



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 60 stp.
Institutt for miljøvitenskap

Veisalts påvirkning på kloridkonsentrasjoner i sjørretførende elver og bekker i Østfold og Akershus

Road salt influence on chloride
concentrations in seatrout-bearing rivers and
streams in Østfold and Akershus, Norway

Goro Tillerås Urset
Miljø- og naturressurser

Forord

Dette er en avsluttende oppgave i min mastergrad i Miljø- og naturressurser ved institutt for miljøvitenskap (IMV) på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven er finansiert av Statens vegvesen (SVV) Vegdirektoratet gjennom prosjektet Nordic Road Water (NORWAT)

Et langt og lærerikt år er nå over, og som da valget av oppgave ble tatt er jeg fortsatt storforføyd med avgjørelsen. Spennende og krevende dager ute i felt og inne på skolen har lært meg mye og dette er spesielt takket være veileder Ståle Haaland. Han har vært positivt, holdt meg på rett spor, kommet med gode tips, råd og raske tilbakemeldinger gjennom hele året. Jeg vil også takke Johnny Kristiansen for god hjelp med analyse av vannprøvene og biveiledere Thomas Rohrlack og Gunnhild Riise.

Til dere i SVV som har latt meg bruke av deres tid; jeg setter stor pris på det. Kontaktperson Kjersti Wike Kronvall. Gisle Andersen og Glenn Signebøen som har tatt seg tid til samtaler og informasjon om salt og salting, og Clair Bandts svar og tips som bare har vært en mail unna.

Takk til alle hjemme på Tolga og i Trysil for oppmuntrende ord gjennom hele studietiden og korrekturlesing av oppgaven. Takk til Kristin J. for korrekturlesing. Per Anders og Kristin T. fortjener varme tanker for skyss og god hjelp på kalde dager i bekkene. Gode venner i Åsblæst'n, takk for at dere bidro til å gjøre hele studietida, inkludert mastertida, til en fest.

Helt til sist, takk til Helle for at du er den er. Dette hadde ikke gått uten deg.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 13.05.2016

Goro Tillerås Urset

Sammendrag

Siden 1960-70 tallet har veisalting blitt benyttet for å opprettholde tilstrekkelig, trafikkssikker veistandard i Norge. Hovedformålene med veisalt er smelting (avisning) av vei og å unngå kompaktering av snø i veibanen. Statistikk viser at mengden salt som påføres norske veier har økt betraktelig gjennom årenes løp, og vinteren 2014/2015 ble det tilført totalt 238 992 tonn. Prognoser indikerer klimaendringer som økte temperaturer, spesielt vinterstid, og økte nedbørsmengder i Norge i tiden framover. Noe som indikerer at det vil bli nødvendig med hyppigere salting. Veisaltet som benyttes av Statens vegvesen (SVV) er hovedsakelig natriumklorid (NaCl). Både natrium og klorid er enverdige ioner og generelt meget mobile (konservative) med vannstrømmen i nedbørsfeltet.

Sjøørret (*Salmo trutta*) er en anadrom laksefisk som lever store deler av livet i saltvann, men de første og gjerne sårbare stadiene foregår i bekker. Gytingen foregår på høsten, plommeseekkyngelen kommer opp av bekkegrusen om våren og etter et par år smoltifiserer sjøørreten og vandrer ut i havet for første gang. I laboratorieforsøk har det blitt vist at konsentrasjoner på $\geq 5000 \text{ mg veisalt L}^{-1}$ har akutt negative effekter på ulike stadier av anadrom laksefisk (deformasjoner, endret klekketidspunkt og lavere overlevelsessevne). Hypotesen har derfor vært at det i vinter- og vårsesongen vil kunne forekomme høye konsentrasjoner og doser av NaCl i utvalgte sjøørretførende bekker langs E6 i Akershus og Østfold som følge av veisalting, slik at det kan medføre negative effekter på ulike stadier av sjøørret. For å undersøke dette ble ledningsevne og temperatur i fem bekker i Akershus og Østfold registrert, ved hjelp av ledningsevneloggere, fra 20.11.15 -16.03.16. I tillegg har nedbørs- og lufttemperaturdata fra Meteorologisk institutt blitt benyttet. Ledningsevnen ble logget fordi man antar at NaCl fra veisalt i stor grad fører til hovedvariasjonene i ledningsevnen. De fem bekkene var Årungsella, Stamnesbekken, Kambo-bekken, Ingedalsbekken, Åkentobekken og Hjelmungbekken. Hvor Årungsella ble logget i et transekt med en logger ved elvas utløp (Bunnefjorden), en logger midt i elva (ved Vassumkrysset) og en logger ved innsjøen Årungen.

Nederst i Årungsella, ved Bunnefjorden, samt i Kambo-bekken, Ingedalsbekken og Åkentobekken ble maksimal ledningsevne registrert i starten av mars. De andre bekkene nådde maksimum på ulike tider tidligere denne vinteren. De fire førstnevnte nådde altså målte kloridtopp i det som anses som en kritiske periode for sjøørret; våren. Resultatene for de fem bekkene viser at de teoretiske kloridkonsentrasjonene i bekkene er langt unna det kritiske nivået på 5000 mg L^{-1} i 24 timer. Høyeste målte resultat i løpet av logge-perioden er 104 mg Cl L^{-1} (i Kambo-bekken) i en tidsperiode på under en time. Dette betyr at dagens teoretiske kloridnivå som følge av veisalt ikke fører til negative effekter på ulike stadier av sjøørret i elver og bekker langs E6 i Akershus og Østfold.

Abstract

Road salting has since the 1960-70 been used to maintain the safety on Norwegian roads. The main purpose of road salt is melting (deicing) and avoiding compaction of snow on the road surface. Statistics shows that the amount of salt applied on Norwegian roads has increased the last years. It is expected climate changes as increased temperatures and rainfall in the future (especially in the winter time). This indicates that it will be necessary with more frequently salting. Norwegian Public Roads Administration (NPRA) is mainly using road salt of sodium chloride (NaCl). Both sodium and chloride are monovalent ions and generally mobile (conservative) with water flow in the river basin.

Sea trout (*Salmo trutta*) is an anadromous salmon that mostly lives in saltwater, but the vulnerable early life stages takes place in streams. Spawning takes place in autumn, eye stage in the spring and after a few years, the trout smoltifies and moves out into the ocean for the first time. It has been shown in laboratory tests that concentrations of $\geq 5000 \text{ mg road salt L}^{-1}$ has acute adverse effects on different stages of anadromous salmonids (deformation, altered hatching time and lower survivability). The hypothesis has therefore been that in the winter and spring season high concentrations and doses of NaCl could occur in selected trout-bearing streams along the E6 in Akershus and Østfold, due to road salting, that can have negative effects on different stages of sea trout. To investigate this, the conductivity and temperature were registered in five streams in Akershus and Østfold using conductivity loggers, from 20.11.15 -16.03.16. It has also been used precipitation and air temperature data from the Meteorological Institute. The conductivity was logged because we assume that NaCl in road salt is the reason of the main variations in conductivity. The five streams were Årungselsva, Stammenbekken, Kambobekken, Ingedalsbekken, Åkentobekken and Hjelmungbekken. Where Årungselsva were logged in a transect with a conductivity logger at the river's estuary (Bunnefjorden), one in the middle of the river (at Vassumkrysset) and the last one at the lake Årungen.

The maximum conductivity was recorded at the start of March at the bottom of Årungselsva (Bunnefjorden), Kambobekken, Ingedalsbekken and Åkentobekken. The other streams peaked at different times earlier this winter. Årungselsva (Bunnefjorden), Kambobekken, Ingedalsbekken and Åkentobekken had the peak of NaCl in what is regarded as a critical period for trout; the spring. The results for the five streams show that the theoretical chloride concentrations in streams is far from the critical level of 5000 mg L^{-1} for 24 hours. The highest measured result during the logging period is 104 mg Cl L^{-1} (in Kambobekken) for a period of less than one hour. This means that current theoretical chloride level resulting from road salt does not lead to negative effects on different stages of sea trout in rivers and streams along the E6 in Akershus and Østfold.

Innholdsfortegnelse

Forord	III
Sammendrag	V
Abstract	VII
Tabelliste	XIII
Figurliste	XV
1 Innledning.....	1
1.1 Salting av vei i Norge	1
1.2 Økt veisalting med klimaendringer?	3
1.3 Miljøkonsekvenser ved veisalting	3
1.4 Sjøørret.....	4
1.5 Ledningsevne.....	6
1.6 Kartdata	7
1.7 Formål og hypotese.....	8
2 Områdebeskrivelse.....	9
2.1 Valg av lokaliteter	9
2.2 Lokaliteter.....	14
2.2.1 Årungsella	14
2.2.2 Stamnesbekken	16
2.2.3 Kambobekken.....	18
2.2.4 Ingedalsbekken.....	19
2.2.5 Åkentobekken.....	21
2.2.6 Hjelmungbekken.....	23
3 Materiale og metode.....	25
3.1 Logging av ledningsevne.....	25
3.1.1 Logging av temperatur og ledningsevne	25

3.2	Vannprøvetaking	28
3.3	Nedbørsdata	28
3.4	Salting ved lokalitetene	28
4	Resultater	29
4.1	Bekkene i Akershus.....	29
4.2	Årungsella	29
4.2.1	Bunnefjorden.....	30
4.2.2	Vassumkrysset.....	30
4.2.3	Årungen	30
4.3	Stamnesbekken	35
4.4	Bekkene i Østfold	37
4.5	Kambobekken.....	38
4.6	Ingedalsbekken.....	40
4.7	Åkentobekken	42
4.8	Hjelmungbekken.....	44
4.9	Teoretiske maksimale kloridkonsentrasjoner	46
5	Diskusjon	47
5.1	Årungsella	47
5.2	Stamnesbekken	48
5.3	Kambobekken.....	49
5.4	Ingedalsbekken.....	50
5.5	Åkentobekken	51
5.6	Hjelmungbekken.....	52
5.7	Sammenfatning av diskusjon.....	53
6	Konklusjon	55
7	Kilder.....	57
	Vedlegg A – Vannprøver.....	i
	Vedlegg B – Saltingsdager	iii

Vedlegg C – Værdata, Ås	v
Vedlegg D - Værdata, Halden og Sarpsborg	vii
Vedlegg E – Datablad ledningsevnelogger	ix

Tabelliste

Tabell 1.1: Viser effekter av kloridkonsentrasjoner fra 100 - 5000 mg L-1 i en tidsperiode på 24 timer på sjørretens første livsstadier, fra befruktning til yngel (Mahrosh et al. 2011; Mahrosh et al. 2014).	6
Tabell 3.1 Avstand (luftlinje og elvestrekning) fra loggernes plassering i bekkene til nærmeste aktuelle fylkes- og europavei (NGU 2015). Lokalitet Årungselsva 1, 2 og 3 er henholdsvis ved utløp Bunnefjorden, Vassumkrysset og ved utløp Årungen.	26
Tabell 3.2: Viser en oversikt over når de åtte loggerne ble satt ut, lest av og hentet inn. Tre av loggerne var i en periode inn på grunn av lavt batteri som følge av at de frøs inne i is eller ble hengende over vannivå.	27
Tabell 4.1: Nedbørstopper registrert på Ås målestasjon i loggeperioden.	29
Tabell 4.2 Nedbørstopper registrert på Ås målestasjon i loggeperioden.	37
Tabell 4.3: Teoretisk maksimal kloridkonsentrasjon registrert i alle bekkene i loggeperioden.	46
Tabell 0.1: Resultater fra vannprøver tatt ved hver logger ved utplassering av logger 21.-23.11.15. Analysert for fluorider, klorid, nitrat og sulfat.	i
Tabell 0.2: Resultater fra vannprøver tatt i bekken ved hver logger ved avlesning av logger 07.-09.01.16. Analysert for fluorider, klorid, nitrat og sulfat.	i
Tabell 0.1: Mengde salt (g m^{-2}) som ble lagt ut på veiene i nærheten av de loggede bekkene i Østfold på utvalgte dager i loggeperioden. Tidspunkt for salting og hvilken kjørefil det ble saltet i ble også registrert.	iii
Tabell.0.1: Nedbør- og temperaturdata registrert på målestasjon Ås (stasjonsnummer 17850) fra 01.11.15-31.03.2016. Opphold i grafen betyr ingen registrert data denne dagen.	v
Tabell 0.1: Nedbørsdata registrert på målestasjon Halden (stasjonsnummer 1230) fra 01.11.15-31.03.2016. Halden har ikke registreringer for temperatur, derfor ble målestasjon Sarpsborg (Stasjonsnummer 3190) benyttet for temperaturdata for Østfold. Opphold i grafen betyr ingen registrert data denne dagen.	vii

Figurliste

Figur.1.1. Statens vegvesens totale saltforbruk på norske offentlige veier fra vinteren 1995 til vinteren 2015. Saltforbruket er gitt i tonn (Sivertsen et al. 2015).	2
Figur 2.1: Oversiktskart Norge. Rød pil markerer feltområdet, Østfold og Akershus (ArcGIS, Esri).....	10
Figur 2.2: Vinterstrategi fylkesveier, riksveier og europaveier i Østfold. Veier med svart merke skal holdes bare hele vinteren. Dette gjelder blant annet E6 og enkelte andre veier som er hovedferdselsårer. Deriblant FV 118 som er omkjøringsvei for E6 (Andersen 2016).....	11
Figur 2.3: Oversiktskart over lokalitetene i Akershus og ned til Kambo i Østfold. Rød sirkel markerer de de loggede bekkene i dette området. Bekk 1,2 og 3: Årungsella, henholdsvis Bunnefjorden, Vassumkrysset og Årungen. Bekk 4: Stamnesbekken. Bekk 5: Kambobekken. Grønn sirkel markerer Meteorologisk institutts målestasjon i Ås (Stasjonsnummer. 17850. Breddegrad 59,6605, lengdegrad 10,7818) (ArcGIS, Esri).....	12
Figur 2.4: Oversiktskart over Østfold. Rød sirkel markerer de de loggede bekkene i Østfold. Bekk 6: Ingedalsbekken. Bekk 7: Åkentobekken. Bekk 8: Hjelmungbekken. Grønn sirkel markerer Metrologisk institutts målestasjon i Halden (Stasjonsnummer. 1230. Breddegrad 59,1123, lengdegrad 11,3865) og blå sirkel markerer Meteorologisk institutts målestasjon i Sarpsborg (Stasjonsnummer. 3190. Breddegrad 59,2852, lengdegrad 11,1128 (ArcGIS, Esri).	13
Figur 2.5: Årungsellas nedbørsfelt. Nedbørsfeltet er om lag 50 km ² . Rød sirkel viser ledningsevnelogger én sin plassering, omtrent 400 meter fra elvas utløp i Bunnefjorden. Det ble logget i perioden 23.11.15 - 12.03.16. De to andre loggerne i samme bekk ligger i mellom denne sirkelen og Årungen. GIS-data fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).	15
Figur 2.6: Årungsella ved logger nummer en, utløp til Bunnefjorden. Bildet er tatt 23.11.215	15
Figur 2.7: Årungsella ved logger nummer to, påkjøring til Vassumkrysset/E6. Loggeren henger her noe over vannivå. Bildet er tatt 09.01.16.....	15
Figur 2.8: Årungsella ved logger nummer tre, rett nord for Årungen. Bildet er tatt 09.01.16	16
Figur 2.9: Stamnesbekken i en frostperiode. Et islag på omtrent 5 cm dekker store deler av bekken. Bildet er tatt 09.01.16.	17
Figur 2.10: Stamnesbekken følger søkket nede ved trærne og passerer under broen. Bildet er tatt 23.11.15.....	17
Figur 2.11: Stamnesbekkens nedbørsfelt. Nedbørsfeltet er på om lag 9,1 km ² . Rød sirkel viser ledningsevne-loggerens plassering. Det ble logget i perioden 23.11.15 til 12.03.16. GIS-data fra nevina.nve.no (NVE).....	17

Figur 2.12: Kambobekken fra loggernes plassering mot gangbroen som krysser bekken. Et tynt islag dekker bekken på dette tidspunktet. Bildet er tatt 23.11.15.....	18
Figur 2.13: Kambobekkens nedbørsfelt. Nedbørsfeltet er på om lag 15,5 km ² . Rød sirkel viser ledningsevneloggerens plassering. Det ble logget i perioden 23.11.15 til 12.03.16. GIS-data fra nevina.nve.no (NVE).....	19
Figur 2.14: Ingedalsbekken mot nordvest. Bildet er tatt 04.02.16	20
Figur 2.15: Ingedalsbekken mot sørvest. Bildet er tatt 20.11.15.....	20
Figur 2.16: Ingedalsbekkens nedbørsfelt. Nedbørsfeltet er på om lag 22,4 km ² . Rød sirkel viser ledningsevneloggerens plassering. Det ble logget i perioden 20.11.15 til 07.01.16, samt 05.02.16 til 16.03.16. GIS-data fra nevina.nve.no (NVE).....	21
Figur 2.17: Åkentobekken rett ved loggerens plassering. Øverst i bildet kan Åkentoveien sees. Bildet er tatt 20.11.15.....	22
Figur 2.18: Åkentobekkens nedbørsfelt. Nedbørsfeltet er på om lag 7,5 km ² . Rød sirkel viser ledningsevneloggerens plassering. Det ble logget i perioden 20.11.15 til 07.01.16, samt 20.11.16 til 16.03.16. GIS-data fra nevina.nve.no (NVE).....	22
Figur 2.19: Hjelmungbekken noe gjeniset. Loggeren var plassert nær land og frøs dermed inne i isen her. Bildet er tatt 07.01.16.....	23
Figur 2.20: Hjelmungbekken ligger i det frodige søkket mellom mye dyrket mark. Bildet er tatt 20.11.15.....	23
Figur 2.21: Hjelmungbekkens nedbørsfelt. Nedbørsfeltet er på om lag 17,5 km ² . Rød sirkel viser ledningsevneloggerens plassering. Det ble logget i perioden 20.11.15 til 07.01.16, samt 20.01.16 til 16.03.16. GIS-data fra nevina.nve.no (NVE).....	24
Figur 3.1: Logger festes i en vaier og i et tau som surres og knytes fast i to ulike punkter på en stamme som ligger felt over Ingedalsbekken. Bildet er tatt 04.02.16	26
Figur 3.2: Logger i Åkentobekken festet i to tau som videre er bundet rundt flere røtter. Utenfor bildet er tauet surret to runder rundt treet. Knutene er sikret med strips. Bildet er tatt 16.03.16.....	26
Figur 4.1: Vannstanden har sunket og deler av loggeren er over vann i Årungselsva (Vassumkrysset). I tillegg er det snø og is rundt temperaturmålerdelen av loggeren. Bildet er tatt 09.01.16.	31
Figur 4.2: Et isflak er dannet rundt tauet som loggeren ved Årungen i Årungselsva henger i. Isflaket berører ikke loggeren direkte men ligger som et lokk over. Bildet er tatt 09.01.16	31
Figur 4.3: I oransje og svart; vannets temperatur (°C) og ledningsevne (mS m ⁻¹) ved Bunnefjorden i Årungselsva fra 23.11.15 til 12.03.16. Blå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på Meteorologisk institutts målestasjon på Ås (Meterologisk institutt). Feltet uten registrerte data for temperatur- og ledningsevnegrafene er perioder hvor hele eller deler av logger frøs inne eller hang over vannet. Merknad ① - ⑤ blir beskrevet i kapittel 4.1 og 4.2.1.	32

Figur 4.4: I oransje og blått; vannets temperatur (°C) og ledningsevne (mS m ⁻¹) ved Vassumkrysset i Årungselsva fra 23.11.15 til 12.03.16. Grå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på Meteorologisk institutts målestasjon på Ås (Meterologisk institutt). Felter uten registrerte data for temperatur- og ledningsevnegrafene er perioder hvor hele eller deler av logger hang over vannet. Merknad ① - ⑤ blir beskrevet i kapittel 4.1 og 4.2.2.	33
Figur 4.5: I oransje og svart; vannets temperatur (°C) og ledningsevne (mS m ⁻¹) ved Årungen i Årungselsva fra 23.11.15 til 12.03.16. Blå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på Meteorologisk institutts målestasjon på Ås (Meterologisk institutt). Merknad ① - ⑤ blir beskrevet i kapittel 4.2 og 4.2.3.	34
Figur 4.6: I oransje og svart; vannets temperatur (°C) og ledningsevne (mS m ⁻¹) i Stamnesbekken fra 23.11.15 til 12.03.16. blå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på Meteorologisk institutts målestasjon på Ås (Meterologisk institutt). Felter uten registrerte data for temperatur- og ledningsevnegrafene er perioder hvor logger frøs inne eller hele eller deler av logger hang over vannet. Merknad ① - ⑤ blir beskrevet i kapittel 4.1 og 4.3	36
Figur 4.7: I oransje og blått; vannets temperatur (°C) og ledningsevne (mS m ⁻¹) i Kambobekken fra 23.11.15 til 12.03.16. Grå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på Meteorologisk institutts målestasjon i Halden (Meterologisk institutt). Felter uten registrerte data for temperatur- og ledningsevnegrafene er perioder hvor logger frøs inne. For nedbørsgrafen er dette perioder uten registrerte nedbørsdata på aktuell målestasjon. Merknad ① - ⑥ blir beskrevet i kapittel 4.4 og 4.5.	39
Figur 4.8: I oransje og svart; vannets temperatur (°C) og ledningsevne (mS m ⁻¹) i Ingedalsbekken fra 20.11.15 til 16.03.16. Blå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på Meteorologisk institutts målestasjon i Halden (Meterologisk institutt). Felter uten registrerte data for temperatur- og ledningsevnegrafene er perioder hvor logger frøs inne. For nedbørsgrafen er dette perioder uten registrerte nedbørsdata på aktuell målestasjon. Merknad ① - ⑦ blir beskrevet i kapittel 4.4 og 4.6.	41
Figur 4.9: I oransje og svart; vannets temperatur (°C) og ledningsevne (mS m ⁻¹) i Åkentobekken fra 20.11.15 til 16.03.16. Blå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på Meteorologisk institutts målestasjon i Halden (Meterologisk institutt). Felter uten registrerte data for temperatur- og ledningsevnegrafene er perioder hvor logger frøs inne. For nedbørsgrafen er dette perioder uten registrerte nedbørsdata på aktuell målestasjon. Merknad ① - ⑦ blir beskrevet i kapittel 4.4 og 4.7.	43
Figur 4.10: Innefryst logger i Hjelmungbekken. Rett utenfor er det ingen is på bekken og vannet renner som vanlig. Rød ring og pil viser loggeren i issvullen. Bilde er tatt 07.01.16	44
Figur 4.11: I oransje og svart; vannets temperatur (°C) og ledningsevne (mS m ⁻¹) i Hjelmungbekken fra 20.11.15 til 16.03.16. Blå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på meteorologisk institutts målestasjon i Halden (Meterologisk institutt). Felter uten registrerte data for temperatur- og	

ledningsevnegrafene er perioder hvor logger frøs inne. For nedbørsgrafen er dette perioder uten registrerte nedbørsdata på aktuell målestasjon. Merknad ① - ⑦ blir beskrevet i kapittel 0..... 45

Figur 5.1. Maksimal teoretisk kloridkonsentrasjon ved de åtte loggepunktene i løpet av vinteren 2015/2016 i forhold til avstand til vei. De tre punktene nærmere enn 500 meter er i Årungen, Vassumkrysset og Hjelmungbekken. Videre følger Kambobekken, Ingedalsbekken, Bunnefjorden, Åkentobekken og helt lengst unna ligger Stamnesbekken. 54

1 Innledning

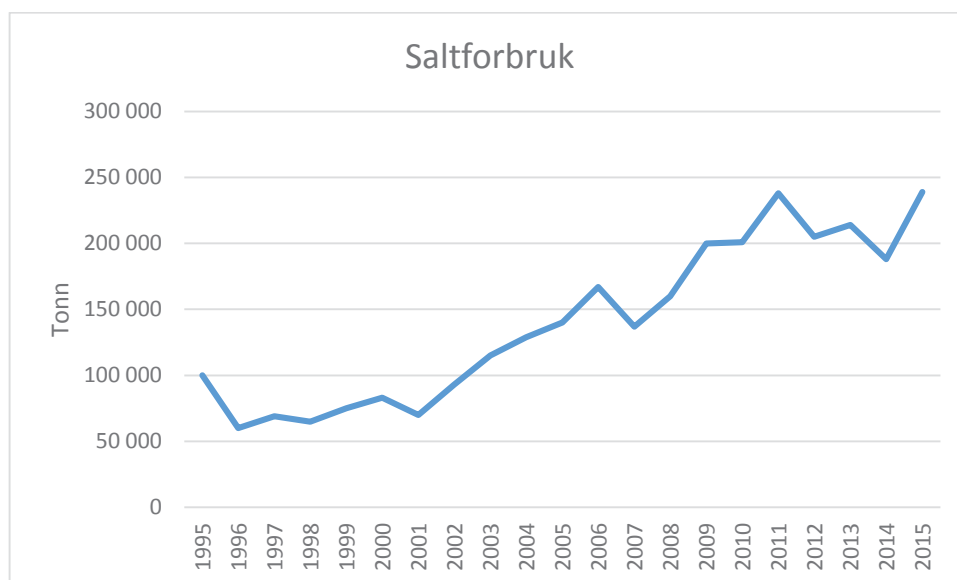
Norges veier blir vinterstid brøytet, strødd med sand og/eller saltet for å opprettholde tilstrekkelig trafiksikker veistandard (Resen-Fellie & Dahlen 2003; Vaa & Sakshaug 2007). Veisalting ble tatt i bruk i Norge allerede på 1960-70-tallet (Wike 2007). Veisalt benyttes i hovedsak til to ulike formål. Smelting (avising) av vei, samt for å unngå kompaktering av snø i veibanen (Sivertsen 2012). I forbindelse med avising, saltes det for å unngå glatt veibane. Dette for å øke friksjonen. Ved kompaktering benyttes salt for å forhindre at snøen pakkes til en hard snø- eller is-såle, slik at snøen forblir plogbar (Sivertsen 2012). Siden 1940 har store mengder veisalt blitt benyttet på veier i kalde områder i Europa og Nord-Amerika for å opprettholde gode kjøreforhold (Mahrosh et al. 2014; Tollefsen et al. 2015). Mengden salt som påføres norske veier har økt betraktelig gjennom årenes løp (Figur.1.1). Statistikk viser at det i løpet av vinteren 2014/2015 ble tilført totalt 238 992 tonn salt på norske offentlige veier (Sivertsen et al. 2015).

