomsnittlig døgnavannføring pr. år ved Ørje i perioden fra 1960 og frem til i dag er på 15m³/sek. Vannføringen i vassdraget gjenspeiler i stor grad nedbørforholdene (figur 3 og 4). De klimatiske og hydrologiske forholdene i Haldenvassdraget er for øvrig utførlig beskrevet av Skulberg og Kotai (1985).

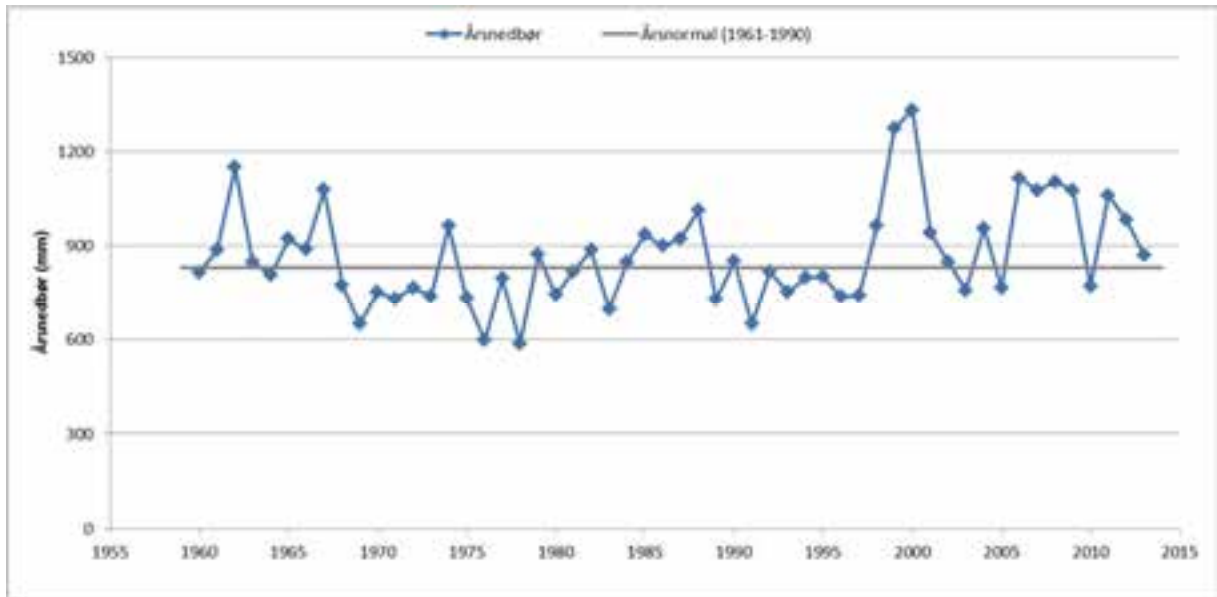
Det våteste året siden 1960 var i 2000, med 1333 mm ved Ørje. Det kom ekstreme nedbørmengder over Østlandet i oktober og november i 2000 og ved Ørje ble den høyeste døgnedbøren observert den 10. oktober med 39,5 mm. I hele oktober kom det 215 mm, og hele november kom det 266 mm nedbør, mot en månedsnormal på 69,1 mm (1961-1990). For samme periode ble den høyeste vannføringen i Haldenvassdraget målt i 2000 (25,3 m³/sek) mot en årsnormal (1961-1990) på 15,5 m³/sek. Flomtoppen ble registrert ved Ørje den 23. november i 2000, med en vannføring på 93,2 m³/sek. Storflommen satte store områder dyrket mark under vann.

I perioden fra 1960 og frem til i dag har det vært flere år med nedbør og vannføring som ligger høyere enn årsnormalen. De siste fem årene har det imidlertid vært mange år på rad med høy årlig gjennomsnittsnedbør og årsvannføring i Haldenvassdraget.

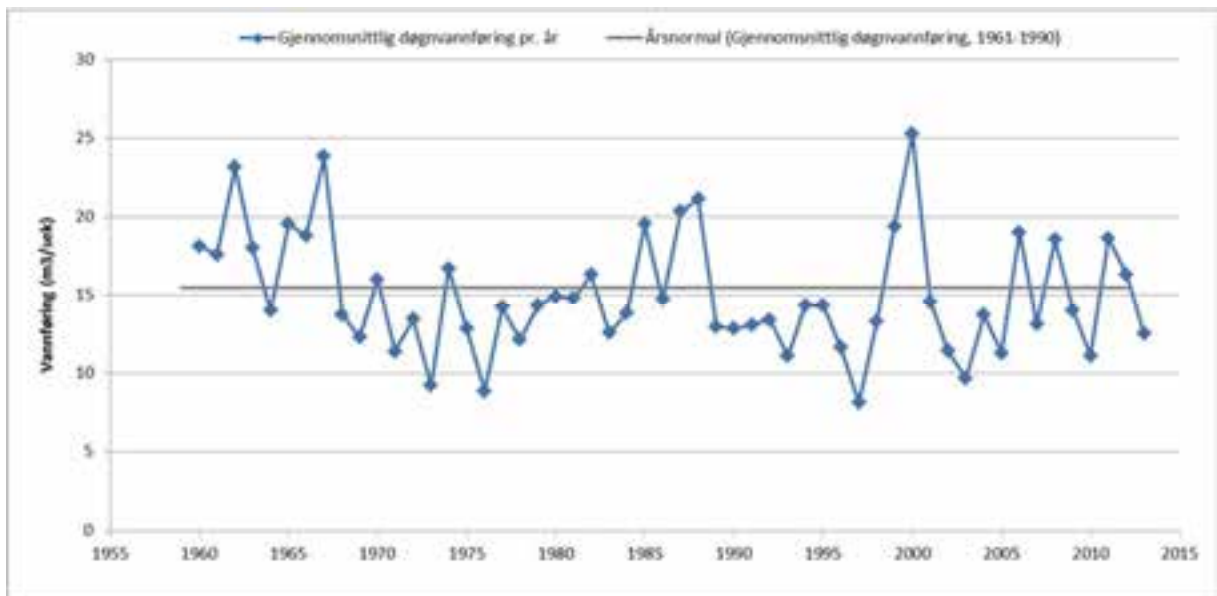
Haldenvassdraget er flomutsatt og innsjøene klarer i liten grad å oppmagasinere vann. Nedbørfeltet i nord er stort og avrenningen er stor. Selv små flomsituasjoner i vassdraget skaper oversvømmelser av dyrket mark, og dette gir grunnlag for uenigheter om hvordan vassdraget skal reguleres. Et modellstudium viser imidlertid at reguleringsmulighetene for å unngå flom i Haldenvassdraget er svært begrenset (Borsányi, 2012).

Flom vil medføre erosjon og transport av fosforrike leirpartikler fra jord til vann. Når et område er oversvømt er det imidlertid langt mer usikkert om dette vil påvirke vannkvaliteten negativt (Eggestad mfl. 2007). Tilstanden på de arealene som oversvømmes er av betydning for erosjonsmotstanden. Dersom arealene er grasdekte er erosjonsmotstanden bedre enn om arealene er pløyd eller nylig sådd. Det er vanskelig å planlegge arealtilstanden i forhold til når flom og oversvømmelse kan oppstå.

Et endret fremtidig klima med mer nedbør og hyppigere flomepisoder vil kunne medføre mer erosjon og avrenning som virker negativt på vannkvaliteten.



Figur 3. Årsnedbør ved met.no stasjon 1950 Ørje i perioden fra 1960 til 2013. Årsnormal for nedbør i 30-årsperioden 1961-1990 er også vist.



Figur 4. Årlige variasjoner i vannføring ved Ørje, vist som gjennomsnittlig døgnvannføring pr. år. Årsnormal for gjennomsnittlige døgnvannføring i 30-årsperioden 1961-1990 er også vist. Vannføringsdata er sammenstilt av Haldenvassdragets Brukseierforening.

1.3 Vannforskriften og klassifisering av miljøtilstand i vann

I forbindelse med implementeringen av EUs Vanddirektiv er det utarbeidet nye kriterier for å klassifisere miljøtilstand i elver og innsjøer. Hovedvekten i klassifiseringssystemet er lagt på biologiske parametere, og vannkjemiske parametere, samt at siktedyp tjener som støtte for vurdering basert på biologiske kriterier. Et klassifiseringssystem ble utarbeidet og beskrevet i Veileder 01:2009 (Direktoratsgruppa 2009), og en revidert utgave av klassifiseringssystemet er nå publisert i Veileder 02:2013 (Direktoratsgruppa 2013).

Det er utarbeidet en innsjøtypifisering basert på parameterne kalsium og humusinnhold, samt størrelse og høyderegion (høyde over havet). Grunnet til denne vanntypeinndelingen er at ulike vanntyper har ulik naturtilstand, og at dagens tilstand uttrykkes som avvik fra denne. Naturtilstanden er definert som den tilstanden som en vannforekomst har hatt før menneskelig påvirkning, og det kan pragmatisk sies å være tilstanden før intensivering av jordbruk og industri. For hver innsjøtype er det utarbeidet en forventet referanseverdi for den aktuelle parameteren, og tilstandsklassene er basert på avvik fra referanseverdi. Sammenlignet med SFT's klassifiseringssystem (SFT, 1997), hvor det ikke ble modifisert avhengig av vanntype, vil klassifiseringssystemet iht. Vanddirektivet ha strengere, eller mindre strenge grenser mellom de tilsvarende tilstandsklassene avhengig av vanntypen.

For enkelte vanntyper er det mangelfullt eller manglende datagrunnlag for å lage gode miljømål. Dette gjelder blant annet leirpåvirkede elver og innsjøer. Det finnes ingen egen vanntype for leirpåvirkede. Dette er relevant for Haldenvassdraget hvor store deler av nedbørfeltet ligger under den marine grense, og særlig for innsjøene nord i vassdraget som er betydelig påvirket av leirpartikler. Veileder 02:2013 (Direktoratsgruppa 2013) gir følgende råd angående klassifisering av vannforekomster som tilhører vanntyper som foreløpig ikke er med i veilederen: «.....bør gjøres ved å velge den vanntypen som kommer nærmest, og deretter justere klassifiseringsresultatet ut fra ekspertvurdering».

Klassifiseringssystemet er inndelt i tilstandsklassene svært god, god, moderat, dårlig og svært dårlig, og det er oppgitt en naturtilstand for hver parameter (figur 5). Miljømålet er definert som grensen mellom moderat og god økologisk tilstand, og i vannforekomster som er i tilstandsklasser moderat eller dårligere skal det iverksettes tiltak for å bringe vannkvaliteten til klasse god eller bedre (figur 1).



Figur 5. Økologisk tilstand, med fem definerte klasser "Svært god", "God", "Moderat", "Dårlig" og "Svært dårlig". Tiltak skal settes inn der tilstanden klassifiseres som verre enn "God", dvs. under "miljømålet".

2. Lange tidsserier

2.1 Sammenstilling av lange tidsserier

Det utvalgte innsjøene for sammenstilling av lange tidsserier er Bjørkelangen, Rødenessjøen, Femsjøen og Hemnessjøen (Øgderen). I de tre førstnevnte innsjøene foreligger det nesten årlige undersøkelser fra 1980-tallet og frem til i dag. På 1960-1970 tallet foreligger det også en del data fra disse innsjøene. I Hemnessjøen foreligger det ikke like gode tidsserier, men vi valgte å ta med denne innsjøen også for å kunne sammenligne overvåkingsdataene med resultatene fra de paleolimnologiske undersøkelsene.

Målsetningen med sammenstillingen av de lange tidsseriene har særlig vært å finne trender i utviklingen av vannkvaliteten i utvalgte innsjøer i Haldenvassdraget, å finne effekter av gjennomførte tiltak i utviklingen av vannkvaliteten i de utvalgte innsjøene i Haldenvassdraget og å kunne vurdere miljøtilstanden i Haldenvassdraget iht. vannforskriftens miljømål.

Tidsserier for totalfosfor, totalnitrogen og klorofyll-a er sammenstilt. Mye av datamaterialet var tilgjengelig i vannmiljøsystemet, som er Miljødirektoratets datasystem for registrering og analyse av miljøtilstand i vann (<http://vannmiljo.miljodirektoratet.no/>). De dataene som ikke var registrert i denne databasen ble hentet fra gamle rapporter. Det er ønskelig at årsgjennomsnittstallene som ligger til grunn for de lange tidsseriene skal kunne være sammenlignbare fra år til år. Det vil være noen usikkerheter knyttet til dette, da tidsseriene strekker seg fra 1960-tallet og frem til i dag.

Prøvetakingssted: Utfra kart, og geografiske koordinater, virker det som om prøvene i de aktuelle innsjøene er tatt ved samme stasjon i innsjøene.

Prøvetakingsdyp: Prøvene er imidlertid ikke alltid tatt fra samme dyp. På 1970-tallet og frem til begynnelsen av 1980-tallet ble det tatt prøver fra hver meter i vannsøylen, ned til 10-12 meters dyp. Det ble gjerne også tatt prøver fra dypere sjikt av vannmassene og av bunnvannet i de dype innsjøene. For disse årene har det blitt laget gjennomsnittstall for prøver fra enten 0-4 m (Bjørkelangen) eller 0-10 m (de øvrige innsjøene). Fra 1985 til 1995 ble det tatt blandprøver fra 0-4 m (Bjørkelangen) eller 0-10 m (de øvrige innsjøene). I perioden 1996-2004 ble det kun tatt prøver fra 1 meters dyp. Fra 2005 har det blitt tatt blandprøver fra 0-4 meter i alle innsjøene. At prøvene er tatt fra noe ulike dyp kan påvirke sammenlignbarheten fra år til år noe. Fra 1970-tallet er det tatt med data som foreligger fra utløpsbekkene.

Prøvetakingsfrekvens: Antallet observasjoner i perioden bør være nokså likt og relativt jevnt fordelt over perioden. Fra 1980-tallet og frem til i dag har det blitt tatt prøver en eller flere ganger pr. måned fra mai til oktober. På 1970-tallet ble det ikke tatt prøver så ofte, og gjerne kun en gang pr. år. Prøver som ikke er tatt i perioden fra mai-oktober er ikke tatt med i årsgjennomsnittstallet.

