



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018

30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Bruk av avisingsmidler på veinettet rundt Østensjøvannet, miljøkonsekvenser for jord og vann kvalitet

Use of deicing agents on the roads around
Østensjøvannet Lake, Environmental impacts on
soil and water quality

Abdul Jabbar

Master i miljø og naturressurser

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Forord

Dette er en avsluttende oppgave i min mastergrad i Miljø og naturressurser ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oslo Kommunen har finansiert oppgaven gjennom Oslo sykkel prosjektet.

Først og fremst vil jeg takke mine veiledere Helen K. French og Ståle Leif Haaland ved Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (NINA). En stor takk til Helen for gode råd, faglige innspill, et smittende engasjement og en alltid åpen dør. Du er til stor inspirasjon! Det har jeg satt stor pris på!

Takk til Ståle som har vært på feltarbeid hos meg og for alltid å gi oppmuntrende kommentarer. Du har vært positivt, holdt meg på rett spor, kommet med gode tips, råd og raske tilbakemeldinger gjennom hele tidsperioden.

Jeg vil også rette en takk til Charifa Erickson og Leif Jakobsen for ERT feltarbeid og hjelp med utføring av kartdata ved bruk av ArcGIS.

Deriblant fortjener Johanna Skrutvold en ekstra stor takk for å ha vært til svært stor hjelp, for godt samarbeid med felt, og for alltid å gi gode svar. Takk!

Videre vil jeg takke medstudent og en god venn, Ingvild Schmidt. Det var ikke lett å skrive masteroppgaven på norsk men ville jeg takke til Eivind Drabløs og Erling Haakstad for korrigerende av grammatiske feiler.

Og sist, men ikke minst vil jeg takke venner og familie.

Abdul Jabbar

15.08.2018

Oslo, Norway

Sammendrag

Oslo kommune har et mål om å redusere saltbruk på vei av hensyn til miljø. Med det har Bymiljøetaten testet ut et miljøvennlig alternativ til salting av Østensjøveien langs Østensjøvannet. Utprøvingen av formiat foregår i Østensjøveien (fra Haakon Tveters vei til Enebakkveien), samt i Eterveien mellom Østensjøvannet og General Ruges vei. Prosjektet varer ut 2019. To ulike formiater har blitt testet; kaliumformiat i væskeform og natriumformiat i fast form (granulat). Denne masteroppgaven på 30 EC er et ledd i dette prosjektet og baserer seg på ekstensivt feltarbeid i forbindelse med prosjektet i perioden januar til juni 2018.

Vann, snø og jord har blitt prøve tatt rundt Østensjøvannet. Det har blitt benyttet høyoppløselig logging ved bruk av on-line multiparametersensorer (ledningsevne, vannhøyde, redoks, pH, temperatur, turbiditet og oksygen) i Smedberg- og Ulsrubbekken. I tillegg har HOBOWare-loggere blitt benyttet i Bøler-, Smedberg- og Ulsrubbekken for å måle vannhøyde, temperatur, ledningsevne (EC) og pH. Det har i tillegg blitt tatt ut 28 vannprøver, 14 snøprøver og 12 jordprøver for analyse på laboratorium. Elektrisk resistivitetstomografi på visse strekninger har også blitt utført.

Mengden avisningsmiddel benyttet på veiene blir redusert ved bruk av formiat. I feltperioden fra 22. januar til 30. juni, ble om lag 32,6 tonn klorid og 6,5 tonn formiat transportert til Østensjøvannet. Det er som forventet høyere konsentrasjon av natriumklorid i vannprøver nedstrøms salting før bruk av formiat, og dette synker gradvis etter bruk av formiat. Ledningsevnen til snøprøvene og konsentrasjon av formiat avtar også som forventet med økning i avstand fra vei. Nedbrytningen av formiat vil foregå raskt i jord, særlig ved høyere temperatur etter snøsmelting. Det ble også funnet lite formiat i jordprøvene i feltperioden, men noe formiat ble funnet i innløpsbekkene til Østensjøvannet som drenerer den utprøvde strekningen.

Det er tydelig effekt av veisalt på vann, snø og jord. Natriumklorid som et avisningsmiddel har negative miljøkonsekvenser for jorda ved at det ikke nedbrytes og transporteres til Østensjøvannet. På den annen side nedbrytes formiater veldig raskt i jorda. Natrium- og kloridkonsentrasjonene ble redusert vesentlig etter at veisalt ble erstattet med formiater. Dette prosjektet skal fortsette til neste år, og da vil det bli tydeliggjort om formiater er bedre eller verre for miljøet enn vanlig veisalt.

Den totale påførte mengden av salt på veiene rundt Østensjøvannet ble også redusert ved bruk av formiat. Oslo kommune brukte ca. 168 tonn vanlig veisalt fra okt. 2017 til jan. 2018, mens det ble brukt ca. 21,6 tonn formiat fra februar til juni 2018.

Summary

Østensjøvannet Lake is in the Eastern part of Oslo and surrounded by dense populated areas: Bøler, Østensjø, Manglerud and Oppsal. The testing of formate takes place in Østensjøveien (from Haakon Tveters road to Enebakkveien), as well as in Eterveien between Østensjøvannet and General Ruges road. Two different formates have been tested; potassium formate in liquid form and solid sodium formate (granulate). This thesis of 30 EC is a part of this project and is based on extensive field work in connection with the project from January to June 2018.

Water, soil and snow samples has been collected from the streams flowing in to the lake and along the roads to analyze environmental effects of road salt on the water and soil. Total 28 water, 12 soil and 14 snow samples has been used to analyze chemical and physical properties.

Electrical resistivity tomography (ERT) has been performed for subsurface analysis along the Østensjøveien, Bølerbekken and under the bridge, whereas salt dilution method has been applied for measuring waterflow velocity in the Bølerbekken. Three loggers and four multi sensor has been installed in Bølerbekken (downstream and upstream), Ulsrubbekken and Smedbergbekken to measure water level, electrical conductivity and pH etc.

Water samples show higher sodium and chloride concentrations during application of road salt but decreases gradually after application of formate. As expected the higher concentrations of sodium chloride decreases after the use of formates. Electrical conductivity of melted water of snow samples decreases with increase in distance from the road. Total transported amounts of chloride and formate to the lake are 32 608 kg and 6 432 kg, respectively, from 22 January to end of June 2018.

The negative effect of road salt on soil and water is very clear. Higher concentrations (> 500 mg/l) of chloride in the water is a major threat to fishes, plants and animals in the lake. While use of formate as a de-icing agent is very effective and have less environmental impacts on ecosystem because formate degrades very fast in the soil. This project will be continued until August 2019 and will summarize if the formates are better or worse for environment as compared to sodium chloride.

Total amount of applied road salt from October 2017 to January 2018 is approximately 168 tons whereas this amount has been reduced to 21.6 tons by replacing sodium chloride with formates as de-icing agent.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Hva er veisalt?	1
1.3	Veisalting i Norge.....	3
1.4	Fordeler og ulemper med veisalting	4
1.5	Formål og hypotese	5
2	Områdebeskrivelse.....	7
2.1	Bølerbekken.....	8
2.2	Smedbergbekken.....	11
2.3	Ulsrubekken.....	12
2.4	Underbroen	13
3	Materiale og metoder	14
3.1	Prøvetaking.....	14
3.1.1	Vannprøvetaking	14
3.1.2	Jordprøvetaking.....	14
3.1.3	Snøprøvetaking.....	14
3.2	Multiparametersensorer	18
3.3	Logging av ledningsenve, vannhøyde og temperatur	18
3.4	Saltfortynning	20
3.5	Elektrisk resistivitetstomografi (ERT)	21
3.6	Estimering av hydraulisk ledningsevne fra jordprøver	23
3.7	Beregning av formiat og kloridkonsentrasjoner.....	23
3.8	Estimert transport av veisalt	25
3.9	Areal estimering av formiatbruk	25
4	Resultater og diskusjon	27
4.1	Saltfortynning	27
4.2	Elektrisk resistivitet tomografi (ERT)	28
4.3	Fysiske og kjemiske jordanalyser	29
4.3.1	Miljøeffekter av klorid i jorda	31
4.4	Resultater fra Snøprøver	33
4.5	Resultat av vannprøveanalyser	33
4.6	Tilførte formiat- og kloridmengder i bekkene	35

4.6.1	Før bruk av formiat.....	36
4.6.2	Etter bruk av formiat	38
4.7	Estimering av transportert klorid og formiat	41
4.8	Areal estimering av formiat forbruk.....	42
4.9	Mangelfulle data	45
5	Konklusjon	46
6	Referanser	47
7	Vedlegger.....	50

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Veisalt påføres veier i nordlig tempererte klima for å hindre trafikkulykker. Salt ble først brukt i USA til å dekke veier i New Hampshire, som begynte å bruke granulært natriumklorid på en eksperimentell basis i 1938. Vinteren 1941-1942 ble totalt 5.000 tonn salt spredt på veier i USA (Victoria R. Kelly 2010).

Om vinteren brukes veisalt for å senke frysepunktet for is eller nedbør, slik at is og snø smelter eller forblir i flytende tilstand, og man unngår problemene knyttet til isdannelse på veier. Veier krever en spesiell behandling i løpet av vintersesongen fordi antall ulykker kan øke hvis de ikke vedlikeholdes ordentlig. Det bør nevnes at forskjellige land har forskjellig miljømessig forhold og dermed kan metoder for vedlikehold av vinterveier kan også variere. Forskjellige studier tyder på at trafikkulykker kan reduseres med 20 til 90% når isete og snødekte veier blir saltet og gjenopprettet for fortau (Perchanok, Manning et al. 1991, Kostick 1993).

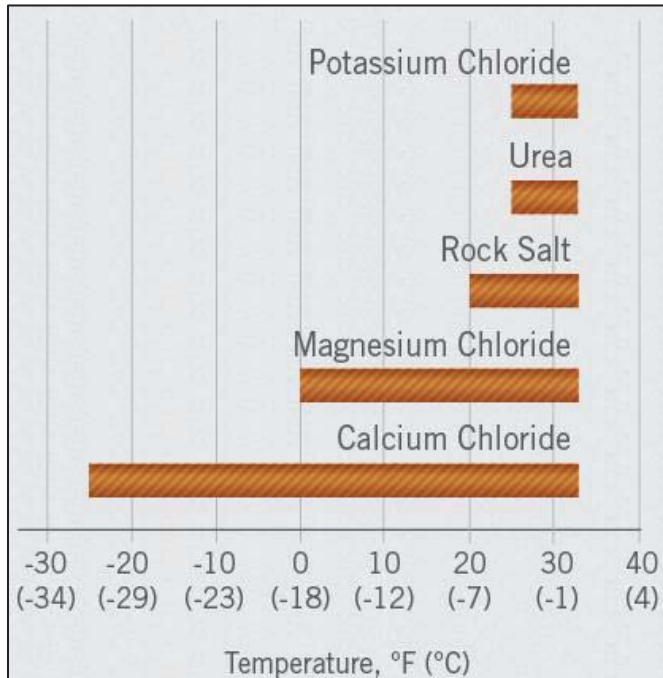
1.2 Hva er veisalt?

Natriumklorid (NaCl) er den vanligste saltformen brukt av Statens vegvesen (SVV) i Norge og representerer over 95% av alle kjemiske strømidler. Magnesiumklorid ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) brukes også en del på veier og flyplasser. Det er mindre skadelig for betong, gangveier og vegetasjon når det brukes som angitt (Holen 2010). Kalsiumklorid ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) gir en optimal kombinasjon av avisingssegenskaper fortau vinteren vedlikehold. Kalsiumklorid er veldig effektivt når det gjelder å senke frysetemperatur og kan opprettholde is-smeltende virkning ned til $-32\text{ }^\circ\text{C}$ (figur 1.1, OxyChem 2018).

Frysepunktet av vann reduseres ved bruk av veisalt og forskjellige typer salt gir ulikt frysepunkt avhengig av ulike saltegenskaper (Sakshaug 2007). Natriumklorid er veldig effektivt når temperaturen er mellom 0 og $-7\text{ }^\circ\text{C}$ men ikke ved temperaturer som avviker fra dette. Derfor anvender SVV mange alternative avisingsmidler for å gi tryggere kjøreforhold vinterstid (Urset 2016).

Både natrium og klorid er mobile og følger vannføringen i nedbørfeltet men natrium er litt mindre mobilt enn klorid ettersom natrium er positiv og kan adsorberes. Klorid regnes som et konservativt ion og har veldig lett for å transporteres til bekker og innsjøer med liten adsorpsjon i nedbørfeltet (Ståle, Lars et al. 2012). Ionsbyttekapasitet i nedbørfeltet består av kolloide materialer slik at det kan tiltrekke seg, beholde og bytte ioner som har motsatt elektriske ladninger. Dette kan resultere i variasjon i pH i jorden og kan også endre biogeokjemiske jordforholdene (Loures, Gama et al. 2017).

Natriumioner, Na^+ kan bindes til leiroverflater eller organisk materiale (humus) fordi de opptrer hovedsakelig med en negativ overflate i jordsmonnet (Loures, Gama et al. 2017). Na^+ i perkolerende vann byttes med H^+ , Al^{3+} og basiske kationer. I motsetning til klorid som er et svært mobilt ion som passerer gjennom jorda med relativt uendret konsentrasjon (Hindar, Henriksen et al. 1994, Hindar, Henriksen et al. 1995).



Figur 1.1: Laveste effektive temperaturen for vanlige veisalter avisingskjemikalier (OxyChem 2018).

Klorider er den største bekymring når det gjelder veisalting, fordi det meste av klorider transporteres til innsjøer og kan være skadelig for økosystemet hvis klorid konsentrasjonen er mer enn 800 ppm. Kloridkonsentrasjoner på over 250 ppm kan gi smak i drikkevann or er grenseverdien for drikkevann (Lovdata 2016). Flere studier har funnet ut at kloridet fra veisalt kan negativt påvirke overlevelsen av krepsdyr, amfibier som salamandere og frosker, fisk, planter og andre organismer (Stromberg 2014).

Av og til kan kalsiumklorid blandes med natriumklorid for å forbedre smelte-effekten og redusere forbruket av veisalt. Kalsiumklorid kan påføres som flak, flytende eller som saltløsning, avhengig av sammensetning. Kalsiumklorid er mer løselig i vann enn natriumklorid, men mindre løselig ved synkende temperatur som vist i tabell 1.1 (Evans and Frick 2001).

Kaliumklorid kan også brukes til å smelte is. Det har tilsvarende fysisk-kjemiske egenskaper som natriumklorid, men med noe forskjell i funksjonell temperatur. Magnesiumklorid kan også brukes som avisingsmiddel og for å dempe effekten til veistøv. Magnesiumklorid kan påføres som flak, flytende eller saltløsning og er mer vannoppløselig enn kaliumklorid. Det er også mer hygroskopisk enn kalsiumklorid og krever større forsiktighet ved bruk i tørre forhold; det brukes mest i oppløste forhold (OECD 1989, Evans and Frick 2001).

Tabell 1.1: Fysiske og kjemiske egenskaper av veisalt. Modifisert fra Evans and Frick (2001).

Fysiske og kjemiske egenskaper	NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂	KCl	HCOONa	CH ₃ COONa
Form	granular	flak	granular	granular	granular	granular
Molekylær vekt	58,44	110,99	95,21	74,55	68,01	82,0343
Tetthet (g/cm ³)	2,17	2,15	2,32	1,98	1,92	1,528
Effektiv temperatur	Til -7,4	Til -32	Til -15	Til -4	Til -7	
Ineffektiv temperatur	-17	-34,4		-15		
Vannløselighet						
gm/L at 0°C	357	371	543	344	438	329
gm/L at 100°C	391	425	727	567	1600	990
Korrosivt	Ja	Veldig	Ja	Ja	Nei	Nei
Konsekvenser	Planteskader med vegnett	Ca bindes til jord	Mg bindes til jord	K gjødsling	Redusert vann oksygen	Redusert vann oksygen

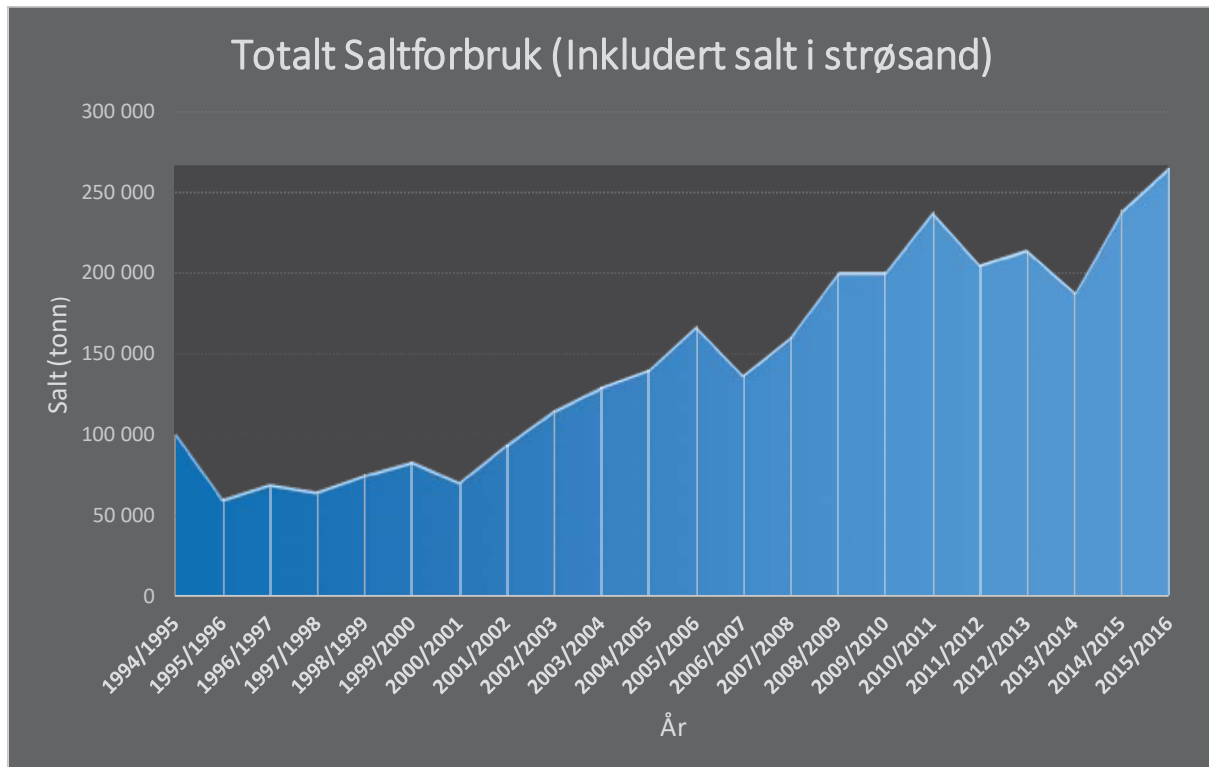
1.3 Veisalting i Norge

Veitilstanden er veldig viktig for vinterdriften (brøyting, snø- og ishøvling). Det er vanskelig å fjerne snø fra veier og sikre god fremkommelighet og trafikksikkerhet gjennom vinteren. Derfor, brukes det i dag omtrent 7000 tonn veisalt (NaCl) hver vinter i Oslo. I Norge, ble veisalting tatt i bruk på 1960 tallet (Wike 2007). Natriumklorid er det saltet brukes av Statens vegvesen for det mest i Norge og andre avisingsmidler som Kalsium-magnesium klorider brukes i det mindre grad. I Norge, har det vært en vesentlig oppgang i mengden årlig tilført veisalt, og siden år 2000 har mengden økt mer enn tre ganger (Tollefsen, Song et al. 2015).

Den utbredte bruken av veisalt (hovedsakelig natriumklorid (NaCl)) i Norge for snø og is-fjerning har ført til miljøpåvirkning på mange områder. Det har blitt rapportert at akvatiske økosystem som ligger nær veiene får episodisk høy konsentrasjon av salt for eksempel, innsjøer som ligger i nærheten av veiene har høyere konsentrasjon av salt i forhold til innsjøer lenger unna veiene. Høy konsentrasjon av salt i avrenning er knyttet til episoder med mye nedbør eller snøsmelting (Bækken and Haugen 2006).

Mengden salt som brukes til veiene for å fjerne snø har gradvis økt i løpet av de siste tiårene (Figur 1.2). Saltmengden per år har økt jevnt og det ble vinteren 2015/2016 brukt totalt 239 000 tonn salt på norske veier (Vegvesen 2016b). Hovedsakelig, brukes Statens vegvesen

sjøsalt eller steinsalt som består av natriumklorid ved salting av veier i Norge (Amundsen, French et al. 2008).



Figur 1.2: Totalt saltforbruk på norske offentlige veier fra vinteren 1994/1995 til vinteren 2015/2016. Tallene er hentet fra (Vegvesen 2016b).

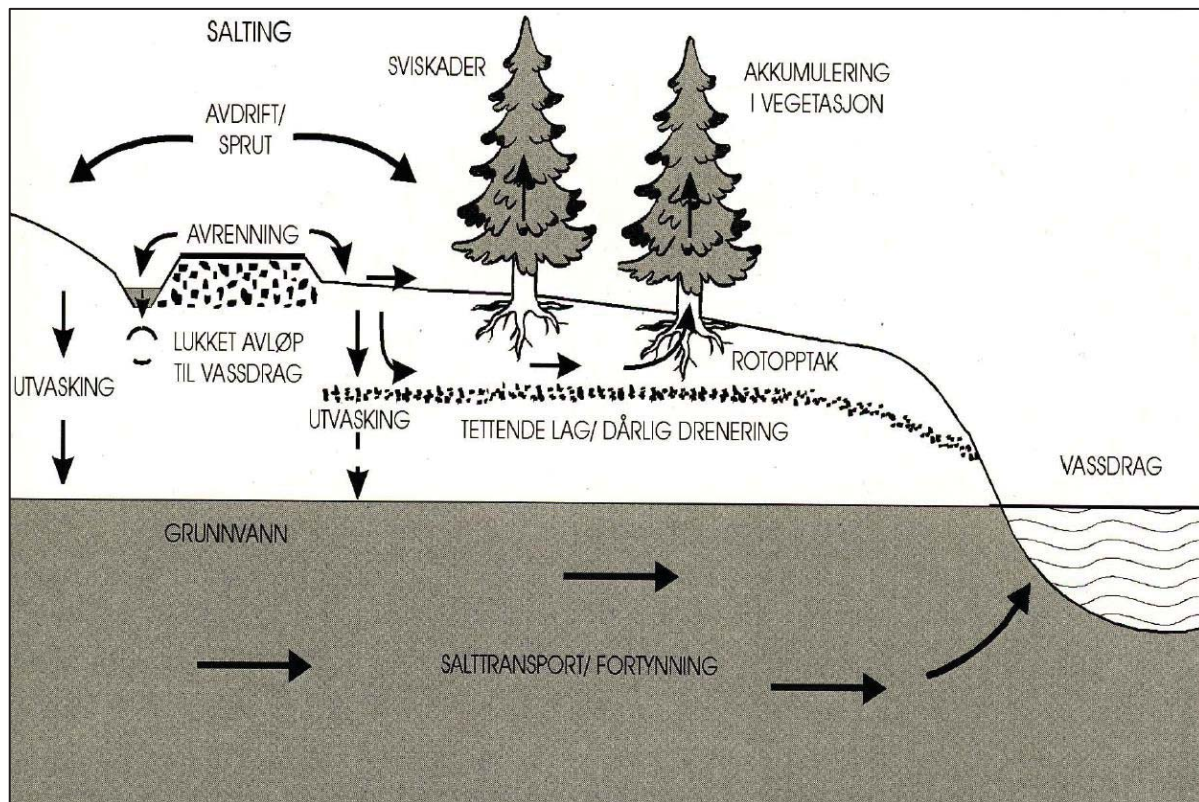
1.4 Fordeler og ulemper med veisalting

Fordeler ved veisalting å forhindre at veibanen blir glatt ved å øke friksjonen. I forbindelse med hardpakket is, anvendes salt for å unngå hard eller tett snø (Sivertsen 2012). Veisalt gjør veien fremkommelig for kjøretøy som er normalt utstyrt for vinterkjøring. Salt smelter snø, øker friksjon og hindrer at is og rim dannes på veibanen. Salt forebygger at snø kompakteres og fester seg til veibanen (Klein-Paste 2008).

Ulemper med veisalting er økende trussel mot vannøkosystemer. Stefan, Novotny et al. (2008) fant ut at rundt 30 prosent av saltet på veiene transporteres til elver eller innsjøer og resterende 70 prosent er enten blåst bort, transportert i grunnvannet, eller blir liggende i jorda. Saltinnholdet til økosystemer påvirkes av naturlig prosesser og menneskeskapte aktiviteter.