1.1 Salting av vei i Norge

Det er natriumklorid (NaCl) som i all hovedsak benyttes av Statens vegvesen (SVV) ved salting av vei i Norge, enten i form av sjøsalt eller steinsalt (Amundsen et al. 2008; Andersen 2016). Andre kalsium-, magnesium- og sulfatbaserte salter benyttes også, men i vesentlig mindre grad (Tollefsen et al. 2015). Disse alternative kjemiske snø- og avisningsmidlene har foreløpig vist større miljømessige ulemper enn NaCl, og forbruker ofte mer oksygen ved nedbrytning (Vaa & Sakshaug 2007). Natrium (Na) og klorid (Cl) er hovedionene som blir tilført nedbøren fra havet, og som videre faller ned over fastlandet (Tollan 2002). I norske vassdrag er dermed nedbør (sjøsalt) og marine sedimenter hovedkilden til NaCl, men for veinære lokaliteter er også veisalt hovedkilde (Henriksen & Lien 1994; Kitterød et al. 2010; Økland 2006).

Saltets egenskaper fører til at vannets frysepunkt senkes, og ved en optimal NaCl-blanding vil frysepunktet til vannet kunne senkes til $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Vaa & Sakshaug 2007). Med temperaturer mellom 0 og $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ benyttes NaCl som et effektivt avisningsmiddel (Mahrosh et al. 2014). Ved temperaturer som avviker fra dette vil veisaltet kunne føre til at ellers greie kjøreforhold forverres ved at veien blir glattere, eller at føret går fra fast til slapsete. SVV benytter seg derfor av flere alternativer for å sikre gode og trygge kjøreforhold. Nye snøploger og annet isfjerningsredskap er stadig under utvikling (Vaa & Sakshaug 2007). Sand blir også ofte brukt som strømateriale.

Både natrium og klorid er enverdige ioner og generelt meget mobile (konservative) med vannstrømmen i nedbørsfeltet. Natrium vil kunne adsorberes via kationbytte til jordsmonn. Eksempelvis ved sjøsaltepisoder som forårsaker kationbytteprosess i jorden (Wiklander 1975). Sjøsaltepisoder forekommer for eksempel ved store nedbørsfall med unormalt høy andel sjøsalt (Hindar et al. 1995). Na^+ -ioner i rennende vann vil da bytte plass med H^+ , Al^{3+} - og basekationer. Kloridet vil da opptre som et mobilt anion og dermed forflytte seg gjennom jordsmonnet i så godt som uforandret konsentrasjon (Hindar 1994). Klorid er altså et meget konservativt ion (Négrel & Deschamps 1996) og har med det lav retensjon, adsorberes i liten grad til partikler og holdes ikke særlig igjen i jordsmonn og vegetasjon. Klorid som tilføres et nedbørsfelt – i Norge vil det hovedsakelig være via naturlige sjøsalter med nedbør, eller antropogent via veisalting – vil raskt nå en bekk eller en innsjø (Haaland et al. 2012; Négrel & Deschamps 1996). Eventuelle forsinkelser av transport i klorid med vann i nedbørsfeltet, vil være knyttet til magasinering som snø, is og/eller grunnvann med lav transporthastighet (Tjøstheim 2011).



Figur.1.1. Statens vegvesens totale saltforbruk på norske offentlige veier fra vinteren 1995 til vinteren 2015. Saltforbruket er gitt i tonn (Sivertsen et al. 2015).

1.2 Økt veisalting med klimaendringer?

Forskningsprosjektet RegClim prognoserer klimaendringer som økte temperaturer, spesielt vinterstid, og økte nedbørsmengder i Norge i tiden framover (Sygna & O'Brien 2001). Endringene innebærer også økte frekvenser av episoder med ekstremvær, som intensive nedbørsperioder, stormer og fryse/tine-episoder (Sygna & O'Brien 2001; Wike 2007). Dette er hendelser som i dag gir mindre stabile vintre, noe som muligens blir enda mer forsterket i årene fremover. Med det vil også fryse-/tinesykluser endres, med en ditto endret avrenning fra nedbørsfelt til vannforekomst (Wike 2007). Klimaendringene kan være en årsak til det økte saltforbruket og vil potensielt kunne føre til økt behov for veisalting i framtiden. Områder som tidligere var for kalde til å saltes, må muligens saltes i framtiden.

1.3 Miljøkonsekvenser ved veisalting

Veisalting har blitt brukt som en effektiv metode for å bedre trafiksikkerhet vinterstid, samtidig som veisaltet har blitt sett på som forsvarlig i bruk med hensyn til miljøet (Wike 2007). Den utbredte bruken av veisalt kan imidlertid ha medført negative miljøkonsekvenser (Amrhein et al. 1992; Mahrosh et al. 2011). Veisalt kan i teorien påvirke vannforekomster både fysisk og biologisk/økologisk (Environmental Canada 1999; Gales & VanderMeulen 1992; Haaland et al. 2012; Snildal 2014). Det har derfor i de senere år vært stort fokus på veisalt og dets effekter på vannmiljøet, gjennom blant annet SVV-prosjektet Salt SMART; Strategi og styring, Miljøvirkninger, Alternativer, Reduksjon, Tiltak (Sivertsen 2012; Statens vegvesen 2012). Forsknings- og utviklingsprogrammet NORWAT har også blitt satt i gang (Statens vegvesen 2012). Ikke bare i disse programmene, men også generelt, har SVV et ansvar for å unngå miljøskade fra egen aktivitet (Sivertsen 2012). Hensikten med NORWAT skal være at SVV vil kunne planlegge, bygge og drifte veinettet uten å gi uakseptabel skade på vannmiljøet. Dette innebærer riktig tiltak på riktig sted (Statens vegvesen 2012). NORWAT er en videreføring av Salt SMART (Sivertsen 2012).

Det er påvist forringelse av vannkvaliteten som følge av veisalt i både vannforekomster og drikkevannsbrønner (Sivertsen 2012). Effekter av veisalt på en vannforekomst kan videre grovt deles inn i to kategorier; fysisk påvirkning og biologiske/økologiske konsekvenser. Fysiske påvirkninger på vannforekomsten kan være at økt konsentrasjon av NaCl i bunnvannet (profundalen) gir økt egenvekt egenvekt, hvilket vanskeliggjør den vertikale vår- og høstsirkulasjonen i våre dimiktiske innsjøer (Haaland et al. 2012; Kjensmo 1997). I forbindelse med salting av veier har det i løpet av de senere år også blitt påvist økte kloridkonsentrasjoner i enkelte innsjøer som følge av avrenning fra veiene (Haaland et al.

2012; Økland 2006). Påvirkningen fra NaCl-basert veisalting på akvatisk biota er ofte blitt sett på som relativt liten i norske vannforekomster (Amundsen et al. 2008). NaCl inngår naturlig i mange biologiske systemer, og har mindre påvirkning på akvatisk biota enn for eksempel kobber (Cu) som også er forbundet med avrenning fra veitrafikk. Likevel vil eksponering av høyere doser veisalt, og dermed kraftigere konsentrasjon av NaCl over tid, kunne føre til uønskede konsekvenser på akvatisk biota (Amundsen et al. 2008; Vaa & Sakshaug 2007).

1.4 Sjøørret

Sjøørret (*Salmo trutta*) er i likhet med laks (*Salmo salar*) anadrom laksefisk. Blant landene ved Nord-Atlanteren er Norge det landet med flest laksefisker, både i stille og i rennende vann (Miljødirektoratet). Sjøørret har lenge vært svært populær både som mat- og sportsfisk (Borgstrøm & Hansen 2000). Arten er i Norge viktig for sportsfiske og rekreasjon, og har til dels stor lokal økonomisk betydning (Hjertager et al. 2013). Som følge av dette har det over tid vært en stor innhøsting av både laks og sjøørret, noe som videre har ført til en nødvendig regulering av fisket (Borgstrøm & Hansen 2000). I dag foregår fisket av sjøørret hovedsakelig som sportsfiske nær kysten. Det tas også opp betydelige mengder ved garnfiske (Borgstrøm & Hansen 2000). Miljødirektoratet har fokus på trusler, tiltak og kunnskap om sjøørret (Miljødirektoratet 2014; Ugedal et al. 2014).

Sjøørret klekker og gyter i ferskvann (Borgstrøm & Hansen 2000), men lever store deler av livet i saltvann (Hjertager et al. 2013; Miljødirektoratet 2014). Gytingen foregår på høsten i bekkene, mens plomesekkyngelen kommer opp av bekkegrusen om våren (Miljødirektoratet 2015). Etter et par år i bekken vandrer sjøørreten ut til havet for første gang. Ulike forhold som bekkens vannføring, vanntemperatur og daglengde avgjør når på året smoltifiseringen og utvandringen starter (Jonsson & Finstad 1995). Geografisk beliggenhet (høyde over havet, breddegrad, mm.) påvirker også tidspunktet for utvandringen (Miljødirektoratet 2015). På dette tidspunktet er ørretene ca. 10 - 25 cm lange og opp til et par år gamle (Borgstrøm & Hansen 2000; Jonsson & Finstad 1995). For å klargjøres for vandringen til havet og til livet i saltvann, skjer det en fysiologisk og morfologisk forandringsprosess; smoltifisering (Jonsson & Finstad 1995; Ugedal et al. 2014). Smolten (den utvandringssklare sjøørreten) endrer da kroppsfasong, utseende og fysiologiske egenskaper tilpasset den kraftige økningen i ionekonsentrasjon i vannmassene. Dette skjer i stor grad for å kunne takle osmotisk regulering i omgivelser med høyere konsentrasjon av NaCl (Ugedal et al. 2014).

Smoltstadiet er et sårbart stadium (Ugedal et al. 2014). Det samme gjelder for de tidlige stadiene; egg og plommeseckkyngel. I Norge er gjerne snø- og isforholdene slik at salting og snøsmelting ofte vil overlappe med både smoltifisering, eggutvikling og klekking (Mahrosh et al. 2011). Høye doser av NaCl vil særlig påvirke tidlige livsstadier av sjørørret, og særlig eggstadiet (Mahrosh et al. 2014). I laboratorieforsøk har det blitt vist at konsentrasjoner på $\geq 5000 \text{ mg veisalt L}^{-1}$ har akutt negative effekter på ulike stadier av anadrom laksefisk (Mahrosh et al. 2011; Tollefsen et al. 2015). Samtidig påpekes det at urbane innsjøer og snø fra gater kan nå samme konsentrasjon, og det påvises at NaCl-basert veisalt vil utgjøre en større toksisk effekt enn rent NaCl (Tollefsen et al. 2015). Mahrosh et al. (2014) har gjennom sine undersøkelser kommet fram til at gyte- og befruktningsstadiene er de mest følsomme stadiene. Både Tollefsen et al. (2015) og Mahrosh et al. (2014) utsatte sjørørret i de tidlige stadiene fra befruktning til plommeseckkyngelstadiet for NaCl-konsentrasjoner på 50, 100, 500 og 5000 mg L^{-1} over en tidsperiode på 24 timer, samt et forsøk med eksponering 24 timer i uken. Her ble det undersøkt eventuell hevelse av eggene og hvor mange egg som overlevde og kom til øyestadiet. Videre ble det registrert når, og om eggene ble klekket og eventuelle deformasjoner som hadde oppstått i disse første stadiene.

Ved befruktning ble det ikke registret endring i dødsrate selv med konsentrasjoner opp til 5000 mg L^{-1} (Mahrosh et al. 2011). Det ble derimot ved eksponering på 5000 mg L^{-1} observert en sterk påvirkning på vekst og utvikling i løpet av det første døgnet etter befruktning. Det ble også observert osmotisk stress som førte til nedsatte nyrefunksjoner, påvirkning på metabolisme og osmoseregulering og utvikling av embryoet. Dette førte videre til lav overlevelseshastighet. Ved høye konsentrasjoner av både NaCl og kobber (Cu) ble utfallet verre enn ved kun eksponering av NaCl. Ved høye konsentrasjoner etter de første sårbare stadiene ble dødsraten atskillig lavere (Mahrosh et al. 2014). De mest framtrepende skadeeffektene av konsentrasjoner fra $100 - 5000 \text{ mg L}^{-1}$ på befruktnings-, egg-, øye-, klette-, og yngelstadiet blir beskrevet i Tabell 1.1.

$5000 \text{ mg NaCl L}^{-1}$ er en høy konsentrasjon og vil sjelden forekomme naturlig i ferskvann (Mahrosh et al. 2011). I bekker i Canada er det registrert konsentrasjoner fra 118 til $765 \text{ mg NaCl L}^{-1}$ i sentrale elver. I Norge er det gjort få undersøkelser på dette feltet, men det antas at tilsvarende konsentrasjoner kan finnes i norske bekker (Kronvall 2013; Tollefsen et al. 2015). Ut ifra Tollefsen et al. (2015) sine resultater skal konsentrasjoner opp til $100 \text{ mg NaCl L}^{-1}$ i befruktningsstadiet ikke påvirke embryoets utvikling nevneverdig. Konsentrasjoner på $500 \text{ mg NaCl L}^{-1}$ sammen med Cu i rognstadiet påviste mulige betydelige effekter på embryoet. Bortsett fra dette og noe forsinkelse i klekkingen blir det påpekt få endringer i overlevelseshastighet ved konsentrasjoner opp til 500 mg L^{-1} . (Mahrosh et al. 2014).

Tabell 1.1: Viser effekter av kloridkonsentrasjoner fra 100 - 5000 mg L⁻¹ i en tidsperiode på 24 timer på sjøørretens første livsstadier, fra befruktning til yngel (Mahrosh et al. 2011; Mahrosh et al. 2014).

Stadium	≤ 100 mg Cl L ⁻¹	≤ 500 mg Cl L ⁻¹	≤ 5000 mg Cl L ⁻¹
Ved befruktning	Ytterst få deformasjoner på hale og ryggrad.	Endret vekst av eggene og endret klekke-tidspunkt.	Tidligere klekking. Noen få individer med deformasjoner.
Egg	Ingen/ikke signifikante effekter	Noe lavere overlevelses-evne	Lavere overlevelses-evne
Øyerogn	Ingen / ikke signifikante effekter		
Klekketidspunkt	Ingen / ikke signifikante effekter		
Plommeseekkyngel	Ingen / ikke signifikante effekter		

1.5 Ledningsevne

Overvåking av NaCl i bekker i forbindelse med veisalting kan gjøres med vannprøvetaking med tilhørende laboratorieanalyser, eller med høyoppløselig indirekte in situ måling av ledningsevne. Ved bruk av ledningsevne i de veinære bekkene, antar man at NaCl fra veisalt i stor grad er det som gir hovedvariasjonene i ledningsevnen. Løste uorganiske ioner vil bidra til å lede elektrisk strøm i vann. Et mål på dette er nettopp vannets elektriske ledningsevne, ofte også kalt elektrisk konduktivitet. Ved måling av ledningsevne må referansetemperatur oppgis, da analysen er temperaturavhengig og øker med omtrent 2 % per grad i ferskvann. Tidligere ble det ofte angitt ved hvilken temperatur målingen ble utført, for eksempel ved 18, 20 eller 25 °C. I dag benyttes instrumenter (ledningsevнемålere) som automatisk korrigerer for dette og angir den temperaturjusterte ledningsevnen direkte (Haaland 2016). Enheten for ledningsevne oppgis i dag etter Norsk Standard i milliSiemens per meter (mS m⁻¹). Tidligere ble mikroSiemens per centimeter benyttet, der 1 mS m⁻¹ = 10 µS cm⁻¹. Ioner løst i vann har ulik evne til å lede strøm, hvorav hydrogenionet har en spesielt høy spesifikk ledningsevne på om lag 32 mS m⁻¹ (mmol L⁻¹)⁻¹. Til sammenlikning har natrium og klorid spesifikke ledningsevner på henholdsvis 4,4 og 6,6 mS m⁻¹ (mmol L⁻¹)⁻¹. En omregning fra målt ledningsevne til teoretiske konsentrasjoner av NaCl er derfor mulig. Som en proxyanalyse kan det sies at ledningsevnen gjenspeiler den totale mengden oppløste ioner i en vannprøve (Golterman 1969; Johnsen 2000; Økland 2006). I og med at det å måle ledningsevne er relativt enkelt, benyttes ofte metoden for å anslå vannets totale saltinnhold (Tollan 2002).

Ledningsevne for vann fra et operativt «revers osmose» (RO)-anlegg ved et godt laboratorium er normalt $< 0,1 \text{ mS m}^{-1}$ (Haaland 2016). Ionefattige innsjøer og bekker, i fjellområder med liten påvirkning fra hav (sjøsalt) og sur nedbør, har ofte ledningsevne i området $0,5 - 2 \text{ mS m}^{-1}$. Skogstjern kan også være relativt ionefattige, men er ofte sure og har gjerne ledningsevne i området $2 - 5 \text{ mS m}^{-1}$. I naturlige systemer under marin grense er ledningsevnen gjerne vesentlig høyere, via tilførsel fra mektigere jordsmonn og saltholdige sedimenter, og ligger ofte i området $10 - 50 \text{ mS m}^{-1}$. Drikkevann (springvann) har gjerne ledningsevne på samme nivå som dette. Ledningsevnen i naturlige, terrestriske systemer vil øke omvendt proporsjonalt med avstanden fra kysten. Havområdene et stykke fra kyst har en ledningsevne på om lag 3500 mS m^{-1} (Ødegaard & Norheim 2014). Kystområder, fjorder og sund har lavere ledningsevne enn det åpne havet på grunn av fortykning med ferskvannstilførsler fra land. Sjøørret-bekker øker markant i ledningsevne mot estuarier og ut mot utløp ved kysten. Overvåkingen av NaCl i avrenning til bekker og opp mot toksiske effekter for sjøørret, må derfor foregå et stykke fra utløpet der ledningsevnen ikke er direkte påvirket av saltvann.

1.6 Kartdata

I oppgaven ble det GIS-baserte programmet ArcGIS (Esri ArcGIS) benyttet for oversiktskart over Norge og feltområdene. GIS står for geografiske informasjonssystemer. Et mye brukt verktøy for kartdata, som ved hjelp av digital teknologi muliggjør fremstilling, analyser og presentasjoner av geografien rundt oss (Grinderud et al. 2008)

For generering av nedbørsfeltkart med tilhørende indekser ble NVE's kartdatatjeneste «NEVINA Nedbørsfelt-Vannføring-Indeks-Analyse» (nevina.nve.no) benyttet. Kartene finnes i kapittel 2: Områdebeskrivelse.

1.7 Formål og hypotese

Formålet med denne oppgaven har vært å vurdere effekten av veisalting på sjøørret i veinære bekker ved E6 i Akershus og Østfold.

Hypotesen har vært at det i vinter- og vårsesongen vil kunne forekomme høye konsentrasjoner og doser av klorid i utvalgte sjøørretførende bekker langs E6 i Akershus og Østfold som følge av veisalting, slik at det kan medføre negative effekter på ulike stadier av sjøørret.

Masteroppgaven er utarbeidet med støtte fra Statens vegvesen og deres program NORWAT.

2 Områdebeskrivelse

2.1 Valg av lokaliteter

Lokalitetene ble valgt på bakgrunn av ulike kriterier. Bekkene måtte være sjøørretførende, ergo ha tilknytning til saltvann, samt nærhet til vei som saltes. Det ble dermed tatt utgangspunkt i bekker i Østfold og Akershus med utløp i Oslofjorden (Figur 2.1).

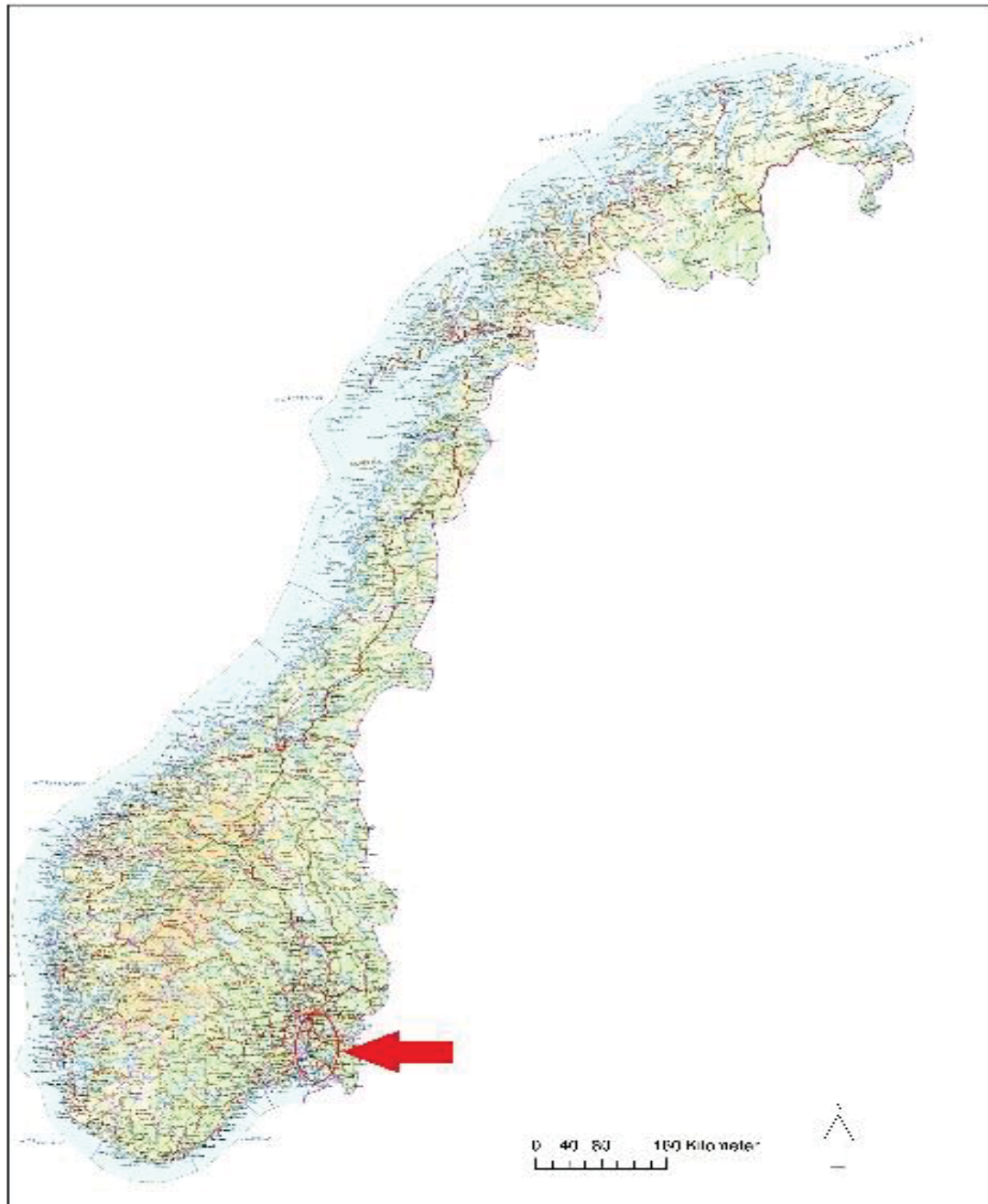
De seks valgte bekkene Årungselsva, Stamnesbekken, Kambobekken, Ingedalsbekken, Åkentobekken/Bjønnebekken og Hjelmungbekken ligger i SVV sine kontraktssområder «Follo» og «Østfold sør». Europavei 6 (E6) er en meget trafikkert ferdselsåre gjennom disse to kontraktssområdene med en årlig døgntrafikk (ÅDT) på opptil 46 333 biler på strekningen bekkene ligger ved (Statens vegvesen). Dette vil medføre mye salting for å oppnå tilfredsstillende kjøreforhold. De seks bekkene ble valgt på grunn av sin nærhet til E6. Med høy ÅDT er det særlig viktig med gode kjøreforhold (Resen-Fellie & Dahlen 2003), og vedlikehold vil dermed bli høyt prioritert her. Som vist i Figur 2.2 hører veiene merket svart til i kategori «strategi bar vei». Veiene dette gjelder i Østfold er hovedferdselsårer som E6, E18, E110 og E111. I tillegg gjelder strategien tilhørende omkjøringsveier om deler av de overnevnte veiene blir stengt som følge av for eksempel bilulykke eller veiarbeid. Dette gjelder blant annet FV 118 som følger E6 gjennom store deler av Østfold og dermed også de aktuelle bekkene. Fra E6 blir all avrenning drenert til fangdammer. Det antas derfor at 90 % av saltet går dit. Dette gjelder ikke FV 118 (Andersen 2016).

I SVV's litteraturgjennomgang av «Miljøkonsekvenser ved salting av veier» (Amundsen et al. 2008) kommer det fram at ÅDT kan relateres til saltmengden i innsjøer. Det kan ikke settes i direkte sammenheng. Derimot kan det sees en sammenheng mellom økt ÅDT og ditto saltmengde på vei, og dermed økt avrenning til bekker og innsjøer (Amundsen et al. 2008).

Det ble valgt bekker av ulike størrelser. Enkelte av bekkene er små, mens andre vil kunne betraktes som elver. Det er også betydelige forskjeller i vannføringen i de valgte bekkene. Dette for å se om ulike størrelse og vannføring gir ulike resultater, da vannføring vil ha en innvirkning på elementer som temperatur, vannkvalitet og substratene i vannmassene (Økland 1995).

Som vist i Figur 2.3 lå de fire nordligste loggerne sør i Akershus. Tre i området mellom Bunnefjorden og Årungen i Årungselsva, den fjerde i Stamnesbekken i Vestby. Den femte loggeren i dette området ble lagt i Kambobekken i Kambo, helt nord i Østfold. De tre siste loggerne ble lagt i tre ulike bekker sør

i Østfold. Et oversiktskart over disse kan sees i Figur 2.4. Bekkene er henholdsvis Ingedalsbekken og Åkentobekken i Sarpsborg kommune og Hjelmungbekken i Halden kommune.