Analysemetoder: Det kan foreligge usikkerheter knyttet til analysemetoder. Det har blitt brukt ulike laboratorier til å analysere prøver fra ulike tidsperioder. Kvantitative analyser av planteplankton er ikke inkludert i denne rapporten. Det er ulike personer, ved ulike institutt og firmaer, som har analysert planteplankton fra innsjøene opp gjennom årene. Det er vanskelig å sammenligne disse analysene, da resultatene av metoden med telling i mikroskop i stor grad er personavhengig.

2.2 Bjørkelangen

Bjørkelangen er en relativt liten og grunn innsjø øverst i Haldenvassdraget med et overflateareal på 3.3 km² og et middeldyp på 7 m. Det er mye jordbruk i nedbørfeltet. Deler av nedbørfeltet er utsatt for erosjon, og innsjøen mottar mye erosjonsmateriale fra jordbruk og annen aktivitet. Dette erosjonsmaterialet inneholder fosfor og bidrar til å gjødsle sjøen. Innsjøen mottar avrenning fra tettstedene Aurskog og Bjørkelangen. Hvert år er det store algemengder i innsjøen med sterk dominans av cyanobakterier. Bjørkelangen tilhører vanntype L-N8, moderat kalkrik og humøs iht. veileder 02:2013 (Direktoratsgruppa, Vanndirektivet 2013).

Totalfosfor

Det foreligger data for totalfosfor fra Bjørkelangen fra 1971 og frem til 2013 (figur 6). Fosfor er regnet som det viktigste næringsstoffet for algevekst i innsjøer, og for å kunne kontrollere algemengden i innsjøer er det derfor viktig å redusere tilførselene av fosfor fra nedbørfeltet.



Figur 6. Utvikling av totalfosforkonsentrasjonen i overflatelaget i Bjørkelangen fra 1971 til 2013. Årsgjennomsnitt er fra perioden mai til oktober. På 1970-tallet er det noen år der det kun er en prøve i perioden mai-oktober. Fra 1970-tallet er også data fra utløpet ved Fosser vist (årsgjennomsnitt av prøver tatt hele året). Miljømålet for totalfosfor er på 20 µg/l for vanntype L-N8.

Totalfosforkonsentrasjonen i Bjørkelangen har vært høy fra 1970-tallet og frem til i dag, og det er ingen klare trender i variasjonene fra år til år. Det er derfor vanskelig å se effekter av tiltak som er gjennomført i nedbørfeltet. Miljømålet for totalfosfor er på 20 µg/l for den vanntypen Bjørkelangen tilhører (L-N8, moderat kalkrik og humøs), og totalfosforkonsentrasjonen har vært mye høyere enn dette miljømålet i hele perioden hvor det foreligger data.

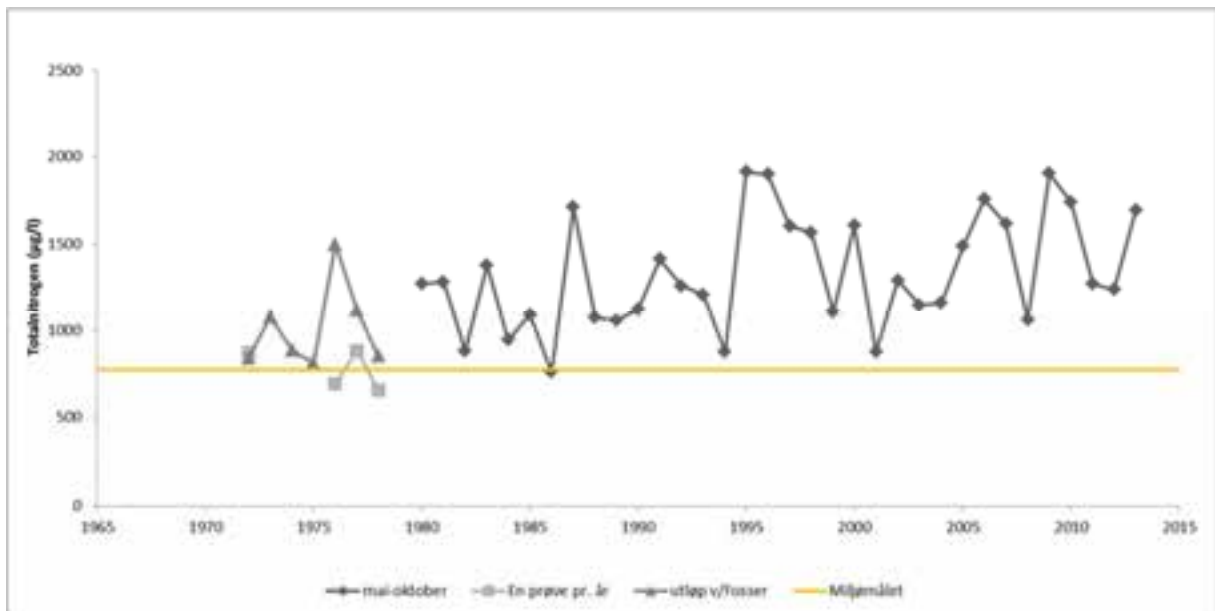
Det er ingen klar sammenheng mellom nedbør og vannføring (figur 3 og 4) og totalfosforkonsentrasjonen i Bjørkelangen. Mye av erosjonsmaterialet som kommer inn i

Bjørkelangen vil enten sedimenteres i innsjøen eller transporteres videre nedover til Skulerudsjøen. Bjørkelangen har en kort teoretisk oppholdstid på kun 2 måneder (tabell 1) og dette betyr at vannet i innsjøen raskt skiftes ut. En kan derfor ikke se en økning i totalfosforkonsentrasjonen i innsjøen etter storflommen i 2000, noe som er tydelig i Rødnessjøen og Femsjøen (se kap. 2.3 og 2.4). Det må imidlertid antas at innsjøen ble tilført store mengder fosforrikt flomvann om høsten i 2000.

Det har tidligere blitt konkludert at frigjørelse av fosfor fra sedimentet ikke spiller en betydelig rolle i innsjøen (NIVA, 2005-1014). Det er dermed sannsynlig at vannkvaliteten og algeveksten hovedsakelig styres av tilførsler fra eksterne næringsstoffkilder.

Totalnitrogen

Det foreligger data for totalnitrogen fra Bjørkelangen fra 1972 og frem til 2013 (figur 7). Nitrogen er også et viktig næringsstoff for algevekst, men det er ofte ikke det begrensende næringsstoffet i innsjøer. Nitrogen bindes ikke på samme måte som fosfor til partikler.

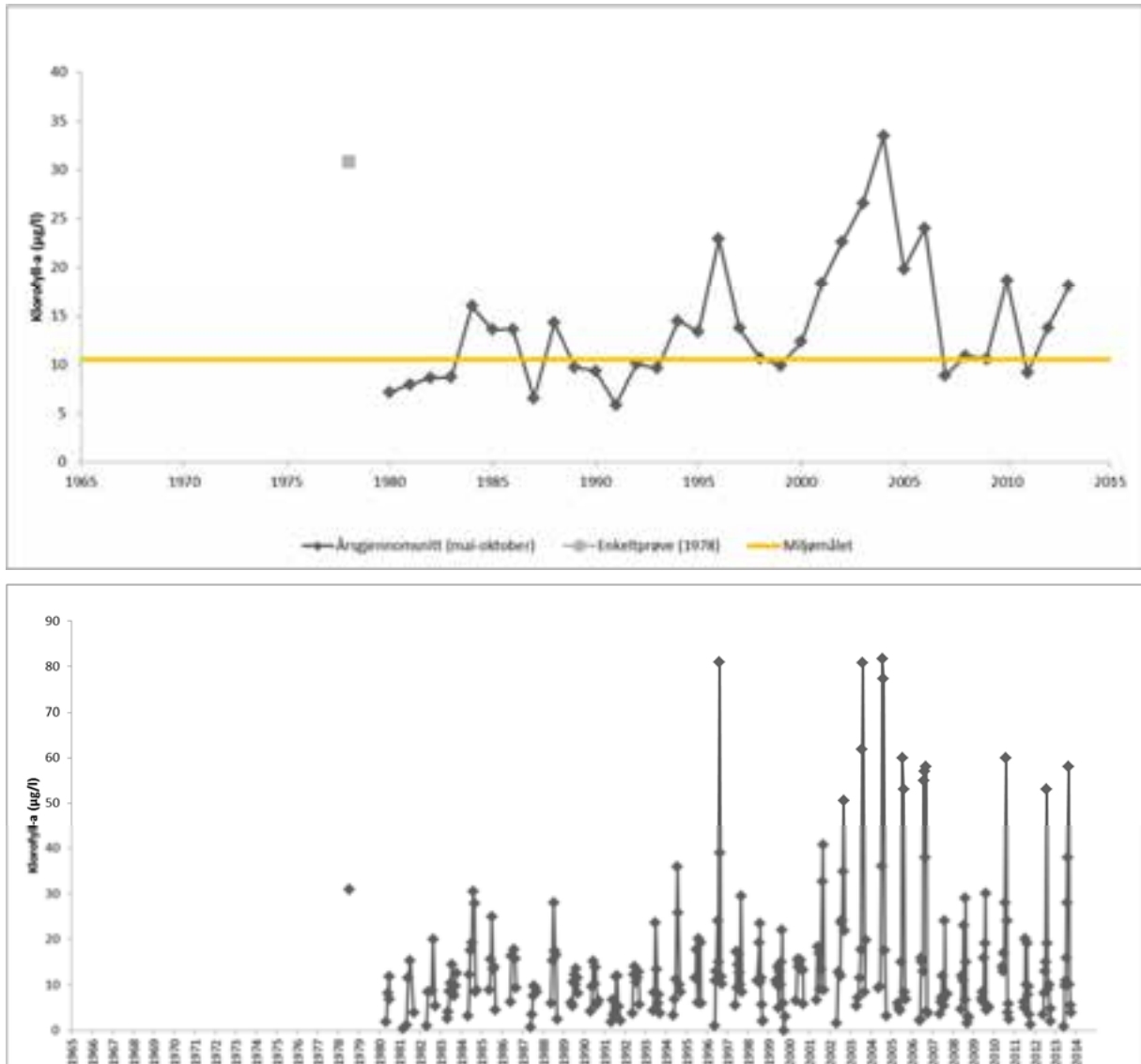


Figur 7. Utvikling av totalnitrogenkonsentrasjonen i overflatelaget i Bjørkelangen fra 1972 til 2013. Årsgjennomsnitt er fra perioden mai til oktober. På 1970-tallet er det noen år der det kun er en prøve i perioden mai-oktober. Fra 1970-tallet er også data fra utløpet ved Fosser vist (årsgjennomsnitt av prøver tatt hele året). Miljømålet for totalnitrogen er på 775 µg/l for vanntype L-N8.

Det er store år til år variasjoner i totalnitrogenkonsentrasjonen i Bjørkelangen fra 1972 til 2013, men det kan anes en generell økning sett perioden under ett. Denne økningen kan skyldes en økning i nitrogen som kommer med nedbøren (langtransportert forurensing), men det kan også ha en sammenheng med økt gjødsling. Totalnitrogenkonsentrasjonen ligger stort sett høyere enn miljømålet på 775 µg/l i hele perioden fra 1970-tallet og frem til i dag.

Klorofyll-a

Det foreligger data for klorofyll-a fra Bjørkelangen fra 1978 og frem til 2013 (figur 8). Klorofyll-a er et indirekte mål på mengden av alger i innsjøen.



Figur 8. Øverst: Utvikling av klorofyll-a konsentrasjonen i overflatelaget i Bjørkelangen fra 1978 til 2013. Årsgjennomsnitt er fra perioden mai til oktober. Fra 1970-tallet er det noen år der det kun er en prøve i perioden mai-oktober. Miljømålet for klorofyll-a er på 10,5 µg/l for vanntype L-N8. Nederst: Enkeltverdier for klorofyll-a fra hvert år.

Det er store år til år variasjoner i mengden av klorofyll-a i Bjørkelangen i perioden fra 1978 og frem til i dag. De årene med høyest klorofyll-a konsentrasjon er år med kraftige oppblomstringer av cyanobakterier. I perioden etter 2000 var det flere år med kraftige oppblomstringer av cyanobakterier og det er en sannsynlig årsakssammenheng at storflommen i 2000 medførte en økt tilførsel av fosfor til innsjøen og etterfølgende år med kraftige algeoppblomstringer. Dette viser at en

flom kan ha en eutrofieringseffekt, og dette har blitt observert i flere innsjøer i samme område, som for eksempel i Vansjø.

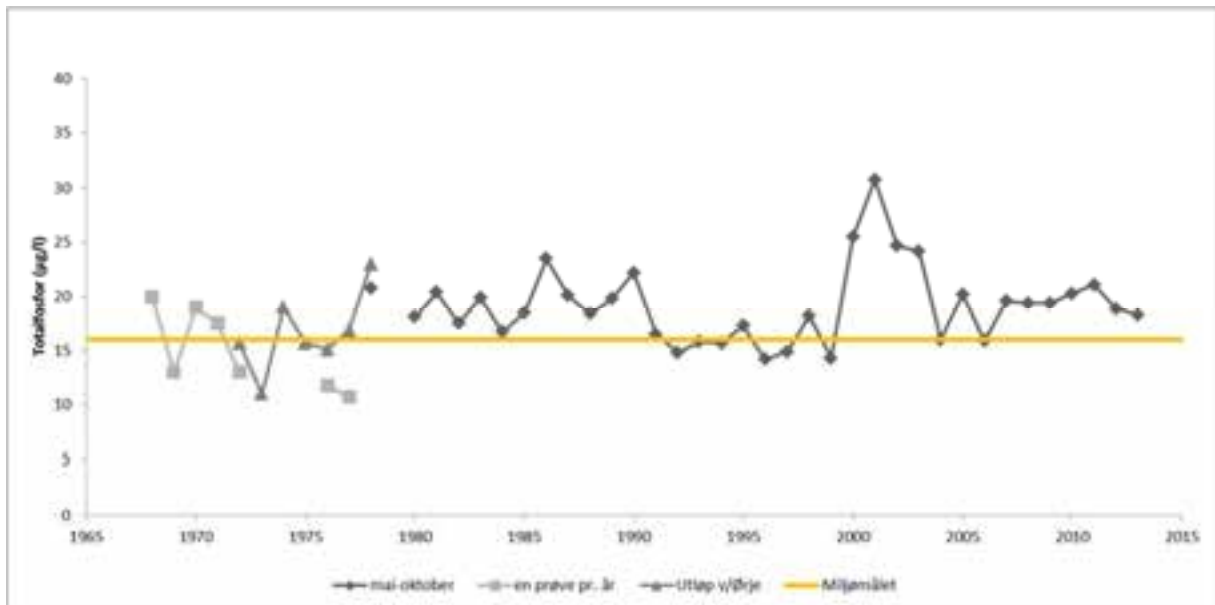
Observasjoner og kvantitative analyser av planteplankton fra Bjørkelangen viser at det på 1960- og 1970 tallet var en dominans av cyanobakterien *Planktothrix*, mens det på 1980 tallet og frem til i dag har vært en dominans av cyanobakterieslektene *Anabaena* og *Aphanizomenon*. Også andre slekter av cyanobakterier er vanlig forekommende i Bjørkelangen. Flere av disse cyanobakteriene kan produsere toksiner.

