

NIVA

RAPPORT L.NR. 6313-2012

COWI

Grytehullsjøer Ullensaker. Overvåking av vannkvalitet og vurdering av tiltak



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

NIVA Midt-Norge

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

Tittel Grytehullsjøer Ullensaker. Overvåking av vannkvalitet og vurdering av tiltak.	Løpenr. (for bestilling) 6313-2012	Dato 01.03.20112
	Prosjektnr. Undernr. 11370	Sider Pris 30
Forfatter(e) Torleif Bækken og Svein Ole Åstebøl (COWI)	Fagområde Vannressursforvaltning	Distribusjon Fri
	Geografisk område Akershus	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statens vegvesen, Region øst	Oppdragsreferanse Elisabeth Rødland
--	--

Sammendrag	
<p>Prosjektet har vurdert påvirkning av vegforurensning på 6 grytehullsjøer i Ullensaker. Resultatene viser at Nordbytjern og Skåntjern er påvirket av vegsalt via grunnvann. Dette har gitt en kloridøkning på henholdsvis 5 til 23, og 2 til 53 mg Cl/l fra 70-tallet til 2011. Saltet har ikke gitt sjiktning/oksygensvinn. Nordbytjern er naturlig permanent sjiktet (meromiktisk). I Svarttjern var det en kjemisk sjiktning og oksygensvinn med høye kloridkonsentrasjoner, som varierte mellom 80 mg Cl/l i overflaten til 120 mg Cl/l i bunnvannet. En sannsynlig kilde er veisaltning og at klorid kommer til Svarttjern via grunnvannet. Ingen av de andre tjernene (Svenskestutjern, Bonntjern og Vilbergstjern) var påvirket av salt. Vannprøver viste at tjernene var ubetydelig eller moderat forurenset av metaller. Unntaket var kobber som ble funnet i konsentrasjoner tilsvarende moderat og sterkt forurensningstilstand. Alle sedimentene var preget av organisk materiale, og ubetydelig eller moderat forurenset av metaller. Alle lokalitetene med unntak av tre viste god tilstand for sum PAH 16. Svenkestutjern, Norbytjern og Svarttjern var markert forurenset av PAH 16. Grunnforholdene på Gardermoen består av sand- og grusmasser. Overvannet fra vei infiltrerer i grunnen i veiens sidegrøfter og partikkelbundne veiforurensninger tilbakeholdes i jordmassen. Reduksjon i saltforurensning på nære vannforekomster kan gjøres ved oppsamling av drens vannet på veiskulderen vha. kantstein og gatesluk tilkoblet en overvannsledning og på oppsamling i tette veigrøfter. Bortledning av overvannet skjer så via ledning til alternativ resipient.</p>	
Fire norske emneord	Fire engelske emneord
<ol style="list-style-type: none"> Vegforurensning Vegsalt Innsjø Tiltak 	<ol style="list-style-type: none"> Traffic pollution Road salt Lake Measure

Torleif Bækken
Torleif Bækken
Prosjektleder

Karl Jan Aanes
Karl Jan Aanes
Forskningsleder

Brit Lisa Skjellkvåle
Brit Lisa Skjellkvåle
Forskningsdirektør

Grytehullsjøer Ullensaker.

Overvåking av vannkvalitet og vurdering av tiltak

Forord

Vannforskriften ble gjort gjeldende fra 15.12.2006. Forskriften har til hensikt å gi rammer for fastsettelse av miljømål som skal sikre en mest mulig helhetlig beskyttelse og bærekraftig bruk av vannforekomstene (FOR 2006-12-15 nr. 1446). Foreliggende undersøkelse har sett på virkningen av vegforurensninger på vann- og sedimentkjemiske forhold i 6 grytehullsjøer på Romerike. Tiltak er vurdert.

Elisabeth Rødland har vært kontaktperson hos Statens vegvesen Region øst. Svein Ole Åstebøl ved COWI har vurdert tiltakene. Undertegnede har vært prosjektleder ved NIVA.

Oslo, 01.03.2012

Torleif Bækken

Innhold

Innhold	5
Sammendrag	6
Summary	8
1. Innledning	9
2. Metode og materiale	9
2.1 Lokalteter	9
2.2 Innsamling og analyse	13
3. Resultater	13
3.1 Vannkjemi	13
3.1.1 Vanntyper	13
3.1.2 Sprangsjiktet	14
3.1.3 Metaller	20
3.2 Sediment	21
4. Tiltak	25
4.1 Generelt om tiltak mot veiavrenning	25
4.2 Avrenning og overvannssystem	26
4.3 Aktuelle tiltak	28
5. Litteratur	30

Sammendrag

Foreliggende prosjekt skal undersøke eventuell påvirkning fra vegforurensning, og da særlig med hensyn på problemer knyttet til tilførsel av vegsalt, men også i forhold til andre aktuelle kjemiske forbindelser. Prosjektet skal anbefale beskyttelsestiltak. Undersøkelsen gjelder seks såkalte grytehullsjøer (isgropsjøer). Innsjøene ligger langs saltet veg i Ullensaker kommune. De ligger alle innenfor området til Norges største grunnvannsmagasin.

Tilstand

Nordbytjern, Svarttjern og Skåntjern er små, kalkrike og klare innsjøer. Denne kombinasjonen har ikke egen klasse i typifiseringern av innsjøer. Bonntjern er moderat kalkrik og klar. Det er innsjøtype 3 (L-N1), mens Svenskestutjern og Vilbergtjern er kalkfattige og klare, innsjøtype 1 (L-N2).

I Nordbytjern var det en tydelig kjemisk sjiktning med oksygenvinn i september og november 2011. Klorider var jevnt fordelt i vannmassene og synes ikke å bidra til sjiktningen. Konsentrasjonen av klorid har økt fra ca. 5 mg/l på begynnelsen av 1970-tallet til ca. 23 mg/l i 2011. Dette skyldes sannsynligvis vegsalt tilført via grunnvannet. Nordbytjern er fra tidligere kjent som et meromiktisk tjern.

I Svarttjern var det en kjemisk sjiktning med oksygenvinn i september og november. Det hadde ikke foregått en fullsirkulasjon i Svarttjern på prøvetidspunktet. Konsentrasjonene av klorider var høye i hele vannsøylen med ca. 80 mg/l i overflatevannet og fra 100 til 120 mg/l i bunnvannet. Forskjellen mellom overflatevann og bunnvann viser at klorid også bidrar til den kjemiske sjiktningen. Det er sannsynlig at klorid kommer fra vegsalt via grunnvannet.

I Skåntjern ble det ikke observert sprangsjiktverken i september eller november. Kloridkonsentrasjonene var forholdsvis høye med ca. 50-60 mg/l. Kloridkonsentrasjonen har økt fra ca. 2 mg/l på begynnelsen av 1970-tallet til 53 mg/l i 2011. Dette skyldes sannsynligvis vegsalt tilført via grunnvannet.

I Svenskestutjern ble det ikke observert en tydelig sjiktning av konduktivitet i september. Verdiene var lave. Oksygenkonsentrasjonen var imidlertid kraftig redusert i bunnvannet. I november ble det ikke observert sprangsjikt. Det hadde foregått en høstsirkulasjon av vannmassene. Kloridkonsentrasjonene var lave både i overflatevannet og bunnvannet både i september og november (ca. 1.5 mg/l). Svenskestutjern synes ikke å være påvirket av vegsalt.

I Bonntjern var det en svak sjiktning av konduktivitet i september. Verdiene var lave. Oksygenkonsentrasjonen var kraftig redusert i bunnvannet. I november ble det ikke observert sprangsjikt. Det var oksygen i hele vannsøylen. Det hadde foregått en høstsirkulasjon vannmassene. Kloridkonsentrasjonene var lave i overflatevannet og bunnvannet både i september og november (ca. 1.2 -2.3 mg/l). Bonntjern synes ikke å være påvirket av vegsalt.

I Vilbergtjern var det en svak sjiktning av konduktivitet i september. Verdiene var lave. Oksygenkonsentrasjonen var imidlertid kraftig redusert i bunnvannet. I november ble det påvist en tydelig konduktivitetsøkning mot bunnen, sammen med oksygenvinn. Det ser derfor ikke ut til at Vilbergtjern har hatt en fullstendig høstsirkulasjon i slutten ved siste prøvetaking. Kloridkonsentrasjonene var lave i overflatevannet og bunnvannet både i september og november (ca. 1 mg/l). Vilbergtjern synes ikke å være påvirket av vegsalt.

Generelt var det høyere konsentrasjoner av totalt fosfor i bunnvannet enn i overflaten. Alle innsjøene, unntatt Skåntjern, hadde oksygenvinn i bunnvannet i september. Den økningen av fosfor i bunnvannet kan derfor tenkes å være utlekking fra sedimentet. Men økningen kan også være et resultat av

oppbygning av fosfor i sedimenterende organisk materiale. Innsjøene var ubetydelig eller moderat forurenset av de fleste metallene. Unntaket var kobber som ble funnet i konsentrasjoner tilsvarende moderat og sterkt forurenset i flere innsjøer. Nikkel ble også funnet i forhøyede konsentrasjoner, men bare i Nordbytjern (markert forurenset). De høyeste kobberkonsentrasjonene var oftest å finne i overflatevannet.

Sedimentene i alle innsjøene var i større eller mindre grad preget av organisk materiale med en løs konsistens og et høyt vanninnhold. Konsentrasjonene av totalt fosfor (tot-P) var forholdsvis høye i Nordbytjern og Skåntjern med henholdsvis ca 5.1 µg/mg og 3 µg/mg i overflatesedimentet. I de andre innsjøene var konsentrasjonene ganske like og bare moderat høye med fra 1.7 til 1.9 µg/mg. Konsentrasjonene av totalt nitrogen (tot-N) og totalt organisk karbon (TOC) var forholdsvis høye og en konsekvens av stort innhold av organisk materiale.

Konsentrasjonene av metaller i sedimentene var lave i alle innsjøene med verdier tilsvarende ubetydelig eller moderat forurenset sediment. Tilstanden var oftest god i forhold til sum PAH 16. Tre prøver var markert forurenset av PAH 16 (Svenkestutjernet overflate, Norbytjern ref og Svarttjern ref.)

Tiltak

Grunnforholdene på Gardermoen består av sand- og grusmasser. Overvannet fra vei infiltrerer i grunnen i veiens sidegrøfter og partikkelbundne veiforurensninger tilbakeholdes i jordmassen. Veisaltet derimot løses fullstendig i vann og siger ned i grunnen og transporteres videre med grunnvannstrømmen. Vannforekomster som har grunnvannstilstrømning og ligger nedstrøms saltede veier påvirkes av veisalt. Skåntjern, Svarttjern og Nordbytjern tilhører alle denne kategori og har saltpåvirkning fra vei. Vilbergtjern ligger også nedstrøms saltet vei (E6), men innsjøen er isolert fra grunnvannsstrømmen og er således ikke saltpåvirket. Bonntjern og Svenskestutjern har liten eller ingen grunnvannstilstrømning og i tillegg ligger innsjøene oppstrøms saltede hovedveier. Disse innsjøene har derfor heller ingen påvist saltpåvirkning.

For innsjøene med saltforurensning kan en reduksjon i belastningen baseres på 2 hovedløsninger (reduisert saltforbruk vurderes ikke i dette prosjektet):

- Kantoppsamling på veiskulder basert på tradisjonell kantstein og gatesluk tilkoblet overvannsledning for bortledning til alternativ resipient
- Oppsamling i veigrøft basert på tetting av grøft med membran. Bortledning av overvannet via ledning til alternativ resipient.

