



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2020 60 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA)

Kartlegging av kjemiske, fysiske og geologiske forhold i øvre Risa nedbørfelt som følge av fiskedødeepisoder i elva Risa

Mapping of chemical, physical and geological conditions in upper parts of Risa watershed due to episodic fish kills in the river Risa

Stine Maleen Thomassen Hagen

Miljø og naturressurser

Forord

Etter to fine år som masterstudent ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitetet (NMBU) markerer denne oppgaven slutten på tiden på Ås.

Jeg vil benytte anledningen til å takke mine veiledere Helen French og Mona Henriksen ved Fakultet for miljøvitenskap- og naturforvaltning, for råd og veiledning i forbindelse med denne oppgaven. Det har blitt noen dager i felt for utarbeiding av rapporten, og Leif Vidar Jakobsen har i forbindelse med dette vært svært behjelpelig og fortjener en enorm takk.

Ullensaker kommune, Risautvalget og Vannområdet Hurdalsvassdraget/Vorma (HUVVO) ved Helge B. Pedersen takkes for økonomisk støtte, tilgang på informasjon og mulighet til å jobbe videre med denne problemstillingen. Det har vært spennende å få være en del av dette prosjektet for å bevare ørretbestanden i Risa. Samtidig ønsker jeg å takke alle grunneiere i området ved Risa som har vært så vennlige og latt meg trække rundt på eiendommene sine på mine dager i felt. Det rettes også en takk til Atle Dagestad ved NGU for tilgang på data fra deres overvåkning av Risa de siste årene.

Det har vært et veldig spesielt år, med flere tøffe tak. For ikke minst er det en utfordring å skrive en masteroppgave i seg selv, men når det på toppes med en pandemi noen måneder før levering så blir det litt tøffere. Gjennom disse tidene er flere mennesker jeg ønsker å takke for støtte gjennom dette året, det inkluderer familien min hjemme i Alta, Benedicte og Kristoffer som har latt meg tilbringe flere titalls netter på sofaen deres. Gjengen på lesesalen var gode å ha så lenge det varte. Helene Stav og Maja Bernhoff Johansen, mine gode venninner fra studiedager i Tromsø, har vært gode sparringspartnere dette året, da vi har vært i samme båt.

Stine Maleen Thomassen Hagen

Ås, 2. Juni 2020

Sammendrag

I elven Risa på Gardermosletta, på grensen til Ullensaker og Eidsvoll kommune, ble det i mai 2007, 2015 og juni 2016 observert død og svimet ørret. Fisken ble sett nedstrøms Risebru og ned til området ved Dalsdammen. Dette gikk svært hardt ut over ørretbestanden i elven, flere ørret ble samlet inn og det ble gjort undersøkelser av gjellene, da det ble observert et slimete belegg. Resultatene av gjelleanalysene viste at det var utfelling av metallene jern, aluminium og mangan. Det ble derfor antatt at årsaken til fiskedøden var kvelning som følger av metallpåslag.

Siden episodene med fiskedød gikk hardt utover ørretbestanden i elva er Vannområdet Hurdalssvassdraget/Vorma, Ullensaker kommune og Risautvalget interessert i å vite hva som kan være kilden til metallene og hvorfor dette har skjedd episodisk. Det ble derfor utgangspunktet for problemstillingen i denne oppgaven, det ble utført undersøkelser i studieområdet for å forsøke å finne et svar på hva som kunne være årsakssammenhengen til fiskedødeepisodene i Risa. For å forsøke å gi svar på hva som kan ha ledet til fiskedøden i Risa har det blitt gjort undersøkelser for å kartlegge kjemiske, fysiske og geologiske forhold i øvre Risa nedbørfelt. Både vannprøver og jordprøver har blitt tatt i disse områdene for å undersøke kjemien i området, her har det vært spesielt fokus på konsentrasjonen av metallene jern, aluminium og mangan. Det ble gjennomført geofysisk måling med GPR for å undersøke geologiske grunnforhold i området, som også har blitt undersøkt med mer direkte metoder som sonderboring, observasjonsbrønner og kornfordelingsanalyse. Grunnvannsstrømningen ble også forsøkt modellert med Modelmuse og ModFlow, for det er indikasjoner på at grunnvannet kan være kilde til jern siden Risa og Hersjøen er grunnvannsmatet.

Det har ikke blitt funnet noe man kan peke på som årsak til episodene med fiskedød i Risa. Det er ikke mulig å gjøre videre undersøkelser på ørretens gjeller da dette materialet ikke ble tatt vare på etter analysene var gjort. Årsaken til at det kunne være interessant å gjøre andre undersøkelser av fisken er for å se om det var andre stoffer som kan være skadelig på ørret, og om det er en kombinasjon av flere parameter som har ledet til fiskedøden. Det er viktig å holde Risa under videre oppsikt og ha kontinuerlig oppfølging av elva for å kunne plukke opp store endringer som kan påvirke ørreten.

Abstract

In Risa river at Gardermosletta, at the borders of the municipalities Ullensaker and Eidsvoll, there were observed dying and dead brown trout. The fish were seen downstream Risebru and down to the area called Dalsdammen in May 2007, 2015 and June 2016. These episodes caused great damage on the brown trout population. Several trouts were collected and their gills was analyzed due to the fact that it was observed slimy coating on the gills. The results of the analysis of the gills showed precipitation of iron, aluminum and manganese. It was therefore assumed that the cause of the fish kills in Risa was due to respiratory problems caused by precipitation of iron, manganese and aluminum.

The water directive Hurdalsvassdraget/Vorma, the municipality of Ullensaker and Risautvalget are interested in figuring out what the source of the metals is and why it happens episodic. It was therefore the starting point for the problems in this thesis, explorations were done in the study area to try and find out what could be the causal links to the fish kills in Risa. To answer the question regarding what led to the fish kills in Risa it was conducted enquiries to map chemical, physical and geological conditions in Upper Risa watershed. Water samples and soil samples were collected in the watershed to investigate the chemistry. Here it was focus on the concentration of metals as iron, aluminum and manganese. It was conducted geophysical measurements with GPR to investigate geological conditions in the area. Other direct methods that was used for this study is sounding, observation wells and grainsize-distribution of soil samples. Modelmuse and ModFlow was used to simulate the groundwater flow, due to the fact that the groundwater can be a source of iron and metals, based on the fact that Risa and Hersjøen is fed by the groundwater reservoir.

There has not been found anything that can point to what the cause for the fish kills in Risa is. And it is not possible to conduct any analysis on the gills of the brown trout since the material was not kept. Reasons why further investigation of the fish gills would be interesting is to see if other substances could be found in the fish that is harmful for the trout. And if there were combinations of several parameters that could have led to the fish kills. Its important to keep Risa under surveillance and have follow-ups of the river to pick out major changes that could affect the trout.

Innholdsfortegnelse

1	INNLEDNING	1
2	INTRODUKSJON	3
2.1	STUDIEOMRÅDET	3
2.1.1	<i>Hydrologi i nedbørfeltet øvre Risa</i>	4
2.1.2	<i>Geologi</i>	9
2.1.3	<i>Hydrogeologi</i>	11
2.1.4	<i>Menneskelig aktivitet</i>	13
2.2	FISKEDØD	18
3	METODER	21
3.1	ANALYSE AV VANNPRØVER	26
3.1.1	<i>Kjemiske analyser av vannprøver fra øvre Risa nedbørfelt 2015-2019</i>	29
3.1.2	<i>Loggerdata fra NGU</i>	29
3.2	JORDPRØVER	30
3.2.1	<i>Jordanalyser</i>	31
3.2.2	<i>Kornfordelingsanalyse</i>	31
3.3	SONDERBORING	32
3.4	OBSERVASJONSBRØNNER	33
3.4.1	<i>Logging av grunnvannsflyktuasjon</i>	33
3.5	VANNFØRING	34
3.6	GEORADAR	35
3.7	UNDERSØKELSER AV METEOROLOGISKE DATA	40
3.8	MODELLERING AV GRUNNVANNSSTRØMNING	41
4	RESULTATER	45
4.1	ANALYSER AV VANNPRØVER	45
4.1.1	<i>Resultater av kjemiske analyser av vannprøver.</i>	45
4.1.2	<i>Sammenligning av analyser av vannprøver for ulike parametere over tid.</i>	53
4.1.3	<i>Loggerdata fra NGU</i>	58
4.2	JORDPRØVER	60
4.2.1	<i>Resultat av jordanalyse</i>	60
4.2.2	<i>Kornfordelingsanalyser</i>	61
4.3	SONDERBORING	63
4.4	OBSERVASJONSBRØNNER	63
4.4.1	<i>Logging av grunnvannstand og grunnvannstemperatur</i>	65
4.5	VANNFØRINGSMÅLINGER	66
4.6	RESULTAT AV GEORADARMÅLINGER	67
4.7	UNDERSØKELSE AV METEOROLOGISKE DATA	78
4.8	MODELLERING AV GRUNNVANNSSTRØMNING	84
5	DISKUSJON	89
6	KONKLUSJON	103
7	LITTERATURLISTE	104

1 Innledning

8. mai 2007 ble det i elva Risa, i Ullensaker kommune, oppdaget svimete ørret som oppførte seg merkelig. Noen av individene ble observert flytende på rygg og svømmende på siden, noen individer var også døde. Lignende hendelser gjentok seg 29. mai 2015 og 9. juni 2016. Det ble i 2007 og 2015 samlet inn døde eller besvimt ørret for nærmere undersøkelse av dødsårsak. Analysene, utført av NIVA, viste at det var høye metallkonsentrasjoner på flere av ørretenes gjeller. Det ble konkludert med at fiskedøden skyldtes jernutfelling på gjellene, som førte til at ørreten kvaltes som følge av oksygenmangel. Når fiskedøden skjedde igjen i 2016, ble det ikke foretatt noen analyser av gjeller, da det ble antatt at det var samme dødsårsak som de forhenværende årene. Det er ennå usikkerheter om hva som kan ha forårsaket dette, hvorvidt det er naturlige, episodiske hendelser eller om det er menneskelige inngrep som har ført til fiskedødeepisodene.

For oppgaven vil det være interessant å kartlegge de geologiske, fysiske og kjemiske forholdene i nedbørfeltet til øvre deler av Risa, med tanke på fiskedøden. Det vil da være hensiktsmessig å forsøke å kartlegge grunnforholdene i dette området med geofysiske metoder som blant annet georadar. Videre vil analyse av vann- og jordprøver gi indikasjoner på de kjemiske forholdene i området. Grunnvannsfluktuasjonen vil kunne overvåkes med grunnvannsbrønner. Videre vil det være interessant å forsøke å modellere noe av grunnvannsstrømningen i dette området, med ModelMuse og ModFlow. Flere kilder har pekt på grunnvannet og myrområder som kilder på mye jern, så det vil være hensiktsmessig å vurdere disse som potensielle kilder til episoder med forhøyde konsentrasjoner av jern og metaller i Risa.

Det er også diskutert hvorvidt det kan være Hersjøen som er episodisk tilfører jern og metaller til Risa. Hongve (2016a) nevner at det er lite sannsynlig at Hersjøen er kilden til jern og metaller. Han nevner at grunnet innsjøens lange oppholdstid vil jern som tilføres oksydere til ikke-vannløselig treverdlig jernoksid, som vil sedimenteres i Hersjøen.

Øvre Risas nedbørfelt ligger i både i Ullensaker og Eidsvoll kommune, her er det flere former for industri og menneskelig aktivitet som potensielt kan påvirke vannkvaliteten. Blant annet

Innledning

så ligger deler av Oslo lufthavn, OSL, innenfor dette nedbørfeltet. Det er også et avfallsanlegg, ØRAS, som bruker infiltrasjonsbasseng for «avfallsvann», slik at det infiltreres i sedimentene. Andre former for menneskelig aktivitet er militærleiren på Sessvollmoen og Trandum. Det er et slakteri like ved elva. Dal pukkverk ligger også i studieområdets nedbørfelt. I tillegg til disse permanente virksomhetene har det blant annet vært utbygging av E6, på strekningen Hovinmoen-Dal, i årene 2007-2009. Utbyggingen av Oslo lufthavn foregikk også mellom 2012 og 2017. Det er også under planlegging en større utbygging av flyplassen, videre mot øst slik at større deler av flyplassen vil være innenfor nedbørfeltet til Hersjøen og Risa. På Gardermosletta er det rikelig med jordbruksaktivitet, slik at det kan være en faktor man også må ta hensyn til i denne undersøkelsen.

Det ble gjennomført en masterstudie i 2018/19 i dette området for å finne årsakssammenheng til fiskedøden. Det ble ikke konkludert med noen kilder for jern og metaller, slik at videre arbeid på dette temaet er viktig for å eventuelt kunne forebygge at slike episoder gjentar seg.

Avgrensning av oppgaven

Problemstillingen for oppgaven er å kartlegge geologiske, kjemiske og fysiske forhold i øvre Risa nedbørfelt for å finne årsakssammenhengene som ligger bak fiskedødeepisodene i 2007, 2015 og 2016, og avklare hvorvidt dette må ansees som naturlige episoder eller forårsaket av menneskelige inngrep. Det ble konkludert at årsaken til at ørreten omkom i Risa skyldtes metallavleiring på gjellene, i hovedsak jern, men mangan og aluminium ble også funnet på gjellene (Haugen, 2007; Åkerstrøm et. al, 2016)

Det har blitt gjennomført undersøkelser i studieområdet som vil kunne bidra med kunnskap for å finne ut hva som kan være potensielle kilder til høye konsentrasjoner av jern, aluminium og mangan. Herunder vil det også forsøkes å avklare om episodene med fiskedød skyldes naturlige episoder eller menneskelig aktivitet.

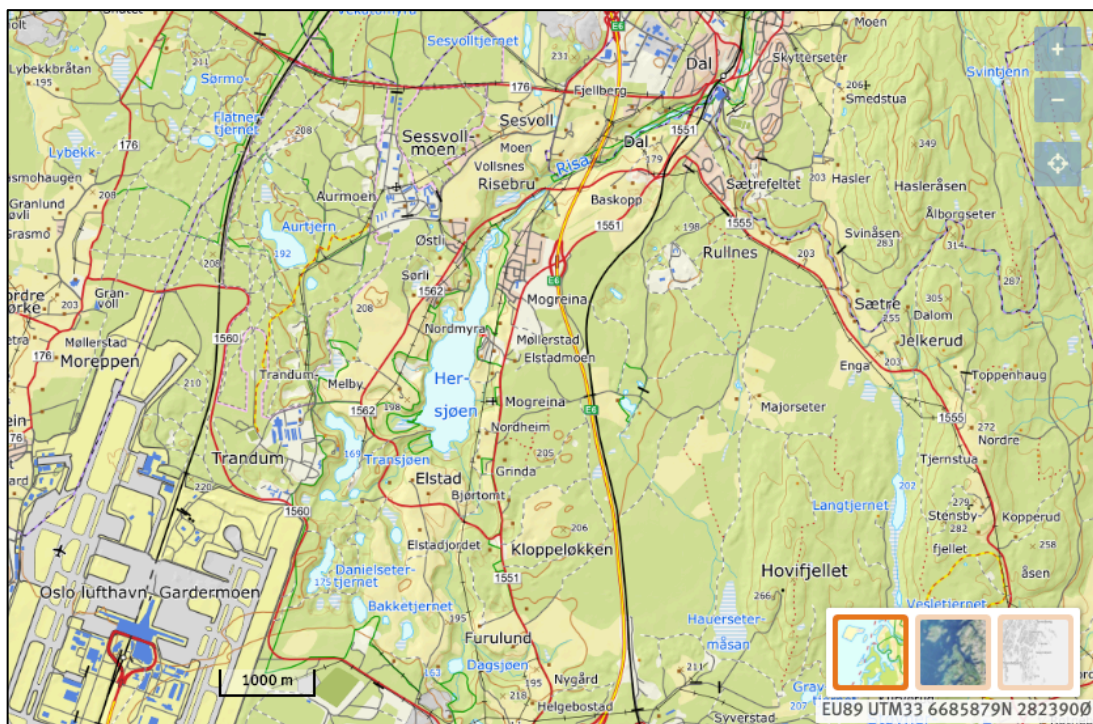
2 Introduksjon

2.1 Studieområdet

Studieområdet øvre Risa nedbørfelt er i Sørøst-Norge i Viken fylke, tidligere Akershus, området ligger på grensen mellom Ullensaker og Eidsvoll kommune. Her drenerer vann til Hersjøen og elven Risa (Figur 2.1). Hersjøen er i Ullensaker kommune, mens Risa er en del av både Ullensaker og Eidsvoll. Risa drenerer fra Hersjøen til Andelva, total lengde på Risa er ca. 15,9 km, dette er inkludert Hersjøen. Fra Hersjøens utløp til Andelva har Risa en lengde på ca. 9,5 km (Norgeskart, u.å).

Risa og Hersjøen ligger i de sentrale deler av Norges største grunnvannsmagasin på Øvre Romerike (NVE, 2017). Dette er en stor breelavsetning som hovedsakelig består av sedimenter fra fin sand til grus, med noe innslag av blokk (NGU, u.å.-c).

Basert på at glasifluviale avsetninger slik som man finner i denne akviferen er det grunn til å tro at dette er en grunnvannsressurs med potensiale for å ha god vanngiverevne, hvilket er positivt for Risa og Hersjøen som mates av dette grunnvannssystemet (Schwartz & Zhang, 2003).



Figur 2.1 Oversiktskart over øvre Risa nedbørfelt (hentet fra Norgeskart (u.å))

Introduksjon

I studieområdet er det mange antropogene aktiviteter som kan føre til forurensing av både overflatevann og grunnvann. Blant annet så ligger Oslo Lufthavn, Norges største flyplass, på dette grunnvannsmagasinet. Hersjøen og Risa befinner seg omlag halvannen kilometer nordøst for Oslo Lufthavn, og deler av lufthavnen ligger innenfor øvre Risa nedbørfelt (NVE, 2019). Tidligere Akershus fylke, nå del av Viken, er et landbruksfylke. Omfanget av landbruk er slikt fordi klimaet og jordsmonnet er optimalt for landbruksproduksjon, og det er også tilfellet for øvre Risa nedbørfelt (Fylkesmannen i Oslo og Akershus, u.å.). Ved intensiv utnyttelse av jordsmonnet til landbruk kan det føre med seg uheldige hendelser som blant annet utlekking av næringsstoffer og pesticider til vannmasser. Dette kan igjen lede til blant annet økt eutrofiering (Andersen et al., 1997, s.10).

I tillegg til Hersjøen og Risa er det innenfor nedbørfeltet flere vannforekomster i form av mindre grytehullsjøer, tilløpsbekker til Risa og mindre bekker som drenerer til Hersjøen. For vannforekomstene i dette nedbørfeltet er at det er en unik geologi i forhold til mange norske innsjøer (Rohrlack & Haaland, 2017). Innsjøene ligger i et område med mye løsmasser fra kvartærgeologiske prosesser, disse klassifiseres blant annet som glasifluviale-, eoliske og fluviale avsetninger (NGU, u.å.-c). Mye av arealet utnyttes til jordbruk, og det tas også ut grus og pukk i området.

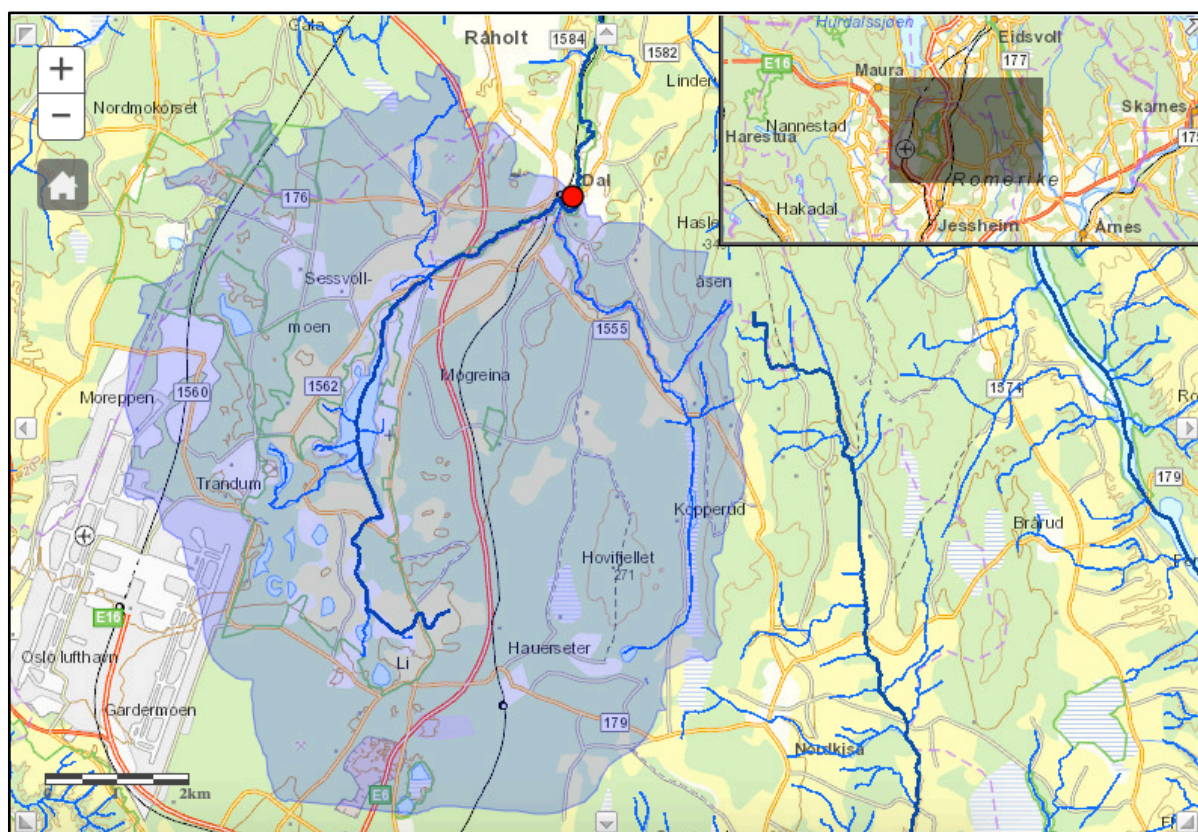
2.1.1 Hydrologi i nedbørfeltet øvre Risa

Risa og Hersjøen er en del av vannregionen Glomma. Den er igjen delt opp i 13 vannområder, hvor Risa og Hersjøen er en del av vannområdet Hurdalsvassdraget/Vorma, heretter HUVO. HUVO forvalter 300 innsjøer og tjern, hvor bekker og elver kommer i tillegg (Pedersen, 2019). Vannområdene skal sørge for at vannforekomster har minst «god» økologisk og kjemisk tilstand. Det følger av vannforskriften at vannområdene skal beskytte og forbedre vannforekomster (Forskrift om rammer for vannforvaltningen, 2006). Innenfor vannområdene jobbes det etter føre var-prinsippet og miljøpåvirker betaler – prinsippet. For enhver vannforekomst skal det være satt miljømål, og alle skal ha som mål å oppnå minst «god» tilstand både kjemisk og økologisk. Det er ikke tillatt for en vannforekomst å få redusert sin økologiske tilstand. Dersom økologisk tilstand forverres vil det være et brudd på vannforskriften (Forskrift om rammer for vannforvaltningen, 2006). Det er lagt ved en oversikt over tilstandsklassifisering og miljømål for vannforekomster i vedlegg A.

Klimatiske forhold i nedbørfeltet øvre Risa

Nedbørfeltet øvre Risa strekker seg fra Oslo lufthavn i vest til Kopperud i øst, Hovinmoen og Vilbergmoen i sør til Høgmåsan i nord. I nedbørfeltet finner man flere vannmasser som drenerer til innsjøen Hersjøen, som renner videre ut i elva Risa (NVE, 2019).

På figur 2.2 kan man observere nedbørfeltet i øvre Risa, generert fra Nevina. Kartet er modifisert etter grunnvannsdata fra Svein Roar Østmos (1976a) hydrogeologiske kart over Øvre Romerike og kart over grunnvannskoter og strømningsretning ved Oslo Lufthavn Gardermoen fra NGIs samlerapport (2019). Slutt punktet for nedbørfeltet er satt til å være like i nærheten av Dalsdammen, oppstrøms av tettstedet Dal. Årsaken til at punktet like ved Dalsdammen ble valgt som slutt punkt er at død ørret ble funnet frem til dette området. Det er ikke blitt observert død ørret nedstrøms Dalsdammen.



Figur 2.2 Generert nedbørfelt i Øvre Risa frem til Dal, dette inkluderer Hersjøen og sidebekker. Areal = 66,4 km² (Modifisert fra NVE (2019) med data fra Østmo (1976a) og samlerapport fra NGI (2019)).

For nedbørfeltet Øvre Risa vil nærmeste meteorologiske værstasjoner være lokalisert på Oslo lufthavn og Ukkestad målestasjon. Ukkestad ligger ca. 1 km sørvest for Oslo lufthavn i

Introduksjon

Nannestad kommune. Klimatiske parametere som er generert gjennom Norges vassdrag- og energidirektorat (NVE) sitt analyseprogram NEVINA, kort for Nedbørfelt-Vannføring-INdeks-Analyse, er presentert i tabell 2.1. Her kan man se at årsnedbør er beregnet til å ligge på 792 mm, hvor det meste kommer som vinternedbør, 419 mm. Årstemperatur i nedbørfeltet ligger på 3,7 °C.

Tabell 2.1 Klimatiske parametere generert fra NVE (2019).

<i>Parametere</i>	<i>Verdier</i>
Årsnedbør	793 mm
Sommernedbør	374 mm
Vinternedbør	419 mm
Årstemperatur	3,7 °C
Sommertemperatur	12,1 °C
Vintertemperatur	-2,3 °C

Hersjøen

Hersjøen er en forholdsvis liten, grunn og kalkrik innsjø i Ullensaker kommune, og den har et areal på 0,643 km² (Vann-Nett, u.å). Innsjøen er grunn, men det er lokalisert to dypere deler, på henholdsvis 14 og 16 meter. Dette peker i retning av at innsjøen har blitt dannet som følger av at isblokker har løsnet fra breen og blitt liggende igjen når den trakk seg tilbake (Lindstrøm & Brettum, 1985). Øvre Romerike er kjent for sin spesielle geologi, vannforhold og planterikdom, derfor er det etablert åtte verneområder på Gardermoen. Hersjøen er en del av Elstad landskapsvernområde (Dervo et al., 2012).

Den økologiske tilstanden til Hersjøen er klassifisert som moderat, som vil si at det må iverksettes miljøforberedende tiltak for at miljøtilstanden opp til god (Vann-Nett, u.å; Vannportalen, 2018). Den kjemiske tilstanden for Hersjøen er klassifisert som god. Alle vannforekomster har som mål å ha minst god økologisk tilstand og god kjemisk tilstand (Vannportalen, 2018).

Hersjøen har vanntilførsel fra mindre bekker, men det største bidraget av vann til Hersjøen kommer fra grunnvannet (Lindstrøm & Brettum, 1985). Siden Hersjøen i hovedsak er matet av grunnvann vil dette påvirke vannkjemien i innsjøen. Den er spesielt kalkrik, men har også

Introduksjon

relativt høye konsentrasjoner av metallioner som jern (Rohrlack & Haaland, 2017). Hersjøen er spesiell og skiller seg fra andre innsjøer som ikke for vanntilførsel fra grunnvann, . Grunnvannet har større innslag av ioner sammenlignet med regnvann grunnet anrikning av metaller, bikarbonat og sulfat, som tilføres innsjøen (Rohrlack & Haaland, 2017).

Risa

Elva Risa er en stilleflytende elv som drenerer fra Hersjøen i retning av Andelva. Den er ca. 10 km lang, og ifølge Wong og Colleuille (2005) er Risa grunnvannsmatet bortimot 95% av året. Vannføringen i Risa er på mellom 0,7-1 m³/s (Bønsnes & Bogen, 1995; Jørgensen & Østmo, 1990) Risa starter ved en gammel steinbro fra 1827 (Akershus Fylkeskommune, 2016). Som tidligere nevnt har Risa en spesiell ørretbestand, men fiskearter som abbor, gjedde, mort, steinsmett og niøye er også påvist her (Pedersen et al., 2015; Pedersen et al., 2017a). Elva er kalkrik slik som Hersjøen, og den kjemiske tilstanden i Risa er god. Den samlede økologiske tilstanden i Risa er også god (Simonsen et al., 2020).

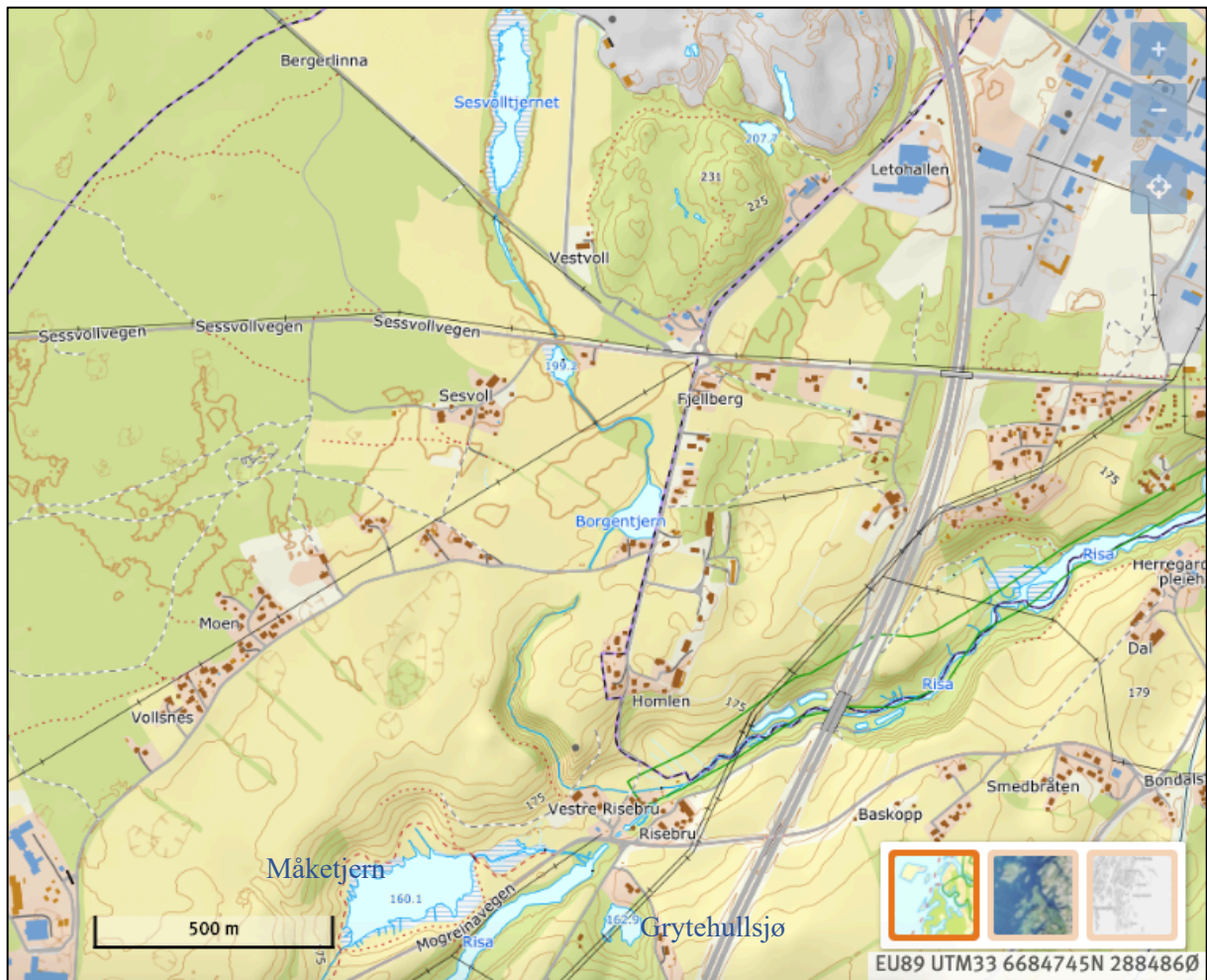
I forbindelse med utbyggingen av E6, som krysser over Risa, ble kulvert og elva delvis gravd opp, det ble anlagt rensedammer som håndtering av overvann fra E6 og det ble også fylt på stein som avbøtende tiltak (Pedersen et al., 2015).

Ved Risebru er det en demning fra ca. 1700- tallet som har blitt benyttet til blant annet mølledrift og sagbruk, denne er regnet som en naturlig vandringsbarriere (Pedersen et al., 2017b). Barrieren har en høyde på 1,7 meter og det er funnet til å ha en kunstig barriereeffekt oppover, nedover er det derimot liten barriereeffekt.

Mindre vannforekomster i studieområdet

I studieområdet er det flere mindre vannforekomster, noen av de nærliggende vises i figur 2.3. Sessvolltjernet vises øverst i figuren, denne vannforekomsten bidrar med vanntilførsel til Risa via bekkeløpet som nedstrøms løper gjennom en mindre dam og Borgentjern. Sessvolltjernet ligger 100-500 meter unna Dal Pukkverk (Norgeskart, u.å).

Introduksjon



Figur 2.3 Oversiktsbilde over mindre vannmasser, med Sessvolltjernet i øvre del av kartet, Måketjern sees til venstre for Risa og grytehullsjøen høyre for Risa. Modifisert etter Norgeskart (u.å).

Nærmere Risa finner man Måketjern (uoffisielt navn) til venstre for Risa, i figur 2.3.

Måketjern er et våtmarksområde som drenerer til Risa, her kan man observere kildeutspring fra grunnvannet, hvilket indikerer at tjernet mates av grunnvannet. En utløpsbekk drenerer vann fra Måketjern til Risa.

Til høyre for Risa (Figur 2.3) ligger det en grytehullsjø. Øvre Romerike har flere mindre grytehullsjøer, og det varierer i hvilken grad de er i kontakt med grunnvannet. Hersjøen er et eksempel på en grytehullsjø som mates av grunnvannet, den er kalkrik og har høy pH. Andre grytehullsjøer på Gardermosletta har en naturlig membran i bunnen slik at de kun mates av regnvannet og gir surere forhold (Dervo et al., 2012).

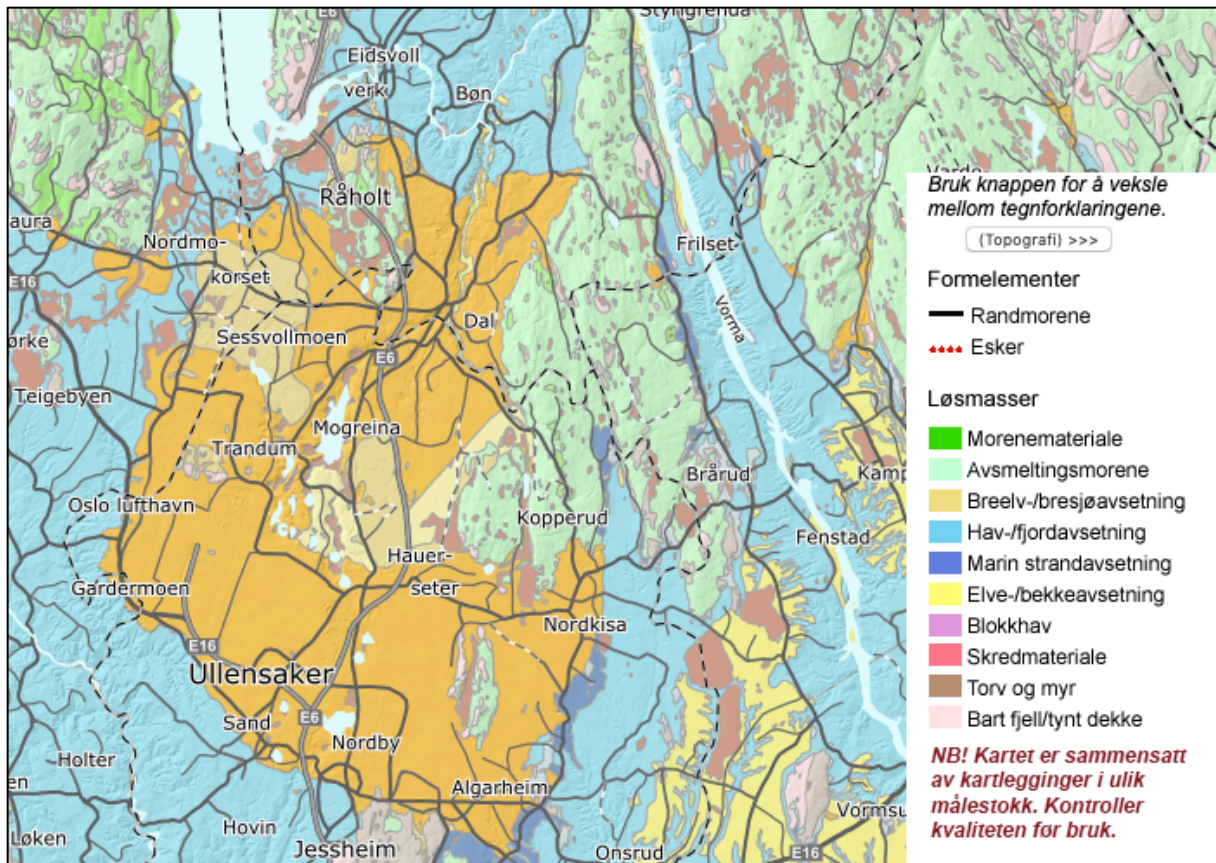
2.1.2 Geologi

I dette studieområdet er geologien særdeles preget av kvartærgeologiske prosesser. Det er massive avsetninger som er avsatt som følger av at enorme breelver har ført med seg sedimenter. Berggrunnen under løsmassene er av prekambrisk alder, og bergartene man finner her er ulike varianter av gneis (NGU, u.å.-a).

Kvartærgeologi

Studieområdet er en del av deglasiasjonstrinnet; Hauerseterrinnet, her finner man en stor breelvavsetning, som trolig har blitt avsatt i tidsrommet mellom 9800 og 9400 ¹⁴C år (Bargel, 2005, s. 15). Dette er massive sand- og grus avsetninger, hvor mektigheten er på flere titalls meter.

Den tykke kvartærgeologiske avsetningen i studieområdet, Øvre Risa nedbørfelt, er klassifisert som breelvavsetning markert med oransje i figur 2.4. Omkringliggende løsmasser er marin leire og moreneavsetninger (NGU, u.å.-c). Breelvavsetninger består for det meste av sedimenter av sand- og grusfraksjoner som er transportert med breelver fra isbreer, men det er også påvist sand med varierende grad av silt (Worren, 2003; Østmo, 1976b). Finere fraksjonene som fin sand, silt og leire ble transportert videre til havet og avsatt på denne tids havbunn (Bargel, 2005, s.15). Avsetningen er preget av at isbreen har etterlatt seg dødisgroper og grytehullsjøer etter at isblokker har løsnet fra breen og blitt liggende igjen etter at breen trakk seg tilbake. Grytehullsjøer dannet som følge av dødisaktivitet er vanlig i Norge, men det er stor variasjon i fysisk-kjemiske forhold (Dervo et al., 2012). Andre kvartærgeologiske landformer man finner i dette studieområdet er esker, smeltevannsavløp og morenemateriale. På Gardermosletta er det også kartlagt eoliske avsetninger, som er sedimenter avsatt som følge av transport med vind. Noe av disse eoliske avsetningene kan man observere i studieområdet fra løsmassekartet i figur 2.4 (NGU, u.å.-c).



Figur 2.4 Løsmassekart fra Øvre Romerike (Hentet fra NGU (u.å.-c))

Berggrunnsgeologi

I nedbørfeltet til Øvre Risa er det lite blottinger av berggrunn, da den er dekket av store mengder løsmasser. Bergartene i dette området er av prekambrisk alder (NGU, u.å.-a; Østmo, 1976b). Bergartene er ulike typer gneis, diorittisk til granittisk gneis og migmatitt. Bevis på dette kan finnes på Dal pukkverk hvor det brytes pukk fra gneis i et brudd, noen kilometer nord for Hersjøen og Risa (Feiring Bruk AS, u.å). Gneisen som utvinnes hos Dal Pukkverk er en grå, middels til grovkornet bergart (NGU, 2014a). Dette kan være indikasjoner på den bergarten som man finner under løsmassene på Gardermosletta. Det kan på løsmassekartet fra Øvre Romerike (Figur 2.4) observeres noen få blottinger av bart fjell, markert med rosa, i området rundt breelavsetningen, markert i oransje.

2.1.3 Hydrogeologi

Norges største nedbørsmatede grunnvannsmagasin

Som Norges største nedbørsmatede sedimentære grunnvannsmagasin finner man på Gardermoen. Det er en grunnvannsressurs med potensiale for å ha god vanngiverevne. Ifølge Jørgensen og Østmo (1990) så infiltreres omtrent 50% av nedbøren til grunnvannsmagasinet, og 60% av tilførselen av vann til grunnvannet kommer via snøsmelting. At grunnvannsmagasinet har god vanngiverevne gjør det optimalt for akviferen å mate vannforekomster i dette systemet. Risa og Hersjøen er kun noen eksempler på vannmasser som mates av dette grunnvannssystemet. Det er ikke utbredt utnyttelse av denne akviferen som drikkevannsforsyning, men den har godt potensiale. Det kan være enkelte husstander som benytter seg av grunnvannet som drikkevannskilde, da deler av bebyggelsen er forholdsvis spredt (Norgeskart, u.å).

Grunnvannsstrømning

Vann kan strømme gjennom ulike materialer, hastighet og hvordan det strømmer varierer med materialet det strømmer gjennom. Strømningen av vann i materialer er definert ved Darcys lov (Formel 2.1), som baserer seg på at vann strømmer gjennom materialer fra høyere trykk mot lavere hydraulisk trykkehøyde (Schwartz & Zhang, 2003, s. 45).

$$q = Q/A = -K(\delta h/\delta x) = -Ki \quad (\text{Formel 2.1})$$

q = spesifikk avrenning (m/s), Q = strømningsrate (m^3/s), A = gjennomstrømmende areal for grunnvannet (m^2), K = vanngiverevne (m/s), h = hydraulisk trykkehøyde (m), x = distansen mellom de hydrauliske trykkehøydene (m), $(\delta h/\delta x) = i$ er hydraulisk gradient.

Figur 2.5 viser et utsnitt av Østmos (1976a) hydrogeologiske kart over Øvre Romerike, som dekker store deler av øvre Risa nedbørfelt. Hele dette kartet kan ses i vedlegg B. Det er mulig å observere grunnvannsskiller og strømningslinjer, tegnforklaring finnes i vedlegg B. Østmos (1976a) hydrogeologiske kart gir en oversikt over grunnvannsstrømningen i nordlige deler av Gardermoen. Man kan se at store deler av dette grunnvannsmagasinet drenerer mot Hersjøen og Risa. Hvorvidt grunnvannet mater vassdrag eller vassdragene mater grunnvannet avhenger

Introduksjon

av grunnvannsnivået og vannføring (NGU, 2018c). Risa og Hersjøen mates av grunnvannsmagasinet, og dette gir gode forhold for gyting for fisk siden grunnvannstilsiget skaper strømning i stillestående elver (NGU, 2018c).



Figur 2.5 Utsnitt av hydrogeologisk kart over Øvre Romerike, med Hersjøen sentralt i figuren (Østmo, 1976a)

Grunnvannskjemi

Grunnvann har en annen kjemisk sammensetning enn overflatevann og nedbør. Vannet som infiltrer går ofte gjennom flere meter av løsmasser slik at det vil være mer oppløste stoffer i grunnvannet (NGU, 2018a). Grunnvannets kjemiske sammensetning er bestemt av den geologiske sammensetningen i løsmasser og bergarter. Prosesser som oksidering av sulfider, utfelling av hydroksider, biologisk opptak av nitrogen og andre næringsstoffer, utlekking av salter fra dypere sedimenter, dannelse av CO₂ og oppløsning av mineraler vil bidra til

Introduksjon

grunnvannets kjemiske tilstand (NGU, 2018a). Grunnvannets kjemiske tilstand vurderes opp mot Drikkevannsforskriften (2016).

Oksygenfattig grunnvann vil kunne inneholde mye jern og mangan (NGU, 2019). Oksidering av pyritt vil bidra til sulfat, svovelsyre og jernhydroksider til grunnvannet. Ved oksidering av pyritt vil oksygeninnholdet reduseres og man kan finne mye toverdige jern. Fra doktorgradsavhandlingen til Atle Dagestad (1998) er det påvist at innholdet av pyritt i avsetningene øker mot dypet ved to lokaliteter på Gardermoen. Dagestad (1998) avdekket også at det er et geokjemisk skille i akviferen. Skillet går mellom dypt grunnvann som er ionerikt og lavoksidisk mens grunt grunnvann er ionefattig, men oksidisk.

Grunnvannskjemien kan påvirkes av menneskelig aktivitet. Grunnvannsmagasiner består av ofte av tykke avsetninger, og på Gardermosletta er flere steder er det flere titalls meter ned til grunnvannsspeilet. Grunnvannet er derfor relativt godt beskyttet. Løsmasser kan brukes som rensing av grunnvann. Flere forurensende substanser vil bli renset bort i den umettete sonen, slik at vannet som når grunnvannet ikke vil forringe vannkvaliteten. Det er derimot flere hendelser på dette grunnvannsmagasinet som er blitt undersøkt hvor det har vært til forurensing av grunnvannet. Dette er både i form av oljesøl, kloakk, avfallsmasser og kjemikalier (Banks, 1991; Muring & Rønning, 1991; Rohrlack & Haaland, 2017). Høye konsentrasjoner av nitrat vil kunne skyldes tilsig fra jordbruk eller kloakk.

2.1.4 Menneskelig aktivitet

På Øvre Romerike benyttes naturressursene i stor grad. Det er et område som har flere gode egenskaper ved seg som er interessante for flere virksomheter. Området utnyttes til jordbruk, skogbruk og utvinning av puk, grus og sand. Det er andre områder som ikke utnyttes til uttak av naturlige ressurser, men som preges av annen menneskelig aktivitet, et eksempel er Oslo lufthavn. Dette er dog et sårbart område ovenfor menneskelig aktivitet, da særlig med tanke på at det er Norges største grunnvannsmagasin som mater flere vannforekomster.

Risebru

Ved Hersjøens utløp til elva Risa finner man Risebru. Dette var tidligere et lokalt sentrum. Her kunne man finne industri i form av sagbruk, mølle, brennerianlegg og gjestgiver. Det står

Introduksjon

ennå en gammel steinbro i tørrmur som ble satt opp i 1827 (Akershus Fylkeskommune, 2016). Før steinbroen ble bygd var det en gammel bro i tre her. Steinbroen ved Risebru har blitt restaurert to ganger, i 1986 og 1994. Det kan tilsynelatende se ut til at brua skal restaureres igjen, da den har vært sperret av siden sommeren 2019. Veien som gikk gjennom dette området var en del av Oldtidsveien og den Trondheimske Kongeveg (Akershus Fylkeskommune, 2016).