2.3 Rødenessjøen

Rødenessjøen er den største og dypeste innsjøen i vassdraget med et overflateareal på 15,3 km² og et middeldyp på vel 20 m. Næringsstofftilførslene til Rødenessjøen kommer fra omkringliggende jordbruk og fra spredt bebyggelse, men det meste av tilførselen kommer via innløpselva fra Skulerudsjøen. Bjørkelangen tilhører vanntype L-N3, kalkfattig og humøs iht. veileder 02:2013 (Direktoratsgruppa, Vanndirektivet 2013).

Totalfosfor

Det foreligger data for totalfosfor fra Rødenessjøen fra 1968 og frem til 2013 (figur 9).



Figur 9. Utvikling av totalfosforkonsentrasjonen i overflatelaget i Rødenessjøen fra 1971 til 2013. Årsgjennomsnitt er fra perioden mai til oktober. På 1970-tallet er det noen år der det kun er en prøve i perioden mai-oktober. Fra 1970-tallet er også data fra utløpet ved Fosser vist (årsgjennomsnitt av prøver tatt hele året). Miljømålet for totalfosfor er på 16 µg/l for vanntype L-N3.

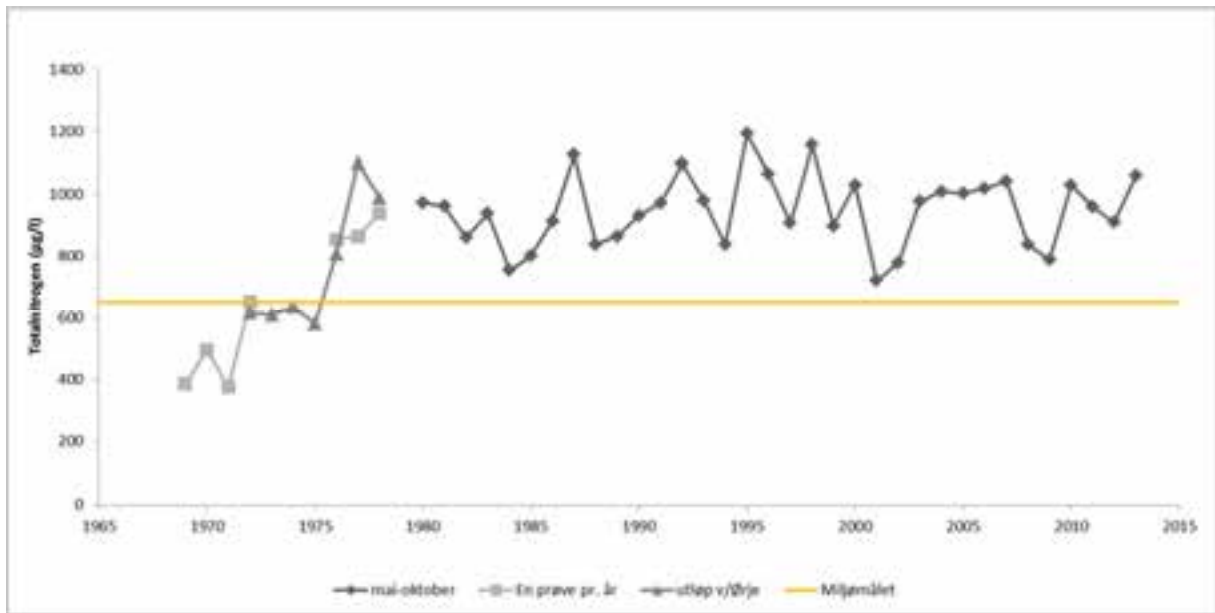
Totalfosforkonsentrasjonen i Rødenessjøen har variert mellom 15-20 µg/l siden begynnelsen av 1980-tallet og frem til i dag. Storflommen i 2000 ble etterfulgt av en økning i totalfosforkonsentrasjonen i innsjøen, og den holdt seg høy i noen år etterpå før den igjen ble

reduisert til rundt 20 µg/l. Dette viser at flommer i leirpåvirkede vassdrag medfører en betydelig transport av fosforrikt erosjonsmateriale.

Miljømålet for totalfosfor er på 16 µg/l for den vanntypen Rødenessjøen tilhører (L-N3, kalkfattig og humøs), og totalfosforkonsentrasjonen har vært omtrent på dette nivået og noe høyere i perioden fra 1970-tallet og frem til i dag.

Totalnitrogen

Det foreligger data for totalnitrogen fra Rødenessjøen fra 1969 og frem til 2013 (figur 10).



Figur 10. Utvikling av totalnitrogenkonsentrasjonen i overflatelaget i Rødenessjøen fra 1969 til 2013. Årsgjennomsnitt er fra perioden mai til oktober. På 1970-tallet er det noen år der det kun er en prøve i perioden mai-oktober. Fra 1970-tallet er også data fra utløpet ved Fosser vist (årsgjennomsnitt av prøver tatt hele året). Miljømålet for totalnitrogen er på 650 µg/l for vanntype vanntype L-N3.

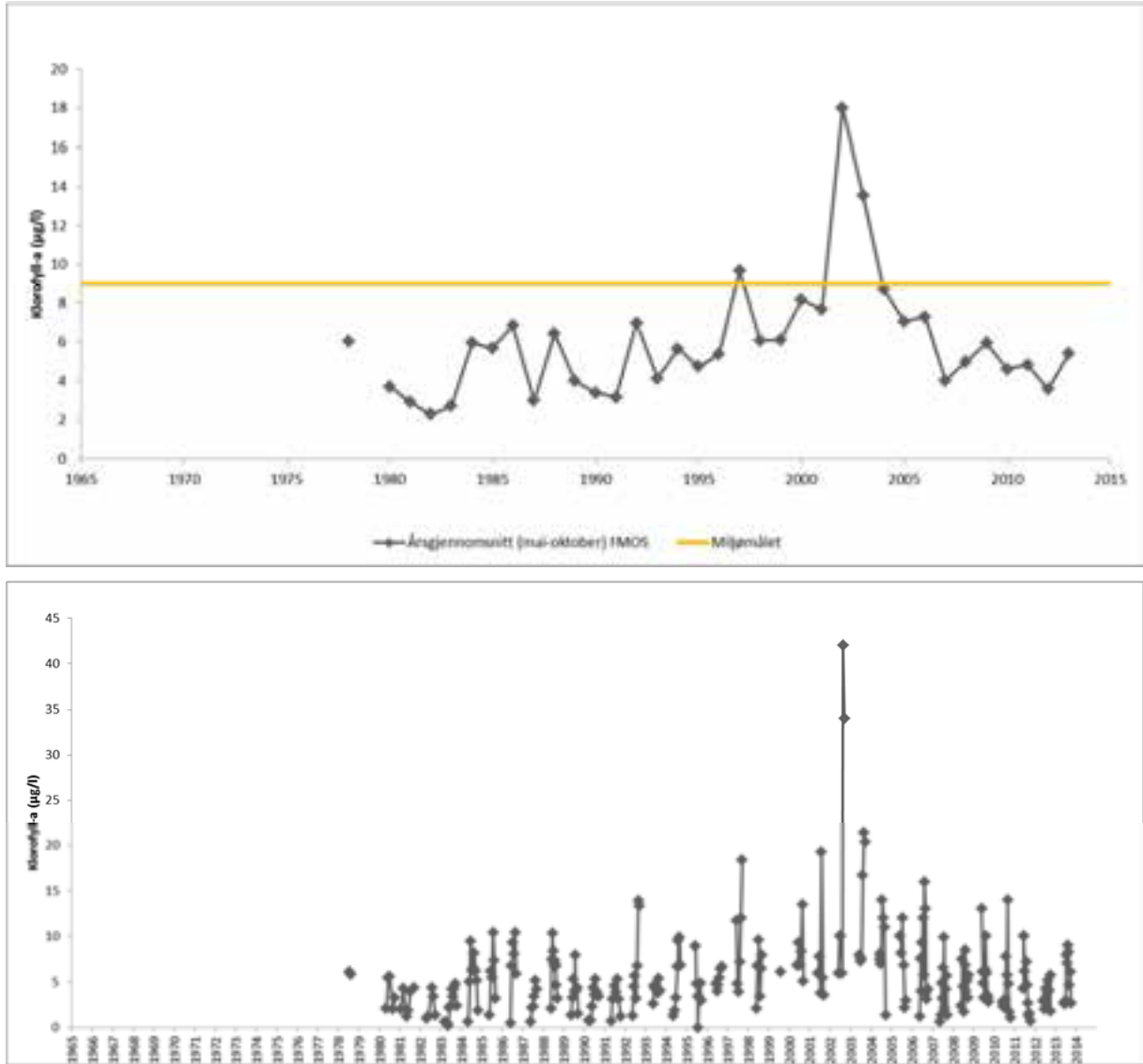
På 1970-tallet foreligger det en prøve pr. år og prøver fra utløpet ved Ørje og i denne perioden stiger totalnitrogenkonsentrasjonen tydelig. Det er imidlertid basert på et noe usikkert datagrunnlag. Fra 1980-tallet og frem til i dag har totalnitrogenkonsentrasjonen vært på omtrent samme nivå, men med år til år variasjoner. Det kan ikke anes noen trender i variasjonene. Totalnitrogenkonsentrasjonen ligger stort sett høyere enn miljømålet på 650 µg/l i perioden fra midten av 1970-tallet og frem til i dag.

Klorofyll-a

Det foreligger data for klorofyll-a fra Rødenessjøen fra 1978 og frem til 2013 (figur 11). Det er noe år til år variasjoner i klorofyll-a konsentrasjonen, men stort sett har det vært lavere konsentrasjoner enn miljømålet på 9 µg/l. Etter storflommen i 2000 var det et par år med kraftige algeoppblomstringer i Rødenessjøen.

Planteplanktonsamfunnet i Rødenessjøen kan domineres av cyanobakterier, men er også dominert av kiselalger og svelgflagellater. Det har vært cyanobakterieslektene *Aphanizomenon* og

Woronichinia som har vært fremtredende, mens *Planktothrix* har vært mindre fremtredende. Andre cyanobakterier kan forekomme, men er mindre fremtredende. Også i Rødenesjøen har det blitt rapportert om oppblomstringer av toksinproduserende cyanobakterier.



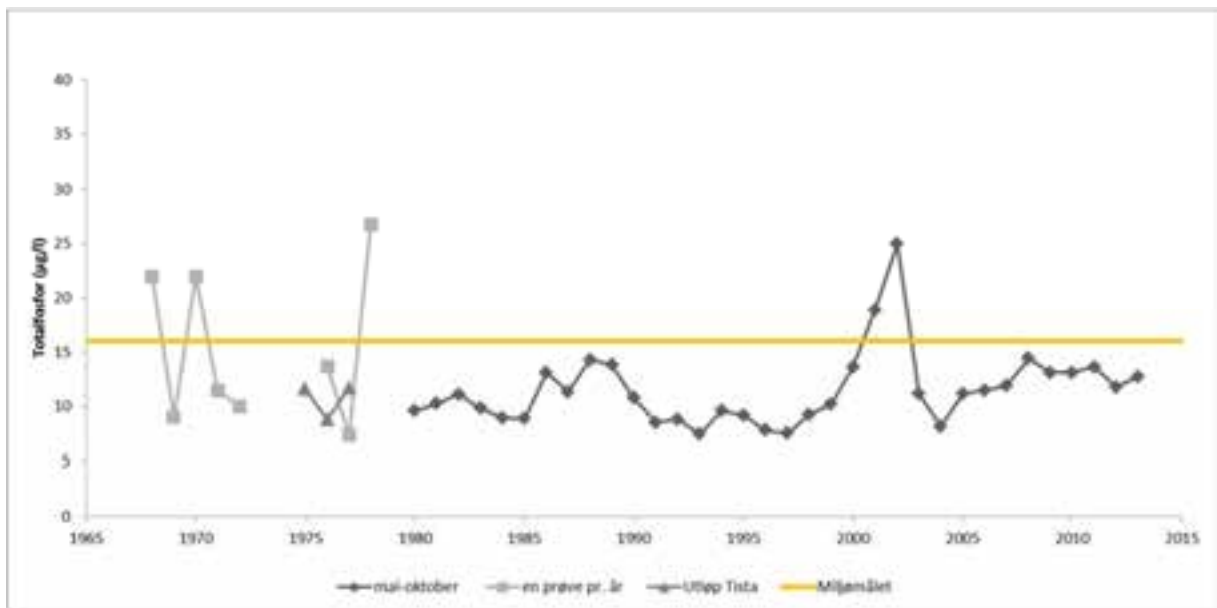
Figur 11. Øverst: Utvikling av klorofyll-a konsentrasjonen i overflatelaget i Rødenesjøen fra 1978 til 2013. Årsgjennomsnitt er fra perioden mai til oktober. Fra 1970-tallet er det noen år der det kun er en prøve i perioden mai-oktober. Miljømålet for klorofyll-a er på 9 µg/l for vanntype L-N3. Nederst: Enkeltverdier for klorofyll-a fra hvert år.

