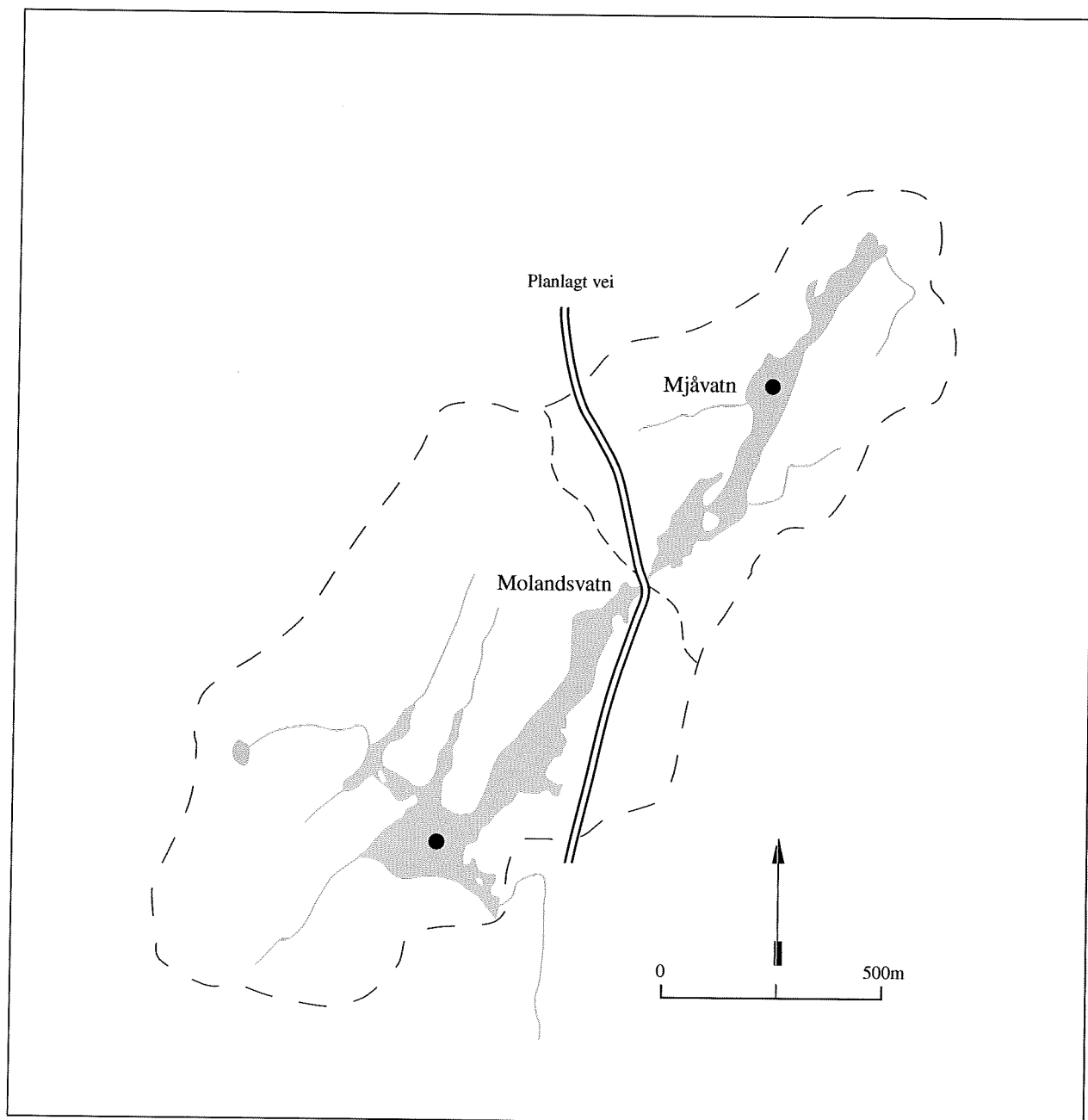


RAPPORT LNR 4138-99

Mulige effekter av veisalting på Mjåvatn/ Molandsvatn i Gjerstad og Risør kommuner



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Mulige effekter av veisalting på Mjåvatn / Molandsvatn i Gjerstad og Risør kommuner	Løpenr. (for bestilling) 4138-99	Dato Desember 1999	
	Prosjektnr. Undernr. O-99142	Sider 18	Pris 75,-
Forfatter(e) Kaste, Øyvind	Fagområde Samferdsel	Distribusjon	
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket NIVA	

Oppdragsgiver(e) Statens vegvesen – Aust-Agder vegkontor	Oppdragsreferanse
---	-------------------

Sammendrag

Det er planlagt en 2 km lang motorveistrekning gjennom nedbørfeltet til de hittil uberørte innsjøene Mjåvatn og Molandsvatn i Aust-Agder. Denne rapporten inneholder en vurdering av mulige effekter fra veisalting på innsjøens sirkulasjonsforhold. Saltbelastningen på avrenningsområdet for veibanen vil trolig bli være omlag 8 ganger høyere enn det som tilføres naturlig i form av sjøsalter i nedbøren. Gjennomsnittlig saltkonsentrasjon i bekkene om vinteren vil kunne bli i størrelsesorden 2-7 ganger høyere enn innsjøkonsentrasjonen i dag. En stor andel av bekkevannet vil med dette få en så stor tetthet at det vil synke til bunns i nærmeste dypbasseng når det renner inn i innsjøene.

Dersom de vertikale tetthetsforskjellene i innsjøene blir tilstrekkelig store, vil det kunne utvikles en permanent stagnerende og oksygenfritt bunnlag. På bakgrunn av topografiske og innsjømorfometriske forhold er det imidlertid sannsynlig at innsjøene vil fortsette å sirkulere – muligens med et opphold på ett eller flere år. Det er foreslått tiltak for å jevne ut saltkonsentrasjonen i bekkene om vinteren, samt anbefalt vannkjemisk overvåking etter en eventuell verksetting av veiprojektet.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Motorveitbygging 2. Veisalt 3. Innsjø 4. Ledningsevne 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Highway construction 2. Road salt 3. Lake 4. Konductivity
--	--

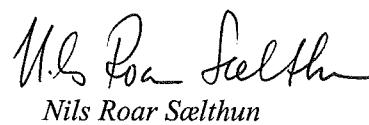

Øyvind Kaste

Prosjektleder


Brit Lisa Skjelkvåle

Forskningsleder

ISBN 82-577-3749-6


Nils Roar Sælthun

Forskningsjef

**Mulige effekter av veisalting på Mjåvatn /
Molandsvatn i Gjerstad og Risør kommuner**

Forord

I forbindelse med bygging av ny E18 på strekningen Brokelandsheia-Akland i Aust-Agder ønsket Statens Vegvesen, Aust-Agder vegkontor å undersøke mulige effekter av veisalting på Mjåvatn / Molandsvatn som ligger i kommunene Gjerstad og Risør. NIVA utarbeidet et prosjektforslag for undersøkelser og utredning 13.8.99, og forslaget ble akseptert 22.8.99.