Veisalt når overflatevann gjennom forskjellige måter i vannkretsløpet, inkludert som direkte nedbør, veibasert avrenning og grunnvann innganger som vist i figur 1.3 (Wetzel 1983, Evans and Frick 2001). Vesentlige mengder veisalt kan bli funnet 100 meter bort fra veier, og målbare mengder observeres fortsatt over 200 meter på grunn av spredning og saltsprut

(Kelting and Laxon 2010). Høyt saltinnhold i jorda kan føre til blad- og trærsskader nær veier og stor avstand fra veier på grunn av saltsprut (Pedersen 2007).



Figur 1.3: Transport av veisalt i jord, vann og vegetasjon (Pedersen and Fostad 1996).

De viktigste effektene av veisalting er endringer i tetthetsgradienter og kjemiske egenskaper i overflatevann/innsjøer. Saltvann har høyere tetthet enn regnvann og kan synke ned og utgjøre en trussel mot fisk som lever i dypt og kaldt vann. Det bør være en balanse mellom saltinnhold i vann og saltmengde i fiskekroppen, hvis saltmengde i vann er mye høyere enn fiskekroppen må oppta salt fra vann. Dette kan ødelegge kroppens vev og endelig bringe til fiskedøden (Lisboa, Barcoralli et al. 2015). Kjemiske endringer involverer en forhøyning av kloridinnholdet, endringer i oksygen-nivåer og episoder av økt kation innhold. Veisalt kan bli akkumulert i jorda og endre jordkjemien på grunn av ionebytting.

Basiskart er lastet ned fra NGU (Norges geologiske undersøkelse) sin kartside for kartlegging av nedbørfelt i studieområdet. Kartene vises og diskuteres i områdebeskrivelsen i kapittel 2.

1.5 Formål og hypotese

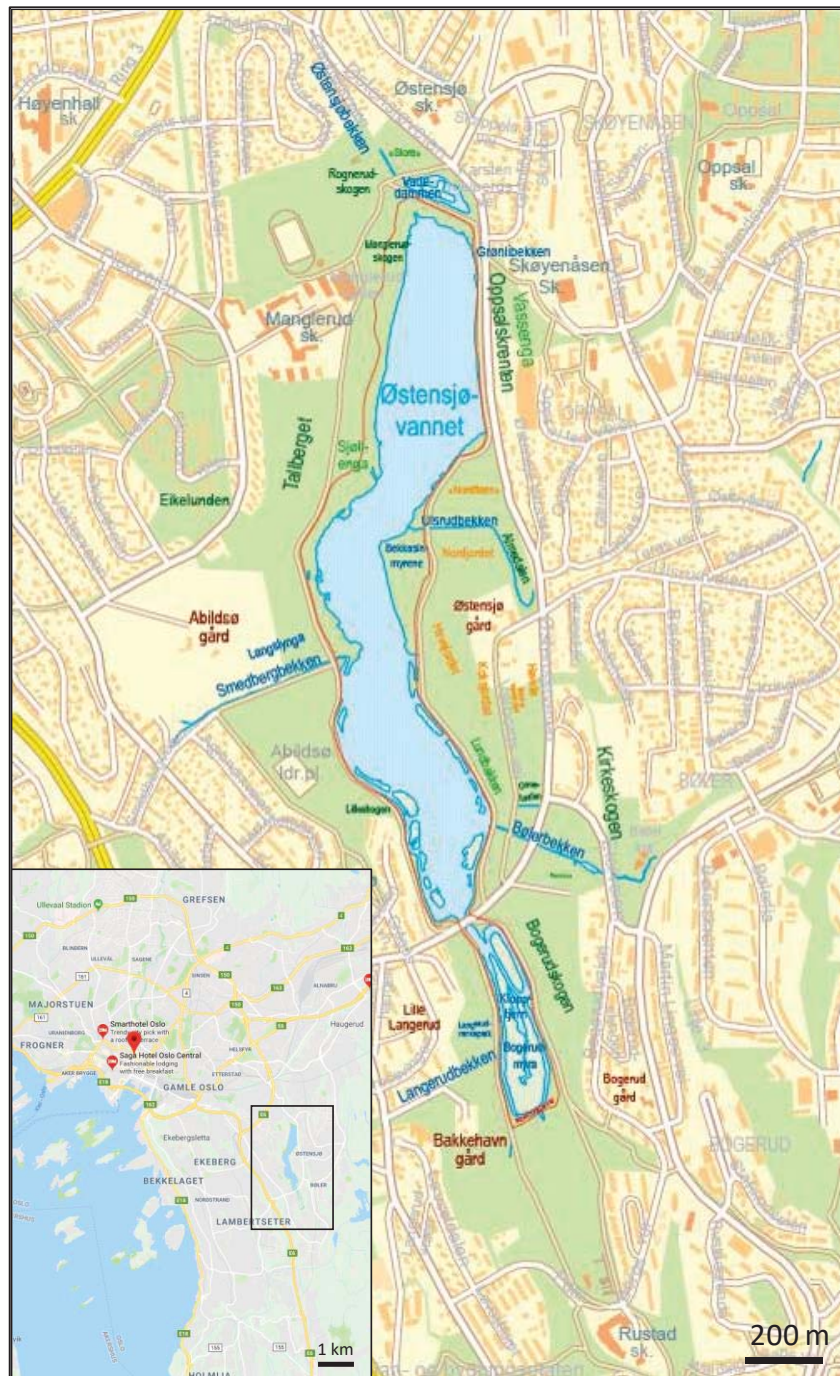
Denne studien ble initiert gjennom Oslo kommune Bymiljøetaten som har som mål å redusere forbruk av vanlig veisalt. Østensjøvannet ble valgt som test lokalitet. Oslo kommune ønsker å teste ut et nytt avisings middel: formiater, og formålet med prosjektet NIBIO er engasjert for å utføre er å finne ut om det er bedre eller verre for miljøet enn vanlig veisalt (natriumklorid).

Formålet med denne oppgaven er å vurdere mulige miljøeffekter i vann og jord ved bruk av avisingsmidler (natriumformiat og natriumklorid) på sykkelfelt og utvalgte kommunale veier rundt Østensjøvannet. Det er påvist at vanlig salt (NaCl) spesielt høye kloridkonsentrasjoner kan ha negative miljøkonsekvenser på overflatevann, innsjøer og vegetasjon.

Hypotesen er at høyere konsentrasjon av veisalt kan medføre negative miljøkonsekvenser i Østensjøvannet og derfor skal forbruket av veisalt reduseres med alternative avisingsmidler. Denne oppgaven vil fokusere på de kjemiske endringer i vann og jord samt med beregningen av klorid- og formiatkonsentrasjoner som ble transportert fra 22. januar til slutten av juni.

2 Områdebeskrivelse

Østensjøvannet ligger i den østre delen av Oslo, omkranset av bydelene Manglerud, Bøler og Oppsal (figur 2,1). Østensjøvannet er en av Norges viktigste innsjøer når det gjelder vann- og sumpvegetasjon. Innsjøen ligger 107 m.o.h., er langstrakt og meget grunn (dyp 3 m) og har totalareal på 463 daa. Østensjøvannet befinner seg i en N-S gående forsenkning og er et av de største vannene innenfor urban bebyggelse i Oslo (Oslo kommune 2007). Avrenning av næringsstoffer fra landbruk og kloakk har gjort Østensjøvannet næringsrik (Olsen 2002).



Figur 2.1: Oversiktskart av studieområdet. Kart er fra Google maps.

Bølerbekken, Ulsrumbekken og Smedbergbekken som renner til Østensjøvannet, er blitt studert detaljert. Lokalitetene for vann, snø og jordprøvetaking ble valgt i bekkene og under broen. Bekkene måtte ha tilknytning til veien som ble saltet. De valgte bekkene er Østensjøbekken, Bølerbekken, Smedbergbekken og Ulsrumbekken. I sør renner vann fra små bekker i Bogerudmyra og Langerud områdene. Østensjøvannets eneste utløp er Østensjøbekken som ligger i nordenden av innsjøen, og vannet renner nordover.

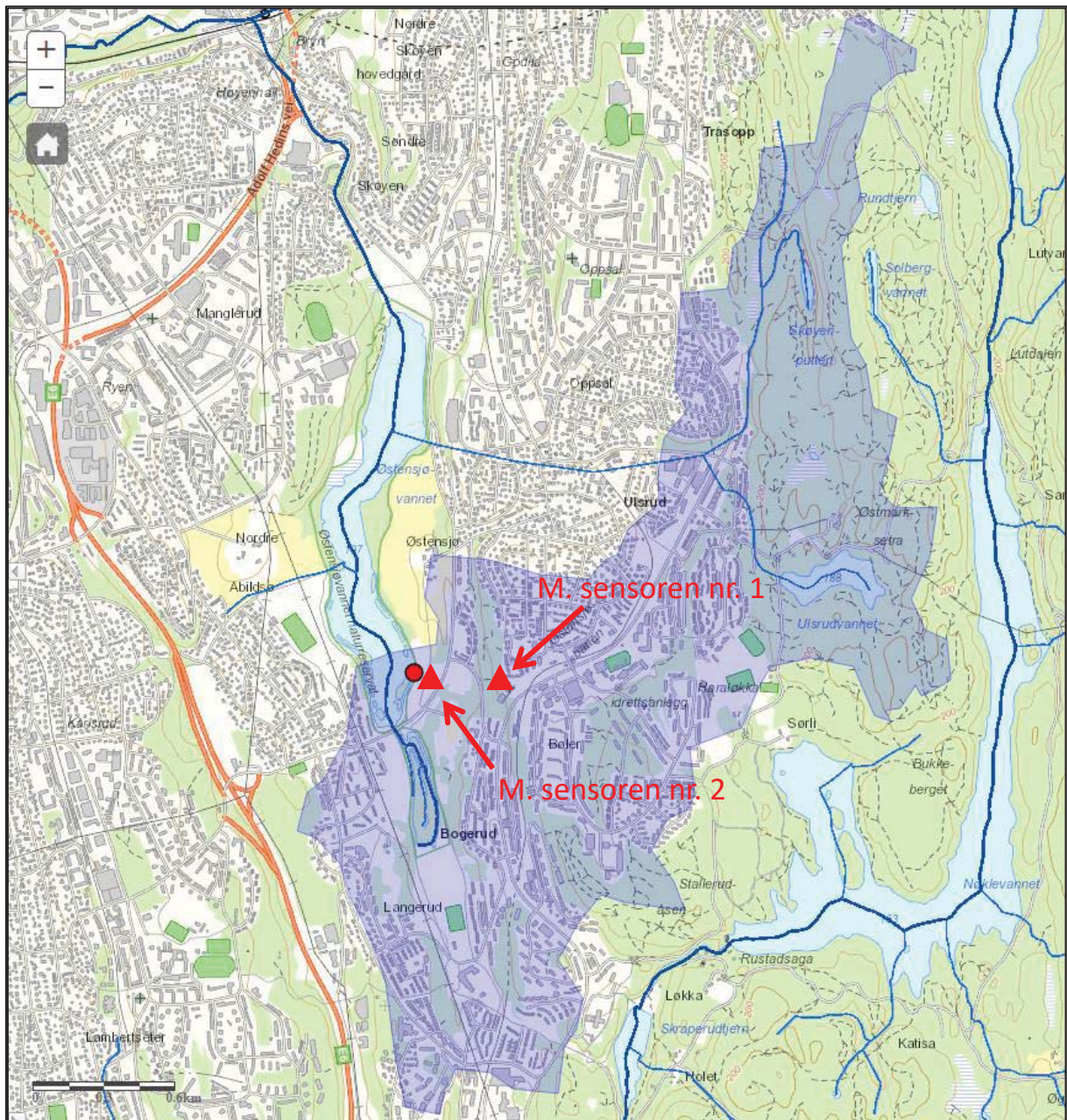
ArcGIS (geografisk informasjonssystem) er benyttet for kartlegging av nedbørfeltet i studieområdet. Nedbørfelt basert på en digital høyere modell (DEM) til alle de små bekkene og til Østensjøvannet har blitt opprettet ved bruk av ArcGIS. ArcGIS er et veldig nyttig verktøy for innsamling, behandling, analyse og presentasjon av geografisk informasjon. Kartet ble benyttet for å sammenligne resultater med areal estimert av formiatkonsentrasjoner fra veier.

2.1 Bølerbekken

Bølerbekken ligger i den sørøstlige delen (Bøler området) av Østensjøvannet og er den største bekken i dette området. Bølerbekken har oppstrøms høyere vannføring i forhold til de andre bekkene i området. Vannet i Bølerbekken kommer fra skog og kloakk. Bølerbekken renner gjennom Eterveien, Østensjøveien og General Ragus veien, og transporterer veisalt til Østensjøvannet. Området rundt Bølerbekken nedstrøms benyttes av rekreasjon og friluftsliv i nærheten av Østensjøvannet.

Nedbørfeltets høyeste topografiske punkt er på 184 meter over havet (moh.) og Bøler borettslag ligger 156 moh. Nedbørfeltets areal domineres av skog (23 %), dyrket mark (4 %) samt åpne arealer og tett bebyggelse (43 %). Åpne areal består av veier, parkeringsplasser og parker (nevina.nve.no).

Det er lagt ut to multiparametersensorer i Bølerbekken; Bølerbekken oppstrøms og nedstrøms. Nedbørfeltet har et areal på 3,2 km² og nedbørfeltet er illustrert i figur 2.2 hvor rød sirkel viser plasseringen til multiparametersensorene. Som vist i oversiktskartet (figur 2.2) krysser Bølerbekken Eterveien og Østensjøveien. Multiparametersensor nr. 1 i Bølerbekken oppstrøms er lengst fra Eterveien og viser forurensning fra General ruges veien samt med Bøler boligområdet. Figurene 2.3 og 2.4 viser Bølerbekken oppstrøms og nedstrøms henholdsvis i en frostperiode med multiparametersensoren og har et omtrent 8 cm tykt islag.



Figur 2.2: Bølerbekken nedbørfelt. Røde trekkanter viser multiparametersensorer i Bølerbekken nedstrøms (nr. 2) og oppstrøms (nr. 1). GIS-Kart er fra nevina.nve.no (NVE).



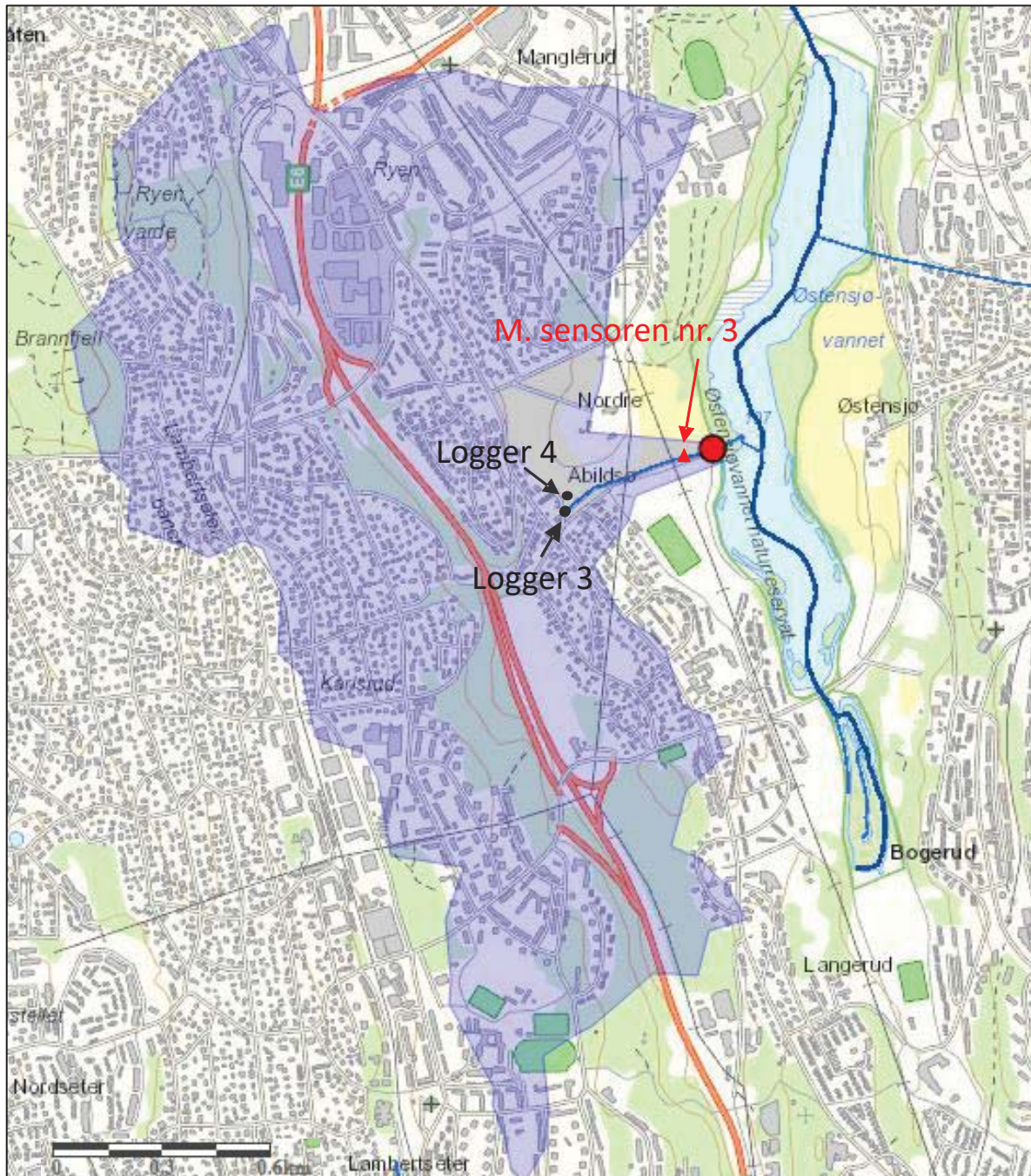
Figur 2.3: Bølerbekken oppstrøms med multiparametersensoren no. 1. Bildet er tatt 12.03.18.



Figur 2.4: Bølerbekken nedstrøms med multiparametersensoren no. 2. Bildet er tatt 02.04.18.

2.2 Smedbergbekken

Smedbergbekken ligger i den vestlige delen av Østensjøvannet (Abildsø). Nedbørfeltet domineres av tett bebyggelse og landbruk, henholdsvis i sørvest og nordvest (figur 2.5). Som vist i nedbørfeltkartet går Europaveg 6 (E6) igjennom den sørvestlige delen av nedbørfeltet. Veisalt fra E6 renner til Østensjøvannet gjennom Smedbergbekken.



Figur 2.5: Smedbergbekken nedbørfelt. Rød trekant viser plassering av multiparametersensoren nr. 3 og svarte sirkler viser plassering av loggerne. GIS-Kart er fra nevina.nve.no (NVE).

I følge nevina.nve.no (NVE) har Smedbergbekken et areal på omtrent 2,93 km² med 534 mm/år avrenning og ligger ca. 110 moh. Vannet renner fra Abildsø gård og Manglerud i den nordvestlige delen av nedbørfeltet og har ledningsevne (EC) på ca. 650 µS/cm og vannet fra det sørvestlige området har EC på omtrent 1600 µS/cm og renner fra Lambertseter og E6. Vannet fra E6 og det sørvestlige området går i rør under Enebakkveien og renner ut til Smedbergbekken. Multiparametersensoren nr. 3 ble installert i Smedbergbekken nedstrøms og to logger ble plassert i to små bekker som samler seg til Smedbergbekken. Figuren 2.6 viser at to små bekker samler seg til Smedbergbekken som renner ut til Østensjøvannet.



Figur 2.6: To små bekker samler seg til Smedbergbekken. Røde piler viser strømningsretning. Bildet er tatt 07.04.18.

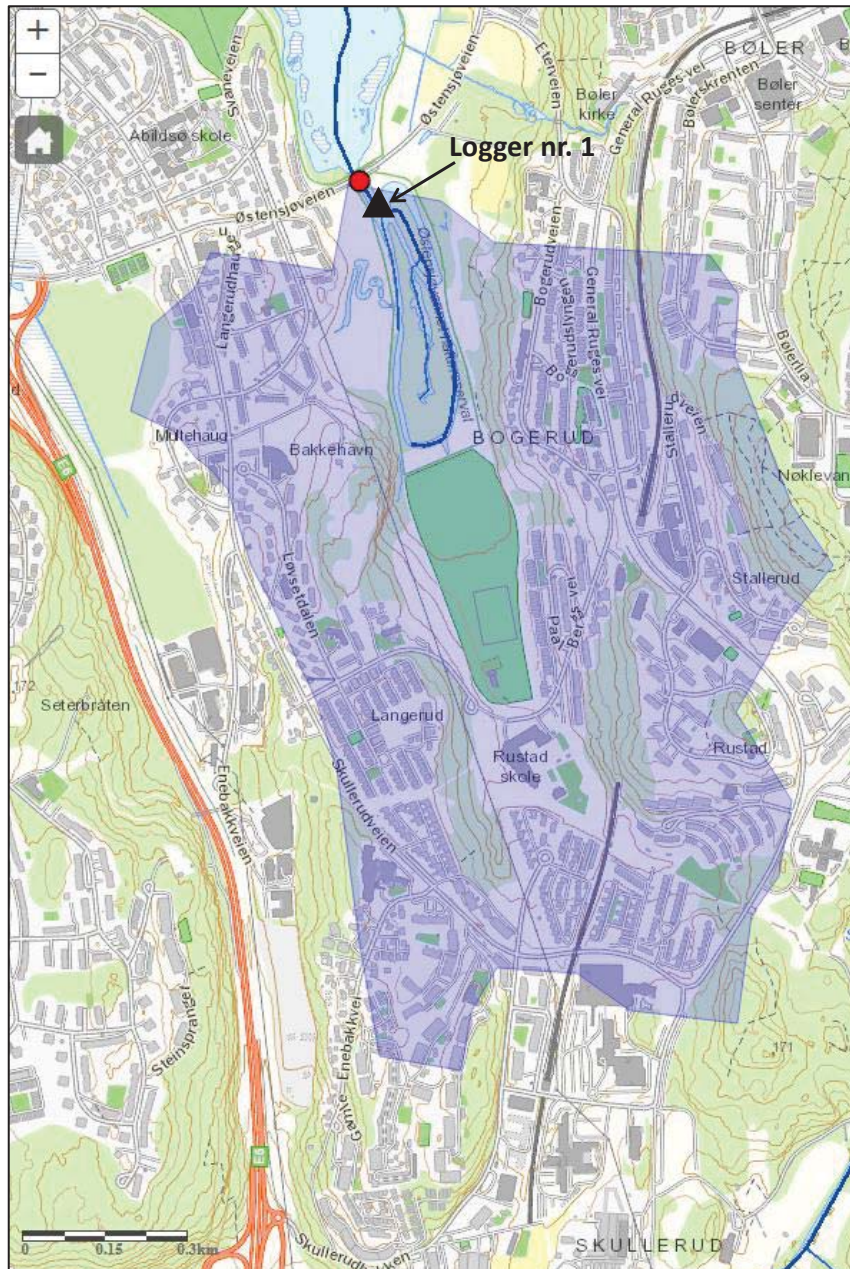
2.3 Ulsrubekken

Ulsrubekken ligger i østdelen av Østensjøvannet og området rundt bekken er preget av tettbebyggelse, som Ulsrud og Østensjø. Avrenning går i rør fra bebyggelsen til Ulsrubekken under Østensjøveien og Ulsrudveien. Nedbørfeltet har et areal på 0,44 km² med en avrenning på 558 mm/år og består av 68 % bebygget område, 17 % dyrket mark og 8% skog. Det høyeste topografiske punktet i nedbørfeltet er 166 moh. og bekken renner gjennom et relativt bratt område til et flatt område nær innsjøen.

Vannet fra Oppsalveien, Ulsrudveien og Østensjøveien renner til Østensjøvannet gjennom Ulsrubekken. Omgivelsene rundt Ulsrubekken består av skog og dyrket mark. Det ligger også gårder rundt bekken. Ulsrubekken ligger nær til Østensjøveien som ble saltet med begge avisingsmidler; vanlig salt og formiater. Logger nr. 4 ble plassert 8. februar i Ulsrubekken for ledningsevne og vannhøyde målinger.

2.4 Underbroen

Broen ligger i sørdelen av Østensjøvannet og er ca. 90 m lang. Vannet fra Bogerudmyra og Langerud renner som en liten bekk til Østensjøvannet. Ifølge med nevina.nve.no (NVE) har nedbørfeltet et areal på 1.8 km². Maksimum høyde i nedbørfeltet er ca. 160 moh. og avrenning er 531 mm/år. Nedbørfeltet består av 20% bebygget område, samt 80% landbruk og skogområde (figur 2.7). Vannet fra Østensjøveien renner direkte gjennom et sluk i broen og har dermed høy konsentrasjon av veisalt, dette vannet har blitt analysert.



Figur 2.7: Nedbørfeltet kart til liten bekk under broen. Svart sirkel viser plassering av logger nr. 01. GIS-kart er fra nevina.nve.no (NVE).