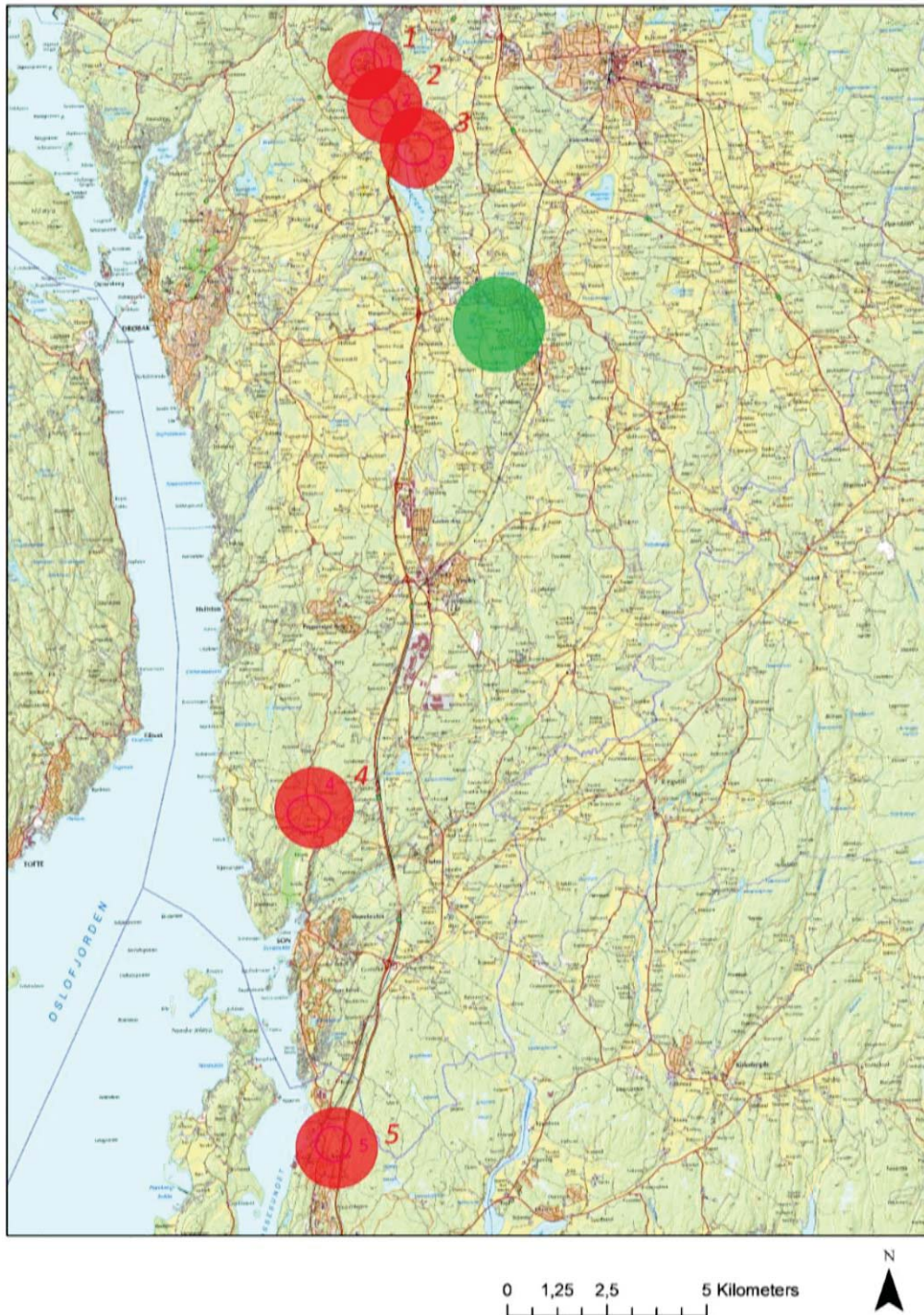


Figur 2.1: Oversiktskart Norge. Rød pil markerer feltområdet, Østfold og Akershus (ArcGIS, Esri).



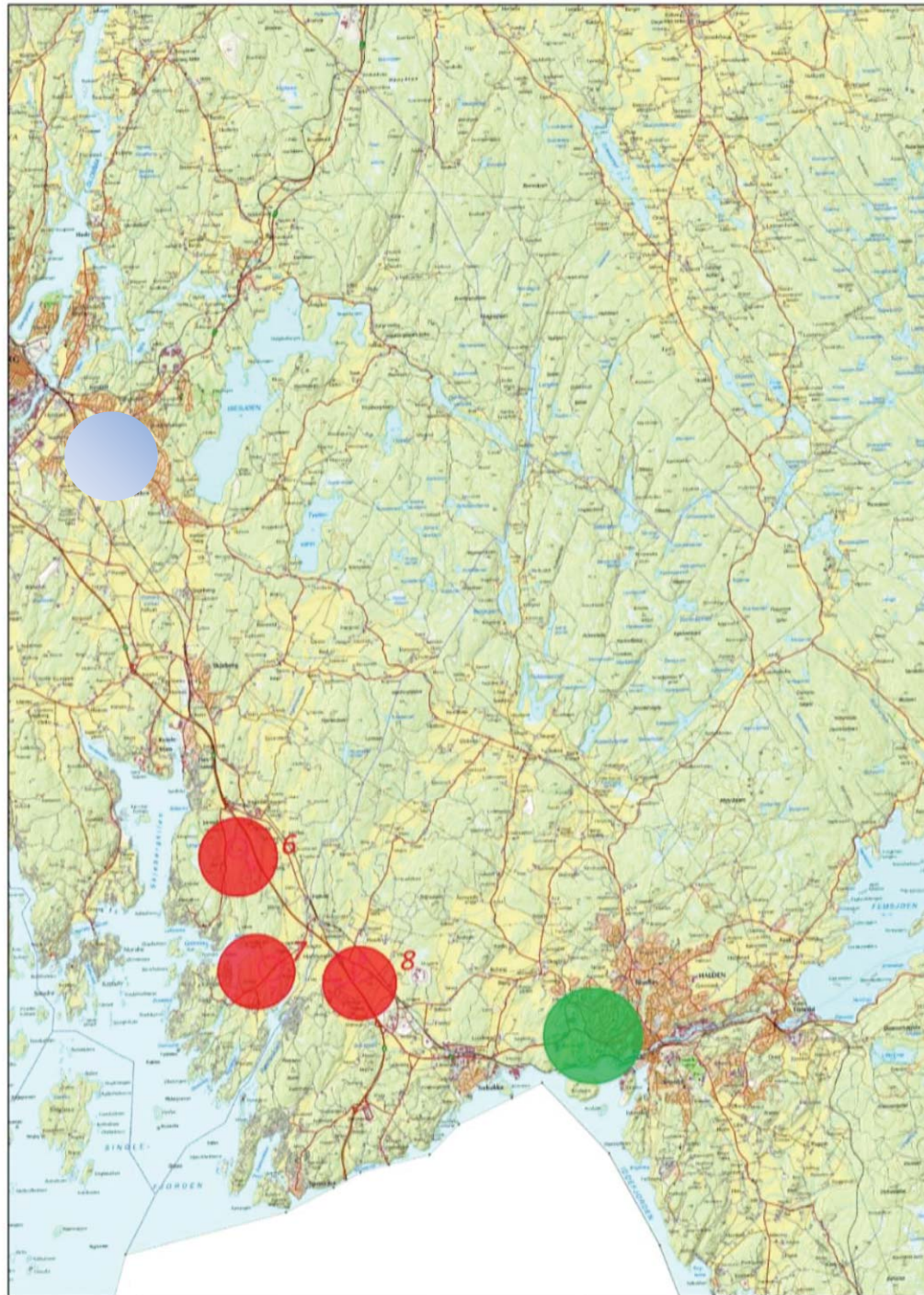
Figur 2.2: Vinterstrategi fylkesveier, riksveier og europaveier i Østfold. Veier med svart merke skal holdes bare hele vinteren. Dette gjelder blant annet E6 og enkelte andre veier som er hovedferdselsårer. Deriblant FV 118 som er omkjøringsvei for E6 (Andersen 2016).

Oversiktskart lokaliteter Akershus og Kambo



Figur 2.3: Oversiktskart over lokalitetene i Akershus og ned til Kambo i Østfold. Rød sirkel markerer de de loggede bekkene i dette området. Bekk 1,2 og 3: Årungselva, henholdsvis Bunnefjorden, Vassumkrysset og Årungen. Bekk 4: Stamnesbekken. Bekk 5: Kambobekken. Grønn sirkel markerer Meteorologisk institutts målestasjon i Ås (Stasjonsnummer. 17850. Breddegrad 59,6605, lengdegrad 10,7818) (ArcGIS, Esri).

Oversiktskart lokaliteter Østfold



Figur 2.4: Oversiktskart over Østfold. Rød sirkel markerer de de loggede bekkene i Østfold. Bekk 6: Ingedalsbekken. Bekk 7: Åkentobekken. Bekk 8: Hjelmungbekken. Grønn sirkel markerer Metrologisk institutts målestasjon i Halden (Stasjonsnummer. 1230. Breddegrad 59,1123, lengdegrad 11,3865) og blå sirkel markerer Meteorologisk institutts målestasjon i Sarpsborg (Stasjonsnummer. 3190. Breddegrad 59,2852, lengdegrad 11,1128 (ArcGIS, Esri).

2.2 Lokalteter

2.2.1 Årunselva

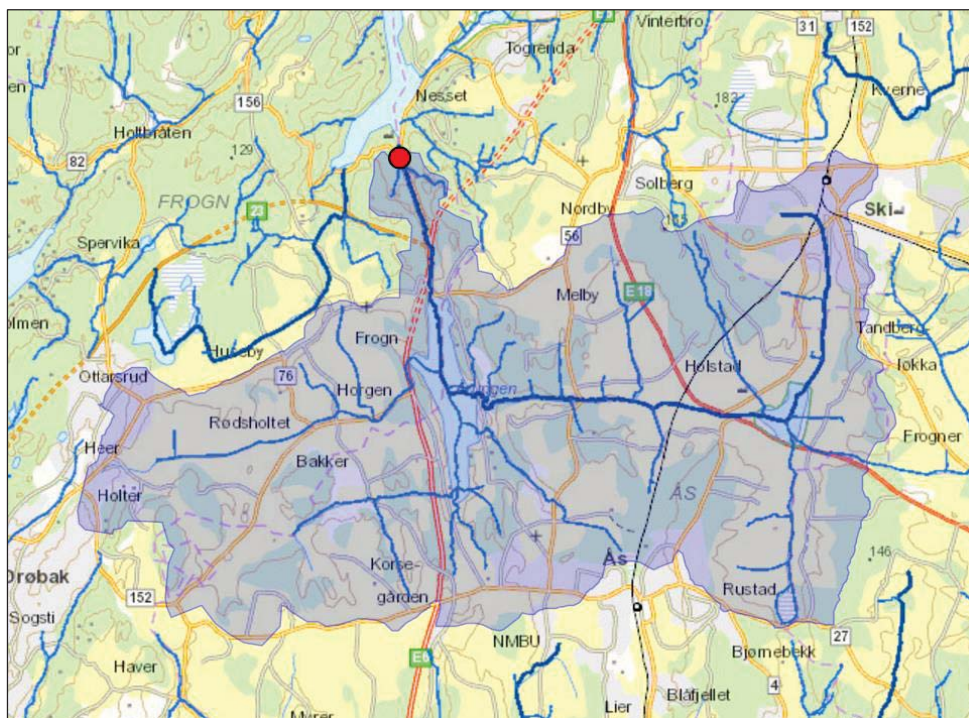
I ulike kilder benyttes ulike navn på Årunselva. Årunselva og Årunsbekken i tillegg til Årunselva. Her vil Årunselva bli benyttet.

Årunselva har sitt utspring i den eutrofierte innsjøen Årunen i Ås kommune og munner ut i Bunnefjorden i Frogn kommune. Årunen ligger på 33 moh. og hele Årunens nedbørsfelt ligger under marin grense. Nedbørsfeltets høyeste punkt ligger på 164 moh. (nevina.nve.no). Løsmassene domineres derfor av marine finsedimenter og morener (Borch et al. 2007). Årunselva renner gjennom frodig edeløvskog og er omtrent 2,3 km lang (Sandaas & Enerud 2015). Vannkvaliteten er dårlig i både elva og innsjøen. Loggepunkt Vassumkrysset er rett ved utløp av tunell med tunellvask (Solberg 2016). Likevel finnes det hele 13 fiskeslag i Årunen, og Årunselva er en viktig gytebekk for sjørøret i Oslofjorden (Sandaas & Enerud 2015).

Nedbørsfeltet har et areal på 50 km² (nevina.nve.no). Årunselva med nedbørsfelt og Årunen liggende midt i nedbørsfeltet presenteres i Figur 2.5. Områdene ved logger 1, 2 og 3, (dvs. Bunnefjorden, Vassumkrysset og Årunen) kan sees i henholdsvis Figur 2.6, Figur 2.7 og Figur 2.8.

Elva har en middelvannføring på ca 16 L s⁻¹ (km²)⁻¹ (nevina.nve.no) og er stort sett et par meter bred. I områdene rundt loggerne er elva nokså grunn, med mye steiner og med noe strøm.

Nedbørsfeltet ligger urbant til og er preget av mye aktivitet i ulike former. Området benyttes aktivt som rekreasjons- og friluftsområde og har stor verdi i kulturminner og naturverdier (Pura 2009). Landbruk preger både omgivelsene og avrenningen til vassdragene i nedbørsfeltet. Det forekommer også aktivitet på vannet da Årunen er Norges nasjonalarena for roing. Flere hovedferdselsårer preger også nedbørsfeltet i stor grad. Dette gjelder E18 helt øst i feltet og E6 midt i.



Figur 2.5: Årungseltvas nedbørsfelt. Nedbørsfeltet er om lag 50 km². Rød sirkel viser ledningsevnelogger én sin plassering, omtrent 400 meter fra elvas utløp i Bunnefjorden. Det ble logget i perioden 23.11.15 - 12.03.16. De to andre loggerne i samme bekk ligger i mellom denne sirkelen og Årungen. GIS-data fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).



Figur 2.6: Årungseltva ved logger nummer én, utløp til Bunnefjorden. Bildet er tatt 23.11.215



Figur 2.7: Årungseltva ved logger nummer to, påkjøring til Vassumkrysset/E6. Loggeren henger her noe over vannnivå. Bildet er tatt 09.01.16



Figur 2.8: Årungselsva ved logger nummer tre, rett nord for Årungen. Bildet er tatt 09.01.16

2.2.2 Stamnesbekken

Stamnesbekkens oppkomme og mye av bekkens løp ligger i Vestby kommune. Den renner ut i Sonsbukta i Son kommune. I rapporten «Kartlegging av naturtyper. Verdsetting av biologisk mangfold i Vestby kommune» (Olsen 2004) framgår det at Stamnesbekken er en av de minst påvirkede mindre vassdragene med utløp i Oslofjorden. Det er en meanderende bekk som renner gjennom lavinelandskap. Omgivelsene langs bekken består stort sett av løvskog og dyrket mark. Det er også spredt bebyggelse av både bolighus og gårder i nærheten av hele bekkeløpet. Rett ved loggeren krysser fylkesvei 2, Erikstadveien, bekken som vist i Figur 2.9 vises Stamnesbekken i en frostperiode, hvor et omtrent 5 cm tykt islag dekker store deler av bekken. Som vist i figuren ligger det også en del trær felt over bekken.

Store deler av Stamnesbekken er nokså grunn og smal. I følge nevina.nve.no (NVE) har bekken en middelvannføring på ca. $15,7 \text{ L s}^{-1} (\text{km}^2)^{-1}$. Flere steder i nærheten av loggeren har bekken så liten vannføring at det ligner et myrområde.

Som vist i oversiktskartet (Figur 2.3) ligger Stamnesbekken et godt stykke fra E6 (omtrent to kilometer). Dette er dermed bekken med logger lengst fra veien og fra salting, da Erikstadveien ikke saltes.

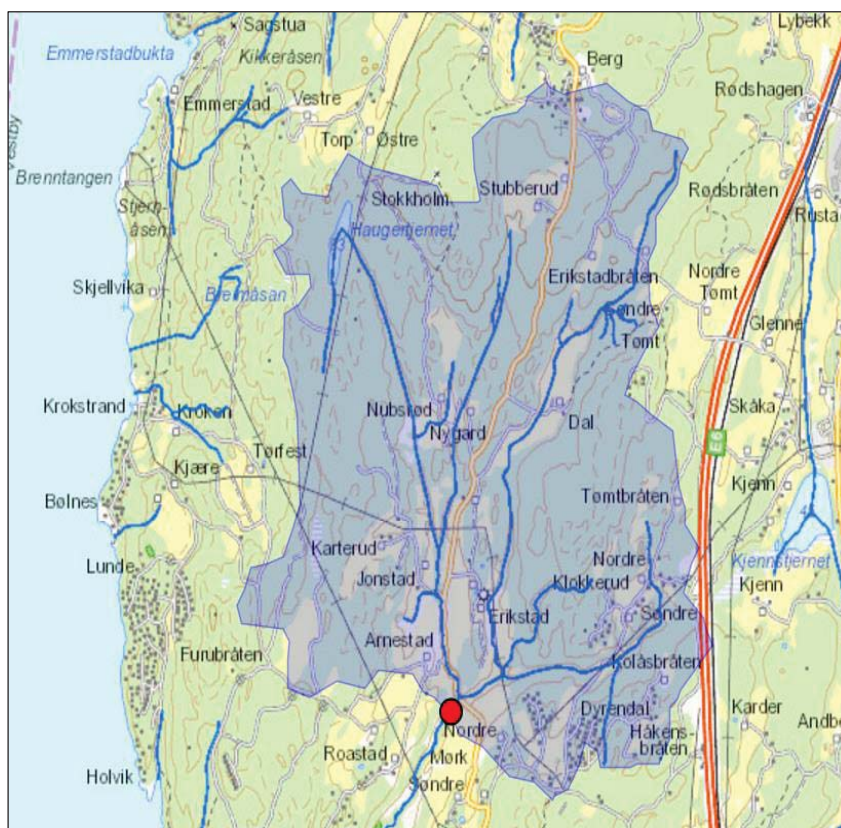
Stamnesbekken med nedbørsfelt er illustrert i Figur 2.11 hvor markert område viser bekkens nedbørsfelt og rød prikk markerer loggerens plassering. Nedbørsfeltets areal er på drøye 9 km^2 .



Figur 2.9: Stamnesbekken i en frostperiode. Et islag på omtrent 5 cm dekker store deler av bekken. Bildet er tatt 09.01.16.



Figur 2.10: Stamnesbekken følger søkket ned ved trærne og passerer under broen. Bildet er tatt 23.11.15.



Figur 2.11: Stamnesbekkens nedbørsfelt. Nedbørsfeltet er på om lag 9,1 km². Rød sirkel viser ledningsevne-loggerens plassering. Det ble logget i perioden 23.11.15 til 12.03.16. GIS-data fra nevina.nve.no (NVE).

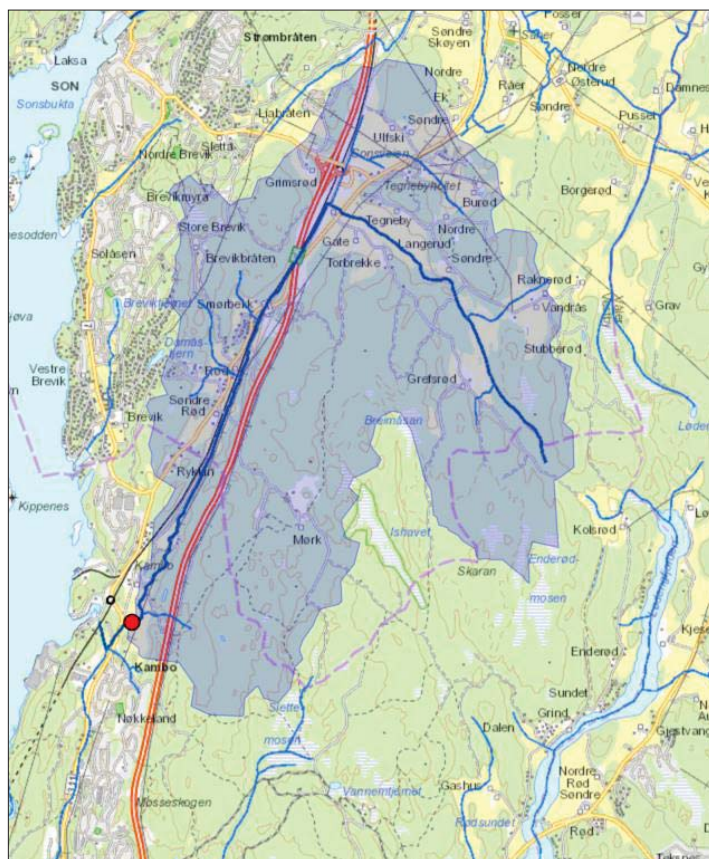
2.2.3 Kambobekken

Kambobekken ligger i sin helhet i Moss kommune i Østfold. Området rundt bekken er preget av landbruk og spredt bebyggelse (Grande et al. 1993). Store deler av bekkens nedbørsfelt består også av skog. Figur 2.13 viser nedbørsfeltet som markert området og loggerens plassering som rød prikk. Nedbørsfeltet er også preget av urbane områder. E6 og bekken følges ganske parallelt fra fangdammen ved E6 som ligger ved den gamle bomstasjonen (Andersen 2016) og ned til Kambo sentrum. Loggeren ble plassert i nærheten av Kambo stasjon i et ellers landbrukspreget område. Som vist i Figur 2.12 krysser ei gangbro bekken rett ved loggeren. Videre herfra følger en skiltet tursti, noe som tyder på at området blir brukt i forbindelse med rekreasjon og friluftsliv.

Det påpekes av Grande et al. (1993) at vannføringen i alle bekkene i området er svært varierende som følge av nedbørsforholdene. Bekkens vannføring vil også preges av vanning av jordbruksområder i tørkeperioder, da den er viktig for dette formålet i tillegg til å være en viktig resipient og gytebekk (Grande et al. 1993). Ved alle observasjoner av Kambobekken i løpet av feltarbeidet har vannet i området vært nokså stillestående og brunt, og hatt en nokså grøtete konsistens. I følge nevina.nve.no (NVE) ligger Kambobekken i et 15,5 km² stort nedbørsfelt, med en middelvannføring på ca. 15,6 L s⁻¹ (km²)⁻¹. I området rundt loggeren renner bekken i ei relativt dyp grøft.



Figur 2.12: Kambobekken fra loggernes plassering mot gangbroen som krysser bekken. Et tynt islag dekker bekken på dette tidspunktet. Bildet er tatt 23.11.15



Figur 2.13: Kambobekkens nedbørsfelt. Nedbørsfeltet er på om lag 15,5 km². Rød sirkel viser ledningsevneloggerens plassering. Det ble logget i perioden 23.11.15 til 12.03.16. GIS-data fra nevina.nve.no (NVE).

2.2.4 Ingedalsbekken

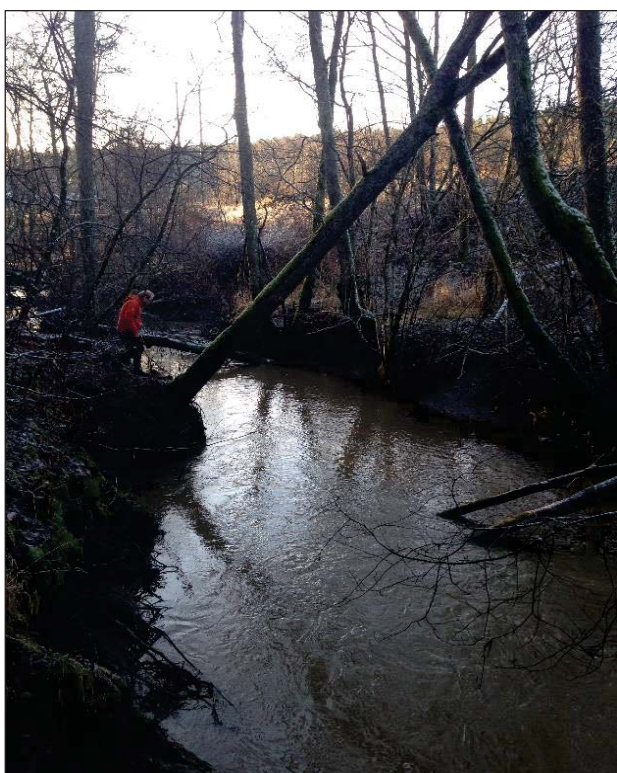
Ingedalsbekken ligger i sin helhet i Sarpsborg kommune, med utspring i Ingerid tjern og utløp i Åken tokilen (Miljødirektoratet 2000). Bekken med tilhørende nedbørsfelt på 22,4 km² vises i Figur 2.16 og rød sirkel viser loggerens plassering.

Området er preget av landbruksvirksomhet. Det er jorder langs begge sider av bekken, både på opp- og nedsiden av E6. Nedbørsfeltet er ellers preget av skogsområder. Det ligger også flere større gårder i nærheten. I tillegg finner vi E6-krysset Ingedalskrysset rett ved bekken og omtrent 300 meter fra loggeren. Dette betyr at det er flere av- og påkjøringsfelt, noe som innebærer flere kvadratmeter saltet vei. FV 118 krysser også bekken. Dette er en trafikkert vei som har vinterstrategi «Bar vei» og som dermed saltes på lik linje med E6 (Andersen 2016).

