

Grunnvasstrøyming i breelvavsettingar i Mølmannsdalen, Røros

Siri Ane Hestad

Geologi

Innlevert: mai 2017

Hovudrettleiar: Bjørge Brattli, IGP

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet
Institutt for geovitenskap og petroleum

Grunnvasstrøyming i breelvavsettingar i Mølmannsdalen, Røros



Siri Ane Hestad

MASTEROPPGÅVE

Trondheim, mai 2017

Institutt for geologi og bergteknikk

Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet

Vegleiar 1: Bjørge Brattli

Vegleiar 2: Bernt Olav Hilmo

NTNU

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

**Norges teknisk-naturvitenskapelige
universitet**

Masterprogrammet i Geologi



OPPGÅVETEKST

“Oppgaven knyttes opp mot Asplan Viaks oppdrag for Røros kommune; Grunnvannsundersøkelser i Røros kommune. Formålet med dette oppdraget er å finne og utvikle en ny grunnvannsforekomst som supplerende vannkilde til Røros kommunale vannverk. Det er i sommer utført hydrogeologiske forundersøkelser i et området langs Håelva sørøst for Røros sentrum. I løpet av høsten vil det bli boret to produksjonsbrønner som så vil bli prøvepumpet fram til sommer/høst 2017.

Brønnene vil bli boret i eskere (grusåser) som utgjør hoveddelen av grunnvannsmagasinerne i området. Under prøvepumping skal det tas ut ca. 50 l/s, og i prøvepumpingsperioden vil følgende bli utført fortløpende:

- Overvåkning av grunnvannsnivå i både peilebrønner og produksjonsbrønner.
- Feltnålinger av grunnvannstemperatur og konduktivitet.
- Vannprøvetaking for både fysisk-kjemiske og bakteriologiske parametere i hht. kravene i Drikkevannsforskriften.

Oppgaven skal benytte resultatene fra hydrogeologiske forundersøkelser, brønnboring og prøvepumping til å vurdere/beskrive følgende:

- Kort beskrivelse av løsmassegeologien i området.
- Beskrive hvordan grunnvannet strømmer, både i ubelastet (naturlig) tilstand og under prøvepumping. Det bør særlig legges vekt på å dokumentere om og i hvilken grad det er hydraulisk kontakt mellom forskjellige esker, samt om områdene mellom eskerne påvirkes av grunnvannsuttaget. Dette bør vurderes både ut fra målte grunnvannsnivå og grunnvannets fysiske kjemiske kvalitet.
- Vurdering av nydannelse og oppholdstid. Hva er hovedkildene til nydannelse av grunnvann og hvordan vil nydannelsen av grunnvann påvirkes av uttaksmengden? Vurdering av grunnvannets oppholdstid i ubelastet og belastet tilstand ut fra grunnvannsstrømning og grunnvannskvalitet.
- Med bakgrunn i de tre første punktene skal det gis et forslag til klausuleringsplan. Denne skal omfatte en soneinndeling og forslag til bestemmelser angående arealbruk innenfor hver sone.
Innledningsvis bør studenten gjøre en egen kvartærgeologisk kartlegging av området. Oppgaven vil også kreve at studenten deltar i feltarbeid under brønnboring og prøvepumping. Studenten vil få tilgang til alle feltmålinger og analyseresultater fra Asplan Viak. I tillegg bør studenten vurdere om det er behov for supplerende undersøkelser og analyser.”

Trondheim, 22.09.16

Bernt Olav Hilmo

Forord

Dette er ei hovudfagsoppgåve som er utarbeidd gjennom hausten 2016 og våren 2017 som del av ein mastergrad i miljø- og geoteknologi ved institutt for geovitenskap og petroleum (IGP), NTNU Trondheim. Oppgåva er eit samarbeid mellom instituttet v. Bjørge Brattli og Asplan Viak AS v. Bernt Olav Hilmo. Brattli har vore vegleiar ved instituttet og i den rolla tent som motivator og fagleg rettleiar. Hilmo har fungert som ekstern vegleiar og diskusjonspartner rundt resultatata frå undersøkingane undervegs. I tillegg har han vore til stor hjelp med rettleiing i felt. Oppgåva er knytt opp mot Asplan Viak AS sitt arbeid med utvikle ei supplerande drikkevasskjelde til Røros vassverk. Arbeidet med denne har gått ut på å kartlegge i kva grad det er hydraulisk kontakt mellom ulike delar av akviferen, for på grunnlag av det å kunne legge fram eit forslag til soneinndeling for vern av vasskjelda.

Eg vil rette ein stor takk til dei to vegleiarane mine for godt og triveleg samarbeid. Den gode tonen og det faglege engasjementet har vore motiverande og gjort arbeidet både spennande og utfordrande. Vidare vil eg takke Gunnar Vistnes og Laurentius Tijhuis for god hjelp på laboratoriet ved IGP, samt Jørgen Ryttervoll ved teknisk etat i Røros Kommune for innhenting og vidaresending av feltdata under prøvepumping av brønnane. Eg vil òg takke Mari Helen Riise ved Asplan Viak AS for hjelp med utarbeiding av strøymingskart.

Trondheim, 15.05.17

.....

Siri Ane Hestad

Abstract

In Mølmannsdalen, about 3,5 kilometers south-east of the city center of Røros, two production wells and eight wells for supervision has been established in an aquifer on the north-eastern bank of the river Håelva. The source of drinking water is composed by a coarse layer of rock and gravel, overlain by a network of glaciofluvial deposits called eskers. There are two main eskers, with one production well in each of them. In addition to the two main eskers, there is a third, smaller esker. This one is placed between the two main ones, and is seemingly connected to the one furthest away from the river. The aquifer is limited in the north-east by thick layers of fine grained sand and silt. These were deposited over the eskers in big lakes that formed as a result of the ice obstructing the meltwater to pass southwards.

In its natural state, the water in the aquifer seems to flow with a low but distinct gradient through the eskers. The stable hydraulic gradients throughout each esker and the calculations of hydraulic conductivity for a series of mass samples suggest that the ridges are hydraulically connected. The temperature and electrical conductivity of the waters imply that the water's residence time in the ground is considerable. The aquifer is assumed to be fed further upstream where the contact area between surface water and the esker is vast.

As the pumping proceeds the hydraulic gradients steepen and the flow rate is increased. Biological analysis reveals an absence of organic matter, bacteria and microorganisms, and thereby show that the water is well protected from pollutions. The temperature stays stable and reports that residence time is still eminent. Thus, one conclude that the feeding of the source is still favored some distance away from where the production wells are placed.

Finally, a suggestion is given on how to divide the area into zones in order to protect the source from future and present pollution. The inner zone includes both production wells and the proximal parts of the eskers in which the wells are placed. Borders are drawn for a sum of 3 zones altogether. The zones are elongated in the direction of the eskers because this is the dominant direction of flow in the aquifer.

Samandrag

I Mølmannsdalen omlag 3,5 km søraust for Røros sentrum er der bora to produksjonsbrønner og åtte peilebrønner i eit drikkevassreservoar. Vasskjelda er samansett av eit grovt lag i botn med eit nettverk av mektige grusåsar over. Grusåsane er avsette av breelvar under nedsmeltinga av innlandsisen etter siste istid, og består av sorterte, grove massar av sand og grus. På nordaustleg side av prosjektområdet ligg tjukke lag av finsand og silt, som er avsett i etterkant av grusåsane då isrestane i sør demde opp for dreneringa av smeltevattnet og det danna seg store innsjøar der finare materiale vart avsett.

Under forundersøkingane er det utført sonderboringar, boring av undersøkingsbrønner og uttak av masse- og vassprøvar frå desse. I tillegg har det vore brukt georadar for å kartlegge massefordelinga og dermed grusåsane i grunnen. I vidare arbeid har det vore bora to produksjonsbrønner som har vore kapasitetsprøvd ved trinntesting. Etter dette vart fullskala prøvepumping starta i januar 2017 med ein pumperate noko over dimensjonaerande uttak som er 25 l/s per brønn. Under prøvepumpinga har vassnivået vore peila og vassprøvar sende til analysar med jamne mellomrom.

Frå peilenivåa har ein ved Asplan Viak AS laga strøymingskart for dei ulike stadia under fullskala prøvepumping. Både desse og analyseresultata av utpumpa vatn tyder på at reservoaret i upåverka tilstand vart mata frå grunnvatn lenger oppstrøms i eskerane dei står i. Under pumping ser begge brønnane ut til å fortsette å trekke vatn gjennom eskerane frå både opp- og nedstrøms produksjonsbrønnane. Dette er stadfesta i feltmålingar av temperatur og elektrisk konduktivitet, som held seg stabilt høgt i begge brønnane utan å vise særleg påverknad frå elvevatnet.

Nokre mineral løyser seg lettare enn andre, og slik vil òg den mineralske samansettinga av grunnen som vatnet oppheld seg i, spele inn på grunnvasskjemien. Difor vart utvalde fraksjonar frå kornfordelingsanalysene i to ulike høgder ved begge produksjonsbrønnane analyserte for mineralsamansetting ved hjelp av røntgendiffraksjon ved instituttet. Analyseresultata her viste at massane i brønn 1 inneheldt noko kalsitt og ein del meir amfibol enn ved brønn 2. Desse funna kan forklare kvifor vatnet ved brønn 1 hadde høgare konsentrasjon av ion i upåverka tilstand enn den ved brønn 2.

På grunnlag av dei innsamla data er det utarbeidd eit forslag til korleis inndeling i soner for vern av drikkevasskjelda kan gjerast. Sonene vert noko avlange langs grusryggane fordi den hydrauliske leiingsevna er høgare i lengderetningen enn på tvers. I området er der i liten grad etablert ureinande verksemd, og det som finnast avgrensar seg til nokre bøter med fulldyrka jord i tillegg til noko spreidd busetnad og hytteliv. Det er viktig å opplyse om at datagrunnlaget for denne oppgåva er noko knapt, sidan alle data om vasstrøymingar og -kvalitet under pumping er innhenta i løpet av vinter og vår før snøsmeltinga har teke til. Det gjer at ein ikkje får med korleis strøymingsbiletet ser ut ved høgare vassføring i nedbørsfeltet, noko som er naudsynt for å kunne etablere vasskjelda og soneinndelinga for å verne den.

Innhald

Introduksjon	i
Forord	iii
Abstract	iv
Samandrag	v
Oversikt over figurar	2
Oversikt over figurar	6
1 Innleiing	8
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Problemstilling og føremål med oppgåva	9
1.3 Tidlegare utførte grunnundersøkingar	10
2 Området	11
2.1 Kvartærgeologien i Rørosområdet	11
2.2 Prosjektområdet	16
2.3 Mating av akviferen	19
3 Teori	23
3.1 Vassbalansen	23
3.2 Ekvipotensialkart	24
3.3 Strøymingar	26
3.3.1 Metta sone	26
3.3.2 Umetta sone	27

3.4	Hydraulisk konduktivitet	29
3.5	Magasinkoeffisienten	30
3.6	Frå nedbør til grunnvatn	30
3.7	Grunnvasskjemi - Vitring av silikatmineral	32
3.7.1	Natrium og klorid	33
3.7.2	Magnesium	34
3.7.3	Kalsium	34
3.7.4	Karbonatsystemet	35
3.8	Vern av vasskjelder	36
4	Metode	37
4.1	I felt	38
4.1.1	Uttak av lausmasse- og vassprøvar	38
4.1.2	Trinntesting av produksjonsbrønner	39
4.1.3	Fullskala prøvepumping	40
4.2	På laboratoriet	42
4.2.1	Kornfordelingsanalyser	42
4.2.2	XRD	44
5	Resultat	45
5.1	Frå forundersøkingar	46
5.2	Metereologiske data	48
5.3	Trinntest	50
5.4	Fullskala prøvepumping	53
5.5	Fysisk-/kjemiske vassanalysar	58
5.5.1	Upåverka tilstand	58
5.5.2	Under pålast	60
5.6	Mineralinnhald frå XRD	64
5.7	Hydraulisk konduktivitet	65
5.7.1	Frå kornfordelingskurver	65
5.7.2	Frå peiledata under trinntest	66

<i>INNHALD</i>	1
6 Diskusjon	69
6.1 Kartlegging og karakteristikk av eskerane	69
6.2 Upåverka tilstand, før prøvepumping	74
6.3 Under pålast, undervegs i fullskala prøvepumping	80
6.4 Vern av vasskjelda	87
6.4.1 Naturleg vern	87
6.4.2 Klausulering	89
7 Konklusjon	98
8 Appendiks	100
8.1 Trinntest	100
8.2 Borelogg frå Hallingdal Brønn- og Graveservice AS	103
8.3 Kornfordelingskurver	105
8.4 D-verdiar for ulike mineral	114
8.5 Diagram frå røntgendiffraksjon	115
8.6 Fysisk-kjemiske vassanalysar	119
8.7 Utrekningar	132
Litteratur	133

Oversikt over figurar

2.1	Kvartærgeologisk kart over Røros Kommune, modifisert etter NGU (2015c) med inspirasjon frå Reite (1997).	13
2.2	Berggrunnskart over Røros Kommune, modifisert etter NGU (2015c) med inspirasjon frå Reite (1997).	14
2.3	Figuren viser prosjektområdet med kvartærgeologisk kart frå NGU (2015c) i botnen med flybilete frå Kartverket et al. (2016) over. Straumen i elva går mot nordvest, og dei to produksjonsbrønnane og alle peilebrønnane er plotta.	16
2.4	Grustak sør for Håelva viser mektigheit av breelvavsett materiale i området. Foto: Siri Ane Hestad.	17
2.5	Viser døme på ei typisk grusryggform frå prosjektområdet. Ofte går stiar på toppen av desse ryggformene slik som her. Biletet illustrerer og representerer òg godt vegetasjonsdekket som dominerer i prosjektområdet; lyng, lav og furuskog. Foto: Siri Ane Hestad.	18
2.6	Over: viser at små oppkommer førekjem over vassnivået i elva, noko som indikerer strøyming av vatnet frå høgare til lågare potensial. Til høgre: Viser vatn som sildrar frå nedst til øvst i biletet, mot vassnivået i elva. Denne observasjonen var dokumentert i oktober 2016. Foto: Siri Ane Hestad.	19
2.7	Kartet viser arealbruken i Hådalen (NIBIO, 2015).	21
2.8	Lausmassetypar i nedbørsfeltet til Håelva ved Mølmannsdalen. Kartlag frå NGU (2015c) klipt ut med kartlag av nedbørsfelt generert i NVE (2016).	22
3.1	Figuren viser korleis eit sett med kjende peilenivå ved hjelp av hydrologiske trekantar kan nyttast til å lage konturkart. Konstruert i paint av Siri Ane Hestad.	25

3.2	Viser korleis matrikspotensialet avhenger av vassinnhaldet i jordarten. Modifisert etter Fetter (1994a).	28
3.3	Sekvensen viser relativ vitringsfart for dei vanlegaste silikatminerala. Modifisert etter Appelo and Postma (1993).	32
4.1	Kartet over viser prosjektområdet med plassering av både produksjons- og peilebrønner, samt høgdekoter som viser eskerane som stikk opp av eit elles flatt terreng. Modifisert etter Kartverket (2016).	37
4.2	Arbeidsteikning og spesifikasjonar for produksjonsbrønnane i Mølmannsdalen (Hilmo and Riise, 2016).	41
4.3	Biletet til venstre viser siktemaskina med siktesats i. Til høgre ser ein eit glimt frå kontrollsikting. Foto: Siri Ane Hestad.	43
4.4	Prøven med det finknuste materialet plasserast på den markerte plassen. Røntgenrøret til venstre i biletet sender røntgenstrålar mot prøven i aukande vinkel til prøven. Foto: Siri Ane Hestad.	44
5.1	Kartet viser traséen for georadarprofilen i figur 5.2. I tillegg er alle brønnane plasserte i kartet. Modifisert etter Kartverket (2016).	46
5.2	Figuren viser georadarprofil med tolking frå traséen vist i figur 5.1. Modifisert etter (Hilmo and Riise, 2016).	47
5.3	Grafen viser daglege snittemperaturar i tidsrommet der produksjonsbrønnane har vore prøvepumpa. Modifisert etter Eriksen (2017).	48
5.4	Histogrammet viser nedbørsmengd på Røros gjennom prøvepumpingsperioden. Modifisert etter Eriksen (2017).	49
5.5	Grafen viser seinking i millimeter som funksjon av tid, målt under trinntest av B1.	51
5.6	Grafen viser seinking i millimeter som funksjon av tid, målt under trinntest av B2.	52
5.7	Grafen viser utviklinga av vasstanden i alle brønnane ved fullskala prøvepumping.	55
5.8	Grafen viser utviklinga i elektrisk leiingsevne målt i felt over tid medan prøvepumping pågår. Nokre målingar i elvevatnet er òg målte i felt, og desse er viste i grafen.	57

5.9	Kurva viser utviklinga i konsentrasjonen av natrium og klorid i B1. Konsentrasjonane er rekna om til mekv/l ved å dele konsentrasjonen frå analyseresultata på atomvekt. Innhaldet av natrium er noko høgare enn det av klorid. Konsentrasjonane av begge iona er svært lågt.	62
5.10	Kurva viser utviklinga i konsentrasjonen av natrium og klorid i B2. Konsentrasjonane er rekna om til mekv/l ved å dele konsentrasjonen frå analyseresultata på atomvekt. I denne brønnen er innhaldet av klorid noko høgare enn det av natrium. Konsentrasjonane av begge iona er svært låge her òg.	63
5.11	Figuren viser utrekninga av hydraulisk konduktivitet i B1 ved hjelp av Theis' metode. Mektigheita til akviferen er grovt rekna som heile brønndjupet under opphavsveleg vassnivå, omlag 17m.	67
5.12	Figuren viser utrekninga av hydraulisk konduktivitet i B2 ved hjelp av Theis' metode. Mektigheita til akviferen er grovt rekna som heile brønndjupet under opphavsveleg vassnivå, omlag 17m.	68
6.1	På kartet er innteikna tolking basert på georadarprofil og prøvepumping. Modifisert etter Kartverket (2016).	70
6.2	Figuren viser eit profil av eskerarane over eit grovt lag som bind ryggane hydraulisk saman til ei eining, akviferen. Teikna i <i>Paint</i> av Siri Ane Hestad. Informasjon om kornfordeling kjem frå Hilmo and Riise (2016) og loggen til Hallingdal Brønn og Graveservice AS, vedlagt i Appendiks.	73
6.3	Ekvipotensialkart over reservoaret i upåverka tilstand. Strøymingslinene går vinkelrett på potensiallinene, men då den hydrauliske leiingsevna i eskerane er svært anisotrop, med vesentleg betre leiingsevne i lengderetning enn på tvers, så vil vassstraumen i stor grad avgrense seg til eskerane. Kartet er henta frå Riise (2017).	77
6.4	Ekvipotensialkart over reservoaret etter nokre dagar pumping, 23.01.17. Kartet er henta frå Riise (2017).	81
6.5	Ekvipotensialkart over reservoaret etter nokre månader med pumping, 19.04.17. Kartet er henta frå Riise (2017).	86

6.6	Figuren viser utrekning av arealet til 60-døgersona ved hjelp av sylindermethoden for totalt dimensjonerande vassuttak, dvs for begge produksjonsbrønnane til saman.	88
6.7	Figuren viser utrekning av vassfart og naudsynt avstand frå B1 til grensa for sone 1.	90
6.8	Figuren viser kontroll av farten utrekna for eskeren som B1 står i ved tilbakerekning til hydraulisk konduktivitet frå fart ved hjelp av Darcy's likning.	91
6.9	Figuren viser utrekning av farten til vatnet inn mot B2 og utleidd avstand til sone 1 for B2.	92
6.10	Figuren viser kontroll av farten utrekna for eskeren som B2 står i ved tilbakerekning til hydraulisk konduktivitet frå fart ved hjelp av Darcy's likning.	93
6.11	Kartet viser føreslått inndeling av området i sone 1 (blå) og sone 2 (raudleg). Sone 1 omfattar det nære tilsigsområdet medan sone 2 femner om det fjerne tilsigsområdet. Avstandane med 60 døger opphaldstid på vatnet i grunnen er indikerte både opp- og nedstraums for begge brønnane med stjerner. Arealet av sone 1 er òg spesifisert.	95
6.12	Kartet viser føreslått inndeling av området i sone 1 (blå), sone 2 (raudleg) og sone 3 (grøn).	97

Oversikt over tabellar

4.1	Tabellen viser ei oversikt over kva tid vassprøvar er teke frå dei ulike brønnane. . .	39
5.1	Tabellen under viser ei oversikt over målt pumperate, elektrisk konduktivitet og temperatur ved dei to trina i brønntesten av B1.	50
5.2	Tabellen viser ei oversikt over målt pumperate, elektrisk konduktivitet og temperatur ved dei tre trina i brønntesten av B2.	50
5.3	Tabellen under viser utvikling i peilenivå ved dei to produksjonsbrønnane samt dei 8 peilebrønnane. Alle måla er oppgjevne i meter over havet.	54
5.4	Tabellen viser utvikling i elektrisk leiingsevne og temperatur i B1 og B2, målt i felt under fullskala prøvepumping.	56
5.5	Tabellen under viser resultat frå fysisk-/kjemiske analysar for vassprøvar i PB1, PB3 og PB4. Alle prøvane var tekne før oppstart av storskala pumping, og resultatata presenterer difor akviferen i upåverka tilstand.	59
5.6	Tabellen under viser resultat frå fysisk-/kjemiske analysar for B1 for fleire prøvetidspunkt.	60
5.7	Tabellen under viser resultat frå fysisk-/kjemiske analysar for B2 for fleire prøvetidspunkt.	61
5.8	Mineralinnhald B1 frå XRD	64
5.9	Mineralinnhald PB2 frå XRD	65
5.10	Tabellen under viser hydraulisk konduktivitet K for ulike høgder i B1 og B2. K er utrekna med data frå kornfordelingskurver ved hjelp av Hazen.	65

5.11 Tabellen under viser hydraulisk konduktivitet K for ulike høgder i fleire brønnar bora under forundersøkingane. K er utrekna med data frå kornfordelingskurver ved hjelp av Gustafsson.	66
8.1 Tabellen under viser peilenivå (i meter) målt ved aukande tid frå pumpestart og med to ulike pumperatar, både i produksjonsbrønn og næraste peilebrønn.	101
8.2 Tabellen viser peiledata (i meter) for produksjonsbrønn B2 og peilebrønn PB2 med aukande tid frå pumpestart, totalt for tre trin.	102

Kapittel 1

Innleiing

1.1 Bakgrunn

Asplan Viak AS er engasjert av Røros kommune til å undersøke og vurdere tilhøva for grunnvassuttak i nokre utvalde områder rundt Røros sentrum. Vasskjelda skal fungere som eit supplement til det kommunale vassverket og må jamt kunne gi ei vassmengd på 50 l/s. Eksisterande vasskjelde består av 10 til 15 meter djupe lausmassebrønnar i ein esker i Hittersjøen nordaust for Røros sentrum. Eskerar er ryggforma og langstrakte landformer som er avsette av breelvar i og under isen. Breelvar fører smeltevatn bort frå iskanten når breen minskar, og sidan vassføringa og dermed energinivået i slike elvar varierer, har eskerane ofte vekslande lag med stein, grus og sand ([Thoresen, 1991](#)).

Ut frå forstudier av kart og flyfoto, eksisterande brønnar og boringar la Asplan Viak med Bernt Olav Hilmo i spissen fram eit utval avgrensa områder med potensiale for tilstrekkeleg kapasitet. Røros kommune valde ut nokre av desse, og etter grundigare undersøkingar har ein konkludert med at Mølmannsdalen søraust for Røros sentrum er det mest gunstige området for å etablere ei ny grunnvasskjelde. Området ligg like ved Håelva, på den nordlege elvebreidda. Mek-tige breelvavsettingar med fleire parallelle eskerar utgjer grunnen, og gjer området godt eigna for grunnvassuttak ([Hilmo and Riise, 2016](#)).

Når ei vasskjelde skal plasserast er det av vesentleg interesse å kartlegge og vurdere skadeomfang frå potensielle ureiningskjelder. I denne samanheng vil det vere nyttig å vite noko om korleis vatnet strøymer i grunnen. Ut frå det kan ein stadfeste kjelder som utgjer ein reell trussel og utelukke dei som ikkje gjer det. Av denne grunn vil ein med kjennskap til vasstraumen i grunnen kunne ha eit betre grunnlag for å trekke grenser for vern av vasskjelda.

1.2 Problemstilling og føremål med oppgåva

I denne oppgåva vil ein forsøke å kartlegge akviferen i detalj og forstå korleis vatnet strøymer i og mellom eskerane i Mølmannsdalen både ved naturlege tilhøve og under pumping. Dette skal baserast på data om vassnivå frå peilebrønnar og produksjonsbrønnar samt temperatur og elektrisk konduktivitet i vatnet frå produksjonsbrønnane. Vatnet sin fysisk-kjemiske kvalitet skal òg leggast til grunn for å utarbeide eit forslag til korleis strøymingsmønsteret er i og rundt akviferen, og til å slå fast i kva grad det er hydraulisk kontakt mellom dei ulike eskerane i brønnoområdet. Kunnskapen som slik tileignast om dette særskilde grunnvassmagasinet skal vidare nyttast til å lage eit forslag til inndeling i soner for vern av drikkevatnet. Ein god og gjennomtenkt klausuleringsplan er viktig for å sikre god kvalitet på drikkevatn, men òg for å unngå unødige restriksjonar på området over og rundt vasskjelda.

1.3 Tidlegare utførte grunnundersøkingar

Etter at lokaliteten for den nye vasskjelda var stadfesta har Asplan Viak AS gjort ei rekkje undersøkingar i Mølmannsdalen for å kartlegge grunntilhøva i det aktuelle magasinet.

Til saman har sju sonderboringar vore utført, og dei fleste av desse viser mektige avsettingar på 18-19 meter av grove, godt vassførande massar mot djupet. Dei viser òg ein tendens til at finare massar av finsand og silt utgjer dei øvste 3-4 meterane av massane her.

Dette er stadfesta i tolkingane av Georadarprofil frå feltet. Desse viser fleire ryggar som ligg djupt i massane i tillegg til dei som er synlege i terrenget. Massane er òg her tolka til å ha ei mektigheit på minimum 20 meter. Områda mellom dei tolka og observerte grusryggane er under tvil tolka som finsand og silt.

Fire undersøkingsbrønnar er bora og teke lausmasseprøvar frå på fleire djup, som vidare er analyserte for kornfordeling. Om lag alle dei resulterande kornfordelingskurvene gjev grunnlag for utrekning av hydraulisk konduktivitet i storleiksorden $10^{-3} - 10^{-4}$, som er karakteristisk for grov sand. Kurvene kan finnast i Appendiks.

Det er òg teke ut vassprøvar frå alle fire undersøkingsbrønnane, og analysene av desse viser konsentrasjonar og nivå stort sett innanfor grenseverdier, med unntak av for høg turbiditet og ein brønn med for låg pH. Turbiditeten er venta å minke ved filtertil trekking og lenger tids pumping.

Kapittel 2

Området

2.1 Kvartærgeologien i Rørosområdet

Lausmassane i Rørosområdet er til liks med lausmassane i resten av landet hovudsakleg danna i løpet av siste istid, Weichsel, som starta for 120- 115.000 år før notid, og enda for knappe 10.000 år sidan. Spora etter istida er markante i området, både etter tida medan isen låg mektig over landskapet, og frå den siste nedsmeltinga (Reite, 1997).

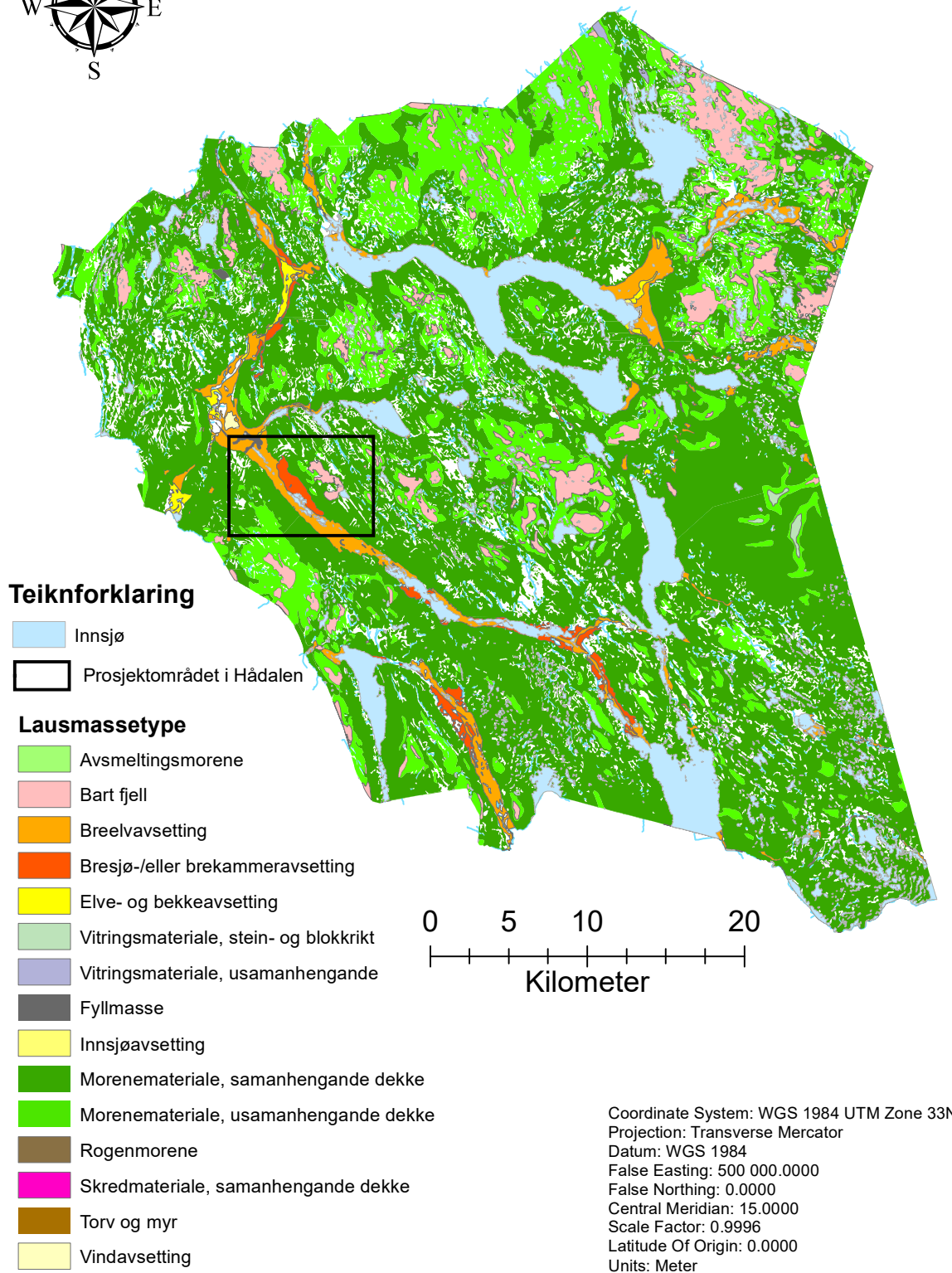
Då isen var på sitt største for om lag 20.000 år sidan, strakk den seg sørover heilt til Berlin, austover inn i Russland og dei baltiske landa, og heilt ut på kontinentalegga i vest. Isskiljet, der isen er tjukkast og ny is dannast, låg på denne tida som ein rygg frå Bottenvika i Sverige og sørvestover via sørenden av Femunden til Jotunheimen (Wolden, 2010). Rørsla i ein innlandsis går frå isskiljet gjennom isen ut mot iskanten, slik at rørsla skjer på flankane av isskiljet. Difor eroderer isen mest eit stykke frå toppen på iskappen (Thoresen, 1991). Røros si plassering nordvest for Femunden gjer dermed at områda her har vore utsett for vesentleg erosjon frå isen. I området viser landformer som drumlinar og slipte fjelltoppar, skuringsstriper i berggrunnen og orientering av fragment i morenemateriale at isen har skura frå isskiljet i søraust mot iskanten i nordvest (Reite, 1997; Wolden, 2010).

Ettersom isen har gått i nordvestleg retning frå Femunden over høgdedraga i Røros kommune, har den plukka laus blokker frå lokal bergmasse og gamle lausmasseavsettingar, knust og malt det, og avsett store mengder morenemateriale. Denne jordarten dominerer tydeleg regionen, noko som stadfestar at isen her var tjukk og truleg dekte endåtil dei høgaste toppane, sjå mørk grøn farge på kartet i figur 2.1 (Reite, 1997). Slike botnmorene har ulike utformingar etter korleis dei er danna. Drumlinar er langstrakte og dråpeforma ryggar som peikar den butte enden mot retninga til isen. Slike landformer finn ein spesielt mange av i området mellom Skåkåsfjella i vest og Vigelfjella på grensa mot Sverige. Rogenmorene er ei anna spesiell form for botnmorene som dannast ved at massar avsettast i tverrsprekker i isen. Slike avsettingar skapar difor ryggar på tvers av dalfører som gjev eit kupert terreng. Denne typen former er talrike i Femundsmarka i den søraustlege delen av Røros kommune (Wolden, 2010). Då massane stort sett har vore transportert kort frå dei vart plukka opp til dei vart avsette av breen, reflekterer petrografien i moreneavsettingane i stor grad berggrunnsgeologien (Reite, 1997).

Berggrunnen i Røros kommune er bygd opp ved at dekkekompleks av vulkanske og sedimentære bergartar er skovne over det stadeigne grunnfjellet og det prekambriske sparagmittfeltet i søraust slik det skjedde under den kaledonske fjellkjedefoldinga, sjå figur 2.2. Frå figuren ser ein at arkose og kvartsitt i Kvitvoldekket ligg over stadeigen kvartsitt og grunnfjellet, og at desse harde bergartane til saman utgjer den søraustre halvdelan av kommunen. I nordvest ligg fleire lag av bergartar som er mindre motstandsdyktige mot nedbryting i Remskleppdekkekomplekset, Rørosdekket og Trondheimsdekkekomplekset (Reite, 1997). Denne grove todelinga av berggrunnen i området er spegla i morenematerialet som ligg over. I den nordvestlege delen av kommunen har isen skura over lett eroderbare skiferbergartar, og resultatet er eit morenemateriale med høgt innhald av finstoff. I den søraustlege delen har sterke bergartar i grunnen gjort til at morenematerialet er blitt rikt på blokk, grov sand og grus. Då dei harde bergartane òg yt sterk motstand mot vitring, gjev mineraljord av dette slaget dårlege tilhøve for vekst. Vegetasjonen på slik grunn er gjerne seint veksande furuskog med lav i skogbotnen. Kambrosilurbergartane i skudedekka vitrar raskare, og gjev rik jord med mykje næringsstoff tilgjengeleg for plantevekst. På slike lausmassar veks gjerne frodig lauvskog med gras og urtar i skogbotnen (Reite, 1997; Moen et al., 1998).

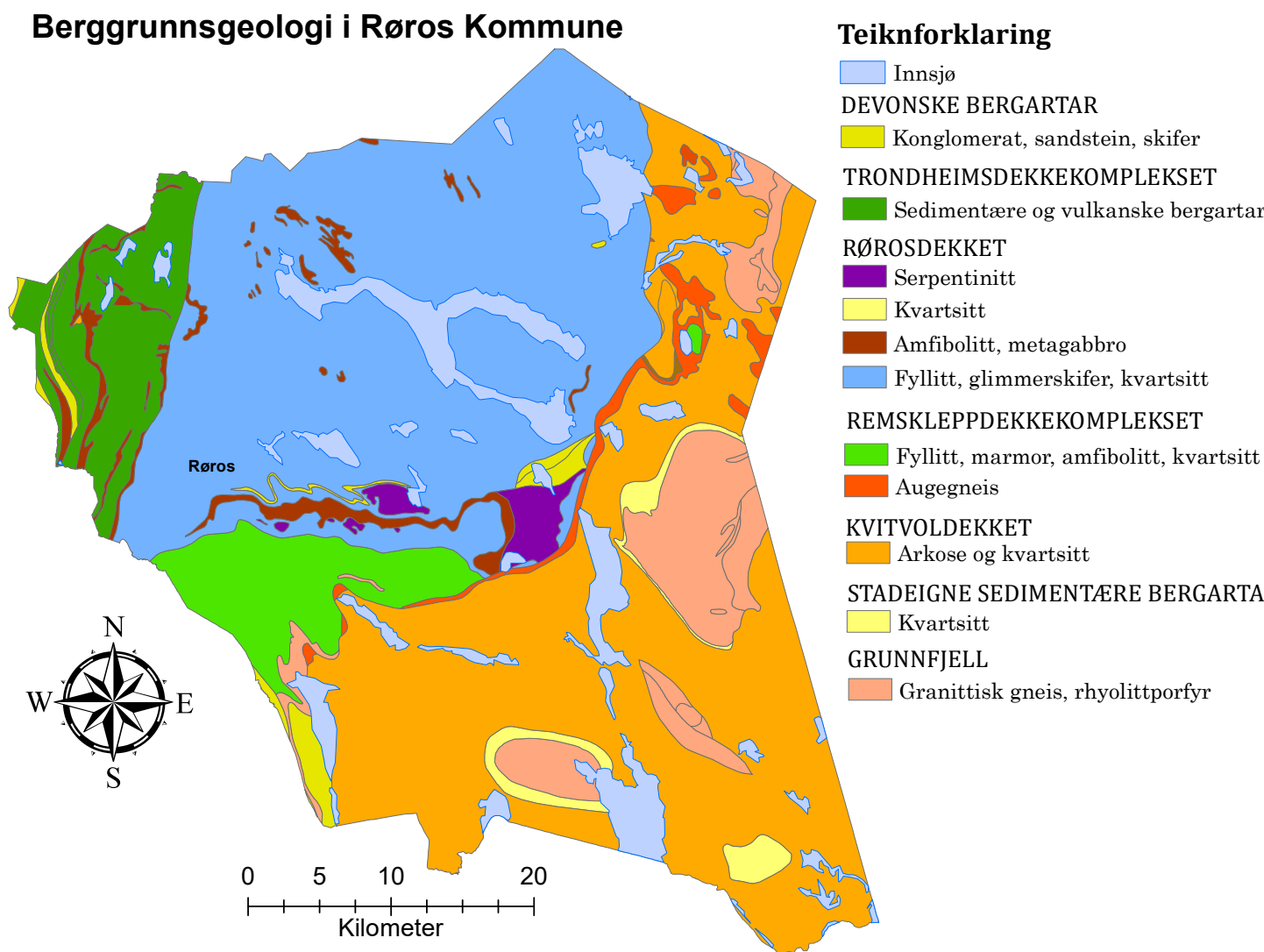


Kvartærgeologisk kart over Røros



Figur 2.1: Kvartærgeologisk kart over Røros Kommune, modifisert etter [NGU \(2015c\)](#) med inspirasjon frå [Reite \(1997\)](#).

Mot slutten av siste istid vart klimaet varmare, og dei enorme snø- og ismassane starta å smelte ned. Dei høgste toppane smelta fram først, og her finn ein i dag smeltevassløp og kortare grusryggar avsett i bratte fjellsider. Eskerane nær dei høgste toppane er ikkje stort lenger enn 100 meter lange, noko som truleg kjem av at isen på dette stadiet framleis var på lag intakt. Dermed låg temperaturen under isen for lågt til at vatnet kunne danne tunnelar særleg langt nedover dalsidene (Reite, 1997).



Figur 2.2: Berggrunnskart over Røros Kommune, modifisert etter NGU (2015c) med inspirasjon frå Reite (1997).

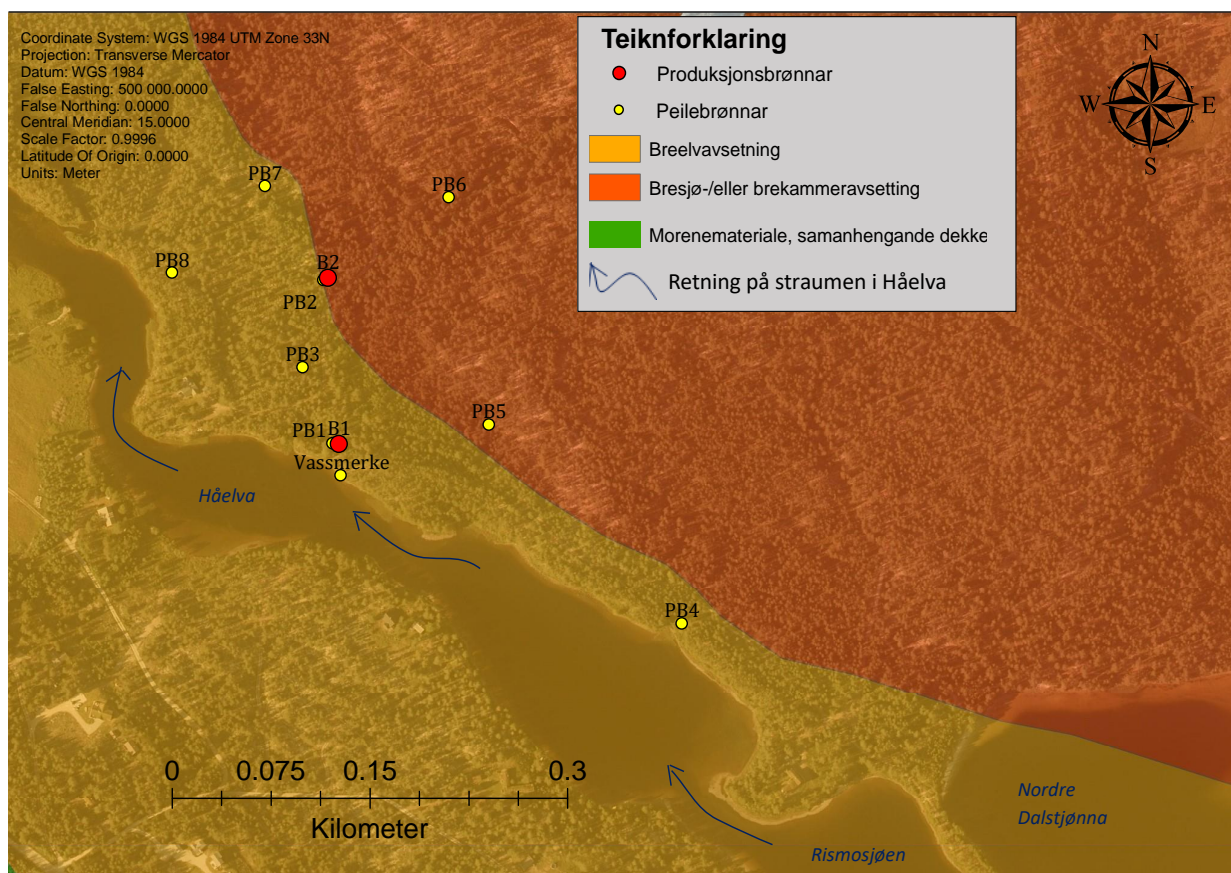
Frå 11.500 år sidan og framover smelta isen for alvor ned, og vassføringane i breelvane eskalerte. Vassmengda frå smeltinga i denne siste fasen av istida tilsvare ein årsnedbør på mellom 10 og 15 000 millimeter (Wolden, 2010). Til samanlikning har dei mest nedbørrike stadene på vestlandet ein maksimal årsnedbør på mellom 5 og 6000 millimeter (Pedersen, 2013). Store elvar rann no under isen i dei fleste dalar og avsette sand og grus i lag på lag. Dette resulterte i at store nettverk av eskerar vart danna i dalføra. Eskerane er tydelege og markante landskapstrekk i kommunen, og dei største og tydelegaste er å finne i Grådalen, Moldingalen, Vauldalen, Hyllingen og i Hådalen, sjå kvartærgeologisk kart i figur 2.1. Desse eskerane består for ein stor del av grove fragment frå Kvitvolddekket og grunnfjellet, og i liten grad av dei underliggende morenemassane (Reite, 1997).