Tiltakene er anleggsmessig omfattende og har utfordringer knyttet til fallforhold (selvfallsanlegg), fremføring av ledningsanlegg og alternativ resipient.

Summary

Title: The effects of highway run off water on kettle lakes in South of Norway

Year: 2012

Author: Torleif Bækken and Svein Ole Åstebøl

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6048-9

The pollution of highway runoff on lakes has been investigated at 6 kettle lakes in south of Norway. The lakes Nordbytjern, Skåntjern and Svarttjern were affected by road salt transported via ground water. The chloride concentrations have increased from 5 to 23 mg/l and from 2 to 53 mg/l in Nordbytjern and Skåntjern, respectively, since before road salt application started and until 2011. There was however, no chloride gradient with depth in these lakes. Lake Nordbytjern is previously stated meromictic. In Lake Svarttjern there was a chloride gradient with depth and oxygen deficit in the hypolimnion. Chloride concentrations were high both in the epi- and hypolimnion (80 and 120 mg/l). None of the other 3 lakes were affected by road salt. Several lakes were polluted by Cu in the water, however, only moderately polluted by other heavy metals. The sediment in all lakes were organic and only moderately polluted by heavy metals and PAH. Due to the fluvio-glacial ground made of sand and gravel, the runoff water will infiltrate to the ground water. However, the soil will hold back particle bound pollution. The road salt pollution may be reduced by collecting runoff water from water tight road shoulders and ditches and leading the polluted water to an alternative recipient eventually via a retention/sedimentation pond.

1. Innledning

Vannforskriften ble gjort gjeldende fra 15.12.2006. Forskriften har til hensikt å gi rammer for fastsettelse av miljømål som skal sikre en mest mulig helhetlig beskyttelse og bærekraftig bruk av vannforekomstene.

Vegtrafikk og drift av veger medfører produksjon av forurensninger. Avrenningsvann fra veg og veggrofter kan derfor inneholde høye konsentrasjoner av en lang rekke kjemiske forbindelser. Blant de vanligste er vegsalt, enkelte tungmetaller og PAH. Stoffene følger avrenningsvannet til en resipient. Vegsalt inntar her en spesiell stilling fordi det brukes i meget store mengder, det løses lett i vann, og følger derfor vannstrømmene. Konsentrasjonene av salt i resipientene kan derfor forventes å øke så lenge saltbruken øker. Vann med høy konsentrasjon av salt er tyngre enn vanlig ferskvann. I noen situasjoner vil tungt, saltholdig vann renne av til en innsjø og lagre seg ved bunnen. Det kan videre medføre at vannet i innsjøen ikke fullsirkulerer vår og høst som normalt. Det igjen medfører dannelse av oksygenfritt bunnvann og et dødt område i innsjøen. Innsjøer med permanent kjemisk sjiktning og oksygenfritt bunnvann finnes også naturlig (meromiktiske innsjøer), men de er uvanlige i Norge.

I henhold til Vannforskriften er den biologiske effekten av salt og andre vegforurensninger i innsjøen en viktig og avgjørende faktor for å vurdere tiltak. Ved saltpåførte sjiktninger som blir permanente (meromiksis), endres de fysiske og kjemiske forholdene i innsjøene vesentlig med påfølgende store biologiske endringer. Detaljene i dette er lite undersøkt i Norge. I tillegg kan forhøyede saltkonsentrasjoner i hele eller deler av vannmassene gi biologiske virkninger. Undersøkelser har vist at det kan skje endringer i planteplanktonsamfunnet ved omkring 20-25 mg salt pr. liter (Haugen et al. 2011). Dette er konsentrasjoner som tidligere er påvist i flere saltpåvirkede innsjøer (Bækken og Haugen 2006, Bækken og Haugen 2012).

Tungmetaller og PAH i vegavrenningen er i stor grad knyttet til partikler. Disse forbindelsene vil derfor for en del holdes tilbake i grøfter og vegkanter. Der de kommer ut i tjern og innsjøer vil en betydelig andel sedimentere på bunnen (Bækken & Færøvig 2004). En mindre andel vil imidlertid kunne holde seg løst i selve vannfasen. Dette avhenger av flere forhold blant annet type metall og den øvrige vannkjemien. Høye konsentrasjoner av salt i smeltevann i grøfter øker mobiliteten til tungmetallene og gjør at de lettere vil kunne transporteres til resipientene.

Foreliggende prosjekt skal undersøke eventuell påvirkning fra vegforurensning, og da særlig med hensyn på problemer knyttet til tilførsel av vegsalt, men også i forhold til andre aktuelle kjemiske forbindelser. Prosjektet skal anbefale beskyttelsestiltak. Undersøkelsen gjelder 6 såkalte grytehullsjøer (isgropsjøer). Innsjøene ligger langs saltet veg i Ullensaker kommune. De ligger alle innenfor området til Norges største grunnvannsmagasin.

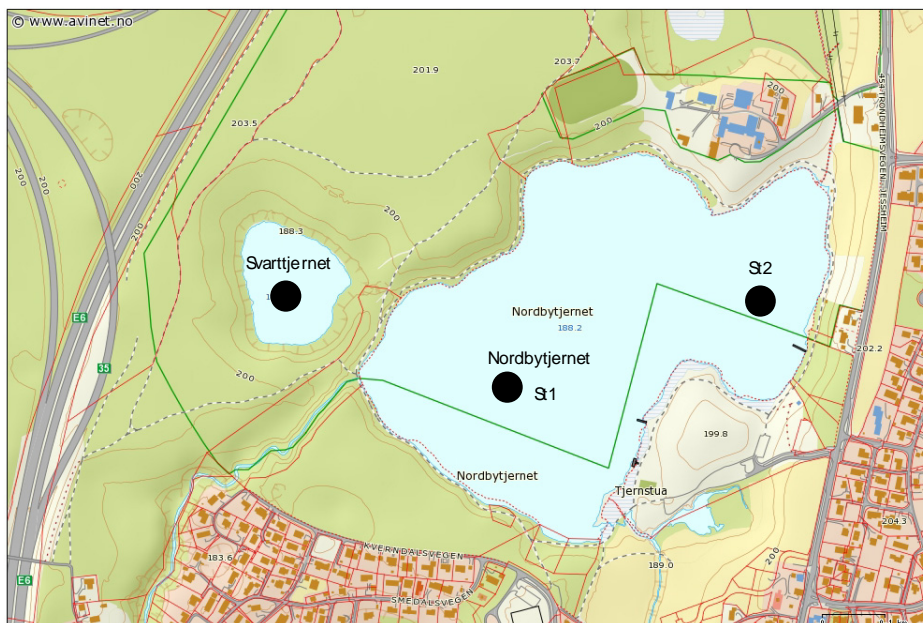
2. Metode og materiale

2.1 Lokalteter

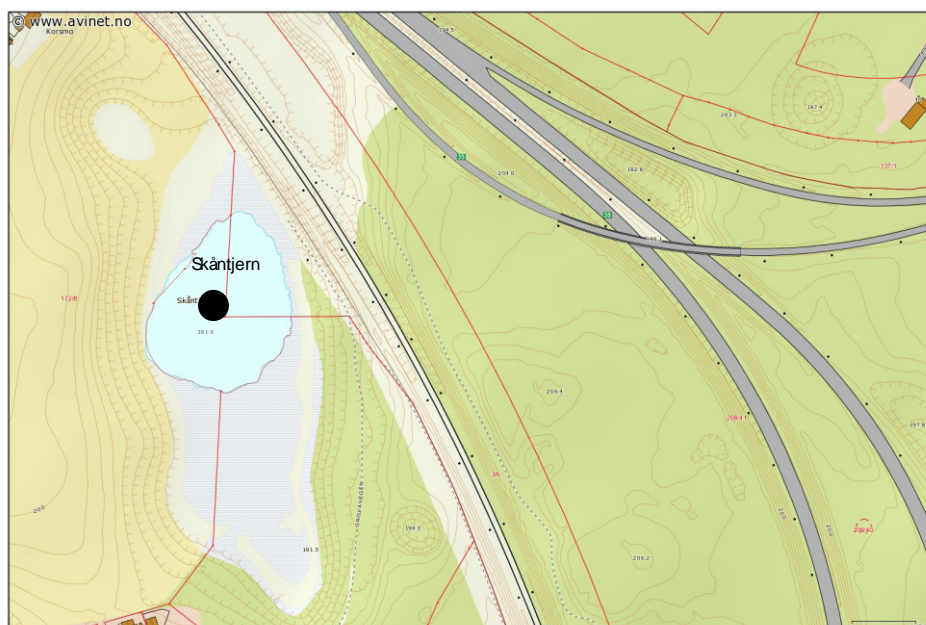
Statens vegvesen hadde valgt ut Nordbytjern som en obligatorisk lokalitet for undersøkelsen. De andre 5 undersøkte innsjøene er valgt av NIVA. Kriteriet har først og fremst vært at vannene skal potensielt være påvirket av avrenning fra veg og trafikk, enten fra overflateavrenning eller via grunnvann. I hele dette området kommer mye av vanntilførselen via grunnvann (**Figur 20**). Bare Nordbytjern har klart definerte innløpsbekker og en utløpsbekk. De utvalgte innsjøene er Nordbytjern, Svarttjern, Skåntjern, Svenskestutjern, Bonntjern og Vilbergtjern (**Figur 1**). Innsjøene er små, og har største dyp fra ca 5 til 20 m.



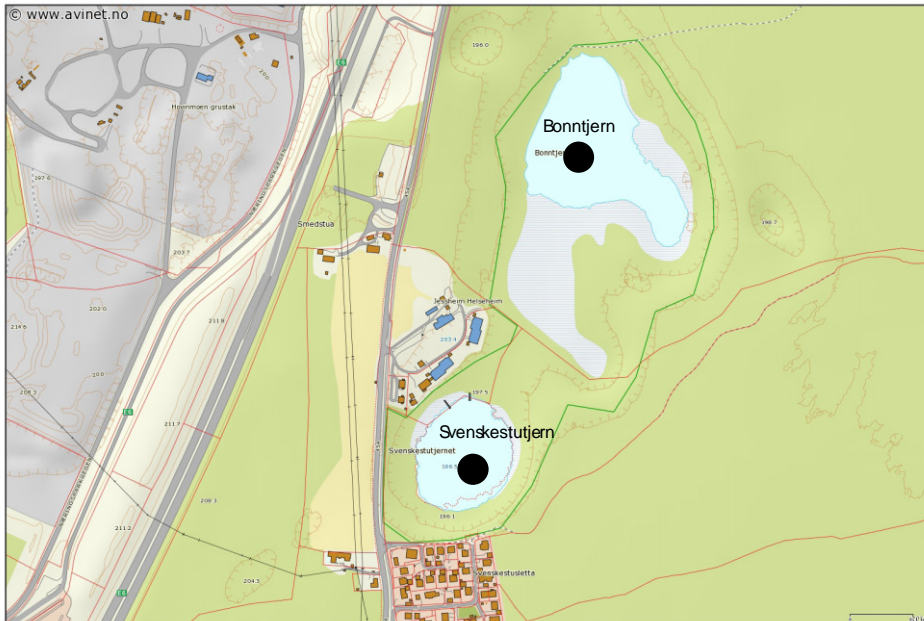
Figur 1. Oversiktskart med innsjøer i det undersøkte området i Ullensaker.