3 Materiale og metoder

I denne oppgaven ble det utført feltarbeid inkludert; vann, snø og jordprøvetaking, utsetting av multiparametersensorer og logger, saltfortynning og utført elektriske resistivitetsmålinger. Jord, snø og vannprøver ble sendt til analyse til Eurofins. Mer detaljer om materiale og metoder er beskrevet i det følgende:

3.1 Prøvetaking

Prøvetaking i felt ble gjennomført fra januar til slutten av mai. Formålet med feltarbeid er å samle data og prøver. Under dette feltarbeid ble 34 vannprøver, 12 jordprøver og 13 snøprøver samlet inn. Prøvestedene ble valgt ut fra fordelingen av potensielle forurensende kilder til Østensjøvannet på grunn av veisalting (figur 3.1).

3.1.1 Vannprøvetaking

Åtte runder med totalt 28 vannprøver ble utført i bekkene og under broen. Vannprøver representerer alle vannkilder som renner til Østensjøvannet fra forskjellige bekker og direkte fra veien (tabell 3.1). En plastflaske på 1 liter ble brukt for hver vannprøve (figur 3.2). Flasken og korken ble skylt tre ganger med vann fra den aktuelle lokaliteten, før vannprøven ble tatt i flasken. Deretter ble vannprøvene oppbevart i kjøleskap til den ble sendt til Eurofins lab for analysering. Vannkjemianalyser ble utført for å identifisere og kvantifisere de kjemiske komponentene (klorid, natrium, og formiat osv.) samt med egenskaper til vann (pH, ledningsevne, og turbiditet osv.). Hovedmålet med analyse av vannprøvene er å finne ut mengende av klorid, kalium, natrium og formiat før, under og etter bruk av formiater.

3.1.2 Jordprøvetaking

Jordprøvetaking var viktig for å finne ut de kjemiske endringene i jord på grunn av veisalting og dermed ble total 12 jordprøver ble tatt under broen og ved siden av veien, før og etter bruk av formiat (figur 3.3). To jordprøver ble tatt på lokasjon A midt under broen hvor vannet renner ned gjennom et slukk i broen fra Østensjøveien. Det var ca. 5cm tett isen over jorda og jordprøvene ble tatt fra 8-10 cm, 16-18cm dybde. Samtidig ble 2 jordprøver tatt fra 0-4cm og 7-10cm dybde på lokasjon B, fem meter vest av lokasjon A under broen. I andre runde er 4 jordprøver fra de samme lokasjonene A og B samlet etter bruk av formiat. Videre er 4 jordprøver tatt på lokasjon C langs veien (ca. 1,5m avstand fra Østensjøveien) for å finne ut spredningen av avisingsmidler rundt veien.

3.1.3 Snøprøvetaking

Det var viktig å kjenne til hvor lang avisingsmidler spres rundt veien i snøen når brøytebil rydder snø fra vei, sykkelvei og fortauet (figur 3.4). Snøprøver ble tatt rundt Østensjøveien fra fem lokaliteter. Prøvetakingsstedet representerer område som påvirkes av veisalting.

Figur 3.5 viser en prøvetakingsrør som er 100 cm lang og den har ca. 8cm diameter. Prøvetakingsrør ble presset ned i snøen med hjelp av en hammer og en liten spade ble brukt å holde snøen inne i prøvetakingsrør.

Tre snøprøver ble tatt ut på hver lokalitet med en avstand på 100 cm mellom hverandre og 400 cm fra veikanten. Snødybden var ca. 1.5m ved siden av veien og ble gradvis mindre lenger bort fra veien. Snøprøver ble pakket ut i plastikkposer, smeltet og etterhvert sendt til laboratoriet (Eurofins) for analysering.

Tabell 3.1: Tabellen illustrerer datoer og lokasjoner for vann, snø og jordprøver.

Før bruk av formiat							
Vannprøver				Jordprøver			
Dato	Lokasjon	Dato	Lokasjon	Dato	Lokasjo n	Dypde	
23.01.2018	Bølerbekken oppstrøms	31.01.2018	Bølerbekken oppstrøms	06.02.2018	A	6-10 cm	
23.01.2018	Bølerbekken nedstrøms	31.01.2018	Bølerbekken nedstrøms	06.02.2018	A	15-18 cm	
23.01.2018	Ulsrumbekken	31.01.2018	Ulsrumbekken	06.02.2018	B	0-4 cm	
23.01.2018	Smedbergbekken sør	31.01.2018	Smedbergbekken øst	06.02.2018	B	8-10 cm	
23.01.2018	Smedbergbekken nord	31.01.2018	Utstrømning				
23.01.2018	Smedbergbekken øst	31.01.2018	Under broen				
Etter bruk av formiat							
Vannprøver				Jordprøver			
18.02.2018	Under broen	15.05.2018	Smedsbergbekken	15.05.2018	A	6-10 cm	
26.02.2018	Under broen	12.04.2018	Smedsbergbekken	15.05.2018	A	15-18 cm	
12.03.2018	Under broen	15.05.2018	Ulsrumbekken	15.05.2018	B	0-5 cm	
26.03.2018	Under broen	12.04.2018	Ulsrumbekken	15.05.2018	B	8-10 cm	
12.03.2018	Bølerbekken oppstrøms	12.04.2018	Bølerbekken oppstrøms	28.05.2018	C	0-4 cm	
12.03.2018	Bølerbekken nedstrøms	12.04.2018	Bølerbekken nedstrøms	28.05.2018	C	18-20 cm	
15.05.2018	Bølerbekken nedstrøms	15.05.2018	Bølerbekken oppstrøms	28.05.2018	D	0-4 cm	
12.03.2018	Smedbergbekken U	12.03.2018	Ulsrumbekken	28.05.2018	D	18-20 cm	
Snøprøver							
Dato	Lokasjon	Dybde (cm)	Vekt (g)	Dato	Lokasjon	Dybde (cm)	Vekt (g)
12.03.2018	BØL-N-N1	45	490	12.03.2018	BØL-N-S3	63	1345
12.03.2018	BØL-N-N1 Bunn	45	2672	12.03.2018	BØL-N-S0	54	1085
12.03.2018	BØL-N-N2	72	1200	12.03.2018	BØL-O-N1	70	2118
12.03.2018	BØL-N-N3	64	1281	12.03.2018	BØL-O-N2	68	1525
12.03.2018	BØL-N-N0	57	1039	12.03.2018	BØL-O-N3	70	1237
12.03.2018	BØL-N-S1 Topp	100	795	12.03.2018	BØL-O-S1	45	1451
12.03.2018	BØL-N-S1 Bunn	100	2431	12.03.2018	BØL-O-S2	50	993
12.03.2018	BØL-N-S2	68	1321	12.03.2018	BØL-O-S3	88	1345



Figur 3.1: Oversiktskart til lokaliteter for felddatainnsamling, og oransje og gule farger illustrerer henholdsvis bruk av formiat og vanlignsalt [røde, svart og blå sirkler illustrerer henholdsvis lokalitetene av vann, jord og snøprøvetaking; røde og svarte trekkanter viser henholdsvis plassering av multiparametersensorer (α , β , og γ) og loggerne; og svarte linjer illustrerer ERT profiler].



Figur 3.2: Vannprøvetaking under broen.
Bildet er tatt 31.01.18.



Figur 3.3: Jordprøvetaking under broen.
Bildet er tatt 06.02.18.



Figur 3.4: Brøytebil rydder snoen fra fortauet.
Bildet er tatt 12.03.18.



Figur 3.5: Prøvetakings ved siden av veien.
Bildet er tatt 12.03.18.

3.2 Multiparametersensorer

SEBA hydrometer (Data logger Dipper-PTEC) er installert av NIBIO (norsk institutt for bioøkonomi) og måler ledningsevne, tettheten, oksygen metning, pH, redoks, turbiditet, vannhøyde og vanntemperatur fra 22.01.18. Multiparametersensorer måler verdier hvert 15 minutt og data er tilgjengelig på NIBIO sin nettside. Vannhøyde ble brukt for beregning av vannføring i Bølerbekken (oppstrøms og nedstrøms) og Smedbergbekken. Ledningsevne (EC) benyttet til å regne klorid- og formiatkonsentrasjoner som ble transportert fra vei og nedbørfeltet for øvrig til Østensjøvannet. Økning i vannføring eller EC brukes til å bestemme når man skal ut i felt for å ta vannprøver fordi disse multiparametersensorer kan leses av på nett (<http://bioweb08.bioforsk.no/seba/projects/login.php>). Overvåking hjemmefra var viktig for å ta vannprøver når EC er høye så kan man få maksimale kloridkonsentrasjoner. Vedlikehold og skiftning av batteriet til multiparametersensorer ble gjennomført 12.03.18 (figur 3.6).



Figur 3.6: Vedlikehold og skiftning av batteriet til multiparametersensor nr. 3. Bildet er tatt 12.03.18

3.3 Logging av ledningsenve, vannhøyde og temperatur

Fire HOBO U24-001 Conductivity logger ble plassert for å logge vannhøyde, ledningsevne og vannets temperatur over tid. Elektrisk ledningsevne er en veldig viktig parameter og brukes ofte som vannkvalitetsparameter i miljøovervåkning og forskning. I denne oppgaven blir EC brukes for beregning av klorid transport. Loggerne ble plassert 08.02.18 i forskjellige bekker rundt Østensjøvannet (tabell 3.2). Loggerne ble festet godt med hyssing og en murstein som holder fast loggerne i bekkens bunn (figur 3.7). Loggerne ble plassert og festet til trær eller til

broen på land (figur 3.8). Etter hver to måneder ble loggerne satt ut for å overføre data til PC. Loggerne og Shuttles kommuniserer med datamaskinen ved å koble til en USB-port. Data ble lastet ned ved bruk av programvaren «HOBOWare Pro» og ble eksportert i Excel filen.



Figur 3.7: Logger med murstein før plassering. Bildet er tatt 07.02.18.



Figur 3.8: Logger nr. 1 festet godt i hyssing som er bundet med broen. Bildet er tatt 08.02.18.

Tabell 3.2: Tabell illustrerer beskrivelse av materiale og metoder. Multiparametersensorer nr. 1, 2 og 3 er merket henholdsvis med α , β , og γ på kartet i figuren 3.1.

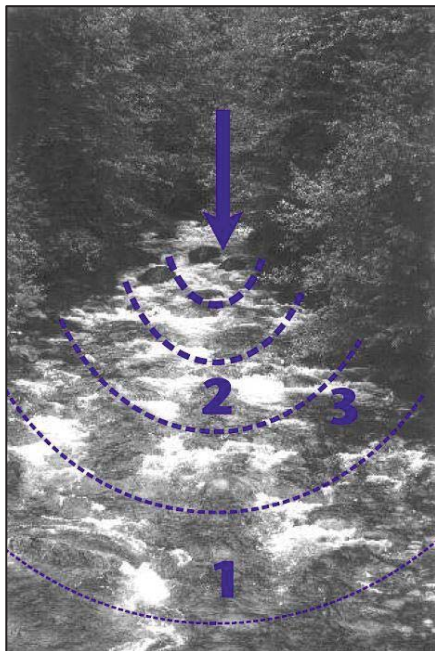
Bekker/ materiale og metoder	Bølerbekke n oppstrøms	Bølerbekken nedstrøms	Smedbergb ekken	Ulsrubbekke n	Under brua	Langs Østensj øveien
Logger	-	-	nr. 2 og 3	nr. 4	nr. 1	-
Loggerne ble Satt inn-ut	-	-	Fra 08. feb. til 07.apr. Fra 08. apr. til 22. juni	Fra 08. feb. til 07.apr. Fra 08. apr. til 22. juni	Fra 08. feb. til 07.apr. Fra 08. apr. til 22. juni	-
Multiparamete r sensorer	nr. 1 (α)	nr. 2 (β)	nr. 3 (γ)	-	-	-
Q-beregningen ble utført fra	Vannhøyde	Vannhøyde og saltfortynnin g	Vannhøyde	Vannhøyde	-	-
Miljøgeologiske undersøkelser	-	Saltfortynnin g og ERT-2	-	-	ERT-3	ERT-1
Vannprøver	6	6	6	4	6	-
Jordprøver	-	-	-	-	8 (A og B)	4 (C og D)
Snøprøver	-	-	-	-	-	16

Logger nr. 1 måler ledningsevne og vanntemperatur og ble plassert i den lille bekken som renner ut under broen. Den bekken fra bogerudmyra har verdier som viser lav ledningsevne fordi vannet ikke er forurensset på grunn av veisalting. Logger nr. 2 og 3 måler ledningsevne, vannhøyde og vanntemperatur i de to små bekkene som samler seg til Smedbergbekken. Logger nr. 4 måler ledningsevne, vannhøyde og vanntemperatur og ble plassert i Ulsrudbekken.

3.4 Saltfortynning

Saltfortynningsmetoden benyttet for måling av vannføring i Bøler Bekken nedstrøms 02.04.18. Saltfortynningsmetoden er mest egnet for bekker og elver med høy hastighet og mye turbulens, men er vanligvis begrenset til mindre bekker (figur 3.9). I den metoden ble vanlig salt brukt som sporstoff tilbyr økonomisk og lettere utstyr. Oppløsningen av salt i vann tar tid og det er avhengig av vanntemperaturen (dvs. oppløses hurtigere i varmt vann enn kaldt vann) og omvendt proporsjonalt med den eksisterende konsentrasjon av salt (Moore 2004).

Saltfortynningseksperimentet ble gjennomført ved hjelp av 1 liter flaske, 100 gram salt og en ledningsevнемåler (Figur 3.10). Flasken blir fylt med bekkevann og blandet godt med salt. Deretter tømmes saltblandingen ut i bekken. Ledningsevne ble målt i bekken ca. 20 m nedenfor punktet saltet ble tilsatt, den elektriske ledningsevnen ble målt hvert tiende sekund. Målte verdier for ledningsevne ble plottet på grafen for å kunne se gjennombruddskurven til saltkonsentrasjonen.



Figur 3.9: Dispersjon av salt. Bildet er hentet fra (Moore 2004).



Figur 3.10: Måleutstyr for Saltfortynningsmetoden. Bildet er hentet fra (Kristiansen 2015).

3.5 Elektrisk resistivitetstomografi (ERT)

Elektrisk resistivitet er invers av elektrisk ledningsevne og elektrisk resistivitetstomografi er avanserte geofysisk metode som benyttes likestrøm til å måle grunnes resistivitetsfordeling ved å gjøre målinger på bakken. Jordresistiviteten avhenger av fuktighetsinnhold, saltinnhold og temperatur. Høy resistivitet kan bety at jorden har lave salt- og fuktighetsinnhold og vice versa (Rudolfson 2015).

Resistivitet betyr hvor mye strøm som kan motstå jord og det avhenger av tilstedeværelsen av ioner i oppløsning i porevann. Resistiviteten er mye lavere i saltinnholdets jord og leire på grunn av tilstedeværelse av negativt ladet lag tilstede på leire mineraler. Derfor øker leirinnholdet i sedimenter med samme porevannkjemi en reduksjon i resistiviteten. Generelt har leire og torv lavere resistivitet, mens sand, grus og komprimerte bergarter har høyere resistivitet (Abraham and Lucius 2004).

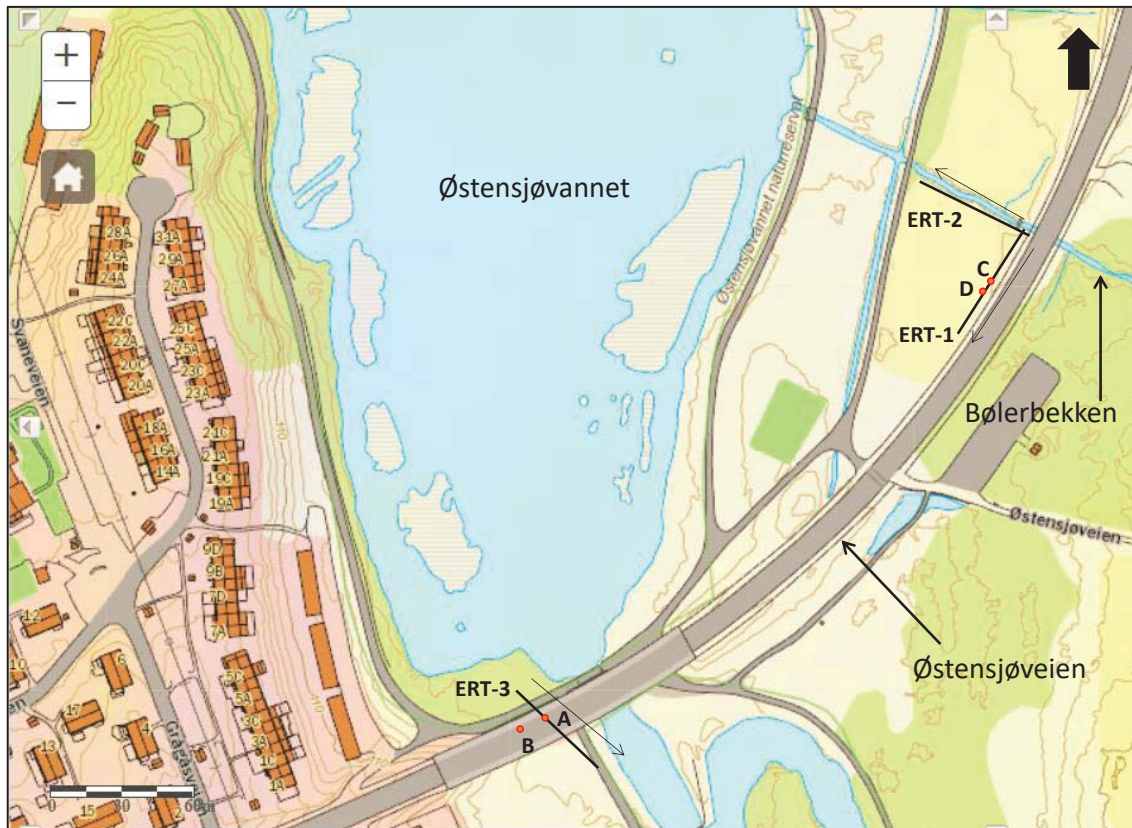
2D-Elektrisk resistivitetstomografi ble utført ved å måle elektriske potensial forskjeller mellom to elektroder i et elektrisk felt, som induerte i to strømelektroder. En Syscal Pro (Iris instruments) med 96 elektrode tilkoblinger ble brukt for ERT-målinger, men benyttet bare 48 elektroder i våre målinger. Datainnsamling ble utført ved bruk av Wenner-konfigurasjonen på grunn av god horisontal og vertikal undergrunn resistivitetsoppløsning samt med høy kvalitet.

Målet med å bruke ERT-teknikk i denne oppgaven er å kartlegge spredning av veisalt. Det ble lagt ut en 47 meter lang kabel med en elektrode for hver meter. Syscal instrumentet ble koblet til den ene enden av kabelen. Herfra styres både strøminjeksjon (mA) og potensial målinger (mV).

De tre ERT profilene som brukes til å utvikle tverrsnitt av resistivitet i det studieområdet er vist i figuren 3.11. Formålet med ERT-1 og ERT-2 er å undersøke spredning av veisalt langs Østensjøveien. Saltinnholdet reduserer elektrisk resistivitet og dersom kan man forutsetter at jorden er noenlunde lik og fuktigheten, kan man observere noe om mulig fordeling av saltinnhold i jorden. ERT-linje nr. 1 ligger parallelt med Østensjøveien (figur 3.12a), på to meters avstand. Profilet starter fra den sørlige kanten av Bølerbekken med orientering S-N. ERT linje nr. 2 er plassert vinkelrett på linje 1 og er parallell med Bølerbekken (figur 3.12b), med orientering Ø-V. ERT linje nr. 2 ligger ca. 1,5m unna Bøler bekken og starter fra vestkanten av Østensjøveien (ca. 50 cm unna).

ERT linje nr. 3 ligger under broen og er vinkelrett på broen (figur 3.12c). Linjen starter i det myrlendte området ved siden av Østensjøvannet og krysser en sykkelvei og det stedet hvor vann drypper ned fra broen (jord og vannprøvetaking ble utført samme sted). Elektrode nr. 1 ligger i myrlendte området i sør delen av Østensjøvannet og elektrode nr. 48 ligger på sykkelveien på andre siden av broen. Etter datasamling i felt ble data invertert og

undersøkelser med høy root mean squares (RMS) errors ble oversett/forsømt, og grunnen til disse feilene kan skyldes dårlig kontakt mellom elektrodene og bakken.



Figur 3.11: Kart viser lokasjonene til ERT-profiler; ERT-1 (langs veien), ERT-2 (langs bekken) og ERT-3 (under broen), samt lokaliteter til jord prøvetaking (A, B, C og D).



Figur 3.12: Plassering av ERT profiler a) ERT linjen nr. 1 parallell med Østensjøveien b) ERT linjen nr. 2 parallell til Bølerbekken c) ERT linjen nr. 3 under broen. Bilder er tatt 08.05.18.

3.6 Estimering av hydraulisk ledningsevne fra jordprøver

Jordens hydrauliske ledningsevne er estimert fra kornstørrelsesfordelingen. Det finnes også flere forskjellige metoder for å bestemme hydraulisk ledningsevne men metoden som presenteres nedenfor er en av de mest brukt.

I 1983, publiserte Hazen denne formularen for estimering av hydraulisk ledningsevne (Svensson, 2014)

$$K(\text{m/s}) = C_H \{(d_{10}(\text{mm}))^2\}; C_H = 0,0116$$

Hvor

K = Hydraulisk ledningsevne (m/s).

C_H = Empirisk konstant.

d_{10} = Partikkelstørrelsen for hvilken 10 % av materialet er finere (mm).

3.7 Beregning av formiat og kloridkonsentrasjoner

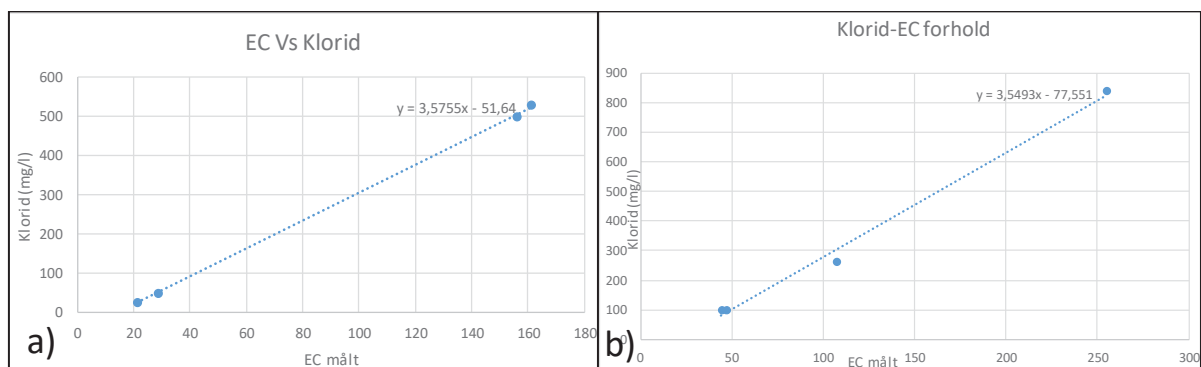
Ledningsevnen er proporsjonal med totalt oppløste ioner (klorid, formiat, nitrat og sulfat) i vannet. I denne oppgaven er variasjon i kloridkonsentrasjon dominerende og styrer variasjon i ledningsevne (unntatt ved lav ledningsevne) på grunn av relativt høye konsentrasjoner og ioniske styrke av klorid, og derfor kan et sterkt forhold mellom klorid og ledningsevne brukes til å konvertere tidsserien av ledningsevнемålinger (fra logger og multiparametersensorer) til en tidsserie av omtrentlige kloridkonsentrasjoner.

Et forhold mellom ledningsevne (EC) og kloridkonsentrasjon ble estimert for bekken basert på resultatene fra vannprøvene. For eksempel, fire vannprøver fra Bølerbekken (oppstrøms og nedstrøms) viser klorid-ledningsevne regresjon i figuren 3.13. Sammenstillingen av EC og kloridkonsentrasjon målt i vannprøver gir følgende regresjonslinje for beregning av kloridkonsentrasjon fra EC:

$$\text{Klorid (mg/l)} = 3,5755 \times \text{Ledningsevne (mS/m)} - 51,8$$

Denne ligningen er brukt som en rimelig øvre grense for kloridkonsentrasjonen for en gitt konduktivitet i Bølerbekken (oppstrøms og nedstrøms). Kloridkonsentrasjoner i vann uten anvendelse av veisalt er definert som bakgrunnskonsentrasjonen i bekken. Bakgrunnskonsentrasjonen for Bølerbekken (oppstrøms + nedstrøms) 77,55 mg/l ble bestemt ved bruk av en lineær regresjonsanalyse mellom kloridkonsentrasjonen og EC målt fra vannprøver. På samme måte ble kloridkonsentrasjoner estimert i Smedbergbekken med følgende ligning:

$$\text{Klorid (mg/l)} = 3,5493 \times \text{Ledningsevne (mS/m)} - 77,551$$



Figur 3.13: Lineær regresjon av kloridkonsentrasjon mot ledningsevne (EC) oppnådd ved laboratiemålinger av oppsamlede vannprøver fra a) Bølerbekken (oppstrøms og nedstrøms), og b) Smedbergbekken.