Øvre Romerike Avfallsselskap IKS

Øvre Romerike Avfallsselskap IKS, ØRAS, er et gjenvinningsanlegg i Øvre Romerike. Dette er et interkommunalt selskap som eies av Eidsvoll, Ullensaker, Nannestad og Hurdal kommune (ØRAS, 2018). Siden 2007 og fram til 2018 har antall besøkende på ØRAS mer enn fordoblet seg, fra 59 182 til 128 500. På bakgrunn av dette antas det et større trykk på anlegget med tanke på mottak av avfall.

I forhold til Risa ligger ØRAS ca. 1,5 km unna i sørøstlig retning. Avfallsanlegget befinner seg innenfor nedbørfeltet, men i følge årsrapporten deres fra 2018 er det lite sannsynlig at ØRAS kan forurense overflatevann med overflateavrenning (ØRAS, 2018).

ØRAS benytter seg av derimot av infiltrasjon av avfallsvann for sitt deponi. Vannet som infiltreres til grunnvannet har på forhånd vært gjennom en intrikat renseprosess før det kommer til infiltrasjonsbassengene, men det er ikke alle forurensende substanser som fjernes. ØRAS har flere overvåkningsbrønner hvor det tas vannprøver til analyse fire ganger i året, og ifølge disse analysene så har ikke forurensingen av grunnvannet endret seg de siste årene. Det er dog en kontinuerlig tilførsel av forurenset vann til grunnvannet i Øvre Romerike (ØRAS, 2018). Avfallsanlegget vil dermed være en kilde til forurensing av grunnvannet. Dette grunnvannet vil kunne drenere til Risa. Hvorvidt grunnvannet fra ØRAS-området er en mulig kilde til forurensing av vannet i elva er usikkert.

Oslo lufthavn

Oslo lufthavn har siden åpningen i 1998 vært Norges hovedflyplass. I 2018 hadde Oslo lufthavn 28,5 millioner reisende. Det har blitt gjennomført utvidelser av lufthavnen, den siste utvidelsen av flyplassen ble påbegynt sommeren 2012, og ferdigstilt i april 2017 (Avinor, u.å-a). I forhold til Risa og Hersjøen ligger flyplassen ca. 1,5 kilometer sørvest av innsjøen

Introduksjon

(Norgeskart, u.å). Deler av flyplassen ligger innenfor nedbørfeltet, og grunnvannskillet går gjennom flyplassen, slik at vann vil kunne drenerer herfra til Hersjøen (Avinor, u.å-c; NGI, 2019). Oslo Lufthavn har planer om videre utbygging av terminal for å ta i mot flere passasjerer som er tenkt å være ferdig i 2022, det er også planer om å anlegge en tredje rullebane (Avinor, Mai 2020; Avinor, u.å-b).

Dal pukkverk

Dal pukkverk ble etablert på Sessvoll i 1994. De bryter pukk fra gneis i et brudd omlag 1,5 km unna Risebru. Denne pukken blir bruk til blant annet veibygging, betong og ballastpukk til f.eks. jernbaneutbygging, da den har stor mekanisk styrke. Pukk fra Dal har også blitt benyttet ved byggingen av Oslo lufthavn (Feiring Bruk AS, u.å).

Furuset slakteri

Furuset slakteri ligger ca. 2 km nedstrøms Risebru, i området ved Dalsdammen (Norgeskart, u.å). Slakteriet ble etablert i 1905 på Jessheim, men det ble i 1986 bygd et nytt slakteri på Dal. Det har siden oppstarten på Dal vært utvidelser av slakteriet i 1995 og 2010. I dag er Furuset slakteri det største private slakteriet på Østlandet (Furuset AS, u.å)

Jordbruk

Viken fylke er et fylke med mye jordbruk, og det er gode grunnforhold til å drive med jordbruk her (Fylkesmannen i Oslo og Akershus, u.å). Landskapet på Øvre Romerike er lite kupert med mye løsmasser og optimalt jordsmonn for jordbruk, sammenlignet med mange andre deler av Norge som har mer fjell og mindre løsmasser. Det er varierende grad for hvorvidt løsmassene er egnet for jordbruk basert på deres evne til å holde på vann og næringsinnhold. Breelavsetninger som studieområdet består av sand og grus har liten evne til å holde på vann og næringsinnholdet er lite i forhold til marine leiravsetninger som har høyt næringsinnhold og tørker ikke like lett ut (Bargel, 2005). Det er likevel mye jordbruk i studieområdet. Gjennom aktiv utnyttelse av landbruksareal vil det kunne være fare for utlekking av landbrukskjemikalier som kan forringe vannkvaliteten i akvatiske miljø, som også kan være fare for er toksiske.

Introduksjon

Under feltkurs i juni 2019 ble det observert tydelige erosjonsspor på omkringliggende jorder, det ble også notert at jordene i dette området hadde en spesiell rustrød farge, og det ble gjort antagelser om at dette kunne være som følger av høyt jerninnhold. På møte hos Ullensaker Kommune ble det nevnt fra lokalbefolkning at det er observert betydelig avrenning fra jorder i området under tunge nedbørsperioder. Ved slike hendelser er det observert at vannet har en rød farge, som følger av erosjon av jorder og grunn med høyt jerninnhold.

Vann- og avløp i studieområdet

I området ved Risa og Hersjøen ligger Mogreina, dette er et boligområde med relativt tett bebyggelse (Norgeskart, u.å). Det er dog områder omkringliggende Risa og Hersjøen hvor bebyggelsen er mer spredt. Ved slik bebyggelse kan det ofte være at kloakk og vannforsyning er separat fra det kommunale vann- og avløpssystemet. Spredt bebyggelsen har ofte egen brønn til vann og enkelthåndtering av kloakk som for eksempel septiktank.

Det er lite utnyttelse av grunnvannet som ressurs som drikkevann i Ullensaker kommune (Bargel, 2005). Hovedkilden til drikkevannet er Hurdalssjøen. Det er derimot noen innbyggere, blant annet Bjørn Ivar Langbakk (2019), grunneier like ved Risa, som benytter grunnvannet til drikkevannskilde. Han har sin drikkevannsbrønn i området ved Dalsdammen.

Militæraktivitet på Sessvollmoen og Trandum

På Sessvollmoen finner man flere av Forsvarets avdelinger, det er også et militært skyte- og øvingsfelt. Her har det vært militæraktivitet siden 1955 (Forsvaret, u.å; Forsvarsbygg, 2016). I forbindelse med en lekkasje av opp mot 10 000 liter fyringsolje 13. desember 1991 ble det gjennomført undersøkelser av NGU (Banks, 1991). Det ble installert en pumpebrønn for å samle opp olje, dersom det kom ned til grunnvannet. Basert på undersøkelser ble det vurdert slik at løsmassenes retensjonstid i den umettete sonen var på det nivået at oljen trolig ikke ville infiltreres til grunnvannet (Banks, 1991).

Trandum militærleir ble etablert i 1914, men ifølge Rohrlack og Haaland (2017) er det liten sannsynlighet for at eventuelle utslipp fra leiren vil forurense Hersjøen. Den ligger ca. 1 km unna Hersjøen og 3,5 kilometer i luftlinje unna Risebru. Det overflatevannet står i fare for å motta forurensinger fra militærleiren i første omgang er Transjøen. I oktober 1990 skjedde det en oljелеkkasje på Trandum, hvor 20 000 liter fyringsolje lakk ut fra en oljetank. Denne

Introduksjon

hendelsen forurenset 940 m³ med jord, og Gaute Storrø (1990) påviste at grunnvannet ble forurenset av oljesølet. I 1991 ble det gjennomført undersøkelser av løsmasser og grunnvann ved Trandum militærleir for å avdekke forurensinger fra leiren (Misund & Sæther, 1991). Misund og Sæther (1991) avdekket at militærleiren på Trandum forurenset med hydrokarboner, uorganiske stoffer (nitrogen, jern og mangan) og tungmetaller (bly, sink og kopper). Disse forurensende substansene kommer fra olje og drivstoff, fyllplassen på Trandum og skytefeltet.

Utbygging av E6 Hovinmoen-Dal 2007-2009

Europavei 6 (E6) er en firefeltsmotorvei som krysser Risa ca. 500 meter nedstrøms Risebru. Høsten 2007 startet utbyggingen av E6 mellom Hovinmoen og Dal, som er en av seks parseller av Prosjektet E6 Gardermoen-Kolomoen. Strekningen på 10 kilometer ble utvidet fra to- til firefeltsvei (Mesta, 2008). Parsellen Hovinmoen-Dal ble åpnet i oktober 2009 (Statens Vegvesen, u.å.). I forbindelse med utbyggingen ble byggingen av E6 før 2007 ble det ved Risa funnet humusholdig siltig sand og torv, dårlige masser ble skiftet ut og det ble etablert kulvert (Worren, 2003). Det ble også etablert flere rensebasseng for håndtering av avrenning fra motorveien.

2.2 Fiskedød

Fiskedødepisoder i 2007, 2015 og 2016.

På forsommeren i 2007, 2015 og 2016 ble det observert døde og døende ørret i Risa. Det er ikke funnet data om at slike episoder har forekommet i Risa tidligere (Pedersen, 2017). Både i 2007 og 2015 ble det meste av den døde og døende fisken observert mellom Risebru og Dalsdammen (Haugen, 2007; Åkerstrøm et al., 2016a). I 2016 ble det derimot observert flest fisk nedstrøms Dalsdammen (Åkerstrøm et al., 2016b). Episodene med fiskedød har dermed rammet hardest oppstrøms Dalsdammen.

8. mai 2007 ble det i elva Risa observert død ørret og ørret med uvanlig oppførsel der de virket svimete. Det ble tatt ut flere døde ørreter. Det ble samlet inn 25 ørret, hvorav 18 ble sendt til analyse hos NIVA (Haugen, 2007). Resultatet av gjelleanalysene fra 2007 viste at konsentrasjonen av jern, aluminium og mangan var høye.

Lignende hendelser gjentok seg den 29. mai 2015 med akutt fiskedød i Risa. Igjen ble det også observert svimete ørret med uvanlig oppførsel. Det ble også ved denne hendelsen samlet inn ørret til analyse. Totalt ble det samlet inn 47 ørreter, både døde og døende. Her ble 21 ørreter valgt ut til analyse, hvor 8 ble gjort analyser av på lab, det for å ha en god representasjon av fisken som var samlet opp (Åkerstrøm et al., 2016a).

Kun et år etter fiskedøden i 2015 skjedde det en ny episode med akutt fiskedød i Risa, denne gangen 9. juni 2016. Dette året ble det ikke samlet inn fisk til analyse siden det ble antatt at fiskedøden skyldtes samme grunn som de to tidligere episodene. Denne gangen ble fisken funnet lengre nedstrøms i Risa enn ved de tidligere episodene (Åkerstrøm et al., 2016b).

På møte hos Ullensaker kommune 27. november 2019 uttrykte Risautvalget, ved Bjørn Otto Dønnum, en usikkerhet hvorvidt det kan ha forkommet fiskedød etter disse tre nevnte episodene. Risautvalget har spekulert i at det kan ha forekommet fiskedød i Risa etter 2016. Disse spekulasjonene baserer seg på at ørretbestanden fremdeles er redusert etter de omfattende fiskedødeepisodene de tidligere årene, og at størrelsen på fisken i bestanden er

liten. Det har ikke vært observert fiskedød etter 2016, men Risautvalget ser ikke bort fra denne muligheten.

Blandsoner og okerkvelning

Tilførsel av anoksisk, metallrikt grunnvann til overflatevann kan lede til blandsoner i elver. I grunnvann med liten tilgang på oksygen er jern i hovedsak toverdig (Fe^{2+}) (Haugen, 2007; Teien et al., 2008). Dersom oksygenfattig eller surt vann fra myrområder eller grunnvann, med toverdig jern, drenerer ut i overflatevann med mye oksygen vil føre til at jern reagerer med oksygen. Det vil skje polymerisering av toverdig jern til mer reaktive former av treverdig jern (Fe^{3+}) (Teien et al., 2008; Teien & Salbu, 2009). Vann fra myrområder inneholder gjerne mye organisk materiale, som jern kan være kompleksbundet med (Teien & Salbu, 2009). Grunnvann inneholder lite organisk materiale, slik at tilførsel av grunnvann til overflatevann vil være mer kritisk for fisken siden mer av jernet vil være i form av løst, toverdig jern.

Det er ved polymerisering av jern at okerkvelning kan forekomme, okerkvelning skjer når jern akkumuleres på fiskegjeller som leder til oksygenmangel og kvelningsdød (Åtland et al., 2003). Det er dog noen faktorer som påvirker hastigheten jernet oksideres, pH og temperatur har vist seg å spille en rolle. Teien og Salbu (2009) har ved et prosjekt angående jern og toksiske blandsoner i settefiskanlegg sett at ved pH, temperatur og konsentrasjon av Fe^{2+} vil påvirke oksidasjonen. Det ble funnet at ved høy pH, høy temperatur, god tilgang på Fe^{2+} og med oksygenrikt vann gav det økt oksidasjon av jern og desto mer avleiring på fiskens gjeller. Dersom vannet har lang oppholdstid vil jernet kunne felle ut og sedimentere (Hongve, 2016a). Årsaken til fiskedøden i Risa er knyttet opp mot metallavleiring på gjellene (Haugen, 2007; Pedersen, 2017; Åkerstrøm et al., 2016a). Det har blitt gjort undersøkelser for å kartlegge hva som kan være årsaken til en eventuell episodisk, forhøyet konsentrasjon av metaller i elva.

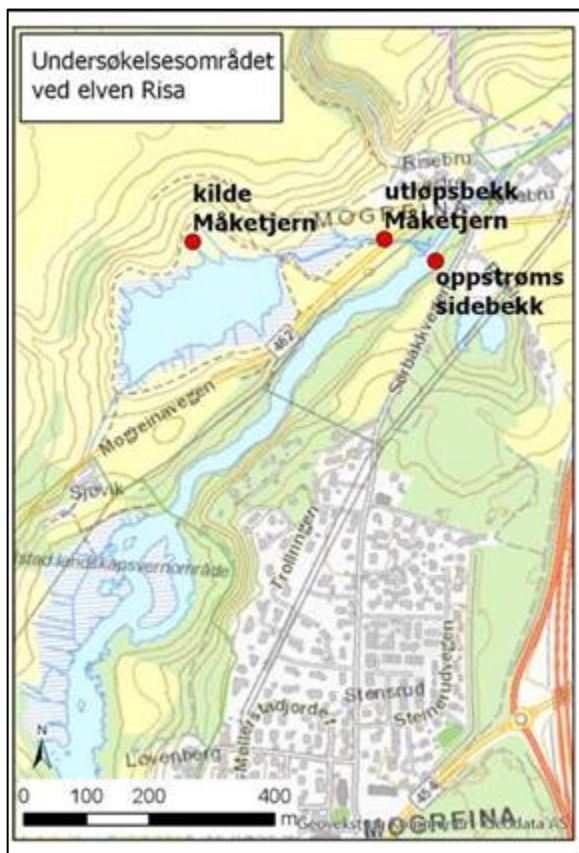
Tidligere arbeid

Det ble i 2018/2019 gjennomført en masteroppgave av Ingvild Frogner og Daniel Almhjell, angående fiskedødeepisodene som har forekommet i elva Risa. På bakgrunn av resultatene fra deres undersøkelser kom de fram til at det ikke var mulig å verken avkrefte eller bekrefte deres hypotese om at «*fiskedøden i Risa skyldtes en naturlig og episodisk tilførsel av metallrikt grunnvann eller overflatevann*». De satte derimot spørsmåltegn hvorvidt fiskedøden

Introduksjon

faktisk skyldtes metallavleiringer på gjellene, om metallkonsentrasjonen på gjellene har høy nok til å være toksisk. De spekulerte også om det kan være andre årsaker til fiskedøden, som høyere konsentrasjon av ammoniakk i elva (Frogner & Almhjell, 2019).

NGU har hatt kontinuerlig logging av temperatur, trykk og ledningsevne siden sommeren 2017 i utløpsbekken fra Måketjern. I tillegg til dette blir det tatt vannprøver to ganger i året, på forsommeren og høsten, i denne bekken, fra et kildeutspring ved Måketjern og i en tilløpsbekk fra grytehullsjøen sør for Risa (Figur 2.6).



Figur 2.6 Prøvepunkter for NGUs vannprøver (Mottatt per mail fra Atle Dagestad, 2019)

Det har skjedd lignende episoder av fiskedød i andre elver i Norge. Blant annet i Kleivsbekken, Kvinesdal kommune, i 2005, Oksielva og Kvitbruelva sidebekker til Saltdalselva i Nordland fylke og Hustadelva og Farstadelva, Fræna kommune, i 2013 (Bergan et al., 2005; Kaurin & Langelo, 2014; Kroglund et al., 2005)

3 Metoder

Egne feltundersøkelser i forbindelse med dette studiet ble foretatt i løpet av høsten 2019 og våren 2020, i området ved elva Risa. Studieområdet er en del av det glasifluviale deltaet ved Gardermoen. Det ble utført geofysiske målinger med georadar, gjort uttak av jord- og vannprøver og installert brønner for observasjon av grunnvannet. Undersøkelsene ble gjort som et bidrag til å finne ut hva som kan ha ført til episodene med fiskedød i Risa.

Vannanalyser

- Få vannprøver analysert for metaller, totalt organisk karbon, nitrogenforbindelser, ledningsevne og pH, fra ulike vannkilder i tilknytning til Risa

Jordanalyser

- Jordprøver fra noen punkter i nedbørfeltet mellom 0-2 meters dybde analyseres for metallene, magnesium, silisium, kalsium, kalium, mangan, jern og aluminium.
- Det vil også bli gjennomført kornfordelingsanalyse på jordprøvene for å vurdere vanngiverevnen ved utvalgte lokaliteter i studieområdet.

Observasjonsbrønner

- Observere og se på variasjoner i grunnvannsfluktuasjon

For kartlegging av grunnforhold ble det gjort geofysiske målinger med georadar og sonderboring

- Undersøke grunnforhold med sondering ved dreining og lytting
- Vurdere status/tilstand i felt med grunnforholdene med georadar, særlig øst for Risa.

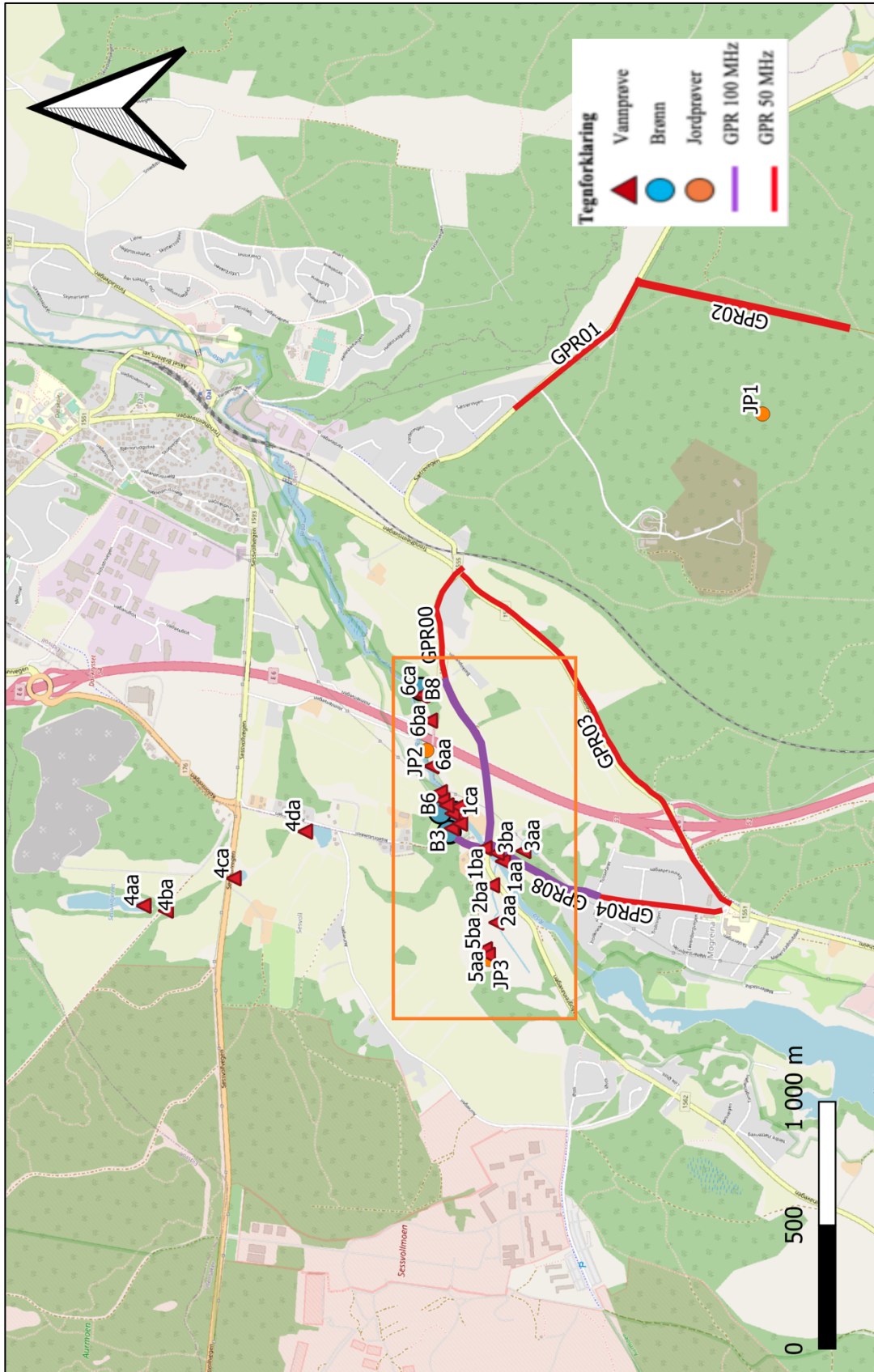
Undersøkelse av klima i studieområdet

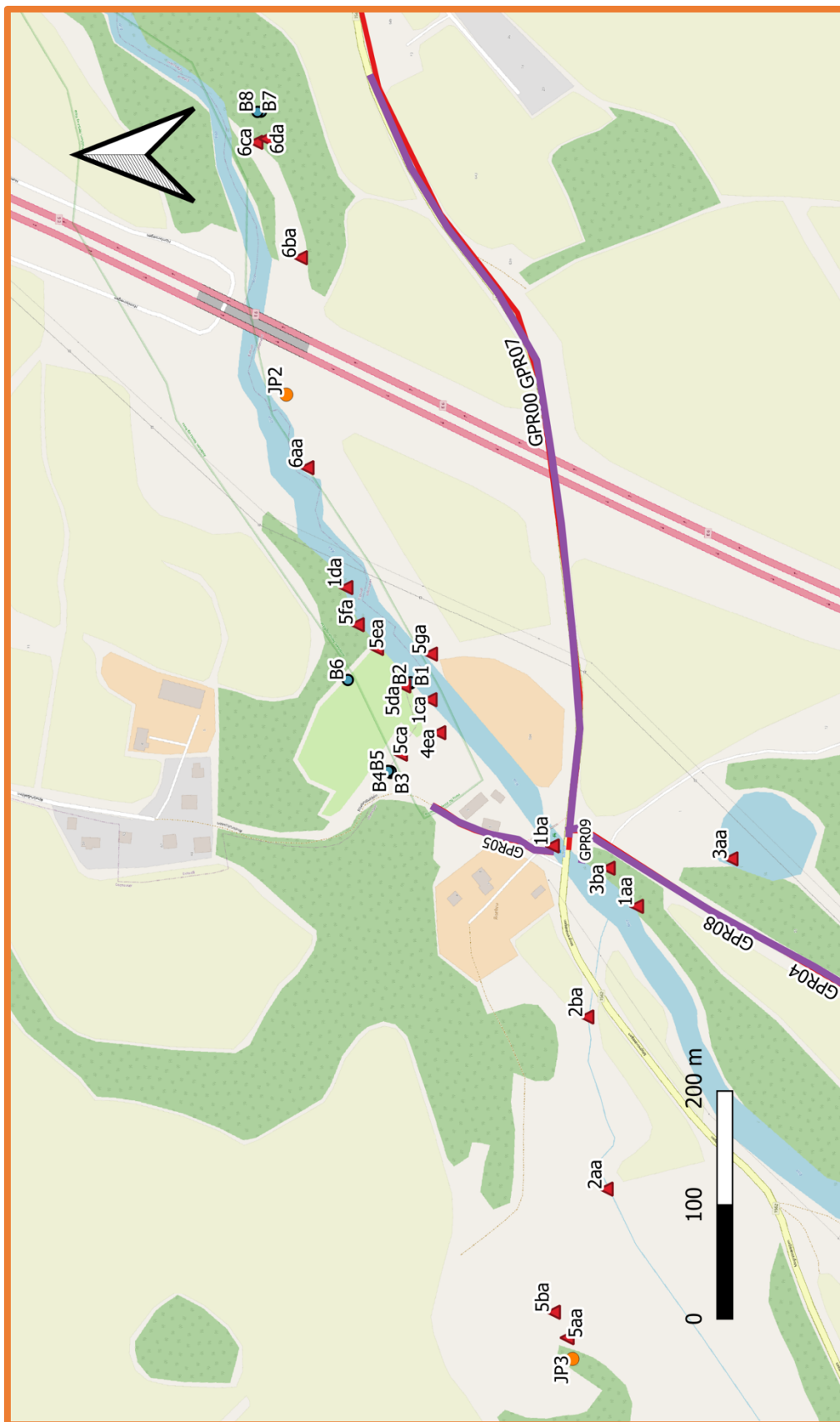
- Se på variasjoner i nedbør, temperatur og snømengder i studieområdet
- Vurdere klimatiske forhold opp mot periodene med fiskedød

Modellering av grunnvannsstrømning

- Modelmuse med tilleggspakkene ModFlow og Modpath brukes til modellering av grunnvannsstrømningen øst for Risa.

Metoder





Figur 3.1 Oversiktskart over feltaktivitet i øvre Risa nedbørfelt, med utsnitt av feltundersøkelser gjort nærme Risebru.

Metoder

Tabell 3.1 viser en oversikt over de ulike feltundersøkelsene som ble gjennomført for denne oppgave, utsnittet gir en bedre oversikt over feltundersøkelsene nærmere Risa.

Tabell 3.1 Oversikt over de ulike feltundersøkelsene som har blitt gjennomført til denne masteroppgaven.

Lokalitet	Beskrivelse	Undersøkelse
GPR00	Mogreinavegen, fra Risa til krysset ved Trondheimsveien	Georadar, 50 MHz
GPR01	Sætrevegen, fra boligfelt til innkjøring til Majorsetervegen	Georadar, 50 MHz
GPR02	Grusvei, Majorsetervegen	Georadar, 50 MHz
GPR03	Trondheimsveien, fra krysset opp fra Mogreinavegen til Mogreina skole	Georadar, 50 MHz
GPR04	Sørbakkvegen, fra Mogreina skole til Risebru	Georadar, 50 MHz
GPR05	Grusveg fra bom vest for Risa til Risebru	Georadar, 50 MHz
GPR06	Grusveg fra bom vest for Risa til Risebru	Georadar, 100 MHz
GPR07	Mogreinavegen, fra Risa til 200 meter fra E6	Georadar, 100 MHz
GPR08	Fra toppen av bakke, Sørbakkvegen til Risebru	Georadar, 100 MHz
GPR09	Fra Sørbakkvegen til Risa, ca. 36,5 m	Georadar, 100 MHz
JP1	Øst for ØRAS	Jordprøver 0-2 m, jord- og kornfordelingsanalyse
JP2	Måketjern	Jordprøver 0-1,2 m, jord- og kornfordelingsanalyse
JP3	Ved E6, under brua over Risa	Jordprøver 0-2 m, jord- og kornfordelingsanalyse
1aa	Hersjøen oppstrøms Risebru	Vannprøve, feltmåling
1ba	Risa ved Risebru	Feltemåling
1ca	Risa nedstrøms Risebru (120 m)	Vannprøve, feltemåling
1da	Risa nedstrøms Risebru (300 m)	Vannprøve, feltemåling
2aa	Måketjern ved utløp	Vannprøve, feltemåling, vannføringsmåling
2ba	Utløpsbekk fra Måketjern	Vannprøve, feltemåling
3aa	Grytehullsjø sør for Risebru	Vannprøve, feltemåling
3ba	Utløpsbekk fra grytehullsjø	Vannprøve, feltemåling

Metoder

4aa	Sessvolltjernet	Vannprøve, feltmåling
4ba	Utløpsbekk fra Sessvolltjernet	Vannprøve, feltmåling
4ca	Dam nedstrøms fra Sessvolltjernet	Vannprøve, feltmåling
4da	Borgentjern ved Risebruvegen	Vannprøve, feltmåling
4ea	Tilløpsbekk til Risa	Vannprøve, feltmåling, vannføringsmåling
5aa	Kildeutspring ved Måketjern	Vannprøve, feltmåling
5ba	Kildeutspring ved Måketjern	Vannprøve, feltmåling
5ca	Sidebekk nordvest for Risa	Vannprøve, feltmåling
5da	Sidebekk nordvest for Risa	Vannprøve, feltmåling
5ea	Sidebekk nordvest for Risa	Vannprøve, feltmåling
5fa	Sidebekk nordvest for Risa	Vannprøve, feltmåling
5ga	Sidebekk nordvest for Risa	Feltmåling
6aa	Kildeutspring like oppstrøms E6	Feltmåling
6ba	Inntak rensedam nedstrøms E6	Feltmåling
6ca	Utløp rensedam nedstrøms E6	Feltmåling
6da	Bekk oppstrøms rensedam	Feltmåling
B1	Brønn 1: Flatt område NV for Risebru ca. 10 m fra Risa	Observasjonsbrønn – PEH-rør 1 m, vannprøve, feltmåling
B2	Brønn 2: Flatt område NV for Risebru ca. 10 m fra Risa	Observasjonsbrønn – PEH-rør 2 m, feltmåling
B3	Brønn 3: Skogsområde NV for Risebru, ca. 100 m fra Risa	Observasjonsbrønn – jernrør 11 m, feltmåling
B4	Brønn 4: Skogsområde NV for Risebru, ca. 100 m fra Risa	Observasjonsbrønn – jernrør 6 m, feltmåling, diver
B5	Brønn 5: Ved kilde NV for Risebru, ca. 100 m fra Risa	Observasjonsbrønn – PEH-rør 1 m, vannprøve, feltmåling
B6	Brønn 6: Ved kilde NV for Risebru, ca. 70 m fra Risa	Observasjonsbrønn – PEH-rør 1 m, vannprøve, feltmåling
B7	Brønn 7: Nedstrøms E6 i skogområde, ca. 40 m fra Risa	Observasjonsbrønn – jernrør 12 m, sondering
B8	Brønn 8: Nedstrøms E6 i skogområde, ca. 40 m fra Risa	Observasjonsbrønn – jernrør 6 m, sondering, diver

3.1 Analyse av vannprøver

Det ble samlet inn 21 vannprøver fra 18 overflatevann og tre grunnvannsbrønner den 12.11.19, plassering vises i figur 3.1. Det skulle vært totalt 24 vannprøver, men tre av observasjonsbrønnene var frosset slik at det ikke var mulig å få tatt vannprøver fra disse. Vannprøvene ble samlet inn i halvliters flasker, flaskene ble først skylt med prøvevann før fylling. Ved prøvetaking av grunnvannsbrønnene ble det benyttet en hånddrevet peristaltisk pumpe (lånt fra NIBIO). Alle prøveflaskene ble fylt til randen for å forhindre tilgang på oksygen. Prøvene ble deretter tatt med til laboratorium på NMBU, hvor analysene av prøvene ble gjort i løpet av noen måneder. I mellomtiden ble plastflaskene, med vannprøvene, lagret i kjøleskap ved 2-5°C. De ulike prøvepunktene er basert på prøvepunkter fra en tidligere masteroppgave fra dette området utført av Ingvild Alstad Frogner og Daniel Dahl Almhjell (2019). Resultatet av analyser av Frogner og Almhjell sine vannprøver er lagt ved som vedlegg F.

Ledningsevne og pH

Vannets elektriske ledningsevne ble målt i felt og på lab. Vannprøvenes ledningsevne ble målt med Metrohm, 712 Conductometer på lab. I felt målt den elektriske ledningsevnen med et håndholdt feltinstrument, WTW LF330, hvilket ble kalibrert før utferd. Dette instrumentet ble også benyttet for å måle vannets temperatur i felt. Ledningsevnen i felt ble målt med tre anledninger (Tabell 4.1).

For undersøkelse av pH i prøvene ble det benyttet et PHM210 standard pH-meter fra Meterlab Radiometer Copenhagen. Vannprøvene ble ristet godt før det ble tatt ut 15 ml av alle prøvene, som ble overført til 50 ml plastrør. Målingen av ledningsevne ble utført først, deretter ble pH-målt i vannprøvene. Valg av denne rekkefølgen for disse undersøkelsene var for å unngå påvirkning av ledningsevnen som følger av utlekking av ioner fra pH-metrets elektroder til vannprøvene som kunne ha påvirket ledningsevnen til vannprøvene.

Metaller

For analyse av konsentrasjon av ulike metaller ble ICP, Induktivt Koblet Plasma, benyttet. Ved bruk av ICP analyseres valgte prøver for konsentrasjon av utvalgte metaller. Denne metoden går ut på at prøver som analyseres pumpes inn i en forstøver hvor det sprøytes inn

Metoder

aerosol i forstøverkammeret (Zivanovic, 2018). Store dråper fjernes i forstøverkammeret og aerosol transporteres til argon plasma, hvor atomer og ioner eksiteres ved fordamping og atomisering/ionisering (NGU, 2020; Zivanovic, 2018). Når atomene og ionene går tilbake til grunntilstand emitteres bølgelengder som er karakteristisk for hvert atom og ion. Ved en ekstern kalibrering vil bølgelengden for hvert grunnstoff brukes for konsentrasjonsestimering (Zivanovic, 2018).

Da laboratoriet på NMBU er et forskningslaboratorium, og ikke et akkreditert laboratorium er det ikke lovpålagt å ha ISO standarder som hovedveiledning. Ved ICP analyser benyttes det metoder for forbehandling av prøvene som er utviklet og etablert gjennom flere ledd som er like ISO-standarder, derfor vil metodene være tilpasset til typen prøver og konsentrasjonsnivåer. Siden det ikke benyttes definerte standarder for hvordan vannprøver skal forbehandles før analyser med ICP, ved NMBU sin forskningslab, viste det seg å være vanskeligere å oppdrive data om hvordan vannprøver hadde blitt forbehandlet ved tidligere studier enn tenkt. Det ble derfor gjennomført to analyser med to ulike forbehandlingsmetoder.

Ved analysene av metallene i vannprøvene ble det først utført oppslutning med HNO_3 og dekomponering. Prøvene ble først ristet, og det ble tatt ut prøvemateriale for dekomponering. Ved at prøver dekomponeres før analyse med ICP blir ikke instrumentet tettet av bestanddeler i vannprøvene som sedimenter og/eller organisk materiale.

Etter den første analysen med ICP, der prøvene ble oppsluttet og dekomponert, viste det seg at konsentrasjonen av flere av metallene var veldig høye. Det ble derfor besluttet å gjøre en ny analyse med ICP, siden det kunne vise seg at det ikke prøver fra tidligere studier ikke var blitt dekomponert. Det ble valgt ut enkelte av prøvene for nye analyser. Disse prøvene ble varmet opp til romtemperatur før det ble gjort uttak av vann fra beholderne med pipette. Det ble da tatt ut 9 ml ufiltrert og uforstyrret vannprøve, som ble tilsatt 1 ml HNO_3 . Deretter gikk prøven til analyse med ICP.

På grunn av usikkerheten rundt tidligere gjennomførelse av forbehandling av analyser av vannprøver, har det har ledet til mye rådløshet knyttet til analyser av vannprøver. Særlig med tanke på ICP, for min del. Fra laboratoriet har jeg fått beskjed om at tallene og data fra analysene er til å stole på, men manglende dokumentasjon på tidligere undersøkelser vanskeliggjorde denne delen av undersøkelsene fra Risa.

Totalt organisk karbon (TOC)

Prøvene ble også analysert for totalt organisk karbon (TOC). Totalt organisk karbon er et mål på oppløst og uløst organisk karbon i vannet (Norges standardiseringsforbund(NSF), 1997). Ved å se på forholdet mellom jern og totalt organisk karbon kan man si noe om toksisiteten av jernet i vannet, hvilket er viktig for denne oppgaven for å se om innholdet av jern kan være på et nivå som kan være toksisk for ørreten. Fremgangsmåten som ble benyttet ved analyse av TOC stammer fra Norges Standardiseringsforbund (NSF) (1997). Dette er en norsk standard for vannundersøkelser med henhold til bestemmelse av totalt organisk karbon (TOC) og løst organisk karbon (DOC) med nummer NS-EN 1484 (Norges standardiseringsforbund(NSF), 1997).

Prøvene skal ristes slik at man får en homogen prøve. Dersom prøvene inneholder mye partikler burde dette unngås. Før analyse ble instrumentet kalibrert, det etableres en kalibreringskurve ved analyse av «kalium-hydrogen-phthalat» standardløsninger med en serie på minst fem kalibreringsløsninger. Disse analyseres sammen med en blankprøve uten kalium hydrogen phthalat (Norges standardiseringsforbund(NSF), 1997). En referanseprøve, med kjent innhold av TOC ble benyttet, dette var en sertifisert ION-96.4 lot 0618 med en konsentrasjon av TOC på 4,6 mg/l.

Feilkilder som kan oppstå ved en slik analyse er at for prøver med mye partikler kan det lønne seg å ikke riste prøvene, for mye partikler kan tette instrumentet. Resultatene kan derfor vise at det er noe mindre totalt organisk karbon enn det som faktisk er tilfellet.

Nitrogenforbindelser – Ammonium (NH₄) og nitrat (NO₃)

For bestemmelse av konsentrasjonen av nitrat-nitrogen i vannprøvene ble standard for vannundersøkelse NS-EN ISO 13395 benyttet (Norges standardiseringsforbund(NSF), 1996).

Ved analyse av ammonium-nitrogen på NMBU sin forskningslab ble standard for vannundersøkelse NS 4746 benyttet (Norges standardiseringsforbund(NSF), 1975). Fra standarden (1975) kan feilkilder komme av at vann lett tar opp ammoniakk fra luften, dette kan føre til at prøvene har høyere konsentrasjon enn det som er tilfellet.

3.1.1 Kjemiske analyser av vannprøver fra øvre Risa nedbørfelt 2015-2019

Analyseresultat av vannprøver for denne oppgaven sammenlignes med resultater av analyser av vannprøver fra masteroppgave fra 2018 utført av Ingvild Frogner og Daniel Almhjell (2019). Tabell med analyserte parametere vises i vedlegg F, prøvepunkter for vannprøvene fra Frogner og Almhjell er de samme som for denne oppgaven. For eksempel 1aa og 1a er samme prøvepunkt. Det vil også bli gjort sammenligninger med resultatene fra analysene gjort av NGU (Dagestad, 2019). Utvalgte parametere vannprøvene ble analysert for ved NGU vises i vedlegg G. Prøvepunktene for NGU sine prøvetakninger vises i figur 2.6. Det ble gjort en undersøkelse av de kjemiske dataene for de tre lokalitetene NGU har kontinuerlig prøvetaking av for å se om det har vært en utvikling i forhold til konsentrasjonen av metaller og pH. Data fra 2015 er framstilt av Ullensaker kommune, disse prøvene er tatt like etter fiskedøden i 2015 (Åkerstrøm et.al, 2016).

Ved analyse kan det være uklart hvilke analysemetoder og forbehandling som er benyttet. Hvorvidt prøvene har vært filtrert i felt, eventuelt på lab og hvilken måte de har blitt behandlet på lab. Det kan gi veldig ulike resultater basert på de ulike behandlingsmetodene av prøvene. Det har likevel blitt gjort sammenligninger metaller fra vannprøver tatt på samme lokalitet, ved ulik tid for å se på utviklingen i konsentrasjonen.

3.1.2 Loggerdata fra NGU

I tillegg til prøvetaking av vannforekomstene ved de tre punktene i figur 2.6 så har NGU hatt to CTD-loggere stående ute i sidebekken som utløper fra Måketjern (Dagestad, 2019). CTD-loggerne har siden sommeren 2017 frem til høsten 2019 logget temperatur, trykk og elektrisk ledningsevne i bekken. Disse dataene har blitt gjort undersøkelser av for å se om det ble observert ledningsevne som indikasjon på endringer i vannkjemien.

3.2 Jordprøver

Det ble tatt ut jordprøver på tre lokaliteter i feltområdet, jordprøvene ble tatt ut med jordbor. De ble tatt ut ved tre utferder i løpet av høsten 2019. Det ble valgt tre lokaliteter, markert på figur 3.1, hvor den første jordprøven ble tatt ut i øvre deler av området sørøst for Risa hvor grunnvannet drenerer fra. Ved Måketjern vest for Risa ble jorda prøvetatt, den siste jordprøven ble tatt ut i antatt utstrømningsområde for grunnvannet. Figur 3.2 viser profilene ned til omtrent 0,8-1 meter dybde, ved hvert prøvepunkt.



Figur 3.2 Jordprofiler til ca. 0,8-1 meter dybde for hver lokalitet der jordprøvene ble tatt ut. (Foto: Stine Maleen T Hagen)

Jordprøvene ble tatt mellom 0-0,5 meter, 0,5-1 meter og 1-2 meter. Jordprøvene som ble tatt ved Måketjern ble tatt på en lokalitet der det kun var 1 meter ned til grunnvannet, slik at maks dybde på jordprøvene til analyse ble på 1,2 meter, det var ikke mulig å få jord fra større dyp med en jordbor. Tabell 3.2 viser en oversikt over jordprøver tatt i øvre Risa nedbørfelt.

Tabell 3.2 Oversikt over jordprøver tatt i øvre Risa nedbørfelt

Lokalitet	Dato	Prøve nr.	Dybde
ØRAS (JP1)	05.10.2019	JP1a	0-0,5 m
		JP1b	0,5-1 m
		JP1c	1-2 m
Måketjern (JP2)	19.10.2019	JP2a	0-0,5 m
		JP2b	0,5-1 m
		JP2c	1-1,2 m
Ved E6 (JP3)	12.11.2019	JP3a	0-0,5 m
		JP3b	0,5-1 m
		JP3c	1-2 m

3.2.1 Jordanalyser

Jordprøvene ble tørket i tørkeskap ved 35°C (Krogstad, 2009), tørketiden var på 3-4 dager. Ved analyse av jordprøver siles prøvene slik at det bare er fraksjoner <2 mm, som er leire silt og sand. Deretter ble 10-20 g av den silte prøven knust med agatmorter. Prøvene ble oppluttet med HNO₃ før analysen med ICP, siden silisium og kalium er tungt løselig ble det brukt flussyre, HF, for å opplutte dette. Prøvene ble så analysert med ICP, slik som det beskrives i 3.1.1 for metaller i vannprøver, for å finne konsentrasjonen av jern, mangan, aluminium, silisium, magnesium, kalsium og kalium. Ved jordanalyser vil det kunne avdekkes hvordan innholdet av metaller fordeler seg ved ulike dybder, og på ulike lokaliteter i nedbørfeltet.

3.2.2 Kornfordelingsanalyse

Det ble gjort kornfordelingsanalyser på jordprøvene ved de tre ulike lokalitetene, hvor det ble tatt ut prøver til jordanalyse. Det var interessant å vurdere kornfordelingen i nedbørfeltet for å finne den vanngiverevnen og for å få en indikasjon på fordelingen av sedimentfraksjoner i ulike deler av nedbørfeltet. Oppstrøms i nedbørfeltet ble det valgt en lokalitet i nærheten av ØRAS, JP1, mens det nedstrøms ble valgt en lokalitet som er en del av utstrømningsområdet for grunnvannet øst for Risa, JP3, like ved E6. I tillegg ble det valgt en lokalitet ved Måketjern, da det har vært mistanker om at kilden for metaller kan ha vært dette tjernet. Analysene av kornfordelingen vil kunne gi et bilde på vanngiverevnen til umettete deler i nedbørfeltet. Da det er store mengder løsmasser i den umettete sonen i nedbørfeltet, vil ikke

Metoder

den beregnede vanngiverevnen nødvendigvis være representativ for akviferen, særlig for JP1, hvor den mettede sonen ligger mellom 20-30 meter under overflaten (Løvlien Georåd, 2016).

Det ble brukt Hazens formula (formel 3.1) til å estimere vanngiverevnen til jordprøvene (Schwartz & Zhang, 2003, s.53). Denne likningen forutsetter at $d_{60}/d_{10} \leq 5$.

$$K(\text{m/s}) = 0,0116 [d_{10}(\text{mm})]^2 \approx (d_{10})^2/100 \quad (\text{Formel 3.1})$$

3.3 Sonderboring

Før det ble installert observasjonsbrønner ble det utført sonderboring, dette ble gjort 06.12.19 (Figur 3.1). Sonderboringen ble gjennomført ved å slå ned sonderstenger med en firkantspiss i bunn med borhammer. Det ble foretatt sonderboring for å forsikre at det var mulig å få ned observasjonsbrønnene, og få fjernet eventuelle større steiner, da spissen på sonderstanga er mer solid enn filterspissen. Sonderboringen ble også benyttet for å karakterisere egenskapene til løsmassene, hvorvidt det var stein, grus, sand, silt eller leire, det kan også brukes til å finne dybde til fjell. Karakteriseringen av sedimentene ble utført for hver meter som ble slått ned, ved å utføre sounding. Sounding foregår ved at man dreier på jernstanga og hører på lyden som sedimentene avgir i kontakt med firkantspissen. De ulike sedimentene vil kunne avgi lyd i kontakt med jernstanga, hvilke lyder man kan forvente å høre ved sonderboring vises i vedlegg C. Tiden for hver meter som ble slått ned burde også blitt registrert, men dette ble ved en feil uteglemt. Registrering av nedtrengningstiden kan være bidra til klassifisering av materiale i grunnen, siden ulike materialer vil ha ulik respons til sonderboringen. Denne metoden er dessverre ikke veldig nøyaktig, og man kan lett gå glipp av tynne lag av andre materialer.

3.4 Observasjonsbrønner

Det ble installert to observasjonsbrønner øst for Risa, nedstrøms av E6 i desember 2019. Formålet med disse observasjonsbrønnen var å observere grunnvannsfluktuasjonen over tid. Det ble brukt borhammer for installasjon. Plasseringen for brønnene er basert på ønsket om å observere grunnvannsfluktuasjonen på østsiden av Risa (Figur 3.1). Like ved området brønnene ble plassert var det et kildeutspring/våtmarksområde. Informasjon om disse brønnene kan sees i tabell 3.3.

Tabell 3.3 Informasjon om nedsatte brønner høsten 2019.

Brønner med beskrivelse	Lengde (m)	Diameter (mm)	Materiale	Filterlengde (m)	Dato	Moh.	Koordinater
B7: Skogsområde NØ for E6 ca. 30 m fra Risa	11	42	Jern	1	06.12.19	156,5	60.240359 11.1820221
B8: Skogsområde NØ for E6 ca. 30 m fra Risa	5	42	Jern	1	11.12.19	156,5	60.2403796 11.1820058

Det ble i 2018/19 gjennomført en masteroppgave i dette området av Ingvild Frogner og Daniel Almhjell, og da ble det installert seks observasjonsbrønner vest for Risa. Disse brønnene ble også benyttet til denne oppgaven, for observasjon av grunnvannsfluktuasjon. Informasjon om brønnene fra 2018/19 er lagt ved som vedlegg D. Tre av observasjonsbrønnen til Frogner og Almhjell ble det tatt vannprøver av 12.11.19.