Som det kommer fram av Figur 2.14 og Figur 2.15 følger bekken ei dyp grøft med tilsynelatende mye erosjon. Langs bekken er det frodig og særlig mye trær av slaget svartor. Mange av trærne ligger felt

over bekken og delvis nede i bekkeløpet. Det er en nokså stor og dyp bekk som med en bredde på rundt fem meter. Middelvannføringen er anslått til å være ca. $11 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

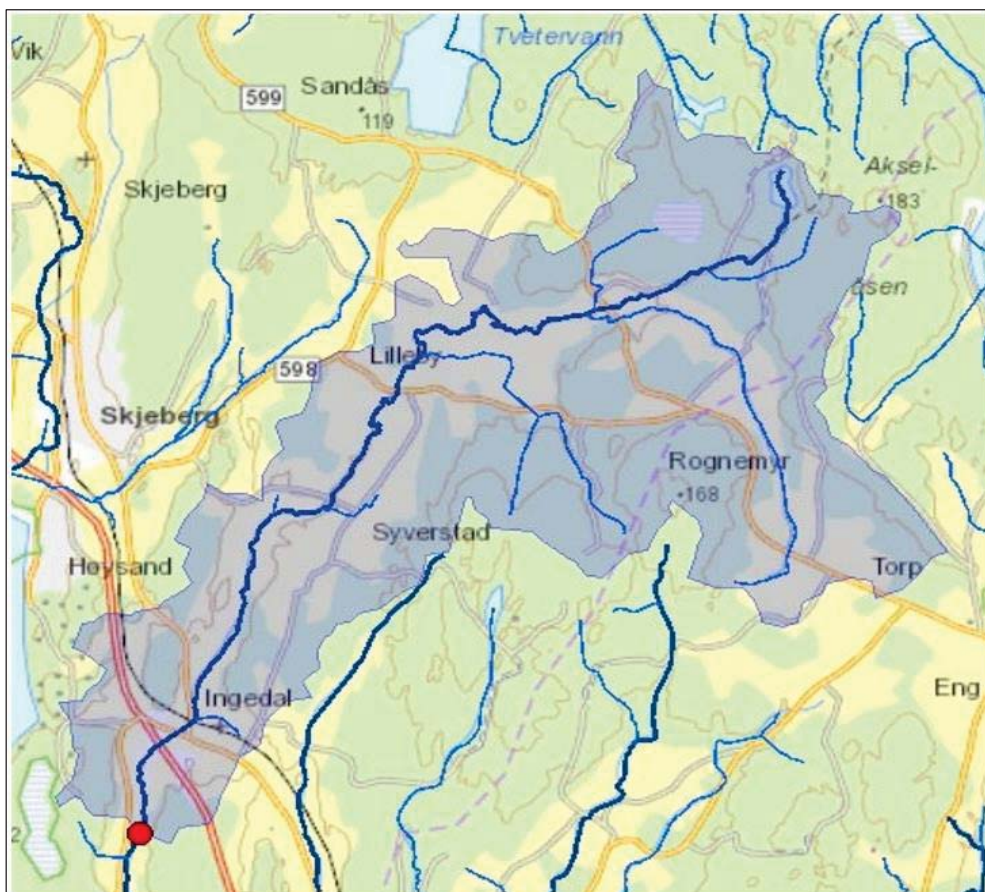
Ingedalsbekken blir klassifisert som viktig på grunn av dens økologiske funksjon i landskapet og en god og stabil sjørrretforekomst (Miljødirektoratet 2000). Ingedalsbekken som sjørrretbekk har derfor blitt veldig godt fulgt opp. Det har i senere år blitt anlagt en 400 meter lang kulvert med fisketrapper fra området ved Ingedalskrysset og opp til FV 118 for at sjørrreten skal kunne nå opp til gyteområder ovenfor det lukkede bekkeløpet (Andersen 2016). Det er også blitt satt inn lys i tunnelen for fiskens trivsel på grunn av den lange, lukkede strekningen (Andersen 2016).



Figur 2.15: Ingedalsbekken mot sørvest. Bildet er tatt 20.11.15



Figur 2.14: Ingedalsbekken mot nordvest. Bildet er tatt 04.02.16



Figur 2.16: Ingedalsbekkens nedbørsfelt. Nedbørsfeltet er på om lag 22,4 km². Rød sirkel viser ledningsevneloggerens plassering. Det ble logget i perioden 20.11.15 til 07.01.16, samt 05.02.16 til 16.03.16. GIS-data fra nevina.nve.no (NVE).

2.2.5 Åkentobekken

Åkentobekken ligger i Skjeberg i Sarpsborg kommune. Bekken har to ulike navn i ulike kilder, Åkentobekken og Bjønnengbekken. Det er valgt å bruke Åkentobekken videre da det ser ut til å være det mest brukte navnet. Åkentobekken renner som Ingedalsbekken ut i Åkentokilen, utspringet er i Syverstadvannet (Bakkhaug 2015).

Åkentobekken ligger i et nokså lite nedbørsfelt, 7,5 km² (Figur 2.18). Bekkens middelvannføring er ca. 11,0 L s⁻¹ km⁻² (nevina.nve.no). I området rundt loggeren er bekken et par meter bred og nokså grunn. Tidvis gjennom vinteren var vannstanden for lav til at loggeren kunne henge rett ned i vannet.

Området rundt er preget av mye skog og dyrket mark og noe spredt bebyggelse. Dette er også et område som benyttes til rekreasjon og friluftsliv, blant annet passeres bekken av Kyststien, en mye brukt tursti. I området rundt loggerens plassering er det frodig med mye trær langs bekkebedraget, rett utenfor dette er det jorder.

I nærheten av bekken ligger fangdammen Slang, som tar imot avrenning fra E6. Slang drenerer mot Hjelmungbekken, det antas derfor at lite avrenning fra E6 havner i Åkentobekken (Andersen 2016). I Bakkhaug (2015) refereres det til tidligere utredninger av SVV hvor det går inn for å holde bekken mest mulig åpen og minske lengden i kulvert for å opprettholde bekkens ørretbestand. Tiltakene har i senere tid blitt ansett som meget positive og «bekkeåpningen har økt mangfoldet i vassdraget og lagt til rette for fiskens vandring videre oppover i vassdraget» (Bakkhaug 2015).



Figur 2.17: Åkentobekken rett ved loggerens plassering. Øverst i bildet kan Åkentoveien sees. Bildet er tatt 20.11.15.



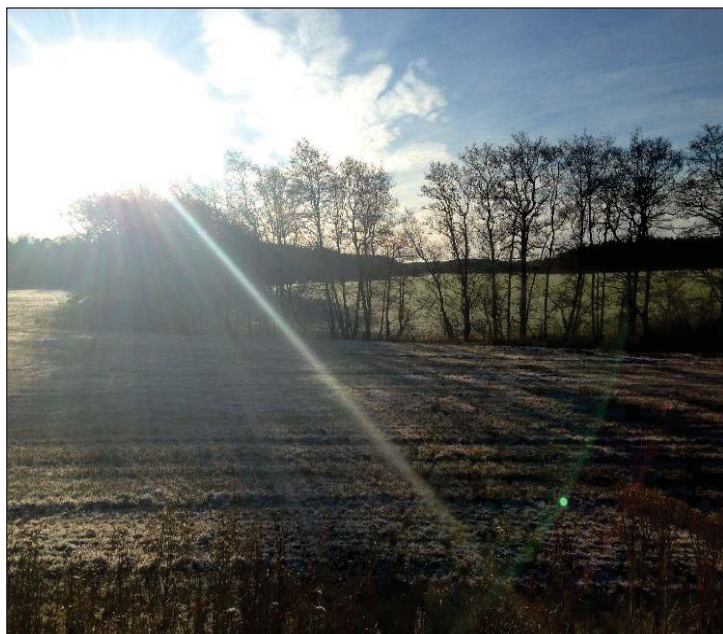
Figur 2.18: Åkentobekkens nedbørsfelt. Nedbørsfeltet er på om lag 7,5 km². Rød sirkel viser ledningsevneloggerens plassering. Det ble logget i perioden 20.11.15 til 07.01.16, samt 20.11.16 til 16.03.16. GIS-data fra nevina.nve.no (NVE).

2.2.6 Hjelmungbekken

Hjelmungbekken ligger i Halden kommune. Bekkens har sin opprinnelse i ulike bekker øverst i nedbørsfeltet og utløpet er i Røsneskilen. Det 17,5 km² store nedbørsfeltet vises som markert område i Figur 2.21, med rød sirkel som angir loggerens plassering.

Hjelmungbekken har en middelvannføring på ca. 11,5 L s⁻¹ km⁻² (nevina.nve.no). I området rundt loggeren er bekken kun noen få meter bred og nokså grunn. Det var derfor ikke mulig å la loggeren henge rett ned i vannet store deler av loggeperioden. Vannet i bekken er nokså klart mens bunnen er noe grumsete. Tidligere rapporter melder om forurenset vann og små sjøørretbestander over lengre tid (Kristiansen 1992). Ved Hjelmungen gård ved E6 har fangdammen Slang i senere tid blitt etablert. Denne tar imot avrenning fra E6 og har videre avrenning ned i Hjelmungbekken (Andersen 2016). FV 118 har lite eller ingen avrenning til Hjelmungbekken (Andersen 2016).

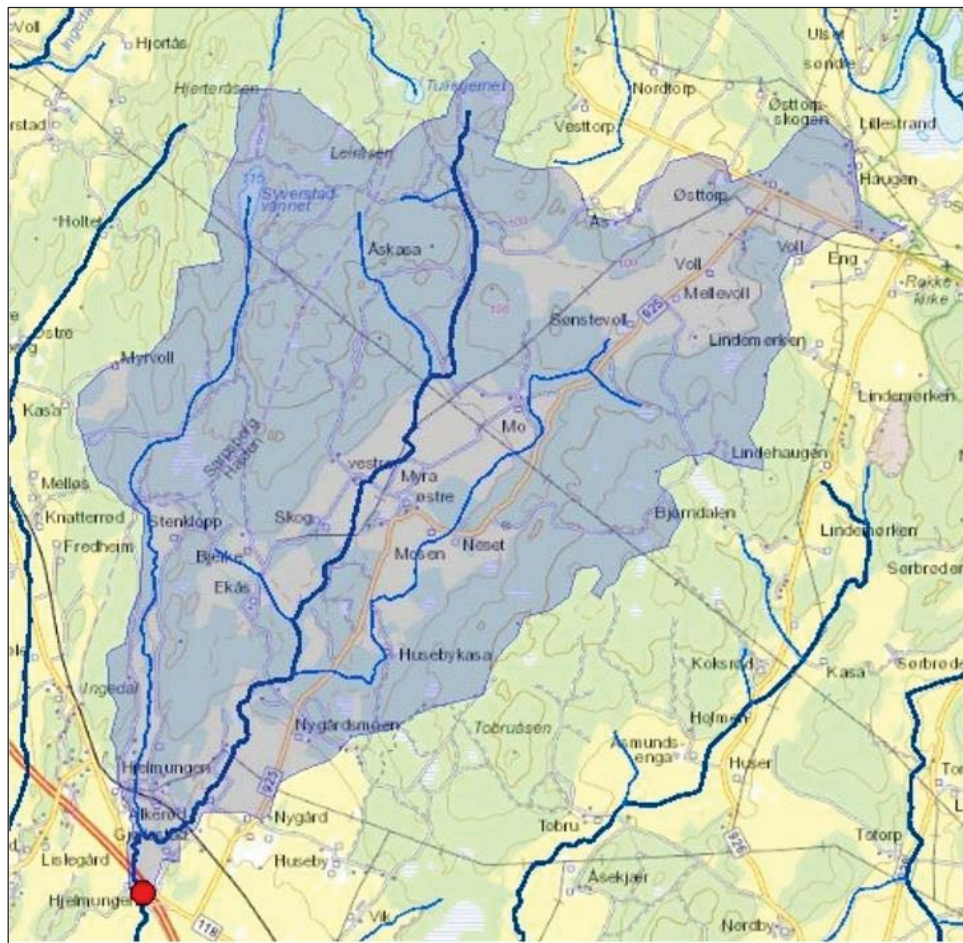
Bekken renner i en tydelig grøft gjennom dyrket mark fra Slang og ned til utløpet ved Røsneskilen, dette kan tydelig sees i Figur 2.20: Hjelmungbekken ligger i det frodige søkket mellom mye dyrket mark. Bildet er tatt 20.11.15. Langs bekken finnes noe løvskog, dette kan skimtes fra bekeleiet i Figur 2.19: Hjelmungbekken noe gjeniset. Loggeren var plassert nær land og frøs dermed inne i isen her. Bildet er tatt 07.01.16..



Figur 2.20: Hjelmungbekken ligger i det frodige søkket mellom mye dyrket mark. Bildet er tatt 20.11.15.



Figur 2.19: Hjelmungbekken noe gjeniset. Loggeren var plassert nær land og frøs dermed inne i isen her. Bildet er tatt 07.01.16.



Figur 2.21: Hjelmungbekkens nedbørsfelt. Nedbørsfeltet er på om lag 17,5 km². Rød sirkel viser ledningsevneloggerens plassering. Det ble logget i perioden 20.11.15 til 07.01.16, samt 20.01.16 til 16.03.16. GIS-data fra nevina.nve.no (NVE).

3 Materiale og metode

Som beskrevet i kapittel 1.5 Ledningsevne antas det at NaCl fra veisalt i stor grad fører til hovedvariasjonene i veinære bekkers ledningsevne. Vi antar at det i løpet av vinter- og vårsesongen vil forekomme høye konsentrasjoner og doser av NaCl i bekker langs veinære sjøørretbekker. For å undersøke dette har ulike metoder blitt benyttet. Disse blir beskrevet i kommende kapittel om materiale og metode.

Videre blir program for databearbeiding, nedbørsdata og noe metodikk om salting ved lokalitetene beskrevet.

3.1 Logging av ledningsevne

3.1.1 Logging av temperatur og ledningsevne

For å logge vannets temperatur og ledningsevne ble åtte ledningsevneloggere av typen HOB0 Fresh Water Conductivity Logger U24-001 benyttet. Se vedlegg E for mer utfyllende informasjon i loggerens datablad. HOB0 U24-001 måler temperatur og ledningsevne i henholdsvis spekteret $-2 - 36^{\circ}\text{C}$ og $0 - 10\,000\ \mu\text{S cm}^{-1}$. Ledningsevne er svært sensitiv for temperaturendringer og øker med 2 % per grad (Haaland 2016). Ved å benytte en logger som måler begge deler tas dette høyde for. Loggeren har en temperatursensor øverst, og i enden finner en ledningsevnesensoren (vedlegg E). Loggerens sensor er beskyttet inne i loggeren og kommer derfor ikke i kontakt med vann. Dette fører til en mer stabil avlesning og som vil gi mer nøyaktige resultater.

Tabell 3.1 viser avstanden mellom loggernes plassering og nærmeste aktuelle (saltede) fylkes- eller europavei. NGUs kart «Arealinformasjon» (NGU 2015) er benyttet til å beregne avstand mellom logger og vei. Dette ble gjort for alle lokalitetene

Loggerne ble festet godt med tau og vaier i et stabilt anker på land, hovedsakelig nærliggende trær. Dette er vist i Figur 3.2 hvor logger er festet med to tau i et nærliggende tre (vaier mangler på dette tidspunktet). Tauet og vaierens lengde ble tilpasset slikt at loggeren ikke nådde bekkens bunn, samtidig som den var godt under vannoverflaten. Dette for å hindre at partikler dekker sensorens beskyttelsesvindu og at temperatursensoren kun måler vannets temperatur og ikke lufttemperaturen.



Figur 3.1: Logger festes i en vaier og i et tau som surres og knyttes fast i to ulike punkter på en stamme som ligger felt over Ingedalsbekken. Bildet er tatt 04.02.16



Figur 3.2: Logger i Åkentobekken festet i to tau som videre er bundet rundt flere røtter. Utenfor bildet er tauet surret to runder rundt treet. Knutene er sikret med strips. Bildet er tatt 16.03.16

Tabell 3.1 Avstand (luftlinje og elvestrekning) fra loggernes plassering i bekkene til nærmeste aktuelle fylkes- og europavei (NGU 2015). Lokalitet Årungselva 1, 2 og 3 er henholdsvis ved utløp Bunnefjorden, Vassumkrysset og ved utløp Åringen.

	Vei	Luftlinje (m)	Vei	Luftlinje (m)	Vei	Elvestrekning (m)
1 Bunnefjorden	FV156	28	E6	1000	E6	1360
2 Vassumkrysset	FV156	10	E6	57	E6	274
3 Åringen	FV156	20	E6	26	FV156	266
4 Stamnesbekken			E6	1752	E6	2862
5 Kambobekken			E6	365	E6	582
6 Ingedalsbekken			E6	840	E6	1200
7 Åkentobekken			E6	1380	E6	1590
8 Hjelmungbekken			E6	103	E6	295

For avlesning av loggerne ble det benyttet en kabel som følger med HOBOS U24-produkter. Denne har en overgang som settes på loggerens ende, samme sted som sensoren for ledningsevne sitter. Videre har den andre enden en USB-port som kobles i USB-inngangen på en PC. Ved hjelp av programmet HOBOWare ble all registrert data avlest og lagret. Tabell 3.2: Viser en oversikt over når de åtte loggerne ble satt ut, lest av og hentet inn. Loggeren kan stilles inn for å logge data fra hvert sekund til hver 18. time. I oppgaven ble loggeren stilt inn til å logge hvert femte minutt. Dette innebar at loggeren ble full og måtte tømmes for data etter om lag 50 døgn. I tillegg til de nevnte datoene ble tilstanden til alle loggerne sjekket minst én gang imellom hver avlesning på grunn av store endringer i værforholdene gjennom vinteren.

Tabell 3.2: Viser en oversikt over når de åtte loggerne ble satt ut, lest av og hentet inn. Tre av loggerne var i en periode inn på grunn av lavt batteri som følge av at de frøs inne i is eller ble hengende over vannivå.

Bekk	Satt inn/ut og avlesninger			
Bunnefjorden	Satt ut 23.11	Lest av 09.01	Lest av 02.02	Tatt inn 12.03
Vassumkrysset	Satt ut 23.11	Lest av 09.01	Lest av 02.02	Tatt inn 12.03
Årungen	Satt ut 23.11	Lest av 09.01	Lest av 02.02	Tatt inn 12.03
Stamnesbekken	Satt ut 23.11	Lest av 09.01	Lest av 02.02	Tatt inn 12.03
Kambobekken	Satt ut 23.11	Lest av 07.01	Lest av 02.02	Tatt inn 12.03
Ingedalsbekken	Satt ut 20.11	Lest av og tatt inn 07.01.	Satt ut 05.02	Tatt inn 16.03
Åkentobekken	Satt ut 20.11	Lest av og tatt inn 07.01.	Satt ut 20.01	Tatt inn 16.03
Hjelmungbekken	Satt ut 20.11	Lest av og tatt inn 07.01	Satt ut 20.01	Tatt inn 16.03

3.2 Vannprøvetaking

Det ble tatt vannprøver i bekkene samtidig med utsetting av loggerne i november og ved avlesningene i januar. En plastflaske på 0,5 l ble benyttet for hver prøve. Flasken og den tilhørende korken ble skylt tre ganger med vann fra den aktuelle bekken, før den ble fylt med vann og så godt som mulig tømt for luft. Deretter ble vannprøvene oppbevart mørkt og kjølig inntil analyse.

Vannprøvene ble analysert for kloridinnhold ved laboratoriet på Institutt for Miljøvitenskap (IMV) ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Det ble benyttet ionekromatografi (IC). Data for klorid og i tillegg for nitrat, fluorid og sulfat er vist i Vedlegg A.

3.3 Nedbørsdata

Nedbørsdata er hentet fra eklima.met.no (Meteorologisk institutt). Dataene er hentet fra tre ulike stasjoner, Halden (St.nr. 1230; 8 moh.), Sarpsborg (St.nr. 3190; 57 moh) og Ås (St.nr. 17850; 92 moh.). Se Figur 2.3 og Figur 2.4 for oversiktskart med stasjonenes beliggenhet. Nedbørsdataene er presentert i og Vedlegg D.

3.4 Salting ved lokalitetene

Mesta Drift AS drifter kontraktsområdet «Østfold sør». Det vil si at det er de som vedlikeholder og salter veiene i dette området. I kontraktsområde Follo er det Veidrift AS som gjør samme jobben. Registrering av saltingen foregår underveis og innebærer bilens fart og mengden salt som legges ut. For at observasjonene skal bli foretatt må sjåføren av bilen selv sette i gang registreringen, dette gjøres ikke alltid og data fra Mesta AS er derfor noe mangelfulle (Signebøen 2016).

På grunn av observasjonenes betydelige antall og delvis utilgjengelige data ble saltdata for tre dager i løpet av loggingsperioden valgt ut for bekkene i kontraktsområde Østfold sør. Disse dataene kan sees i vedlegg B. Valget av datoer ble foretatt på bakgrunn av registrerte ledningsevnetopper, samt endrede værforhold (i form av temperaturendringer og store nedbørsmengder) de aktuelle dagene og dagene rundt.

4 Resultater

4.1 Bekkene i Akershus

Resultater for bekkene i Akershus kommer i de følgende kapitlene. Hendelser i resultatene er markert i figurene for hver bekk og noen hendelser er de samme i alle bekkene. Merknadene er derfor de samme i alle de følgende figurene. Dette er som følger:

Merknad ① markerer nedbørsdata. Nedbørsdata for begge bekkene i Akershus er hentet fra målestasjonen i Ås (Meteorologisk institutt)(Se Figur 2.3), Dette er gjennomsnittlige døgnverdier. Åtte nedbørstopper ble registrert i Ås i loggeperioden, disse er presentert i Tabell 4.1.

Ved utsetting av loggerne i Akershus 23.11.15 og ved avlesning 09.01.16 ble det tatt vannprøver (④) ved loggerens plassering i bekken. Resultatene fra vannprøvene finnes i vedlegg A.

Tabell 4.1: Nedbørstopper registrert på Ås målestasjon i loggeperioden.

Målestasjon Ås	
Dato	Nedbørsmengde (mm)
25.11.15	16,6
28.-29.11.15	21,3
04.-05.12.15	27,4
11.01.16	14,5
07.-09.02.16	35,2
21.02.16	9,4
03.03.16	8,5

4.2 Årungselsva

Årungselsva har blitt logget i et transekt med tre loggerne på tre ulike steder fra 23.11.15 til 12.03.16. Resultatene for Årungselsva i loggeperiodene er presentert i Figur 4.3, Figur 4.4 og Figur 4.5, henholdsvis ved Bunnefjorden, Vassumkrysset og Årungen. Merknadene i figurene blir beskrevet under.

4.2.1 Bunnefjorden

Merknad ② markerer opphold i kurvene for ledningsevne og vanntemperatur. I en periode i løpet av vinteren viser målingene minusgrader og svært varierende ledningsevnene, hvilket tyder på at loggeren har vært helt eller delvis over vann i denne perioden. Disse dataene er derfor fjernet, da de ikke gir reelle resultater.

Merknad ③ markerer maksimalt målt ledningsevne. Den ble målt til $32,6 \text{ mS m}^{-1}$ 04.03.16 kl. 15:50, på samme tidspunkt holdt vannet $2,07 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Maksimumspunktet sammenfaller med en nedbørsperiode. I en måneds tid før maksimumspunktet finnes ytterligere tre ledningsevnetopper ⑤(a-c).

4.2.2 Vassumkrysset

Merknad ②(a-e) markerer opphold i kurvene for ledningsevne og vanntemperatur. I flere perioder gjennom vinteren viser målingene temperaturer helt ned i åtte til ti minusgrader og varierende ledningsevne. Disse dataene er derfor fjernet, da de ikke gir reelle resultater. I en periode i vinter sank vannstanden i elva og loggeren ved Vassumkrysset ble tidvis helt eller dels hengende over vannnivå (Figur 4.1). Loggeren registrerte da lufttemperaturen. Utover disse periodene ligger vanntemperaturen i dette området jevnt på $4,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ hele loggeperioden.

Merknad ③ markerer maksimalt målt ledningsevne. Den ble målt til $24,2 \text{ mS m}^{-1}$ 08.02.16 kl. 14:30, på samme tidspunkt holdt vannet $2,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Maksimumspunktet sammenfaller med periodens største nedbørsfall. I tiden rundt maksimumspunktet finnes ytterligere tre ledningsevnetopper ⑤(a-c).

4.2.3 Årungen

Loggeren ved Årungen er eneste resultat uten opphold i kurvene for ledningsevne og vanntemperatur. Begge enhetene ligger nokså jevnt gjennom hele loggingsperioden og vannets temperatur holdt jevnt $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ hele loggeperioden. På tauet som loggeren ved Årungen hang i dannet det seg et lokk av is og snø. Dette var kun over loggeren og berørte dermed ikke loggeren og loggerens sensorer direkte (Figur 4.2). Merknad ③ markerer maksimalt målt ledningsevne. Den ble målt til $13,6 \text{ mS m}^{-1}$ 24.11.15 kl. 18:20, på samme tidspunkt holdt vannet $4,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Maksimumspunktet er på periodens andre dag og i en periode preget av mye nedbør og kulde.

.

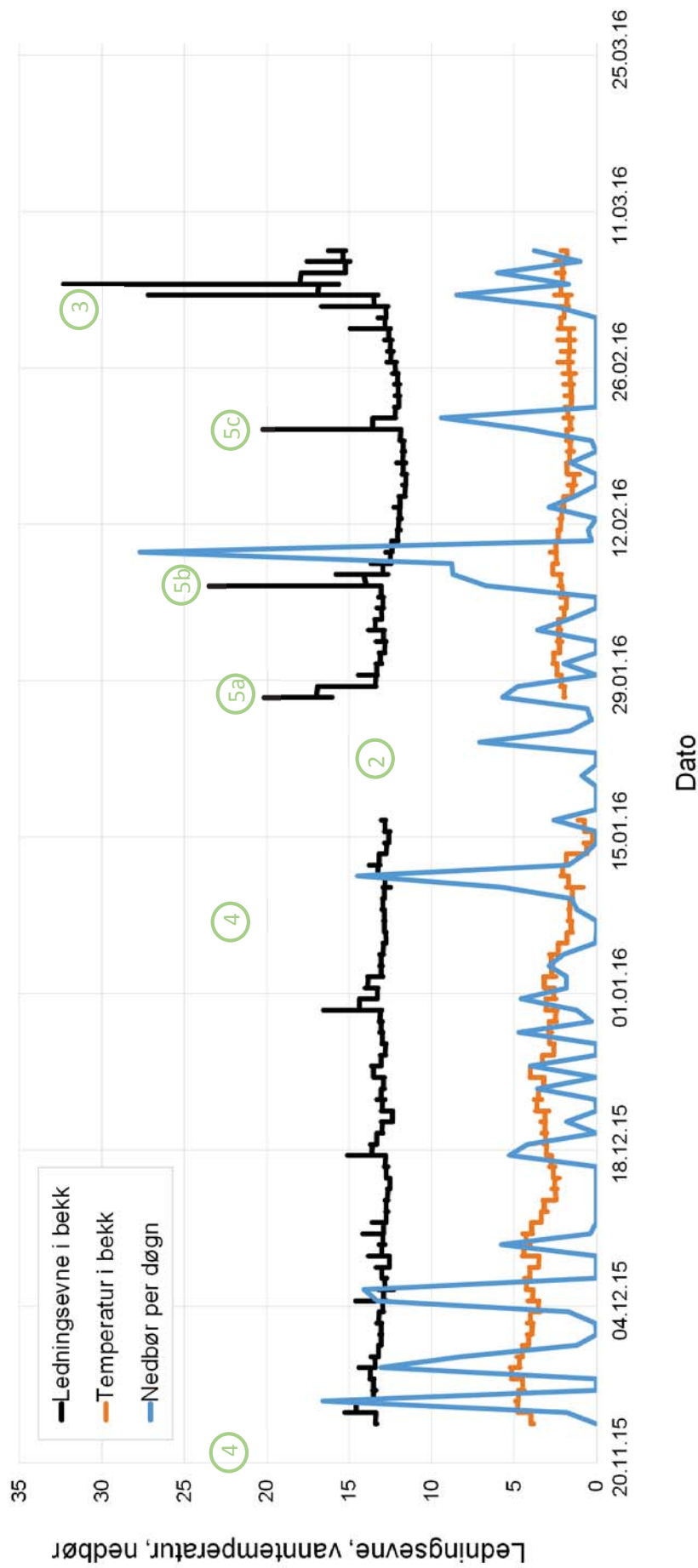


Figur 4.1: Vannstanden har sunket og deler av loggeren er over vann i Årungselsva (Vasumkrysset). I tillegg er det snø og is rundt temperaturmålerdelen av loggeren. Bildet er tatt 09.01.16.