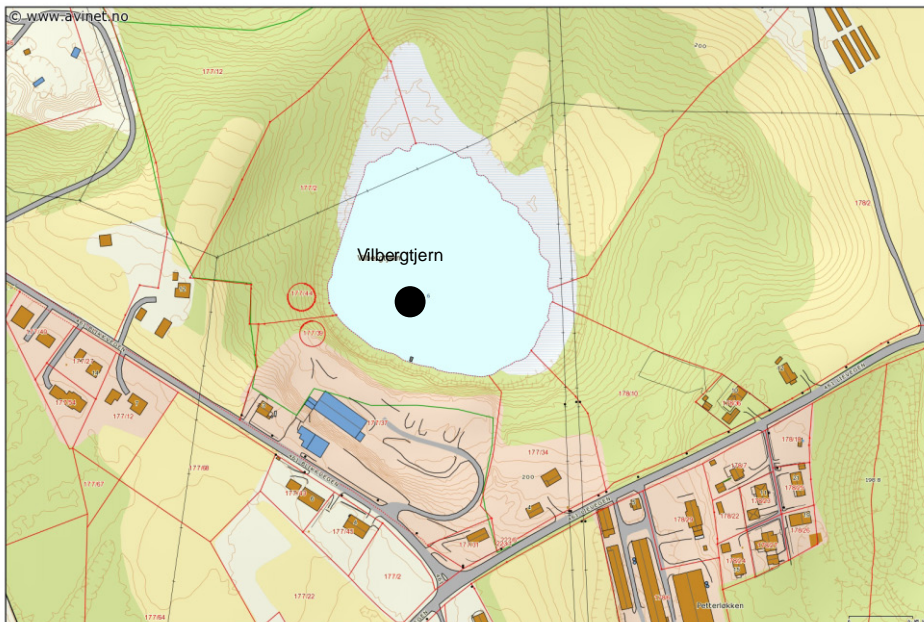
Figur 2. Veger og terreng ved Svarttjern og Nordbytjern. Prøvetakingspunkter er markert.



Figur 3. Veger og terreng ved Skåntjern. Prøvetakingspunkter er markert.



Figur 4. Veger og terreng ved Svenskestutjern og Bonntjern. Prøvetakingspunkter er markert.



Figur 5. Veger og terreng ved Vilbergjern. Prøvetakingspunkter er markert.

2.2 Innsamling og analyse

Prøver fra alle innsjøene ble tatt høsten 2011. Det ble tatt vannprøver i slutten av september og i slutten av november. Hensikten var å beskrive den vannkjemiske/fysiske tilstanden før og etter en normal fullsirkulasjon av vannmassene i innsjøene. Prøvene ble tatt fra dypeste sted i innsjøen. Dersom det ble påvist klart adskilte innsjøbasseng i innsjøene ble det tatt prøver fra hvert basseng. Det ble tatt sedimentprøver fra samme sted som vannprøvene.

Vannprøvene ble analysert på farge, og kalsium for å kunne angi innsjøtype. I tillegg ble det analysert på klorid, totalt fosfor samt et utvalg av 10 metaller: Kalsium (Ca), kadmium (Cd), krom (Cr), kobber (Cu), jern (Fe), natrium (Na), nikkel (Ni), bly (Pb), antimon (Sb) og sink (Zn). Ved hver prøvestasjon ble det også målt temperatur, konduktivitet, oksygenkonsentrasjon, pH og turbiditet gjennom hele vannsøylen.

Sedimentprøvene ble tatt opp med en rørhenter, slik at vi fikk opp en lang inntakt sedimentsøyle. To sedimentprøver et overflatesediment (0-2 cm) og et bunnsediment (nederste 3 cm i sedimentsøylen) ble analysert hver for seg på de samme 10 metallene som for vannprøvene. I tillegg ble det i sedimentet analysert på kvikksølv (Hg) og PAH (Polysykliske Aromatiske Hydrokarboner), olje (THC), totalt fosfor (tot-P), totalt karbon (TOC) og total gløderest (TGR, som samtidig angir det organiske innholdet). Sedimentsøylen ble fotografert og det ble gjort en visuell karakterisering av type sedimentet i felt.

3. Resultater

3.1 Vannkjemisk

3.1.1 Vanntyper

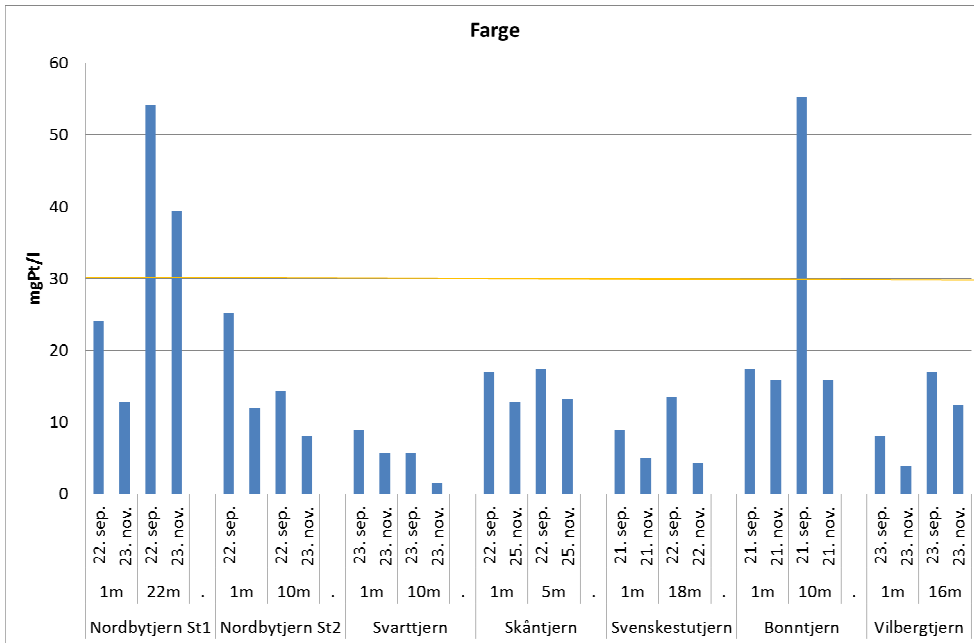
Innsjøene er av flere vanntyper. De hadde mye eller lite kalsium og de hadde lavt/moderat høyt humusinnhold. Alle er beliggende i lavlandet og har et areal mindre enn 5 km².

For de fleste prøvene var fargetallene i overflatevannet lavere enn 30 mg Pt/l, som er angitt som skillet mellom en klar og en humøs innsjø. Det vil være årstidsvariasjoner i fargeverdier. De høye verdiene i overflatevannet Nordbytjern kan være forårsaket av mye nedbør og avrenning fra nedbørfeltet forut for prøvetakingene. Kalsiumkonsentrasjonene i overflatevannet for Nordbytjern, Svarttjern og Skåntjern lå over 20 mg/l og de defineres derved som «kalkrike». Bonntjern ligger i klassen under og betegnes «moderat kalkrik». De to siste innsjøene, Svenskestutjern og Vilbergstjern, hadde meget lave kalsiumkonsentrasjoner (<1 mg/l) og betegnes som «svært kalkfattige». Ut fra måleresultatene og vurderingen av disse anser vi Nordbytjern, Svarttjern og Skåntjern som små, kalkrike og klare. Denne kombinasjonen har ikke fått egen klasse i typifiseringern. Bonntjern er moderat kalkrik og klar. Det er innsjøtype 3 (L-N1), mens Svenskestutjern og Vilbergstjern er innsjøtype 1 (L-N2).

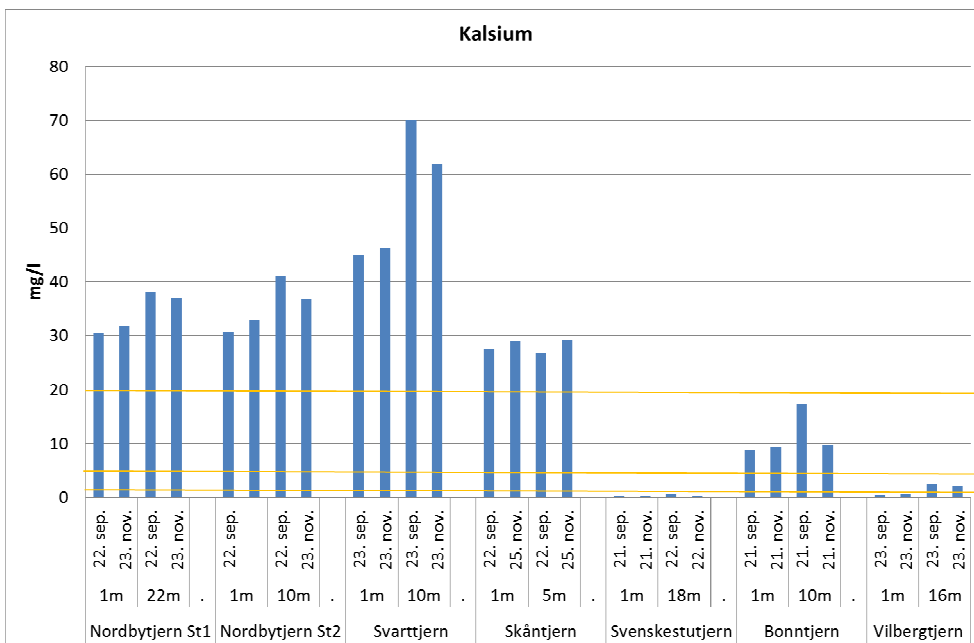
I flere av innsjøene var humusinnholdet ulikt i overflatevannet og bunnvannet. Stor avrenning i løpet av sommer og høst vil påvirke humusinnholdet i overflatevannet. I dypere områder av innsjøen vil mikrobiell nedbrytning av organisk materiale bidra til økt humusinnhold. Økende humusmengder bidrar også til en økning i vannets tetthet.

For kalsium var det i Nordbytjern og Svarttjern høyere konsentrasjoner i bunnvannet enn i overflatevannet. Kalsiumkonsentrasjoner i innsjøer er oftest et resultat av innholdet av kalsium i jordsmonn og berggrunn. Det er også kalsium i vegavrenningen, som del av vegsalt og vegslitasje. Andelen kalsium i vegsalt (marint salt) er imidlertid lav i forhold til klorid, langt lavere enn det som

vises i vannprøvene fra innsjøene, slik at vanlig vegsalthet bidrar ikke mye til kalsiuminnholdet. Den mest sannsynlige årsaken til høyere konsentrasjoner i bunnvannet er at sedimenterende kalsiumholdig materiale løses i bunnvannet som er overmettet av karbondioksid (aggressivt CO₂). Når bunnvannet ikke blir med i sirkulasjonen, vil løst kalsium akkumulere. Det gir en forsterkende effekt på sjiktningen fordi mengden salter i bunnvannet øker.



Figur 6. Humusinnhold (farge) i innsjøene ved to dyp i september og november 2010.