2.4 Femsjøen

Femsjøen er den nederste innsjøen i vassdraget med et overflateareal på 10,2 km² og et middeldyp på 20 m. Innsjøen ligger 79 moh. Det er noe jordbruksaktivitet i nedbørfeltet. Tilførselen fra spredt bebyggelse er betydelig redusert de siste årene. Overvåkingsresultatene viser at Femsjøen stort sett har god vannkvalitet med hensyn til næringsalter.

Totalfosfor

Det foreligger data for totalfosfor fra Femsjøen fra 1968 og frem til 2013 (figur 12).



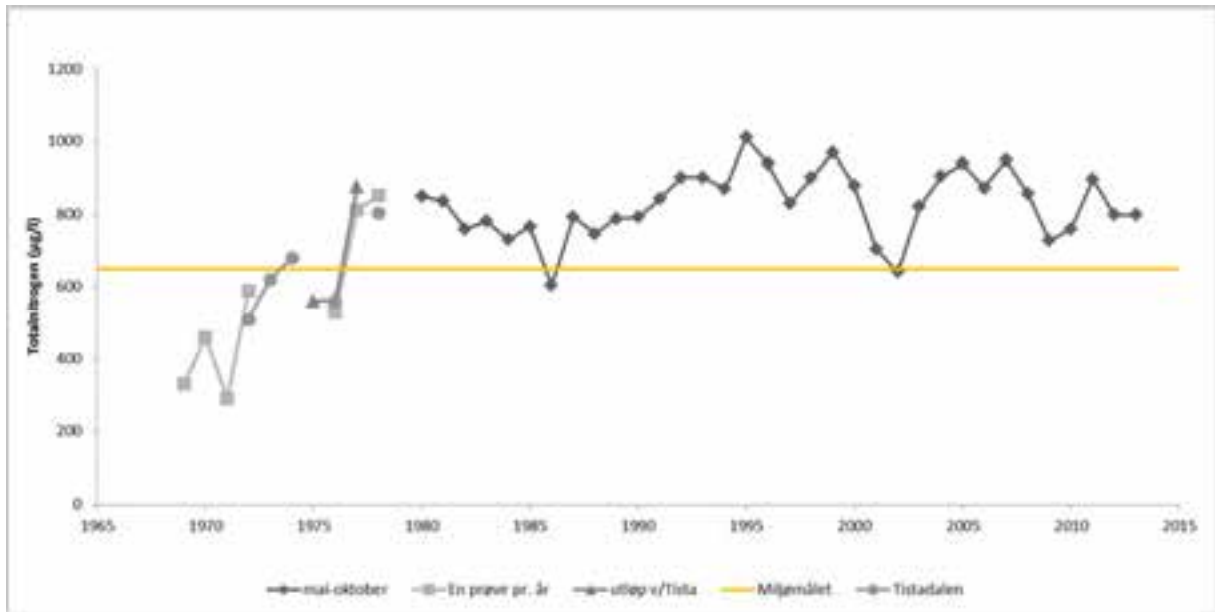
Figur 12. Utvikling av totalfosforkonsentrasjonen i overflatelaget i Femsjøen fra 1971 til 2013. Årgjennomsnitt er fra perioden mai til oktober. På 1970-tallet er det noen år der det kun er en prøve i perioden mai-oktober. Fra 1970-tallet er også data fra utløpet ved Fosser vist (årgjennomsnitt av prøver tatt hele året). Miljømålet for totalfosfor er på 16 µg/l for vanntype L-N3.

Totalfosforkonsentrasjonen i Femsjøen har variert mellom 10-15 µg/l siden begynnelsen av 1980-tallet og frem til i dag. Storflommen i 2000 ble etterfulgt av en økning i totalfosforkonsentrasjonen i innsjøen i et par år før den igjen ble redusert til mellom 10-15 µg/l. Også helt ned til Femsjøen kunne en observere effekten av transporten av fosforrikt erosjonsmateriale i vassdraget etter flommen. På 1970-tallet er det noe mer variasjon i totalfosforkonsentrasjonen, men det ble kun tatt en prøve her sommer og dette gjør datamaterialet mer usikkert.

Miljømålet for totalfosfor er på 16 µg/l for den vanntypen Femsjøen tilhører (L-N3, kalkfattig og humøs), og totalfosforkonsentrasjonen har vært under dette nivået stort sett gjennom hele perioden fra 1980-tallet og frem til i dag, med unntak av årene etter flommen i 2000.

Totalnitrogen

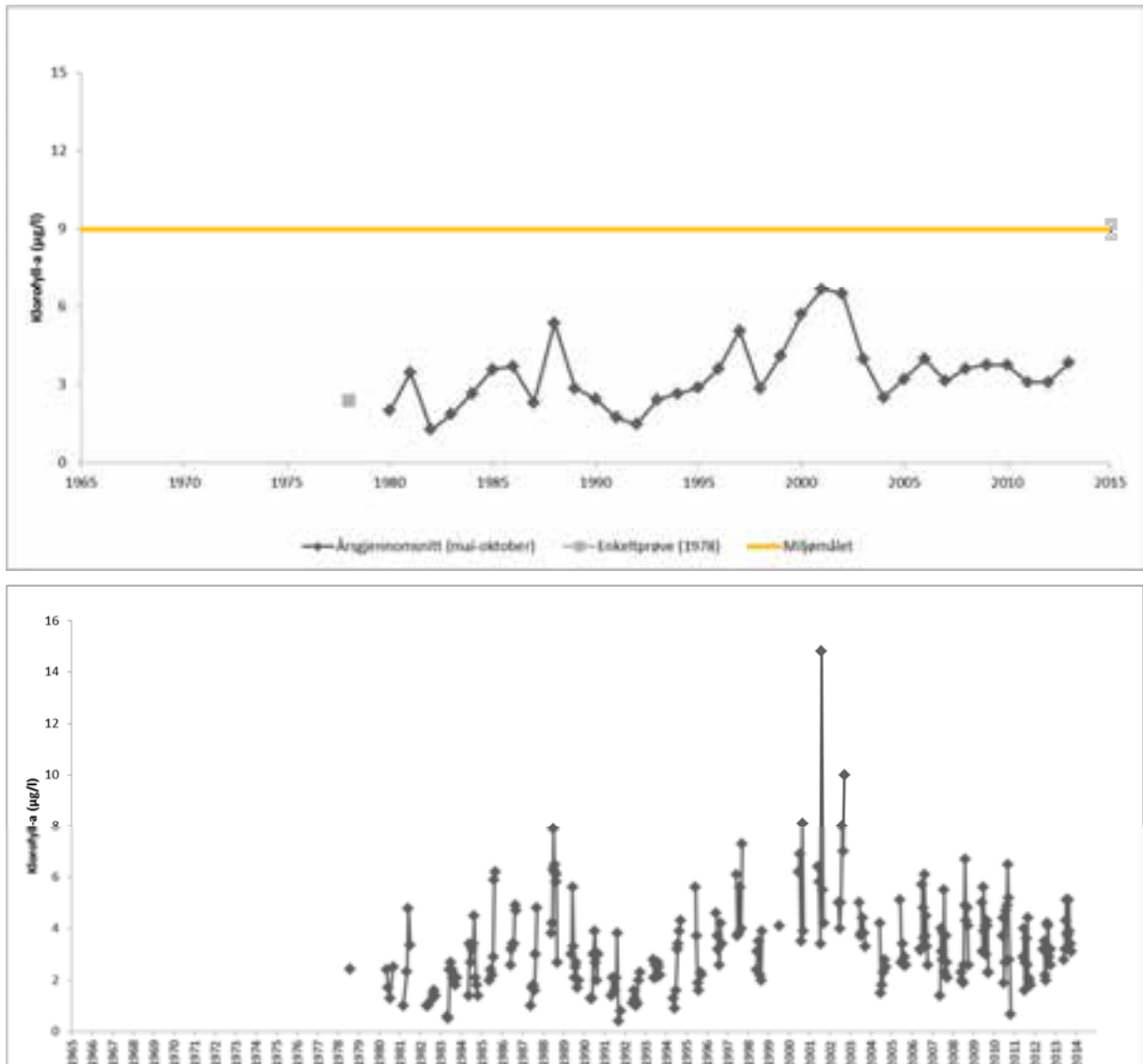
Det foreligger data for totalnitrogen fra Femsjøen fra 1969 og frem til 2013 (figur 13). På 1970-tallet foreligger det en prøve pr. år og prøver fra utløpet ved Ørje og i denne perioden stiger totalnitrogenkonsentrasjonen tydelig. Det er imidlertid basert på et noe usikkert datagrunnlag. Fra 1980-tallet og frem til i dag har totalnitrogenkonsentrasjonen vært på omtrent samme nivå, men med år til år variasjoner. Det kan ikke anes noen trender i variasjonene. Totalnitrogenkonsentrasjonen ligger stort sett høyere enn miljømålet på 650 µg/l.



Figur 13. Utvikling av totalnitrogenkonsentrasjonen i overflatelaget i Femsjøen fra 1969 til 2013. Årsgjennomsnitt er fra perioden mai til oktober. På 1970-tallet er det noen år der det kun er en prøve i perioden mai-oktober. Fra 1970-tallet er også data fra utløpet ved Fosser vist (årsgjennomsnitt av prøver tatt hele året). Miljømålet for totalnitrogen er på 650 µg/l for vanntype vanntype L-N3.

Klorofyll-a

Det foreligger data for klorofyll-a fra Femsjøen fra 1978 og frem til 2013 (figur 14). Det er noe år til år variasjoner i klorofyll-a konsentrasjonen, men nivået har alltid vært lavere enn miljømålet på 9 µg/l. Etter storflommen i 2000 var det et par år med mer algebiomasse i Femsjøen. Planteplanktonsamfunnet i Femsjøen er dominert av kiselalger og svelgflagellater. *Aphanizomenon* og *Woronichinia* er de mest fremtredende cyanobakterieslektene i Femsjøen.



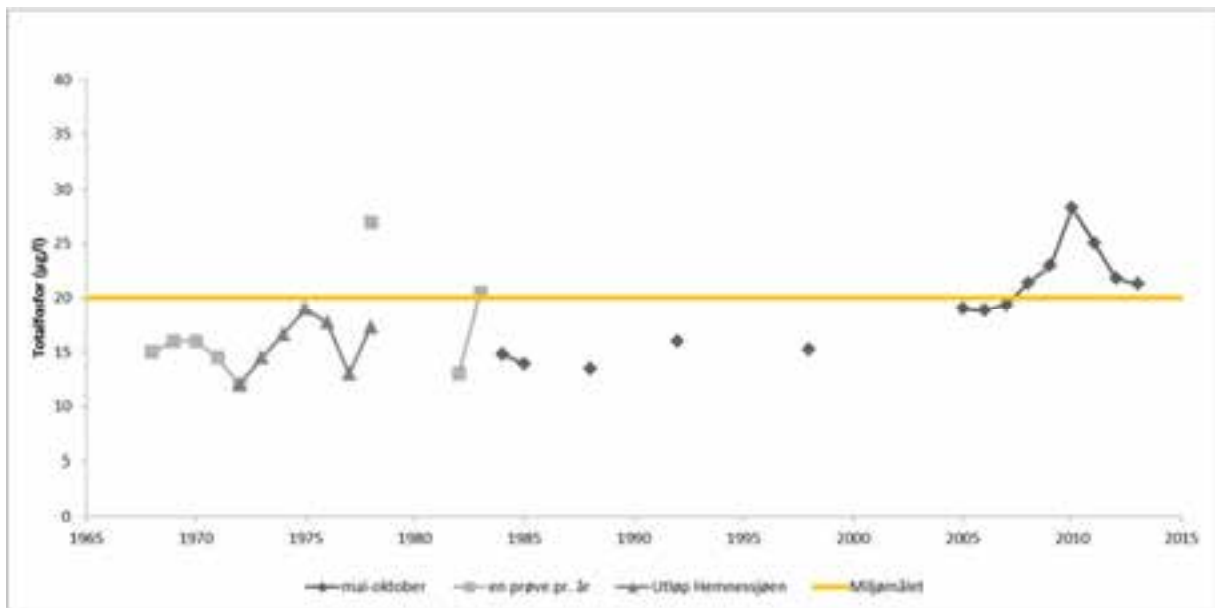
Figur 14. Øverst: Utvikling av klorofyll-a konsentrasjonen i overflatelaget i Femsjøen fra 1978 til 2013. Årgjennomsnitt er fra perioden mai til oktober. Fra 1970-tallet er det noen år der det kun er en prøve i perioden mai-oktober. Miljømålet for klorofyll-a er på 9 µg/l for vanntype L-N3. Nederst: Enkeltverdier for klorofyll-a fra hvert år.

2.5 Hemnessjøen

Hemnessjøen (også kalt Øgderen) har et overflateareal på 12,8 km² og ligger 133 moh. Innsjøen ligger sør-vest for Bjørkelangen og utløpselva Hemneselva slutter seg til Hølandselva nord for Skulerudsjøen. Det er store landbruksområder i nedbørfeltet og i tillegg er det tilførsler fra spredt bebyggelse.

Totalfosfor

Det foreligger data for totalfosfor fra Hemnessjøen fra 1968 og frem til 2013 (figur 15). I motsetning til de andre innsjøene som er presentert (kap. 2.2-2.4) så har det ikke vært årlig overvåking i Hemnessjøen.