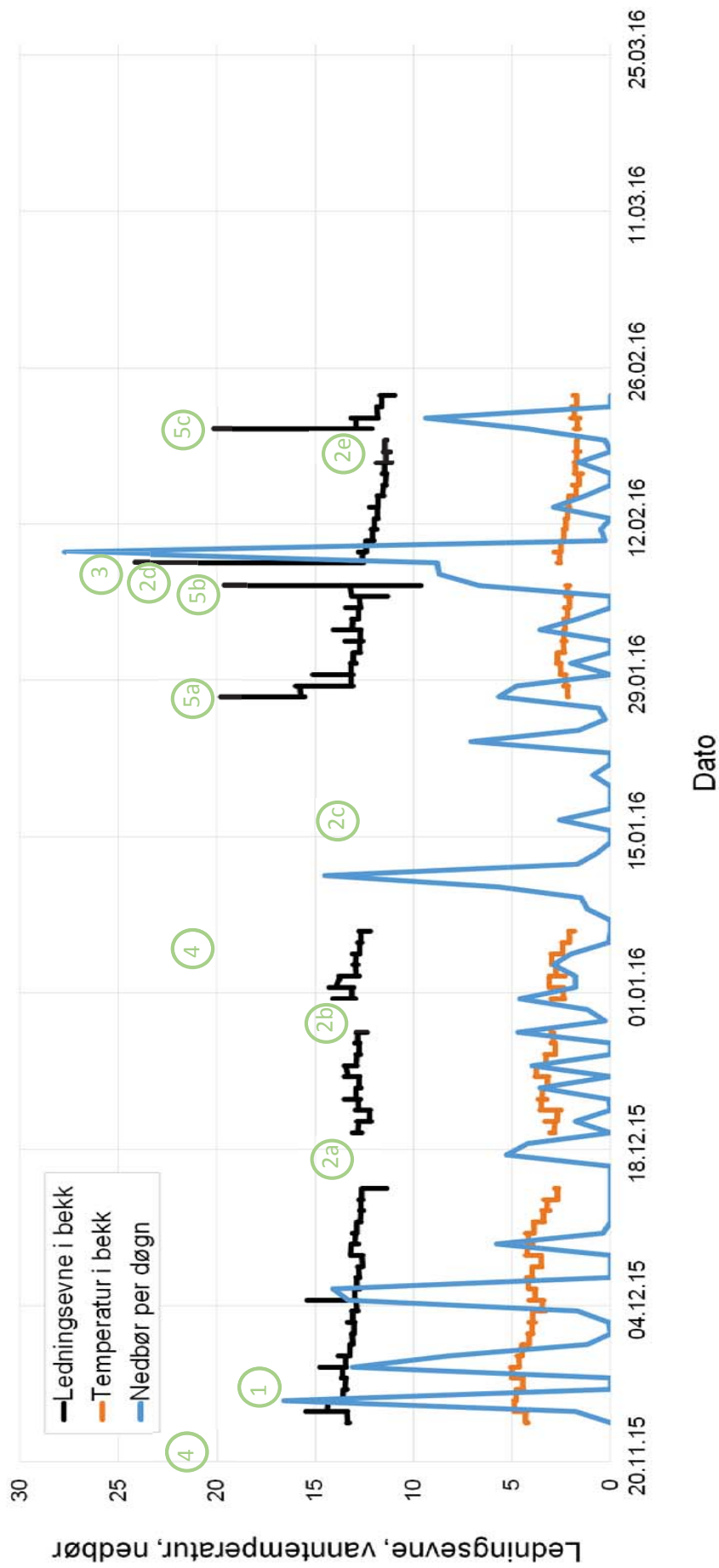
Figur 4.2: Et isflak er dannet rundt tauet som loggeren ved Årunen i Årungselsva henger i. Isflaket berører ikke loggeren direkte men ligger som et lokk over. Bildet er tatt 09.01.16

Årungselsva ved Bunnefjorden



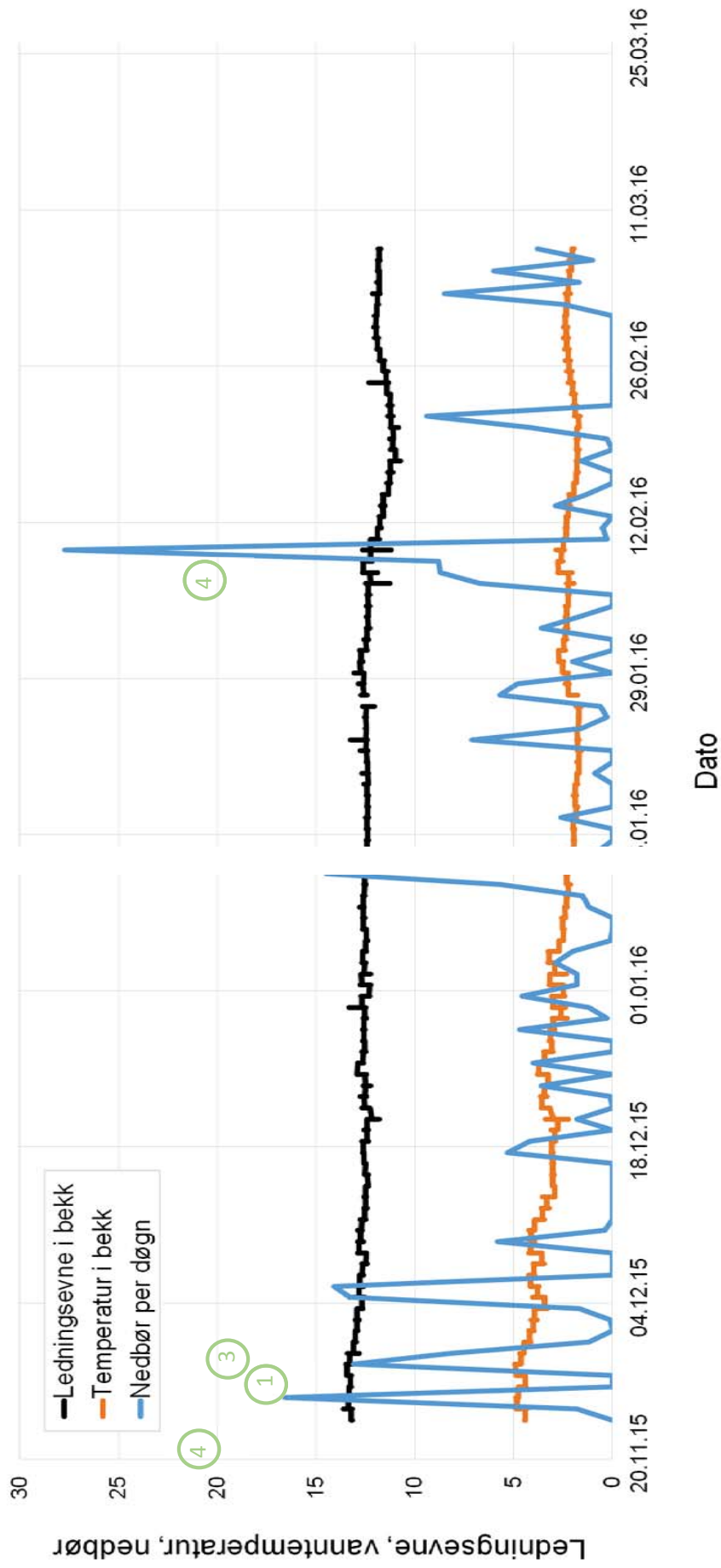
Figur 4.3: I oransje og svart; vannets temperatur ($^{\circ}\text{C}$) og ledningsevne (mS m^{-1}) ved Bunnefjorden i Årungselsva fra 23.11.15 til 12.03.16. Blå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på Meteorologisk institutts målestasjon på Ås (Meteorologisk institutt). Feltet uten registrerte data for temperatur- og ledningsevnegrafene er perioder hvor hele eller deler av logger frøs inne eller hang over vannet. Merknad ① - ⑤ blir beskrevet i kapittel 4.1 og 4.2.1.

Årungselsva ved Vassumkrysset



Figur 4.4: I oransje og blått; vannets temperatur ($^{\circ}\text{C}$) og ledningsevne (mS m^{-1}) ved Vassumkrysset i Årungselsva fra 23.11.15 til 12.03.16. Grå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på Meteorologisk institutts målestasjon på Ås (Meteorologisk institutt). Felter uten registrerte data for temperatur- og ledningsevne-grafene er perioder hvor hele eller deler av logger hang over vannet. Merknad ① - ⑤ blir beskrevet i kapittel 4.1 og 4.2.2.

Årungs va ved utløp Årungen



Figur 4.5: I oransje og svart; vannets temperatur ($^{\circ}\text{C}$) og ledningsevne (m^{-1}) ved Årungen i Årungsella fra 23.11.15 til 12.03.16. Blå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på Meteorologisk institutts målestasjon på / Meteorologisk institutt). Merknad ① - ⑤ blir beskrevet i kapittel 4.2 og 4.2.3.

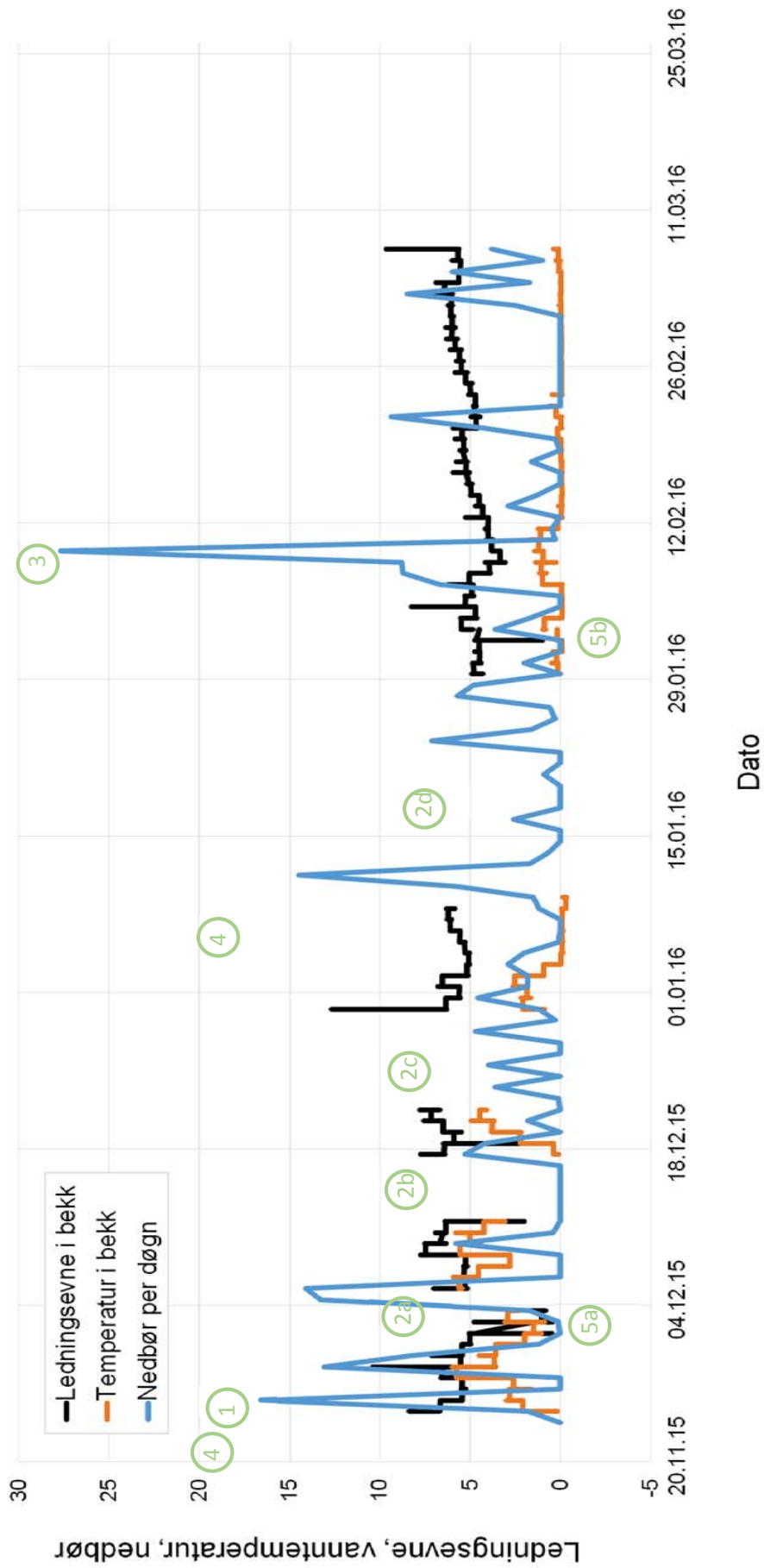
4.3 Stamnesbekken

Resultater for Stamnesbekken i loggeperiodene er presentert i Figur 4.6. Merknadene i figuren blir beskrevet under.

Bekken frøs helt igjen i en lengre periode i vinter. Dette førte til lav vannstand. Loggeren havnet helt eller delvis over vann og ble i perioder dekket av snø og is. Merknad ②(a-d) markerer opphold i kurvenes ledningsevne og vanntemperatur. I flere perioder i vinter viser temperaturen grader ned til minus fem (merknad 2a-d). I de samme tidsrommene hopper ledningsevneresultatene mellom to tall i dagevis (1,4-6,4 mS m⁻¹). Dataene for disse periodene er fjernet, da de ikke gir reelle resultater. Ved sjekk tidlig i februar ble loggeren senket lengre ned i bekken, temperaturen ligger etter dette rundt null.

Merknad ③ markerer maksimalt målt ledningsevne. Den ble målt til 12,7 mS m⁻¹ 30.12.16 kl. 15:05, på samme tidspunkt holdt vannet 1,0 °C. Maksimumspunktet kommer rett etter en periode med manglende data. Etter toppen synker ledningsevnen rask de neste dagene. Deriblant til et av de to målte ytterpunktene av veldig lav registrert ledningsevne ⑤ (a og b).

Stamnesbekken



Figur 4.6: I oransje og svart; vannets temperatur ($^{\circ}\text{C}$) og ledningsevne (mS m^{-1}) i Stamnesbekken fra 23.11.15 til 12.03.16. blå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på Meteorologisk institutts målestasjon på Ås (Meteorologisk institutt). Felter uten registrerte data for temperatur- og ledningsevnegrafene er perioder hvor logger frøs inne eller hele eller deler av logger hang over vannet. Merknad ① - ⑤ blir beskrevet i kapittel 4.1 og 4.3

4.4 Bekkene i Østfold

Resultater for bekkene i Østfold kommer i de neste fire kapitlene. Hendelser i resultatene er markert og noen hendelser er de samme i alle bekkene i Østfold. Merknadene er derfor de samme i alle figurene. Dette er som følger:

Merknad ① markerer opphold i nedbørsdata. Ved alle opphold i grå kurve (nedbørsdata) mangler nedbørsdata for de aktuelle dagene. Nedbørsdata for alle bekkene i Østfold er hentet fra målestasjonen i Halden (Meteorologisk institutt) (Se Figur 2.4). Dette er gjennomsnittlige døgnverdier. Seks nedbørstopper er registrert i Halden i loggeperioden, disse er presentert i Tabell 4.2.

Ved utsetting av loggerne i Østfold 20.11.15 og ved avlesning 07.01.16 ble det tatt vannprøver ved loggerens plassering i bekken (④). Resultatene fra vannprøvene finnes i vedlegg A.

Merknad ⑤ markerer tre ledningsevnetopper hvor vi vet at det ble saltet samme døgn. Data over mengde salt som ble lagt ut ved de aktuelle lokalitetene finnes i vedlegg B. Toppene ble registrert 04.12.15, 11.01.16 og 07.03.16.

Tabell 4.2 Nedbørstopper registrert på Ås målestasjon i loggeperioden.

MÅLESTASJON HALDEN

DATO	Nedbørsmengde (mm)
25.11.15	13,0
28.11.15	11,0
04.12.15	8,3
27.-28.01.16	18,3
07.-09.01.16	42,0
03.03.16	8,5

4.5 Kambobekken

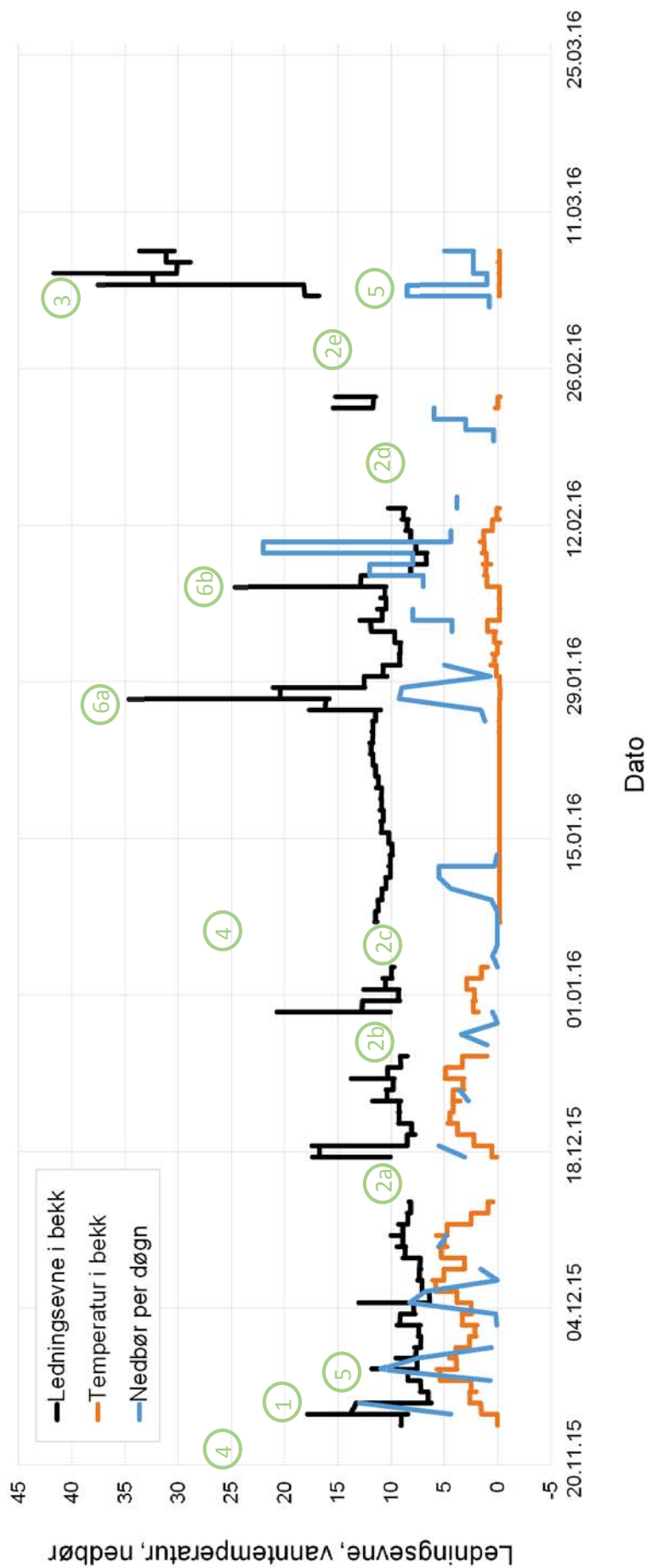
Resultater for Kambobekken i loggeperiodene er presentert i Figur 4.7. Merknadene i figuren blir beskrevet under.

Merknad ②(a-e) markerer opphold i kurvenes ledningsevne og vanntemperatur. I flere perioder i vinter viser temperaturen flere minusgrader (merknad 2a-2e). Dataene for disse periodene er fjernet, da det ikke er mulig at vannet holder slike lave temperaturer. Temperaturen i bekken ligger nær null store deler av loggeperioden. I lengre perioder i januar ligger temperaturen på -0,1 til -0,7 °C.

Merknad ③ markerer maksimalt målt ledningsevne. Den ble målt til 41,7 mS m⁻¹ 05.03.16 kl. 08:10, på samme tidspunkt holdt vannet -0,1 °C. Tre døgn senere, 08.03.16 ble en nesten tilsvarende høy ledningsevne registrert, 41,5 mS m⁻¹, på samme tidspunkt holdt vannet en temperatur på -0,1 °C. Det er også blitt registrert to andre ytterpunkter av veldig høy registrert ledningsevne ⑥ (a og b).

Store deler av loggeperioden holdt vannet en veldig høy turbiditet og logger måtte ved flere anledninger tørkes av for å kunne tømmes.

Kambobekken



Figur 4.7: Ioransje og blått; vannets temperatur (°C) og ledningsevne (mS m⁻¹) i Kambobekken fra 23.11.15 til 12.03.16. Grå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på Meteorologisk institutts målestasjon i Halden (Meteorologisk institutt). Felter uten registrerte data for temperatur- og ledningsevne er perioder hvor logger frøs inne. For nedbørsgrafen er dette perioder uten registrerte nedbørsdata på aktuell målestasjon. Merknad ① - ⑥ blir beskrevet i kapittel 4.4 og 4.5.

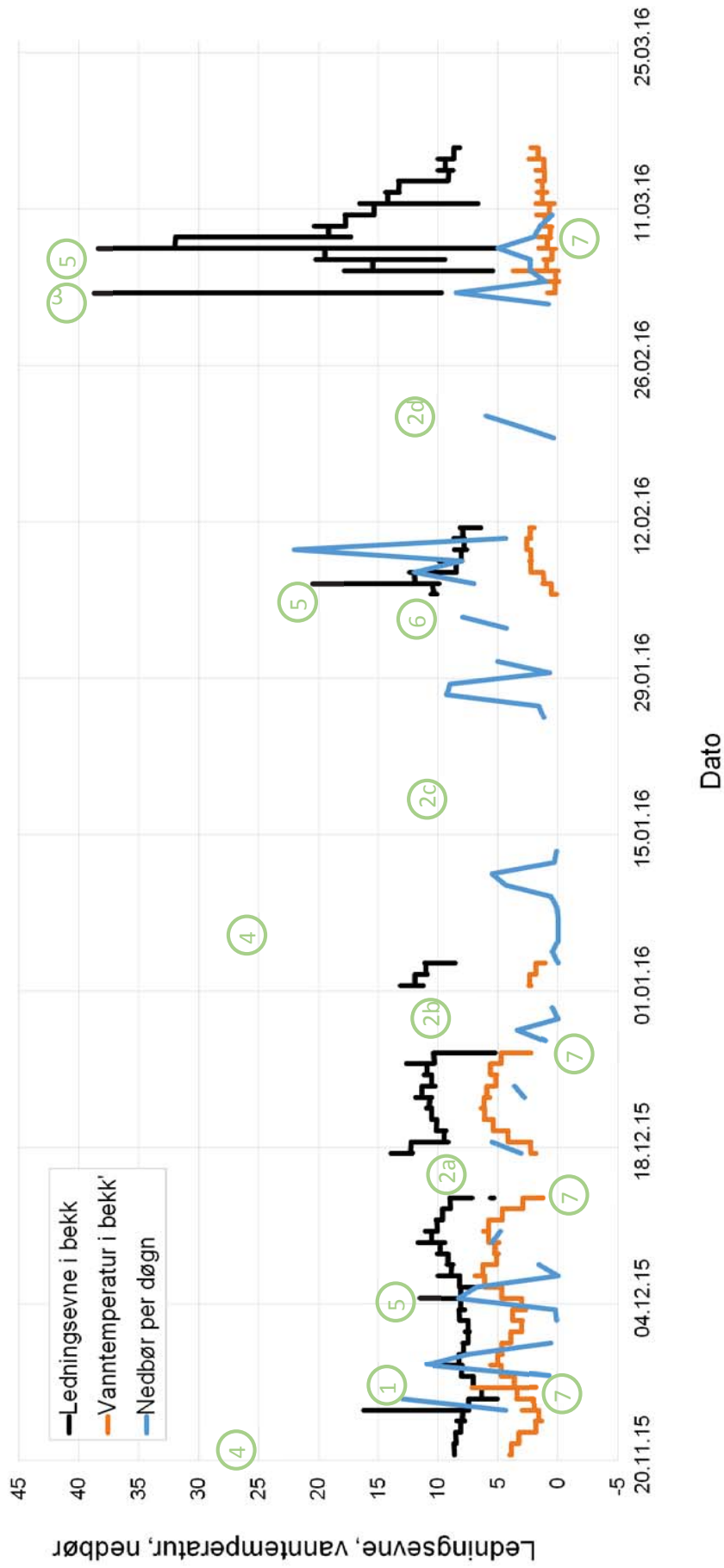
4.6 Ingedalsbekken

Resultater for Ingedalsbekken i loggeperiodene er presentert i Figur 4.8. Merknadene i figuren blir beskrevet under.

Merknad ②(a-d) markerer opphold i kurvene for ledningsevne og vanntemperatur. I flere perioder gjennom vinteren viser målingene temperaturer helt ned til minus 10,0 °C (merknad 2a-2c). I en annen periode (merknad 2d) varierer temperaturen mellom åtte varmegrader og ni minusgrader over en periode på 20 dager. Dataene for disse periodene er fjernet, da de ikke gir logiske resultater. For å få lest av loggeren ble den tatt inn for tining 07.01.16 og på grunn av tykk is ble den lagt ut igjen først 05.02.16 (⑥).

Merknad ③ markerer maksimalt målt ledningsevne. Den ble målt til 38,7 mS m⁻¹ 03.03.16 kl. 15:40, på samme tidspunkt holdt vannet 0,9 °C. Det er også blitt registrert fire store ytterpunkter av veldig lav ledningsevne ⑦.