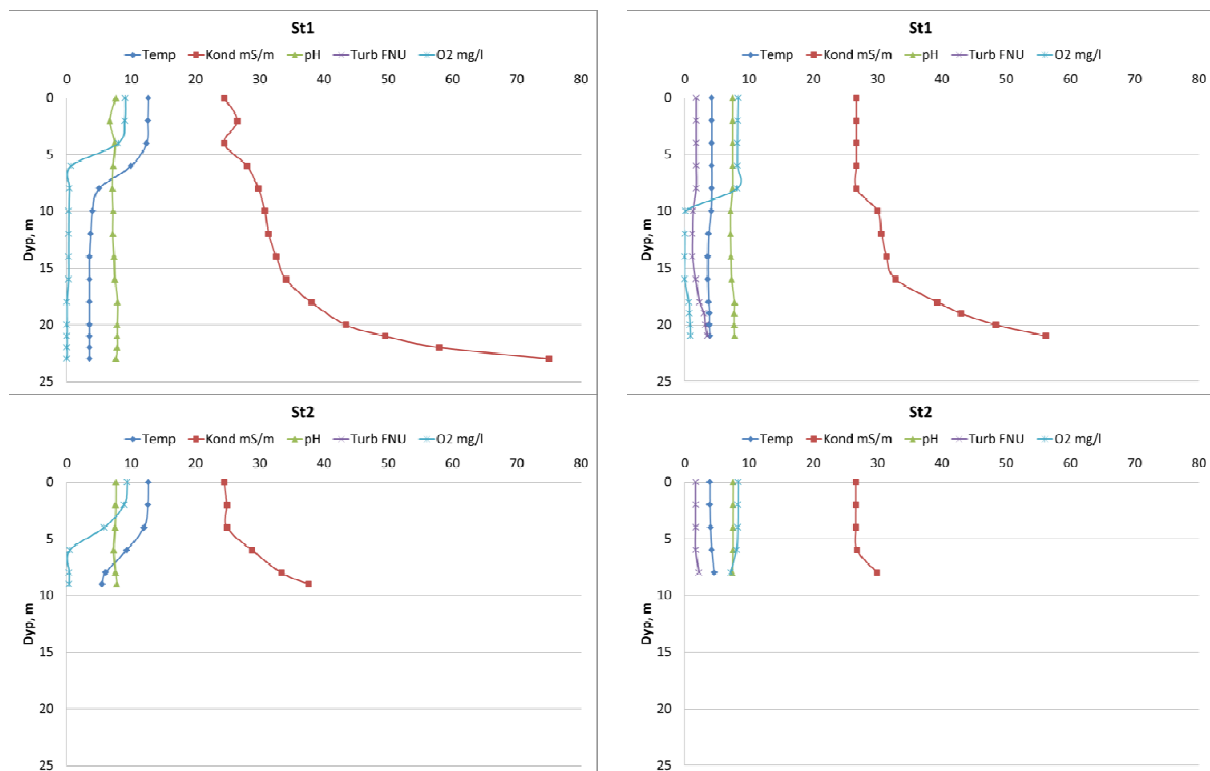
Figur 7. Kalsiumkonsentrasjoner i innsjøene ved to dyp i september og november 2010.

3.1.2 Sprangsjiktet

I alle innsjøene ble det målt konduktivitet (salter), oksygenkonsentrasjon, turbiditet (partikler) og temperatur gjennom hele vannsøylen både før og etter den potensielle fullsirkulasjonen. Den mer eller mindre brå overgangen i fysiske og kjemiske forhold fra overflatevannet til bunnvannet kalles ofte

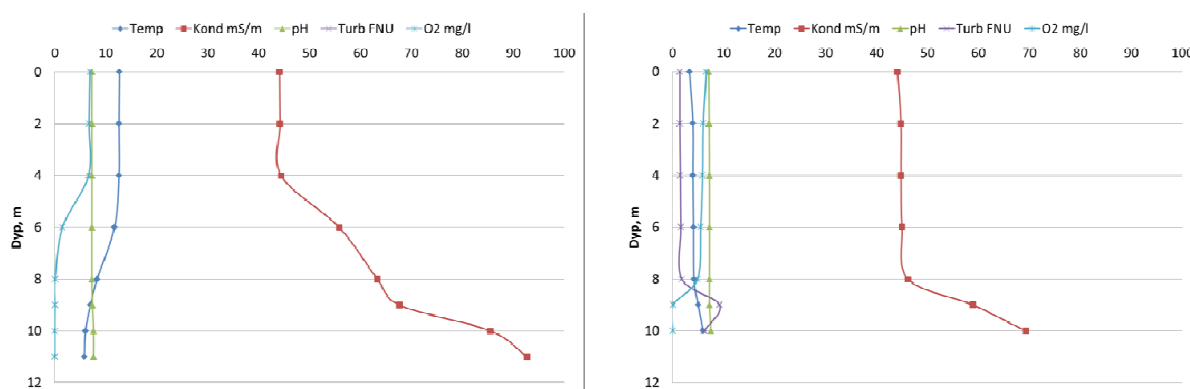
sprangsjiktet. En tetthetsforskjell, som normalt i hovedsak skyldes temperaturforskjeller, holder overflatevannet og bunnvannet hver for seg unntatt under to perioder på året. Både høst og vår kommer det en situasjon der temperatuere er like både i bunnvannet og overflatevannet. På dette tidspunktet vil det vanligvis foregå en vinddrevet fullsirkulasjon som blander vannmassene i innsjøene. Dersom det siger saltholdig vann mot bunnområdene i innsjøene, øker dette tettheten til dette vannet. Det betyr at det må større krefter til for å klare og full-sirkulere vannet. Det blir derfor økt sannsynlighet for redusert sirkulasjon når vann med høyt saltinnhold lagres inn i bunnvannet. Det igjen medfører oksygenvinn og biologisk døde områder. Det kan samtidig medføre akkumulering av ytterligere salter og humusstoffer som igjen gir tyngre bunnvann, og vi er inne i en negativ utvikling for innsjøen

I Nordbytjernet ble det observert en tydelig kjemisk sjiktning (konduktivitet) mellom 4 og 6 m dyp i september (**Figur 8**). Konduktiviteten fortsatte å øke langt mer mot bunnen. Oksygenkonsentrasjonen gikk mot 0 mg/l ved 6 m dyp. Det var små forskjeller i pH nedover i dypet. Det var en temperaturgradient med ca. 13 grader i overflaten og ca. 4 grader i bunnvannet. I november var temperaturen nokså lik gjennom hele vannsøylen. Den kjemiske sjiktningen var imidlertid fremdeles tydelig, selv om sjiktningen var presset noe lengre ned i vannmassene. Det var oksygenvinn fra 10 m og nedover. Det hadde altså ikke foregått en fullsirkulasjon i Nordbytjern på dette tidspunktet. Kloridkonsentrasjonene var nokså like i overflatevannet og bunnvannet med ca 20 mg/l både i september og november. Klorider synes derfor ikke å bidra til sjiktningen i Nordbytjernet. Undersøkelser fra 1970-tallet (Hongve 2004) og før og etter utbygging av ny E6 (COWI 2010) viste at konsentrasjonen av klorid har økt fra ca. 5 mg/l på begynnelsen av 1970-tallet til ca 23 i 2011. Dette skyldes sannsynligvis vegsalt tilført via grunnvannet. Nordbytjern er fra tidligere kjent som et meromiktisk tjern og er grundig undersøkt av Hongve (2004). I det oksygenfrie bunnvannet vil det også være humusstoffer og andre ioner enn natrium og klorid (bl.a. jernforbindelser) som bidrar til økt saltholdighet og derved til tyngre vann (større tetthet).



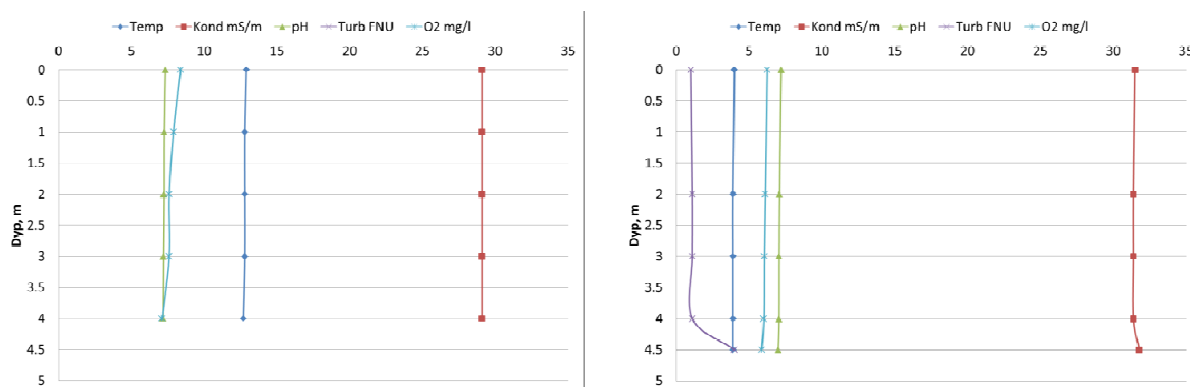
Figur 8. Variable Målt gjennom hele vannsøylen ved 2 stasjoner i Nordbytjern i slutten av september og slutten av november 2011.

I Svarttjern ble det observert en kjemisk sjiktning (konduktivitet) som startet fra ca. 4 m i september (**Figur 9**). Derfra var det en ujevn, men stadig økende konduktivitet helt til bunnen på 11 m dyp. Oksygenkonsentrasjonen gikk mot 0 mg/l fra ca. 8 m. Det var små forskjeller i pH nedover i dypet. Det var også bare en temperaturgradient fra ca. 13 i overflaten til ca. 6 i bunnvannet. I november var temperaturen ganske høy i bunnvannet (6.0) og lav overflaten (3.3). Sprangsjiktet var fremdeles tydelig, men var nå presset ned mot 8-10 m dyp. Det var fremdeles oksygenvinn nede ved bunnen. Det ser ikke ut til å ha foregått en fullsirkulasjon i Svarttjern på prøvetidspunktet i november. Konsentrasjonene av klorider var overkant av 80 mg/l i overflatevannet og fra 100 til 120 mg/l i bunnvannet. Dette må anses å være meget høyt for ferskvannsføremster. Forskjellen mellom overflatevann og bunnvann viser at klorid også bidrar til den kjemiske sjiktningen. Det er sannsynlig at saltet kommer fra vegsalt via grunnvannet. I det oksygenfrie bunnvannet vil det også være andre ioner som bidrar til saltholdighet (konduktiviteten) og derved til tyngre vann. I Svarttjern ble det også påvist høye konsentrasjoner av kalsium som vil bidra vesentlig til konduktiviteten.



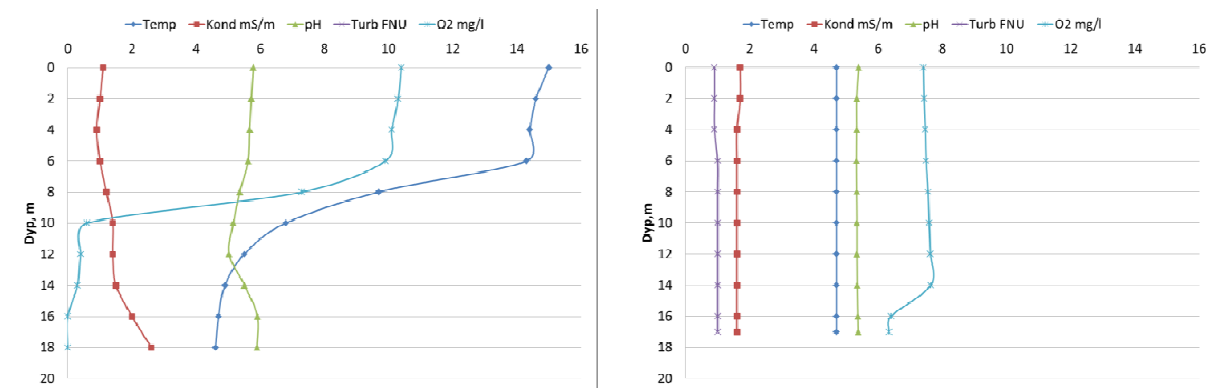
Figur 9. Variable målt gjennom hele vannsøylen i Svarttjern i slutten av september og slutten av november 2011.