3.4.1 Logging av grunnvannsfluktuasjon

I løpet av en periode på to uker ble det benyttet diverse fra vanEssen til å overvåke grunnvannsfluktuasjonen. Det ble gjort beslutning om å plassere diverne i begge jernbrønnene på 6 meter. Årsaken til at disse brønnene ble valgt er at her er det i løpet av høsten og våren blitt observert en stabil vannstand i rørene. De dypere jernbrønnene, på over 10 meter, ble ikke valgt på bakgrunn av overtrykk. Overtrykket fører til at vannet strømmer over kanten på rørene.

Metoder

Det ble benyttet TD-divere (figur 3.3) for å logge grunnvannsfluktuasjonen og temperatur i grunnvannet (vanEssen Instruments, u.å-c). Det ble også installert en Baro-Diver (figur 3.3) for å overvåke det atmosfæriske trykket og lufttemperatur (vanEssen Instruments, u.å-a). Data fra Baro-diveren ble benyttet for å kompensere dataene fra TD-diverne.

Diverne ble programmert til å logge hvert 30. minutt. De ble festet i tråd og senket til 5 meter fra toppen av røret, deretter ble de sikret med teip. Dataen ble samlet inn via en USB-port til Diver Office 2020 (vanEssen Instruments, u.å-b). I Diver Office ble dataene kompensert for det barometriske trykket, og senere ble avlest data eksportert til Excel for datahåndtering.



Figur 3.3 TD-Diver og Baro-Diver fra vanEssen (vanEssen Instruments, u.å-a; vanEssen Instruments, u.å-c).

3.5 Vannføring

For vurdering av tilførsel av grunnvann til Risa ble det utført vannføringsmålinger i to av sidebekkene til Risa 11. juni 2019 (Figur 3.1). Den ene bekken har utløp fra Måketjern sørvest for Risebru (2aa). Den andre bekken drenerer fra kilder i bakken nordvest for Risebru (4ea). For å beregne vannføringen i bekker og elver kan man benytte seg av saltfortynningsmetoden. Det ble også gjort vannføringsmålinger ved to punkter i Risa 22.04.20.

Saltfortynningsmetoden baserer seg på den elektriske ledningsevnen til vannet. Ved å tilføre salter, som NaCl, kan man ved å benytte en ledningsevne måler registrere endringen i vannets

ledningsevne (Day, 1977). Tiden for registrert ledningsevne i elva brukes sammen for å beregne vannføringen i vassdraget.

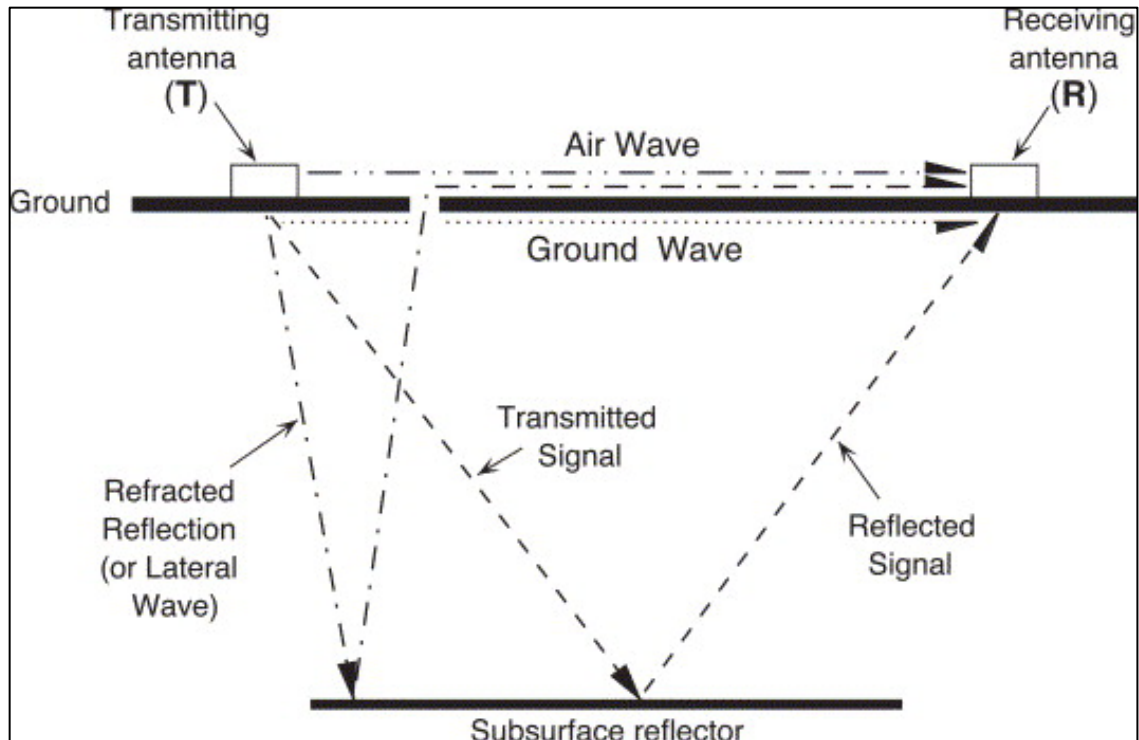
$$m \text{ [g]} = V \text{ [L]} \cdot C \text{ [g/L]} = Q \text{ [L/s]} k^* \int_0^{\infty} (K - K_b) dt \quad (\text{Formel 3.2})$$

Metoden baseres på at en gitt masse med salt (m) tilsettes en bekk med konstant vannføring (Q). Saltet (m) løses opp (fortynnes) i et visst volum (V) til en viss konsentrasjon (C). I formel 3.2 elvas ledningsevne K_b og K er registrert ledningsevne når saltskyen passerer måleren. Omregningsfaktoren k er temperaturavhengig og kan brukes fra tabell (Myrabø, 1984).

3.6 Georadar

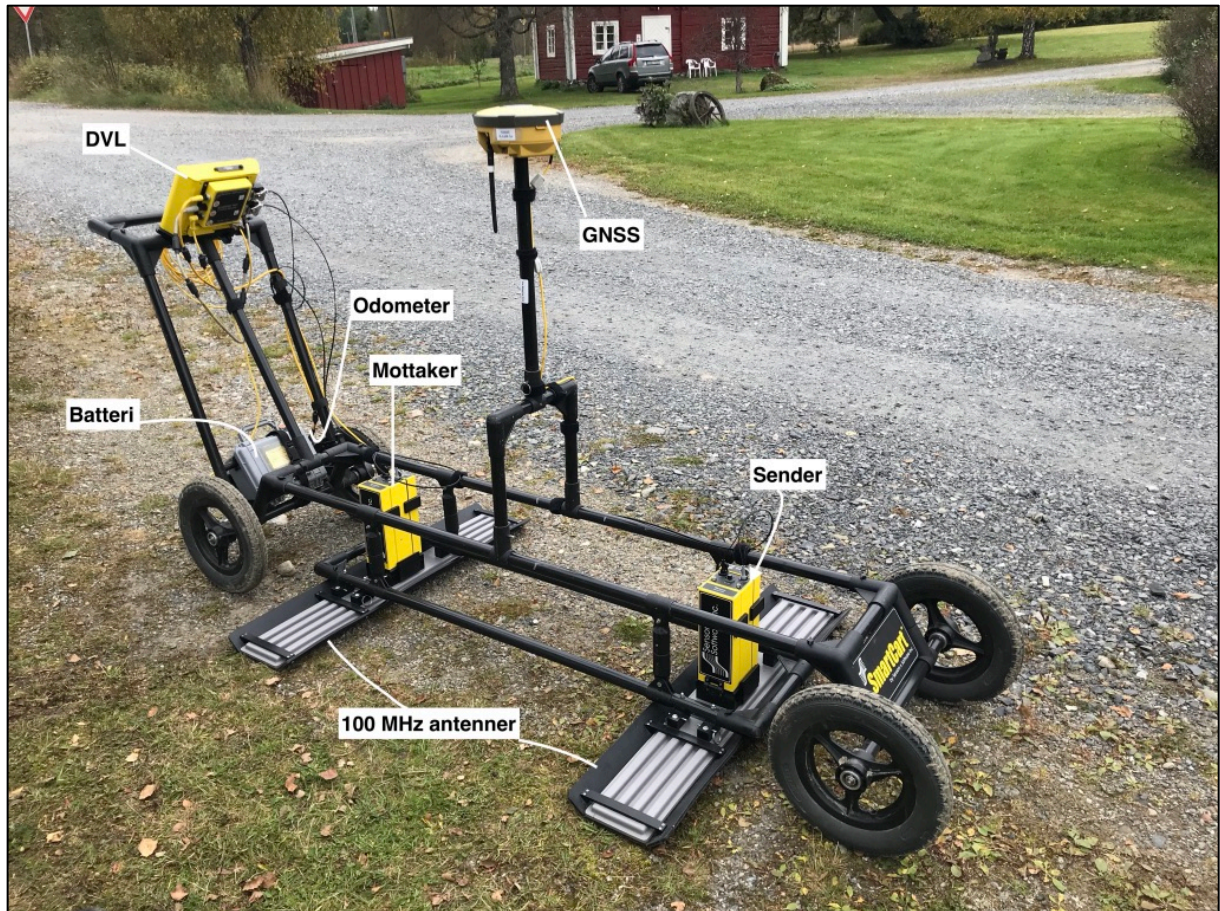
Som en del av undersøkelsen av grunnforholdene i øvre Risa nedbørfelt ble det samlet inn ti georadar-profiler i den 26. september 2019, markert på figur 3.1.

GPR er forkortelsen for ground-penetrating radar, også kalt georadar, og er en geofysisk metode som brukes for å undersøke grunnforhold. Denne metoden for undersøkelser er ikke-ødeleggende ved at det sendes elektromagnetiske bølger ut fra en senderantenne ned i bakken (Figur 3.4). Bølgene reflekteres tilbake til mottakerantennen der materialets elektromagnetiske egenskaper endres (Everett, 2013). GPR ble benyttet til undersøkelser av grunnforholdene i øvre Risa nedbørfelt. Georadar har mange bruksområder og kan benyttes ved flere geologiske undersøkelser. Formålet for denne undersøkelsen var å se om det var mulig å finne dybden til grunnvannet og berggrunn. Både dybde til grunnvann og berggrunn er nyttig for modellering av grunnvannet (Mauring et al., 1995).



Figur 3.4 Skjematisk framstilling av prinsippet bak georadar-undersøkelser (Neal, 2004).

Det ble brukt to ulike oppsett av GPR, begge med en SmartCart fra Sensor & Software Inc. I den ene varianten ble det benyttet 100 MHz antenner med én meter mellom antennene (Figur 3.5), dette ble brukt der det var antatt at dybden til grunnvannsspeilet var liten. Denne høye frekvensen ble brukt for å få høyere oppløsning på GPR-profilene. Der det var antatt at dybden til grunnvannsspeil og berggrunn var stor ble det benyttet et oppsett der avstanden mellom antennene var på to meter og frekvensen som ble valgt var 50 MHz (Figur 3.6), dette for å oppnå en høyere penetrasjonsdybde for om mulig å fange opp refleksjoner av berggrunnen. Ved 50 MHz vil oppløsningen på profilene bli noe dårligere, men det er mulig å få et dypere bilde av området. Programmet Ekko_Project 5 fra Sensors & Software med Lineview ble brukt for å prosessere dataene, og få frem strukturene i grunnen bedre.



Figur 3.5 Georadar montert på SmartCart med 100 MHz antenner med avstand på én meter.







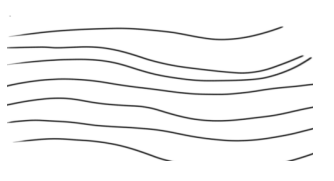

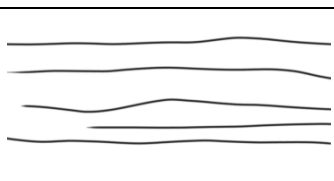

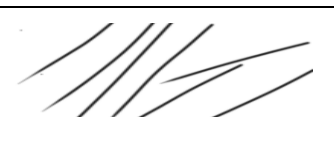




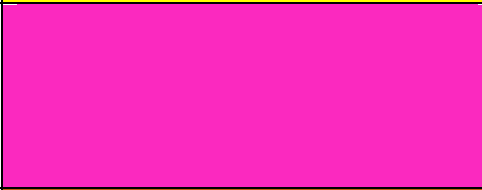
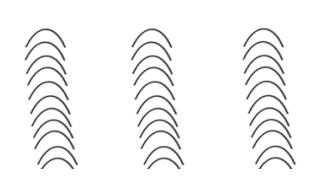



Figur 3.6 Opptak med georadar der SmartCart oppsettet har to meter mellom 50 MHz antenner.

For tolkningen av georadaropptakene er det identifisert georadarfacies basert på ulike refleksjonsmønstre som vises i tabell 3.4. Tolkningene av georadaropptakene baserer seg på informasjon fra Muring et.al (1995) som har referert fra Beres og Haeni (1991) og noe av Neal (2004). Forslag til tolkning av georadar-profiler fra Muring et. al (1995) referert fra Beres og Haeni (1991) er lagt ved som vedlegg K.

Metoder

Tabell 3.4 Georadarfacies identifisert fra georadar-profilene, tabellen er basert på (Mauring et al., 1995; Neal, 2004)

Beskrivelse	Skisse	Fargekode
Tydelig reflektor		
Tydelig reflektor		
Mindre tydelig reflektor		
Bølget		
Subparallel		
Skrå		
Hauget		
Diffraksjoner (kaotisk)		
Støy		

3.7 Undersøkelser av meteorologiske data

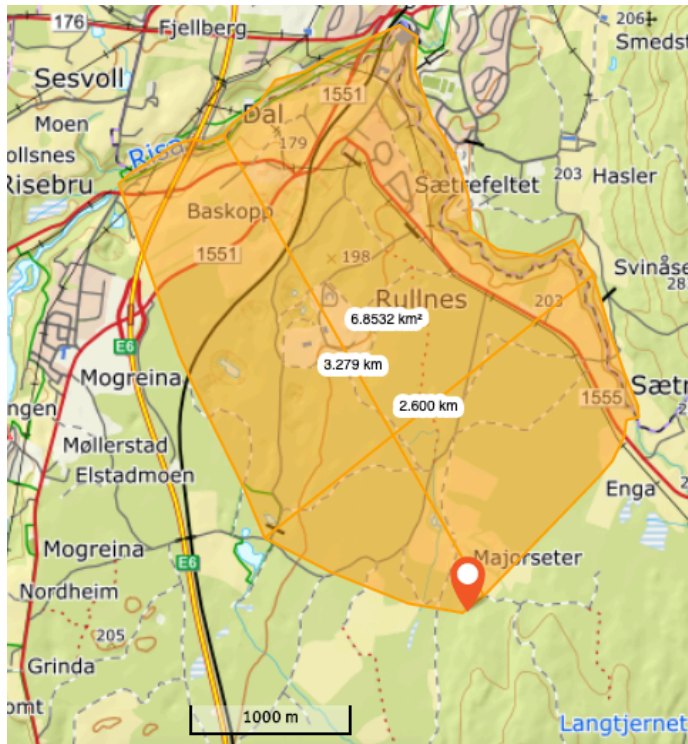
Før øvre Risa er klimatiske forhold undersøkt for årene med fiskedødepisode. Det er også relevant informasjon som kan benyttes til grunnvannsmodellering, i forhold til nedbør og snømengde.

De klimatiske forholdene i forbindelse til området øvre Risa nedbørfelt blir undersøkt i dagene og månedene før episodene med fiskedød. Disse dataene er å oppdrive fra seklima.met.no, som drives av Meteorologisk Institutt, Norges vassdrags- og energidirektorat, NORCE og Bjerkenes Centre for Climate research (Norsk Klimaservicesenter, u.å). De nærmeste meteorologiske stasjonene for studieområdet blir på Oslo lufthavn (Gardermoen), E16 Gardermoen og Ukkestad.

Det har blitt sett på hvorvidt det er noen likheter i snømengde, nedbør eller temperatur i dagene og månedene før episodene av fiskedød. De klimatiske forholdene fra årene med fiskedødepisode blir undersøkt for å se om det er noe som skiller seg ut i forhold til dette siste halvåret, 2020.

3.8 Modellering av grunnvannsstrømning

ModelMuse, med tilleggspakkene Modflow og MT3DMS, er et dataprogram som benyttes til modellering av grunnvannsstrømning og stofftransport i den vannmettete sonen (Harbaugh, 2005; USGS, 2020). Programmet blir benyttet for å modellere grunnvannstrømningen øst for Risa i øvre Risa nedbørfelt, området er markert i oransje i figur 3.7. GW_Chart ble benyttet for å lese av konsentrasjonen i utvalgte punkter per tidsenhet i hydrografer (USGS, 2018).



Figur 3.7 Oversiktsbilde av modellert område (Modifisert fra (Norgeskart, u.å)

Formålet med modellering i ModelMuse er å sammenligne grunnvannsstrømningen ved to ulike scenarioer med fastslåtte parametere. Dette vil kunne gi grove estimater på tiden det tar før grunnvannet når Risa og hvordan strømningsbildet er generelt i de ulike scenarioene. Modellen har formål om simulering av strømning i 3D i et grunnvannssystem. Modeller med lite datamengder vil gi stor usikkerhet, men det er mulig å få verdifull informasjon fra disse.

Modelloppbyggingen i ModelMuse kan man bestemme mye selv. Når systemet kjører i «steady state» er det likevekt på mengde vann inn og ut av systemet, og vanngiverevnen er satt til å være isotropisk. Øvre grense av modellen er grunnvannsnivået og er ved «steady state» konstant. Strømningssystemet er topografisk styrt, vannet går fra områder med høyt

Metoder

trykk til lavt trykk. Parameter som er fast for dette område er ved no-flow soner. I sør-øst er det en no-flow grense, fra hydrogeologisk kart (Østmo, 1976a), som følger av et grunnvannsskille. Det er også en no-flow grense til Gudmundsbekken i nord. Midt i Risa defineres det en no-flow grense mellom øst- og vestsiden av Risa. Nedbør bidrar med tilførsel fra overflaten og er 50 % av nedbør som infiltreres fra nedbør til akviferen (Jørgensen & Østmo, 1990).

Modellens oppløsning bestemmes av antall matriser. Det ble valgt 34 kolonner og 21 rader i modellen, og hver celle er på 100x100 meter. Det ble ikke valgt et høyere antall kolonner og rader da det erfaringsmessig kan bli problematisk å simulere strømning i for høy oppløsning.

Det var ønskelig å se nærmere på grunnvannsstrømningen fra grensen i den østlige delen av nedbørfeltet som utgjør grunnvannsskillet og ned til Risa slik at en får et innstrømnings- og utstrømningsområde. Den totale lengden av modellen blir derfor satt på 3300 meter. Fra tverrsnitt av hydrogeologisk kart (Figur 3.8) av Østmo (1976) ble det antatt at løsmassene har stor mektighet. Det er lite data å oppdrive om dybde til berggrunn i dette området av akviferen på Gardermoen. Det blir brukt data fra Østmos hydrogeologiske kart (1976a) om dybde til fjell for å lage en teoretisk dybde til berggrunnen basert på tverrsnittet som vises i figur 3.8. Bunnen av modellen ble interpolert og justert til å se realistisk ut..

Til modelleringen kunne det være optimalt å ha data om grunnvannsnivå oppstrøms i nedbørfeltet. Det er grunnvannsbrønner ved Øvre Romerike Avfallsselskap IKS, men disse har ingen kjent filterlengde. Så hvorvidt det er den reelle grunnvannsstanden som måles ved ØRAS er usikkert. Vannstanden som måles i observasjonsbrønnene på ØRAS kalles for dybden ned til grunnvannet. Det nevnes i Løvlien Georaad (2016) sin geotekniske datarapport at grunnvannstanden på ØRAS «*står på mellom 19,6 og 29,0 meter under terreng*».

Det vil bli forsøkt modellert grunnvannstrømning ved to ulike grunnforhold. Den ene teorien belager seg på at dette er et meget simpelt system, hvor dreneringssonen er homogen, og det er kun én vanngiverevne i hele akviferen. Den andre modellen er tenkt modellert med lag med ulik vanngiverevne. Hvor det er et lag med lav vanngiverevne mellom to lag med høyere vanngiverevne. Det vil med denne grunnvannsmodelleringen undersøkes hvordan grunnvannstrømningen endrer seg ved å ha lag med lavere vanngiverevne i akviferen, og se

Metoder

hvordan tilførsel av vann fra akvifer endres da. Parameter som benyttes i modelleringen av grunnvannsstrømningen vises i tabell 3.5.

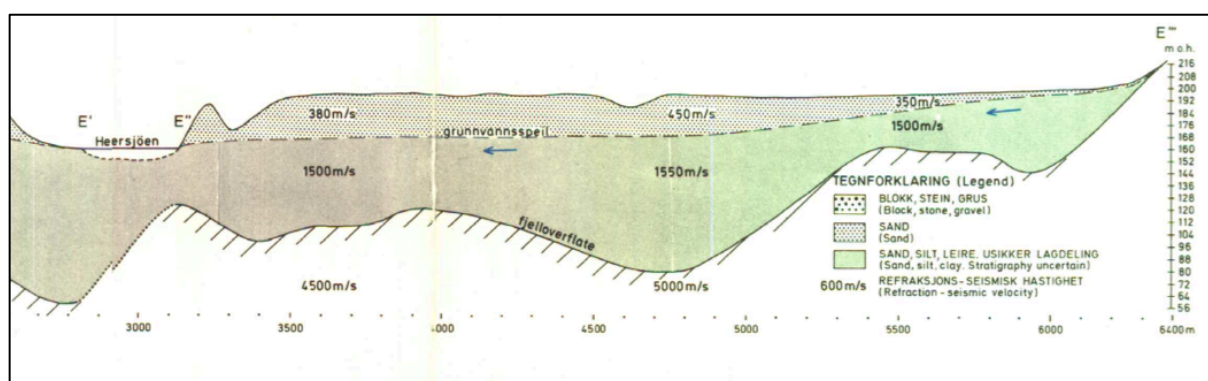
Tabell 3.5 Parameter benyttet til modellering av grunnvannsstrømning i Modelmuse.

Parameter	Data Modell 1	Data Modell 2
Dybde til fjell (vannmettet sone)	50-100 meter	50-100 meter
Vanngiverevne	5E-5 m/s	5E-5 m/s og 5E-10 m/s
Porøsitet	0,25	0,25
Recharge	50% av årsnedbør, 343 mm	50 % av årsnedbør, 343 mm
Lag	1	3
Tidsrom/tidssteg	10 år/120 tidssteg (per mnd)	10 år/120 tidssteg (per mnd)

Det ble med MT3DMS simulert stofftransport i den vannmettete sonen (USGS, 2019). Det ble tilsatt et tenkt sporelement med konsentrasjon på 1000 g. Stoffet ble tilsatt systemet én dag, langs en linje i modellen i kolonne 29. Det var da valgt en recharge her på 0,001 m/s i én dag. MT3DMS ble brukt for å vurdere modellenes transportegenskaper.

Konseptuell modell

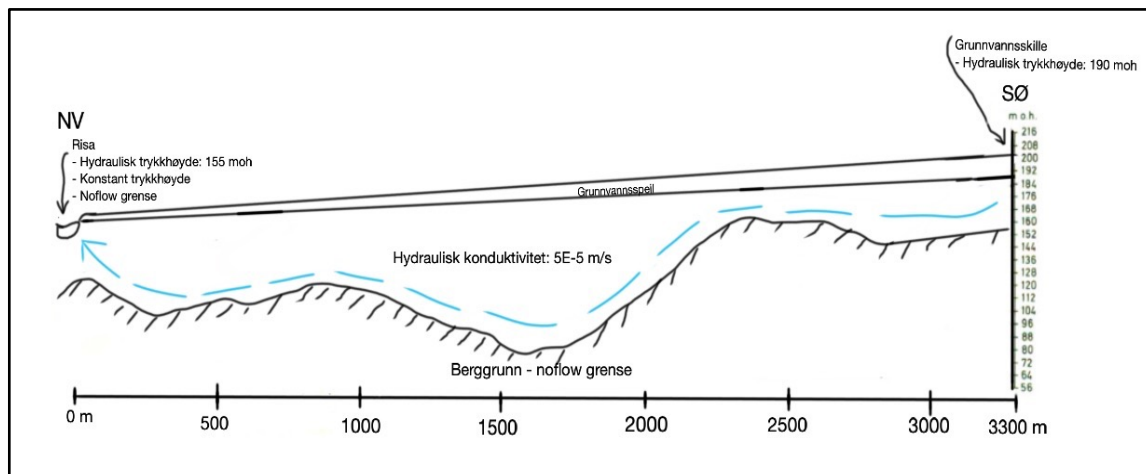
De to grunnvannsmodellene er basert på profilet i figur 3.8, det er lagt to konseptuelle modeller ved de to ulike grunnforholdene.



Figur 3.8 Profil fra Øvre Romerike i nær relasjon til området som modelleres, utsnitt fra Østmo (1976a).

Modell 1

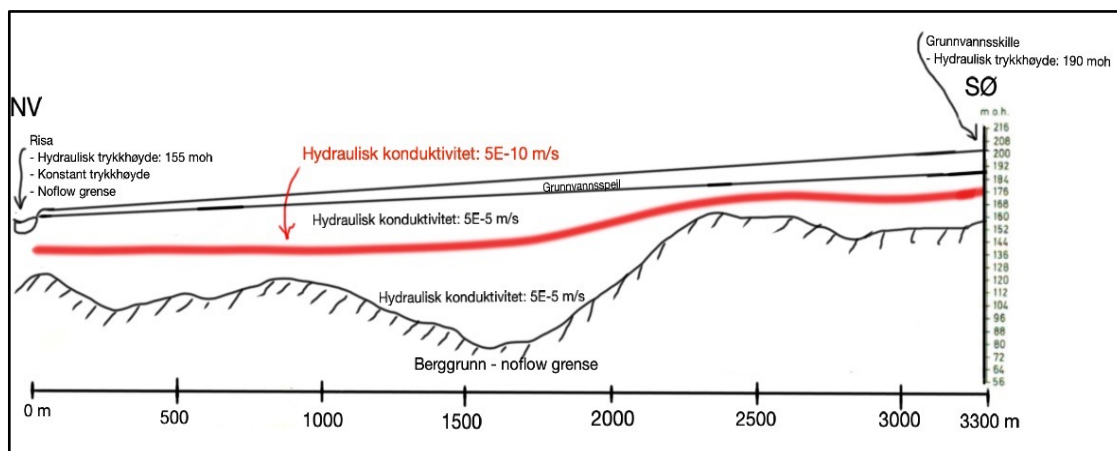
Modellen med kun én vanngiverevne og homogene løsmasser har en konseptuell modell som en basert grovt på Østmos (1976a) tverrsnitt (Figur 3.8), den har blitt skissert (Figur 3.9). Det som er hentet fra dette tverrsnittet er et grovt estimat på dybde av løsmassene til fjell og lengde på området. I tillegg til å bruke tverrsnittet, benyttes det hydrogeologiske kartet (1976) for å ha verdier på grunnvannsnivået i området. Det er kun den vannmettete sonen som er med i modellert.



Figur 3.9 Konseptuell modell for modellering av homogent grunnforhold.

Modell 2

For den andre modelleringen er det tenkt at det er tre lag, hvor det er et lag med lavere vanngiverevne (Figur 3.10). Slik at grunnforholdene er av heterogen karakter. Laget med lav vanngiverevne er tenkt til å være leire, $5E-10$ m/s. Lagene over og under leirelaget har en vanngiverevne på $5E-5$ m/s, som vil være av sandig materiale (Schwartz & Zhang, 2003).



Figur 3.10 Konseptuell modell ved heterogene grunnforhold.

4 Resultater

4.1 Analyser av vannprøver

4.1.1 Resultater av kjemiske analyser av vannprøver.

Feltparametere

Måling av feltparametere, elektrisk ledningsevne og temperatur, i vannmasser i tilknytning til Risa er fremstilt i tabell 4.1. Disse undersøkelsene ble foretatt 12.06.19, 12.11.19 og 22.04.20. Det er relativt store variasjoner i temperaturen i de ulike vannmassene, temperaturene går fra 1,9-7,6. Dette kan komme av at i løpet av dagen ble det gradvis varmere temperatur i luften. Målingene med lavest temperatur ble tatt tidlig på dagen, lokalitetene der temperaturen ligger over 6 °C ble målt senere på dagen. Det er likevel verdt å nevne at selv om det var frost i bakken var det ennå mulig å måle temperaturen i tre av observasjonsbrønnene. B5 og B6 som er plassert i kildeutspring hadde temperatur på rundt 4 °C.

Ledningsevnen for vannmassene i området ligger på mellom 193-620 µS/cm. Høyest ledningsevne ble målt i kildeutspring like oppstrøms E6 (6aa). Grytehullsjøen sør for Risebru (3aa) og utløpsbekken fra grytehullsjøen (3ba) hadde verdier på 379 og 398 µS/cm. Det ble også funnet høy ledningsevne, over 300 µS/cm, i kildeutspring nordøst for Risebru (5da, 5ea og 5ga) og i fem av seks undersøkte observasjonsbrønnene (B5 og B6). Lokalitetene med lavest ledningsevne målt i felt var utløpet fra Måketjern (2aa), utløpsbekken fra Måketjern (2ba) og kildeutspring ved Måketjern (5aa), disse lokalitetene hadde verdier for elektrisk ledningsevne mellom 193-199 µS/cm. At kildeutspringet ved Måketjern (5aa) har så lav ledningsevne er overaskende da grunnvannet springer ut her. Jeg hadde trodd at denne lokaliteten ville hatt litt høyere ledningsevne siden grunnvann gjerne har mye oppløste stoffer som vil bidra til høyere ledningsevne. En annen vannmasse som skiller seg ut er inntaket til rensesbassenget til Statens Vegvesen hvor ledningsevnen kun var på 88 µS/cm.

Resultater

Tabell 4.1 Feltparametere i vannmasser tilknyttet Risa.

Lokalitet	Beskrivelse	Dato	Ledningsevne ($\mu\text{S/cm}$)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
1aa	Hersjøen oppstrøms Risebru	12.11.2019	252	2,5
1ba	Risa ved Risebru	12.11.2019	253	2,5
1ca	Risa nedstrøms Risebru (120 m)	12.11.2019	251	4,1
1da	Risa nedstrøms Risebru (300 m)	12.11.2019	239	5,3
2aa	Måketjern ved utløp	12.11.2019	198	4,9
2ba	Utløpsbekk fra Måketjern	12.11.2019	199	3,7
3aa	Grytehullsjø sør for Risebru	12.11.2019	398	2,3
3ba	Utløpsbekk fra grytehullsjø	12.11.2019	379	2,6
4aa	Sessvolltjernet	12.11.2019	265	5
4ba	Utløpsbekk fra Sessvolltjernet	12.11.2019	241	3,4
4ca	Dam ved Sessvollvegen	12.11.2019	239	3,3
4da	Borgentjern ved Risebruvegen	12.11.2019	226	2,4
4ea	Tilløpsbekk til Risa	12.11.2019	255	3,6
5aa	Kildeutspring ved Måketjern	12.11.2019	193	5,4
5ba	Kildeutspring ved Måketjern	12.11.2019	233	6,4
5ca	Sidebekk nordøst for Risebru	12.11.2019	256	3,6
5da	Sidebekk nordøst for Risebru	12.11.2019	306	7,6
5ea	Sidebekk nordøst for Risebru	12.11.2019	304	7,2
5fa	Sidebekk nordøst for Risebru	12.11.2019	254	3
5ga	Sidebekk nordøst for Risebru	12.11.2019	315	7,4
6aa	Kildeutspring like oppstrøms E6	22.04.2020	620	5,4
6ba	Inntak rensedam nedstrøms E6	22.04.2020	88	7,7
6ca	Utløp rensedam nedstrøm E6	22.04.2020	212	7,7
6da	Bekk oppstrøms utløp rensedam	22.04.2020	261	7,7
B1	B1-brønn	12.11.2019	251	1,9
B2	B2-brønn	12.06.2019	344	6,5
B3	B3-brønn	12.06.2019	337	6,1
B4	B4-brønn	12.06.2019	359	6,3
B5	B5-brønn	12.11.2019	302	4,1
B6	B6-brønn	12.11.2019	352	4,2

Ledningsevne og pH

Ledningsevne ble målt både i felt og på laboratorium. På denne måten kan man vurdere hvorvidt feltinstrumentet er til å stole på. I dette tilfellet kan man det, da verdiene som ble målt i felt og på lab er relativt like. Verdiene fra måling av ledningsevne på lab finnes i tabell 4.2. Her kan man se at grytehullsjøen sør for Risebru(3aa), utløpsbekken fra grytehullsjø (3ba), sidebekk nordøst for Risebru (5da og 5ea) og observasjonsbrønn 6 (B6) har høyest ledningsevne med verdier over 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Lokaliteten med lavest ledningsevne er kildeutspring ved Måketjern (5aa) slik som i felt, med verdien 195,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Resultatene etter undersøkelse av pH i vannprøvene kan sees i tabell 4.2. For pH kan man se at verdiene ikke varierer vesentlig, det er en lokalitet som skiller seg ut med en lavere pH enn de andre prøvepunktene. Det er lokalitet 3aa, grytehullsjøen sør for Risebru, her ligger pH på 5,45. De fleste andre prøvepunktene har verdier for pH mellom 7,5 – 8,4.

Totalt organisk karbon (TOC)

Vannprøvene ble analysert for totalt organisk karbon, resultatene for alle prøvepunktene kan sees i tabell 4.2. Som det er mulig å se ut ifra tabellen er det noe variasjon i prøvene. De fleste prøvene hadde verdier for konsentrasjon av TOC <1,7 mg/l.

Det er noen av lokalitetene som har høye verdier. Sessvolltjernet (4aa) og vannmassene nedstrøms Sessvolltjernet (4ba, 4ca og 4da) er funnet til å ha høye verdier for TOC, alle disse prøvene har konsentrasjoner for TOC mellom 15 og 19 mg/l. Grytehullsjøen sør for Risebru (3aa) og utløpsbekken derifra (3ba) har konsentrasjon for TOC på 4,5 og 4,7. Disse to prøvene ble det en del materiale oppi siden det var lite vann, det var vanskelig å prøveta vannet her.

Nitrogenforbindelser – Ammonium (NH_4) og nitrat (NO_3)

Vannprøvene ble analysert for nitrogenforbindelsene ammonium (NH_4) og nitrat (NO_3). Resultatene vises i tabell 4.2. For ammonium viser det seg at flere av prøvene har verdier under «limit of detection (LD)», som vil si at konsentrasjonen var for liten for å måles. For ammonium er limit of detection på 0,035568847 mg/l. Her er det utløpsbekken fra

Resultater

grytehullsjøen sør for Risebru (3ba) som skiller seg ut med den høyeste konsentrasjonen av $\text{NH}_4\text{-N}$ på 8,5 mg/l. Bortsett fra denne vannmassen er det grytehullsjøen (3aa), Sessvolltjernet (4aa), vannmassene nedstrøms Sessvolltjernet (4ba, 4ca og 4da) og en sidebekk nordøst for Risebru (5fa) som har målbare konsentrasjoner av $\text{NH}_4\text{-N}$.

Konsentrasjonen av nitrat i vannprøvene varierer mellom å være under "limit of detection", som er på 0,004242641 mg/l, og opptil 2,5 mg/l. Den lokaliteten med høyest konsentrasjon av nitrat-N er det ene kildeutspringet ved Måketjern (5ba). Det andre kildeutspringet ved Måketjern (5aa) har også høy konsentrasjon av nitrat-N med en verdi på 1,4 mg/l. Andre vannkilder som har høyt innhold av nitrat-N er de som drenerer fra Sessvolltjernet mot Risa (4ba, 4ca og 4da) og en av sidebekkene nordøst for Risebru (5da).

Resultater

Tabell 4.2 Resultater av kjemiske analyser av vannprøver for parameterne totalt organisk karbon (TOC), pH, ledningsevne, nitrat-N og ammonium-N.

Lokalitet	Beskrivelse	Ledningsevne ($\mu\text{S/cm}$)	pH	TOC (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	Nitrat-N (mg/l)
1aa	Hersjøen oppstrøms Risebru	255,3	8,01	1,5	<LD	0,31
1ca	Risa nedstrøms Risebru (120 m)	247,5	8,01	1,5	<LD	0,32
1da	Risa nedstrøms Risebru (300 m)	247,3	8,03	1,5	<LD	0,34
2aa	Måketjern ved utløp	202,4	7,94	1,3	<LD	0,42
2ba	Utløpsbekk fra Måketjern	202,8	7,73	0,98	<LD	0,65
3aa	Grytehullsjø sør for Risebru	383,7	5,45	4,7	0,33	0,043
3ba	Utløpsbekk fra grytehullsjø	380,6	7,29	4,5	8,4	<LD
4aa	Sessvolltjernet	203	6,75	19	0,26	0,86
4ba	Utløpsbekk fra Sessvolltjernet	235,2	6,89	15	0,19	1,3
4ca	Dam ved Sessvollvegen	231,2	7,04	15	0,19	1,2
4da	Borgentjern ved Risebruvegen	226,7	7,56	15	0,19	1,2
4ea	Tilløpsbekk til Risa	238	7,86	1,6	<LD	0,6
5aa	Kildeutspring ved Måketjern	195,7	7,94	0,82	<LD	1,4
5ba	Kildeutspring ved Måketjern	235,8	8,03	<0,5	<LD	2,5
5ca	Sidebekk nordøst for Risebru	257,7	7,93	1,3	<LD	<LD
5da	Sidebekk nordøst for Risebru	311,8	8	0,83	<LD	2,4
5ea	Sidebekk nordøst for Risebru	303	8	0,65	<LD	0,52
5fa	Sidebekk nordøst for Risebru	244,6	7,63	1,7	<0,12	0,72
B1	B1-brønn	241,2	7,55	1,7	<LD	<0,014
B5	B5-brønn	291,2	8,04	0,98	<LD	<LD
B6	B6-brønn	323	7,44	1,1	<LD	0,64

Metaller

For analyser av metaller i vannprøvene ble det gjort på to ulike måter. Det var vanskelig å oppdrive informasjon om hvordan analysene av vannprøvene var blitt gjort ved tidligere analyser.

I førsteomgang ble vannprøvene oppsluttet med HNO₃ syre og dekomponert. Dette gav svært høye verdier for jern, aluminium og mangan. Resultatene for utvalgte lokaliteter vises i tabell 4.3. Oversikt over analyseresultater av alle vannprøvene etter dekomponering og analyse med ICP kan sees i vedlegg E. Analysen av metaller med dekomponerte vannprøver gav høye

Resultater

verdier for metallene aluminium, jern og mangan. Særlig skilte utløpsbekk fra grytehullsjøen sør for Risa (3ba) seg ut, denne vannprøven har 63 mg Al/l, 320 mg Fe/l og 23 mg Mn/l. Grytehullsjøen sør for Risebru (3aa) har også en av de høyeste konsentrasjonene for mangan. Vannprøvene fra observasjonsbrønnene (B1, B5 og B6) har alle høye konsentrasjoner for aluminium og jern. B5 har også relativt høy konsentrasjon av mangan også, 5,7 mg Mn/l. En av sidebekkene nordøst for Risebru (5fa) har høy konsentrasjon av aluminium, 39 mg/l, jern, 98 mg/l, og mangan, 39 mg/l (vedlegg E). Vannmassene som drenerer fra Sessvolltjernet (4aa, 4ba, 4ca, 4da) har konsentrasjon av jern som er >2,5 mg Fe/l (vedlegg E). Kildeutspringet ved Måketjern (5aa) har høy konsentrasjon av aluminium og jern på henholdsvis 6,9 mg Al/l og 5,3 mg Fe/l.

Tabell 4.3 Resultat etter analyse med ICP av dekomponerte vannprøver.

Limit of detection, LOD i mg/l		0,003	0,02	0,01	0,1	0,0003	0,0003	0,01
Lokalitet	Beskrivelse	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)
1aa	Hersjøen oppstrøms Risebru	<0,01	<LOD	0,14	44	1,6	3,6	4,5
1da	Risa nedstrøms Risebru (300 m)	0,053	0,05	0,16	44	1,6	3,6	4,6
2aa	Måketjern ved utløp	<0,01	0,23	0,095	35	1,3	3,2	3
2ba	Utløpsbekk fra Måketjern	0,014	0,31	0,094	32	1,2	3,2	2,9
3aa	Grytehullsjø sør for Risebru	0,068	0,35	1,6	53	3,9	4,8	4,9
3ba	Utløpsbekk fra grytehullsjø	63	320	23	100	26	21	22
4aa	Sessvolltjernet	0,2	2,5	0,24	28	2	3,8	7
4ea	Tilløpsbekk til Risa	0,59	2,7	0,22	43	1,5	4,1	4,3
5aa	Kildeutspring ved Måketjern	6,9	5,3	0,06	38	3,4	4,7	4,6
B1	B1-brønn	54	36	1,2	54	19	13	15
B5	B5-brønn	110	69	5,7	89	35	24	23
B6	B6-brønn	46	110	0,71	67	14	13	15

Deretter ble det for utvalgte prøver gjort en ny analyse på ufiltrerte og uforstyrrede prøver, kun tilsatt HNO₃. Disse resultatene vises i tabellen under (Tabell 4.4). Her kan man se at for aluminium er det Sessvolltjernet (4aa) som har den høyeste konsentrasjonen, med 0,15 mg Al/l. Alle de andre lokalitetene har liten konsentrasjon av aluminium <0,02 mg Al/l. For

Resultater

konsentrasjonen av jern i de uforstyrrede og ufiltrerte prøvene er det ved flere av lokalitetene <0,01 mg Fe/l. Sessvolltjernet er en av lokalitetene med høyest konsentrasjon med en verdi på 1,7 mg Fe/l. Det er også ved denne forbehandlingsmetoden utløpsbekken fra grytehullsjøen sør for Risebru (3ba) som har den høyeste konsentrasjonen på 13 mg Fe/l. For denne lokaliteten er størst konsentrasjonen av mangan, med en verdi på 9,2 mg Mn/l. Grytehullsjøen (3aa) har også høy konsentrasjon av mangan på 1,5 mg Mn/l.

Tabell 4.4 Resultat etter ICP-analyse av ufiltrert og uforstyrrede prøver.

Limit of detection, LOD i mg/L		0,00002	0,0008	0,0002	0,005	0,04	0,0002	0,007
Lokalitet	Beskrivelse	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)
1aa	Hersjøen oppstrøms Risebru	0,001	<LOD	0,0007	40	1,4	3,3	4,1
1da	Risa nedstrøms Risebru (300 m)	0,001	<LOD	0,0007	39	1,4	3,3	4,1
2aa	Måketjern ved utløp	0,001	0,010	0,0007	31	1,2	3,0	2,8
2ba	Utløpsbekk fra Måketjern	0,001	0,003	0,0007	27	1,1	3,1	2,8
3aa	Grytehullsjø sør for Risebru	0,031	0,18	1,5	49	3,0	4,4	4,5
3ba	Utløpsbekk fra grytehullsjø	0,013	13	9,2	67	3,9	5,9	8,1
4aa	Sessvolltjernet	0,15	1,7	0,065	25	1,7	3,5	6,4
4ea	Tilløpsbekk til Risa	0,003	0,083	0,0007	38	1,3	3,7	3,8
5aa	Kildeutspring ved Måketjern	0,001	<LOD	0,0007	28	0,97	3,0	3,0
B1	B1-brønn	0,012	0,052	0,11	38	0,76	3,4	3,0
B5	B5-brønn	0,010	0,013	0,0019	45	1,3	4,6	4,1
B6	B6-brønn	0,004	0,033	0,0007	48	0,26	5,9	5,5

Sammenligning vannprøver med ulik forbehandling

Dekomponerte prøver mot ufiltrerte og uforstyrrede prøver, kun tilsatt syre. Resultatene i sort er for prøvene som ikke er dekomponert.

Dersom man ser på sammenligningstabellen i vedlegg H kan man se at verdiene for kalsium, kalium, natrium og magnesium ikke veldig ulike etter de to ulike forbehandlingsmetodene ved analyse med ICP. Det er noen av prøvepunktene som skiller seg fra hverandre, men ikke på samme måte som for jern, mangan og aluminium.

Resultater

For metallene aluminium, jern og mangan kan det sees i tabell 4.5 at konsentrasjonen er betydelig høyere når prøvene er dekomponerte. Grytehullsjøen sør for Risebru (3aa) og Sessvolltjernet (4aa) skiller seg ut ved at resultatene etter begge forbehandlingsmetodene er veldig like for alle tre metallene. Utløpsbekken fra grytehullsjøen (3ba) skiller ut ved at den har veldig høye verdier for alle metallene ved dekomponering, men også når prøvene er uforstyrret, ufiltrert og tilsatt syre.

Tabell 4.5 Konsentrasjoner av Fe, Al og Mn etter ICP-analyse ved to ulike forbehandlingsmetoder. Prøveresultater for dekomponerte prøver er markert med rødt, prøveresultatene i sort er for uforstyrrede og ufiltrerte prøver tilsatt syre.

Lokalitet	Beskrivelse	Al (mg/l)	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Mn (mg/l)
1aa	Hersjøen oppstrøms Risebru	0,001	<0,01	<LOD	<LOD	0,0007	0,14
1da	Risa nedstrøms Risebru (300 m)	0,001	0,053	<LOD	0,05	0,0007	0,16
2aa	Måketjern ved utløp	0,001	<0,01	0,010	0,23	0,0007	0,095
2ba	Utløpsbekk fra Måketjern	0,001	0,014	0,003	0,31	0,0007	0,094
3aa	Grytehullsjø sør for Risebru	0,031	0,068	0,18	0,35	1,5	1,6
3ba	Utløpsbekk fra grytehullsjø	0,013	63	13	320	9,2	23
4aa	Sessvolltjernet	0,15	0,2	1,7	2,5	0,065	0,24
4ea	Tilløpsbekk til Risa	0,003	0,59	0,083	2,7	0,0007	0,22
5aa	Kildeutspring ved Måketjern	0,001	6,9	<LOD	5,3	0,0007	0,06
B1	B1-brønn	0,012	54	0,052	36	0,11	1,2
B5	B5-brønn	0,010	110	0,013	69	0,0019	5,7
B6	B6-brønn	0,004	46	0,033	110	0,0007	0,71

Det kommer fram at de ulike forbehandlingsmetodene ikke gir store forskjeller i resultat etter analysen for metallene kalium, kalsium, magnesium og natrium, se vedlegg H. Prøvene det er mulighet å se en viss forskjell hos er grunnvannsprøvene B1, B5 og B6, og forskjellen sees på konsentrasjonen av kalium, natrium og magnesium. En annen prøve som skiller seg ut er prøve 3ba, som er fra utløpsbekken fra grytehullsjøen like i nærheten av Risa. Det som skiller disse prøvene fra de andre er at etter analysen når prøvene var dekomponert hadde disse vannprøvene høye veldig høye konsentrasjoner.