Feltarbeidet er utført av Jarle Håvardstun, Einar Kleiven og undertegnede. Kontaktperson hos Aust-Agder vegkontor har vært Erling Jonassen.

Grimstad, desember 1999

Øyvind Kaste

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
1.1 Bakgrunn og formål	7
1.2 Områdebeskrivelse	7
1.3 Materiale og metoder	8
2. Resultater av vannanalyser	10
3. Teoretisk vurdering	13
3.1 Situasjonsbeskrivelse	13
3.2 Ionebytte-prosesser i jorda	13
3.3 Effekter på sirkulasjonsforhold i innsjøene	13
3.4 Anbefalinger	16
4. Litteratur	16
Vedlegg A. Kjemiske data	17
Vedlegg B. Dybdekart	18

Sammendrag

I forbindelse med bygging av ny E18 gjennom Aust-Agder er det planlagt en trasé gjennom nedbørfeltet til Mjåvatn / Molandsvatn i hhv. Gjerstad og Risør kommuner. Innsjøsystemet er drikkevannskilde for Søndeled vannverk i Risør kommune og vil etter veibyggingen være reserve-drikkevannskilde i kommunen. Med bakgrunn i utbyggingsplanene og de eksisterende brukerinteressene som knytter seg til innsjøen, er det foretatt en vurdering av mulige effekter fra veisalting på innsjøens sirkulasjonsforhold. Andre mulige effekter av motorveitbyggingen på vannmiljøet er ikke behandlet i denne rapporten.

Totalt er det planlagt 2125 meter veistrekning gjennom nedbørfeltet til de to innsjøene. I alt 975 meter av den planlagte veitraseen vil drenere mot Mjåvatn via to tilløpsbekker. De resterende 1150 meter veistrekning vil drenere diffust mot Molandsvatn. Det er anslått en saltavrenning til hele nedbørfeltet på omlag 32 tonn årlig (15 kg salt pr. løpemeter vei). Saltbelastningen på de lokale avrenningsområdene for veibanen vil være omlag 8 ganger høyere enn det som tilføres naturlig i form av sjøsalter i nedbøren.

Dersom en antar at hoveddelen av veisaltet renner av i løpet av vinterhalvåret, kan en få saltkonsentrasjoner i innløpsbekkene som gjennomsnittlig ligger i størrelsesorden 2-7 ganger høyere enn innsjøkonsentrasjonen i dag. En stor andel av bekkevannet vil med dette få en så stor tetthet at det vil synke til bunns i nærmeste dypbasseng når det renner inn i innsjøene.

Dersom de vertikale tetthetsforskjellene i innsjøene blir tilstrekkelig store, vil ytre temperatur- og vindpåvirkning ikke være nok til å sirkulere vannmassene vår og høst, slik det er vanlig i de fleste norske innsjøer. Fullsirkulasjon er viktig for å få blandet inn friskt vann i de dypere vannlag i innsjøen. Dersom fullsirkulasjonen uteblir mer enn ett år, er det fare for etablering av et permanent stagnerende og oksygenfritt bunnvann – som vil virke giftig på mange vannlevende organismer og samtidig være ubrukelig som drikkevann.

Hvorvidt en slik situasjon skal kunne oppstå, er avhengig av flere forhold som er vanskelig å kvantifisere kun gjennom teoretiske betraktninger. Blant de viktigste er (1) løsmassemektighet i nedbørfeltet, (2) vertikale tetthetsforskjeller i innsjøen og (3) vindeksposisjon i forhold til innsjødyb. Det er skissert fire mulige scenarier for innsjøene dersom veitraseen blir etablert:

1. Innsjøene vil sirkulere normalt, men det blir en langsom saltakkumulering over tid.
2. Vårsirkulasjonen uteblir det første året, men høstsirkulasjonen inntreffer på vanlig måte. Videre forløp som 1.
3. Både vår- og høstsirkulasjon uteblir det første året, men innsjøen vil etterhvert sirkulere fordi det saltrike bunnlaget vil stadig bygge seg høyere opp i innsjøen. Videre forløp som 1.
4. Bunnvannet blir permanent stagnerende, dvs. at det aldri fornyes ved sirkulasjon.

På bakgrunn av topografiske og innsjømorfometriske forhold er det sannsynlig at sirkulasjonskreftene (vindens arbeid) vil være sterke nok til å bryte de vertikale tetthetsgradientene i innsjøen. Dette peker i retning av scenario 1, 2 eller eventuelt 3. Det kan imidlertid ikke utelukkes helt at en kan få en situasjon tilsvarende scenario 4, dersom saltkonsentrasjonene i innløpsbekkene blir svært høye, eller innsjøen er for lite vindeksponert i forhold til dypet.

Det anbefales en vurdering av tiltak for å hindre at det saltrike avrenningsvannet renner direkte ut i innsjøene – uten vesentlig tidsforsinkelse. Ulike former for infiltrasjon eller fordrøyningsbassenger/renebassenger vil øke vannets oppholdstid i nedbørfeltet, og en får en bedre fordeling av saltavrenningen over tid. Dette vil medføre lavere og mer jevne saltkonsentrasjoner i

innløpsbekkene til Mjåvatn og Molandsvatn og redusert fare for etablering av store tetthetsgradienter i innsjøene.

På grunn av de mange usikkerhetsmomentene som er nevnt ovenfor, anbefaler vi at det etableres et vannkjemisk overvåkingsprogram i forbindelse med en eventuell etablering av en ny vei i området. Dette vil være viktig både for å dokumentere effekter og for eventuelt å kunne iverksette avbøtende tiltak. Overvåkingsprogrammet bør iverksettes ca ett år før den første saltingsperioden starter, og det bør omfatte prøvetaking både i innsjøene og i aktuelle tilløpsbekker.

Summary

Title: Possible effects of highway salting on Lake Mjåvatn / Molandsvatn in Gjerstad and Risør municipalities.

Year: 1999

Author: Kaste, Øyvind

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3749-6

A new highway is planned through the catchments of two hitherto unaffected lakes, Mjåvatn and Molandsvatn, in Aust-Agder County. This report contains an assessment of possible effects on water circulation in these lakes from highway salting. In the local draining areas, salt loads will be about 8 times higher than natural sea-salt deposition. During the winter season, average salt concentrations in the tributaries may become 2-7 times higher than the present lake concentrations. Consequently, a large fraction of the brook water will sink to the lake bottom during the winter stagnation due to high densities.