I Skåntjern ble det ikke observert en noe sprangsjikt verken i september eller november (**Figur 10**). Hver variabel hadde tilnærmet samme konsentrasjoner gjennom hele vannsøylen. Kloridkonsentrasjonene var forholdsvis høye med ca 52 mg/l både i overflatevannet og bunnvannet i september, og ca 57 mg/l for tilsvarende i november. Dette er høye verdier for ferskvannsføremster. Undersøkelser fra 1970-tallet (ref. Hongve 2006 i Wike 2007), og før og etter utbygging av ny E6 (Cowi 2010) viser at konsentrasjonen av klorid var ca. 2 mg/l på begynnelsen av 1970-tallet og fram til 1996. Deretter økte kloridkonsentrasjonene til 22 i 2005 videre til 53 mg/l i 2011. Dette skyldes sannsynligvis vegsalt tilført via grunnvannet.



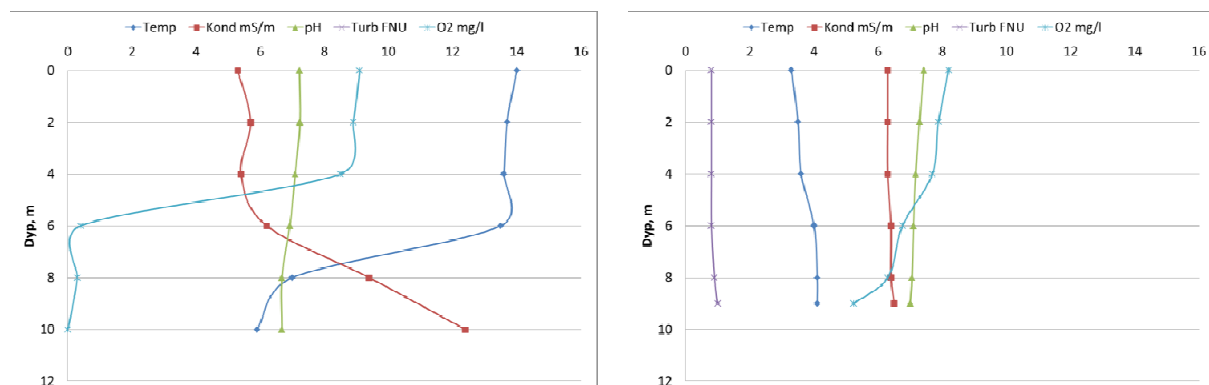
Figur 10. Variable målt gjennom hele vannsøylen i Skåntjern i slutten av september og slutten av november 2011.

I Svenskestutjern ble det ikke observert en tydelig sjiktning av konduktivitet (**Figur 11**). Det var en liten økning fra overflate til bunnvann. Verdiene var lave med variasjon fra 0.9 til 2.6 mS/m. Oksygenkonsetrasjonen ble kraftig redusert mellom 6 og 10 m dyp, og gikk mot 0 mg/l helt ved bunnen. Det var små forskjeller i pH nedover i dypet. Det var en temperaturgradient fra ca 15 i overflaten til ca 4-5 i bunnvannet. I november var temperaturene nokså like gjennom hele vannsøylen. De fleste andre variablene hadde da nokså like verdier gjennom hele vannsøylen. Selv om oksygenkonsentrasjonen var noe redusert i bunnvannet, var det oksygen i hele vannsøylen. Det tyder på at det har foregått en normal høstsirkulasjon av vannet i Svenskestutjern. Kloridkonsentrasjonene var lave både i overflatevannet og bunnvannet både i september og november (ca. 1.5 mg/l) og tjernet synes altså ikke å være påvirket av vegsalt.



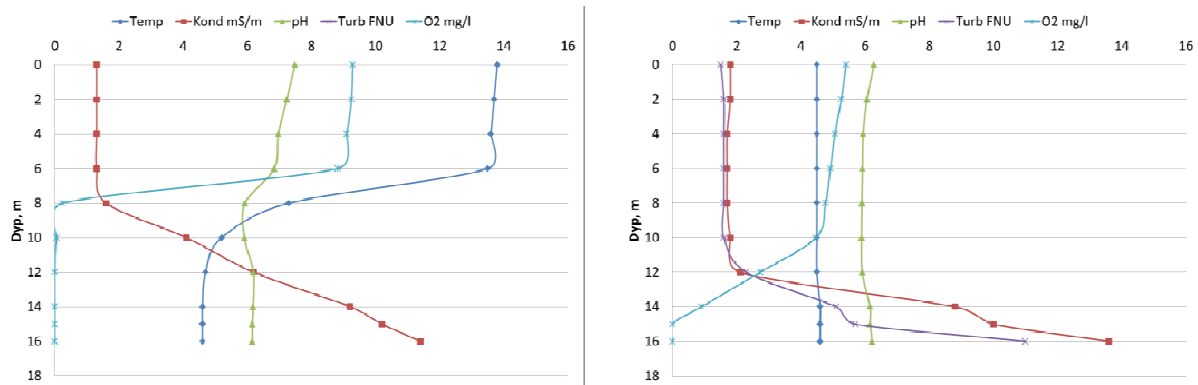
Figur 11. Variable målt gjennom hele vannsøylen i Svenskestutjern i slutten av september og slutten av november 2011.

I Bonntjern ble det observert en svak sjiktning av konduktivitet, med en økning fra ca 6 m til bunnen på 10 m dyp (**Figur 12**). Verdiene var lave og varierte fra 5.3 til 12.5 mS/m. Oksygenkonsetrasjonen ble kraftig redusert mellom 6 og 10 m dyp, og gikk mot 0 mg/l helt ved bunnen. Det var små forskjeller i pH nedover i dypet. Det var en temperaturgradient fra ca. 14 i overflaten til ca. 6 i bunnvannet. I november var temperaturene nokså like gjennom hele vannsøylen., og de fleste variable hadde nokså like verdier gjennom hele vannsøylen. Selv om oksygenkonsentrasjonen var noe redusert i bunnvannet, var det oksygen i hele vannsøylen. Det tyder på at det har foregått en høstsirkulasjon vannet. Kloridkonsentrasjonene var lave i overflatevannet og bunnvannet både i september og november (ca. 1.2 -2.3 mg/l). Bonntjern synes altså ikke å være påvirket av vegsalt.

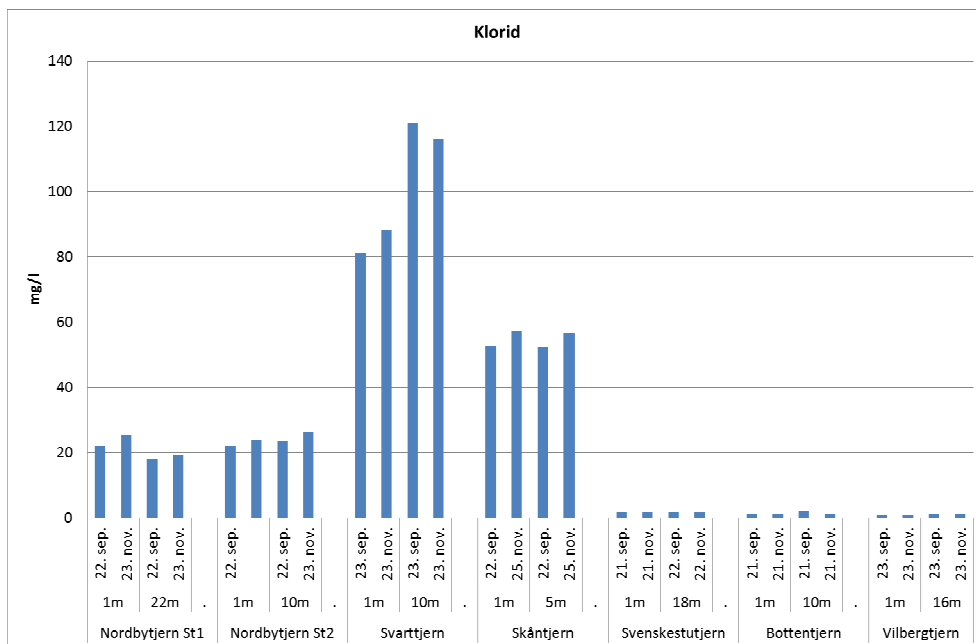


Figur 12. Variable målt gjennom hele vannsøylen i Bonntjern i slutten av september og slutten av november 2011.

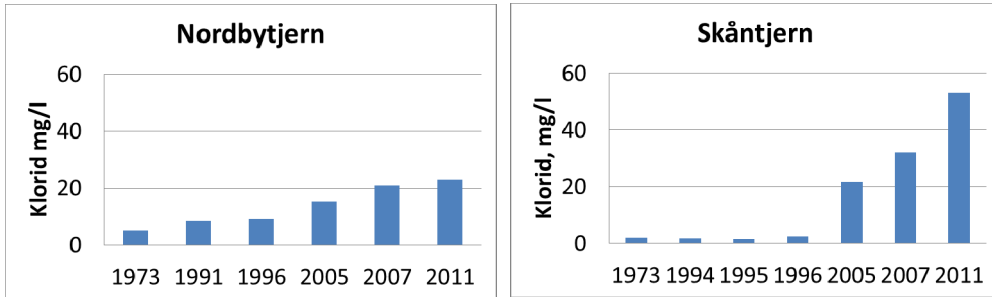
I Vilbergstjern ble det observert en svak sjiktning av konduktivitet, med en økning fra ca. 8 m til bunnen på 16 m dyp i september (**Figur 13**). Verdiene var forholdsvis lave og varierte fra 1.3 til 11.4 mS/m. Oksygenkonsentrasjonen ble kraftig redusert mellom 6 og 8 m dyp, og gikk mot 0 mg/l ved ca. 10 m. Det var små endringer i pH nedover i dypet med noe surere vann i bunnvannet enn i overflaten. Det var en temperaturgradient fra ca. 14 i overflaten til ca. 5 i bunnvannet. I november var temperaturene nokså like gjennom hele vannsøylen. Det ble imidlertid påvist en tydelig konduktivitetsgradient mot bunnen. Samtidig ble det også påvist oksygenvinn helt mot bunnen. Det ser derfor ikke ut til at Vilbergstjern har hatt en fullstendig høstsirkulasjon når prøvene ble hentet inn i november. Kloridkonsentrasjonene var lave i overflatevannet og bunnvannet både i september og november (ca. 1mg Cl/l). Vilbergstjern synes altså ikke å være påvirket av vegsalt.



Figur 13. Variable målt gjennom hele vannsøylen i Vilbergstjern i slutten av september og slutten av november 2011.