Resultater

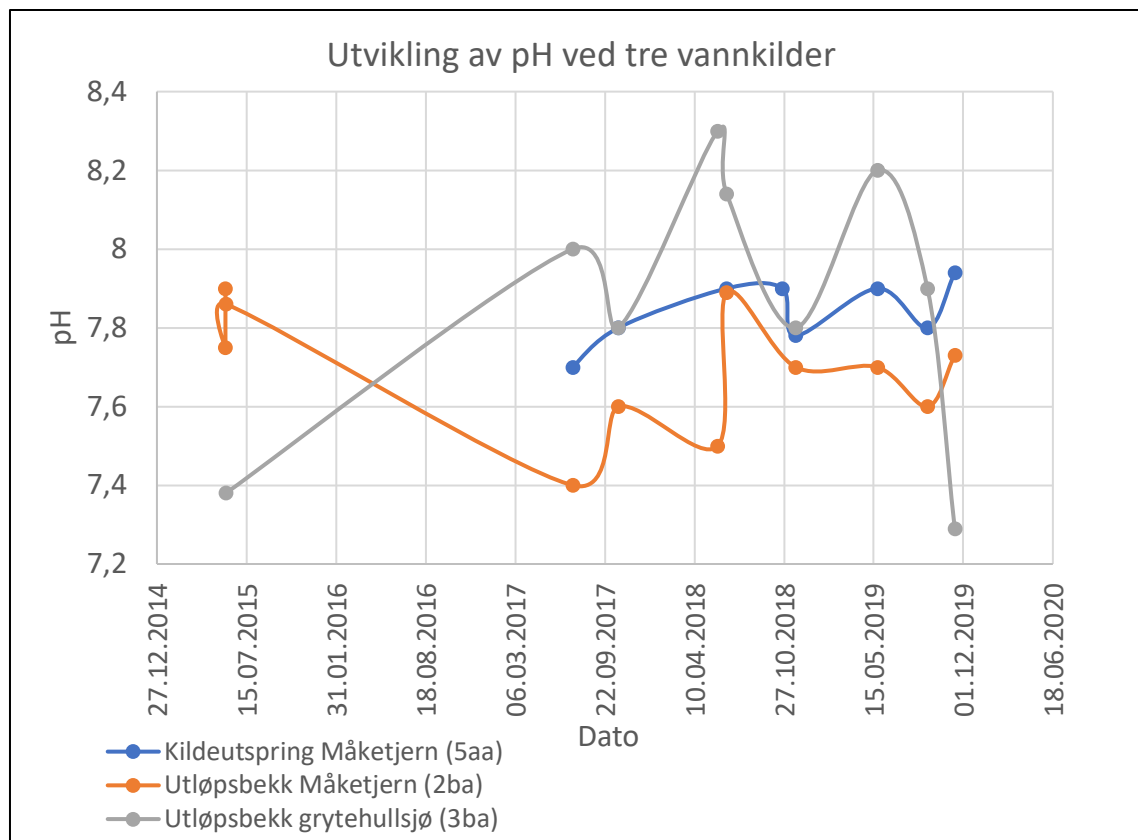
Men generelt så hadde prøvene etter dekomponering betraktelig høyere konsentrasjon enn når prøvene var analysert uforstyrret og ufiltrert kun tilsatt syre.

4.1.2 Sammenligning av analyser av vannprøver for ulike parametere over tid.

Det ble gjort et forsøk på å se på utviklingen av pH og metallene jern, aluminium og mangan i dette området. Det er tre prøvepunkter som er felles for Ullensaker kommune (UK), Norges geologiske undersøkelse (NGU), masterstudenter Ingvild Frogner og Daniel Almhjell (I&D) og mine prøver (SH), for dekomponerte prøver er mine prøver markert med SH-d. Her har det vært stor usikkerhet rundt hvordan prøve skal analyseres, men det har blitt forsøkt sett på.

Data fra analyser av vannprøver tatt i 2015 er fra Ullensaker kommune (2016a). Data fra NGU er mottatt på mail fra Atle Dagestad (2019), disse dataene er fra 2017-2019. Data fra masterstudentene Ingvild Frogner og Daniel Almhjell fra 2018.

For pH kan man se av figur 4.1 at det er forholdsvis store svingninger, men det er innenfor et lite sjikt. Verdiene svinger mellom 7,3 og 8,3. Det er lagt ved en oversikt over verdiene for pH i de tre lokalitetene som vedlegg I.



Figur 4.1 pH-utvikling i vannforekomstene kildeutspring Måketjern (5aa), utløpsbekk Måketjern (2ba) og utløpsbekk grytehullsjø (3ba).

Etter første analyse av vannprøver med ICP kunne det vise seg at det mest sannsynlig er ulik forbehandling av prøvene. Det ble derfor gjort nye analyser av noen av prøvene mine med antatt lik forbehandling som Frogner og Almhjells vannprøver fra 2018/19. Resultater etter analyser for begge forbehandlingsmetodene for mine vannprøver er tatt med i forbindelse med sammenligningen av konsentrasjon ved tre utvalgte lokaliteter.

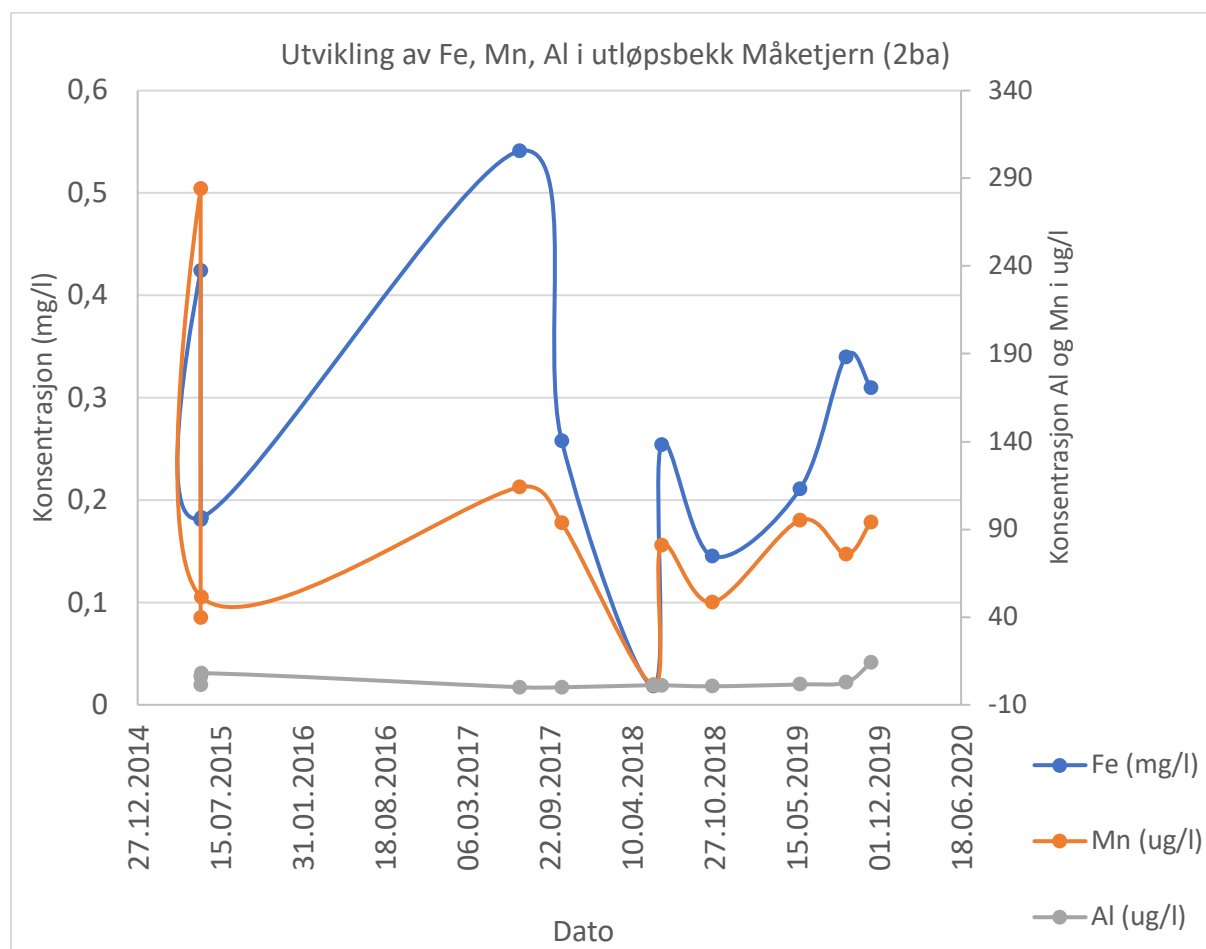
Jern, mangan og aluminium i Utløpsbekk Måketjern (2ba)

Resultater etter analyser av vannprøver fra utløpsbekk fra Måketjern (2ba), prøvetatt første gang i 2015, etter fiskedødeepisoden vises i tabell 4.6. Konsentrasjonen av aluminium i utløpsbekken fra Måketjern har holdt seg stabil ved alle de kjemiske undersøkelsene. For som grafen i figur 4.2 viser så er det store variasjoner i konsentrasjonen av jern og mangan. Av mine resultater er det de dekomponerte prøvene som er inkludert i grafen da de har likheter med prøvene til NGU. Konsentrasjonen av jern varierer mellom 0,003 - 0,541 mg/l. Mens mangan har variasjoner i konsentrasjon fra 0,88 – 284 µg/l.

Resultater

Tabell 4.6 Oversikt over verdier for konsentrasjoner av metaller fra utløpsbekk fra Måketjern (2ba), prøvetatt første gang i 2015 etter fiskedødepisoden.

Parameter	2015 (UK)	2015 (UK)	2015 (UK)	2017 (NGU)	2017 (NGU)	2018 (I&D)	2018 (NGU)	2018 (NGU)	2019 (NGU)	2019 (NGU)	2019 (SH)	2019 (SH-d)
Fe (mg/l)	0,181	0,424	0,183	0,541	0,258	0,018	0,254	0,145	0,211	0,34	0,003	0,31
Mn (µg/l)	39,7	284	51,5	114	93,6	1,3	80,9	48,4	95,2	76	0,88	94
Al (µg/l)	6	1,4	8	<2	<2	1,2	1,18	0,564	1,61	2,75	0,7	14



Figur 4.2 Grafisk framstilling av analyser av vannprøver fra utløpsbekk fra Måketjern (2ba)

Jern, mangan og aluminium i Utløpsbekk grytehullsjø (3ba)

Oversikt over konsentrasjonene for de ulike metallene for hver gang det er tatt vannprøver vises i tabell 4.7. Utviklingen av konsentrasjon av jern, aluminium og mangan i utløpsbekken fra grytehullsjøen sør for Risebru (3ba) er grafisk fremstilt i figur 4.3. Det viser seg at ved denne lokaliteten har min prøve svært høye konsentrasjoner både ved dekomponering og når

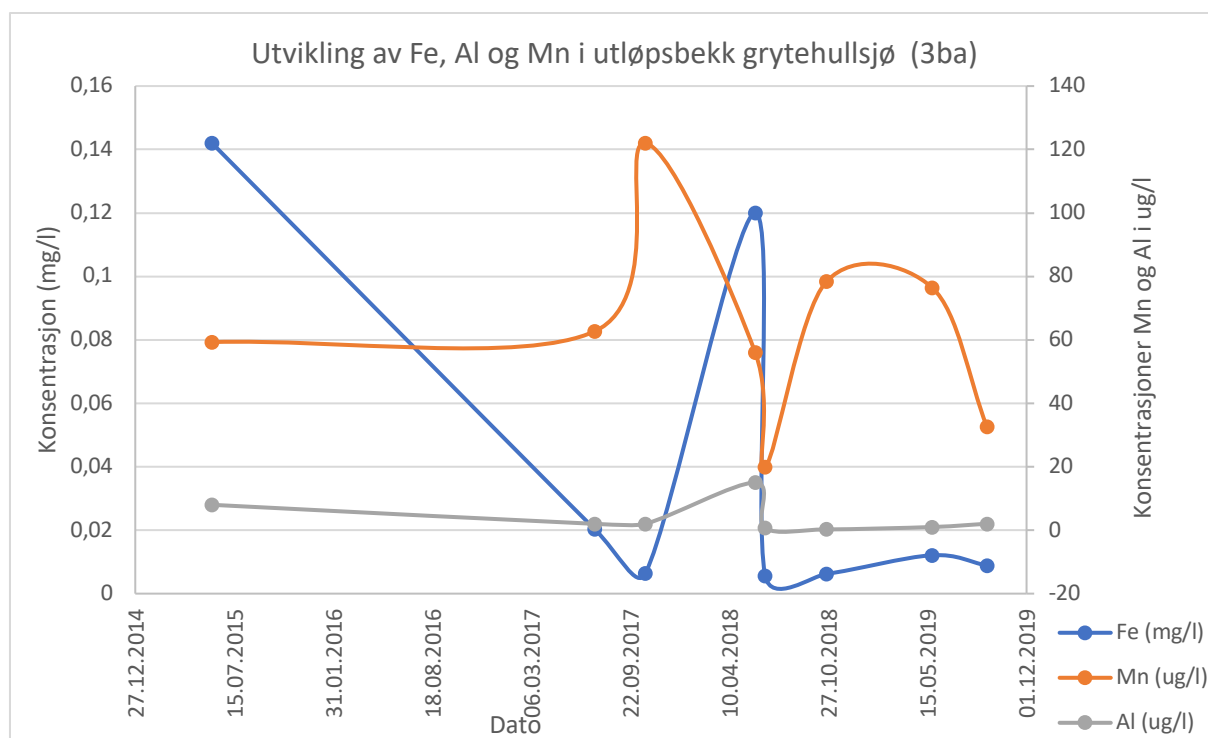
Resultater

prøvene er uforstyrret og ufiltrert og tilsatt syre. Her antas det at den kan være kontaminert eller har ekstremt mye partikler eller sedimenter med jern, mangan og aluminium. Figuren (Figur 4.3) inkluderer ikke mine resultater da de vil sprengte skalaen, særlig med tanke på konsentrasjonen av mangan og jern. Dette gjelder både når prøvene er dekomponert og når de kun er blitt tilsatt syre. Sett bort i fra mine prøver så er konsentrasjonen av jern forholdsvis lav ved denne lokaliteten <0,2 mg/l. Det er to litt høyere målinger, det er etter episoden av fiskedød i 2015 og ved NGU sine målinger i sommeren 2017. Sommeren 2017 er det også registrert høy konsentrasjon av mangan ved denne lokaliteten, dobbelt så høy som etter fiskedøden i 2015. Innholdet av aluminium holder seg stabilt, med noen høye verdier sommeren 2018 med 15 µg/l. Dette er i nærheten av den konsentrasjonen mine prøver fikk etter dekomponering, her var verdien på 13 µg/l. Begge disse målingene for aluminium er høyere enn de ble funnet i 2015.

Tabell 4.7 Oversikt over metallanalyser av Fe, Mn og Al fra utløpsbekk grytehullsjø (3ba)

Parameter	2015 (UK)	2017 (NGU)	2017 (NGU)	2018 (NGU)	2018 (NGU)	2018 (I&D)	2019 (NGU)	2019 (NGU)	2019 (SH)	2019 (SH-d)
Fe (mg/l)	0,142	0,0203	0,0063	0,12	0,00568	0,00625	0,0121	0,00886	13	320
Mn (µg/l)	59,3	62,7	122	56	19,8	78,4	76,5	32,6	9200	23000
Al (µg/l)	8	<2	<2	15	0,704	0,241	1	2,03	13	63000

Resultater



Figur 4.3 Grafisk framstilling av utvikling av Fe, Mn og Al i utløpsbekk grytehullsjø (3ba), første gang prøvetatt våren 2015.

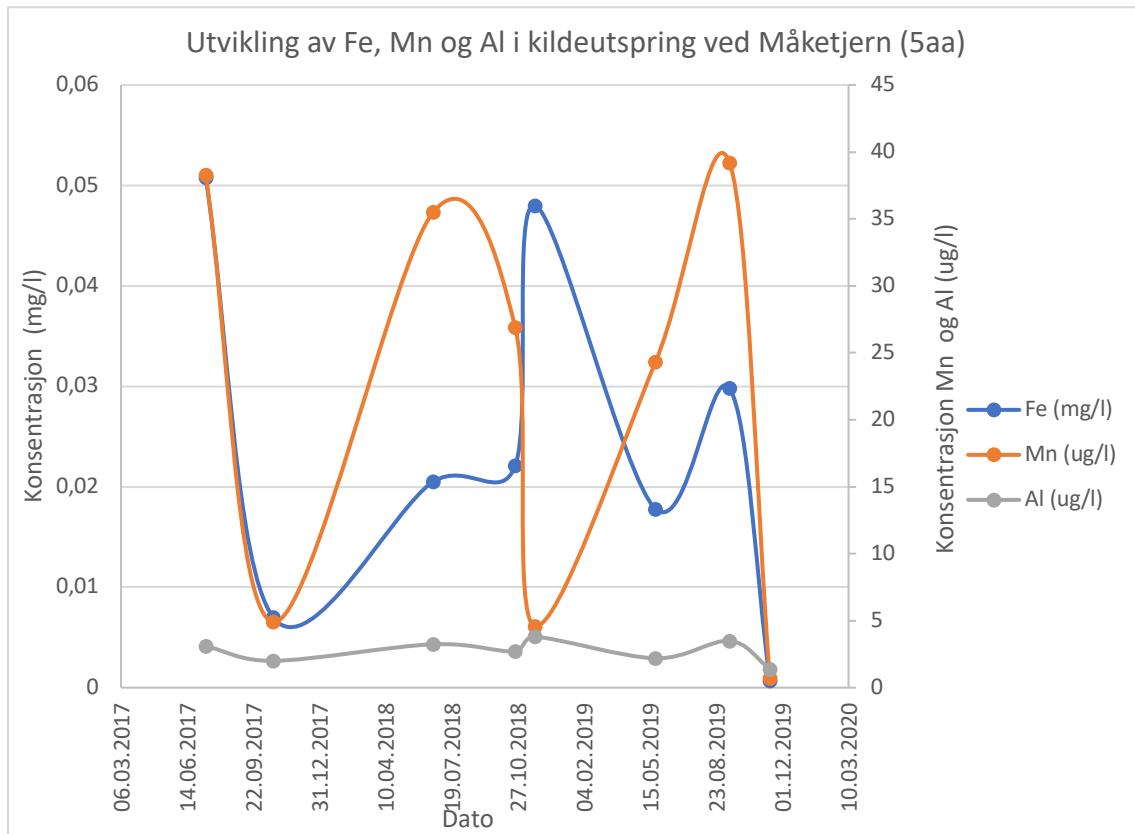
Jern, mangan og aluminium i Kildeutspring ved Måketjern (5aa)

Tabell 4.8 viser oversikten over konsentrasjonen for jern, mangan og aluminium i kildeutspringet ved Måketjern (5aa). Man kan se at konsentrasjonen av jern og mangan varierer stort (Figur 4.4). Det kan tilsynelatende se ut til at konsentrasjonen av jern og aluminium til en viss grad følger samme mønster. Konsentrasjonen av aluminium holder seg derimot mer stabil gjennom årene enn jern. For figur 4.4 er det valgt å inkludere resultatene fra analysen med ICP der vannprøvene er uforstyrrede og ufiltrerte, og tilsatt HNO₃, da disse likner mest på tidligere resultater. Etter dekomponering er tallene veldig høye, særlig for aluminium (tabell 4.8).

Tabell 4.8 Oversikt over konsentrasjonen av metallene Fe, Mn og Al i kildeutspring ved Måketjern (5aa)

Parameter	2017 (NGU)	2017 (NGU)	2018 (NGU)	2018 (NGU)	2018 (I&D)	2019 (NGU)	2019 (NGU)	2019 (SH)	2019 (SH-d)
Fe (mg/l)	0,0508	0,007	0,0205	0,0221	0,048	0,0178	0,0298	0,0007	5,3
Mn (µg/l)	38,3	4,9	35,5	26,9	4,6	24,3	29,2	0,7	60
Al (µg/l)	3,1	<2	3,34	2,7	3,6	2,19	3,49	1,4	6900

Resultater



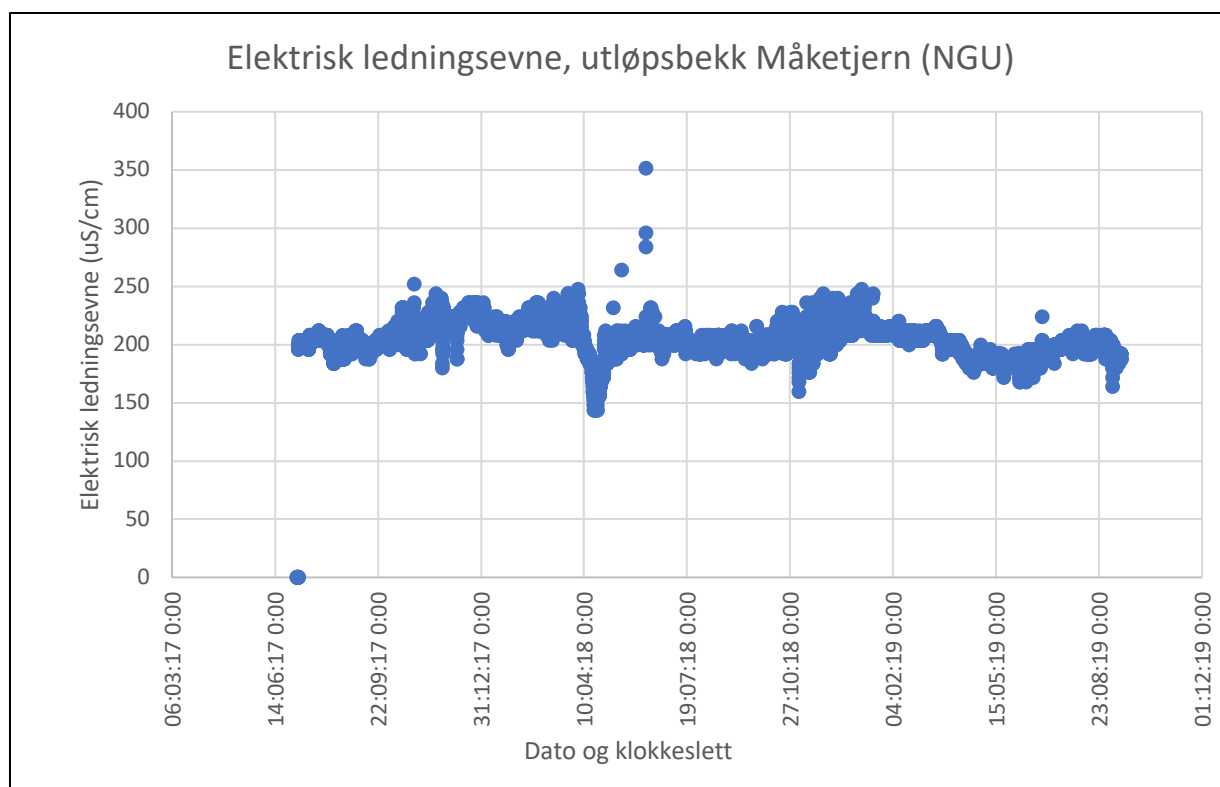
Figur 4.4 Utvikling av Fe, Mn og Al i kildeutspring ved Måketjern (5aa), prøvetatt første gang sommeren 2017.

Etter å ha sammenfattet data fra flere ulike undersøkelser i forhold til konsentrasjonen av metaller i vannmasser i øvre Risa nedbørfelt viser det seg at det har vært store svingninger i konsentrasjonen av særlig jern og mangan, men aluminium har også noen målinger som har høyere konsentrasjon.

4.1.3 Loggerdata fra NGU

Elektrisk ledningsevne i utløpsbekken fra Måketjern har blitt logget av NGU siden juli 2017 (Dagestad, 2019). Figur 4.5 viser registrert ledningsevne til bekken siden sommeren 2017 fram til september 2019. Det er mulig å skille ut noen topper på grafen. Det observeres at i midten av mai og begynnelsen av juni 2018 ble det registrert høyere ledningsevne. Høyeste målte ledningsevne er funnet til å være på 352 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 9. juni 2018. Normalt fluktuierer ledningsevnen i denne sidebekken mellom verdier rundt 180 – 230 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Resultater



Figur 4.5 Logget elektrisk ledningsevne fra våren 2017 til høsten 2020 (Data mottatt fra Atle Dagestad, 2019)

I vedlegg L er temperatur (Tabell L.1) og trykk (L.2) logget med NGUs CTD-logger i utløpsbekk fra Måketjern. Temperatursvingningen som er registrert viser tydelige svingninger mellom sommer og vintertemperatur i bekken. Trykket målt i cmH₂O viser variasjoner mellom 985 og 1075.

4.2 Jordprøver

4.2.1 Resultat av jordanalyse

Resultatene fra analysen av jordprøvene med ICP sees i tabell 4.9. Her kan man se de ulike konsentrasjonene av metallene mangan, jern, aluminium, silisium, magnesium, kalsium og kalium ned til 1,2-2 meters dybde. Det som skiller seg ut er konsentrasjonen av silisium i jordprøvene. Verdiene her er veldig høy sammenlignet med de andre metallene. Resultatene er grafisk framstilt i figur 4.6.

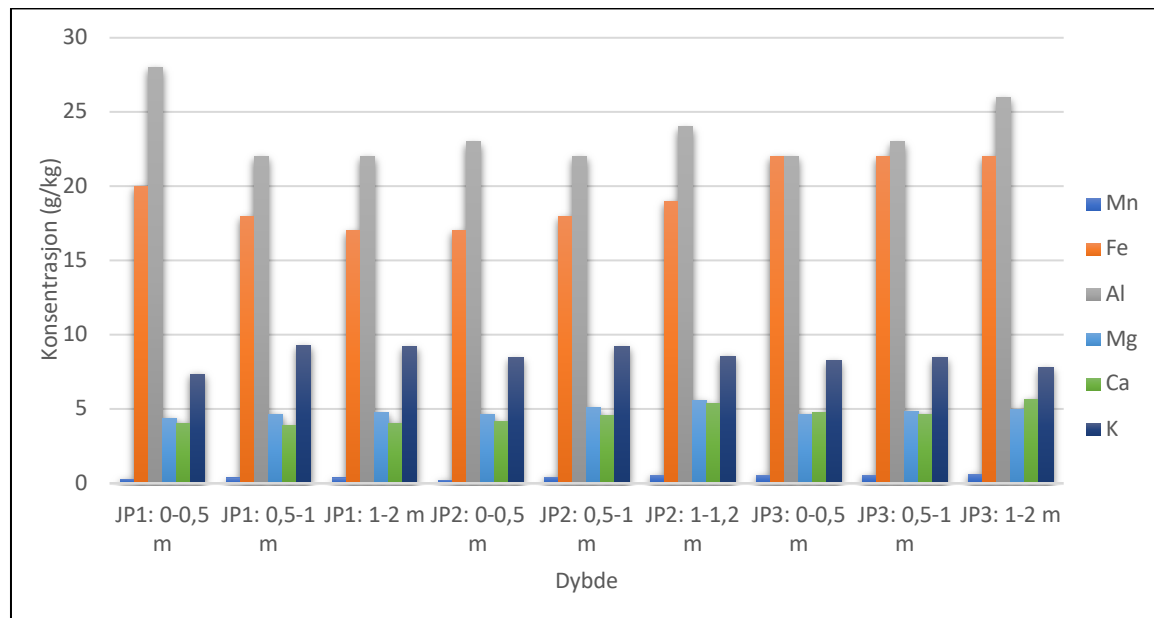
Tabell 4.9 Resultater fra analyser av metaller i g/kg ved ulike dybder og lokaliteter i nedbørfeltet.

Område	Navn	Dybde	Mn (g/kg)	Fe (g/kg)	Al (g/kg)	Si (g/kg)	Mg (g/kg)	Ca (g/kg)	K (g/kg)
ØRAS (JP1)	JP1a	0-0,5 m	0,35	20	28	290	4,4	4,1	7,4
	JP1b	0,5-1 m	0,36	18	22	280	4,7	3,9	9,3
	JP1c	1-2 m	0,36	17	22	280	4,8	4,1	9,2
Måketjern (JP2)	JP2a	0-0,5 m	0,28	17	23	250	4,7	4,2	8,5
	JP2b	0,5-1 m	0,47	18	22	270	5,1	4,6	9,2
	JP2c	1-1,2 m	0,56	19	24	290	5,6	5,4	8,6
Ved E6 (JP3)	JP3a	0-0,5 m	0,57	22	22	270	4,7	4,8	8,3
	JP3b	0,5-1 m	0,58	22	23	280	4,9	4,7	8,5
	JP3c	1-2 m	0,65	22	26	200	5,0	5,7	7,8

Fra figur 4.6 er det mulig å observere at konsentrasjonen av mangan i disse jordprøvene er veldig lav sammenlignet med flere av de andre metallene. Dette er en gjenganger for alle prøvene, også i dybden. Det viser seg at det er høy konsentrasjon av metallene jern og aluminium. For figur 4.6 er det valgt å ikke inkludere silisium fordi konsentrasjonen av dette metallet overstiger alle de andre metallene med flere hundre gram per kg. Det vil være indikasjoner på det løsmassene i dette området er rik på silisium. Silisium er også et grunnstoff det er rikt av. Forbehandlingen av jordprøvene før analysen med ICP vil gi

Resultater

konsentrasjonen av det som er lettløselig fra jordkolloider. Det vil derfor si at det vil kunne løses ut mye jern og aluminium sammenlignet med hovednæringsstoffer som magnesium, kalsium og kalium.

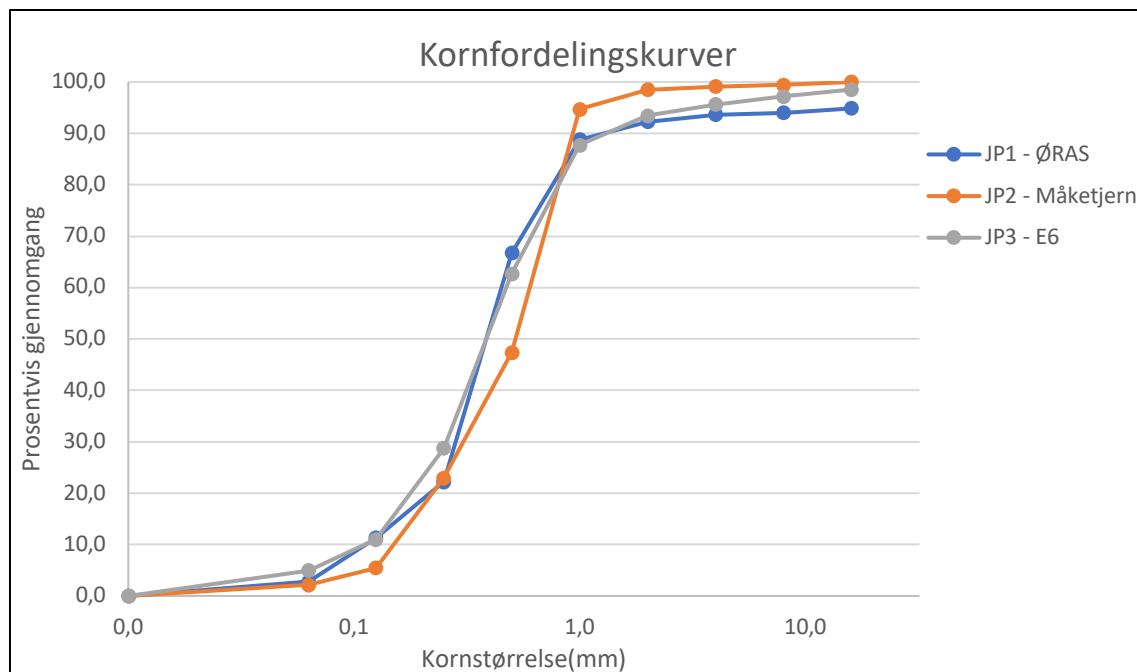


Figur 4.6 Grafisk framstilling av metallanalysene av jordprøvene ved ulike dybder i g/kg.

4.2.2 Kornfordelingsanalyser

Vanngiverevne basert på kornfordelingskurver ble beregnet for ulike deler av nedbørfeltet, på jordprøver ned til 2 meters dybde. Kornfordelingskurvene er grafisk fremstilt i figur 4.7. Det ble gjort tre kornfordelingsanalyser for lokalitetene der jordprøvene til jordanalysene ble tatt ut.

Resultater



Figur 4.7 Kornfordelingskurver for jordprøvene.

Bestemmelse av vanngiverevne

Som tabell 4.10 viser så har alle prøvene god grad av sortering, da $d_{60}/d_{10} \leq 5$. Det er ikke stor variasjon mellom de tre jordprøvene med tanke på deres vanngiverevne, den går fra 1×10^{-4} m/s til $1,44 \times 10^{-4}$ m/s.

Tabell 4.10 Oversikt over parametere og beregnet vanngiverevne ved Hazens formula for jordprøver fra de tre uttakspunktene i studieområdet.

	Jordprøve	d_{60}	d_{10}	d_{60}/d_{10}	K_s (m/s)
Blå	JP1 – ØRAS	0,45	0,1	0,35	1×10^{-4}
Oransje	JP2 - Måketjern	0,6	0,12	5	$1,44 \times 10^{-4}$
Grå	JP3 - E6	0,48	0,11	4,36	$1,12 \times 10^{-4}$

Basert på kornfordelingsanalysene kan man trekke ut fra Fetter (2018) at vanngiverevnen i sedimentene er godt sortert sand, breelvmateriale. Det ligger også innenfor størrelsesordenen grus, godt sortert materiale. Dette stemmer godt da avsetningene i dette området er breelvavsetninger, og slike avsetninger består av mye grus og sand (NGU, u.å.-c).

4.3 Sonderboring

Ved sonderboringen ble det registrert at grunnforholdene besto i hovedsak av sand og grus, det var tilsynelatende mye grove sedimenter. Registrerte observasjoner og hva det er tolket til å være vises i vedlegg J.

4.4 Observasjonsbrønner

Observasjonsbrønnene som ble installert ble brukt for å se på fluktuasjon i grunnvann øst for Risa (Figur 3.1). Informasjon om de installerte brønnene sees i tabell 4.11.

Tabell 4.11 Oversikt over egne installerte brønner.

<i>Brønner med beskrivelse</i>	<i>Lengde (m)</i>	<i>Diameter (mm)</i>	<i>Materiale</i>	<i>Filterlengde (m)</i>	<i>Dato</i>	<i>Moh.</i>	<i>Koordinater</i>
B7: Skogsområde NØ for E6 ca. 30 m fra Risa	12	42	Jern	1	06.12.19	156,5	60.240359 11.1820221
B8: Skogsområde NØ for E6 ca. 30 m fra Risa	6	42	Jern	1	11.12.19	156,5	60.2403796 11.1820058

Vannstanden ble målt i alle observasjonsbrønnene, både de installert i 2018 og 2019 (Tabell 4.12). Informasjon om brønnene installert av Frogner og Almhjell er lagt ved som vedlegg D. B1, B5 og B6 vil vise reelt grunnvannsspeil siden hele brønnen er slisset (Frogner & Almhjell, 2019). Formålet med å måle vannstanden i brønnene var å observere grunnvannsfluktusjon i området. Grunnvannsfluktusjonen er illustrert i figur 4.8.

Resultater

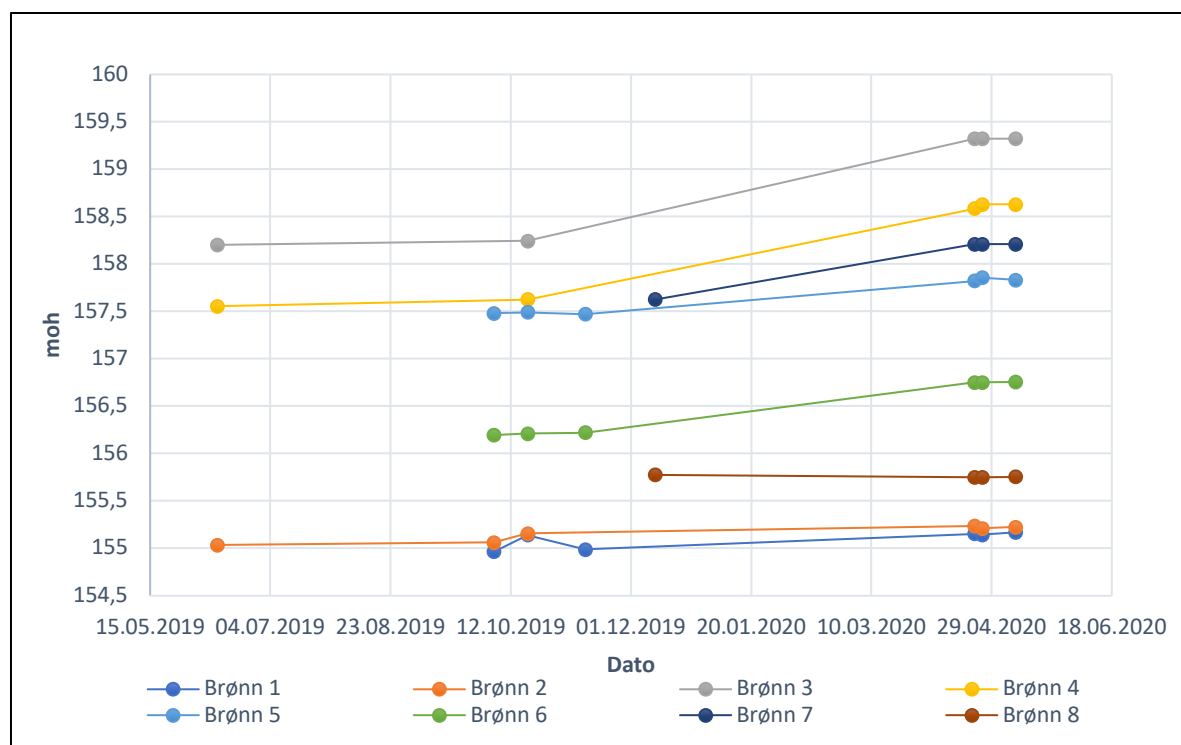
Tabell 4.12 Oversikt over målt grunnvannsstand, i m.o.h, i observasjonsbrønner i studieområdet fra 12.06.19 til 09.05.20.

Dato	Brønn 1	Brønn 2	Brønn 3	Brønn 4	Brønn 5	Brønn 6	Brønn 7	Brønn 8
12.06.19	NA	155,0	158,20	157,55	NA	NA		
05.10.19	154,964	155,0	Rustet fast	Rustet fast	157,48	156,19		
19.10.19	155,139	155,15	158,24	157,62	157,49	156,21		
12.11.19	154,989	Frossen	Frossen	Frossen	157,47	156,22		
06.12.19							156,08	
11.12.19							157,62	155,77
22.04.20	155,15	155,23	159,32	158,58	157,82	156,75	158,21	155,75
25.04.20	155,14	155,34	159,32	158,63	157,85	156,75	158,21	155,75
09.05.20	155,16	155,22	159,32	158,63	157,83	156,75	158,21	155,75

For brønn 3 og 7 er ikke det reell vannstand i rørene, da vannet renner over kanten på toppen av brønnen. Det er artesiske overtrykk i disse brønnene (NGU, 2018b). Brønn 7 er også fylt med mer enn 1,7 meter med sedimenter, og filtret er på én meter. Dette kan enten være indikasjoner på at filteret er ødelagt, men det kan også tilsi at sedimentene i denne dybden er veldig fine. Det ble registrert ved skylling av brønn at materialet som ble spylt ut var fint. Registrert vannstand 06.12.19 vil ikke være reell da brønnen ikke var spylt ennå. Målingene 11.12.19 er heller ikke faktisk vannstand siden brønnene nettopp var blitt spylt for sedimenter. Vannet hadde trolig ikke fått stabilisert seg.

Dersom man tar en titt på figur 4.8 kan man se at det er en liten fluktusjon i grunnvannet i perioden juni 2019 og frem til mai 2020. For flere av observasjonsbrønnene kan det se ut til at det har vært en økning, men den holder seg forholdsvis stabil. For brønnene B3, B4 og B7 var grunnvannsnivået over terrengnivået. Dette påvirket vannet i brønnene ved uttak av vannprøver siden B3 og B4 var frosset.

Resultater



Figur 4.8 Grunnvannsflyktuasjon i observasjonsbrønner i øvre Risa nedbørfelt, her i moh.

I vedlegg M kan grunnvannsflyktuasjonen observeres samlet, med data fra Frogner og Almhjell, mine manuelt målte data og ved logging. Grunnvannstanden er forholdsvis stabil i løpet av de to årene grunnvannstanden har blitt målt her.

4.4.1 Logging av grunnvannstand og grunnvannstemperatur

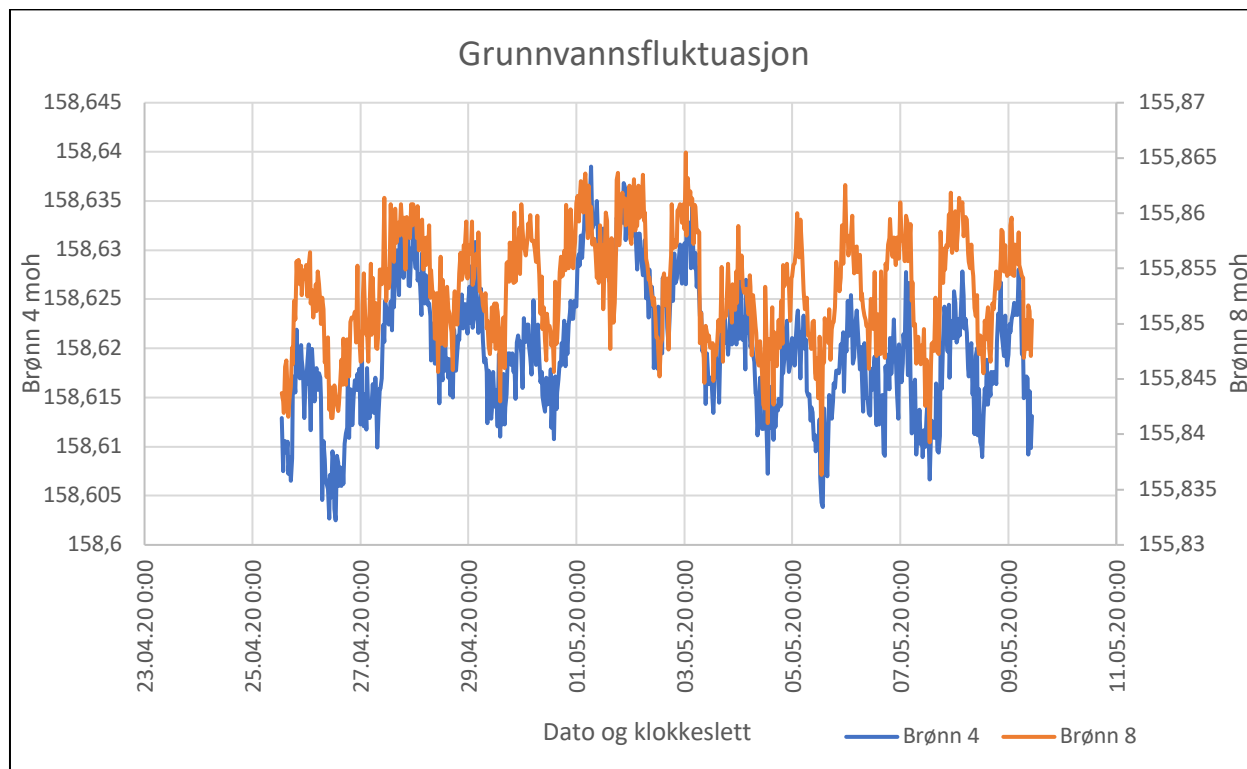
I løpet av en periode på to uker i slutten av april-begynnelsen av mai ble det benyttet diverse for å logge grunnvannsflyktuasjonen.

For brønn B4, installert høsten 2018, ble det registrert flyktuasjon på omlag 3,6 cm i løpet av de to ukene jeg fikk benyttet meg av TD-diver. Vannstanden flyktuerte mellom 158,6025 - 158,6385 meter. Ved brønn B8 er det registrert at grunnvannsnivået i brønnen flyktuerte mellom 155,836 - 155,865 meter over havet, dette gir en flyktuasjon på ca. 3 cm.

Grunnvannsflyktuasjonen er illustrert i figur 4.9. Den registrerte temperaturvariasjonen i observasjonsbrønn B4 og B8 er lagt ved som vedlegg N. Det man ser av den registrerte grunnvannstemperatur er at svingningene i begge brønnen følger hverandre. Sett ut ifra

Resultater

temperaturen i observasjonsbrønnene så er grunnvannet i brønn 8 over en halv grad kaldere enn i brønn B4.



Figur 4.9 Grunnvannsflyktuasjon illustrert i m.o.h. logget med TD-logger.

4.5 Vannføringsmålinger

I forhold til vannføringsmålinger i Risa og sidebekker så ble det foretatt to vannføringsmålinger på feltkurs i juni 2019. Dette ble gjort i utløpet til bekken som drenerer fra Måketjern, og i en sidebekk vest for Risa som stammer fra grunnvannskilder.

I bekken som drenerer fra Måketjern ble det funnet at vannføringen (Q) var lik 32,759 L/sek.

For sidebekken ble vannføringen estimert til å være lik 14,074 L/sek.

Utløpsbekken fra Måketjern vil derfor tilføre mer vann til Risa enn sidebekken.

Risas vannføring ble også målt på feltkurset, men det var ikke mulig å oppdrive disse dataene.

Dette ble også forsøkt å måle Risas vannføring våren 2020, ved å bruke saltfortynningsmetoden. Det ble urealistiske resultater av denne undersøkelsen, med mine beregninger ble punktet nedstrøms funnet til å ha lavere vannføring enn punktet oppstrøms.

Dette er ikke realistisk for Risa siden det er godt kjent at elva mates av grunnvannet. I en slik elv vil nok ikke saltfortynningsmetoden være den beste. En årsak til at dette trolig ikke er den beste metoden for denne elva er at den er 2-3 meter bred. Risa er også en veldig stilleflytende elv så miksing av saltet som tilføres vil bli dårligere, det var ikke gode lokaliteter i elva som egnet seg for saltfortynningsmetoden.