Ingedalsbekken



Figur 4.8: I oransje og svart; vannets temperatur ($^{\circ}\text{C}$) og ledningsevne (mS m^{-1}) i Ingedalsbekken fra 20.11.15 til 16.03.16. Blå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på Meteorologisk institutts målestasjon i Halden (Meteorologisk institutt). Felter uten registrerte data for temperatur- og ledningsevne er perioder hvor logger frøs inne. For nedbørsgrafen er dette perioder uten registrerte nedbørsdata på aktuell målestasjon. Merknad ① - ⑦ blir beskrevet i kapittel 4.4 og 4.6.

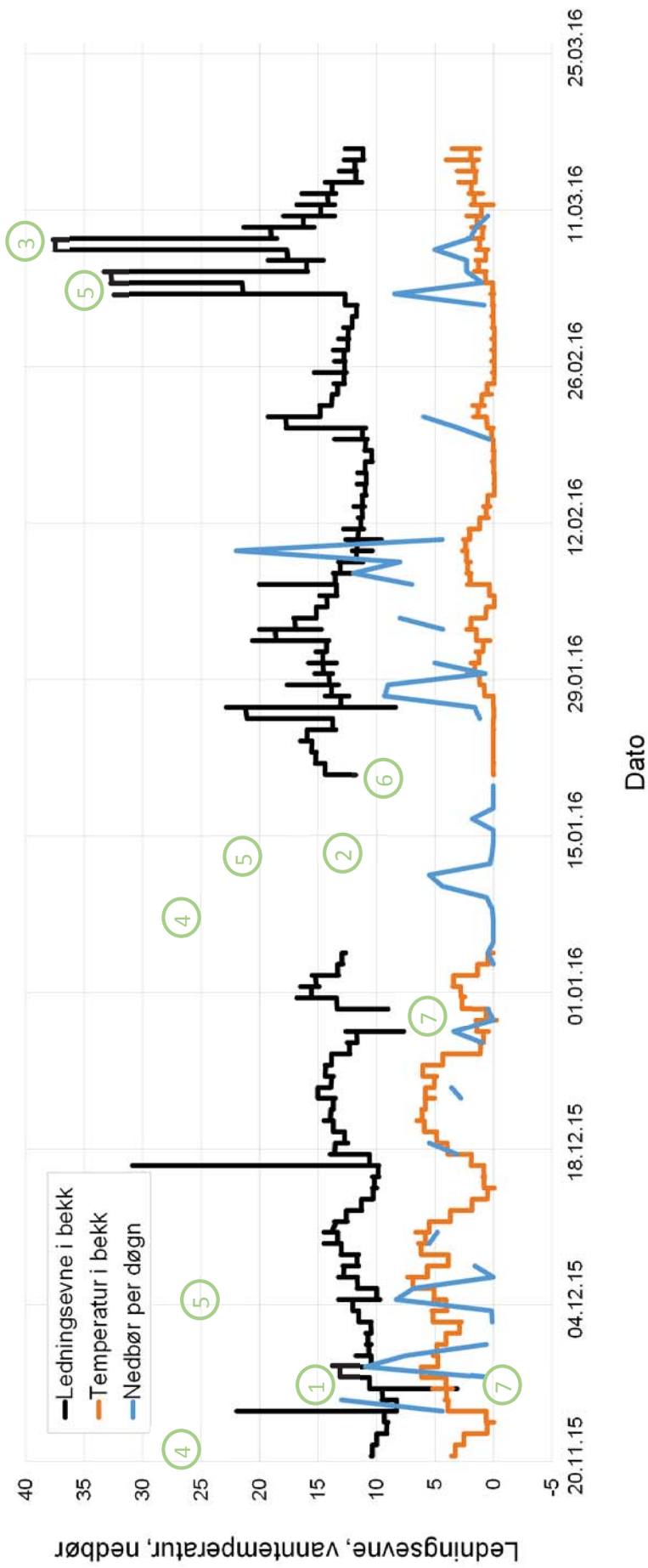
4.7 Åkentobekken

Resultater for Åkentobekken i loggeperiodene er presentert i Figur 4.9. Merknadene i figuren blir beskrevet under.

Merknad ② markerer opphold i kurvene for ledningsevne og vanntemperatur. I en periode i løpet av vinteren frøs loggeren inne i is. Dataene fra denne perioden er fjernet, da de ikke gir reelle resultater. For å få lest av loggeren ble den tatt inn for tining 07.01.16 og lagt ut igjen 20.01.16 (⑥). På to punkter før dette er temperaturen ned mot null før temperaturen stiger igjen. Deretter stiger ledningsevnen raskt og høyt. I perioden fram til loggeren ble tatt hang den nær land. Ved utsetting 20.01.16 ble den sluppet ned i bekken gjennom et hull midt på isen. Da isen smeltet ble loggeren liggende noe på bekkenes bunn før den ble festet nærmere land igjen. Denne perioden sammenfaller med perioden hvor temperaturen er nær null.

Merknad ③ markerer maksimalt målt ledningsevne. Den ble målt til $37,6 \text{ mS m}^{-1}$ 08.03.16 kl. 00:25, på samme tidspunkt holdt vannet $1,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Det er to store ytterpunkter av veldig lav registrert ledningsevne ⑦.

Åkentobekken



Figur 4.9: I oransje og svart; vannets temperatur ($^{\circ}\text{C}$) og ledningsevne (mS m^{-1}) i Åkentobekken fra 20.11.15 til 16.03.16. Blå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på Meteorologisk institutts målestasjon i Halden (Meteorologisk institutt). Felter uten registrerte data for temperatur- og ledningsevnegrafen er perioder hvor logger frøs inne. For nedbørsgrafen er dette perioder uten registrerte nedbørsdata på aktuell målestasjon. Merknad ① - ⑦ blir beskrevet i kapittel 4.4 og 4.7.

4.8 Hjelmungbekken

Resultater for Hjelmungbekken i loggeperiodene er presentert i Figur 4.11. Merknadene i figuren blir beskrevet under.

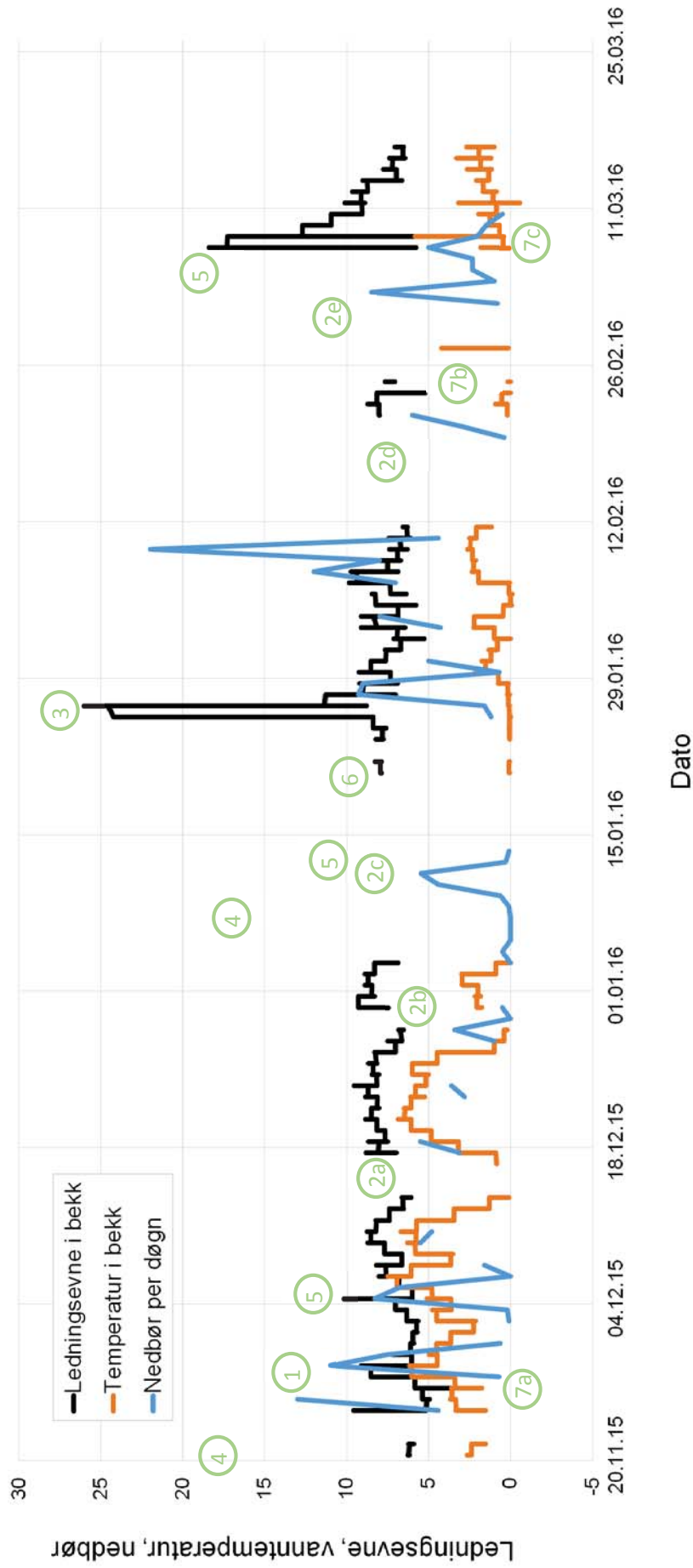
Merknad ②(a-e) markerer opphold i kurvene for ledningsevne og vanntemperatur. I flere perioder i løpet av vinteren (merknad 2a-2d) frøs loggeren inne i is, eller ledningsevnesensoren ble sperret på annen måte. Disse dataene er derfor fjernet da de ikke gir reelle resultater. Figur 4.10 viser issvullen loggeren var innefrosset i ved avlesning 07.01.16. For å få lest av loggeren ble den tatt inn for tining 07.01.16 og lagt ut igjen 20.01.16 (⑥). I dette området frøs bekken kun igjen i et større område rundt loggeren/tauet og vaieren som loggeren hang i. Vannet rant som normalt i resten av bekken. I løpet av perioden loggeren var inne var det en lengre varmeperiode hvor det meste av snø og is i området smeltet. Da loggeren ble hengt ut igjen 20.01.16 ble den festet til en rot dypere ned i bekken for å hindre frost rundt sensorene. Ved senere sjekk var vannstanden sunket og loggerens ledningsevnesensor lå dekket til av løsmasser én gang, mens det en annen gang var frost rundt sensoren.

Merknad ③ markerer maksimalt målt ledningsevne. Den ble målt til $26,1 \text{ mS m}^{-1}$ 26.01.16 kl. 00:30, på samme tidspunkt holdt vannet $0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Maksimumspunktet kommer rett etter en periode med manglende data. Etter toppen kommer store variasjoner i ledningsevnen de neste dagene. Deriblant tre av de seks målte ytterpunktene av veldig lav registrert ledningsevne ⑦(a-c).



Figur 4.10: Innefryst logger i Hjelmungbekken. Rett utenfor er det ingen is på bekken og vannet renner som vanlig. Rød ring og pil viser loggeren i issvullen. Bilde er tatt 07.01.16

Hjelmungbekken



Figur 4.11: I oransje og svart; vannets temperatur (°C) og ledningsevne (mS m⁻¹) i Hjelmungbekken fra 20.11.15 til 16.03.16. Blå kurve viser nedbør (mm) for samme tidsperiode registrert på meteorologisk institutts målestasjon i Halden (Meteorologisk institutt). Felter uten registrerte data for temperatur- og ledningsevne er perioder hvor logger frøs inne. For nedbørsgrafen er dette perioder uten registrerte nedbørsdata på aktuell målestasjon. Merknad ① - ⑦ blir beskrevet i kapittel 0.

4.9 Teoretiske maksimale kloridkonsentrasjoner

For å finne et mål på bekkenes teoretiske maksimale kloridkonsentrasjoner ble følgende utregninger gjort: Antar at klorid har en spesifikk ledningsevne på $7 \cdot 10^3 \text{ (mS m}^{-1}\text{)/(mol L}^{-1}\text{)}$ (Golterman 1969). Videre vet vi at den molare massen M er $35,45 \text{ g Cl mol}^{-1} = 35,45 \cdot 10^3 \text{ mg Cl mol}^{-1}$. Dette gir $0,2 \text{ (mS m}^{-1}\text{) / (mg Cl L}^{-1}\text{)}$. Videre antas det at klorid maksimalt utgjør 50 % av den målte ledningsevnen, da natrium og andre bakgrunnsioner fra andre kilder enn veisalt utgjør resten. Deler derfor ledningsevnen på to før tallet deles på faktoren det ble kommet fram til over (0,2).

Ved å ta maksimalt målt ledningsevne for Bunnefjorden i Årungsella ($325,79 \text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$) får vi følgende resultat:

$$325,79 \text{ }\mu\text{S cm}^{-1} = 32,58 \text{ mS m}^{-1} : 2 = 16,29 \text{ mS m}^{-1}$$

$$16,29 \text{ (mS m}^{-1}\text{) / } 0,2 \text{ (mS m}^{-1}\text{) / (mg Cl L}^{-1}\text{) = } 82 \text{ mg Cl L}^{-1}.$$

Med dette antas det at den teoretisk maksimale tilførselen av klorid, gjennom veisalt, ved Bunnefjorden i Årungsella er 82 mg L^{-1} i løpet av vinteren og våren 2016. Maksimalt tilført andel klorid ved Bunnefjorden og de øvrige loggeområdene er presentert i Tabell 4.3.

Tabell 4.3: Teoretisk maksimal kloridkonsentrasjon registrert i alle bekkene i loggeperioden.

BEKK	KONSENTRASJON (MG CL L ⁻¹)
ÅRUNGSELVA - BUNNEFJORDEN	82
ÅRUNGSELVA - VASSUMKRYSET	60
ÅRUNGSELVA – ÅRUNGEN	34
STAMNESBEKKEN	32
KAMBOBEKKEN	104
INGEDALSBEKKEN	97
ÅKENTOBEEKKEN	94
HJELMUNGBEEKKEN	65

5 Diskusjon

5.1 Årungselsva

Årungselsva ble logget som et transekt med tre loggere fordelt langs elva. Det har blitt logget ved tre ulike steder i bekken; nær Bunnefjorden (logger 1), nær E6 med flere påkjøringsramper (logger 2) og på oversiden av E6 nær innsjøen Årungsens utløp (logger 3; uten veier som saltes ovenfor i nedbørsfeltet). Bekken har stabilt god vannføring og lite gjenising igjennom vinteren og er den av de undersøkte bekkene med høyest middelvannføring (nevina.nve.no).

Logger 3, øverst i Årungselsva, er som eneste logger plassert nær utløpet fra en større innsjø. Årungselsva har noenlunde stabil temperatur igjennom loggeperioden; omkring 4 °C langs hele transektet. Årungselsva er også lite preget av gjenising i løpet av loggeperioden. Maksimalt beregnet kloridkonsentrasjon er om lag 34 mg Cl m⁻¹. Dette er langt under det som regnes som skadelig for ulike stadier av sjøørret (Tabell 1.1). Innsjøen Årungen har trolig en positiv effekt på Årungselsva. Ved å ha en tilførsel som skaper en fortynnende effekt på veisalt, og ved at innsjøen sikrer jevnt god vanntilførsel og gjennomstrømning nedover langs elva (Tjøstheim 2011).

Logger 2 ved Vassumkrysset hadde perioder med mye nedbør i midten av februar. Midt i denne perioden ble også høyeste ledningsevne målt. Ledningsevnetoppen ved logger 2 tilsvarte en maksimal teoretisk kloridkonsentrasjon på 60 mg Cl L⁻¹, noe som var nær en dobling av hva som ble registrert øverst i Årungselsva (logger 3). Logger 2 ligger svært nære flere veier som saltes (flerfelts E6 og påkjøringsfelt til E6). Vannstanden ved logger 2 (Vassumkrysset) viser også større svingninger enn ved de andre stasjonene i elva, og har flere perioder med lav vannstand hvor loggerens temperatursensor ble hengende over vannivå. Amrhein et al. (1992) er blant flere som skriver at veisalt potensielt vil kunne påvirke vannkvaliteten i nærliggende vannforekomster. Tidligere forskning har påvist forringelse av vannkvaliteten i enkelte vannforekomster (Sivertsen 2012), men dette gjelder trolig bekker i større grad enn større innsjøer under marin grense (Haaland et al. 2012). Haaland et al. (2012) påpeker at det skal mye veisalt til for at sirkulasjonsmønsteret i innsjøer under marin grense, som Årungen, blir påvirket i stor grad grunnet stor fortynning. Til tross for dette viser resultatene i Årungselsva ved Vassumkrysset (logger 2) at det blir registrert dobbelt så høy maksimal ledningsevne sammenlignet med utløp Årungen (logger 3). Dette kan altså tyde på at det er noe påvirkning av veisalt i bekken nedstrøms utløpet Årungen. Tendensen gjelder gjennom hele loggeperioden.

Logger 1, omtrent 400 meter fra Årungseltas utløp i Bunnefjorden, innebar logging av vannkvalitet forholdsvis nært estuariet. Ved unormalt høye kloridmålinger ville dette kunne blitt satt i sammenheng med nærheten til saltvann/brakkvann med høy ledningsevne, men loggerens plassering var lagt omlag 10 høydemeter opp i bekken for nettopp å unngå innblanding via tidevann. Maksimal målte ledningsevne ble registrert i en periode med mye nedbør (opp imot 10 mm i døgnet i flere dager (Meteorologisk institutt)). Det var også noe høyere ledningsevne over flere dager i perioden rundt den målte toppen, mot resten av registreringene. Maksimal målte ledningsevne tilsvarte en teoretisk beregnet kloridkonsentrasjon i Bunnefjorden på 82 mg Cl L⁻¹. Det måles altså en økende konsentrasjon av klorid fra bekkenes utspring fra innsjøen Årungen til nærmest fjorden. Maksimal ledningsevne og ditto beregnet konsentrasjon av klorid er derimot langt under det som regnes for skadelig for ulike stadier av sjøørret (Tabell 1.1).

5.2 Stamnesbekken

Resultatene fra logger 4, i Stamnesbekken, viser store svingninger i ledningsevne. Kun en periode fra slutten av januar og til loggeren ble tatt inn 12.03.16 er det registrert noen lunde jevn ledningsevne. Det er også store opphold i data i fra Stamnesbekken da vannstanden sank og bekken frøs igjen i flere, lengre perioder i vinter. Dette førte til at loggeren tidvis hang over vannivå og tidvis frøs inne i is. De store svingningene antas å ha en sammenheng med at dette er den minste bekken, altså den med minst vannføring som ble logget (nevina.nve.no). Små vannmasser vil lettere bli påvirket av forurensning enn større vannmasser som i Årungselta. Avrenning vil kunne gi større effekter i bekkemiljøet da det vil være lite fortykning (Tjøstheim 2011).

De ledningsevnetoppene som ble målt i bekken faller inn i et mønster hvor det først er et større nedbørsfall for så å registrere økt ledningsevne noe senere (Figur 4.6; vedlegg C). Dette gjelder spesielt fra loggestart og til midten av desember. Nedbørs- og lufttemperaturene viser også et tydelig mønster hvor temperaturen først synker mot null, for så å registrere større mengder nedbør (opptil 14 mm i døgnet). Deretter følger en varmere periode før dette gjentar seg igjen. Også vanntemperaturen følger disse variasjonene i noe grad. Dette indikerer forhold som krever veisaltning etterfulgt av store smelteepisoder som fører til økt avrenning og potensiell kloridtilførsel i bekken (Mahrosh et al. 2011; Wike 2007). Den maksimale kloridkonsentrasjonen ble beregnet til å være 32 mg Cl L⁻¹, noe som ligger et godt stykke over de teoretiske kloridkonsentrasjonene for resten av perioden i bekken. Episoden kom etter en lengre periode med noe nedbør (rundt 5 mm; vedlegg C). Fem dager før kloridtoppen ble registrert, sank også lufttemperaturen fra noen plussgrader og ned til temperaturer rundt - 2 °C og ble så liggende der. Dette indikerer at det har vært værforhold som har krevd salting av veiene (Wike 2007)

Bekken skiller seg fra de andre bekkene på flere måter. Stamnesbekken har med 32 mg Cl L^{-1} den lavest målte teoretiske maksimale kloridkonsentrasjon. Bekken ligger også lengst i fra saltet vei både i luftlinje og ved å følge bekken (omtrent 1,7 og 2,8 km; Tabell 3.1). Dette indikerer at ved større avstand fra saltet vei vil påvirkningen av veisalt være mindre, noe som er forventet på grunn av økt grad av fortykning fra nedbørsfeltet forøvrig. Den maksimale konsentrasjonen i bekken på 32 mg Cl L^{-1} , er vesentlig lavere enn det som vil ha innvirkning på sjøørret, uansett livsstadier (Mahrosh et al. 2011; Mahrosh et al. 2014). Ledningsevnen ligger dessuten godt innenfor det som anses som normalt i naturlige systemer under marin grense ($10 - 50 \text{ mS m}^{-1}$) (Ødegaard & Norheim 2014).

5.3 Kambobekken

Kambobekkens oppkomme er rett ved E6. Her renner bekken igjennom en fangdam anlagt av SVV (Andersen 2016). Fangdammen er rett ved E6. Det ble logget (logger 5) i bekken ett stykke fra E6 (omtrent 600 m). Fangdammen får tilført avrenning fra den delen av E6 som ligger i nedbørsfeltet og får med det mest sannsynlig tilført større mengder klorid fra veisalt gjennom dette.

Fangdammen er liten (Andersen 2016), men vil likevel kunne magasinere opp og kunne føre til økte tilførsler av blant annet klorid videre i bekken (Tjøstheim 2011). Det kan være et resultat av en slik magasinering som har forekommet da bekkens maksimale ledningsevne ble registrert 05.03.16 og 08.03.16, henholdsvis 42 og 41 mS m^{-1} . Omregnet til maksimale teoretiske kloridkonsentrasjoner tilsvarer opp til 104 mg Cl L^{-1} . Dette er de eneste registreringene $> 100 \text{ mg Cl L}^{-1}$ og i tillegg den høyeste registrerte konsentrasjonen for alle bekkene i studiet. Dette forekom som en av to ekstreme topper i løpet av loggeperioden, med logget ledningsevne høyt over de andre registreringene i bekken. Vedlegg B – Saltingsdager angir mengden utlagt salt og ved hvilket klokkeslett det ble lagt ut for utvalgte saltingsdager for bekkene i Østfold i vinter. Der er en av datoene i overnevnte periode med varierende værforhold med, 04.12.16. Natt til denne datoen ble det saltet noe mindre enn ved de to andre registrerte saltingsdatoene (dette gjelder E6 i hele fylket). Dette er fordi det bare ble presaltet, da det var meldt synkende temperaturer til rundt null og nedbør (Signebøen 2016). Registrert nedbørsdata (Vedlegg D - Værdata, Halden og Sarpsborg) for 04.12.16 og dagene rundt viser at da dette skjedde, gikk temperaturen fra plussgrader til minusgrader 03.12.16 og samme dag er det registrert nedbør. Presaltingen ble gjort for å hindre at snøen frøs på i veibanen og senket friksjonen. Ved benytte rett NaCl-blanding vil frysepunktet kunne senkes helt til $-21 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Vaa & Sakshaug 2007). Ettersom det bare ble presaltet dette døgnet og lufttemperaturen steg kan en anta at dette økte friksjonen i tilstrekkelig

grad. Både den 04.12.15, og de øvrige saltingsdagene, er E6 ved Kambobekken det eneste av de registrerte områdene hvor det som oftest saltes omtrent like mye i nord- og sørgående retning av de registrerte områdene i Østfold. Eksempelvis 10 g m^{-2} i nordgående retning og 8 g m^{-2} i sørgående retning den 04.12.16. Dette er et området med omlag lik mengde trafikk i begge retninger (Statens vegvesen). Denne bekken ligger helt nord i fylket og er i større grad preget av pendling i begge retninger enn de tre bekkene sør i Østfold (Andersen 2016). Flere biler vil blant annet føre til økt kompaktering, økt salting vil gi mindre kompaktering og ising i veibanen og med det økt friksjon og tryggere kjøreforhold (Sivertsen 2012).

Kambobekken er sammen Årungselsva og Ingedalsbekken den bekken med størst vannføring av de loggede. Dette innebærer blant annet en jevnere temperatur og en noe jevnere vannføring enn i de mindre bekkene. Kambobekken er noe mindre enn Årungselsva og dette kan ha ført til at større nedbørsmengder har gitt utslag i noe varierende vanntemperatur i november og desember. Mye av nedbøren i denne perioden er registrert på dager med varmegrader, før temperaturen falt til temperaturer ned mot -5°C i ettertid. Det er registrert få og små ledningsevnetopper i disse dagene. Med de varierende lufttemperaturene kan det tidvis ha vært ugunstig for salting, da det med temperaturer som avviker fra 0 til -9°C (Mahrosh et al. 2011) vil kunne skape dårligere veiforhold som er glattere eller mer slapsete (Vaa & Sakshaug 2007).

Mahrosh et al. (2014) har i sine forsøk dokumentert få effekter på sjørøret ved konsentrasjoner rundt 100 mg Cl L^{-1} , Kun ytterst få deformasjoner på hale og ryggrad ved konsentrasjoner av dette nivået ved befruktningsstadiet. I Kambobekken er dosen trolig lav da episodene med konsentrasjoner på dette nivået kun varte i få minutter. Mahrosh et al. (2014) sitt forsøk holdt denne konsentrasjonen over 24 timer, noe som ikke er sannsynlig at vil forekomme her. For det meste av tiden lå beregnede konsentrasjonene langt under 100 mg Cl L^{-1} og dermed utenfor fare. Gjennomsnittlig beregnet kloridkonsentrasjon i loggeperioden var 30 mg Cl L^{-1} .

5.4 Ingedalsbekken

Ingedalsbekken er sammen med Kambobekken og Årungselsva de største bekkene som ble registrert. Av disse bekkene vil en ut i fra resultatene anslå Ingedalsbekken til å ha den mest varierende vannføringen. I en lengre periode frøs bekken igjen og loggeren (logger 6) frøs inne. Foruten disse periodene, samt markante ledningsevnetopper, er ledningsevnen og vanntemperaturen noenlunde jevn hele perioden. I disse periodene kommer de små, langvarige toppene i ledningsevne i en periode etter at

større nedbørsfall er registrert. Resultatene kan indikere at nedbørsepisodene fører til en økt avrenning, men på grunn av at det er et større vassdrag tar endringene noe lengre tid enn i mindre bekker som Stamnesbekken (Tjøstheim 2011).