Prosjektområdet for denne oppgåva ligg i det store eskersystemet i Hådalen og er markert i figur 2.1. Dette nettverket har svært stor utstrekking og går frå Sørvika i Femunden gjennom Langen til austenden av Håsjøen, vidare vestover langs Håsjøen og Rambergsjøen, gjennom Hådalen og Røros sentrum, nord til Orvos, Glåmos og til vasskiljet i Rugldalen. Dreneringsvegen for elva som laga denne eskeren gjekk liksom isen frå isskiljet mot nordvest. Sidan vasskiljet låg lenger nord enn isskiljet, stod tunnelar som denne under hydrostatisk trykk under avsmeltinga, og materiale vart avsett i oppoverbakke. Elva drenerte over Rugldalen og ned til Gauldalen (Wolden, 2010).

Når isen i søraust minka ned, vaks det fram bredekte sjøar langs dalføra mellom isskiljet og vasskiljet i nordvest. Horisontale linjer av sand høgt oppe i dalsidene i dagens landskap, såkalla seter, viser kor høgt desse bredekte innsjøane stod. Seter i ulik høgd vitnar om fleire generasjonar av slike bredekte sjøar. Etter kvart som nye lågareliggande pass for drenering nordover vart isfrie, fekk ein danna nye innsjønivå. Den siste og største av dei store bredekte sjøane kallast Nedre Glåmsjø og låg på 665 moh, i same høgd som passpunktet i Rugldalen som drenerte innsjøen. I tillegg til dei grove strandavsettingane som seta består av, resulterte dette stadiet i avsmeltinga òg i at finsand og silt vart avsett på større djup i dalføra, over breelvmaterialet (Reite, 1997). Då demningen som isskiljet utgjorde til slutt brast i Rendalen, vart den enorme innsjøen drenert sørover, og Jutulhogget vart greve ut (Bethling, 2013).

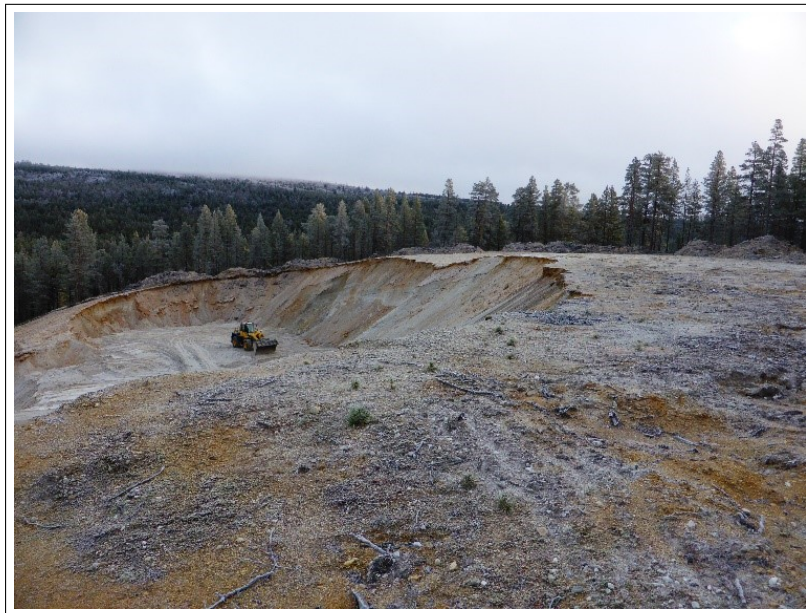
2.2 Prosjektområdet

Prosjektområdet ligg på nordaustleg elvebreidd av Håelva, om lag 3,5 km søraust for Røros sentrum. Frå Røros sentrum køyrer ein austover langs Osloveien og tek til venstre i rundkøyringa inn på Falunveien. Ved første avkøyring tek ein til høgre ut på Dalsveien, som ein følger om lag 3 km til ein kjem til ein større parkeringsplass. Herfrå går ein skogsveg direkte ned til prosjektområdet ved elva. På kvartærgeologisk kart er området klassifisert som glasifluvial avsetning, breelvmateriale som består av sand, grov sand og grus, materiale med gode vassførande eigenskapar, sjå figur 2.3.



Figur 2.3: Figuren viser prosjektområdet med kvartærgeologisk kart frå NGU (2015c) i botnen med flybiletet frå Kartverket et al. (2016) over. Straumen i elva går mot nordvest, og dei to produksjonsbrønnane og alle peilebrønnane er plotta.

Som skildra under *Kvartærgeologien i Rørosområdet* vart massane avsett i enorme mengder gjennom heile Hådalen under siste istid, og dette kan stadfestast ved mektige grustak i området (figur 2.4), ved georadarmålingar og sonderboringar frå forundersøkingar i prosjektområdet. Frå grunnvassdatabasen til NGU kan ein òg sjå at mektigheita av lausmassar i brønnar i nærleiken kan vere heilt opp mot 40 meter (NGU, 2015a).



Figur 2.4: Grustak sør for Håelva viser mektigheit av breelvavsett materiale i området. Foto: Siri Ane Hestad.

På grunnlag av avsetningshistoria og observasjonane i dalføret til Håelva ser grunnvassmagasinet i prosjektområdet ut til å vere kontinuerleg i lengderetning av dalen. I sørvest grensar prosjektområdet mot Håelva som flyt med låg gradient mot nordvest gjennom Hådalen. Mot nordaust grensar magasinet mot tettare massar av finsand og silt, såkalla *kvabb* avsett i Nedre Glåmsjø.

Inne på prosjektområdet er terrenget prega av langstrakte ryggar parallelt Håelva. Mellom ryggane ligg overflata flatt i lågare nivå, slik at grusryggane vert tydelege oppstikkarar i terrenget. Frå georadarmålingar og sonderboringar ser ein òg at det finnast fleire eskerformasjonar i grunnen enn dei ein kan observere i terrenget. Desse eskerane kan vere like mektige og endå mektigare enn dei som er bygde opp til overflata. Frå georadarmålingar og befarings kan ein an-

slå talet på større og mindre grusrygger i prosjektområdet til om lag 5. Av disse kan ein og same eskeren dukke under overflata ein stad og komme oppatt ein annan stad i same leia. Desse kan ha vore danna som forgreiningar av same breelvsystem, eller dei kan ha vore danna i ulike fasar av isavsmeltinga. Analysar av mineralogien i dei ulike eskerane kan gi ein peikepinn på kva for eitt av tilfella som er mest truleg. Sonderboringar i eskerane viser mektigheiter på minst 18 meter, og vasspegelen ligg stort sett rundt tre meter under overflata i dei flate områda.

Vegetasjonen i dette eskerlandskapet dominerast av open furuskog med lyng og lav som veks på skogbotnen, sjå figur 2.5. Denne typen vegetasjonsdekke er typisk for næringsfattig grunn. Det at slike artar veks her støttar opp om teorien Knut Wolden presenterer i Gråsteinen 13, at eskeren i Hådalen hovudsakleg består av materiale som er greve ut og knust opp frå kvartsitten og grunnfjellet i søraust (Wolden, 2010).



Figur 2.5: Viser døme på ei typisk grusryggform frå prosjektområdet. Ofte går stiar på toppen av desse ryggformene slik som her. Biletet illustrerer og representerer òg godt vegetasjonsdekket som dominerer i prosjektområdet; lyng, lav og furuskog. Foto: Siri Ane Hestad.

2.3 Mating av akviferen

Då akviferen består av ukonsoliderte lausmassar og kontakten mellom luft og vatn ved vasspegelen er uhemma, er dette ein open akvifer. Nedbøren som fell over akviferen vil difor kunne infiltrerast direkte og bidra til heving av vassnivået. Då heile langsida av prosjektområdet står i kontakt med Håelva og Rismosjøen, så vil akviferen òg kunne matast frå overflatevatn. Under synfaring er det observert grove massar langs heile strandlina i prosjektområdet mot Håelva og Rismosjøen, samt på nordaustleg flanke av eskeren som skil Rismosjøen frå Nordre Dalstjøna, sjå figur 2.3. Det indikerer at det er gode sjansar for hydraulisk kontakt mellom overflate- og grunnvatnet. Dette kan stadfestast ved observasjonen av strøymande vatn i strandlina ned mot vassnivået i Håelva frå eit høgare nivå på stranda, slik det er vist i figur 2.6. Dette viser at magasinet matar elva, og påviser slik at der er hydraulisk kontakt langs strandlina.

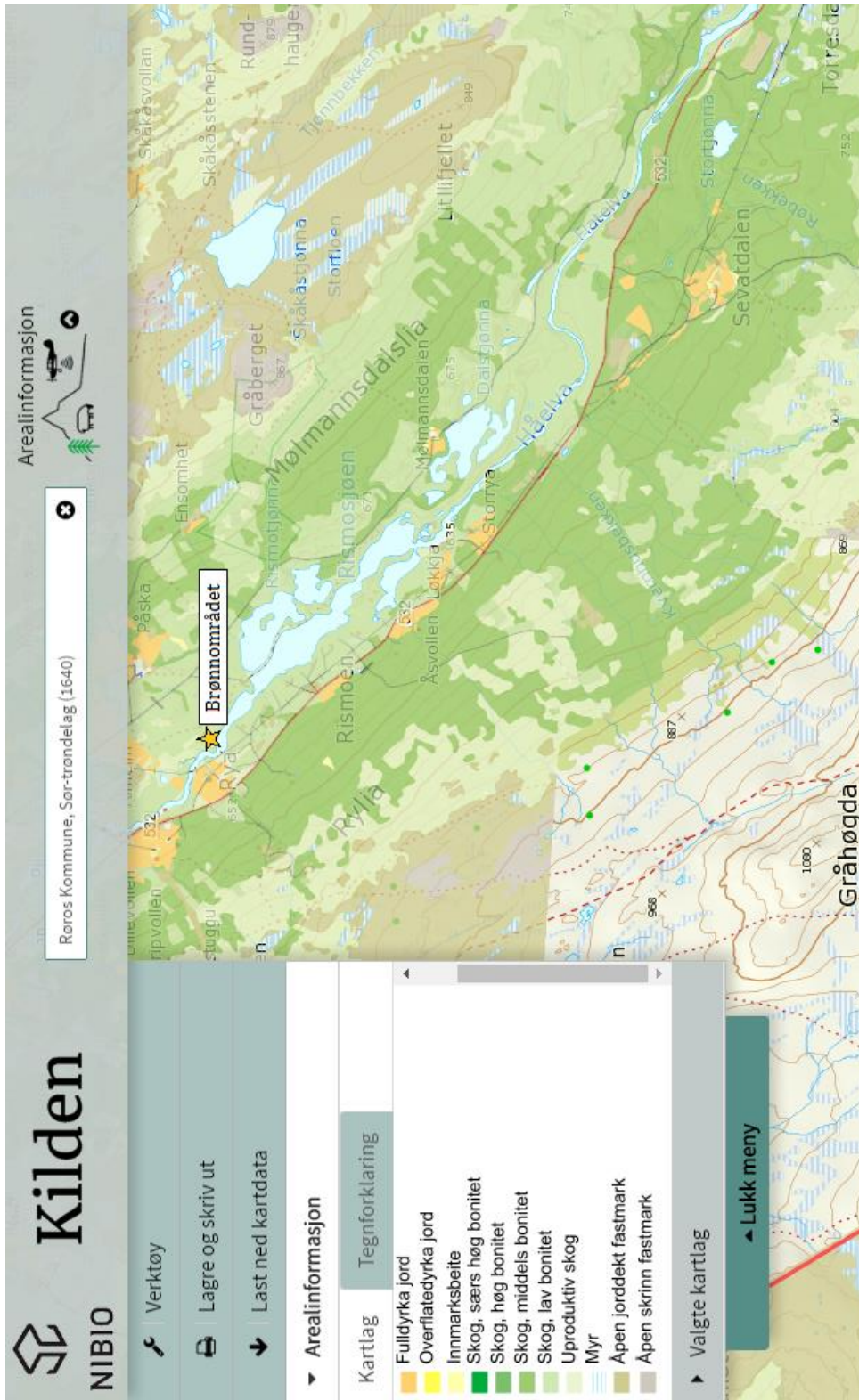


Figur 2.6: Over: viser at små oppkommer førekjem over vassnivået i elva, noko som indikerer strøyming av vatnet frå høgare til lågare potensial. Til høgre: Viser vatn som sildrar frå nedst til øvst i biletet, mot vassnivået i elva. Denne observasjonen var dokumentert i oktober 2016. Foto: Siri Ane Hestad.

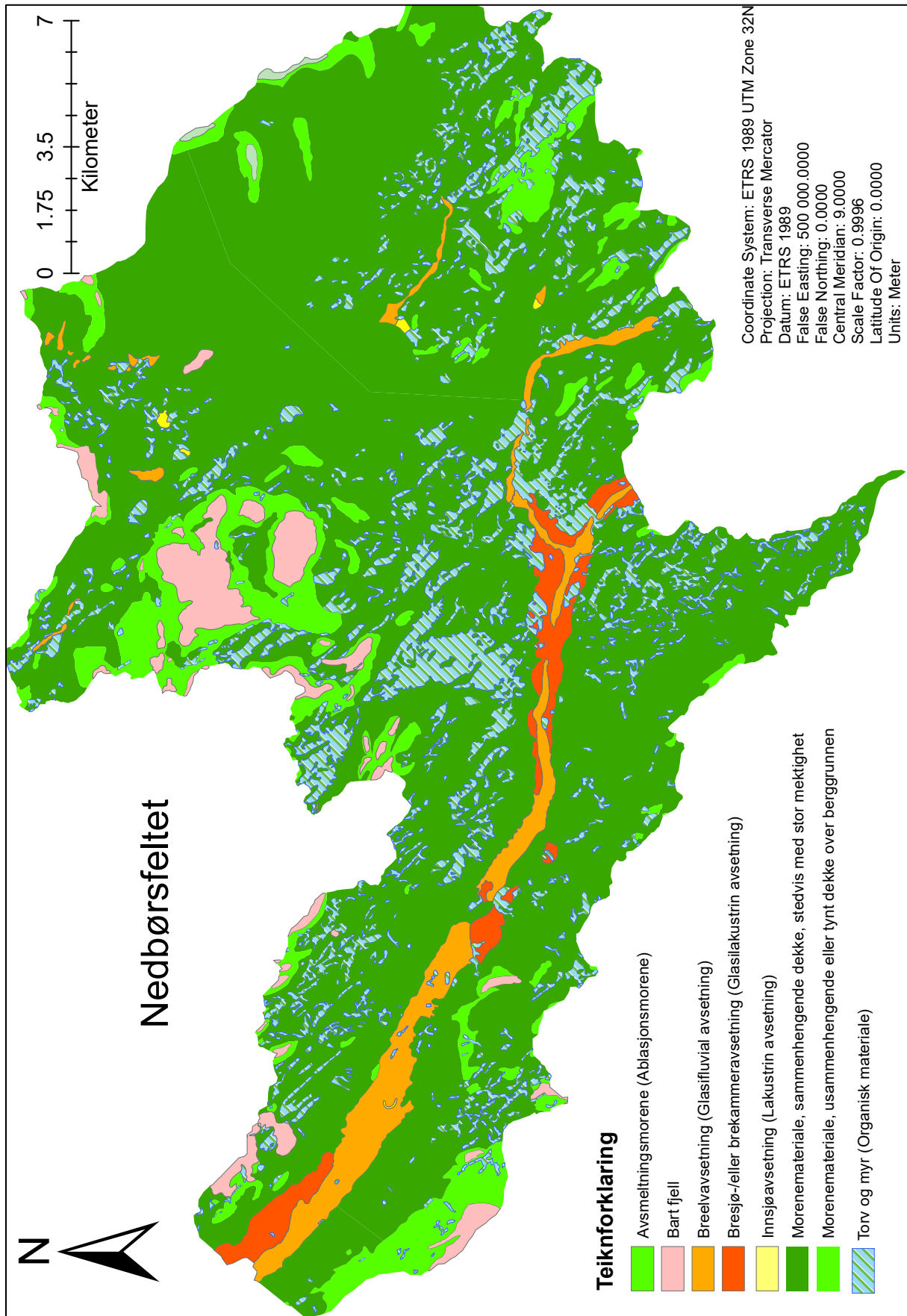
Kart over arealbruk i Hådalen er vist i figur 2.7. Denne oversikta viser at store delar av dalen oppstraums for brønnområdet er dekket av skog med ulik bonitet, medan det er opa fastmark som dominerer rundt høgdedraga. Nede i dalen er nokre bøter med fulldyrka mark. Ellers er det ein kommunal veg på nordsida av Håelva og ein fylkesveg på sørsida, samt noko busetnad og nokre hytter rundt Håelva nær brønnområdet (NIBIO, 2015).

Håelva ved Mølmannsdalen har eit nedbørfelt på 427 km^2 . Med ein årsnedbør på 588 mm gjev det ei medelvassføring på $6,92 \text{ m}^3/\text{s}$. I fylgje NVE (2016) består 25,5 % av arealet i nedbørsfeltet av bart fjell, medan så mykje som 43,7 % er dekket av skog. Då fjell har svært låg absorpsjonsevne (2-5%), så vil nedbøren som fell på dei 25,5 prosent av arealet i nedbørsfeltet renne av på overflata til bekkar som fører vatnet direkte til hovudvassdraget. Dette bidreg til rask respons i Håelva.

I områder med skog vil derimot vesentlege mengder vatn kunne absorberast i grunnen, der ein del vert teke opp av vegetasjonen medan resten perkulerer vidare nedover i jordsmonnet. Som det framstår av figur 2.8 er størsteparten av nedbørsfeltet dekket av morenemateriale. Morenematerialet i nedbørsfeltet består stort sett av næringsfattige, sterke og lyse silikatmineral.



Figur 2.7: Kartet viser arealbruken i Hådalene (NIBIO, 2015).



Figur 2.8: Lausmassetypar i nedbørsfeltet til Håelva ved Mølmannsdalen. Kartlag frå NGU (2015c) kipt ut med kartlag av nedbørsfelt generert i NVE (2016).

Kapittel 3

Teori

3.1 Vassbalansen

For å kunne forvalte ei vasskjelde på ein god og berekraftig måte er det essensielt å gjere seg kjend med vassbalansen i systemet. Den mest grunnleggande forma av vassbalansen seier at endringa i lagring av vatn i systemet (δS) er lik vatn inn (W_{inn}) fråtrekt vatn ut (W_{ut}) frå eininga som er under vurdering (Krešić, 2009).

$$\delta S = W_{\text{inn}} - W_{\text{ut}} \quad (3.1)$$

I vurdering av vassbalansen av ein open akvifer vil naturlege kjelder til nydanning av grunnvatn (W_{inn}) vere regn- og smeltevatn som infiltrerer direkte ned til vasspegelen i akviferen, vatn i elvar eller innsjøar som er i hydraulisk kontakt med reservoaret og vatn som strøymer til akviferen frå nærliggande magasin. Bidrag til W_{ut} i likning 3.1 vil vere vatn som strøymer bort frå magasinet gjennom porøse medium eller ut til elvar eller innsjøar med lågare hydraulisk potensiale. Òg vatn som dampar av nær overflata eller vert teke opp av planterøter og vatn som pumpast opp av eit magasin, er bidrag til W_{ut} i likning 3.1 over, (Krešić, 2009).

For å få oversikt over vassbalansen i ein akvifer må kjelder og tappepunkt identifiserast. I fylgje Krešić (2009) er det tre typar rammevilkår som kan brukast for å kartlegge og stadfeste kjelder eller tappepunkt i ein akvifer.

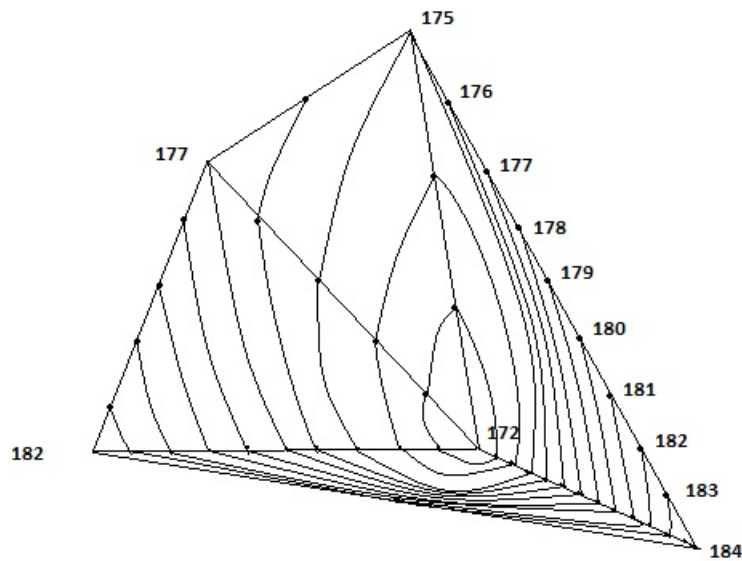
1. Dersom ein kjenner fluksen på eit geografisk punkt der vatn entrar eller forlèt systemet, kan denne plottast i kartet og leggest direkte inn i vassbudsjetten. Døme på slike fluksar som ein kjenner eller kan måle er infiltrasjon frå nedbør, inn- og utfluks av vatn til akviferen via ei elv eller ein bekk. På grenseflater mellom akviferen og ei overflate som er rekna for å vere tett, til dømes leire, kan ein sette fluksen lik null, då svært lite til ikkje noko vatn vil strøyme gjennom leira.
2. Der ein kjenner vasstrykket på begge sider av ei grense vil ein kunne bruke skilnaden i desse til å rekne ut kva veg vatnet går over grensa. Vatn vil alltid strøyme frå høgt mot lågare potensial, og dermed kan ein ut frå trykkmålingar finne om vatnet bidreg som kjelde eller som tappepunkt til akviferen. Eit typisk døme på ein slik tilstand vil vere eit punkt der ei elv med tette botnsediment er i kontakt med akviferen, men kontaktflata ikkje er open grunna botnsedimenta. Kjenner ein konduktiviteten til akviferen og arealet av kontaktflata mellom akviferen og elva, så kan ein òg rekne ut fluksen ved hjelp av Darcy's likning og legge den til i vassbudsjetten.
3. Når ein ikkje kjenner ei grense eller vil forenkle kartlegginga av akviferen, er det vanleg å bruke konstant vasstrykk over tid og rekne ut fluksen ved hjelp av Darcylikninga. Døme på slike tilhøve er der ein føreset lik konduktivitet i elva eller innsjøen og akviferen, og slik føreset at det er «fri flyt» mellom dei. Slike fastsette vasstrykk bør justerast for periodar med ulike vasstandar under målingane, elles vil fluksen gjerne verte overestimert når trykket i akviferen søkk, og trykket i overflatekjelda held seg konstant. I realiteten vil vasstanden i elva eller innsjøen fluktuere i takt.

3.2 Ekvipotensialkart

Når ein skal kartlegge korleis vatn strøyer innanfor grensene av eit magasin, er det svært vanleg å konstruere eit ekvipotensialkart basert på peiledata. Eit ekvipotensialkart er eit topografisk kart over grunnvasstand, og er eit svært kraftig verktøy i samanheng med dei fleste hydrogeologiske problemstillingar. Ut frå ekvipotensiallinjene, som knyt saman punkt i akviferen med likt hydraulisk potensial, kan ein fastsette i kva retning vatnet strøyer i det kartlagde området.

Set ein saman slike kart med annan informasjon kan ein finne hydrogeologiske parametrar som konduktivitet, transmissivitet, hydraulisk gradient, strøymingsfart og α -rate (Krešić, 2009).

Kartet utformast ved å trekke liner mellom punkt med kjend vasstand og kople desse saman i såkalla hydrologiske trekantar. Linjene delast så opp i ynskte intervall, og punkt med same verdi koplast saman til ekvipotensiallinjer, sjå figur 3.1. Ved å plassere peilebrønnar med god spreing vil ein kunne kartlegge grunnvasspegelen i heile akviferen (Brattli, 2009).



Figur 3.1: Figuren viser korleis eit sett med kjende peilenivå ved hjelp av hydrologiske trekantar kan nyttast til å lage konturkart. Konstruert i paint av Siri Ane Hestad.

Frå ekvipotensialkart kan ein kjenne att innsjøar der vasspegelen flatar ut og kotene går rundt innsjøen. Elvar kan kjennast att ved V-former i kotene. Kotene vil peike oppstrøms elva dersom akviferen matar elva, og nedstrøms dersom elva matar magasinet. Desse reglane gjeld for opne akviferar. Det er viktig at alle peiledata som leggst til grunn for å lage ekvipotensialkart er målt i same årstid og frå den same akviferen, elles vil ikkje resultatet gi mening (Brattli, 2009).

3.3 Strøymingar

Vatn strøymar på grunn av skilnader i energinivå, og vil alltid strøyme frå område med høgt energinivå mot område med lågare energi.

3.3.1 Metta sone

I metta sone er der tre energibidrag som verkar inn på det totale energinivået til eit punkt i systemet; kinetisk energi, potensiell energi og trykkenergi, sjå 3.2.

$$E_{\text{tot}} = \frac{1}{2}mv^2 + mgz + P \quad (3.2)$$

Der

- m er massen av vatn
- v er den gjennomsnittlege farten til eit vassmolekyl
- g er gravitasjonsaksellerasjonen
- z er stadshøgda til det aktuelle punktet
- P er trykket frå overliggande vassøyle i det aktuelle punktet ($P = mgh_p$)

Den totale energien per tyngdeining vert slik likning 3.3 viser;

$$E_{\text{tot}} = \frac{v^2}{2g} + z + h_p \quad (3.3)$$

Sidan grunnvasstraumar er svært langsame, neglisjerer ein ofte bidraget frå kinetisk energi, òg kalla rørsleenergi, og ein får likning 3.4;

$$E_{\text{tot}} = h = z + h_p \quad (3.4)$$

Der

- h er total energi i eit punkt, kalla hydraulisk potensial
- z er stadshøgda i punktet
- h_p er trykkhøgda i punktet, eller høgda av vassøyla over punktet

Gjennom sine forsøk med strøymande vatn gjennom porøse medium i 1856 fann den franske ingeniøren Henry Darcy fram til ei likning som skildrar vasstraum gjennom porøse medium. Samanhengen kallast Darcy's lov, likning 3.5;

$$Q = -KAI \quad (3.5)$$

Der Q er strøyming i m^3/s , K er hydraulisk konduktivitet målt i m/s , A er tverrsnittsarealet av eininga ein reknar på og I er hydraulisk gradient, rekna som skilnad i hydraulisk potensial mellom to punkt dividert med avstanden mellom punkta ($I = \frac{h_1 - h_2}{L}$). Grunnvasstraumen er med andre ord proporsjonal med hydraulisk konduktivitet til mediet, tverrsnittsarealet som vatnet strøymar gjennom og skilnaden i energi mellom dei punkta der strøyming skal fastsetast. Det negative forteiknet skal poengtere det faktum at straumen går frå høgt mot lågare potensial (Brattli, 2009).

3.3.2 Umetta sone

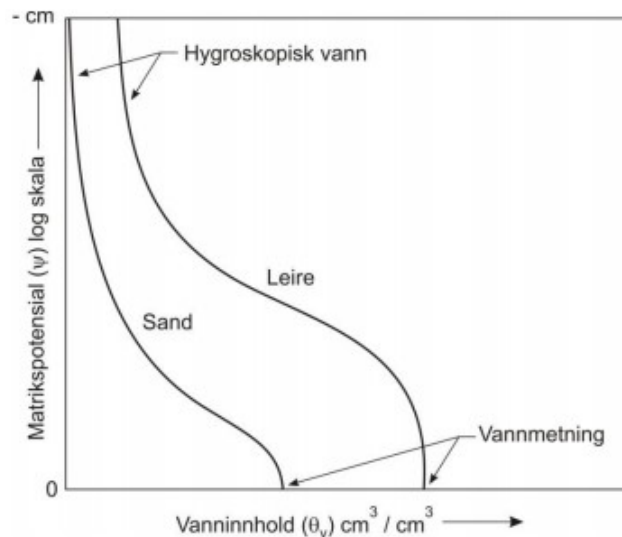
I umetta sone er energinivået, kalla fuktigheitspotensialet, samansett av eit gravitasjonspotensial Y og eit matrikspotensial $\Psi(\Theta_v)$, sjå likning 3.6;

$$\Phi = \Psi(\Theta_v + Y) \quad (3.6)$$

Gravitasjonspotensialet tilsvarende leddet for potensiell energi for metta sone, medan matrikspotensialet tilsvarende leddet for poretrykk i metta sone. Då desse storleikane er motsett avhengige av volumetrisk vassinnhald Θ_v , vil det eine potensialet dominere over det andre for eit gitt vassinnhald. For høgt innhald av vatn i umetta sone vil gravitasjonspotensialet vere stort medan matrikspotensialet vert neglisjerbart. Motsett vil matrikspotensialet vere fleire ordenar større

enn gravitasjonspotensialet når den vadose sona er svært uttørka (Brattli, 2009).

Matrikspotensialet har negativ verdi fordi kapillære og adhesive krefter bind vatnet til partiklar i umetta sone. Matrikspotensialet er null ved grunnvasspegelen og vert meir og meir negativt oppover jordprofilen ettersom vassinnhaldet i porane minkar. Ved eit vassinnhald som ikkje let seg drenere vil vassinnhaldet ikkje lenger minke når matrikspotensialet synk. Det ikkje drenerbare porevatnet kallast hydroskopisk vatn, og omfattar meir vatn for jordartar med høgt innhald av kolloidale partiklar enn for grovare jordartar. Grunnen til dette er at kolloidale partiklar har høgare spesifikt overflateareal og difor evnar å binde meir vatn per volumeining enn grovare partiklar. Samanhengen mellom vassinnhald og matrikspotensial kan framstillast i ei kurve kalla jord-vatn- karakteristikkurve. Figur 3.2 viser to slike kurver, ei for ein sandjordart og ei for ein leirjordart (Brattli, 2009; Fetter, 1994a).



Figur 3.2: Viser korleis matrikspotensialet avhenger av vassinnhaldet i jordarten. Modifisert etter Fetter (1994a).

Ved større vassinnhald vil gravitasjonspotensialet dominere, og vatnet strøymmer vertikalt på grunn av gravitasjonskrefter. Vatnet strøymmer gjennom eit nettverk av vassfilmar som er bundne til kornoverflatene i jordprofilen. Di meir vatn som er til stades, di tjukkare og meir talrike er vegane som vatnet kan gå, og di meir effektivt kan jorda leie vatn. Konduktiviteten i den umetta sona er altså avhengig av vassinnhaldet (Brattli, 2009).

I umetta sone er vasstraumen stort sett vertikal. Dersom noko av vatnet til slutt når grunnvassoverflata i reservoaret, så vil det kunne påvisast ved trykkauke i magasinet (Krešić, 2009).

3.4 Hydraulisk konduktivitet

Konduktiviteten til eit materiale fortel kor lett ei væske kan strøyme gjennom det. Verdien av denne hydrauliske parameteren er avhengg av strøymingseigenskapane til både væska og det porøse mediumet (Krešić, 2009). Kor fort ei væske strøymer avhenger av viskositeten til væska, som igjen varierer med temperatur. Difor vil òg konduktiviteten avhenge av temperaturen til væska (Brattli, 2009). Det er fleire måtar å finne konduktiviteten til eit porøst medium. I laboratorie kan den finnast ved permeabilitetsforsøk der vatn strøymer gjennom ein representativ lausmasseprøve og Darcy-likninga løysast for K .

I Hazen (1893) utleidde han, ved hjelp av forsøk med filtersand, ein av dei mest brukte formelane for å finne hydraulisk konduktivitet i lausmassar. Denne baserer seg på data frå sikteanalyser av representative lausmasseprøver framstilt i kornfordelingskurver. Hazen-likninga er gitt i likning 3.7 under;

$$K = 0,0116 * d_{10}^2 \quad (3.7)$$

Der d_{10} er korndiameteren ved 10% siktegjennomgang. Hazen-likninga gjeld for godt sorterte jordartar med graderingstal $C_u < 5$ og vatn ved $10^\circ C$. Ein anna formel for utrekning av hydraulisk konduktivitet basert på empiriske data er utarbeidd av Gustafsson, og denne formelen er vist i likning 3.8 (Carlsson and Gustafsson, 1984);

$$K = E \left(\frac{d_{60}}{d_{10}} \right) * d_{10}^2 \quad (3.8)$$

Både Gustafsson og Hazen har lenge vore aksepterte metodar i Noreg, og gjev resultat som samsvarer godt med dei frå pumpeforsøk (Brattli, 2009).

3.5 Magasinkoeffisienten

Magasinkoeffisienten S er eit mål for kor mykje vatn ein kan ta ut per einingsareal ved å seinke vassnivået med ei høgdeining. I ein lukka akvifer er denne vassmengda avhengig av elastisiteten til kornskjelettet. Volumet vatn ein får ut av ein open akvifer baserer seg på porevolumet i magasinet og dermed tilhøvet mellom volum fritt drenerbart vatn og totalt volum (S_y). Magasinkoeffisienten i ein open akvifer har òg eit bidrag frå kompressjon av akviferen slik som for lukka akviferar, men då dette bidraget vert forsvinnande lite samanlikna med S_y , ser ein normalt bort frå det. Nettop på grunn av skilnaden i storleiksorden på magasinkoeffisienten for open kontra lukka akvifer, kan S nyttast til å karakterisere eit grunnvassmagasin som ope eller lukka (Brattli, 2009; Fetter, 1994b).

3.6 Frå nedbør til grunnvatn

Frå nedbør fell mot bakken til noko av den eventuelt når grunnvasspegelen er det mange prosessar som påverkar både mengda og kjemisk samansetting av vatnet. Regn er svakt surt på grunn av løyst karbondioksidgass og held ein pH-verdi rundt 5,7. Noko av nedbøren blir teke opp av blad og vegetasjonsdekke over jordoverflata, det ein kallar transpirasjon. Av det vatnet som treff bakken vil ein del dampe av tilbake til atmosfæren, somt trenge gjennom jordoverflata og noko renne av på overflata. I jordprofilet vil ein del vatn bli teke opp av planterøter. I vekstsesongen om sommaren kan alt vatnet som trenger gjennom overflata verte teke opp av plantane, medan mindre vert teke opp når voksteren er mindre intens gjennom dei andre årstidene. Planterøtene og miljøet rundt desse har òg ein viktig effekt på det infiltrerte vatnet. Miljøet i jorda rundt planterøter er ofte surt på grunn av nedbryting av organsik materiale og påfølgjande danning av karbonsyre. Dermed er jorda her rik på hydrogenion (H^+) som blir teke opp i vatn som siv mellom jordpartiklane. Slik vert markvatnet endå surare på vegen gjennom rotsona (Brattli, 2009).

På ferda vidare gjennom umetta sone vil vatnet bevege seg gjennom utvaskingssona. Her er vassinnhaldet høvevis lågt og avgrensar seg ved moderat nedbør til tynne vassfilmar som ligg rundt mineralkorna på grunn av overflatespenningar. Det er hydrogenbindingar som knyt vatnet til kornoverflatene ved at den positive polen i vassmolekylet bitt seg til dei negativt ladde

kornoverflatene. Dette gjer at arealet av kontaktflata mellom porevatnet og mineralkorna vert stort, og ein får gode tilhøve for kjemiske reaksjonar mellom vass- og mineralfasen. Storleiken på arealet mellom fasane er dessutan sterkt avhengig av kornfraksjonen som lausmassane har. Ein einingsmasse av humus eller leirmineral har gjerne ei overflate som er 1000 gongar større enn ei tilsvarende eining av sand. Det gjer at mindre fraksjonar har mykje større potensial for sorpsjon og ionebytte (Brattli, 2014). Vatnet som kjem frå rotsona er surt, og inneheld difor større konsentrasjonar av H^+ . Hydrogenionet er eit «aggressivt» ion med høgt ionepotensial og vil vitre minerala ved hydrolyse. Det føregår ved at hydrogeniona på grunn av sitt høge ionepotensial vert føretrekt framfor iona som allereie sit på mineraloverflatene. Dermed går ion som natrium, kalsium og kalium i løysing medan hydrogenionet tek plassen deira på den faste fasen. På denne måten vil vatnet på vegen gjennom utvaskingssona verte rikare på alkali- og jordalkalimetall i tillegg til at pH aukar. Kva vitringsstabilitet minerala har og korleis den resulterande løysinga etter kvart reagerer på overskotet av hydroksid som etter kvart oppstår, avgjer kor høgt pH-verdien stig. Amfibolar og pyroksenar gjev basisk vatn med pH opp mot 10, medan kvarts i jamvekt med vassfasen vil gi ein pH på mellom 6 og 7 (Brattli, 2009).

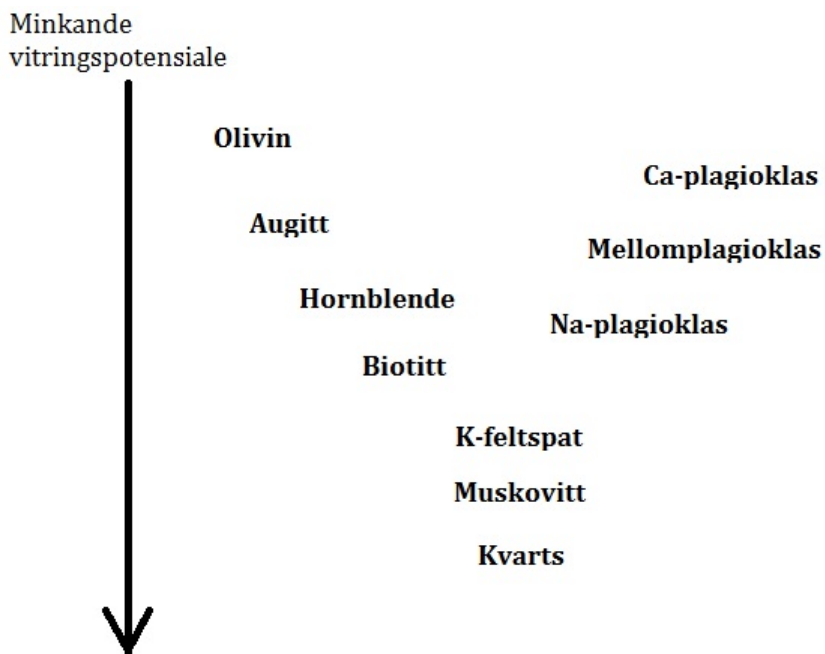
Andre ion enn H^+ kan òg adsorberast til kornoverflatene. Det gjer at ionet immobiliserast og ikkje fylgjer med vatnet vidare mot grunnvasspegelen. Silikatmineral har stort sett negativ overflatelading grunna substitusjon av aluminium for silisium, og evnar difor å binde positive ion til seg. Overflateladinga til karbonatmineral, oksid, hydroksid og organiske sambindingar er derimot avhengig av pH i porevatnet. Mange slike sambindingar har tilnærma nøytrale overflater ved pH mellom 8 og 10 (Brattli, 2014). Ved lågare pH-nivå vil slike mineral ha positiv overflatespenning og dermed kunne binde negative ion til seg. På denne måten kan skadelege tungmetall og giftige stoff med både negativ og positiv lading stabiliserast i jordarten og slik fjernast frå tilsiget til akviferen (Brattli, 2009).

Alle dei nemnde effektane som jorda har på vasskjemien er svært gunstige for kvaliteten på eventuelt drikkevatt, og ein seier at lausmassane verkar som ei hygienisk barriere, eller eit reinsemedium for vatnet på vegen mot reservoaret. I kor stor grad desse mekanismane skjer er i tillegg til mektigheita av og vassinnhaldet i umetta sone, òg avhengig av mineralogien i laus-

massane. Lyse silikatmineral er stabile sambindingar som vitrar seint, og vil difor avgi høvevis lite ion til porevatn i slike massar. Mørkare mineral som pyroksen, olivin, plagioklas og biotitt er mindre stabile, vitrar difor raskare og gjev slik opphav til meir ionerikt grunnvatn. Overflater som allereie er vitra er òg meir effektive sorbentar for ureiningar enn mineralflater som ikkje er det (Brattli, 2009).

3.7 Grunnvasskjemi - Vitring av silikatmineral

Som skildra over er vitring av mineral ei essensiell kjelde til grunnstoff i vatn. Sjølv om silikatmineral vitrar seint i høve kalkmineral, har vitring av silikatmineral vore estimert til å stå for omlag 45% av den samla lasta av oppløyste stoff i elvar verda over. Det er òg stor variasjon i stabiliteten til ulike silikatmineral, noko Goldich fann ved eksperiment så tidleg som i 1938. Han kom fram til ei rekkefylgje av mineral basert på kor lett dei vitra. Denne oversikta, kalla Goldich-sekvensen, er vist i figur 3.3 (Appelo and Postma, 1993).

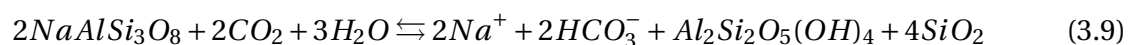


Figur 3.3: Sekvensen viser relativ vitringsfart for dei vanlegaste silikatmineral. Modifisert etter Appelo and Postma (1993).

Denne figuren viser at kvarts er det mineralet som har lågast potensiale for vitring, og dermed vitrar seinast. Kvarts og dei andre minerala som ligg lågast i denne figuren vil avgi minst oppløyse stoff til grunnvatn. Lenger oppe i sekvensen finn ein derimot mineral som er mindre stabile ved overflata av jorda, og desse vil vitre vesentleg raskare enn kvartsen. Dermed vil òg grunnvatn i massar av slike mineral vere meir rikt på ion. For å illustrere dette vil eit korn av kvarts med ein millimeter diameter bruke 34 millionar år på å brytast ned i vatn med pH 5. Tilsvarande levetid for eit mindre stabilt mineral som Ca-plagioklas er kun 112 år (Appelo and Postma, 1993).

3.7.1 Natrium og klorid

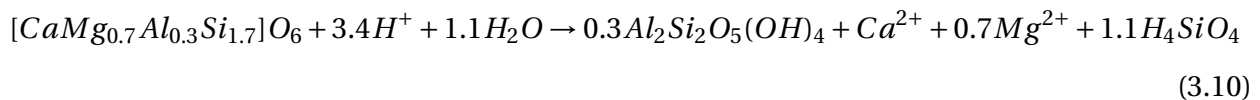
Natrium og klorid i grunnvatn er normalt eit resultat av vindblåsne havsalt frå kysten, og konsentrasjonane av desse elementa er stadfesta større i kystnært grunnvatn enn i innlandet. Salt kan òg komme frå antropogene kjelder som salting av vegstrekk om vinteren. Særleg er førekomsten av kloridionet avhengig av tilføringa av salt frå ulike kjelder, og har ikkje andre moglege kjelder enn det. Derimot kan innhaldet av natriumion auke i grunnvatn som resultat av vitring av feltspat i surt miljø. Denne reaksjonen er vist i likning 3.9:



Som ein ser av likninga over, vert natriumion frigjeve ved denne reaksjonen. Når slik vitring skjer i ein akvifer, vil grunnvatnet gradvis bli meir rikt på Na^+ . Dette skjer utan at konsentrasjonen av klorid endrar seg, og difor kan tilhøvet mellom natrium og klorid i ei vassprøve seie noko om opphaldstida i grunnen og dermed kor mode vatnet er (Banks et al., 2000).

3.7.2 Magnesium

Magnesium vert frigjeve til vassfasen ved vitring av mørkare mineral som amfibol, pyroksen og biotitt. Som skildra ovanfor er desse mineral som er mindre stabile, noko som tyder at vitringa går høvevis fort, og mengda magnesium som går i løysing vert deretter (Appelo and Postma, 1993). Likning 3.10 viser reaksjonen der pyroksen vitrar i surt miljø og kaolinitt vert danna samestundes som magnesium og kalsium vert frigjeve til vassfasen.



I fylgje Banks et al. (2000) er snittleg konsentrasjon av Mg^{2+} i grunnvatn for 72 undersøkte lausmassebrønnar i Noreg 1,56 mg/l. Denne konsentrasjonen er vesentleg lågare enn snittet for fjellbrønnar. Denne skilnaden forklarast ved at lausmassar aktuelle for vassuttak gjerne er samansett av stabile mineral som allereie har vore transporterte, sorterte og vitra før dei var avsette på dagens lokalitet. I tillegg har vatn generelt kortare opphaldstid i lausmassar enn i fjell (Banks et al., 2000).