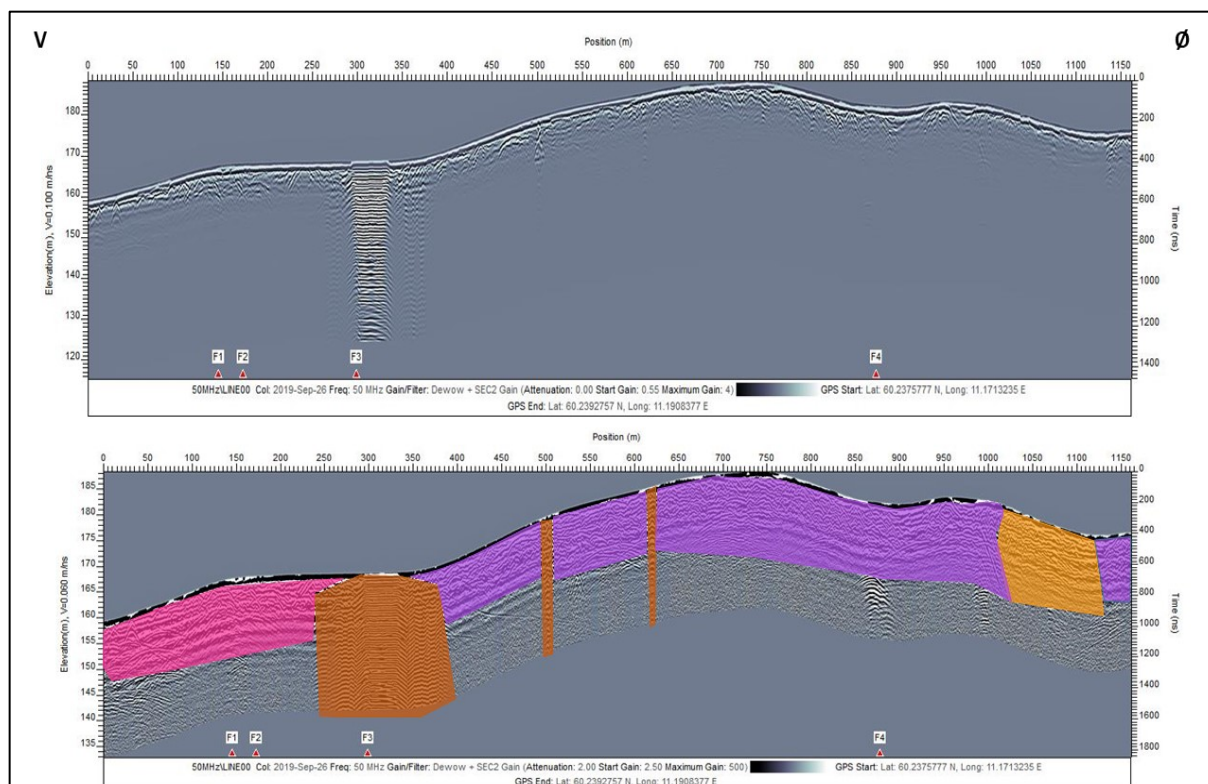
4.6 Resultat av georadarmålinger

Studieområdet består av breelavsetninger og det vil være partikler av alle fraksjoner, blokk, grus, sand i avsetningene. Målet med disse georadarprofilene var å se om det var mulighet for å se dybden til berggrunn i dette området, det er interessant i forhold til eventuell modellering. Alle traseene for GPR-opptakene er markert i figur 3.1. De øverste 2-3 meter vil være påvirket av direktebølger på overflaten og i lufta like under og rundt antennene, slik at det vil være refleksjonsfri sone.

Beskrivelse og tolkning av profilene GPR00 og GPR07

Opptaket av profilet GPR00 er gjort opp fra Risebru langs Mogreinavegen, opp til krysset ved Vardevegen (Figur 3.1). Lengden på denne linjen er på ca. 1150 meter, og den følger en asfaltert vei gjennom jordbruksareal, med noe spredt bebyggelse. Denne linjen går under motorveien E6, som er en kilde til mye støy i profilet ved punktet F3 (Figur 4.10). Det observeres også en del hyperbler, med toppunkt ved overflaten. Undersøkelser viser at hastigheten på disse signalene ligger på 0,25- 0,30 m/ns som tilsvarer hastighet i luft (NGU, u.å.-b). I georadarprofilet observeres det mye diffraksjoner uten tydelige grenser. Det er få grenseflater å se i dette profilet, men det kan tilsynelatende virke som bølgete refleksjon gjentas, markert med lilla. Helt mot den østlige enden av profilet er det mulig å observere noen subparallelle refleksjoner (Figur 4.10).

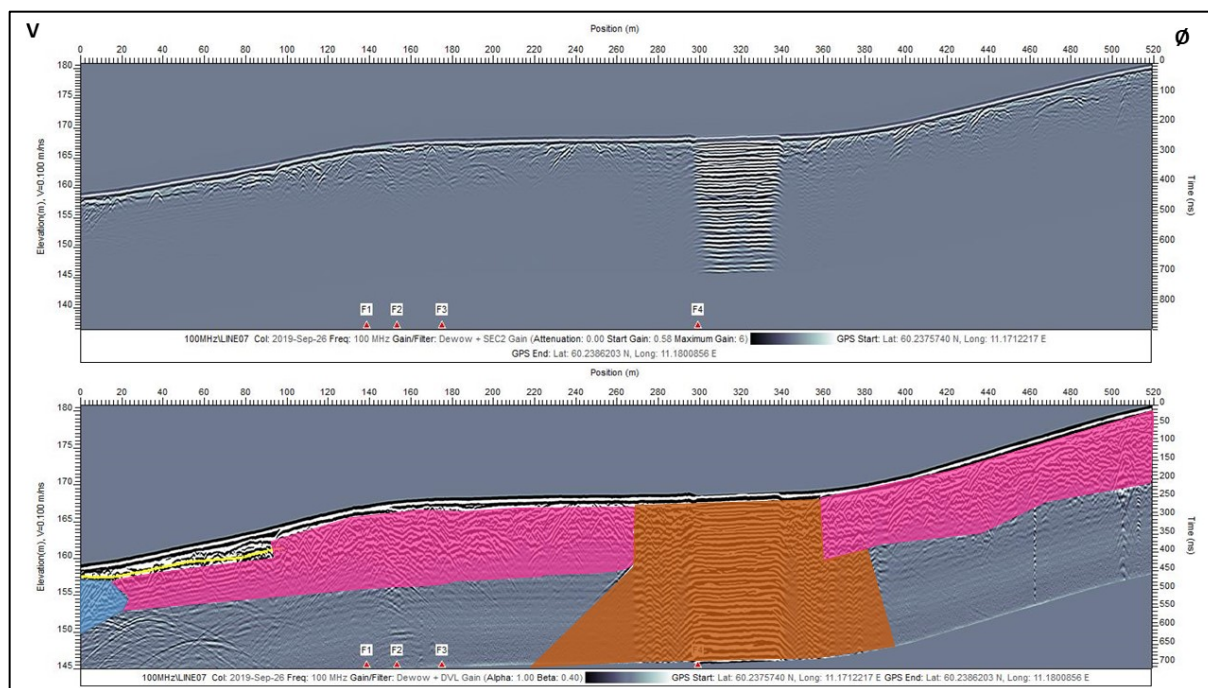
Resultater



Figur 4.10 Georadarprofil GPR00 (50 MHz) fra Risebru - Vardeveien (øverst) og tolket profil (nederst). Se tabell 3.4 for tegnforklaring.

Langs samme trasé ble det også gjort opptak med 100 MHz langs de første (vestligste) 523 meterne for å forsøke å fange opp refleksjoner av grunnvannspeilet. Dette profilet GPR07 (Figur 4.11). Det er en markert reflektor på omtrent 157 m.o.h i vestlig del, mellom 0 og 90 meter, som tolkes som grunnvannspeilet (gul strek i figur 4.11). Ellers viser radargrammet også kraftig støy fra E6 og mye kaotisk refleksjonsmønster med mange diffraksjoner. I begynnelsen av profilet kan det muligens være et skrått refleksjonsmønster, vist med blått i figur 4.11.

Resultater



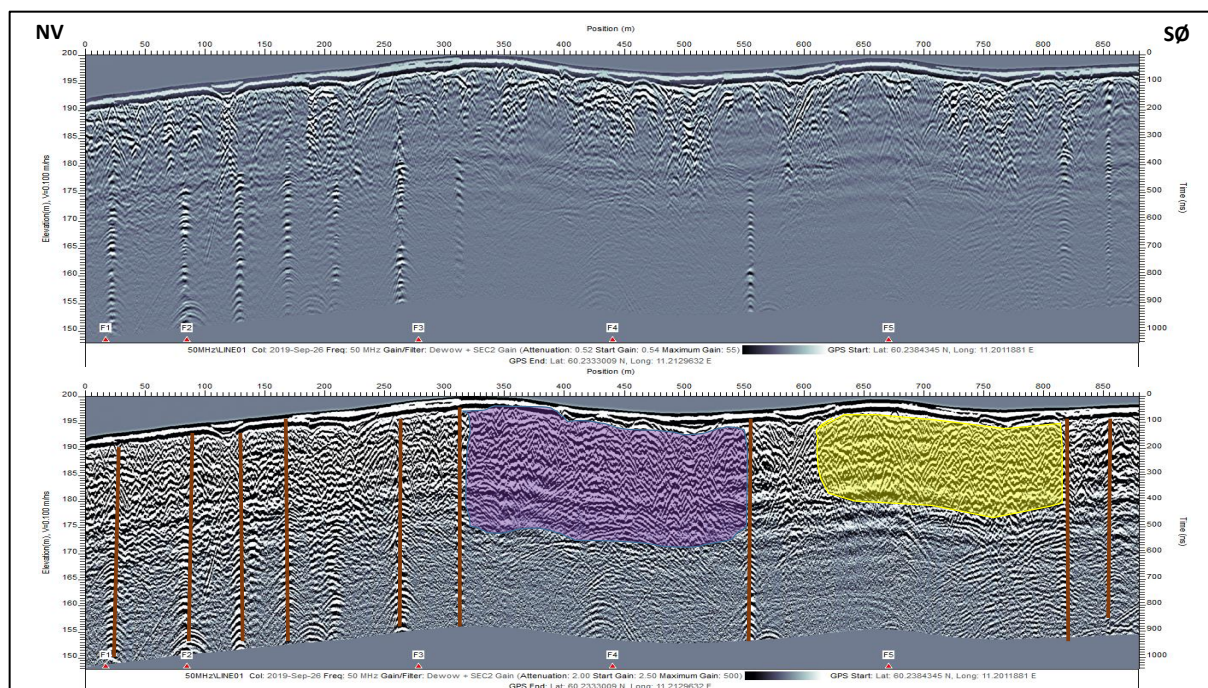
Figur 4.11 Georadarprofil GPR07 (100 MHz) fra Risebru - 523 meter i østlig retning langs Mogreinavegen (øverst) og tolket profil (nederst). Se tabell 3.4 for tegnforklaring.

Samlet tolkning av denne traseen er at i den vestlige delen av profilet er det grunnvannet som sees mellom 0 – 90 meter. Her tolkes det ut fra georadaropptakene at det er lag med sand, og videre mot øst vil det løsmassene være sandig med innslag av blokk. Videre i profilet tolkes det hen av massene er av lagdelt og sandig.

Bekrivelse og tolkning av profil GPR01

Dette profilet (Figur 4.12) ble tatt opp langs Sætrevegen, fra Sætreringen, som er en gangsti som kommer ut til Sætrevegen. Opptaket ble avsluttet ved innkjøringen til Majorsetervegen. Lengden på dette profilet ble på omtrent 880 meter. Dette var også en asfaltert vei gjennom spredt bebyggelse. Langs veien ble det observert høyspentledninger, som iblant krysset veien, og dermed også profilet, dette kan derfor være kilder til støy i opptaket. Observasjoner som gjøres i dette profilet er haugete og bølgete refleksjonsstrukturer. I dette profiler ser man også flere multipler, dette er støy som forstyrrer opptaket. Dette kan være nedgravde enheter som følger av menneskelig aktivitet.

Resultater



Figur 4.12 Georadarprofil GPR01 (50 MHz) fra Sætreringen - innkjørsel Majorsetervegen langs Sætrevegen (øverst) og tolket profil (nederst). Se tabell 3.4 for tegnforklaring.

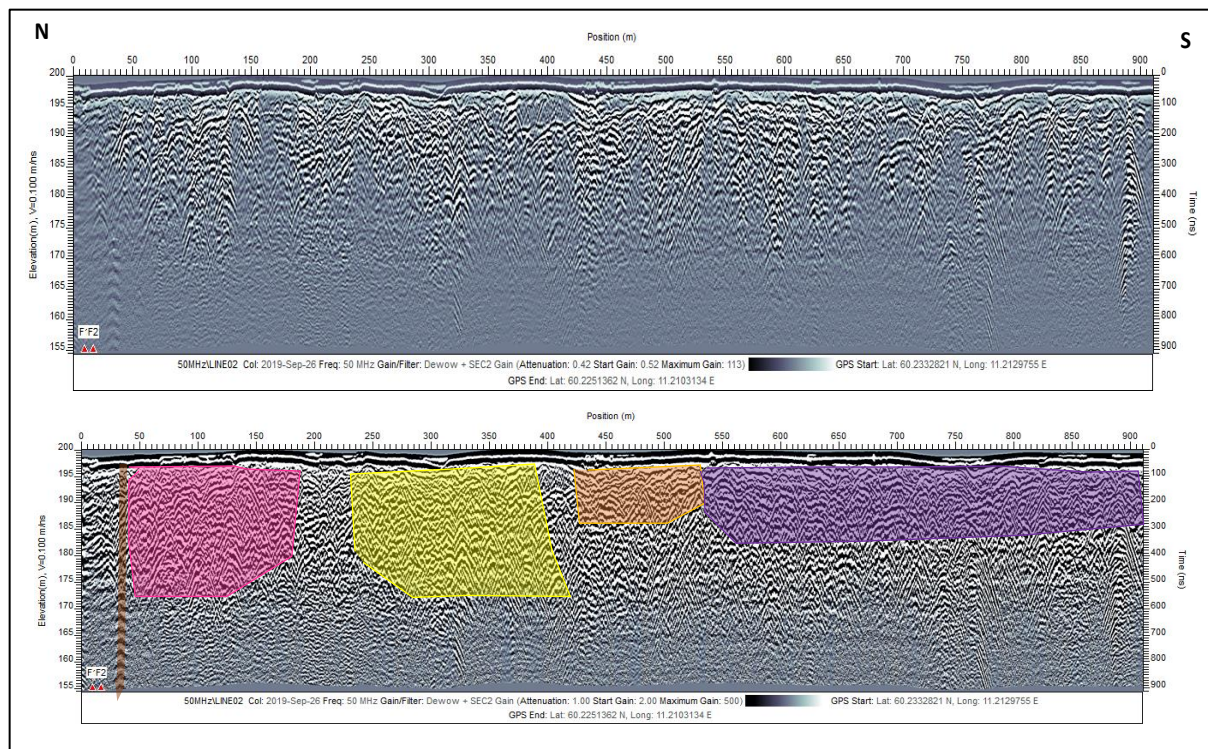
Profil GPR01 tolkes til å bestå av lagdelt sand og grus. Det er en del støy dom vanskeligjør tolking.

Beskrivelse og tolkning av profil GPR02

Opptaket av dette profilet (Figur 4.13) ble gjort langs Majorsetervegen, dette er en grusvei fra Sætrevegen. Dette profilets lengde er på ca. 905 meter. I dette området var det mye skog, med høye trær, som ville kunne forstyrre GPS-signalene. Det observeres noen multipler her, men ikke like mye som på de andre profilene som er går langs asfalt, hvor det vil være mer forstyrrelser av infrastruktur.

Penetrasjonsdybden for dette profilet er større sammenlignet med mange av de andre profilene. Dette kan komme av at det er mindre forstyrrelser i dette området. Det er heller ikke like mye støy å observere i dette området, og flere refleksjoner kommer fram. Noen strukturer som kan være mulig å observere her er bølgete og haugete refleksjoner, men det er også noe kaotisk diffraksjon.

Resultater



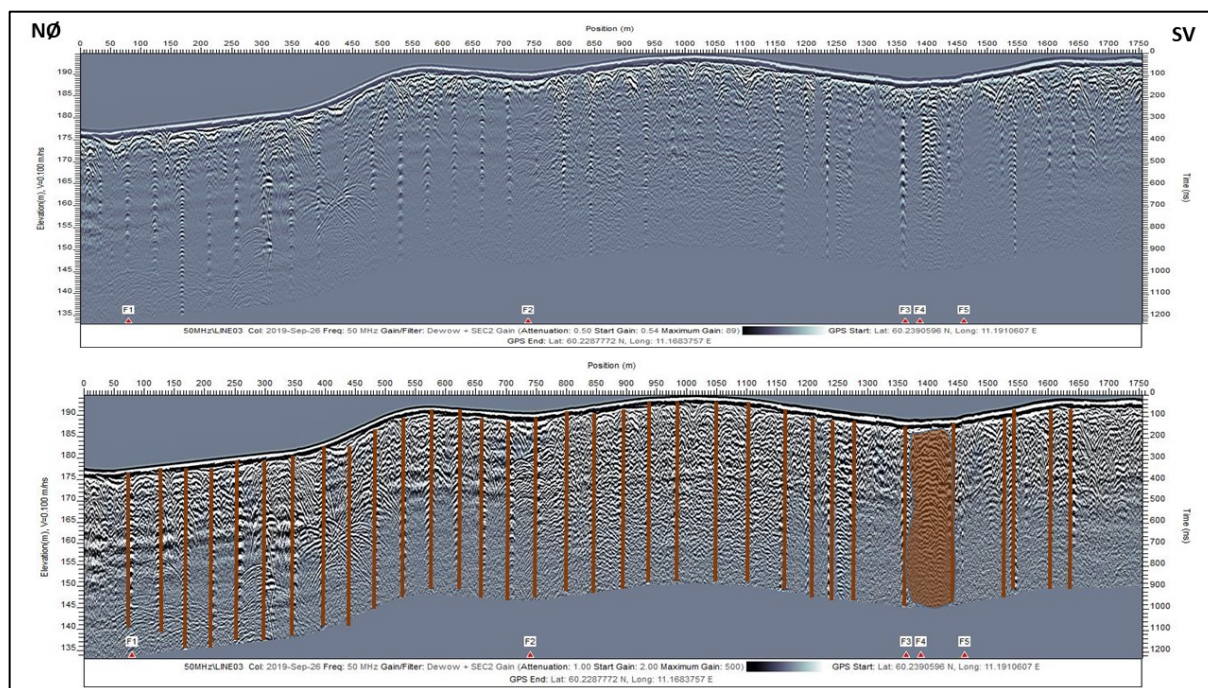
Figur 4.13 Georadarprofil GPR02 (50 MHz) fra Sætrevegen og ca. 905 meter i østlig retning langs Majorsetervegen (øverst) og tolket profil (nederst). Se tabell 3.4 for tegnforklaring.

Dette profilet er tolket til å bestå av sandige masser med innslag av både grus og blokker. Dette profilet har dyp penetrasjon på nærmere 30 meter, men det observeres ikke berggrunn.

Beskrivelse og tolkning av profil GPR03

Dette profilet (Figur 4.14) er tatt langs Trondheimsvegen fra Vardevegenkrysset, langs asfaltert gang- og sykkelsti, og under E6 til Mogreina skole. Lengden på profilet er på ca. 1750 meter. Her kan det observeres svært mange multipler, dette kan komme av at lyktestolpene i dette området har nedgravd strømforsyning, slik at ved hver lyktestolpe er det støy i profilet. Langs dette profilet var det også flere steder det var svært mye fyllmasse for å fylle opp under gang- og sykkelstien. For dette profilet er det svært vanskelig å se tydelige strukturer som følger av mye støy, markert med brunt. Så det er ikke gjort noen tolkninger her.

Resultater

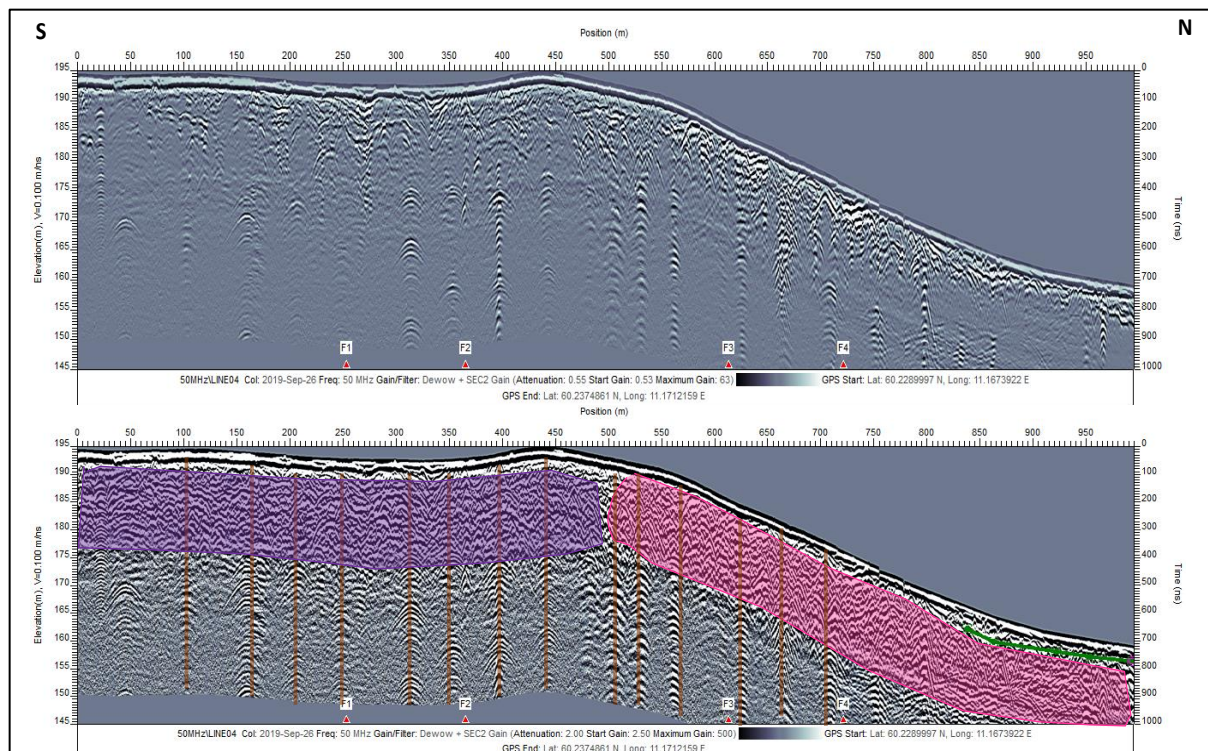


Figur 4.14 Georadarprofil GPR03 (50 MHz) fra Vardekrysset - Mogreina Skole langs Trondheimsveien (øverst) og tolket profil (nederst). Se tabell 3.4 for tegnforklaring.

Beskrivelse og tolkning av profilene GPR04 og GPR08

Dette profilet (Figur 4.15) er samlet opp fra Mogreina Skole til Risebru, langs Sørbakkveien, lengden på dette profilet ble på ca. 990 meter. Dette profilet er tatt langs asfaltert vei, gjennom tett bebygd område, Mogreina. Her vil det kunne være flere forstyrrende elementer som kumlokk, ledninger og mulige vann- og kloakkrør. Dette er noe man ser igjen i form av multipler og hyperbler i profilet. Siste del av profilet ble tatt opp i et område som ikke er like tett bebygd, men her var det mye skog slik at GPS-signalene stadig falt ut. Det er allikevel mulig å se noen svake grenser i dette profilet. Refleksjonen i dette profilet er sett som kaotiske, men det kan være mulighet for å se noen haugete og bølgete refleksjonsmønstre. Her ble det også tatt GPR-profil med 100 MHz de siste 486 meterne, GPR08, dette for å se om det var mulig å få sett grunnvannet.

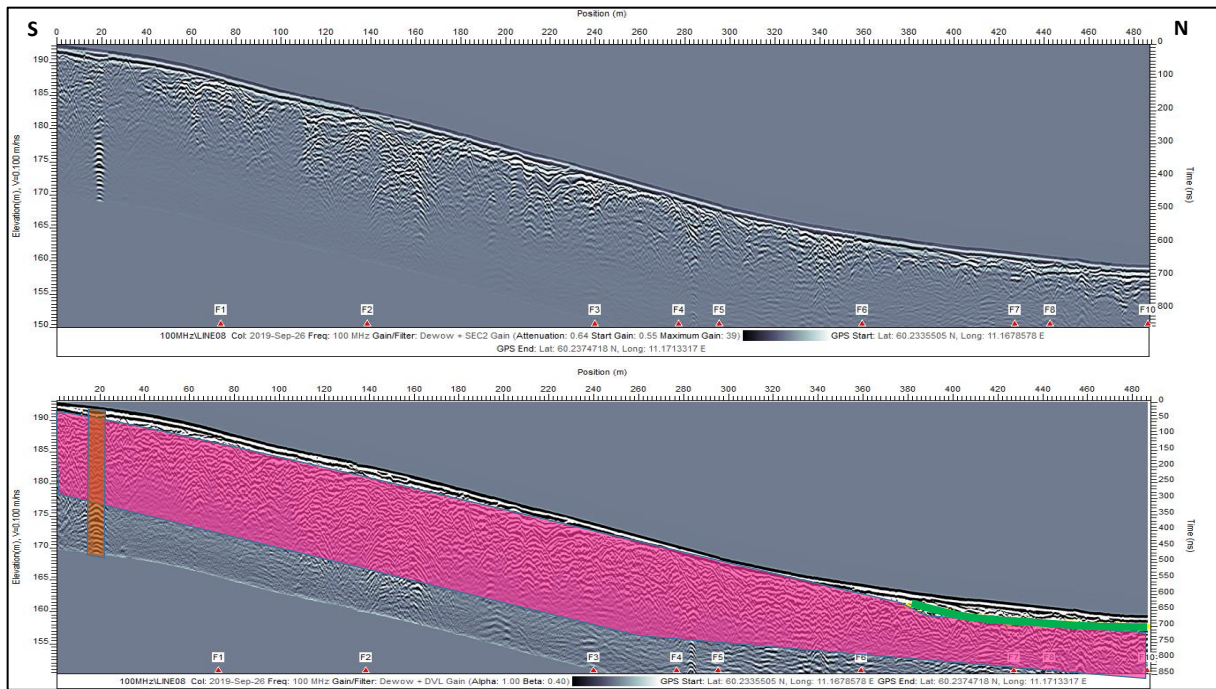
Resultater



Figur 4.15 Georadarprofil GPR04 (50 MHz) fra Mogreina Skole - Risebru langs Sørbakkvegen (øverst) og tolket profil (nederst). Se tabell 3.4 for tegnforklaring.

Profilet GPR08 (Figur 4.16) ble tatt opp langs Sørbakkvegen ned til Risebru, det starter fra toppen av Sørbakkvegen fra innkjøringen til Tussefaret, profilet går langs asfalten ca. 485 meter. Dette profilet er tatt opp for de siste 485 meterne av GPR04. Det kan observeres et ganske kraftig multippel i starten av profilet. Her er det tettere bebyggelse, hvilket kan være indikasjoner på nedgravd infrastruktur som VA-anlegg. Videre i profilet observeres det ganske mye diffraksjoner, og det oppfattes som relativt kaotisk. Mot observeres det en reflektor, markert med grønt.

Resultater



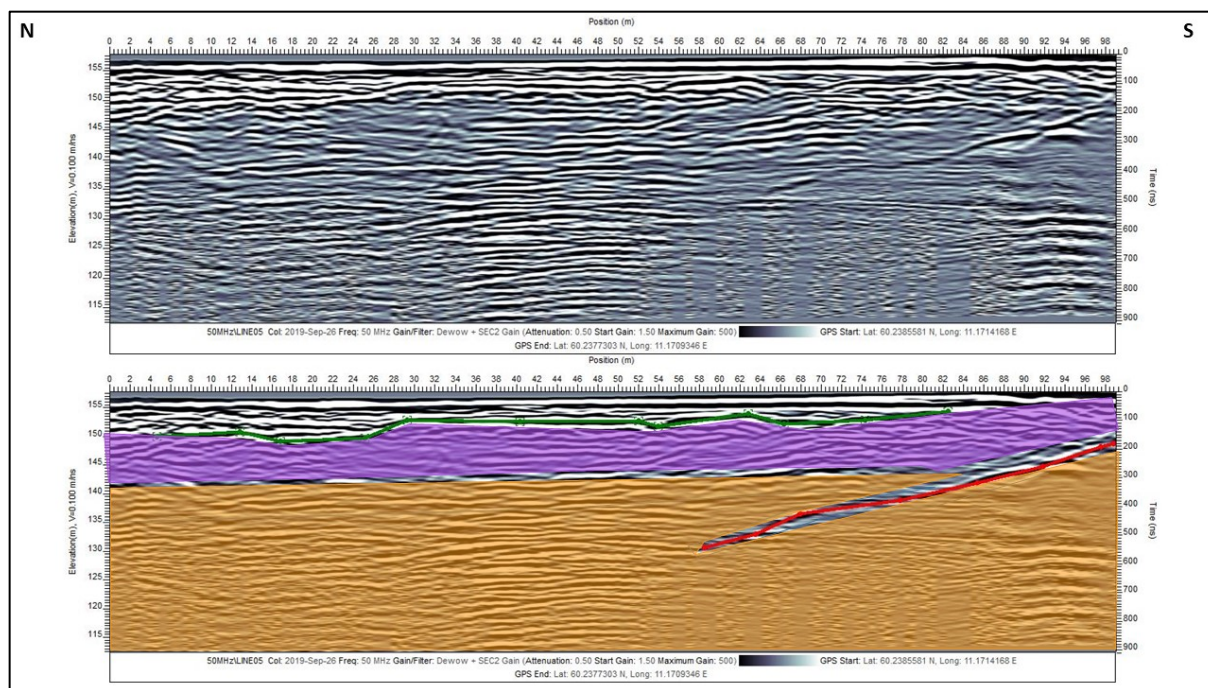
Figur 4.16 Georadarprofil GPR08 (100 MHz) fra innkjørsel Tussefaret - Risebru ca. 485 meter i nordlig retning langs Sørbrakkvegen (øverst og tolket profil (nederst)). Se tabell 3.4 for tegnforklaring.

Denne traseen er det tolket at massene i sørlig del av profilet er lagdelt sand. Videre mot helningen i nord vises det mer kaotiske mønster, noe som kan tolkes til at dette er sandige masser med innslag av blokker. Det er en grense i nordlig del av profilene, det er vurdert om dette kan være grunnvannsspeilet, men det krummer opp mot overflaten så det vurderes som lite sannsynlig.

Beskrivelse og tolkning av profilene GPR05 og GPR06

Dette profilet (Figur 4.17) strekker seg fra bom på vestsiden av Risa til Risa, og har en total lengde på ca. 100 meter. Dette profilet ble samlet inn langs en vei dekket av pukk. De øverste 2 meterne er fri for refleksjoner. Ellers er det relativt gode data med lite forstyrrelser. Noen refleksjonsmønster som kan sees i dette profilet er bølgete (lilla) og noen subparallelle (oransje). Det er grenser som kan være enkle å følge, og som man finner igjen i profilet med 100 MHz, GPR06. Den mest tydelige grensen er markert med rødt, og mindre tydelige grenser er markert med grønn linje.

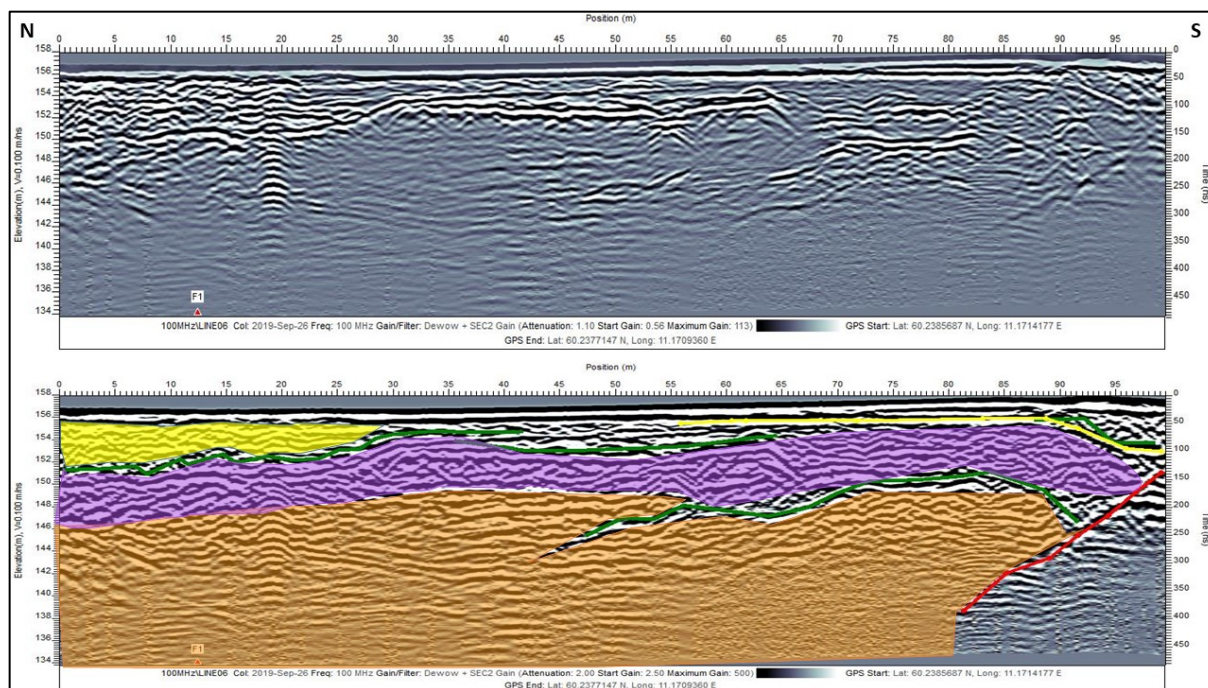
Resultater



Figur 4.17 Georadarprofil GPR05 (50 MHz) fra bom nordvest for Risebru - Risa, ca. 100 meter (øverst) og tolket profil (nederst). Se tabell 3.4 for tegnforklaring.

GPR06 er tatt opp langs samme stykke som GPR05 (Figur 4.18) og strekker seg fra bom på vest siden av Risa til Risa, ca. 100 meter. De øverste 1,5 meterne er refleksjonsfrie. Det kan observeres et multippel i dette profilet. Dette kan komme av at denne veien ligger like ved et bolighus. Da kan det være infrastruktur som ligger i grunnen og forårsaker støy, men det observeres ikke mye støy i profilet. Det observeres flere tydelige reflektorer i dette profilet som er markert med gult og rødt. Det er også identifisert flere mindre tydelige grenser, markert med grønt for. Det er i dette profilet kanskje observert tre refleksjonsmønstre, haugete refleksjonsmønstre, subparallelt refleksjonsmønstre og bølgete.

Resultater



Figur 4.18 Georadarprofil GPR06 (100 MHz) fra bom nordvest for Risebru - Risa, ca. 100 meter (øverst) og tolket profil (nederst). Se tabell 3.4 for tegnforklaring.

For denne traseen er det tolket at grunnen består av lagdelt sand og grus over lagdelt sand. Dette ligger over det som er tolket til å være laminert sand. Grunnvannsnivået er vurdert til å ligge på ca. 155 m.o.h.

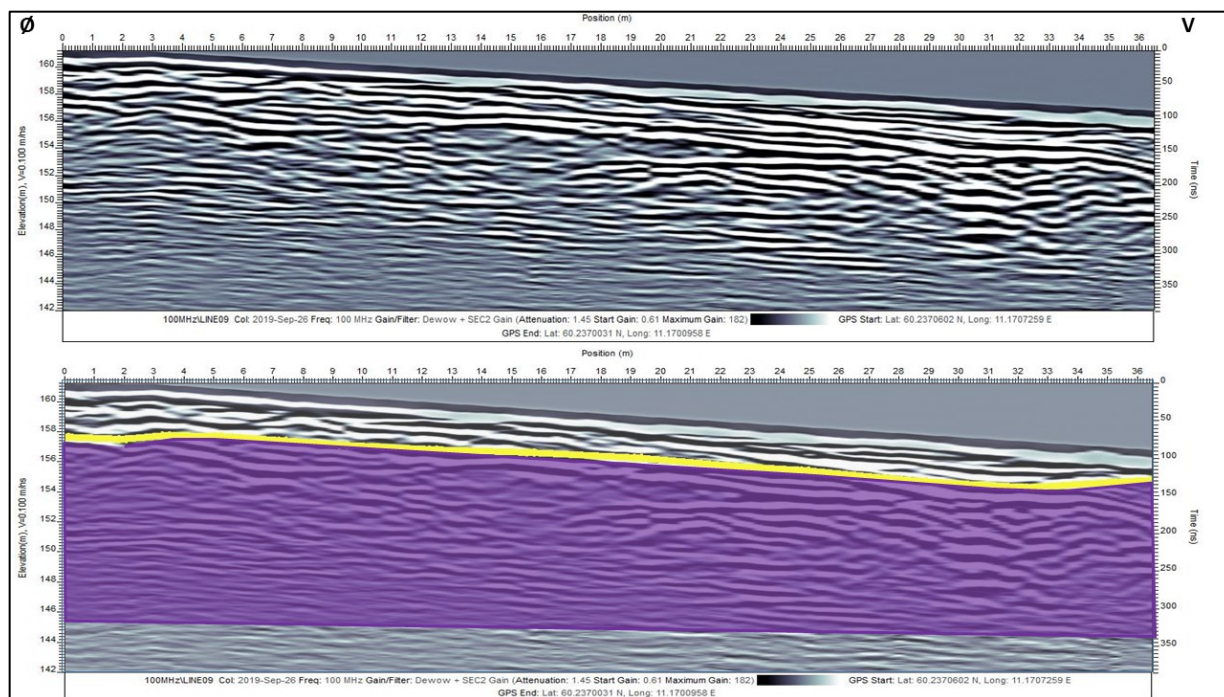
Beskrivelse og tolkning av profil GPR09

Det er også markert en linje med gult, hvor det er antatt å være grunnvannsstand.

Dette korte profilet (Figur 4.19) på ca. 36 meter er samlet inn på bløt sandig jord ned fra Sørbakkvegen til Risa. Det er mulig å observere noen strukturer, dominerende er bølgete refleksjonsmønster. Det er også observert en tydelig linje, denne er markert med gul linje.

For dette profilet er det tolket at massene er lagdelt sand, hvor det er mulig å se grunnvannsspeilet.

Resultater



Figur 4.19 Georadarprofil GPR09 (100 MHz) fra Sørbakkvegen - Risa (øverst) og tolket profil (nederst). Se tabell 3.4 for tegnforklaring.

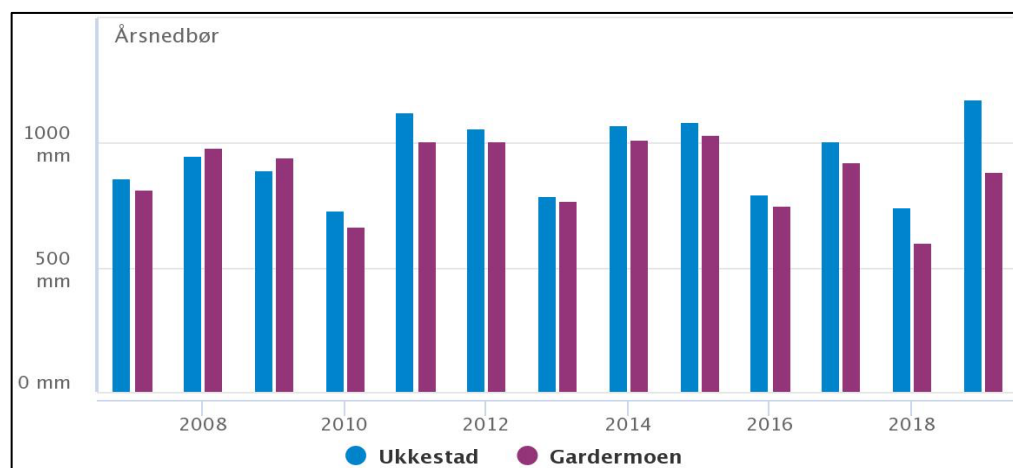
Generell tolkning

Ønsket om å se definerte grenser med georadaropptakene i forbindelse med å definere dybder til berggrunn ble ikke oppnådd. Det var for dypt ned til berggrunnen. Dersom man ser på arbeid gjort i dette området av blant annet Østmo (1990) kan man se at deres arbeid kan tilsi at dybden til berggrunnen i denne breelvavsetningen kan være opptil 120-130m. Med det utstyret som var tilgjengelig kunne det oppnås en penetrasjonsdybde til opptil 45 meter, med antennene på 50 MHz. I disse profilene ble dybden for penetrasjon satt til 45 meter, men dersom man ser på resultatene av innsamlingen av profilene kan man se at refleksjonene på det meste stikker ned til 35 meter. For de fleste av profilene ved 50 MHz var dybden der man kunne se refleksjoner på maks 25 meter. For denne avsetningen blir det for grunt for å se refleksjoner av berggrunn. I disse områdene er breelvavsetningen mest sannsynlig dypere enn 50 meter. Det var også vanskelig å se definerte grenser for grunnvannsspeil. Det er svært vanskelig å se grunnvannsnivået med 50 MHz, oppløsningen blir ikke god nok ved denne frekvensen. Derfor ble det prøvd med 100 MHz antenner for bedre oppløsning. Det var allikevel vanskelig å definere grunnvannsspeilet.

4.7 Undersøkelse av meteorologiske data

Nedbør i perioden 2006 til 2020

I perioden 2006 til 2020 kan man se at årsnedbør (Figur 4.20) hos de meteorologiske værstasjonene på Ukkestad og Gardermoen har holdt seg forholdsvis stabil. Det er ingen store forskjeller i registrert årsnedbør mellom årene det er observert fiskedød i Risa og andre år.

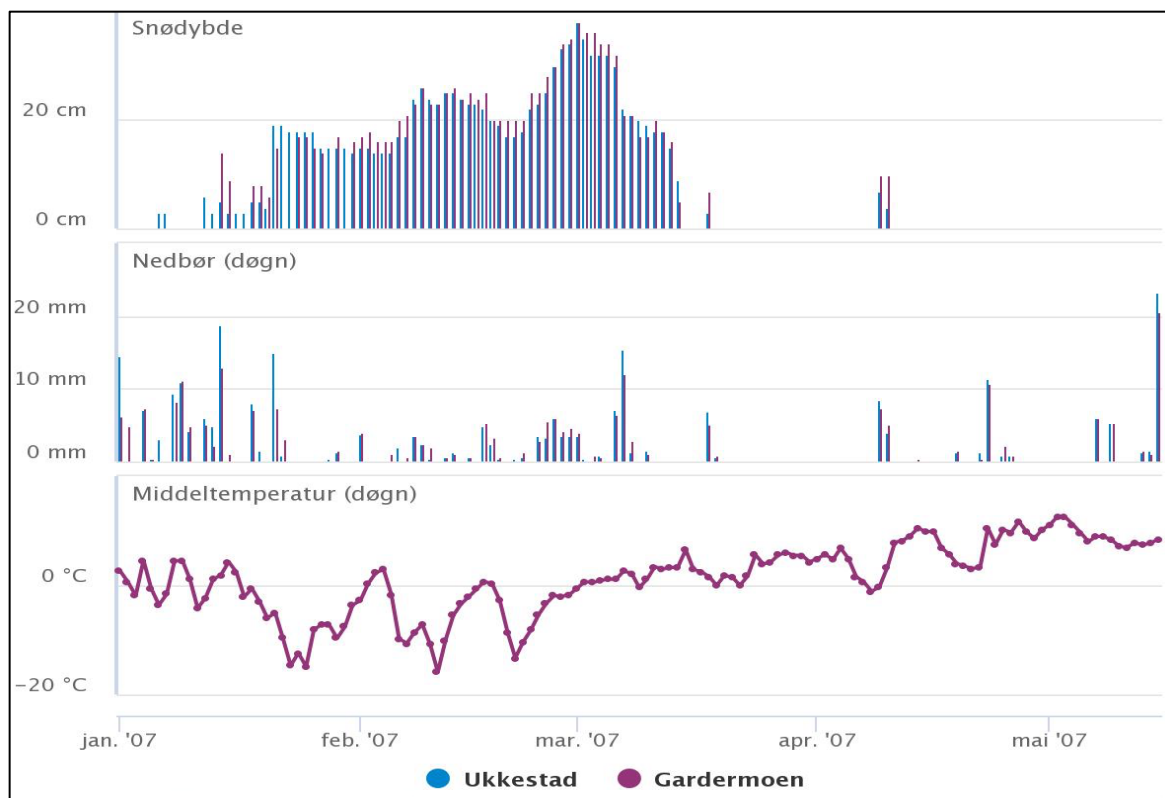


Figur 4.20 Årsnedbør registrert ved meteorologiske målestasjoner i nærheten av øvre Risa nedbørfelt i perioden 2006-2019 (Norsk Klimaservicesenter, u.å).

2007

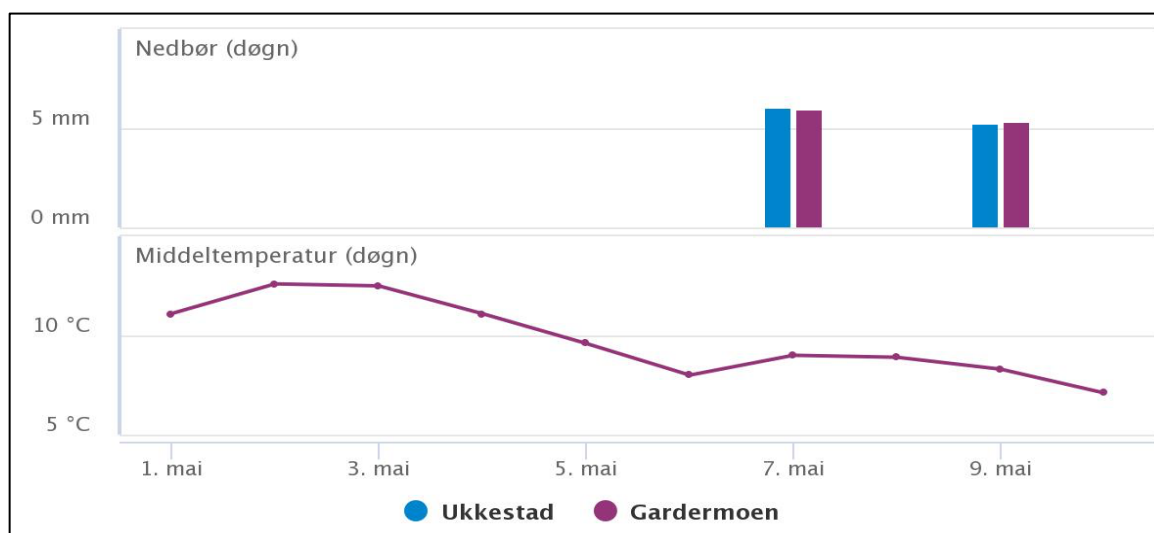
De klimatiske parameterne, nedbør, snødybde og temperatur, i månedene før fiskedøden i 2007 kan sees i figuren 4.21. Månedene før fiskedøden i mai 2007 kan man se at temperaturen holdt seg lav, rundt 0 °C til ca. 15 minus i vintermånedene januar-mars. I april skjedde det en viss temperaturøkning mot mai. I månedene før fiskedøden kan man se på figur 4.21 at det er mest snø i februar, men det virker som at det meste av snøen har smeltet i løpet av april, da snødybden er liten. Denne vinteren vil det kunne bli tilført mye vann til grunnvannsmagasinet siden det var mye snø.