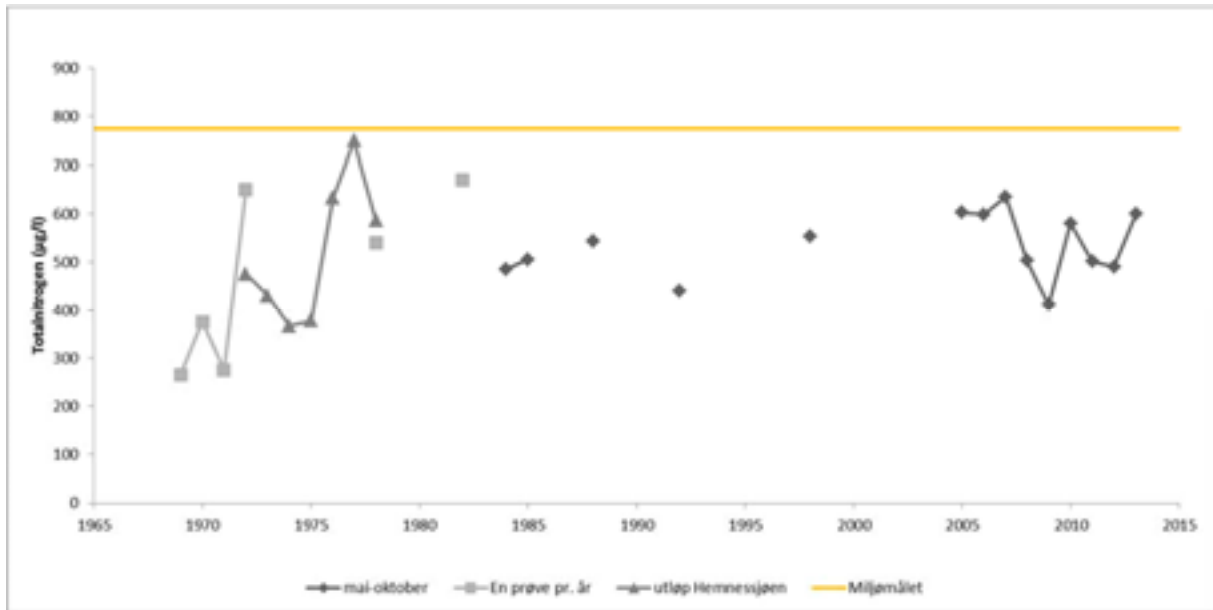
Figur 15. Utvikling av totalfosforkonsentrasjonen i overflatelaget i Hemnessjøen fra 1968 til 2013. Årsgjennomsnitt er fra perioden mai til oktober. På 1970-tallet er det noen år der det kun er en prøve i perioden mai-oktober. Fra 1970-tallet er også data fra utløpet ved Fosser vist (årsgjennomsnitt av prøver tatt hele året). Miljømålet for totalfosfor er på 20 µg/l for vanntype L-N8 (moderat kalkrik og humøs).

Totalfosforkonsentrasjonen har variert fra 12 og opp mot 30 µg/l i perioden fra 1968 og frem til i dag. I årene 2009-2010 ble det målt en betydelig økning i totalfosforkonsentrasjonen i Hemnessjøen. I 2011 ble det valgt å ta prøver fra to stasjoner i Hemnessjøen, både ved hovedstasjonen i den sørlige delen av innsjøen og en ekstrastasjon lengre nord i innsjøen. Resultatene fra 2011 viste at det ikke var spesielt store forskjeller i totalfosforkonsentrasjonen ved de to stasjonene i Hemnessjøen (NIVA notat, 2012). Det er fortsatt uklart hva som er årsakene til den observerte økningen i totalfosforkonsentrasjon. Hemnessjøen har et veldig lite nedbørfelt og er ikke like erosjonspåvirket som de andre innsjøene i hovedvassdraget.

Miljømålet for totalfosfor er på 20 µg/l for den vanntypen Hemnessjøen tilhører (L-N8, moderat kalkrik og humøs), og totalfosforkonsentrasjonen har vært under dette nivået frem til midten av 2000-tallet, før økningen i totalfosforkonsentrasjonen som ble observert

Totalnitrogen

Det foreligger data for totalnitrogen fra Hemnessjøen fra 1969 og frem til 2013 (figur 16).

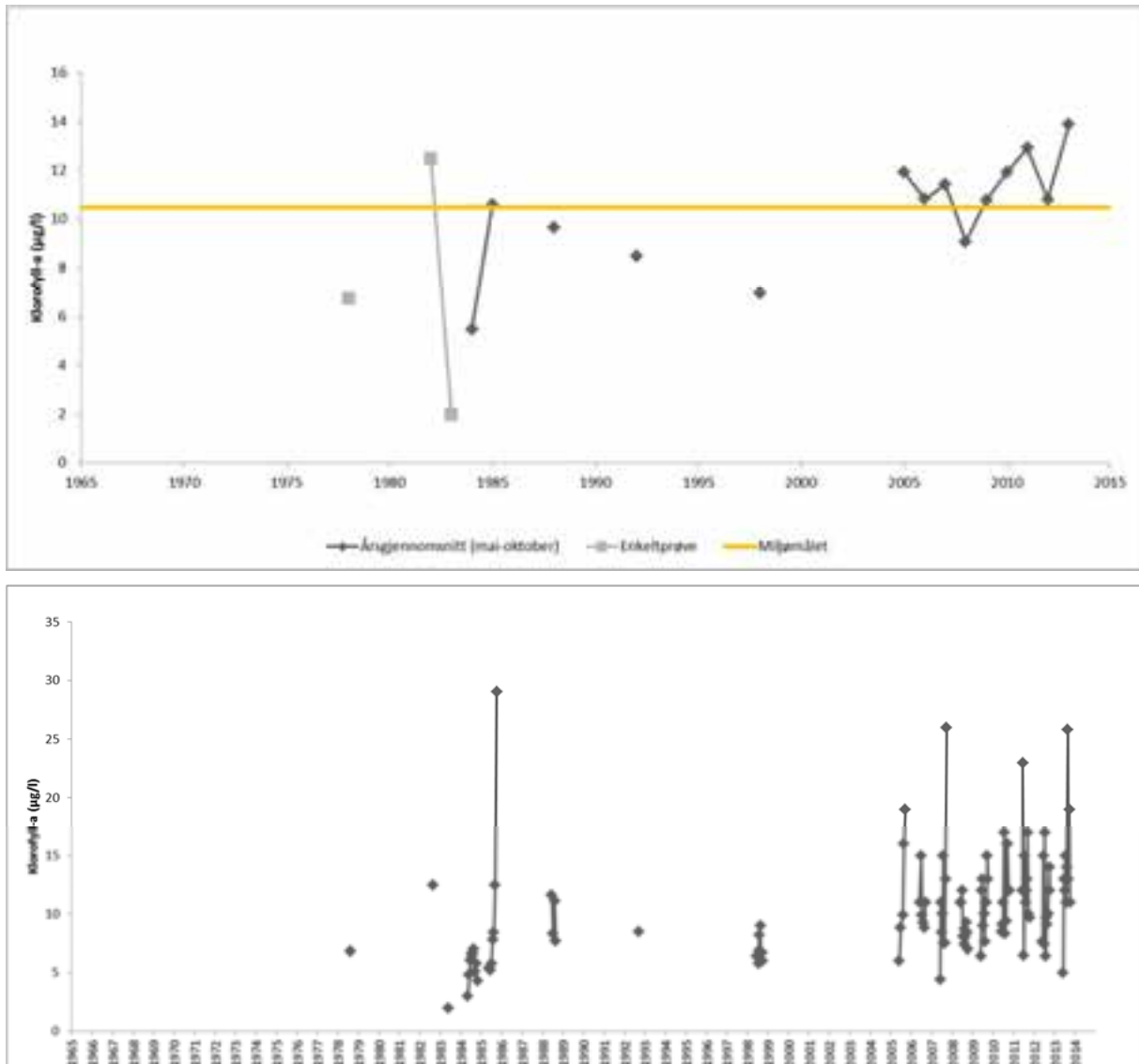


Figur 16. Utvikling av totalnitrogenkonsentrasjonen i overflatelaget i Hemnessjøen fra 1969 til 2013. Årsgjennomsnitt er fra perioden mai til oktober. På 1970-tallet er det noen år der det kun er en prøve i perioden mai-oktober. Fra 1970-tallet er også data fra utløpet ved Fosser vist (årsgjennomsnitt av prøver tatt hele året). Miljømålet for totalnitrogen er på 775 µg/l for vanntype L-N8 (moderat kalkrik og humøs).

På 1970-tallet foreligger det en prøve pr. år og prøver fra utløpet av Hemnessjøen og i denne perioden stiger totalnitrogenkonsentrasjonen tydelig. Det er imidlertid basert på et noe usikkert datagrunnlag. Fra 1980-tallet og frem til i dag har totalnitrogenkonsentrasjonen vært på omtrent samme nivå, men med år til år variasjoner. Det kan ikke anes noen trender i variasjonene. Totalnitrogenkonsentrasjonen ligger under miljømålet på 775 µg/l.

Klorofyll-a

Det foreligger data for klorofyll-a fra Hemnessjøen fra 1978 og frem til 2013 (figur 17). Det er noe år til år variasjoner i klorofyll-a konsentrasjonen, og de siste årene har det vært høyere konsentrasjoner enn miljømålet på 10,5 µg/l. Det kan være dominans av cyanobakterier i Hemnessjøen, og innsjøen kan ha år med dominans av *Planktothrix*.



Figur 17. Øverst: Utvikling av klorofyll-a konsentrasjonen i overflatelaget i Hemnessjøen fra 1978 til 2013. Årsgjennomsnitt er fra perioden mai til oktober. Fra 1970-tallet er det noen år der det kun er en prøve i perioden mai-oktober. Miljømålet for klorofyll-a er på 10,5 µg/l for vanntype L-N8 (moderat kalkrik og humøs). Nederst: Enkeltverdier for klorofyll-a fra hvert år.

2.6 Tiltaksgjennomføring i Haldenvassdraget og effekter på vannkvaliteten

Det er gjennomført en rekke tiltak i Haldenvassdraget siden midten av 1960-tallet og frem til i dag. Haldenvassdraget vannområde har sammenstilt følgende oversikt over viktige tiltak som har vært gjennomført i landbruket og i kommunalt avløp:

Tiltak i landbruket:

- 60 % gras og 40 % åpen åker var vanlig helt fram til 1950
- Fra 1950 til 1980 var det en gradvis omlegging til 15 % gras og 85 % åpen åker (korn)
- Omfattende grøfting og nydyrking fra 1950 til 1975. All innmark er systematisk drenert

- Landbruksprosjektet i Haldenvassdraget gikk fra 1990 til 1995. En startet da med redusert jordarbeiding som metode for å redusere næringstilførsel til vassdraget. Areal prosentvis redusert jordarbeiding er noe større i Østfolddelen enn i Akershusdelen. Det antas at vi starter på 0 % i 1992. Ca. 40 % av arealet i Akershus i 2005/2006, i Østfold ca. 50 % oppslutning. Så øker det jevnt i Akershus (Aurskog-Høland) til en topp i 2011 med opp mot 65-70 % for så å gå nedover igjen til et sted mellom 50 – 55 % i 2013/2014. For Østfold 75 – 80 % i 2011/2012 og en nedgang til ca. 70 % i 2013/2014. Arealet som høstpløyes i Østfold sås med høstkorn, mens det i Aurskog-Høland er om lag halvt om halvt med høstkorn og høstpløying til høstkorn.
- Antall meter med vegetasjonssone mot vassdrag er økende i alle kommunene, mest de siste årene.
- Det ble gjennomført en betydelig grøfting i skogen på 1950 og 1960-tallet

Tiltak i kommunalt avløp:

- Vannklosett ble vanlig i alle hus fra 1940 og fram til 1960
- Kommunene Aurskog-Høland og Marker bygget sine første renseanlegg på 1960-tallet og disse tok unna kloakk fra sentrumsbebyggelsen. Trolig svakheter i renseevne og mengden overløp.
- Det er mye spredt bebyggelse i alle kommunene. Kapasiteten på anleggene i Aurskog-Høland ble sprengt og i 2006/2007 ble det bygget nytt renseanlegg på Bjørkelangen og i 2010 nytt anlegg på Løken. Setskog fikk sitt renseanlegg i 2009.
- Lik lokal forskrift ble vedtatt i alle kommunene i 2007 med en gjennomføringsplan for å rydde opp i kloakk fra spredt bebyggelse innen 2016.
- Per 2014 har om lag 50 % av de 4000 husstander som ikke hadde godkjente renseløsninger i 2007 nå godkjent utslippstillatelse.

Befolkningsøkningen har vært relativt moderat i kommunene i Haldenvassdraget. Innbyggertallene i de fem kommunene pr. 1. januar 2014 var: Aurskog-Høland - 15 500, Trøgstad -5360, Marker -3596, Aremark – 1408 og Halden – 30132 8 (Statistisk sentralbyrå: <http://www.ssb.no/befolkning/statistikker/folkemengde/aar/2014-02-20?fane=tabell&sort=nummer&tabell=164156>).

Sammenstillingen av de lange tidsseriene viser i hovedsak at det er vanskelig å se noen klare trender i utviklingen av vannkvalitet i de utvalgte innsjøene. Derfor kan vi heller ikke peke på klare effekter av de gjennomførte tiltakene i Haldenvassdraget. Tidsseriene viser imidlertid at det er en klar sammenheng mellom nedbørsforhold, avrenning og særlig mengden av totalfosfor i innsjøene. Haldenvassdraget kan sies å være spesielt påvirket av klimaeffekter. Oppstrøms av Ørje er det hovedsakelig tilførsel av leirpartikler fra nedbørfeltet som øker tilgang til næring i innsjøene, men denne partikkeltilførselen vil også begrense lystilgang for algeveksten. I hele Haldenvassdraget har også humustilførselene og humusinnholdet i innsjøene økt de siste tiårene. Dette skyldes både en reduksjon i sur nedbør (særlig frem til omtrent år 2000) og endret klima med mer kraftige nedbørsepisoder som gir mer utlekking av humus til vassdragene.

Disse såkalte klimaeffektene kan ha komplekse effekter på transport av totalfosfor og utvikling av algemengde i innsjøene og det kan forekomme store år til år variasjoner i vannkvaliteten. Slike klimaeffekter gjør det derfor også vanskelig å bevise effekten av tiltak.

3. Sedimentundersøkelser i Bjørkelangen og Hemnessjøen

3.1 Hvorfor paleolimnologi?

EUs vanndirektiv vurderer tilstanden av innsjøer relativt til upåvirkete referanselokaliteter. Denne såkalte statistiske tilnærmingen medfører en rekke problemer. Innsjøer er økosystemer med mange særtrekk. Forskjeller i blant annen størrelse, beliggenhet, geologi, struktur og bruk av nedbørfelt kan føre til variasjoner i tilførsel av næringsstoffer til innsjøer. Konsekvensen er store forskjeller i biologisk aktivitet som ytterligere forsterkes av variasjoner i innsjøenes morfologi, lokale klimaforhold og en del andre faktorer. På grunn av slike særtrekk er definisjonen av referansetilstanden og derfor statusvurderingen av en innsjø til en viss grad usikker.