3.7.3 Kalsium

Kalsium i vatn har òg sitt opphav i berggrunn og lausmassar. Som vist i likning 3.10 vert altså kalsium frigjeve til vatn ved vitring av pyroksen. Kjemisk nedbryting av amfibolar og Ca-plagioklas vil òg gi auka konsentrasjonar av Ca^{2+} i grunnvatn. Det høgaste innhaldet av kalsium i vatn finn ein der ein har kalsittmineral i grunnen. Kalsitt løyser seg lett opp og frigjev Ca^{2+} og CO_3^{2-} til vassfasen. Frå dei 72 lausmassebrønnane omtala i Banks et al. (2000) låg snittkonsentrasjonen av Ca^{2+} i grunnvatnet på 10,6 mg/l.

3.7.4 Karbonatsystemet

Karbonsyre spelar ei sentral rolle i samspelet mellom vatn og grunn. Denne syra dannast når karbondioksid løyser seg i vassdråpar i atmosfæra, sjå likning 3.11. Dette er årsaka til at elles upåverka regnvatn held ein rimeleg låg pH på omlag 5,7. I rotsona føregår stor biologisk aktivitet som frigjev karbondioksid, og gjer til at partialtrykket av gassen i vatnet aukar. Dermed vil større mengder karbonsyre dannast her, og pH i vatnet minkar ytterlegare.



Det karbonsure vatnet vil bidra til vitring av mineral nedover frå rotsona. Kalsitt er lettløseleg i surt miljø, og vil ved oppløysing frigi kalsiumion til vassfasen (Brattli, 2009).

3.8 Vern av vasskjelder

For å sikre god kvalitet på drikkevatt frå ei grunnvasskjelde må området rundt kjelda sikrast. I tillegg til sikring av sjølve brønntoppen med overbygg og hindring av tilsig er det vanleg å dele det verna området inn i tre soner med aukande avstand frå produksjonsbrønnane og tilhøyrande minkande restriksjonar for bruk ([Eckholdt, 1992](#)).

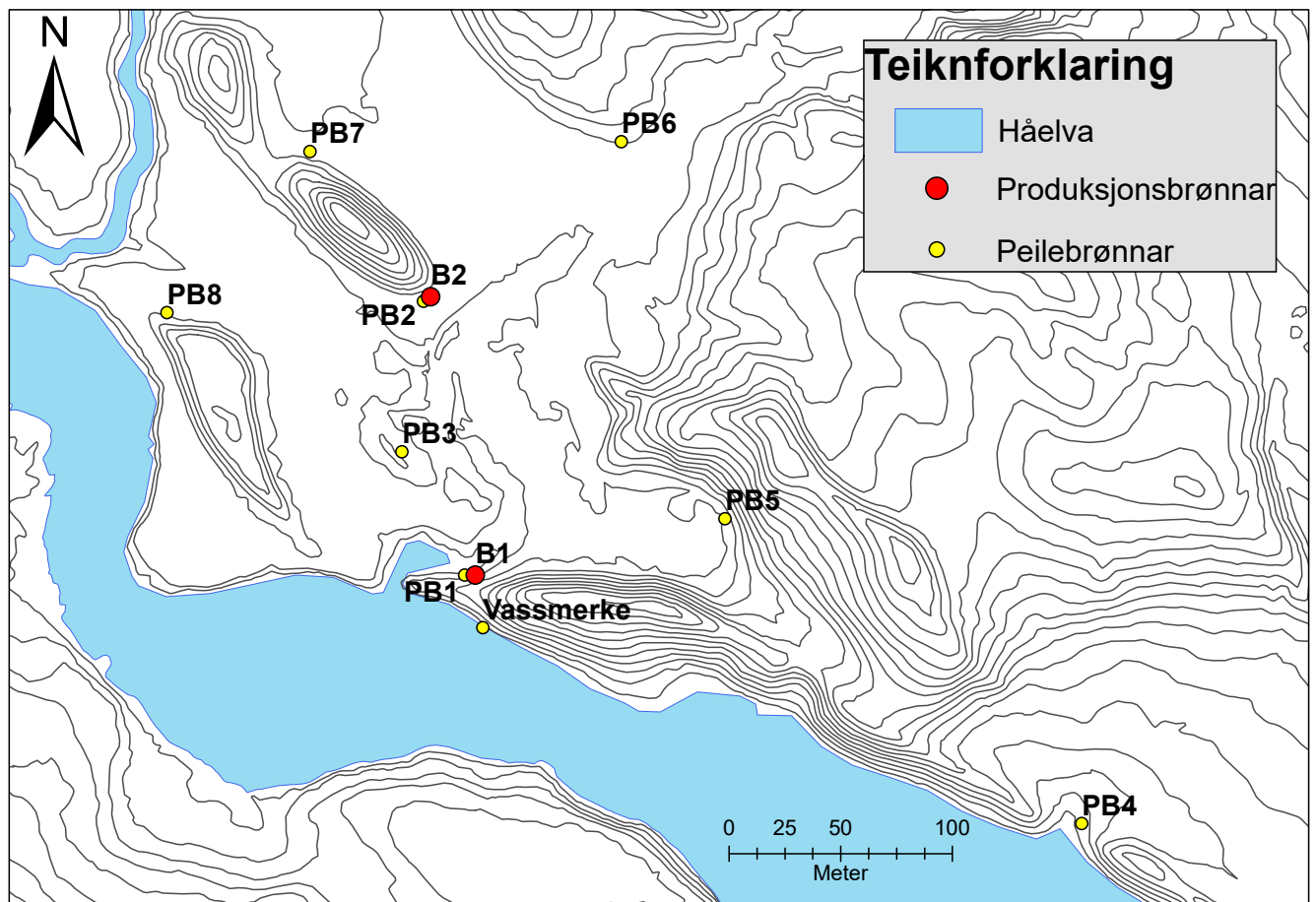
Sone 1 er det nære tilsigsområdet, og er fastsett ved utrekning av 60-døgersona; det arealet av akviferen som evnar å halde det totale volumet vatn som pumpast ut av kjelda i løpet av 60 døger. Grunnen til at 60 døger er fastsett grenseverdi, er fordi koliforme bakteriar i grunnvatn døyr innan 60 døger. Innanfor 60-døgersona vil infiltrert vatn ha lågare opphaldstid før utpumping, og det stillast difor krav til at fekal ureining ikkje skal førekome innanfor denne sona. Anna ureinande aktivitet er heller ikkje tillete her, som jordbruk, industri og uttak av lausmassar. Skogbruk kan tillatast når det utførast med varsemd.

Sone 2 er det fjerne tilsigsområdet, og skal omfatte alt areal der utpumpa vatn vert infiltrert. Her er fulldyrka mark, busetnad, sikra oljetankar og kloakkleidningar uynskt, men kan vurderast tillete under spesielle tilhøve. Beitebruk av dette området er normalt ok.

Sone 3 er det ytre verneområdet, og skal famne om areal lenger unna vasskjelda som kan verke inn på grunnvasskvaliteten. Industri som vert sett på som ureinande er difor ikkje lov innanfor denne sona, men aktivitetar tilknytt lågare risiko som sikra oljetankar, utslepp av gråvatn, jordbruk og offentlege vegar kan normalt tillatast.

Kapittel 4

Metode



Figur 4.1: Kartet over viser prosjektområdet med plassering av både produksjons- og peilebrønner, samt høgdekoter som viser eskerane som stikk opp av eit elles flatt terreng. Modifisert etter [Kartverket \(2016\)](#).

Datainnsamling knytt til denne oppgåva har vore utført både i felt og i laboratorie. Frå felt nyttast målingar av vassnivå frå trinntesting av brønnane og fullskala prøvepumping. I tillegg vart det teke ut masse- og vassprøvar i felt. I laboratorie er det vorte utført kornfordelingsanalyser og XRD av masseprøvane frå brønnane. I det fylgjande kapitlet er utføringa av desse metodane skildra.

4.1 I felt

4.1.1 Uttak av lausmasse- og vassprøvar

Måndag 24. oktober 2016 vart peilebrønn 2 (PB2) bora med handheldt utstyr ned til 19 meter djup, og masseprøvar vart tekne ved 8.5-9, 15-16.5, 16.5-18 og 20 meter under bakkenivå. Brønnen vart først vaska ut for massar som var komne inn i røyret under boring, og vatnet som vart pumpa ned i brønnen forsvann så godt som umiddelbart ut i akviferen. Deretter kopla ein til pumpa og starta å pumpe opp vatn frå brønnen. Vatnet vart klårt etter om lag 10 minuttar. Ved dei oppgjevne djupa vart det første vatnet pumpa opp i bøtter der sedimentet kunne legge seg. Herfrå tok ein ut masseprøvar på 2-3 kg frå heile profilet i bøtta. Desse vart tekne med til vidare analyse på laboratoriet ved IGP.

Vassprøvar vart tekne på 15, 17 og 18 meter djup i PB2. Frå kvar av desse djupa lét ein vatnet bli klårt før ein tok to prøvar av vatnet i prøveflasker av polyetylen. Den eine prøven vart teken direkte frå pumpe slangan i ei 500 ml flaske, medan den andre prøven vart filtrert gjennom eit 0,45 μm filter opp på ei 100 ml flaske. Den minste prøven vart filtrert for å kunne bli analysert for kation og anion. I tillegg til dette målte ein temperatur og konduktivitet av opppumpa vatn i kvart av dei tre djupa. Konduktivitetsmålaren brukt til dette heiter *WTW kond330i*. Ein tommelfingerregel seier at grunnvatn i eit godt reservoar held ein temperatur i området rundt snittleg årstemperatur for det aktuelle området (Ensbj, 1990).

Ved brønn 1 (B1) vart masseprøvar tekne av Birger Embrik Kaslegard i Hallingdal Brønn- og Graveservice AS ved 11, 14, 17 og 20 meter djup. Vassprøvar vart ikkje tekne frå denne brønnen før prøvepumpinga starta, men analysar føreligg frå PB1 like ved. I PB1 var vassprøvar tekne frå 12-13,5 m, 15-16,5 m og 17,2-18,7 m djup. Vassprøvane vart analyserte ved Analysesenteret i Trondheim.

Tabell 4.1: Tabellen viser ei oversikt over kva tid vassprøvar er teke frå dei ulike brønnane.

Månad	B1	B2	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	Pb5	Pb6	Pb7	Pb8
mai 2016						✓				
august 2016			✓		✓					
januar 2017	✓	✓								
februar 2017	✓	✓								
mars 2017	✓	✓								

Resultata frå vassprøvane tekne før pumping starta er viste i tabell 5.5. I tillegg til vassprøvar tekne ut under forundersøkingane av feltet, har det vore teke ut prøvar frå produksjonsbrønnane undervegs i prøvepumpinga. Ei oversikt over dei vassprøvane studiet er basert på, kva tid dei er tekne og i kva brønn, er vist i tabell 4.1.

4.1.2 Trinntesting av produksjonsbrønnar

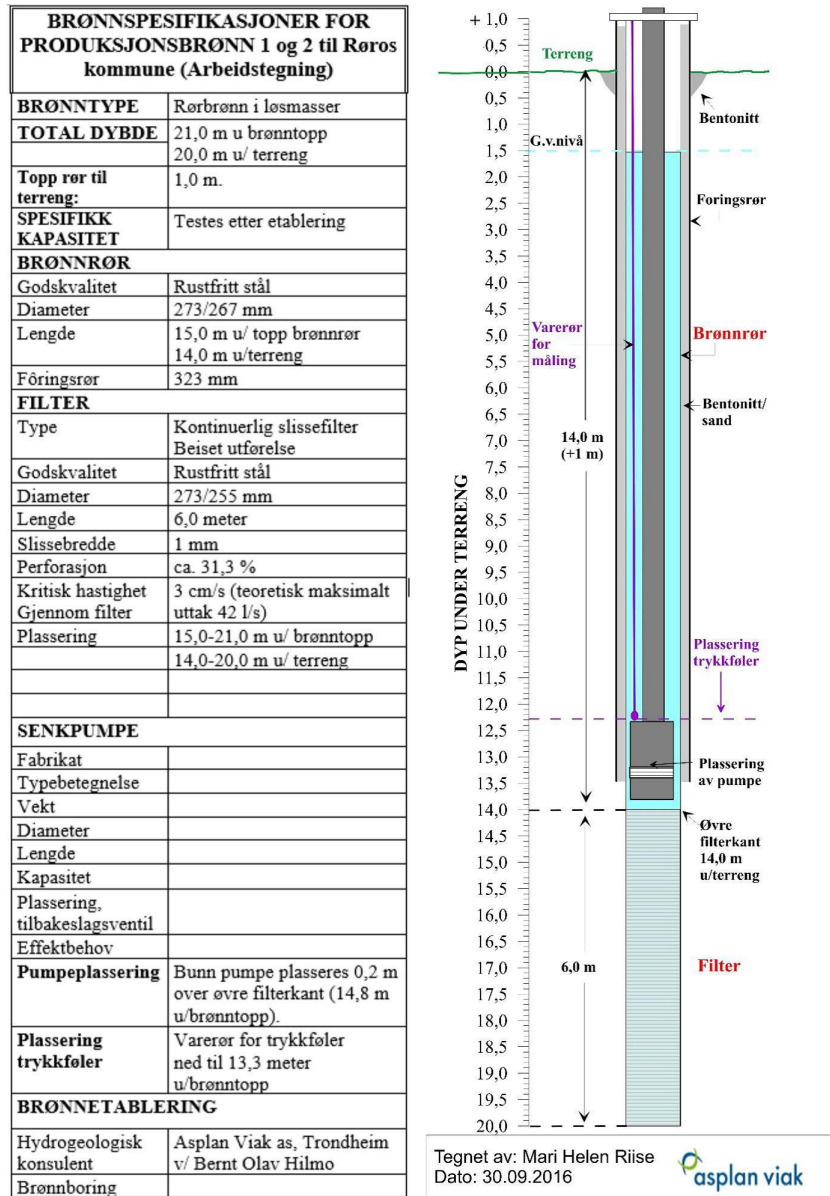
Trinntesting utførast for å avgjere vassgjevarevna til ein brønn og hydrogeologiske parametrar til akviferen brønnen står i. I Mølmansdalen vart brønntestar gjennomført torsdag 20. januar 2017, først av brønn 1, seinare av brønn 2. I trin 1 i testen av B1 vart pumpa stilt til 35 Hz der ho pumpa 33 l/s. Vasstanden vart målt kvart minutt i pumpebrønnen (B1) dei første 10 minuttane, medan endringane var størst. Etter det målte ein ved større tidsintervall. Nivået vart òg målt med jamne mellomrom i den næraste peilebrønnen (PB1). Målingane heldt fram til saman 30 minuttar sidan nivået stabiliserte seg innan denne tid. I neste steg gjekk pumpa på 45 Hz der ho pumpa 43 l/s, og same prosedyra vart fulgt. I tillegg til vasstandar vart den elektriske konduktiviteten og temperaturen i vatnet målt i kvart trin.

Tre trin vart logga for B2, på same måte som for B1. I trin 1 gjekk pumpa på 28 Hz der pumpe-raten var 23 l/s, og vasstanden vart peila til saman 33 minuttar. Ein frekvens på 35 Hz i neste trin gav ein pumperate på 31 l/s, og peilinga heldt fram i 30 minuttar. I det siste trinnet kom 42 l/s ved ein frekvens på 45 Hz, og siste peiling vart teken 35 minuttar etter den siste frekvensjuste-ringa. Oversikt over trin, frekvens, pumperate, elektrisk konduktivitet og temperatur for dei to trinntestane er viste i tabellane 5.1 og 5.2 under *Resultat*. Vasstandane frå trinntestinga av begge brønnane er presenterte i same sekvens, figurar 5.5 og 5.6, samt lagt ved i tabellform i Appendiks.

4.1.3 Fullskala prøvepumping

Dei to prøvepumpingsbrønnane til magasinet i Mølmannsdalen vart bora av Hallingdal Brønn og Graveservice AS, ved hjelp av ein *Nemec* rigg. Foringsrøyrret har ein diameter på 323 mm og inneheld brønnrøyrret og filterrøyrret på høvevis 273/267 og 273/255 mm diameter. Brønnane vart bora ned til 20-21 m under terrenget, og har filter med 1 mm slissebreidd i dei nedste 6 m av brønnane. Brønnpumpa er plassert 0,2 m over filterrøyrret og ein trykkmålar er montert over pumpa, sjå arbeidsteikning med spesifikasjonar i figur 4.2.

Etter at trinntestane var ferdig utført den 20. januar 2017 lét ein pumpene fortsette å pumpe ei vassmengd litt over dimensjonerande uttak på 25 l/s. Under prøvepumpinga vert vassnivå registret i alle peilebrønnane i magasinet ved jamne mellomrom, og det vert òg teke ut fleire sett med nye vassprøvar for bakteriologisk og fysisk- kjemiske analysar. Desse prøvane er tekne ut av kommunalt tilsette ved Røros kommune og analyserte ved Matråd Analyse og Rådgjeving. Utviklinga i vassnivå i produksjons- og peilebrønnane er viste i figur 5.7. Resultata frå fysisk- kjemiske analysar er presenterte i tabell 5.6 og 5.7. På grunnlag av målingane av vassnivå kan influens-området, området av magasinet som vert påverka av vassuttaket, avgrensast. Målingane vil òg kunne fortelje om kapasiteten til reservoaret og gi grunnlag for fastsetting av klausuleringssone- ne til eit eventuelt grunnvassanlegg ([Rueslåttén, 2010](#)). Frå vassanalysane får ein kartlagt korleis vasskvaliteten utviklar seg over tid og gjennom året med vekslende nedbør og vassføringar i nær- liggande vassdrag. Datagrunnlaget for denne oppgåva er noko tynt i så måte, då til dømes data frå vårflaum ikkje inngår.



Figur 4.2: Arbeidstegning og spesifikasjoner for produksjonsbrønnene i Mølmannsdalen (Hilmo and Riise, 2016).

4.2 På laboratoriet

4.2.1 Kornfordelingsanalyser

Ein gjer kornfordelingsanalyser for å fastsette i kva grad ein masseprøve er sortert, og resultata frå slike analyser presenterast i kornfordelingskurver. Det er av interesse å kjenne graden av sortering fordi den er nær knytt til jordarten sine vassførande eigenskapar. Godt sorterte jordartar har betre vassførande eigenskapar enn tettare massar med dårlegare sortering. Kornfordelingsanalyser har vorte utført for masseprøvar i fleire nivå frå B1 og PB2 like ved B2, og frå tre av peilebrønnane som var bora under dei første undersøkingane av feltet.

Asplan Viak fekk analysert prøvar frå undersøkingbrønnane som seinare er nytta som peilebrønner (PB1, PB3 og PB4). Prøvar frå tre høgder i B1 og PB2 vart analyserte på Studentlaben ved IGP. Frå Statens vegvesen sin standard for tørrsikting, [14.432 \(2005\)](#) fann ein kor stor prøve ein trengde ved ein gitt største kornfraksjon. Ei vekt noko i overkant av den angitt i standarden vart teken ut, då prøven var våt. Vatn vart tilført og massane virvla opp for å få dei minste fraksjonane suspendert i vatnet. Vatnet vart så våtsikta gjennom ein sikt på 0,063 mm siktegjennomgang. Vatnet med suspendert materiale vart silt over i ei eldfast form, merka med brønnummer, djup, fraksjon og tom vekt. Resten av prøven vart overført til ei anna eldfast form med tilsvarende merking. Formene vart så sette i tørkeskap på 105° i om lag 24 timar.

For kvar sikt som vart nytta vart tom vekt notert i eit excel-ark. Den tørka prøven med fraksjonar større enn 0,063mm vart delt opp i porsjonar som harmonerte med tilrådde verdier i standarden, og sikta kvar for seg. Då sikten på 0,5 mm ikkje var i orden, måtte ein nytte ein sikt på 0,495 mm. Denne passa ikkje inn i siktesatsen med dei andre siktane frå 8 til 0,063 mm, og kvar porsjon prøve måtte difor siktast i tre vendingar. Først ein sats frå 8 ned til 1 mm, så gjennom 0,495mm, og til slutt gjennom ein sats frå 0,250 ned til 0,063 mm. Ei siktemaskin vart brukt til å sikte fraksjonane på plass, og kvar sikt vart kontrollsikta for hand i etterkant, sjå figur [4.3](#). For kvar sikteomgang vart kvar sikt med prøve vegen og notert i excel-arket. Seinare vart alle prøvemassane lagt saman for kvar fraksjon, og ei kumulativ kolonne som viser masse mindre enn d vart rekna ut, der d er sikteopninga. Massen frå våtsiktinga vart lagt til den minste frak-

sjonen frå tørrsiktinga. Vidare rekna ein ut kumulativ prosent mindre enn d , og plotta denne i normal skala mot d på logaritmisk skala. I prøvane frå B1 på 11 og 20 meter djup er det analysert mindre prøvar enn det som er tilrådd i standarden. Hydraulisk konduktivitet rekna ut frå kornfordelingskurver er viste i tabell 5.11 og 5.10. Kornfordelingskurvene er lagt ved i Appendiks.

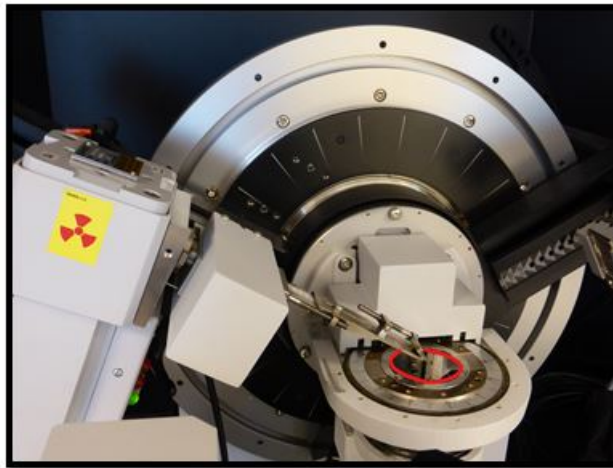


Figur 4.3: Biletet til venstre viser siktemaskina med siktesats i. Til høgre ser ein eit glimt frå kontrollsikting. Foto: Siri Ane Hestad.

4.2.2 XRD

Prøvane vart preparerte for XRD-analyse ved å knuse opp omlag 20 g av kvar prøve med ei *skive-svingmølle* med agatkammer på knuselaben ved IGP. Ved uttak av ca. 20 g prøve vart den totale prøven delt i to delar i fleire omgangar ved hjelp av ein *splittar*, slik at ein fekk ut ein prøve med lik fordeling av materiale som heile prøven. Vidare vart det oppknuste steinstøvet kompaktert på prøveplater og sette i rekkefylgje for analyse med røntgendiffraksjonsmaskina.

Røntgendiffraksjon vart utført på kjemisk- mineralogisk lab på IGP, ved hjelp av ein *Bruker D8 Advance*, sjå figur 4.4. På laboratoriet vart dataprogrammet *DiffraC.Eva* brukt til å tolke kva mineral som var i prøven, medan programmet *Topas* vart brukt til å avgjere kor stor del av prøven dei påviste minerala utgjorde. Resultata frå XRD- analysene er presenterte i tabell 5.8 og 5.9. Diffraksjonskurvene for dei analyserte prøvane er å finne i Appendiks. Røntgendiffraksjon var utført i etter prosedyrer ved instituttlaboratoriet ved IGP.



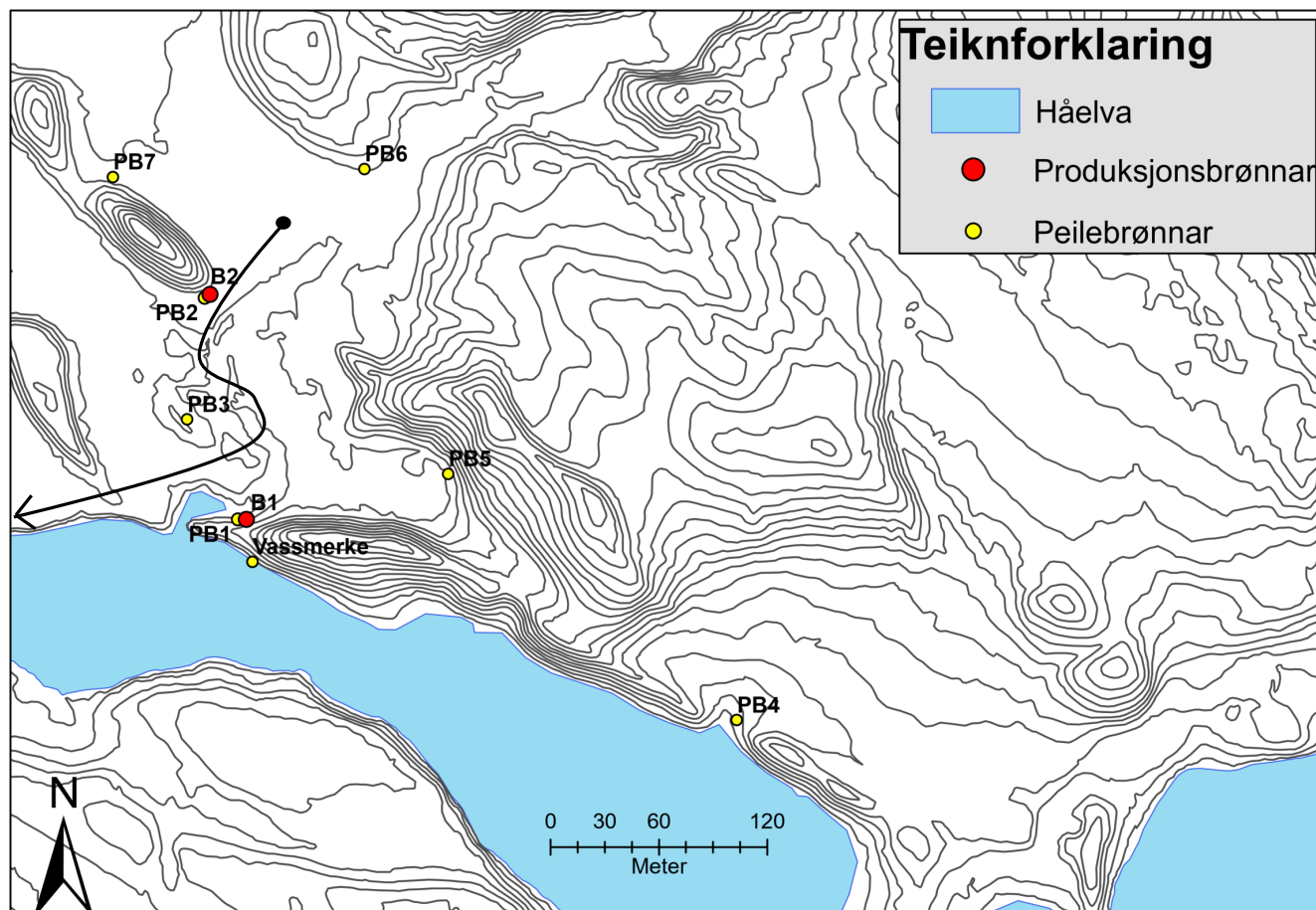
Figur 4.4: Prøven med det finknuste materialet plasserast på den markerte plassen. Røntgenrøret til venstre i biletet sender røntgenstrålar mot prøven i aukande vinkel til prøven. Foto: Siri Ane Hestad.

Kapittel 5

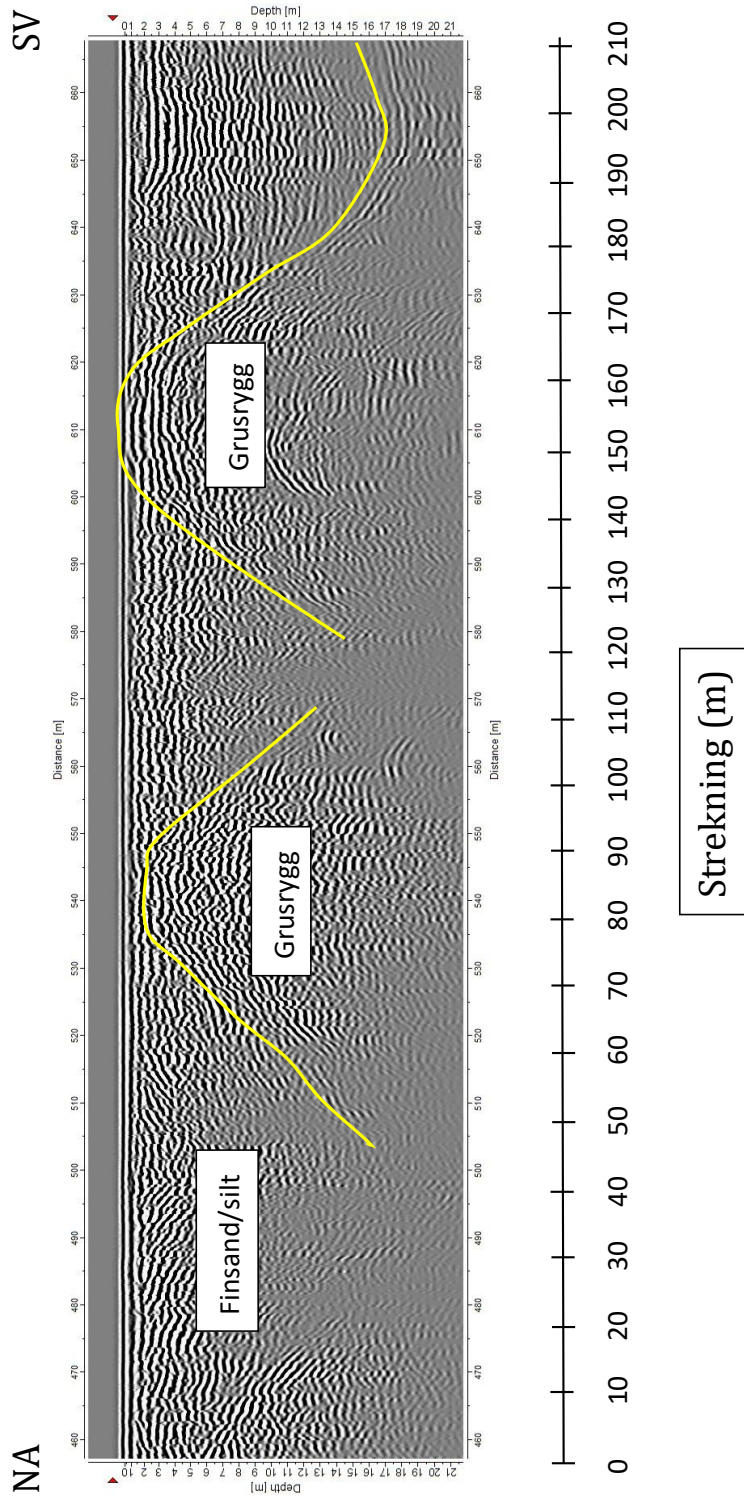
Resultat

I dette kapitlet er resultatene av alle undersøkingar med direkte relevans for oppgåva presenterte. Det meste av informasjonen føreligg som data i tabellar. Objektive kommentarar og generelle trekk i data er trekt fram i forklarande tekst undervegs. Reine rådata som ikkje diskuterast under *Diskusjon* er lagt ved i Appendiks.

5.1 Frå forundersøkingar

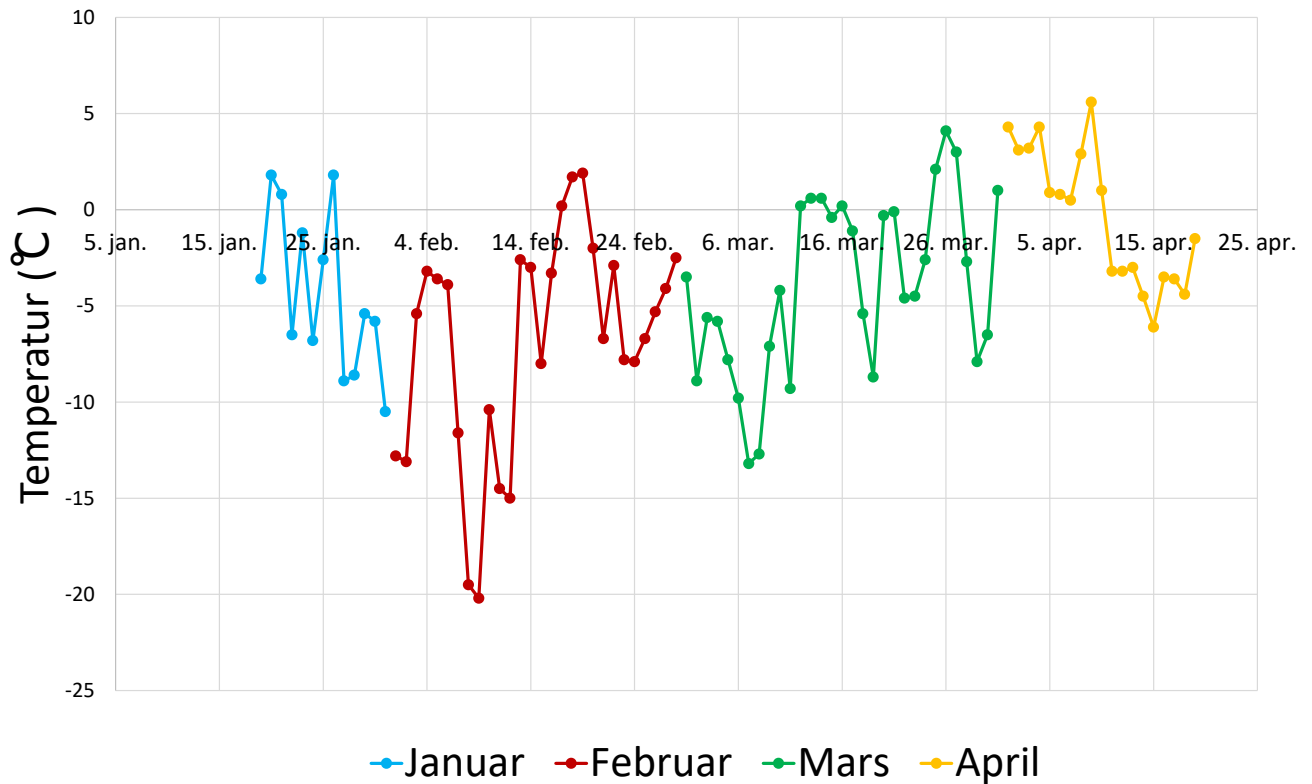


Figur 5.1: Kartet viser traséen for georadarprofilen i figur 5.2. I tillegg er alle brønnane plasserte i kartet. Modifisert etter [Kartverket \(2016\)](#).



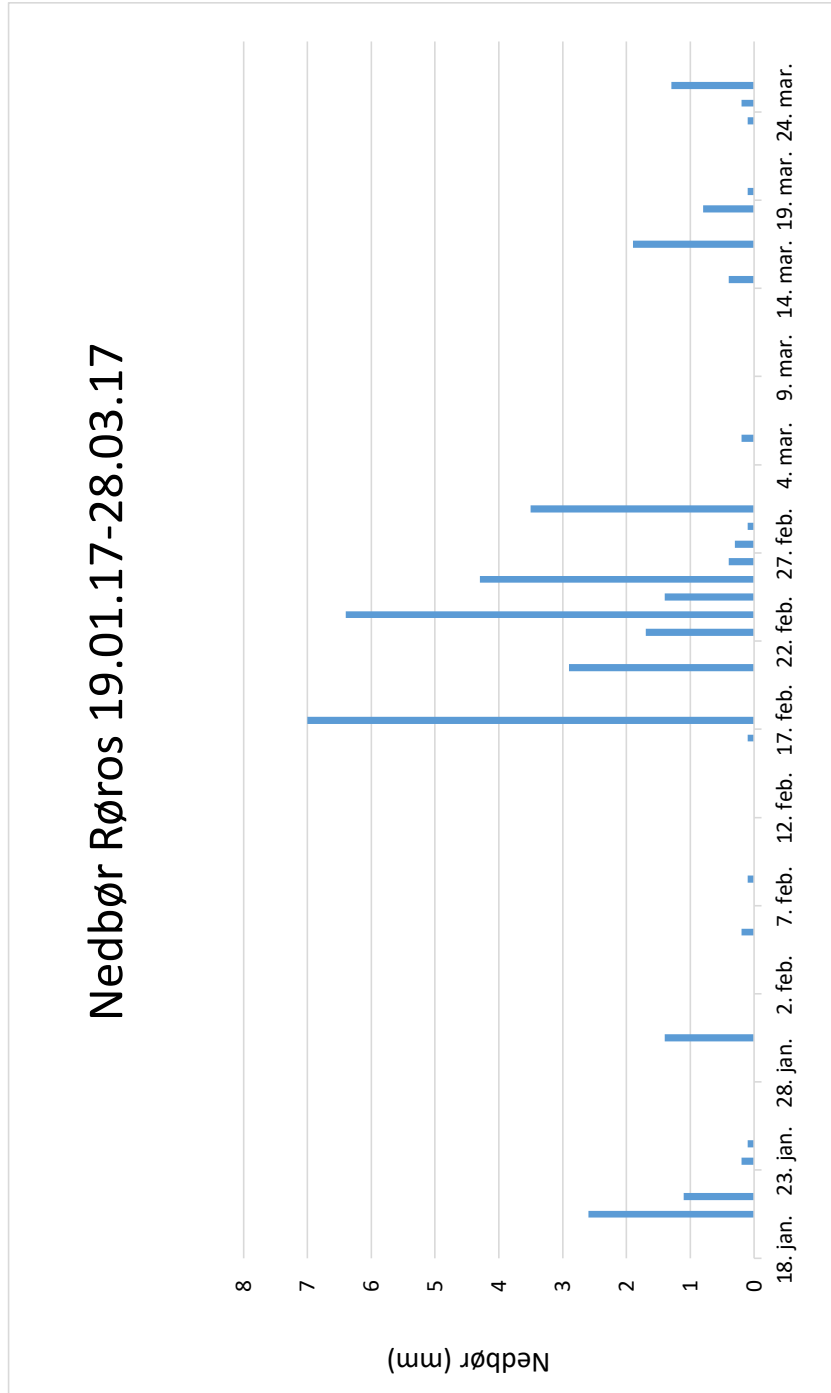
Figur 5.2: Figuren viser georadarprofil med tolking frå traséen vist i figur 5.1. Modifisert etter (Hilmo and Riise, 2016).

5.2 Metereologiske data



Figur 5.3: Grafen viser daglege snittemperaturar i tidsrommet der produksjonsbrønnane har vore prøvepumpa. Modifisert etter [Eriksen \(2017\)](#).

Temperaturen har for ein stor del lege under 0°C under prøvepumpinga. Vidare har det vore heller beskjedne mengder nedbør gjennom seinvinteren. Den mest nedbørsrike dagen gjennom vinteren var 17. februar, og då kom 7 mm nedbør. Temperaturen var på denne dagen akkurat over på plussida ($0,2^{\circ}\text{C}$).



Figur 5.4: Histogrammet viser nedbørsmengde på Røros gjennom prøvepumpingsperioden. Modifisert etter Eriksen (2017).

5.3 Trinntest

B1

Tabell 5.1: Tabellen under viser ei oversikt over målt pumperate, elektrisk konduktivitet og temperatur ved dei to trina i brønntesten av B1.

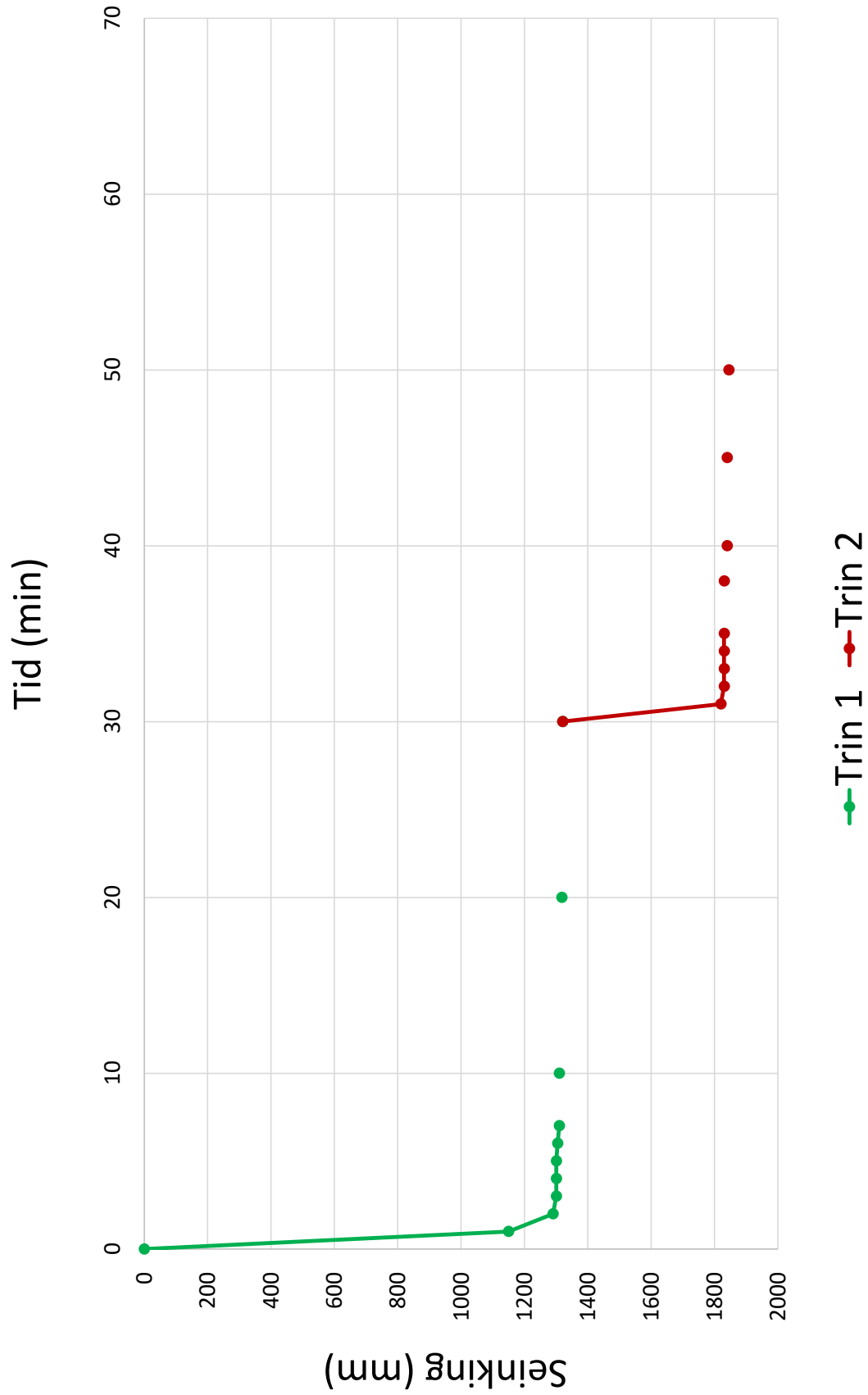
Trinn	1	2
Frekvens (Hz)	35	45
Pumperate (l/s)	33	43
Elektrisk konduktivitet (mS/m)	19,20	19,32
Temperatur (C°)	3,8	3,7

B2

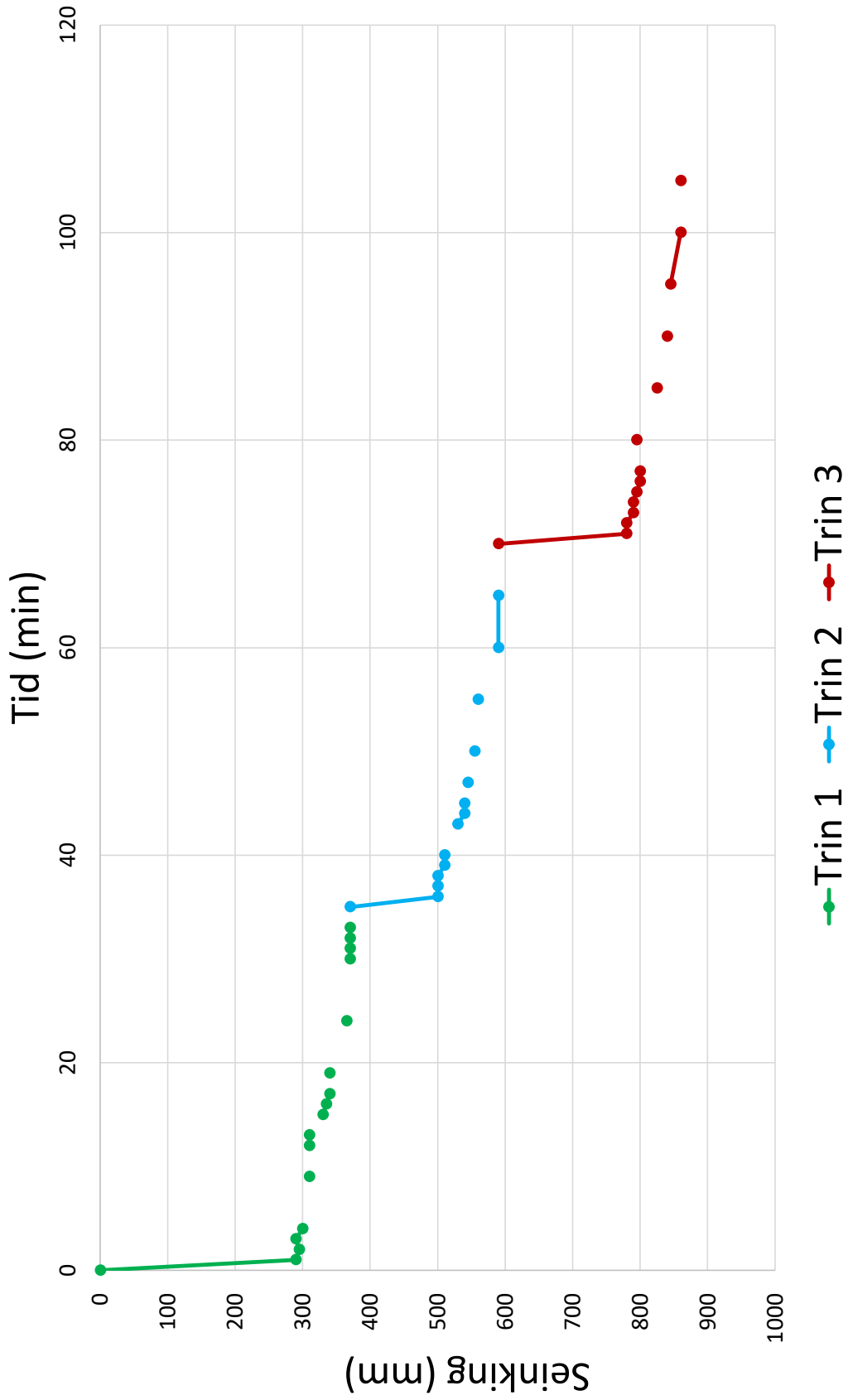
Tabell 5.2: Tabellen viser ei oversikt over målt pumperate, elektrisk konduktivitet og temperatur ved dei tre trina i brønntesten av B2.