Målinger av klorid- og formiatkonsentrasjoner fra vannprøver ble tilsatt sammen og plottet mot EC målt å utføre ligningen for formiatkonsentrasjoner i en tidsserie (figur 3.14). Følgende ligninger ble brukt for estimering av formiatkonsentrasjoner etter at formiat baserte kjemikalier ble tatt i bruk i bekkene.

For Bølerbekken nedstrøm

$$\text{Formiat + klorid (mg/l)} = 4,0255 \times \text{Ledningsevne (mS/m)} - 84,182$$

For Bølerbekken oppstrøms

$$\text{Formiat + klorid (mg/l)} = 3,18 \times \text{Ledningsevne (mS/m)} - 44,021$$

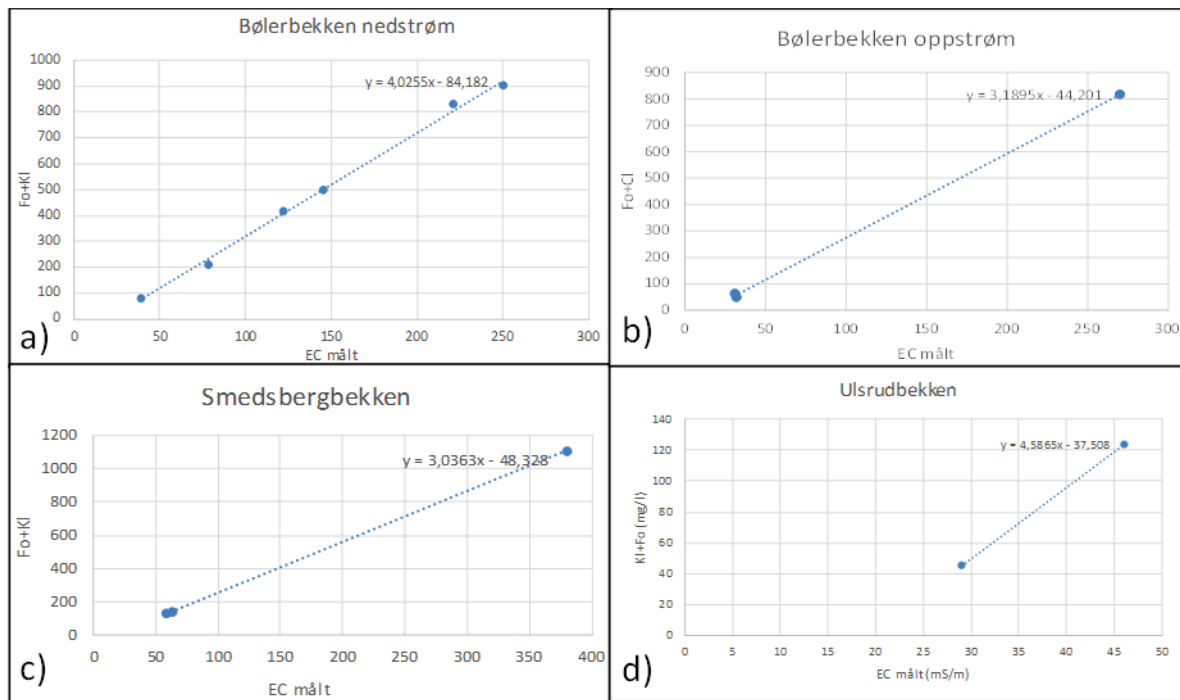
For Smedbergbekken

$$\text{Formiat + klorid (mg/l)} = 3,0363 \times \text{Ledningsevne (mS/m)} - 48,328$$

For Ulsrubbekken

$$\text{Formiat + klorid (mg/l)} = 4,58 \times \text{Ledningsevne (mS/m)} - 37,5$$

Forholdet mellom klorid og formiat målt i vannprøven ble beregnet for å kunne estimere andelen av formiattransport til Østensjøvannet fra alle bekkene. For eksempel, 6 vannprøver fra Bølerbekken nedstrøms etter bruk av formiat inneholder gjennomsnittlig 2248 mg/l klorid og 687 mg/l formiat og da blir det en ratio på ca. 3,27 (vedlegg-1). Tilsvarende forhold mellom klorid og formiat i Bølerbekken oppstrøms og Smedbergbekken er henholdsvis 2,4 og 35.



Figur 3.14: Lineære regresjoner mellom klorid- og formiatkonsentrasjoner og EC målt fra resultater av oppsamlede vannprøver etter bruk av formiat. a) Bølerbekken nedstrøms, b) Bølerbekken oppstrøms, c) Smedsbergbekken og d) Ulsrubekken.

3.8 Estimert transport av veisalt

Vannføringen i alle bekkene ble estimert ved hjelp av vannhøyden som logges multimetersensorer. Følgende likning for å beregne vannføring Q ($\text{ft}^3/\text{sek.}$) over V-overløpet (som kun fantes i Bølerbekken oppstrøms) ble brukt:

$$Q = 4.28 C \tan \Theta (h+k)^{5/2}$$

Hvor C og k er konstante, h er vannhøyde og Θ er vinkel og den er 45 grader. C og K er avhengige av vinkelen, for 45 grader så C er ca. 0,5779 og k er omtrent 0,000885.

For å beregne mengde klorid (eller klorid + formiat), ble m^3/sek gjort om til l/sek og multiplisert med kloridkonsentrasjonen (mg/l) for å få transportert kloridmengde i $\text{mg}/\text{sek.}$ Multiparametersensorer måler EC hver 15 minutt og derfor ble kloridmengde ($\text{mg}/\text{sek.}$) multiplisert med 60 sek/min som igjen ble multiplisert med 15 for mengde per måling. Deretter ble mengdene i mg omgjort til kg .

3.9 Areal estimering av formiatbruk

Areal estimering av formiatbruk ble gjennomført basert på area av veien og data fra driftsentreprenør om formiatbruk mengde (figur 3.15). Følgende beregningene ble utført for estimering av formiatbruk:

$$\text{Area} = \text{Bredde} \times \text{lengde}$$

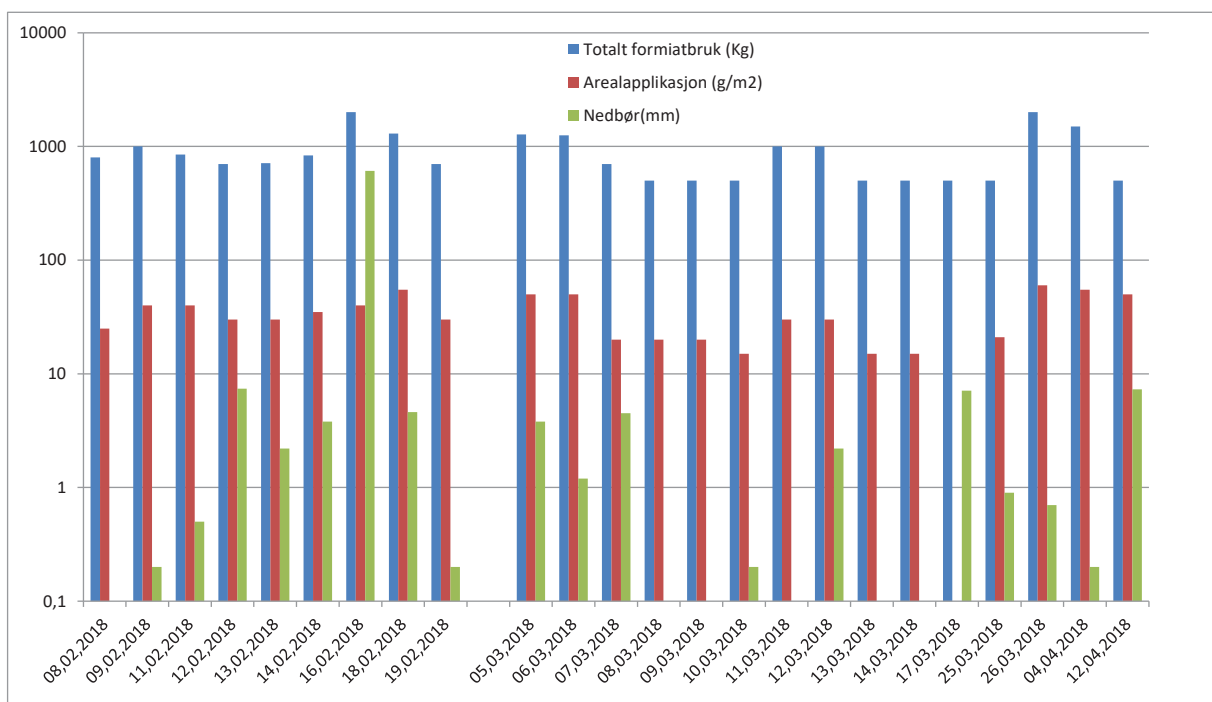
Lengde = beregnet lengde av vei som bidrar med formiat til bekken (Bølerbekken nedstrøms = 1110 m., Bølerbekken oppstrøms = 1035 m., Ulsrubbekken = 262 m. og Smedbergbekken = 750 m.)

Bredde = 10 m. inkludert sykkelveien og veikanten.

$$\text{Formiatbruk per dag} = \text{Area} \times \text{salt mengde}$$

Gjennomsnittlig arealapplikasjon = 33 g/m²

Total dager av formiat testen fra 07. februar til 12. april = 23

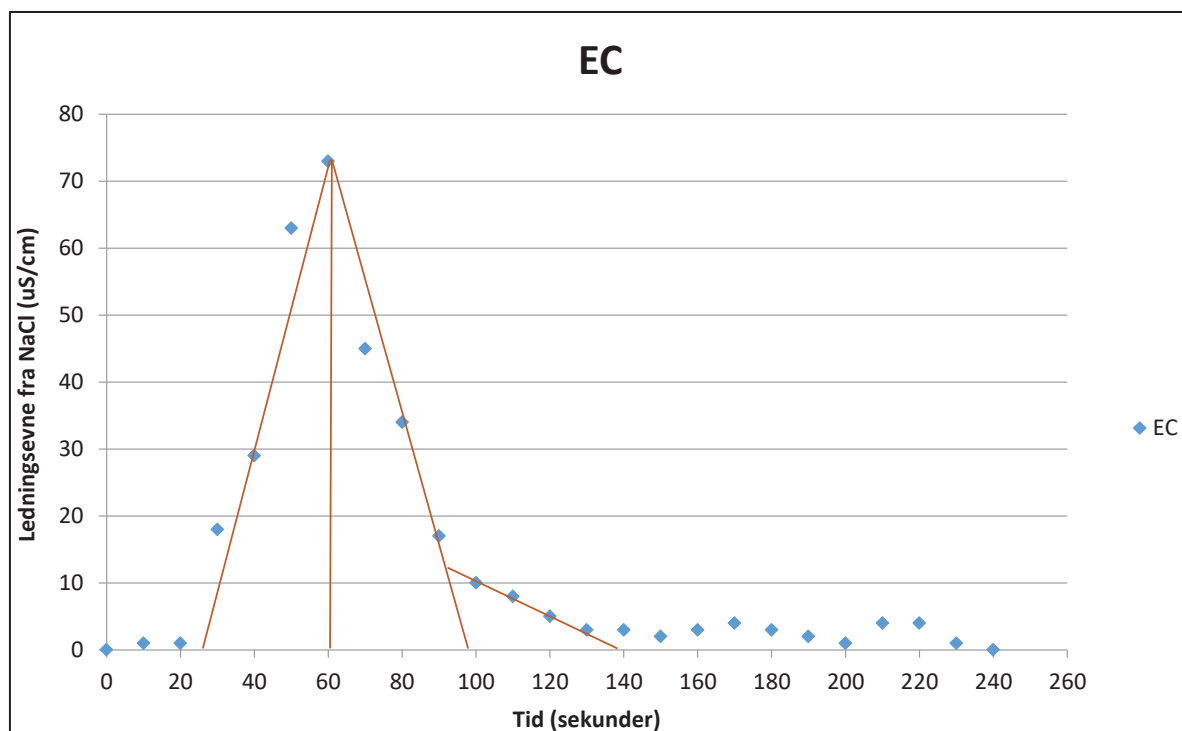


Figur 3.15: kolonnediagram viser kommunalt formiatbruk (kg), arealapplikasjon (g/m²) og nedbør (mm) mot tid.

4 Resultater og diskusjon

4.1 Saltfortynning

Når målingene er gjennomført, må arealet av integralet under kurven i tid-ledningsdiagrammet beregnes. Bakgrunnsverdien av ledningsevnen i Bøler bekken nedstrøms ble målt til $761 \mu\text{S}/\text{cm}$ og vanntemperaturen var $3,1^\circ\text{C}$. Ledningsevnen ble målt hvert tiende sekund i fire minutter. EC-verdien steg i opptil 60 sekunder og sank etter hvert (vedlegg-2). Bakgrunnsverdiene ble trukket fra de målte EC verdiene for å finne ut ledningsevnen fra saltet. Arealet kan beregnes ved bruk av formelen $\Sigma (\Delta \text{Tid} \times \Delta \text{Ledningsevne})$. NaCl har spesifikk ledningsevne på $100\,000 ((\mu\text{S}/\text{cm})/\text{mol}/\text{L})$ ved 15°C og har molekylvekt $58,4 \text{ g/mol}$. Derfor gir 1 g/L salt ca. $1710 \mu\text{S}/\text{cm}$. Omregningsfaktoren mellom konsentrasjon av et salt og ledningsevne er lineær og skrives som $C=k \times K$. Omregningsfaktor k er temperaturavhengig og synker med temperaturøkning. Vanntemperaturen var $3,1^\circ\text{C}$ i felt og derfor er k ca. $1,5$ (figur 4.1).



Figur 4.1: Ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$) fra NaCl mot tid (sekunder) etter tilsetning av salt ved tid 0.

Estimat av areal: $\Sigma (\Delta \text{Tid} \times \Delta \text{Ledningsevne}) = (36 \times 73/2) + (38 \times 37/2) + (40 \times 6) = 2941 (\mu\text{S}/\text{cm}) \times \text{sek.}$

$K = 1,5 (\text{g/l}) / 1710 (\mu\text{S}/\text{cm})$

$K = 0,87 \times 10^{-3} (\text{g/l}) (\mu\text{S}/\text{cm})$

$M = 100 \text{ gram NaCl}$ som tilsettes bekken

$Q = 100 / (0,87 \times 10^{-3}) (2941) = 38,46 \text{ l/sek.}$

Data fra Oslo kommune viser at de gjennomsnittlige vannføringsverdier er omtrent 23,2 l/sek. De maksimums (44 l/sek.) og minimums (12 l/sek.) Q-verdiene ble observert henholdsvis i november og oktober. Saltfortynningsmetoden ble utført for å kalibrere/validere vannføringsmålinger beregnet fra vannhøyden målt i multiparametersensoren ved bruk av V.Notch-likningen.

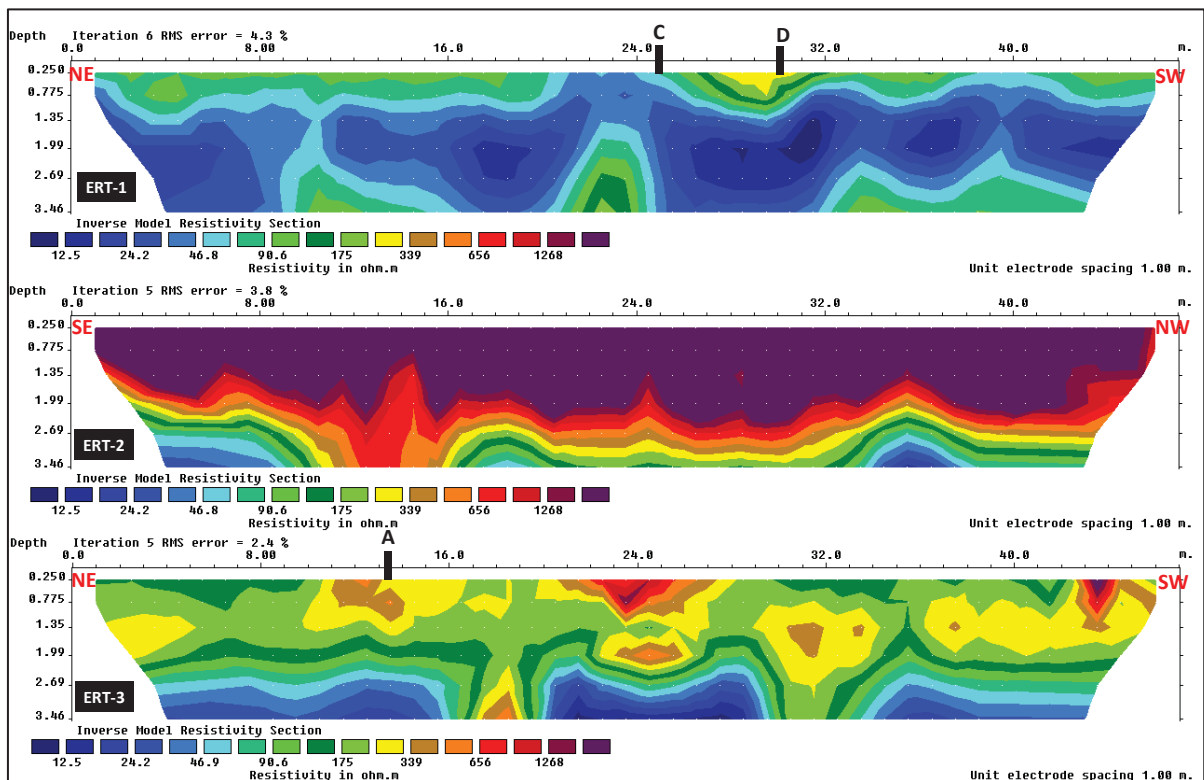
4.2 Elektrisk resistivitet tomografi (ERT)

Beregnet resistivitet fra ERT- undersøkelser varierte hovedsakelig fra 39 til 203 Ωm . Generelt er de relativt lave verdier, noe som passer godt med at dette er en leirholdig jord. Det er valgt samme fargeskala for de elektriske resistivitetsverdiene på profilene for å kunne lettere sammenlignes.

Figur 4.2 viser resultatene i den inverterte aktuelle resistivitet i 2D-tverrsnitt. Overflatehøyder er tatt med i modellen, og variasjoner i målegeometri på grunn av endring av topografi er regnet med. Resistivitetsverdier korrelerer veldig godt med observasjoner at resistivitetsverdiene synker jo nærmere man kommer veien (ERT-1), mest sannsynlig på grunn av økte mengder veisalt. ERT-verdiene langs veien går stort sett fra 90 til 339 Ωm og er lavere sammenlignet med ERT-verdiene langs Bølerbekken nedstrøms (ERT-2). ERT-verdiene nær overflaten (<20 cm) er relativt høyere enn i dybden rundt 75 cm, og det kan skyldes infiltrasjon av salt inn i jorden og at jorda er tørr nær overflaten. Siste bruk av formiat på Østensjøveien var 12. april og ERT-undersøkelse ble gjennomført 8. mai.

ERT-verdiene langs bekken er konstant nær overflaten og er ca. 1268 Ωm (ERT-2). Det viser at veisalting ikke sprer seg så langt fra Østensjøveien. ERT verdiene under broen varierer fra 175 til 656 Ωm (ERT-3). Resistivitetsverdier er litt høyere under broen enn langs Østensjøveien (ERT-1), til tross for at det kommer mye smeltevann med høye saltkonsentrasjoner her skyldes mest sannsynlig at jordmassene her er veldig grove sammenliknet med langs veien, ERT-1. Dessuten er jorden leirholdig langs veien og består av negativt ladet mineraler som for eks. illite, kaolinit og smektit, og gir lavere resistivitetsverdier i forhold til jorden under broen som er grov- og sandholdig. Resistivitetsverdier i dybden mer enn ca. 1 meter langs veien er mindre enn 30 Ωm og det indikerer leirskifer (berggrunn).

Elektrode 1 til 5 ligger i myr, fra 6 til 11 på sykkelvei, fra 12 til 24 under broen og 25 til 48 ligger i sykkelveien. Det ligger mye grus og grovt materiale som er transportert fra veien under brua; sannsynligvis er dette grunnen til høye resistivitetsverdier. Resistivitetsverdiene synker gradvis fra ca. 1000 Ωm til ca. 12 Ωm (fra topp til bunn) under broen (ERT-3). ERT er høyere under den høyre kanten av broen. Årsaken er vegen som var der tidligere. ERT-verdiene for sykkelveien viser samme trend på begge sider av broen (elektrode 7-8 og elektrode 32-33).



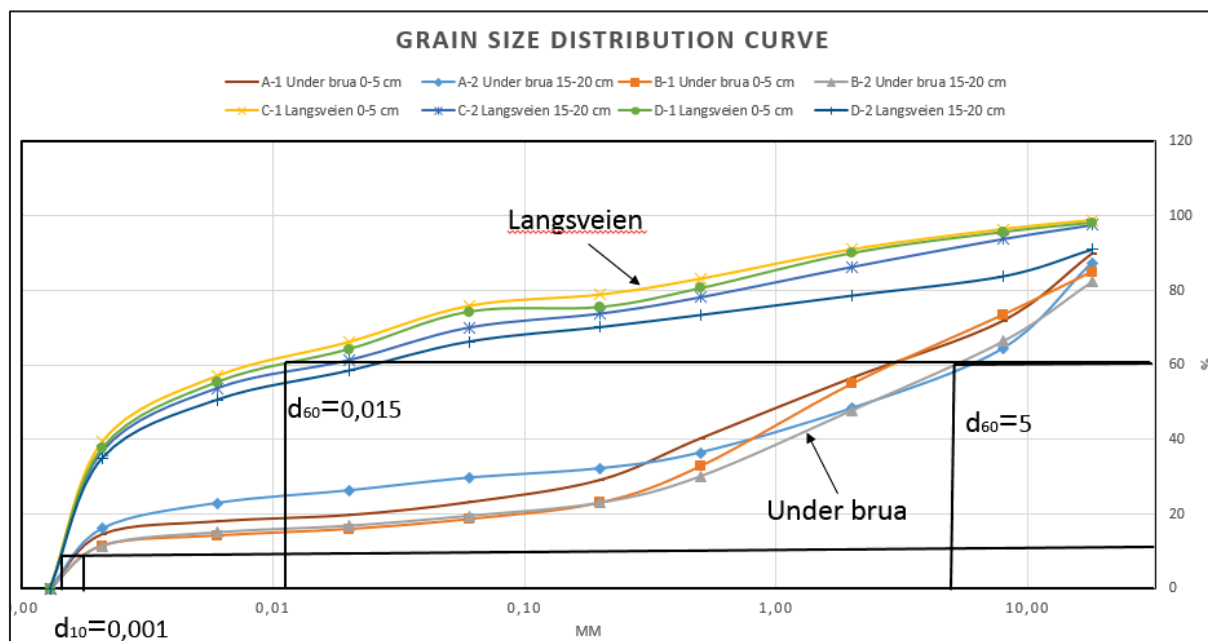
Figur 4.2: Elektriske resistivitet tomografi profiler ERT-1 (langs veien), ERT-2 (langs bekken) og ERT-3 (under broen), samt lokaliteter til jord prøvetaking (A, C og D).