Et annet spørsmål er hvordan en skal definere referansetilstanden til innsjøer i et kulturlandskap med flere hundre år av urbanisering, skogs- og landbruk. En mulig løsning ville være å vurdere innsjøenes tilstand direkte ved å rekonstruere deres historiske utvikling over tid og ved å sammenligne tilstanden før og etter innsjøene ble utsatt for menneskelig påvirkning. Denne tilnærmingen forutsetter bruk av paleolimnologiske metoder.

Paleolimnologi er studiet av innsjøenes historie, hvordan de har utviklet seg over tid og hvilken informasjon de kan gi oss om miljøet rundt seg. Mye av paleolimnologien dreier seg om å analysere innsjøenes sediment, som brukes som kjemisk og biologisk arkiv. I en innsjø avsettes hvert år et sjikt av noen mikrometer til millimeter sediment. Et slikt sjikt inneholder ulike typer biologisk og biogent materiale, som kan benyttes til å rekonstruere det akvatiske organismsamfunnet og dets aktivitet på tidspunktet da sedimentet ble avsatt. Tradisjonelt brukes algepigmenter og rester av organismer til dette formålet. Nyere undersøkelser viser at sedimentet også kan inneholde genetisk materiale som kan brukes til å rekonstruere utvikling av organismsamfunnet over tid.

Resultater av paleolimnologiske undersøkelser kombineres gjerne med informasjon om menneskenes aktiviteter i nedbørfeltet til en innsjø for å trekke konklusjoner om grad av antropogen påvirkning. En slik analyse gir ofte overraskende resultater. En paleolimnologisk undersøkelse i Mjøsa viste for eksempel at den menneskelige påvirkningen begynte allerede før 1800 (Hobæk mfl. 2012). Situasjonen som førte til den velkjente Mjøsaaksjonen var derfor et resultat av mer enn 200 år med menneskelig påvirkning. Undersøkelser i Årungen og Østensjøvannet viste at den menneskeskapt eutrofieringen begynte for mer enn 400 år siden (Rolf Sørensen, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet). Selve undersøkelsen viste også sammenheng mellom landbruk, urbanisering og innsjøenes vannkvalitet.

3.2 Metodikk

Det ble samlet inn sedimentsøyler fra Hemnessjøen med en Uwitec sedimentprøvetaker som tar korte sedimentkjerner med høy tidsoppløsning. Samme instrumentet ble også benyttet i Bjørkelangen. I tillegg ble det i Bjørkelangen samlet inn en 1,8 m lang søyle som dekker sediment dybden fra 10 til 190 cm. Prøvetakingsstasjonene er vist i figur 18. Prøvene ble tatt i september 2012 (korte søyler) og februar 2013 (lang søyle fra Bjørkelangen).



Figur 18. Prøvetakningssteder i Bjørkelangen (til venstre) og Hemnessjøen - flybilder fra finn.no

Sedimentsøylene ble delt i sjikt på 1 cm tykkelse for de første 40 cm. Fra 40 cm ble det tatt prøver med 5 cm mellomrom. Alle prøvene ble overført til plastbeger med skrulokk og analysert på andel av organisk substans (= markør for samlet biologisk aktivitet) og innhold av klorofyll og dets nedbrytningsprodukter (= markør for mengden av alger), fukoxanthin (= markør for kiselalger) og lutein (= markør for mengden av grønnalger og vannplanter). Metoden for pigmentanalysen er beskrevet i Küpper mfl. (2007). For prøver med et for lavt innhold av pigmenter ble konsentrasjonen av fossilt DNA i sedimentet bestemt (= markør for biologisk aktivitet i innsjøen, metoden er beskrevet i Kyle mfl. (2014)).

Genetiske metoder ble benyttet til å kvantifisere toksinproduserende cyanobakterier av slekten *Planktothrix*, som trolig står for algegiftproduksjon Hemnessjøen og Bjørkelangen i dag. Metodene er nærmere beskrevet i Kyle mfl. (2014).

For å tidfeste prøvene trengs det informasjon om den gjennomsnittlige mengden av sediment som ble avsatt hvert år. Denne ble fremskaffet ved å kvantifisere radioaktivt Cesium (Cs-137) i sedimentprøvene og ved å bestemme avstanden av Tsjernobyktoppen (= april 1986) fra sedimentets overflate (=høst/vinter 2012/2013). Metoden er nærmere beskrevet i Kyle mfl. (2014).

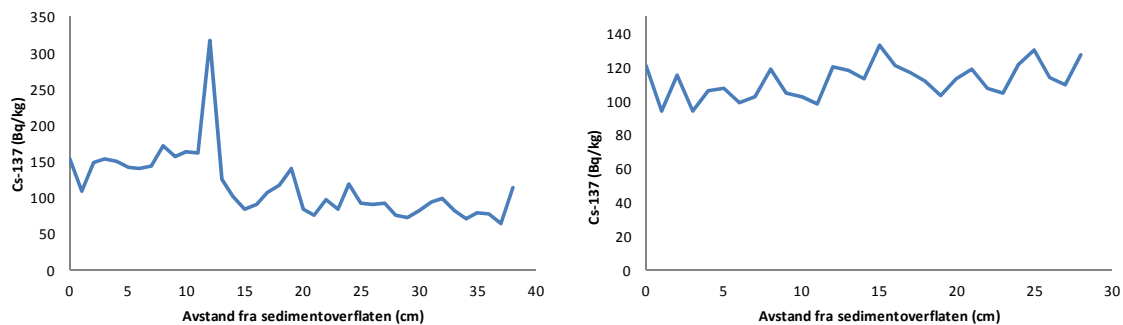
Det må understrekes at Cs-137 aldersbestemmelsen er mest nøyaktig for perioden 1986 og frem til i dag. Nøyaktigheten avtar gradvis med avstand fra denne perioden. Teoretisk kan nøyaktigheten av dateringen økes ved bruk av Pb-210 og C-14 metodene i tillegg til Cesium metoden. Erfaringer fra Østensjøvannet i Ås viser imidlertid at Pb-210 metoden i leirepåvirkede innsjøer kan gi svært unøyaktige resultater. C-14 metoden bestemmer alderen av organisk materiale. Metoden er derfor lite egnet til datering av innsjøsedimenter med lav andel organisk substans og høy andel av leire.

3.3 Datering av sediment prøver

Med hjelp av cesiumanalysen ble det funnet en tydelig Tsjernobyktopp i Bjørkelangen i 12 cm avstand fra sedimentets overflate (figur 19). Dette tilsvarer en gjennomsnittlig sedimentasjonshastighet på 4,8 mm sediment/år.

Cesiumanalysen ga flere små topper for Hemnessjøen (figur 19). Dette er uvanlig, men kan delvis forklares med at innsjøens nedbørfelt er lite i forhold til dens overflate og volum, noe som kan ha medført lav akkumulasjon av radioaktivt cesium fra Tsjernobylulykken i sedimentet. Det er likevel sannsynlig at toppen med 15 cm avstand fra sedimentets overflate tilsvarer Tsjernobylkatastrofen. Sedimentasjonsraten ville i dette tilfellet være 6 mm sediment/år. Det er viktig å understreke at dateringen av sediment prøver fra Hemnessjøen er noe usikker. Dette var grunnen til at det ikke ble tatt lange sedimentkjerner fra Hemnessjøen.

Den gjennomsnittlige sedimentasjonshastigheten ble benyttet til å beregne alderen av sediment prøvene. Som nevnt er aldersbestemmelse noe unøyaktig for perioden før 1986. Alderen av sediment prøver må derfor anses som estimat. Vi har allikevel valgt å vise konkrete årstall i diagrammene for å gjøre det lettere for leseren å orientere seg.



Figur 19. Resultater av cesiumanalysen for Bjørkelangen (til venstre) og Hemnessjøen (til høyre)

3.4 Biologisk aktivitet og konsentrasjon av alger i innsjøene

Sedimentsøylene fra Bjørkelangen var preget av flere sjikt med høy andel av leireminerale (figur 20 – sjikt med grå farge) og flere sjikt med en betydelig andel av organiske sedimenter (figur 20 – brun farge). Den gjentatte overgangen mellom leire og organiske sedimenter tyder på at Bjørkelangen har gjennomgått flere perioder med henholdsvis lav og høy biologisk aktivitet i de siste 400 årene.

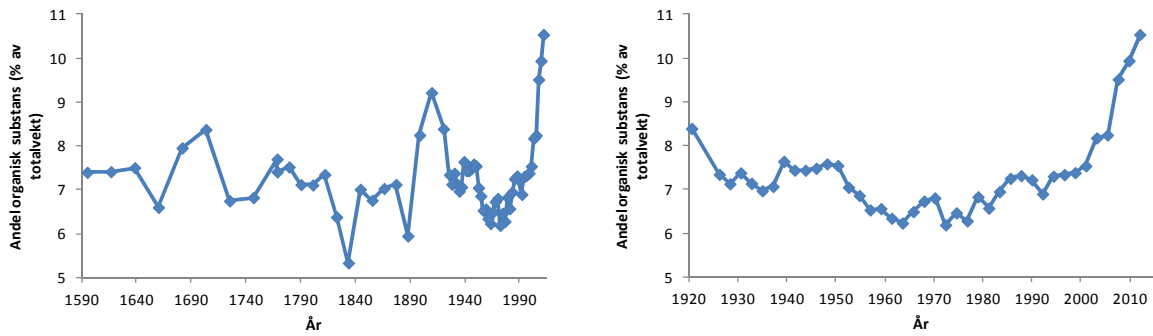
Denne påstanden støttes av den direkte bestemmelsen av mengden organisk substans i sedimentet (figur 21). For å tolke resultatene av en slik analyse riktig, må en ta hensyn til at organisk substans er utsatt for bakteriell nedbrytning. Denne er rask i nærheten av sedimentoverflaten, hvor det er tilgang til oksygen, og avtar gradvis med avstand fra sedimentets overflate. Det vil si at dersom en benytter seg av andel av organisk substans som mål for biologisk aktivitet, så underestimeres biologisk aktivitet ved bruk av gamle sedimenter. Feilen øker med alderen av sedimentet. Med bakgrunn i dette og i måleresultatene våre (figur 21) kan vi konkludere med at den biologiske aktiviteten i dagens Bjørkelangen er sammenlignbar med den vi hadde rundt 1900. I tillegg viser resultatene flere

perioder med forholdsvis høy aktivitet og flere perioder med lav aktivitet (særlig på midten av 1800-tallene og mellom 1960 og 1980).

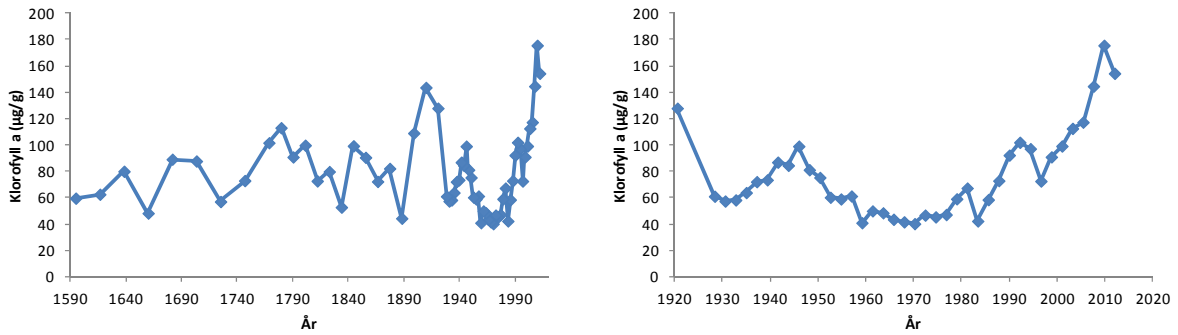
Det finnes mange kilder til organisk substans i sediment. Den viktigste er døde algeceller, men organisk substans kan også komme fra nedbørfeltet og vannplanter. Mengden av organisk substans i sedimentet er derfor en markør for biologisk aktivitet både i innsjøen og dens nedbørfelt. Konsentrasjonen av pigmenter som klorofyll a, fukoxanthin og lutein i sedimentet utenfor strandsonen kan derimot brukes til å estimere den totale algemengden (klorofyll a) og mengden av viktige algegrupper, som kiselalger (fukoxanthin) og grønnalger (lutein), da sedimentet ble avsatt. Også pigmenter er utsatt for bakteriell nedbrytning. Det vil si at dersom en benytter seg av pigmenter som mål for mengden av alger, så underestimeres denne mengden ved bruk av gamle sedimenter. Med bakgrunn i dette og i måleresultatene våre (figurer 22 og 23) kan vi fastslå at den gjennomsnittlige totalmengden av alger i dagens Bjørkelangen er omtrent på samme nivå som rundt 1900. I tillegg viser resultatene flere perioder med forholdsvis høy algemengde og flere perioder med lav mengde (særlig mellom 1960 og 1980). Mengden av kiselalger viser omtrent det samme mønsteret (figur 23). Lutein ble nesten ikke funnet, noe som tyder på at grønnalger ikke har spilt en viktig rolle i Bjørkelangen i de siste 400 årene. Mangelen på lutein bekrefter også at prøvestedet ikke var påvirket av undervannsplanter eller strandvegetasjon.