Trinn	1	2	3
Frekvens (Hz)	28	35	45
Pumperate (l/s)	23	31	42
Elektrisk konduktivitet (mS/m)	9,42		9,60
Temperatur (C°)	3,5		3,5

Pumperaten er noko større for B1 enn for B2 ved lik frekvens på pumpa. Vidare er den elektriske konduktiviteten merkbar høgare i B1 enn i B2. Temperaturen i brønn 1 ligg litt over temperaturen i brønn 2.



Figur 5.5: Grafen viser seinking i millimeter som funksjon av tid, målt under trinntest av B1.



Figur 5.6: Grafen viser seinking i millimeter som funksjon av tid, målt under trinntest av B2.

Ein ser frå desse kurvene at vassnivået synk i starten av kvart trin, for så å stabilisere seg. Nivået synk att i starten av neste trin fordi pumperaten vert sett opp, og meir vatn vert pumpa ut. Det er kun utført to trin for B1, medan tre trin er logga for B2.

5.4 Fullskala prøvepumping

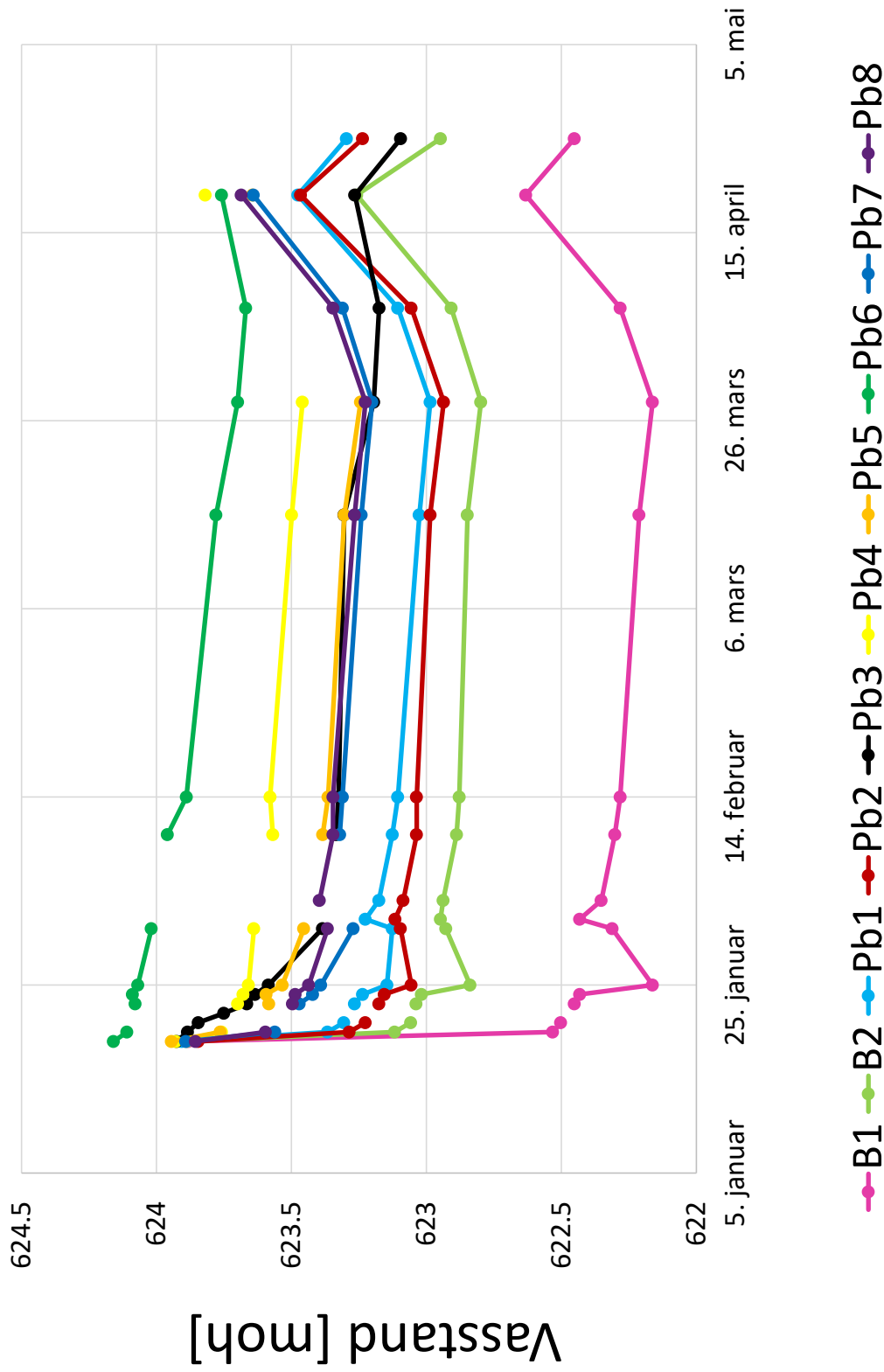
Seinkinga i alle brønnane undervegs i prøvepumpinga er presenterte i tabell og kurve på dei to neste sidene.

Nivået i produksjonsbrønn B1 synk med 1,35 meter i løpet av det første døgeret, medan seinkinga i same tidsrom for B2 er 0,77 meter. For dei næraste peilebrønnane PB1 og PB2 synk vasstanden omlag ein halv meter. I resten av peilebrønnane varierer seinkinga mellom 4 og 33 cm i løpet av første døgeret. Lågast ligg PB3 og PB6 med 4 og 5 cm, høgst ligg PB7 og PB8 med 33 og 26 cm. Etter nokre dagar fortset vasstanden å synke med svært låg gradient, heilt til ein får straumbrot og pumpestopp mot slutten av datagrunnlaget, og nivået stig som fylgje av det. For oversikt over brønnplasseringar, sjå figur 4.1. Desse data er òg presenterte i kurver i figur 5.7.

Tabell 5.3: Tabellen under viser utvikling i peilenivå ved dei to produksjonsbrønnane samt dei 8 peilebrønnane. Alle måla er oppgjevne i meter over havet.

Dato	B1	B2	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	Pb5	Pb6	Pb7	Pb8	Hævla
19.01.17	623,882	623,888	623,906	623,846	623,925	623,929	623,944	624,159	623,891	623,856	
20.01.17	622,532	623,118	623,366	623,286	623,885	623,759	623,764	624,109	623,561	623,596	623,783
21.01.17	622,502	623,058	623,306	623,226	623,845						
22.01.17					623,750						
23.01.17	622,452	623,038	623,266	623,176	623,665	623,699	623,584	624,079	623,471	623,496	
24.01.17	622,432	623,018	623,236	623,156	623,635	623,679	623,594	624,089	623,421	623,486	
25.01.17	622,162	622,838	623,146	623,056	623,585	623,659	623,534	624,069	623,391	623,436	
31.01.17	622,312	622,928	623,126	623,096	623,385	623,639	623,454	624,019	623,271	623,366	
01.02.17	622,432	622,948	623,226	623,116							
03.02.17	622,352	622,938	623,176	623,086						623,396	
10.02.17	622,302	622,888	623,126	623,036	623,335	623,569	623,384	623,959	623,321	623,346	
14.02.17	622,282	622,878	623,106	623,036	623,325	623,579	623,364	623,889	623,311	623,346	
16.03.17	622,212	622,848	623,026	622,986	623,305	623,499	623,304	623,779	623,241	623,266	
28.03.17	622,162	622,798	622,986	622,936	623,195	623,459	623,244	623,699	623,201	623,226	
07.04.17	622,282	622,908	623,106	623,056	623,175			623,669	623,311	623,346	623,753
19.04.17	622,632	623,258	623,476	623,466	623,265	623,819	623,644	623,759	623,641	623,686	623,723
25.04.17	622,452	622,948	623,296	623,236	623,095						

Utvikling i vassnivå i alle brønnane 19.01.17-25.04.17

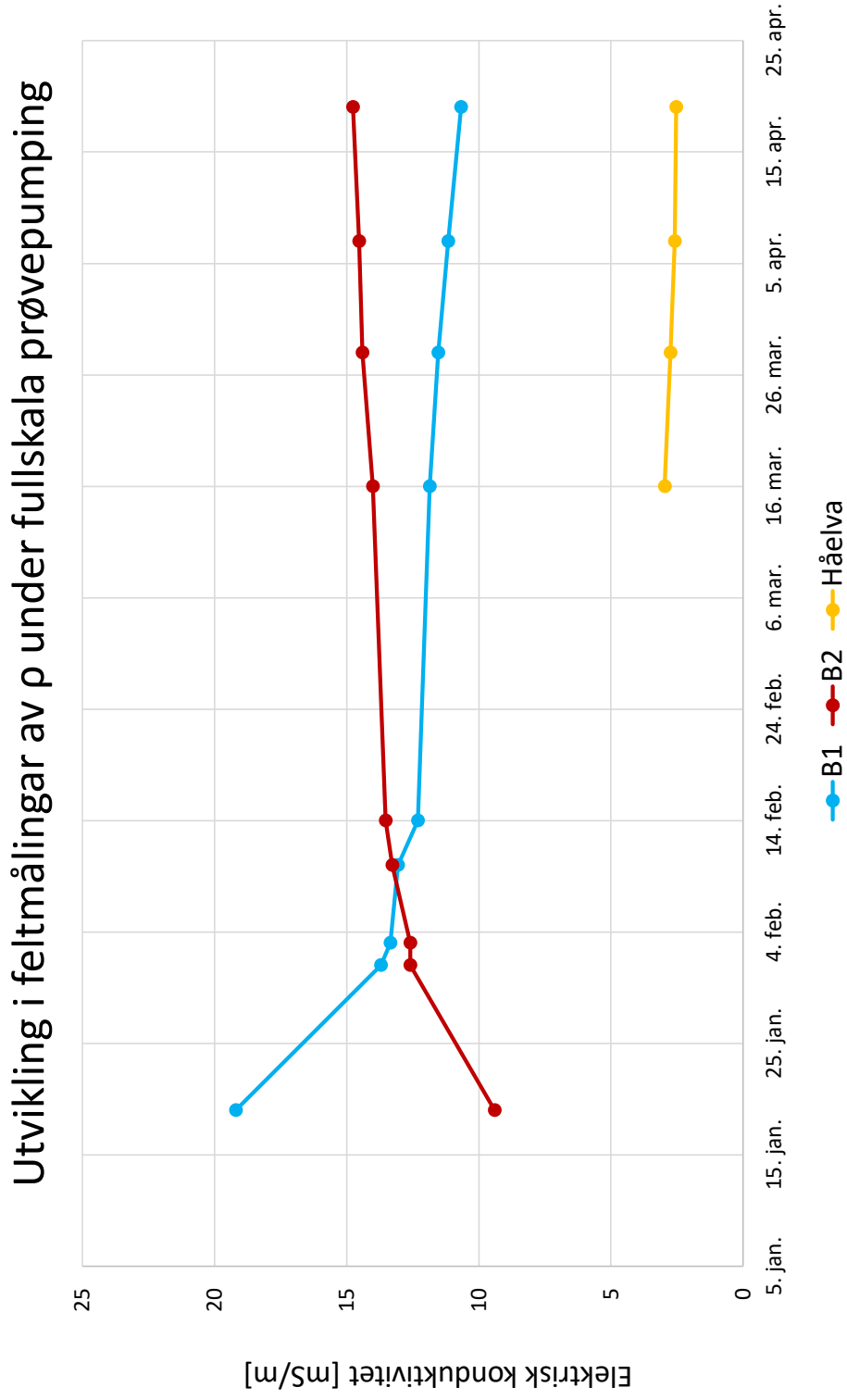


Figur 5.7: Grafen viser utviklinga av vasstanden i alle brønnane ved fullskala prøvepumping.

Tabell 5.4: Tabellen viser utvikling i elektrisk leiingsevne og temperatur i B1 og B2, målt i felt under fullskala prøvepumping.

Dato	B1		B2		Håelva	
	El.kond (mS/m)	Temp (C ^o)	El.kond (μS/m)	Temp (C ^o)	El.kond (μS/m)	Temp (C ^o)
19.01.17	19,20	3,8	9,40	3,5		
01.02.17	13,70	3,6	12,60	1,8		
03.02.17	13,35	4,1	12,59	3,6		
10.02.17	13,06	3,9	13,28	3,4		
14.02.17	12,30	4,2	13,53	3,7	12,97	3,5
16.03.17	11,85	4,6	14,00	3,9		
28.03.17	11,54	4,4	14,40	3,9	2,76	0,3
07.04.17	11,16	4,7	14,52	4,0	2,59	0,7
19.04.17	10,67	4,2	14,76	4,0	2,53	2,6

Her kan ein sjå at det skjer ei utvikling i den elektriske konduktiviteten i dei to produksjonsbrønnane. Ved pumpestart er konduktiviteten vesentleg høgare for B1 enn for B2. Etter ei tid med pumping synk den elektriske konduktiviteten i B1 samstundes som den aukar i B2, og denne trenden held fram òg etter at verdiane i dei to brønnane omlag er like rundt den 10. februar. Dermed er den elektriske konduktiviteten høgst i B2 etter dette tidspunktet, utan at denne trenden viser teikn til å sakke av pr. 19. april. Temperaturen ligg jamnt høgt i begge brønnane, med ein tendens til høgare temperatur i B1 enn i B2. Temperaturen i B2 frå 1. februar er truleg ei feilmåling, då denne skil seg frå dei andre målingane utan at ein har noko grunn til det. Tydeleg er det òg at målingane i Håelva 14. februar er feil. Denne dagen er det opplyst om at målingane var teke i ei råk i isen like sør for vassmerket, sidan dette var einaste staden Håelva var opa. Denne råka eksisterte fordi utpumpa vatn frå begge brønnane er slept ut her. Difor ligg målingane for denne dagen på verdiar som for grunnvatn, og desse skal det dermed ikkje takast omsyn til.



Figur 5.8: Grafen viser utviklinga i elektrisk leiingsevne målt i felt over tid medan prøvepumping pågår. Nokre målingar i elvevatnet er òg målte i felt, og desse er viste i grafen.

5.5 Fysisk-/kjemiske vassanalysar

5.5.1 Upåverka tilstand

Tabell 5.5 viser fysisk-kjemiske analyseresultat av vassprøvar tekne før prøvepumpinga starta, og desse data illustrerer difor akviferen i uforstyrra tilstand. Resultata viser at den elektriske konduktiviteten stort sett ligg mellom 12 og 21 mS/m og at verdien aukar med djupet i dei to brønnane der prøvar er tekne ved fleire djup. Verdien er lågast med 7,8 mS/m på grunt djup i PB4 som ligg svært nært elvebreidda til Håelva. Konsentrasjonen av dei vanlegaste iona aukar òg mot djupet. Konsentrasjonen av kalsium ligg stort sett mellom 10 og 20 mg/l, medan magnesium ligg mellom 5 og 8 mg/l. pH ligg jamnt over rundt 7, og fargetalet ligg under deteksjonsnivå i alle prøvane bortsett frå den som er teken i PB3, men òg denne er innanfor tilrådd grense. Innhaldet av jern og mangan held seg innanfor grenseverdiane sett i *Drikkevassforskrifta*. Innhaldet av jern er høgst i PB3.

Tabell 5.5: Tabellen under viser resultat frå fysisk-/kjemiske analysar for vassprøvar i PB1, PB3 og PB4. Alle prøvane var tekne før oppstart av storskala pumping, og resultatata presenterer difor akviferen i upåverka tilstand.

Parameter	PB1			PB3			PB4			Grenseverdi	Eining	
	12-13,5	15-16,5	17,2-18,7	13,5-15	4,5-6	7,5-9	10,5-12	7,8	1,0			3,4
Djup(m)	12-13,5	15-16,5	17,2-18,7	13,5-15	4,5-6	7,5-9	10,5-12	7,8	1,0	3,4	50	µg/L
Mangan	0,6	0,7	2,0	1,7	7,8	1,0	3,4	7,8	1,0	3,4	50	µg/L
Jern	26,3	24,2	40,6	86,7	15,9	9,8	25,5	15,9	9,8	25,5	200	µg/L
Turbiditet	5,5	0,67	7,5	16	11	2,0	18	11	2,0	18	4	FNU
Farge	<1	<1	<1	4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	20	mgl-1Pt
Konduktivitet	16,9	18,3	21,0	12,5	7,8	12,5	15,8	7,8	12,5	15,8		mS/m
pH v/25°C	7,4	7,4	7,4	6,5	6,9	7,2	7,2	6,9	7,2	7,2		
Kalsium	19,9	22,7	27,6	10,7	6,21	14,1	17,6	6,21	14,1	17,6		mg/L
Natrium	2,11	2,17	2,22	2,75	1,67	1,76	1,82	1,67	1,76	1,82		mg/L
ICP-5	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok		
Klorid	2,59	2,72	3,72	4,95	1,32	1,65	1,86	1,32	1,65	1,86		mg/L
Magnesium	6,72	7,18	8,09	6,34	4,27	5,87	7,38	4,27	5,87	7,38		mg/L
Sulfat	8,87	9,49	11,8	9,29	4,75	6,37	7,89	4,75	6,37	7,89		mg/L
Nitrat	550	550	600	350	75	100	150	75	100	150		µgN/L
Filtering metall	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	500	µgN/L

5.5.2 Under pålast

Tabell 5.6: Tabellen under viser resultat frå fysisk-/kjemiske analysar for B1 for fleire prøvetidspunkt.

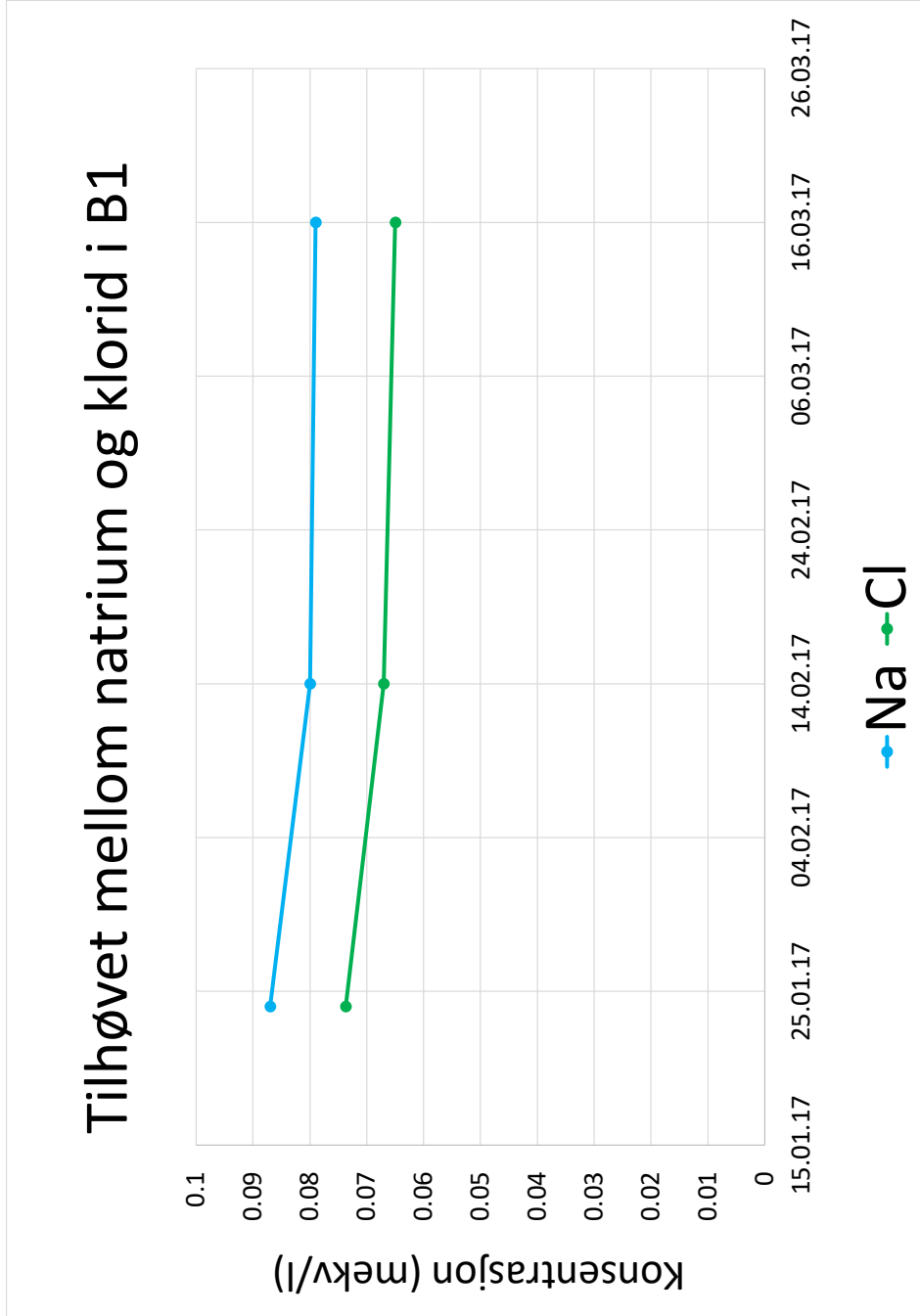
Parameter	24.01.17	14.02.17	16.03.17	Grenseverdi	Eining
Alkalitet		1,1		0,6 - 1,0	mmol/l
Mangan	<0,005	<0,005	<0,005	<0,05	mg/L
Jern	<0,005	<0,005	<0,005	<0,2	mg/L
Turbiditet	<0,10	<0,10	<0,10	4	FNU
Farge	<2	<2	<2	20	mgl-1Pt
Konduktivitet	17,1	14,3	13,4	250	mS/m
pH v/25°C	7,2	7,3	7,0	6,5-8,5	
Kalsium	22,7	19,2	17,0		mg/L
Natrium	2,00	1,85	1,82	200	mg/L
ICP-2	ok				
Klorid	2,58	2,38	2,30	200	mg/L
Magnesium		5,12			mg/L
Kalium		1,01			mg/L
Aluminium		1,2			µg/L
Sulfat		7,45			mg/L
Ammonium		<10		500	µgN/L
Nitrat		250		10.000	µgN/L
Clostridium perfringens		<1	<1	<1	cfu/100ml
Intestinale enterokokkar		<1	<1	<1	cfu/100ml
E.coli		<1	<1	<1	cfu/100ml
Koliforme bakteriar		<1	<1	<1	cfu/100ml
Kimtal 22°C	1	Ikkje påvist	3	100	cfu/ml

Resultata frå labanalyser av vassprøvane frå B1 viser verdiar under deteksjonsgrensa for mangan, jern, turbiditet, fargetal og alle dei spesifiserte bakteriane på alle prøvetidspunkta. Kimtalet varierer noko, men verdiane er svært låge. Til liks med feltmålingane, minkar òg verdiane av elektrisk konduktivitet frå laboratoriet utover pumpeperioden. Verdiane frå lab er noko høgare enn verdiane målte i felt for same dag, sjå figur 5.4 for samanlikning. pH-verdien på vatnet ligg rundt 7 og konsentrasjonen av kalsium minkar frå 22,7 til 19,2 og vidare ned til 17,0 mg/l frå første til tredje prøvetidspunkt. Minke gjer òg konsentrasjonane av natrium og klorid frå første til tredje vassprøve. Alkaliteten er målt til 1,1 mmol/l 14.02.17.

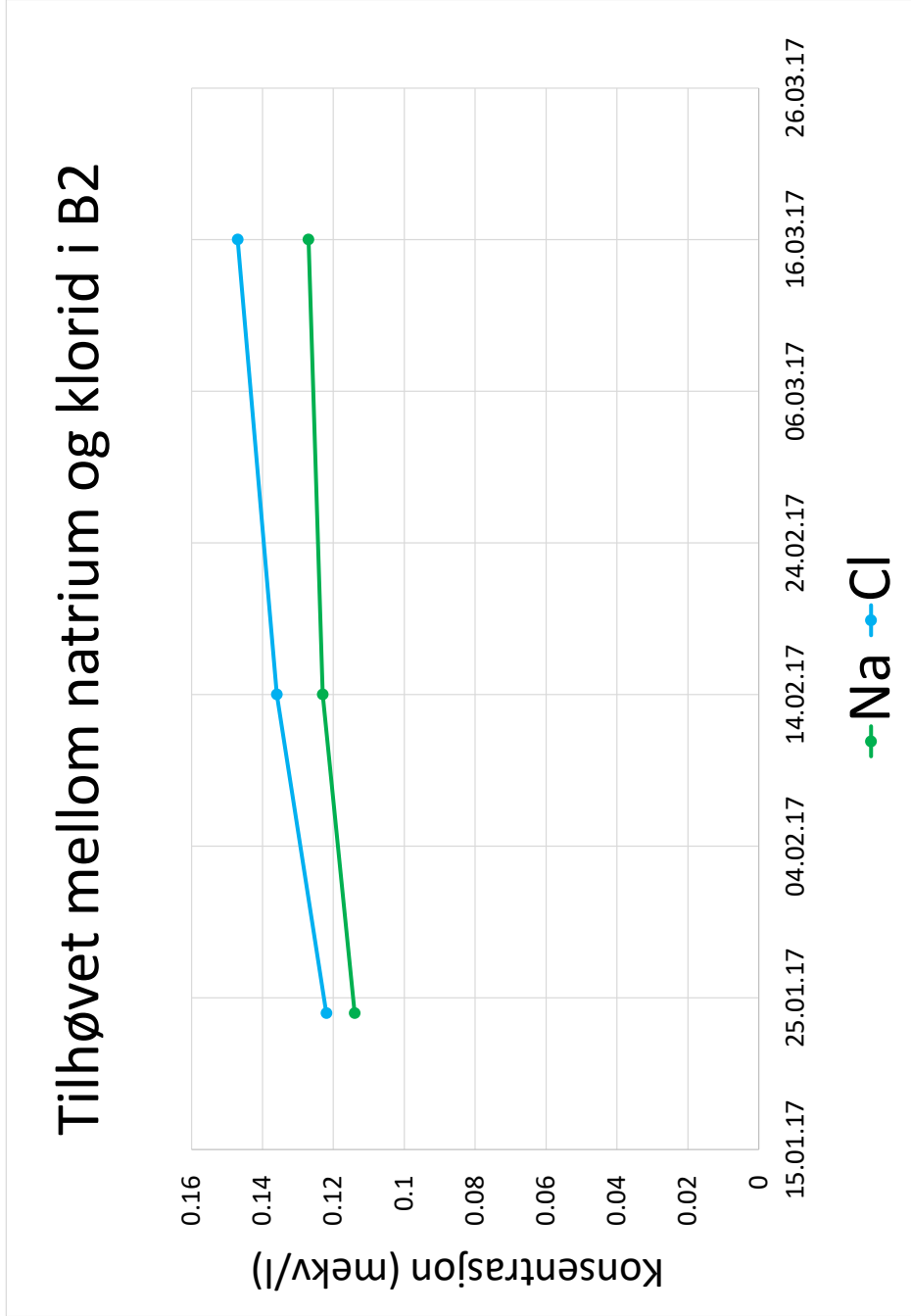
Tabell 5.7: Tabellen under viser resultat frå fysisk-/kjemiske analysar for B2 for fleire prøvetids-punkt.

Parameter	24.01.17	14.02.17	16.03.17	Grenseverdi	Eining
Alkalitet		0,9		0,6 - 1,0	mmol/l
Mangan	<0,005	<0,005	0,008	<0,05	mg/L
Jern	<0,005	<0,005	<0,005	<0,2	mg/L
Turbiditet	<0,10	<0,10	<0,10	4	FNU
Farge	<2	<2	<2	20	mg/l-1Pt
Konduktivitet	12,3	15,0	15,8	250	mS/m
pH v/25°C	6,6	7,1	6,7	6,5-8,5	
Kalsium	9,68	12,6	13,6		mg/L
Natrium	2,63	2,83	2,92	200	mg/L
ICP-2	ok				
Klorid	4,33	4,81	5,21	200	mg/L
Magnesium		8,84			mg/L
Kalium		1,33			mg/L
Aluminium		2,0		<200	µg/L
Sulfat		9,12			mg/L
Ammonium		<10		500	µgN/L
Nitrat		370		10.000	µgN/L
Clostridium perfringens		<1	<1	<1	cfu/100ml
Intestinale enterokokkar		<1	<1	<1	cfu/100ml
E.coli		<1	<1	<1	cfu/100ml
Koliforme bakteriar		<1	<1	<1	cfu/100ml
Kimtal 22°C	6	Ikkje påvist	Ikkje påvist	100	cfu/ml

Prøvane frå B2 viser òg verdiar under deteksjonsgrensa for jern, turbiditet, fargetal og alle dei undersøkte bakteriane. Kimtalet var 6 i første prøven, og sidan det har det ikkje vore påvist kimtal i det heile. Manganinnhaldet ligg under deteksjonsgrensa i dei første to prøvane, men kjem opp på 0,008 mg/l i analysa frå 16.03.17. Denne verdien ligg uansett under grenseverdien. Leiingsevna frå lab aukar slik som feltmålingane òg gjer det, men verdiane ligg jamnt over høgare frå lab enn feltmålingane, slik dei òg gjer det for B1. Konsentrasjonane av kalsium, natrium og klorid aukar òg etter som tida går. pH ligg i underkant av 7, noko lågare her enn i B1.



Figur 5.9: Kurva viser utviklinga i konsentrasjonen av natrium og klorid i B1. Konsentrasjonane er rekna om til mekv/l ved å dele konsentrasjonen frå analyseresultata på atomvekt. Innhaldet av natrium er noko høgare enn det av klorid. Konsentrasjonane av begge iona er svært lågt.



Figur 5.10: Kurva viser utviklinga i konsentrasjonen av natrium og klorid i B2. Konsentrasjonane er rekna om til mekv/l ved å dele konsentrasjonen frå analyseresultata på atomvekt. I denne brønnen er innhaldet av klorid noko høgare enn det av natrium. Konsentrasjonane av begge iona er svært låge her òg.

5.6 Mineralinnhald frå XRD

Tabell 5.8: Mineralinnhald B1 frå XRD

Mineral	11 m			17 m		
	<63 μm	63-125 μm	250-495 μm	<63 μm	63-125 μm	250-495 μm
Kvarts	59,68	69,69	62,03	48,81	66,73	64,44
Albitt	14,18	10,67	15,03	16,74	12,81	13,10
Muskovitt	13,97	2,15	4,72	19,77	3,93	5,51
Mikroclin	7,72	14,80	15,56	5,64	12,73	14,36
Hornblende	1,94	1,32	1,03	1,38	1,76	1,18
Diopsid	1,18	1,23	1,22	0	0	0
Kloritt	1,30	0,13	0,41	3,27	0,05	0,58
Kalsitt	0	0	0	2,35	0,16	0,12
Magnetitt	0,02	0,01	0	0	0	0
Augitt	0	0	0	2,04	1,83	0,71

Kvarts dominerer i alle dei undersøkte fraksjonane frå begge nivåa i brønn 1. Vidare ligg innhaldet av feltspaten albitt (natriumrik) jamnt rundt 14 % i begge nivå, medan det er noko meir av glimmermineralet muskovitt på 17 enn på 11 meter djup. Innhaldet av feltspaten mikroclin (kaliumrik) viser høgst innhald på det grunnaste djupet. På 17 meter djup finnast det noko kalsitt. Det kjem òg tydeleg fram at sjiktsilikatet muskovitt utgjer ein betydeleg prosent av mineralinnhaldet i den minste fraksjonen av prøvane. I dei grovare fraksjonane er dei grannulære, harde minerala kvarts og feltspat fullstendig dominerande.

Tabell 5.9: Mineralinnhald PB2 frå XRD

Mineral	8,5-9 m			16,5-18 m		
	<63 μm	63-125 μm	1-2 mm	<63 μm	125-250 μm	1-2 mm
Kvarts	57,20	61,32	64,58	48,96	66,43	63,94
Albitt	12,43	15,07	14,27	14,61	12,69	15,15
Muskovitt	14,32	4,25	4,46	15,27	4,33	3,86
Mikroclin	7,65	11,84	11,32	8,07	12,82	12,43
Hornblende	0,46	0,27	0,31	0,59	0,43	0,26
Diopsid	1,02	0	1,71	2,10	1,50	1,39
Kloritt	6,92	5,97	3,35	8,95	1,74	2,94
Kalsitt	0	0	0	1,46	0,05	0,03
Hematitt	0	0,03	0	0	0	0

Dei store trekka i innhald av dei dominerande minerala er like for prøvane i PB2 som i B1. Ellers er innhaldet av hornblende noko lågare i PB2 enn i B1. Vidare er det noko mindre diopsid og vesentleg mindre kloritt i B1 enn i PB2.

5.7 Hydraulisk konduktivitet

5.7.1 Frå kornfordelingskurver

Tabell 5.10: Tabellen under viser hydraulisk konduktivitet K for ulike høgder i B1 og B2. K er utrekna med data frå kornfordelingskurver ved hjelp av Hazen.

Djup (m)	B1			PB2		
	11	17	20	8,5-9	15-16,5	16,5-18
d_{10} (mm)	0,15	0,403	0,55	0,41	0,501	0,51
K(m/s)	$2,61 \cdot 10^{-4}$	$1,88 \cdot 10^{-3}$	$3,51 \cdot 10^{-3}$	$1,95 \cdot 10^{-3}$	$2,91 \cdot 10^{-3}$	$3,02 \cdot 10^{-3}$

Verdiane for K som er rekna ut ved hjelp av Hazen for B1 og PB2 og som er presenterte i tabellen over er stort sett i storleiksorten 10^{-3} .

Tabell 5.11: Tabellen under viser hydraulisk konduktivitet K for ulike høgder i fleire brønner bora under forundersøkingane. K er utrekna med data frå kornfordelingskurver ved hjelp av Gustafsson.

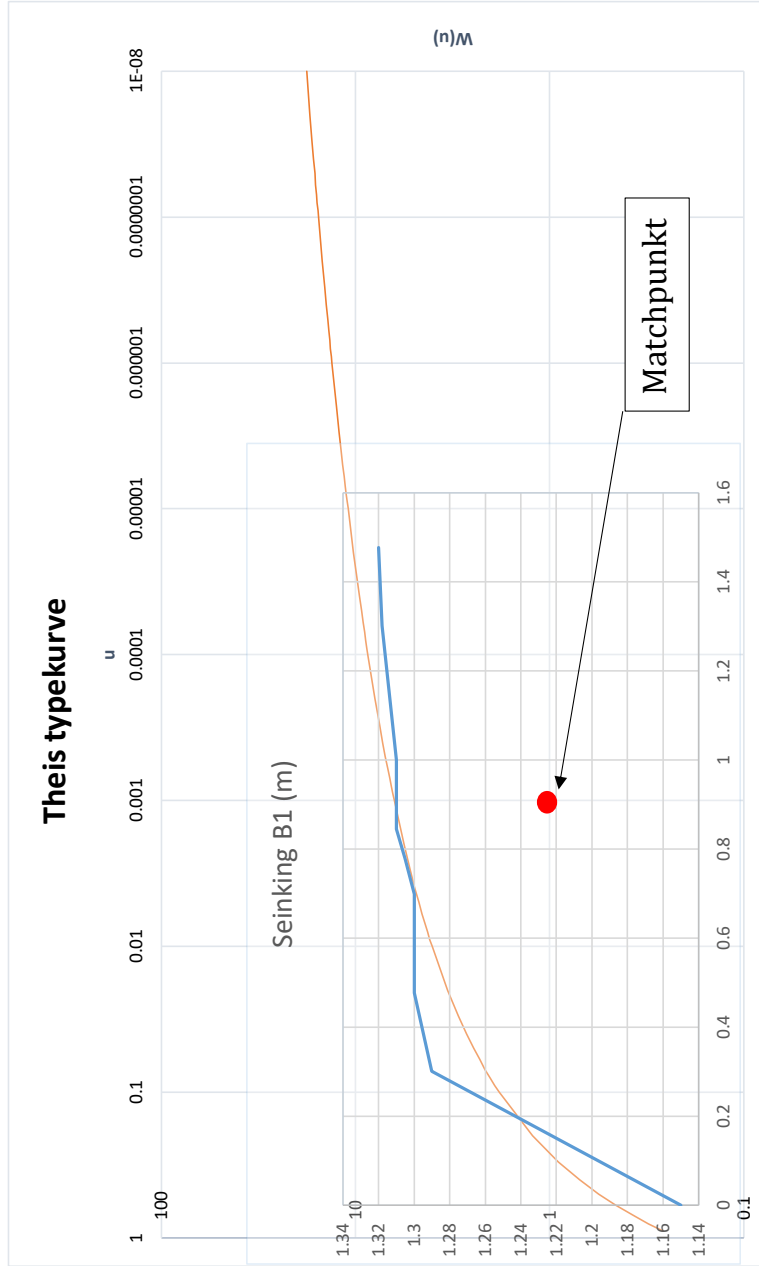
Brønn	Djup (m)	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
PB1	7,5-9	$7,0 \cdot 10^{-4}$
PB1	10,5-12	$3,3 \cdot 10^{-3}$
PB1	13,5-15	$3,7 \cdot 10^{-3}$
PB1	15-16,5	$4,3 \cdot 10^{-3}$
PB1	17,2-18,7	$3,9 \cdot 10^{-3}$
PB3	7,5-9	$2,1 \cdot 10^{-4}$
PB3	13,5-15	$4,3 \cdot 10^{-4}$
PB3	15-16,5	$2,5 \cdot 10^{-3}$
PB3	16,5-18	$2,6 \cdot 10^{-5}$
PB4	6-7,5	$2,7 \cdot 10^{-3}$
PB4	10,5-12	$1,0 \cdot 10^{-3}$

Hydraulisk konduktivitet som er rekna ut under forundersøkingane av feltet presenterer òg ei overvekt av verdiar i storleiksorden 10^{-3} , med nokre uttak med lågare hydraulisk leiingsevne i storleiksorden 10^{-4} og 10^{-5} .

5.7.2 Frå peiledata under trinntest

Utrekningane ved hjelp av Theis metode gjev ein verdi i B1 på $7,724 \cdot 10^{-3}$ m/s, som samsvarer godt med funna frå kornfordelingskurvene. Resultatet frå B2 på $3,988 \cdot 10^{-2}$ er noko høg i høve utfallet frå kornfordelingskurvene.

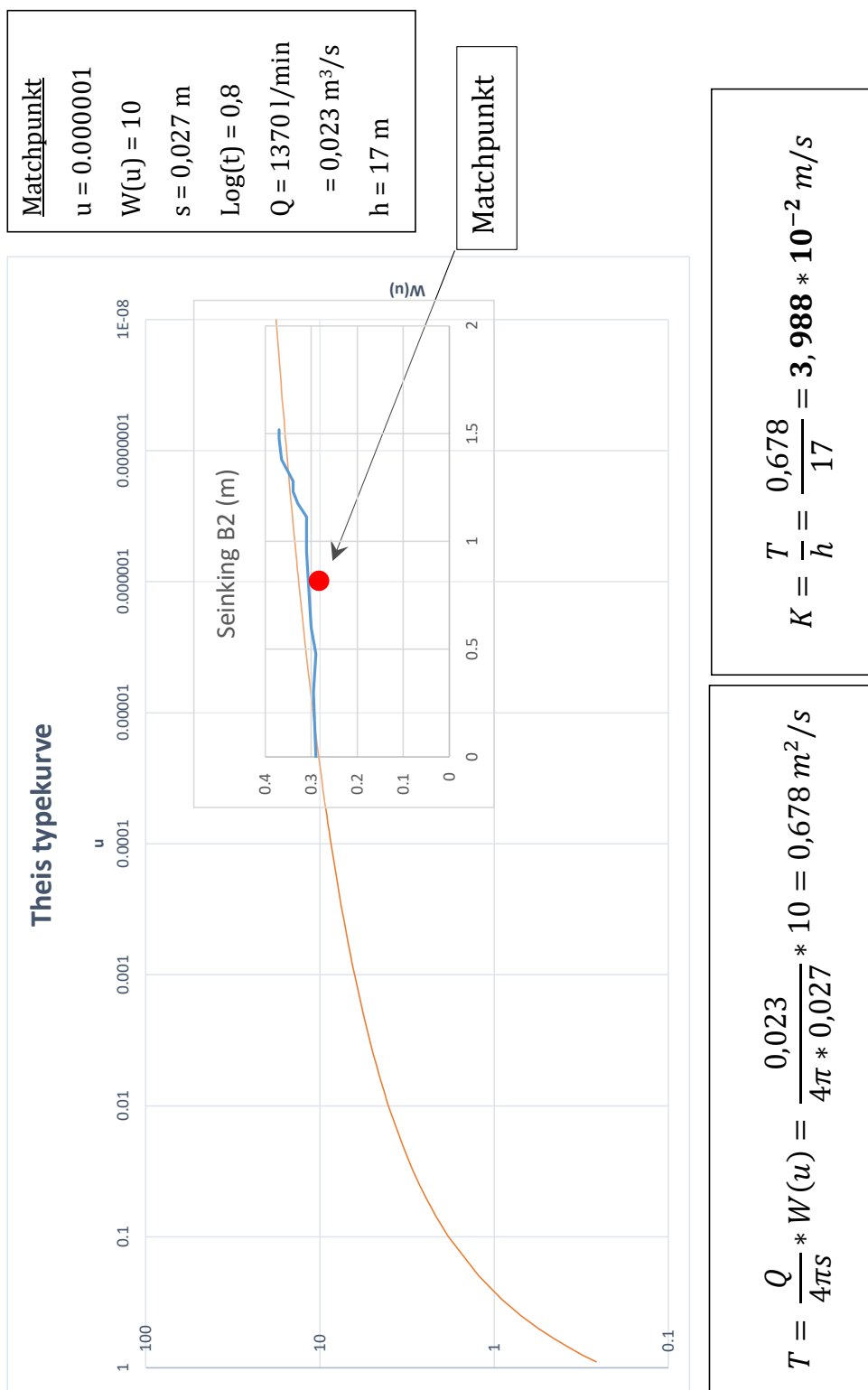
Matchpunkt
 $u = 0,001$
 $W(u) = 1$
 $s = 0,02 \text{ m}$
 $\text{Log}(t) = 0,92$
 $Q = 1980 \text{ l/min}$
 $= 0,033 \text{ m}^3/\text{s}$
 $h = 17 \text{ m}$



$$T = \frac{Q}{4\pi s} * W(u) = \frac{0,033}{4\pi * 0,02} * 1 = 0,1313 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = \frac{T}{h} = \frac{0,1313}{17} = 7,724 * 10^{-3} \text{ m/s}$$

Figur 5.11: Figuren viser utrekninga av hydraulisk konduktivitet i B1 ved hjelp av Theis' metode. Mektigheita til akviferen er grovt rekna som heile brønn djupet under opphavsleg vassnivå, omlag 17m.