If vertical density differences become great enough, a permanent stagnant and anoxic water layer may develop. Due to topography and lake morphology it seems likely, however, that the lake circulation will continue – at least after some years of stagnancy. Infiltration of runoff water or other delaying devices are recommended to avoid extreme salt concentrations in the brooks during the winter season. Monitoring of water chemistry is also recommended, to document possible changes in lake stability after establishing the highway.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn og formål

I forbindelse med bygging av ny E18 på strekningen Brokelandsheia-Akland er det planlagt en trasé gjennom nedbørfeltet til Mjåvatn / Molandsvatn i hhv. Gjerstad og Risør kommuner. Innsjøsystemet er drikkevannskilde for Søndeled vannverk i Risør kommune og vil etter veibyggingen være reserve-drikkevannskilde i kommunen. Med bakgrunn i utbyggingsplanene og de eksisterende brukerinteressene som knytter seg til innsjøen, ønsket Aust-Agder vegkontor å foreta undersøkelser av mulige effekter av veisalting på innsjøens sirkulasjonsforhold.

NIVA har høsten 1999 gjort undersøkelser med følgende formål:

- Beskrive innsjøens sirkulasjonsforhold høsten 1999
- Vurdere mulige effekter av veisalting på sirkulasjonsforhold i framtiden

Andre mulige effekter av motorveiutbyggingen på vannmiljøet er ikke behandlet i denne rapporten

1.2 Områdebeskrivelse

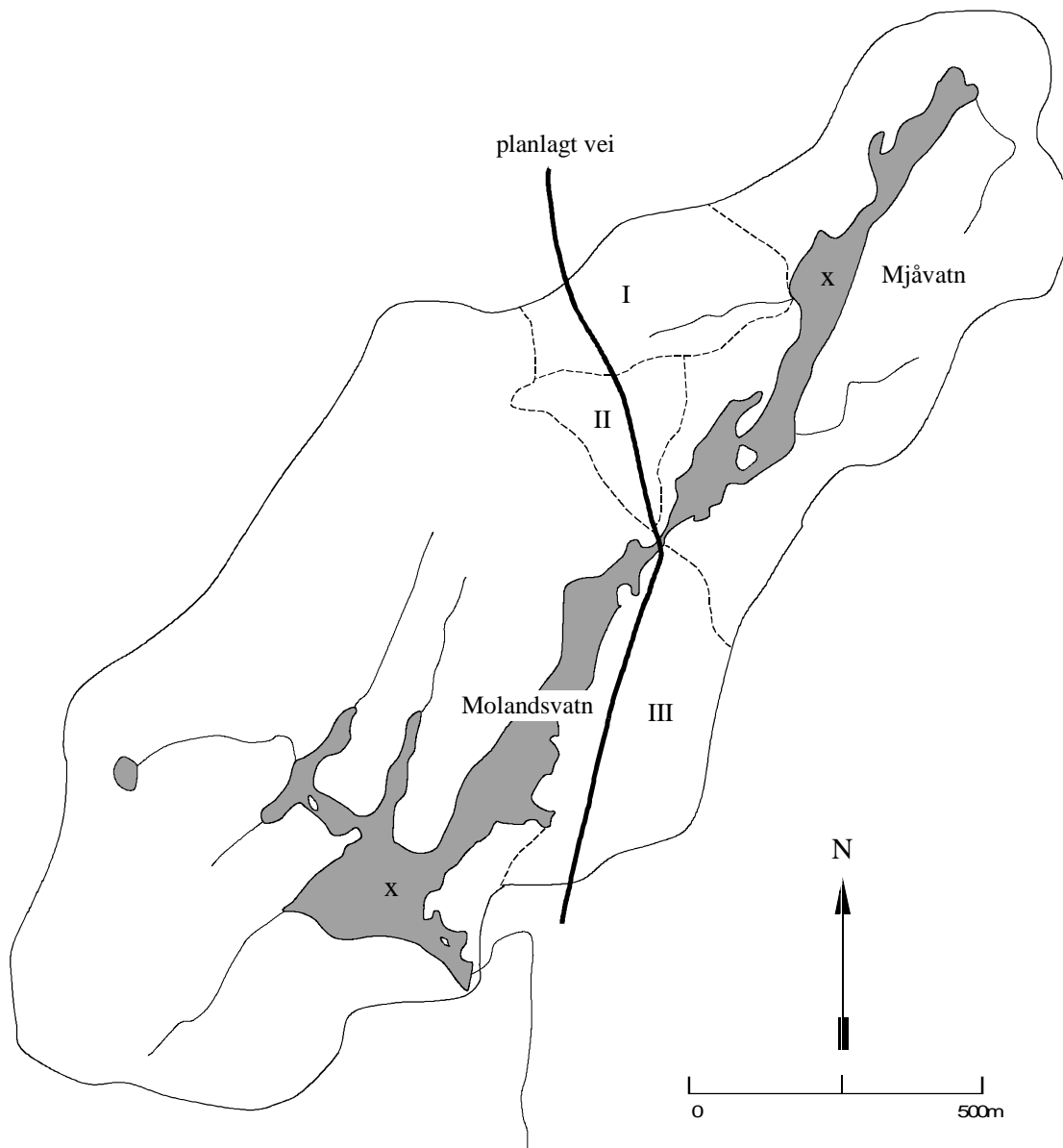
Det studerte innsjøsystemet, som ligger 2 km rett vest for Søndeled tettsted i Aust-Agder fylke, består i realiteten av to innsjøer som er forbundet via et smalt sund (Pinesundet) (**Figur 1**). Den øverste innsjøen, Mjåvatn, som ligger i Gjerstad kommune, har et maksimalt dyp på i overkant av 35 meter og en teoretisk oppholdstid på nær 1,5 år (**Tabell 1**). Den nederste og største innsjøen, Molandsvatn, som ligger i Risør kommune, har et maksimalt dyp på i overkant av 25 meter og en teoretisk oppholdstid på litt over 1 år. Samlet har hele innsjøsystemet et nedbørfelt på 6,4 km² og en teoretisk oppholdstid på 1,2 år.

Totalt er det planlagt 2125 meter veistrekning gjennom nedbørfeltet. Traseen vil komme fra nord og passere over Pinesundet, midt mellom Mjåvatn og Molandsvatn. 975 meter av den planlagte veitraseen vil gå gjennom nedslagsfeltet til Mjåvatn. Avrenningen fra omlag halvparten av denne veistrekningen vil drenere mot en bekk som renner ut omtrent midt på Mjåvatn, resten vil drenere mot Pinesundet rett oppstrøms Molandsvatn. De resterende 1150 meter veistrekning vil drenere mot Molandsvatn.