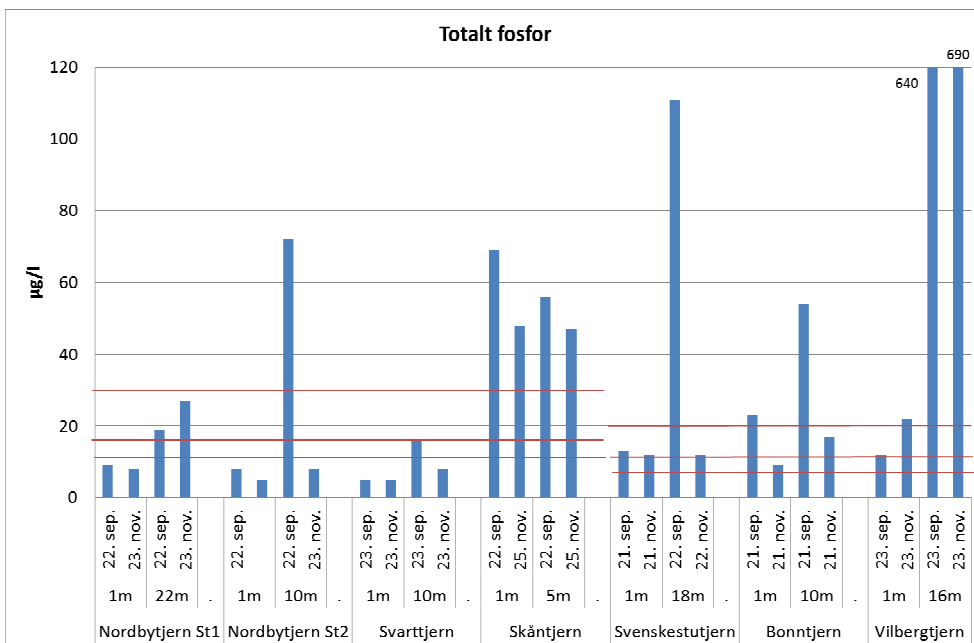


Figur 14. Kloridkonsentrasjoner i innsjøene ved to dyp i september og november 2011.



Figur 15. Konsentrasjonsøkning av klorider i overflatevannet i Nordbytjern og Skåntjern siden 1970-tallet. Tall fra Hongve (2004) og COWI (2010).

Fosforkonsentrasjonene i overflatevannet var fra moderat høye til høye. Sett i forhold til vann-direktivets tilsvarende konsentrasjonene tilstandsklasser fra klasse svært god (Nordbytjern og Svarttjern) til svært dårlig (Skåntjern). Konsentrasjonene av fosfor vil naturlig kunne variere mye gjennom året, og vil øke f.eks. under nedbør og avrenningsepisoder, særlig senhøstes. Klassifisering av tilstand skal derfor baseres på årsmiddel for månedlige målinger i vekstsesongen. De foreliggende resultatene for fosfor må derfor tolkes med forsiktighet. Generelt syntes det å være høyere konsentrasjoner av totalt fosfor i bunnvannet enn i overflaten. Det er ganske vanlig i næringsrike innsjøer. Ved oksygenvinn i bunnvannet løses fosfor fra sedimentet. Alle innsjøene, unntatt Skåntjern, hadde oksygenvinn i bunnvannet i september. For Vilbergtjern var fosfor-konsentrasjonene meget høye i bunnvannet både i september og november. Den observerte økningen av fosfor i bunnvannet kan derfor tenkes å være utlekking fra sedimentet. Men økningen kan også være et resultat av opphopning av fosfor i sedimenterende organisk materiale. Ved oksygenvinn øker fosfat, det biologisk tilgjengelige fosforet. Fosfat er ikke målt i dette prosjektet.



Figur 16. Fosforkonsentrasjoner i innsjøene ved to dyp i september og november 2011. Linjene antyder tilstandsklasser i henhold til vanddirektivet og vanntype. Nederste kategori er «svært god».

3.1.3 Metaller

Generelt sett var det lave konsentrasjoner av metaller i vannprøvene fra alle innsjøene (**Tabell 1**). I henhold til Klifs vannkvalitetskriterier (Andersen et al 1997) var innsjøene ubetydelig eller moderat forurenset av de fleste metallene. Unntaket var kobber som ble funnet i konsentrasjoner tilsvarende forurensningsklasse moderat og sterkt forurenset i flere innsjøer. Nikkel ble også funnet i forhøyede konsentrasjoner, men bare i Nordbytjern (markert forurenset). De høyeste kobberkonsentrasjonene var oftest å finne i overflatevannet. Antimon (Sb) ble analysert fordi dette skal være et metall som følger vegtrafikken. Konsentrasjonene var lave og det kunne ikke spores forskjeller mellom innsjøene.

Tabell 1. Metallinnhold i vannprøver fra 1 m dyp og fra dypeste punkt i innsjøene fra september og november 2011. Farger henviser til forurensningsklasser i henhold til Klif (Andersen et al 1997).

			Ubetydelig	Moderat	Mærket	Sterkt	Meget sterkt				
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
			Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Sb	Zn	
Nordbytjern St1	1m	22. sep.	0.035	0.55	1.35	240	3.09	0.058	0.1	3.92	
		23. nov.	0.11	0.37	5.39	270	3.4	0.256	0.1	6.58	
	22m	22. sep.	0.029	0.91	0.22	27700	3.72	0.041	0.1	4.71	
		23. nov.	0.213	0.37	0.966	14200	3.76	0.16	0.1	5.86	
Nordbytjern St2	1m	22. sep.	0.039	0.43	1.29	220	3.62	0.068	0.1	3.79	
			0.061	<0.1	3.8	260	3.14	0.16	0.1	5.19	
	10m	22. sep.	0.033	0.52	0.21	5460	0.98	0.01	0.08	4.3	
		23. nov.	0.037	<0.1	1.67	309	2.2	0.067	0.07	2.98	
Svarttjern	1m	23. sep.	0.01	<0.1	0.351	66	<0.05	0.031	<0.05	0.7	
		23. nov.	0.052	<0.1	5.43	220	0.3	0.18	<0.05	3.43	
	10m	23. sep.	0.005	<0.1	0.17	11700	<0.05	0.007	<0.05	0.43	
		23. nov.	0.075	<0.1	1.53	1950	0.24	0.19	<0.05	4.8	
Skåntjern	1m	22. sep.	0.006	<0.1	0.336	37	<0.05	0.021	<0.05	0.1	
		25. nov.	0.009	<0.1	2.99	120	0.37	0.089	0.06	3.19	
	5m	22. sep.	<0.005	<0.1	0.16	30	<0.05	0.023	<0.05	0.07	
		25. nov.	0.01	<0.1	0.657	110	<0.05	0.063	0.06	2.33	
Svenskestutjern	1m	21. sep.	0.01	1.4	0.632	38	0.08	0.17	0.08	5.46	
		21. nov.	0.024	0.1	0.555	130	0.1	0.18	0.08	5.42	
	18m	22. sep.	0.01	1.4	0.734	1390	0.08	0.713	0.07	3.06	
		22. nov.	0.026	<0.1	0.576	140	0.29	0.217	0.08	5.44	
Bottentjern	1m	21. sep.	<0.005	1.09	0.24	34	<0.05	0.11	<0.05	1.9	
		21. nov.	0.027	<0.1	0.27	63	<0.05	0.1	<0.05	2.74	
	10m	21. sep.	<0.005	1.2	0.11	3690	<0.05	0.23	<0.05	1.2	
		21. nov.	0.03	<0.1	1.76	82	<0.05	0.15	<0.05	2.97	
Vilbergjern	1m	23. sep.	<0.005	0.92	0.325	10	<0.05	0.055	0.05	1.1	
		23. nov.	0.01	<0.1	3.96	270	0.39	0.13	0.05	3.83	
	16m	23. sep.	<0.005	1.03	1.22	6580	0.2	0.772	0.07	2.18	
		23. nov.	0.01	<0.1	1.94	6140	0.52	0.669	0.08	3.8	

3.2 Sediment

Sedimentene i alle innsjøene var i større eller mindre grad preget av organisk materiale. Sedimentet fra Nordbytjern hadde lavest innhold av organisk materiale og sedimentet var her svart og relativt homogent (**Figur 17**). Sedimentet i Svarttjern var også forholdsvis homogent og svart gjennom hele sedimentsøylen. Det var imidlertid et kraftig okerfarget lag på 23-26 cm dyp i sedimentet. Laget må imidlertid vært avsatt for lenge siden. Dersom vi antar en sedimenteringsrate på 1 mm/år for en slik innsjø, er laget dannet for ca. 250 år siden. I Skåntjern var sedimentet av samme type som i de to foregående nevnte innsjøene; homogent, svart og organisk. I de tre andre innsjøene var sedimentet også homogent og med meget stor innhold av organisk stoff. Dette var imidlertid ikke svartfarget, men grå-grønt.

Alle innsjøene hadde en sediment med løs konsistens. Vanninnholdet i prøvene var stort med en tørrstoffmengde på mellom ca 2 og 10 % (**Tabell 2**). Innholdet av organisk materiale i sedimentet var høyt i alle innsjøene, men noe lavere i Nordbytjern enn i de andre. Den høyeste andelen av organisk stoff ble observert i Vilbergtjern med ca 80 %.

Konsentrasjone av fosfor i sedimentet varierte mye mellom innsjøene. Det var forholdsvis høye konsentrasjoner i overflatesedimentet i Nordbytjern og Skåntjern med henholdsvis ca 5.1 µg/mg og 3 µg/mg i overflatesedimentet. I de andre innsjøene var konsentrasjonene ganske like og bare moderat høye med en tot-P konsentrasjon i sedimentet som varierte fra 1.7 til 1.9 µg/mg. Konsentrasjonene av totalt nitrogen (tot-N) og totalt organisk karbon (TOC) var forholdsvis høye og en konsekvens av stort innhold av organisk materiale.



Nordbytjern



Svarttjern



Skåntjern



Bonntjern



Svenskestutjern



Vilbergstjern

Figur 17. Homogene og organiske sedimentkjerne fra dypeste punkt i innsjøene. Hver «skuffe» i henteren er 1cm høy.

Konsentrasjonene av metaller i sedimentene var lave i alle innsjøene med verdier tilsvarende en tilstand som klassifiserer sedimentet som ubetydelig eller moderat forurenset (**Tabell 3**).

Konsentrasjonene av PAH forbindelser var oftest lave (**Tabell 4**). I henhold til oppdaterte klassegrenser i 2007 gjeldene for fjordområder (finnes ikke for ferskvann) var tilstanden oftest god i forhold til sum PAH 16 og i forhold til den mye anvendte PAH forbindelsen benso(a)pyren. Tre prøver var markert forurenset av PAH. I Svenskestutjernet var det i overflatesedimentet, mens det i Nordbytjernet og Bonntjern ble forhøyede konsentrasjoner funnet i bunnsedimentet. Konsentrasjonene

av totale hydrokarboner (THC) med karbontall mellom 5 og 35 varierte mye mellom innsjøene. Det var de tyngre delene av THC som dominerte (C16-C35) i alle prøvene. Denne fraksjonen kan inneholde flere vanlig brukte oljetyper, bl.a. parafin, diesel, smøreolje og fyringsolje. I noen tilfeller var konsentrasjonene høyere i referansesedimentet enn i overflaten, med forholdsvis høye verdier. En skal imidlertid være oppmerksom på at det kan være helt andre, naturlige, typer av hydrokarboner i betydelige mengder i ferskvannssedimenter der innholdet av organiske stoffer er stort. De foreliggende resultatene av THC kan derfor ikke anvendes til å påvise oljeforurensninger.

Tabell 2. Konsentrasjon av tørrstoff (TTS), uorganisk (TGR), organisk stoff, totalt fosfor (Tot-P), totalt nitrogen (Tot-N), totalt karbon (TOC) og kalsium (Ca) i overflatesedimentene (Topp) og bunnsedimentet (Bunn).