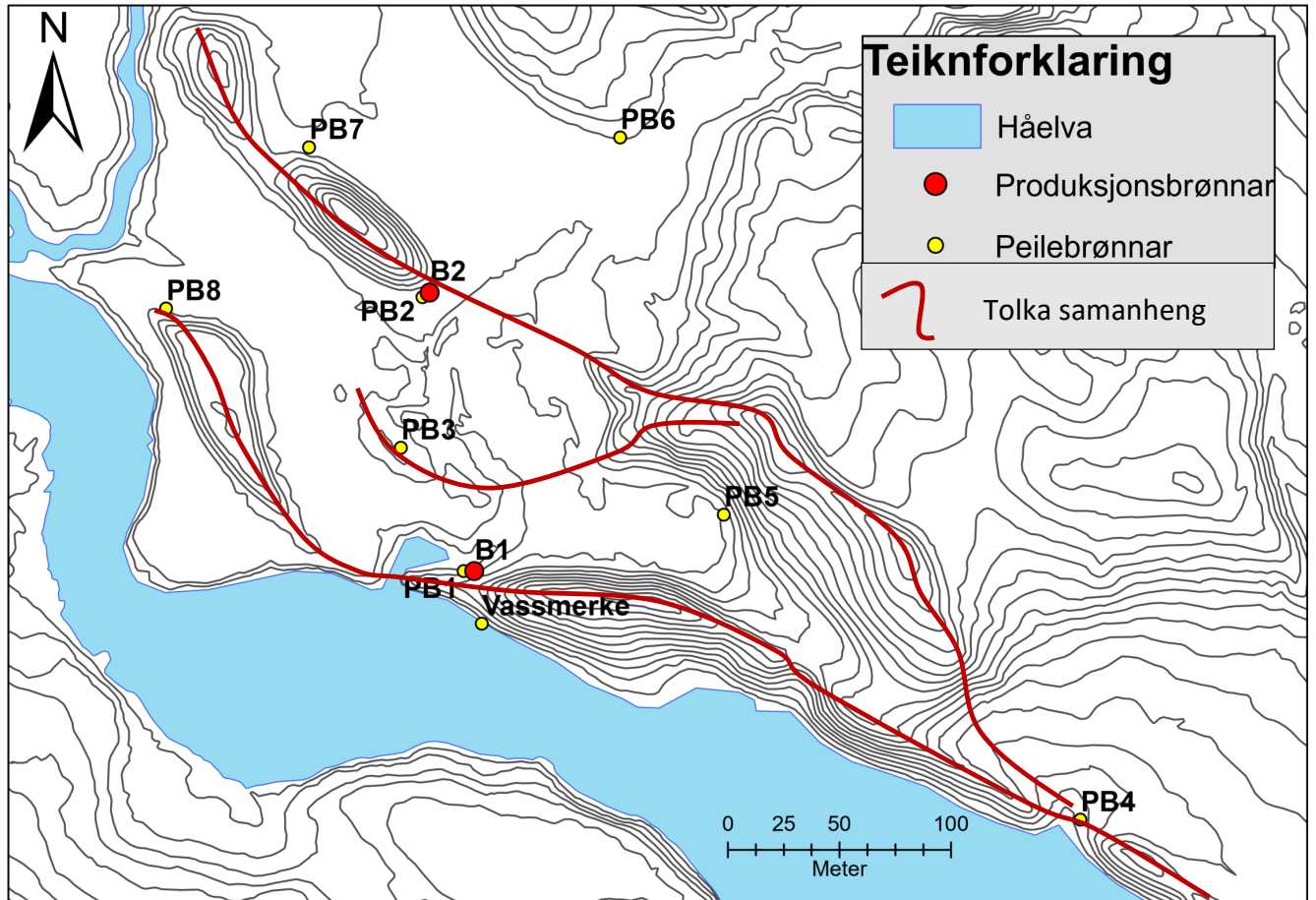
Figur 5.12: Figuren viser utrekninga av hydraulisk konduktivitet i B2 ved hjelp av Theis' metode. Mektigheita til akviferen er grovt rekna som heile brønn djupet under opphavs nivå, omlag 17m.

Kapittel 6

Diskusjon

6.1 Kartlegging og karakteristik av eskerane

Georadarprofilen i figur 5.2 er responsen frå grunnen langs traséen vist i figur 5.1. Tolkinga av profilen viser to grusryggar i grunnen, der den nordaustlegaste av dei ligg under overflata medan den sørvestlegaste så vidt stikk opp i dagen. Set ein dette saman med informasjonen om topografien i figur 5.1, ser ein at grusryggen som ligg fullstendig under overflata i georadarprofilen ligg i omlag rett line mellom eskeren der PB7, PB2 og B2 ligg og den mektige eskeren som PB5 er plassert ved. Det lét altså til at desse to ryggane heng saman i grunnen. Vidare ser den andre grusryggen frå georadarprofilen ut til å vere ein skøyt mellom ryggen som PB8 og den som PB1, B1 og PB4 ligg i. Ved PB5 og noko aust for denne ymtar høgdekoter om at dei to eskerane heng saman, sidan terrenget ikkje flatar heilt ut mellom dei. Desse samanhengane gjer at alle brønnane utanom PB6 ligg i tilsynelatande same eskersystem, sjå figur 6.1. Samanhengen til ryggforma som PB3 ligg i er ikkje like beinkløyvd å utleie, men denne kan òg koplust på det større systemet.



Figur 6.1: På kartet er innteikna tolking basert på georadarprofil og prøvepumping. Modifisert etter [Kartverket \(2016\)](#).

Under forundersøkingane av prosjektområdet vart det utført kornfordelingsanalysar, med utrekning av hydraulisk konduktivitet for ulike djup. Det er gjort analysar av lausmassar i dei same brønnane som det vart teke vassprøvar frå, altså PB1, PB3 og PB4. Tabell 5.11 viser verdi-ane for hydraulisk konduktivitet som er rekna ut basert på kornfordelingskurvene og Gustafsson sin formel. Tala er for det meste i storleiksorden 10^{-3} , som er karakteristisk for grov sand og grus. Materialet ved PB3 ser frå desse analysene ut til å jamnt over ha noko mindre korndiameter enn massane rundt dei andre brønnane. Verdiane indikerer førekomst av sand.

Den hydrauliske konduktiviteten er òg rekna ut for akviferen i B1 og B2, ved fleire metodar. Med data frå trinntesting av brønnane har ein rekna ut konduktiviteten ved Theis metode, som er ein metode nytta for ikkje-stasjonære tilhøve i akviferen. I B1 vart verdien ved denne metoden rekna til å vere $7,724 \cdot 10^{-3}$ m/s, sjå figur 5.11. Frå kornfordelingsanalysar av massar frå same brønn fann ein hydraulisk konduktivitet ved hjelp av Hazen sin formel for tre ulike djup, vist i tabell 5.10. Frå desse kan ein rekne ut ein vektta verdi for den filtersette delen av akviferen, og denne kan fungere som ein kontroll av talet frå Theis metode. Verdien for filtersett djup i B1 vert: $\frac{17-14}{20-14} * 1,88 * 10^{-3} + \frac{20-17}{20-14} * 3,51 * 10^{-3} = 2,695 * 10^{-3}$. Vektene er sett på grunnlag av kva djup ein har utrekna K-verdiar for, og filtersett djup er mellom 14 og 20 meter. Resultata frå dei to ulike metodane samsvarer godt, og ein kan slå fast at materialet her er samansett av grov sand og grus.

For B2 vert hydraulisk konduktivitet ved Theis metode $3,988 \cdot 10^{-2}$ m/s, sjå figur 5.12. Frå kornfordelingskurver og Hazen, sjå tabell 5.10, får ein ein samla K-verdi på: $\frac{16,5-14}{20-14} * 2,91 * 10^{-3} + \frac{20-16,5}{20-14} * 3,02 * 10^{-3} = 2,974 * 10^{-3}$. Svaret er noko høgt ved Theis metode. Det kan komme av at dei grove laga i brønnen vil dominere dei finare ved pumpetest. Ei meir truleg årsak til den høge verdien funne ved Theis er usikkerheit knytt til kurvetilpassing i figur 5.12. Ein kan likevel slå fast at massane her òg består av grov sand og grus.

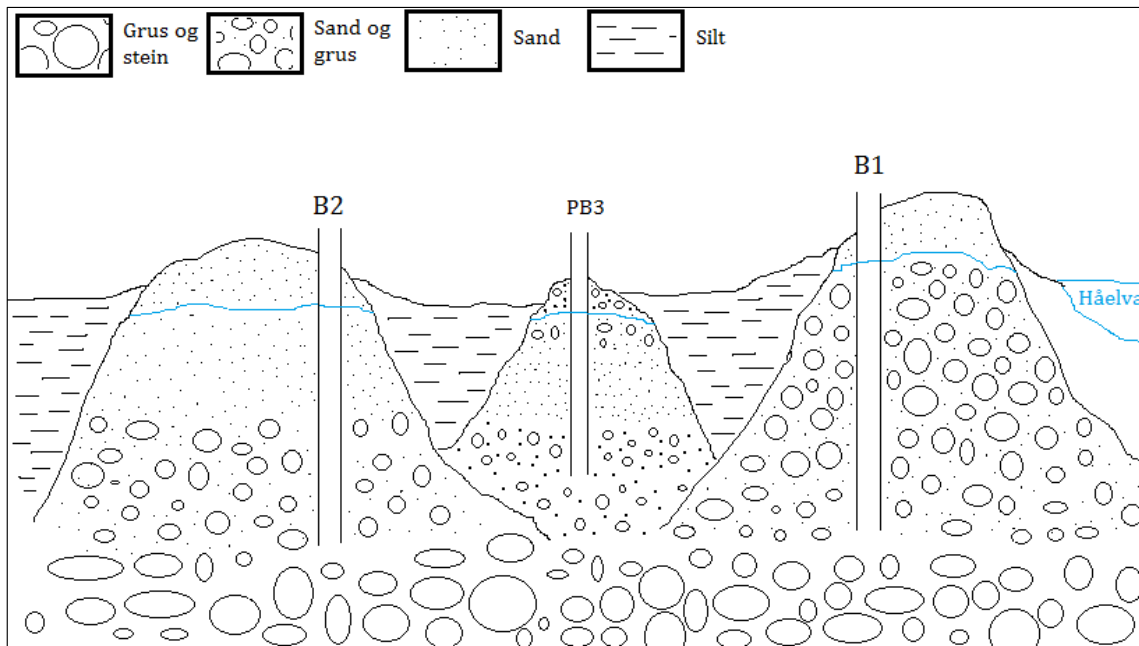
Den hydrauliske konduktiviteten som er berekna i punkta som brønnane utgjer på kartet dannar eit bilete av kva typar massar som ligg i grunnen. Grov sand og grus utgjer filtersett djup både i B1 og B2, samt i PB2 og PB4. I PB3 er sanden finare i store delar av brønnen, noko som kan skape eit område der mindre vatn strøymar enn elles i akviferen. Ryggen som PB3 ligg i kan ha vore danna i ein sidekanal i isen der energinivået var lågare enn elles i systemet, slik at sand kunne avsettast her.

Peilemålingar under fullskala prøvepumping, figur 5.7, viser at responsen i PB3 er treg, men markant. Dei første døgera synk vasstanden med kun 4 cm per dag. Etter dette aukar farten på seinkinga, og på det meste i data som føreligg synk vasstanden i denne peilebrønne med 83 cm frå utgangspunktet. Ved produksjonsbrønnane er maksimal seinking under pumpeperioden (pr. 25.april) 1,72 meter for B1 og 1,09 for B2. Ved PB3 er difor 83 cm ein betydeleg respons endå den kjem seinare enn for dei andre peilebrønnane. Dermed er PB3 og eskeren den ligg i òg samankopla med resten av eskersystemet.

For å forklare denne forseinka responsen må ein sjå kva vegar vatnet har frå peilebrønne til produksjonsbrønnane. Som indikert i kartet i figur 6.1 heng eskeren saman med den nordlegaste hovudeskeren, og vatnet kan ha gått «oppstraums» til denne før det vart trekt mot B2. Dette er sannsynleg, då ein ser frå tabell 5.3 at vassnivået ved PB5 ligg under det for PB3 frå andre pumpedag av. Samtidig ligg nivået ved B2 sjølv sagt lågare enn ved PB5. Dermed har der vore ein gradient frå PB3 til PB5 og vidare til B1 allereie frå dag to i prøvepumpinga, og vatn kan ha strøymt denne vegen til B2. Ei anna forklaring kan vere at vatnet har gått via eit lag som koblar eskerane saman i grunnen, sjå skisse av akviferen i figur 6.2. Fleire av sonderboringane under forundersøkingane måtte avsluttast på 20 meter djup fordi ein møtte på stein og blokk. Indirekte transport via dette laget til produksjonsbrønne kan skape ei forseinking av responsen i PB3. I praksis kan det vere ein kombinasjon av desse vassvegane som fraktar vatnet i PB3 til produksjonsbrønnane.

Med omsyn til avsettingshistoria kan laget som knyter eskerane saman i botnen forklarast ved at grove massar har vore avsett i botnen av dalen då isavsmeltinga og dermed energinivået i breelvane var på det største. Dette kan vere ei mogleg forklaring dersom mengdene med smeltevatn gjorde til at isen flaut opp medan det grove laget vart avsett. I ettertid kan grusryggane ein ser i dagen ha vore avsett i tunnelar i isen etter at den hadde lagt seg ved noko lågare vassføring. Eit slikt forløp ville danne eit grovt lag i botnen av dalen som kan binde saman dei overliggende grusryggane hydraulisk. Ei kanskje meir logisk forklaring til laget under eskerane kan vere at det er erosjonsmateriale over fjellet eller botnmorene av sterke bergartar frå sparagmitten i søraust som har vorte att etter isen trakk seg tilbake. Dei sterke bergartane vil ha gjort morena grov med

lite finstoff, og dermed i nokon grad hydraulisk konduktiv.



Figur 6.2: Figuren viser eit profil av eskerarane over eit grovt lag som bind ryggane hydraulisk saman til ei eining, akviferen. Teikna i *Paint* av Siri Ane Hestad. Informasjon om kornfordeling kjem frå [Hilmo and Riise \(2016\)](#) og loggen til Hallingdal Brønn og Graveservice AS, vedlagt i Appendiks.

Magasinkoeffisienten S er 0,0106 for B1 og 0,112 for B2. Utrekning av denne er gjort ved Theis metode, og metoden med kalkulasjonen er vedlagt i Appendiks. Verdier for magasinkoeffisienten i den storleiksorden som vart funne for akviferen i Mølmannsdalen tyder på at vassuttak frå magasinet dominerast av porøsiteten til massane, og ikkje av elastisiteten til kornskjelettet. Dermed fungerer dei utrekna S -verdiane som ei stadfesting av at akviferen er open, jamfør storleiksorden for open og lukka akvifer under *Magasinkoeffisienten* i Teori-kapittelet. Magasinkoeffisienten til ein open akvifer er lik den effektive porøsiteten (n_{eff}) til massane som utgjør akviferen.

6.2 Upåverka tilstand, før prøvepumping

Når pumping av akviferen ikkje endå er i gong, er magasinet uåpverka og i sin naturlege tilsand. Data frå akviferen under slike omstende inkluderer fysisk-/kjemiske vassanalysar frå PB1, PB3 og PB4, opplysingar som er innhenta som ein del av forundersøkingane av feltet. I tillegg har ein feltmålingar av temperatur og elektrisk konduktivitet i dei to produksjonsbrønnane B1 og B2, samt peilenivå i alle brønnane rett før oppstart av pumping 19.01.1017. I denne bolken skal dei nemnde data nyttast til å svare på den delen av oppgåva som går ut på å kartlegge korleis vatnet strøymer i akviferen i Mølmannsdalen under naturlege tilhøve.

Tabell 5.4 viser at den elektriske konduktiviteten (ρ) i starten av prøvepumpinga er dobbelt så høg for B1 som for B2. Dette tyder at konsentrasjonen av ion er vesentleg høgare i vatnet pumpa frå B1 enn frå B2. Skilnaden i karakter indikerer at strøymingar mellom brønnane ikkje førekjem under naturlege tilhøve. Som skildra under avsnittet *Frå nedbør til grunnvatn* er innhaldet av ion i grunnvatnet avhengig av kontakttida og -overflata mellom vatnet og minerala i grunnen. I umetta sone er kontaktflata og -tida relativt stor fordi tynne vassfilmar ligg rundt mineralkorna. Difor er utveksling av ion mellom vass- og mineralfasen effektiv her.

Kanskje kan skilnad i mektigheit av umetta sone forklare den store skilnaden i elektrisk leiingsevne i dei to brønnane? Eit grovt overslag gjev at umetta sone er omlag 4 meter mektig ved B2 og berre rett over 2 meter ved B1, målt før prøvepumpinga vart sett i gong. Umetta sone er altså mektigast der elektrisk leiingsevne er lågast. Eskeren like oppstraums for B1 er svært stor, sjå figur 4.1, og samanlikna med området rett oppstraums for B2 kan denne store ryggen tenkast å ha markant innverknad på vasskjemien til nedbør som infiltrerer gjennom denne til vasspegelen ved B1. Metereologiske data for perioden før konduktiviteten var målt viser at lite nedbør falt i området og størstedelen kom som snø grunna låge temperaturar (Eriksen, 2017). Difor har vassinnhaldet i umetta sone truleg vore lågt i tida før målingane var tekne, og det er tvilsamt at den markante skilnaden i elektrisk leiingsevne skuldast vitring og utvasking gjennom umet-

ta sone. Skilnaden er sannsynlegvis heller eit resultat av at vatnet har hatt lenger opphaldstid i metta sone ved B1 enn ved B2.

Spranget i leiingsevne mellom dei to brønnane kan òg komme som ei fylgje av skilnad i mineralogien i grunnen. Resultata frå røntgendiffraksjon av massane i B1 og PB2 viser at det finnast noko kalsitt på rundt 17 meter djup i begge brønnane, sjå tabell 5.8 og 5.9. Innhaldet av kalsitt er opp i 2,35 % i B1 og opp i 1,46 % i PB2. Sidan kalsitt er lettløseleg i vatn, så kan ulikskapen i kalsittinnhald delvis forklare skilnaden i elektrisk konduktivitet i dei to brønnane før oppstart av pumping. Vatnet som har stått i kontakt med lausmassar med høgst innhald av kalsitt vil ha fått høgare konsentrasjon av løyste kalsium-ion enn vatnet i mindre kalkrike massar. Dermed har vatnet som har stått i ro ved B1 høgare elektrisk leiingsevne enn det ved PB2.

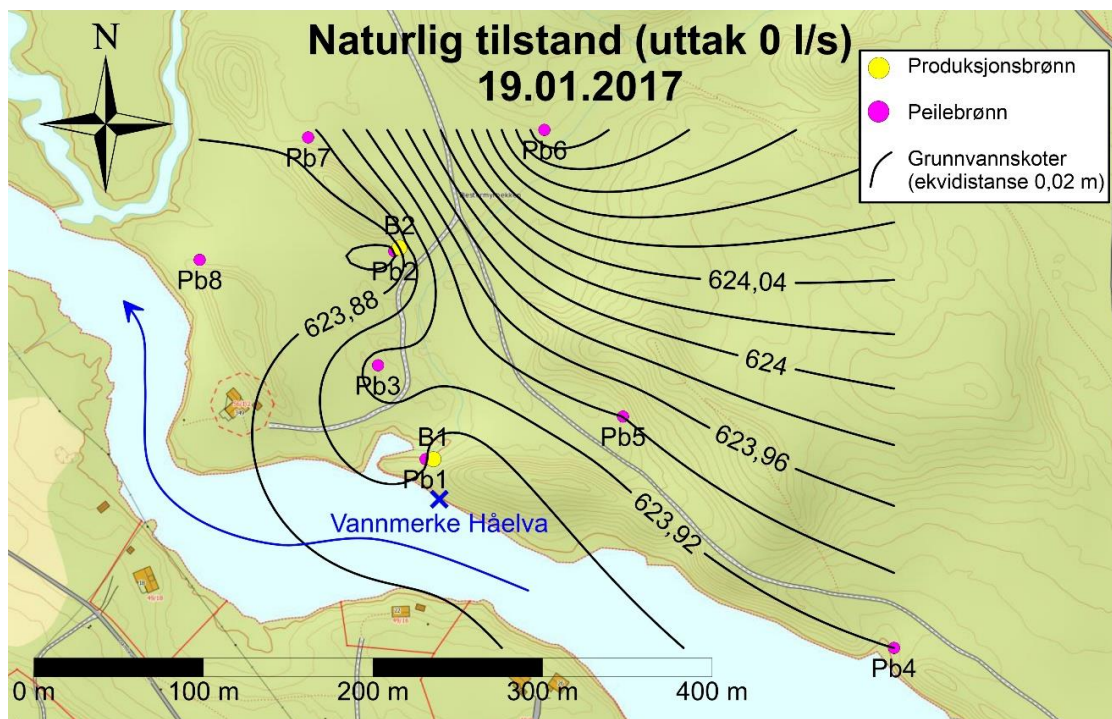
Akviferen sin kontakt med elva kan indikerast ved hjelp av fysiske karakteristikkar som temperatur og konduktivitet. Normalt har overflatevatn lågare elektrisk konduktivitet enn grunnvatn har, sidan grunnvatnet står i kontakt med mineralfasen i lenger tid enn den nedbøren som renn direkte til elvar og innsjøar (Brattli, 2009). I Håelva ligg den elektriske leiingsevna på eit markant lågare nivå enn for begge produksjonsbrønnane, sjå tabell 5.4. Grunna manglande måling i Håelva før prøvepumping starta, må ein her føresette at leiingsevna i Håelva målt 28. mars er representativ for konduktiviteten før pumpestart, 19. januar. Den målinga som er tatt nærast i tid (28. mars) er frå seinvinteren før snøsmeltinga har teke til. Sidan vassføringa i elva er lita på denne tida av året, og det vatnet som renn i den kan ha sitt opphav i grunnvatn høgare oppe i vassdraget, skal verdien frå denne målinga av elektrisk konduktivitet vere liknande eller høgare enn ei eventuell måling 19. januar. Difor kan ein konkludere med at det var eit stort sprang i konduktivitetsverdiane mellom Håelva og begge brønnane òg før pumping starta.

Temperaturen er òg ein god indikator for å stadfeste eller avkrefte strøymingar mellom akvifer og overflatekjelde. Overflatekjelder har temperaturar som varierer mellom nær frysepunktet vinterstid og rundt 25 grader om somrane, avhengig av klimatiske variasjonar, medan grunnvatn held stabil temperatur rundt medeltemperaturen gjennom året i området (Ensby, 1990). I tabell 5.4 er denne tendensen tydeleg. Temperaturmåling frå Håelva manglar òg frå før prøvepumping

19. januar, men det er sannsynleg at temperaturen allereie då låg kun litt over nullpunktet. Innan denne tid hadde lufttemperaturen vore ned mot -30 grader fleire gonger (Eriksen, 2017). Temperaturen ligg på $3,8^{\circ}\text{C}$ i B1 og $3,5^{\circ}\text{C}$ i B2, noko som viser at vatnet her har hatt lang opphaldstid i grunnen.

Målingane av både temperatur og elektrisk leiingsevne vitnar altså om at vatn under naturlege tilhøve ikkje strøymer mellom elva og akviferen, verken ved B1 eller B2. Dette kjem truleg av ein noko nedsett hydraulisk konduktivitet i elvekanalen. Sidan gradienten i Håelva er svært låg går straumen seint forbi brønnområdet. Låg fart gjer at finstoff sedimenterer langs kanalbotnen. Saman med den ekstra tette pakkingsgraden i armeringa gjer slik tilslamming av elvebotnen til at den hydrauliske leiingsevna vert noko lågare her enn i akviferen elles. Dermed vert det nedsett hydraulisk kontakt mellom elva og akviferen i upåverka tilstand, slik feltmålingane viser.

I figur 6.3 er peilenivåa frå før prøvepumping brukte til å lage ekvipotensialkart av vasspegelen i upåverka tilstand. I dette kartet kan ein få stadfesta at vatnet ein finn i dei to produksjonsbrønnane under naturlege tilhøve ikkje kjem frå elva, men heller frå akviferen elles. Kartet fortel dessutan at det er eit sig frå nordvest på elvesletta. Gradienten på dette siget er låg, med $31,1$ cm høgdeskilnad på vasspegelen mellom brønnen med høgst og lågast vassnivå. Vatnet vil ikkje strøyme fritt nedover frå nordaust slik dette kartet indikerer, men heller fylgje eskerane. Nokon fleire peilebrønner i eskerane ville retta opp dette feilaktige inntrykket som kartet gjev. At vatn ikkje strøymer mellom B1 og B2 viser òg, ved at det ikkje er noko hydraulisk gradient mellom dei; dei ligg på same kote. I tillegg ligg ryggen ved PB3 som ei barriere mellom dei med høgare vassnivå.



Figur 6.3: Ekvipotensialkart over reservoaret i upåverka tilstand. Strøymingslinjene går vinkelrett på potensiellinene, men då den hydrauliske leiingsevna i eskerane er svært anisotrop, med vesentleg betre leiingsevne i lengderetning enn på tvers, så vil vasstraumen i stor grad avgrense seg til eskerane. Kartet er henta frå Riise (2017).

Den naturlege gradienten i eskeren nærast Håelva er $\frac{623,929 - 623,882}{299} = 1,57 * 10^{-4}$ mellom PB 4 og B1 og $\frac{623,882 - 623,856}{200} = 1,3 * 10^{-4}$ mellom B1 og PB8. I den andre hovudeskeren er gradienten noko større. Mellom PB5 og B2 er den $\frac{623,944 - 623,888}{172} = 3,26 * 10^{-4}$ og mellom B2 og PB7 er den $\frac{623,888 - 623,856}{84} = 3,81 * 10^{-4}$. Dette viser at vatnet strøymar i eskerane med låg gradient i same retning som elva. At gradienten er nokolunde lik for kvart sprang i dei to hovudeskerane støttar opp om at grusryggane er kontinuerlege og heng saman slik det er påpeikt i figur 6.1. Truleg skjer mating i stor grad nordaust for PB4 der eskeren skil Nordre Dalstjønna frå Rismosjøen, då kontaktflata mellom akvifer og overflatekjelde er stor her. Strøyming gjennom eskerane herfrå gjev lang opphaldstid i grunnen ned mot plasseringa av produksjonsbrønnane,

noko temperaturmålingane i produksjonsbrønnane vitnar om at vatnet har.

Svar på vasskjemiske analysar frå prøvar i PB1, PB3 og PB4 før pumpestart er viste i tabell 5.5. Tala viser at den elektriske konduktiviteten aukar mot djupet, utan unntak. Det same gjer konsentrasjonen av ion som Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} og Ca^{2+} , slik ein ville vente seg. Dette fortel at det djupaste grunnvatnet har oppheldt seg lengst i grunnen. Auka i konsentrasjon med djupet er spesielt stor for kalsiumion, og det er difor plausibelt å seie at den elektriske leiingsevna i størst grad er avhengig av konsentrasjonen av Ca^{2+} . Denne samanhengen gjer til at ein særleg diskuterer innhaldet av kalsitt i lausmassane brønnen står i når ein skal finne årsaker til høg elektrisk leiingsevne, slik det er gjort over.

Innhaldet av magnesium i vassprøvane er òg påfallande høgt, med alle målte konsentrasjonar over 4 mg/l. Konsentrasjonen av magnesium ser ut til å variere nokolunde i takt med den av kalsium. Denne observasjonen kan gi ein peikepinn på at kalsitten som er påvist ved XRD kan tenkast å innehalde noko magnesium i form av dolomitt. Denne teorien held ikkje mål, då det er godt råd å skilje dolomitt og kalsitt ved XRD, sjå d-verdiar for utvalde mineral i Appendiks. Elles vil amfibolen hornblende og pyroksenane diopsid og augitt, mineral som alle er påviste i produksjonsbrønnane, kunne avgi noko magnesium til vassfasen.

Vidare informasjon som kan lesast ut av tabell 5.5 er oksygentilhøva i grunnen. Det er særleg konsentrasjon av jern og mangan som kan fortelje om miljøet i boreholet er redusert eller oksidert. Grunnen til dette er at løysingsevna til både jern og mangan aukar med minkande oksygeninnhald i vatnet. I kontakt med oksygen vil desse stoffa oksidere og felle ut, medan dei vil halde seg i løysing i oksygenfattig miljø (Brattli, 2009). Då jernutfellingar er sterkt brunfarga (rust), er spylevatnet frå brønnar med oksiderande tilhøve raudbrunt; her er jernet allereie felt ut. Spylevatnet frå reduserande lag i grunnvassbrønnar er derimot grått av mangel på oksygen som feller jern. Ingen av dei prøvesette borehola i Mølmannsdalen har eit innhald av mangan eller jern som er i nærleiken av å overskride grenseverdiane som er sett av [Drikkevannsforskriften \(2016\)](#) for drikkevatt av god kvalitet. Spylevatnet frå alle tre brønnane var brunt, noko som stadfestar dei låge verdiane for jern og mangan frå analysene (Hilmo and Riise, 2016). Det vil

seie at tilhøva er oksiderande, noko som igjen tyder at porane i lausmassane er i god kontakt med atmosfæren.

Der det er organisk materiale, vil nedbryting ta stad. Nedbryting, eller oksidasjon, føregår i jordprofilen ved at planterøter og mikroorganismar brukar oksygen til å omsette organisk materiale til energi, karbondioksid og vatn. Ettersom oksygenet vert oppbrukt der desse reaksjonane tek stad, vil miljøet verte reduserande (Brattli, 2009). I breelvavsettingar finnast det i følge Brattli (2017) lite organisk materiale, og på eskeren i Mølmannsdalen veks det på lag berre furuskog, lyng og mose. Av slike vekstar vert det lite tilføring av organisk materiale til grunnen, og dermed er det heller ikkje særleg mykje nedbryting som tek stad her. Typen avsetning og veksttilhøva på den er truleg ei viktig årsak til at miljøet ikkje vert reduserande her.

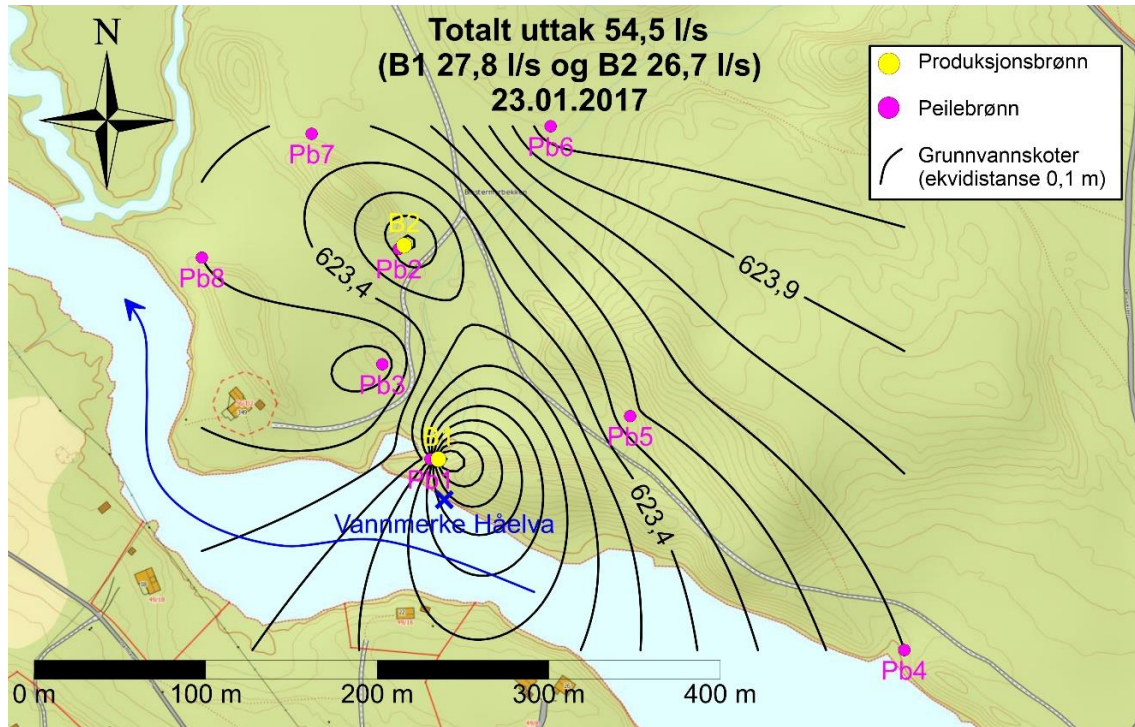
Det kan vere verdt å merke seg at konsentrasjonen av jern er noko høgare i PB3 enn i dei to andre brønnane. Dette kan tyde på at oksygentilgangen til porerommet i massane her er noko mindre enn elles i akviferen, eller at vatnet i høgare grad enn elles står stille her. Verdiane for hydraulisk konduktivitet i denne brønnen ligg på verdiar karakteristiske for medels grov sand. Det er noko finare enn dei massane som er funne i store delar av dei andre peilebrønnane. På kartet i figur 6.3 kan ein sjå at hydraulisk konduktivitet rundt denne brønnen er noko lågare enn elles i akviferen, sidan ekvipotensiallinene bøyer av rundt brønnen og ryggforma den ligg i.

6.3 Under pålast, undervegs i fullskala prøvepumping

Då ein starta prøvepumping av akviferen 19.01.17 fekk ein med eitt eit nytt ledd i vassbalanselikninga; den vassmengda som pumpast ut og bort frå magasinet. Dette skapar større press på vasskjelda og vil indusere raskare strøymingar i grunnen. Innsamla data frå denne perioden omfattar peiledata i alle brønnane og feltmålingar av konduktivitet og temperatur i B1, B2 og Håelva. Vidare har ein analyseresultat av vassprøvar frå dei to produksjonsbrønnane på tre ulike tidspunkt. Basert på desse data skal ein i denne sekvensen kartlegge og drøfte akviferen sin respons på pumpinga og dermed svare på det andre delmålet i oppgåva; korleis strøymer vatnet i akviferen i påverka tilstand.

Etter at prøvepumpinga av dei to produksjonsbrønnane er sett i gong, minkar elektrisk leiingsevne ved B1 frå 19,2 til 13,6 mS/m i løpet av dei ti første dagane, deretter ned til 12,3 etter ein knapp månad. Den synkande trenden held fram òg etter dette, sjå figur 5.8. Når ein pumpar ut vatn frå ein brønn, dannast ei seinkingstrekt og vatn må komme til for å erstatte det som vert teke ut, jamfør Darcy's lov. Dette gjer at opphaldstida vil minke, og det er naturleg at den elektriske leiingsevna synk. Dersom pumping medfører tilsig frå overflatekjelder som i utgangspunktet har vesentleg lågare konduktivitet, vil verknaden vere særleg markant. I B1 synk leiingsevna betrakteleg etter pumping startar, men temperaturen held seg stabil, sjå tabell 5.4. Temperaturen i elva held under 1 grad, medan grunnvatnet held seg stabilt rundt 4 grader. Dette tyder at den reduserte konduktiviteten til vatnet ved B1 skuldast noko kortare opphaldstid, og ikkje direkte inntak av vatn frå Håelva.

Ved B2 skjer det motsette. Elektrisk konduktivitet aukar her frå 9,4 til 12,6 i løpet av dei første ti dagane, og vidare opp til 13,5 mS/m etter ein snau månad. At ρ stig kan vere eit teikn på at B2 under pålast trekk grunnvatn med høgare opphaldstid frå eskeren lenger opp- og nedstraums. Dersom mineralinnhaldet er noko meir kalkrikt i områda vatnet kjem frå, vil det òg forklare auke i elektrisk leiingsevne.



Figur 6.4: Ekvipotensialkart over reservoaret etter nokre dagar pumping, 23.01.17. Kartet er henta frå Riise (2017).

Kartet i figur 6.4 viser at den hydrauliske gradienten er blitt større etter prøvepumping starta. Gradienten mellom PB4 og B1 er no blitt $\frac{623,699 - 622,452}{299} = 4,17 * 10^{-3}$, altså omlag ti gonger så bratt som for upåverka tilstand. Ekvipotensiallinene viser no at vatn strøymmer gjennom eskeren nærast Håelva. Det er mindre tydeleg at det òg strøymmer frå PB4 i eskeren forbi PB5 mot B2, då ekvipotensiallinene går omlag parallellt med denne eskeren, men det framgår likevel at det er ein gradient mellom desse punkta. Den hydrauliske gradienten mellom PB5 og B2 er $\frac{623,584 - 623,038}{172} = 3,17 * 10^{-3}$. Mellom B1 og PB 8 har straumen snudd, og ein rimeleg bratt gradient på $5,22 * 10^{-3}$ fører vatn frå PB8 mot produksjonsbrønnen. Det same er tilfellet mellom PB7 og B2.

Den store skilnaden mellom vatnet si leiingsevne i dei to brønnane før pumpestart tyder på at det ikkje har strøymt vatn mellom brønnane før pumping starta. Etter at pumpa har gått ei stund jamnar konduktiviteten seg noko ut, og innan 14.02.17 har verdiane kryssa kvarandre, sjå kurve i figur 5.8. Det er viktig å presisere at dei to brønnane ligg i to ulike hovudeskerar, som truleg er samankopla lenger oppstraums mellom PB4 og PB5, samt med eit konduktivt lag i botnen. Både på grunn av denne fysiske separasjonen, og fordi karakteristikkane av vatnet i dei to brønnane held seg noko ulike sjølv etter lengre tid med pumping (tabell 5.4), er det grunn til å tru at strøyming mellom brønnane er avgrensa. Straumen mellom brønnane går truleg kun gjennom laget i botnen, då gradienten oppstraums vil hindre vatnet i å strøyme til kontaktpunktet mellom eskerane.

Vasstandsdata for alle peilebrønnane under perioden med fullskala prøvepumping er vist i tabell 5.3 og som graf i figur 5.7. Responsen i PB3 er noko treg, slik det har vore påpeikt tidlegare. Frå sonderboringa av denne brønnen ser ein at grusig sand i topp og botn avløysast av eit lag med sand mellom 6 og 13 meter djup (Hilmo and Riise, 2016), slik det er vist i figur 6.2. I tillegg til at vatnet siv noko seinare gjennom sand enn grov sand og grus, vil det ta lenger tid for vatnet å gå indirekte til produksjonsbrønnane, anten det er via det grove laget som koplar eskerane saman i botnen, eller det er til hovudeskeren ved PB5 og frå der nedstraums til B2 (figur 6.1). Frå innsamla data frå denne brønnen kan det tenkast at grusryggen som denne brønnen står i er avsett i ein sidekanal til hovudeskeren, der lågare vassfart tillét avsetting av sand. Slik kan avsettingshistoria forklare treg hydraulisk respons i PB3.

Peilebrønn 6 skil seg òg ut i figur 5.7 ved å vise lite påverknad av vassuttaket, særleg i starten. I løpet av første døgeret synk vasstanden med 5 cm, og det tek 6 dagar før nivået har sunke med 9 cm. Så går det raskare, og på det meste i datasettet synk vasstanden omlag ein halv meter frå utgangspunktet. Utviklinga i dei to siste stega i datasettet viser òg like tendensar for PB6 som for PB3. Medan nivået aukar i alle dei andre brønnane etter første straumbrot, fortset det å synke i desse to brønnane, og ved neste straumbrot aukar vasstanden tydeleg raskare i dei andre brønnane. Denne responsen viser til liks med den ved PB3 at det finnast hydraulisk kontakt mellom PB6 og produksjonsbrønnane, men at vassvegane her er mindre effektive enn i magasinet elles.

Variasjonane i kornstorleik og hydraulisk konduktivitet i dei ulike områda vil verke inn på korleis straumane går i grunnen. Vatnet går minste motstands veg, og vil difor i høgast grad strøyme gjennom dei grovaste og mest jamne massane. Slik dei kalkulerte verdiane for hydraulisk konduktivitet og den nøyaktige kartlegginga av akviferen viser, er dei grovaste massane i dei to hovudeskerane, og vatnet vil difor i størst grad strøyme i desse massane. I ekvipotensialkartet frå 13.01.17 kjenner ein att den beskjedne responsen i PB3 ved oppstart av pumping frå kurva i figur 5.7, ved at denne brønnen er isolert frå seinkingstrakta, sjå figur 6.4. Etter ei tid ser det likevel ut til at grunnen her òg vert innlemma i influensområdet til brønnane, ein strøymingsveg er oppretta og seinkingstrekta bøyer ikkje lenger av rundt denne ryggen slik den gjorde tidlegare, sjå figur 6.5.

Vatnet i begge brønnane er av svært god kvalitet. Jern- og manganinnhaldet er svært lågt, til liks med turbiditeten og fargetalet. Dermed er det truleg ikkje naudsynt å gjere tiltak mot misfarging av klede eller utfellingar på leidningsnettet. Då fargetalet er eit mål på innhald av organisk materiale, viser samtlege analysar frå langtids prøvepumping at innhaldet av humus i vatnet er så lågt at det ikkje er råd å måle (NGU, 2015b). Som tidlegare påpeikt er innhaldet av organisk materiale generelt lågt i breelavsettingar, og dermed vert fargetalet lågt i Mølmannsdalen.

Vidare finnast det ingen bakteriar og kimtalet er svært lågt. E.coli er ein bakterie som nyttast som indikator på fekal ureining, då denne tilhøyrer den naturlege tarmfloraen i menneske og andre varmlodige dyr. At denne ikkje er påvist viser dermed at grunnen ikkje er påverka av avføring, noko som tyder at det heller ikkje er teikn til farlege virus i vatnet. Kimtalet er eit mål på kor mykje naturlege mikroorganismar som er i vatnet. Der mikroorganismane dannar tynne biofilmar på røyr og leidningsnett kan kimtalet verte høgt om flak av biofilmen losnar. Høgt kimtal kan òg indikere tilstrøyming av overflatevatn som ikkje er tilstrekkeleg reinsa (NGU, 2015b). Dei låge kimtala i produksjonsbrønnane kan difor stadfeste at vatnet her har oppheldt seg høvevis lenge i grunnen etter infiltrasjonen tok stad lenger oppstrøms. Dessutan er innhaldet av ammonium og nitrat svært lågt. Det vitnar om at verken landbruk eller kloakkleidningar utgjer nokon trussel for ureining av drikkevasskjelda.