Området består for det meste av skog, myr og bart fjell. Det bor ingen mennesker i nedslagsfeltet, og det er kun et par hytter rundt vannene. Mjåvatn / Molandsvatn er pr. i dag drikkevannskilde for Søndeled vannverk.

Tabell 1. Innsjødata

Innsjønavn	Areal, innsjø km ²	Middeldyp m	Innsjøvolum mill.m ³	Areal, nedbørfelt km ²	Spesifikk avrenning l/s/km ²	Tilslig mill.m ³ /år	Teoretisk oppholdstid år
Mjåvatn	0,278	10,0	2,785	2,30	26	1,886	1,48
Molandsv	0,450	8,0	3,590	4,05	26	3,321	1,08
Totalt	0,728	8,8	6,375	6,35	26	5,207	1,22



Figur 1. Mjåvatn / Molandsvatn med nedbørfelt. Planlagt veitrasé er inntegnet og prøvetakingspunkter er markert med kryss.

1.3 Materiale og metoder

Undersøkelser/analyser

Det er gjennomført to prøvetakingsrunder høsten 1999, hhv. 1. september og 13. oktober. Det er tatt prøver både i Mjåvatn og i Molandsvatn. Følgende parametre er målt i profiler fra overflate til bunn (5 prøver pr. profil): Temperatur, konduktivitet, oksygen, natrium, klorid. De kjemiske analysene er foretatt etter standard metodikk ved KM-lab i Grimstad.

Ved første prøvetakingsrunde ble dybdeforholdene undersøkt ved å kjøre med ekkolodd langs transekter i innsjøen. Det ble kjørt for få transekter til å konstruere et godt dybdekart, men målingene

vrderes å være gode nok til å anslå innsjøenes middeldyp og volum. Et grovt dybdekart er vist i **Vedlegg B**.

Teoretisk vurdering

Det er tidligere påvist at veisalting har ført til økt saltinnhold i brønner (Bækken 1998 [med referanser]) og innsjøer som ligger nær motorveier (Berge & Stene-Johansen 1992 [med referanser], Kjensmo 1997). En mulig effekt av veisaltingen kan være at sirkulasjonsforholdene i nærliggende innsjøer kan bli dårligere ved at saltvannet har en tendens til å samle seg i bunnære sjikt – og på denne måten øke vannmassenes stabilitet. I slike tilfeller kan vårsirkulasjonen bli ufullstendig, og det vil kunne oppstå oksygenproblemer i dypvannet. I ekstreme tilfeller kan bunnvannet bli permanent stagnerende, dvs. at det ikke fornyes hverken under vår- eller høstsirkulasjonen.

Lokale forhold som veilengde, saltmengder, nedbørfeltareal, innsjøvolum og topografi (vind-eksponering) er avgjørende for hvilken respons innsjøsystemer vil gi på en saltpåvirkning. På tross av tidligere undersøkelser er det derfor vanskelig å fastslå eksakte dose/respons-forhold med hensyn til veisalting i nedbørfeltet til ett spesifikt innsjøsystem som Mjåvatn/Molandsvatn. Det er imidlertid forsøkt foretatt en teoretisk vurdering av mulige effekter av veisalting på vannforekomsten på bakgrunn av følgende data:

- Saltmengde pr. km veistrekning
- Antall km veistrekning innenfor nedbørfeltet
- Spesifikk avrenning
- Nedbørfeltareal, innsjøvolum
- Saltinnhold (konduktivitet, natrium, klorid) i innsjøen før tiltaket

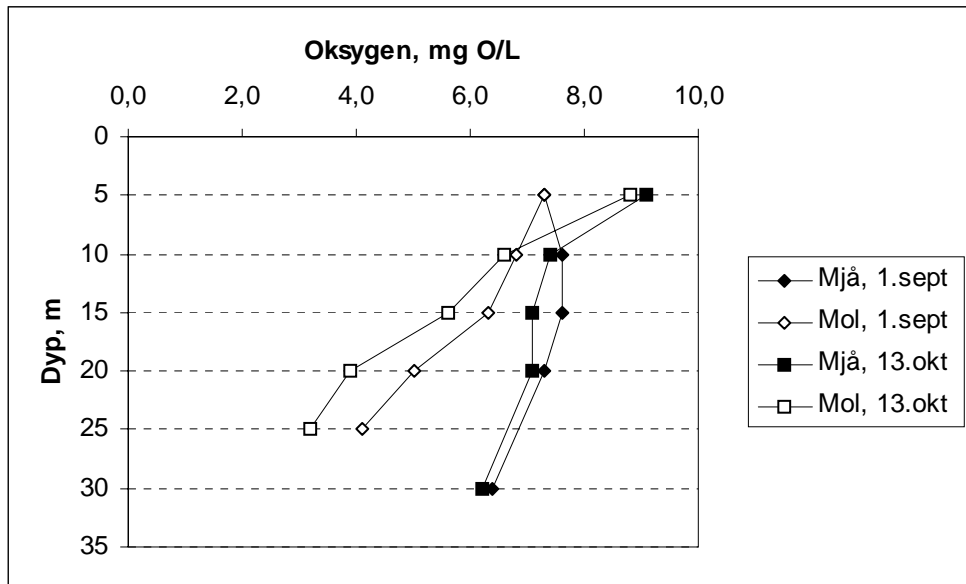
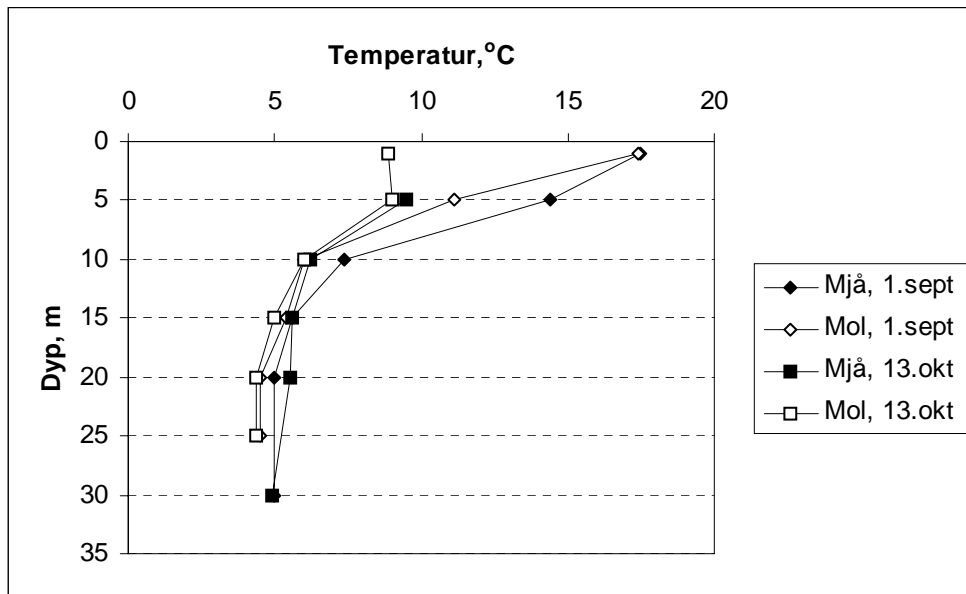
I følge anslag fra Statens vegvesen, Aust Agder vegkontor saltes det i et gjennomsnittså med mellom 10 og 20 tonn sjøsalt pr. løpekilometer vei. Sjøsalt har følgende kjemiske sammensetning (Sverdrup et al. 1942):