Ved de to større ledningsevnetoppene (03.03.16 og 07.03.16) ble den maksimale kloridkonsentrasjoner beregnet til tett oppunder 100 mg Cl L^{-1} . Dette er på nivå med det som ble registrert i Kambobekken; et nivå som ligger helt på grensen til å kunne påvirke sjøørret om de utsettes for slike konsentrasjonene over lengre tid i befruktningsstadiet (Mahrosh et al. 2014). Men, også her er dette sjeldne hendelser og de er kortvarige hendelser på minutter til få timer, noe som gir lav dose. Denne ledningsevnetoppen ble også registrert dagen etter lufttemperaturer rundt minuspunktet før det så ble registrert en av periodenes største nedbørsfall (8,0 mm, 03.03.16; Vedlegg D). Dette indikerer en episode med veisalting, nedbør og så påfølgende økt avrenning da lufttemperaturen steg igjen (Mahrosh et al. 2014; Resen-Fellie & Dahlen 2003; Wike 2007). Rett etter denne perioden er en av dagene med saltingsdata for området; 07.03.16. Her ble det saltet mer i nordgående veibane enn i sørgående veibane på E6 ved Ingedalsbekken, Åkentobekken og Hjelmungbekken (vedlegg B). Maksimale forskjeller er 20 g m^{-2} mot 8 g m^{-2} (vedlegg B). Dette kommer av at det er flere som kjører fra sør mot nord på morgenen i dette området (Statens vegvesen) (pendlere nordover) og de kreves størst fokus på kjøreforhold i nordgående retning tidlig på dagen. En større trafikkmengde vil gi økt sannsynlighet for kompaktering av snøen. Mindre trafikk vil gi mindre kompaktering og større sjanse for at brøytebilen får fjernet snøen fra veibanen og unngått salting (Sivertsen 2012). Tilsvarende ble det 11.01.16 saltet to ganger på E6 i hele Østfold. Da steg temperaturen fra å ha ligget rundt -7°C i en tid til rundt 0°C . Samme dag økte nedbørsmengden fra opphold i dagene før til 10 mm 10.-11.01.16. Resultatene viser i samme periode en ledningsevnetopp på 21 mS m^{-1} (Figur 4.8). Alt dette indikerer at veisaltingen kan gi en rask respons på nærliggende vassdrag, via klorid som konservativt element som binder seg lite i nedbørsfeltets jordsmonn (Amrhein et al. 1992; Négrel & Deschamps 1996).

5.5 Åkentobekken

Ledningsevntopper fra logger 7 i Åkentobekken følger mønsteret til logger 6 i Ingedalsbekken (Figur 4.8 og Figur 4.9). I tillegg registreres omtrent samme teoretiske maksimale kloridkonsentrasjon som Ingedalsbekken (94 mg Cl L^{-1} 03.03.16 og 97 mg Cl L^{-1} 08.03.16). Nedbørsperioden registrert i Østfold fra 02.-10.03.16 sammenfalt med ledningsevnetoppene registret i denne perioden. Som for Ingedalsbekken, avhenger ledningsevnen i bekken av salting av vei, slik at langvarige nedbørsperioder kan gi flere korte topper i ledningsevne. Vannkvaliteten i Åkentobekken, med hensyn til konsentrasjoner av

klorid, ble ikke funnet å kunne gi negativ innvirkning på sjøørreten i sårbare livsstadier (Mahrosh et al. 2014).

5.6 Hjelmungbekken

Hjelmungbekken er en av bekkene som ble logget nærmest E6. I tillegg ligger fangdammen Slang i vassdraget i mellom E6 og området som ble logget. Fangdammen får tilført det meste av avrenningen fra E6 i dette nedbørsfeltet, og vil med det kunne få tilført større mengder klorid fra veisalt gjennom dette (Andersen 2016).

Maksimalt teoretisk kloridkonsentrasjon i området tilsier derimot ikke at det er store mengder klorid som blir tilført bekken. Den maksimale registreringen på 65 mg Cl L^{-1} er en enkelthendelse og godt over den nokså jevne konsentrasjonen resten av loggeperioden.

Konsentrasjonstoppen på 65 mg Cl L^{-1} ble registrert 26.01.16. Toppen ser ikke ut til at noe sammenheng med nedbør, da det er minimalt med nedbør i dagene før toppen. Det ser derimot ut til at den forhøyde konsentrasjonen kan ha en sammenheng med en smelteperiode. I tiden før den registrerte toppen er det en lengre kuldeperiode. Fra 14.-21.01.16 er temperaturene helt nede i -15°C . Etter dette stiger temperaturen jevnt, og fra 24.01.16 er det plussgrader som fortsetter å stige de neste dagene. Dette indikerer at endringer i klimaet forårsaker hyppigere smelte/tine-episoder utover den store vårsmeltingen og at dette kan føre til økt tilførsel av veisalt gjennom avrenning fra vei (Wike 2007; Økland & Økland 1995).

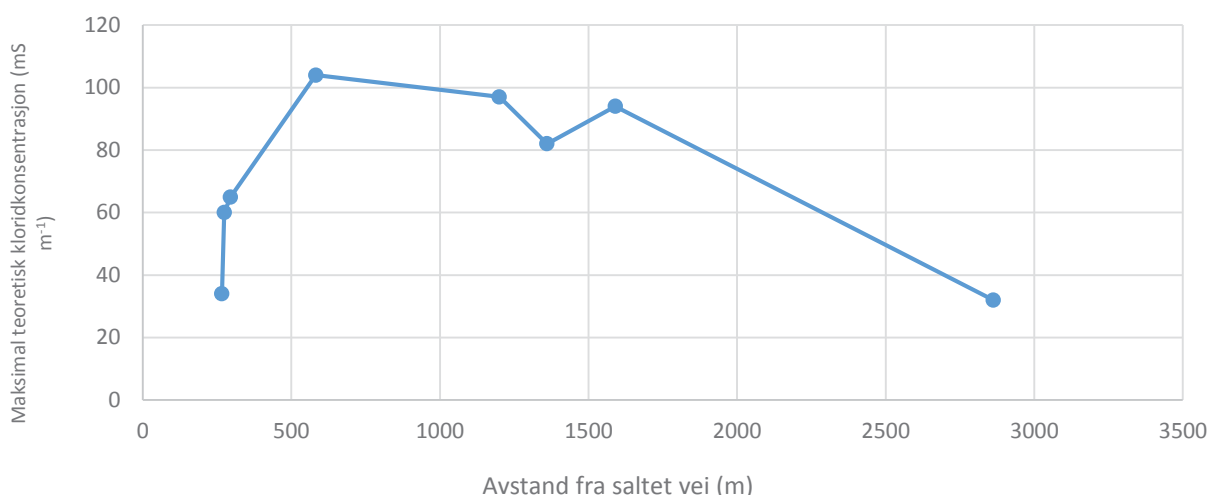
Data fra logger 7 viser ingen topper utenom toppen på 65 mg Cl L^{-1} og påvirkes tilsynelatende ikke av de registrerte nedbørstoppe eller smelteperiodene (Vedlegg D). Selv om fangdammen ikke er spesielt stor, kan den muligens ha en effekt som en liten buffer med hensyn til vannføring, som gir jevn tilførsel og en lignende funksjon som Årungsälva.

65 mg Cl L^{-1} er godt under tidligere forsøks konsentrasjoner som har vist negative effekter på sjøørretens tidlige livsstadier (Mahrosh et al. 2014; Tollefsen et al. 2015).

5.7 Sammenfatning av diskusjon

Nederst i Årungselsva ved Bunnefjorden, samt i Kambobekken, Ingedalsbekken og Åkentobekken ble maksimalt ledningsevne registrert i starten av mars. De andre bekkene nådde maksimum på ulike tider fra slutten av november til starten av februar. De fire førstnevnte nådde altså målte kloridtopp i det som anses som en kritiske periode for sjøørret; smoltifiseringsperioden om våren (Miljødirektoratet 2015). Høyeste målte var Kambobekken med 104 mg Cl L^{-1} . Data fra overvåkingen tilsier med dette at ingen av bekkene ble utsatt for mer enn 104 mg Cl L^{-1} i løpet av loggeperioden.

Ledningsevнемaksima som ble registrert i begynnelsen av mars, kom på samme tidspunkt som en nedbørsperiode over flere dager (vedlegg C og Vedlegg D). Nedbørsperioden sammenfalt med temperaturer rundt frysepunktet (vedlegg C og Vedlegg D), noe som trolig har resultert i at det også har blitt saltet flere dager i samme tidsperiode. Négrel og Deschamps (1996) beskriver hvor lav retensjon og adsorberingsgrad klorid har og at det dermed ikke vil holdes spesielt godt igjen i jordsmonn og vegetasjon (klorid er et konservativt element). Dette i sammenheng med at økt nedbør, indikerer at en større frekvens av nedbørsepisoder i vinterhalvåret vil medføre økt salting og videre økte kloridkonsentrasjoner i vassdragene (Wike 2007). De maksimale teoretiske kloridtoppene varierer stort i mellom de ulike bekkene, også innad i transektet i Årungselsva. Både bekken i seg elv og loggernes plassering var i ulik avstand til E6, og i Tabell 3.1 er loggernes avstand til veien i forhold til bekkens beregnede teoretiske kloridtopp framstilt. Dersom man ser bort i fra Årungselsva, som har jevnt påfyll av vann fra Årungen, er det en tendens til at de høyeste kloridtoppene måles i bekker nærmest E6. Magasinering og ulike transporthastighet vil kunne føre til forsinkelser av kloridets transport i vannveier innad i nedbørsfeltet (Tjøstheim 2011).



Figur 5.1. Maksimal teoretisk kloridkonsentrasjon ved de åtte loggepunktene i løpet av vinteren 2015/2016 i forhold til avstand til vei. De tre punktene nærmere enn 500 meter er i Årungen, Vassumkrysset og Hjelmungbekken. Videre følger Kambobekken, Ingedalsbekken, Bunnefjorden, Åkentobekken og helt lengst unna ligger Stamnesbekken.

Maksimal kloridkonsentrasjon på 104 mg Cl L⁻¹ er godt under konsentrasjoner som tidligere undersøkelser har ansett som kritiske (5000 mg L⁻¹) (Mahrosh et al. 2011; Mahrosh et al. 2014; Tollefsen et al. 2015). Høye kloridkonsentrasjoner fram til smoltstadiet vil kunne føre til alt fra død på eggstadiet, endret klekkesid til deformasjoner som tohodet embryo, to-kroppet embryo, deformerte haler og ryggrad (Tabell 1.1)(Mahrosh et al. 2014). Konsentrasjoner under 500 mg L⁻¹ og over kortere tidsperioder vil trolig ikke utgjøre noen trussel. Tidligere forsøk viser til at det i befruktningsstadiet er registrert enkelte tilfeller av endret klekkesid og deformasjoner på grunn av klorid (Mahrosh et al. 2014). Ved konsentrasjoner ned mot det som er registrert langs sidebekkene i denne undersøkelsen (50 - 100 mg Cl L⁻¹), anses klorid som ikke skadelig for de sårbare stadiene til sjørørret (Mahrosh et al. 2014). I tillegg er kloriddosene lave. Ledningsevnetoppene som ble registrert i bekkene varte kun i noen minutter til få timer før nivået sank igjen. Ledningsevnen var i perioder på opptil et par timer rundt maksima eller rett under maksima. Dette er langt unna de 24 timene eksponering som ble gjort i Mahrosh et al. (2014) sitt forsøk.

6 Konklusjon

I hypotesen det ble tatt utgangspunkt i at det i vinter- og vårsesongen vil kunne forekomme høye konsentrasjoner og doser av NaCl i utvalgte sjøørretførende bekker langs E6 i Akershus og Østfold som følge av veisalting, slik at det kan medføre negative effekter på ulike stadier av sjøørret.

Resultatene for de fem bekkene viser at de teoretiske kloridkonsentrasjonene i bekkene er langt unna det kritiske nivået på 5000 mg L⁻¹ i 24 timer. Høyeste målte resultat i løpet av logge-perioden er 104 mg Cl L⁻¹ (i Kambobekken) i en tidsperiode på under en time.

Flere av kloridtoppene i de ulike bekkene sammenfaller med dager hvor det både er registrert nedbør og temperaturer rundt 0°C eller kaldere. Dette er værforhold som krever salting av veier for å opprettholde tilstrekkelig gode kjøreforhold. Antar med dette at økte kloridkonsentrasjoner i veinære bekker har en sammenheng med salting av vei.

De prognoserte klimaendringene vil kunne føre til større variasjoner i fryse-/tinesykluser som følge av mindre stabile vintre. Dette vil sannsynligvis føre til økt salting. Resultatene antyder likevel at det skal forekomme store endringer for at kloridnivået skal bli kritisk for sjøørretens sårbare livsstadier.

Ut i fra resultatene i denne undersøkelsen utgjør klorid fra veisalt langs E6 trolig ingen trussel for sjøørret. Sekundære effekter som utvasking kobber er ikke vurdert her, men utgjør trolig en større trussel mot sjøørret og annen biota nær saltet vei.

7 Kilder

- Amrhein, C., Strong, J. E. & Mosher, P. A. (1992). Effect of deicing salts on metal and organic matter mobilization in roadside soils. *Environmental Science & Technology*, 26 (4): 703-709.
- Amundsen, C., French, H., Haaland, S., Pedersen, P., Riise, G. & Roseth, R. (2008). Salt SMART–Miljøkon sekvenser ved salting av veger–en litteraturgjennomgang. *Oslo: Statens vegvesen, Vegdirektoratet*, 2535. 98 s.
- Andersen, G. Ø. (2016). *Samtale med Gisle Ørbæk Andersen. Kontraktsleder område Østfold sør. Statens vegvesen, Moss*. Moss (02.03.2016).
- Bakkhaug, M. S. (2015). *Kulverter bygget av Statens Vegvesen langs E6 i Østfold som vandringshinder for fisk og amfibier*. Bacheloroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), Institutt for landskapsplanlegging. 46 s.
- Borch, H., Yri, A., Løvstad, Ø. & Turtumøygaard, S. (2007). Tiltaksplan for Årungen. *Bioforsk Rapport*. 52-56 s.
- Borgstrøm, R. & Hansen, L. P. (2000). *Fisk i ferskvann: et samspill mellom bestander, miljø og forvaltning*. [Oslo]: Landbruksforlaget. 376 s. : ill. s.
- Environmental Canada. (1999). Priority substances list assessment report. *Road salts, Health Canada*. 120 s. s.
- Gales, J. E. & VanderMeulen, J. (1992). Deicing chemical use on the Michigan state highway system. *IN: Chemical Deicers and the Environment*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 1992. : p 135-184.
- Golterman, H. L. (1969). *Methods for chemical analysis of fresh waters*. London. 172. s.
- Grande, M., Berge, D., Holtan, H., Røhr, P., Åstebøl, S. & Rognerud, B. (1993). Ny E6 Østfold grense-Vestby og ny dobbeltsporet jernbane Smørbekk-Rustad. Beregninger og vurderinger av vannforurensninger. *Rapport Norsk institutt for vannforskning (NIVA)*, 8257723460. 59 s.
- Grinderud, K., Rasmussen, H., Nilsen, S., Lillethun, A., Holten, A. & Sanderud, Ø. (2008). *GIS : geografiens språk i vår tidsalder*. Trondheim: Tapir akademisk forl. .
- Haaland, S., Turtumøygaard, S., Gjemlestad, L. J. & Nytrø, T. E. (2012). Salt SMART : vegsalt i innsjøer: tålegrenser mht. kjemisk sjiktning. *Rapport Statens vegvesen, Nr. 120*. Oslo: Statens vegvesen. 34 s. : PDF s.
- Haaland, S. (2016). *Samtale med veileder Ståle Haaland*. Ås (02.2016).
- Henriksen, A. & Lien, L. (1994). Tålegrenser for overflatevann-Metode og usikkerhet. *NIVA-rapport: 3139, 8257726087*. 24 s.
- Hindar, A. (1994). Acid water and fish death. *Nature*, 372 (6504): 327-328.

- Hindar, A., Henriksen, A., Kaste, Ø. & 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.
- Hjertager, A., Fekjan, J. & Ekeli, K. O. (2013). *Fisker: saltvanns- og ferskvannsarter i Norge*. Oslo: Schibsted. 340 s. : ill. s.
- Johnsen, T. (2000). Undersøkelser av en gammel fylling ved Ebbesvik på Lillesotra i Fjell kommune. *NIVA-rapport;4288*, 8257739189. 15 s.
- Jonsson, N. & Finstad, B. (1995). Sjøøret: økologi, fysiologi og atferd. *NINA Fagrapport*, 8242605688: NINA. 34 s.
- Kitterød, N.-O., Turtumøygard, S., Aakerøy, P. A., Haaland, S. & Wike, K. (2010). SaltSMART: estimering av gjennomsnittlig saltfluks fra veg til vannforekomst. *Teknologirapport vegdirektoratet*, 2589. 115 s.
- Kjensmo, J. (1997). The influence of road salts on the salinity and the meromictic stability of Lake Svinsjøen, southeastern Norway. *Hydrobiologia*, 347 (1-3): 151-159.
- Kristiansen, Ø. (1992). Bekker i kulturlandskapet - En registrering. *Fylkesmannen i Østfold, Miljøvernavdelingen*, 1/92. Moss. 147 s.
- Kronvall, K. W. (2013). Road salt and environmental hazards—identification of vulnerable water resources. I: *Urban Environment*, s. 465-474: Springer.
- Mahrosh, U., Teien, H.-C., Kleiven, M., Heier, L. S., Meland, S., Salbu, B. & Rosseland, B. O. (2011). Effect of road salt and copper on fertilization and early developmental stages of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *VD Rapport*. Oslo: Statens vegvesen. 23 s. : PDF s.
- Mahrosh, U., Kleiven, M., Meland, S., Rosseland, B. O., Salbu, B. & Teien, H.-C. (2014). Toxicity of road deicing salt (NaCl) and copper (Cu) to fertilization and early developmental stages of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of hazardous materials*, 280: 331-339.
- Meteorologisk institutt. *eKlima. Gratis tilgang til Meteorologisk institutts vær- og klimadata fra historiske data til sanntidsobservasjoner*. Tilgjengelig fra: http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39057&_dad=portal&_schema=PORTAL.
- Miljødirektoratet. *Laksefiske i Norge*: Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Arter-og-naturtyper/Villaksportalen/Laksefiske-i-Norge/> (lest 20.11.2015).
- Miljødirektoratet. (2000). *Naturbase. Faktaark: Naturtype*: Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: <http://faktaark.naturbase.no/naturtype?id=BN00097089>.
- Miljødirektoratet. (2014). Retningslinjer for utsetting av anadrom fisk. *Miljødirektoratet M186-2014*: 12.
- Miljødirektoratet. (2015). *Slik lever laks, sjøørret og sjørøye*: Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Arter-og-naturtyper/Villaksportalen/Slik-lever-laks-sjoorret-og-sjoroye/Sjoorret/> (lest 20.11.2015).

- Négrel, P. & Deschamps, P. (1996). Natural and anthropogenic budgets of a small watershed in the Massif Central (France): chemical and strontium isotopic characterization of water and sediments. *Aquatic Geochemistry*, 2 (1): 1-27.
- nevina.nve.no. *NEVINA Nedbørfelt-Vannføring-INdeks-Analyse, fra Norges vassdrags- og energidirektorat NVE*. Tilgjengelig fra: <http://nevina.nve.no/> (lest 08.04.16).
- NGU. (2015). *Arealinformasjon. Norge og Svalbard med havområder Norges geologiske undersøkelser* (NGU). Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/arealisNGU/> (lest 14.01.2016).
- Olsen, T. B. K. M. (2004). Kartlegging av naturtyper. Verdisetting av biologisk mangfold i Vestby kommune. . *Siste Sjanse rapport*. 23 + vedlegg (44 sider) s.
- Pura. (2009). Tiltaksanalyse for PURA. Vannområdet Bunnefjorden med Årungen- og Gjersjøvassdraget. *PURA-rapport*. 68 s.
- Resen-Fellie, O. P. & Dahlen, J. (2003). Temahefte til håndbok 111: Standard for drift og vedlikehold. *Intern rapport Statens vegvesen*, 2337. 272 s. s.
- Sandaas, K. & Enerud, J. (2015). Elvemusling i Årungsella. *Naturfaglige konsulettjenester* 13 s.
- Signebøen, G. (2016). *Samtale med driftsleder Glenn Signebøen i Mesta AS Øsfold*. Grålum (02.03.2016).
- Sivertsen, Å. (2012). Sluttrapport for etatsprogrammet Salt SMART. *Statens vegvesen rapporter*, 92. Oslo: Statens vegvesen. 101 s. s.
- Sivertsen, Å., Skoglund, M. R. & Eggan, M. (2015). Mengderapportering vinteren 2014/2015. *Statens vegvesen rapport*, 406: Statens vegvesen. 55 s.
- Snildal, J. M. (2014). *Effekter av veisaltning på fytoplankton i veinære innsjøer langs E134*. Masteroppgave. Telemark: Høgskolen i Telemark. 145 s.
- Solberg, E. W. (2016). *Effect of Tunnel Wash Water on Survival, Growth and Migration of Atlantic Salmon (Salmo salar) and Brown Trout (Salmo Salar) in River Årungsella*. Masteroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), Department of Ecology and Natural Resource Management. 89 s.
- Statens vegvesen. *Vegdata.no - Norsk vegdatabank (NVDB). Inneholder data under norsk lisens for offentlige data (NLOD) tilgjengeliggjort av Statens vegvesen*: Statens vegvesen (SVV). Tilgjengelig fra: [https://www.vegvesen.no/vegkart/vegkart/#kartlag:geodata/hva:\(~\)/hvor:\(\)/@600000,7225000,3](https://www.vegvesen.no/vegkart/vegkart/#kartlag:geodata/hva:(~)/hvor:()/@600000,7225000,3) (lest 10.02.2016).
- Statens vegvesen. (2012). *Norwat Nyhetsbrev 1*: Statens vegvesen. Tilgjengelig fra: http://www.vegvesen.no/_attachment/437589/binary/733412?fast_title=Nyhetsbrev+nr+1+NORWAT.pdf.
- Sygnal, L. & O'Brien, K. (2001). Virkninger av klimaendringer i Norge. *CICERO Report*, 2001:1. 37 s.
- Tjøstheim, H. (2011). *Romlig variasjon av klorid til norske vannforekomster ; Spatial variation of atmospheric chloride to norwegian water sources*. Masteroppgave Ås: Norwegian University of Life Sciences, Ås. 66 s.

- Tollan, A. (2002). *Vannressurser*. Oslo: Universitetsforl. 227 s. : ill. s.
- Tollefsen, K. E., Song, Y., Kleiven, M., Mahrosh, U., Meland, S., Rosseland, B. O. & Teien, H.-C. (2015). Transcriptional changes in Atlantic salmon (*Salmo salar*) after embryonic exposure to road salt. *Aquatic Toxicology*, 169: 58-68.
- Ugedal, O., Kroglund, F., Barlaup, B. & Lamberg, A. (2014). Smolt-en kunnskapsoppsummering. *Miljødirektoratet M136-2014*, M136-2014. 128 s.
- Vaa, T. & Sakshaug, K. (2007). *Salting av veger : en kunnskapsoversikt*, b. nr.2493. Oslo: Teknologiavdelingen. 48 s s.
- Wike, K. J. (2007). *Effekter av vegsalt på vannkjemien i et grunnvannspåvirket tjern på Gardermoen*. Masteroppgave. Oslo: [K.J. Wike], Institutt for plante- og miljøvitenskap. 94, [ca 20] s. : fig., kart s.
- Wiklander, L. (1975). The role of neutral salts in the ion exchange between acid precipitation and soil. *Geoderma*, 14 (2): 93-105.
- Ødegaard, H. & Norheim, B. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. [Hamar]: Norsk Vann. 664 s. : ill. s.
- Økland, J. & Økland, K. A. (1995). *Ressurser og problemer*, b. 1. Stabekk: Vett & viten. 357 s. s.
- Økland, J. Ø. K. A. (1995). *Ressurser og problemer*, b. 1. Stabekk: Vett & viten. 357 s. s.
- Økland, J. Ø. K. A. (2006). *Kjemi, fysikk og miljø*, b. 3. Stabekk: Vett & viten. 204 s. s.

Vedlegg A – Vannprøver

Tabell 0.1: Resultater fra vannprøver tatt ved hver logger ved utplassering av logger 21.-23.11.15. Analysert for fluorider, klorid, nitrat og sulfat.

Vannprøver november 2015	F	Cl	NO3-N	SO4
	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
Bunnefjorden	0,28	21,9	2,12	14,3
Vassumkrysset	0,28	21,9	2,18	14,1
Årunge	0,29	21,2	2,16	13,7
Stamnesbekken	0,13	9,2	1,17	8,92
Kambobekken	0,17	20,8	0,93	11,2
Ingedalsbekken	0,26	15,6	2,16	8,34
Åkentobekken	0,36	22,2	2,35	8,35
Hjelmungbekken	0,19	14	1,88	7,03

Tabell 0.2: Resultater fra vannprøver tatt i bekken ved hver logger ved avlesning av logger 07.-09.01.16. Analysert for fluorider, klorid, nitrat og sulfat.

Vannprøver januar 2016	F	Cl	NO3-N	SO4
	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
Bunnefjorden	0,28	24,4	2,47	14,6
Vassumkrysset	0,29	23,5	2,5	14,4
Årunge	0,28	22,5	2,5	13,9
Stamnesbekken	0,12	11	1,03	7,98
Kambobekken	0,15	37	1,01	11,4
Ingedalsbekken	0,26	29,9	1,7	10,8
Åkentobekken	0,39	43,5	2,25	10,7
Hjelmungbekken	0,2	24,1	1,39	8,62

Vedlegg B – Saltingsdager

Tabell 0.1: Mengde salt (g m^{-2}) som ble lagt ut på veiene i nærheten av de loggede bekkene i Østfold på utvalgte dager i loggeperioden. Tidspunkt for salting og hvilken kjørefil det ble saltet i ble også registrert.