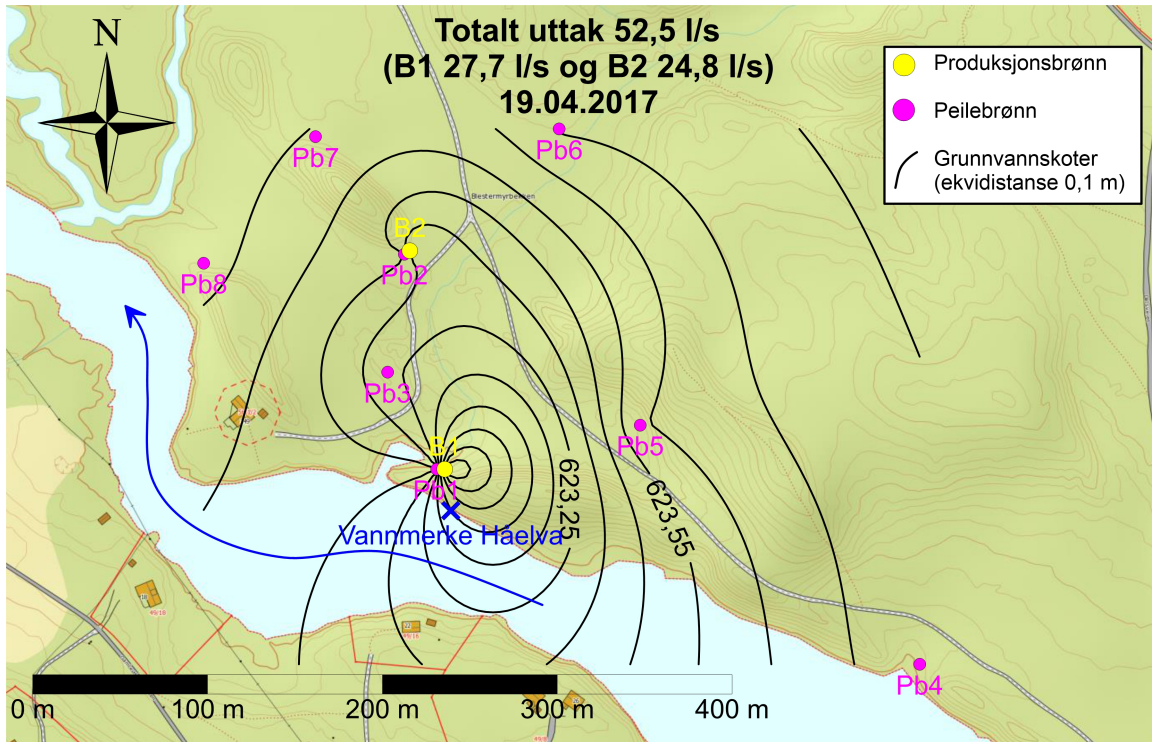
Innhaldet av natrium og klorid er lågt slik ein ville vente så langt frå kysten. Uansett viser dette at akviferen heller ikkje er ureina av vegsalt, der salting av Fylkesveg 532 på andre sida av elva i Hådalen potensielt kunne ha vore ei kjelde til det. Tilhøvet mellom natrium og klorid er nær 1 til 1 for begge brønnane, sjå figurane 5.9 og 5.10. Det fortel at Na^+ i vatnet på lag kun kjem frå sjøsalt i nedbør, og ikkje i særleg grad frå vitring av feltspat. Sidan innhaldet av natrium kan auke ved vitring av feltspat utan at konsentrasjonen av klorid endrar seg, kan eit høgare innhald av natrium enn klorid fortelje om lang opphaldstid i grunnen. Slik indikerer dette tilhøvet i dei to produksjonsbrønnane i Hådalen at vatnet har kort opphaldstid i grunnen. Sidan vi veit at dette ikkje er tilfelle, jamfør lågt kimental og stabil temperatur, må det vere andre grunnar til at forholdet er så lågt som det er. Det er påvist at lausmassane som eskerane i Hådalen er samansett av er langtransporterte (Wolden, 2010). Dermed var dei sorterte og allereie vitra før dei var avsette der dei ligg i dag (Brattli, 2014). Det gjer at berre dei mest stabile minerala vart att, og frigjeving av natrium til vassfasen gjennom vitring vert noko avgrensa. I tillegg kan det nemnast at lågt innhald av organisk materiale i lausmassane gjer vatnet mindre surt og dermed mindre aggressivt enn det vert der humus kan frigi hydrogenion til vatnet. Uansett er konsentrasjonane av desse iona så låge at konklusjonar om store trekk i akviferen ikkje er råd å trekke frå dette.

pH har stige frå 6,6 til 7,1 i B2 frå første til andre vassprøven var teken. Det kjem truleg av at pumpinga har ført til gjennomstrøyming av friskt vatn med høgare oksygeninnhald enn det første vatnet. Reduserande eller sure miljø oppstår når ein har brukt opp det tilgjengelege oksygenet til nedbryting av organisk materiale, og andre elektronakseptorar må ta over for å fortsette nedbrytinga. I redoksreaksjonane som fylgjer vert hydrogenion frigjeve og miljøet vert surt. Ved å tilføre oksygen vil ein oksidere dei reduserte komponentane, hydrogeniona bindast og pH stig (Berg, 2015). I Mølmannstadalen innstiller pH-en seg rundt 7 både for B1 og B2, som er nøytralt og problemfritt i høve stabilitet på rørsystem. Dette pH-nivået ligg omlag på medianverdien for 72 lausmassebrønnar som er undersøkte i Noreg og diskuterte i Banks et al. (2000). Grunnen til at pH-en ikkje er høgare har samanheng med seint vitrande mineral i lausmassebrønnar.

I høve mediankonsentrasjonen av magnesium i lausmassebrønnane omtala i [Banks et al. \(2000\)](#) er konsentrasjonane høvevis høge i produksjonsbrønnane. Medan medianverdien var 1,56 mg/l Mg^{2+} for dei 72 brønnane, ligg konsentrasjonen i B1 på 5,12 og i B2 på 8,84 mg/l, altså ein del over snittet. Som vist i likning [3.10](#) er magnesiumion eit produkt av forvitring av pyroksen. Det same gjeld for vitring av amfibol og biotitt. Frå tabell [5.8](#) og [5.9](#) ser ein at det finnast noko amfibol i form av hornblende og noko pyroksen (diopsid) i begge brønnane. Dette kan i nokon grad forklare dei høge konsentrasjonane av magnesium i vatnet, sjølv om innhaldsprosentane av minerala ikkje er så høge.

Prosenten av hornblende ligg i snitt mellom tre og fire gongar høgare for B1 enn for PB2, og innhaldet av diopsid og augitt er samanlagt òg høgare for B1 enn PB2. Dette skulle tilseie at konsentrasjonen av magnesium i grunnvatnet skulle ha vore størst i B1. I staden er konsentrasjonen høgst i B2, og det tyder på at det må vere noko anna enn mineralogien som påverkar mengda løyst magnesium.

Kalsiuminnhaldet er høgt både i B1 og B2, då det konsekvent ligg godt over snittkonsentrasjonen for lausmassebrønnar på 10,6 mg/l ([Banks et al., 2000](#)). Kalsium kjem frå oppløysing av kalsitt, og er størst i B1 der innhaldet av kalsitt òg er påvist høgst. Sidan kalsium vert frigjeve ved vitring av amfibolar og pyroksenar, vil òg innhaldet av desse verke inn på konsentrasjonen av kalsium. Innhaldet av desse er òg høgst i B1, så ein reknar med at kalsiuminnhaldet kan forkla- rast ved mineralogien i grunnen.



Figur 6.5: Ekvipotensialkart over reservoaret etter nokre månader med pumping, 19.04.17. Kartet er henta frå Riise (2017).

Mot slutten av datagrunnlaget for denne oppgåva er strøymingsbiletet vist i figur 6.5. B1 trekk vatn frå eskeren nærast Håelva både opp- og nedstraums. Seinkingstreka i denne eskeren har no stabilisert seg, med ein gradient oppstraums for B1 på $3,97 \cdot 10^{-3}$ og $5,27 \cdot 10^{-3}$ nedstraums. Ein del vatn kjem til begge brønnane frå den store eskerforma i nordaust. Gradienten mellom PB5 og B2 er $2,24 \cdot 10^{-3}$, òg denne er nokså lik som den var tidlegare i prøvepumpinga. Mellom PB7 og B1 er den hydrauliske gradienten $4,56 \cdot 10^{-3}$. At seinkingstreka ikkje bøyer av rundt PB3 viser at denne brønnen er i hydraulisk kontakt med produksjonsbrønnane. Som tidlegare drøfta er denne kontakten indirekte.

6.4 Vern av vasskjelda

6.4.1 Naturleg vern

Naturen har ei vesentleg evne til å verne om grunnvatn. Som tidlegare skildra har den umetta sona i ein akvifer stort potensiale for å reinse nedbørsvatn på veg mot vasspegelen. Dette skjer ved at store organiske sambindingar ikkje slepp gjennom porane og andre stoff immobiliserast på kornoverflatene. Denne effekten er avhengig av kor mektig den umetta sona er samt kornstorleiken til massane. Di mindre partiklar, di større kontaktflate og -tid mellom vass- og mineralfasen, di betre reinseeffekt. Det naturlege innhaldet av organisk materiale spelar òg inn på grunnen si reinsande effekt, då store organiske molekyl evnar å binde ureiningar til seg så dei ikkje går vidare nedover med jordvatnet (Brattli, 2009).

Sonderboringane frå forundersøkingane viser at dei fleste av brønnane har massar av silt og finsand i dei øvste 3-4 meterane. Peilemålingar før pumping viser at umetta sone er omlag 3 meter mektig i dei flate områda mellom eskerane. Dette gjev ei mektig hygienisk barriere av finkorna materiale, som er svært gunstig for kvaliteten på vatn som magasinerast gjennom infiltrasjon frå overflata. Produksjonsbrønnane er plasserte med tanke på desse øvste silt laga. Dei er sette ned i flankane på to større grusryggar i dagen, slik at ein får silt og finstoff over kjelda, medan det filtersette djupet består av grovare hydraulisk leiande massar, sjå skisse av akvifer med brønnar i figur 6.2.

I kor stor grad overflata mot Håelva har reinsande effekt som resultat av tilslamming er vanskeleg å seie noko om, då mating frå elva ser ut til å skje i størst grad eit stykke frå brønnområdet. Det gjer at påverknaden frå elvevatnet er dempa av opphaldstida i eskerane frå infiltrasjon til utpumping. Når snøsmeltinga tek til vil ein få høgare vassføring i Håelva og matinga til akviferen vil truleg auke. Ved analysar av bakteriologisk innhald i vatnet frå produksjonsbrønnane under snøsmeltinga vil ein kunne seie noko om kva reinseeffekt elvekanalen har.

Basert på ein enkel sylindermodell kan ein gjere eit overslag over utstrekninga av 60-døgersona, altså det arealet på overflata der vatnet i grunnen oppheld seg i opp til 60 døger frå infiltrasjon til utpumping.

$$Q = 50 \text{ l/s}$$

Det volumet vatn som vert pumpa ut i løpet av 60 døger må ha plass innanfor 60-døgersona. Dette volumet er:

$$V_{60} = 50 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 60 \text{ døger} = 259\,200 \text{ m}^3$$

Med ein effektiv porøsitet på 0,25 vert det fysiske volumet (med lausmassar og vatn):

$$V = \frac{V_{60}}{n_e} = \frac{259\,200 \text{ m}^3}{0,25} = 1\,036\,800 \text{ m}^3$$

Med ei mektigheit på 17 m, gjev dette eit areal i overflata på:

$$A = \frac{V}{h} = \frac{1\,036\,800 \text{ m}^3}{17 \text{ m}} = 60\,988 \text{ m}^2$$

Figur 6.6: Figuren viser utrekning av arealet til 60-døgersona ved hjelp av sylindermetoden for totalt dimensjonerande vassuttak, dvs for begge produksjonsbrønnane til saman.

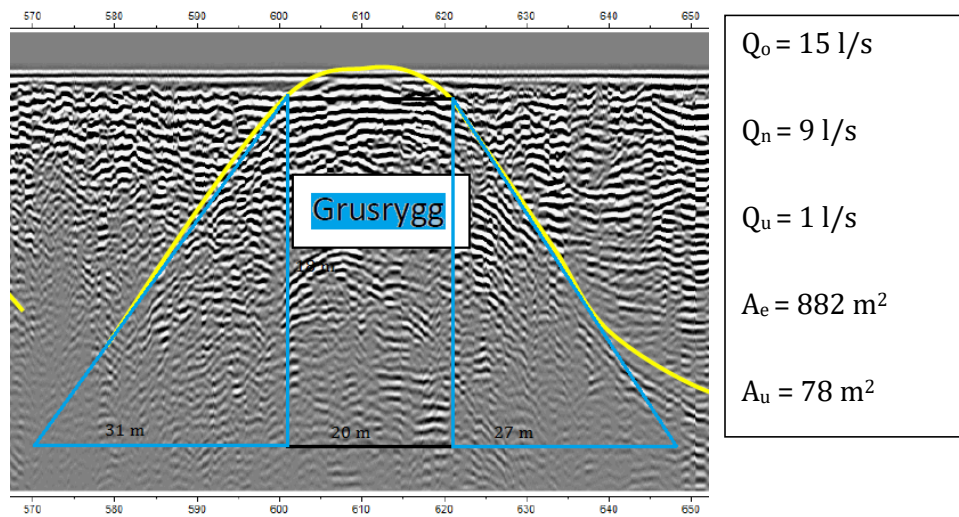
6.4.2 Klausulering

Sone 1 er fastsett ved at opphaldstida til vatnet i grunnen utanfor dette området skal vere minst 60 døger før det vert pumpa ut. Bakteriar som indikerer fekal ureining har ei levetid på omlag 60 døger, og vil døy etter så lang tid i grunnen. Sidan vatn som magasinerast frå sone 1 vil opphalde seg i grunnen kortare enn 60 døger, omfattar restriksjonar for denne sona hindring av fekal ureining. Ein metode som er mykje brukt til å fastsette radius av sone 1 er den såkalla *Sylindermetoden*. Denne føreset at akviferen er homogen og isotrop. Dette er ikkje tilfelle for reservoaret i Mølmannsdalen, då denne kjelda har god hydraulisk leiingsevne langs grusryggane og i mindre grad lateralt. Metoden kan likevel brukast til å rekne ut naudsynt *areal* av sone 1. Utrekninga for totalt dimensjonerande uttak er vist i figur 6.6.

Vidare må dette arealet formast rundt produksjonsbrønnane etter kunnskap om vasskjelda og strøymingane i den. Tverrsnittet av akviferen og dimensjonerande uttak kan nyttast til å rekne ut farten vatnet vil ha i ulike retningar i høve produksjonsbrønnen (Krešić, 2009). Dette krev at ein går ut frå ei fordeling på kor mykje vatn som kjem frå kvar retning. Utrekningar for eskerane som B1 og B2 står i er viste i figurane 6.7 og 6.9. På denne måten kan ein finne fram til kor lang avstanden til ytre grense av sone 1 må vere for å overhalde kravet om 60 døger opphaldstid i ein anisotrop akvifer.

Sidan akviferen i Mølmannsdalen har vesentleg betre hydraulisk leiingsevne i lengderetning av eskerane enn sidevegs, så reknar ein med at det aller meste av vatnet som strøymer til brønnane gjer det frå oppstraums og nedstraums brønnen, gjennom eskeren. Vidare føreset ein at den største delen kjem frå oppstraums side av brønnen ein reknar på, og at ein mindre del kjem frå nedstraums side. Då ein innan denne tid har konkludert med at det finnast eit hydraulisk leiande lag under eskersystemet, føreset ein òg at ein liten del av vatnet til kvar brønn kjem gjennom dette laget, frå oppstraums side.

Dimensjonerande uttak frå B1 er 25 l/s. Ein føreset at 15 l/s av desse strøymen til brønnen gjennom eskeren oppstraums for B1, 9 l/s kjem nedstraums ifrå og den siste 1 l/s kjem frå laget under eskersytemet. Tverrsnittet av eskeren som B1 ligg i reknar ein ut frå georadarprofilen, og det gjev eit areal på $360 + 279 + 243 = 882 \text{ m}^2$. Dersom ein føreset at underlaget er 1 meter mektig, vert tverrsnittsarealet av underlaget $A_u = 78 \text{ m}^2$.



$$v_o = \frac{Q_o}{A_e} = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{s}}{882 \text{ m}^2} = 1,70 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,47 \text{ m/døger}$$

$$s_o = 1,47 \frac{\text{m}}{\text{døger}} * 60 \text{ døger} = \mathbf{88,2 \text{ m}}$$

$$v_n = \frac{Q_n}{A_e} = \frac{0,009 \text{ m}^3/\text{s}}{882 \text{ m}^2} = 1,02 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,88 \text{ m/døger}$$

$$s_n = 0,88 \frac{\text{m}}{\text{døger}} * 60 \text{ døger} = \mathbf{52,8 \text{ m}}$$

$$v_u = \frac{Q_u}{A_u} = \frac{0,001 \text{ m}^3/\text{s}}{78 \text{ m}^2} = 1,28 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,11 \text{ m/døger}$$

$$s_u = 1,11 \frac{\text{m}}{\text{døger}} * 60 \text{ døger} = \mathbf{66,6 \text{ m}}$$

Figur 6.7: Figuren viser utrekning av vassfart og naudsynt avstand frå B1 til grensa for sone 1.

Kontroll for B1

Farten rekna ut for kvar esker kan nyttast i Darcy's lov for å rekne tilbake til hydraulisk konduktivitet for den enkelte eskeren. Dette vil fungere som ein kontroll.

$$Q = -KAI$$

$$\frac{Q}{A} = v = -KI$$

Sidan farten på vatnet må vere høgare i eit porøst medium enn i eit røyr for den same uttaksraten, må ein dele på porøsitet (Kresic, 2009).

$$v = -\frac{KI}{n_{eff}}$$

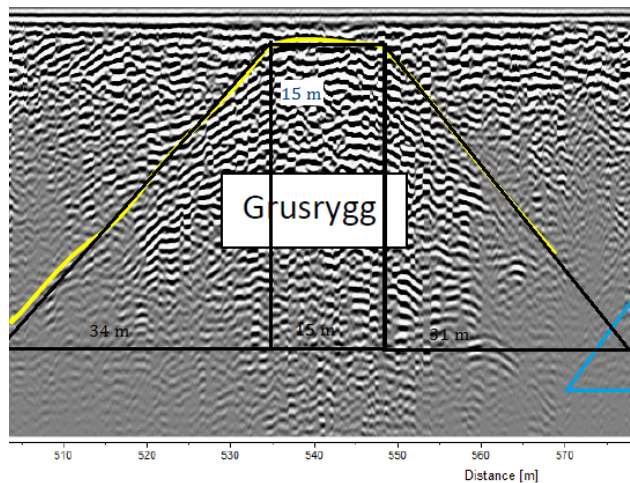
Ved å sette effektiv porøsitet lik 0,25, fart lik den rekna ut for eskeren oppstrams for B1 og hydraulisk gradient I lik den rekna ut mellom PB4 og B1 frå 23.01.17., finn ein hydraulisk konduktivitet slik:

$$K = \frac{v * n_{eff}}{I} = \frac{1,47 * 0,25}{4,17 * 10^{-3}} = 88,13 \frac{m}{døgn} = 1,02 * 10^{-3} \frac{m}{s}$$

Dette resultatet stadfestar at utrekna vassfart er påliteleg.

Figur 6.8: Figuren viser kontroll av farten utrekna for eskeren som B1 står i ved tilbakerekning til hydraulisk konduktivitet frå fart ved hjelp av Darcy's likning.

Dimensjonerande uttak frå B2 er 25 l/s. Ein føreset at 15 l/s av desse strøymen til brønnen gjennom eskeren oppstraums for B2, 9 l/s kjem nedstraums ifrå og den siste 1 l/s kjem frå laget under eskersytemet. Tverrsnittet av eskeren som B2 ligg i reknar ein ut frå georadarprofilen, og det gjev eit areal på $255 + 225 + 233 = 713 \text{ m}^2$. Dersom ein føreset at underlaget er 1 meter mektig, vert tverrsnittsarealet av underlaget $A_u = 80 \text{ m}^2$.



$$Q_o = 15 \text{ l/s}$$

$$Q_n = 9 \text{ l/s}$$

$$Q_u = 1 \text{ l/s}$$

$$A_e = 713 \text{ m}^2$$

$$A_u = 80 \text{ m}^2$$

$$v_o = \frac{Q_o}{A_e} = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{s}}{713 \text{ m}^2} = 2,10 * 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,82 \text{ m/døger}$$

$$s_o = 1,82 \frac{\text{m}}{\text{døger}} * 60 \text{ døger} = \mathbf{109,2 \text{ m}}$$

$$v_n = \frac{Q_n}{A_e} = \frac{0,009 \text{ m}^3/\text{s}}{713 \text{ m}^2} = 1,26 * 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,09 \text{ m/døger}$$

$$s_n = 1,09 \frac{\text{m}}{\text{døger}} * 60 \text{ døger} = \mathbf{65,4 \text{ m}}$$

$$v_u = \frac{Q_u}{A_u} = \frac{0,001 \text{ m}^3/\text{s}}{80 \text{ m}^2} = 1,25 * 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,08 \text{ m/døger}$$

$$s_u = 1,08 \frac{\text{m}}{\text{døger}} * 60 \text{ døger} = \mathbf{64,8 \text{ m}}$$

Figur 6.9: Figuren viser utreking av farten til vatnet inn mot B2 og utleidd avstand til sone 1 for B2.

Kontroll for B2

Farten rekna ut for kvar esker kan nyttast i Darcy's lov for å rekne tilbake til hydraulisk konduktivitet for den enkelte eskeren. Dette vil fungere som ein kontroll.

$$Q = -KAI$$

$$\frac{Q}{A} = v = -KI$$

Sidan farten på vatnet må vere høgare i eit porøst medium enn i eit røyr for den same uttaksraten, må ein dele på porøsitet (Kresic, 2009).

$$v = -\frac{KI}{n_{eff}}$$

Ved å sette effektiv porøsitet lik 0,25, fart lik den rekna ut for eskeren oppstrøms for B2 og hydraulisk gradient I lik den rekna ut mellom PB5 og B2 frå 23.01.17., finn ein hydraulisk konduktivitet slik:

$$K = \frac{v * n_{eff}}{I} = \frac{1,82 * 0,25}{3,17 * 10^{-3}} = 143,53 \frac{m}{døgn} = 1,66 * 10^{-3} \frac{m}{s}$$

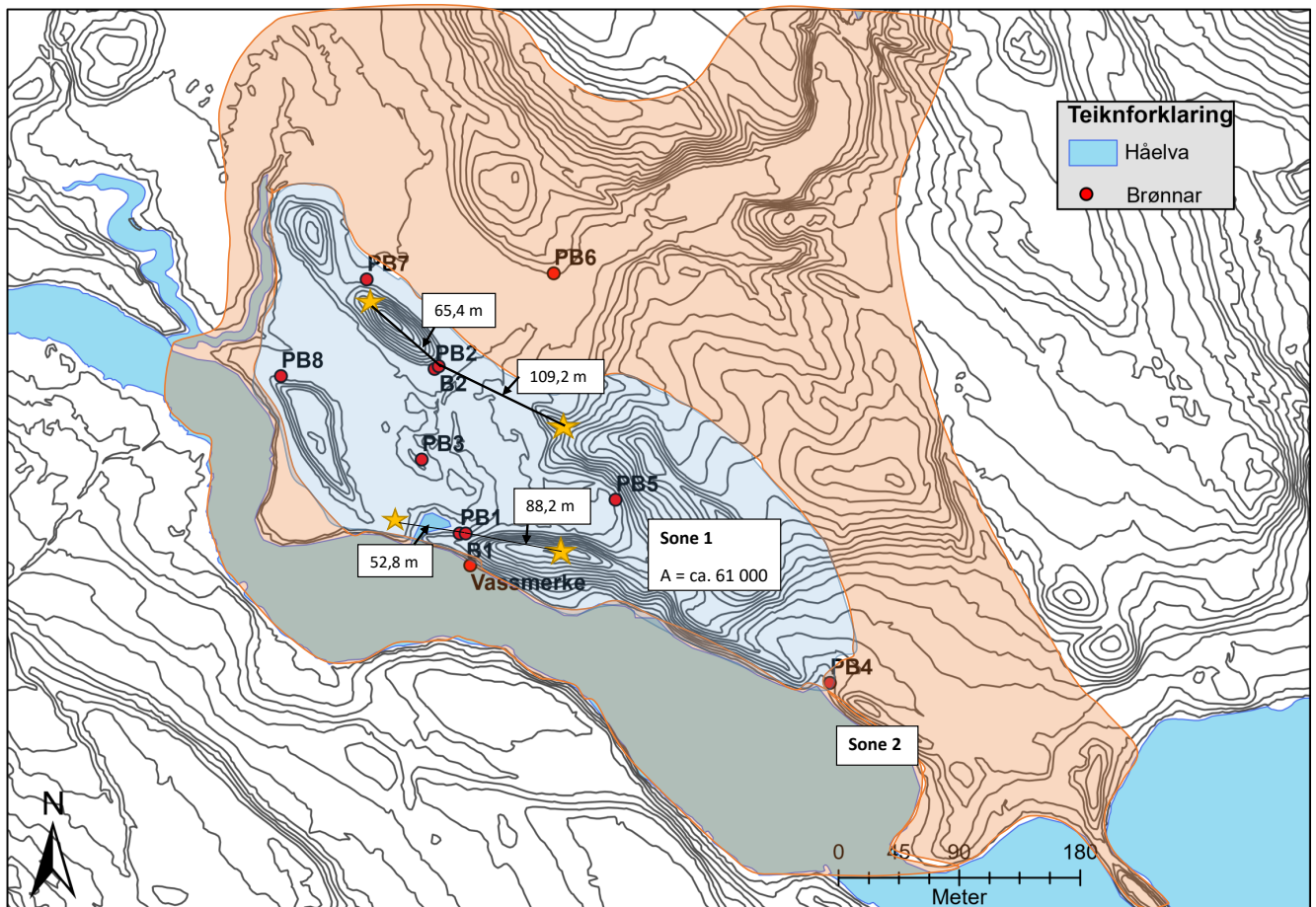
Dette resultatet stadfestar at utrekna vassfart er påliteleg.

Figur 6.10: Figuren viser kontroll av farten utrekna for eskeren som B2 står i ved tilbakerekning til hydraulisk konduktivitet frå fart ved hjelp av Darcy's likning.

Frå utrekningane i figur 6.7 og 6.9 kjem det fram at ein avstand på 88,2 meter oppstraums for B1 markerer det punktet der vatnet har ei opphaldstid på 60 døger frå infiltrasjon til utpumping gjennom eskeren. I det grove laget går vatnet seinare på grunn av anteke lågt bidrag herfrå, og naudsynt strekning til sonegrensa vert difor kortare. Dermed vil vatnet i dette laget vere sikra ved grensa som er sett for strøyming frå oppstraums i esker. Dersom ein større del av utpumpa vatn kjem frå botnlaget enn det som er teke høgd for i utrekninga, så vil avstanden for dette laget kunne verte større enn for eskeren, gjeve at føresett mektigheit er rett. Er laget tjukkare enn ein her har rekna med vil verknaden vere motsett, vatnet går seinare, og avstanden til 60-døgersona minkar.

Nedstraums for B1 er naudsynt strekning på 52,8 meter, medan strekninga på oppstraums side for B2 er 109,2 meter. Avstanden mellom B1 og B2 er rundt rekna 130 meter, så det er naturleg å slå saman sone 1 for dei to brønnane. Naudsynt strekning nedstraums for B2 er 65,4 meter, men det er naturleg å ta med resten av eskeren i dagen i det inste tilsigsområdet. Kontroll av vassfart og dermed berekna avstandar er gjort ved tilbakerekning til hydraulisk konduktivitet ved hjelp av Darcy's lov, sjå figur 6.8 og 6.10. Resultata stadfestar at berekningane held mål.

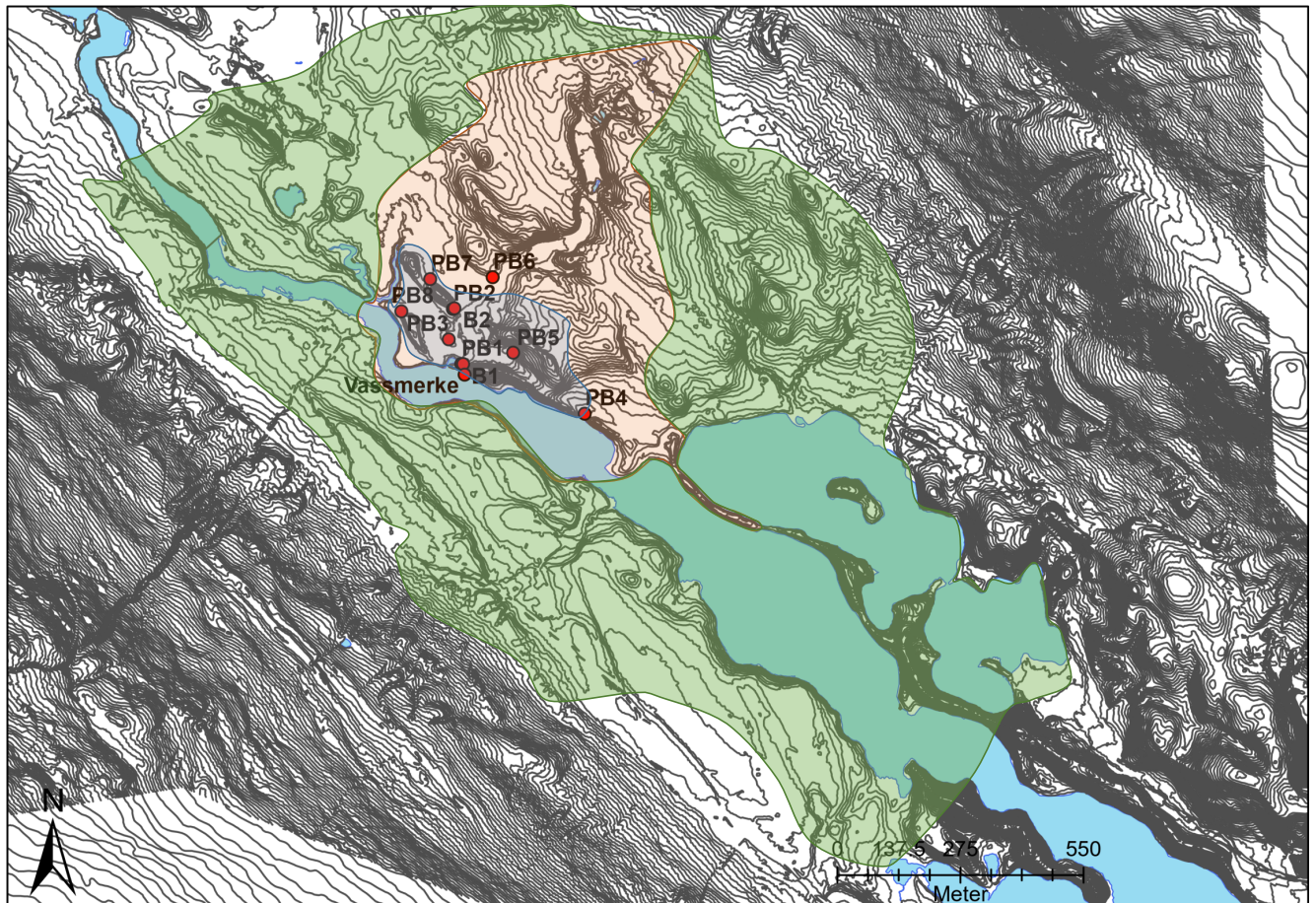
Arealet rekna ut i figur 6.6 er brukt til å avgjere utstrekkinga av sone 1, og dette resulterer i at avstandane frå brønnane vert vesentleg lenger enn det som er rekna ut ved hjelp av farten på vatnet. Det gjer at ein får god margin på sone 1, noko som gjer at ein held seg på den sikre sida i høve bakteriologisk ureining av drikkevasskjelda. Det utrekna arealet strekkast over dei to hovudeskerane og inkluderer området mellom desse i brønnområdet, sjå figur 6.11. Dette arealet omfattar den overflata som vil føre infiltrert vatn rett i akviferen nærast brønnane. Hytta som ligg på neset rett sør for PB8 ligg utanfor eskeren, og ein skil difor dette neset frå det inste vernområdet. Fordi ein vurderer Håelva som ei vesentleg kjelde til nydanning av vatn til magasinet, gjev det meining å trekke grensa langs elvebreidda ved minstevassføring. Dette gjeld langs heile utstrekkinga av sone 1, utanom neset der hytta ligg.



Figur 6.11: Kartet viser føreslått inndeling av området i sone 1 (blå) og sone 2 (raudleg). Sone 1 omfattar det nære tilsigsområdet medan sone 2 femner om det fjerne tilsigsområdet. Avstandane med 60 døger opphaldstid på vatnet i grunnen er indikerte både opp- og nedstraums for begge brønnane med stjerner. Arealet av sone 1 er òg spesifisert.

Sone 2 femner om det fjerne tilsigsområdet, og alt vatn som pumpast ut frå brønnane skal vere infiltrert innanfor grensene til denne sone (Eckholdt, 1992). På grunnlag av føresett matingspunkt der eskeren går ut mellom Nordre Dalstjøna og Rismosjøen, er det naturleg at sone 2 strekker seg oppstrauts dit. I tillegg inkluderer ein openberre dreneringsvegar til sone 1 som framgår av høgdekotene, sjå figur 6.11. Heile elvestrekket som grensar mot sone 1 takast òg med, då hydraulisk kontakt er påvist her under synfaring. Hytta på neset sør for PB8 inngår her, til liks med hytta som ligg på neset som stikk ut i Håelva og skapar ei innsnevring i denne mellom PB4 og tangen i søraust. I fylgje Eckholdt (1992) er hytter tillete innanfor sone 2.

Sone 3 skal omfatte areal som kan komme til å ha innverknad på grunnvasskvaliteten. Kva område som vert rekna med her er avhengig av massetype og -mektigheit, samt dreneringsvegar. I Mølmannsdalen er det grunna strømingssretningen i Håelva naturleg at det aller meste av sone 3 ligg oppstrauts brønnumrådet. Likevel må noko areal nedstrauts for brønnumrådet med i denne sone, då det er god hydraulisk kontakt til dei to peilebrønnane lengst nedstrauts i brønnumrådet. Oppstrauts inkluderast glasifluviale avsettjingar omlag 1,5 km oppover Hådalen frå sone 1. Dette inneber at eit breitt belte sør for Håelva vert innlemma i sone 3. I dette området er det i dag spreidd busetnad, som er forenleg med restriksjonane for sone 3. Ved å trekke denne lina set ein forbod mot at industri kan opprettast her i framtida (Eckholdt, 1992). I tillegg er det naudsynt å ta med områder i dei tilgrensande silt- og moreneavsettingane som drenerer vatn til dei glasifluviale massane nedst i dalbotnen. Kart med inndeling i tre verneområder er vist i figur 6.12.



Figur 6.12: Kartet viser foreslått inndeling av området i sone 1 (blå), sone 2 (raudleg) og sone 3 (grøn).

Kapittel 7

Konklusjon

Akviferen er samansett av to einingar. Eit grovt lag ligg i botnen og er overlatt av eit nettverk av grusryggar med silt mellom dei. Under upåverka tilhøve viser strøymingskart, vassanalysar og feltmålingar av elektrisk leiingsevne at vatnet omlag står stille i akviferen rundt produksjonsbrønnane, med eit lite sig frå grunnen i nordaust. Vatnet står i kontakt mellom peilebrønnane i dei to hovudeskerane, med ein jamn gradient rundt 0,0014 i eskeren nærast Håelva, og ein noko høgare gradient rundt 0,0035 i den andre. Vatnet ved B1 har ein noko høgare konsentrasjon av ion enn B2, truleg grunna høgare innhald av dei høvevis lettoppløselege minerala hornblende og kalsitt i B1.

Under pumping ser ein tydeleg respons i peilebrønnane bora i dei to grusryggane som er mest markante i terrenget, der produksjonsbrønnane òg er nedsette. Det viser at det her er god hydraulisk kommunikasjon i grunnen. I to av peilebrønnane går seinkinga av vasspegelen noko tregare enn i dei andre, noko som indikerer ein indirekte kontakt til produksjonsbrønnane, enten via det grove underlaget eller via hovudeskerane. Ettersom pumpinga held fram vert den hydrauliske gradienten brattare oppstrøms for produksjonsbrønnane, medan gradienten snur nedstrøms for desse; det dannast seinkingstrekk. Temperaturmålingar og bakteriologiske analysar av vatnet utover i prøvepumpinga indikerer at opphaldstida er høg. Dermed skjer mating truleg eit stykke lenger oppstrøms for brønnområdet, sannsynleg der eskeren deler Nordre Dalstjønnen frå Rismosjøen.

Kvaliteten til vatnet er særst god, med låge konsentrasjonar av jern og mangan, nøytral pH, lågt kimal og ingen påviste bakteriar. Innhaldet av kalsium og magnesium er høvevis høgt, noko som truleg skuldast oppløysing av kalsitt, samt vitring av pyroksenar og amfibolar i grunnen. Konsentrasjonane av natrium og klorid er låge slik ein ventar i eit reservoar så langt frå havet. Lågt fargetal indikerer lågt innhald av organisk stoff i massane, noko som er vanleg for breelvavsettingar.

På grunnlag av dimensjonerande pumperate og geometrien til eskerane som B1 og B2 står i, har ein funne fart på vatnet som må brukast for å fastsette minimumsavstand til sone 1 frå kvar brønn. Resultatet gav 110 meter oppstraums og 55 meter nedstraums for B2, medan det gav 90 meter oppstraums og 65 meter nedstraums for B1. Naudsynt areal på sone 1 vart òg rekna ut, og dette vart nytta for å trekke grensene til sone 1. Arealet er avlangt i lengderetning av dalen og eskerane grunna høgare hydraulisk leiingsevne i denne retningen. Sone 2 omringar sone 1 og inkluderer to hytter. Den ytste vernesona er trekt omlag 1,5 kilometer oppover og rundt 700 meter nedover Hådalen frå vasskjelda. Denne sona femner om nokre bøter med fulldyrka mark, noko spreidd busetnad og noko vegnett, alle element som er forenlege med restriksjonane innan sone 3.

Kapittel 8

Appendiks

8.1 Trinntest

B1

Tabell 8.1: Tabellen under viser peilenivå (i meter) målt ved aukande tid frå pumpestart og med to ulike pumperatar, både i produksjonsbrønn og næraste peilebrønn.

Trinn	1		2	
Tid (min)	B1	PB1	B1	PB1
0	3,350	2,220	4,670	2,585
1	4,500		5,170	
2	4,640		5,180	
3	4,650		5,180	
4	4,650		5,180	
5	4,650		5,180	2,710
6	4,655			
7	4,660			
8			5,180	
9				
10	4,660	1,310	5,190	2,720
11				
12				
13		2,580		
14				
15	4,665		5,190	2,720
16				
17				
18				
19				
20	4,668	2,580	5,195	2,720
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30	4,670	2,585		

B2

Tabell 8.2: Tabellen viser peiledata (i meter) for produksjonsbrønn B2 og peilebrønn PB2 med aukande tid frå pumpestart, totalt for tre trin.