	g/kg vann	%
Cl ⁻	18,980	55,0
SO ₄ ²⁻	2,649	7,7
HCO ₃ ⁻	0,140	0,4
Br ⁻	0,065	0,2
F ⁻	0,001	0,0
H ₃ BO ₃	0,026	0,1
Na ⁺	10,556	30,6
Mg ²⁺	1,272	3,7
Ca ²⁺	0,400	1,2
K ⁺	0,380	1,1
Si ²⁺	0,013	0,0
SUM	34,482	100,0

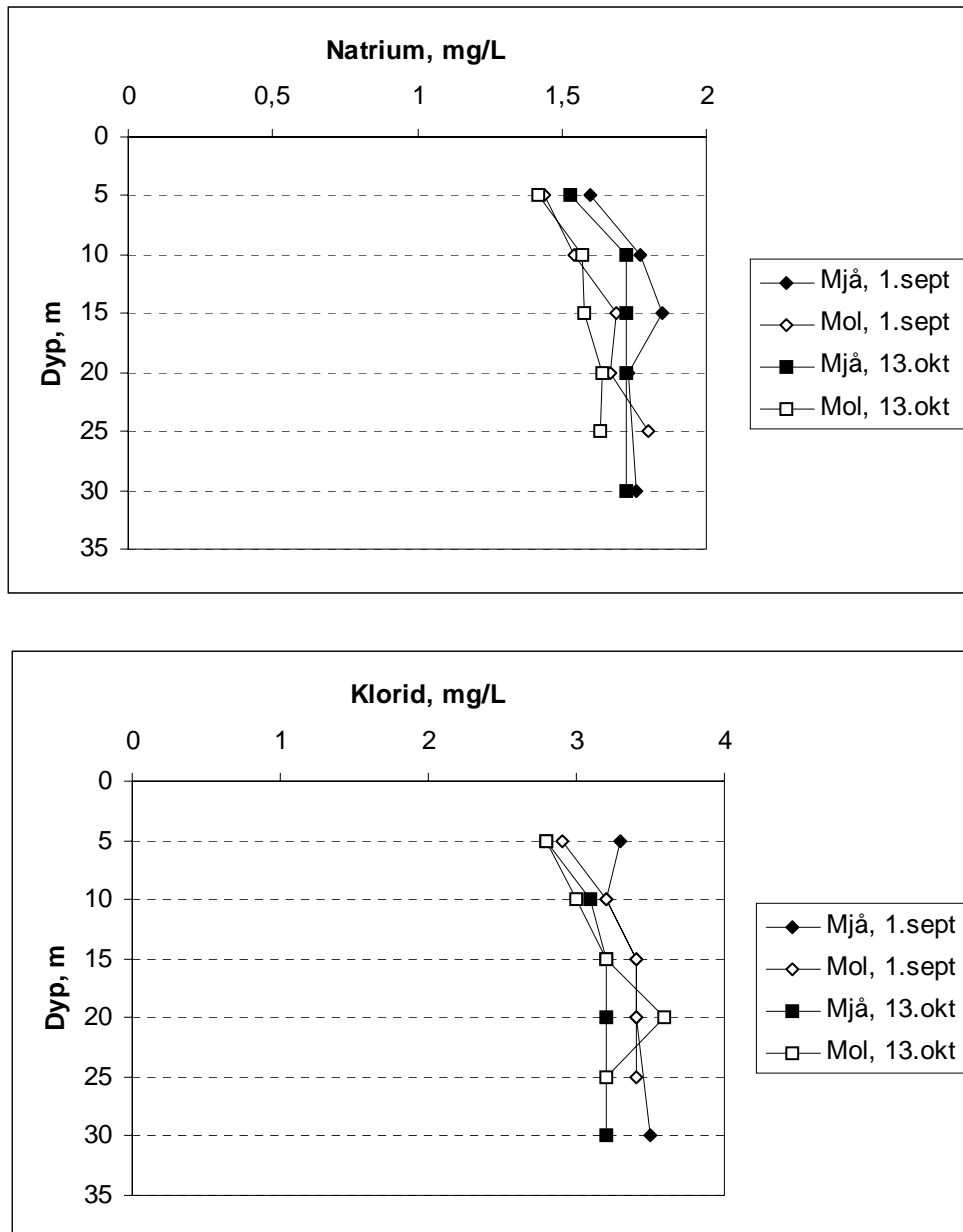
2. Resultater av vannanalyser

Temperatur og oksygen

I de fleste norske innsjøer med en viss dybde er det stagnasjonsperioder i sommerhalvåret og i vinterhalvåret. I disse periodene er bunnvannet isolert fra overflatevannet pga. temperatur- /tetthetsforskjeller. Om våren og høsten, når det er tilnærmet lik temperatur i overflatevann og bunnvann, vil det vanligvis oppstå sirkulasjon dvs. blanding av overflatevann og bunnvann. På denne tiden blir bl.a. bunnvannet tilført nytt oksygen.



Figur 2. Målinger av temperatur og oksygen.



Figur 3. Analyser av natrium og klorid.

Mjåvatn og Molandsvatn hadde skarp temeperatursjiktning i september, med overflatetemperaturer på omlag 17 °C og en bunnvannstemperatur på 4-5 °C. (**Figur 2**). Halvannen måned senere var overflatetemperaturen sunket til i underkant av 10 °C. Etterhvert som overflatevannet avkjøles ytterligere utover høsten, vil det oppstå fullsirkulasjon i innsjøene med tilnærmet lik temperatur og kjemi på alle dyp.