4.3 Fysiske og kjemiske jordanalyser

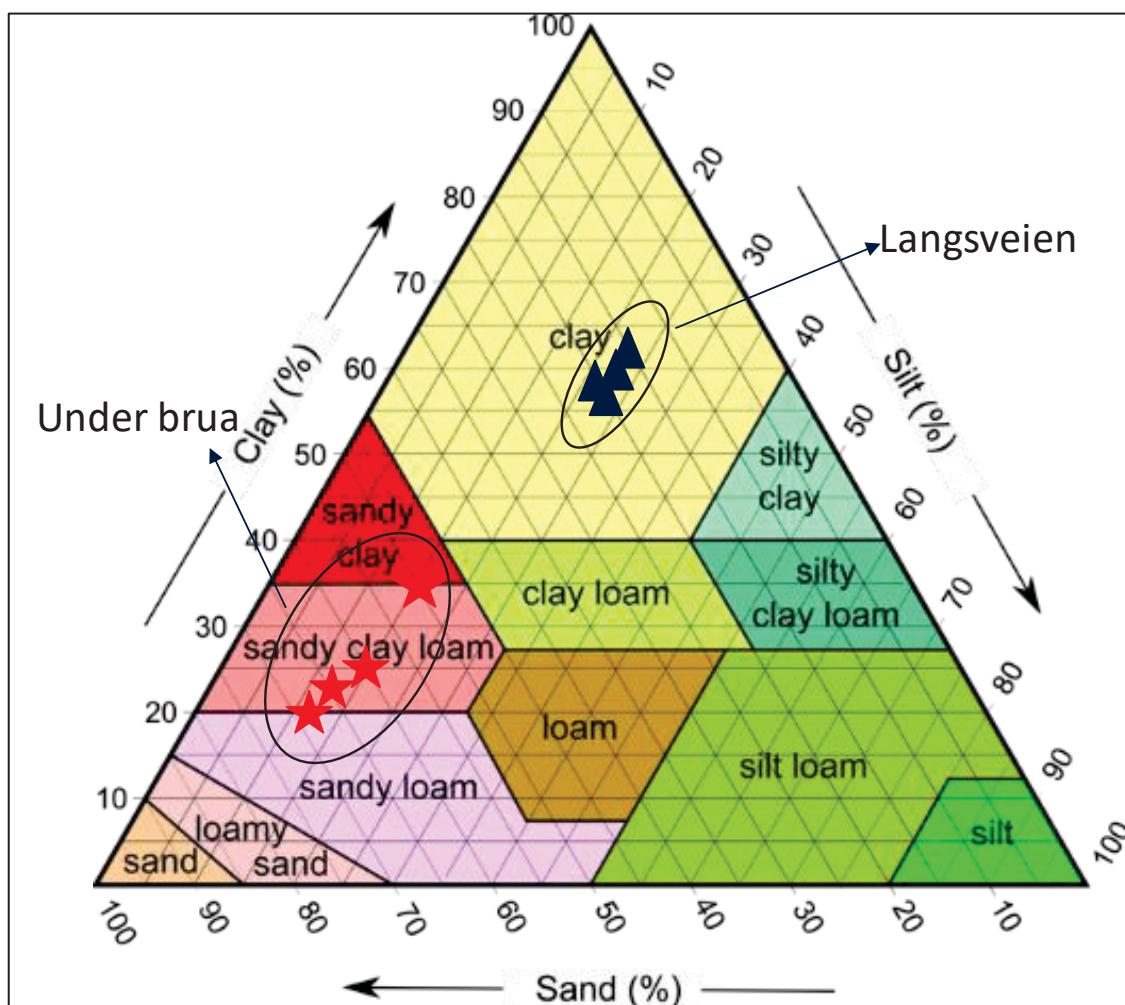
Evaluering av hydrauliske egenskaper og kornstørrelsesfordeling av jordprøver er viktig for å forstå endringer i jorda på grunn av veisalt. Resultatene viser to forskjellige typer jord i nedbørfeltet. Jorden under broen holder høyere konsentrasjoner av sand og grus, mens jordens langs veien består av silt og leire (vedlegg-3).

Generelt viser kornfordelingen at det er sandholdig jord og leirholdig jord, og beregning av den hydrauliske ledningsevne gir henholdsvis $2,2 \times 10^{-8}$ m/s og $1,9 \times 10^{-8}$ m/s (figur 4.3). Resultatene er plottet inn i trekantfiguren over jordtekstur (figur 4.4). Jordprøver langs veien inneholder omtrent 60 % leire og den andre lokaliteten under brua består av 50-70 % sand.

Kjemiske analyser av jordprøver viser at leireinnholdet i jorden langs veien inneholder høye konsentrasjonene av jern, kalium, magnesium og aluminium. Grunnen er at leiremineraler som kaolinit, smektit og illitt har negative ioner som kan binde positive ioner. Når disse bindes opp taper ikke mineralene disse elementer av vannet som renner gjennom jorden. Mineralene gir også tilgjengelig næring for planterøtter. På samme måte holder sandholdig jord under broen negative elementer, for eksempel klorid. Jorden under brua er sterkt påvirket av veisalt.



Figur 4.3: Kornstørrelsesfordelings kurver a). Leirholdig jordprøver langs veien b). Sandholdig jordprøver under brua.



Figur 4.4: Data fra jordprøver ble plottet over jord tekstural trekantet figuren.

Alle jordprøver består av mindre enn 5 % formiat før og etter at formiat ble testet rundt Østensjøvannet. Det er klart at formiat brytes raskt ned i jorda, men ikke natriumkloridet, og derfor har jordprøver relativt høyere kloridkonsentrasjoner selv om tidspunktet for prøvetakingen var 28. mai 2018, lenge etter at formiat ble brukt siste gang på veien (12.4.18). Jordprøver i overflaten er ikke alltid representative fordi natrium, og klorid beveger seg ulikt i jord avhengig av jordtype.

Basekationskonsentrasjoner er like både før og etter bruk av formiat under broen, med unntak av natrium, som varierer fra 1800 til 3600 mg/kg og fra 590 til 860 mg/kg henholdsvis før og etter bruk av formiat. Natrium langs veien varierer fra 190 til 480 mg/kg etter bruk av formiat. Natrium interagerer lettere med jord gjennom ionebytte, slik at det blir mulighet for at høyere mengder kan lagres i jordkolonnen. Natrium kan også erstatte jordas innhold av fosfor, som er et viktig næringsstoff for plantevekst.

Tabell 4.1 viser at kloridkonsentrasjonene har gått ned dramatisk etter bruk av formiat, fra ca. 1835 til 110 mg/kg på lokaliteten A og fra 3435 til 70 mg/kg på lokaliteten B under broen. Den siste jordprøven ble tatt lenge etter snøsmelting og har derfor lave kloridkonsentrasjoner. Mesteparten av klorid ble vasket bort av vann fra jorda.

Tabell 4.1: Tabell viser kjemiske analyser i mg/kg fra jordprøver før og etter bruk av formiat.

Før bruk av fomiati (06.02.2018)								
Prøve lokasjon	dypd	Natrium (Na)	Klorid	Formiat	Jern (Fe)	Kalium (K)	Aluminium (Al)	Magnesium (Mg)
A1 Under brua	0-10cm	2200	1750,00	<5	17000	1500	6600	5700
A2 Under brua	15-20cm	1800	1920,00	<5	21000	1300	7500	7000
B1 Under brua	0-5cm	3600	3580,00	<5	15000	1200	6100	6200
B2 Under brua	15-20cm	3200	3290,00	<5	20000	1300	7300	7600
Etter bruk av fomiati (28.05.2018)								
A1 Under brua	3-5 cm	860	115,00	<5	22000	1300	8200	6900
A2 Under brua	15-18 cm	620	106,00	<5	25000	1100	11000	8400
B1 Under brua	3-5 cm	650	93,00	<5	12000	850	4600	4200
B2 Under brua	15-18 cm	590	45,10	<5	15000	970	7100	5600
C1 Langsveien	3-5 cm	480	2,49	<5	23000	3300	19000	6500
C2 Langsveien	13-20 cm	230	2,48	<5	21000	2600	16000	5300
D1 Langsveien	3-5 cm	390	2,51	<5	23000	2900	18000	7300
D2 Langsveien	18-20 cm	190	3,10	<5	28000	2700	17000	8700

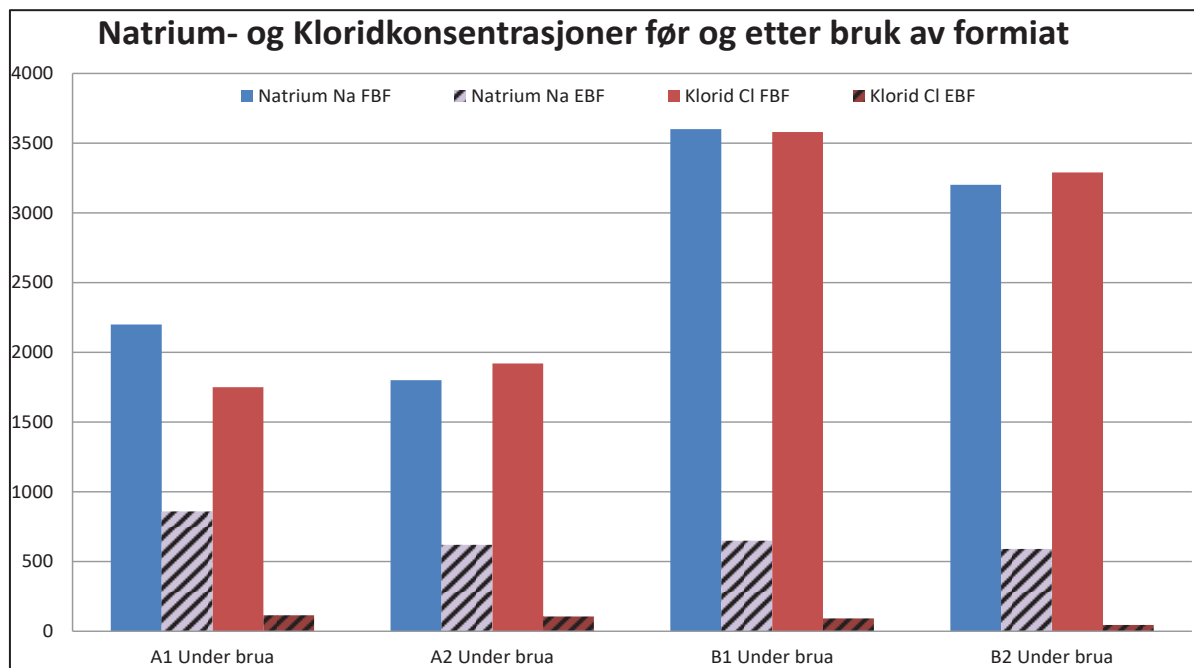
4.3.1 Miljøeffekter av klorid i jorda

Både organisk og uorganisk klorid finnes i jord, vann og luft som for eksempel i overflatevann, grunnvann, nedbør, aerosoler, atmosfære, jordluft, vegetasjon, organismer, jord og sedimenter (Svensson, Sandén et al. 2007). I henhold til Green, Machin et al. (2008) kan effektene av natriumklorid i jorda oppsummeres i følgende grupper:

1. Effekter på jordstruktur og endringer i sammensetningen av kationer i jordoppløsninger.
2. Økt potensial for kolloidtransport i jord.
3. Økt mobilitet av tungmetaller i jord.

4. Mulig reduksjon i hydraulisk ledningsevne i jord hvor porene blir blokkert av partikler og kolloidtransport.

Kjemiske analyser fra jordprøver viser stor nedgang av natrium- og kloridkonsentrasjoner ved bruk av formiater som avisingsmidler. Figuren 4.5 viser mengde av klorid som synker dramatisk etter bruk av formiat fra ca. 2635 mg/kg til 89 mg/kg i tidsperioden fra februar til mai. På samme måte faller natrium fra ca. 2700 mg/kg til 680 mg/kg i jorden under brua.



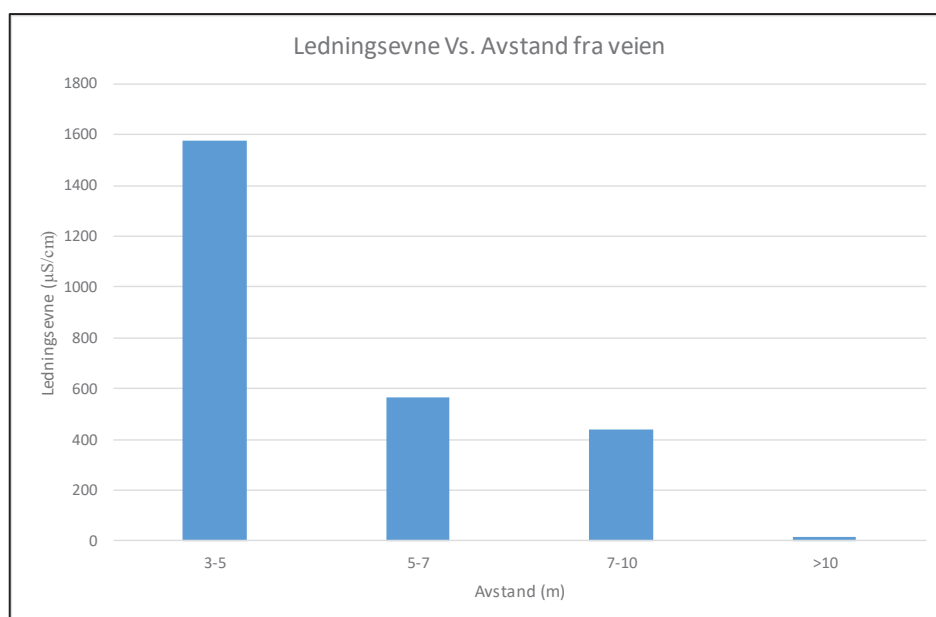
Figur 4.5: Natrium- og kloridkonsentrasjoner i jordprøver under broen før og etter bruk av formiat (FBF = før bruk av formiat; EBF = Etter bruk av formiat).

Studier har identifisert jordens saltholdighet som en hovedfaktor som påvirker trevekst og vitalitet av trær, og forkorter deres levetid langs saltede veier. Saltskade på trær og planter er langvarig, men reduseres med økende avstand fra veien. Saltinnholdet i jorden kan absorbere vann og dette resulterer i at mindre vann er tilgjengelig for opptak av planter, som igjen kan føre til redusert plantevekst (Munck, Bennett et al. 2010, Equiza, Calvo-Polanco et al. 2017). Noen ganger trekker saltet ned i jorden og blir vanskelig å vaske ut på grunn av fast dekke. Saltpåvirkning i jorda vises vanligvis ikke før året etter eller flere år senere. Plantesymptomer kan også ses i en bestemt tidsperiode, som for eksempel om sommeren eller ved tørt vær.

Det finnes mange andre faktorer som sammen med mengden av veisalting er ansvarlige for å skade vegetasjonen, for eksempel, temperatur, lys, fuktighet, vind, jordvann, jordtekstur og nedbør. Men det viktig å plante trær som er tolerante for veisalting langs veiene. Andre sensitive trær bør plantes så langt fra veiene som mulig.

4.4 Resultater fra Snøprøver

Resultatene fra snøprøver viser at det er inverst forhold mellom elektrisk ledningsevne og avstanden fra veien. Snøprøver som ble tatt ca. 3-5 m fra veien har høyest ledningsevne på grunn av høyt saltinnhold og det varierer fra 500 til 2672 $\mu\text{S}/\text{cm}$ med gjennomsnittlige verdien 1577 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Snøprøver med 5-7 meter avstand fra veien har lavere verdier fra 197 til 1026 $\mu\text{S}/\text{cm}$ med en gjennomsnittlig verdi på 567 $\mu\text{S}/\text{cm}$. På samme måte viser snøprøver langt fra veien (>10 m) lavest ledningsevne (figur 4.6). Detaljerte resultater fra snøprøver er vedlagt (Vedlegg-4). Resultatene viser at omtrent halvparten av veisalt sprer seg ca. 5 meter vekk fra veien og kan skade vegetasjon og trær langs veien.



Figur 4.6: Gjennomsnittlig ledningsevne målt snøprøver i ulik avstand fra Østensjøveien i nærheten av Bølerbekken.

4.5 Resultat av vannprøveanalyser

Alle vannprøver under brua har de høyeste verdiene av klorid- og natriumkonsentrasjoner i forhold til de andre lokalitetene fordi de ble tatt direkte fra veien, og representerer aktuelt mengde av veisalt (med minimumssaltfortynning). Klorid- og natriumkonsentrasjoner varierer henholdsvis fra ca. 1600 til 15 000 mg/l og fra 1300 til 15 000 mg/l under brua. Kloridkonsentrasjoner indikerer at nedbørfeltet bidrar veldig mye klorid som er fra private hager, veier, parkeringsplasser og tomtearealer. Det ble ikke påvist noe formiat under brua eller i bekkene før bruk av formiat og konsentrasjoner er mindre enn 0,5 mg/l mens øker til 3110 mg/l rett etter bruk av formiat (Tabell 4.2). Dette betyr at det er ikke noe naturlig bidrag av formiat fra nedbørfeltet til Østensjøvannet. I mars ble det observert høye formiatkonsentrasjoner, og i april varierte de fra 0,5 til 3,28 mg/l. I mai var

formiatkonsentrasjonene svært lavere, ofte mindre enn 0,5 mg/l. Dette kunne bety at de mikroorganismer som omsetter formiat er økt og degrader formiat i vann.

Litteratur som behandler miljøpåvirkningen på grunn av formiatforbruk er ganske begrenset, men litteraturen indikerer at formiat nedbrytes i miljøet relativt raskt uten uakseptabelt høyt oksygenforbruk. I Finland fant de at formiat eller kalium ikke har forekommet i grunnvann på 3 år, og dette påpeker at formiat kan nedbrytes av bakterier selv om temperaturen er nær 0 °C gjennom en aerob og anaerob nedbryting. Nedbrytingen var størst når innholdet av organisk materiale var også høyt (> 5 %) (Hellstén, Kivimäki et al. 2005).

Samtidig ble det ikke påvist noe formiat i jordprøver på den samme lokaliteten under brua. Årsaken er at formiat brytes raskt ned i jorda. Men det er påvist kloridkonsentrasjoner i jordprøver under brua lenge etter snøsmelting og saltforbruk. Det betyr at klorid ikke brytes ned som formiat. Forskjellen mellom kloridkonsentrasjonen i vann og i jordprøver under brua viser at det meste av kloridet er blitt skyllet ut og flyttet til Østensjøvannet. Mens resten av kloridet fortsatt er i jorden og blir liggende igjen etter vinteren.

Ifølge Verdens Helseorganisasjon (WHO) er tillatt grenseverdien for klorid og natrium henholdsvis 250 og 130 mg/l. Formiater er ikke farlig for økosystemer (fisk, alger og virvelløse dyr) og kan brukes til å øke muligheten til å bevare næringsstoffer (Aquillina Gabriele and Vasileios 2015). En frisk bekk har god balansert saltholdigheten og økt kloridkonsentrasjoner er skadelig for arter eller hele økosystemet.

Klorid- og natriumkonsentrasjoner i Bølerbekken (oppstrøms + nedstrøms) varierer henholdsvis fra 26 til 810 mg/l og fra 15 til 610 mg/l. Kalium- og formiatkonsentrasjoner fra vannprøver i Bølerbekken (oppstrøms + nedstrøms) varierer henholdsvis fra 1,3 til 27 mg/l og fra 0,5 til 20 mg/l. Vannprøver fra Bølerbekken oppstrøms har relativt høyere kloridkonsentrasjoner enn nedstrøm og grunnen er at vannprøver oppstrøms ble tatt fra utløpet av en kulvert rett nedenfor et boligområde. Det kan hende at Bølerbekken oppstrøms får stor mengde av klorid fra kommunalt avfall, gårdsdrenering, avfall fra griser og avløpssystemet.

Klorid- og natriumkonsentrasjoner i Smedbergbekken varierer henholdsvis fra 62 til 1100 mg/l og fra 37 til 900 mg/l. Den høyeste konsentrasjonen av klorid og natrium ble målt i Smedbergbekken fra en vannprøve som ble tatt 12.03.18. I tillegg varierer kalium og formiatkonsentrasjoner henholdsvis fra 1 til 32 mg/l og fra 0,5 til 5,5 mg/l i Smedbergbekken. Vannprøver fra Ulsrumbekken inneholder mindre konsentrasjoner av klorid, natrium, formiat og kalium i forhold til andre bekker. Klorid- og natriumkonsentrasjoner varierer henholdsvis fra 15 til 120 mg/l og fra 7 til 78 mg/l i Ulsrumbekken. Dessuten stiger formiat- og kaliumkonsentrasjoner henholdsvis fra 0,5 til 4 mg/l og fra 1 til 18 mg/l i mars og april etter bruk av formiat, mens de ble redusert igjen i mai.

Generelt er ledningsevnen høy under brua sammenlignet med andre lokaliteter. Den høye ledningsevne under brua skyldes høye konsentrasjoner av bl.a. klorid, natrium og formiat. Konsentrasjonen av kalium er tydeligvis økt og varierer fra 3.6 til 37 mg/l under brua, ved bruk av kaliumformiat, mens konsentrasjonen av natrium og klorid synker gradvis.

Tabell 4.2: Resultater fra vannprøver i mg/l før og etter bruk av formiat (rødfarget=faresone, gulfarget=medium faresone og grønnfarget=liten fare/risiko faresone), legg merke til at N1 og S1 (TOPP og BUNN) er smeltede snøprøver.

Dato	Lokaliteten	EC målt (mS/m)	pH	Klorid	Natrium	Formiat	Kalium
31.01.2018	Under brua	496	7,5	1700	1300	<0,5	3,6
08.02.2018	Under brua	>4000	7,7	15000	15000	<0,5	37
12.03.2018	Under brua	1120	7,3	1600	3100	2510	21
26.03.2018	Under brua	2110	11	4000	5800	3110	24
23.01.2018	Bølerbekken Nedstrøms	28,8	7,6	50	27	<0,5	1,3
31.01.2018	Bølerbekken Nedstrøms	156	7,6	500	310	<0,5	2,5
12.03.2018	Bølerbekken Nedstrøms	78	7,8	190	140	20	1,9
12.04.2018	Bølerbekken Nedstrøms	31,2	7,5	63	29	<0,5	25
15.05.2018	Bølerbekken Nedstrøms	31,8	8,0	50,7	24	<0,5	1,6
23.01.2018	Bølerbekken Oppstrøms	21,3	7,8	26	15	<0,5	1,3
31.01.2018	Bølerbekken Oppstrøms	161	7,6	530	350	<0,5	2,2
12.03.2018	Bølerbekken Oppstrøms	270	7,8	810	610	7,08	2,9
12.04.2018	Bølerbekken Oppstrøms	38,7	7,7	78	36	<0,5	27
15.05.2018	Bølerbekken Oppstrøms	31,7	7,7	48,4	23	<0,5	1,6
23.01.2018	Smedbergbekken S.	107	7,6	260	140	<0,5	3,4
31.01.2018	Smedbergbekken S.	255	7,6	840	610	<0,5	4,3
23.01.2018	Smedbergbekken N.	47,1	7,8	99	51	<0,5	1,3
31.01.2018	Smedbergbekken N.	32,4	7,2	62	37	<0,5	2,5
12.03.2018	Smedbergbekken	380	7,6	1100	900	5,5	6,9
12.04.2018	Smedbergbekken	63,8	7,5	140	75	3,28	32
15.05.2018	Smedbergbekken	40,2	7,8	74,5	39	<0,5	1,6
23.01.2018	Ulsrubbekken	15,3	7,8	15	7	<0,5	0,88
31.01.2018	Ulsrubbekken	38,7	7,8	95	59	<0,5	1,8
12.03.2018	Ulsrubbekken	46	7,7	120	78	3,47	4,3
12.04.2018	Ulsrubbekken	29	7,7	45	21	<0,5	18
15.05.2018	Ulsrubbekken	46,0	7,8	59,6	29	<0,5	3,0

Konsentrasjonen av tungmetaller (jern, kadmium, kobber, krom, bly, nikkel, sink, sølv, mangan, kobolt, Molybden og aluminium) er mindre enn 100 µg/l i vannprøver i bekkene, men er litt høyt i vannprøver under brua. De gjennomsnittlige konsentrasjonene av kobber og mangan under brua er henholdsvis 55 og 133 µg/l. Konsentrasjonene av jern, kobber, mangan og nikkel er høyere under brua, men de er likevel så små at de ikke bidrar til økt ledningsevne. Analyseresultater viser ikke noen stor forskjell i mengden av tungmetaller før og etter bruk av formiater.

4.6 Tilførte formiat- og kloridmengder i bekkene

Tidspunktet for snøsmelting, regn etter snø og regnskyll er svært viktig for transport av klorid (veisalt). Transport av salt er også avhengig av hvilke værforhold som gir høyt saltforbruk, og data rapport fra Oslo kommunen etter bruk av formiat er vedlagt (vedlegg-5). I alle bekkene rundt Østensjøvannet er totalmengden av tilført klorid og formiat beregnet utfra resultatene fra logger, multiparametersensorer og vannprøver før og etter bruk av

formiat. De tre hovedovervåkingsstedene med multiparametersensorer (Bølerbekken oppstrøms, nedstrøms og Smedbergbekken) og et overvåkingssted med logger i Ulsrumbekken viste forskjeller i målestokk og tidspunkt for kloridtransport. Ifølge målingene skal det finnes klorid- og formiatkonsentrasjoner fra 22. januar til 30. juni i Bølerbekken, Smedbergbekken og Ulsrumbekken.