				TTS%	TGR	Organisk	Tot-P	Tot-N	TOC	Ca
				%	g/kg t.v.	%	µg/mg TS	µg N/mg t.v.	µg C/mg t.v.	µg/g t.v.
22.09.2011	Nordbytjem	St.1	Topp	4	731	26.9	5.1	10	120	340
22.09.2011	Nordbytjem	St.1	Bunn	9	747	25.3	0.7	8	121	350
22.09.2011	Nordbytjem	St.2	Topp	5.9	746	25.4	2.6	12.5	118	390
23.09.2011	Svarttjem		Topp	3.9	638	36.2	1.7	14.4	152	330
23.09.2011	Svarttjem		Bunn	7.8	424	57.6	1.4	22.9	300	670
22.09.2011	Skåntjem		Topp	1.8	386	61.4	3.0	33.5	343	290
03.09.2011	Skåntjem		Bunn	5.2	364	63.6	1.3	29.7	346	630
21.09.2011	Svenskestutjem		Topp	4	311	68.9	1.9	32.8	372	120
21.09.2011	Svenskestutjem		Bunn	4.8	395	60.5	0.9	34.7	547	560
21.09.2011	Bonntjem		Topp	2.6	347	65.3	1.8	29.7	335	270
21.09.2011	Bonntjem		Bunn	5.3	356	64.4	0.7	29.8	347	690
23.09.2011	Vilbergtjem		Topp	3.2	234	76.6	1.8	32.7	426	120
23.09.2011	Vilbergtjem		Bunn	5.4	198	80.2	2.6	34.3	465	370

Tabell 3. Konsentrasjon av metaller i overflatesedimentene (Topp) og bunnsedimentet (Bunn). Farger henviser til forurensningsklasser i henhold til Klif (Andersen et al 1997).

			Ubetydelig	Moderat	Markert	Sterkt	Møget sterkt					
			Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Na	Ni	Pb	Sb	Zn
			µg/g t.v.	µg/g t.v.	µg/g t.v.	µg/g t.v.	µg/g t.v.	µg/g t.v.	µg/g t.v.	µg/g t.v.	µg/g t.v.	µg/g t.v.
Nordbytjem	St.1	Topp	3.6	23	63	11000	0.049	16000	160	33	<24	610
Nordbytjem	St.1	Bunn	1.5	10	10	61000	0.032	3400	32	29	<15	200
Nordbytjem	St.2	Topp	2.9	18	75	90000	0.042	15000	130	28	<24	470
Svarttjem	St.1	Topp	<0.34	7.8	7.4	28000	0.053	12000	38	41	<34	190
Svarttjem	St.1	Bunn	0.5	6.8	99	65000	0.032	6200	80	68	<18	330
Skåntjem	St.1	Topp	<0.49	7	80	26000	0.064	29000	<9.8	27	<49	120
Skåntjem	St.1	Bunn	0.99	11	160	15000	0.222	8400	15	77	<25	190
Svenskestutjem	St.1	Topp	1.8	18	83	8600	0.184	7500	16	170	<36	370
Svenskestutjem	St.1	Bunn	0.53	2.3	17	2200	0.034	3000	<5.5	46	<28	91
Bonntjem	St.1	Topp	0.81	12	60	11000	0.079	16000	11	46	<37	320
Bonntjem	St.1	Bunn	1.4	11	170	5700	0.073	9900	11	99	<26	200
Vilbergtjem	St.1	Topp	0.81	9.9	110	13000	0.107	15000	12	66	<40	190
Vilbergtjem	St.1	Bunn	0.5	8.1	180	10000	0.111	8600	9.4	71	<25	260

Tabell 4. Konsentrasjoner av 16 PAH forbindelser og størrelsesgrupper av hydrokarboner (THC). Sum PAH og Sum THC er gitt øverst i tabellen. Fargene er i henhold til Klif 2007.

Bakgrunn	God		Moderat		Dårlig		Svært dårlig							
	Nordbyttjern		Nordbyttjern		Svarttjern		Skjåntjern		Svenskestuttjern		Bonntjern		Vilbergtjern	
	St.1 Topp	St.1 Bunn	St.2 Topp	St.2 Bunn	Topp	Bunn	Topp	Bunn	Topp	Bunn	Topp	Bunn	Topp	Bunn
Sum PAH(16) EPA (mg/kg TS)	0.62	5.10	0.16	0.22	1.10	410	nd	1.70	3.70	nd	0.28	2.30	1.30	0.45
SUMTHC (>C5-C35) (mg/kg TS)	2 000	170	1 100	500	410	1 200	550	1 800	2 700	820	450	1 200	500	
Acenaften (mg/kg TS)	<0.07	<0.04	<0.07	<0.10	<0.05	<0.14	<0.07	<0.10	<0.08	<0.11	<0.07	<0.12	<0.07	
Acenaften (mg/kg TS)	<0.07	<0.04	<0.07	<0.10	<0.05	<0.14	<0.07	<0.10	<0.08	<0.11	<0.07	<0.12	<0.07	
Antracen (mg/kg TS)	<0.07	<0.04	<0.07	<0.10	<0.05	<0.14	<0.07	<0.10	<0.08	<0.11	<0.07	<0.12	<0.07	
Benzo[a]antracen (mg/kg TS)	<0.07	0.29	<0.07	<0.10	0.06	<0.14	0.10	0.15	<0.08	<0.11	0.11	<0.12	<0.07	
Benzo[a]pyren (mg/kg TS)	<0.07	0.39	<0.07	<0.10	0.06	<0.14	0.10	0.17	<0.08	<0.11	0.18	<0.12	<0.07	
Benzo[b]fluoranten (mg/kg TS)	0.11	1.30	0.09	0.12	0.24	<0.14	0.38	0.95	<0.08	0.16	0.51	0.36	0.16	
Benzo[g,h,i]perylene (mg/kg TS)	0.11	0.59	<0.07	<0.10	0.13	<0.14	0.18	0.41	<0.08	<0.11	0.32	0.14	<0.07	
Benzo[k]fluoranten (mg/kg TS)	<0.07	0.29	<0.07	<0.10	0.06	<0.14	0.12	0.28	<0.08	<0.11	0.14	<0.12	<0.07	
Dibenzo[a,h]antracen (mg/kg TS)	<0.07	0.04	<0.07	<0.10	<0.05	<0.14	<0.07	<0.10	<0.08	<0.11	<0.07	<0.12	<0.07	
Fenantren (mg/kg TS)	0.09	0.16	<0.07	<0.10	0.07	<0.14	0.11	0.17	<0.08	<0.11	0.09	0.20	0.09	
Fluoranten (mg/kg TS)	0.13	0.56	0.07	0.10	0.16	<0.14	0.25	0.44	<0.08	0.12	0.32	0.28	0.12	
Fluoren (mg/kg TS)	<0.07	<0.04	<0.07	<0.10	<0.05	<0.14	<0.07	<0.10	<0.08	<0.11	<0.07	<0.12	<0.07	
Indeno[1,2,3-cd]pyren (mg/kg TS)	<0.07	0.59	<0.07	<0.10	0.12	<0.14	0.14	0.28	<0.08	<0.11	0.24	<0.12	<0.07	
Krysen/Trifenylene (mg/kg TS)	<0.07	0.45	<0.07	<0.10	0.11	<0.14	0.14	0.49	<0.08	<0.11	0.18	0.18	<0.07	
Naftalen (mg/kg TS)	<0.07	<0.04	<0.07	<0.10	<0.05	<0.14	<0.07	<0.10	<0.08	<0.11	<0.07	<0.12	<0.07	
Pyren (mg/kg TS)	0.18	0.47	<0.07	<0.10	0.09	<0.14	0.17	0.34	<0.08	<0.11	0.21	0.18	0.07	
THC >Cl0-Cl2 (mg/kg TS)	<40	<20	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	
THC >Cl2-Cl6 (mg/kg TS)	56.00	<20	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	
THC >Cl6-C35 (mg/kg TS)	1 900	170	1 100	500	410	1 200	550	1 800	2 700	820	450	1 200	500	
THC >C5-C8 (mg/kg TS)	<40	<20	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	
THC >C8-Cl0 (mg/kg TS)	<40	<20	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40	

4. Tiltak

4.1 Generelt om tiltak mot veiavrenning

Påvirkning fra vei kan deles i 2 hovedtyper sett i forhold til mulige tiltak for å redusere belastningen på nærliggende vassdrag. De 2 hovedtypene er veisalt og miljøgifter.

Veisalt

Veisaltet løses fullstendig i vann og det finnes ingen realistiske teknologier for å rense saltet fra veivannet. Veisaltet vil være en direkte indikator (tracer) for veiforurensning i vannforekomster. Veisalt utgjør de mengdemessig største utslippene fra vei; ca 12 tonn/km*år fra 2-felts vei og ca 24 tonn/km*år fra 4-felts vei. De aktuelle tiltakene for å redusere salttilførselen til vassdrag er:

- redusere saltforbruket
- bortledning av saltholdig overvann til en mindre sårbar resipient
- fordrøyningstiltak

Reduksjon i saltforbruket er et trafikksikkerhetsmessig spørsmål og vurderes ikke nærmere i dette prosjektet. Bortledning av saltholdig overvann forutsetter en effektiv oppsamling og kontrollert bortledning av overvannet fra et sårbart område til et mindre sårbart område. Tiltaket er særlig aktuelt der man har naturlig selvdrenerende grunnforhold.

Fordrøyningstiltak i form av for eksempel rensedammer forsinker avrenningen fra vei og dermed utjevner konsentrasjonsnivået i veivannet før utslipp til vassdrag. Dette har særlig betydning for situasjoner med høye saltkonsentrasjoner (saltpulser) som kan inntreffe ved lav avrenning. Ved høy avrenning fra veien (snøsmelting/regn) reduseres konsentrasjonsnivået i veivannet (Åstebøl et. al, 1996). Tiltaket reduserer derimot ikke det totale utslippet av salt til vassdraget.

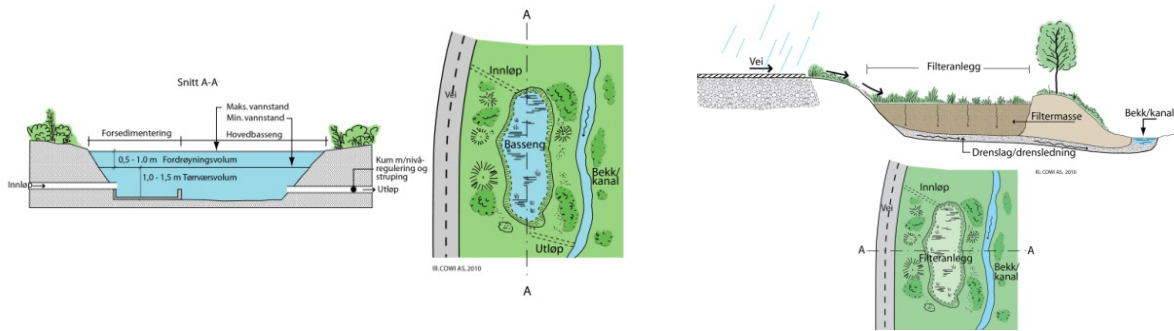
Effektene av den totale salttilførselen til vannforekomstene vil være bestemmende for behovet for gjennomføring av tiltak mot saltavrenning. De omtalte tiltakene vil være omfattende og krevende å gjennomføre i praksis.

Miljøgifter

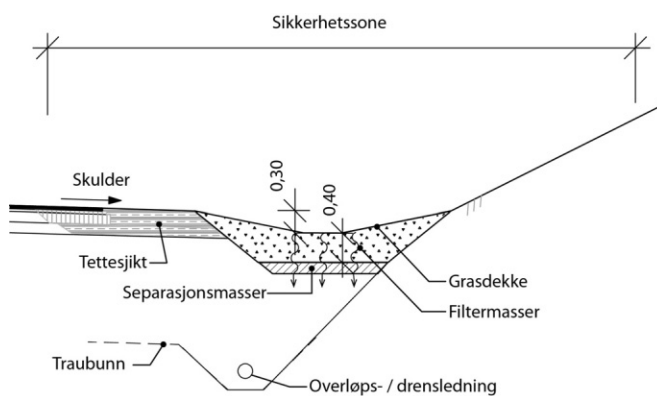
Kildene til miljøgifter i veivannet er utslipp fra kjøretøyer, veidekke, veitekniske installasjoner, vedlikeholdsaktiviteter (utenom salting), atmosfærisk nedfall og akutte utslipp. Utslipet fra kjøretøyer stammer fra eksos, dekk- og bildelsslitasje, korrosjon, smøring og understellsbehandling. Mengden utslipp fra kjøretøyer og veidekkeslitasje er direkte relatert til trafikkmengden.