Oksygenkonentrasjonene i vannene avtok mot dypet – mest i Molandsvatn. Dette kan ha sammenheng med at dette bassenget er noe mer humusrikt (mindre siktedyp, mer brunt vann) enn Mjåvatn. Noe av humusen (organisk stoff) som tilføres til en innsjø vil brytes ned i vannmassene under forbruk av oksygen. Selv om det var et klart oksygenavtak mot bunnen i Molandsvatn, vil oksygenresservene trolig være store nok til å hindre oksygenvinn i løpet av høsten. Oksygenvinn i bunnvannet vil være kritisk for organismer som lever i denne delen av innsjøen, og vannet fra dette sjiktet vil i så fall være

uegnet til drikkevann. I oksygenfritt bunnvann vil en ofte få høye konsentrasjoner av reduserte forbindelser av nitrogen (ammonium), mangan, jern og svovel (hydrogensulfid). Det er forholdsvis vanlig med oksygenfritt bunnvann i humuspåvirkede innsjøer og naturlig næringsrike innsjøer – uten at det er snakk om menneskelig påvirkning.

Natrium og klorid

Disse to stoffene er bestanddelene i vanlig salt (koksalt eller sjøsalt). De viktigste kildene for natrium- og klorid-tilførsel til vassdrag er lufttransporterte sjøsalter, samt forvitnings- og nedbrytningsprosesser i jord. Både natrium og klorid er konservative stoffer, dvs. at de i relativt liten grad inngår i biogeokjemiske prosesser i innsjøer. I Mjåvatn / Molandsvatn lå konsentrasjonene av natrium og klorid på hhv. 1,5- 2 mg/L og omkring 3 mg/L i hele vannmassen (**Figur 3**). Natrium- og kloridkonsentrasjonene i Mjåvatn og Molandsvatn er med dette typisk for innsjøer med relativt liten sjøsaltpåvirkning. I innsjøer nærmere kysten kan kloridkonsentrasjonene ofte være over 10 mg/L, uten at dette påvirker sirkulasjonsforholdene.

3. Teoretisk vurdering

3.1 Situasjonsbeskrivelse

Den planlagte veitraseen vil komme inn i nedbørfeltet fra nord og krysse midt mellom Mjåvatn og Molandsvatn i Pinesundet (**Figur 1**). Veien fortsetter deretter på østsiden av Molandsvatn og går ut av nedbørfeltet nær utløpsbekken fra innsjøen. I alt vil 975 meter av den nye veien gå gjennom nedbørfeltet til Mjåvatn. Avrenningen fra denne strekningen vil hovedsakelig dreneres til Mjåvatn via to tilløpsbekker; én som renner ut i innsjøens dypeste basseng (**Vedlegg B**) og én som renner ut i Mjåvatn rett oppstrøms Pinesundet. De resterende 1150 meter veistrekning vil gå langs østsiden av Molandsvatn. Avrenningen fra dette området vil trolig fordele seg relativt likt i de to dypeste bassengene av innsjøen (**Vedlegg B**).

3.2 Ionebytte-prosesser i jorda

De negativt ladde ionene Cl^- og SO_4^{2-} i saltet vil bindes dårlig i jorda, og det er antatt at nær 100% vil lekke til bekker og vann. De positivt ladde ionene (fortrinnsvis Na^+ , men også Mg^{2+} , Ca^{2+} og K^+) bindes bedre, men for å opprettholde ionebalansen med Cl^- og SO_4^{2-} i avrenningsvannet vil en ekvivalent mengde positive ioner lekke ut fra jorda. I jordsmonn som ikke er forsuret vil de positive ionene enten lekke direkte, eller bytte ut basekationer som Ca^{2+} og Mg^{2+} . Disse vil ikke ha noen negativ effekt i avrenningsvannet. I forsuret jordsmonn vil de positive ionene i veisaltet imidlertid kunne bytte ut hydrogen- (H^+) og aluminiumioner (Al^{3+}) som kan øke forsuringbelastningen på vassdraget (vannets surhet [pH] er en funksjon av H^+ konsentrasjonen). Dersom konsentrasjonene av disse ionene blir høye nok i vannet, vil det kunne oppstå skader på vannlevende organismer (inkl. fisk). Dette er tidligere dokumentert i forbindelse med kraftige nedbørepisoder med sjøsalter langs kysten av Sørlandet og Vestlandet (Hindar et al. 1993).

I og med at avrenningen fra veibanen vil samles opp i grøfter og forsengkninger langs traseen, vil bare et relativt lite feltareal (jordvolum) bli eksponert for saltavrenning. Ved moderne veibygging vil dreneringsvann fra veibane og grøfter bli samlet opp i kummer og (med eller uten forutgående rensing) ledet til nærmeste egnede resipient. Sannsynligvis vil summen av utbyttbare H^+ og Al^{3+} ioner i den jorda vannet kommer i kontakt med være så liten at forsuringspotensialet trolig vil bli minimalt. Det relativt begrensede jordvolumet som påvirkes vil trolig raskt "lades opp" av saltioner, slik at tilførte saltioner enten vil lekke direkte ut – eller bytte ut andre saltioner som allerede er lagret i jorda. Da det imidlertid vil være usikkerhet knyttet til forsuringspotensialet av veisalt i dette området, er det likevel grunn til å overvåke vannkvaliteten i bekkene den første tiden dersom veien blir etablert.

3.3 Effekter på sirkulasjonsforhold i innsjøene

Det er anslått en saltavrenning til hele nedbørfeltet på omlag 32 tonn årlig (**Tabell 2**). Dette er i samme størrelsesorden som de saltmengdene som tilføres via nedbøren til hele nedbørfeltet rundt Mjåvatn/Molandsvatn i løpet av et gjennomsnittså (ca 28 tonn), men omlag 8 ganger mer enn det som tilføres via nedbøren i avrenningsområdet til motorveitraseen (summen av delfeltene I-III) (basert på data fra Tørseth & Semb 1997). Saltbelastningen i det sistnevnte avrenningsområdet vil dermed bli betydelig høyere enn det som er naturlig dersom det anlegges en ny motorvei gjennom feltet.