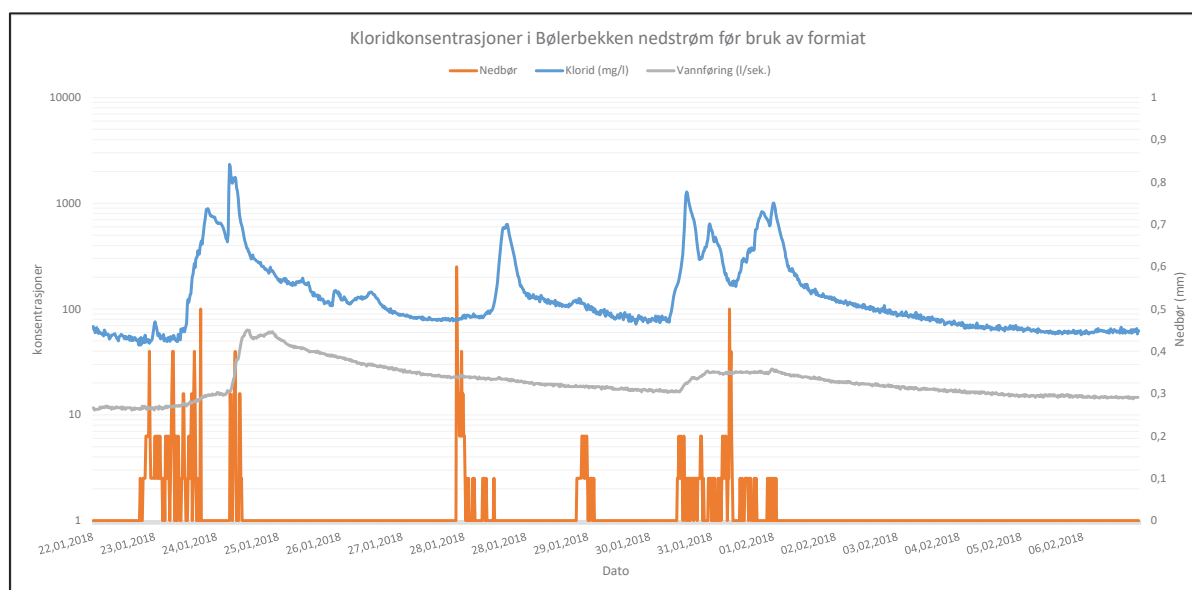
4.6.1 Før bruk av formiat

4.6.1.1 Bølerbekken

Bølerbekken har det største tilsiget til Østensjøvannet når det gjelder transport av veisalt. Vannprøver fra 31.01.18 viser 530 mg/l klorid, 350 mg/l natrium og mindre enn 0,5 mg/l formiat i Bølerbekken oppstrøms. Samme datoen viser resultater fra Bølerbekken nedstrøms 500 mg/l klorid, 310 mg/l natrium og mindre en 0,5 mg/l formiat. Bølerbekken nedstrøms har transportert 5900 kg klorid til Østensjøvannet fra 22.01.18 til 06.02.18 og det er ca. 393 kg per dag.

Bølerbekken oppstrøms viser mer kloridkonsentrasjoner per liter enn nedstrøm fordi Bølerbekken får veisalt fra General Ruges vei, Bølerskrenten vei, og fra privat saltforbruk på parkeringsplasser i Bølerområdet. Årsaken er ledningsevneverdier som er relativt høyere i oppstrøm enn nedstrøm (vedlegg-6).

I figur 4.7 er det klart at kloridkonsentrasjonen øker umiddelbart etter nedbør på grunn av tidligere veisaltning i Bølerområdet. I perioden uten nedbør fra 02. feb. til 06. feb. sank kloridkonsentrasjonen gradvis. Maksimum kloridkonsentrasjon 2330 mg/l er observert i januar. Omtrent 88 % av observerte kloridkonsentrasjoner i Bølerbekken (oppstrøm og nedstrøms) ligger under 250 mg/l, cirka 8 % ligger på middels faresone med konsentrasjoner fra 250 til 500 mg/l. Dessuten ligger omtrent 4 % kloridkonsentrasjoner på høy faresone og inneholder klorid med over 500 mg/l.



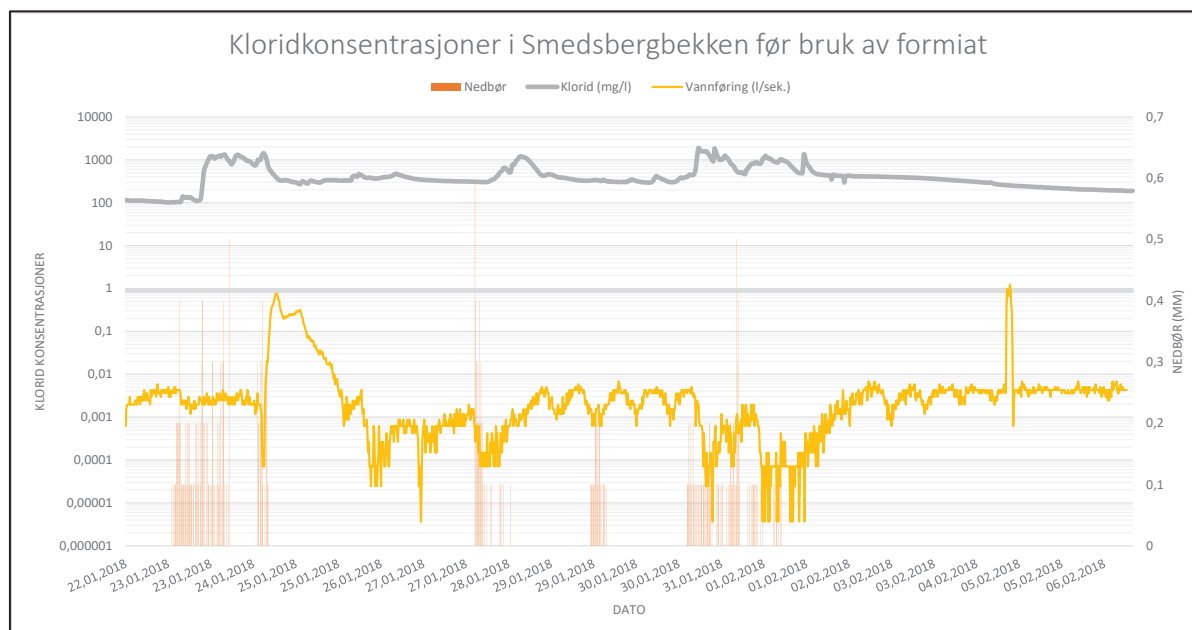
Figur 4.7: Nedbør, vannføring og transportert kloridet i Bølerbekken nedstrøms før bruk av formiat.

4.6.1.2 Smedbergbekken

Natrium- og kloridkonsentrasjonene i Smedbergbekken per liter vann er relative høyere enn Bølerbekken, mens transportert mengde (kg) er lavere på grunn av lavere vannføringer i Smedbergbekken (vedlegg-7). Vannføring i Smedbergbekken varierer fra $3,68579 \times 10^{-6}$ til 1,2 liter per sekund mens den varierer i Bølerbekken nedstrøm fra 11 til 63 liter per sekund.

Maksimums- og minimumskonsentrasjonene av klorid er henholdsvis 1907 og 101 mg/l, og den maksimale konsentrasjonen ble målt 31.01.18. Høye kloridkonsentrasjoner har potensiell toksisitet for økosystemet og særlig for promelas ørekyte-embryoet som har omtrent 90 % dødelighet når det utsettes for kloridkonsentrasjoner over 1800 mg/l i en uke (Marine 1999). Gjennomsnittlige konsentrasjoner av natrium og klorid er henholdsvis 202 og 451 mg/l før bruk av formiat.

Smedbergbekken har transportert ca. 8,6 kg klorid til Østensjøvannet fra 22.01.18 til 06.02.18. Dessuten inneholder ca. 59 % av de samlede observasjonene mellom 250 og 500 mg/l og ca. 22 % inneholder klorid over 500 mg/l. Mengden av transportert klorid er avhengige både kloridkonsentrasjonen og vannføringen. Den plutselige økningen av transportert kloridmengde fra $8,359 \times 10^{-4}$ til 0,28 kg per 15 minutter på 05.02.18 uten endring av kloridkonsentrasjon i mg per liter er på grunn av endring i vannføring (figur 4.8).



Figur 4.8: Nedbør, klorid (mg/l) og vannføring (l/sek.) i Smedsbergbekken før bruk av formiat.

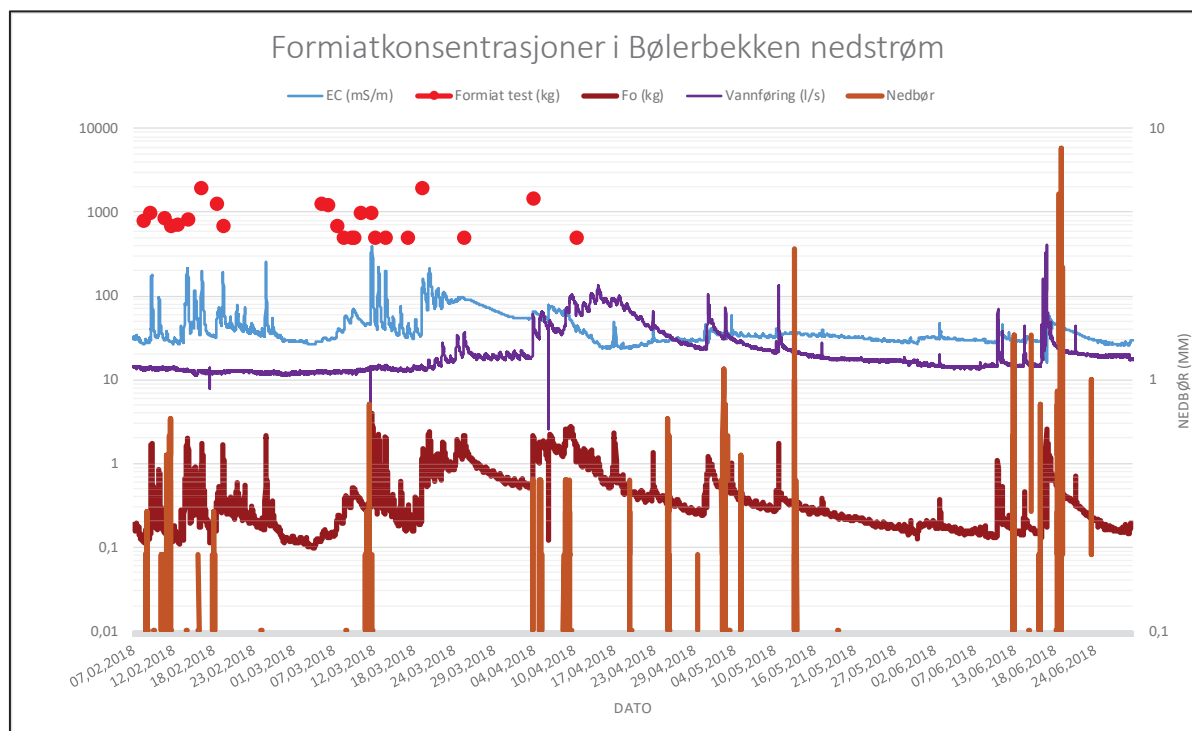
4.6.2 Etter bruk av formiat

Beregning av formiatmengder ble fordelt på to perioder: fra 06. feb. til 31. mars og fra 01. april til 30. juni (Tabell 4.3). I april ble formiat testet bare to dager mens mest av formiat utleggingen ble utført i februar og mars.

4.6.2.1 Bølerbekken

Den maksimale kloridkonsentrasjonen i Bølerbekken oppstrøms er 2720 mg/l og den ble observert i mars. Vann og avløp er en betydelig kilde til klorid i Bølerbekken oppstrøms fra husholdning (mat og vannmykning) og privat NaCl-bruk i hager og tomtearealer. Vannføringsmålinger i Bølerbekken oppstrøms er relativt høyere fra 6. april til 22. april med den gjennomsnittlige vannføringen på 150 l/sek (vedlegg-8).

De gjennomsnittlige transporterte klorid- og formiatmengder i Bølerbekken nedstrøms er høyere fra 18. mars til 27. mars pga. kommunalt saltforbruk (figur 4.9). Vi har ikke fått noe data om kommunen har brukt formiat eller vanlig salt etter 12. april, men resultatene viser en gradvis reduksjon i klorid- og formiatkonsentrasjoner fra slutten av mars til juni. Generelt reduseres klorid- og formiatkonsentrasjonen fra midten av april til midten av juni, men øker igjen i midten av juni pga. 8,5 mm regn og høyere temperatur som har ført til smeltet islag og mobilisert salt i nedbørfeltet.

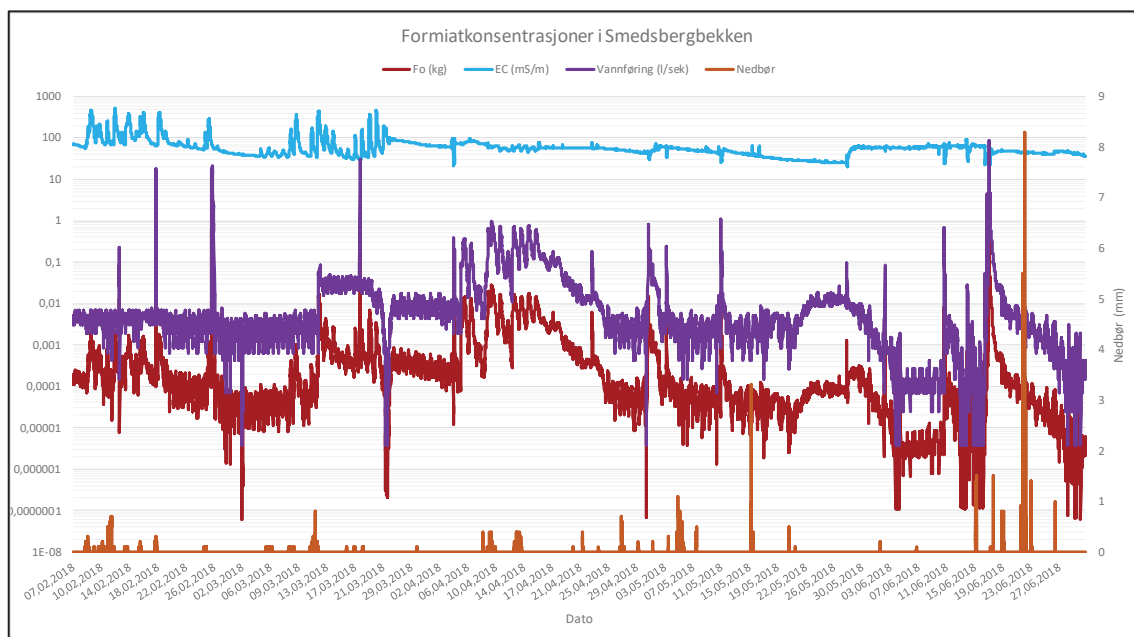


Figur 4.9: Estimert vannføring, EC, kommunalt formiatforbruk og transporterte formiatmengder tilført med Bølerbekken nedstrøms etter bruk av formiat fra februar til juli.

4.6.2.2 Smedbergbekken

Smedbergbekken ligger langt fra Østensjøveien og er dermed blitt påvirket lite av formiat-testen. Vannprøver som ble tatt etter bruk av formiat inneholder mindre enn 5 mg/l formiat, mens natrium- og kloridkonsentrasjoner varierer henholdsvis fra 75 til 900 mg/l og fra 140 til 1100 mg/l. Transport av klorid varierer med vannføring og ledningsevne. Dessverre har driftsentreprenør brukt formiat på Enebakkveien mellom Abildsøkrysset og Ryen (ca. 12 tiltak), noe som har hatt påvirkning på Smedbergbekken i de første tre ukene etter at prosjektet startet. Men de sluttet å bruke formiat på Enebakkveien da de fikk beskjed fra Oslo Kommune.

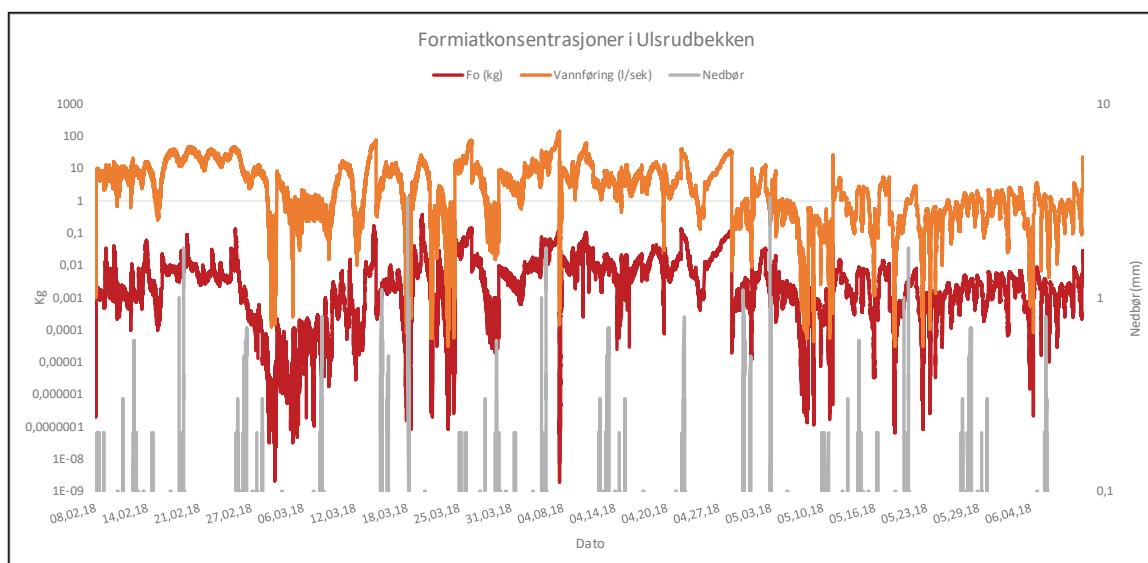
Generelt synker kloridkonsentrasjonen fra februar til juli, men man kan fremdeles se midlertidige variasjoner på grunn av nedbørsperioder og remobilisering av veisalt i nedbørfeltet (figur 4.10). Smedbergbekken har høyere kloridkonsentrasjoner per liter i forhold til andre bekker med den gjennomsnittlige verdien 170 mg/l etter bruk av formiat. Årsaken er høye ledningsevneverdier på grunn av vanlig veisalt fra E6 og kommunale veier (Enebakkveien, Agronomveien og smedbergveien).



Figur 4.10: Estimert vannføring, EC, kommunalt formiatforbruk og transporterte formiatmengder tilført med Smedsbergbekken etter bruk av formiat fra februar til juli.

4.6.2.3 Ulsrubbekken

Klorid- og natriumkonsentrasjoner i Ulsrubbekken fra 08. februar til 22. juni ble estimert basert på data fra logger. Ulsrubbekken transporterte høyere formiat- og kloridkonsentrasjoner enn Smedsbergbekken, men lavere enn Bølerbekken. Minimumskonsentrasjonen av klorid er ca. 5 mg/l og maksimumskonsentrasjonen av klorid er 1338,5 mg/l. Det er vesentlig lavere klorid- og formiatkonsentrasjoner fra 01. til 07. mars på grunn av lavere vannføring, som varierer fra ca. 0,67 til 1,14 l/sek, samt med lavere ledningsevne, som varierer fra ca. 5,06 til 10,58 mS/m (figur 4.11).



Figur 4.11: Estimert vannføring, EC, kommunalt formiatforbruk og transporterte formiatmengder tilført med Ulsrubbekken etter bruk av formiat fra februar til juli.

4.7 Estimering av transportert klorid og formiat

Bølerbekken får veisalt fra Eterveien, Østensjøveien og General Ragus veien samt med nedbørfeltet som består av boligområde (43 %), parker og parkeringsplasser. Bølerbekken viser høyest transportert kloridmengde i forhold til andre bekker og det synker gradvis fra februar til juni. Kloridmengde ble redusert ca. 66 % fra 393 kg til 123 kg per dag i Bølerbekken fra januar til juni 2018. Bølerbekken har transportert omtrent 6100 kg formiat og 24 300 kg klorid til Østensjøvannet. Estimering av klorid og formiat i alle bekker rundt Østensjøvannet er vist i tabellen 4.3.

Smedbergbekken har transportert ca. 809 kg klorid og ca. 22 kg formiat fra 22. januar til 30. juni. Ulsrubekken har transportert ca. 2900 kg klorid fra 8. februar til 31. mars og ca. 4600 kg i april, mai og juni og det varierer fra 50 til 54 kg per dag. Totalt formiat som ble transportert gjennom Ulsrubekken fra 8. februar til 31. mars er ca. 120 kg og fra 31. mars til 22. juni er ca. 190 kg med gjennomsnittlig 2,5 kg formiat per dag.

Det er klart at transportert klorid- og formiatmengde ble redusert gradvis fra januar til juni etter formiat ble testet.

Tabell 4.3: Tilførte mengder avisingsmidler før og etter bruk av formiat i bekker rundt Østensjøvannet.

Klorid- og formiatmengder i bekker rundt Østensjøvannet					
Bekker	Før bruk av formiat	Etter bruk av formiat			
	22. Jan.-06.feb. 2018	07.feb- 31. mars		April, mai og juni	
	Cl (kg)	Cl (kg)	Fo (kg)	Cl (kg)	Fo (kg)
Bølerbekken	5900	7200	2400	11200	3700
Smedsbergbekken	8,6	420	12	380	10
Ulsrubekken	N/A	2900	120	4600	190
Total	5908,6	10520	2532	16180	3900
Per dag transportertmengde i tonn					
Bølerbekken nedstrøm	393,333	133,333	44,444	123,077	40,659
Smedsbergbekken	0,573	7,778	0,222	4,176	0,110
Ulsrubekken	N/A	53,704	2,222	50,549	2,639
	Total Cl. i tonn	32608,6			
	Total Fo. I tonn	6432			
	Kommunal formiat forbruk (07. feb - 12. april)	21 600 kg			

Generelt varierer minimum kloridkonsentrasjoner i alle bekkene fra 32 til 101 mg/l før bruk av formiat mens det varierer fra 4 til 23 mg/l etter bruk av formiat. Dessuten varierer de maksimale kloridkonsentrasjonene fra 1720 til 2330 mg/l før bruk av formiat og fra 1316 til 2720 mg/l etter bruk av formiat (tabell 4.4). Det er klart at kloridkonsentrasjoner per liter vann er betydelig redusert etter at natriumklorid ble erstattet med formiater. De kloridkonsentrasjoner som ble observert etter bruk av formiat har flere feilkilder i studien. Som for eksempel, kan trekkes fra følgende: Det var ikke konsekvent bruk av kun formiat

vinteren 2018 og det ble dessverre også brukt vanlig salt i enkelte perioder. En annen feilkilde er privat saltforbruk i hager og tomtearealer samt utslipp fra boligområder.

Grenseverdien for kloridkonsentrasjon i drikkevann er 250 mg/l, og 20-90 % av observerte verdier har kloridkonsentrasjoner lavere enn 250 mg/l før bruk av formiat, men øker til 90-94 % etter bruk av formiat. Dessuten ligger 8-21 % av observerte verdier i høye faresonen, med kloridkonsentrasjoner over 500 mg/l før bruk av formiat og dermed faller ned til 1-3 % etter at veisalt ble erstattet med formiater.

Kloridkonsentrasjoner i Bølerbekken nedstrøms er lavere etter bruk av formiat, og faller den maksimale kloridkonsentrasjonen fra 2330 mg/l til 1316 mg/l. Den gjennomsnittlige kloridkonsentrasjonen synker fra 181 til 99 mg/l etter formiat ble testet rundt Bølerbekken.

Smedbergbekken har omtrent 21 % av observerte verdier i faresonen før bruk av formiat. Det skyldes at Smedbergbekken mottar vanlig veisalt fra E6 samt med utslipp fra Abildsø boligområde. Verdien falt til 3,9 % fra april til juni på grunn av lite bruk av salt.

De gjennomsnittlige kloridkonsentrasjoner varierer fra 100 til 451 mg/l før bruk av formiat, og fra 99 til 170 mg/l etter bruk av formiat. Ulsrubbekken har ca. 95 % av observerte verdier i grønn sone med mindre enn 250 mg/l kloridkonsentrasjonen etter bruk av formiat og mindre enn 1 % av observerte verdier ligger i faresonen.

Tabell 4.4: Konsentrasjoner (mg/l) i bekker før og etter bruk av formiat.

Bekker	Konsentrasjonen av kloridet (mg/l) i bekker før bruk av formiat							
	Total observert verdier	Min.	Max.	Mean	Median	% obs. mindre enn 250 mg/l	% obs. m. 250-500 mg/l	% obs. mer enn 500 mg/l
Bølerbekken nedstrøm	1487	45,75	2330,75	181,82	95,99	83,19	8,47	8,34
Bølerbekken oppstrøm	1483	32,13	1720,90	100,05	43,68	90,02	8,23	1,82
Smedsbergbekken	1491	101,47	1907,50	451,10	346,59	19,58	58,75	21,66
Bekker	Konsentrasjonen av kloridet (mg/l) i bekker etter bruk av formiat							
	Total observert verdier	Min.	Max.	Mean	Median	% obs. mindre enn 250 mg/l	% obs. m. 250-500 mg/l	% obs. mer enn 500 mg/l
Bølerbekken nedstrøm	13508,00	4,72	1316,50	99,25	65,56	93,74	5,10	1,13
Bølerbekken oppstrøm	12550,00	23,25	2720,95	125,82	72,90	89,90	7,13	2,97
Smedsbergbekken	13336,00	14,48	1821,56	170,11	139,86	89,70	6,38	3,92
Ulsrubbekken	35064,00	5,05	1338,90	139,81	168,17	95,25	4,20	0,50

4.8 Areal estimering av formiat forbruk

Driftsentreprenør brukte formiat i tilknytning til nedbør og temperatur i vinter. Formiatforbruket varierte fra 500 til 2000 kg per dag og mengde av formiatbruk for hvert tiltak varierte fra 15 til 60 (med gjennomsnittet av 33,7) g/m². Totalt 21 600 kg formiat ble påført fra 07. februar til 12. april. Rapporten fra driftsentreprenør viser temperatur og dato når tiltaket ble utført, og har begrunnelse for valg av type formiat og mengde og hvorfor mengder ble justert (vedlegg-9). Formiat ble brukt i tørt og veske form og formiatet som ble brukt 08. februar på Østensjøveien er i tørr form (vedlegg-10).