Hovedparten av miljøgiftene i veivannet er bundet til partikler. Den løste og kolloide andelen av stoffene har egenskaper som gir mulighet for adsorpsjon (binding) i kontakt med jord eller annet filtermateriale. Metoder for rensing av overvann kan inndeles i følgende hovedtyper (Åstebøl, 2011/fig. 18/19):

- a) Våte renselassenger (rensedammer) der rensingen hovedsakelig skjer ved sedimentasjon
- b) Infiltrasjons- eller filteranlegg der rensingen skjer ved filtrering og adsorpsjon
- c) Vegetativ rensing (bioretensjon) i grøfter/sidearealer som kombinerer filtrering i vegetasjonsdekke og infiltrasjon i jord



Figur 18. Prinsippskisse av rensedbasseng (venstre) og filteranlegg (høyre) (Ill. Åstebøl, 2011)



Figur 19. Prinsippskisse av filtergrøft langs vei basert på tilkjørte eller naturlige stedeagne filtermasser. På selvdrenerende grunn utgår ofte drensledning (Ill. Åstebøl, 2011)

4.2 Avrenning og overvannssystem

De undersøkte innsjøene ligger i et område med store sand- og grusavsetninger som rommer Norges største selvmatende grunnvannsmagasin. Grunnen er selvdrenerende og all nedbør og avrenning fra harde overflater som veier etc. infiltrerer ned i grunnen til grunnvannet.

Grunnvannsmagasinet er delt i to der det indre magasinet har avrenning til Hersjøen med utløp til elva Risa som ender i elva Vorma. Det ytre magasinet ligger i randsonen av grunnvannsmagasinet og har avrenning til de omkransende elvene Tveia, Vikka og Sogna. Flere av innsjøene beliggende i området har stor tilrenning av grunnvann. Vannkvaliteten i disse innsjøene er derfor sterkt preget av grunnvannets kvalitet. Andre innsjøtyper i området har derimot ingen kontakt med grunnvannet (tett bunn) og har en vannkvalitet som tilsvarer nedbørens kvalitet.

Veiene Rv35 og Rv174 ligger begge i det ytre magasinet, mens E6 krysser over både det ytre og det indre magasinet. Grunnvannsstrømmen som krysser under rv35, går mot Skåntjern og elva Vikka, mens grunnvannet som krysser under rv174 og E6 i det ytre magasinet, strømmer mot Nordbytjern, Svarttjern og til elva Tveia. Grunnvannet krysser E6 i retning Vilbergtjern i det indre grunnvannsmagasinet. Bonntjern og Svenskestutjern ligger begge oppstrøms E6 i forhold til grunnvannsstrømningen (Figur 20).

Vannkvaliteten i tjernene avdekker at Skåntjern, Svarttjern og Nordbytjern har grunnvannstilstrømning (høyt kalsiuminnhold/ledningsevne). Svenskestutjern og Vilbergstjern har derimot ikke grunnvannpåvirkning. Det sees av lav ledningsevne og lave kalsiumverdier. Bonntjern har en viss grunnvannspåvirkning. Vannløselige forurensninger som tilføres omgivelsene fra veiene (som veisalt), vil sige ned til grunnvannet og følge grunnvannsstrømmen frem til de åpne vannforekomstene som er grunnvannspåvirket. Bonntjern og Svenskestutjern påvirkes derimot ikke av saltavrenning fra veiene siden de ligger oppstrøms veiene. Vilbergstjern ligger nedstrøms E6, men påvirkes allikevel ikke av veisaltingen siden innsjøen er isolert fra grunnvannsstrømmen. De øvrige innsjøene Skåntjern, Svarttjern og Nordbytjern påvirkes av veisaltingen siden de ligger nedstrøms saltede veier og har grunnvannstilstrømning.

Infiltrasjon av overvann i veigrøftene vil gi en god tilbakeholdelse (rensing) av partikkelbundne veiforurensninger i den overflatenære jordmassen.



Figur 20. Oversiktskart med veier, grunnvannsstrømning og undersøkte innsjøer. Hvide piler viser grunnvannets strømningsretning.

E6 og Rv 35 har standard som 4-felts motorvei, mens Rv174 er 2-felts vei. Overvannssystemet er basert på graskledde grunne grøfter der overvannet infiltrerer i grunnen via overflaten eller via infiltrasjonskummer (fig. 21). En strekning av rv 35 har overvannsoverløp via overløpsledning til sentralt infiltrasjonsbasseng ved Skåntjern. En strekning av E6 fra kryssing av rv 178 og nordover til krysset Jessheim N (avkjøring til OSL), hadde opprinnelig membran i grøftene for oppsamling av

veivann. Veivannet ble ført i ledning sørover til en oljeavskiller beliggende ved kryssing E6/rv 178. Oljeavskilleren hadde utløp til elva Tveia. Membranen ble derimot perforert (ødelagt) i forbindelse med fremføringen av Rv 35 til hovedflyplassen som ble åpnet i 1998 og har således ikke fungert etter hensikten siden den gang.

For Skåntjern er veisaltningen på Rv35 viktigste kilde til saltpåvirkningen i tjernet. For Svarttjern er E6 viktigste kilde til saltpåvirkning. I Nordbytjern er både E6 og Rv174 kilder til saltpåvirkning. For Nordbytjern er også avrenningen fra veinett i Jessheim sentrum en aktuell kilde. Hvor mye salt som benyttes på det lokale veinettet i Jessheim er ukjent. Avrenningen fra sentrumsområdene vil også føre med seg miljøgifter til Nordbytjern. En rensepark har tidligere vært planlagt for å håndtere avrenningen fra sentrumsområdet. Funksjonen til renseparken er ukjent.



Figur 21. Graskledd veigrøft med infiltrasjon av overvannet (rv 35 Gardermoen).

4.3 Aktuelle tiltak

Som beskrevet i kap 4.1 er det 2 hovedtyper av tiltak for å redusere saltbelastningen til vannforekomstene på Gardermoen; a) redusert salting og b) bortledning av overvannet til mindre sårbar resipient. Tiltak basert på redusert salting omtales ikke nærmere i denne rapporten.

Bortledning av overvann forutsetter en effektiv oppsamlings- og transportsystem for overvannet. Hovedparten av veisaltet (75-90 %) spres via avrenningsvannet fra veibanen, men resterende andel spres via luft og avsettes innenfor ca 8 m fra veibanen (hvit stripe). Avsetningen via luft avtar raskt fra 2-3 m og ut til ca 6 m fra hvit stripe (Åstebøl et. al, 1996).

Oppsamlingsystemet kan baseres på 2 hovedløsninger:

- Kantoppsamling på veiskulder basert på tradisjonell kantstein og gatesluk tilkoblet overvannsledning for bortledning

- Oppsamling i veigrøft basert på tetting av grøft med membran. Bortledning av overvannet via ledning plassert over membranen.

Begge tiltakene krever betydelige anleggsmessige inngrep. En optimalisering av tiltaksomfanget bør bl.a. baseres på en nærmere identifisering og avgrensning av hvilke veistrekninger som betyr mest for salttilførselen til vannforekomsten som skal beskyttes.

En viktig forutsetning for tiltaket er at det saltholdige overvannet kan ledes til alternativ resipient der saltbelastningen kan aksepteres. For E6 og rv 174 er Tveia en mulig resipient uten at konsekvensene av utslipp til elva er nærmere vurdert i dette prosjektet. En generell utfordring i dette området er lite fall på veiene som gjør det vanskelig å etablere selvfalssystemer samt fremføring av ledningsanlegg for overvann. For Skåntjern synes det vanskelig å lede bort overvann basert på selvfall. En tiltaksløsning her vil trolig kreve pumping.

5. Litteratur

Andersen, J.R., Bratteli, J.L., Fjeld, E., Faafeng, B., Grande, M., Hem, L., Holtan, H., Krogh, T., Lund, V., Rosland, D., Rosseland, B., og Aanes, K.J. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann - SFT Veiledning 97:04/SFT-rapport TA nr 1468/1997.

Bækken, T. 1993. Miljøvirkninger av vegtrafikkens asfalt og dekkslitasje (Environmental Effects of Traffic Pollution Caused by Wear and Tear of Road Surfaces and Tyres). NIVA Rapport 2874 og Nordiske Seminar og Arbeidsrapporter 1993: 628 fra Nordisk Ministerråd

Bækken, T og Færøvig, P.J (Red.) 2004: Effekter av vegforurensninger på vannkvalitet og biologi i Padderudvann-Publikasjon 106 Statens vegvesen

Bækken, T & Jørgensen, T. 1994. Vannforurensning fra veg – langtidseffekter. Statens vegvesen. Vegdirektoratet. Veglaboratoriet. Publikasjon nr. 73.

Bækken, T., og T. O. Haugen. 2006. Kjemisk tilstand i vegnære innsjøer: Påvirkning fra avrenning av vegsalt, tungmetaller og PAH. Oslo, Vegdirektoratet, Utbyggingsavdelingen. 91 sider

Bækken, T., og T. O. Haugen. 2012. Vegsalt og tungmetaller i innsjøer langs veier i Sør-Norge 2010. – NIVA Rapport 6290-2012/Statens vegvesen, VD Rapport Nr. 50

COWI 2010. Overvåkning Rv 35 Gardermoen. Sammendragsrapport. Statens vegvesen, Region øst.

Haugen, T., Bækken, T., Hasle Heiaas, H. og Skjelbred, B. 2010. Tålegrenser for planktonalger i innsjøer. Statistiske analyser og laboratorietester av planktonalger og salt. – NIVA Rapport 6014-2010

Hongve, D. 2004. Endogenic meromixis. Studies of Nordbytjernet and other Meromictic Lakes in the Upper Romerike Area. – Thesis Dr. philos. University of Oslo/ Norwegian Institute of Public Health, Division of Environmental Medicine.

FOR 2006-12-15 nr. 1446: VANNFORSKRIFTEN. Forskrift om rammer for vannforvaltningen. Versjon 25. mai 2011

Klif 2007. Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. REVIDERING AV KLASSIFISERING AV METALLER OG ORGANISKE MILJØGIFTER I VANN OG SEDIMENTER. -TA 2229

Statens vegvesen, 2010. Tekniske løsninger for håndtering av avrenningsvann med vegsalt. Teknologirapport nr 2564.

Åstebøl, S.O., Pedersen, P.A., Røhr, P.K., Fostad, O., og Soldal, O. 1996. Effekter av veisaltning på jord, vann og vegetasjon. Statens vegvesen, MITRA nr 05/96.

Åstebøl, S.O. 2006. Vannbeskyttelse i vegplanlegging og vegbygging. Statens vegvesen håndbok 261.

Åstebøl, S.O., Soldal, O. og Holmsberg, T. 2010. Overvåkning Rv 35 Gardermoen. Sammendragsrapport. Rapport til Statens vegvesen Region øst.

Åstebøl, S.O. 2011. Rensing av overvann fra vei. Statens vegvesen håndbok 018 Vegbygging.

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