Dersom en antar at alt veisalt som tilføres i løpet av vinteren lekker ut med en konstant rate i løpet av året, vil saltkonsentrasjonene i utløpet av delfeltene I-III være hhv. 21, 68 og 48 mg/L i et normalt avrenningsår (**Tabell 2**). I virkeligheten vil en stor andel av veisaltet sannsynligvis renne av som

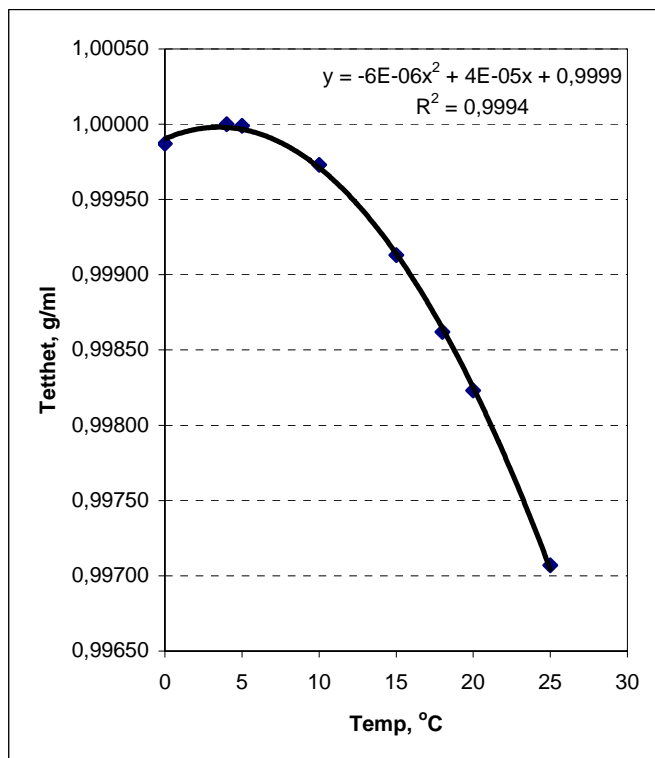
pulser i løpet av vinteren, og konsentrasjonene vil følgelig kunne bli mye høyere enn verdiene som er antydnet ovenfor.

Ved å multiplisere konduktiviteten (benevning mS/m) med en faktor på 8, kan en få et grovt estimat (anslag) på vannets saltinnhold i mg/L (Lande 1978). Basert på målt konduktivitet høsten 1999 (2,4-3,0 mS/m) kan en anslå vannets totale saltinnhold til ca 20-30 mg/L. Saltkonsentrasjonen i de berørte bekkene kan dermed bli betydelig høyere enn det som karakteriserer innløpsbekkene og innsjøen i dag.

En økning i saltkonsentrasjonen fra 30 til for eksempel 130 mg/L vil innebære en tetthetsøkning i vannet fra 0,00003 til 0,00013 g/kg. Dette tilsvarer omlag tetthetsøkningen en vil få ved å varme opp vann fra 0 °C (tetthet 0,99987) til 4 °C (tetthet 1,00000), eller fra 18 til 18,5 °C. Dette betyr at endringene i tetthet ved samme temperaturendring er større, jo lengre en fjerner seg fra temperaturen for største tetthet (4 °C) (**Figur 4**).

Tabell 2. Anslått saltavrenning til delfelt I-III (Figur 1) ved bruk av 15 kg NaCl pr. løpemeter vei.

Nedb felt	Veilengde m	Salt-dose kg/m/år	Tot-salt kg/år	Nedb.felt km ²	Sp avr l/s/km ²	Tilslig mill.m ³ /år	Tot-salt mg/L
Delfelt I	420	15	6300	0,36	26	0,297	21,2
Delfelt II	555	15	8325	0,15	26	0,122	68,1
Delfelt III	1150	15	17250	0,44	26	0,363	47,5
Totalt I-III	2125	15	31875	0,95	26	0,782	40,7



Figur 4. Variasjon i vannets tetthet med temperatur (etter tabellverdier gitt i Ruttner 1963). Formel for kurvetilpasning er vist.

Med bakgrunn i det ovenstående, vil bekkevann som holder 0 °C synke ned til bunnvannet i innsjøen dersom forskjellene i saltkonsentrasjon mellom bekkevann og innsjøvann overstiger 130 mg/L. Dersom bekkevannet er 1-2 grader varmere, vil det samme skje ved en konsentrasjonsforskjell på 70-90 mg/L. Det er derfor ikke usannsynlig at det kan oppstå en saltanrikning i innsjøens bunnvann i løpet av vinteren og våren. Vannet fra bekkene som er påvirket av veisaltning vil samle seg i det nærmeste dypbassenget i innsjøen de renner inn i (**Figur 1, Vedlegg B**). Avrenningen fra delfelt I vil trolig samle seg i bunnen av det midtre bassenget i Mjåvatn (36 m), avrenningen fra delfelt II i det relativt grunne bassenget oppstrøms Pinesundet (15 m) og avrenningen fra delfelt III vil trolig fordele seg relativt jevnt i de to dypeste bassengene i Molandsvatn (25 og 27 m).

Ett vanskelig spørsmål å vurdere er om de vertikale tetthetsforskjellene kan bli så store (sjiktningen så stabil) at det vil hindre innsjøen i å sirkulere fullstendig vår og høst. Dette er avhengig av flere forhold som er vanskelig å kvantifisere kun gjennom teoretiske betraktninger:

- løsmassemektighet i nedbørfeltet (har betydning for vannets oppholdstid i jorda og dermed avrenningsmønster over året)
- vertikale tetthetsforskjeller i innsjøen etter at veitrase er etablert
- vindeksposisjon langs innsjøen overflate, i forhold til innsjøens morfometri (dybdeforhold)

Det kan tenkes flere scenarier i innsjøene dersom veitraseen blir etablert:

1. Det oppstår en viss saltanrikning i bunnvannet i løpet av vinteren og våren, men saltinnholdet blir fordelt jevnt i innsjøens vannmasser under vårsirkulasjon og høstsirkulasjon. Resultatet blir en økning i innsjøens generelle saltkonsentrasjon, men sannsynligvis uten at det får følger for biologisk mangfold eller drikkevannskvalitet¹ i overskuelig framtid. I og med at innsjøene har relativt lang teoretisk fornyelsestid (>1 år) vil det bli en langsom saltakkumulering over tid.
2. Vårsirkulasjonen uteblir, men høstsirkulasjonen inntreffer på vanlig måte. Samme resultat som ovenfor.
3. Både vår- og høstsirkulasjon uteblir i starten, men innsjøen vil etterhvert sirkulere fordi kjemoklinen (den horisontale grensen mellom det saltrike bunnsjiktet og det saltfattige overflatesjiktet) vil bevege seg oppover i innsjøen (mot grunnere vannsjikt). Situasjonen vil sannsynligvis resultere i at bunnvannet etterhvert blir oksygenfritt, noe som vil ekskludere de fleste vannlevende organismer fra dette sjiktet. Vann fra under termoklinen vil heller ikke kunne brukes til drikkevannsforsyning. Oksygen vil blandes inn i bunnvannet ved neste sirkulasjonsperiode. Innsjøen vil etterhvert få en generell økning i saltkonsentrasjonen, slik at sirkulasjon sannsynligvis vil inntreffe regelmessig etterhvert (pga. mindre tetthetsforskjeller mellom overflatevann og bunnvann)
4. Bunnvannet blir permanent stagnerende, dvs. at det ikke lenger vil omfattes av innsjøens sirkulasjon vår og høst. Vannsjiktet vil dermed ikke lenger vil kunne fornyes blant annet ved tilførsel av nytt oksygen fra atmosfæren. Bunnvannet blir dermed permanent oksygenfritt, med de negative følger dette har for biologisk mangfold og drikkevannsforsyning.