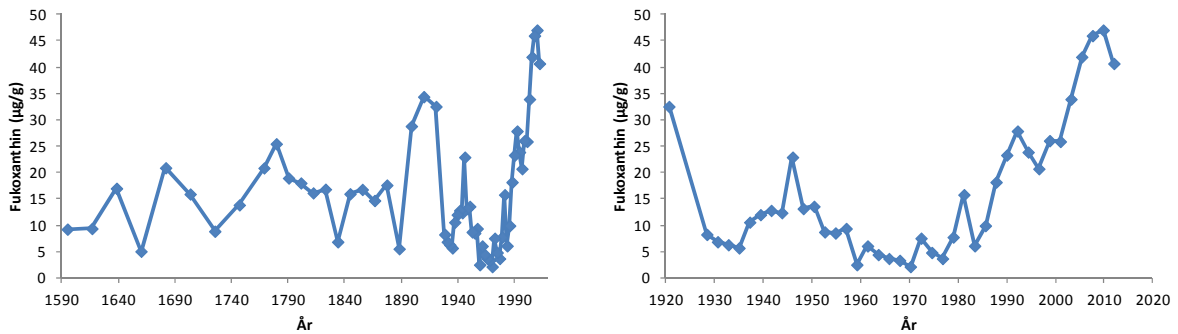
Figur 20. Bilder av den lange sediment søylen fra Bjørkelangen: til venstre - tidsperioden 1991 (topp) til 1773 (bunn), til høyre – tidsperioden 1817 (topp) til 1595 (bunn)



Figur 21. Andel av organisk substans i sediment fra Bjørkelangen: til venstre – hele tidsperioden fra 1595 til 2012, til høyre – utsnitt for tidsperioden 1920 til 2012



Figur 22. Konsentrasjon av klorofyll a (gitt som klorofyll a + hovednedbrytningsproduktet pheophytin a) i sediment fra Bjørkelangen: til venstre – hele tidsperioden fra 1595 til 2012, til høyre – utsnitt for tidsperioden 1920 til 2012

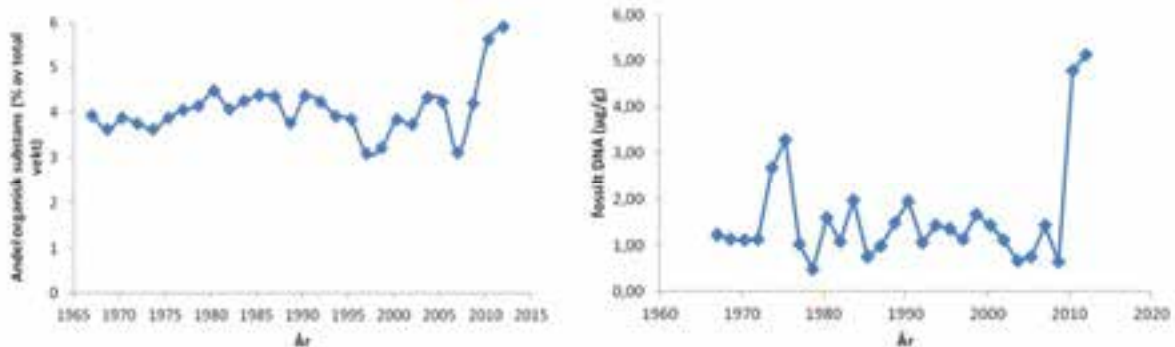


Figur 23. Konsentrasjon av fukoxanthin i sediment fra Bjørkelangen: til venstre – hele tidsperioden fra 1595 til 2012, til høyre – utsnitt for tidsperioden 1920 til 2012

Sedimentet fra Hemnessjøen var gjennomgående gråfarget uten tydelig sjikting. Dette tyder på en høy andel av mineralsk materiale fra nedbørfelt og på en stabilt lavt biologisk aktivitet. Dette er i samsvar med feltobservasjoner og tidsforløpet av mengde organisk substans i sediment fra Hemnessjøen (figur 24).

Det var ikke mulig å påvise algepigmenter i sedimentet fra Hemnessjøen. Det ble derfor bestemt å bruke mengden av fossilt DNA som mål for biologisk aktivitet i vannsøylen. Det må understrekes at fossilt DNA i sediment kommer fra alger, dyr og bakterier. Fossilt DNA er derfor et mål for konsentrasjon av alle organismer i vannsøylen og ikke bare for konsentrasjon av alger. Også DNA er utsatt for bakteriell nedbrytning. Resultatene må derfor behandles som beskrevet for organisk substans og algepigmenter.

Med bakgrunn i dette og i måleresultatene våre (figur 24) kan vi anta at konsentrasjonen av organismer i Hemnessjøen ikke har endret seg mye mellom 1965 og i dag. Likevel ble det observert to topper (omtrent 1973-1975 og 2010-2012). Toppen mellom 2010 og 2012 er i samsvar med en moderat økning i mengden av algebiomasse som har blitt observert i felt.



Figur 24. Andel av organisk substans i sediment fra Hemnessjø (til venstre) og fossilt DNA i sediment fra Hemnessjø (til høyre)

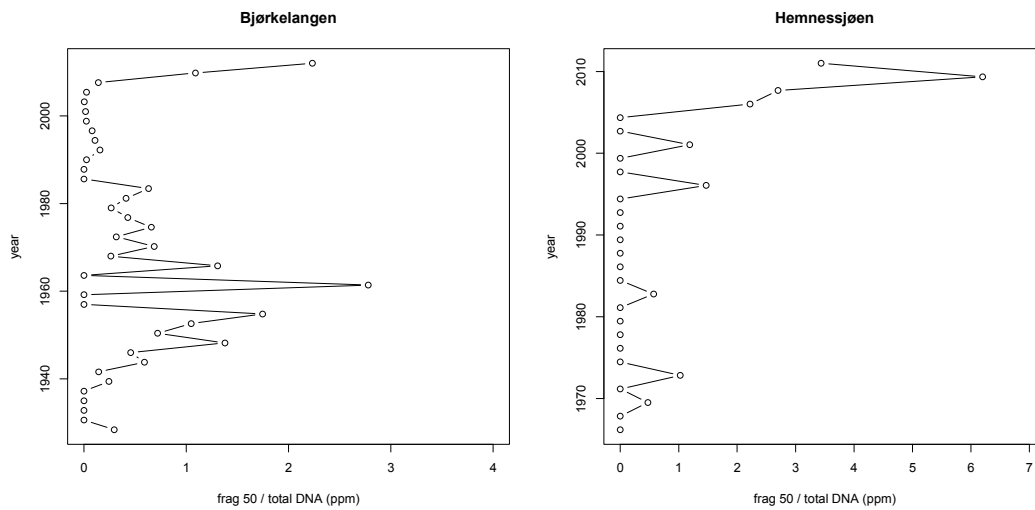
3.5 Forekomst av toksinproduserende cyanobakterier i innsjøene

En av utfordringene knyttet til eutrofiering av innsjøer er oppblomstringer av toksinproduserende cyanobakterier. Det er forholdsvis få arter som kan danne slike oppblomstringer. I undersøkelsen ble det benyttet arter av slekten *Planktothrix* som eksempler. *Planktothrix* forekommer jevnlig i Bjørkelangen, hvor den trolig står ansvarlig for mesteparten av toksinproduksjon. I Hemnessjøen kan *Planktothrix* dominere det lokale algesamfunnet.

Frem til nå har det vært umulig å påvise toksiske cyanobakterier i innsjøsedimenter. Vi har derfor utviklet en ny metode som benytter seg av fossilt DNA til å kvantifisere *Planktothrix* i historiske sedimenter. Metoden har en spesifisitet på mer enn 99 %. Resultatet påvirkes nokså mye av DNA-nedbrytning i sedimentet. Dvs. dersom en benytter seg av metoden til å kvantifisere *Planktothrix*, så underestimeres mengden ved bruk av gamle sedimenter. Feilen øker betydelig med alderen av sedimentet og det ble derfor bestemt ikke å analysere prøver som er eldre enn 90 år.

Med bakgrunn i dette og resultatene våre (figur 25) kan det fastslås at forekomsten av toksinproduserende cyanobakterier av slekten *Planktothrix* ikke er et nytt fenomen i Bjørkelangen. Tvert i mot, resultatene viser at betydelige mengder også forekom mellom 1940 og starten av 1960-tallet, en periode med høy konsentrasjon av alger i innsjøen (se ovenfor).

Også i Hemnessjøen ble det påvist *Planktothrix* med jevne mellomrom.



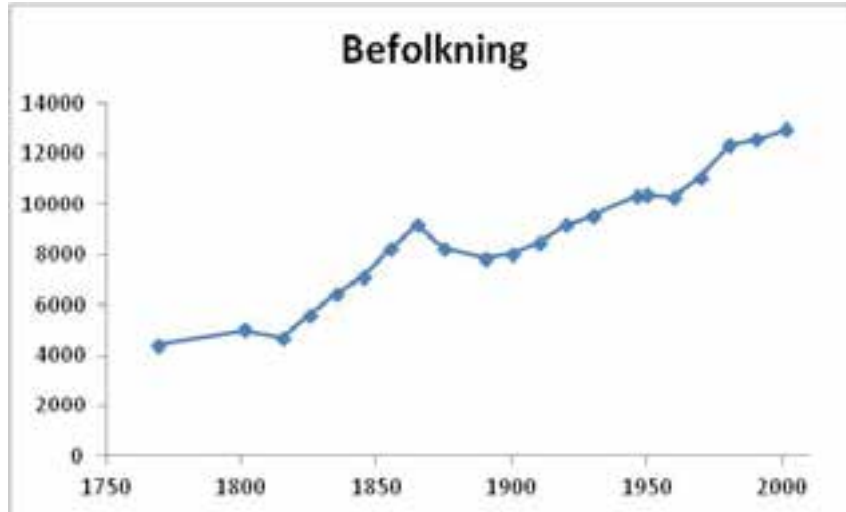
Figur 25. Betydning av *Planktothrix* i innsjøene. Mengden vises relativt til totalmengden av fossilt DNA i sedimentet.

3.6 Tolkning av resultater fra Bjørkelangen

Paleolimnologiske undersøkelser i Mjøsa (Hobæk mfl. 2012), Morsavassdraget (Hobæk mfl. 2009), Gjersjøenvassdraget og Steinsfjorden (Kyle mfl. 2014) viste to hovedmønstre for menneskelig påvirkning. I alle vann var algemengden på et lavt eller veldig lavt nivå før den menneskelige påvirkningen begynte. Urbaniseringen av nedbørfeltet i kombinasjon med en ikke tilstrekkelig infrastruktur for kloakkhåndtering medførte en kraftig økning i algemengden etter 1900 og særlig i 1960-tallene til 1980-tallene. Deretter ble det observert en bedring i vannkvalitet på grunn av nye renseanlegg og oppgradering av kloakkrørene. Innsjøer i områder med mye landbruk, som Storefjorden og Vanemfjorden i Morsavassdraget, ble kraftig påvirket av omlegging fra eng til kornproduksjon etter 1960. I disse innsjøene ble det observert en gradvis økning i algemengden etter 1960 til dagens høyt nivå.

Situasjonen i Bjørkelangen viser et mer komplekst bilde. Alle resultater tyder på at innsjøen har gjennomgått flere perioder med stor algemengde i de siste 400 år. Slike perioder varte flere årtier og ble avbrutt av perioder med forholdsvis lite biologisk aktivitet. I tillegg har vi funnet bevis for at toksinproduserende cyanobakterier har vært til stede i betydelige mengder allerede før intensivering av landbruk og kornproduksjon etter 1960.

En stor algemengde i perioder før 1900 er vanskelig å forklare med landbruk og/eller urbanisering. Nedbørfeltet til Bjørkelangen er preget av leire som er vanskelig å pløye med tradisjonelle metoder. Før 1900 var kornproduksjon derfor trolig på lavt nivå, noe som vanligvis begrenser transport av næringsstoffer til innsjøer. Aurskog-Høland Kommune har gjennomgått en forholdsvis langsom urbanisering med en moderat økning i befolkningstall mellom 1770 og i dag (Figur 26). Selv om vi ikke kan utelukke at urbaniseringen har påvirket Bjørkelangen, antyder mangelen på korrelasjon mellom befolkningstall og algemengden at denne påvirkningen ikke kan ha vært særlig stor.



Figur 26. Befolkningstall i Aurskog-Høland Kommune (Kilde: ssb.no)

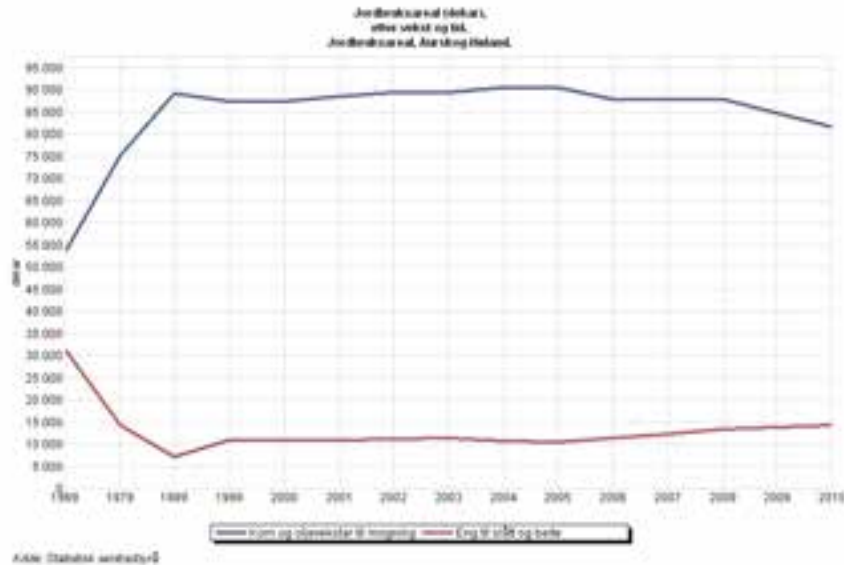
Ut fra den informasjonen vi har finnes det to måter å forklare den høye biologiske aktiviteten i Bjørkelangen i perioder før 1900:

- Innsjøen kunne ha blitt påvirket av skogsbruk og tømmerfløting som har foregått i området i flere 100 år. Tømmerfløting er ofte avhengig av vannstandsreguleringer. I tillegg er det ikke utenkelig at den medfører økning i transport av erosjonspartikler og næringsstoffer fra nedbørfelt til innsjøen.
- Innsjøen kunne være naturlig eutrof. Alle innsjøer gjennomgår en naturlig eutrofieringsprosess, hvor avsetning av sediment medfører reduksjon i innsjøenes dybde og dermed en reduksjon i fortykning av næringsstoffer og en økt tilgang til lys. Begge effekter forbedrer vekstforhold for algene. Den naturlige eutrofieringen er selvforsterkende og dens hastighet øker over tid. Hastigheten til et gitt tidspunkt avhenger blant annet av den naturlige transporten av erosjonsmateriale fra nedbørfelt, tilførsel av næringsstoffer fra nedbørfelt, lokale klimaforhold og innsjøenes levealder. Bjørkelangen er omtrent 10000 år gammel. Den ligger under den marine grensen i et område med mye leire. På grunn av en lang levetid og høy potensial for naturlig tilførsel av erosjonsmateriale og næringsstoffer fra nedbørfelt anser vi det som mulig at Bjørkelangen kan ha utviklet seg til en eutrof innsjø på naturlig måte. Forekomsten av andre naturlig eutrofe innsjøer i Haldenvassdraget (f. eks. Gjølssjøen) støtter denne hypotesen.