Trinn	1		2		3	
Tid (min)	B2	PB2	B2	PB2	B2	PB2
0	4,460	4,120	4,830	4,320	5,050	4,340
1	4,750		4,960		5,240	
2	4,755		4,960		5,240	
3	4,750		4,960		5,250	
4	4,760		4,970		5,250	
5			4,970		5,255	
6					5,260	
7					5,260	
8			4,990			
9	4,770		5,000			
10			5,000		5,255	
11						
12	4,770		5,005			
13	4,770					
14						
15	4,790		5,015		5,285	4,570
16	4,795					
17	4,800					
18						
19	4,800	4,320				
20			5,020		5,300	4,590
21						
22						
23						
24	4,825					
25			5,050		5,305	
26						
27						
28						
29						
30	4,830		5,050	4,340	5,320	4,610
31	4,830					
32	4,830					
33	4,830					
34						
35					5,320	

8.2 Borelogg frå Hallingdal Brønn- og Graveservice AS

Hallingdal Brønn Og Graveservice A/S				Side:		
Kunde:		RØROS kommune		Punkt nr:	2	
Fylke:	Sør-Trøndelag	Kommune:	RØROS	Total dyb.:	20,5	
Koordinat:	32 62 4922 6937 499			Dyb. til v.st:	4,56	
Masser: L=Leire, S=Silt, O=Organisk, SA=Sand, G=Grus, ST=Stein, B=Blokk, M=Morene, F=Fjell			Vann: T=Tørt, L=Lite, M=Middels, G=God, Mg=Meget God			
Farge vann: B=Blankt, Br=Brunt, G=Grått, Bs=Brunt/Svart				Poseprøve: P		
				Vannprøve: V		
Dybde	Masser	Vann	Farge	Pose/Vann	Temp	Ledningsevne
1	SA	T				
2						
3						
4						
5	G, ST	L	Br			
6						
7		M				
8	SA					
9	SA - G					
10	SA					
11	SA - G	G				
12		Mg				
13						
14						
15						
16						
17						
18	SIT					
19		M	G			
20			G			
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
Brønnmateriale:	Brønndiameter: 273	Brønn over terreng: 7 m				
PEHD-PE-PVC	Brønndybde: 19,74 m	Slisse: 7 mm				
Rustfri	Filterlengde: 6 m	Brønnborer: Birger Ismbrik				
Syrefast	Filter frå - til: 73,79-79,74	Dato: 25/11-76				

Borelogg for B1

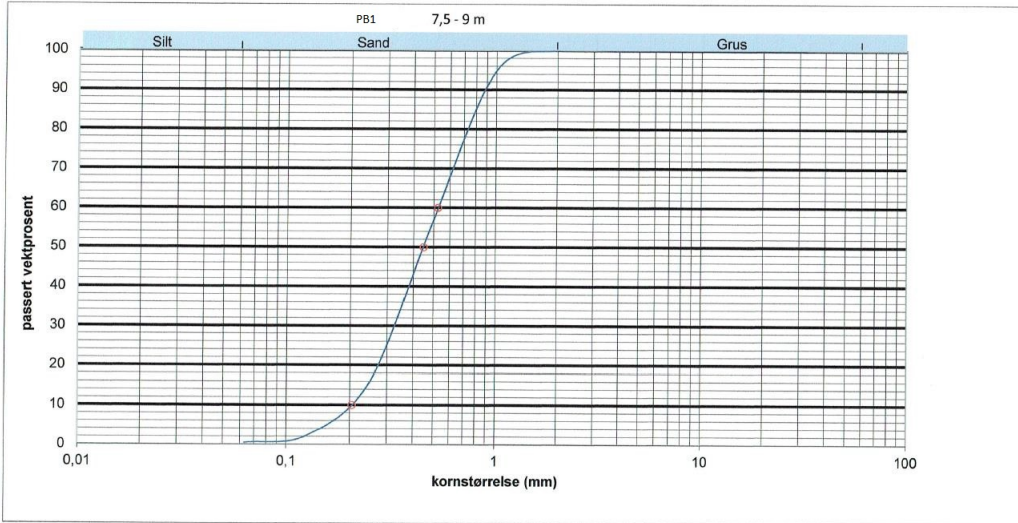
Hallingdal Brønn Og Graveservice A/S				Side:		
Kunde: Røros kommune				Punkt nr: 7		
Fylke: Sør-Trøndelag		Kommune: Røros		Total dyb.: 21 m		
Koordinat: 32 62 49 49 - 69 37 368				Dyb. til v.st: 3,52 m		
Masser: L=Leire, S=Silt, O=Organisk, SA=Sand, G=Grus, ST=Stein, B=Blokk, M=Morene, F=Fjell				Vann: T=Tørt, L=Lite, M=Middels, G=God, Mg=Meget God		
Farge vann: B=Blank, Br=Brunt, G=Grått, Bs=Brunt/Svart				Poseprøve: P		
				Vannprøve: V		
Dybde	Masser	Vann	Farge	Pose/Vann	Temp	Ledningsevne
1	SA					
2	ll					
3	ll	L	Br			
4	ll	L	ll			
5	ll	MA	ll			
6	ll	ll	ll			
7	ll	ll	ll			
8	ll	G	ll			
9	ll	G	ll			
10	ll	G	ll			
11	SA-G	Mg	ll	P		
12	ll ll	ll	ll			
13	ll ll	ll	ll			
14	ll ll	ll	ll	P		
15	ll ll	ll	ll			
16	ll ll	ll	ll			
17	ll ll	ll	ll	P		
18	ll ll	ll	ll			
19	SA-G-ST	ll	ll			
20	ll ll ll	ll	ll	P		
21	ll ll ll	ll	ll			
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
Brønnmateriale: PEHD-PE-PVC	Brønndiameter: 273 mm	Brønn over terreng: ca 2 m for oppstilling				
Rustfri	Brønndybde: 22,30 m	Slisse: 7 mm				
Syrefast	Filterlengde: 6 m	Brønnborer: Birger Embæk				
	Filter frå - til: 76,30 - 22,30	Dato: 26/77 ^e 76				

Borelogg for B2

8.3 Kornfordelingskurver

SAK: ASPLAN RØROS
 Adresse: PB1

Prøvepunkt: PB1
 Dybde 7,5 - 9 m



sikt	<0,063	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
passert i%	0	0,440141	2,288732	16,28521	56,95423	94,80634	100	100	100	100	100
passert vekt	0	5	26	185	647	1077	1136	1136	1136	1136	1136
Dyp	D10	D50	D60	S0	Merknader						
	0,204	0,447	0,524	2,569							

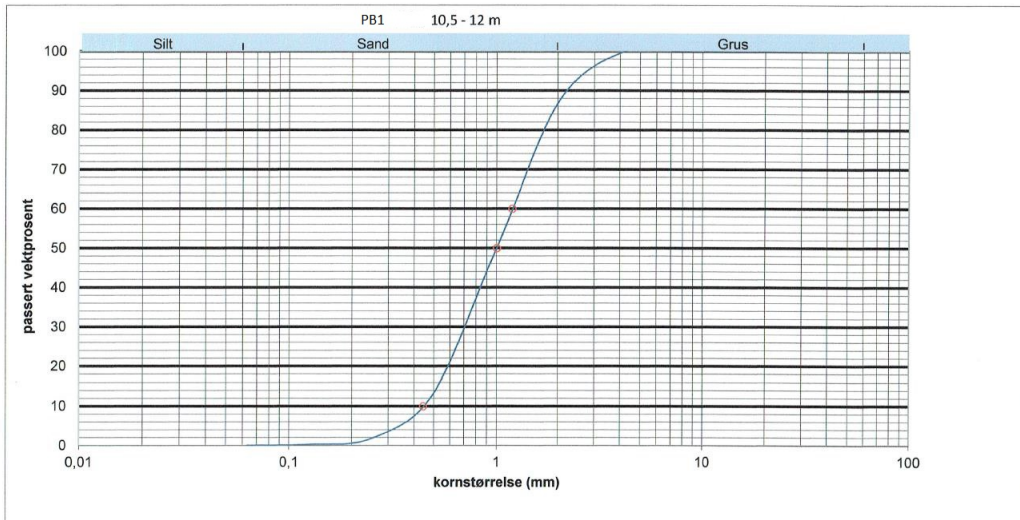
Dato: 24.08.2016

Sign: *Lars Westlie*

Hydrogeologi og AvlopsRådgivning

SAK: ASPLAN RØROS
 Adresse: PB1

Prøvepunkt: PB1
 Dybde 10,5 - 12 m



sikt	<0,063	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
passert i%	0	0,078064	0,312256	1,873536	13,34895	49,8829	86,80718	99,53162	100	100	100
passert vekt	0	1	4	24	171	639	1112	1275	1281	1281	1281
Dyp	D10	D50	D60	S0	Merknader						
	0,443	1,005	1,190	2,686							

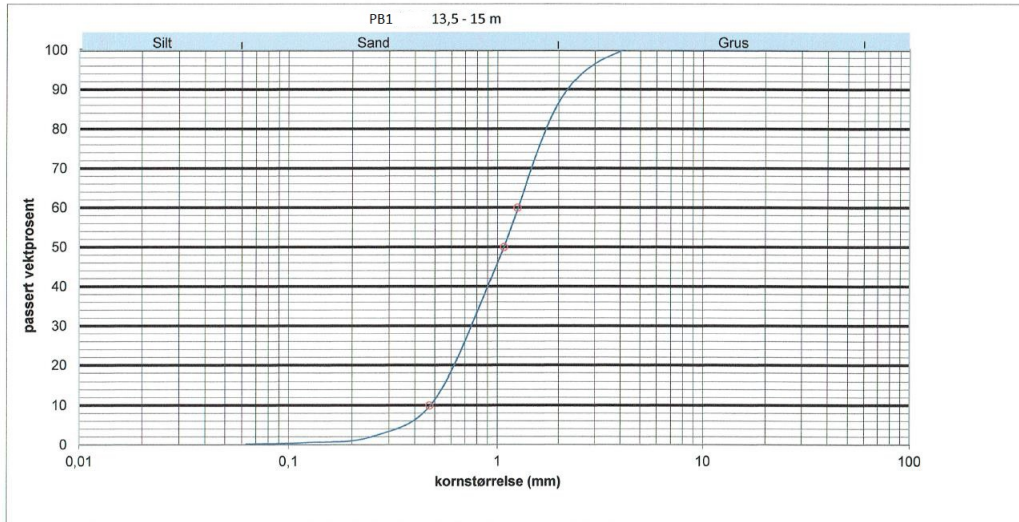
Dato: 24.08.2016

Sign: *Lars Westlie*

Hydrogeologi og AvlopsRådgivning

SAK: ASPLAN RØROS
 Adresse: PB1

Prøvepunkt: PB1
 Dybde: 13,5 - 15 m



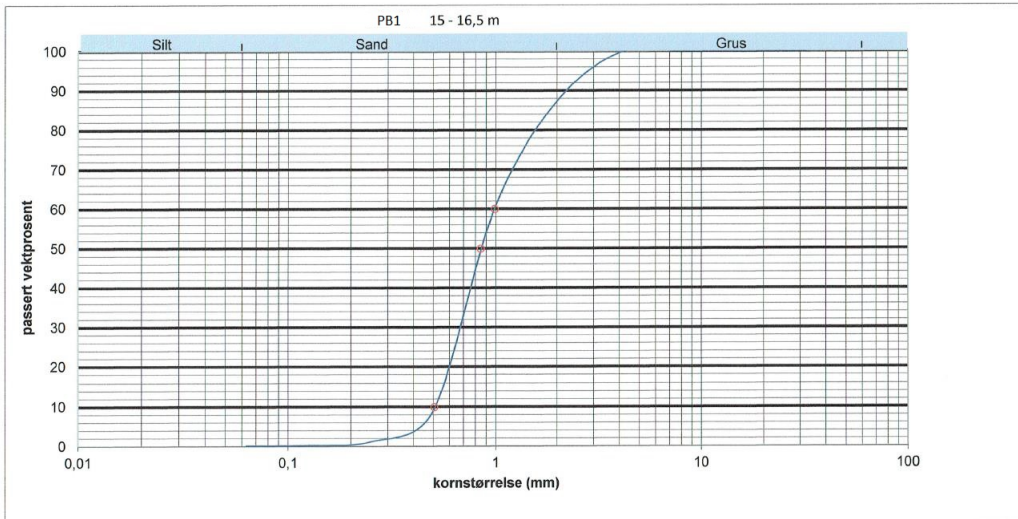
sikt	<0,063	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
passert i%	0	0,20284	0,608519	2,129817	11,46045	45,84178	86,61258	99,69574	100	100	100
passert vekt	0	2	6	21	113	452	854	983	986	986	986
Dyp	D10	D50	D60	S0	Merknader						
	0,47	1,075	1,250	2,650							

Dato: 24.08.2016
 Sign: *[Signature]*

Hydrogeologi og AvløpsRådgivning

SAK: ASPLAN RØROS
 Adresse: PB1

Prøvepunkt: PB1
 Dybde: 15 - 16,5 m



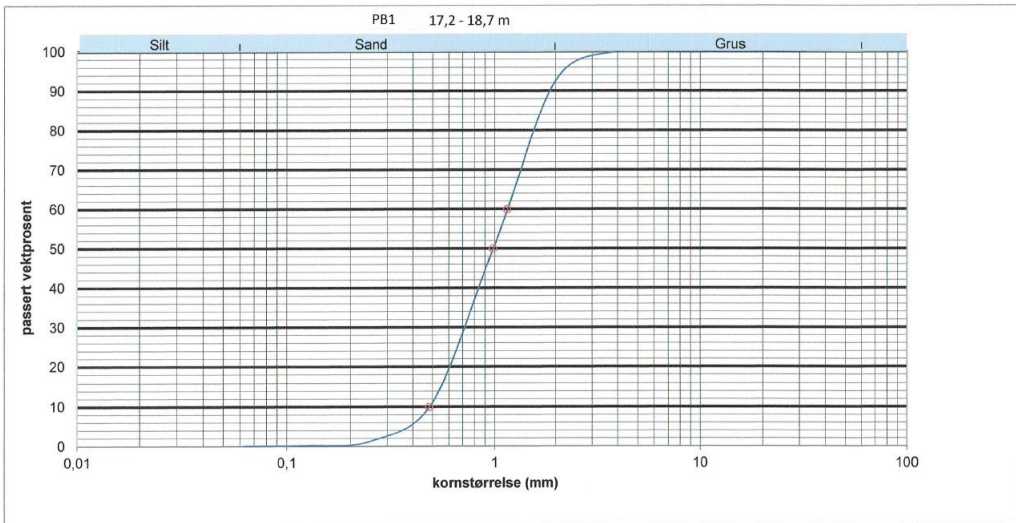
sikt	<0,063	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
passert i%	0	0,13587	0,271739	1,222826	8,967391	61,00543	87,36413	99,59239	100	100	100
passert vekt	0	1	2	9	66	449	643	733	736	736	736
Dyp	D10	D50	D60	S0	Merknader						
	0,507	0,848	0,985	1,943							

Dato: 24.08.2016
 Sign: *[Signature]*

Hydrogeologi og AvløpsRådgivning

SAK: ASPLAN RØROS
 Adresse: PB1

Prøvepunkt: PB1
 Dybde: 17,2 - 18,7 m



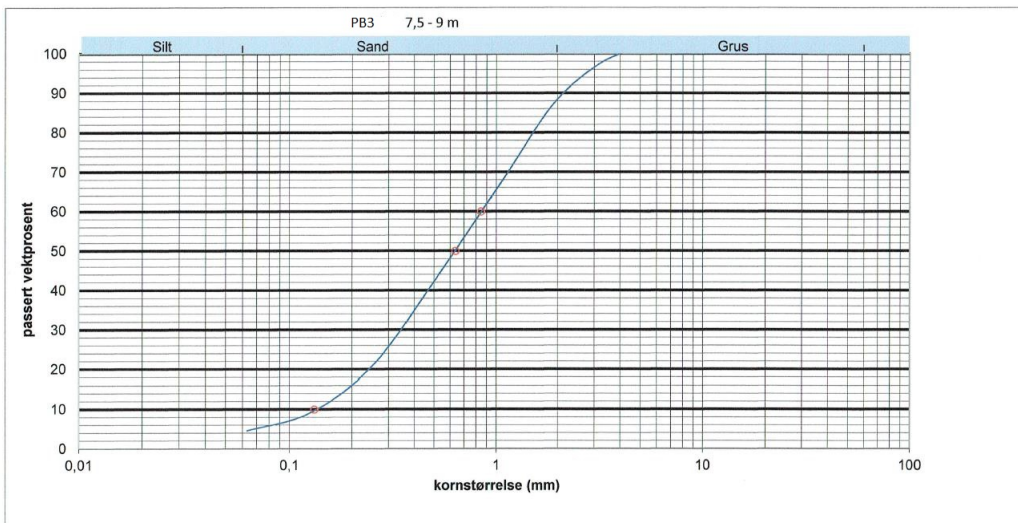
sikt	<0,063	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
passert i%	0	0,080064	0,240192	1,361089	11,20897	50,92074	92,63411	100	100	100	100
passert vekt	0	1	3	17	140	636	1157	1249	1249	1249	1249
Dyp	D10	D50	D90	S0	Merknader						
	0,48	0,96	1,147	2,390							

Dato: 24.08.2016
 Sign: *[Signature]*

Hydrogeologi og AvlepsRådgivning

SAK: ASPLAN RØROS
 Adresse: PB3

Prøvepunkt: PB3
 Dybde: 7,5 - 9 m



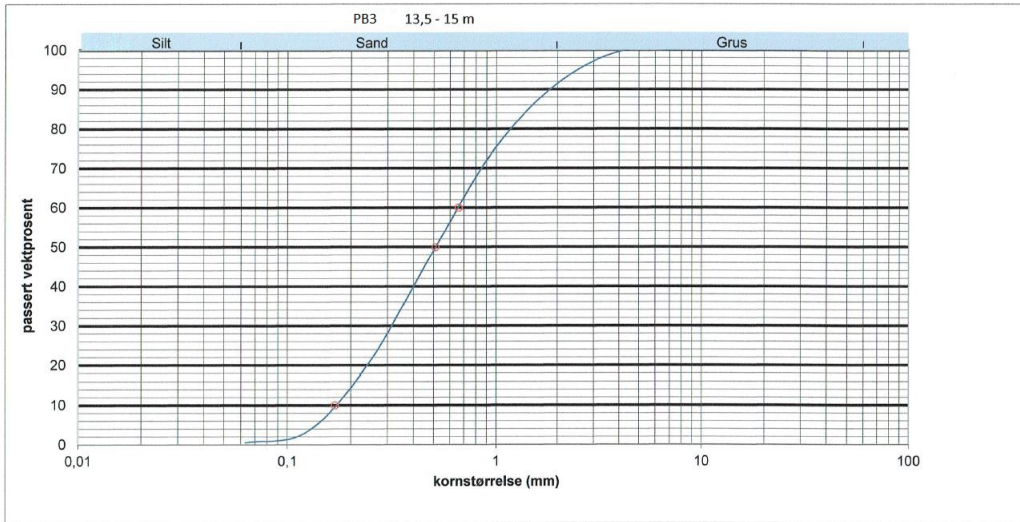
sikt	<0,063	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
passert i%	0	4,587156	9,04325	20,83879	42,20183	65,5308	88,46658	100	100	100	100
passert vekt	0	35	69	159	322	500	675	763	763	763	763
Dyp	D10	D50	D90	S0	Merknader						
	0,132	0,636	0,845	6,402							

Dato: 24.08.2016
 Sign: *[Signature]*

Hydrogeologi og AvlepsRådgivning

SAK: ASPLAN RØROS
 Adresse: PB3

Prøvepunkt: PB3
 Dybde: 13,5 - 15 m



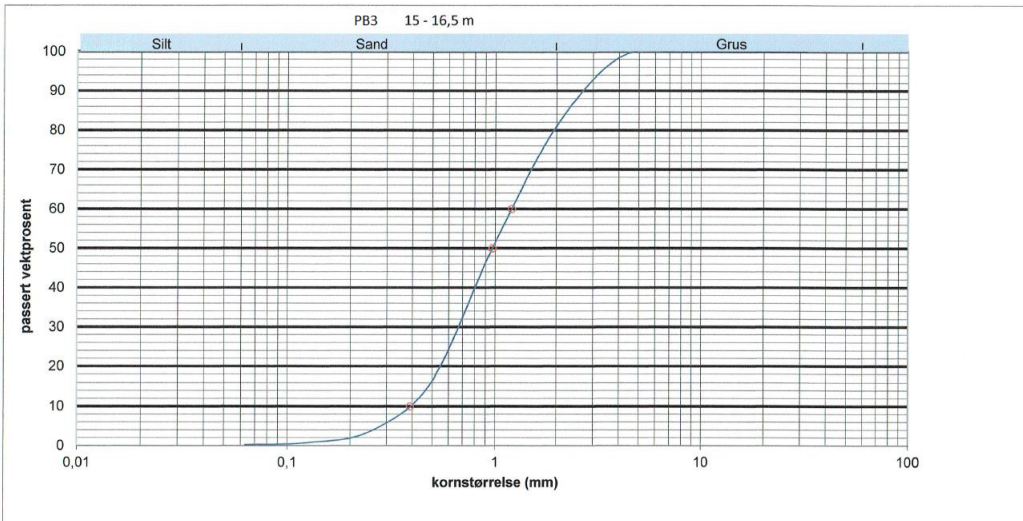
sikt	<0,063	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
passert i%	0	0,520059	3,417533	21,54532	49,10847	75,48291	91,53046	99,62853	100	100	100
passert vekt	0	7	46	290	681	1016	1232	1341	1346	1346	1346
Dyp	D10	D50	D60	S0	Merknader						
	0,168	0,511	0,660	3,929							

Dato: 25.08.2016
 Sign: *[Signature]*

Hydrogeologi og AvlopsRådgivning

SAK: ASPLAN RØROS
 Adresse: PB3

Prøvepunkt: PB3
 Dybde: 15 - 16,5 m



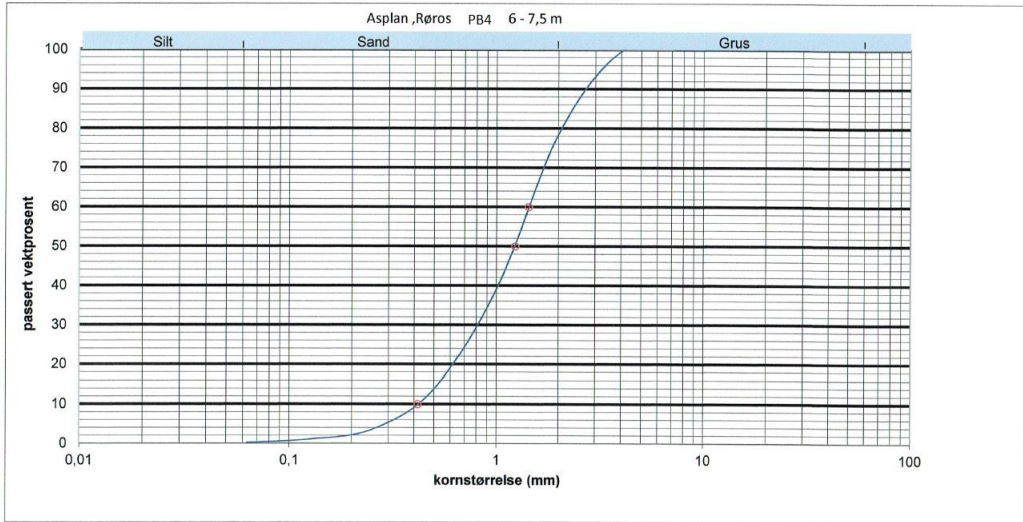
sikt	<0,063	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
passert i%	0	0,257732	0,773196	3,694158	16,49485	51,54639	81,01375	98,45361	100	100	100
passert vekt	0	3	9	43	192	600	943	1146	1164	1164	1164
Dyp	D10	D50	D60	S0	Merknader						
	0,39	0,97	1,200	3,077							

Dato: 25.08.2016
 Sign: *[Signature]*

Hydrogeologi og AvlopsRådgivning

SAK: Asplan Røros
 Adresse: PB4

Prøvepunkt: PB4
 Dybde: 6 - 7,5 m



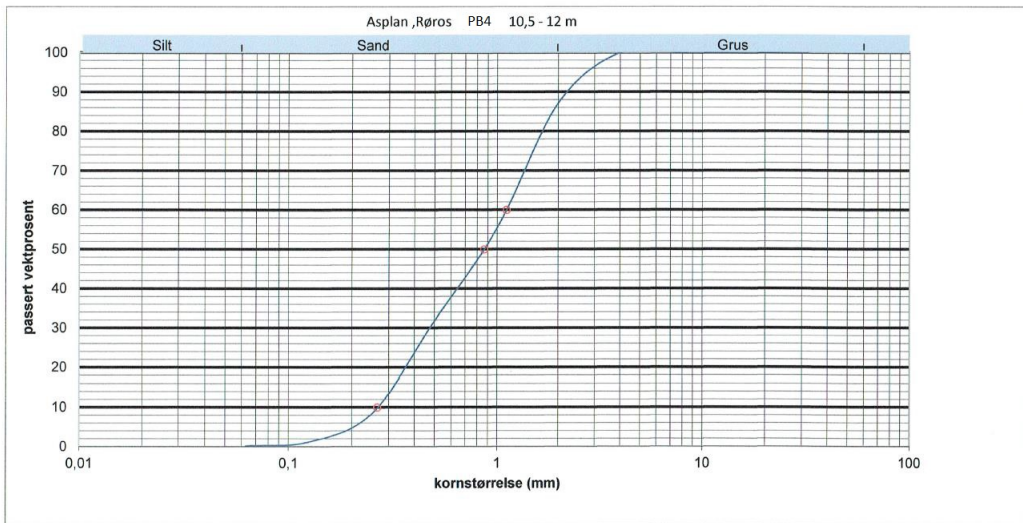
sikt	<0,063	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
passert %	0	0,239234	1,076555	3,588517	13,8756	39,11483	78,4689	99,52153	100	100	100
passert vekt	0	2	9	30	116	327	656	832	836	836	836
Dyp	D10	D50	D60	S0	Merknader						
	0,416	1,23	1,430	3,438							

Dato: 03.06.2016
 Sign: *[Signature]*

Hydrogeologi og AvløpsRådgivning

SAK: Asplan Røros
 Adresse: PB4

Prøvepunkt: PB4
 Dybde: 10,5 - 12 m



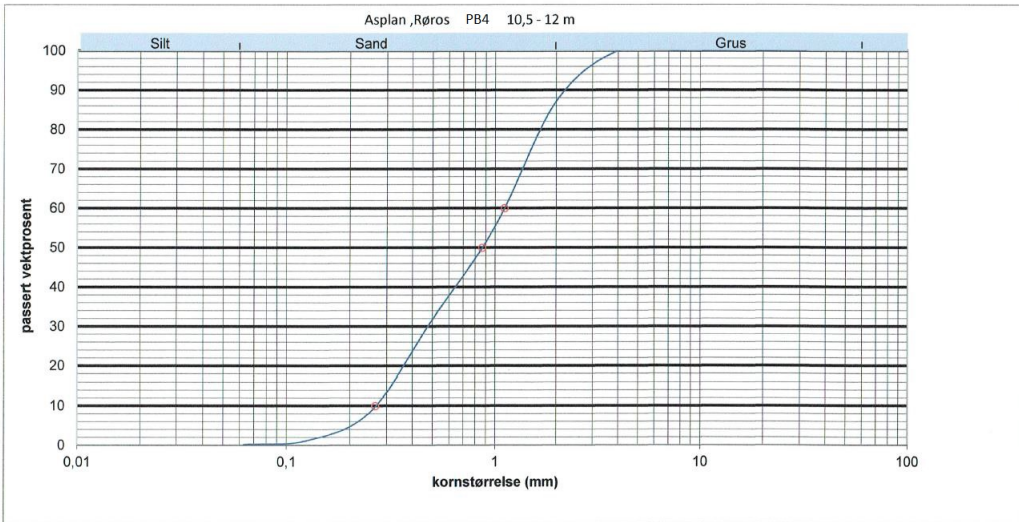
sikt	<0,063	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
passert %	0	0,217865	1,198257	8,496732	31,80828	55,44862	87,14597	100	100	100	100
passert vekt	0	2	11	78	292	509	800	918	918	918	918
Dyp	D10	D50	D60	S0	Merknader						
	0,264	0,865	1,110	4,205							

Dato: 03.06.2016
 Sign: *[Signature]*

Hydrogeologi og AvløpsRådgivning

SAK: Asplan Røros
 Adresse: PB4

Prøvepunkt: PB4
 Dybde: 10,5 - 12 m

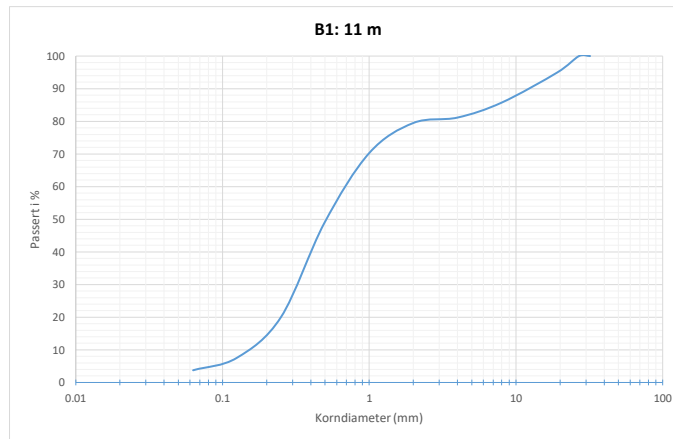


sikt	<0,063	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32
passert i%	0	0,217865	1,198257	8,496732	31,80828	55,44662	87,14597	100	100	100	100
passert vekt	0	2	11	78	292	509	800	918	918	918	918
Dyp	D10	D50	D60	S0	Merknader						
	0,264	0,865	1,110	4,205							

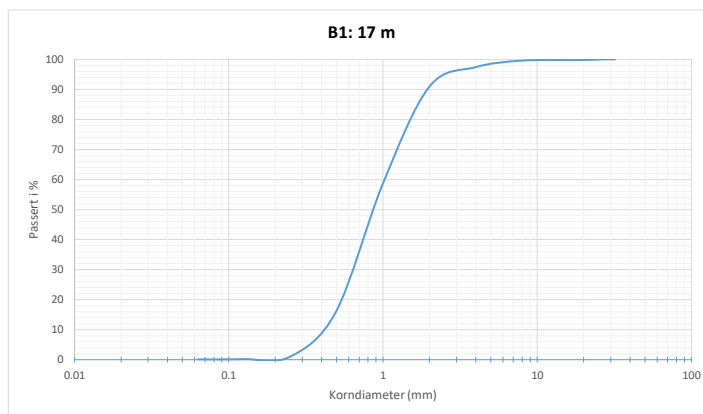
Dato: 03.06.2016

Sign:

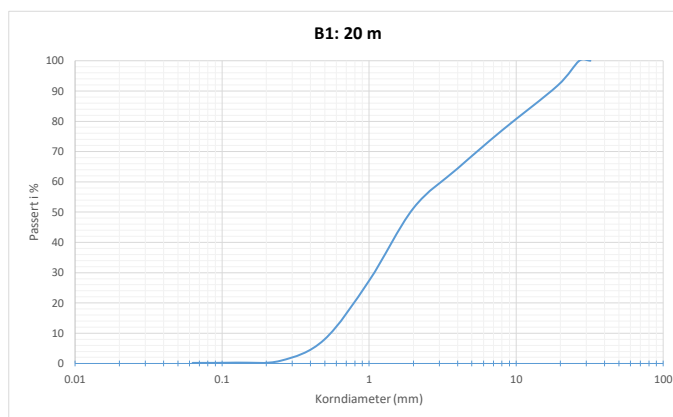
Hydrogeologi og AvløpsRådgivning



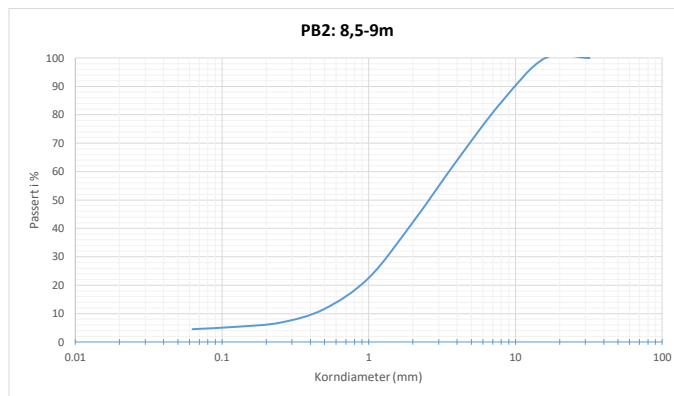
Sikt	0.063	0.125	0.25	0.495	1	2	4	8	19.1	26.9	32
Passert i %	3.74010554	7.53298153	19.9934037	48.9050132	70.2968338	79.5118734	81.1609499	85.7519789	94.9604222	100	100
Passert vekt	56.7	114.2	303.1	741.4	1065.7	1205.4	1230.4	1300	1439.6	1516	1516
	D10	D50	D60	Cu							
	0.15	0.503	0.7	4.66666667							



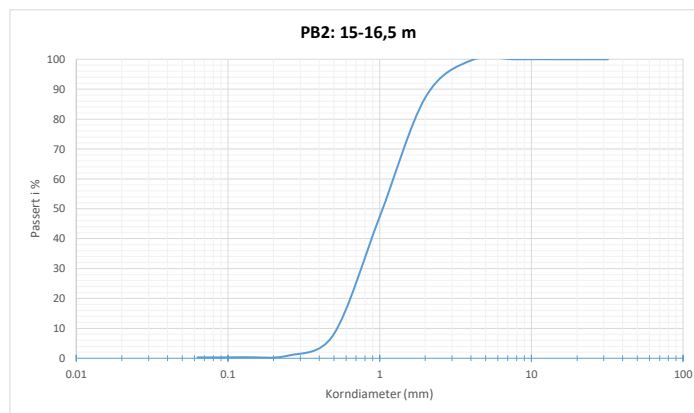
Sikt	0.063	0.125	0.25	0.495	1	2	4	8	19.1	26.9	32
Passert %	0.11672503	0.18342505	1.01717525	15.924629	58.7460397	90.9454727	97.4487244	99.6164749	99.7998999	100	100
Passert vekt	0.7	1.1	6.1	95.5	352.3	545.4	584.4	597.4	598.5	599.7	599.7
	D10	D50	D60	Cu							
	0.403	0.89	1.01	2.50620347							



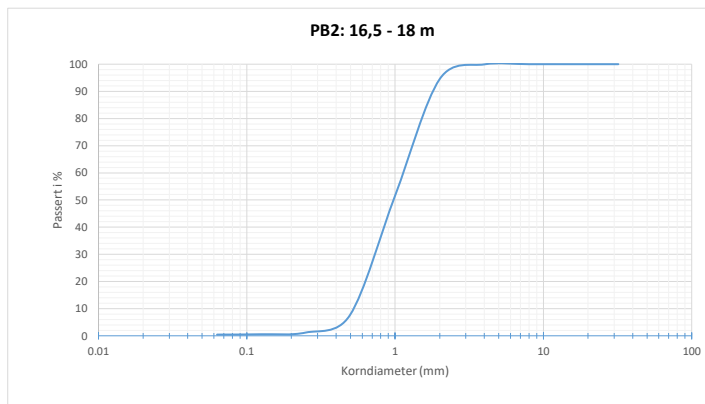
Sikt	0.063	0.125	0.25	0.495	1	2	4	8	19.1	26.9	32
Passert %	0.18717245	0.28699775	0.89842775	7.86124283	27.3521338	51.2727726	64.4247567	76.9528325	91.7519341	100	100
Passert vekt	1.5	2.3	7.2	63	219.2	410.9	516.3	616.7	735.3	801.4	801.4
	D10	D50	D60	Cu							
	0.55	1.9	3.03	5.50909091							



Sikt	0.063	0.125	0.25	0.495	1	2	4	8	16	32
Passert %	4.50433227	5.33790139	6.8215015	11.547609	22.5468978	42.1625383	63.9194573	84.3533721	100	100
Passert vekt	58.9	69.8	89.2	151	294.83	551.33	835.83	1103.03	1307.63	1307.63
	D10	D50	D60	Cu						
	0.41	2.5	3.3	8.04878049						



Sikt	0.063	0.125	0.25	0.495	1	2	4	8	16	32
Passert %	0.28484956	0.35606195	0.89015489	7.81555991	47.3028307	87.1995727	99.6083318	100	100	100
Passert vekt	1.6	2	5	43.9	265.7	489.8	559.5	561.7	561.7	561.7
	D10	D50	D60	Cu						
	0.501	1.02	1.1	2.19560878						



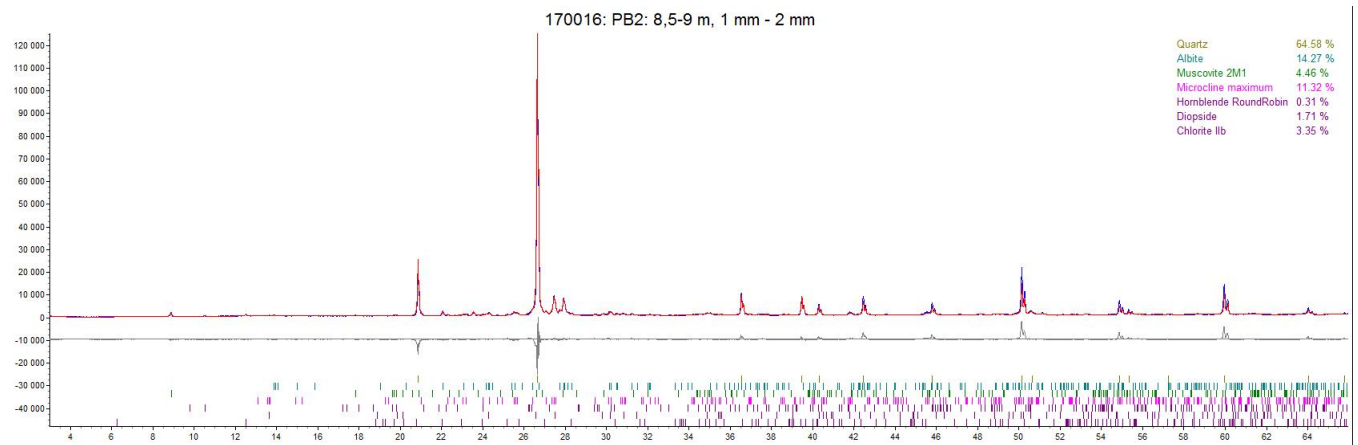
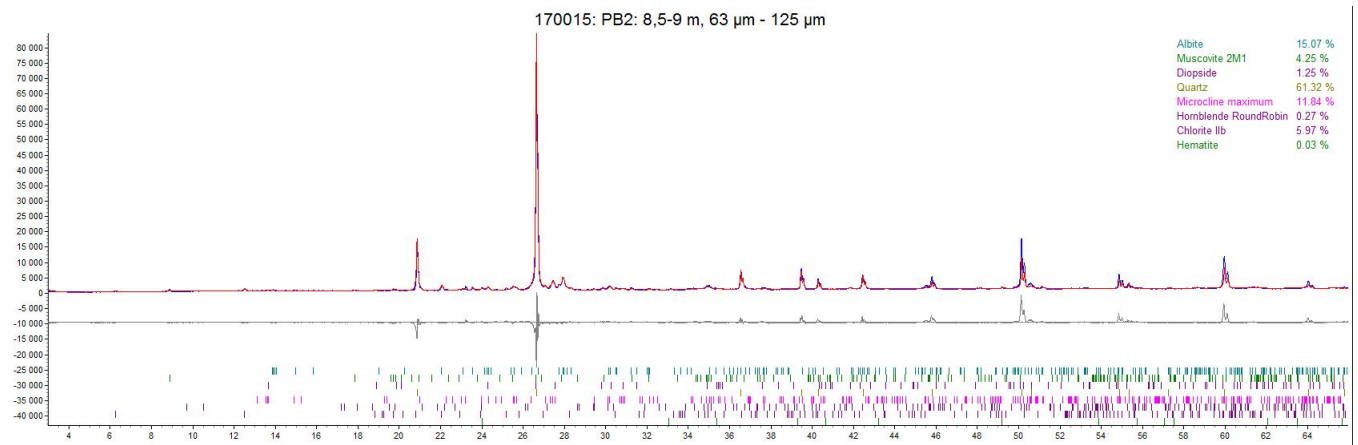
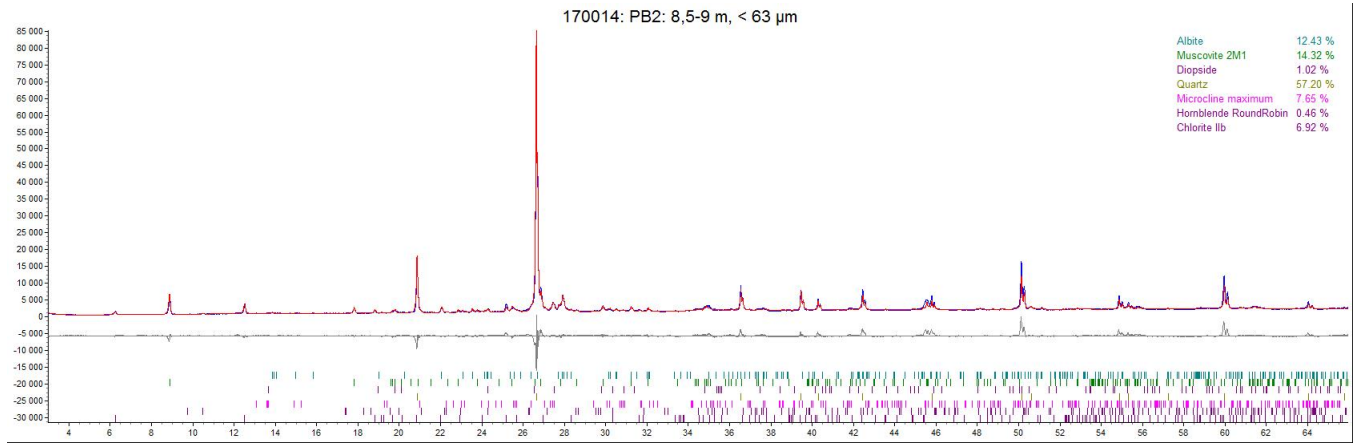
Sikt	0.063	0.125	0.25	0.495	1	2	4	8	16	32
Passert %	0.44870528	0.57125914	1.20181854	7.53113263	51.6109903	94.5443764	99.9406997	100	100	100
Passert vekt	2.27	2.89	6.08	38.1	261.1	478.3	505.6	505.9	505.9	505.9
	D10	D50	D60	Cu						
	0.51	0.99	1.05	2.05882353						

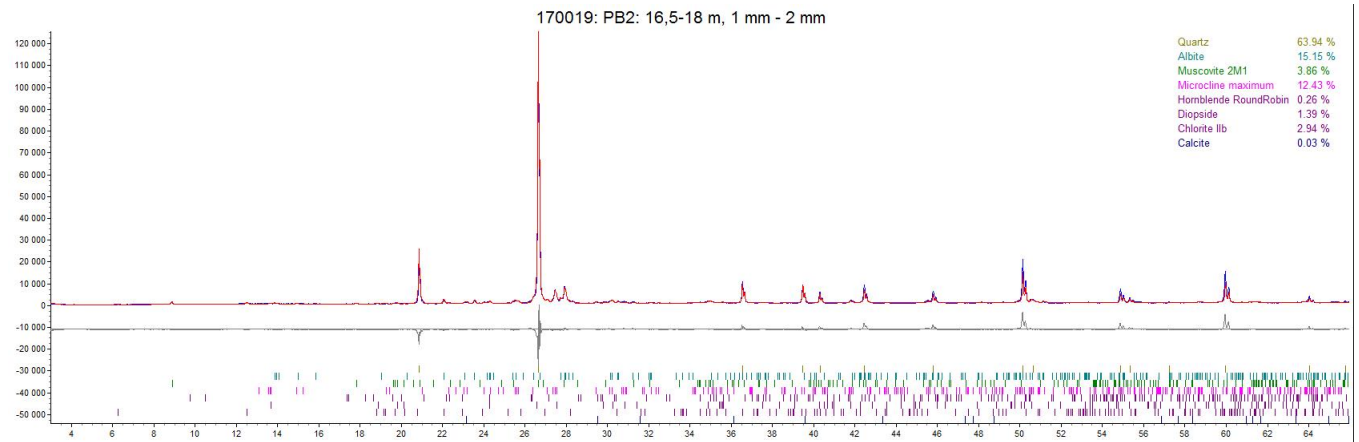
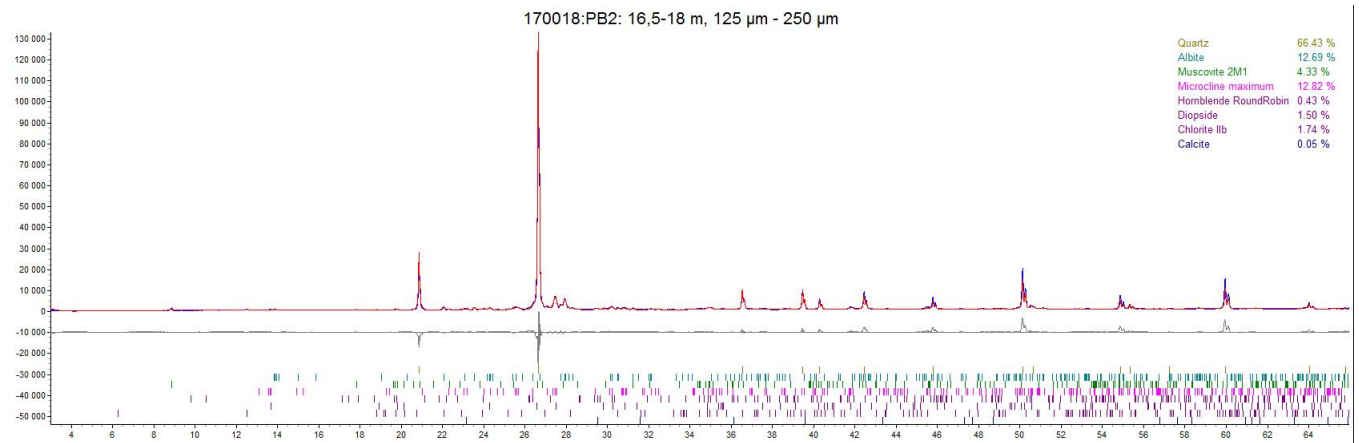
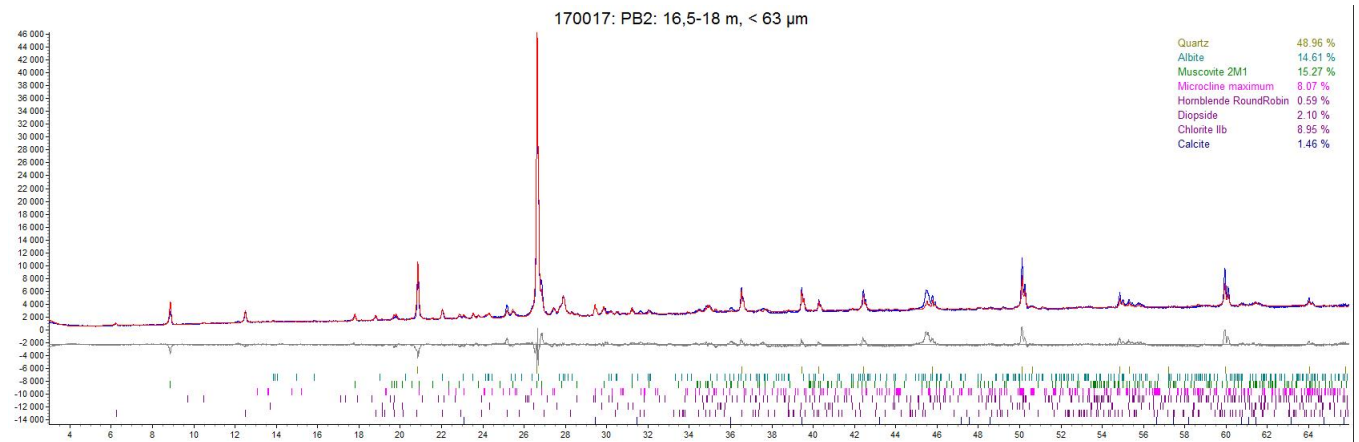
8.4 D-verdiar for ulike mineral

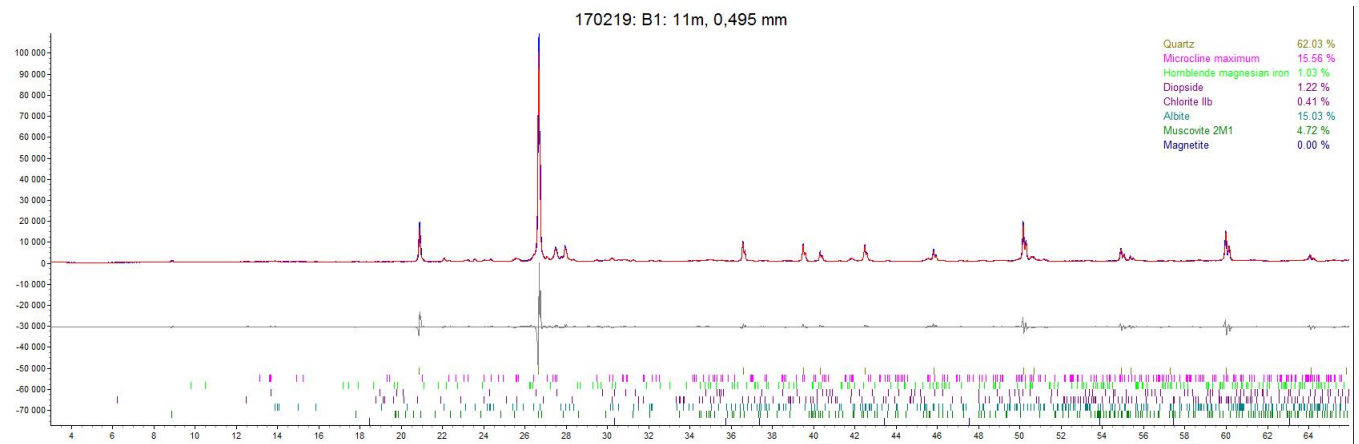
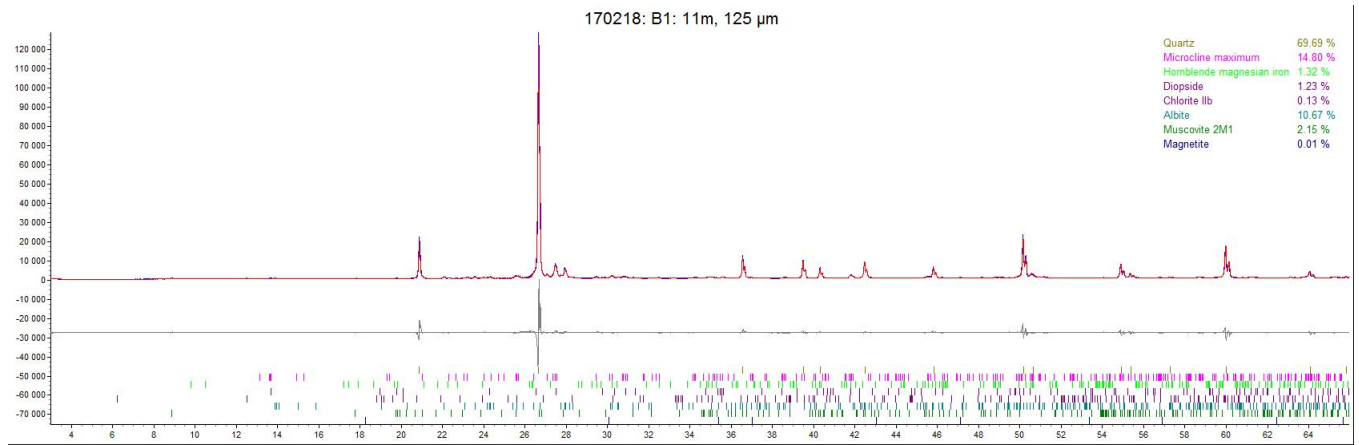
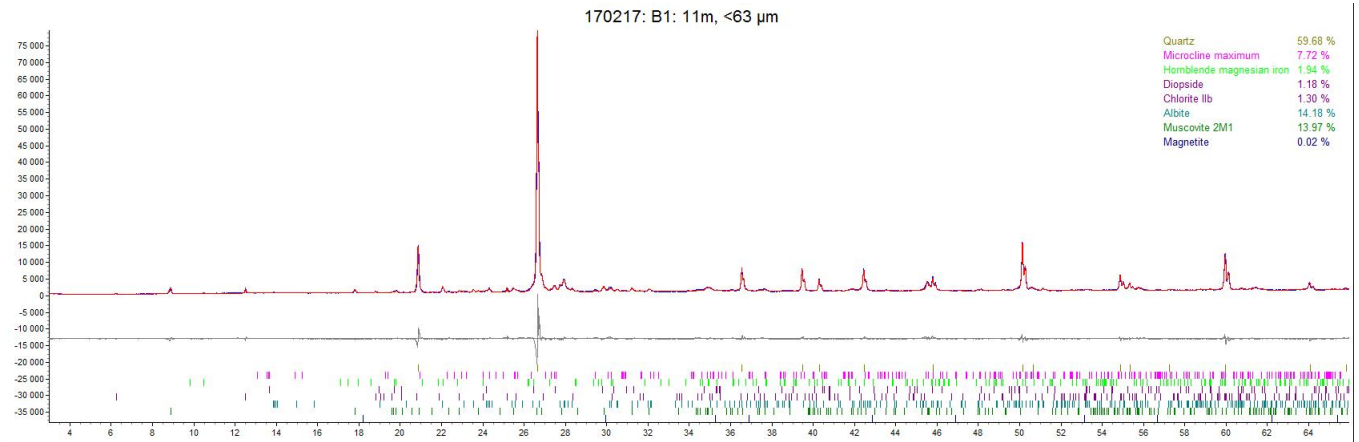
Veide faktorer for en del vanlig forekommende mineraler (etter H. Rueslåtten).