Topografien rundt innsjøene gir en viss skjerming mot vind, men i og med at den langstrakte innsjøoverflaten går langs den fremherskende vindretningen i området (mot nordøst) er det sannsynlig at sirkulasjonskreftene (vindens arbeid) vil være sterke nok til å bryte de vertikale tetthetsgradientene i innsjøen. Dette peker i retning av scenario 1, 2 eller eventuelt 3. Det kan imidlertid ikke utelukkes helt at en kan få en situasjon tilsvarende scenario 4, dersom saltkonsentrasjonene i innløpsbekkene blir svært høye, eller innsjøen er for lite vindeksponert i forhold til dypet.

¹ I følge drikkevannsnormene skal ikke konsentrasjonene av natrium og klorid overskride hhv. 20 og 30 mg/L (Sosial- og helsedepartementet 1995).

3.4 Anbefalinger

Det bør vurderes tiltak for å hindre at det saltrike avrenningsvannet renner direkte ut i innsjøene – uten vesentlig tidsforsinkelse. Ulike former for infiltrasjon eller fordrøyningssbassenger/renebassenger vil øke vannets oppholdstid i nedbørfeltet, og en får en bedre fordeling av saltavrenningen over tid. Dette vil medføre lavere og mer jevne saltkonsentrasjoner i innløpsbakkene til Mjåvatn og Molandsvatn og redusert fare for etablering av store tetthetsgradienter i innsjøene.

På grunn av de mange usikkerhetsmomentene som er nevnt ovenfor, anbefaler vi at det etableres et vannkjemisk overvåkingsprogram i forbindelse med en eventuell etablering av en ny vei i området. Dette vil være viktig både for å dokumentere effekter og for eventuelt å kunne iverksette avbøtende tiltak. Overvåkingsprogrammet bør iverksettes ca ett år før den første saltingsperioden starter, og det bør omfatte prøvetaking både i innsjøene og i aktuelle tilløpsbekker.

4. Litteratur

- Berge, D. & Stene-Johansen, S. 1992. Ny E18 forbi drikkevannskilden Hallevannet i søndre Vestfold. Påvirkninger – tiltak. NIVA-rapport 2820, 22 s.
- Bækken, T. 1998. Vannkvaliteten i 5 brønner langs veier i Østfold. NIVA-rapport 3804, 12 s.
- Hindar, A., Henriksen, A., Tørseth, K. & Lien, L.. 1993. Betydningen av sjøsaltanrikt nedbør i vassdrag og mindre nebfelt. Forsuring og fiskedød etter sjøsaltepisoden i januar 1993. NIVA-rapport 2917, 42 sider.
- Kjensmo, J. 1997. The influence of road salts on the salinity and the meromictic stability of Lake Svinsjøen, southeastern Norway. *Hydrobiologia* 347: 151-158.
- Lande, A. 1978. Hydrolog, hydrofysikk og hydrokjemii. Kompendium, Telemark distrikthøgskole, Bø. 57 s.
- Ruttner, F. 1963. Fundamentals of limnology. Univ. of Toronto Press, 295 s.
- Sosial og helsedepartementet 1995. Forskrift om vannforsyning og drikkevann mm. Nr. 68, I-9/95, 38 s.
- Sverdrup, H.V., Johnson, M.V. & Fleming, R.H. 1942. The oceans. Prentice-Hall, New-York.
- Tørseth, K. & Semb., A. 1997. Deposition of major inorganic compounds in Norway 1992-1996. NILU-report OR 67/97, 54 p.

Vedlegg A. Kjemiske data

Stasjon	Dato	Dyp, m	Temp, °C	O ₂ , mg/L	Kond, mS/m	Na, mg/L	Cl, mg/L
Mjåvatn	01.09.99	1	17,5				
Mjåvatn	01.09.99	5	14,4	7,3	2,68	1,60	3,3
Mjåvatn	01.09.99	10	7,4	7,6	2,90	1,77	3,2
Mjåvatn	01.09.99	15	5,6	7,6	2,88	1,85	3,4
Mjåvatn	01.09.99	20	5,0	7,3	2,91	1,73	3,4
Mjåvatn	01.09.99	30	5,0	6,4	2,97	1,76	3,5
Molandsv	01.09.99	1	17,4				
Molandsv	01.09.99	5	11,1	7,3	2,45	1,44	2,9
Molandsv	01.09.99	10	6,0	6,8	2,61	1,54	3,2
Molandsv	01.09.99	15	5,4	6,3	2,73	1,69	3,4
Molandsv	01.09.99	20	4,5	5,0	2,76	1,67	3,4
Molandsv	01.09.99	25	4,5	4,1	2,81	1,80	3,4
Mjåvatn	13.10.99	1					
Mjåvatn	13.10.99	5	9,5	9,1	2,63	1,53	2,8
Mjåvatn	13.10.99	10	6,2	7,4	2,85	1,72	3,1
Mjåvatn	13.10.99	15	5,6	7,1	2,87	1,72	3,2
Mjåvatn	13.10.99	20	5,5	7,1	2,93	1,72	3,2
Mjåvatn	13.10.99	30	4,9	6,2	3,00	1,72	3,2
Molandsv	13.10.99	1	8,9				
Molandsv	13.10.99	5	9,0	8,8	2,35	1,42	2,8
Molandsv	13.10.99	10	6,0	6,6	2,50	1,57	3,0
Molandsv	13.10.99	15	5,0	5,6	2,69	1,58	3,2
Molandsv	13.10.99	20	4,4	3,9	2,82	1,64	3,6
Molandsv	13.10.99	25	4,4	3,2	2,76	1,63	3,2

Optiske forhold:

	13.10.99	Siktedyp, m	Vannets farge
Mjåvatn	01.09.99	5,2	gullig brun
Molandsv	01.09.99	3,7	gullig brun
Mjåvatn	13.10.99	3,9	gullig brun
Molandsv	13.10.99	3,4	brun

Vedlegg B. Dybdekart

Grovt dybdekart over Mjåvatn og Molandsvatn, basert på ett langsgående transekt samt noen få tverrgående transekter med ekkolodd.