Utviklingen av Bjørkelangen etter 1940 er lettere å forklare. Innsjøen før dette tidspunktet beskrives som veldig flomutsatt: "Snøsmelting hver vår, samt lokale byger og lange regnværsperioder i løpet av sommeren, brakte elven til å stige over sine bredder, og Bjørkelangen Sjø som ikke var noe stort reservat for vannet, steg meget ofte til vårflohmøyde." (Sluttrapport senkningskomité, 1963). Det ble derfor bestemt å senke vannstanden med 1,2 m om vinteren og 1,62 m om sommeren. Arbeidene ble utført mellom 1940 og 1962 og medførte en reduksjon av flomutsatt areal i nedbørfelt med 6000 dekar (Sluttrapport senkningskomiteen, 1962). En slik senkning vil trolig redusere transport av erosjonspartikler og næringsstoffer fra nedbørfeltet til innsjøen. I tillegg reduseres andelen av grunne områder, noe som kan redusere algenes gjennomsnittlige tilgang til lys. Vi anser det derfor som sannsynlig at senkningen av vannstanden var hovedgrunnen for den lave algemengden etter 1960.

Parallelt til denne utviklingen ble det gjennomført en kraftig endring i landbrukspraksis; eng til slått og beite ble erstattet med intensiv kornproduksjon (figur 27). Som nevnt har dette i andre innsjøer

ført til en økning i tilførsel av erosjonspartikler og næringsstoffer og i mengden av alger. Det er sannsynlig at økningen i mengden i Bjørkelangen etter 1980 delvis kan forklares på samme måten.



Figur 27. Betydning av eng og kornproduksjon i Aurskog-Høland Kommune etter 1969 (Kilde: ssb.no).

Det norske klassifiseringssystemet iht. vannforskriften omfatter ikke innsjøer som kan være «naturlig eutrofe». Dersom Bjørkelangen er naturlig eutrof, ville det derfor være lite hensiktsmessig å forvalte innsjøen i forhold til dagens normer og grenseverdier. Vannstanden i innsjøen ble redusert i forhold til situasjonen før 1940. Mye tyder på at dette hadde en kraftig effekt på mengden og trolig også på resten av økosystemet. Senkningen av vannstanden må anses som ugjenkallelig og det er derfor lite hensiktsmessig å sammenligne dagens Bjørkelangen med situasjonen før senkningen eller med upåvirkete referanselokaliteter. Det kan derfor være aktuell å klassifisere innsjøen som sterk modifisert.

3.7 Tolkning av resultater fra Hemnessjøen

Resultater fra undersøkelsen av Hemnessjøen tegner et bilde av en lite påvirket innsjø med forholdsvis lav algekonsentrasjon. Forekomsten av toksinproduserende cyanobakterier av slekten *Planktothrix* er trolig naturlig og ikke et resultat av menneskelig påvirkning. Erfaringer fra andre innsjøer med *Planktothrix* (Gjersjøen, Kolbotnvannet, Steinsfjorden) tyder på at en moderat økning i næringsstofftilførsel kan gi betydelige oppblomstringer av *Planktothrix*. Det er derfor særlig viktig å holde tilførsel av næringsstoffer på lavt nivå også i fremtiden.

4. Felles oppsummering

Det er knyttet store utfordringer til vannkvaliteten i Haldenvassdraget. Målet med sammenstillingen av de lange tidsseriene har vært å se etter trender i utviklingen av vannkvaliteten i utvalgte innsjøer og om mulig se etter effekter av de gjennomførte tiltakene i Haldenvassdraget. Videre så kan vurderingen av de lange tidsseriene støttes av de paleolimnologiske undersøkelsene som er gjennomført i Bjørkelangen og Hemnessjøen. Målet med disse undersøkelsene har vært å kunne vurdere naturtilstanden og utviklingen i vannkvaliteten i de to innsjøene. Vi ønsker også å vurdere om vannforskriftens miljømål er realistiske for disse innsjøene.

Sammenstillingen av de lange tidsseriene viser i hovedsak at det er vanskelig å se noen klare trender i utviklingen av vannkvalitet i de utvalgte innsjøene. Derfor kan vi heller ikke peke på klare effekter av de gjennomførte tiltakene i Haldenvassdraget. Tidsseriene viser imidlertid at det er en klar sammenheng mellom nedbørsforhold, avrenning og særlig mengden av totalfosfor i innsjøene. Haldenvassdraget kan sies å være spesielt påvirket av klimaeffekter. Oppstrøms av Ørje er det hovedsakelig tilførsel av leirpartikler fra nedbørfeltet som øker tilgang til næring i innsjøene, men denne partikkeltilførselen vil også begrense lystilgang for algeveksten. I hele Haldenvassdraget har også humustilførslene og humusinnholdet i innsjøene økt de siste tiårene. Dette skyldes både en reduksjon i sur nedbør (særlig frem til omtrent år 2000) og endret klima med mer kraftige nedbørsepisoder som gir mer utlekking av humus til vassdragene.

Disse såkalte klimaeffektene kan ha komplekse effekter på transport av totalfosfor og utvikling av algemengde i innsjøene og det kan forekomme store år til år variasjoner i vannkvaliteten. Slike klimaeffekter gjør det derfor også vanskelig å bevise effekten av tiltak.

På 1970- og 1980 tallet ble det gjennomført store vassdragsaksjoner som medførte varig bedring i vannkvaliteten i en rekke norske innsjøer. Godt kjente eksempler er Mjøsa, Tyrifjorden og Gjersjøen. Felles for mange av disse innsjøene er at mange av tiltakene var særlig knyttet til reduksjon i utslipp av fosfor (kloakk, vaskemidler, tiltak i landbruk). Dette har medført at det er et spesielt sterkt fokus på at fosfor er den styrende faktoren i eutrofiering og at en reduksjon i fosfortilførsler er det viktigste tiltaket for bedret vannkvalitet i våre eutrofierte innsjøer. Dette er også godt forankret i nasjonal og internasjonal forskning.

I et lavlandsvassdrag som Haldenvassdraget, som ligger under den marine grense, og som er sterkt påvirket av klimaeffekter, ser vi allikevel at det ikke er enkle årsakssammenhenger og dermed enkle løsninger på problemene med vannkvaliteten. De paleolimnologiske undersøkelsene i Bjørkelangen viste at det var store variasjoner i algemengden også i tider som ikke fullstendig kan forklares med menneskelig aktivitet. I Bjørkelangen tyder resultatene fra de lange sedimentkjernene på at det har vært perioder med algeoppblomstringer i hele perioden på om lag 400 år. Dette viser oss at vi ikke har full forståelse for faktorene som styrer utviklingen av algemengde og vannkvalitet i vassdraget.

I klassifiseringsveilederen iht. vannforskriften (Veileder 02: 2013, Direktoratgruppen 2013) finnes i dag ingen egen vanntype med tilpassede miljømål for leirpåvirkede innsjøer. Grunnen til dette er at det ikke er nok kunnskap om naturtilstanden i slike leirpåvirkede innsjøer. De paleolimnologiske undersøkelsene i Bjørkelangen viser da også at det har vært næringsrike forhold i denne innsjøen i over 400 år, og at dette igjen antyder at innsjøen kan være naturlig næringsrik.

Et viktig steg i forvaltningen av leirpåvirkede innsjøer må være å fremskaffe bedre kunnskap om naturtilstanden og deretter å utvikle en egne innsjøtype med realistiske miljømål.

Skulberg beskriver i «Haldenvassdragets personlighet – om natur og limnologiske forhold» i 1997: *«hvert enkelt vassdrag er et enkeltstående fenomen, noe spesielt og særegent. Å kunne forstå et vassdrags beskaffenhet eller karakter er nødvendig for innlevelse i samspillet mellom organismeliv og miljø i et nedbørfelt. Dette danner basis for praktiske handlinger som kan være i harmoni med de naturgitte forutsetninger. I dette ligger nøkkelen til en ressursforvaltning som har grunnlag i vassdraget som økosystem».*

5. Referanser

- Berge, D. 2002. Beregning av akseptabel fosfortilførsel til innsjøene Bjørkelangen, Skulerudsjøen og Rødenessjøen i Haldenvassdraget. NIVA-rapport 4557-2002. 15 s.
- Berge, D. 2004. innsjøinterne- og hydrologiske tiltak i Bjørkelangen. Delutredning i forbindelse med forenklet tiltaksanalyse for Haldenvassdraget. NIVA-rapport 2926-2004. 39 s.
- Bjørndalen, K. 1983. Overvåking av Haldenvassdraget 1982. Statlig program for forurensingsovervåking. Rapport nr. 80/83. 34 s.
- Bjørndalen K., Hauger T. og Vallner P. 1984. Overvåking av Haldenvassdraget 1983. Statlig program for forurensingsovervåking. Rapport nr. 167/83. 45 s.
- Borsáyi P. 2012. Konsekvenser av endret manøvrering Haldenvassdraget. Modellering av scenarioer. Rapport nr. 2-2012. NVE. 75 s
- Direktoratgruppa Vanndirektivet. 2009. Veileder 01:2009 Klassifisering av miljøtilstand i vann, Direktoratgruppa for gjennomføringen av vanndirektivet, 180 s.
- Direktoratgruppa Vanndirektivet 2013. Veileder 02:2013. Klassifisering av miljøtilstand i vann, Direktoratgruppa for gjennomføring av Vanndirektivet. 263 s.
- Duklæt HS. 1964. Bjørkelangen. En humusrik, kulturpåvirket sjø under den marine grense. Hovedoppgave, Universitetet i Oslo. 119 s.
- Fylkesmannen i Oslo og Akershus. Upublisert oversikt. Vassdragsovervåking Haldenvassdraget – Oversikt over rapporter fra ANØ-miljøkompetanse og Fylkesmannen i Oslo og Akershus.
- Fylkesmannen i Østfold 2007. Fylkesmannen i Østfold. Miljøvern. Rapporter gjennom 25 år, 1982-2007, en bibliografi. Fylkesmannen i Østfold, miljøvern, rapport nr. 7, 2007. 55 s.
- Hobæk A., Løvik JE., Rohrlack T., Moe JS., Grung M., Bennion G., Piliposyan GT. 2012. Eutrophication, recovery and temperature in Lake Mjøsa: detecting trends with monitoring data and sediment records. *Freshwater Biology* 57 (10), 1998–2014.
- Hobæk A., Bjørndalen K., Grung M., Johansen SW., Rohrlack T., Lyche Solheim A., Bennion H., Burgess A., Yang H. 2009. Utredninger Vansjø 2006 - Undersøkelser av naturtilstanden og eutrofieringsutviklingen i Vansjø. NIVA rapport OR-26280
- Holtan H. 1967a. Rapport I. Beskrivelser og undersøkelser av vannforekomster. Del 4. Andre vassdrag og innsjøer. NIVA, O-110/65. 208 s.
- Holtan H. 1967b. Undersøkelse av Femsjøen og Lille Ertevatn som drikkevannskilder for Halden vannverk. NIVA, O-115/64. 30 s.

Kollerud O. 1964. Innsjøen Øgderen (Hemnessjøen). En grunn, leirfylt sjø i Indre Akershus. Hovedoppgave, Universitetet i Oslo. 112 s.

Krog, O. 1944. Rødenesjøens morfologi. Nors Geografisk Tidsskrift, 1, s. 44-48.

Küpfer H., Seibert S., Parameswaran A. 2007. Fast, sensitive, and inexpensive alternative to analytical pigment HPLC: quantification of chlorophylls and carotenoids in crude extracts by fitting with Gauss peak spectra. Anal Chem. 79(20), 7611-27.

Kyle M., Haande S., Sønstebø J., Rohrlack T. 2014. Sediment core DNA amplification to detect *Planktothrix* occurrence in three Norwegian lakes. Journal of Paleolimnology. I trykk.

NIVA 2005-2014. Overvåking av Haldenvassdraget. Årlige overvåkingsnotat. Ikke publisert.

Senkningskomité (Aurskog). Sluttrapport 1963. Oversendt av Finn Grimsrud

SFT 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. Statens forurensingstilsyn – SFT Veiledning 97:04.

Skulberg OM. 1969. Resipientundersøkelse for Ørje, Marker kommune 1967-1968. NIVA, O-29/67. 33 s.

Skulberg OM. 1972. Undersøkelse av Haldenvassdraget. Resultater av vassdragsundersøkelser 1967-1972. NIVA, O-29/70. 47 s.

Skulberg OM., Kotai J. og Aaker R. 1979. Undersøkelser i Haldenvassdraget. Hoveddata for perioden 1972-1978. NIVA, O-70219. Flere deler:

Forklaring til bruk av datasamlingen. 20 s.

Del 1: Hoveddata for perioden 1972-1975.

Del 2: Hoveddata for 1976

Del 3: Hoveddata for 1977

Del 4: Hoveddata for 1978

Del 5: Planteplankton i innsjøene - septemberhåvtrekk, 1961-1976.

Del 6: Mikrobiologiske undersøkelser i perioden 1977-1979.

Skulberg OM. og Kotai J. 1981. Overvåking av Haldenvassdraget 1980. Akershus og Østfold. NIVA-rapport 1363-1981. 67 s.

Skulberg OM. og Kotai J. 1982. Overvåking av Haldenvassdraget 1981. Akershus og Østfold. NIVA-rapport 1428-1982. 37 s.

Skulberg OM. og Kotai J. 1982. Haldenvassdraget – Vannkvalitet og forurensingsvirkninger. Resultater av vassdragsundersøkelser for Haldenvassdragets Vassdragsforbund 1975-1981. NIVA-rapport 1367. 179 s.

Skulberg OM. og Kotai J. 1990. Giftproduserende blågrønnalger i Haldenvassdraget. Observasjoner utført i 1989. NIVA-rapport F-528-1990. 32 s.

Sønsterud PE. 1968. Femsjøen. En regulert rademt sjø i Haldenvassdraget. Hovedoppgave, Universitetet i Oslo. 168 s.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

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



Norsk institutt for vannforskning

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