Dato	Bekk	Vei	Tidspunkt	Menge salt (g m^{-2})	Veiretning	Mengde salt (g m^{-2})	Veiretning
03.12.2015	Hjelmungbekken	E6	22:50	4	Begge ret- ninger	4	
04.12.2015	Ingedalsbekken	E6	00:41	8	Nord	3	Sør
		FV 118		6	Begge ret- ninger		
04.12.2015	Åkentobekken	E6	00:30	10	Nord	3	Sør
04.12.2015	Kambobekken	E6		10	Nord	8	Sør
11.01.2016	Hjelmungbekken	E6	13:29	14	Nord	14	Sør
		FV 118	12:50	8			
11.01.2016	Ingedalsbekken	E6	22:46	20	Nord	20	Sør (11:08)
		FV 118		12			
11.01.2016	Åkentobekken	E6	06:00	13	Nord	7	Sør
11.01.2016	Kambobekken	E6	00:10	27	Nord (45km t^{-1})	28	Sør
07.03.2016	Hjelmungbekken	E6	04:30	20	Nord	7	Sør
		FV 118		17	Begge veier		
07.03.2016	Åkentobekken	E6		20	Nord	7	Sør
07.03.2016	Ingedalsbekken	E6	11:30	20	Nord	8	Sør (07:18)
		FV 118	02:32	17	Begge veier		
07.03.2016	Kambobekken	E6	09:00	20	Nord	20	Sør

Vedlegg C – Værdata, Ås

Tabell.0.1: Nedbør- og temperaturdata registrert på målestasjon Ås (stasjonsnummer 17850) fra 01.11.15-31.03.2016. Opphold i grafen betyr ingen registrert data denne dagen.

Dato	November (2015)		Desember (2015)		Januar (2016)		Februar (2016)		Mars (2016)	
	Nedbør (mm)	Luft- temp (°C)	Nedbør (mm)	Luft- temp (°C)	Nedbør (mm)	Luft- temp (°C)	Nedbør (mm)	Luft- temp (°C)	Nedbør (mm)	Luft- temp (°C)
1.	0,1	8,2	0,0	1,1	1,8	1,8	0,0	- 1,3	0,0	- 0,7
2.	0,0	7,0	0,1	2,0	1,8	-2,1	3,6	2,1	2,5	- 0,7
3.	0,0	8,3	1,7	0,7	2,9	- 6,0	1,7	0,2	8,5	0,5
4.	0,0	5,2	13,3	4,7	2,0	- 7,2	0,0	- 1,1	1,7	0,5
5.	0,0	4,8	14,1	9,2	0,1	- 9,3	0,0	- 2,1	6,0	0,9
6.	1,9	7,1	0,0	8,1	0,0	- 13,7	6,7	3,9	1,0	0,1
7.	16,9	10,3	0,0	3,0	0,0	- 12,8	8,7	4,8	3,8	0,1
8.	14,9	7,3	0,0	5,1	1,2	- 9,6	8,8	3,3	1,5	- 0,3
9.	7,1	7,4	5,8		1,5	- 9,0	27,7	3,5	0,1	1,1
10.	0,0	6,3	0,4	6,8	5,7	- 5,7	0,3	1,5	0,1	0,9
11.	0,0	4,6	0,0	- 0,1	14,5	- 1,8	0,5	0,1	0,0	- 0,6
12.	2,1	5,0	0,0	- 3,5	1,7	- 3,6	0,0	- 2,8	0,0	1,0
13.	3,8	7,0	0,0	- 4,3	0,7	- 9,8	2,9	- 4,0	0,0	2,3
14.	1,7	2,7	0,0	- 7,9	0,0	- 16,2	1,3	- 6,9	0,5	4,3
15.	0,0	2,6	0,0	- 8,3	0,0	- 16,8	0,0	- 8,1	0,0	5,2
16.	0,0	1,5	0,0	- 3,0	2,6	- 12,3	0,0	- 5,5	0,1	3,0
17.	5,2	3,4	5,3	0,1	0,0	- 15,5	1,6	0,9	0,0	1,1
18.	0,0	0,3	4,2	5,6	0,0	- 14,1	0,0	- 3,3	0,0	3,7
19.	1,6	- 1,0	0,0	7,5	0,0	- 15,6	0,3	- 1,0	0,0	2,9
20.	0,2	- 5,1	1,8	8,8	0,9	- 14,1	4,2	1,0	0,0	3,2
21.	0,0	- 4,6	0,0	6,8	0,0	- 16,2	9,4	0,9	0,0	2,3
22.	0,0	- 6,5	0,1	5,2	0,0	- 12,1	0,0	- 2,0	0,0	2,8
23.	0,0	- 7,0	3,6	4,1	7,1	- 2,4	0,0	- 2,3	0,2	2,9
24.	1,8	3,6	0,0	6,5	1,6	- 2,3	0,0	- 3,1	0,0	1,7
25.	16,6	1,2	4,0	3,8	0,3	- 0,7	0,0	- 4,5	0,1	3,6

26.	0,0	- 0,6	0,0	- 4,0	0,6	3,0	0,0	-2,1	0,7	2,8
27.	0,0	8,9	0,0	- 4,2	5,7	3,3	0,0	- 3,2	2,6	5,3
28.	13,1	4,2	4,7	- 1,8	4,8	2,8	0,0	- 3,5	18,4	6,6
29.	8,2	3,2	0,3	- 1,2	0,0	3,9	0,0	- 3,3	6,8	5,5
30.	1,2	0,5	1,2	1,2	2,0	2,2	-	-	2,3	2,8
31.	-	-	4,6	0,5	0,0	0,1	-	-	0,0	1,4

Vedlegg D - Værdata, Halden og Sarpsborg

Tabell 0.1: Nedbørsdata registrert på målestasjon Halden (stasjonsnummer 1230) fra 01.11.15-31.03.2016. Halden har ikke registreringer for temperatur, derfor ble målestasjon Sarpsborg (Stasjonsnummer 3190) benyttet for temperaturdata for Østfold. Opphold i grafen betyr ingen registrert data denne dagen.

Dato	November (2015)		Desember (2015)		Januar (2016)		Februar (2017)		Mars (2018)	
	Nedbør (mm)	Luft- temp (°C)	Nedbør (mm)	Luft- temp (°C)	Nedbør (mm)	Luft- temp (°C)	Nedbør (mm)	Luft- temp (°C)	Nedbør (mm)	Luft- temp (°C)
1.				2,4	0,4			1,4		0,0
2.		9,5	0,1	4,1			4,3	4,2	0,8	- 0,1
3.		9,4	0,2	4,2	0,0		8,0	1,3	8,5	1,4
4.	1,0	7,7	8,3	6,7	0,5			- 1,4	1,0	0,8
5.	0,6	6,8	6,8		0,0			- 2,1	2,3	1,3
6.	1,5	8,6			0,0		7,0	4,9	2,3	0,4
7.	12,2	10,6	1,6		0,0		12,0	5,6	5,0	0,5
8.	20,0	7,9			0,1	-7,1	8,0	4,4	2,0	0,8
9.	7,0	8,8	5,5	5,2	0,6	-7,5	22,0	4,5	1,5	1,5
10.	5,5	8,7	4,8	7,6	4,4	-2,5	4,4	2,0	0,5	2,2
11.		7,2		1,9	5,5	-0,7		0,6		0,4
12.	1,0	8,3		- 1,1	0,3	- 2,7		- 2,3		2,3
13.	7,0	7,1		- 2,2	0,1	-7,5	3,8	- 3,4		4,2
14.	10,7	5,1		- 4,2		- 13,8		- 4,9		5,3
15.		4,9	0,1	- 4,7		- 14,9		- 6,0		7,8
16.		4,6			1,8	- 11,1		- 3,8		4,3
17.	4,0	6,5	3,1	3,6		- 16,1		1,0		2,8
18.	1,5	1,4	5,5			- 13,7		-3,1		3,9
19.	11,0	0,0				- 12,7	0,4	0,2		4,4
20.	1,0	- 2,4	2,5			- 14,3	3,0	2,2		4,2
21.		- 3,2				- 15,5	6,0	2,6		3,3
22.		- 4,0	2,8			- 9,3		0,8		3,8
23.		- 5,0	3,6	3,2	1,0	- 1,3		-1,5		4,1

24.	4,4	5,0				0,7		-1,9		2,5
25.	13,0	2,6	4,0	1,6	1,2	2,3		- 2,5	4,0	4,5
26.		1,0			1,6	3,6		- 1,3	4,0	3,9
27.	0,7		1,0		9,3	4,7		- 2,1		6,1
28.	11,0		3,4	5,5	9,0	3,7		- 1,4	16,5	
29.	7,5	4,7	0,0	0,4	0,7	5,3		- 1,5	1,5	
30.	0,6	3,2	0,5		5,5	3,5			2,0	4,2
31.				0,5		2,5				2,8

Vedlegg E – Datablad ledningsevnelogger

HOBO® U24 Conductivity Logger (U24-001) Manual



The HOBOb U24 conductivity logger measures actual conductivity and temperature, and can provide specific conductance at 25°C with the HOBObware® Conductivity Assistant. These easily deployable, rugged loggers provide the data you need for monitoring water purity and the impact of pollutants in fresh water. There is an optional U2X Protective Housing accessory (HOUSING-U2X) available to protect the logger and simplify mounting in harsh environments.

HOBOb Conductivity Logger

U24-001

Required Items:

- Coupler (COUPLER2-C) with USB Optic Base Station (BASE-U-4) or HOBOb Waterproof Shuttle (U-DTW-1)
- HOBObware Pro 3.2 or later with the Conductivity Assistant 2.1 or later

Accessories:

- U2X Protective Housing (HOUSING-U2X)

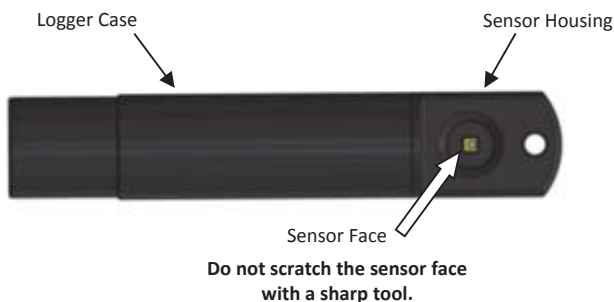
Specifications

Measurements	Actual Conductivity, Temperature, Specific Conductance at 25°C (calculated)
Conductivity Calibrated Measurement Ranges	Low Range: 0 to 1,000 µS/cm Full Range: 0 to 10,000 µS/cm
Conductivity Calibrated Range - Temperature Range	5° to 35°C (41° to 95°F)
Conductivity Extended Ranges	Low Range: 0 to 2,500 µS/cm Full Range: 0 to 15,000 µS/cm
Temperature Measurement Range	-2° to 36°C (28° to 97°F)
Specific Conductance Accuracy (in Calibrated Range)	Low Range: 3% of reading, or 5 µS/cm, and Full Range: 3% of reading, or 20 µS/cm, whichever is greater, using Conductivity Data Assistant and calibration measurements
Conductivity Resolution	1 µS/cm
Temperature Accuracy (in Calibrated Range)	0.1°C (0.2°F)
Temperature Resolution	0.01°C (0.02°F)
Conductivity Drift	Less than 3% sensor drift per year, exclusive of drift from fouling
Response Time	1 second to 90% of change (in water)
Operating Range	-2° to 36°C (28° to 97°F) - non-freezing
Memory	18,500 temperature and conductivity measurements when using one conductivity range; 14,400 sets of measurements when using both conductivity ranges (64 KB total memory)
Sample Rate	1 second to 18 hrs, fixed or multiple-rate sampling with up to 8 user-defined sampling intervals
Clock Accuracy	±1 minute per month
Battery	3.6 Volt lithium battery
Battery Life	3 years (at 1 minute logging)
Maximum Depth	70 m (225 ft)
Weight	193 g (6.82 oz), buoyancy in freshwater: -59.8 g (-2.11 oz)
Size	3.18 cm diameter x 16.5 cm, with 6.3 mm mounting hole (1.25 in. diameter x 6.5 in., 0.25 in. hole)
Wetted Housing Materials	Delrin®, epoxy, stainless steel retaining ring, polypropylene, Buna rubber O-ring, titanium pentoxide (inert coating over sensor)
CE	The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU).

Protecting the Logger

IMPORTANT: This logger can be damaged by shock. Always handle the logger with care. The logger may be damaged if it is dropped. Use proper packaging when transporting or shipping the logger.

Do not attempt to open the logger case or sensor housing. Disassembling of the logger case or sensor housing will cause serious damage to the sensor and logger electronics. There are no user-serviceable parts inside the case. Contact Onset Technical Support at 1-800-LOGGERS (1-800-564-4377) or an authorized Onset dealer if your logger requires servicing.



Operation

An LED in the communications window of the logger confirms logger operation. When the logger is logging, the LED blinks once every one to four seconds (the shorter the logging interval, the faster the LED blinks). The LED also blinks when the logger is recording a sample. When the logger is awaiting a start because it was launched in "Start at Interval" or "Delayed Start" mode, the LED blinks once every eight seconds until logging begins.

The logger can record two types of data: samples and events. Samples are the sensor measurements recorded at each logging interval. Events are independent occurrences triggered by a logger activity, such as Bad Battery or Host Connected. Events help you determine what was happening while the logger was logging.

Communication

To connect the logger to a computer, use either the Optic USB Base Station (BASE-U-4) or HOBO Waterproof Shuttle (U-DTW-1) with a coupler (COUPLER2-C).

IMPORTANT: USB 2.0 specifications do not guarantee operation outside the range of 0°C (32°F) to 50°C (122°F).

To launch and read out the logger in the field, use one of these methods:

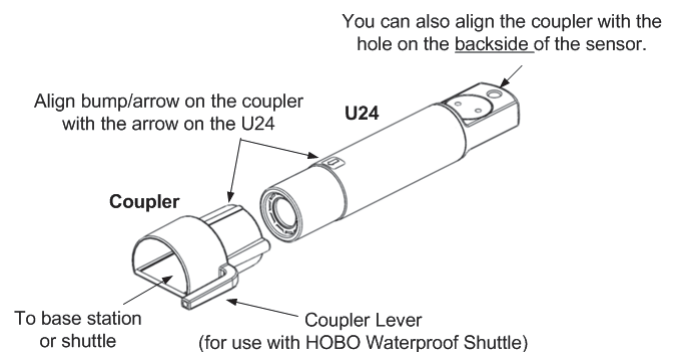
- Laptop computer with Optic USB Base Station (BASE-U-4) and a coupler (COUPLER2-C)
- HOBO Waterproof Shuttle (U-DTW-1, Firmware Version 3.2.0 or later) and a coupler (COUPLER2-C)
- HOBO U-Shuttle (U-DT-1, Firmware Version 1.14m030 or later) with Optic USB Base Station and coupler (COUPLER2-C)

The optical interface allows the logger to be offloaded without breaking the integrity of the seals. The USB compatibility allows for easy setup and fast downloads.

Connecting the Logger to a Computer or Waterproof Shuttle

1. Follow the instructions that came with your base station or Waterproof Shuttle to attach it to a USB port on the computer.
2. Attach the coupler to the base station or shuttle.
3. Wipe off any residue or slime from the area of the logger that will go into the coupler, including the communication window. This will help the logger slide in and out of the coupler more easily, and help with communication.
4. Insert the logger into the coupler, aligning the bump/arrow on the coupler with the arrow on the logger. Be sure that it is properly seated in the coupler. If the logger has never been connected to the computer before, it may take a few seconds for the new hardware to be detected by the computer.

NOTE: If you are using the HOBO Waterproof Shuttle as a base station with a computer, briefly press the Coupler Lever to put the shuttle into base station mode.



WARNING: Do not leave the logger in the coupler for extended periods of time. When connected to a coupler, the logger is "awake" and consumes significantly more power than when it is disconnected and considered "asleep." Always remove the logger from the Optic Base Station or HOBO Waterproof Shuttle as soon as possible after launching, reading out, or checking the status to avoid draining the battery.

Launching the Logger

Before deploying the logger in the field, perform the following steps in the office:

1. Start HOBOWare.
2. Connect the logger to the computer as described in the previous section.
3. Verify the status. Click the status button on the toolbar and observe that the temperature is near the actual temperature.
4. Launch the logger with the correct range. Refer to the specifications on page 1 for both calibrated and extended

ranges (the calibrated ranges are also printed on the logger housing). The logger will not record readings outside of the extended range selected. If in doubt on the range needed for your deployment, or for environments with wide fluctuations, select both ranges. This will shorten the deployment duration from 18,500 samples to 14,400 samples per parameter (not logging battery voltage). See the *HOBOWare User's Guide* or online help for details on launching.

Note: Logging battery voltage is not essential because you can check the battery using the Status screen at launch or readout of the logger. Logging the battery voltage will reduce the number of conductivity and temperature readings you can log.

Taking Calibration Readings

It is important to take temperature and conductivity calibration readings with a portable conductivity meter at both the beginning (launchtime) and end of a deployment (readout) because these readings are necessary for data calibration and to compensate for any measurement drift during deployment. The conductivity calibration readings should be the *actual conductivity* without temperature compensation (*not* in specific conductance at 25°C), and should be recorded in a notebook with the time and location of the reading. You will use these readings in the HOBOWare Conductivity Assistant to calibrate the readings for the corresponding data series offloaded from the logger.

There are three methods for obtaining accurate calibration readings. The first method involves placing the meter's probe into the water next to the logger. The second method involves placing the logger and meter probe in a field water sample in a jar. In both methods, the conductivity meter probe must be close to the data logger—but not touching—so that it is measuring water at the same conductivity as the logger. The third method involves taking a sample back to the office to measure with a meter there.

If the conductivity in the water where the logger is deployed is stable and it is easy to reach the logger, then you can obtain calibration readings by placing the probe directly into the water next to the logger. However, taking calibration readings some locations, such as in wells, can be difficult because it may be hard to get the meter probe next to the logger. In these instances, you should fill a jar with a water sample from where the logger is deployed to take the calibration readings. To obtain the water sample from a well or stilling well, you can use a bailer with a diameter that is small enough to fit down the well.

Note: Some salt residue may remain on the logger from factory calibration. Carefully rinse the logger in distilled water or clean freshwater to remove any residual salt before taking your first calibration readings.

Method 1:

Taking readings directly in the water (recommended for locations with access for the field meter probe and with conductivity that is stable)

1. If you have just deployed the logger, allow enough time for the logger temperature to stabilize for the best accuracy (approximately 15 minutes).
2. Gently tap the logger to remove any bubbles from the surface. Tug the cable if you cannot reach the logger itself.
3. Measure the temperature and actual conductivity with the field meter, making sure the meter probe readings stabilize per the meter's specification. Record the values, time, and location of the readings in a field notebook for use later in the HOBOWare Conductivity Assistant.

Method 2:

Taking readings in a jar (recommended for readings in wells or in water with rapidly changing conductivity, such as areas with saltwater and freshwater mixing)

1. Take a sample of water in a jar that is large enough to hold both the logger and the probe from a portable conductivity meter, leaving an inch of space between the probe and the logger. For wells, use a bailer to obtain the water sample.
2. Leave the logger and the meter probe submerged in this jar of water long enough so they reach temperature equilibrium and the logger has logged at least three readings (allow at least 15 minutes for the best accuracy). (Three readings are necessary because this will help you identify which readings were taken while the logger is in the jar.)
3. Measure the temperature and actual conductivity with the field meter. Record the values, time, and location of the reading in a field notebook for use later in the HOBOWare Conductivity Assistant.
4. When using the Conductivity Assistant, look for the spot in the data where there are three similar readings in a row and link the last of those readings to the meter reading. (The time you noted may be slightly different than the logger time so looking for the three similar readings will help isolate the correct reading.) The Conductivity Assistant uses that value to calibrate the specific conductance and salinity readings for that data series.

Method 3:

Taking a sample back to the office in a sealable jar to measure there (recommended for locations with conductivity that is stable when you do not have a field meter or it is not convenient to access the logger)

1. Place a sample of the water taken from next to the logger in a jar and immediately seal it to ensure that none of the water evaporates. This allows the specific conductance and salinity of the sample to be maintained, which in turn results in usable temperature and conductivity readings when you measure it with the meter at a later time.
2. Write down the time you take the sample for use later in the HOBOWare Conductivity Assistant.

- At the office, measure the temperature and actual conductivity of the sample with a meter and write down the values next to the time you noted in step 2.

Note: If you've taken the calibration readings in specific conductivity, you can convert the readings back to actual conductivity. Use the temperature readings from the meter or logger to convert the conductivity reading following the specific conductivity calculation used by your meter (consult the meter documentation). If the meter uses a standard linear compensation, you can use the following formula to convert it. This equation calculates the electrical conductivity (Y_e) from a measured water temperature (T) and from a measured specific conductance at 25°C (C_s) using the linear temperature coefficient entered into the meter.

$$Y_e = C_s * (1 - ((25-T) * a / 100))$$

Where: Y_e = Calculated Electrical Conductivity
 T = water temperature in degrees C measured by the meter
 C_s = Specific Conductance measured by the meter
 a = linear temperature coefficient (% / degrees C) entered into the meter to calculate specific conductance

Deploying the Logger

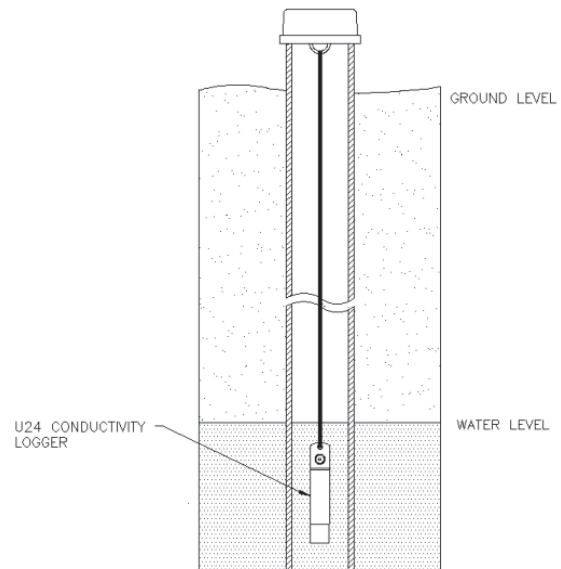
The HOBO U24 Conductivity logger is designed to be easy to deploy in many environments. The small size of the logger is convenient for use in small wells and allows the logger to be mounted and/or hidden in the field. Follow these guidelines when deploying the logger:

- Make sure the logger is located where it will receive a steady flow of the water that is being monitored.
- When deploying the logger in rivers, streams, and ponds, insert the logger in a PVC or ABS pipe if possible. The PVC pipe should have enough holes to ensure good circulation of water.
- To avoid bubbles collecting on the sensor, make sure the sensor face is vertical and avoid sudden temperature changes.
- Do not place any conductive materials or metals within 2.5 cm (1 in.) of the sensor.
- Avoid deploying the logger in freezing water with moving ice.
- Use the U2X Protective Housing (HOUSING-U2X) for added protection to the logger in harsh environments.

To deploy the logger at each site:

- Launch the logger with a laptop or shuttle.
- Take a calibration reading as described on page 4.

- Deploy the logger in the water (if it hasn't already been placed in the water) following the guidelines recommended above.
- Repeat steps 1 through 3 for each logger deployed. Be sure to take a new calibration reading for each logger that you deploy.



Reading Out the Logger and Calibrating Data with HOBOWare

Your readout and maintenance schedule will be determined by the amount of fouling at the site. To read out the logger in the field:

- Calibrate the field conductivity meter before using it to take field readings.
- Measure the actual conductivity and temperature values with the field meter using one of the calibration methods on page 4.
- Remove the logger from the water (if it hasn't already been removed for the calibration measurement).
- Read out the data from the logger using a shuttle.
- Relaunch the logger.
- Clean the sensor (see *Maintenance* on page 6 for more details).
- Redeploy the logger in the stream, and take another calibration measurement.

Use HOBOWare to calibrate data and convert to specific conductance

- Offload the most recent data files from the shuttle or loggers to your computer.
- Open a data file in HOBOWare.

3. Use the HOBOWare Conductivity Assistant to calibrate the readings and adjust for drift caused by fouling. You will need to enter the field meter conductivity and temperature readings and times from the beginning and, optionally, the end of that segment of the logger's deployment. Refer to the Help for the Conductivity Assistant for more details. Save your changes to a project file.
4. Repeat steps 1 through 3 for all data files.

Maintenance

The logger requires the following periodic maintenance to ensure optimal operation:

- **Clean the sensor.** Mix several drops of dish detergent or biodegradable soap in a cup of tap water with a clean cotton swab. Clean the sensor face using the cotton swab and then rinse the sensor with clean or distilled water. Do not scratch the sensor face with a sharp tool.
- **Check for biofouling.** Biofouling and excessive marine growth on the logger will compromise accuracy. Organisms that grow on the sensor can interfere with the sensor's operation and eventually make the sensor unusable. If the deployment area is prone to biofouling, check the logger periodically for marine growth.
- **Be careful of solvents.** Check a materials compatibility chart before deploying the logger in locations where untested solvents are present. Refer to the specifications for wetted housing materials on page 1.

Battery Guidelines

- **Battery Life.** The battery life of the logger should be three years or more. Actual battery life is a function of the number of deployments, logging interval, and operation/storage temperature of the logger. Frequent deployments with logging intervals of less than one minute, continuous storage/operation at temperatures above 35°C (95°), and keeping the logger connected to

the coupler will result in significantly lower battery life. For example, continuous logging at a one-second logging interval will result in a battery life of approximately one month.

To obtain a three-year battery life, a logging interval of one minute or greater should be used and the logger should be operated and stored at temperatures between 0° and 25°C (32° and 77°F).

- **Battery Voltage.** The logger can report and log its battery voltage. If the battery falls below 3.1 V, the logger will record a "bad battery" event in the datafile. If the datafile contains "bad battery" events, or if logged battery voltage repeatedly falls below 3.3 V, the battery is failing and the logger should be returned to Onset for battery replacement. Note that the logger does not have to be recording the battery channel for it to detect bad battery events. The logger will record these events regardless of what channels are logged.
- **Replacing the Battery.** To have your logger's battery and sensor replaced, contact Onset or your place of purchase for return arrangements. Do not attempt to replace the battery yourself. Severe damage to the logger will result if the case is opened without special tools, and the warranty will be voided.



WARNING: Do not cut open, incinerate, heat above 100°C (212°F), or recharge the lithium battery. The battery may explode if the logger is exposed to extreme heat or conditions that could damage or destroy the battery case. Do not dispose of the logger or battery in fire. Do not expose the contents of the battery to water. Dispose of the battery according to local regulations for lithium batteries.



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no