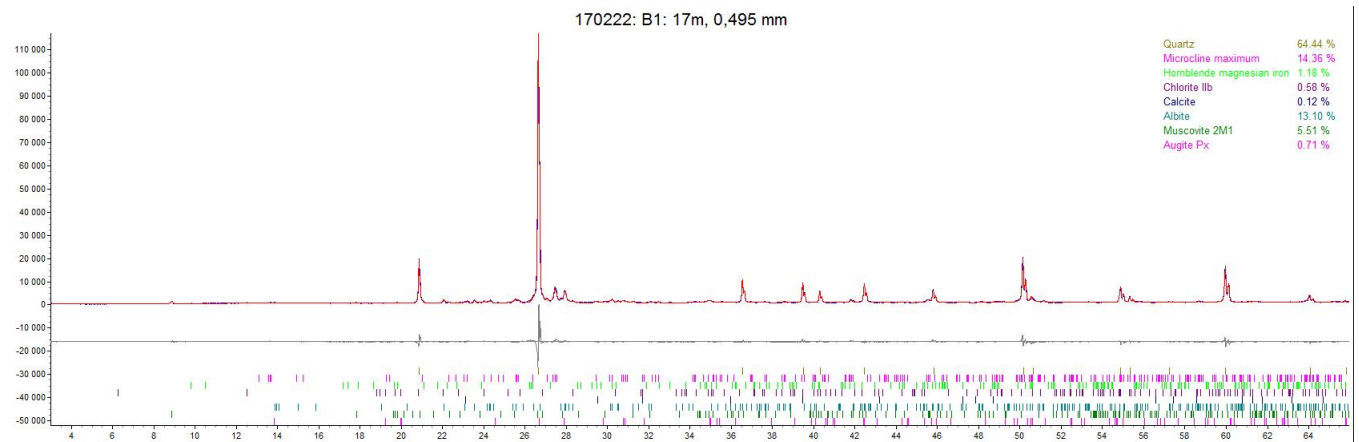
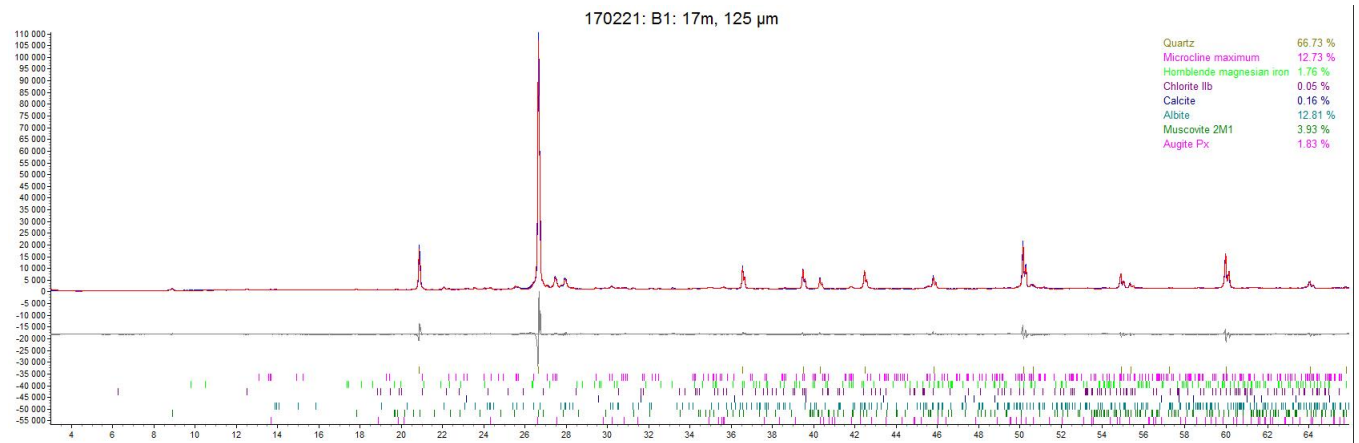
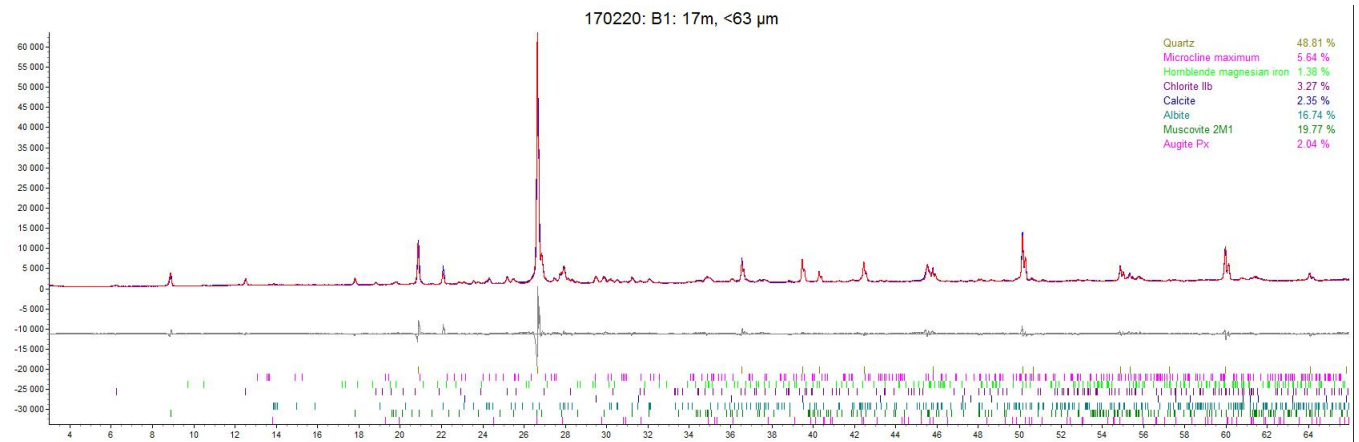
Mineralnavn	d-verdi	Veid faktor
Q Kvarts	2,45 4.26	1.0
K-feltpat	3.24	0.5
Plagioklas	3.19	0.5
Illitt/Glimmer	9.97	1.4
Kaolinitt	7.17	0.7
Kloritt	4.73	2.1
Smektitt	14.0	0.5
Blandsjikt	10-14	1.0
Kalsitt	3.03	0.25
Ankeritt	2.90	0.25
Dolomitt	2.89	0.20
Rhodocrositt	2.84	0.25
Sideritt	2.79	0.25
Pyritt	2.71	0.5
Pyrotitt	2.64	0.5
Marcasitt	2.70	0.5
Gips	7.57	0.5
Barytt	3.10	0.3
Jernsulfat	5.75	0.2
Epidot	2.90, 2.68	1.0
Pyroxen	2.99	1.0
Amfibol	8.40	0.5
Granat (pyrop)	2.85	0.5
Zeolitt		
Stilbitt	8.90	1.0
Scolesitt	5.86	1.0
Clinozoisitt	2.79	1.2

8.5 Diagram frå røntgendiffraksjon









8.6 Fysisk-kjemiske vassanalysar



Asplan Viak AS
Postboks 6723
7490 TRONDHEIM
v/Mari Helen Riise

Dato: 06.09.2016
Prøve: 2016-4412
ver 1

ANALYSERESULTATER

Prøvemottak: 19.08.16

Analyseperiode: 19.08.16 - 06.09.16

2016-4412-1 D) Drikkevann

Tatt ut: 16.08.16

Referansnr: 606749-01 Røros

Kundemerking: Røros, PB1, 12-13,5m

Parameter	Metode	Resultat	Enhet	Grensverdi
pH_surbhetsgrad	NS-EN ISO 10523	7,4		
•Temperatur ved pH-måling		25,1	°C	
Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	<1		20
Konduktivitet	NS ISO 7888	16,9	mS/m	
Turbiditet	NS-EN ISO 7027	5,5	NTU	4
Kalsium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	19,9	mg Ca/L	
Natrium ICP-MS	Intern metode	2,11	mg Na/L	
Magnesium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	6,72	mg Mg/L	
Jern ICP-MS	Intern metode	26,3	µg Fe/L	200
Mangan ICP-MS	Intern metode	0,6	µg Mn/L	
ICP-5	ICP-MS	ok		
Nitrat	NS-EN ISO 13395	550	µg N/L	
Klorid - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	2,59	mg Cl/L	
Sulfat - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	8,87	mg SO4/L	
Filtrering 0.45µm metaller		ok		

2016-4412-2 D) Drikkevann

Tatt ut: 16.08.16

Referansnr: 606749-01 Røros

Kundemerking: Røros, PB1, 15-16,5m

Parameter	Metode	Resultat	Enhet	Grensverdi
pH_surbhetsgrad	NS-EN ISO 10523	7,4		
•Temperatur ved pH-måling		25,1	°C	
Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	<1		20
Konduktivitet	NS ISO 7888	18,3	mS/m	
Turbiditet	NS-EN ISO 7027	0,67	NTU	4
Kalsium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	22,7	mg Ca/L	
Natrium ICP-MS	Intern metode	2,17	mg Na/L	
Magnesium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	7,18	mg Mg/L	
Jern ICP-MS	Intern metode	24,2	µg Fe/L	200
Mangan ICP-MS	Intern metode	0,7	µg Mn/L	
ICP-5	ICP-MS	ok		
Nitrat	NS-EN ISO 13395	550	µg N/L	
Klorid - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	2,72	mg Cl/L	
Sulfat - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	9,49	mg SO4/L	
Filtrering 0.45µm metaller		ok		



2016-4412-3 D) Drikkevann

Kundemerking: Røros PB1 , 17,2-18,7m

Dato: 06.09.2016

Prøve: 2016-4412

ver 1

Tatt ut: 16.08.16

Referansen: 606749-01 Røros

Parameter	Metode	Resultat	Enhet	Grensverdi
pH,surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	7,4		
•Temperatur ved pH-måling		25,2	°C	
Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	<1		20
Konduktivitet	NS ISO 7888	21,0	mS/m	
Turbiditet	NS-EN ISO 7027	7,5	NTU	4
Kalsium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	27,6	mg Ca/L	
Natrium ICP-MS	Intern metode	2,22	mg Na/L	
Magnesium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	8,09	mg Mg/L	
Jern ICP-MS	Intern metode	40,6	µg Fe/L	200
Mangan ICP-MS	Intern metode	2,0	µg Mn/L	
ICP-5	ICP-MS	ok		
Nitrat	NS-EN ISO 13395	600	µg N/L	
Klorid - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	3,72	mg Cl/L	
Sulfat - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	11,8	mg SO4/L	
Filtrering 0.45µm metaller		ok		

2016-4412-4 D) Drikkevann

Kundemerking: Røros, PB3 13,5-15m

Tatt ut: 17.08.16

Referansen: 606749-01 Røros

Parameter	Metode	Resultat	Enhet	Grensverdi
pH,surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	6,5		
•Temperatur ved pH-måling		25,1	°C	
Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	4		20
Konduktivitet	NS ISO 7888	12,5	mS/m	
Turbiditet	NS-EN ISO 7027	16	NTU	4
Kalsium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	10,7	mg Ca/L	
Natrium ICP-MS	Intern metode	2,75	mg Na/L	
Magnesium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	6,34	mg Mg/L	
Jern ICP-MS	Intern metode	86,7	µg Fe/L	200
Mangan ICP-MS	Intern metode	1,7	µg Mn/L	
ICP-5	ICP-MS	ok		
Nitrat	NS-EN ISO 13395	350	µg N/L	
Klorid - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	4,95	mg Cl/L	
Sulfat - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	9,29	mg SO4/L	
Filtrering 0.45µm metaller		ok		

TRONDHEIM
KOMMUNEANALYSESENTRET
vann, jord, miljø, luftROROS
KommuneAsplan Viak AS
Postboks 6723
7490 TRONDHEIM
v/Mari Helen RiiseDato: 10.06.2016
Prøve: 2016-2725
ver 1

ANALYSERESULTATER

Ordre: Gr.vannunders. i Roros

Provmottak: 24.05.16

Analyseperiode: 24.05.16 - 10.06.16

2016-2725-1 Grunnvann

Tatt ut: 19.05.16

Referanseur: 606749-01

Kundemerking: Roros PB4 4,5-6 m

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
pH,surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	6,9	
Temperatur ved pH-måling		23,8	°C
Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	<1	
Konduktivitet	NS ISO 7888	7,8	mS/m
Turbiditet	NS-EN ISO 7027	11	NTU
Kalsium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	6,21	mg Ca/L
Natrium ICP-MS	Intern metode	1,67	mg Na/L
Magnesium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	4,27	mg Mg/L
Jern ICP-MS	Intern metode	15,9	µg Fe/L
Mangan ICP-MS	Intern metode	7,8	µg Mn/L
ICP-5	ICP-MS	ok	
Nitrat	NS-EN ISO 13395	75	µg N/L
Klorid - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	1,32	mg Cl/L
Sulfat - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	4,75	mg SO4/L
Filtrering 0.45µm metaller		ok	

2016-2725-2 Grunnvann

Tatt ut: 19.05.16

Referanseur: 606749-01

Kundemerking: Roros PB4 7,5-9 m

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
pH,surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	7,2	
Temperatur ved pH-måling		23,8	°C
Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	<1	
Konduktivitet	NS ISO 7888	12,5	mS/m
Turbiditet	NS-EN ISO 7027	2,0	NTU
Kalsium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	14,1	mg Ca/L
Natrium ICP-MS	Intern metode	1,76	mg Na/L
Magnesium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	5,87	mg Mg/L
Jern ICP-MS	Intern metode	9,8	µg Fe/L
Mangan ICP-MS	Intern metode	1,0	µg Mn/L
ICP-5	ICP-MS	ok	
Nitrat	NS-EN ISO 13395	100	µg N/L
Klorid - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	1,65	mg Cl/L
Sulfat - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	6,37	mg SO4/L
Filtrering 0.45µm metaller		ok	



TRONDHEIM
KOMMUNE



ANALYSESENTRET
vann matt miljø luft



NÆRINGS
MIDDELKONTROLL
KONTROLL

2016-2725-3

Grunnvann

Kundemerking: Røros PB4 10,5-12 m

Dato: 10.06.2016

Prøve: 2016-2725

ver 1

Tatt ut: 19.05.16

Referanseur: 606749-01

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
pH-surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	7,2	
Temperatur ved pH-måling		23,8	°C
Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	<1	
Konduktivitet	NS ISO 7888	15,8	mS/m
Turbiditet	NS-EN ISO 7027	18	NTU
Kalsium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	17,6	mg Ca/L
Natrium ICP-MS	Intern metode	1,82	mg Na/L
Magnesium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	7,38	mg Mg/L
Jern ICP-MS	Intern metode	25,5	µg Fe/L
Mangan ICP-MS	Intern metode	3,4	µg Mn/L
ICP-5	ICP-MS	ok	
Nitrat	NS-EN ISO 13395	150	µg N/L
Klorid - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	1,86	mg Cl/L
Sulfat - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	7,89	mg SO ₄ /L
Filtrering 0.45µm metaller		ok	



TRONDHEIM
KOMMUNE



ANALYSESENTERET
vann mat miljø luft



Matråd AS
Havsjøveien 309
7374 RØROS
v/Birgit Nygård

Dato: 02.02.2017
Prøve: 2017-463
ver 1

ANALYSERESULTATER

Prøvemottak: 25.01.17

Analyseperiode: 25.01.17 - 02.02.17

2017-463-1 Vann, generelt

Tatt ut: 24.01.17
Referansen: Nr. 107

Kundemerking: Nr. 107 **B1**

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
Kalsium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	22,7	mg Ca/L
Natrium ICP-MS	Intern metode	2,00	mg Na/L
ICP-2	ICP-MS	ok	
Klorid - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	2,58	mg Cl/L
Filtrering 0.45µm (Cl, SO4 og F)		ok	

2017-463-2 Vann, generelt

Tatt ut: 24.01.17
Referansen: Nr. 108

Kundemerking: Nr. 108 **B2**

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
Kalsium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	9,68	mg Ca/L
Natrium ICP-MS	Intern metode	2,63	mg Na/L
ICP-2	ICP-MS	ok	
Klorid - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	4,33	mg Cl/L
Filtrering 0.45µm (Cl, SO4 og F)		ok	

Målesikkerhet: Vi henviser til www.trondheim.kommune.no/analysesenteret eller ved henvendelse til laboratoriet.
Resultatene gjelder bare for prøvene i rapporten. Rapporten må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig tillatelse.

Med hilsen

Arne M. Jensen

Arne Magnus Jensen
Fagleder
72 54 10 64

Bente Kvam

Bente Kvam
Ingeniør
72541066

Kopi til
Matråd AS, Birgit Nygård, v/Birgit Nygård (E-mail)
Matråd AS, Jorund Brynhildsvoll, v/Birgit Nygård (E-mail)



ANALYSEBEVIS



Røros Kommune reservelkilde

7374 RØROS

fredag 27. januar 2017

Produkt: Vannprøve

Uttakssted: Brønn 1

Uttaks dato: 24.01.2017

Analysestart: 24.01.2017

Analyse avsluttet: 27. jan 2017

Prøveuttaker: Jørgen

Journalnummer: 107-17

Kopi sendt til:

Parameter	Metode	Resultat	Grenser/ Benevning
Mangan mg/l*	Hach 290	<0,005	≤0,05 mg/l
Jern mg/l*	Hach 270	<0,005	≤0,2 mg/l
Farge	NS-EN ISO 7887	<2	mgI-1Pt
Turbiditet	NS-EN ISO 7027-1:2016	<0,10	FNU
Konduktivitet	NS ISO 7888	17,1	mS/m
pH v/25°C	NS-EN ISO 10523:2012	7,2	
Clostridium perfringens	Intern metode	<1	cfu/100ml
Intestinale enterokokker	NS-EN ISO 7899-2	<1	cfu/100ml
E.coli	NS-EN ISO 9308-2	<1	cfu/100ml
Koliforme bakterier	NS-EN ISO 9308-2	<1	cfu/100ml
Kimtall 22°C	NS-EN ISO 6222	1	cfu/ml


Målesikkerhet oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

< betyr: Mindre enn

Analysekommentar: *=Analysen er ikke akkreditert.

Analyse av kalsium, natrium og klorid sendes til eksternt laboratorium-se eget analysebevis.

Matråd AS


 Charlotte Staurem - Laboratorieingeniør



ANALYSEBEVIS



Røros Kommune reservelkilde

7374 RØROS

fredag 27. januar 2017

Produkt: Vannprøve

Uttakssted: Brønn 2

Uttaks dato: 24.01.2017

Analysestart: 24.01.2017

Analyse avsluttet: 27. jan 2017

Prøveuttaker: Jørgen

Journalnummer: 108-17

Kopi sendt til:

Parameter	Metode	Resultat	Grenser/ Benevning
Mangan mg/l*	Hach 290	<0,005	≤0,05 mg/l
Jern mg/l*	Hach 270	<0,005	≤0,2 mg/l
Farge	NS-EN ISO 7887	<2	mg/l-1Pt
Turbiditet	NS-EN ISO 7027-1:2016	<0,10	FNU
Konduktivitet	NS ISO 7888	12,3	mS/m
pH v/25°C	NS-EN ISO 10523:2012	6,6	
Clostridium perfringens	Intern metode	<1	cfu/100ml
Intestinale enterokokker	NS-EN ISO 7899-2	<1	cfu/100ml
E.coli	NS-EN ISO 9308-2	<1	cfu/100ml
Koliforme bakterier	NS-EN ISO 9308-2	<1	cfu/100ml
Kimtall 22°C	NS-EN ISO 6222	6	cfu/ml


Målesikkerhet oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

< betyr: Mindre enn

Analysekommentar: * = Analysen er ikke akkreditert.

Analyse av kalsium, natrium og klorid sendes til eksternt laboratorium-se eget analysebevis.

Matråd AS


 Charlotte Staurem - Laboratorieingeniør



TRONDHEIM
KOMMUNE



ANALYSESENTERET
vann slud miljø luft



NORSK
AKKREDITERING
Tatt 028

Matråd AS
Havsjøveien 309
7374 RØROS
v/Birgit Nygård

Dato: 02.03.2017
Prøve: 2017-840
ver 1

ANALYSERESULTATER

Prøvemottak: 15.02.17

Analyseperiode: 15.02.17 - 02.03.17

2017-840-1 d) Drikkevann

Tatt ut: 14.02.17

Kundemerking: Nr. 189 **B1**

Parameter	Metode	Resultat	Enhet	Grensverdi
UV-Transmission 5 cm kyvette	NS 9462	94	%T	
Kalsium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	19,2	mg Ca/L	
Magnesium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	5,12	mg Mg/L	
Natrium ICP-MS	Intern metode	1,85	mg Na/L	
Kalium ICP-MS	Intern metode	1,01	mg K/L	
Aluminium ICP-MS	Intern metode	1,2	µg Al/L	
Klorid - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	2,38	mg Cl/L	
Sulfat - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	7,45	mg SO ₄ /L	
Filtrering 0,45µm (Cl, SO ₄ og F)		ok		
Ammonium, manuell metode, vann	NS 4746	<10	µg N/L	500
Nitrat	NS-EN ISO 13395	250	µg N/L	
ICP-5	ICP-MS	ok		

2017-840-2 d) Drikkevann

Tatt ut: 14.02.17

Kundemerking: Nr. 190 **B2**

Parameter	Metode	Resultat	Enhet	Grensverdi
UV-Transmission 5 cm kyvette	NS 9462	90	%T	
Kalsium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	12,6	mg Ca/L	
Magnesium ICP-MS	NS-EN ISO 17294-2	8,84	mg Mg/L	
Natrium ICP-MS	Intern metode	2,83	mg Na/L	
Kalium ICP-MS	Intern metode	1,33	mg K/L	
Aluminium ICP-MS	Intern metode	2,0	µg Al/L	
Klorid - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	4,81	mg Cl/L	
Sulfat - Ionekrom. Filtrert	NS-EN ISO 10304-1	9,12	mg SO ₄ /L	
Filtrering 0,45µm (Cl, SO ₄ og F)		ok		
Ammonium, manuell metode, vann	NS 4746	<10	µg N/L	500
Nitrat	NS-EN ISO 13395	370	µg N/L	
ICP-5	ICP-MS	ok		

d) I henhold til Forskrift om vannforsyning og drikkevann

Målesikkerhet: Vi henviser til www.trondheim.kommune.no/analysesenteret eller ved henvendelse til laboratoriet.
Resultatene gjelder bare for prøvene i rapporten. Rapporten må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig tillatelse.

Side 1 av 2

Postadresse
NO-7004 Trondheim
analysesenteret.postmottak@trondheim.kommune.no
www.trondheim.kommune.no/analysesenteret

Leder
Erik Lunde
Telefon +47 72 54 10 51

Telefon +47 72 54 10 30
Telefaks +47 72 54 10 31
Telefon Mikrobiologisk lab: +47 72 54 10 53
Telefon Kjemisk lab: +47 72 54 10 60



ANALYSEBEVIS



Røros Kommune reservetilskilde
Rune Gunnleiksrud

7374 RØROS

fredag 17. februar 2017

Produkt: Vannprøve

Uttakssted: Brønn 1

Uttaks dato: 14.02.2017

Analysestart: 14.02.2017

Analyse avsluttet: 17. feb 2017

Prøveuttaker: Jørgen

Journalnummer: 189-17

Kopi sendt til: berntolav.hilmo@asplanviak.no, Kristian Horten

Parameter	Metode	Resultat	Grenser/ Benevning
Alkalitet *	Aquamerck 11109	1,1	mmol/l
Mangan mg/l*	Hach 290	<0,005	≤0,05 mg/l
Jern mg/l*	Hach 270	<0,005	≤0,2 mg/l
Turbiditet	NS-EN ISO 7027-1:2016	<0,10	FNU
Farge	NS-EN ISO 7887	<2	mg/l-1Pt
Konduktivitet	NS ISO 7888	14,3	mS/m
pH v/25°C	NS-EN ISO 10523:2012	7,3	
Clostridium perfringens	Intern metode	<1	cfu/100ml
Intestinale enterokokker	NS-EN ISO 7899-2	<1	cfu/100ml
E.coli	NS-EN ISO 9308-2	<1	cfu/100ml
Koliforme bakterier	NS-EN ISO 9308-2	<1	cfu/100ml
Kimtall 22°C	NS-EN ISO 6222	Ikke påvist	cfu/ml

Målesikkerhet oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

< betyr: Mindre enn

Analysekommentar: *=Analysen er ikke akkreditert.

Analyse av UV-trans, kalsium, magnesium, ammonium-N, nitritt-N, nitrat-N, natrium, klorid, sulfat, aluminium og kalium utføres av eksternt laboratorium, eget analysebevis ettersendes.

Matråd AS

Charlotte Staurem - Laboratorieingeniør



ANALYSEBEVIS



Røros Kommune reservelkilde
Rune Gunnleiksrud

7374 RØROS

fredag 17. februar 2017

Produkt: Vannprøve
Uttakssted: Brønn 2
Uttaks dato: 14.02.2017

Analysestart: 14.02.2017 Analyse avsluttet: 17. feb 2017

Prøveuttaker: Jørgen
Journalnummer: 190-17

Kopi sendt til: berntolav.hilmo@asplanviak.no, Kristian Horten

Parameter	Metode	Resultat	Grenser/ Benevning
Alkalitet *	Aquamerck 11109	0,9	mmol/l
Mangan mg/l*	Hach 290	<0,005	≤0,05 mg/l
Jern mg/l*	Hach 270	<0,005	≤0,2 mg/l
Turbiditet	NS-EN ISO 7027-1:2016	<0,10	FNU
Farge	NS -EN ISO 7887	<2	mg/l-1Pt
Konduktivitet	NS ISO 7888	15,0	mS/m
pH v/25°C	NS-EN ISO 10523:2012	7,1	
Clostridium perfringens	Intern metode	<1	cfu/100ml
Intestinale enterokokker	NS-EN ISO 7899-2	<1	cfu/100ml
E.coli	NS-EN ISO 9308-2	<1	cfu/100ml
Koliforme bakterier	NS-EN ISO 9308-2	<1	cfu/100ml
Kimtall 22°C	NS-EN ISO 6222	Ikke påvist	cfu/ml

Målesikkerhet oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

< betyr: Mindre enn

Analysekommentar: *=Analysen er ikke akkreditert.

Analyse av UV-trans, kalsium, magnesium, ammonium-N, nitritt-N, nitrat-N, natrium, klorid, sulfat, aluminium og kalium utføres av eksternt laboratorium, eget analysebevis ettersendes.

Matråd AS

Charlotte Staurem - Laboratorieingeniør

Rapport**N1703938**

Side 1 (4)

2GZEUG1KB6R



Mottatt dato **2017-03-17**
 Utstedt **2017-03-24**

Matråd AS
 Charlotte Staurem

Havsjøveien 309
 7374 Røros
 Norge

Prosjekt
 Bestnr

Analyse av vann

Deres prøvenavn	Brønn 1					
	Drikkevann					
Labnummer	N00489449					
Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Karbondioksid-fritt	8.98	1.08	mg/l	1	1	NADO
O (Oksygen)	6.1	0.915	mg/l	2	2	NADO
Klorid (Cl-)	2.30	0.346	mg/l	3	1	NADO
Ca (Kalsium)	17.0	1.3	mg/l	4	R	NADO
Na (Natrium)	1.82	0.13	mg/l	4	R	NADO

Deres prøvenavn	Brønn 2					
	Drikkevann					
Labnummer	N00489450					
Analyse	Resultater	Usikkerhet (±)	Enhet	Metode	Utført	Sign
Klorid (Cl-)	5.21	0.781	mg/l	3	1	NADO
Ca (Kalsium)	13.6	1.0	mg/l	4	R	NADO
Na (Natrium)	2.92	0.23	mg/l	4	R	NADO



ANALYSEBEVIS



Røros Kommune reservelkilde
Rune Gunnleiksrud

7374 RØROS

tirsdag 21. mars 2017

Produkt: Vannprøve

Uttakssted: Brønn 1

Uttaks dato: 16.03.2017

Analysestart: 16.03.2017

Analyse avsluttet: 20. mar 2017

Prøveuttaker: Jørgen Ryttervold

Journalnummer: 315-17

Kopi sendt til: berntolav.hilmo@asplanviak.no, Kristian Horten


Parameter	Metode	Resultat	Grenser/ Benevning
Mangan mg/l*	Hach 290	<0,005	≤0,05 mg/l
Jern mg/l*	Hach 270	<0,005	≤0,2 mg/l
Turbiditet	NS-EN ISO 7027-1:2016	<0,10	FNU
Konduktivitet	NS ISO 7888	13,4	mS/m
Farge	NS-EN ISO 7887	<2	mg/l-1Pt
pH v/25°C	NS-EN ISO 10523:2012	7,0	
Clostridium perfringens	Intern metode	<1	cfu/100ml
Intestinale enterokokker	NS-EN ISO 7899-2	<1	cfu/100ml
E.coli	NS-EN ISO 9308-2	<1	cfu/100ml
Koliforme bakterier	NS-EN ISO 9308-2	<1	cfu/100ml
Kimtall 22°C	NS-EN ISO 6222	3	cfu/ml

Målesikkerhet oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

< betyr: Mindre enn

Analysekommentar: * = Analysen er ikke akkreditert
Analyse av oksygen, CO₂, kalsium, natrium og klorid utføres av eksternt laboratorium,
analyseresultat ettersendes.

Matråd AS


Charlotte Staurem - Teknisk leder



ANALYSEBEVIS



Røros Kommune reservelkilde
Rune Gunnleiksrud

7374 RØROS

tirsdag 21. mars 2017

Produkt: Vannprøve

Uttakssted: Brønn 2

Uttaks dato: 16.03.2017

Analysestart: 16.03.2017 Analyse avsluttet: 20. mar 2017

Prøveuttaker: Jørgen Ryttervoll

Journalnummer: 316-17

Kopi sendt til: berntolav.hilmo@asplanviak.no, Kristian Horten

Parameter	Metode	Resultat	Grenser/ Benevning
Mangan mg/l*	Hach 290	0,008	≤0,05 mg/l
Jern mg/l*	Hach 270	<0,005	≤0,2 mg/l
Turbiditet	NS-EN ISO 7027-1:2016	<0,10	FNU
Konduktivitet	NS ISO 7888	15,8	mS/m
Farge	NS -EN ISO 7887	<2	mg/l-1Pt
pH v/25°C	NS-EN ISO 10523:2012	6,7	
Clostridium perfringens	Intern metode	<1	cfu/100ml
Intestinale enterokokker	NS-EN ISO 7899-2	<1	cfu/100ml
E.coli	NS-EN ISO 9308-2	<1	cfu/100ml
Koliforme bakterier	NS-EN ISO 9308-2	<1	cfu/100ml
Kimtall 22°C	NS-EN ISO 6222	Ikke påvist	cfu/ml

Målesikkerhet oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

< betyr: Mindre enn

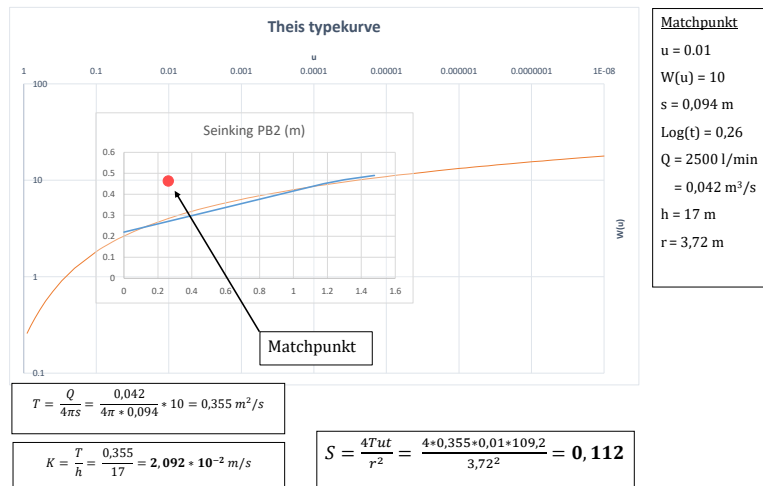
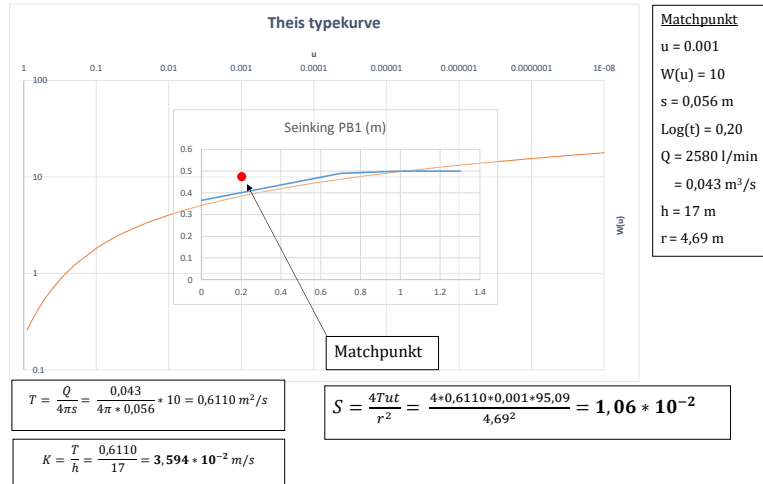
Analysekommentar: *= Analysen er ikke akkreditert.

Analyse av kalsium, natrium og klorid utføres av eksternt laboratorium, analyseresultat ettersendes.

Matråd AS

Charlotte Staurem - Teknisk leder

8.7 Utrekninger



Litteratur

- 14.432 (2005). *Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser - Kornfordeling ved sikting*. Statens Vegvesen.
- Appelo, C. A. J. and Postma, D. (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*, chapter Silicate weathering, pages 202–238. A.A. Balkema, P.O:Box 1675, 3000 BR Rotterdam, Netherlands.
- Banks, D., Fregnstad, B., Skrede, A. K., Krog, J. R., Strand, T., Siewers, U., and Lind, B. (2000). Grunnvann - ikke bare vann. Gråsteinen 6, Leiv Erikssons vei 39, Trondheim, Noreg.
- Berg, T., editor (2015). *Kap 4. Redoksreaksjoner*. NTNU. Forelesingsnotatar distribuert i KJ2072 Naturmiljøkjemi, 22.01.15.
- Bethling, I. T. (2013). Jutulhogget, alvdal. <https://ivarberthling.wordpress.com/2013/05/03/jutulhogget-alvdal/>.
- Brattli, B. (2009). *Fysisk og kjemisk hydrogeologi*. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet - Institutt for geologi og bergteknikk, Trondheim.
- Brattli, B. (2014). *Ingeniørgeologi Løsmasse*, chapter 6. Jordartenes fysiokjemiske egenskaper, pages 39–57. Norges Teknisk- Vitenskapelige Universitet - Institutt for geologi og Bergteknikk, Sem Sælands veg 1, N-7491 Trondheim, Noreg, 1. edition.
- Brattli, B. (2017). Vegleing til masteroppgåve. munnleg. Uttalt: 04.05.17.
- Carlsson, L. and Gustafsson, G. (1984). Provpumping som geohydrologisk undersøkingsmetode. Technical Report Rapport R41, Byggeforskningsrådet Stockholm. 124 s.

- Drikkevannsforskriften (2016). Forskrift om vannforsyning og drikkevann. <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2001-12-04-1372>. Henta:14.05.17.
- Eckholdt, E. og Snilsberg, P. (1992). Grunnvann beskyttelse av drikkevannskilder. GiN-veileder nr. 7, Norges geologiske undersøkelse, Trondheim, Noreg.
- Ensby, S. (1990). Grunnvannsundersøkelser i løsmasser. In Undersøkelse, N. G., editor, *Grunnvann i Norge (GiN) veileder*, number 3 in GiN-veileder. Norges Geologiske Undersøkelse, trykt utgåve edition.
- Eriksen, T. (2017). Yr: Været som var (detaljert) røros. https://www.yr.no/sted/Norge/S%C3%B8r-Tr%C3%84ndelag/R%C3%84ros/R%C3%84ros/detaljert_statistikk.html. Henta: 20.03.17.
- Fetter, C. W. (1994a). *Applied hydrogeology*, chapter 6. Soil moisture and ground-water recharge, pages 175–196. Macmillian College Publishing Company, 866 Third Avenue, New York, 3. edition.
- Fetter, C. W. (1994b). *Applied hydrogeology*, chapter 4. Properties of aquifers, pages 77–130. Macmillian College Publishing Company, 866 Third Avenue, New York, 3. edition.
- Hazen, A. (1893). *Some physical properties of sand and gravels with special references to their use in filtration*, pages 541–556. 24th Ann.Rep.Mass.State Bd. Health, Boston.
- Hilmo, B. O. and Riise, M. H. (2016). Grunnvannsundersøkelser i røros kommune. Technical report, Asplan Viak.
- Kartverket (2016). Felles kartdatabase. <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/geovekst/felles-kartdatabase-fkb/0e90ca71-6a02-4036-bd94-f219fe64645f>.
- Kartverket, NIBIO, and Vegvesenet (2016). Ortofoto frå norge i bilder. <https://www.norgebilder.no/?x=316503&y=6940016&level=14&utm=33&projects=&layers=&planned=0>. Henta: 12.11.16.
- Krešić, N. (2009). *Groundwater resources: sustainability, management, and restoration*, chapter 2. Groundwater system, pages 125–159. McGraw-Hill, USA.

- Moen, A., Lillethun, A., and Odland, A. (1998). *Nasjonalatlas for Norge: Vegetasjon*, chapter Plan-tenes miljø, pages 27–31. Statens Kartverk, Hønefoss, Noreg.
- NGU (2015a). Granada - den nasjonale brønn-databasen. <http://geo.ngu.no/kart/granada/>. Henta: 12.10.16.
- NGU (2015b). Grunnvann i Norge: Drikkevann. http://www.grunnvanninorge.no/vannkvalitet_drikkevann.php. Henta: 11.05.17.
- NGU (2015c). Kart og data: Datasett og nedlasting. <http://www.ngu.no/emne/datasett-og-nedlasting>. Henta: 24.09.16.
- NIBIO (2015). Arealressurskart ar5, Røros kommune. https://kilden.nibio.no/?topic=arealinformasjon&X=6939025.24&Y=317834.64&zoom=8&lang=nb&bgLayer=graatone_cache&layers=ar5_bonitet&layers_opacity=0.75,1. Henta: 22.04.17.
- NVE (2016). Nedbørsfelt-vannføring-indeks-analyse. <http://nevina.nve.no/>. Henta: 03.10.16.
- Pedersen, K. (2013). Norges våteste og tørreste steder. <http://www.yr.no/artikkel/norges-vateste-og-torrete-steder-1.11125446>. Henta: 10.10.16.
- Reite, A. J. (1997). *Istidspor i Røros kommune – Veiledning til kvartærgeologisk kart i målestokk 1:100.000*. NGU, Trondheim, Noreg.
- Riise, M. H. (2017). Prøvepumping av nye brønner for Røros vannverk. uferdig utgåve.
- Rueslåttén, H. og Veslegard, G. (2010). Grunnvannsbrønner i løsmasser - dimensjonering og utforming. In IGB, editor, *Kompendium TGB4205 Hydrogeologi - Anvendelse og Metodikk*, chapter 7, pages 100–118. Tapir Kompendieforlaget, Trondheim, Noreg.
- Thoresen, M. K. (1991). Kvartærgeologisk kart over Norge. tema: Jordarter. Statens Kartverk og Norges Geologiske Undersøkelse, Leiv Eiriksons vei 39, Trondheim.
- Wolden, K. (2010). *Røros - Verdensarv med kåppår, krom og kvitsand: om fjell, malm, gruver og istidspor i Rørosområdet*. NGU, Trondheim, Noreg.