Resultater



Figur 4.21 Oversikt over snødybde (cm), nedbør (mm) og temperatur (°C) i månedene før fiskedøden i 2007, fra 1. januar til 9. mai (Norsk Klimaservicesenter, u.å).

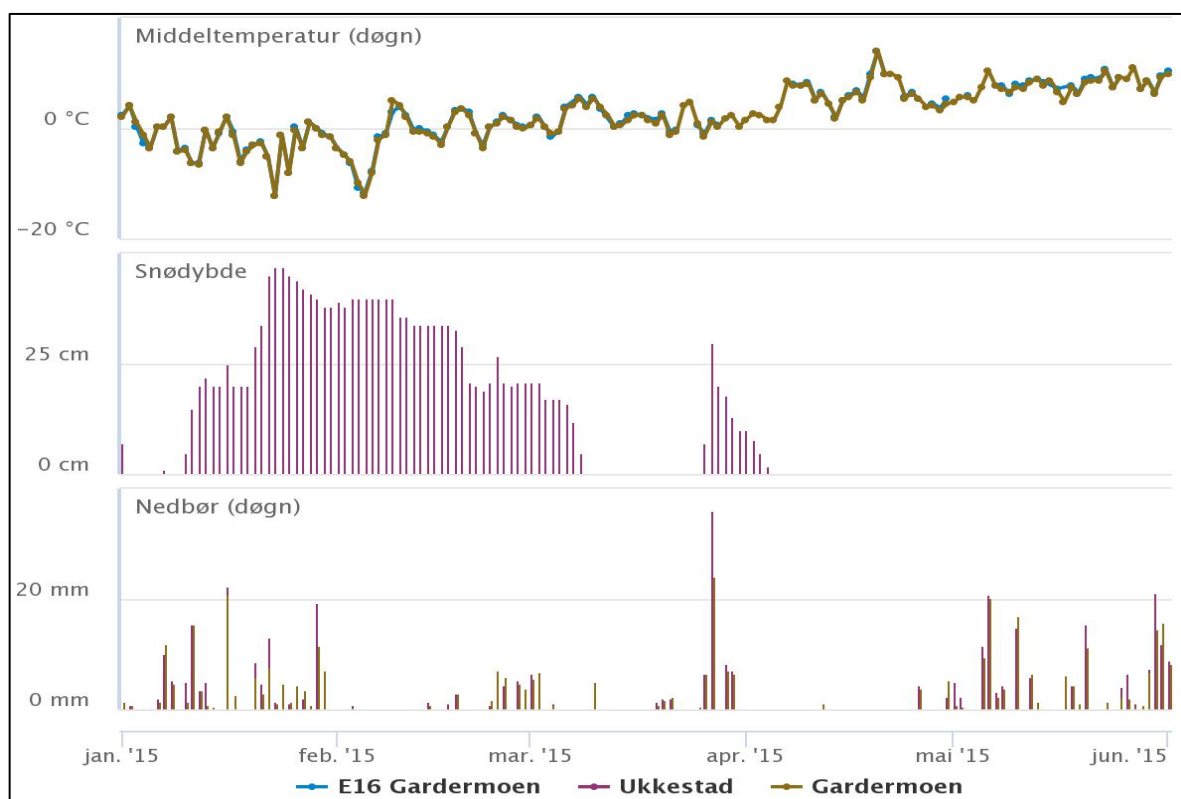
Nedbør og temperatur de siste dagene før fiskedødeepisoden inntraff 8. mai 2007 (Figur 4.22). I dagene før 9. mai 2007 ble det registrert ved værstasjonen Gardermoen at det ble noen grader kaldere, dette startet allerede 4. mai



Figur 4.22 Oversikt over nedbør (mm) og temperatur (°C) dagene før fiskedøden i 2007 (Norsk Klimaservicesenter, u.å).

2015

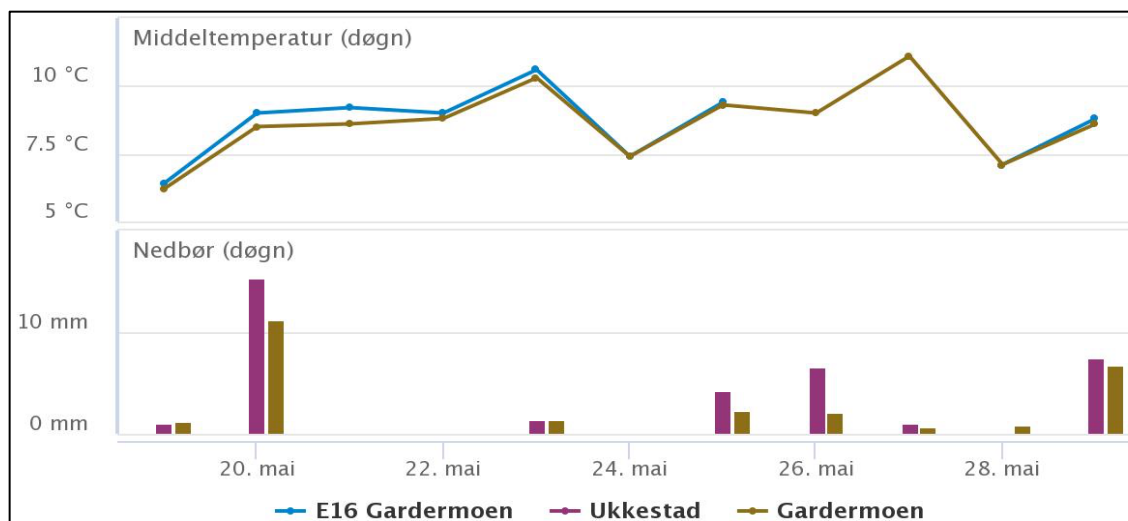
Meteorologiske data registrert det siste halvåret før fiskedøden 29. mai 2015 vises i figur 4.23. I 2015 er det kun en værstasjon som registrerte snødybde, det var Ukkestad. Det er registrert mer snø i 2015 allerede fra januar, men det er samme trenden her som i 2007. Hvor det ser ut til at det meste av snøen er smeltet i løpet av april. I månedene før fiskedødeperioden i 2015 minste temperaturforholdene mye om det som ble observert i 2007.



Figur 4.23 Temperatur (°C), snødybde (cm) og nedbør (mm) i nedbørfeltet det siste månedene før fiskedøden 27. mai 2015, fra 1. januar til 29. mai (Norsk Klimaservicesenter, u.å).

Nedbør og temperatur de siste dagene før fiskedødeperioden vises i figur 4.24. I figuren over middeltemperaturen fra de to værstasjonene ved Gardermoen vises det at i dagene før 29. mai 2015 så varierte temperaturen mellom 7-11 °C. Det var også en del nedbør i dagene før episoden med fiskedød i 2015.

Resultater

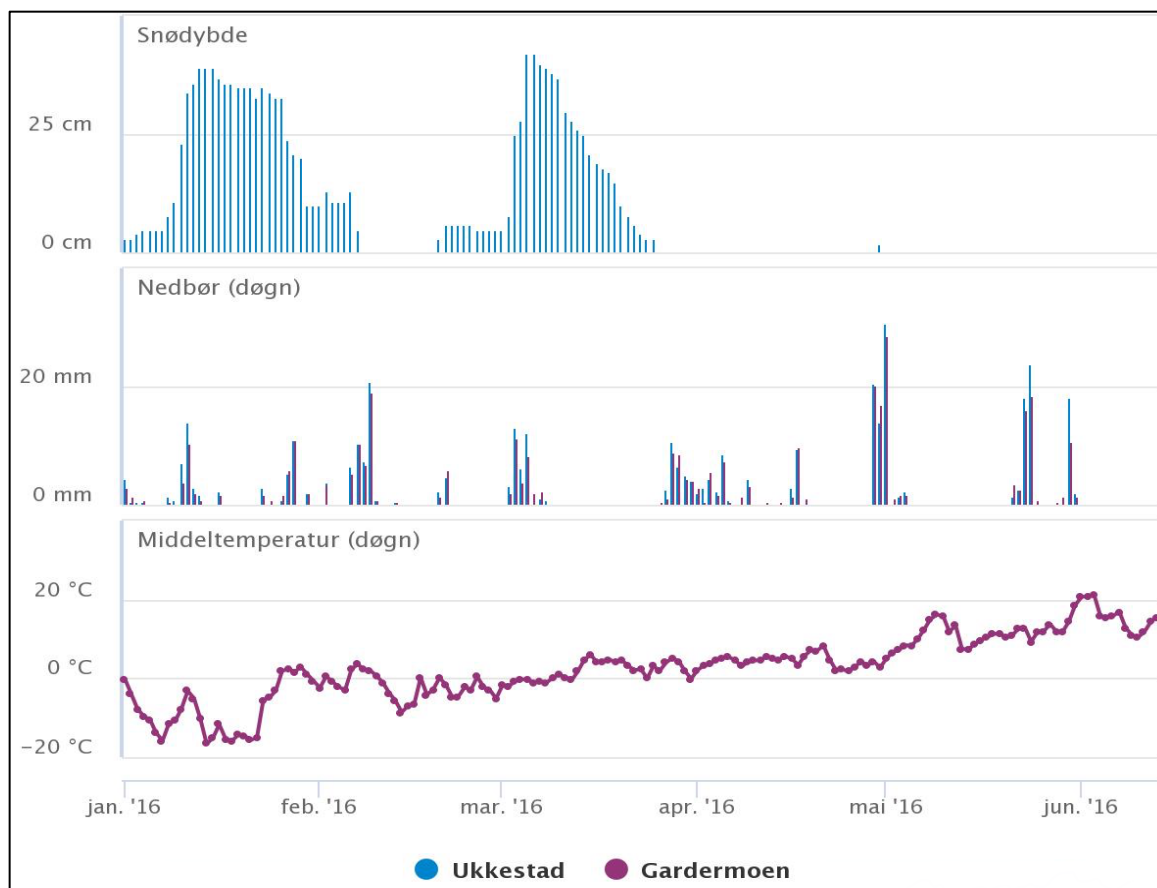


Figur 4.24 Grafisk fremstilling av temperatur (°C) og nedbør (mm) i dagene før fiskedøden i 2015 (Norsk Klimaservicesenter, u.å).

2016

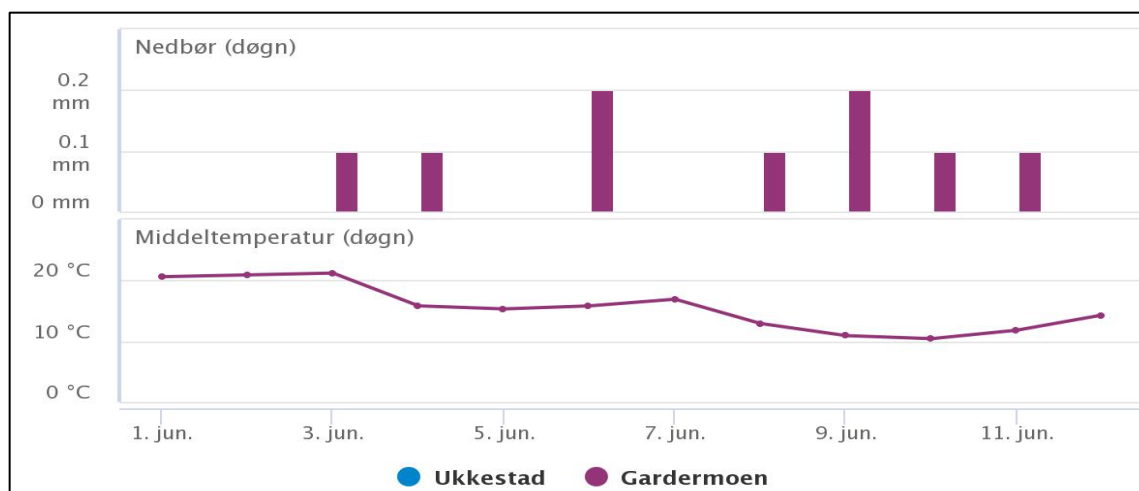
I figur 4.25 vises klimadata fra det siste halvåret før fiskedøden 9. juni 2016. Januar var kaldere enn de tidligere årene, men ble temperaturen gradvis høyere fram til juni. I 2016 er det mulig å observere at muligens var en mild periode i februar som ledet til at mye av snøen smeltet. Det snødde mer i mars, etter dette må snøsmeltingen gått veldig fort, for som det ses i figur 4.25 er det ikke registrert mer snø i april.

Resultater



Figur 4.25 Grafisk oversikt over snødybde (cm), nedbør (mm) og temperatur (°C) i månedene før fiskedødepisoden 9. juni 2016, fra 1. januar til 10. juni (Norsk Klimaservicesenter, u.å).

I dagene før fiskedødepisoden 9. juni 2016 kan man fra figur 4.26 se at det var 0,1-0,2 mm nedbør per døgn fem av ni dager før fiskedøden inntraff.

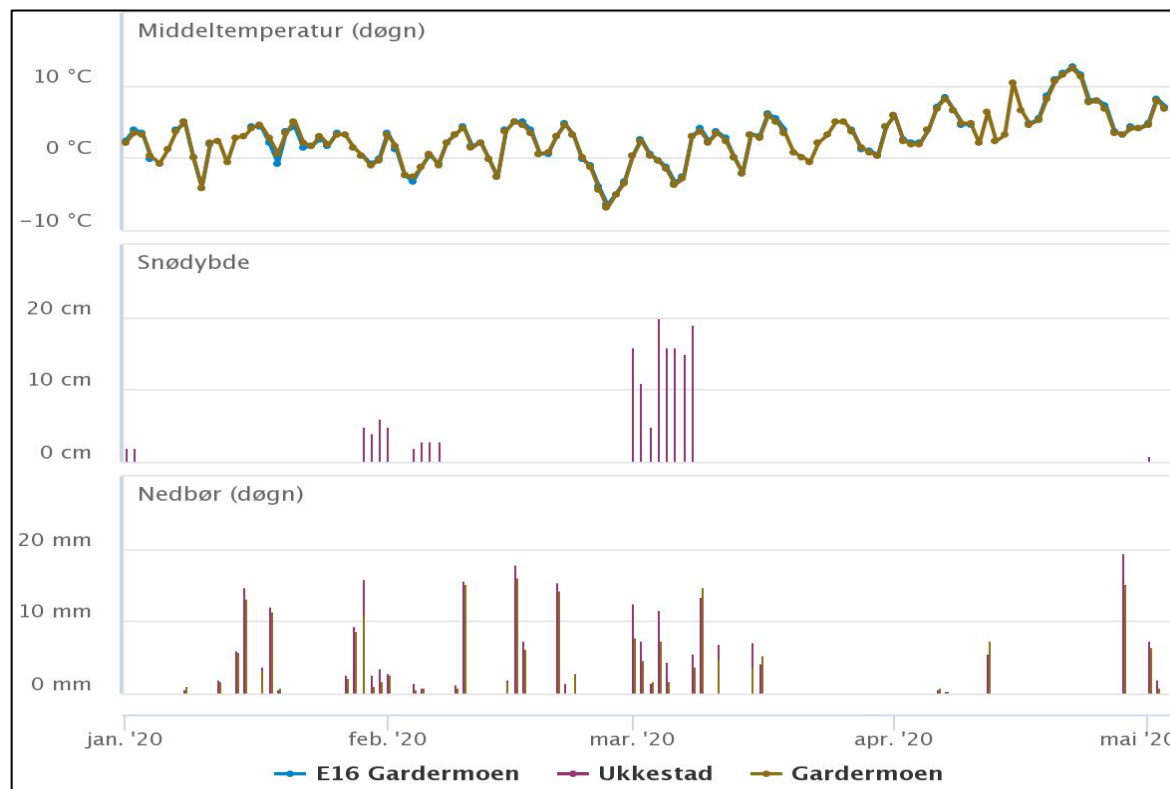


Figur 4.26 Oversikt over de klimatiske parametere nedbør (mm) og temperatur (°C) i dagene før fiskedøden 9. juni 2016 (Norsk Klimaservicesenter, u.å).

Resultater

2019/2020

For det siste halvåret, januar til mai kan man se på figur 4.27 at denne vintersesongen har bydd på betydelig mindre snø enn årene med fiskedød. Temperaturen har ikke gått under -10 °C i løpet av vinteren. Denne vinteren har tilsynelatende vært mild.



Figur 4.27 Oversikt over temperatur (°C), snødybde (cm) og nedbør (mm) for vinterhalvåret 2020 fra 1. januar til 6. mai (Norsk Klimaservicesenter, u.å).

4.8 Modellering av grunnvannsstrømning

For modellering av grunnvannstrømning ble programmet Modelmuse valgt, med tilleggspakkene ModFlow og MT3DMS. Det ble forsøkt modellert med to ulike scenarioer, hvor den ene er i et homogent system med kun en vanngiverevne gjennom hele dreneringsområdet. Det andre systemet involverer heterogenitet i systemet med varierende vanngiverevne, i ulike lag. Disse ulike scenarioene ble valgt for å se om det var mulig å se hvorvidt det kunne skapes pulser av tilførsel av grunnvann til resipienten, som i dette tilfellet blir Risa.

Resultater etter modelleringen

Modell 1

Modell 1 har kun en vanngiverevne på $5E-5$ m/s, så dette systemet er veldig simpelt. Det vil ikke være realistisk i forhold til virkeligheten. I vedlegg O, figur O.1 vises de modellerte strømningslinjene for modell 1 ovenfra og fra siden. Her kan man se at strømningen går i retning Risa, det er også noen linjer som beveger seg mot kanten av modellen. Det kan komme av topografien på berggrunnen som er modellert.

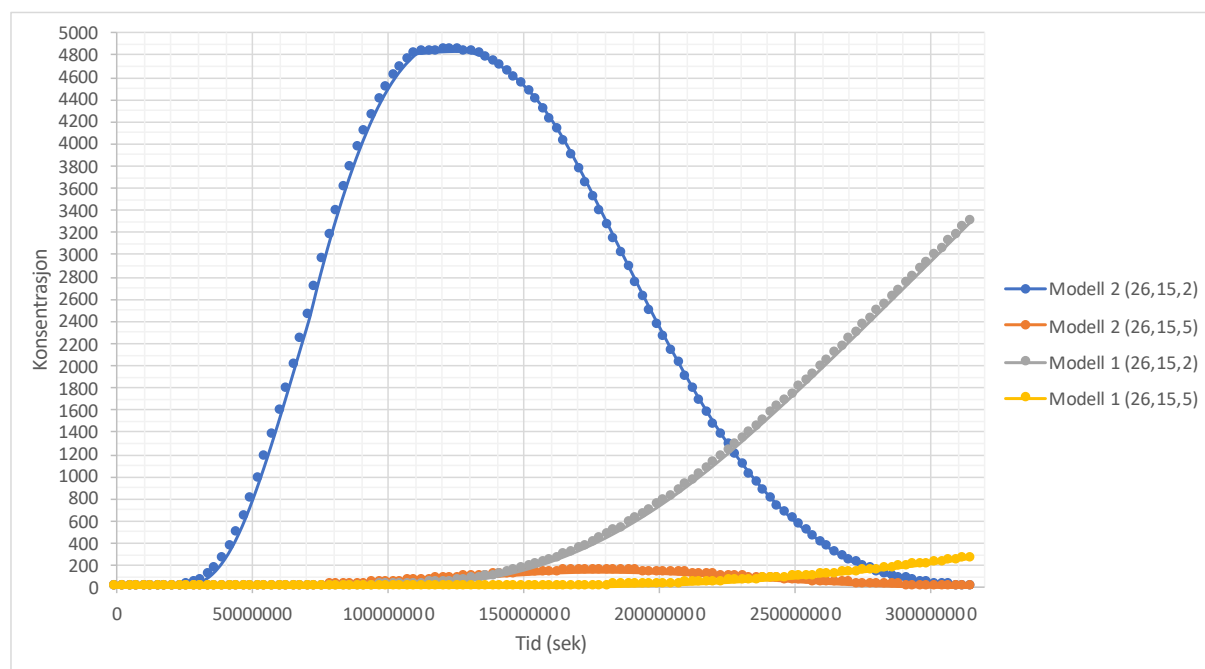
Modell 2

Modell 2 har tre lag, en akvitard som gir en lukket akvifer i bunnen. Akvitarden er inaktiv, og vanngiverevnen er satt til $5E-10$ m/s, som tilsvarer leire (Schwartz & Zhang, 2003). De andre lagene er satt til å ha vanngiverevne lik $5E-5$ m/s som sandig materiale. Strømningslinjene i vedlegg O, figur O.2 viser at strømningslinjene er endret i forhold til modell 2. Det kan tilsynelatende se ut til at det er visse punkter som får tilført mer vann enn andre.

Det ble valgt ut fire punkter som var lik i begge modellene for simulering av stofftransporten i dette området med begge modellene. Det ble valgt samme rad 15 og lag 2 og 5, kolonnen endrer seg. Kolonnene som ble valgt var 26, 16, 6 og 3. Dette ble plottet inn i GW-Chart og resultatet vises om hydrografer. I figur 4.28 vises konsentrasjonen per tid nærme utslippssonen og i figur 4.29 vises konsentrasjonen per tid nærme Risa.

Resultater

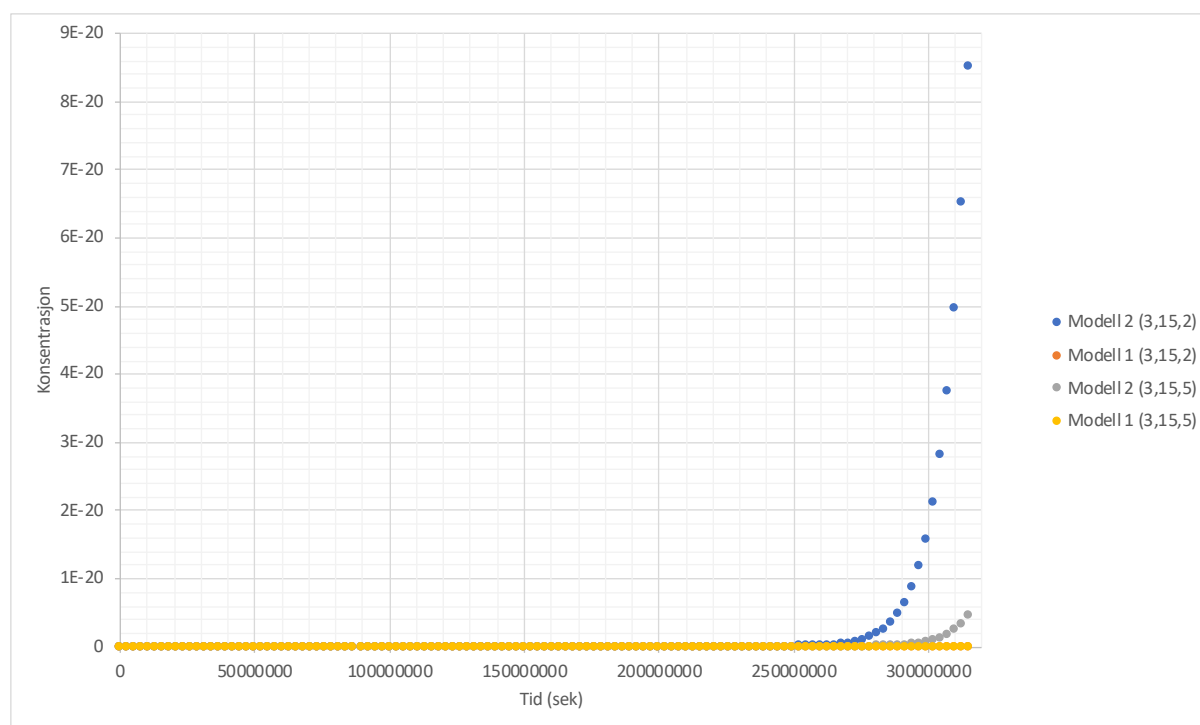
Hydrografen i figur 4.28 viser konsentrasjoner, i kolonne 25, rad 15 for lag 2 og 5, over ti år. Dette er nærme utslippsområdet for sporstoffet. For modell 2 er høy konsentrasjon av sporstoffet i lag 2 (blå linje), over akvitarden, etter ca. 3,6 år. Da har stoffet flyttet seg ca. 300 meter, siden utslippet ble satt til å være i kolonne 29. For lag 5 i modell 2 kan man se en liten økning i konsentrasjonen og en liten topp etter ca. 4 år. Modell 1 har en annen utvikling og har ikke rukket toppen av konsentrasjonen, selv etter 10 år, for både lag 2 og 5.



Figur 4.28 Hydrograf i kolonne 26, rad 15 og lag 2 og 5 for modell 1 og 2

Hydrografen i figur 4.29 viser konsentrasjonen i kolonne 3, rad 14, for lag 2 og 5 i modell 1 og 2 like ved Risa. Her viser det at i løpet av 10 år er det en veldig liten konsentrasjon som rekker fram til Risa, og det er kun i modell 2 at det er noe stoff som har blitt transportert til Risa. For modell 1 er konsentrasjonen lik 0 i både lag 2 og 5.

Resultater



Figur 4.29 Hydrograf over kolonne 3, rad 15 og lag 5 og 2 for modell 1 og 2

Det er lagt ved to hydrografer i vedlegg P som viser konsentrasjonen plottet mot tiden for to punkter mellom kolonne 26 og 3. Figur P.1 i vedlegg P er for kolonne 16 og figur P.2 er for kolonne 6. Fra disse grafene kan man for modell 2 finne ut at for konsentrasjonen i lag 2 og 5 i løpet av 10 år vil være mye høyere enn konsentrasjonen i modell 1. Transporthastigheten for modell 2 er mye høyere enn for modell 1. Så lukkede lag med lavere vanngiverevne kan føre til at vannet over transporteres hurtigere ved at det ikke trenger lengre ned i akviferen. Slike enheter kan føre til at transport av forurensende substanser kan komme som pulser hurtigere enn ved en i en åpen akvifer.

Basert på disse to modellene kan man se at grunnvannet vil ha ulik hastighet ned til Risa ved ulike grunnforhold. Begge modellene er kjørt med «steady state» så det vil ikke vise fluktusjon i grunnvannsnivået. Det man kan se er at modell 2 vil ha hurtigere transport i den åpne akviferen (lag 2) enn lag 2 i modell 1. Konsentrasjonen av stoffet som transporteres vil også være større i modell 2 når vannet når Risa.

Det er mulig å gjøre mye med modelleringsprogrammer dersom man ønsker. Hvordan grunnvannet reagerer i forhold til grunnvannsstrømning eller transport av forurensende substanser ved å endre parameterne. Det er mange parametere man kan jobbe med i et slikt program nedbør, vanngiverevne, konsentrasjon av stoff, trykk, «transient» eller «steady

Resultater

state», ulike tidssteg og mengde løsmasser. Dersom man ønsker kan man også modellere for infiltrasjon i forhold til sesongvariasjon slik at man kan modellere for snøsmelting eller tørkesommer. For modelleringen i denne oppgaven er det mangel på data og det er ikke spesielt mye informasjon om grunnforholdene i dette området som er gode i forhold til grunnvannsmodelleringen. Det har derfor ført til at modelleringen for denne oppgaven er svært simpel, og vil ikke være representativ for det som er realiteten.

Resultater

5 Diskusjon

For denne oppgaven gikk problemstillingen ut på å kartlegge geologiske, fysiske og kjemiske forhold i øvre Risa nedbørfelt. Dette for å finne årsakssammenhengene som ligger bak den episodiske fiskedøden i 2007, 2015 og 2016, og hvorvidt dette må anses som naturlige episoder eller forårsaket av menneskelige inngrep. I dette kapitlet vil resultatene fra undersøkelsene bli diskutert og sett på i en større sammenheng.

Det er flere vannkilder som bidrar til vann til Risa, dette inkluderer Hersjøen, grunnvannet og omkringliggende bekker, kilder, grytehullsjøer og tjern. Kjemiske forhold har blitt undersøkt i vannkilder og jord for å prøve å gi et svar på hva om som kan ha ført til episodisk fiskedød. Det har også blitt sett på antropogen aktivitet i området, og om det på noen måte kan ha bidratt til fiskedøden.

Kjemiske forhold i vannkilder i øvre Risa nedbørfelt

Det har for de tre vannforekomstene utløpsbekk Måketjern (2ba), utløpsbekk grytehullsjø (3ba) og kildeutspring ved Måketjern (5aa) (Figur 3.1) blitt gjort undersøkelser av analyser av vannprøver. Det har ved flere anledninger blitt tatt vannprøver her, datert fra våren 2015 frem til høsten 2019. Disse vannprøvene har blitt sammenstilt og analysert. Det ble sett på konsentrasjonen av jern, aluminium og mangan for lokalitetene og pH for de ulike prøvetakningene har også blitt analysert.

Utløpsbekk fra Måketjern (2ba)

Etter analyser av vannprøver fra utløpsbekken fra Måketjern (2ba), prøvetatt første gang i mai 2015, viser det seg at for aluminium har det vært liten endring i konsentrasjon (Figur 4.2). For denne lokaliteten har jern vist seg å ha store svingninger. Rosseland (1999) legger fram at dersom jernkonsentrasjonen er over 500 µg/l (0,5 mg/l) blir det ansett som skadelig for ørret. Det er funnet at utløpsbekken hadde en konsentrasjon av jern, like etter fiskedødeepisoden i 2015, på 424 µg Fe/l. Det som er overraskende er at det i juli 2017 ble funnet at konsentrasjonen av jern var på 541 µg Fe/l.

Diskusjon

Utløpsbekk fra grytehullsjø (3ba)

For utløpsbekken fra grytehullsjøen sør for Risebru (3ba) var det veldig høye konsentrasjoner både ved analyse etter at prøvene var dekomponert og når prøvematerialet var blitt pipettert ut fra overflaten av prøven uten filtrering. Verdiene er utrolig høye. Rosseland (1999) sier at jernkonsentrasjon over 0,5 mg Fe/l jern vil være ansett som skadelig for ørret. I utløpsbekken fra grytehullsjøen så har de dekomponerte prøvene en konsentrasjon på 320 mg/l, og etter andre analyserunde med ICP så var konsentrasjonen på 13 mg Fe/l. Resultater etter analyse for metaller fra lokaliteten utløpsbekk fra grytehullsjø (3ba) må komme av at denne vannprøven enten er kontaminert eller har ekstremt mye partikler, organisk materiale og/eller sedimenter med jern, mangan og aluminium. TOC for denne lokaliteten var på 4,5 mg/l, så i forhold til innholdet av jern i denne prøven er TOC relativt lavt. Spørsmålet da er om det vil være tilstrekkelig med organisk materiale som jern kan være kompleksbundet med. Denne vannkilden er derimot veldig liten og vil bidra med lite vann i Risas totale vannmasse. Det vil være liten sannsynlighet for at det er denne bekken som er kilden til jern som drepte fisken i Risa.

Kildeutspring ved Måketjern (5aa)

For kildeutspringet ved Måketjern (5aa) var det etter analyse av dekomponerte vannprøver høy konsentrasjon av aluminium 6900 µg Al/l. Mens ved andre prøverunde var det bare 1,4 µg Al/l. Dette kildeutspringet stammer direkte fra grunnvannet, og vil kunne ha høy konsentrasjon av metaller. Konsentrasjonen av metaller var høy etter analysen av dekomponerte prøver, men ved analysen av uforstyrrete og ufiltrerte prøver var konsentrasjonen av jern og aluminium lav. Dette kan tyde på at metallene har oksidert og deretter felt ut. Når jernet har felt ut er det ikke lengre gjellereaktivt.

Ved de tre vannforekomstene utløpsbekk Måketjern (2ba), utløpsbekk (3ba) og kildeutspring ved Måketjern (5aa) (Figur 3.1) er det i løpet av årene målt pH. Det er liten svingning i verdiene for pH. For at det skal være løst jern, mangan og aluminium i vannmasser skal pH være lav. Dersom pH er høy vil disse metallene felle ut. Det er ved lav pH at disse metallene er mest toksisk. Det er vist i figur 4.1 at pH i vannkildene som har blitt prøvetatt flere ganger holder seg over 7,2. Det er derimot vannkilder som har vist seg å ha lavere pH. Blant annet så

Diskusjon

har grytehullsjøen sør for Risebru (3aa) en pH på 5,4. Vannet i Sessvolltjernet (4aa) har til sammenligning med de andre vannkildene i nedbørfeltet forholdsvis lav pH på 6,75. Bekken og dammene nedstrøms Sessvolltjernet mot Risa har gradvis økende pH.

Innholdet av TOC i vannprøvene er funnet til å være høyt, dette kan bidra til at mye av metallene er kompleksbundet til organisk materiale. Når metaller er kompleksbundet til organisk materiale vil det ikke være like gjellereaktivt, så det forholdsvis høye innholdet av TOC vil bremse effekten jern kan ha på gjellen til ørret. Det ble funnet relativt høy konsentrasjon i vannprøvene fra grunnvannet. Dette kan komme av at observasjonsbrønnene det ble tatt prøver av kun er 1 meter. Det kan derfor bli tilført organisk materiale gjennom filteret fra omkransende sedimenter og jord. Det ble funnet i en studie i et settefiskanlegg at forholdstallet mellom jern og TOC ville ha noe å si for toksisiteten av jern for ørret. Dersom forholdstallet her var over 40, så ville det kunne føre til problemer hos ørreten (Åtland et al., 2003). Det ble ikke funnet noen korrelasjon mellom konsentrasjonen av jern og TOC etter analyser av mine vannprøver.

Det er flere forskere som har nevnt at Hersjøen er en spesiell innsjø, at den er verneverdig og burde rødlistes (Hongve, 1992; Hongve, 2016b; Paus et al., 2013). Analyser av vannprøver fra Hersjøen viser at det er svært liten sannsynlighet for innsjøen er kilden til jern i Risa, siden konsentrasjonen av jern er lav. Grunnen til at det er liten sannsynlighet for at Hersjøen er kilden til jernpåvirkningen av fisk i Risa er at innsjøen har lang oppholdstid på 2,5 måned slik at oppløst jern fra grunnvann vil oksyderes og felles ut (Hongve, 2016a; Rohrlack & Haaland, 2017).

Basert på resultatene fra de kjemiske analysene kan det være sannsynlighet for at tjern, grytehullsjøen, sidebekker og grunnvannet er kilder til metaller i Risa. Men hvor mye metaller vannkildene tilfører elva er usikkert. Fra NGUs logging av ledningsevne i utløpsbekken fra Måketjern viste det seg at det var perioder med høyere ledningsevne, noe som kan indikere at innholdet av metaller vil variere.

Metodebeskrivelse

Viktigheten av å skrive hvilke metoder som er blitt brukt ved analyse av vannprøver. Det er visstnok ikke noen standard for hvordan prøver blir behandlet, hva slags forbehandling prøvene krever. For at senere studenter, eller lignende undersøkelser skal kunne gjennomføres er det viktig å få fram hva som har blitt gjort ved analysene for vannprøver og jordprøver. Dette var noe som jeg fant å være vanskelig i forbindelse med min oppgave. Det var også uklarheter rundt framgangsmåten for analyser av vannprøver. Det kan ha en sammenheng med min bakgrunn hvor kjemiske undersøkelser ikke har vært i fokus. Jeg har forsøkt å innhente informasjon om fremgangsmåte, derfor ble det gjort to omganger med analyse ved ICP. Grunnen til dette var at jeg forhørte meg med flere kilder for hvordan det kunne være hensiktsmessig å få gjort disse undersøkelsen. Det ble derfor besluttet i første omgang at vannprøvene ble analysert med ICP etter at de var blitt dekomponerte. Resultatene fra denne undersøkelsen viste at konsentrasjonene for særlig aluminium, jern og mangan var veldig høye.

Det ble diskutert flere metoder for å kunne prøve å oppnå noe liknende resultater som tidligere undersøkelser. Blant annet ble det snakket om det kunne være best å dra ut i felt igjen å ta nye prøver, og denne gangen filtrere prøvene i felt med 0,45 µm filter. For prøvematerialet som allerede var til lagring på laboratorium ble det diskutert flere måter å få et bedre resultat fra med tanke på analyser for metaller. De strategiene som ble diskutert var å gjøre nye analyser av vannprøvene tatt høsten 2019 og;

1. Ta ut rent vann fra toppen av prøvene og deretter tilsette syre.
2. Ta ut rent vann fra toppen av prøvene. De vil ikke bli filtrert og ikke få tilsatt syre.
3. Blande/riste prøvene og deretter filtrere de for så å tilsette syre etterpå.
4. Blande/riste vannprøvene for så å tilsette syre og deretter filtrere prøvene.
5. Blande/riste prøvene og deretter filtrere de.

Det ble tatt en avgjørelse om at alternativ 1 ville være det beste, og det ble valgt ut noen prøver som skulle analyseres med ICP. Resultatene etter vannprøvene var analysert med ICP for uforstyrrede og ufiltrert prøver, kun tilsatt HNO₃, viste at med denne forbehandlingen var

Diskusjon

konsentrasjonen av jern, aluminium og mangan mye lavere for de aller fleste prøvene. Tabeller etter begge analysene med ICP finnes i resultatkapittel 4.1.1, i tabell 4.4. og 4.5.

Som det er mulig å se fra tabellene er det særlig metallene aluminium, jern og mangan som skiller seg ut med tanke på forskjellig forbehandling før analyse med ICP. Kalium, kalsium, mangan og natrium viser at ulik forbehandling ikke spiller særlig stor rolle for vannprøver fra overflateprøver (vedlegg H).

Metaller fra løsmassene i nedbørfeltet

Av jordprøvene som ble tatt i forbindelse med denne oppgaven ble det ikke sett store forskjeller i kjemien oppstrøms og nedstrøms i grunnvannets dreneringsområde. Det var heller ikke store forskjeller for jorda på motsatt side av Risa. Men det viser seg at jordprøvene inneholder mye jern og aluminium som sitter på overflatestrukturen av jordkolloider. I Skarstad (1996) sine resultater for undersøkelse av kjemien i jorda på Moreppen (tabell 5.1), viser det seg at metallene det er størst konsentrasjon av er jern og aluminium. Det var blitt gjort på en annen måte enn mine prøver. Dette ble gjort i 1996, metoden for analyser av jordprøver har trolig endret seg siden den gang, men ved begge metodene viser det seg at jern og aluminium har størst konsentrasjon.

Tabell 5.1 Britha Skarstads (1996) resultater for analyse av metaller i jordprøver, i g/kg.

Dybde	Mn (g/kg)	Fe (g/kg)	Al (g/kg)	Si (g/kg)	Mg (g/kg)	Ca (g/kg)	K (g/kg)
1,5 m	0,79	10,20	1,62	0,32	0,03	0,05	0,17
2,25 m	0,59	12,66	1,20	0,42	0,066	0,19	0,20
2,5 m	0,618	13,14	1,08	0,32	0,78	0,34	0,16

Jordprøvene som ble tatt i forbindelse med denne oppgaven vil ikke si noe om grunnstoffene man finner i akviferen siden de er blitt tatt så grunt, maks 2 meter. Men dersom det hadde blitt

Diskusjon

tatt dypere jordprøver så kan den hende man hadde sett en større endring i konsentrasjonen av metaller.

Ved høyt innhold av metaller som jern, aluminium og mangan i løsmasser kan erosjon føre til at metallene transporteres til overflatevann. Dette har blitt observert i studieområdet, og flere grunneiere fortalte på møte med Ullensaker kommune i mai 2019 at ved kraftige regnskylt transporteres det mye sedimenter fra jordene i nærheten til Risa. Avrenningen har visst seg å ha en karakteristisk rustfarge. Flere av de omkringliggende jordene har innslag av jernrikepartier om stikker seg ut fra andre masser med sin røde farge.

Det er gjennomført flere studier som ser på mineralinnholdet på Gardermosletta, blant annet på Moreppen og Nordmoen. Dagestad (1998) skriver i sin doktorgradsavhandling at mengden av pyritt økte med dybden i akviferen ved flere lokaliteter. I dypere deler av akviferen er det reduserende forhold slik at pyritt holder seg stabil. Dersom oksygenfattig grunnvann tilføres oksygen vil det føre til forvitring av pyritt og oppløsning av mineralet (Dagestad, 1998). Ved forvitring av pyritt får man sulfat og toverdige jern.

Derfor vil det være et alternativ å undersøke dypere løsmasser sin mineralske sammensetning i området ved Risa siden det kan være at dypere masser inneholder mer pyritt.

Grunnvann som kilde for metaller

Grunnvann er kjent for å være rik på metaller, dette inkluderer også jern og mangan. Hersjøen og Risa ligger sentralt til i grunnvannsmagasinet på Gardermosletta, og mates av dette. Det vil derfor være naturlig å se på grunnvannet som en kilde for metaller til Risa. Vannprøvene tatt fra observasjonsbrønnene, B1, B5 og B6, like ved Risa ble funnet til å ha høy konsentrasjon av mangan, jern og aluminium etter at prøvene var dekomponerte og analysert med ICP. Når prøvene ble analysert med ICP etter at vannet ble tatt ut uforstyrret og ufiltrert og tilsatt HNO₃ viste resultatene at verdiene ikke var særlig høye. En mulig årsak til at konsentrasjonen av metallene var betydelig lavere kommer av at disse metallene trolig har oksidert og felt ut. De

Diskusjon

vil derfor ikke være fritt i vannmassene. Man får ikke verdier for den faktiske konsentrasjonen av metaller som var i prøvene når de ble tatt. Det ble funnet kilder som stammer fra grunnvann med høy ledningsevne (5da, 5ea 5ga og 6aa). Alle grunnvannsbrønnene bortsett fra B1 ble funnet til å ha ledningsevne over 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Det vil være stor usikkerhet rundt grunnvannsmodelleringen. For modelleringen var det mangel på data eller gamle data, slik at den vil ikke være representativ for virkeligheten. Både er relativt enkle modeller, men det gav visse resultater. Data om grunnvannsstand i brønner ved ØRAS kunne vært brukt til modelleringen, men det manglet vesentlig informasjon. Undersøkelsen med georadar ledet ikke til oppklaring i spørsmål rundt grunnforholdene. Det ble derimot tolket av funnene fra georadar og sonderboring at grunnen består av store mengder sand og grus, med innslag av både grovere og finere materialer som blokk og silt. Heterogenitet i løsmassene kan føre til ulik transport av grunnvannet, og det kan føre til at grunnvannet transporteres gjennom ulike masser med ulik hastighet. Dette ble også simulert med grunnvannsmodellene. Dersom akviferen har lag med lav vanngiverevne vil det kunne føre til en raskere transport av grunnvann i den åpne akviferen. Løsmassene vil også kunne ha varierende innhold av mineraler som kan bidra til grunnvannets kjemiske sammensetning. Det hadde vært interessant å modellere i forhold til teorien fra Jørgensen og Østmo (1990) om at 50% av nedbør infiltreres til akviferen, hvor igjen 60% infiltreres under snøsmelting.

Ved ØRAS overvåker de grunnvannet i forbindelse med avfallshåndteringen, da de benytter seg av infiltrasjon av avfallsvannet. Kjemiske analyser av vann fra grunnvannsbrønner ved ØRAS gjøres fire ganger i løpet av ett år. Det er blitt gitt tilgang på data fra tre av syv brønner, med data tilbake til 2011. To av brønnene ligger oppstrøms avfallsanlegget, og en ligger nedstrøms, i forhold til grunnvannsstrømningen (Lytomt, 2019). Fra geoteknisk datarapport levert til ØRAS fra Løvlien Georaad (2016) kommer det fram at grunnvannsnivået ligger på mellom 19,0 og 29,0 meter under terrengoverflaten. Fra observasjonen av grunnvannsbrønnene ved ØRAS har det blitt funnet at konsentrasjonen av jern generelt er lav, men i siste kvartal i 2013 ble det påvist en konsentrasjon av jern i grunnvannet på 2000 $\mu\text{g Fe}/\text{l}$ oppstrøms avfallsanlegget. Dette kan være indikasjoner på at det kommer pulser med grunnvann med høy konsentrasjon av jern, dette har også til en viss grad

Diskusjon

blitt simulert med modelleringen i Modelmuse. Dette ble særlig sett i modell 2, under heterogene grunnforhold.

I Norge har det siden 1977 vært fokus på overvåkning av grunnvann, spesielt i forhold til grunnvannsnivå, kjemi og temperatur (NGU, 2018d). For øvre Risa nedbørfelt er det aktuelt å se på grunnvannsbrønnene ved Hauer seter (ca. 5,5 km sørøst for Risebru) og Nordmoen (4 km nordvest for Risebru), som en del av LGN – landsomfattende mark- og grunnvannnett (NVE et al., u.å). NGUs (2014b) vannkvalitetsdata fra brønnen på Nordmoen viser at det er forholdsvis lav konsentrasjon av jern $<0,004$ mg/l. På Nordmoen er pH lavere, mellom 6,2 og 6,8, enn i studieområdet hvor pH for grunnvannsprøvene var på mellom 7,4 og 8,02.

Hasnain (2018) viste derimot i sin oppgave at grunnvannet rundt Oslo lufthavn inneholder mye jern og mangan. Mellom 1998-2017 ble det funnet at gjennomsnittskonsentrasjonen av jern lå på 2,4 mg Fe/l mens den for mangan var 1,25 mg Mn/l.

For grunnvann sees vannkvaliteten i forhold til det Drikkevannsforskriften sier om tiltaksgrenser (Forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften), 2016). For jern er tiltaksgrensen satt til 0,2 mg/l, mangan har tiltaksgrensen 0,02 mg/l og for aluminium er tiltaksgrensen ved 0,2 mg/l. Så dersom man tar utgangspunkt i Hasnain (2018) sine data om gjennomsnittskonsentrasjon ved Oslo lufthavn så har grunnvannet konsentrasjon for både jern og mangan som er langt over tiltaksgrensen. Det vil ikke være bra drikkevannskvalitet basert på jern og manganinnholdet her. Som det er sett i de ulike brønnene på Gardermosletta så varierer innholdet av jern og mangan mye. Jeg stiller også spørsmål om hvordan prøvene har blitt behandlet og analysert. Siden jeg har opplevd hvor stor rolle dette vil spille over resultatene man får.

Forurensningsproblematikk

All antropogen aktivitet i området kan lede til forurensing av grunnvannet. Og som tidligere nevnt er det flere aktiviteter som kan lede til grunnvannsfurensing. For eksempel ØRAS, E6

Diskusjon

og renssebasseng i tilknytning til E6 vil kunne påvirke vannet som tilføres Risa. Her ligger også boligfelt, Oslo lufthavn med mye flytrafikk og det er mye jordbruk i forbindelse med studieområdet.

Avfallsanlegg kan føre til lekkning av organisk materiale, nitrogen, oljeprodukter, tungmetaller og kjemikalier/mikroforurensninger. Veger kan føre til nitrogen-, olje-, tungmetall- og kjemikalieutslipp, i tillegg til salt og mikroplast utslipp. Fra boligområder og militære områder kan både organisk materiale, nitrogen, patogene mikroorganismer, oljeprodukter, tungmetaller og kjemikalier lekke ut ved lekkasjer. Tettbebygde strøk kan også føre til økt trafikkmengde. Jordbruket kan forurense med organisk materiale, patogene mikroorganismer, tungmetaller og kjemikalier. Flere av disse menneskelige aktivitetene vil kunne være fare for økologisk tilstand i Risa.