Bølerbekken krysser Østensjøveien og Eterveien og mottar tilsig av formiat fra begge. Eterveien har en ca. 465 meter lang strekning fra General Ruges vei til Østensjøveien og

Østensjøveien er ca. 645 fra Eterveien-krysset til parkeringsplassen. Bølerbekken får også en del av formiatet fra General Ruges vei, og det kan være at driftsentreprenører spredte resten av formiatet på andre veier i Bølerområdet (figur 4.12).

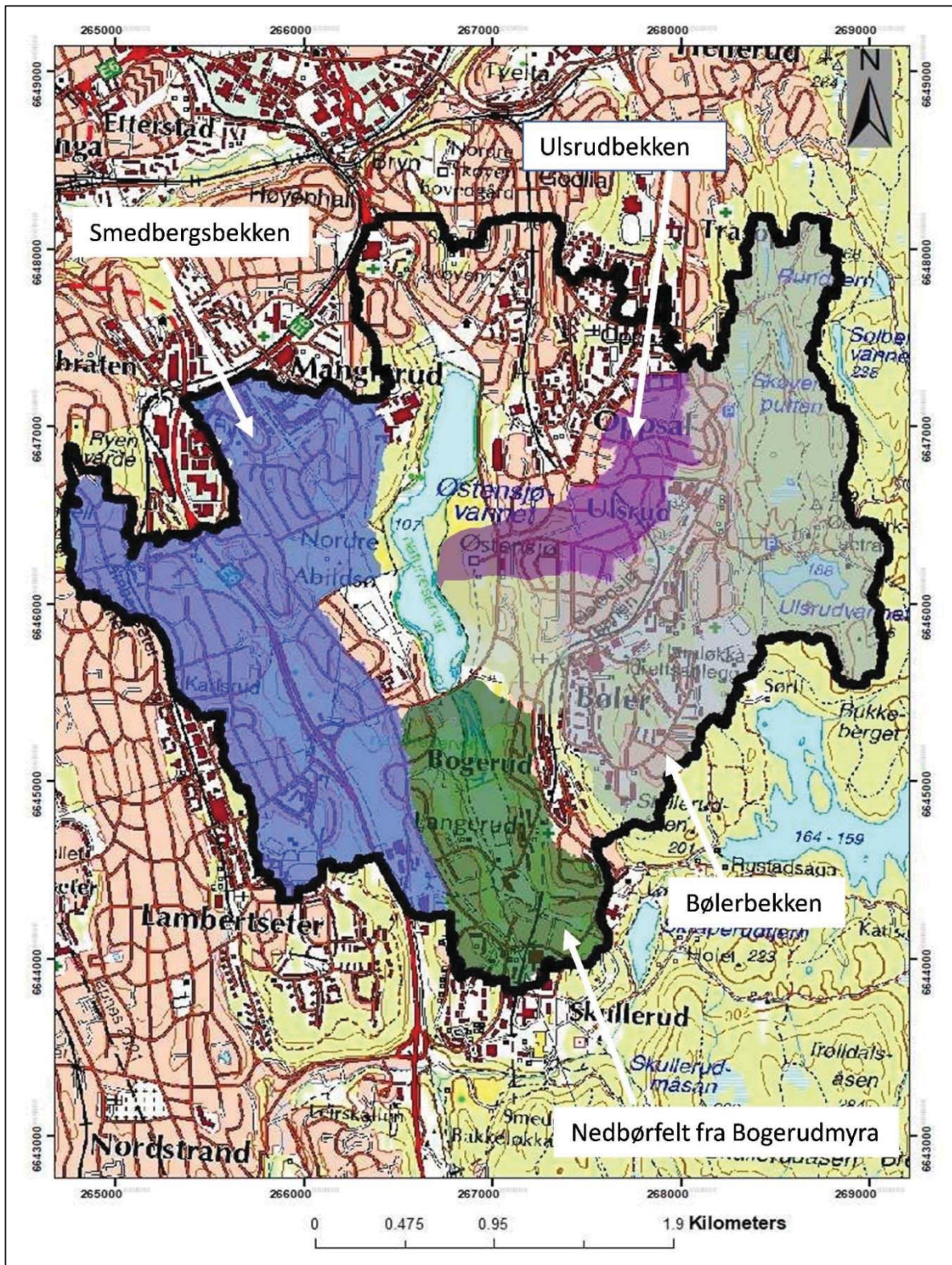
En stor salthaug ble funnet 8. mai på parkeringsplassen i sørenden av vannet (vedlegg-11), derfor kan man ikke overse disse feilkildene når det gjelder arealestimering av formiatforbruk rundt Østensjøvannet. Driftsentreprenører har påført formiat flere veier i nedbørfeltet enn de sagt. Totalt formiat som ble brukt rundt Bølerbekken for hele perioden fra 07. februar til 12. april er ca. 8603 kg mens målt formiat i Bølerbekken er omtrent 6100 kg (fra februar til juni). Dette betyr at resten av formiat ligger i nedbørfeltet eller nedbrytes i jorden.

Ulsrumbekken mottar en del av veisalt fra Ulsrudveien, Østensjøveien og Oppsalveien. Bekken har ikke direkte kontakt med veier og avrenning som går i rør under veier. I tillegg er formiat ikke ble brukt på Ulsrudveien og Oppsalveien. Dermed blir de ikke tatt med i arealestimering av formiatbruk. Den mest sannsynlige lengden av Østensjøveien som kan bidra med formiat til Ulsrumbekken er omtrent 133 meter og det blir ca. 1030 kg formiat ble påført rundt Ulsrumbekken. Formiat målt i Ulsrumbekken (310 kg) er mindre enn formiatbruk på veien.

Smedbergbekken mottar veisalt fra E6 og Enebakkveien. I begynnelsen har driftsentreprenører brukt formiat på Enebakkveien i enkelte perioder fordi det tydeligvis har vært en glipp i kommunikasjonen. Derfor ble formiat beregnet fra 07. februar til 01. mars. Lengden av Enebakkveien som kan bidra med formiat til Smedbergbekken er ca. 146 meters. Data fra driftsentreprenørens rapport viser at de har kjørt 12 ganger med restformiater over Enebakkveien. Omtrent 590 kg formiat ble påført over Enebakkveien, mens formiat målt i bekken er ca. 22 kg. Resultatene viser at Smedbergbekken bidrar til formiat mindre enn 1 % til Østensjøvannet. Total mengde av formiat som ble transportert til Østensjøvannet gjennom bekkene er ca. 6432 kg (vedlegg-12).

En stor andel av formiatbidrag er direkte fra veien hvor vann faller ned fra brua til Østensjøvannet. Veiareal som kan bidra formiat til Østensjøvannet er omtrent 452 meters fra brua til Enebakkveien krysset (lengden ca. 426 meters). Omtrent 3300 kg formiat påførte driftsentreprenører i dette området men det ble det ikke målt hvor mye transportert til Østensjøvannet. Omtrent 7900 kg formiat ble påført på Østensjøveien i nordenden av Østensjøvannet fra Håkon Tveters rundkjøringen til Østensjø Terrasse (lengden ca. 1030 meters).

Totalt vanlig veisaltforbruk fra oktober 2017 til 2018 er omtrent 168 tonn mens ble bare 21,6 tonn formiat brukt fra februar til april 2018. Dette betyr at formiat er mye mer effektivt avisingsmiddel og kan reduseres kvantitativ mengde av avisingsmidler.



Figur 4.12: Nedbørfeltet med estimert av formiat forbruk fra veier til Østensjøvannet.

4.9 Mangelfulle data

- Det ble ikke installert noe logger i Østensjøvannets utstrømming og derfor kan det ikke beregnes hvor mye klorid blir liggende i Østensjøvannet eller er blitt transportert fra Østensjøvannet.
- Etter bruk av formiat ble det installert logger av vannhøyde og ledningsevne i Ulsrudbekken. Loggerne burde ha vært installert tidligere for å få sammenligne kloridkonsentrasjoner fra veier (Oppsalveien, Ulsrudveien og Østensjøveien) før og etter bruk av formiat.
- Formiat burde ha blitt brukt av driftsentreprenører kontinuerlig etter formiat testen (6. januar 2018) for å få ideelle resultater. Det ble brukt vanlig salt også etter formiat testen dessverre.
- ERT målinger ble utført i mai etter bruk av formiat, det skulle ha utført før bruk av formiat for å få sammenligne resultater og resistivitet endringer før og etter bruk av formiat.
- Saltfortynningsmetoden for vannføring ble utført bare i Bølerbekken, det skulle ha utført i alle bekkene rundt Østensjøvannet.
- Jordprøver for kjemiske analysing ble tatt i slutten av mai og det skulle ha tatt rett etter snøsmelting for å få nøyaktige resultater.
- Snøprøver ble tatt 12. mars og de burde ha tatt før bruk av formiat også for å sammenligne resultater.
- Det burde ha tatt vannprøver to ganger per måned til å kalibrere data for å få nøyaktige resultater når det gjelder om beregning av klorid- og formiatkonsentrasjoner.
- I tillegg burde ha jordprøver tatt langs veien før bruk av formiat også for å få kloridskonsekvensene i jorda. Det er behov for videre undersøkelser av hvordan klorid oppfører seg i jorden og nedbørfeltet for å estimere viktigheten av veisalt i slike systemer.
- Formiat burde ikke ha blitt brukt på Enebakkveien mellom Abildsøkrysset og Ryen etter formiat testen, men på grunn av uaktsomhet av driftsentreprenør ble restformiat brukt på Enebakkveien.

5 Konklusjon

Vannføringsmåling med saltfortynningsmetoden utført i Bølerbekken nedstrøms gir en vannføring på 38,46 l/sek dette gir godt samsvar med vannføringsberegninger basert på vannhøyden målt i multiparametersensoren ved bruk av V-notch weir-likningen. De elektriske resistivitetsverdiene i jorda langs veien er lavere, noe som tyder på mer salt og høyere elektrisk ledningsevne i jordvannet her, enn langs bekken og korrelerer veldig godt med observasjoner av veisalt i snø nærmest veikanten. Målt ledningsevne (EC) i snøprøver har inverst forhold med avstanden fra veien, snøprøver nær veien har høyere ledningsevneverdier enn de langt fra veien.

Alle jordprøver før og etter formiattesten inneholder mindre enn 0,5 mg/l formiat sannsynligvis fordi formiat brytes ned mens dette ikke skjer med natriumklorid. Høyt innhold av natriumklorid viser derimot at smeltevann forurensset med veisalt har infiltrert i jorda. Vannprøver under brua i sørenden av Østensjøvannet har de høyeste natrium- og kloridkonsentrasjoner; de varierer henholdsvis fra 1300 til 15 000 mg/l og fra 1600 til 15 000 mg/l. Generelt minker kloridkonsentrasjoner i alle bekkene rundt Østensjøvannet fra januar til juni 2018.

Resultatene fra vann og jordprøver viser høye kloridkonsentrasjoner som kan mobilisere metaller og kan indusere metallgifter på fisk og planter som resultater i død på grunn av kvelning (Kaushal, Groffman et al. 2005). Mens natrium- og kloridkonsentrasjoner i jorden ble redusert henholdsvis fra 2700 til 680 mg/kg og fra 2650 til 90 mg/kg etter at veisalt (natriumklorid) ble erstattet med formiater.

Bølerbekken nedstrøms har lavere kloridkonsentrasjoner enn oppstrøms, fordi det antagelig er stor saltbelastning i et tettbygd område oppstrøms, og vannet fortynnes med vann fra et annen bekkeløp på veien ned til Bølerbekken nedstrøms. Nesten 2-20 % av observerte kloridkonsentrasjoner i bekker inneholder mer enn 500 mg/l klorid før formiat ble testet mens ble det redusert etter at natriumklorid ble erstattet med formiater. Kun 0,5 - 4 % observerte verdiene er i faresonen (mer enn 500 mg/l kloridkonsentrasjonen) etter bruk av formiat.

Den totale saltmengden som blir transportert ut til Østensjøvannet etter salting med formiater er betydelig redusert i forhold til bruk av det tradisjonelle natriumkloridet. Dette vil bety mindre tilførsler av ioner til innsjøen, som igjen særlig kan bety mindre påvirkning med hensyn til endring av det vertikale sirkulasjonsmønsteret. På den annen side vil nedbrytning av formiat forbruke oksygen. Dette vil også kunne medføre et høyere oksygenforbruk i innsjøen enn tidligere. Dette bør det også sees og regnes nærmere på, der vannprøver fra profiler i selve innsjøen bør inkluderes og vurderes.

6 Referanser

- Abraham, JD and Lucius, JE (2004). Direct current resistivity profiling to study distribution of water in the unsaturated zone near the Amargosa Desert Research Site, Nevada, US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Amundsen, C, French, H, Haaland, S, Pedersen, P, Riise, G and Roseth, R (2008). "Salt SMART–Miljøkon sekvenser ved salting av veger—en litteraturgjennomgang." Statens Vegvesen rapport 2535.
- Aquillina, G and Vasileios, B (2015). "Scientific Opinion on the safety and efficacy of ammonium formate, calcium formate and sodium formate when used as a technological additive for all animal species." EFSA Journal **13**(5): 4056.
- Bækken, T and Haugen, T (2006). Kjemisk tilstand i vegnære innsjøer. Påvirkning fra avrenning av vegsalt, tungmetaller og OAH, Rapport UMT.
- Equiza, M, Calvo-Polanco, M, Cirelli, D, Señorans, J, Wartenbe, M, Saunders, C and Zwiazek, J (2017). "Long-term impact of road salt (NaCl) on soil and urban trees in Edmonton, Canada." Urban Forestry & Urban Greening **21**: 16-28.
- Evans, M and Frick, C (2001). "The effects of road salts on aquatic ecosystems."
- Green, SM, Machin, R and Cresser, MS (2008). "Effect of long-term changes in soil chemistry induced by road salt applications on N-transformations in roadside soils." Environmental pollution **152**(1): 20-31.
- Hellstén, PP, Kivimäki, A-L, Miettinen, IT, Mäkinen, RP, Salminen, JM and Nystén, TH (2005). "Degradation of potassium formate in the unsaturated zone of a sandy aquifer." Journal of environmental quality **34**(5): 1665-1671.
- Hindar, A, Henriksen, A, Kaste, Ø and Tørseth, K (1995). "Extreme acidification in small catchments in southwestern Norway associated with a sea salt episode." Water, air, and soil pollution **85**(2): 547-552.
- Hindar, A, Henriksen, A, Tørseth, K and Semb, A (1994). "Acid water and fish death." Nature **372**(6504): 327.
- Holen, Å (2010). "Salt SMART - Alternative kjemikalier og tilsetningsstoffer til natriumklorid - en litteraturgjennomgang." Statens Vegvesen rapport: 120.
- Kaushal, SS, Groffman, PM, Likens, GE, Belt, KT, Stack, WP, Kelly, VR, Band, LE and Fisher, GT (2005). "Increased salinization of fresh water in the northeastern United States." Proceedings of the National Academy of Sciences **102**(38): 13517-13520.
- Kelting, DL and Laxon, CL (2010). Review of effects and costs of road de-icing with recommendations for winter road management in the Adirondack Park, Adirondack Watershed Institute.
- Klein-Paste, A (2008). "Hvorfor salt? Hvordan virker kjemikalier i vinterdriften?" Statens Vegvesen rapport **111**: 32 s.

- Oslo, K (2007). "Østensjøvann med Bogerudmyra." 59-63.
- Kostick, DS (1993). "The material flow of salt." Information Circular-United States, Bureau of Mines;(United States) 9343.
- Kristiansen, MA (2015). "Artikkel." Hydra Team <https://hydrateam.no/2015/01/01/vi-maler-pa-kule-mater/>.
- Lisboa, V, Barcarolli, IF, Sampaio, LA and Bianchini, A. (2015). Effect of salinity on survival, growth and biochemical parameters in juvenile Lebranch mullet Mugil liza (Perciformes:Mugilidae). Neotropical Ichthyology, **13(2)**, 447-452.
- Loures, L, Gama, J, Nunes, JR and Lopez-Piñeiro, A (2017). "Assessing the Sodium Exchange Capacity in Rainfed and Irrigated Soils in the Mediterranean Basin Using GIS." Sustainability **9(3)**: 405.
- Lovdata (2016). "Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften)." Klima- og miljødepartementet Gjelder for Norge: 44 hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931?q=grenseverdien%20for%20klorid>.
- Marine, N (1999). "Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life." Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg: 1-5.
- Moore, R (2004). "Introduction to salt dilution gauging for streamflow measurements: Part 2: Constant Rate Injection." Streamline Watershed Management Bulletin **8(1)**: 42675.
- Munck, IA, Bennett, CM, Camilli, KS and Nowak, RS (2010). "Long-term impact of de-icing salts on tree health in the Lake Tahoe Basin: Environmental influences and interactions with insects and diseases." Forest ecology and management **260(7)**: 1218-1229.
- Nevina.nve.no. NEVINA Nedbørfelt-Vannføring-INdeks-Analyse, fra Norges vassdrags- og energidirektorat NVE. Tilgjengelig fra: <http://nevina.nve.no/> (lest 14.03.18).
- OECD (1989). "Curtailling usage of de-icing agents in winter maintenance, Paris." OECD Scientific Expert Group.
- Olsen, KM (2002). "Kartlegging av naturtyper i Oslo kommune 2002." Norsk Institutt for Naturforskning (NINA): 64.
- OxyChem (2018). "Calcium chloride, sidewalk ice melting." Occidental chemical corporation: <https://www.oxycalciumchloride.com/sidewalk-ice-melting/effective-ice-melting/how-to-melt-ice-effectively/the-case-for-calcium-chloride>.
- Pedersen, P and Fostad, O (1996). "Effekter av veisalting på jord, vann og vegetasjon." Effects of de-icing salt on soil, water and vegetation[In Norwegian]. Main report, part **1**.
- Pedersen, PA (2007). "Skader på trær og busker forårsaket av saltsprut: registreringer i Østlandsområdet våren 2003 og 2006."
- Perchanok, MS, Manning, DG and Armstrong, J (1991). "Highway de-icers: Standards, practice, and research in the province of ontario."

- Rudolfsen, KT (2015). Bruk av elektrisk resistivitet tomografi (ERT) til å undersøke variasjoner av vanninnhold i bakken: et metodeforsøk, NTNU.
- Sakshaug, TV (2007). "Salting av veger, En kunnskapoversikt." Statens Vegvesen rapport: 47.
- Sivertsen, Å (2012). "Sluttrapport for etatsprogrammet Salt SMART." Statens vegvesens rapporter **92**: 101 s.s.
- Stefan, HG, Novotny, E, Sander, A and Mohseni, O (2008). "Study of Environmental Effects of De-Icing Salt on Water Quality in the Twin Cities Metropolitan Area, Minnesota."
- Stromberg, J (2014). "What Happens to All the Salt We Dump On the Roads?" ASKSmithsonian <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/what-happens-to-all-the-salt-we-dump-on-the-roads-180948079/>: 1.
- Ståle, LH, Lars JG, og Thor EN (2012). "Salt SMART : vegsalt i innsjøer: tålegrenser mht. kjemisk sjiktning." Statens Vegvesen rapport **120**: 34.
- Svensson, T, Sandén, P, Bastviken, D and Öberg, G (2007). "Chlorine transport in a small catchment in southeast Sweden during two years." Biogeochemistry **82**(2): 181-199.
- Tollefsen, KE, Song, Y, Kleiven, M, Mahrosh, U, Meland, S, Rosseland, BO and Teien, H-C (2015). "Transcriptional changes in Atlantic salmon (*Salmo salar*) after embryonic exposure to road salt." Aquatic Toxicology **169**: 58-68.
- Urset, GT (2016). Veisalts påvirkning på kloridkonsentrasjoner i sjøørretførende elver og bekker i Østfold og Akershus, Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Victoria, R, William HS, (2010). "Road Salt, Moving toward the solution." The Cary Institute of Ecosystem Studies: 16 s.
- Wetzel, R (1983). "Limnology. WB Saunders College Publishing." Philadelphia, PA.
- Vegvesen, S (2016b). *Mengderapportering vinteren 2015/2016*. Statens vegvesen rapporter nr. 419. Hentet fra <http://www.vegvesen.no/>
- Wike, KJ (2007). "Effekter av vegsalt på vannkjemien i et grunnvannspåvirket tjern på Gardermoen." Masteroppgave **94**: 20-43.

Vedlegger

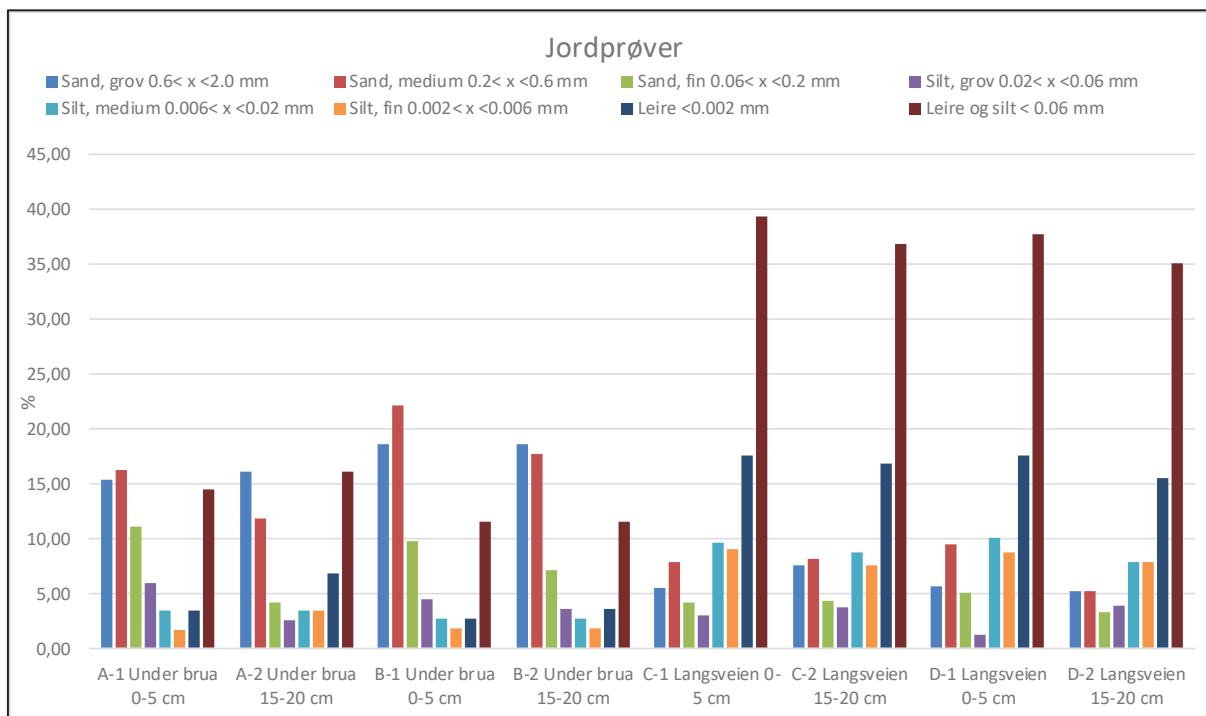
Vedlegg-1: Estimering av ratio mellom klorid og formiat i Bølerbekken nedstrøms

	Konduktivitet ved 25°C (målt ved 23 +/- 2°C)	Klorid (Cl)	Formiat
BØL-N 12.03.18	77,8	190	20
BØL-N-N1-TOPP 12.03.18	221	540	289
BØL-N-N1-BUNN 12.03.18	145	380	119
BØL-N-S1-TOPP 12.03.18	250	700	202
BØL-N-S1-BUNN 12.03.18	122	360	56,2
BØL-N 12.04.18	38,7	78	0,5
		2248	686,7
		Ratio	3,273627494

Vedlegg-2: Tabell viser målinger fra feltarbeid for saltfortynningsmetoden.

Salt	0,1 kg	Avstand	20 m				
Vann	1 liter						
EC i salt vann	209 mS/cm	209000 uS/cm					
EC før salt	761 uS/cm						
Tid	k tot	k salt	Tid Sek.	Tid	k tot	k salt	Tid Sek.
00:00:00	761	0	0	02:10:00	764	3	130
00:10:00	762	1	10	02:20:00	764	3	140
00:20:00	762	1	20	02:30:00	763	2	150
00:30:00	779	18	30	02:40:00	764	3	160
00:40:00	790	29	40	02:50:00	765	4	170
00:50:00	824	63	50	03:00:00	764	3	180
01:00:00	834	73	60	03:10:00	763	2	190
01:10:00	806	45	70	03:20:00	762	1	200
01:20:00	795	34	80	03:30:00	765	4	210
01:30:00	778	17	90	03:40:00	765	4	220
01:40:00	771	10	100	03:50:00	762	1	230
01:50:00	769	8	110	04:00:00	761	0	240
02:00:00	766	5	120				

Vedlegg-3: Kornstørrelsesfordelings resultater av 8 jordprøver som ble tatt etter bruk av formiat.



Vedlegg-4: Resultatene fra Snøprøver.

Dato	Prøve	Avstand (m)	Avstand (m)2	Vekt (g)	Snødybde (cm)	Ledningsevne (μS/cm)	Vannfarge/partikler	Merknad	Koordinater
12.03.2018	BØL-N-N1 Topp	3-5	4,5	490	45	2200	Svart		59,8829742,10,8849583
12.03.2018	BØL-N-N1 Bunn	3-5	4,5	2672	45	1455	Svart		59,8829742,10,8849583
12.03.2018	BØL-N-N2	5-7	6	1200	72	338	Klart vann med litt kvist. Lekkasje ut i bøtta, kan være kontaminert fra innhold i bøtta.		
12.03.2018	BØL-N-N3	7-10	7	1281	64	441			
12.03.2018	BØL-N-N0	>10	>10	1039	57	16,9			
12.03.2018	BØL-N-S1 Topp	3-5	3,5	795	100	2310	Svart vann	Brøytekant	59,8829121,10,8347290
12.03.2018	BØL-N-S1 Bunn	3-5	3,5	2431	100	1058	Svart vann	Brøytekant	59,8829121,10,8347290
12.03.2018	BØL-N-S2	5-7	5	1321	68	519	Grått/uklart vann med sand	Rett innsiden av gjerde Hull i posen, rant noe ut i bøtta.	59,8828840,10,8349094
12.03.2018	BØL-N-S3	5-7	6	1345	63	197	Klart vann		
12.03.2018	BØL-N-S0	>10	>10	1085	54	17,3	Klart vann, lite debris		59,8828540,10,834529
12.03.2018	BØL-O-N1	3-5	3,5	2118	70	350		Ned til jord	59,8829883,10,835133
12.03.2018	BØL-O-N2	3-5	4,5	1525	68	1027	Grått/uklart vann med kvister		59,8828828,10,8351270
12.03.2018	BØL-O-N3	5-7	5,5	1237	70	737	Grått/uklar med kvister		59,8829018,10,835188
12.03.2018	BØL-O-S1	3-5	4,5	1451	45	2640	Svart	Overside grøft	59,8827605,10,8351122
12.03.2018	BØL-O-S2	5-7	6,5	993	50	590	Grått/uklart vann med kvister		59,8857719,10,8351333
12.03.2018	BØL-O-S3	5-7	5,5	1345	88	1026	Brunt vann	Skråing	59,8827701,10,8352004

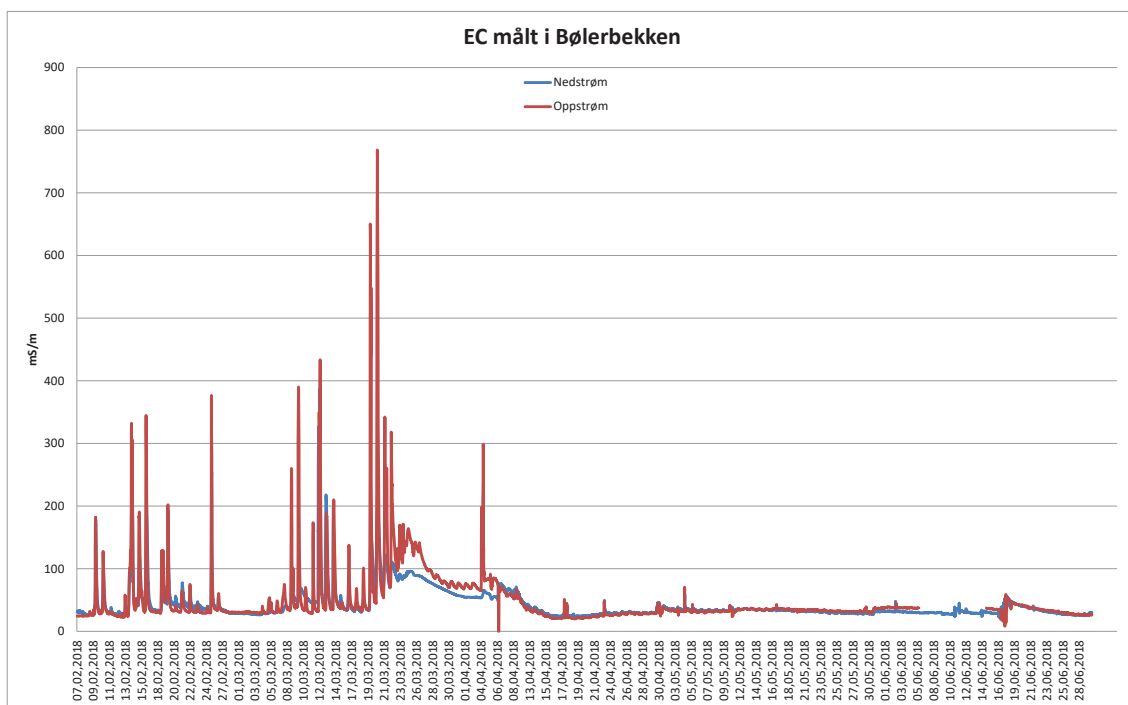
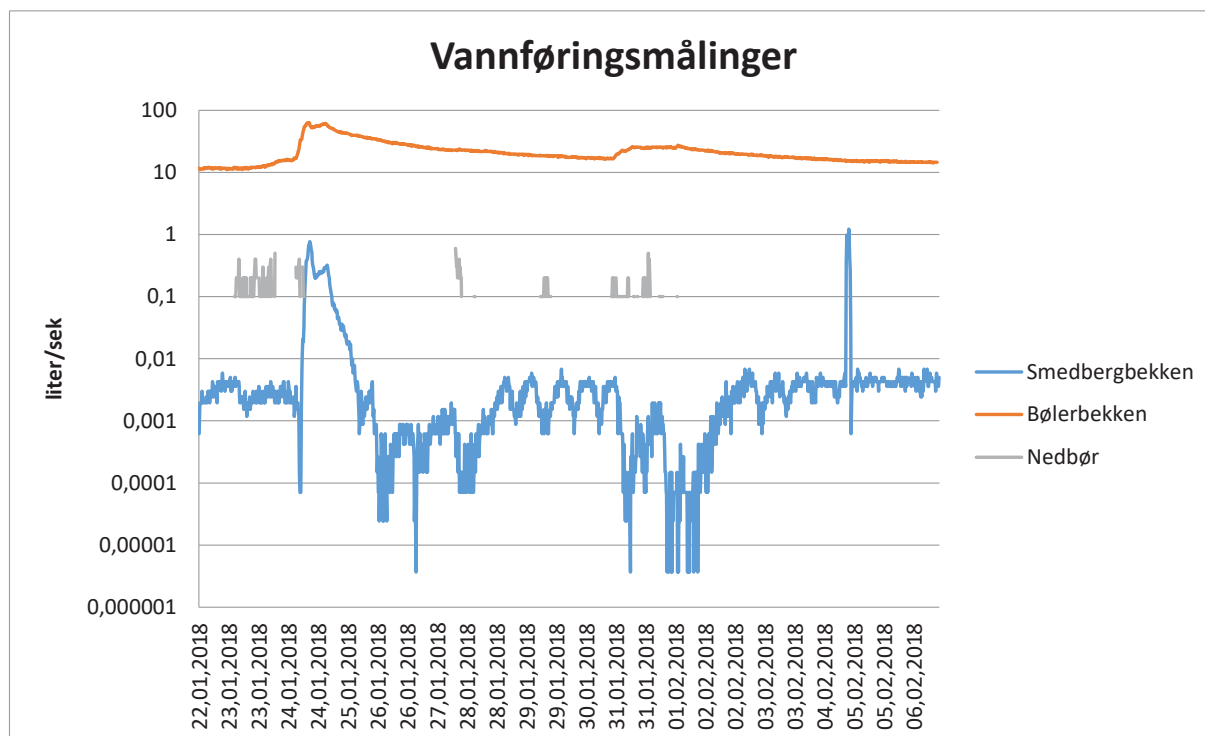
Vedlegg-5: Tabell viser formiatforbruk rundt Østensjøvannet samt med værforhold og nedbør.

Dato	Værvarsel	Temp hjemm e	Målt klokk a	Temp , snitt	Mak s	Min	Nedbø r	Snødybd e	Formiat ?
				Basert på Yr-data					
06.feb	-			"Nedbør og snødybde er akkumulerte verider (målt kl 7 for siste 24 timer?)! Det innebærer at mengden nedbør har			0,1 mm	35 cm	JA, test
07.feb	-						0,2 mm	35 cm	JA, test?
08.feb	-						0,5 mm	35 cm	JA
09.feb	-					10,4	7,4 mm	42 cm	JA
10.feb	-			-0,1	0,9	-1,7	2,2 mm	45 cm	JA
11.feb	-			-1,4	-0,5	-2,5	3,8 mm	47 cm	JA
12.feb	-			-2	-0,8	-2,4	6,1 cm	56 cm	JA
13.feb	10.45: Opphold. 0-0,3 mm nedbør fra 23.00. -1 til -4 grader	-3,6	Kl. 10.45	-0,2	0,2	-2,2	4,6 mm	56 cm	JA
14.feb	8:45: Delvis skyet. Fra -1 til 2 grader. Pluss fra 10-17. Ingen nedbør	1,6 på sov	kl 6..45	0,6	2	-3,7	0,2 mm	53 cm	JA
15.feb	8:00 Opphold frem til ca 15. Snø frem til fredag kl 10.00	0,1 på sov. -1 kjøkken		-0,2	1,8	-1	0,3 mm	51 cm	
16.feb	7:00 Meldt opphold hele dagen (?) eller litt snø først...?	-2	kl 7.00	-1,2	0,2	-1,6	3,8 mm	57 cm	JA
17.feb	Opphold, minus 2 grader.	-2	kl 8	-4,2	-1,2	-8,2	0,2 mm	55 cm	
18.feb	Snø frem til ca. kl 14- -2 grader til 0 grader	-2	kl 9	-0,8	0.6	-3	1,2 mm	55 cm	JA
19.feb	Snø frem til kl 14. -3 til 0 grader	-2,5	kl 7.00	-1,2	0,4	-1,5	4,5 mm	58 cm	JA

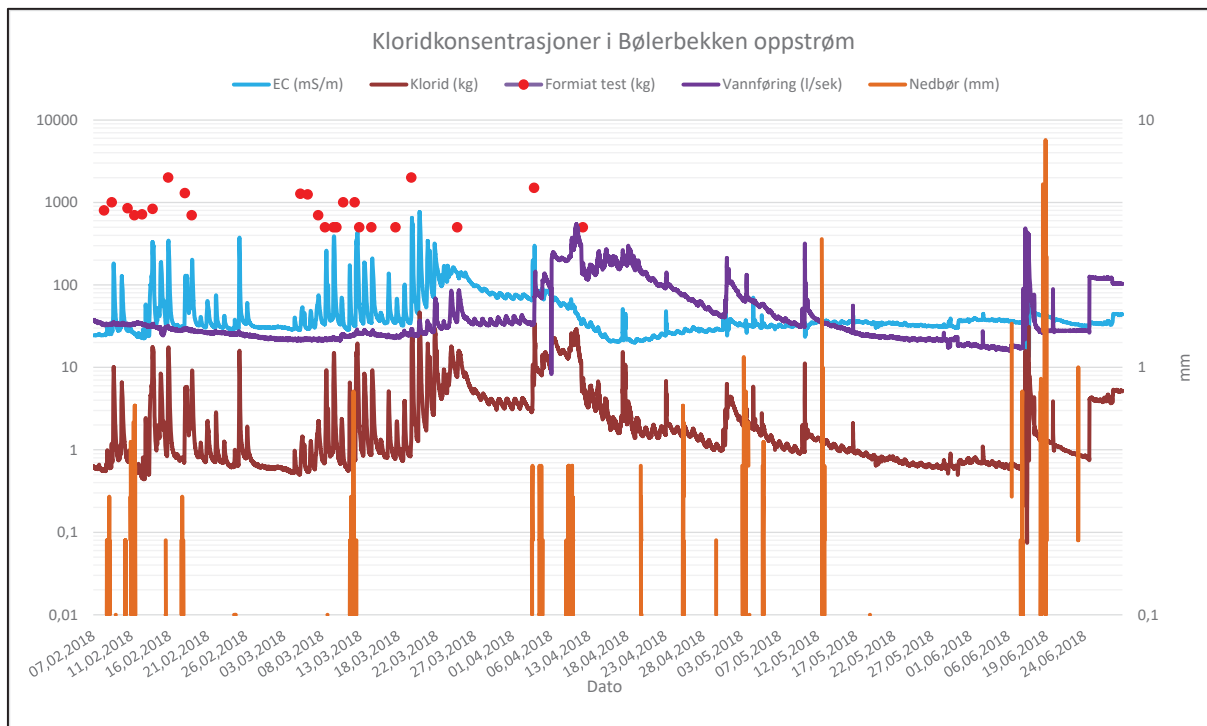
20.feb	I går meldt opphold/sol. I dag opphold og -7 til -3.	-5,5	Kj. Kl 08	-3,8	-1,5	-4,7	0,1 mm	57 cm	
21.feb	I dag meldt delvis skyet, klarvær på kveld. -2 til -5	-5	Kj. Kl 08	-3,1	-1,5	-4,4	0,2 mm	56 cm	
22.feb	Delvis skyet morgen, klarvær dagen. -7 til 0.	-5,5	Kj. Kl 08	-4,8	0,2	-7,9	0,5 mm	55 cm	
23.feb	Opphold, noe sol. -2 til -8	-5,5	kl 09	-3,7	0,4	-8,1	0 mm	54 cm	
24.feb	Meldt opphold, men noe snø på kvelden og natten	-5	kl 09	-3,8	-2,2	-4,8	0 mm	54 cm	
25.feb	Meldt snø natt til søndag	-5	kl 10	-6,7	-3,3	-9,1	2,5 mm	57 cm	
26.feb	Delvis skyet, pent. -8 til -14	-14	kl 08	-9,2	-3,6	-15,9	0,6 mm	57 cm	
27.feb	Var meldt 0-0,5 mm snø mellom 12 og 17. -9 til -13	-11	kl 07	-9,2	-6,2	-11,2	0 mm	56 cm	
28.feb	Meldt 0-0,3 mm snø mellom 11 og 13. -8 til -14	-14	kl 07	-11,4	-9,1	12,7	0,2 mm	55 cm	
01.mar	Meldt sol og opphold dagen i forveien. -7 til -14	-14,5	kl 08	-11,4	-7,3	-14,2	0,1 mm	54 cm	
02.mar	Meldt overskyet og opphold i dag. -7 til -13.	-12,3	kl 08	-7,1	-2,9	-12,9	0 mm	54 cm	
03.mar		ca -6	kl 08	-5,8	-3,5	-7	0 mm	53 cm	
04.mar		ca- 6	kl 09	-4,3	-0,1	-6,8	0 mm	53 cm	
05.mar	Overskyet på morgenen og snø (2,5 mm) resten av dagen.	-6	kl 08	-4,7	-3,9	-5,1	0,1 mm	53 cm	JA
06.mar	Opphold og skyet, 0-0,9 mm med snø	-6	kl 08	-3,9	-2,9	-5,3	0 mm	54 cm	JA
07.mar	Overskyet på dagen, snø (meldt 1 mm) på kvelden.	-4	kl 08	-1,7	-0,6	-2,9	0,2 mm	53 cm	JA

08.mar	Kl 15 var det meldt snø resten av dagen. 1,5-2 mm- -3 til -1	-3	kl 08	-1,8	-0,7	-2,4	0,1 mm	53 cm	JA
09.mar	kl 13: Overskyet i ettermiddag og klarvær i kveld. -4 til 0. Ingen nedbør	-4,5	kl 08	-3	0,7	-4,4	2,2 mm	54 cm	JA
10.mar	Grått, opphold, solgløtt på dagen fra 12-19. -4 til 0	-3	kl 09	-3,3	-0,9	-7,3	0,1 mm	53 cm	JA
11.mar	Snø fra rundt 11 og ut dagen. -2 til -3	-3	kl 09	-3	-2,3	-4	0 mm	53 cm	JA
12.mar	Kl 10: Snø i formiddag, sludd i ettermiddag, delvis skyet i kveld. -1 til 1	0	kl 09	-0,2	1,6	-2,9	7,1 mm	59 cm	JA
13.mar		-3	kl 08	0,8	2,9	-0,6	0,9 mm	58 cm	JA
14.mar	11: Sol i formiddag og delvis skyet resten av dagen. -3 til 2	-7	kl 07	-0,7	4,5	-6,2	0 mm	56 cm	JA
15.mar	12: Litt snø/sludd fra 13-15, opphold resten av dagen. -7 til -1.	-5	kl 08	-2,6	0	-4	0 mm	56 cm	
16.mar	Kl 10: pent vær, -9 til -3	-10	kø 08	-6,2	-2,2	-9,8	0 mm	56 cm	
17.mar	?	-6	kl 09	-6,3	-0,6	-11,6	0 mm	55 cm	
18.mar	?	-7	kl 09	-6,1	1,5	-14,2	0 mm	55 cm	
19.mar	?	-3	kl 08	-1,1	5,7	-7,6	0 mm	55 cm	
20.mar	?	1,5	kl 08	2	7,7	-2	0,5 mm	55 cm	
21.mar	14.30: overskyet i ettermiddag og regn fra 17 og ut dagen. Opp mot	-3	kl 08	1,7	7,2	-3,6	0 mm	54 cm	

	3,5 mm								
22.mar	Kl 10: Sol i formiddag og delvis skyet resten av dagen. 0 til 8 grader	-0,5	kl 08	1,8	8	-0,8	0 mm	52 cm	
23.mar				-0,2	2	-1,9	0 mm	51 cm	
24.mar				2,8	6,8	0,1	0,7 mm	50 cm	
25.mar				3,5	10	-0,9	0 mm	46 cm	JA
26.mar		-1,5	kl 08	-0,6	5,7	-2,3	0,2 mm	44 cm	JA
27.mar				-2,6	2,5	-7,1	0,3	44 cm	
28.mar				-2,5	3,9	-10,3	0 mm	43 cm	
29.mar				-1,5	3,3	-7,3	0 mm	43 cm	
30.mar				-1,9	3,8	-8,6	0 mm	43 cm	
31.mar				-1,4	5,3	-9	0 mm	43 cm	
01.apr				0,2	7,1	-5,7	0 mm	43 cm	
02.apr				0	5,5	-5,4	0 mm	42 cm	
03.apr				-0,1	4,1	-6,1	0 mm	42 cm	
04.apr							7,3 mm	44 cm	JA
12.apr									JA

Vedlegg-6: Målt ledningsevneverdier i Bølerbekken oppstrøms and nedstrøms.**Vedlegg-7:** Figuren viser at Smedbergbekken har relativt lavere vannføringsmålinger enn Bølerbekken.

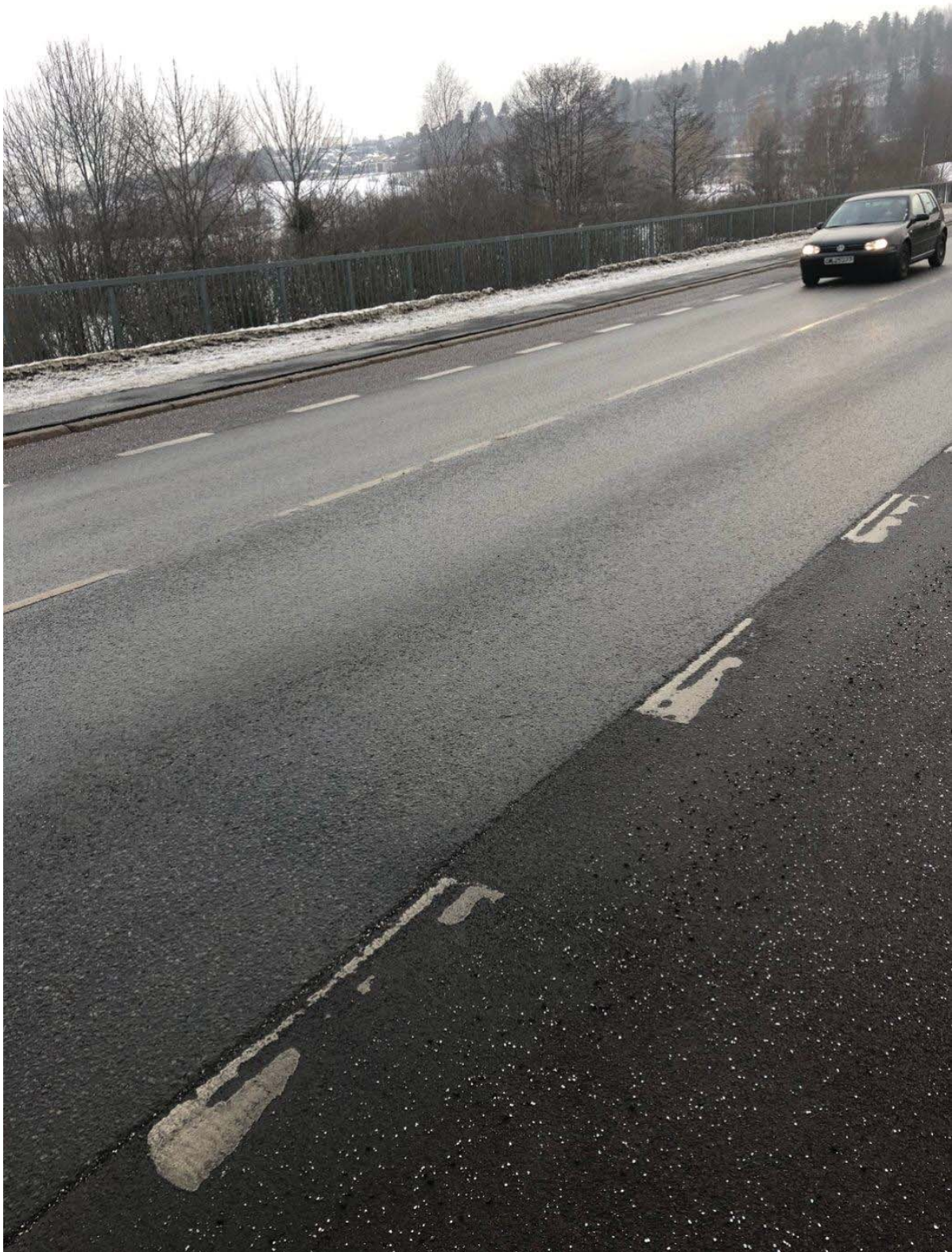
Vedlegg-8: Estimerte vannføring, EC, kommunalt formiatforbruk og transporterte formiatmengder tilført med Bølerbekken oppstrøms etter bruk av formiat fra februar til juli.



Vedlegg-9 : Sykkelprosjekt Østensjø rapport fra driftsentreprenør og beskrivelse om type av formiat og mengde.

Sykkelprosjekt Østensjø		Dok. nr. 1.4 Løpenr 2
PROSJEKT	UNDERPROSJEKT	
Sykkeldrift alternativ drift		
EMNE		
Temperatur når tiltaket utføres		
-2,5		
Har det blitt kostet/fjernet vann og formiat stoffer fra veibane før nytt tiltak?		
☐ Ja ☐ Nei		
Legges Formiat stoffet på bar veibane/snødekke/isdekke?		
☐ Våt veibane ☒ Snødekke ☐ Isdekke ☐		
Begrunnelse for valg av type formiat og mengder/hvorfor mengder justeres		
☐ Tørt ☒ Veske ☐ Tørt/veske blandet ☐		
Begrunnelse for valg av type formiat og mengder/hvorfor mengder justeres		
Hatt på 25g før snøfall.		
Forslag til forbedringer/læringspunkter		
Andre kommentarer:		
Signatur		
		08.02.2018 Stian Ødegaard fjeld
Innsendt av		Stian Ø. Fjeld / 08.02.2018
OPPRETTET	GODKJENT DATO:	GODKJENT
AV: AE	07.02.2018	AV: EE
		REVISJONSNUMMER. 3

Vedlegg-10: Formiatbruk på Østensjøveien. Bildet ble tatt 08.02.2018



Vedlegg-11: En stor salthaug ble funnet 8. mai på parkeringsplassen i sørenden av vannet.



Vedlegg-12: Tabell viser arealestimeringen av formiatforbruk rundt Østensjøvannet.

Bekken	Påførte mengde	Målt	Transportert %	Areal (m2)	Veien
Bølerbekken	8600	6100	28,12355924	11100	Østensjøveien, Eterveien og General Ragus veien
Smedsbergbekken	590	22	0,10142923	1460	Enebakkveien
Ulsrumbekken	1300	310	1,42923006	1330	Østensjøveien
Rundt brua	3300	0	0	4260	Østensjøveien
Nor-øst areal	7900	0	0	10300	Østensjøveien
Totalt	21690	6432	29,65421853	28450	