Militæret har tidlig på 90-tallet hatt flere oljелеkkasjer som vil kunne forringe grunnvannskvaliteten (Banks, 1991; Mauring & Rønning, 1991).

I en mailutveklings med Helge Pedersen i Huvo nå i vår skrev ham at det under arbeidet med å vurdere ulike potensielle årsaker til fiskedøden kom inn en bekymringsmelding til Vannområdet Hurdalsvassdraget/Vorma (Pedersen, 2020). Bekymringsmeldingen omhandlet en åkersprøytevogn som hadde fylt vann direkte fra elva Risa, like oppstrøms området fiskedøden har blitt observert. Huvo oversendte bekymringsmeldingen til kommunens landbruksavdeling. De konsulterte Mattilsynet. Ullensaker kommunen krevde også å få tilgang til sprøytejournalene. Den første dødsepisoden lå for langt tilbake i tid til at journal var mulig å framskaffe, men for de to andre årene viste det seg at nærliggende gulrotåker var blitt sprøytet henholdsvis dagen før og 2-3 dager før fiskedøden inntraff (Pedersen, 2020). Det er så tett på at det potensielt kunne være en dødsårsak, eller en medvirkende dødsårsak dersom f.eks. jernnivået var forhøyet, uten nødvendigvis til et letalt nivå. Fra landbruksfaglig hold ble det imidlertid vurdert til å være lite trolig at sprøyterester hadde blitt tilført vassdraget fordi det aktivt må trykkes på knapper for å tømme dyser i åkersprøyta, slik at det ikke uforvarende skal kunne skje (Pedersen, 2020). Den aktuelle gårdbrukeren har likevel fått beskjed om at det ikke skal fylles direkte fra vassdrag. Videre var de døde fiskene ikke lenger oppbevart i frysebokser, slik at det ikke var noe matriks å måle eventuelle sprøytemiddelrester i. Endelig svar på om dette kan ha vært en medvirkende årsak er derfor ikke funnet (Pedersen, 2020).

Fiskedøden

Ifølge Helge B. Pedersen i Huvo (2020) kom det fram etter elfiske høsten 2019 at det svært lite ørret, særlig yngel. Det var en vesentlig reduksjon fra 2014 (ørrettetthet den gang var på 20 per 100 m²) (Pedersen et al., 2015). I 2019 var nivået nesten like dårlig som i 2016 (1 per 100 m²) (Pedersen et al., 2017a). Det vil si at ørretbestanden fortsatt ikke reetablert etter fiskedøden i 2015 og 2016, eller så kan ha det forekommet fiskedød som ikke har blitt registrert.

Som tidligere nevnt ble det diskutert på møte hos Ullensaker kommune i november 2019 at Risautvalget stilte spørsmål om det kan ha forekommet fiskedød som ikke har blitt registrert. Dette baserer de på observasjonene etter siste elfiske, hvor det viste seg at selv fire år etter siste episode med fiskedød så har ikke bestanden tatt seg opp.

Det er observert lignende episoder av fiskedød i andre elver i Norge, blant annet i Kleivsbekken (Kroglund et al., 2005). I Kleivsbekken var det derimot utslipp av herdejemikalier til bekken som førte til fiskedøden, sammen med metallavleiring på gjellene.

Oksielva og Kvitbruelva som er sidebekker til Saltdalselva i Nordland har svært høyt innhold av jern som følger av tilsig fra jordbruksareal (Bergan et al., 2005). Fra undersøkelser i bekkene ble det påvist at det var deler av bekkene som hadde dårlig vannkvalitet. Bergan et al. (2005) beskrev at den reduserte kvaliteten i bekkene vil føre til vandringsvegring blant ørret og laks, som vil føre til redusert gyting.

Kaurin og Langelo (2014) gjorde miljøundersøkelser i elver i Møre og Romsdal på vegne av fylkesmannen. I Hustadelva har det vært observert fiskedød som skyldtes jernutfelling etter elva ble kanalisert på 80-tallet. Farstadelva hadde også omfattende fiskedød i 2013 (Kaurin & Langelo, 2014).

Analyser av gjellevev hos død ørret i Risa i 2007 og 2015 viste at konsentrasjonen av metallene aluminium, jern og mangan varierte (Haugen, 2007; Åkerstrøm et al., 2016a). Konsentrasjoner av jern på gjeller i Risa i 2007 lå på mellom 215 – 1420 µg Fe/g våtvekt gjellevev (Haugen, 2007). Åkerstrøm et. al (2017) så hadde gjellevevet en konsentrasjon på 350 – 2111 µg Fe/g. Til sammenligning ble det funnet ørret i Kleivsbekken som hadde konsentrasjon av jern på gjellene mellom 484 – 3296 µg Fe/g. Det har derfor blitt stilt

spørsmål om konsentrasjonen på gjellevevet har vært høy nok til å drepe fisken i Risa, eller om det er flere faktorer som har bidratt til ørretdøden.

Klimatiske endringer

Snøforholdene i øvre Risa nedbørfelt er minimale, det er noen måneder i løpet av vintersesongen at det kan ligge noen cm med snø (Figur 4.21 4.23 og 4.25). Det er heller ikke særlig med høyereliggende områder som vil bidra med vann til Risa gjennom snøsmelting. Det som tilføres Risa av vann gjennom snøsmelting vil i hovedsak komme fra det som infiltreres til grunnvannsspeilet, og transporteres i den vannmettede sonen. Da fiskedødeepisodene er observert i mai og juni, kan det være at snøsmeltingen kan ha virket som en katalysator. Dette særlig med tanke på at det ved snøsmelting infiltreres store mengder vann til akviferen. Som Jørgensen og Østmo (1990) har beskrevet så vil 60 % av vannet som infiltreres til akviferen perkolere under snøsmelting. Men dersom det fortsetter slik som dette vinterhalvåret, 2020, (Figur 4.27) så vil det tilføres mindre vann til grunnvannsmagasinet. Dette kan i verstefall lede til at grunnvannsspeilet senkes. Dersom grunnvannsspeilet senkes kan det føre til oksygen tilføres dypere løsmasser, som kan inneholde mer pyritt og hematitt. Dagestad (1998) skriver i sin doktorgradsavhandling at pyrittinnholdet ved flere lokaliteter på Gardermoen øker med dybden. Ved en eventuell senkning av grunnvannsspeilet vil oksygenfattige soner i grunnvannet tilføres oksygen. Når pyritt får tilgang på oksygen vil mineralet oksideres og det vil kunne bli utløst jern og sulfat (Dagestad, 1998).

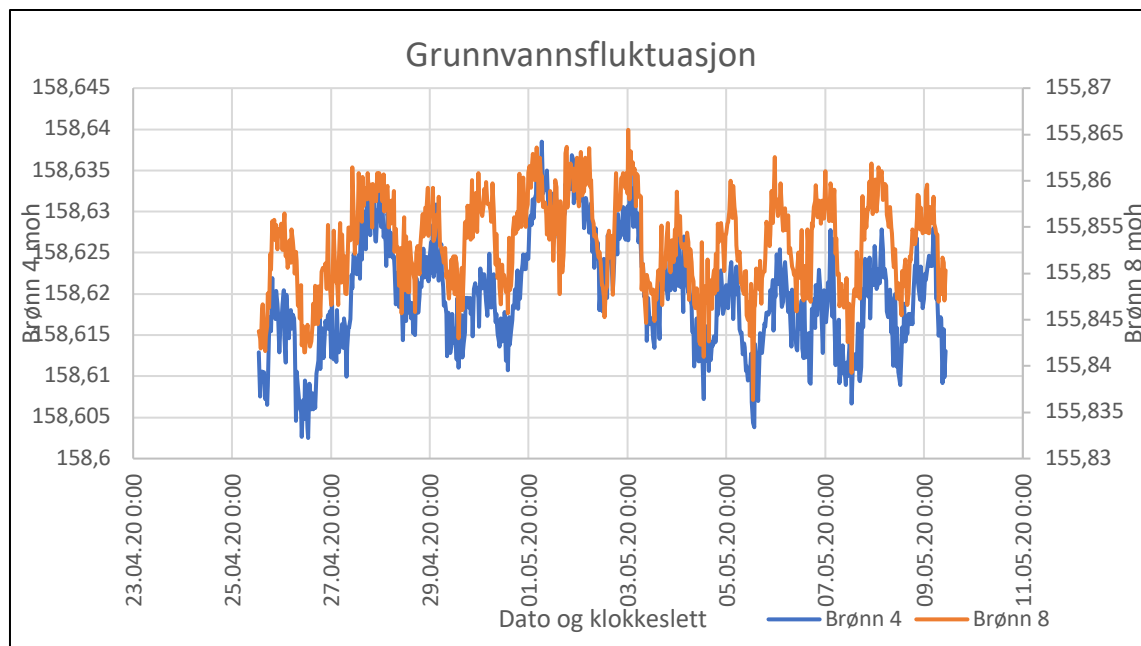
Gjerdrum (2020) skriver for NMBU at når havet blir varmere får oppdrettslaks problemer. Når vannet blir varmere blir det mindre oksygen, og laksen får respirasjonsproblemer og begynner å stresse. Laks og ørret er begge i laksefamilien og vil kunne ha samme reaksjon på ytre påkjenninger. Derfor har det blitt undersøkt om de klimatiske forholdene i Risa vil kunne tilsvare at høy temperaturen i elva kunne vært en ekstra faktor for mindre oksygen i elva. Men fra grafene over lufttemperatur fra meteorologiske målestasjoner i nærheten av Risa viser det seg at lufttemperaturen i dagene før fiskedødeperiode ikke var mer enn 10 °C i dagene forveien (figur 4.22, 4.24 og 2.26). NGU sine data, ved Atle Dagestad (2019), over temperatur i vannet fra CTD-logger (vedlegg L) startet ikke før sommeren 2017 så det er ingen data omkring

Diskusjon

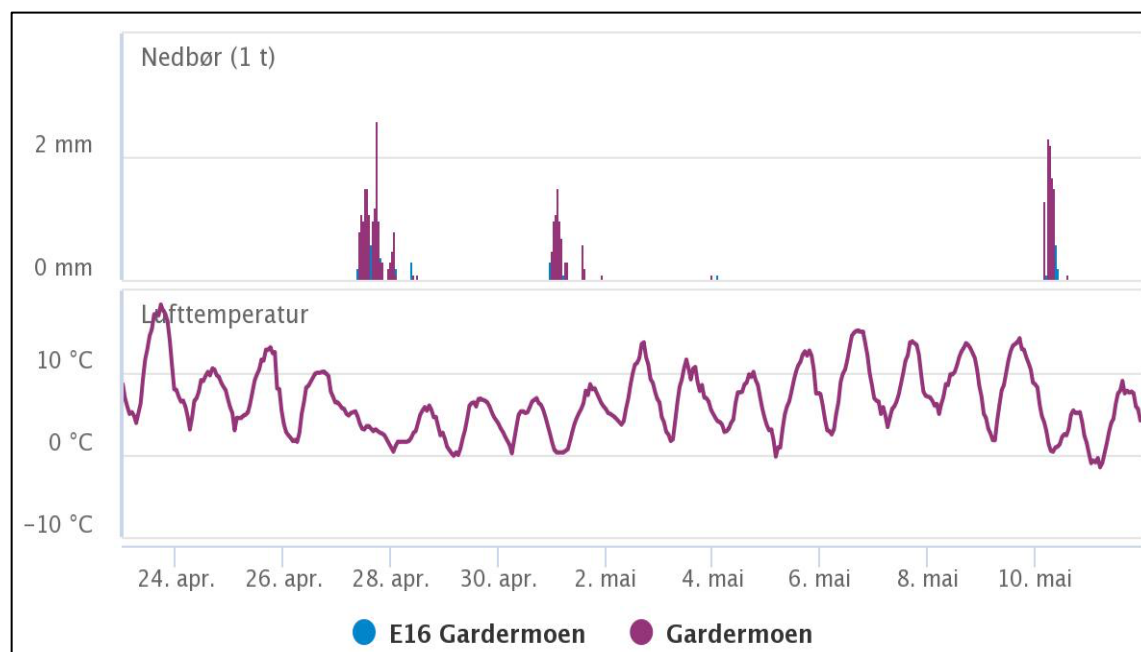
vanntemperaturen i Risa før dette. Overflatevann vil dog følge temperaturendringer i lufta. Det som i tillegg peker mot denne teorien om varmere vann i Risa er at den mates av grunnvannet. Dagestad (1998) skriver at akvifertemperaturen for Gardermoen var på 4,8 °C, i 1998, fra TD-diver fra observasjonsbrønn 4 og 8 kan man se at temperaturen ligger på mellom 5-5,8 °C (vedlegg N).

Overvåkingen av grunnvannstanden på Hauer seter og Nordmoen viser at siden 2008 (vedlegg Q) har grunnvannsnivået fluktuert med mellom 1-2 meter frem til januar 2020 (NVE et al., u.å). Fra den korte overvåkingen med TD-divere fra vanHessen, som ble gjort i observasjonsbrønner ved Risa, er det blitt observert en fluktusjon noen centimeter. For grunnvannsfluktusjonen som ble registrert med TD-diver fra vanHessen ble det gjort en undersøkelse for å se om det kan observeres reaksjon på nedbør i samme periode. Fra figur 5.1 og 5.2 kan det se ut til at det er en reaksjon på nedbøren som kom 28. april og 1. mai, det ser tilsynelatende ut til at det påvirker grunnvannstanden for både observasjonsbrønn B4 og B8.

Diskusjon



Figur 5.1 Grunnvannsflyktuasjon fra TD-divere i observasjonsbrønn B4 og B8 (25.april – 9.mai 2020)



Figur 5.2 Klimatiske data fra perioden TD-diveren logget (25.april-9.mai 2020).

Videre arbeid

Som videre arbeid på denne problemstillingen er generell overvåking av Risa viktig og å fortsette å holde elva under oppsikt.

Det kan være aktuelt å forsøke å modellere grunnvannstrømningen fra begge sider av Risa i én modell. Da vil man kunne få et mer realistisk bilde av hva som tilføres av grunnvann fra løsmassene i området. Det som hadde vært viktig da er å finne ut hva mektigheten til grunnvannsmagasinet er, hvordan morfologien til berggrunnen og eventuelle underliggende enheter er.

To TD-divere og en Baro-diver står ennå ute i brønn B4 og B8, disse burde få logge over en lengre periode. Da kan man få et godt bilde på grunnvannsfluktuasjonen på begge sider av Risa. Data fra diverer kan også sees i sammenheng med meteorologiske data for å se hvordan grunnvannet reagerer på mye/lite nedbør og eventuell snøsmelting. Data fra dette kan også benyttes til videre modellering.

Det kunne vært interessant å se på hva faktisk konsentrasjonen av metaller på ørretens gjeller er. Det har vært diskutert om det kunne vært mulig å ta ut et representativt antall ørret av ulik størrelse fra Risa for så å undersøke gjellene. Dette har det derimot vært motstand fra blant annet Risautvalget, begrunnelsen er at fiskebestanden ikke har klart å ta seg opp igjen, som vil si at ørretbestanden i Risa er svært sårbar. Vannområdet Hurdalsvassdraget/Vorma, ved Helge B. Pedersen, kom derfor med forslag om overvåking av Risa med DGT-målere. DGT-målere kan benyttes for å finne ut hva som er faktisk konsentrasjon på gjeller hos ørret i Risa, og det er en god metode for å få indikasjoner på bakgrunnsverdier av jern på ørretens gjeller uten å røre ørreten i elva.

Multiparameterlogger har også blitt diskutert, med et slikt apparat kan det være mulig å ha en kontinuerlig logging av Risa over en viss periode. Da kan det være mulig å plukke opp uregelmessigheter, dersom dette skulle forekomme. Med en multiparameterlogger kan vassdraget overvåkes for endringer i flere parametere enn enklere logger som for eksempel kun logger ledningsevne, temperatur og trykk.

Det vil dog være en viktig del av arbeidet med denne situasjonen å fortsette med den kontinuerlige loggingen av ledningsevne i utløpsbekken fra Måketjern.

6 Konklusjon

Det er funnet indikasjoner på at flere av kildeutspringene og sidebekkene har høy ledningsevne og enkelte av vannkildene har blitt påvist høy konsentrasjon av metaller. Det er også gjennom jordanalyser funnet at sedimentene i dette området er rik på metaller som jern og aluminium.

Det råder fremdeles usikkerheter hvorvidt det er episodisk tilførsel av anoksisk, metallrikt grunnvann eller menneskelig inngrep som har forårsaket episodisk fiskedød i Risa. Analyser av jord- og vannkjemi sammen med grunnvannsmodellering har ikke gitt noen tydelige svar på hva som kan være kilden til disse tragiske hendelsene. Det har ført til flere spørsmål om fiskedøden kun skyldes metallavleiring på gjellene til ørreten, eller om det er flere faktorer som har bidratt til disse hendelsene. Det er ikke mer gjellemateriale å undersøke slik at det er ikke mulig å gjøre nye undersøkelser med tanke på andre faktorer.

Oppgaven om å finne ut hva som kan ha ledet til disse fatale fiskedødepisodene i Risa er et vanskelig problem å løse. Det skjer akutt og er vanskelig å forutsi når eller om dette kommer til å gjenta seg. Det er klart at slike hendelser rammer en allerede presset bestand i en unik elv. Det er derfor verdt å ta vare på dette økosystemet, å forhindre at slike episoder gjentas.

Det bør forskes mer på dette området og gjennomføres kontinuerlig overvåkning for å fange opp endringer i elvas kjemiske og økologiske tilstand. Da det ikke er funnet noen større svar på hva som kan være årsakssammenhengen til episodene av fiskedød i Risa er det vanskelig å komme med forslag som kan forhindre at det skjer. Men videre overvåkning av ørretbestand og god oppsikt av Risautvalget og Huvo vil kunne bidra til at faren for at ny fiskedød blir mindre.

7 Litteraturliste

- Akershus Fylkeskommune. (2016). *Risebru*. Tilgjengelig fra: https://www.akershus.no/ansvarsomrader/kulturminner/kulturminner-i-akershus/ullensaker/?article_id=203211 (lest 01.10.19).
- Andersen, J. R., Bratli, J. L., Fjeld, E., Faafeng, B., Grande, M., Hem, L., Holtan, H., Krogh, T., Lund, V., Rosland, D., et al. (1997). *Klassifisering av miljøkvalitet i ferksvann*. Statens forurensningstilsyn.
- Avinor. (Mai 2020). *Hvorfor tredje rullebane*. Tilgjengelig fra: <https://avinor.no/tredje-rullebane/hvorfor-tredje-rullebane/> (lest 24.05.20).
- Avinor. (u.å-a). *Om Oslo lufthavn*: Avinor. Tilgjengelig fra: <https://avinor.no/konsern/flyplass/oslo/om-oss/om-oslo-lufthavn-as/om-oslo-lufthavn> (lest 20.11.19).
- Avinor. (u.å-b). *Utvidelse Non-Schengen*: Avinor. Tilgjengelig fra: <https://avinor.no/konsern/flyplass/oslo/utbygging/utvidelse-non-schengen/> (lest 20.11.19).
- Avinor. (u.å-c). *Vann og grunn*. Avinor. Tilgjengelig fra: <https://avinor.no/konsern/flyplass/oslo/miljo-og-lokalsamfunn/vann-og-grunn/#5023> (lest 17.10.19).
- Banks, D. (1991). *Kartlegging av oljeforurensset grunn/grunnvann ved bygning 14, Sessvollmoen militærleir*. NGU-rapport. Trondheim: Norges Geologisk Undersøkelse (NGU). Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/publikasjon/kartlegging-av-oljeforurensset-grunn-grunnvann-ved-bygning-14-sessvollmoen-milit-rleir> (lest 06.09.19).
- Bargel, T. H. (2005). *Spor etter istiden i Oslo og Akershus*: Norges geologiske undersøkelse.
- Bergan, M. A., Teien, H.-C. & Kristensen, T. (2005). Oksielva og Kvitbruelva til Saltdalselva, Nordland - Problemkartlegging og tilstandsbeskrivelse med forslag til tiltak. *NINA rapport*, 1222.
- Bønsnes, T. E. & Bogen, J. (1995). Sedimenttransport i Sogna, Vikka og Risa ved Gardermoen hovedflyplass i 1994. *NVE rapport*.
- Dagestad, A. (1998). *In situ luftinjeksjon i grunnvannssonen som opprensningstiltak i akviferen ved Gardermoen, Sørøst Norge*. Phd. Trondheim, Norge: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Dagestad, A. (2019). *Data om vannanalyser og loggede data fra CTD loggere, fra Risa*. Norges geologiske undersøkele.
- Day, T. J. (1977). Observed mixing lengths in mountain streams. *Journal of hydrology*, 35 (1-2): 125-136.
- Dervo, L., Sørbye, Ø., Markussen, J. A. & Isdahl, C. (2012). *Istidslandskap og naturperler - Unike verneområder ved Gardermoen*: Fylkesmannen i Oslo og Akershus.
- Feiring Bruk AS. (u.å). *Dal pukkverk*. Tilgjengelig fra: <https://feiring.no/dealer/dal-pukkverk> (lest 10.12.2019).

Litteraturliste

- Forskrift om rammer for vannforvaltningen. (2006). *Forskrift om rammer for vannforvaltningen*.
- Forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften). (2016). *Forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften)*.
- Forsvaret. (u.å). *Gardermoen og Sessvollmoen*. Tilgjengelig fra: <https://forsvaret.no/fakta/tjenestesteder/gardermoen> (lest 24.04.2020).
- Forsvarsbygg. (2016). *Sessvollmoen*. Tilgjengelig fra: <https://www.forsvarsbygg.no/no/miljo/miljo-i-skyte-og-ovingsfelt/naturforvaltning/skytefeltene/sessvollmoen/> (lest 24.04.2020).
- Frogner, I. A. & Almhjell, D. D. (2019). *Kartlegging av årsakssammenheng mellom fysiske og kjemiske forhold og episoder av fiskedød i elven Risa*. Ås: Norges miljø og biovitenskapelige universitet.
- Furuseth AS. (u.å). *Om oss*. Tilgjengelig fra: <https://www.furuseth.no/om-oss> (lest 19.11.2019).
- Fylkesmannen i Oslo og Akershus. (u.å). *Jordbruk*. Tilgjengelig fra: <https://www.fylkesmannen.no/Oslo-and-Akershus/Agriculture-and-food/Farming/> (lest 31.01.2020).
- Gjerdrum, C. W. (2020). *Oppdrettslaksen kveles av varmere hav*. NMBU: NMBU. Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/aktuelt/node/40304> (lest 22.05.2020).
- Harbaugh, A. W. (2005). *MODFLOW-2005, the US Geological Survey modular ground-water model: the ground-water flow process*: US Department of the Interior, US Geological Survey Reston, VA.
- Hasnain, S. M. (2018). *Assessment of OSL groundwater monitoring program*. Ås: Norwegian University of Life Sciences.
- Haugen, T. O. (2007). Analyse av fiskegjeller fra ørret i Risa i forbindelse med fiskedødepisode 8.-9. mai 2007.
- Hongve, D. (1992). Verneverdige innsjøer på Øvre Romerike. *VANN*, 1: 21-28.
- Hongve, D. (2016a). *Om den sannsynlige årsaken til fiskedød i Risa (utløpsbekk fra Hersjøen, Ullensaker kommune)*. Upublisert manuskript.
- Hongve, D. (2016b). *To norske innsjøtyper bør rødlistes*. *VANN*. Tilgjengelig fra: <https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2017/03/Hongve.pdf> (lest 10.09.19).
- Jørgensen, P. & Østmo, S. R. (1990). Hydrogeology in the Romerike area, Southern Norway.
- Kaurin, M. & Langelo, G. F. (2014). *Miljøundersøkingar i ferskvatn 2013*. Fylkesmannen i Møre og Romsdal.
- Kroglund, F., Kleiven, E. & Aanes, K. (2005). Vurdering av årsak til fiskedød i Kleivsbekken, Kvinesdal kommune.
- Krogstad, T. (2009). *Laboratoriemetoder til emnet JORD 212. Jordanalyse*. Institutt for plante- og miljøvitenskap, UMB.
- Langbakk, B. I. (2019). *Muntlig kommunikasjon*.
- Lindstrøm, E.-A. & Brettum, P. (1985). *Hersjøen og Risa i Akershus - Biologisk begrunnet vannkvalitetsvurdering 1983-84*.

Litteraturliste

- Løvlien Georåd. (2016). *Øvre Romerike Avfallsselskap IKS Grunnundersøkelse ØRAS, Ullensaker*.
- Mauring, E. & Rønning, J. S. (1991). Undersøkelse av forurenset grunn/grunnvann på Trandum. Georadarmålinger.
- Mauring, E., Koziel, J., Lauritsen, T., Rønning, J. S. & Tønnesen, J. F. (1995). *Målinger med georadar. Teori, anvendelse, teknikker og eksempler på opptak*. Norges geologiske undersøkelse.
- Mesta. (2008). Refleks - Internavis for Mesta as. *Mesta avis*, nr. 1.
- Misund, A. & Sæther, O. M. (1991). Undersøkelse av forurenset grunn og grunnvann ved Trandum militærleir. *NGU rapport*.
- Myrabø, S. (1984). En forenkling av vannføringsmåling med den relative saltfortynningmetoden. *Samarbeidutvalget for hydrologi*, 5.
- Neal, A. (2004). Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-science reviews*, 66 (3-4): 261-330.
- NGI. (2019). *Samlerapport*: Norges geologiske institutt.
- NGU. (2014a). *Pukkdatabasen - Forekomstområde 0235 - 506*. Norges geologiske undersøkelse: Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: http://geo.ngu.no/kart/common94/encapsulate.htm?http://aps.ngu.no/pls/oradb/grus_G_P_Omrade_fakta.Main?p_spraak=N&p_objid=148458 (lest 10.12.19).
- NGU. (2014b). *Vannkvalitetsdata for LGN-stasjon 72 brønn 2, Nordmoen*: Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: http://geo.ngu.no/kart/common_mobil/html/analytics-page.html?http://aps.ngu.no/pls/oradb/hgb.vannkjemi?pktid=407860 (lest 09.12.19).
- NGU. (2018a). *Grunnvannskjemi*: Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/grunnvanninorge/alt-om-grunnvann/grunnvann-i-norge/grunnvannskjemi> (lest 20.11.19).
- NGU. (2018b). *Grunnvannsressurser*: Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/grunnvanninorge/alt-om-grunnvann/grunnvann-i-norge/grunnvannsressurser> (lest 20.11.19).
- NGU. (2018c). *Grunnvannsstrømning*: Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/grunnvanninorge/alt-om-grunnvann/generelt-om-grunnvann/grunnvannsstromning> (lest 20.11.19).
- NGU. (2018d). *Landsomfattende mark- og grunnvannsnett (LGN)*. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/prosjekter/landsomfattende-mark-og-grunnvannsnett-lgn> (lest 25.03.19).
- NGU. (2019). *Jern og mangan*: Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/grunnvanninorge/alt-om-grunnvann/grunnvannskvalitet/jern-og-mangan> (lest 20.11.19).
- NGU. (2020). *(LA)-ICP-MS*. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/fagomrade/icp-ms> (lest 26.05.2020).
- NGU. (u.å.-a). *Berggrunn Nasjonal Berggrunnsdatabase*: Norges Geologiske Undersøkelse. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/> (lest 31.10.19).

Litteraturliste

- NGU. (u.å.-b). *Georadar - Metodebeskrivelse*. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/sites/default/files/GEORADAR-metodebeskrivelse.pdf> (lest 26.09.2019).
- NGU. (u.å.-c). *Løsmasser Nasjonal løsmassedatabase*: Norges Geologiske Undersøkelse. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/> (lest 31.10.19).
- Norges standardiseringsforbund(NSF). (1975). *Vannundersøkelse - Bestemmelse av ammonium-nitrogen*: NSF.
- Norges standardiseringsforbund(NSF). (1996). *Vannundersøkelse - Bestemmelse av nitritt-nitrogen og nitrat-nitrogen og summen av begge ved automatisert analyse (CFA og FIA) og spektrometrisk deteksjon (ISO 13395:1996)*: NSF.
- Norges standardiseringsforbund(NSF). (1997). *Vannundersøkelse - Retningslinjer for bestemmelse av totalt organisk karbon (TOC) og løst organisk karbon (DOC)*. Skøyen: NSF.
- Norgeskart. (u.å). *Norgeskart*: Kartverket. Tilgjengelig fra: <https://www.norgeskart.no> (lest 22.11.19).
- Norsk Klimaservicesenter. (u.å). *Seklima - Observasjoner og værstatistikk*. Tilgjengelig fra: <https://seklima.met.no/observations/> (lest 06.05.20).
- NVE. (2017). *Grunnvann i Norge*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/hydrologi/grunn-og-markvann/grunnvann-i-norge/> (lest 20.11.19).
- NVE. (2019). *Nevina Rapport*. Tilgjengelig fra: <http://nevina.nve.no/> (lest 01.10.2019).
- NVE, met.no & Kartverket. (u.å). *Senorge.no*. Tilgjengelig fra: <http://www.senorge.no/index.html?p=senorgeny&st=water> (lest 02.05.2020).
- Paus, K. A., Åstebøl, S. O., Robbe, S., Ulland, V. & Lausund, E. (2013). *Tilstanden til rensbassenger i Norge*.
- Pedersen, H. B., Dervo, L., Nordli, S., Fodstad, T., Skjølås, Å., Engødegård, A., Åkerstrøm, A., Løkenlien Sørby, T., Nilsen, L. & Winger, A. (2015). Supplerende kartlegging av fiskestatus i bekker og mindre elver i Hurdalsvassdraget/Vorma. *Vannområdeutvalget i Hurdalsvassdraget/Vorma, Notat* (1): 59.
- Pedersen, H. B. (2017). Referat befaring av Risa for videre problemkartlegging av jern mm. som årsak til fiskedød.
- Pedersen, H. B., Dervo, L., Nordli, S., Fodstad, T., Skjølås, Å. M., Engødegård, A., Åkerstrøm, A., Sørby, T. L., Nilsen, L., Winger, A. C., et al. (2017a). *Supplerende kartlegging av fiskestatus i bekker og mindre elver i Hurdalsvassdraget/Vorma i 2016*.
- Pedersen, H. B., Dervo, L., Skjølås, Å. M., Engødegård, A., Åkerstrøm, A., Sørby, T. L., Selboe, T., Nordli, S., Bur, O. & al., e. (2017b). *Oversikt over de viktigste menneskeskapte barrierer og demninger i vassdragene innen Vannområdet Hurdalsvassdraget/Vorma*. Vannområdet Hurdalsvassdraget/Vorma.
- Pedersen, H. B. (2019). *Infomøte ØRAS 4.9*. Upublisert manuskript.
- Pedersen, H. B. (2020). *Personlig kommunikasjon*.
- Pedersen, H. B. & press, m. f. I. (2020). *Kartlegging av fiskestatus i bekker og mindre elver i Hurdalsvassdraget/Vorma i 2018 og 2019*.

Litteraturliste

- Rohrlack, T. & Haaland, S. (2017). *Paleolimnologisk undersøkelse av Hersjøen(002-4158-L)*. MINA fagrapport, 2535-2806. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Rosseland, B. (1999). Vannkvalitetens betydning for fiskehelsen.-S. 240-252. i Poppe, T., red. Fiskehelse og fiskeesykdommer.–Universitetsforlaget AS.
- Schwartz, F. W. & Zhang, H. (2003). *Fundamentals of Groundwater*. New York: John Wiley & Sons.
- Simonsen, L., Pengerud, A., Schmidt, I. & Fyhn, A. (2020). *Tiltaksrettet overvåkning og klassifisering 2019*. I: Norconsult (red.). HUVO.
- Skarstad, B. (1996). *Undersøkelse av løsmassene på moreppen, Gardermoen*. Ås: Norges Landbrukshøgskole.
- Statens Vegvesen. (u.å). *E6 Gardermoen-Biri*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/Europaveg/e6gardermoenbiri> (lest 20.11.2019).
- Storrø, G. (1990). *Kartlegging av forurenset grunn/grunnvann ved bygning 111, Trandum militærleir*, 91.155: Norges geologiske undersøkelse.
- Teien, H.-C., Garmo, Ø. A., Åtland, Å. & Salbu, B. (2008). Transformation of Iron Species in Mixing Zones and Accumulation on Fish Gills. *Environmental Science & Technology*, 42: 1780-1786.
- Teien, H.-C. & Salbu, B. (2009). Jern og giftige blandsoner i norske settefiskanlegg-nøkkelfaktorer, prosesser og tiltaksmiddel.
- USGS. (2018). *GW_Chart: A Program for reating specialized graphs used in groundwater studies*. Tilgjengelig fra: <https://www.usgs.gov/software/gwchart-a-program-creating-specialized-graphs-used-groundwater-studies> (lest 02.04.2020).
- USGS. (2019). *MT3D-USGS: Groundwater Solute Transport Simulator for MODFLOW*. Tilgjengelig fra: <https://www.usgs.gov/software/mt3d-usgs-groundwater-solute-transport-simulator-modflow> (lest 02.04.2020).
- USGS. (2020). *ModelMuse: A Graphical User Interface for Groundwater Models*. Tilgjengelig fra: <https://www.usgs.gov/software/modelmuse-a-graphical-user-interface-groundwater-models> (lest 02.04.2020).
- vanEssen Instruments. (u.å-a). *Baro-Diver*. Tilgjengelig fra: <https://www.vanessen.com/products/data-loggers/baro-diver/> (lest 21.04.20).
- vanEssen Instruments. (u.å-b). *Diver-Office 2020*. Tilgjengelig fra: <https://www.vanessen.com/products/software/diver-office/> (lest 21.04.20).
- vanEssen Instruments. (u.å-c). *TD-Diver*. Tilgjengelig fra: <https://www.vanessen.com/products/data-loggers/td-diver/> (lest 21.04.20).
- Vann-Nett. (u.å). *Hersjøen*. Tilgjengelig fra: <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/002-4158-L> (lest 20.11.19).
- Vannportalen. (2018). Klassifisering av miljøtilstand i vann - Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. *Veileder*, 02.
- Wong, W. K. & Colleuille, H. (2005). Elv og grunnvann - Estimering av grunnvannsbidrag til det totale avløpet ved hydrogramseparering.
- Worren, M. B. (2003). Grunnundersøkelse E6 Hovinmoen-Dal. *Statens vegvesen rapport*, nr. 1.

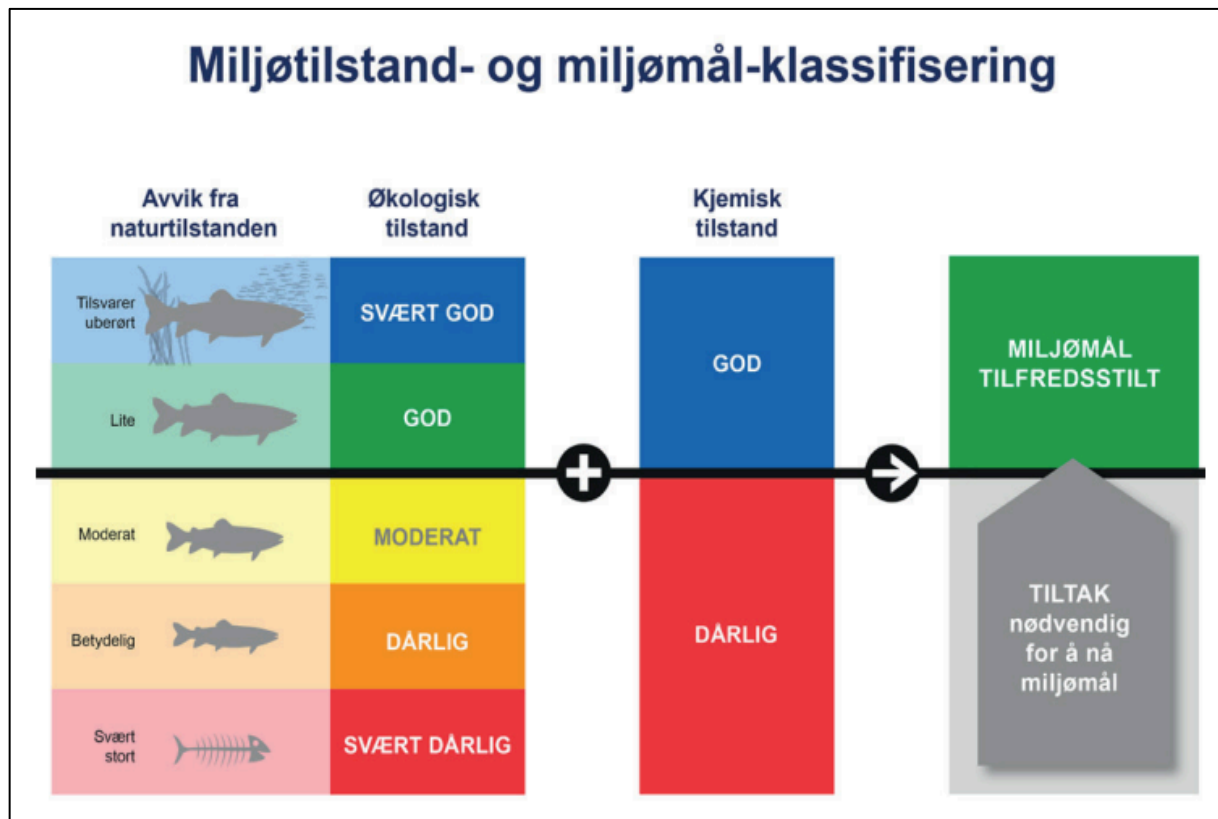
Litteraturliste

- Zivanovic, V. (2018). *Laboratorieøving - Magnesium og Kalsium i ammoniumlaktat ekstrakter - bestemmelse med infuktivt koblet plasma optisk emisjons spektrometer* NMBU. Upublisert manuskript.
- ØRAS. (2018). *ØRAS Årsrapport 2018*.
- Østmo, S. R. (1976a). *Hydrogeologisk kart over Øvre Romerike: grunnvann i løsavsetninger mellom Jessheim og Hurdalssjøen. - M. 1:20000*. Norges geologiske undersøkelse: NGU.
- Østmo, S. R. (1976b). *Kvartærgeologisk kartlegging med spesiell vekt på registrering og undersøkelse av sand- og grusforekomster i Ullensaker kommune, Akershus fylke. NGU rapport*.
- Åkerstrøm, A., Pedersen, H. B. & Dønnum, B. O. (2016a). *Notat fiskedød i Risa 2015*. Upublisert manuskript.
- Åkerstrøm, A., Pich, R. & Enerud, M. (2016b). *Befaring Risa og Furuset slakteri 9.6.16 kl. 12:00-13:30*.
- Åtland, Å., Kroglund, F. & Røyset, O. (2003). *Avgiftning av jern ved dosering av flytende silikat - en pilotstudie*. Oslo: NIVA.

Vedlegg

- Vedlegg A: Oversikt over miljøtilstand- og miljømål-klassifisering
- Vedlegg B: Hydrogeologisk kart fra Øvre Romerike. Av Svein Roar Østmo, 1976a
- Vedlegg C: Oversikt over lyd ved sonderboring. Hentet fra forelesning i GEO220 - Hydrogeologi v/Helen French våren 2019
- Vedlegg D: Informasjon om nedsatte brønner av tidligere masterstudenter Ingvild Frogner og Daniel Almhjell, 2018.
- Vedlegg E: Oversikt over analyseresultater av vannprøver 2020, med dekomponerte metaller.
- Vedlegg F: Resultat av vannprøveanalyser fra Ingvild Alstad Frogner og Daniel Dahl Almhjell fra 2018.
- Vedlegg G: Oversikt over utvalgte parameter fra NGUs kjemiske vannanalyser (2017-2019) (Dagestad, 2019).
- Vedlegg H: Sammenligningstabell som viser forskjellen mellom metallene kalsium, kalium, natrium og magnesium ved to ulike forbehandlingsmetoder ved analyse med ICP.
- Vedlegg I: Oversikt over verdier for pH i utløpsbekk fra Måketjern (2ba), utløpsbekk grytehullsjø (3ba) og kildeutspring ved Måketjern (5aa)
- Vedlegg J: Observasjon og tolkning av sonderboring
- Vedlegg K: Informasjon for tolkning av georadar-målinger. Forslag til tolkning av georadar-profiler fra løsmasser av Beres og Haeni (1991) referert i Mauring et.al (1995)
- Vedlegg L: Resultat fra NGUs overvåkning utløpsbekk Måketjern trykk og temperatur fra sommeren 2017 til høsten 2019
- Vedlegg M: Grunnvannsfluktuasjon i installerte observasjonsbrønner, inkludert observasjoner gjort av Ingvild Frogner og Daniel Almhjell, egne observasjoner og fra diver.
- Vedlegg N: Temperaturvariasjoner registrert med TD-diver i brønn B4 og B8, 2020.
- Vedlegg O: Strømningslinjer i Modell 1 og 2 fra modellering med Modelmouse
- Vedlegg P: Konsentrasjoner over tid fra GW_Chart basert på modell 1 og 2, etter modellering med Modelmouse
- Vedlegg Q: Grunnvannsfluktuasjon ved Nordmoen og Hauer seter (Hentet fra senorge.no)

Vedlegg A: Oversikt over miljøtilstand- og miljømål-klassifisering. (Hentet fra Vannportalen, 2018)



Vedlegg C: Oversikt over lyd ved sonderboring. Hentet fra forelesning i GEO220 - Hydrogeologi v/Helen French våren 2019

<i>Sediment</i>	<i>Lyd ved dreining av firkantspiss</i>
Leir – fin silt	Ingen lyd
Silt	Svak summing
Fin sand	Strek summing
Middels sand	Gnissing
Grov sand	Sterk, grov gnissing
Grus	Knepping
Stein	Rykkete dreining

Vedlegg D: Informasjon om nedsatte brønner av tidligere masterstudenter Ingvild Frogner og Daniel Almhjell, 2018

<i>Brønner med beskrivelse</i>	<i>Lengde (m)</i>	<i>Diameter (mm)</i>	<i>Materiale</i>	<i>Filterlengde (m)</i>	<i>Dato</i>	<i>Moh</i>	<i>Koordinater</i>
B1: Flatt område NV for Risebru ca. 10 m fra Risa	1	35	PEH	1	05.06.18	155,3	60.2388513112 11.1733419243
B2: Flatt område NV for Risebru ca. 10 m fra Risa	2	40	PEH	0,5	08.06.18	155,3	60.2388518727 11.1733599002
B3: Skogsområde NV for Risebru, ca. 100 m fra Risa	10	40	Jern	1	24.10.18	158,8	60.2389667433 11.1719084445
B4: Skogsområde NV for Risebru, ca. 100 m fra Risa	5	40	Jern	1	24.10.18	158,2	60.2389685663 11.1719342333
B5: Ved kilde NV for Risebru, ca. 100 m fra Risa	1	63	PEH	1	24.10.18	157,8	60.2389890204 11.1719363516
B6: Ved kilde NV for Risebru, ca. 70 m fra Risa	1	63	PEH	1	24.10.18	156,7	60.2393464637 11.1733392862

Vedlegg E: Oversikt over analyseresultater av vannprøver, 2020, med dekomponerte metaller.

<i>Lokalitet</i>	<i>Beskrivelse</i>	<i>Al (mg/l)</i>	<i>Fe (mg/l)</i>	<i>Mn (mg/l)</i>	<i>Ca (mg/l)</i>	<i>K (mg/l)</i>	<i>Mg (mg/l)</i>	<i>Na (mg/l)</i>
1aa	Hersjøen oppstrøms Risebru	<0,01	<LOD	0,14	44	1,6	3,6	4,5
1ca	Risa nedstrøms Risebru (120 m)	<0,01	<0,04	0,15	43	1,5	3,5	4,5
1da	Risa nedstrøms Risebru (300 m)	0,053	0,05	0,16	44	1,6	3,6	4,6
2aa	Måketjern ved utløp	<0,01	0,23	0,095	35	1,3	3,2	3
2ba	Utløpsbekk fra Måketjern	0,014	0,31	0,094	32	1,2	3,2	2,9
3aa	Grytehullsjø sørvest for Risebru	0,068	0,35	1,6	53	3,9	4,8	4,9
3ba	Utløpsbekk fra grytehullsjø	63	320	23	100	26	21	22
4aa	Sessvolltjernet	0,2	2,5	0,24	28	2	3,8	7
4ba	Utløpsbekk fra Sessvolltjernet	0,16	3,1	0,26	33	2,4	4,6	7,3
4ca	Dam ved Sessvollvegen	0,33	3,4	0,33	33	2,3	4,6	7,3
4da	Borgentjern ved Risebruvegen	0,18	2,8	0,24	32	2,4	4,4	7,2
4ea	Tilløpsbekk til Risa	0,59	2,7	0,22	43	1,5	4,1	4,3
5aa	Kildeutspring ved Måketjern	6,9	5,3	0,06	38	3,4	4,7	4,6
5ba	Kildeutspring ved Måketjern	0,94	0,79	0,25	39	1,7	4,5	3,7
5ca	Sidebekk nordøst for Risebru	0,52	21	3,8	47	1,4	4,4	4,2
5da	Sidebekk nordøst for Risebru	0,11	0,23	0,057	53	2,1	5,2	4,9
5ea	Sidebekk nordøst for Risebru	0,86	0,54	0,2	53	1,7	5,6	4,7
5fa	Sidebekk nordøst for Risebru	39	98	39	76	13	10	12
B1	B1-brønn	54	36	1,2	54	19	13	15
B5	B5-brønn	110	69	5,7	89	35	24	23
B6	B6-Brønn	46	110	0,71	67	14	13	15

Vedlegg F: Resultat av vannprøveanalyser fra Ingvild Alstad Frogner og Daniel Dahl Almhjell fra 2018.

Lokalitet	Beskrivelse	Dato	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Al (mg/l)	K (mg/l)	Cu (mg/l)	Mn (µg/l)	Fe (mg/l)	Nitrate-N (mg/l)	TOC (mg/l)	Leitningsevne	pH
1a	Hersjøen oppstrøms Risebru	01.06.2018	4,2	4,9	0,0018	1,3	48	2,2	0,0042	0,27	0,64	295	8,14
1c	Risa nedstrøms Risebru (120 m)	01.06.2018	4,3	4,6	0,0015	1,3	46	5,2	0,041	<0,020	0,99	273	7,96
1d	Risa nedstrøms Risebru (300 m)	20.09.2018	3,8	3,6	0,0014	1,2	40	1,5	0,02	0,033	1,4	245	7,9
2a	Måkejern ved utløp	01.06.2018	4,5	3,5	0,0015	1,4	39	7,6	0,012	0,028	1,4	245	8,12
2b	Utløpsbekk fra Måkejern	01.06.2018	3,5	3,9	0,0037	1,1	36	0,57	0,0034	3,7	0,85	225	7,96
3a	Grytehullsjø sørvest for Risebru	01.06.2018	1,9	1,6	0,0038	0,92	23	4,6	0,048	0,35	1,1	136	7,78
3b	Utløpsbekk fra grytehullsjø	01.06.2018	3,2	3,2	0,0012	1	31	1,3	0,018	0,23	1,7	188	7,89
4a	Sesvolljernet	01.06.2018	3	3	0,0016	0,95	30	1	0,029	0,18	2,1	185	7,94
4b	Utløpsbekk fra Sesvolljernet	01.06.2018	10	5	0,015	1,3	50	56	0,12	0,16	2,2	349	8,14
4c	Dam ved Sessvollvegen	01.06.2018	10	5	0,0015	1,4	50	4,7	0,012	0,34	2,5	345	7,94
4d	Borgentjern ved Risebruvegen	01.06.2018	3,8	3,6	0,0021	1,2	40	33	0,031	0,65	1,4	245	8,09
4e	Tilløpsbekk til Risa	01.06.2018	5,2	2,3	0,055	1,5	17	8,7	0,71	0,58	11	140	7,34
5a	Kildeutspring ved Måkejern	22.11.2018	6,8	3,4	0,029	1,9	24	2,4	0,31	0,74	9,4	191	7,61
5b	Kildeutspring ved Måkejern	22.11.2018	6,5	3,2	0,027	1,7	23	20	0,34	0,65	10	184	7,63
5c	Sidebekk nordøst for Risebru	20.09.2018	6,4	3,2	0,021	1,7	23	22	0,32	0,57	10	184	7,66
5d	Sidebekk nordøst for Risebru	01.06.2018	4,1	3,3	0,0019	1,2	39	12	0,012	0,12	1,2	240	8,18
5e	Sidebekk nordøst for Risebru	20.09.2018	4,6	4,8	0,0017	1,6	50	4,7	0,011	1,7	0,93	303	8,23
5f	Sidebekk nordøst for Risebru	20.09.2018	4,3	3,4	0,0014	1,3	41	7,6	0,0057	0,13	1,2	247	8,22

Vedlegg G: Oversikt over utvalgte parameter fra NGUs kjemiske vannanalyser (2017-2019)
(Dagestad, 2019).

Overvåkingssted	Provetakingsdato	Al (µg/l)	Ca (mg/l)	Fe (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Mn (µg/l)	Na (mg/l)	Nitrat-NO3 beregnet fra NO3-N (mg/l)	Ledningsevne (µg/cm)	pH
Punkt (5aa) – Risa, kilde Måkefjern	12.07.2017	3,1	36,3	0,0508	1,08	3,86	38,3	3,38	13,228	238	7,7
Punkt (2ba) – Risa, utløpsbekk Måkefjern	12.07.2017	<2	31,1	0,541	0,992	3,11	114	2,76	0,407	182	7,4
Punkt (3ba) – Risa, utløpsbekk grytehullsjø	12.07.2017	<2	40,2	0,0203	1,13	3,44	62,7	4,18	<0,066	248	8
Punkt (5aa) – Risa, kilde Måkefjern	22.10.2017	<2	30,1	0,007	0,779	2,94	4,9	3,25	12,166	181	7,8
Punkt (2ba) – Risa, utløpsbekk Måkefjern	22.10.2017	<2	30,5	0,258	1,08	3,03	93,6	2,97	1,637	179	7,6
Punkt (3ba) – Risa, utløpsbekk grytehullsjø	22.10.2017	<2	41,4	0,0063	1,37	3,37	122	4,33	0,274	265	7,8
Punkt (5aa) – Risa, kilde Måkefjern	21.06.2018	3,24	37,2	0,0205	1,16	3,81	35,5	3,8	10	267	7,9
Punkt (2ba) – Risa, utløpsbekk Måkefjern	21.06.2018	1,18	32,7	0,254	0,962	3,21	80,9	3,43	0,32	220	7,5
Punkt (3ba) – Risa, utløpsbekk grytehullsjø	21.06.2018	0,704	42,3	0,00568	1,17	3,5	19,8	4,81	<0,10	289	8,3
Punkt (5aa) – Risa, kilde Måkefjern	23.10.2018	2,7	35,6	0,0221	1,06	3,53	26,9	3,7	11	249	7,9
Punkt (2ba) – Risa, utløpsbekk Måkefjern	23.10.2018	0,564	32,8	0,145	1,11	3,16	48,4	3,36	0,88	218	7,7
Punkt (3ba) – Risa, utløpsbekk grytehullsjø	23.10.2018	0,241	45,3	0,00625	1,43	3,53	78,4	4,96	0,18	302	7,8
Punkt (5aa) – Risa, kilde Måkefjern	23.05.2019	2,19	34,5	0,0178	1,08	3,49	24,3	3,75	11	231	7,9
Punkt (2ba) – Risa, utløpsbekk Måkefjern	24.05.2019	1,61	28,2	0,211	0,911	2,89	95,2	3,17	0,31	186	7,7
Punkt (3ba) – Risa, utløpsbekk grytehullsjø	24.05.2019	1	41,9	0,0121	1,3	3,35	76,5	4,65	<0,10	290	8,2
Punkt (5aa) – Risa, kilde Måkefjern	12.09.2019	3,49	36	0,0298	1,16	3,76	39,2	3,78	12	256	7,8
Punkt (2ba) – Risa, utløpsbekk Måkefjern	12.09.2019	2,75	29,4	0,34	1,16	2,91	76	3,08	0,68	196	7,6
Punkt (3ba) – Risa, utløpsbekk grytehullsjø	13.09.2019	2,03	40,8	0,00886	1,33	3,34	32,6	4,94	0,049	285	7,9

Vedlegg H: Sammenligningstabell som viser forskjellen mellom metallene kalsium, kalium, natrium og magnesium ved to ulike forbehandlingsmetoder ved analyse med ICP.

Tallene markert i rødt er for resultater etter dekomponering, sort er resultater for uforstyrrede og ufiltrerte prøver kun tilsatt HNO₃.

<i>Lokalitet</i>	<i>Beskrivelse</i>	<i>Ca</i> <i>(mg/l)</i>	<i>Ca</i> <i>(mg/l)</i>	<i>K</i> <i>(mg/l)</i>	<i>K</i> <i>(mg/l)</i>	<i>Na</i> <i>(mg/l)</i>	<i>Na</i> <i>(mg/l)</i>	<i>Mg</i> <i>(mg/l)</i>	<i>Mg</i> <i>(mg/l)</i>
1aa	Hersjøen oppstrøms Risebru	40	44	1,4	1,6	4,1	4,5	3,3	3,6
1da	Risa nedstrøms Risebru (300 m)	39	44	1,4	1,6	4,1	4,6	3,3	3,6
2aa	Måketjern ved utløp	31	35	1,2	1,3	2,8	3	3,0	3,2
2ba	Utløpsbekk fra Måketjern	27	32	1,1	1,2	2,8	2,9	3,1	3,2
3aa	Grytehullsjø sørves for Risebru	49	53	3,0	3,9	4,5	4,9	4,4	4,8
3ba	Utløpsbekk fra grytehullsjø	67	100	3,9	26	8,1	22	5,9	21
4aa	Sessvolltjernet	25	28	1,7	2	6,4	7	3,5	3,8
4ea	Tilløpsbekk til Risa	38	43	1,3	1,5	3,8	4,3	3,7	4,1
5aa	Kildeutspring ved Måketjern	28	38	0,97	3,4	3,0	4,6	3,0	4,7
B1	B1-brønn	38	54	0,76	19	3,0	15	3,4	13
B5	B5-brønn	45	89	1,3	35	4,1	23	4,6	24
B6	B6-brønn	48	67	0,26	14	5,5	15	5,9	13

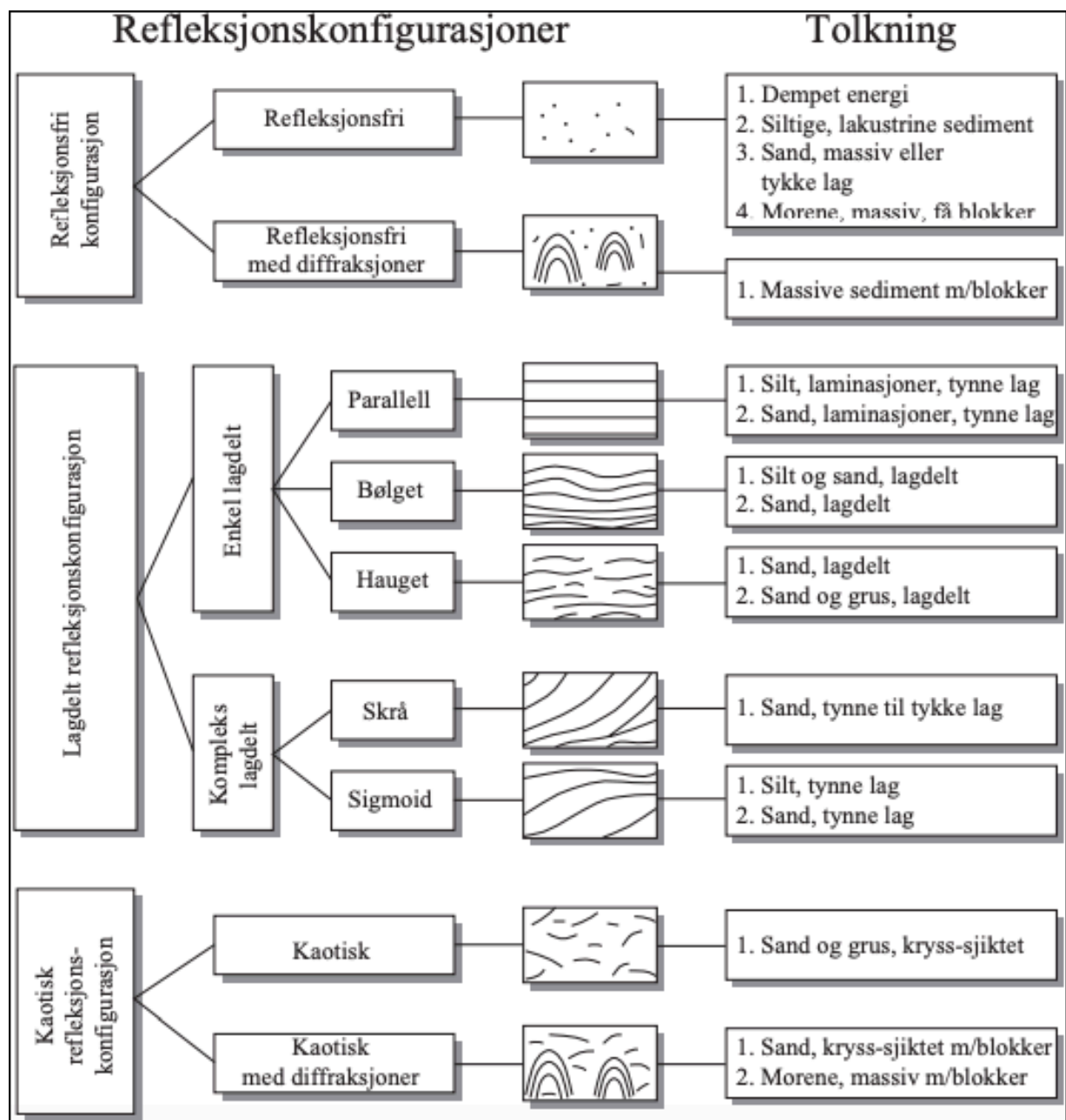
Vedlegg I: Oversikt over verdier for pH i utløpsbekk fra Måketjern (2ba), utløpsbekk grytehullsjø (3ba) og kildeutspring ved Måketjern (5aa)

<i>Lokalitet</i>	<i>2015 (UK)</i>	<i>2015 (UK)</i>	<i>2015 (UK)</i>	<i>2017 (NGU)</i>	<i>2017 (NGU)</i>	<i>2018 (I&D)</i>	<i>2018 (NGU)</i>	<i>2018 (I&D)</i>	<i>2018 (NGU)</i>	<i>2019 (NGU)</i>	<i>2019 (NGU)</i>	<i>2019 (SH)</i>
Utløpsbekk Måketjern (2ba)	7,9	7,75	7,86	7,4	7,6	7,5	7,89		7,7	7,7	7,6	7,73
Utløpsbekk grytehullsjø (3ba)			7,38	8	7,8	8,3	8,14		7,8	8,2	7,9	7,29
Kildeutspring ved Måketjern (5aa)				7,7	7,8		7,9	7,9	7,78	7,9	7,8	7,94

Vedlegg J: Observasjon og tolkning av sonderboring

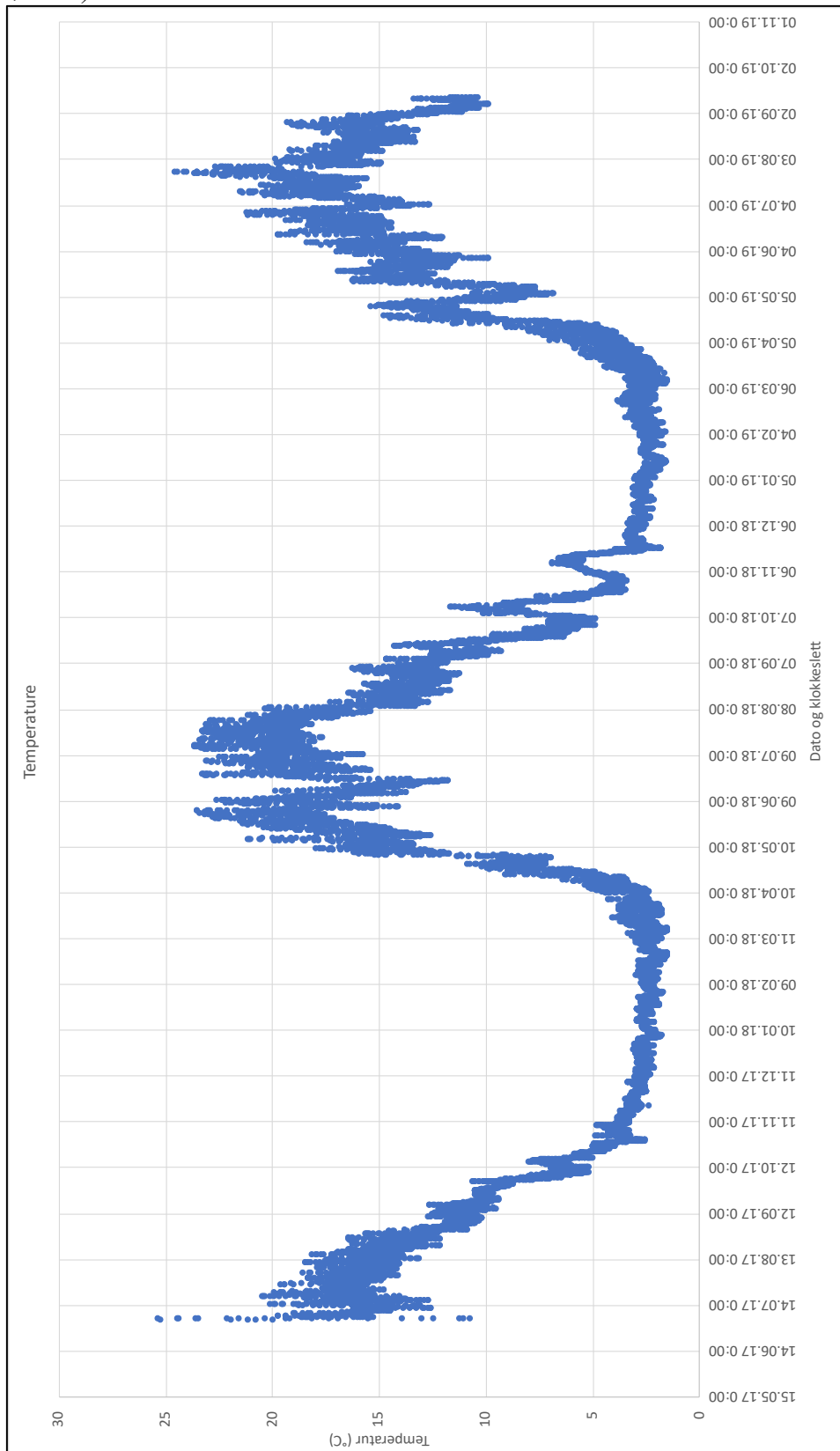
	<i>Brønn 7 – 11 m</i>		<i>Brønn 8 – 6 m</i>	
<i>Dybde (m)</i>	<i>Observasjon</i>	<i>Tolkning</i>	<i>Observasjon</i>	<i>Tolkning</i>
1	Knitring, rykkete	Grov sand og grus	Knitring, noe grovt, rykkete	Grov sand og grus
2	Litt gnissende, litt mindre rykkete	Sand og grus	Rykkete, knitring,	Grov sand og grus
3	Litt gnissende	Sand	Gnissende og knitring	Sand og grus
4	Litt gnissende	Sand	Gnissende og knitring	Sand og grus
5	Litt gnissende, litt knitrende (noe lettere å borre)	Litt grovere sand og grus,	Knitring og noe gnissing, litt mindre motstand.	Sand og grus
6	Gnissende	Grov sand	Gnissing/knitring	Grov sand
7	Gnissende	Grov sand		
8	Gnissende/knitring	Grov sand og grus		
9	Litt motstand, gnissende/knitring	Sand og grus		
10	Gnissende/knitring	Sand og grus, muligens mer grus		
11	Gnissende og knitring	Sand og grus		

Vedlegg K: Informasjon for tolkning av georadar-målinger. Forslag til tolkning av georadar-profiler fra løsmasser av Beres og Haeni (1991) referert i Mauring et.al (1995)

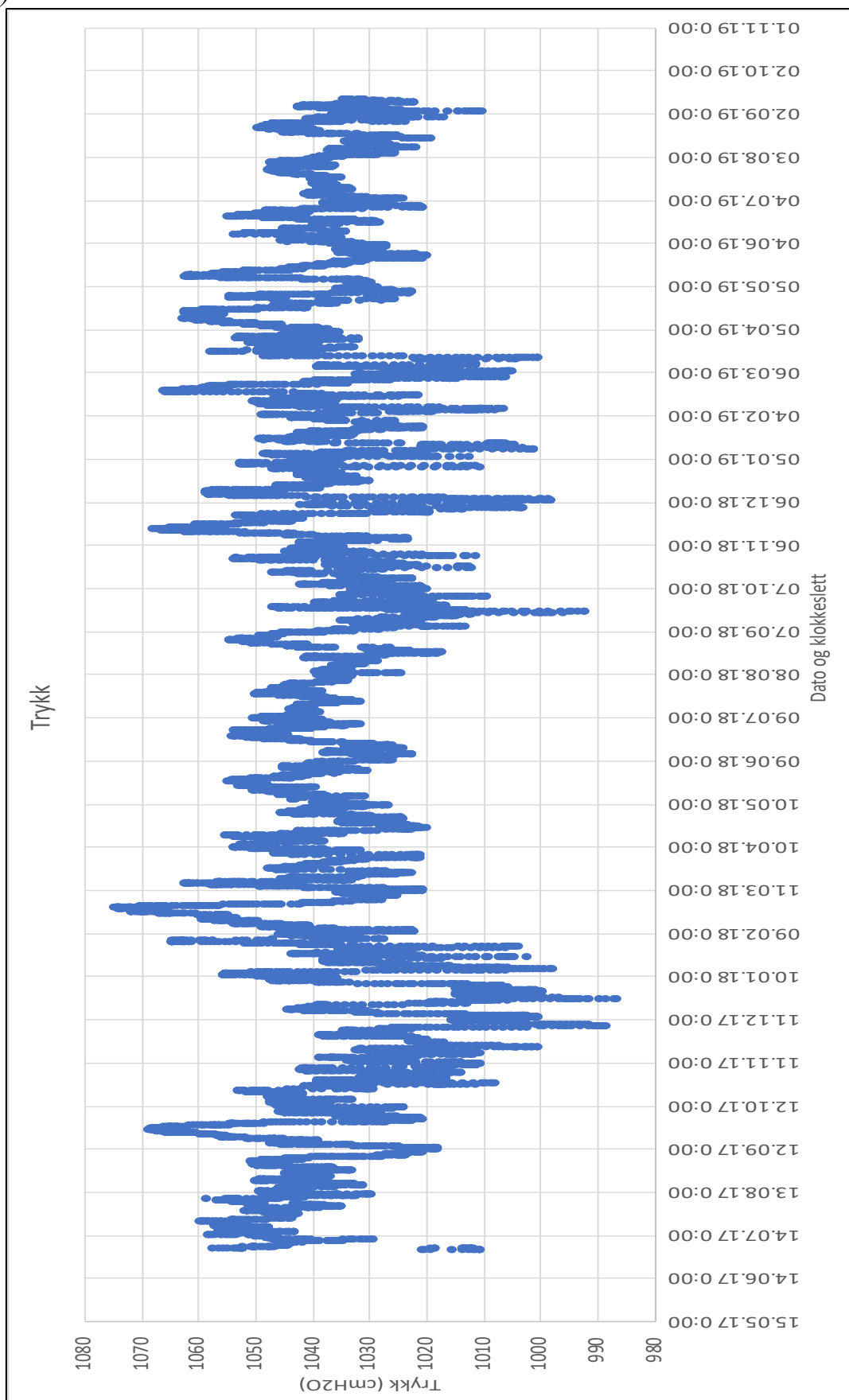


Vedlegg L: Resultat fra NGUs overvåkning utløpsbekk Måketjern trykk og temperatur fra sommeren 2017 til høsten 2019

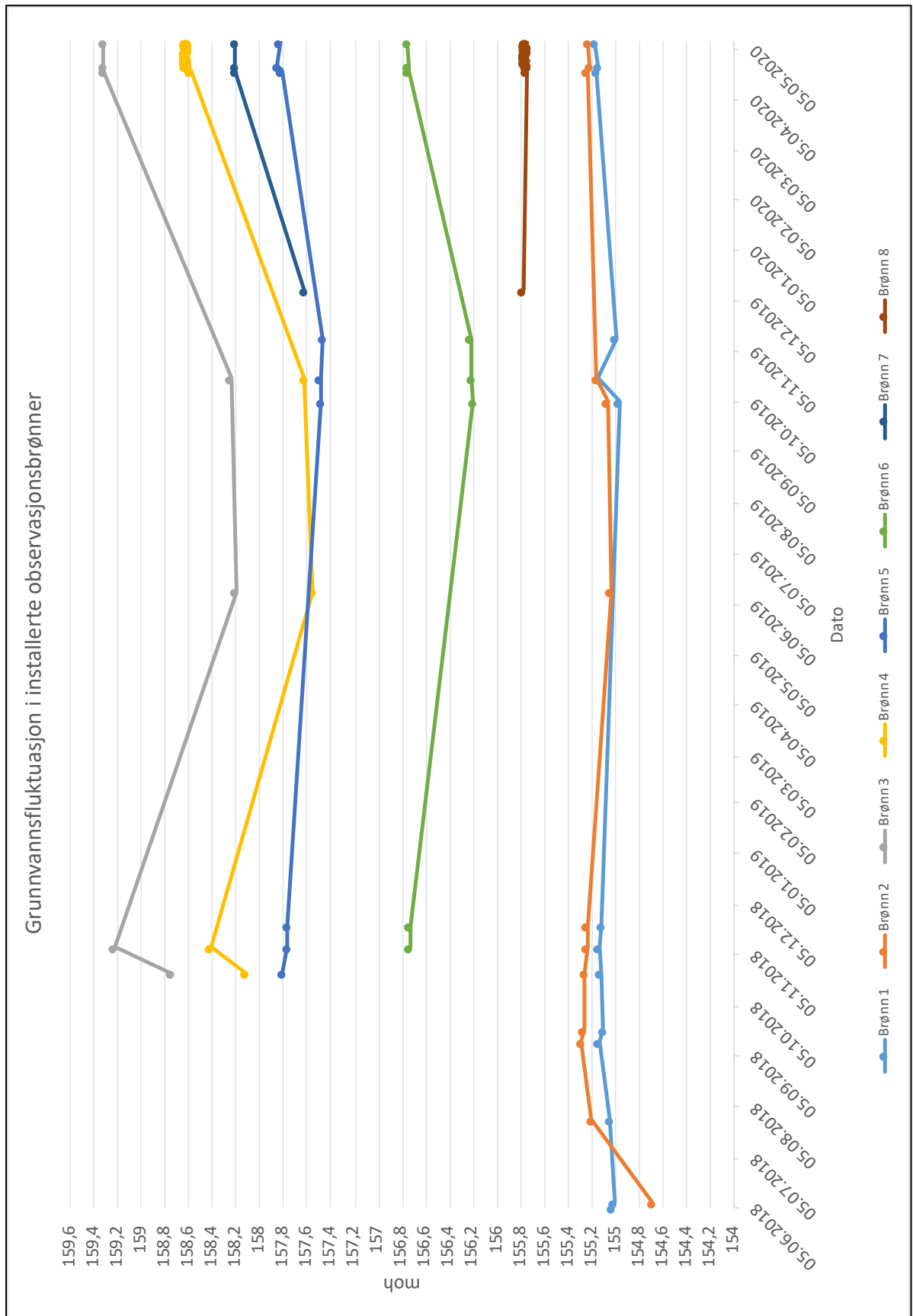
Tabell L.1: Temperaturovervåkning i utløpsbekk fra Måketjern, fra NGUs CTD-logger (Dagestad, 2019)



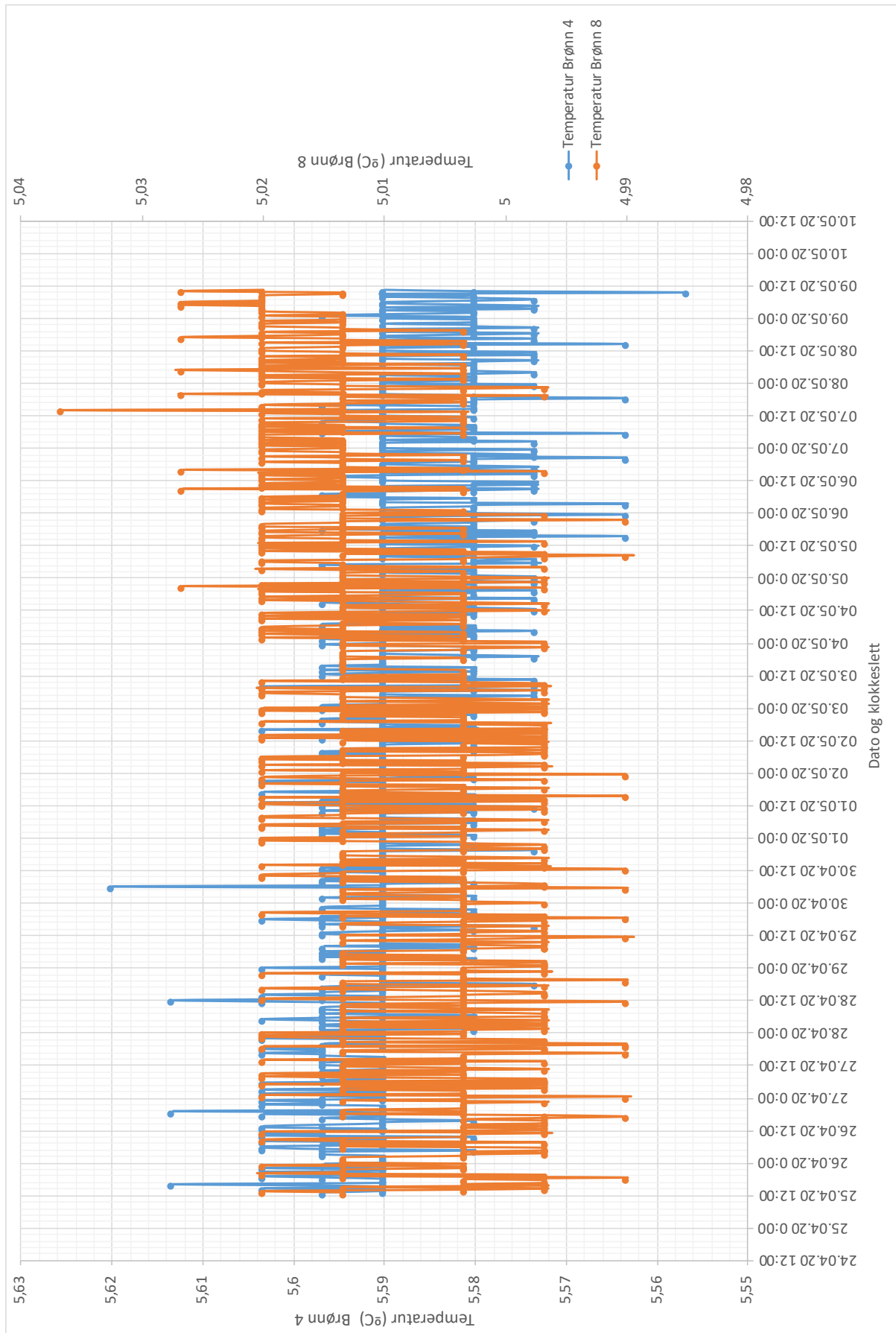
Tabell L.2: Trykkvariasjon i utløpsbekk fra Måketjern fra NGUs CTD-logger (Dagestad, 2019)



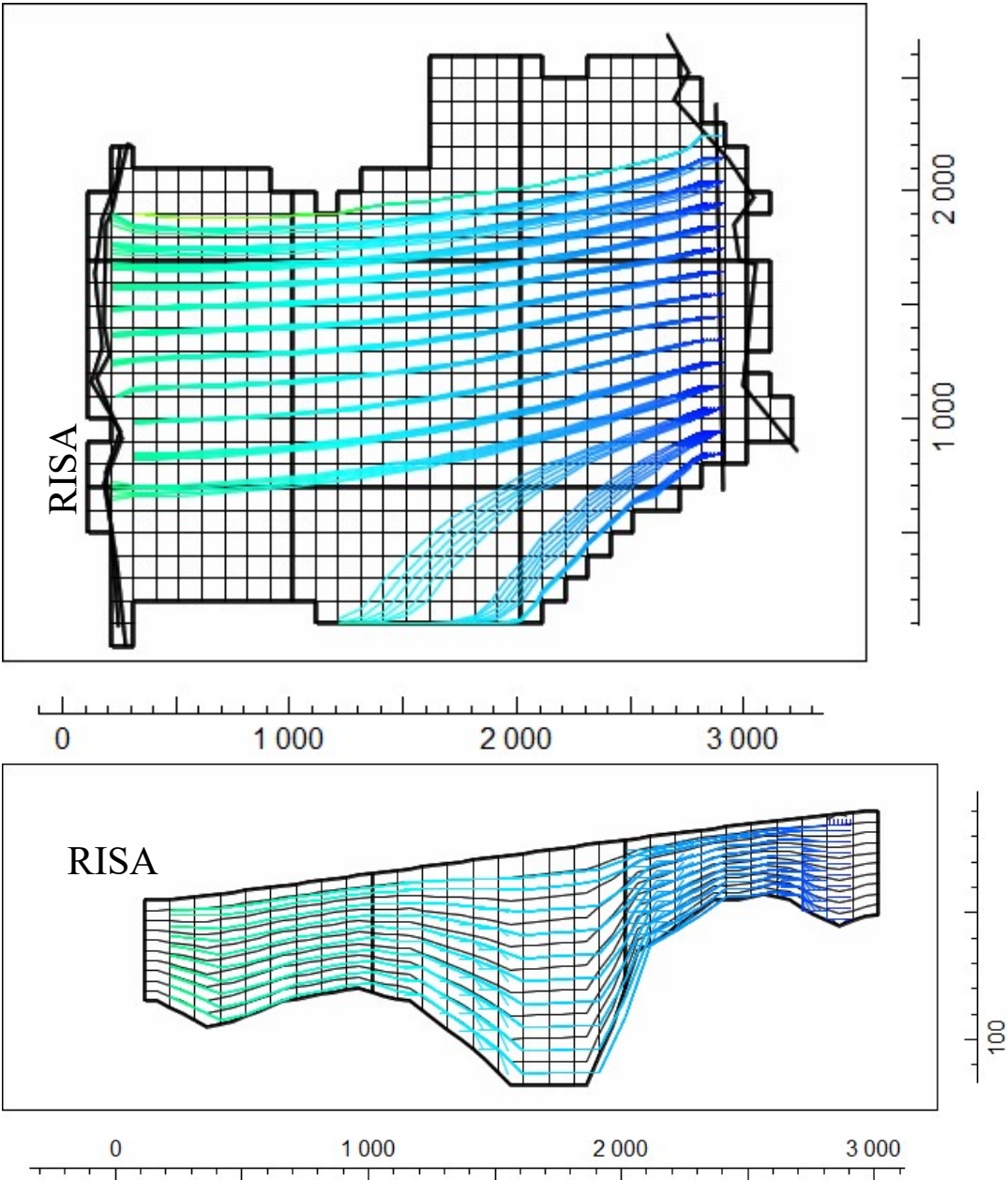
Vedlegg M: Grunnvannsflyktuasjon i installerte observasjonsbrønner, inkludert observasjoner gjort av Ingvild Frogner og Daniel Almhjell, egne observasjoner og fra diver.



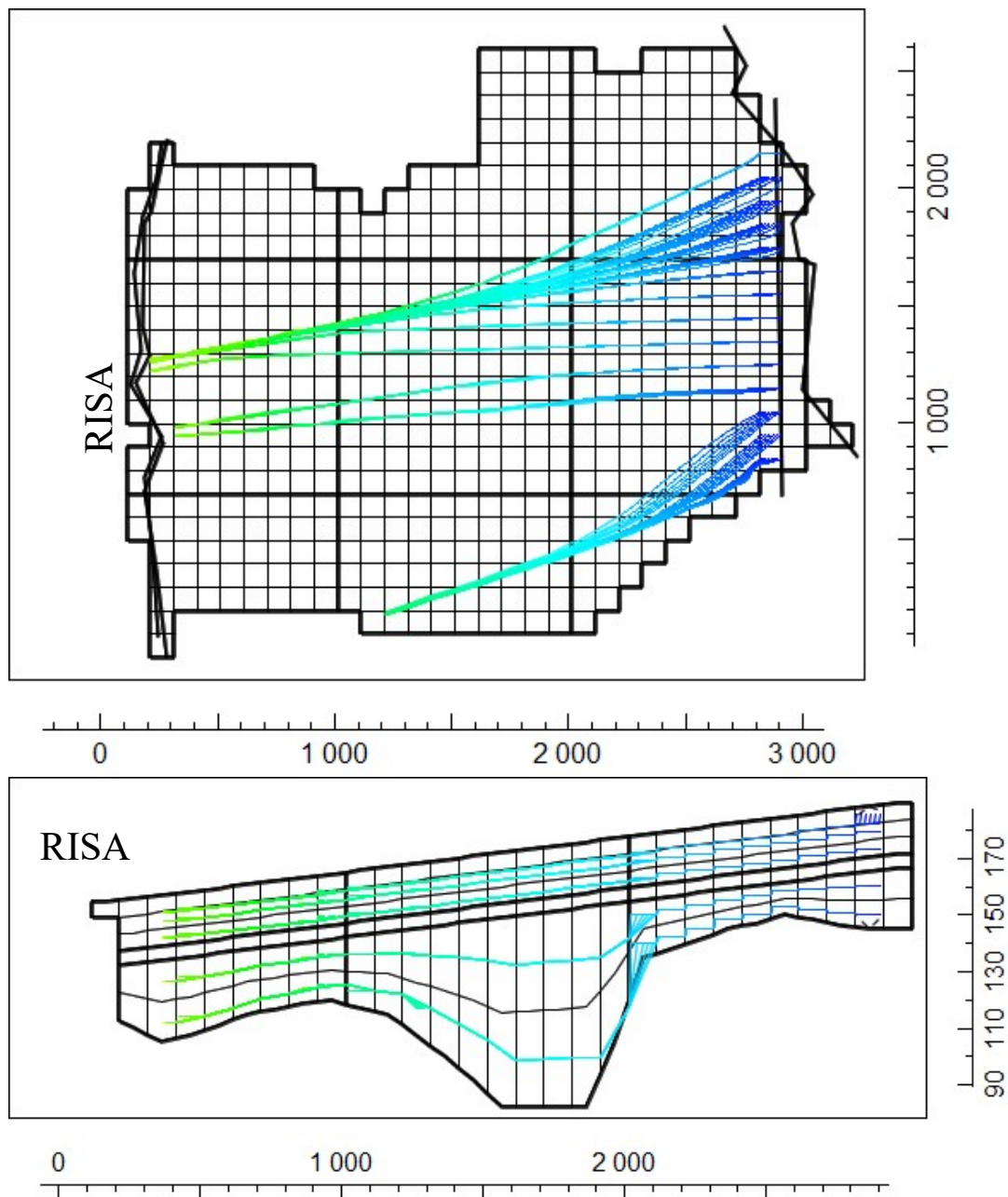
Vedlegg N: Temperaturvariasjoner registrert med TD-diver i brønn B4 og B8.



Vedlegg O: Strømningslinjer i Modell 1 og 2 fra modellering med Modelmuse

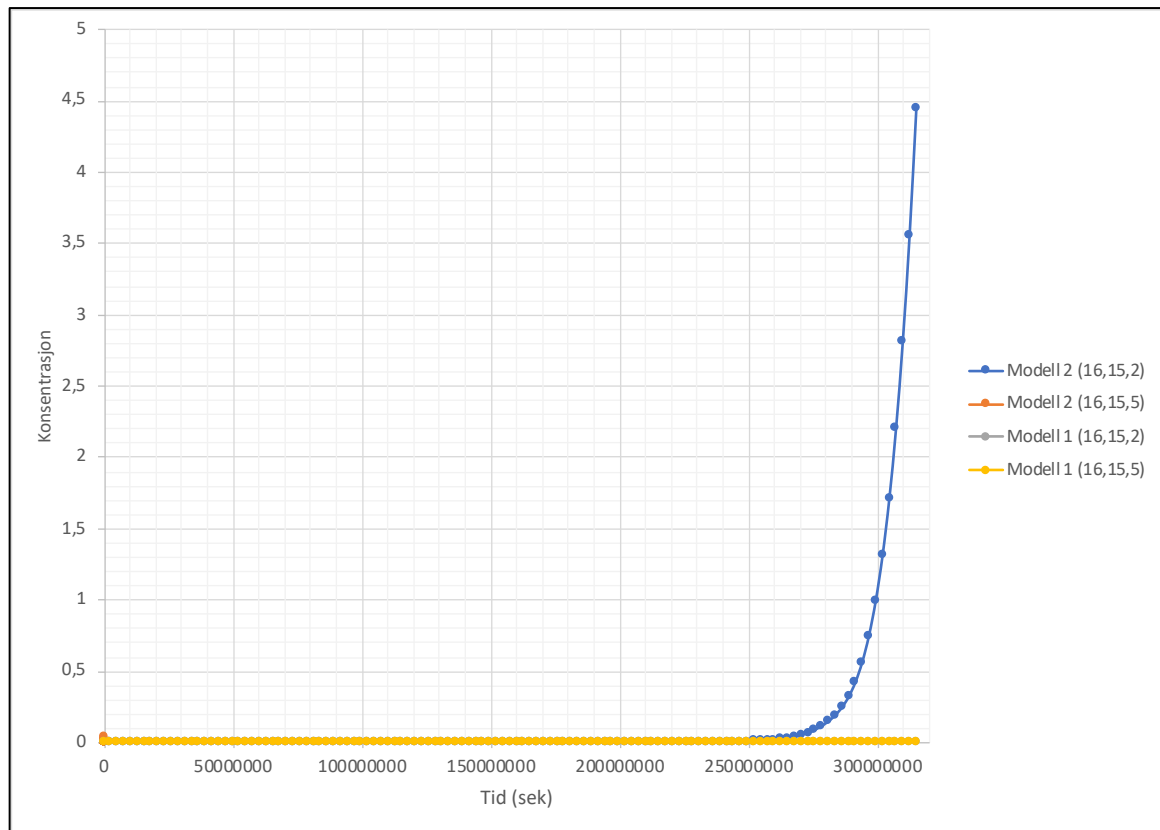


Figur O.1: Strømningslinjer i modell 1 sett ovenfra (øverst) og fra siden (nederst)

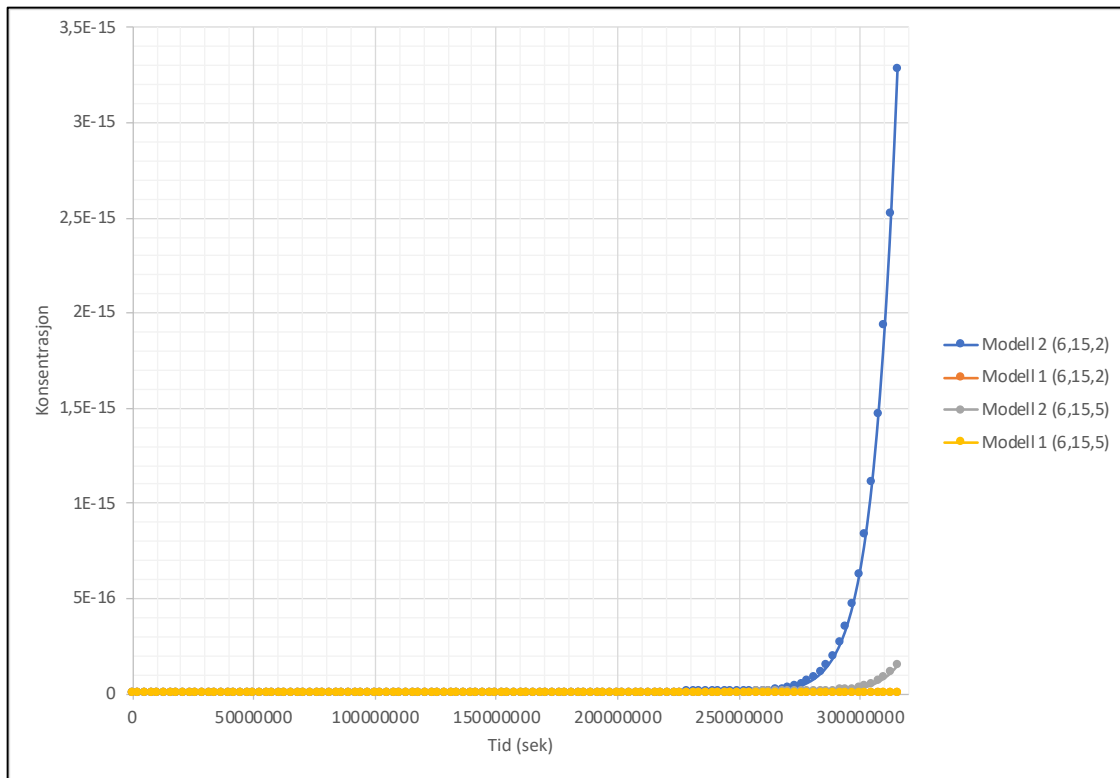


Figur O.2: Strømningslinjer aktivt område i modell 2 sett ovenfra (øverst) og fra siden (nederst).

Vedlegg P: Hydrografer som illustrerer konsentrasjon over tid fra GW_Chart basert på modell 1 og 2, etter modellering med Modelmouse

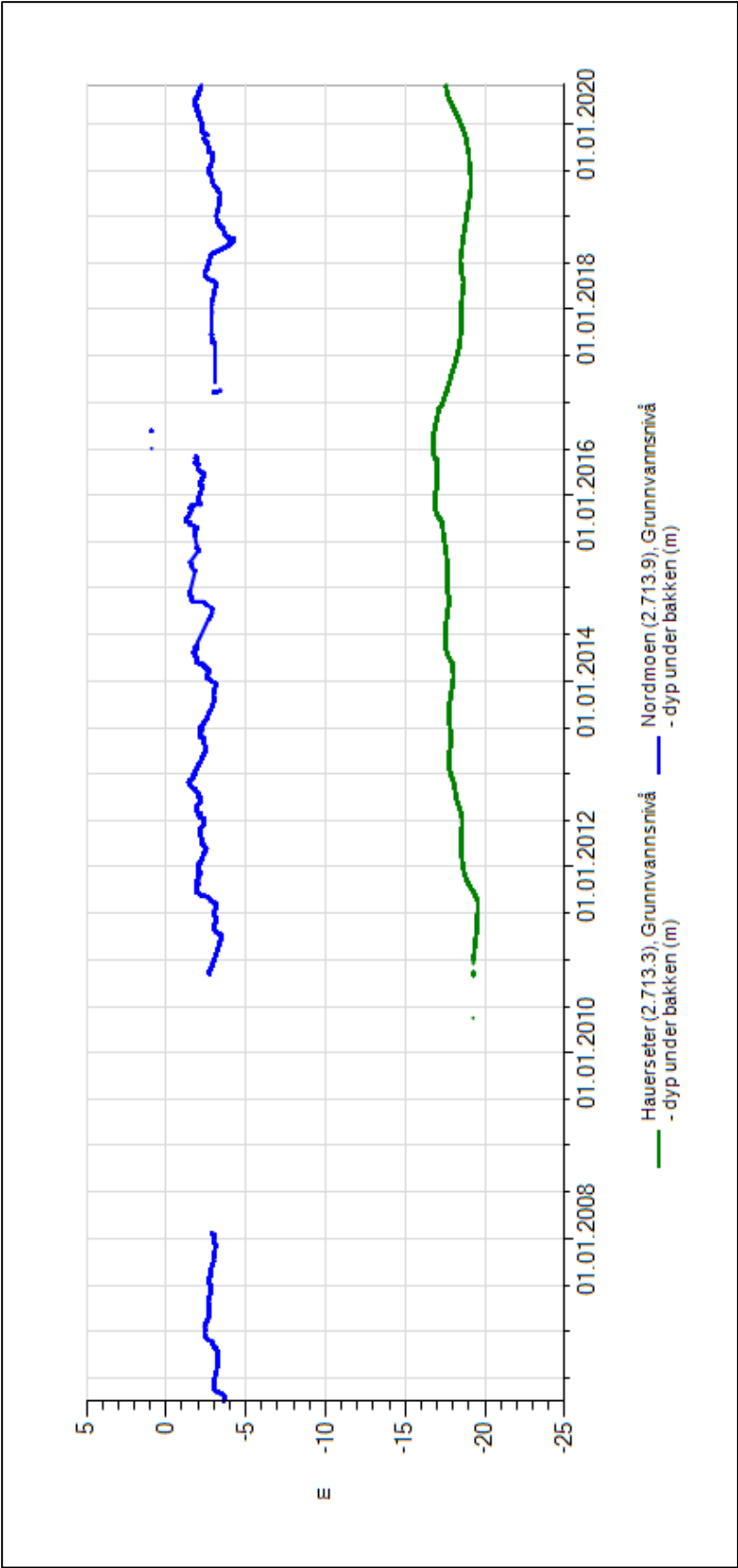


Figur P.1: Hydrograf fra GW_Chart hvor konsentrasjon er plottet mot tid i ulike punkter i området som er modellert i modell 1 og 2. Her vises det for punkt i kolonne 16, rad 15 og lag 2 og 5.



Figur P.2: Hydrograf fra GW_Chart hvor konsentrasjon er plottet mot tid i ulike punkter i området som er modellert i modell 1 og 2. Her vises det for punkt i kolonne 6, rad 15 og lag 2 og 5.

Vedlegg Q: Grunnvannsfluktuasjon ved Nordmoen og Hauer seter, mellom 2008 og 2020 (Hentet fra senorge.no)





Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway