

Risiko- og sårbarhetsanalyse av eit reservevassverk på Bømoen, Voss



Masteroppgåva i naturgeografi

Line Haukanes



**Institutt for geografi
Universitetet i Bergen**

Våren 2018

Bilete på framsida: Oversiktsbilete over Bømoen er teke frå aust, mot Voss sentrum. Bilete er teke sommaren 2017. Foto: Line Haukanes.

Føreord

Eg har vore heldig å få jobba med eit spanande prosjekt, som har gitt meg moglegheita til å læra mykje nytt. Gjennom prosjektet har det vore både oppturar og nedturar, men alt i alt har det vore ei bra oppleving. Eg har mange å takka for at eg har fått til å skriva denne masteroppgåva. Eg vil begynna med å gi ein stor takk til min hovudrettleiar Rannveig Øvrevik Skoglund (UiB) og medrettleiar Oddmund Soldal (COWI AS), som har bidrege med mykje god hjelp og rettleiing gjennom masterperioden. Eg vil òg takka Voss kommune, først og fremste for å ha ønska eit masterprosjekt om Bømoen knytt til prosjektet om det nye reservevassverket på Bømoen. I tillegg har dei bidrege med økonomisk hjelp, og eg har fått ei hjelpande hand i felt, då i hovudsak av Matteo Bolzoni og Jakob Håheim. Takk for at de har vore tilgjengeleg om det skulle vera noko. På institutt for geografi har eg òg fått god hjelp ved behov. Ei spesiell takk går her til Max Kollar for å ha svart på alle spørsmål rundt prosessen med å laga kart i ein travel kvardag. I feltperioden var eg så heldig å få ei omvising på det tidlegare militære vassanlegget av Steinar Fretheim. Her fekk eg mykje informasjon om tidlegare historie i området, og eg fekk sett korleis det allereie etablerte vassverket på Bømoen er i drift. Eg vil òg gjerne takka mine medstudentar på lesesalen både for gode samtalar og hjelp der det trengs. Til slutt vil eg gjerne takka familie og vener for å ha støtta meg gjennom denne prosessen.

Samandrag

Oppgåva tek føre seg eit prosjekt der Voss kommune vurderer om dei skal etablera eit reservevassverk på Bømoen. Målet med oppgåva er å leggja fram ein plan for å verna vassressursane i området, og ein risiko- og sårbarheitsanalyse (ROS-analyse) for å seia noko om risikoen for ureining og sårbarheita til grunnvassførekomsten. Innsamling av data for å kunna seie noko om grunnvassførekomsten, gjekk føre seg i 2017 og 2018. Det vart samla inn vassprøvar, utført måling av elektrisk leiingsevne, samla inn data med dataloggarar og undersøkt området for ureiningskjelder. Vassprøvane vart teke for å undersøka om dei kjente ureiningskjeldene påverka vasskvaliteten og om verdiane var innanfor grenseverdiane i drikkevassforskrifta (2016). Det er fleire potensielle ureiningskjelder i området som kan utgjera ein risiko for vasskvaliteten, t.d. flyplass, ureina grunn og avfallsdeponi. Dataloggarar vart nytta til å henta informasjon om variasjon i temperatur og grunnvassnivå i brønnar. Desse målingane kan vera med på å seie noko om opphaldstid og korleis grunnvasstanden blir påverka av pumping i brønnane. Resultata av vassprøvane viser i hovudsak ein god kvalitet på grunnvatnet teke ut på Bømoen. I ein brønn er det problem med mangan og jern, og dei overskrid grenseverdien for drikkevasskvalitet ved nokre prøvetakingar. Elva verkar som ein god hydraulisk barriere, og det er ikkje ein indikasjonar på at ureina grunnvatn frå Bjørkemoen vert trekt inn til brønnane på motsett side av elva. Temperaturdata frå loggarane viser at nokre brønnar er meir påverka av elva enn andre. Basert på dei ulike funna i felt og vidare analyse av data, er det lagt fram ein tryggingssplan og ein ROS-analyse. Ut i frå ROS-analysen kjem det fram at det er fleire ureiningskjelder som kan trua kvaliteten på vatnet, men at det er ein vassførekomst med eit godt vern, då grunnvatnet har ei mektig umetta sona.

Innholdsliste

Føreord	iii
Samandrag	iv
Innholdsliste	v
Figurliste.....	ix
Tabelliste	xi
1 Innleiing	1
2 Problemstillingar	3
3 Områdeskildring.....	4
3.1 Studieområdet.....	4
3.2 Berggrunn.....	6
3.3 Kwartærgeologi.....	7
3.4 Klima.....	8
3.5 Hydrologi	9
3.6 Menneskeleg aktivitet i området	10
3.6.1 Innleiing	10
3.6.2 Militæraktivitet.....	10
3.6.3 Flyplass.....	12
3.6.4 Aktivitetar på Bjørkemoen	12
3.6.5 Uttak av lausmassar.....	13
3.6.6 Jernbane.....	14
3.7 Tidlegare arbeid i området	14
3.8 Planar for utvikling av Bømoen	16
4 Teori	21
4.1 Innleiing	21
4.2 Grunnvatn i lausmassar	21
4.3 Nydanning av grunnvatn	22

4.4	Porøsitet.....	23
4.5	Permeabilitet og hydraulisk konduktivitet	24
4.6	Vasstrøyming i akviferar	25
4.7	Stabile isotopar i vassmolekylet	26
4.8	Ureining.....	27
4.8.1	Generelt om ureining.....	27
4.8.2	Adveksjon.....	28
4.8.3	Dispersjon.....	28
4.8.4	Diffusjon.....	29
4.8.5	Retardasjon.....	30
4.9	Vasskvalitet	31
4.9.1	Generelt om vasskvalitet	31
4.9.2	Gjennomgang av utvalde parameter.....	32
4.9.2.1	Mangan.....	32
4.9.2.2	Bly	32
4.9.2.3	Antimon.....	33
5	Metodar	34
5.1	Informasjon om datainnsamling.....	34
5.2	Brønnboring	34
5.3	Sedimentprøver til kornfordelingsanalyse	35
5.4	Kornfordelingsanalyse	36
5.5	Vassprøver.....	37
5.5.1	Innsamling av vassprøver.....	37
5.5.2	Oksygenisotopar	40
5.5.3	Metall	40
5.5.4	Mangan.....	41
5.5.5	Prøvepakke B (utvida prøve).....	41

5.6	Elektrisk leiingsevne	42
5.7	Logging av nivå og temperatur i vatn	43
5.7.1	Instrumentet nytta til måling av vassnivå og vasstemperatur	43
5.7.2	Hydraulisk trykkhøgde	44
5.7.3	Vasstemperatur	46
5.8	ArcMap	46
5.9	Risiko- og sårbarheitsanalyse (ROS-analyse)	46
5.10	Tryggingsplan	48
6	Resultat	51
6.1	Innleiing	51
6.2	Observasjonar frå felt	51
6.2.1	Forhøgning	51
6.2.2	Tjern	52
6.2.3	Vasskjelder	53
6.2.4	Fordjuping i terrenget	53
6.2.5	Utlaup på Bjørkemoen	54
6.3	Kvartærgeologisk kart	56
6.4	Hydraulisk konduktivitet	58
6.5	Vassprøvar	60
6.5.1	Stabile oksygenisotopar	60
6.5.2	Metall	62
6.5.3	Mangan og jern	66
6.5.4	Utvida prøve	70
6.6	Elektrisk leiingsevne	70
6.7	Pumpekapasitet i B3, B4 og B6	74
6.8	Hydraulisk trykkhøgde	75
6.9	Vasstemperatur	79

6.10	Utrekning av oppholdstid	85
6.11	Vassbalanseutrekning for Bømoen.....	86
7	Diskusjon.....	88
7.1	Oppholdstid og strøymingsmønster.....	88
7.2	Vasskvalitet og ureining i området.....	91
7.3	Naturleg vern av grunnvassførekomsten	94
7.4	Vassbalanse	95
7.5	Risiko- og sårbarheitsanalyse	96
7.6	Tryggingsplan.....	100
8	Konklusjon	107
9	Vidare arbeid	109
	Kjeldeliste.....	110
	Vedlegg	116

Figurliste

Figur 3.1: Oversiktsbilete over Bømoen og kva det er lokalisert i forhold til Bergen og Voss sentrum.	5
Figur 3.2: Berggrunnskart over området rundt Bømoen.	6
Figur 3.3: Kvartærgeologisk lausmassekart over området rundt Bømoen.	7
Figur 3.4: Nedbør- og temperaturnormal frå perioden 1961-1990.	9
Figur 3.5: Vassføring ved Kinne i Raundalselvi.	10
Figur 3.6: Oversikt over kjente deponi på Bømoen.	11
Figur 3.7: Oversikt over jernbana i forhold til brønnområdet.	14
Figur 3.8: Modell over grunnvasstrøyming til B3 ved pumping.	16
Figur 3.9: Oversiktsbilete over dei ulike brønnane tilknytt vassverket.	17
Figur 3.10: Oversikt over inndeling av Bømoen i fire delområder.	18
Figur 3.11: Framvising av dei tre ulike alternativa for ønska nytte av delområdet aust.	19
Figur 3.12: Oversikt over effekten dei ulike alternativa har på delområda.	20
Figur 4.1: Illustrasjon av umetta og metta sone.	22
Figur 4.2: Illustrasjon av porøsitet i godt sortert og dårlig sortert materiale.	24
Figur 4.3: Oversikt over dei ulike faktorane som fører til dispersjon.	29
Figur 4.4: Illustrasjon av prosessane som utgjer mekanisk filtrering.	30
Figur 5.1: Skisse av utstyr nytta til å bore brønner på Bømoen.	34
Figur 5.2: Bilete av sedimentprøvar frå Bømoen.	35
Figur 5.3: Døme på ei kornfordelingskurve frå Bømoen.	36
Figur 5.4: Oversikt over dei ulike prøvepunktene det er teke vassprøvar frå.	39
Figur 5.5: Bilete av prøvetaking av vassprøvar i observasjon- og produksjonsbrønner.	40
Figur 5.6: Bilete av instrument nytta til å måle elektrisk leiingsevne i felt.	43
Figur 5.7: Skisse av korleis dataloggarane er plassert og avlesing i felt.	44
Figur 5.8: Oversikt over framgangsmåten for å leggja fram ein tryggingssplan.	49
Figur 6.1: Oversikt over dei ulike lokalitetene det er gjort observasjonar frå i felt.	51
Figur 6.2: Bilete av den eine skråninga opp mot forhøgninga.	52
Figur 6.3: Bilete av tjernet på Bømoen.	52
Figur 6.4: Bilete av kjeldene.	53
Figur 6.5: Bilete av ein opning ned i lausmassane med synleg skrapmetall.	54
Figur 6.6: Bilete av området rundt utlaupet på Bjørkemoen.	55
Figur 6.7: Kvartærgeologisk kart over Bømoen og deler av Bjørkemoen.	57

Figur 6.8: Variasjon i hydraulisk konduktivitet i dei ulike brønnane på Bømoen.	59
Figur 6.9: Variasjon i $\delta^{18}\text{O}$ i alle prøvepunkt for stabile oksygenisotopar.	60
Figur 6.10: Variasjon i $\delta^{18}\text{O}$ i B3, B4, B6 og i elva.	62
Figur 6.11: Oversikt over konsentrasjonen av bly i ulike prøvepunkt på Bjørkemoen.	63
Figur 6.12: Oversikt over konsentrasjonen av kopar i ulikeprøvepunkt på Bømoen.	64
Figur 6.13: Oversikt over konsentrasjonen av kopar i ulikeprøvepunkt på Bjørkemoen.	64
Figur 6.14: Oversikt over konsentrasjonen av sink i ulikeprøvepunkt på Bømoen.	65
Figur 6.15: Oversikt over konsentrasjonen av sink i ulikeprøvepunkt på Bjørkemoen.	66
Figur 6.16: Oversikt over konsentrasjonen av mangan og jern i B3, B4 og B6.	67
Figur 6.17: Bilete viser området ved utlaupet av vatn frå B3 etter heving av brønn B3.	68
Figur 6.18: Grafen viser ein oversikt over konsentrasjonen av jern og mangan i dei ulike prøvepunkt på Bømoen og Bjørkemoen.	69
Figur 6.19: Figuren viser ein oversikt over dei ulike målepunkta for elektrisk leiingsevne på Bømoen og Bjørkemoen.	71
Figur 6.20: Grafen viser kor mykje vatn som er pumpa med kva frekvens for dei ulike brønnane.	75
Figur 6.21: Variasjon i hydrauliske trykkehøgda for dei ulike brønnpunkta på Bømoen.	77
Figur 6.22: To illustrasjonane som viser kvar vatnet vil strøyma ut i frå høgda på grunnvatnet i ulike målepunkt på Bømoen.	78
Figur 6.23: Grafane viser variasjonen i temperatur i dei ulike brønnpunkta, luft og elva. ...	81
Figur 6.24: Grafen viser korleis temperaturen varierer i PB3, PB7, PB9 og i elva.	82
Figur 6.25: Grafen viser ein oversikt over temperaturendringar i PB1, PB2, PB4 og i elva. ...	83
Figur 6.26: Grafen viser variasjon i temperatur i prøvepunkt B4, B6, PB5, PB8 og teknisk verkstad i forhold til elva.	84
Figur 6.27: Oversiktsbilete over sonegrensene for sone 1 ut i frå B3, B4 og B6.	85
Figur 6.28: Oversikt over arealet nytta i utrekninga av nydanning i området rundt brønnane	86
Figur 7.1: Viser strøymingsmønsteret i området basert på målingar gjort i elv, brønnpunkt og kvar elva gir frå seg vatn og kvar den får vatn.	89
Figur 7.2: Oversikt over opphaldstidene til ulike brønnpunkt ved oksygen og temperaturmålingar.	90
Figur 7.3: Oversikt over endring i mangankonsentrasjonen i forhold til pumperaten i B3. ..	94
Figur 7.4: Figuren viser ein oversikt over forslag til sonegrenser.	106

Tabelliste

Tabell 5.1: Oversikt over kva vassprøvar som er henta frå dei ulike prøvepunkt.	38
Tabell 5.2: Oversikt over parameter som inngår i gruppe A og B ut i frå drikkevassforskrifta (2016).	41
Tabell 5.3: Oversikt over loggarhøgde i m o.h. for dei ulike brønnane.	45
Tabell 5.4: Ein oversikt over belastingar og korleis ein skal vurdere belastningane, for å kome fram til ein gradering.	47
Tabell 5.5: Ein oversikt over dei ulike faktorane som inngår i ei sårbarheitsvurdering.	47
Tabell 6.1: Utval av parameter frå beleggprøven ved utlaupet på Bjørkemoen.	55
Tabell 6.2: Utval av parameter frå vassprøven frå utlaupet på Bjørkemoen.	56
Tabell 6.3: Oversikt over målingar av elektrisk leiingsevne og temperatur langs Raundalselvi ved høg vasstand.	71
Tabell 6.4: Oversikt over målingar av elektrisk leiingsevne og temperatur langs Raundalselvi ved låg vasstand.	72
Tabell 6.5: Oversikt over målingar av elektrisk leiingsevne og temperatur i brønnpunkt på Bømoen.	73
Tabell 6.6: Oversikt over målingar av elektrisk leiingsevne og temperatur i overflatevatn og vatn frå kjelder på Bømoen.	74
Tabell 6.7: Oversikt over utrekna sone 1 for B3, B4 og B6.	85
Tabell 6.8: Oversikt over utrekna nydanning av grunnvatn per månad.	87
Tabell 7.1: Overblikk over ROS-analysen i oppgåva.	99

1 Innleiing

Vatn er vårt viktigaste næringsmiddel. Reint drikkevatt er derfor ein viktig ressurs og livskvaliteten vil verta svekka dersom tilgangen på reint drikkevatt ikkje er tilstrekkeleg, noko som òg kan skapa ulike konflikhtar. Grunnvatn er i hovudsak meir verna mot ureining og kvaliteten vil halda seg meir stabil enn overflatevan, noko som gjer grunnvatn til ein viktig ressurs (Eckholdt og Snilsberg, 1992; Gaut, 2011). Det er blitt eit større fokus på å nytta grunnvatn til drikkevatt på grunn av eit betre vern mot ureining og ein jamnare kvalitet (Ellingsen & Banks 1993). Det faktum at det er så stor tilgang på overflatevatn i Noreg har ført til ein relativt liten bruk av grunnvatn. Det er berre om lag 15 % av Noregs befolkning, som nyttar grunnvatn til drikkevatt i dag (NGU, 2016). Voss kommune skil seg ut frå landsbasis med 100 % kommunal drikkevassforsyning frå grunnvatn.

I dag er hovudvassverket i Voss kommune plassert på Prestegardsmoen, ved Vangsvatnet i Voss sentrum. Ved store flaumar er det fare for at området ved vassverket vert fløymd over, noko som kan påverka vasskvaliteten til drikkevattnet. Under den store flaumen på Vestlandet hausten 2014, var dette tilfelle. Det vart store skadar på infrastruktur og eigedommar blant anna i Voss kommune (Langsholt et al., 2015), og vassbehandlingsanlegget til vassverket på Prestegardsmoen fekk inn flaumvatn. Flaumvatnet kontaminerte drikkevattnet som vart sendt ut på nettet, og det vart gitt påbod om å koke drikkevattet før bruk. Ifølgje Voss kommune vart ikkje grunnvatnet ureina, all ureininga skjedde i vassbehandlingsanlegget. Det var ikkje berre eit problem med eit ureina drikkevatt, sjølv vassverket vart påført store skadar under flaumen. I tillegg til flaumproblematikk er det òg stor interesse for å nytta området på Prestegardsmoen, som til dømes til idrettsbanar og teknisk infrastruktur i området. Dette kan skapa konflikhtar mellom trygging av grunnvatnet for ureining og ønske om å nytta området til andre føremål. I samanheng med dette er det undersøkingar i gang for å vurdere om eit reservevassverk på Bømoen kan vera aktuelt.

Krava til kvaliteten på vatnet, er strenge for å kunne nytta ei vasskjelda til drikkevatt. Krava er lagt fram i drikkevassforskrifta (2016). Dei strenge krava er til for å sikra eit trygt vatn utan helserisiko for forbrukaren. For å kunna verna om ei grunnvasskjelde og sikra vasskvaliteten, må ein laga ein plan for å verna området mot ureining no og i framtida (Eckholdt og Snilsberg, 1992). Kartlegging av moglege ureiningskjelder og risikoen for at dei kan vera med på å ureine drikkevasskjelda, samt kor sårbar grunnvasskjelda er for ureining er òg viktig

å undersøka. Målet med oppgåva er å forstå grunnvassforholda og korleis grunnvatnet strøymer for å finna ut kor sårbar grunnvasskjelda er for ureining. Dette skal munna ut i ein tryggingsplan for å verna om vasskjelda på Bømoen.

2 Problemstillingar

Hovudføremålet med masteroppgåva er å leggja fram ein risiko- og sårbarheitsanalyse (ROS-analyse) og ein tryggingsplan (klausuleringsplan) for deler av Bømoen. For å kunna leggja fram desse analysane av området skal fleire undersøkingar av området utførast for å kartlegga eigenskapane til akviferen:

- Kan ein seia noko om opphaldstida til vatnet ved hjelp av sporing med stabile oksygen isotopar og varme? Korleis kan ein nytta informasjonen vidare i arbeidet om trygging av området?
- Kva typar av ureiningskjelder kan ein finna i området? Utgjer dei ein risiko for drikkevandet?
- Korleis er kvaliteten på vatnet i akviferen? Er verdiane på elementa i vatnet innafor grenseverdiane for ei drikkevasskjelda?
- Er det ureining av tungmetaller i akviferen som følgje av tidlegare aktivitet i området?

3 Områdeskildring

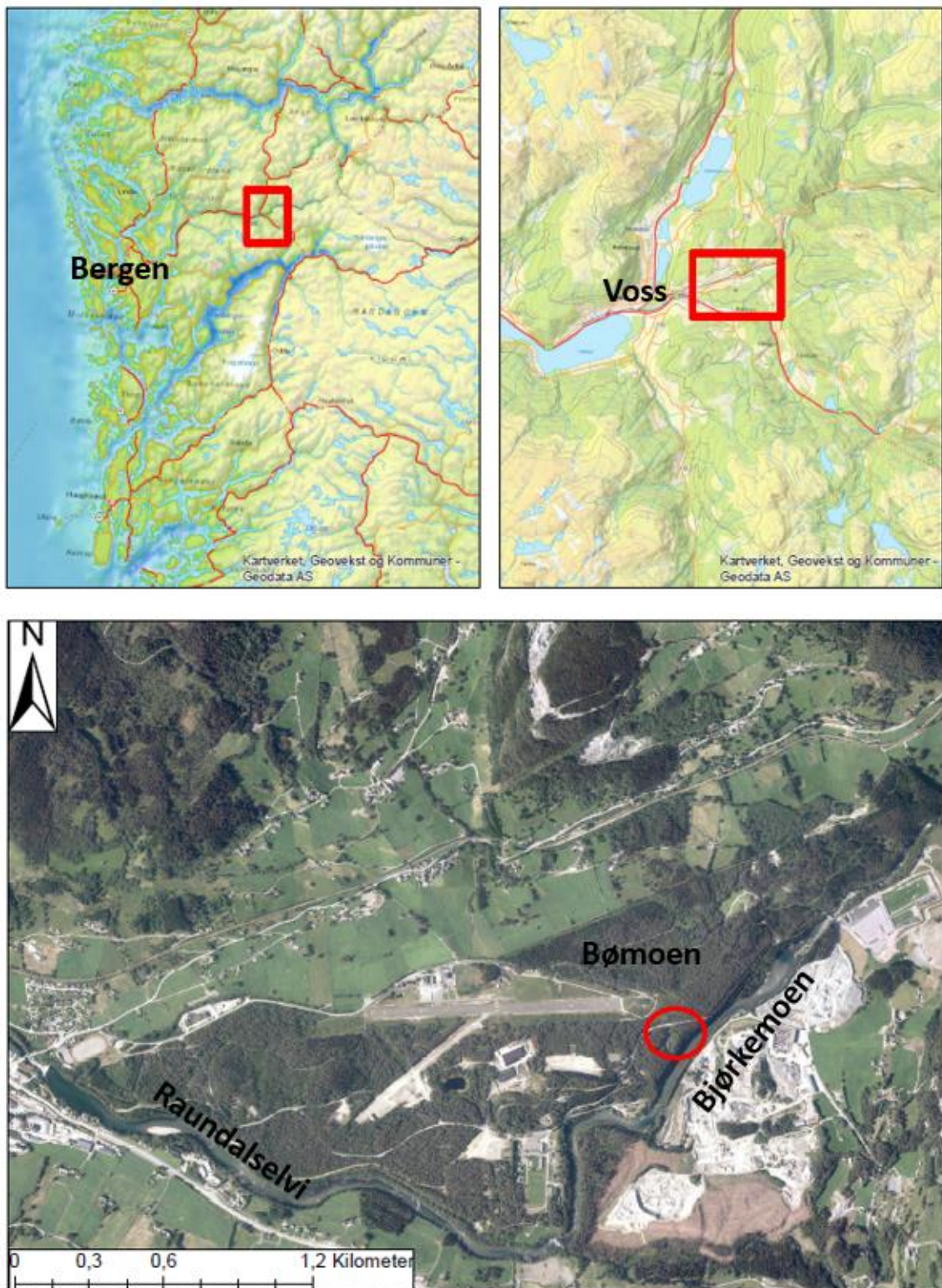
3.1 Studieområdet

Voss er ein kommune i Hordaland fylke på Vestlandet, og Bømoen er lokalisert omtrent 3 km aust for Voss sentrum (60° 38' N 6° 30' A)(Figur 3.1). Bømoen er ein del av ein større lausmasseavsetning, som består av Bømoen og Bjørkemoen, avsett i utlaupet til Raundalen. Bømoen er eit området på omtrent 3 km², avgrensa av Flyplassvegen i nord og Raundalselvi i sør. Raundalselvi deler områda Bømoen og Bjørkemoen. Nedstraums for Bømoen renn Raundalselvi saman med Strandaelvi og dannar elva Vosso, som munnar ut i Vangsvatnet ved Voss sentrum.

Bømoen har ei terrasse form, der det er ein svak helling frå utlaupet av Raundalen til Palmafossen. I hovudsak ligg området på 95-105 m o.h. Det er eit par toppar som er på omkring 115 m o.h., samt bratte skråningar frå terrasseflata og ned til elva. I den nordvestlege delen av område er terrenget litt meir variert med større høgdeforskjellar. Hovudfokuset er knytt til eit mindre område i den austlege delen av Bømoen, markert på kartet i Figur 3.1, der det er aktuelt å etablera reservevassverket.

Vegetasjonen er tett i store deler av området, og er dominert av furu- og blandingsskog, med eit parti med lauvskog langs elva. Det er nokre opne områder rundt flyplassen, ved den tidlegare militærleiren, ved øvingsområde for skyting og i områder der det ser ut til å ha vore fjerning av massar i form av grusutak.

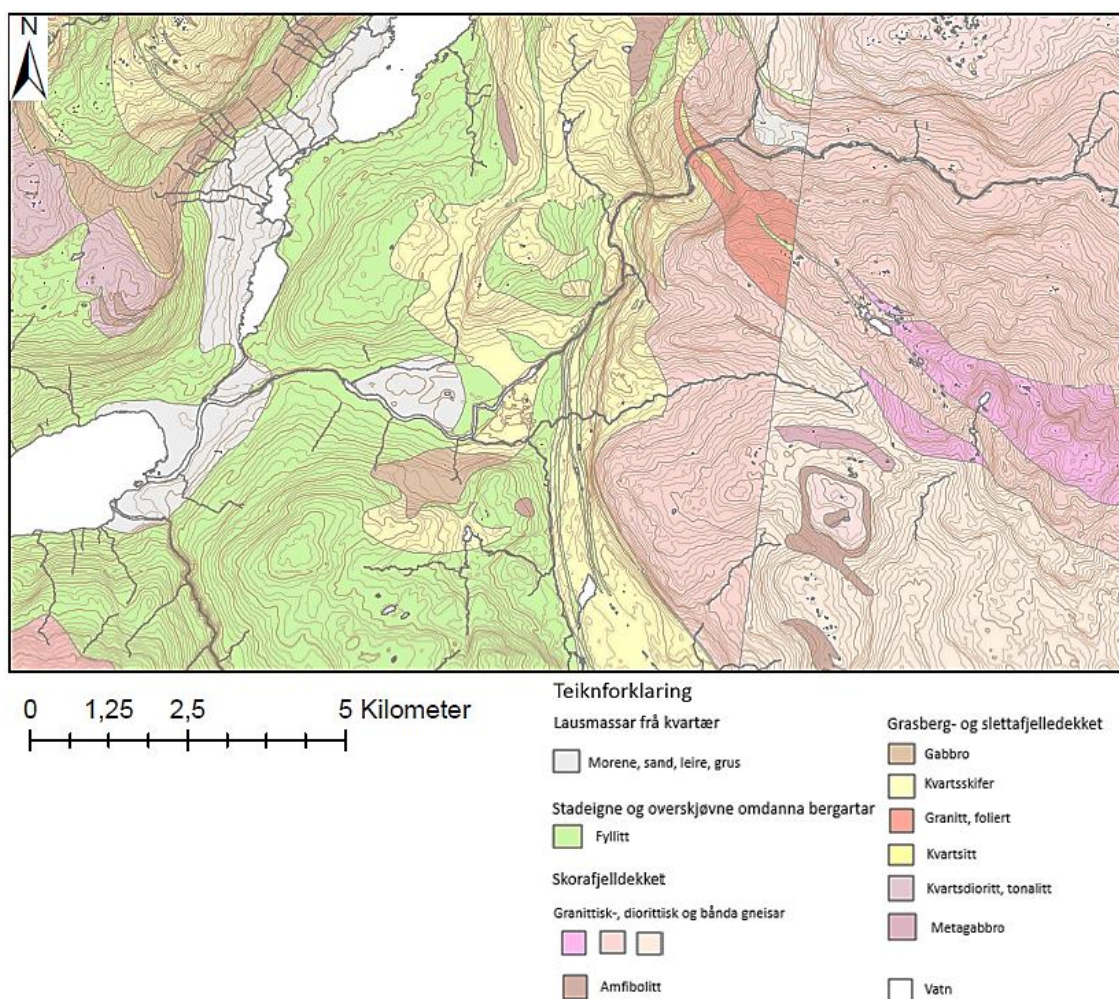
Det er mykje aktivitet i området, til dømes rundt flyplassen, i dei etablerte turløypene og i Raundalselvi der ein nyttar elvekajakk. Turløypene vert nytta heile året, då ein kan gå på ski om vinteren og til fots når det ikkje er snø.



Figur 3.1: Karta viser kvar Voss ligg i forhold til Bergen og vidare kvar Bømøen er lokalisert i forhold til Voss sentrum. Bømøen og Bjørkemoen er vist meir detaljert ved hjelp av eit flybilete. På flybiletet er òg hovudfeltområdet markert med ein rød sirkel, og det er i dette området det aktuelle reservevassverket er lokalisert. Raundalselvi, som deler Bømøen og Bjørkemoen, er markert på kartet. Flybilete er henta frå Norge i Bilder (2018). Kartgrunnlaget er henta frå kartverket.no.

3.2 Berggrunn

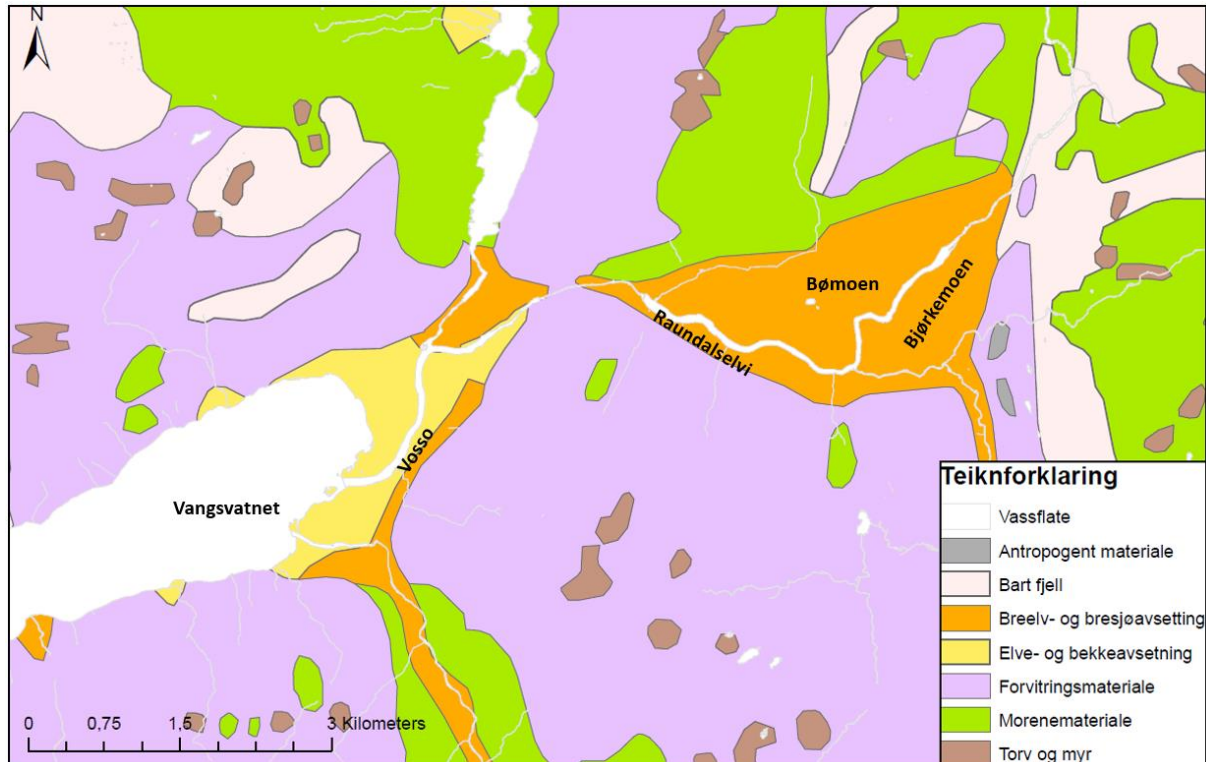
Figur 3.2 viser ein oversikt over dei ulike bergartstypane i området rundt Voss. Figuren viser at det er store førekomstar av fyllitt i området rundt Vangsvatnet og Voss sentrum. Opp mot Raundalen finn ein eit område med kvartsskifer, før det er eit område der det i hovudsak er ulike typar av gneis. Sedimenta avsett på Bømoen ligg i hovudsak over fyllitt. Den dominerande fyllitten rundt Voss, eignar seg dårleg til uttak av grunnvatn, då den sjeldan gir meir enn 0,2 l/s (Henriksen og Jæger, 1992). Bergartar i området rundt Voss, som kan gi større vassmengder frå borehol, er til dømes kvartsrike bergartar, der ein kan få mellom 0.15 l/s og 0.5 l/s eller gneisar av mangeritt eller med mykje feltspat, der ein kan få opp til 0.4 l/s frå eit borehol (Henriksen og Jæger, 1992).



Figur 3.2: Kartet viser ein oversikt over kva bergartar ein finn i området rundt Voss. Bergartane er delt inn etter kva skyvedekke dei høyrer til, basert frå informasjon frå Sigmond (1998) sitt berggrunnsgeologiske kart Odde (1:250 000). Kartet er satt saman på grunnlag av NGU sitt berggrunnskart N50 (NGU, 2017), FKB-data og koter frå Topografisk Noregskart. Kartet er laga ved hjelp av ArcMap.

3.3 Kwartærgeologi

Bømoen har tidlegare vore kartlagt av Mæland (1963) der Bømoen og Bjørkemoen er tolka til å vera lausmassar avsett glasifluvialt. Avsetninga, som utgjer Bømoen og Bjørkemoen vil dermed ha vore avsett på slutten av sist istid for omkring 10.000 år sidan. Figur 3.3 viser ein oversikt over lausmassane på Bømoen og områda rundt.



Figur 3.3: Det kvartærgeologiske kartet er laga ut i frå lausmassekartgrunnlag frå NGU (NGU, 2017b).

Holmström og Kibsgaard (2009) undersøkte Bømoen ved hjelp av georadar og logging av snitt. Funna deira viser at avsettinga består av grovare sedimenter, som grus, steinar og blokker i aust, medan sedimenta i vest er finare, då ein finn meir sand og silt. Ut i frå undersøkingane deira har dei konkludert med at avsettinga er eit deltaforma israndavsetning. Då dei grovaste sedimenta ligg aust i området og dei blir finare mot vest, tyder det på at det har vore ein bre i Raundalen, som har gitt opphav til sedimenta avsett på Bømoen og Bjørkemoen.

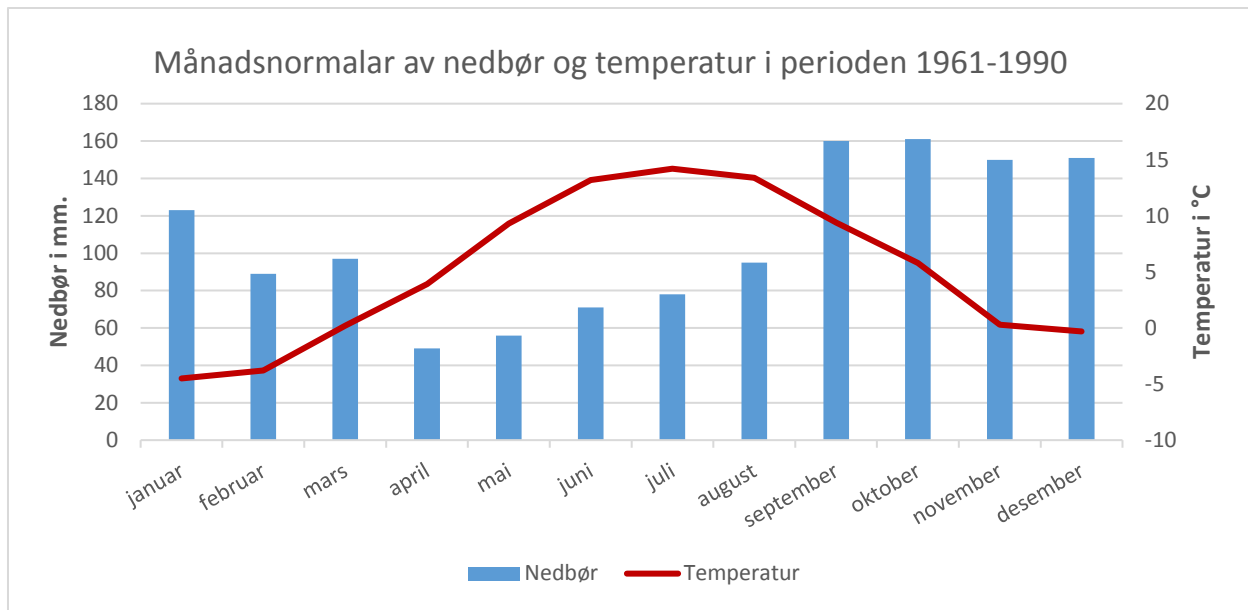
Ut i frå Skreden (1967) sine kvartærgeologiske undersøkingar i Voss området er den marine grensa rundt Voss på 97 m o.h. Eit delta vil bygga seg opp til vassnivå, og Bømoen er bygd opp til høgder godt over den marine grensa, eit par plassar opp til omkring 115 m. Noko som

tilseier at det ikkje berre er eit isranddelta. I Naturhistorisk vegbok for Hordaland er Bømoen omtala som Hordalands største sandur (Aarseth, I., 2005). Noko som forklarar det at avsettinga er bygd opp over havnivå.

Terrengoverflata i området er i hovudsak ganske flat, men ein kan finne nokre nedskjeringar og små høgder. Det er blant anna ei nedskjæring gjort av Raundalselvi i avsettinga, noko som har skapt ein relativt stor høgdedifferanse på opp til 10-15 m nokre plassar. I delar av området er lausmassane tydeleg påverka av menneskelege aktivitet. Det er til dømes tatt ut massar i den austlege delen av Bømoen, der eit område for uttak er i sporadisk drift og eit er nedlagt (NGU, 2018a).

3.4 Klima

Voss er kjent for kaldare vintrar og varmare somrar enn resten av Hordaland, men det er ein stor kommune og forskjellane er store (Moe, 2005). I vest er det eit fuktigare klima enn i aust der det er eit meir innlands- og høg fjellsklima (Moe, 2005). Bømoen ligg i området med innlandsklima og det er varme somrar og kalde vintrar. Den årlege normalnedbøren i perioden 1961-1990 er på 1280 mm (Førland, 1993), og slik ein kan sjå frå Figur 3.4 er det mest nedbør frå september til januar på Bømoen. I vintermånadane vil nedbøren i hovudsak vera i form av snø, noko som gjer at det ikkje vil vera mykje nydanning av grunnvatn (sjå delkapittel 4.3) i denne perioden, sjølv om det er mykje nedbør. Ut frå temperaturen, i Figur 3.4, vil det vera lite nydanning i frå november til mars. Dei månadane med minst nedbør vil vera april og mai, men her vil nydanning av grunnvatn ta seg opp når ein byrjar å få snøsmelting i større grad og temperaturen stig, noko som vil føre til at frosten i bakken tiner. Temperaturnormalen for perioden er òg vist i Figur 3.4. Vinter middeltemperaturen (desember-februar) er på $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, medan sommar middeltemperaturen (juni-august) er på $13,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperaturen støtter opp under at det vil vera mindre nydanning av grunnvatn, i vintermånadane, då frost i bakken i perioden vil vera med å forhindra det. Årsmiddeltemperaturen er på $4,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ i denne perioden (Aune, 1993).

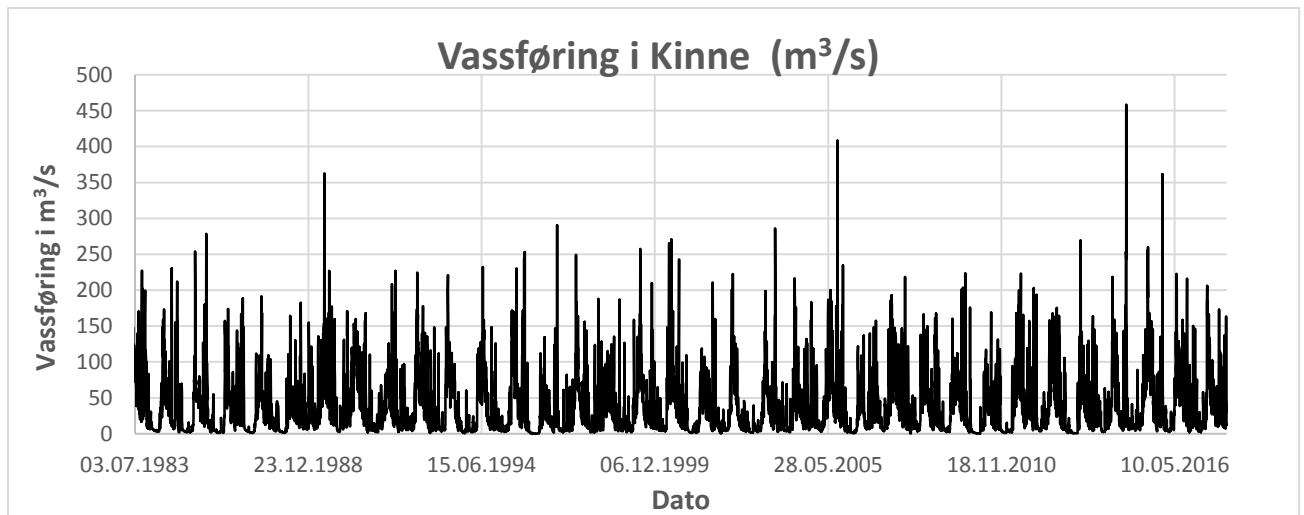


Figur 3.4: Grafen viser månadsnormal nedbør- og temperatur frå perioden 1961-1990. Grafen er laga ut i frå informasjon henta frå Førland (1993), som legg fram nedbørnormalar, og Aune (1993), som legg fram temperaturnormalar.

3.5 Hydrologi

Vossovassdraget er det største vassdraget i Hordaland, og fekk status som varig verna vassdrag gjennom verneplan III i 1985 (St.prp.nr.89, 1984-1985). Vossovassdraget består blant anna av Raundalselvi, som tidlegare forklart om i studieområdet, sjå punkt 3.1. Raundalselvi blir av Rådgivande biologar skildra som eit ”stort Vestlandsvassdrag med svært klar og svært kalkfattig vannkvalitet i lavlandet” (Johnsen 2016). Det totale nedbørsfeltet til Vosso er på 903 km², der Raundalselvi står for 525 km² og Strandaelvi står for 374 km² av nedbørsfeltet (Holmqvist, 2015). Korleis vassføringa i Raundalselvi har variert ved målestasjonen Kinne sidan oppstart i 1983 er vist i Figur 3.5.

Fleire store flaumar har råka Vossovassdraget opp gjennom tidene. Det var blant anna ein stor flaum i vassdraget i 2014, som gjorde store skadar på infrastruktur og bygningar langs Vosso (Langsholt et al., 2015). Vassbehandlingsanlegget, ligg som nemnt i innleiinga, på Prestegardsmoen ved Vosso sitt utlaup til Vangsvatnet og er flaumutsett. Oversvømming av Prestegardsmoen inneber dermed ein stor risiko for ureining av drikkevandet i kommunen. Under flaumen var kuliminasjonsvassføringa der Raundalselvi og Strandaelvi går saman på 1040 m³/s (Holmqvist, 2015). Flaumen i 2014 er òg den største målte vassføringa i Raundalselvi (sjå Figur 3.5), etter at målingane starta (Holmqvist, 2015), men tidlegare stasjonar viser fleire store flaumar i denne greina av Vosso (Langsholt et al., 2015).



Figur 3.5: Vassføring ved målestasjon Kinne i Raundalselvi i perioden 1983-2017. Data fått frå NVE.

3.6 Menneskeleg aktivitet i området

3.6.1 Innleiing

Det har vore og er stor aktivitet på Bømoen og Bjørkemoen, noko som kan føra til utfordringar knytt til etablering av drikkevassproduksjon på Bømoen. Bømoen har blant anna vore nytta av forsvaret i perioden 1898 fram til 2008 (Frøyland et al., 2015), uttak av naturressursar, som grus og det er ein flyplass der. Alle dei ulike aktivitetane i området utgjer ein risiko for å ureina grunnvatnet, som er ønska å nytta til drikkevatt. Her skal ein gjennomgang av dei største utfordringane i området presenterast i korte trekk.

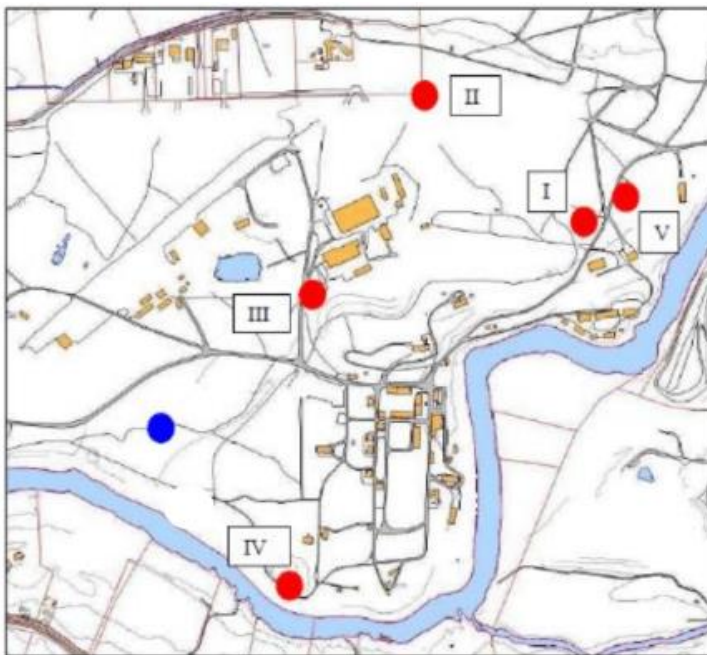
3.6.2 Militæraktivitet

Bømoen har vore nytta av forsvaret i over 100 år, men det er lite informasjon om korleis området har vore nytta i deler av tidsrommet. Hjelle og Tallarek (2014) har lagt fram ein oversikt over den kjende bruken. Ein veit er at før 2. verdskrig var det fleire ulike norske bataljonar og regimentar som tenestegjorde på Bømoen. Deretter tok tyske okkupantar over leiren under 2. verdskrig. I etterkant av krigen, var Bømoen nytta av både norske og utanlandske troppar til trening.

I ein rapport utarbeida av Forsvarsbygg i 2011 har fleire delar av området i etterkant av den militære bruken blitt karakterisert som «farlege områder- med sikkerheitsrisiko for menneske og dyr, samt fare for ureining/avrenning» (Referert til i Hjelle og Tallarek, 2014). På grunn av militæraktivitet, som skytebanar, øvingsfelt og avfallsdeponi, kan det ligge att skadeleg materiale i området, noko som kan få konsekvensar for grunnvasskvaliteten. Vidare skal ein

først sjå på korleis deponia kan ha påverka grunnvatnet i området, før eg vil sjå på mogleg påverknad frå skytebanane.

På Bømoen finn ein fleire deponi i tilknytning til den militære aktiviteten. Det er totalt kartlagd fem deponi, og av dei vart to sanert i 2012 (Kvåle, 2015). To av deponia (I og V, Figur 3.6) ligg svært nær arealet ønska nytta til grunnvassuttak og er difor særleg interessante for problemstillinga i oppgåva. Deponi I vart miljøsanert i 2012, slik det kjem fram i Frøyland et al. (2015). Noko som vil seie at dei massane som kan vera helse- og miljøskadelege, vart fjerna. Deponiarealet vart så dekkast til med reine massar med låg permeabilitet, for å redusera vassgjennomstrøyming. Området vart overvaka i to år og kontrollen viste ein nedgang i tungmetall i vatnet. I deponi V (Figur 3.6) er det påvist fleire tungmetall, blant anna bly og sink, med ein høgare verdi enn ønskeleg (Holmström og Kibsgaard, 2009). Prøvesvara i rapporten til Holmström og Kibsgaard (2009) viser at dei høge verdiane kjem frå jordprøvar, medan vassprøvene ser fine ut. Deponi V er ikkje sanert, men deponiet skulle dekkast til med 1 meter med reine massar (Johansen, 2012).



Figur 3.6: Oversikt over dei kjente deponi på Bømoen. Figuren er henta frå Frøyland et al. (2015). Dei rød punkta er markeringar for der det er deponi.

I tilknytning til skytebanar, er det viktig å sjå etter ureining i forbindelse med restar av ammunisjon. Ammunisjon er i stor grad bygd opp av tungmetalla bly (Pb), koppar (Cu), sink (Zn) og antimon (Sb) (Kvåle, 2015), og dermed er det naudsynt å sjå etter dei tungmetalla i områda rundt skytebanar. Fleire områda på Bømoen vart tidlegare nytta til øving med våpen,

blant anna fanst ein 300 m geværbane og korte banar. I tillegg er det ein nedlagt skytebane på Øvre Skjerve.

Øvre Skjerve har blitt undersøkt av Nag (2009), og det kjem fram at det er høge konsentrasjonar av i hovudsak bly. Arsen, antimon og koppar er og ureinande faktorar i området. Etter rydding av feltet er konsentrasjonen av tungmetalla låge, kjem det fram i ein rapport av Garmo (2015). Overvakinga av området er difor avslutta. Både den 300 m lange bana og korthaldsbanane på Bømoen er òg ureina frå våpenammunisjon (bly, koppar, sink og antimon), noko som kjem fram i rapportar frå COWI (Fedje, 2011a; Fedje 2011b). Fjerning av masse rundt alle skytebanane er utført, slik som i Øvre Skjerve.

3.6.3 Flyplass

Voss flyplass er lokalisert på Bømoen og ligg tett opp mot drikkevasskjelda. Det er viktig å ta omsyn til risikoen flyplassen kan medføra for ureining av grunnvassmagasinet, og mogleg påverknad på kvaliteten av drikkevattnet. Lagring og bruk av flydrivstoff gir risiko for ureining av drikkevattnet. Særleg ved oppbevaring av drivstoff er det alltid ein risiko for lekkasjar og ulykker. I januar 2015 var det ein lekkasje frå anlegget, og i følgje Frøyland et al. (2015) lak om lag 16 m³ flydrivstoff ut frå drivstofftanken. Store mengder av flydrivstoffet vart teke opp av snøen. For å hindre spreining av ureininga, vart dei påverka lausmassane fjerna frå det råka området. Eit anna kontrollerande tiltak som følgje av lekkasjen, var at det vart sett ned ein miljøbrønn for å kunne overvaka om utsleppet påverka grunnvatnet.

3.6.4 Aktivitetar på Bjørkemoen

Det er mange ulike aktivitetar, som avfallsdeponi, NAF-øvingsbane, uttak av massar, asfaltverk og bilopphogging, på Bjørkemoen. Aktivitetane på området kan tilføra ureining til området og grunnvatn. Då det er i nær tilknytning til Bømoen, kan dette påverke vasskvaliteten dersom den naturlege barrieren elva utgjer ikkje er tilstrekkeleg. I denne oppgåva skal det vidare fokuserast på avfallsdeponi i form av Indre Hordaland Miljøverk (IHM) sitt avfallsdeponi og mottak av bilar.

Avfallsdeponiet på Bjørkemoen er bygd opp av to deler, eit som vart etablert rundt 1980 og ein nyare del etablert i 1996 (Johnsen, 2016). Slik det kjem fram i Johnsen (2016) sin rapport rommar avfallsdeponiet frå 1980 omtrentleg 100.000 tonn med avfall, og den nyare delen

fekk rundt 15.000 tonn med avfall i året fram til 2000. Avfallsmengda tilført deponiet har sidan minka i omfang.

Det gamle deponiet består av to separate deponi, og det er nytta ein armert glasfiberduk, med overlappande skøyte, som skal hindre lekkasje frå deponiet til området rundt (Soldal, 2000). Overlappande skøyte gir ein større risiko for lekkasje til området enn det sveisa skøyte gir. I det nye deponiet er det nytta ein 2 mm tjukk HDPE-membran, med sveisa skøyte, for å samla opp sigevatn og unngå lekkasje (Soldal, 2000).

I avfallsdeponiet føregår det blant anna nedbryting av organiske material, noko som vil forbruke oksygen. Jern er i hovudsak svært lite løyselig i vatn med oksygen, men det blir løyst opp i oksygenfattig vatn. I oksygenfattig vatn vil òg mangan løysa seg opp, slik jern gjer. Dette kan føra til høgare verdiar enn ein ønskjer for jern og mangan i vatnet, dersom avfallsplassen påverkar grunnvatnet på Bømoen.

Ved sidan av IHM sitt området er det mogeleg å levera frå seg bilvrak på Bjørkemoen og lagringa av dei innleverte bilane skjer utandørs. Det er ikkje eit tett underlag, der bilvraka vert levert (Soldal, 2000), noko som kan føra til at ureina vatn sig ned i grunnen frå området. Anlegget er framleis i bruk, men utbetringar kan ha vore utført etter undersøkingane i rapporten frå 2000.

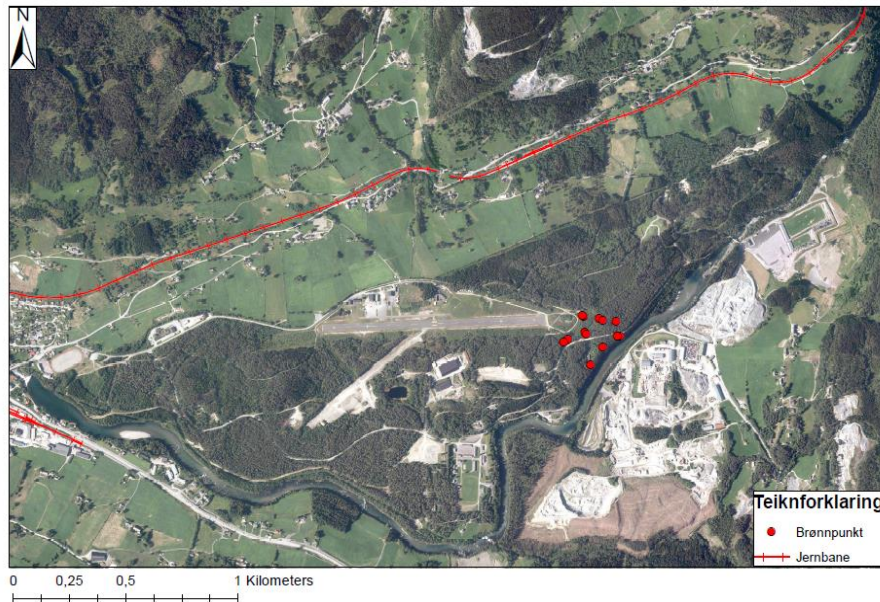
3.6.5 Uttak av lausmassar

Bjørkemoen og Bømoen er bygd opp av lausmassar, som til dømes sand og grus. Uttak av lausmassar skjer i begge områda, og dei vert nytta i blant anna betongproduksjon og asfaltverk (Frøyland et al., 2015). Fjerning av massar vil få konsekvensar for det naturlege vernet av grunnvatnet. Massane ein fjernar i slike områder utgjer ofte den umetta sona (sjå kap. 4.2), der naturleg filtrasjon av vatn skjer. Ved fjerning av lausmassar vil ein dermed ta vekk litt av den naturlege barrieren den umetta sona utgjer. Lausmassane ein fjernar er ein ikkje-fornybar ressurs, slik at den umetta sona ikkje vil fornya seg sjølv. Dette gjer at vernet av grunnvatnet vil vera dårlegare enn det var i utgangspunktet, og faren for ureining er større.

3.6.6 Jernbane

Jernbanen mellom Bergen og Oslo går gjennom Voss, og slik ein kan sjå på Figur 3.7, går den langs med Bømoen, på nordsida. På skinnegangane går det passasjertog samt godstog.

Dersom det skjer ei ulykka langs traseen vil det kunna vera ein fare for ureining av området, noko som kan påverka grunnvasskvaliteten.



Figur 3.7: Oversiktsbilete over kvar jernbana går forbi Bømoen og korleis den er plassert i forhold til brønnpunkta. Kartet er laga ved hjelp av FKB-data og punkter for grunnvassbrønnar. Flyfoto er frå Norge i Bilder (2017)

3.7 Tidlegare arbeid i området

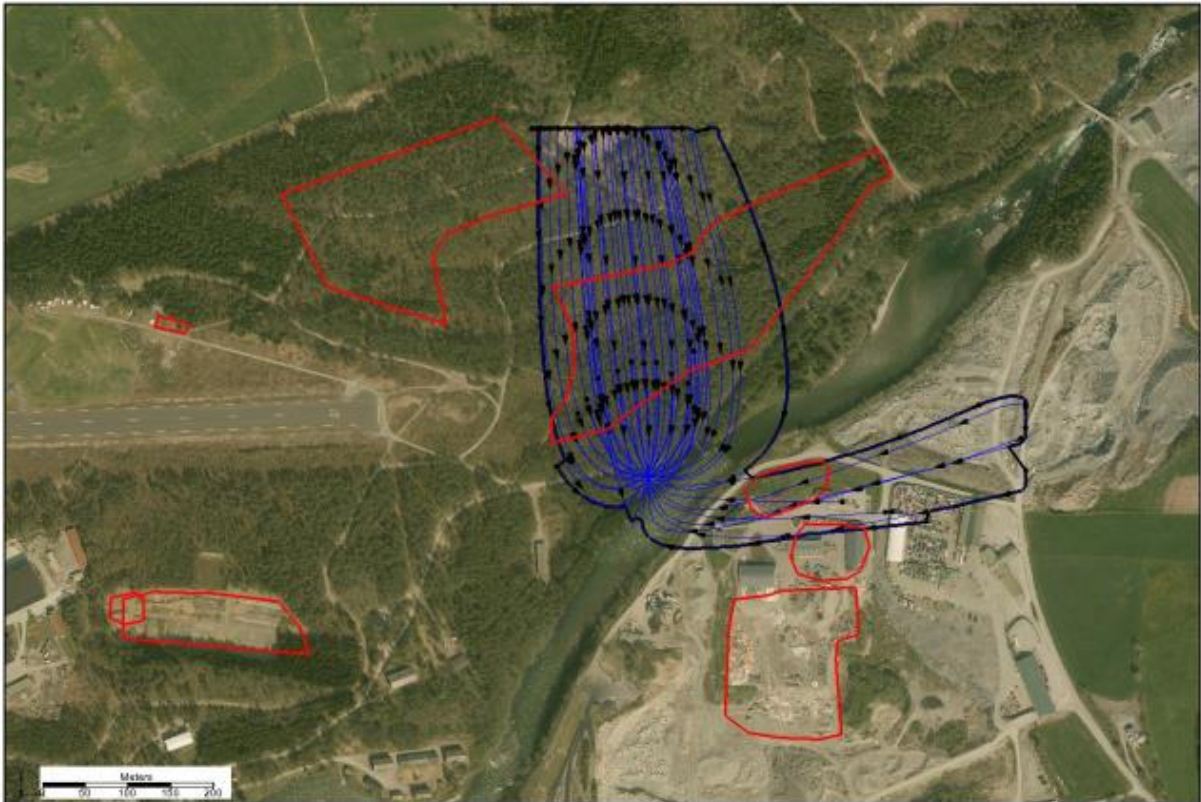
Frå den tida forsvaret nytta området er det litt informasjon om. Det er litt informasjon om etableringa av forsvaret sitt grunnvassverk, som framleis er i drift. Elles er hovudmengda med informasjon henta inn i samanheng med sal av Bømoen, for å få ei oversikt over ureininga i området og korleis ein best kan nytta området vidare.

Forsvaret var sjølvforsynt med vatn på Bømoen. Først med vatn frå Bjørkemoen og i seinare tid fekk dei sitt eige drikkevassanlegg, der dei henta vatn frå grunnvassbrønnar på Bømoen (Steinar Fretheim, tidlegare tilsett ved forsvaret på Bømoen, samtale på Voss, 1. august 2017). I samanheng med utbygginga av drikkevassanlegget på Bømoen, vart det henta inn litt informasjon om området. Bakketun (1986) la fram ein avtale for korleis bygginga av det nye vassanlegget skulle gå føre seg, på bakgrunn av undersøkingar gjort av Pedersen og Veslegard (1985) i området. Der vert det konkludert med at vassbalansen skal kunne oppretthaldast i

akviferen ved hjelp av nedbør og det faktum at den er i tilknytning til elva. Her er òg Bjørkemoen avfalls plass nemnt som ein mogleg ureiningskjelde ved store uttak.

I seinare tid er det gjort fleire undersøkingar for å kartlegga området, samt finna ut kva typar ureiningar det er og kvar dei er lokalisert. Det er til dømes gjort arbeid av Misund (2006), der det blir lagt fram kva ein legg til grunn for ein ROS-analyse og korleis ulike førekomstar av grunnvatn er vurdert ut frå grunnlaget. Der vart Bømoen satt i risikogruppe 6, noko som tyder at det er ein risiko for ureining. Det er òg lagt fram ein områdereguleringsplan med konsekvensutreiing av Hjelle et al. (2017). Denne rapporten tek føre seg utviklinga av områdereguleringsplanen, litt korleis området har vore brukt, korleis situasjonen på Bømoen er i dag og viser alternativ til korleis ein ønsker å nytta området vidare og kva konsekvensar det kan få for området rundt.

Tidlegare er det skrevet to masteroppgåver der Bømoen er studert. Mæland (1963) si oppgåve fokuserer på isavsmeltingsforlaupet i eit området rundt Voss, der blant anna Bømoen er omtala. Bryn (2016) si oppgåva tek føre seg Bømoen og det er det hydrogeologiske aspektet som vert undersøkt i oppgåva. Hovudfokuset var å kartlegga strøymingsmønsteret i akviferen og på bakgrunn av resultatane, for å sjå om dei ulike ureiningskjeldene i området kan påverka kvaliteten på vatnet, som vert tatt ut til drikkevatn. Figur 3.8 viser ein modell frå Bryn (2016) som viser kvar vatnet i brønn B3 vert henta frå. Aktivitetar i området, der vatnet kjem frå, vil kunna utgjere ein risiko for å ureina grunnvatnet ønska nytta til drikkevatn. Modellen er dermed med på å avgrensa det aktuelle området for denne oppgåva.

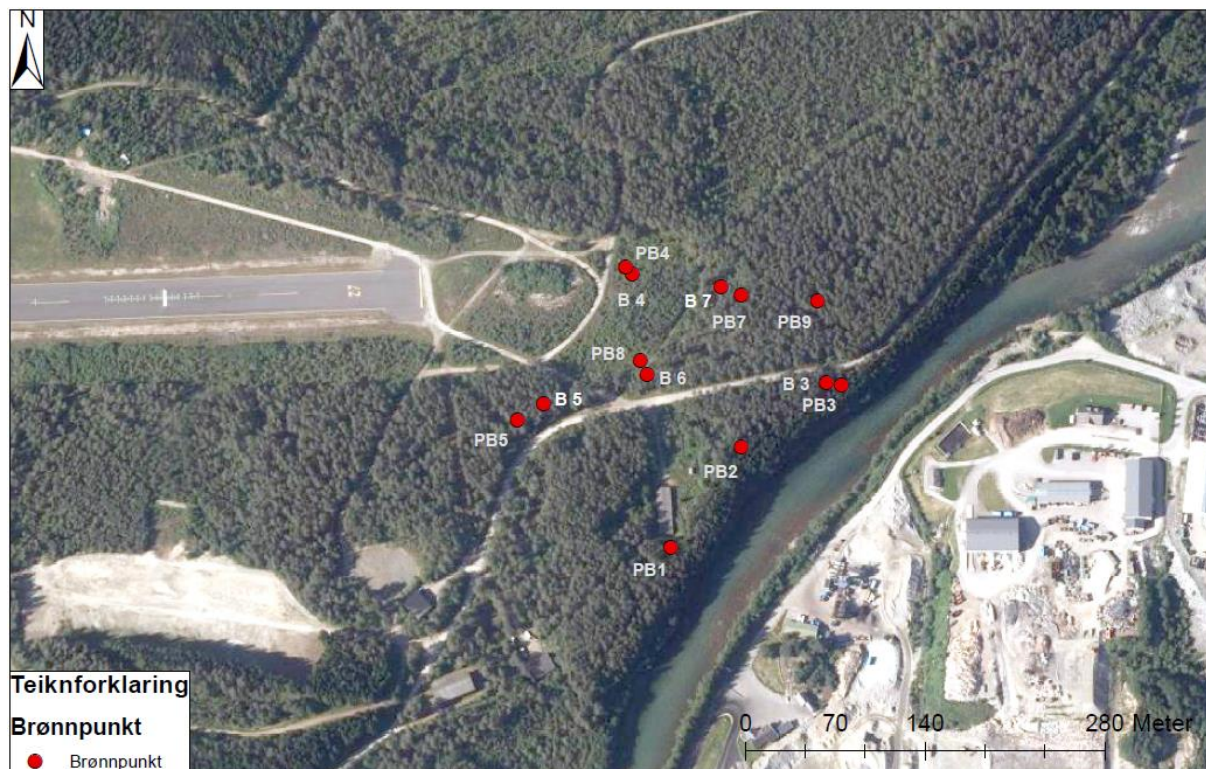


Figur 3.8: Figuren er henta frå Bryn (2016), og viser ein modell for kvar vatn vert henta frå i brønn B3. Her ser ein at noko av vatnet kan komma frå Bjørkemoen, der avfallsdeponia til IHM er plassert, medan vatn i hovudsak blir trekt frå den nordlege delen av området.

3.8 Planar for utvikling av Bømoen

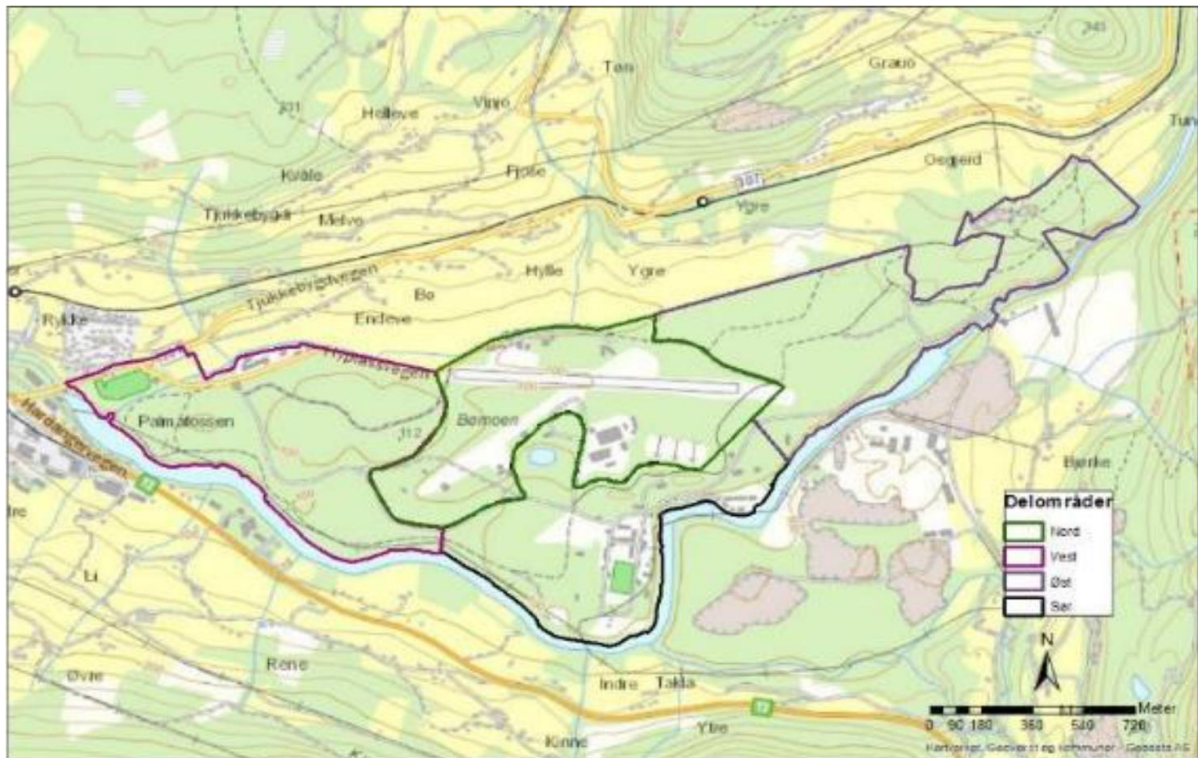
Då Forsvaret skulle selja Bømoen, kjøpte Voss kommune ein liten del som dei ynsker å nytta til reservevatn for dagens hovudvassverk ved Vangsvatnet. Området ligg i nær tilknytning til elva, og plasseringa til dei ulike brønnane er vist i Figur 3.9. Brønnane er bora i løpet av tre ulike periodar, dei første vart bora i 2015, nokre vart bora våren 2017 og dei siste vart bora i desember 2017.

På Prestegardsmoen vert det teke ut omtrent $4000 \text{ m}^3/\text{d}$, og dersom Bømoen skal vera eit reservevassverk for Prestegardsmoen er det denne mengda dei treng å ta ut. $4000 \text{ m}^3/\text{d}$ vil tilsvara omkring 46 l/s. Sjølv om dei treng $4000 \text{ m}^3/\text{d}$, slik situasjonen er i dag, blir anlegget på Bømoen dimensjonert for omtrent $8000 \text{ m}^3/\text{d}$. Dette for å kunna møte behovet for meir reint vatn i framtida.



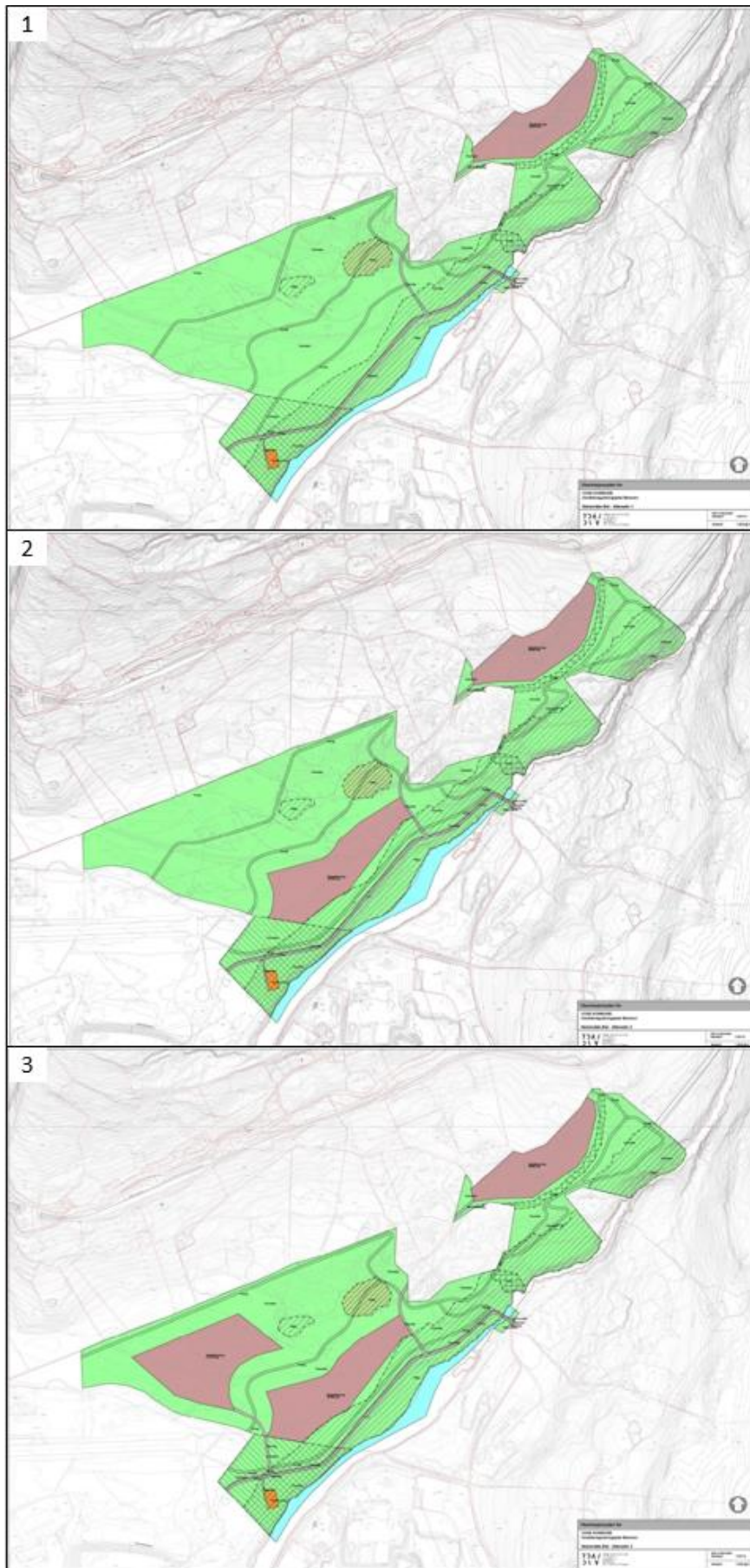
Figur 3.9: Oversiktsbilete over dei ulike brønnane, som er knytt til vassverket på Bømoen. Her er det både observasjonsbrønner og produksjonsbrønner. Brønnane B3, B4, B5, B6 og B7 er produksjonsbrønner, der det er installert pumper til å henta ut vatn. Medan dei andre brønnane er observasjonsbrønnane, som er av litt mindre dimensjon, og utan pumpe til uthenting av vatn. Flyfoto frå Norge i Bilder (2017).

Hovuddelen av Bømoen vart kjøpt frå Forsvaret av Bømoen AS, og deira ønske er å behalda aktiviteten, som i dag er i området, samtidig vil dei ha ein utvikling av området (Frøyland et al., 2015). Arealet er delt inn i fire hovudområde (Figur 3.10). Hjelle et al. (2017) har lagt fram tre ulike alternativ for korleis dei ulike områda kan nyttast vidare. For å nytta området på best mogeleg måte er det lagt fram ein konsekvensutreiing for området på Bømoen, knytt til jord- og vassressursar, av Frøyland et al. (2015). Konsekvensane for dei ulike bruks forslaga er lagt fram i denne rapporten. Området vil her blant anna nyttast til bustadområde, barnehagar, friareal, grussutak og industri.



Figur 3.10: Her vert det vist ei oversikt over dei fire delområda, som Bømoe er delt inn i. Kartet er henta frå Frøyland et al. (2015) sin konsekvensutreiing for jord- og vassressursar.

Området Voss kommune ønsker å nytta til reservevassverk ligg i den sørlege delen av delområdet aust. Det er ønska å etablere grustak i delområde aust. Hovudforskjellen på dei ulike alternativa er kor mange og kvar grustaka er plassert (Figur 3.11). Dei ulike alternativa vil påverka området ulikt, og eit alternativ kan vera meir skadeleg for området enn eit anna. Dermed er det viktig å sjå på korleis den ønska bruken av området vil påverka jord- og vassressursane, og om det kan få eit utfall som ikkje er ønskeleg. Alle dei ulike alternativa vil i følge Frøyland et al. (2015) gi ein negativ innverknad på jord- og vassressursar i delområdet aust (Figur 3.12).



Figur 3.11: Her er dei tre ulike alternativa (1,2 og 3) til korleis ein ønsker å nytta delområdet aust på Bømoen. Dei brune områda viser ønska plassering av lausmassuttak. Figuren er henta frå Hjelle et al. (2017).

Delområde	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
Vest	Middels negativ (--)	Middels negativ (--)	Stor negativ (---)
Sør	Middels negativ (--)	Middels negativ (--)	Middels negativ (--)
Nord	Middels negativ (--)	Middels negativ (--)	Middels negativ (--)
Øst	Stor negativ (---)	Stor til meget stor negativ (---/----)	Stor til meget stor negativ (---/----)
Rangering, 1 gir minst skade på naturressursene, 3 gir mest skade	1	2	3

Figur 3.12: Her vert det vist kor stor negativ effekt dei ulike ønska inngrepa i alle delområda på Bømoen vil få. Delområdet aust, som er hovudfokus, vil påverkast i minst negativt dersom alternativ 1 vert valt. Figuren er henta frå Frøyland et. al. (2015).

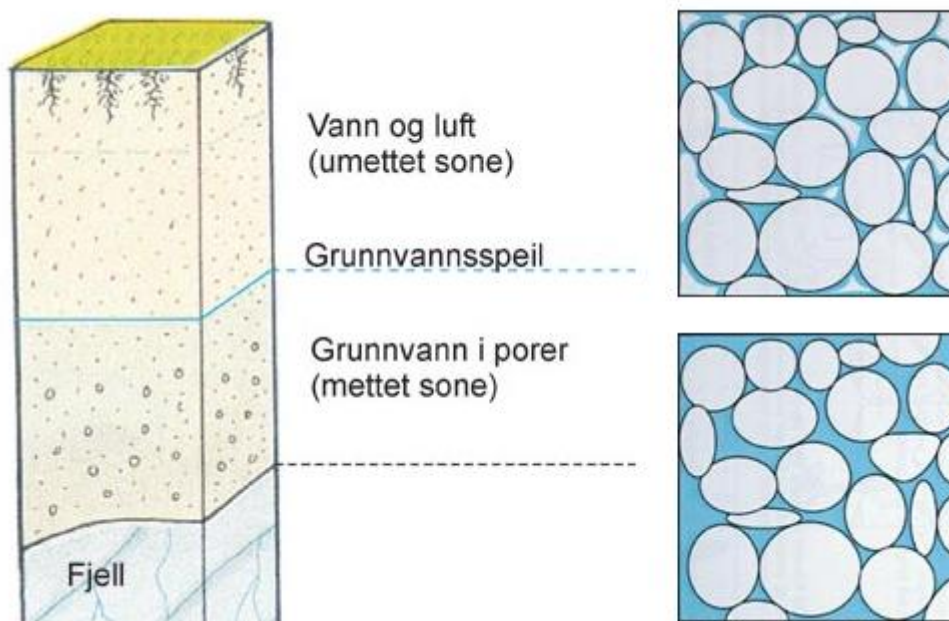
4 Teori

4.1 Innleiing

Kapittelet skal ta føre seg viktige omgrep innan hydrogeologi. For å kunna svara på problemstillinga for oppgåva må ein blant anna ha ei forståing for kva ein akvifer er, korleis grunnvatn vert danna, vatnet si rørsle er i undergrunnen og korleis ureining vil følga grunnvatnet. Vidare er det viktig å ha kunnskap om vasskvalitet, då vatnet ønskast å nyttast til drikkevatt og det er viktig at forbrukaren ikkje får i seg skadelege stoff.

4.2 Grunnvatn i lausmassar

I læreboka til Zhang og Schwarts (2003) definerast ein akvifer som ein eller fleire formasjonar, som har evna til å lagra og transportera vatn, og kan forsyne ein eller fleire grunnvassbrønnar med vatn. Under grunnvasspegelen i ein akvifer er alle porerom metta av vatn, noko som fører til at den vert kalla den metta (freatisk) sona. Det er i den metta sona vatn vert omtala som grunnvatn. Det er fleire typar akviferar, deriblant opne- og lukka akviferar. Ein lukka akvifer ligg mellom to lag med låg permeabilitet medan ein open akvifer vil vera avgrensa av grunnvasspegelen (Zhang og Schwarts, 2003). I masteroppgåva er det undersøkt ein open akvifer. Grunnvasspegelen er ei tenkt grensa mellom den metta og den umetta (vados) sona, og grensa vil vera der poretrykket er likt det atmosfæriske trykket (Zhang og Schwarts, 2003). I den umetta sona vil både luft og vatn okkupera poreromma. Sjølv om den umetta sona kan innehalda store mengder med vatn vil det ikkje kunna nyttast til vassuttak, då dei kapillære kreftene vil halda vatnet att (Winter et al., 1998). Figur 4.1 gir eit innblikk i korleis den metta og umetta sone vil sjå ut i forhold til vassfordelinga i dei to sonene. Under grunnvasspegelen vil vasstrykket vera stort nok til å hente ut vatn gjennom grunnvassbrønnar, og dermed kan vatnet nyttast som ein vassressurs (Winter et al., 1998). Høgda på grunnvasspegelen vil variera over tid, til dømes med mengda nedbør, sesongar eller pumping i brønnar, då det er avhengig av kor mykje vatn som blir tilført og kor mykje vatn som vert tatt ut av systemet.



Figur 4.1: Her er den metta og den umetta sona framstilt, og det viser at den umetta sona har både luft (lys blå) og vatn (mørk blå) i poreromma. Illustrasjonen er henta frå *Grunnvann i Norge sine sider* (NGU, 2017c).

4.3 Nydanning av grunnvatn

Nydanning av grunnvatn kan førekomma på fleire måtar. Det kan vera nedbør eller smeltevatn, som renn ned i grunnen og gjennom den umetta sona til grunnvatnet, eller det kan skje ved mating frå elver og innsjøar. Prosessen vert kalla infiltrasjon, og områda der nydanning av grunnvatn føregår vert kalla infiltrasjonsområde. Ein deler gjerne inn akviferar i to kategoriar basert på korleis nydanninga føregår: sjølvmatandeakvifer, der infiltrasjon av nedbør gir nydanning av grunnvatn og infiltrasjonsakvifer, der nydanning skjer ved hjelp av nedbør og infiltrasjon frå anna overflatevatn (bekkar, elver, tjern eller innsjøar).

Det er fleire faktorar som spelar inn, når det kjem til nydanning av grunnvatn. Mengda nedbør som kjem, og om det kjem ned som snø eller regn (sjå delkapittel 3.4). Det vil skje fordamping frå overflata og transpirasjon frå planter, kalla evapotranspirasjon (Schwartz og Zhang, 2003). Evapotranspirasjonen må ein trekke frå den totale nedbøren, då det vatnet ikkje nyttast i nydanning. Kva vegetasjon det er i området, om den brukar mykje vatn eller ikkje, har dermed noko å seia for nydanning av grunnvatn. Korleis geologien er og kva jordartar det er i området vil ha noko å seia. Det vil vera med å påverka infiltrasjonen på grunnlag av permeabilitet i den umetta sona, kor tjukk den umetta sona er og infiltrasjonsevna til massane. Korleis den menneskelege aktiviteten er i området vil òg påverka, med til dømes utbygging av området og vassdragsregulering.

Det er viktig å veta kor mykje vatn, som er tilgjengeleg for nydanning, slik at ein veit kor mykje vatn ein forvaltar og dermed kan hindra overforbruk og sørge for eit skikkelog vern av vassressursane. Alt tilført vatn til eit system må enten lagrast eller førast ut av systemet, og over tid er det ein balanse mellom dei to. I Noreg er det vassmagasina snø og is, innsjøar, markvatn og grunnvatn, som spelar ei rolle, og dermed kan ein vassbalanselikning for norske forhold skrivast opp slik (Tollan 2002):

$$P_{regn} + P_{snø} = E_{evap} + E_{transp} + Q_{over} + Q_{grunn} + \Delta M_{snø, is} + \Delta M_{sjø} + \Delta M_{mark} + \Delta M_{grunn}$$

der P er nedbør, E er evapotranspirasjon (fordamping og transpirasjon), Q er strøyming av vatn, både på overflatevatn og grunnvasstrøyming, og ΔM er endring i lager av vatn på og under jordoverflata.

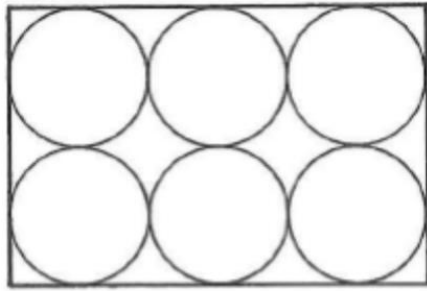
Små og grunne grunnvassførekomstar er vanlege i Noreg (Misund, 2006). Sjølv om dei er små har dei gjerne stor betydning lokalt og regionalt. Dei største førekomstane er opne sand og grusavsettingar, gjerne langs dalbotn i kontakt med elver og innsjøar. Frå slike såkalla infiltrasjonsmagasin kan ein gjerne kunne ta ut store mengder med vatn (Henriksen og Nilsen, 2015), og overbelastning av slike akviferar skjer sjeldan (Misund, 2006).

4.4 Porøsitet

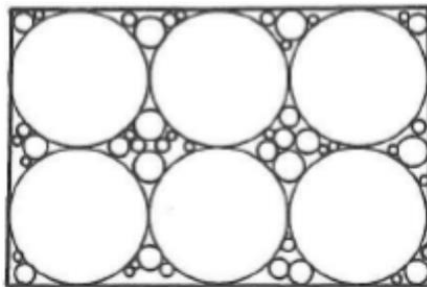
Porøsiteten til eit materiale vert bestemt av forma til korna og kor store korna er, sortering, samt korleis korna er pakka (Zhang og Schwartz, 2003). Godt sorterte sedimentar vil ha ein høg porøsitet, fordi korna vil pakka seg slik at det er store porerom. Dårlig sorterte sedimentar vil ha ein låg porøsitet, då mindre korn vil legga seg mellom dei store korna (Figur 4.2). Korleis noko er avsett eller danna vil verka inn på porøsiteten. Dersom den avsettande agensen er fluviale prosessar eller vind, vert sedimenta godt sortert og dei vil ha ein høg porøsitet. Dersom is er avsettande agens, vil det gi dårligare sortering og porøsiteten vil verta lågare.

For å finna porøsiteten (n) til ein bergart eller lausmassar nyttar ein forholdet mellom porerom og det totale volumet til formasjonen (Zhang og Schwartz, 2003). Dette er vist med formelen:

$$n = \frac{V_p}{V_t} * 100$$



A



Figur 4.2: Illustrasjonen viser korleis porøsiteten vil variera mellom godt sorterte materiale (A) og dårlig sorterte materiale (B), der mindre kornfraksjonar opptar holromma. Figuren er henta frå Fetter (2014).

der porøsiteten, n , er oppgitt i prosent. V_p står for volum av porer og V_t er det totale volumet. Formelen for porøsitet vil gi den totale porøsiteten, men det er ikkje alle porerom som er tilgjengelig for gjennomstrøyming, og dermed har omgrepet effektiv porøsitet komme på banen. Døme på forhold der vatn ikkje kan strøyma gjennom porerom kan vera porerom som ikkje er i

kontakt med kvarandre, små kornstorleikar vil halde godt på vatn eller for tronge passasjar for vassmolekyl. Effektiv porøsitet (n_e) blir dermed forholdet mellom porerom der vatn kan strøyma fritt gjennom og det totale volumet.

Porevolumet vatnet kan nytta som fartsveg vil alltid vera mindre enn den totale porøsiteten ($n_e < n$). Den effektive porøsiteten vil dessutan vera nærare knytt til grunnvatnet si strøyming enn total porøsiteten (Zhang og Schwarts, 2003).

4.5 Permeabilitet og hydraulisk konduktivitet

Permeabilitet er eit omgrep, som seier noko om kor lett væsker og gassar flyt gjennom porøse materiale berre på grunnlag av det porøse materialet sine eigenskapar (Fetter, 2014). Fetter (2014) presenterer formelen for permeabilitet, K_i , (i lausmasser) slik:

$$K_i = Cd^2$$

der C er ein konstant som seier noko om effekten av poreformene, og d er porediameteren. Poreopninga vil ha mykje å seie for kor fort vatnet flyt, då motstanden vil vera mindre desto større opninga mellom porene er.

Dersom ein skal sjå på korleis vatnet strøymar i ein akvifer nyttar ein den hydrauliske konduktiviteten. Den hydrauliske konduktiviteten gir eit mål på kor lett ei væske flyt gjennom eit materiale, og i motsetning til permeabiliteten tek den omsyn til både materialet og væska

sine eigenskapar (Fetter, 2014). Hydraulisk konduktivitet (hydraulisk leiingsevne), K , kan reknast ut ved hjelp av formelen (Fetter, 2014):

$$K = \frac{Cd^2\gamma}{\mu}$$

der μ er viskositeten og γ er den spesifikke vekta til væska. Grus og sand vil ha ein relativt høg hydraulisk konduktivitet i forhold til mindre permeable massar, som silt og leira (Zhang og Schwartz, 2003). For lausmassar vil sortering, pakking og kornstorleik spela ei stor rolle for den hydrauliske konduktiviteten. Lausmassar med ein god sortering, gjerne avsett av fluviale prosessar eller vind, vil ha ein høgare hydraulisk konduktivitet enn utsorterte material, avsett av til dømes is. Morenemateriale har dermed ein lågare hydraulisk konduktivitet enn til dømes ein sandur har (Zhang og Schwartz, 2003).

4.6 Vasstrøyming i akviferar

Det finnes fleir ulike typar akviferar, og korleis vatn strøymar vil variera. Då det er snakk om lausmassar i denne oppgåva skal ein ta føre seg korleis vatnet strøymar i ein lausmasseakvifer. For å seia noko om vassrørsla i lausmassar kan ein nytta Darcy's lov (Zhang og Schwartz, 2003):

$$Q = -KAi$$

der Q er vassføringa (m^3/s), K er den hydrauliske konduktiviteten, A er tverrsnittarealet og i er den hydrauliske gradienten. Dersom ein vil finna hastigheten langs ei rett linje, er det den spesifikke hastigheten ein nyttar. Når ein bestemmer den spesifikke hastigheten (q) finn ein volumstrøyminga per eining areal ved hjelp av formelen (Zhang og Schwartz, 2003):

$$q = \frac{Q}{A} = Ki$$

Den spesifikke hastigheten viser hastigheten mellom to punkt, der ein tar utgangspunkt at strøyming skjer gjennom heile tverrsnittet. I porøse medium er ikkje dette tilfelle, då strøyming berre kan skje i poreromma, noko som gjer at hastigheit eigentleg er høgare enn den spesifikke hastigheita (Zhang og Schwartz, 2003). For å finne den makroskopiske hastigheita (v) nyttar ein den spesifikke hastigheita (q) og den effektive porøsiteten (n_e) (Zhang og Schwartz, 2003):

$$v = \frac{q}{n_e}$$

For å setta grunnvatnet i rørslе må det vera ein hydrauliske gradient, noko som tilseier at det må vera ein skilnad i den hydrauliske trykkehøgda mellom to punkt (Zhang og Schwartzs, 2003). Rørsla av vatn vil gå frå eit punkt med høgare trykk til eit punkt med lågare trykk, då det er meir energi til å skape flyt der vassstrykket er høgare (Zhang og Schwartzs, 2003). Zhang og Schwartzs (2003) legg fram at hydraulisk trykkehøyde for eit punkt er bygd opp av trykk, høgde og hastigheit. Då hastigheita er så lita når det kjem til grunnvasstrøyming kan denna parameteren sjåast bort frå, og ein står att med uttrykket:

$$h = z + \frac{P}{\rho_w g}$$

ein finn h som er hydraulisk trykkehøgda, ved hjelp av z som er høgda over eit datum, P som er trykket av vassøyla, ρ_w som er tettheita til væska og g er tyngda si akselerasjon. Vidare nyttar ein h verdiar ved ulike punkt til å fastsetja den hydrauliske gradienten (i), ved hjelp av formelen (Zhang og Schwartzs, 2003):

$$i = -\frac{dh}{dl} = \frac{h_1 - h_2}{\Delta l}$$

der h_1 og h_2 er trykkehøgda i to ulike punkt og Δl er avstanden mellom dei to punkta.

Grunnvatnet flyt, som nemnt frå høgt til lavt trykk og ein høg gradient vil gi meir energi til flyt av grunnvatn med ein låg gradient.

4.7 Stabile isotopar i vassmolekylet

Oksygen-18 (^{18}O) og deuterium (^2H eller D) er naturlege sporstoff, som kan nyttast til å seia noko om blant anna opphaldstida til vatn i ein akvifer, og kvar og når infiltrasjon (nydanning) føregår (Sæther og de Caritat, 1997). Oksygen og hydrogen er byggesteinane til vassmolekylet og er dermed godt egna til å nyttast til grunnvasssporing (Zhang og Schwartzs, 2003; Sæther og de Caritat, 1997). Ein finn fleire isotopar av dei to grunnstoffa. Isotopar er atom av same grunnstoff, men atomvekta og talet på partiklar i kjernen vil variera. ^{18}O er til dømes ein tyngre isotop enn ^{16}O isotopen. Det er talet til venstre for grunnstoffssymbolet som seier kor mange partiklar det er i kjernen. Ved faseovergang mellom gass og væske eller mellom fast stoff og væske føregår det fraksjonering (Zhang og Schwartzs, 2003). Dei tyngre isotopane ^{18}O og D vil holde seg meir i væskefasen enn i gassfasen. Det gjer at regn og snø har ein anna isotop-samansetting enn havvatn, på grunn av fordamping og kondensasjonssyklusane i atmosfæren der det skjer fraksjonering (Zhang og Schwartzs, 2003). Endring i mengd av dei ulike isotopane, som eit resultat av fraksjonering, er for liten til måle nøyaktig, dermed nyttar ein positiv eller negativ avvik frå ein standard (Zhang og Schwartzs,

2003). Standarden ein nyttar til denne analysen er SMOW ("Standard mean ocean water"), og i forhold til denne standarden er ^{18}O og D gitt i $\delta^{18}\text{O}$ og δD (Craig, 1961). Formelen for å finna forholdet er gitt i Craig (1961):

$$\delta = \left(\frac{R_{\text{prøve}}}{R_{\text{SMOW}}} - 1 \right) \times 1000$$

der δ gir avviket frå standarden og vert oppgitt i ‰. R er isotop-forholdet i ein prøve og standarden.

For å kunna nytta oksygenisotopar til å seia noko om opphaldstid må det vera ein sesongvariasjon i nedbøren og overflatevatn som infiltrerer grunnen (Henriksen et al. 1996). Det er fleire faktorar, som gjer at nedbør avvik frå havvatn si samansetting: høgdemeter over havet, avstand frå kysten og endring i temperatur gjennom året (Zhang og Schwarts, 2003). Til dømes vil fraksjoneringa mellom dei ulike fasane vera større ved kaldare temperaturar (Zhang og Schwarts, 2003). Dette vil gi variasjonar i isotopsamansetting i nedbør gjennom eit år.

4.8 Ureining

4.8.1 Generelt om ureining

Når ein skal oppretta eit nytt vassverk er faren for ureining ein viktig faktor som må vurderast, noko som òg omfattar korleis ureining vert transportert gjennom grunnen. I ureiningslova § 6 er ureining definert som «tilførsel av fast stoff, væske eller gass til luft, vann eller i grunnen, støy og rystelser, lys og annen stråling i den utstrekning forurensningsmyndigheten bestemmer, påvirkning av temperaturen som er eller kan være til skade eller ulempe for miljøet.» Dette kan til dømes vera tilførsel ved gjødsling, oppvarming av grunnvatn, ulykker som inntreff og tilfører skadelege stoff til systemet eller avrenning frå vegar. Dersom det er det er ureining av overflatevatn, vil systemet vanlegvis greie å gå tilbake til normalen så snart ureiningskjelda er tatt bort, medan fjerning av ureining går veldig sakte i grunnvatn (Barnaby, 1988). Dersom ureininga har nådd grunnvatnet kan det dermed vera vanskelig å få grunnvasstilstanden tilbake til slik den var før grunnvatnet vart kontaminert.

Ureining kan ein dela inn i dei to hovudkategoriar punktkjelder eller diffuse kjelder (Zhang og Schwarts, 2003;Gaut, 2011). Zhang og Schwarts (2003) har definert dei to typane av kjelder til ureining. Ved punktkjelder kan ein identifisera kvar det lek frå og det er ei lita kjelda. Når det er ei diffus kjelde, er det ikkje lett å definera kvar det lek frå og skalaen på ureininga er

ofte større enn for ei punktkjelda. Ureining vil spreia seg med grunnvatnet i hovudsak i strøymingsretninga, noko som gjer at vatnet vert kontaminert i hovudsak i den retninga vatnet strøymmer (Henriksen og Nielsen, 2015). Ulike typar ureining vil transporterast på ulike måtar. Dersom ureininga er vassløyseleg vil den strøyme med grunnvatnet, medan dersom ureininga er lettare enn vatn vil det flyte på grunnvasspegelen og tyngre ureining enn vatn vil søkka til botn (Fetter, 2014). Transport av ureininga grunnvatn skjer ved fleire prosessar, som fortynner og spreier ureininga i grunnvatnet: absorpsjon av ureining i jorda, mekanisk spreining og ved hjelp av konsentrasjonsgradienten (diffusjon) (Zhang og Schwarts, 2003). Ein liten introduksjon til dei ulike transport måtane er gitt under.

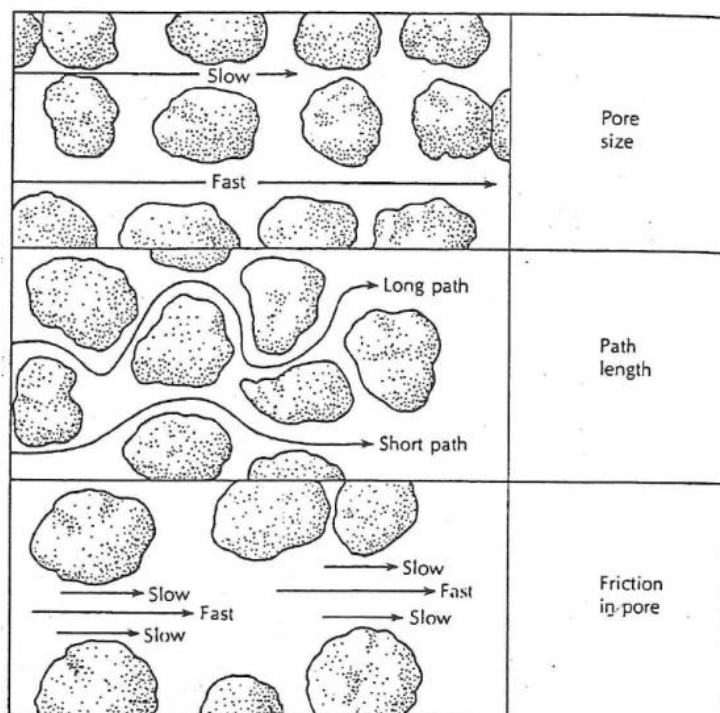
4.8.2 Adveksjon

Transporten skjer ved at ureininga følgjer grunnvasstrøymen (Zhang og Schwarts, 2003; Henriksen og Nielsen, 2015). Dermed kan ein nytta den makroskopiske hastigheita til å bestemma hastigheita på ureininga. Denne type transportering flytter ureininga som ein plugg, der konsentrasjonen er konstant og spreining av ureining ikkje skjer (Henriksen og Nielsen, 2015).

4.8.3 Dispersjon

Ved dispersjon vil ureininga oppta eit større vassvolum, samt at konsentrasjonen vil minka frå kjelda (Fetter, 2014). Det er tre ulike faktorar som styrer dispersjon. Væska kan ta vegar med ulike poreopning, der det er lita poreopning vil rørsla vera mindre enn der poreopningane er større. Væska vert transportert i vegar med ulike lengde. Den siste faktoren som spelar inn er det faktum at væska nærmare korna flyt saktare enn den som flyt lengre frå (Fetter, 2014).

Dette er illustrert med Figur 4.3.



Figur 4.3: Figuren viser dei ulike faktorane som fører til dispersjon. Figuren er henta frå Fetter (2014).

4.8.4 Diffusjon

Ved diffusjon flyttar ureininga seg frå høg til låg konsentrasjon av stoff til dømes i ei væska. Diffusjonen av oppløyste stoffer kan beskrivast med Fick's lov (Fetter, 2014):

$$F = -D \frac{dC}{dx}$$

der F står for massefluks av løysing per areal per tidseining. D er diffusjonskoeffisienten, C er konsentrasjonen til løysinga og dC/dx er konsentrasjonsgradienten.

I porøse medium vil ikkje diffusjonen skje så raskt som den gjer i vatn, då iona følgjer lengre banar for å bevega seg rundt mineralkorn, samt at nokre korn vil blokkera passasjar (diffusjon føregår berre i poreopningar) (Fetter, 2014). For å ta omsyn til denne faktoren kan ein bruka ein effektiv diffusjonskoeffisient, D^* , som kan uttrykkast slik:

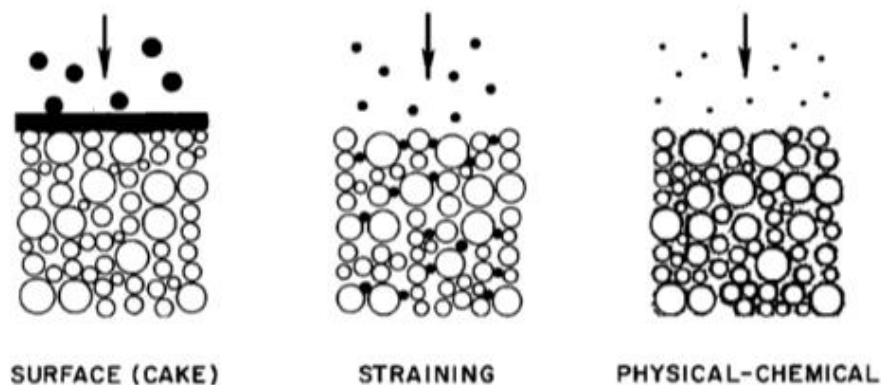
$$D^* = wD$$

der w er ein konstant bestemt med laboratorieforsøk.

4.8.5 Retardasjon

Retardasjon er eit samlenemning på dei prosessane som held att ureinande stoff og forsinkar transport av ureining. Her vil det bli ein kort gjennomgang av mekanisk filtrering, adsorpsjon og ionebyste.

Mekanisk filtrering er prosessar der sedimenta held tilbake ureining. Det er i hovudsak tre måtar mekanisk filtrering føregår: overflatefiltrering, spenningsfiltrering og fysisk-kjemisk filtrering (McDowell-Boyer et al., 1986). Overflatefiltrering skjer der ureinings partiklane er lika store eller større enn det porøse materialet, og dermed vil dei ikkje trekke nedover i materialet, men heller samlast på overflata. Partiklar som er små nok til å trekke ned i det porøse materialet, kan bli heldt tilbake i mindre porerom, og det er spenningsfiltrering. I fysisk-kjemisk filtrering er kjemiske og fysiske prosessar som ligg til grunne for filtreringa, og det skjer med partiklar som er svært små i forhold til kornstorleiken i det porøse mediet. Det er ikkje gått inn på dei ulike prosessane her, då det ikkje er eit fokus i oppgåva.



Figur 4.4: Illustrasjon av dei tre prosessane som ligg bak omgrepet mekanisk filtrering: overflatefiltrering, spenningsfiltrering og fysisk-kjemisk filtrering. Figuren er henta frå McDowell-Boyer et al. (1986).

Adsorpsjon er ein prosessen der ureinande stoff binde seg til sedimentkorna, og på den måten vil ureininga haldast tilbake. I Fetter (2014) er adsorpsjon forklart med at sedimentkorn vil ha ei ladning, og ved å absorbera eit ion kan ladninga bli utlikna. Tilbakehaldinga av stoff ved adsorpsjon vil vera avhengig av mengda elektrisk ladning på overflata av mineralkorna og overflatearealet. Leire er eit døme på ein god adsorbent, då mineralkorna har eit stort overflateareal og ei høg ladning (Fetter, 2014). Adsorpsjon vil opptre til likevekt med væska som flyt gjennom er nådd. Dersom det skjer ei endring i likevekta, ved til dømes at ureiningskjelda vert fjerna, vil desorpsjon skje. Det betyr at ureininga, som har bunde seg til overflata på mineralkorna vil gå tilbake til væska og bli transportert vidare.

Ionebyte vil seie eit byte av ion mellom ion i ei væske og ion på overflata av mineralkorn, når ei væske flyt gjennom eit porøst material (Zhang, H. og Schwarts, F. W., 2003). Den avsettinga med størst kapasitet for ionbyte er leire, der kation bundne til leirepartiklane vert byta ut med kation som er oppløyst i vatn.

4.9 Vasskvalitet

4.9.1 Generelt om vasskvalitet

Drikkevassforskrifta (2016) skal sikra konsumentane eit helsemessig trygt vatn, utan framtrekande lukt, farge og smak. Det er blant anna lagt fram at det skal vera tilstrekkeleg med hygieniske barrierar, som sikrar forbrukaren å ikkje komma i kontakt med smittestoff, kjemiske eller fysiske komponentar som utgjer ein trussel for helsa. Ein hygienisk barriere er definert i drikkevassforskrifta (2016 § 3) som «naturlig eller konstruert hindring eller tiltak som fjerner eller inaktiverer sykdomsfremkallende virus, bakterier, parasitter eller andre mikroorganismar, eller som fortynner, fjerner eller omdanner kjemiske stoffer til et nivå hvor de ikke lenger utgjør en helserisiko». Dersom ein akvifer har ein tilstrekkeleg umetta sone, vil sona utgjer eit naturleg reinsesystem (Eckholdt og Snilsberg, 1992). På bakgrunn av dette kan ein seia at grunnvassakviferar med ein tilstrekkeleg umetta sone er betre verna mot hendingar, som kan føra til ureining av systemet, enn det overflatevatn er.

Grunnvasskjemien til vatn vert bestemt av samansettinga av nedbør, kva materiale vatnet er i kontakt med (geologien i området), reaksjonar i den metta og den umetta sona og opphaldstida for vatnet. Endring i grunnvassnivå kan òg endra den kjemiske samansettinga til grunnvatnet, ved til dømes å trekka vatn frå deler av akviferen med høgare mineralinnhald i vatnet eller frå områder med høge nivå av helseskadelege stoff (World Health Organization (WHO), 2011). Det er ikkje berre dei naturlege forholda som kan påverka vasskvaliteten, den menneskelege aktiviteten i området er òg med på å påverka kvaliteten. Det er viktig å sjå på både tidlegare aktivitet i området og den aktiviteten som er der no, for å få eit innblikk i dei ulike parameterane som kan vera til skade i eit drikkevatt. Ved å sjå på geologien og den menneskelege aktiviteten i området, kan ein dermed få indikasjonar på kva stoff ein vil finna i vatn og om det er problematiske parameter ein bør undersøka, og eventuelt sette inn tiltak for.

Ein fastslår kvaliteten på vatnet ved å analysera vassprøvar frå vassverket, og kva prøvar og kor ofte prøvane skal takast baserer seg på mengda med vatn det vert produsert per døgn (drikkevassforskrifta, 2016). Ut i frå tidlegare prøvar frå feltområdet og tidlegare aktivitet i området, er det nokre utvalde stoff som det er fokusert vidare på i oppgåva, og dei vert presentert kort her.

4.9.2 Gjennomgang av utvalde parameter

4.9.2.1 Mangan

Mangan (Mn) er eit naturleg stoff i grunnvatn og overflatevatn, og det kjem frå forvitring og oppløysing. Sjølv om mangan er naturleg i vatn vil menneskeleg aktivitet i området òg kunna tilføra mangan til systemet (Ljung og Vahter, 2007). Mangel på oksygen i vatnet er ein typisk årsak til auke av mangan i vatnet, då oksygenfattigvatn løyser opp mangan. Ved avfallsplassar, til dømes, nyttast oksygenet til nedbryting av organisk materiale, noko som skapar oksygenfattige miljø og dermed høgare verdiar av mangan i vatnet. Tiltaksgrensa for mangan i drikkevatt er sett til 0,05 mg/l i drikkevassforskrifta (2016). Grenseverdien er ikkje sett på bakgrunn av fare for helseskade, men fordi det gir utfelling i glas, farge på kvitvask, leidningar kan gro att og det kan føra til smak på vatnet (Ellingsen, 1992; WHO, 2011). Utfelling av mangan skjer når vatnet vert tilført oksygen igjen (Ellingsen, 1992). Jern oppfører seg likt mangan, noko som vil seia at ein kan ha dei same årsakene og ulempene.

4.9.2.2 Bly

Bly (Pb) er eit tungmetall, som tidlegare til dømes vart nytta i ammunisjon (sjå delkapittel 3.6.2). Det er gjort funn av høge verdiar i jordprøvar ved deponi V på Bømoen (sjå delkapittel 3.6.2). Bly er giftig for menneske, og ved inntak gjennom drikkevatt kan ein bli utsett for kronisk eksponering dersom tungmetallet er tilstade (Ferrante et al., 2013). Dermed er det satt ein grenseverdi for bly i drikkevassforskrifta (2016), som er på 10 µg/l. Ifølgje Henriksen og Nielsen (2015) er det fleire måtar tungmetall kan tilførast grunnvatn. Det kan til dømes vera atmosfærisk nedfall, deponi, industri eller gruveområder. Det kjem òg fram at bly i hovudsak ikkje vil vera ein trussel for grunnvatn, då det ikkje er lettlyseleg i vatn, men at det bind seg godt til det øvre jordprofilet. Dersom det er sur nedbør, kan dette føra til auka utvasking og tilførsel til grunnvatnet.

Det å verta utsett for tilførsel av bly kan få store helsemessige konsekvensar. Ei undersøking frå USA (Edwards, 2014), gjort i etterkant av ei endring i drikkevassforsyninga som førte til meir bly i drikkevatnet, viser store konsekvensar. Høgare innhald av bly i drikkevatnet førte til fleire abortar og fosterdød, samt blyforgifting av born. I følgje WHO (2011) sine retningslinjer for drikkevasskvalitet kan uheldig hendingar under graviditet skyldast tilførsel av bly, men det er òg andre ugunstige hendingar, slik som dødelegheit på grunn av hjerte- og karsjukdomar, svekka nyrefunksjon, nedsett fruktbarheit og svekka nerveutvikling hos born. Tilførsel av bly til drikkevatn skjer i hovudsak i rørsystem i hus eller ved bruk av blyhaldige gjenstandar (WHO, 2011), men då det er eit deponi med bly samt skytebanar med blyhaldig ammunisjon i området er det viktig å sjå etter dette stoffet.

4.9.2.3 Antimon

Antimon er eit sølvkvitt metall, som leder elektrisitet og varme dårlig (Anderson, 2012). Metallet antimon er for sprøtt til å nyttast aleine, men vert ofte brukt i legeringar (Anderson, 2012). Før var antimon brukt i hovudsak i ammunisjon, men på grunn av den stadig aukande bruken i ei rekke produkt, spesielt i plastikk, er det blitt eit større fokus på stoffet (Okkenhaug et al., 2015). På Bømoen har det vore skytefelt i ein lang periode, noko som har ført til brukte kuler blant anna kan vera att i området, sjølv etter sanering. Korrodering av brukte kuler, som ligg at i terrenget, er ein kjelde til antimon (Johnson et al., 2005), og difor er det viktig å sjå etter ureining i form av antimon.

Antimon opptrer i forskjellige forbindingar, og nokre av dei er meir skadelege for menneske enn andre (WHO, 2003). Nokre av forbindingane har vist seg å vera kreftframkallande ved innanding (WHO, 2003). I grunnvatn og overflatevatn er som regel låge verdiar av antimon, men det kan vera høgare verdiar der det er drenering av til dømes surt vatn frå gruver (WHO, 2003). I drikkevatn ser det ut til at den største kjelda til antimon er oppløysing av metallrør knytt til distribusjonsnettet for vatn, og oppløyst antimon frå til dømes rør, vil vera av den minst skadelege forma (WHO, 2003). På grunn av at antimon kan vera skadeleg for menneske er det satt ein grenseverdi for antimon i drikkevassforskrifta (2016), og den er på 5,0 µg/l. Dette er under grensa satt av WHO, der dei i sine retningslinjer for frå 2011 sett grensa til 20 µg/l.

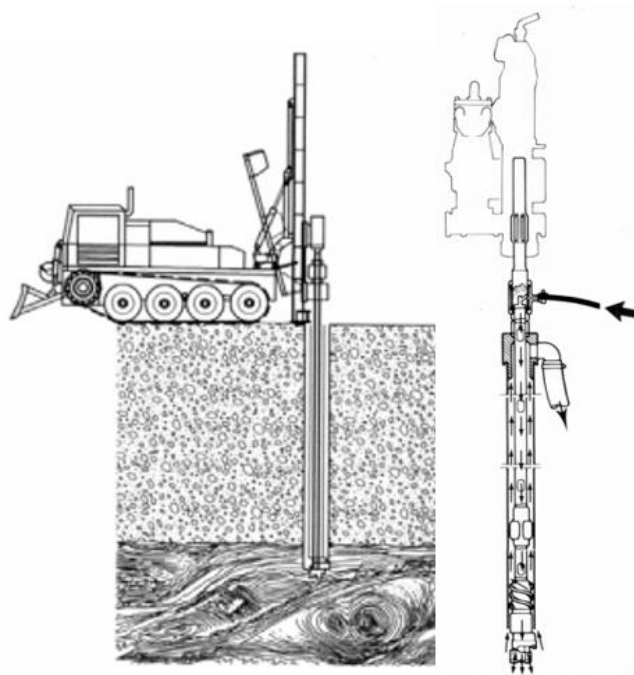
5 Metodar

5.1 Informasjon om datainnsamling

Innsamling av feltdata vart utført i løpet av vår og haust 2017, samt at Voss kommune og COWI AS har samla inn data frå 2015. Nokre av vassprøvar er innhenta i samarbeid med Voss kommune, medan nokre er henta inn av Voss kommune. Resultata frå prøvane Voss kommune har samla inn, er det òg tilgang til og dei vil bli nytta i oppgåva. Boringa av grunnvassbrønnane er det Hallingdal brønn og graveservice AS og Hallingdal Bergboring AS, som har utført.

5.2 Brønnboring

Boringa av brønnane på Bømoen er utført i fleire omgangar. Våren 2017 vart B4, B6, PB7-PB9 bora, og det var i denne perioden boreprosessen vart observert. Brønnane på Bømoen er av to ulike dimensjonar, der observasjonsbrønnane er av mindre dimensjonar enn produksjonsbrønnane. Ei skisse over utstyret nytta til å bora brønnane er vist på Figur 5.1.



Figur 5.1: Figuren viser ei skisse av utstyret, som er nytta til boring av brønnane. Skissa til venstre viser korleis boreutstyret er plassert. Til høgre er det ei skisse over korleis boreutstyret verkar med trykkluft. Pilene viser korleis lufta blir frakta ned, og på vegen opp tar lufta med seg sedimentar. Figuren er henta frå ei handbok frå Statens vegvesen (2014).

Boringa av røyrbrønnane skjer ved først å bora ned eit arbeidsrøyr ned til ønska djup. Under boring vil trykklufta, som driv boren, blåsa ut massane frå røyrret. Arbeidsrøyra er tre meter i lengde, og ein må difor festa på eit nytt arbeidsrøyr kvar tredje meter. Etter ønska djupne er oppnådd, vert brønnen vaska før nedsetting av sumprøyr (i botn), filterrøyr og stigerøyr. På Bømoen er det berre B3, som har sumprøyr i botn, dei andre har berre av filterrøye og stigerøyr. Arbeidsrøyrret vert så trekt opp, til to meter over filterrøyr, dette er for å verne om brønnen slik at den til dømes ikkje knekk. For å unngå at overflatevatn renn ned langs røyrbrønnen, fyller ein bentonitt i området mellom arbeidsrøyr og stigerøyr, med eit sandlag på toppen.

5.3 Sedimentprøvar til kornfordelingsanalyse

Ein samlar inn sedimentprøvar under boring av grunnvassbrønnar for å kunne seia noko om eigenskapane til sedimenta i dei ulike delane av avsettinga. Ein kan blant anna bestemma den hydrauliske konduktiviteten ved hjelp av kornfordelingsanalyse. Det er berre teke prøvar frå observasjonsbrønnane, då produksjonsbrønnane har ein for stor diameter til å samla inn gode prøvar frå. Sedimenta, frakta opp til overflata ved hjelp av trykklufta, vert samla i ei bøtte. Det vert samla inn ein prøve frå bøtta, og den representerer eit vist djup. I dette tilfellet representerer prøvane i hovudsak 3 meter med boring. Dei vert så sendt til ein lab for analyse. Figur 5.2 viser nokon av sedimentprøvane som vart sendt til analyse.



Figur 5.2: Bilete viser nokre av sedimentprøvane frå Bømoen. Dei ligg her klare til sikting hos NOBI Voss AS.

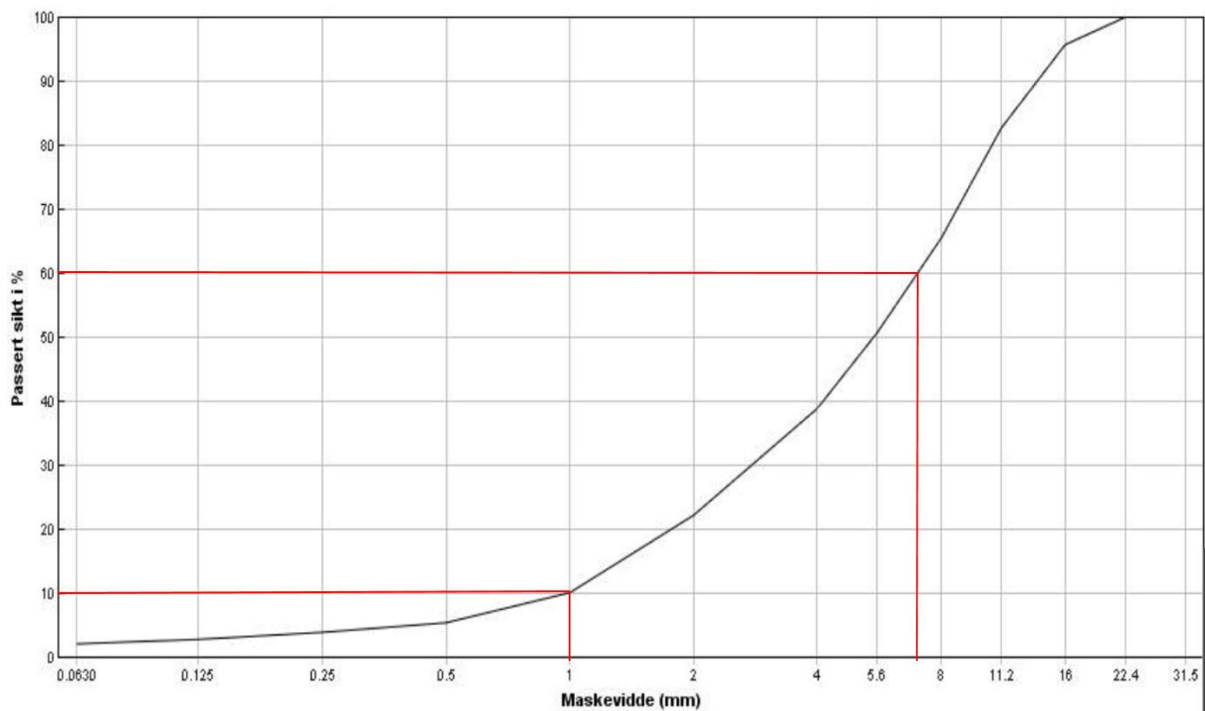
Foto: Line Haukanes.

Ved bruk av denne metoden for å henta inn sediment på vil det vera ein del usikkerhet. For det første tek ein sedimentprøvar, som representerer ei viss borelengde. I dette tilfelle var det

3 m med boring, noko som ikkje gir eit spesielt nøyaktig bilete av avsettingane, då det kan vera store variasjonar innanfor ei djupne på 3 meter. Det andre er at det ikkje er sikkert dei sedimenta ein samlar saman til prøven gir eit representativt bilete av kva kornstorleikar som finnst, då ein berre tar ut ein liten del av sedimenta som vert frakt opp. Dette kan føra til at ein får meir av ein kornstorleik enn andre i forhold til realiteten.

5.4 Kornfordelingsanalyse

Sedimentprøvane frå Bømoen er sikta, og resultatet er framstilt i ei kornfordelingskurve, som vidare kan nyttast til å bestemma den hydrauliske konduktiviteten i dei ulike delane av avsettinga. Døme på ei slik kurve er vist i Figur 5.3. Den viser kor stor del av prøven dei ulike maskestorleikane slepp gjennom i prosent.



Figur 5.3: Kornfordelingskurva viser fordelinga av dei ulike kornstorleikane i sedimentprøven tatt frå 15-18 m i PB7. Her viser y-aksen kumulative vektprosenten, medan x-aksen viser dei ulike maskestorleikane prøven er sikta gjennom. Dei røde markeringane viser korleis ein bestemmer d_{10} og d_{60} .

For å rekna ut den hydrauliske konduktiviteten kan Hazens formel nyttast (Zhang, H. og Schwarts, F. W., 2003). Den kan nyttast dersom det er sorterte sedimentar og sorteringsgraden ($u=d_{60}/d_{10}$) er mindre enn eller lik 5. Hazens formel kan uttrykkast slik (Zhang, H. og Schwarts, F. W., 2003):

$$K = C * d_{10}^2$$

der C er ein konstant, som er avhengig av kornstorleik og sorteringsgrad, og d_{10} er effektiv korndiameter. Konstante C vert verdien ofte sett til 0,01157 når det kjem til norske jordartar, då den er mykje brukt i skandinavisk litteratur (Andersson et al., 1984). Då sorteringsgrada (u) er større enn 5 i dei fleste prøvane frå Bømoen, er Gustafson (1983) sin metode nytta. Den er valt då den ofte vert nytta for glasifluvialt materiale. Gustafson metode kan skrivast slik (Gustafson, 1983):

$$K=E(u)*d_{10}^2[m]$$

der d_{10} er sett inn i formelen med eininga meter i stede for mm, slik den er oppgitt i kornfordelingskurva og $E(u)$ kan bestemast ved hjelp av formelen:

$$E(u)=10,2*10^6*\frac{e^3}{1+e}*\frac{1}{g(u)^2}$$

Der e er eit uttrykk for poretalet og kan skrivast slik:

$$e=0,8*\left(\frac{1}{2\ln(u)}-\frac{1}{u^2-1}\right)$$

og $g(u)$, som er glasifluvialt materiale sin spesifikke horisontale permeabilitet, finn ein ved hjelp av formelen:

$$g(u)=\frac{1,30}{\log(u)}*\frac{u^2-1}{u^{1,8}}$$

der u er sorteringsgraden, $u=d_{60}/d_{10}$. d_{60} og d_{10} er lest av frå kornfordelingskurvane, slik som vist i Figur 5.3.

For brønnane som vert bora før 2017 er utrekna hydraulisk konduktivitet henta frå Bryn (2016). Brønnane det er snakk om er PB1-PB5. For dei resterande tre brønnane som det er henta opp sediment frå i 2017, PB7-PB9, er utrekninga gjort i denne masteroppgåva og utrekningane er vist i Vedlegg A.

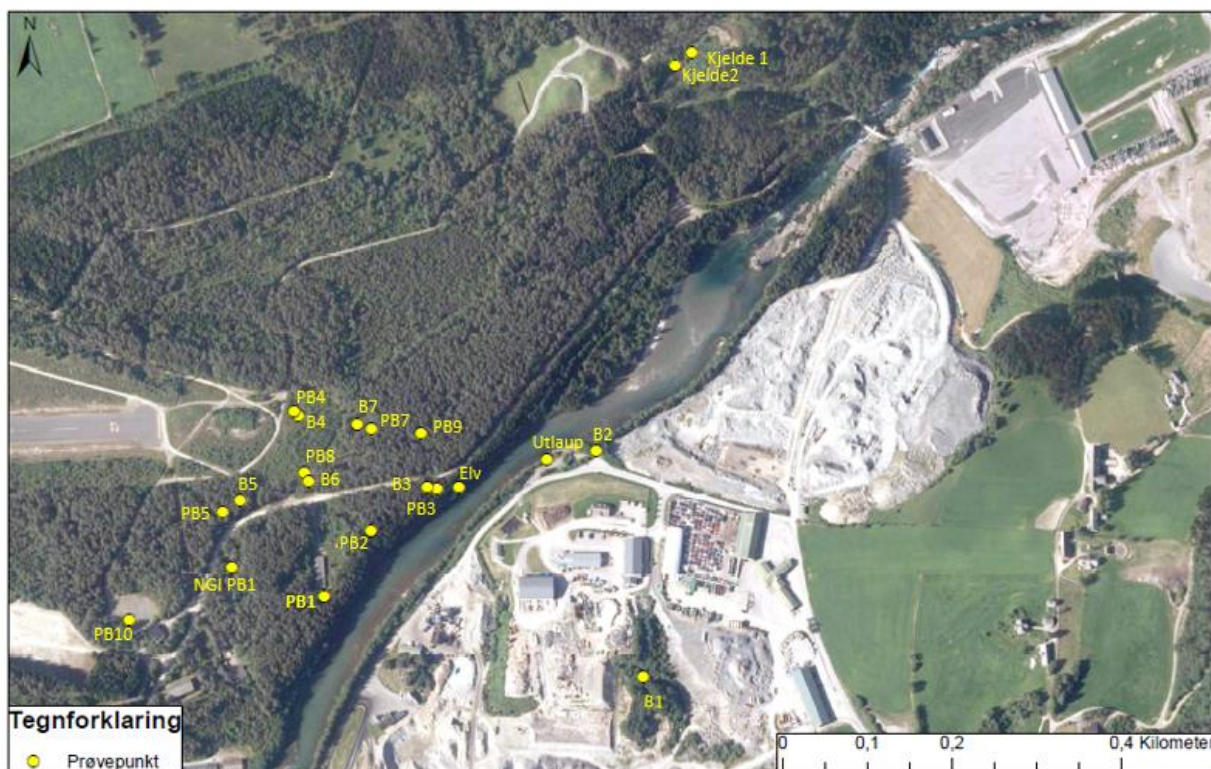
5.5 Vassprøvar

5.5.1 Innsamling av vassprøvar

Vassprøvar frå ulike punkt på både Bømoen, Raundalselvi og Bjørkemoen er i hovudsak samla inn i løpet av våren 2017 og fram til januar 2018. Tabell 5.1 viser kva ulike prøvar som er henta inn ved dei ulike punkta markert på kartet i Figur 5.4. Vassprøvane som er samla inn gjev eit innblikk i vasskvaliteten, og i tillegg kan dei gje informasjon om strøymingsforhold.

Tabell 5.1: Oversikt over kva vassprøver som er henta frå forskjellige prøvepunkt på Bømoen og Bjørkemoen. Lokalisering av prøvepunkt er vist i Figur 5.4. Under kjemisk analyse går både utvida prøve og andre analysar, som tar føre seg meir enn berre metall til dømes.

Innsamlingspunkt	Oksygenisotopar	Metall	Kjemisk analyse	Mangan
PB1	X	X		
PB2	X	X		
PB3	X	X		
PB4	X	X		
PB5	X	X		
PB 7	x			
PB8	X	X		
PB9	X	X		
PB10		X		
B3	X		X	X
B4	X		X	X
B6	x		X	X
NGI PB1	X	X		
Elv	X			
Bjørkemoen B1		X		
Bjørkemoen B2				
Bjørkemoen utlaup		X	X	
Kjelde 1	X			
Kjelde 2	X			



Figur 5.4: Oversikt over dei ulike prøvepunkta det er henta vassprøvar frå. «Bjørkemoen» er utelatt frå namna på prøvepunkta på Bjørkemoen.

Innsamling av vassprøvane er utført på ulike måter for produksjonsbrønner og observasjonsbrønner. Bilete av dei to prøvemethodane er vist i Figur 5.5. I produksjonsbrønnane er det installert ei pumpe, som i desse tilfella går kontinuerlig. Her er det ei tappekran der ein hentar prøvane frå. Ved observasjonsbrønnane er det ei flyttbar pumpe nytta til å henta opp vatn til prøvane. I observasjonsbrønnane tømmer ein først 3 gonger brønnvolum før ein tar vassprøven (Appelo og Postma, 2004). Dette gjer ein for å sikre seg at det ikkje er stillestående vatn frå brønnen ein prøvetar. Dersom det er stillestående vatn, kan det ha gjennomgått reaksjonar i brønnholet, slik at ein ikkje får reelle verdiar for akviferen. Ved tømning av brønnane for 3 gonger vassvolum vart vatnet slept ut ved sida av brønnen. Dette fører til at vatnet vert tilført brønnområdet igjen og vil sige ned gjennom den umetta sone og ned til grunnvatnet, og ved høge konsentrasjonar av stoff kan det påverka seinare prøveresultat. Det er ei tjukk umetta sone vatnet renn gjennom, og her vil vatnet bli filtrert og naturleg reinsa. Så sjølv om det er høge konsentrasjonar av ulike stoff er det ikkje sikkert det vil ha noko å seia for seinare vassprøvetaking. Alle vassprøvane er oppbevart i kjøleskap før innsending til analyse.



Figur 5.5: Bilete til venstre viser prøvetaking frå ein observasjonsbrønn, med ei flyttbar pumpe. Bilete til høgre viser prøvetaking frå ein produksjonsbrønn der det er installert ei pumpe og tappekran. Foto: Line Haukanes.

5.5.2 Oksygenisotopar

For å nytta oksygenisotopar som sporstoff, må prøvar samlast inn frå faste punkt over ein lengre periode. Ut i frå topp- eller botnpunkt ein frå i trenden kan ein seia noko om opphaldstida. Det er samla inn prøvar frå observasjonsbrønnar, produksjonsbrønnane, kjelder og Raundalselvi. I observasjonsbrønnane og kjeldene er det tre sett med prøvar, tatt vår og haust 2017. I produksjonsbrønnane starta innsamlinga hausten 2017 då pumpinga i B4 og B6 starta, og prøver vert tekne fram til januar 2018. Det er òg henta inn prøvar frå elva i denne perioden for å kunne prøva å seia noko om påverking frå elva. Ved innsamling av prøvane er det viktig at det ikkje er luft i prøveflaska, då det kan gi ein endring i mengda av dei ulike oksygenisotopane. Dei innsamla prøvane er analysert på FARLAB-laboratoriet ved UiB.

5.5.3 Metall

Det er tatt vassprøvar for analyse av metallinnhald i området, og dei er analysert hos Eurofins. Det er to sett med prøvar, det eine settet er teke i juni 2017, medan det andre er teke i juli/august 2017. Prøvane teke i juni stod i kjøleskap og vart analysert samtidig som prøvesett to. Metalla det er testa for er: jern (Fe), kalium (K), Kalsium (Ca), magnesium (Mg), mangan (Mn), arsen (As), bly (Pb), kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni) og sink (Zn).

5.5.4 Mangan

Under prøvepumping og tidlegare vassanalyser frå brønn B3 er det påvist høgare verdiar for mangan enn ønskeleg. Dermed har Voss kommune jamleg samla og analysert prøvar for mangan frå B3 sjølv. Då det var starta pumping i B4 og B 6 vart det òg her analysert for mangan, sidan det er eit problem med mangan i B3. Dette er gjort for å prøve å fastsetta om det er eit problem i heile grunnvassførekomsten. Analyseinstrumentet nytta av Voss kommune er eit Hach DR 2800 spektrofotometer.

5.5.5 Prøvepakke B (utvida prøve)

Alle vassverkeigarar skal i følgje drikkevassforskrifta (2016 § 19) laga ein prøvetakingsplan for vassforsyningssystemet. Det skal takast prøvar frå råvatn og vassprøvar som skal analyserast i forhold til prøvegruppe A og B. Det er eit krav for kor ofte dei ulike parameterane skal analyserast for i vatnet, og ut i frå dette er dei delt inn i gruppe A og B. Kva parameter ein prøvetar i gruppe A og B er vist i tabell 5.2. Sjølv om Bømoen ikkje er eit vassverk som leverer drikkevatt enno, er det samla inn prøvar frå B3, B4 og B6 som er analysert for prøvepakke B hos Eurofins. Dette er gjort for å få eit innblikk i kvaliteten på grunnvatnet i dei tre ulike produksjonsbrønnane.

Tabell 5.2: Oversikt over parameterane som inngår i gruppe A og B, ut frå drikkevassforskrifta (2016).

Parameter	A	B
	E. coli	1,2-dikloretan
	Farge	Akrylamid
	Intestinale entrekokker	Antimon
	Lukt	Arsen
	Nitritt (A eller B)	Benzen
	Smak	Benzo(a)pyren
	Turbeditet	Bly
	Aluminium (A eller B)	Bor
	Ammonium (A eller B)	Bromat
	Jern (A eller B)	Cyanid
	Kimtall 22°C	Epiklorhydrin
	Koliforme bakteriar	Fluorid
	Ledningsevne	Kadmium
	pH	Kobbar
		Krom
		Kvikksølv
		Nikkel
		Nitrat
		Plantevernmidlar, enkeltvis
		plantevernmidler, totalt
		Polyaromatiske hydrokarboner (PAH)

		Selen Tetrakloreten Triklloreten Trihalometaner, totalt Vinylklorid Clostridium perfringens Klorid Mangan Natrium Sulfat Totalt organisk karbon (TOC)
--	--	---

5.6 Elektrisk leiingsevne

Elektrisk leiingsevne viser vatn si evna til å leia ein elektrisk straum (Hem, 1985). Med andre ord er det eit mål på mengda av oppløyse ion i ei væske. Der det er mykje oppløyse ion vil leiingsevna vera høgare enn i ei væska med lite oppløyse ion. I grunnvatn, til dømes, er ofte leiingsevna høgare enn den er i overflatevatn (Harvey et al., 1997). Det at grunnvatn gjerne har meir oppløyse ion enn overflatevatn kan ein nytte til å vurdera opphaldstida til vatnet og det vil òg gje innblikk i forvitningsprosessane i grunnvatnet. Ureining er ein anna faktor, som kan påverka leiingsevna til vatn. Dersom det er ureining i eit området vil det tilførast meir ion til vatnet og slik få ei høgare elektrisk leiingsevne. Dermed kan metoden vera med på å gi ein indikasjon på ureining, og eventuelt utbreiing av ureining.

I feltområdet er det målt elektrisk leiingsevne langs begge sidene av elva, ved både høg og låg vasstand. Målet med å gjera dette er å sjå etter indikasjonar for tilførsel av ureining til elva, og sjå om elva er stor nok til å tynne ut eventuelle ureiningar. Det er òg gjort målingar av elektrisk leiingsevne i overflatevatn og av grunnvatn på Bømoen. Målingane på Bømoen er tatt for å sjå etter potensielle ureinande faktorar i området. For å måla den elektriske leiingsevna i overflatevatn og grunnvatn er instrumentet WTW Cond 3110 nytta. Instrumentet måler både temperatur og elektrisk leiingsevne, og Figur 5.6 viser instrumentet nytta i felt. Elektrisk leiingsevne vert oppgitt i $\mu\text{S}/\text{cm}$ eller mS/cm , og instrumentet kan måle mellom 0-1000 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Temperatur kan målast mellom $-5\text{ }^\circ\text{C}$ og $105\text{ }^\circ\text{C}$, der nøyaktigheita er på $\pm 0,1\text{ }^\circ\text{C}$ (Global Water, 2008).



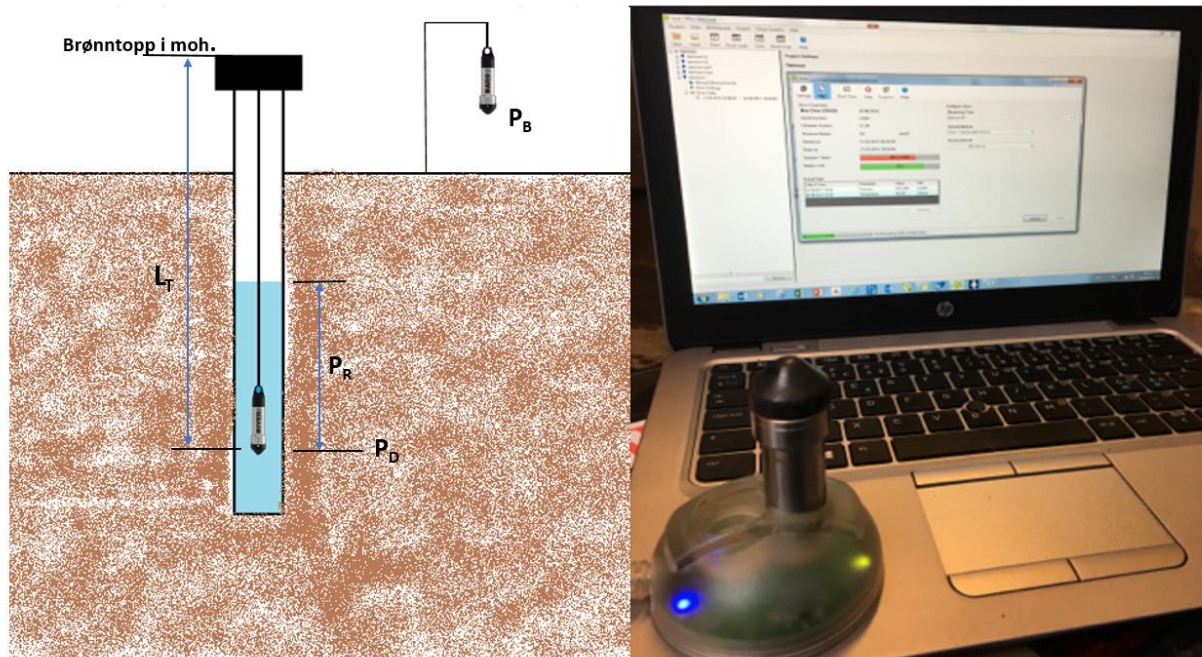
Figur 5.6: Bilete viser instrumentet brukt til å måla den elektriske leiingsevna i vatn. Her vert det nytta til å måla leiingsevna i elva Raundalselvi. Foto: Line Haukanes.

5.7 Logging av nivå og temperatur i vatn

5.7.1 Instrumentet nytta til måling av vassnivå og vassstemperatur

For å logga hydraulisk trykkehøgde og vassstemperatur er det nytta dataloggarar, som er plassert ut i grunnvassbrønnane. Det er dataloggarar av typen Mini-Diver ein har nytta til logging på Bømoen, og dei måler det totale trykket og temperaturen. Spesifikasjonane knytt til instrumentet er gjennomgått i brukarmanualen til Schlumberger Water Services (2014). Mini-Diver kan lagra opp til 24.000 målingar og ein kan setta opp kor ofte den skal måle. I tilfellet på Bømoen er det sett opp at dei utlagde dataloggara tar målingar ein gang i timen. Dataloggaren kan måle temperaturar mellom -20 °C til 80 °C , nøyaktigheita er på $\pm 0,1\text{ °C}$. Nøyaktigheita for vassnivået er $\pm 0,5\text{ cmH}_2\text{O}$, og den kan måla ei vassøyla på opp til $10\text{ mH}_2\text{O}$. Det er ikkje berre nøyaktigheita til instrumentet, som kan vera ein feilkjelde. Det er òg viktig å sjekke at loggaren kjem heilt nedi brønnen og at det ikkje oppstår knutar på tauet, slik at ein får målingar frå rett plass. Figur 5.6 viser utstyret nytta for å lese av Mini-Diverane.

På Bømoen er det lagt ut Mini-Diver i alle brønnane (PB1-PB5, PB7-9, B3, B4 og B6), elva Raundalselvi, og ein brønn ved teknisk verkstad på Bømoen. Dei er lagt ut på ulike tider, då ikkje alle brønnane er bora samtidig. Målingane frå elva er forsvunne, med at dataloggaren er borte og i B3 er tauet slitna. Det er òg lagt ut eit barometer som måler lufttrykket på området. For både temperatur og trykk er dataene reinska for målingar der loggaren ikkje har vore i brønnen, som til dømes der den er tatt opp for å lesa av.



Figur 5.7: Bilete til venstre viser korleis ein dataloggar er plassert i ein brønn og viser at den måler både vasstrykk og atmosfæretrykk. Baro-Diveren er plassert over bakken og måler det atmosfæriske trykket. Brønnen sin topp er oppgitt i meter over havet. L_T står for lengda på divertauet, P_D står for det totale trykket målt av loggaren i brønnen, P_B er atmosfæretrykket og P_R er resttrykket ($P_R = P_D - P_B$). Bilete til høgre viser avlesing av Mini-Diver ved hjelp av ein berbar datamaskin med Diver-Office. Foto: Line Haukanes.

5.7.2 Hydraulisk trykkhøgde

Ein måler hydraulisk trykkhøgde blant anna for å kunna seia noko om korleis vatnet vil bevega seg i grunnen (Freeze og Cherry, 1979). Slik som forklart i kapittel 4.6 strøymer vatn frå høgt til låg trykk, eller med andre ord frå høg til låg grunnvasshøgde i ein open akvifer. Dermed kan ein kartlegga strøymingsmønsteret i området ved å finne grunnvasshøgda i alle målepunkta, og slik sjå kvar det vil strøyma ved eit gitt tidspunkt. Når ein skal kartlegga grunnvasstrøyminga ved hjelp av målingar frå ulike brønnar, slik som her, må ein nytta ein fast referansehøgde (Post og Von Asmuth, 2013). I dette tilfelle vil det vera havoverflata, slik at variasjon i grunnvasstand vert oppgitt i meter over havet.

Mini-diverane er lagt ut for å måle trykket slik at ein kan finna grunnvasshøgda, men dei måler det totale trykket (Schlumberg Water Services, 2014). Det vil seie at dei måler trykket av vassøyla over loggaren og atmosfæretrykket. Atmosfæretrykket vert målt av ein Baro-Diver, som er plassert ut i området. Figur 5.7 viser korleis ein loggar er plassert i ein brønn og ein er plassert over bakken for å måle atmosfæretrykket. For å finne trykket av grunnvassøyla over loggaren nyttar ein formelen:

$$P_R = (P_d - P_B) / 100$$

her er P_R det resterande trykket over loggaren, P_D det totale trykket målt med loggaren i brønnen medan P_B er atmosfæretrykket. Ein deler på 100 for å gjer det om frå cm til m, då trykket vert målt i cm. Det neste steget er å finne loggaren sin plassering i brønnen. Dersom lengda på tauet til loggaren er kjent kan ein trekke lengda frå brønnen sin høgde over havet. I dette tilfelle var ikkje lengda på tauet kjent og det måtte reknast ut. Det gjer ein ved å måle lengda ned til grunnvasspegelen med eit lydlodd og trekke det frå brønntoppen sin høgde, slik at ein sit att med grunnvassnivå i m o.h. Ved same tidspunkt er det ein måling frå loggaren i brønnen og ein må så trekke resttrykket frå grunnvassnivået ved dette tidspunktet. Då det kan skje litt endringar i plassering gjennom året, vil ein helst gjera dette for fleire tidspunkt. Ut i frå målingane finn ein berekna loggarhøgde som er basert på gjennomsnittleg beregna taulengd. Berekna loggarhøgde og legg til resttrykket for alle målingane som er gjort.

Tabell 5.3: Oversikt over for loggarhøgda i m o.h. for dei ulike brønnane. Differansen mellom størst og lågast berekna loggarhøgde er oppgitt i tabellen og kor mange målingar dei er basert på er oppgitt. Utrekningane for dei ulike brønnane er vist i Vedlegg B.

Brønn	Berekna loggarhøgde (m o.h.)	Differanse mellom berekna loggarhøgde (m)	Basert på målingar
PB 1	88,39	0,71	3
PB 2	82,94	0,40	3
PB 3	88,88	0,08	3
PB 4	86,62	0,04	3
B 4	86,05	0,59	3
PB 5	87,95	0,02	2
B 6	86,69	0,46	3
PB 7	88,48	0,09	2
PB 8	88,36	-	1

PB 9	87,49	0,25	2
Teknisk verkstad	88,64	0,03	2

5.7.3 Vasstemperatur

Temperatur er ein parameter som er godt egna til sporing av grunnvatn fordi vatn har stor varmekapasitet og held difor godt på temperaturen. I ein review-artikkel viser Anderson (2005) korleis temperatur kan verte nytta til å identifisera infiltrasjon av overflatevatn, interaksjon mellom elver/innsjøar og grunnvatn, strøymingsmønster eller opphaldstid for grunnvatn.

Då det aktuelle området på Bømoen ligg nært knytt til elva, kan det vera interessant å sjå om det har ein innverknad på brønnane i området. I følgje Henriksen et al. (1996) vil ein sjå omtrentleg dei same trendane i elv og grunnvatnet der elva påverkar grunnvatnet, men det vil vera ein forseinking i forhold til elva. For å finne opphaldstida frå infiltrasjon av elvevatn til punkt i akviferen, må ein ha minimums og maksimumstemperaturen i elva og sjå korleis temperaturbølgjene forplantar seg i akviferen. Ut i frå detta kan ein estimera ei opphaldstid for vatnet i akviferen. Henriksen et al. (1996) legg òg fram at små grunne akviferar vil vera påverka av daglege- og sesongvariasjonar i lufttemperatur.

5.8 ArcMap

Karta laga i forbindelse med masterprosjektet er laga eller redigert i ArcMap. Det er henta data frå kartverket (flyfoto, FKB-data og høgdedata), Norges geologiske undersøkelse (berggrunn og lausmassar) og innsamla data frå felt. Det er òg brukt i forbindelse med å skissere eit kvartærgeologisk kart. Til det er det nytta lidardata til å sjå på hovudtrenden i dreneringsspor i terrasseflaten.

5.9 Risiko- og sårbarheitsanalyse (ROS-analyse)

I oppgåva skal det leggest fram ein risiko- og sårbarheitsanalyse, og analysen vil basera seg på malen lagt fram av Misund (2006) i fagrapporten «Karakterisering av grunnvannsførekomstar i Voss kommune». Målet for ein ROS-analyse er å vurdere risikoen for å ikkje oppnå god kvalitet og kvantitet på vatnet som er ønska nytta til drikkevatt. Analysen er delt inn i tre steg for å kartlegga risikoen. Først er det å finna belastningane i området og vurdering av verknaden av dei. Neste trinn er å vurdere sårbarheita til området.

For så til slutt å rekna ut risikoen. Tabell 5.4 viser døme på belastningar eit området kan ha og korleis ein graderer belastninga på grunnvassførekomsten.

Tabell 5.4: Ei oversikt over ulike belastningar og korleis ein skal vurdera belastningane og kome fram til ein gradering. Laga på grunnlag av Misund (2006).

Belastningar i området	Vurdering av belastningar	Gradering
<ul style="list-style-type: none"> - Busetnad i området - Jordbruk - Industri og lagring - Avfallsplass - Ureina grunn - Trafikk (bil, fly, jernbane) - Grusuttak 	Vurderinga av belastninga skjer på grunnlag av: <ul style="list-style-type: none"> - Kjent belastning - Pårekna belastning - Risiko for belastning - Plassering av belastning - Kvantitativ belastning 	1. Låg belastning: grunnvasskjelda er ikkje direkte trua av potensielle ureiningskjelder og ligg i hovudsak i utmark. Vert òg nytta om førekomstar der diffuse kjelder ligg i tilsigsområdet og kan påverka små deler av grunnvassførekomsten. 2. Middels belastning: Potensielle ureiningskjelder ligg innanfor tilsigsområdet og kan påverka store deler av førekomsten. 3. Er nytta der ein eller fleire alvorlege ureiningskjelder eller/og sterkt belasta arealbruk fører til/kan føre til ureining av førekomsten.

Neste steg i ROS-analysen er å vurdera sårbarheita. Vurderinga av sårbarheita er basert på fleire faktorar knytt til lausmassedekke i grunnvassførekomsten, kor djupt det er ned til grunnvassnivå, kva type lausmasseavsetning det er og kor tjukk akviferen er totalt. Ei oversikt over sårbarheitsvurdering og gradering av sårbarheita er vist i tabell 5.5.

Tabell 5.5: Her vises ei oversikt over faktorane, som skal vurderast ved vurdering av sårbarheita, samt at dei viser dei to graderingane ein grunnvassførekomst kan ha. Tabellen er laga på grunnlag av Misund (2006).

Faktorar til sårbarheitsvurdering	Sårbarheita (gradering)
<ul style="list-style-type: none"> - Mektigheita til den umetta sona - Kva type lausmasseavsetning - Mektigheita til akviferen 	1. Godt verna: Lukka akvifer med 2 m tykt tett lag, delvis lukka akvifer med 10 m

	<p>umetta sone eller ein open akvifer med over 20 m umetta sone.</p> <p>2. Mindre godt verna: open akvifer med mindre enn 20 m umetta sone.</p>
--	---

Til slutt skal ein gi ein risikovurdering for grunnvassførekomsten, som er ei samla vurdering av belastning og sårbarheit i området. Dette vert gjort ved å multiplisera dei to parameterane. Det er tre risikogrupper grunnvassførekomstar vert plassert i, på bakgrunn av den utrekna risikoverdien. Dei tre risiko gruppene er:

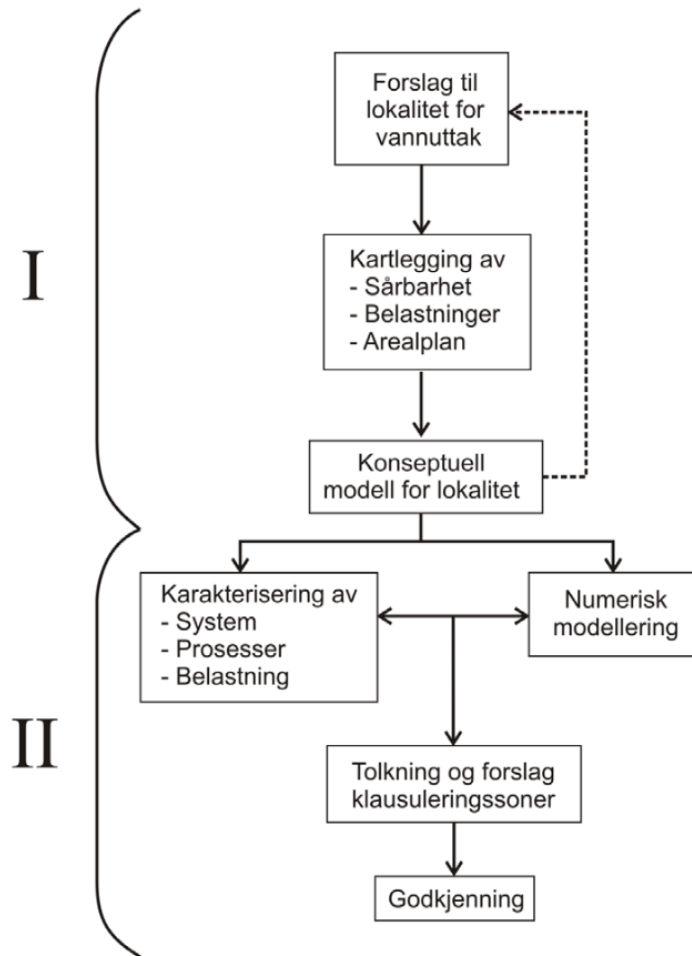
1. «Not at risk»: Berekna risiko er 1-2
2. «Possibly at risk»: Berekna risiko er 3-4
3. «At risk»: Berekna risiko er 6

5.10 Tryggingsplan

Drikkevatn kan frakta med seg bakteriar og stoff som kan vera skadeleg for konsumenten.

Dermed er det viktig å laga ein plan for korleis området skal vernast, slik at konsumentane av drikkevatnet er sikra eit godt og trygt drikkevatn (Eckholdt og Snilsberg, 1992). Sjølv om det er forbode å ureina drikkevatn, det vil inkludera all aktivitet som kan medføra nedsett kvalitet på drikkevatnet, er det i følge drikkevassforskrifta (2016) eigar av vassverket sitt ansvar å få på plass ein verneplan rundt vassverket. Målet med tryggingsplanen er å verna om området for aktivitetar som føregår no og hindra framtidig aktivitet, som kan gi ein redusert kvalitet på vatnet. Ein deler inn området i sonar, der det er ulike restriksjonar for dei ulike sonane, og grensene er sett i forhold til avstand frå brønn og korleis straumingsmønster og hastighet i grunnvassførekomsten er (Folkehelseinstituttet, 2016).

For å utarbeida ein tryggingsplan for eit området har Gaut (2011) lagt fram ein skisse over hovudpunkt ein går gjennom for å etablera ein slik plan for eit aktuelt område (Figur 5.8). Arbeidet med å utarbeida planen kan delast inn i to hovudbolkar, forundersøkingar og ein hovudfase. I slutten av hovudfasen vil det leggest fram ei tolking av området, samt eit forslag til tryggingssoner.



Figur 5.8: Figuren viser eit flytdiagram for korleis ein går fram ved å laga ein tryggingsplan for eit område. Ein kan dela det inn i to. Forundersøkingar, som baserer seg på ei samansetting av eksisterande data, feltarbeid og hydrogeologisk tolkningsmodell. Så kjem ein hovudfase der det vert utført testar, som testpumping og sporforsøk, lab analysar og overvaking vert utført i området. Figuren er henta frå Gaut (2011) sin rettleiar for vern av grunnvassanlegg.

Gaut (2011) sin rettleiar tar òg føre seg korleis ein skal fastsetta utbreiing og grensene til sonene i ein lausmasseakvifer, ved hjelp av vatnet si opphaldstid og kva restriksjonar ein kan setja i dei ulike sonene. Kor lang tid vatn bruker i den metta og umetta sona til dømes, vil ha stor betydning for bakteriefjerning og kva kvalitet vatnet får. Difor deles sonene inn etter opphaldstida grunnvatnet har. Sonene vil delast inn frå sone 0 til 3. Sone 0 er den inste sona, den strekk seg 10-30 m frå brønnen. I sone 0 er det berre lov med ferdsel knytt til drift og vedlikehald av vassverket. Sone 1 er det næraste tilsigsområdet, og grensa til sone 1 er satt på grunnlag av vatnet si opphaldstid. I metta sona må vatnet bruka 60 døgn frå den ytre grensa til brønnen med maksimal brønnbelastning. Det fjerne tilsigsområdet er sone 2, her når grunnvatnet brønnen permanent eller ved enkelte høver. Det ytste verneområdet er sone 3.

Sone 3 er eit området der det er ein mogelegheit for at det påverkar kvaliteten på grunnvatnet ved brønnen. Slik som nemnt ovanfor er det restriksjonar i sonene og døme på restriksjonar kan vera forbod mot å etablera grustak, byggeverksemd, lagring, transport og utslepp av kjemikaliar eller gjødsling og dyr på beite. Restriksjonane vil bli mindre omfattande utover i avstand frå uttak, men det vil vera restriksjonar i alle sonene for å verna om kvaliteten på grunnvatnet.

Sjølv om det er vanleg å dela inn ein verneplan i soner frå 0-3, ønsker Voss kommunen å ha færre soner på Bømoen. Planen er å heller ha ein sone rundt brønnen (brønnsone) og så ein vernesone utanfor brønnsone. Ønske om ein slik verneplan kjem på bakgrunn av erfaringar gjort ved til dømes drikkevassanlegget på Prestegardsmoen, der det lett kan bli konflikter rundt grensene til dei ulike sonene ved til dømes utbygging av området eller graving. Ønske om å ta vare på arealet til fritidsaktivitetar er òg stort, dermed vil Voss kommune ha eit område utan store inngjerdingar og halda på turløypene i nærleiken. Sjølv om det er ønska litt endringar i forhold til korleis det normalt vert gjort, vil utgangspunkt for å laga ein verneplan vera rettleiaren til Gaut (2011).

6 Resultat

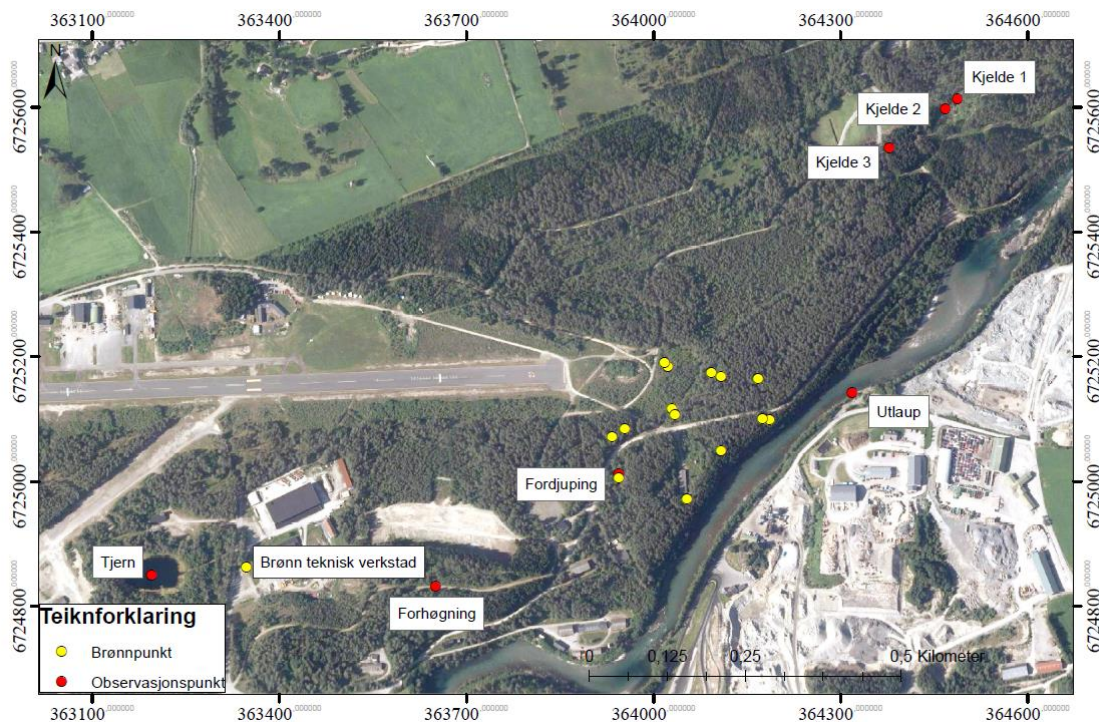
6.1 Innleiing

I resultatkapittelet, er resultata frå feltarbeidet og bearbeida data lagt fram i korte trekk. Dei vert vidare diskutert og sett saman til eit ROS-analyse og tryggingsplan i diskusjonskapittelet. Data med relevans i forhold til tidlegare arbeid og viktige data i forhold til problemstillinga er valt ut og vist fram i form av grafar, tabellar og kart.

6.2 Observasjonar frå felt

6.2.1 Forhøgning

I nærleiken av brønnområdet, er det eit området som er høgare enn det relativt flate terrenget elles og det er bratte kantar opp til det høgare partiet, som er relativt flatt på toppen (Figur 6.1). På det kvartærgeologiske kartet er forhøgninga tolka som ein erosjonsrest (sjå Figur 6.7). Den eine sida av forhøgningen ligg mot eit ope område, og ut i frå rapporten til Fedje (2011a) er det tydeleg at dette området er nytta til våpentrening. Skråninga nytta til våpentrening er vist i Figur 6.2. Overflatemassane i denne skråninga har vore skifta ut (sjå delkapittel 3.6.2).



Figur 6.1: Ei oversikt over dei ulike lokalitetane på Bømoen og Bjørkemoen der det er gjort observasjonar i felt. Flyfoto frå Norge i Bilder (2017).



Figur 6.2: Bilete viser den eine skråninga opp mot forhøgninga. Foto: Line Haukanes

6.2.2 Tjern

Figur 6.3 viser eit vatn, som ligg i området på Bømoen.

Kvar på Bømoen det er lokalisert, er vist i Figur 6.1. Vatnet ligg i ein fordjuping i terrenget. Høgda på vassoverflata er på rundt 95 m o.h., medan grunnvasshøgda i den næraste brønnen (teknisk verkstad, sjå Figur 6.1) er på omtrent 93 m o.h. på det meste. Det kan tyde på at tjernet ikkje er i kontakt med grunnvatnet,

då det gjerne ville hatt same høgde på overflata som grunnvasspegelen. Rundt vatnet er det flytetorv, der ein sig litt ned, og det var dermed ikkje målt elektrisk leiingsevne i vatnet.



Figur 6.3: Bilete viser tjernet på Bømoen. Foto Line Haukanes

Vatnet er relativt stort, og det har ei sirkulær form. Diameteren på vatnet er omkring 55 meter. Tjernet er markert som ei dødisgrop på det kvartærgeologiske kartet (sjå Figur 6.7).

6.2.3 Vasskjelder

På Bømoen er det tre lokalitetar der vatn kjem ut frå lausmassane, kvar ein finn dei ulike lokalitetane er vist i Figur 6.1 og korleis det ser ut ved lokalitetane er vist i Figur 6.4. Det renn omtrent lika mykje vatn ved Kjelde 2 og Kjelde 3, medan det i Kjelde 1 renn mindre vatn. Lausmassane er relativt like ved dei tre lokalitetane, det er kornstorleikar frå blokk til sand, og sand og stein er i hovudsak dei mest dominerande. Det er meir utvaska ved Kjelde 2, og dermed ser det ut til å vera meir stein og blokker rundt der vatnet kjem ut. Kjelde 1 og 3 ligg i enden av ein skråning, medan Kjelde 2 ligg litt lengre oppe i ei skråning. Det er teke både vassprøvar til oksygenisotopanalyse og målt temperatur og elektrisk leiingsevne ved Kjelde 1 og Kjelde 2, medan det berre er målt elektrisk leiingsevne ved Kjelde 3. Ved innsamling av den siste oksygenisotopprøven var Kjelde 1 dekket til med massar. Ei oversikt over resultata av oksygenisotopanalysen er vist i delkapittel 6.5.1. Vassstemperatur og elektriske leiingsevne er målt ein gang i alle kjeldene: Kjelde 1: 86,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ og 6,8 °C, Kjelde 2: 69,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ og 5,4 °C og Kjelde 3: 68,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ og 5,9 °C. Målingane vart gjort den 4 august i 2017.



Figur 6.4: Bileta viser dei tre kjeldene, som er lokalisert i området. Dei er nummerert med same tal i teksten, på kart (Figur 6.1) og på bilete. Bileta er teke 4 august 2017. Foto: Line Haukanes

6.2.4 Fordjuping i terrenget

Det er observert ein fordjuping i terrenget ved brønn NGI PB1 E, sjå Figur 6.1. Den har ein sirkulær form og er omtrent ein halv til ein meter djup. Diameteren på fordjupinga er omkring

9 meter, men det er mykje vegetasjon rundt og i fordjupinga så det er vanskelig å fastslå nøyaktig. Synleg skrapmetall ligg på overflata i fordjupinga. Det er òg eit ope hol, som strekk seg nedover og ein kan tydeleg sjå skrapmetaller nedover i holet (Figur 6.5). Holet er lokalisert i den sida på fordjupinga som vender mot brønn PB1-NGI. Det er ikkje sett fleire hol i fordjupinga, men det er mogleg at det er hol skjult av vegetasjonen.



Figur 6.5: Bilete viser ein opning ned i lausmassane, der det er skrapmetall, som tydeleg ligg nedover i opninga.

6.2.5 Utløp på Bjørkemoen

På Bjørkemoen er det gjort observasjonar av eit utløp med vatn frå eit røyr. Røyrret er utløpet til IHM sitt reinseanlegg for sigevatn frå deponiet. Vatnet går direkte ut i elva, med ei mengde på ca. 1 l/s. Kvar utløpet er lokalisert er vist i Figur 6.1. Det er ei sterk lukt i området rundt røyrret. Det blei gjort samtidige målingar av elektrisk leiingsevne i utløpet og langs elva ved høg og låg vasstand, og leiingsevna er mykje høgare i utløpet enn i elva (sjå tabell 6.3 og tabell 6.4). I området der vatnet frå utløpet treff overflata er det eit område med kvitt belegg på steinane, og utanfor det kvite belegget er det eit område med eit nesten brunsvart belegg, som har litt skjær av grønt i seg nokre plassar. Det brunsvarte belegget er meir slimete, medan det kvite ser ut som utfelling på steinane. Figur 6.6 viser korleis området rundt utløpet ser ut.



Figur 6.6: Bileta viser kvar vatnet kjem ut og korleis steinane rundt utlaupet er påverka. Foto: Oddmund Soldal.

Det er gjort ein analyse på det brunsvarte belegget og ein analyse av vatnet som kjem ut av røyret. Frå belegget er det fokusert på bly, sink, kopar og PCB (Polyklorerte bifenyler). Tabell 6.1 viser ei oversikt over målt verdi frå belegget. I tabell 6.2 er det vist ei oversikt over eit utval av parameter frå vassanalysen, der det er fokusert på metalla jern, mangan, bly, kopar og sink. Parameterane i beleggprøven er samanlikna med tilstandsklassane i ein rettleiar for miljøgifter i vatn og sediment (SFT, 2008), det same er parameterar i vatn, men dei er og samanlikna med drikkevassforskrifta (2016). Tilstandsklassane tilseier om området er påverka av ureiningskjelde. Dersom dei er påverka er dei over klasse I, og i kva grad det påverkar organismar og kor mange artar som vert påverka er vist med kva klasse dei er i. Det var henta inn ein prøve av det kvite belegget og utført XRF på prøven, men det er ikkje gjort noko vidare med resultatane.

Tabell 6.1: Tabellen viser eit utval av parameter frå prøven av det brunsvarte belegget frå Bjørkemoen. I forhold til Statens forurensingsstilsyn sin rettleiar for klassifisering av miljøgifter i vann og sedimentar (SFT, 2008) er det lagt inn tilstandsklasse for kvar av parameterane.

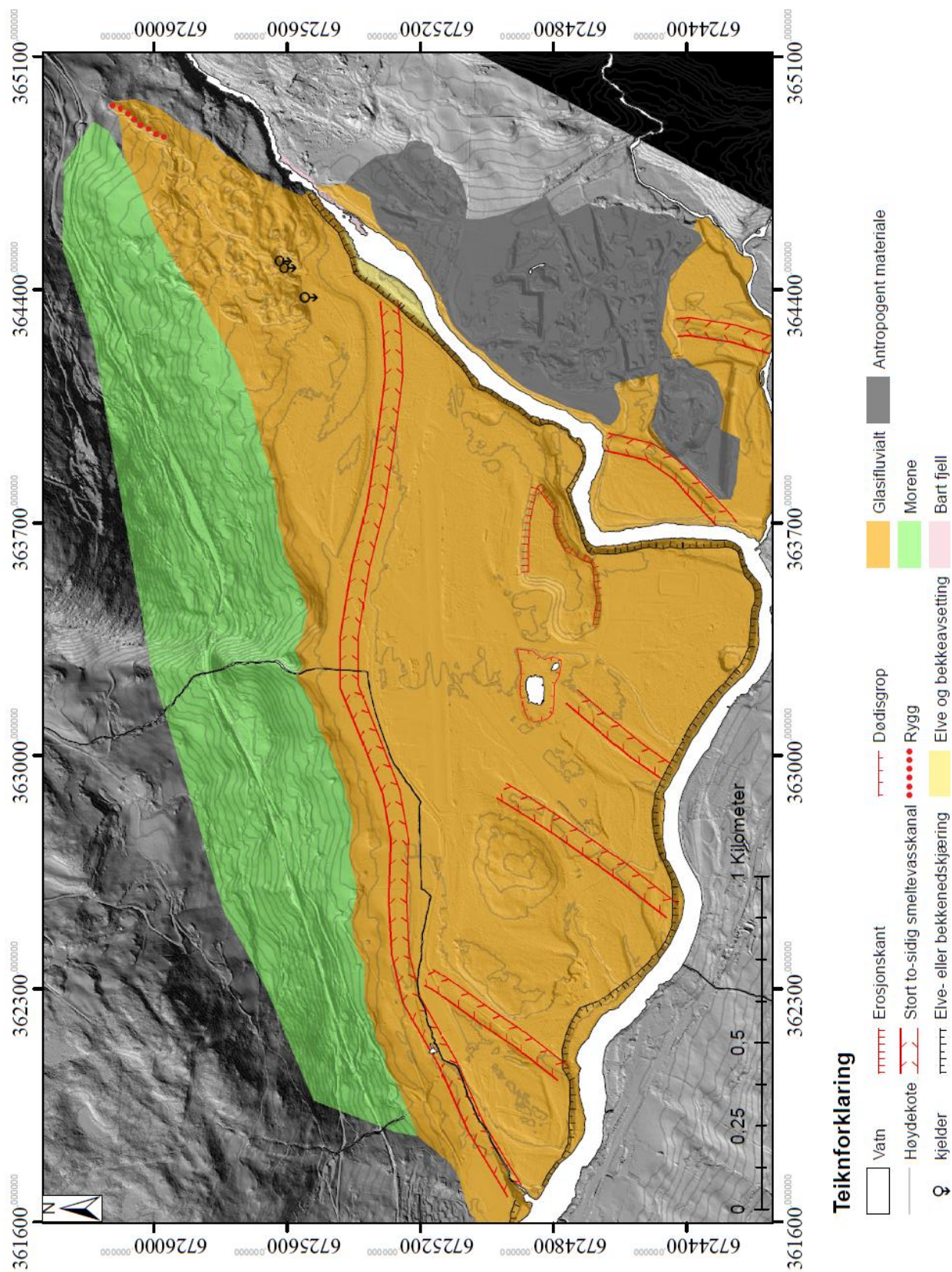
Stoff i beleggprøve	Mengd av stoff i mg/kg	Tilstandsklasse
Bly	34	II
Sink	300	II
Kopar	91	IV
PCB	0,0097	II

Tabell 6.2: Tabellen viser eit utval av parameter frå vassprøven ved utlaupet på Bjørkemoen. Tall i raud skrift viser at det overskrid grensa i drikkevassforskrifta (2016). For sink er det ikkje ein grenseverdi i drikkevassforskrifta (2016). Tilstandsklassane er henta frå SFT sin rettleiar for klassifisering av miljøgifter i vann og sedimenter (2008). Mangan og jern har ikkje tilstandsklasse i denne rettleiaren.

Stoff i vassprøve	Konsentrasjon i µg/l	Drikkevassforskrifta grenseverdi i µg/l	Tilstandsklasse
Jern	85	200	-
Mangan	60	50	-
Bly	0,10	10	II
Kopar	0,14	2000	I
Sink	1,1	-	I

6.3 Kvartærgeologisk kart

Det er laga ei enkel skisse av eit kvartærgeologisk kart her, då det ikkje eksisterer eit bra kvartærgeologisk kart over området (Figur 6.7). Målet med kartet var å visa ei meir detaljert overflata av avsettinga og visa ei oversikt over kvar det er antropogent materiale på Bjørkemoen. Det var vanskeleg å sjå til dømes dreneringsspor i felt, blant anna på grunn av mykje vegetasjon. Dermed er det i hovudsak nytta ein terrengmodell for å skissera opp eit enkelt kvartærgeologisk kart. Terrengmodellen er synleg i bakgrunn av kartet. Ut i frå tidlegare arbeid kjem det fram i Holmström og Kibsgaard (2009) at det er grovast materiale i aust og finaste i vest. Dette viser at det i hovudsak har kome sediment frå ein kjelde i Raundalen. Erosjonsspora ein kan sjå i Figur 6.7 tyder på at det meste av vatnet som har erodert ned Bømoen òg har kome frå Raundalen. Etter at breen smelta bort, landet heva seg og erosjonsbasis sank, har elva etablert dagens elvelaup. Bømoen er i hovudsak eit flatt området, men i den nord-austlege delen er det eit meir kupert terreng og stigninga i denne delen av området er større enn resten av området på Bømoen. Det er og lokalisert tre kjelder i den nedre delen av skråningar i denne delen av området.

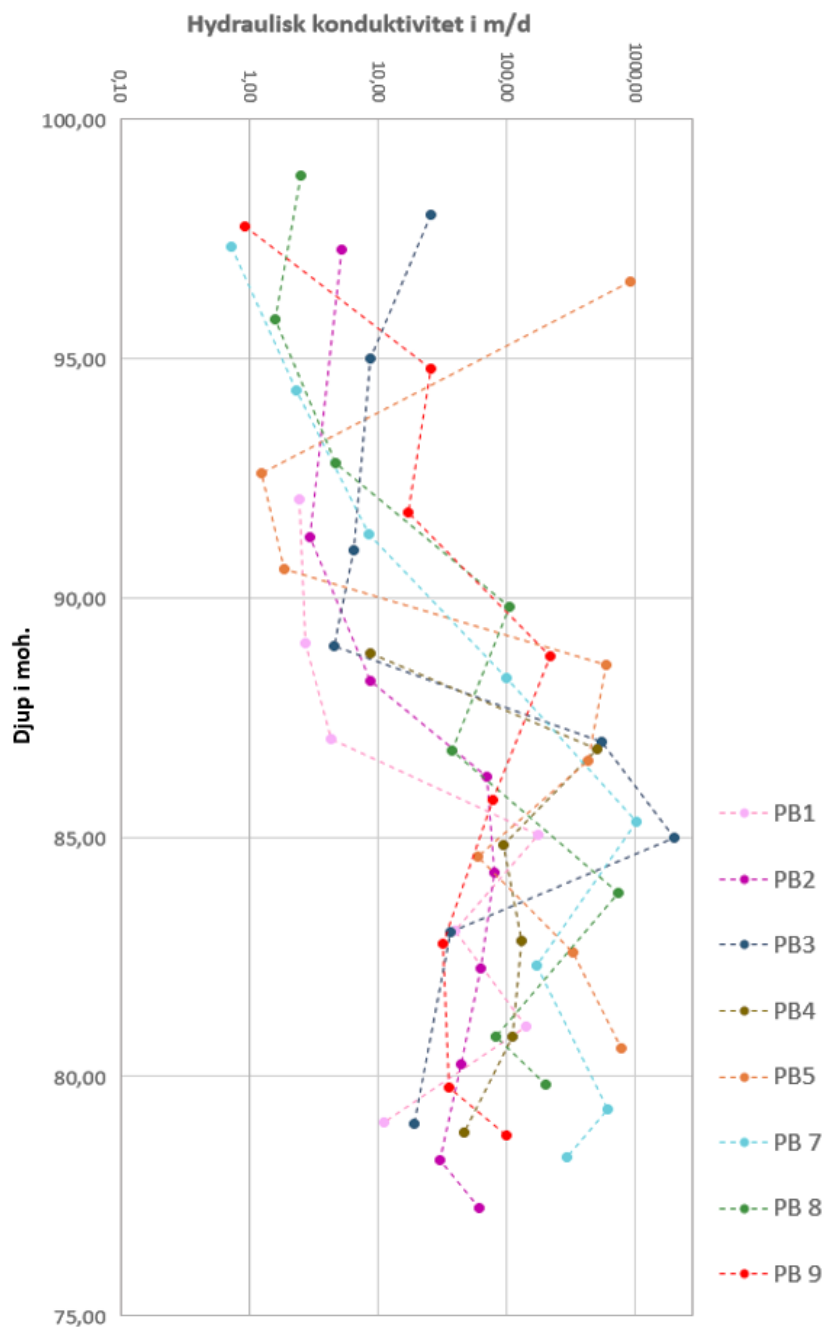


Figur 6.7: Kartet er eit kvartærgeologisk kart over Bømoen og deler av Bjørkemoen. Terrengmodellen er basert data frå Høydedata.no.

6.4 Hydraulisk konduktivitet

Dei fleste brønnane har ein lågare hydraulisk konduktivitet i den øvre delen (frå rett under 100 m o.h.- ca. 90 m o.h.) enn djupare i avsettinga (frå ca. 90 m o.h. og nedover). Det øvste punktet i kvar brønn er om lag 6 m under terrengoverflaten, ettersom det ikkje vart samla prøve frå de øvste 3 metrane av boreholet. Korleis den hydrauliske konduktiviteten varierer i dei ulike brønnane kjem fram i Figur 6.8, der ein kan sjå at grafen er delt inn i to sonar. Kvar dei ulike brønnpunkta er plassert i forhold til kvarandre er vist i Figur 3.9. Hydraulisk konduktivitet er vist på logaritmisk skala og øvst i avsettinga har dei fleste brønnane ein hydraulisk konduktivitet på omkring 1-10 m pr. døgn. Det er i hovudsak ein brønn som skil seg ut frå denne trenden og det er PB5. Den brønnen har ein høg hydraulisk konduktivitet i den øvste delen av avsettinga, før den får ein mykje lågare konduktivitet før den aukar igjen mot djupet. PB 3 har ein veldig høg verdi ved 85 m o.h., der den hydrauliske konduktiviteten er på rett over 2000 m pr døgn. Ved omkring same djup har PB7 ein høg hydraulisk konduktivitet på rett over 1000 m pr døgn. Brønn PB1 og PB2 har ein ganske lik trend, bortsett frå litt meir variasjon i PB1 i den nedste delen av brønnen. Elles er det ikkje store likskapstrekk mellom brønnane som ligg nær kvarandre, bortsett frå at det generelt i den øvre delen av grafen og nedover er ein stigning i hydraulisk konduktivitet (brønn PB3 og PB5 skil seg litt ut frå den trenden). Filtera i brønnane er plassert i sona der det i hovudsak er høg hydraulisk konduktivitet, då dei ligg i høgda 90-78 m o.h. Nøyaktig filterhøgde for alle brønnane er vist i vedlegg A.

Hydraulisk konduktivitet i ulike brønnpunkt på Bømoen

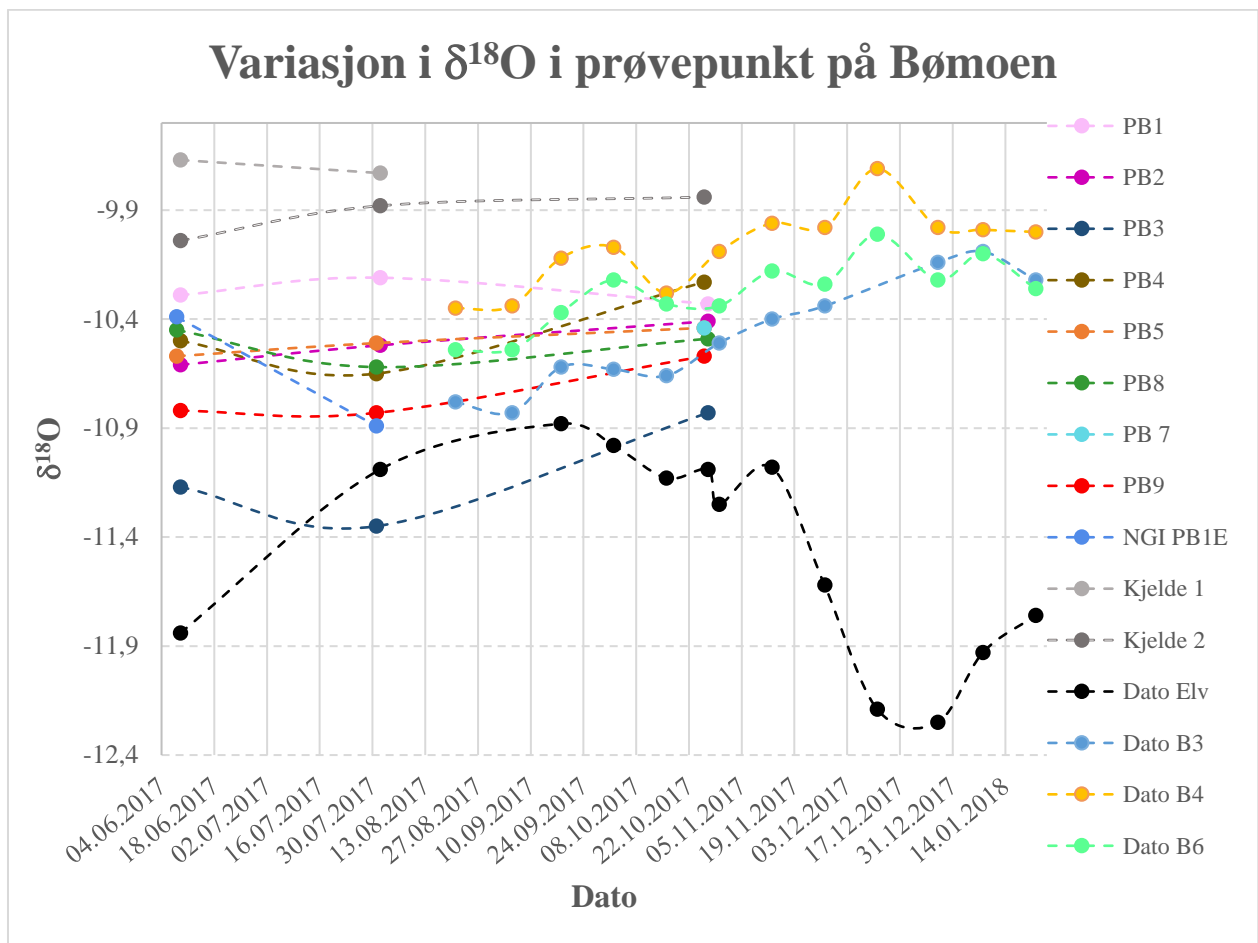


Figur 6.8: Grafen viser korleis den hydrauliske konduktiviteten endrar seg i avsetninga ved djup i dei ulike borepunkta. Der konduktiviteten er vist på x-aksen (logaritmisk skala) medan djup i meter over havet er vist på y-aksen. Prøvane representerer fleire meter, og punkta i grafen viser det nedste punktet for innsamling. I brønn PB9 var minimumsverdien over 10% i prøven teke frå 3-6 m, dermed vart den lågaste mogelege prosenten valt. Den hydraulisk konduktivitet er rekna ut for PB7-PB9 i denne oppgåva, dei andre er henta frå Bryn (2016).

6.5 Vassprøvar

6.5.1 Stabile oksygenisotopar

Det vart teke vassprøvar frå observasjonsbrønningar, produksjonsbrønningar, kjelder og elv som er analysert for oksygenisotopar. Figur 6.9 viser prøveresultata. Ut i frå grafen kan ein sjå at observasjonsbrønnane i hovudsak har eit relativt likt signal, medan elva og PB3 ligg noko lågare. Kjeldene har høgare konsentrasjon av ^{18}O medan elva har lågare. Ut i frå dei brønnane som ligg i nærleiken til B3, B4 og B6 (PB3, PB4 og PB8) ser dei ut til å visa eit botnpunkt og ein begynnande stigning. Dette kan vera med på å underbygga at ein ser toppunktet i B3, B4 og B6 og at botnpunktet ikkje nødvendigvis vert vist i denne serien.



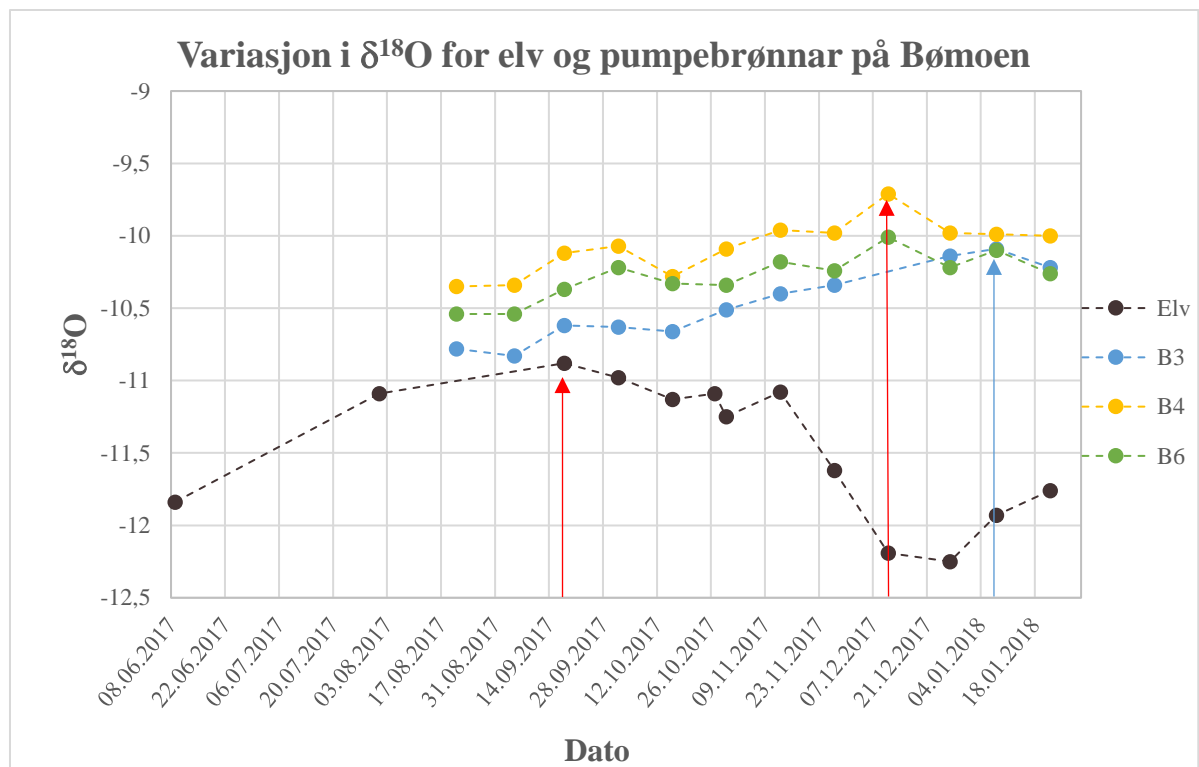
Figur 6.9: Figuren viser ei oversikt over variasjonen i $\delta^{18}\text{O}$ i alle prøvepunkta for oksygenisotop analyse på Bømoen.

Elva vil ha ein anna isotop-samansetting enn kjeldene då dei vert mata med nedbør frå ulike områder. Kjeldene er mata med lokal nedbør, medan elva er mata med nedbør frå lengre inn i landet og høgare til fjells. For brønnane på området ser det ut til å vera ein blanding mellom elvevatn og infiltrert nedbør, då dei ligg mellom samansettinga av dei to. Ut i frå B3, B4 og B6 ser det ut til at B3 er mest påverka av elvevatn medan B4 i hovudsak er påverka av lokal

nedbør. PB3 ser ut til at den er meir påverka av infiltrasjon frå elva enn nokon av dei andre. Noko som kan stemme sidan denne brønnen ligg nærmast elva. Denne konklusjonen, at det er ein blanding, vert underbygga av Henriksen et al. (1996). I denne artikkelen kjem det fram at ein auke i $\delta^{18}\text{O}$, der elvevatn infiltrerer ei avsetting, vil tyde på at det er tilførsel av nedbør frå overflata.

Variasjonen i $\delta^{18}\text{O}$ i elva, B3, B4 og B6 gjennom ein prøveperiode frå juni 2017 - januar 2018 er trekt ut og vist i Figur 6.10. Det er elva som har den lengste prøveperioden, då den byrjar i juni, medan det ikkje er begynt å ta prøvar frå brønnane før i august. Elva har eit tydeleg topp- og botnpunkt, medan i brønnane ser ein i hovudsak ein stigning. Prøvane er teke kvar 14 dag, dermed vert det ein usikkerheit i forhold til å finna eit topp og botn punkt. Elva har mykje større variasjonar i $\delta^{18}\text{O}$ i forhold til grunnvatnet (B3, B4, B6). Prøvepunktta B3, B4 og B6 har ganske lik trend gjennom heile prøveperioden. Det som skil dei tre prøveseriane frå kvarandre er i hovudsak at B4 og B6 har toppunktet sitt ved eit anna tidspunkt enn B3. B3 vart ikkje prøveteke på det tidspunktet, då det ikkje var mogeleg på grunn av heving av brønnen.

For å gi eit innblikk i opphaldstida til vatnet ved hjelp av oksygenisotopar finn ein att toppar og botnar i ulike prøveseriar. Topp for elv og B4 og B6 er vist på Figur 6.10 med røde piler. B3 vart ikkje prøveteke ved dette tidspunktet, dermed er det umogeleg å veta om den har ein topp på same tidspunkt. For B4 og B6 får ei opphaldstid på om lag 85 døgn. Dersom ein tar utgangspunkt i toppunktet til B3 (vist med blå pil) vil det tilsvare om lag 113 døgn.



Figur 6.10: Grafen viser ei oversikt over variasjonar i $\delta^{18}\text{O}$ frå B3, B4, B6 på Bømoen og elva. Pilene indikerer kvar det er eit toppunkt for dei ulike prøveseriane. Prøvepunktet i elva ligg på omkring 91 m o.h. (overgangen mellom vegetasjon og bar elvebotn) og oppstrøms for avlaupet til B3, slik at det ikkje vert påverka av grunnvatn henta opp frå pumpebrønnane på Bømoen.

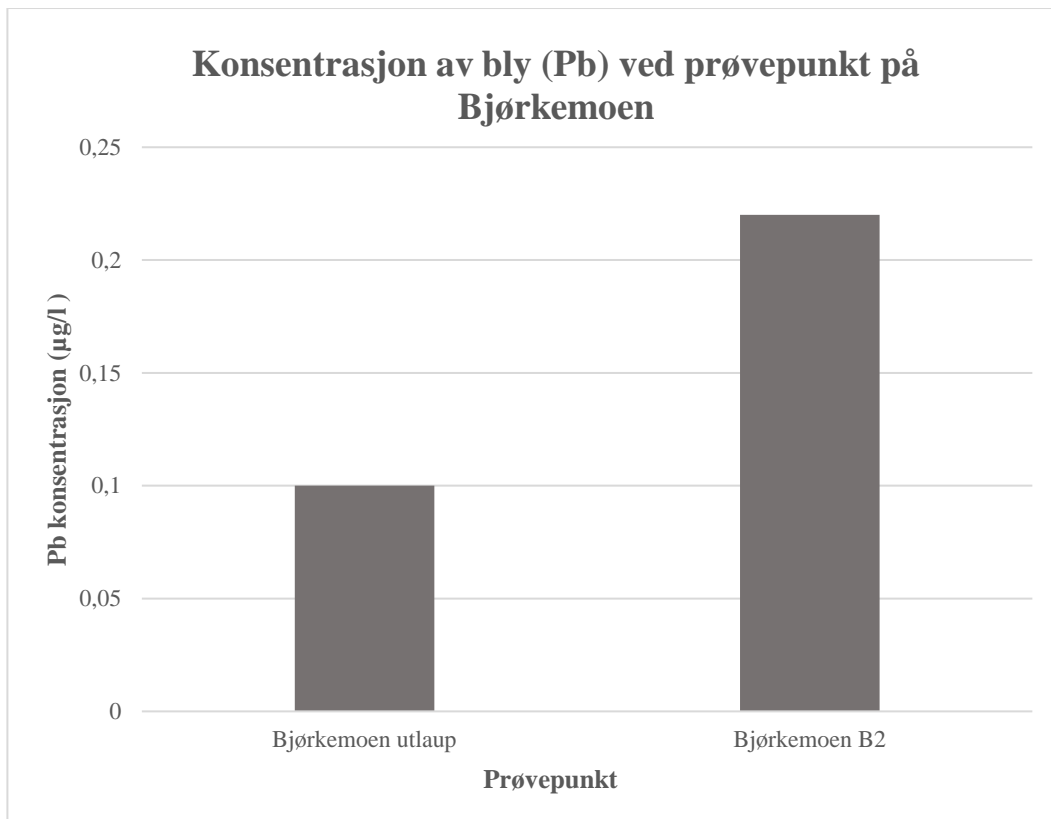
6.5.2 Metall

Resultata for konsentrasjonar av bly, kopar og sink i vassprøvene er presentert her. Frå prøvepunktta på Bømoen er det to sett med prøvar frå sommaren 2017. Prøvesett A vart teke i juni, medan prøvesett B vart teke i juli/august. På Bjørkemoen og i B10 er det berre teke prøvar i juli/august. Mangan og jern vil visast i eit eige delkapittel, då dei opptrer under like forhold og det er gjort analysar av mangan og jern innhald i mange vassprøvar gjennom ein lengre periode i B3, og nokre i B4 og B6.

Bly

Dei fleste vassprøvene på Bømoen har blykonsentrasjonar under deteksjonsgrensa på 0,01 $\mu\text{g/l}$. Den einaste brønnen, som har over 0,01 $\mu\text{g/l}$ er PB2, der verdien er 0,015 $\mu\text{g/l}$. I drikkevassforskrifta (2016) er grenseverdien for bly satt til mindre enn 10 $\mu\text{g/l}$, noko som viser at alle prøvepunktta på Bømoen er under grenseverdien for bly.

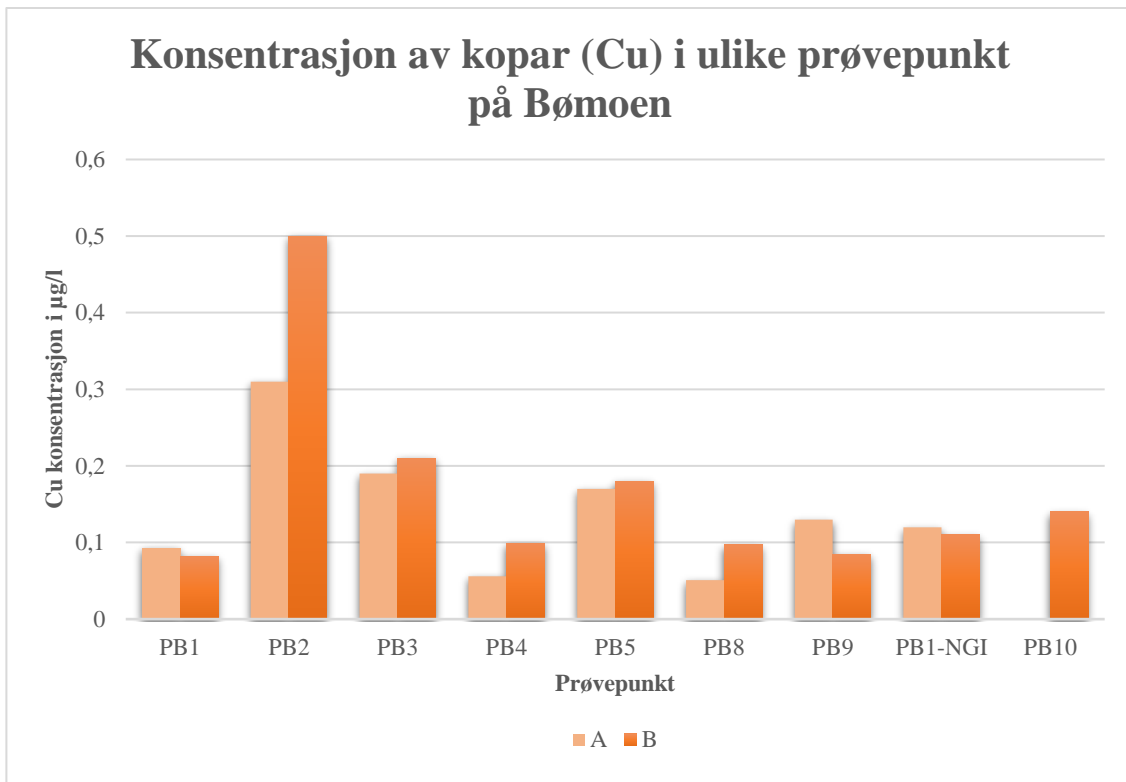
Konsentrasjonen bly i prøvepunktene på Bjørkemoen er vist i Figur 6.11. Bjørkemoen B2 er det prøvepunktet som tydelig har den høyeste verdien av bly. Konsentrasjonen i utlaupsvatnet fra reiseanlegget til IHM inneholdt òg litt bly, men ingen av prøvene oversteg grenseverdien i drikkevassforskriften (2016).



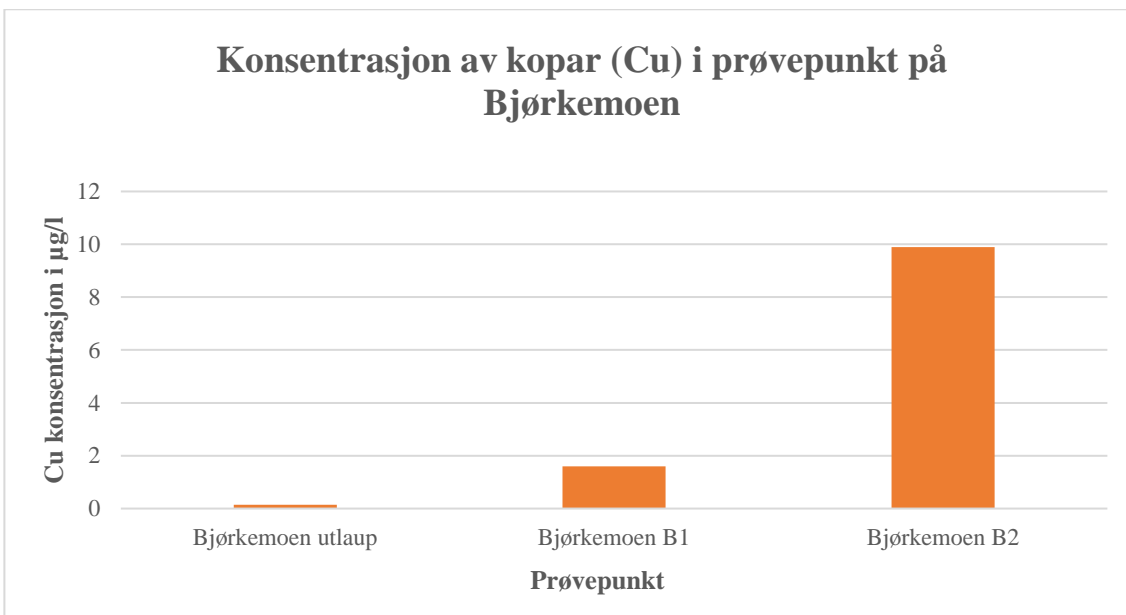
Figur 6.11: Grafen viser ei oversikt over konsentrasjonen av bly i dei ulike prøvepunktene på Bjørkemoen.

Kopar

Oversikta over koparkonsentrasjonen i brønnpunktene på Bømoen vert vist i Figur 6.12. Dei er alle godt under grenseverdien i drikkevassforskriften (2016), der grenseverdien for kopar er satt til 2 mg/l. Den høyeste målte verdien er 0,5 µg/l, og det er i PB 2. Konsentrasjonen av kopar i prøvepunktene på Bjørkemoen er lagt fram i Figur 6.13. Bjørkemoen B2 har den høyeste konsentrasjonen av oppløyst kopar av alle prøvepunktene. Sjølv om koparkonsentrasjonen er høgare i Bjørkemoen B2 enn dei andre plassene er den mykje lågare enn grenseverdien i drikkevassforskriften (2016).



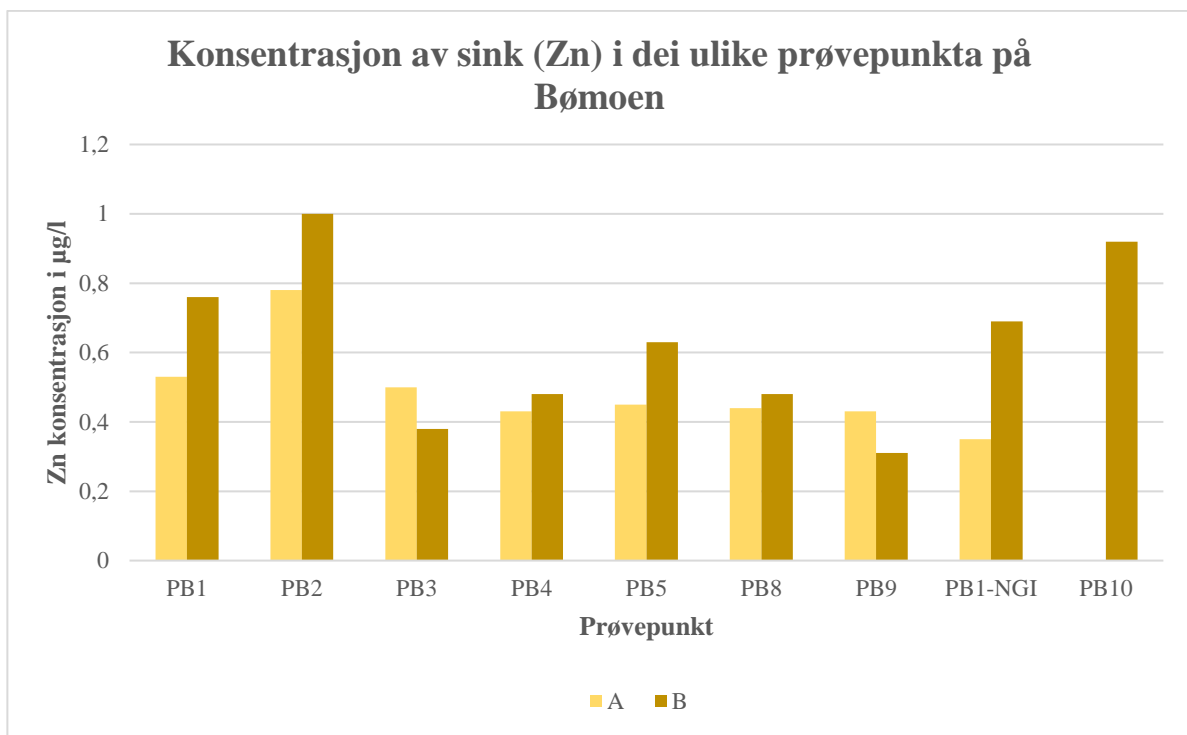
Figur 6.12: Her er ei oversikt over konsentrasjonen av kopar i vassprøver tatt ved dei ulike prøvepunkt på Bømoen. Der prøvane markert som A tyder at dei er teke i juni, medan dei markert med B tyder at dei er teke i juli/august.



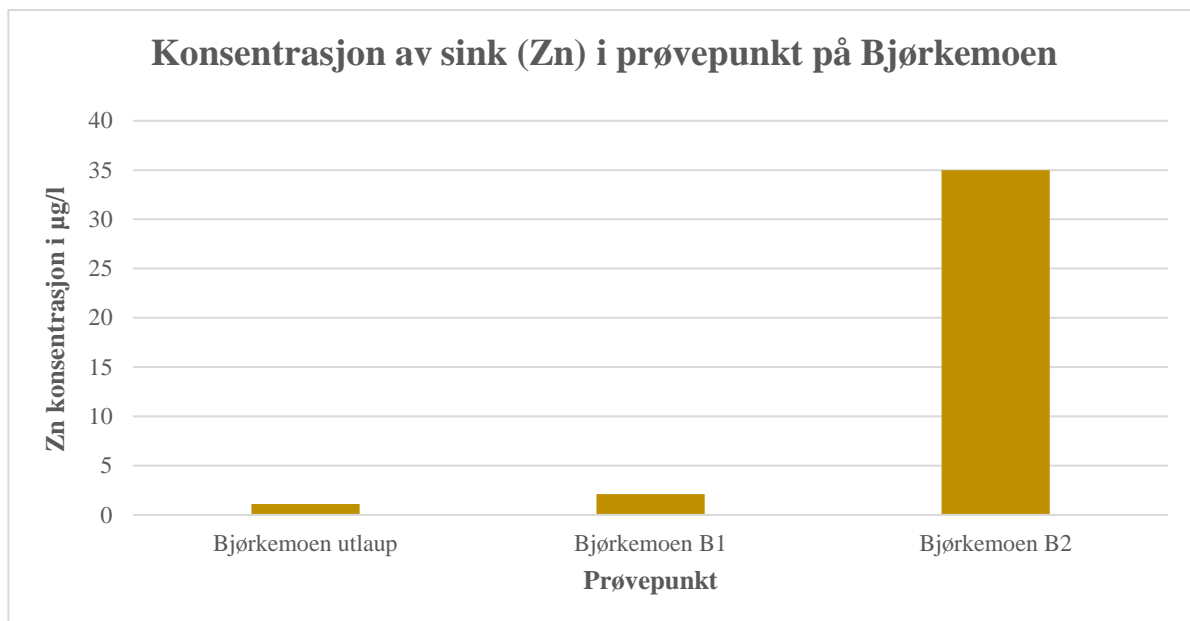
Figur 6.13: Oversikt over konsentrasjonen av kopar i prøvepunkt på Bjørkemoen. Merk at skalaen ikkje er den same som i Figur 6.12. Prøvane er teke i juli/august.

Sink:

Konsentrasjonen av sink i vatnet i dei ulike prøvepunkta på Bømoen og Bjørkemoen er lagt fram i Figur 6.14 og Figur 6.15. Her kan ein sjå at det er høgast konsentrasjon av sink på Bømoen er i PB2 og i PB10. Ut i frå dei to prøvesetta kan ein sjå at det er i hovudsak høgast konsentrasjon av sink i brønnane på Bømoen i prøvane teke i juli/august. Det er ingen grense for sink i drikkevatt, då det ikkje er ein helserisiko med sink i vatn (WHO, 2011; Folkehelseinstituttet, 2014). På Bjørkemoen er det Bjørkemoen B2, som har den høgaste konsentrasjonen, 35 gongar høgare enn høgaste verdi på Bømoen.



Figur 6.14: Grafen viser ei oversikt over konsentrasjonen av sink i dei ulike brønnpunkta på Bømoen. Prøvane markert med A er teke i juni, medan dei markert med B er teke i juli/august.

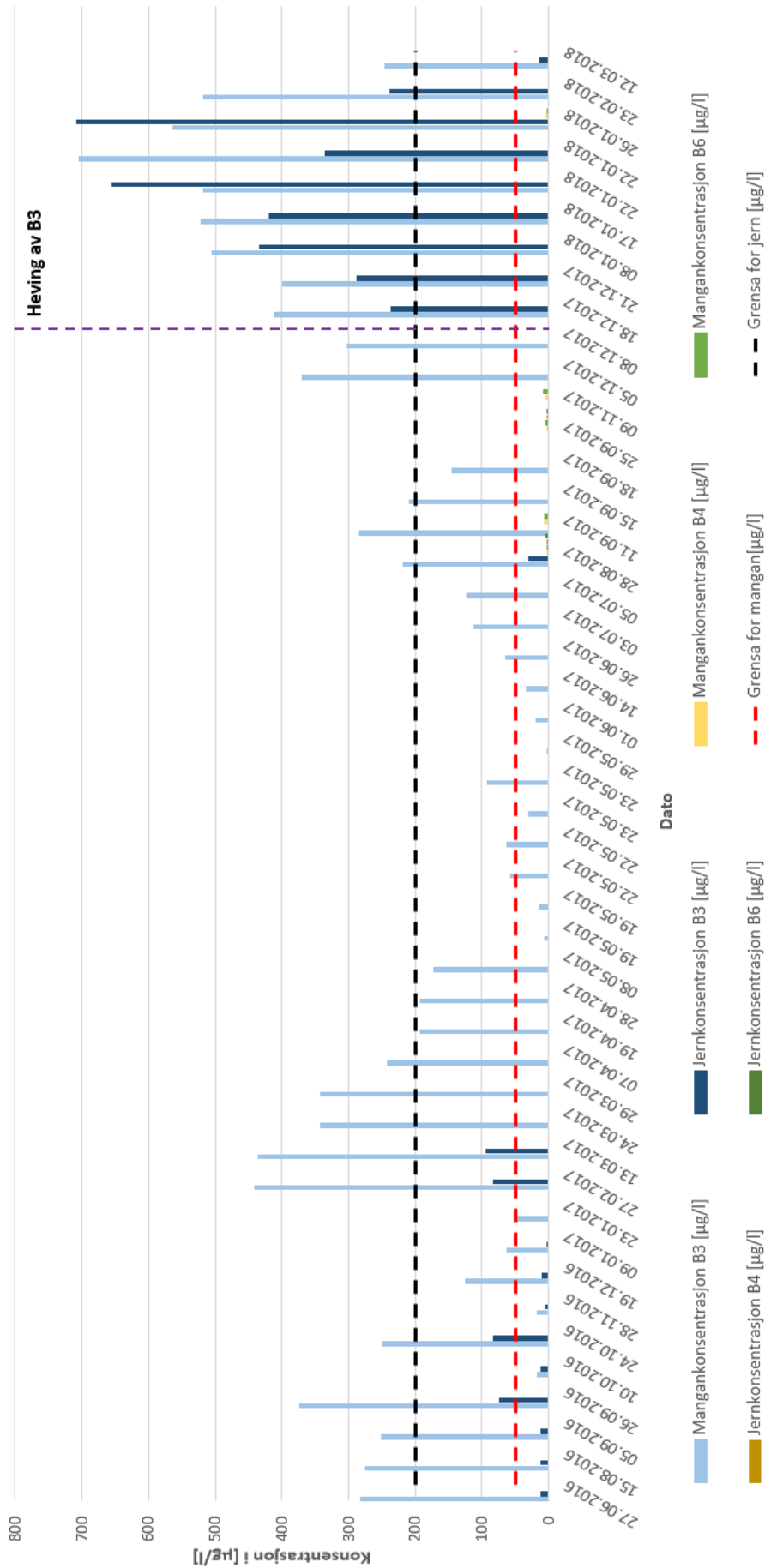


Figur 6.15: Grafen viser konsentrasjonen av sink i vassprøver frå Bjørkemoen. Merk at skalaen ikkje er den same som i Figur 6.14. prøvane er teke i juli/august.

6.5.3 Mangan og jern

Prøveresultata av mangan og jern teke frå brønnane B3, B4 og B6 er framstilt i Figur 6.16. Ut i frå grensa sett i drikkevassforskrifta (2016) viser alle prøvane teke i B4 og B6 konsentrasjonar under grensa for mangan og jern. Dei er så vidt synlege i grafen, då verdiane er så låge. Prøvane er teke frå B4 og B6 28.08.2017, 11.09.2017 (berre mangan), 25.09.2017 og 09.11.2017 (berre mangan). I B3 er det ein mykje lengre prøveperiode, frå slutten av juni 2016 fram til mars 2018. I B3 er manganverdiane i hovudsak godt over grensa, men dei varierer i konsentrasjon. Det er ikkje teke prøvar med jamne mellomrom, og det er nokon periodar med opphald i prøvetakinga. Dermed er det ikkje enkelt å sjå ein trend. Det ein ser er at prøvar som er teke same månadane ved ulike år ikkje nødvendigvis har høge eller låge konsentrasjonar i begge åra. Til dømes har ikkje prøvar teke i juni 2016 og 2017 liknande konsentrasjonar. Det same ser ein for januar 2017 og 2018. For B3 er det generelt høgare verdi av jern enn i prøvane frå B4 og B6. I byrjinga av måleperioden ligg verdiane for jern under grensa i drikkevassforskrifta (2016) i B3, medan det i slutten av måleperioden er tydeleg høgare verdiar og dei overstig her grensa satt i drikkevassforskrifta (2016). Den siste målinga viser ein kraftig nedgang i jerninnhaldet i vatnet i B3.

Oversikt over mangan og jernverdier for B3, B4 og B6



Figur 6.16: Grafen viser ei oversikt over konsentrasjonen i prøvar teke for mangan og jern i B3, B4 og B6. Det er ikkje teke prøvar av alle samtidig, dermed er det ikkje alltid alle parameterane viser med dei ulike prøvedatoane. Pumpinga i B4 og B6 starta 24. august 2017 og hevinga av B3 vart gjort 15. desember 2017.

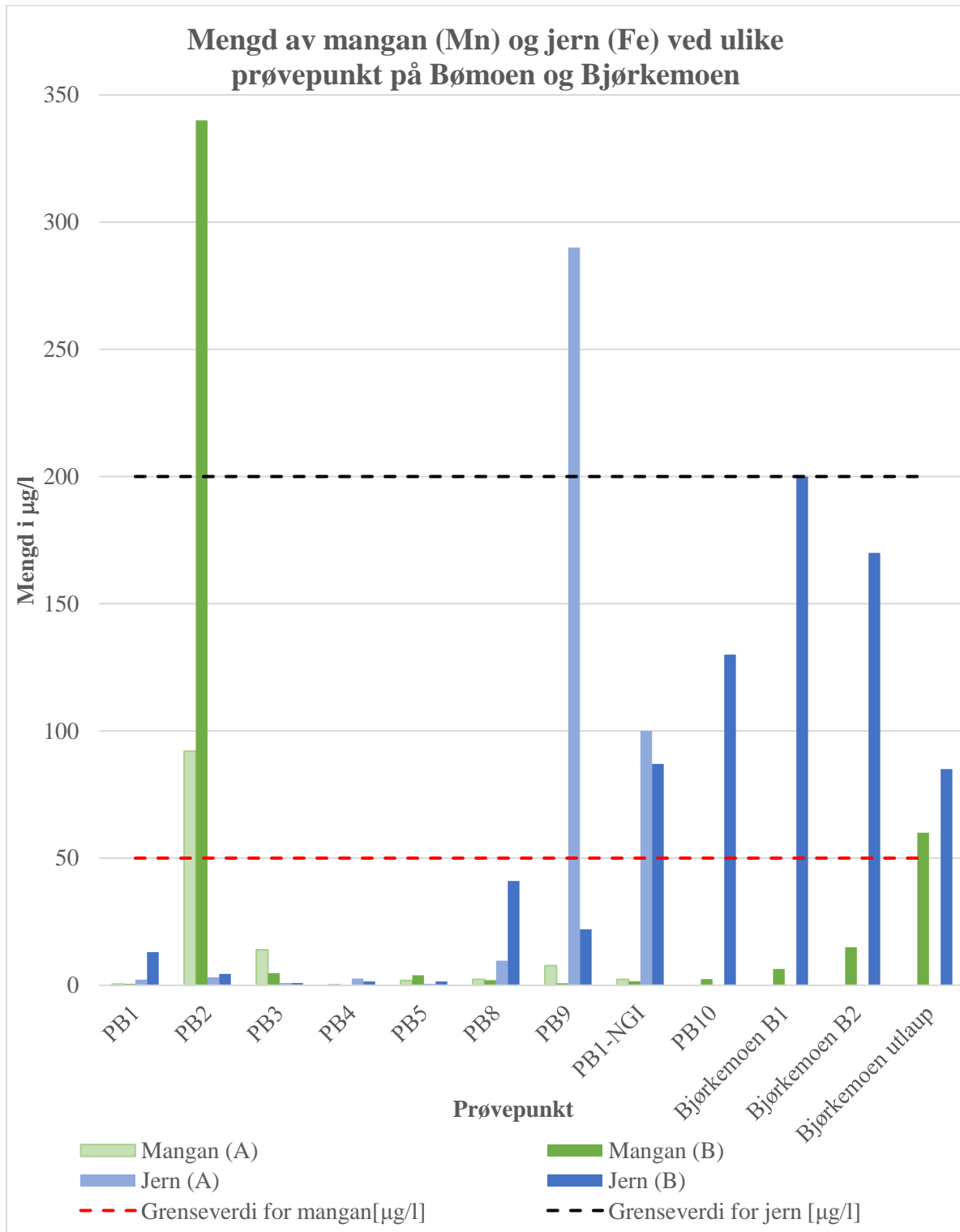
Det er gjort tiltak for å prøva å få ein mindre konsentrasjon av mangan i vatnet frå B3. Det er endra uttaksmengda av vatn for å sjå om det er kan ha ein innverknad og brønnen er heva 3 meter. Hevinga av B3 vart utført 15 desember 2017, og det er markert i Figur 6.16. I etterkant av hevinga av brønnen, er det tydeleg at det er høgare verdiar av både mangan og jern i vatnet teke ut av brønnen. Figur 6.17 viser korleis elvebotn vart farga rød der dei slepp ut vatn henta opp frå B3 og Figur 6.16 viser at det er høgare konsentrasjonar i vassprøvene enn det har vore tidlegare.



Figur 6.17: Bilete viser området ved utlaupet av vatn frå B3 etter heving av brønn B3. Ein kan tydeleg sjå eit raudfarga belegg på steinane i elva.

Det er òg gjort analysar for mangan og jern i observasjonsbrønnar på Bømoen og i prøvepunkt på Bjørkemoen. Dei er lagt fram i Figur 6.18. Prøvene viser i hovudsak låge konsentrasjonar for mangan i brønnane, der dei ikkje overstig grensa i drikkevassforskrifta (2016). Det er to brønnar som viser høge konsentrasjonar for mangan og det er PB2 og Bjørkemoen utlaup. I PB2 er det samla inn prøvar to gangar og den første prøven (A) viser mykje lågare konsentrasjonar enn andre prøve (B). Begge overstig grenseverdien. For jern er det nokre veldig låge verdiar og nokre høge. Det er ein prøve der konsentrasjonen av jern overstig grenseverdien i drikkevassforskrifta (2016). Det er i PB9. Her er den første prøven (A) svært høg i forhold til prøve to (B). Ved Bjørkemoen B2 er jernverdiane akkurat på grensa for jern i drikkevatt (drikkevassforskrifta, 2016). Ved PB1-NGI, PB10 og Bjørkemoen

B1 og B2 er det òg litt høgare verdiar for jern enn i dei andre, men dei er under grensa for jern i drikkevatt.



Figur 6.18: Grafen viser ei oversikt over konsentrasjonen av jern og mangan i dei ulike prøvepunkta på Bømoen og Bjørkemoen. Det er teke eit sett med prøvar for PB 10 og prøvepunkta på Bjørkemoen elles er det to prøvesett. Det første prøvesettet er teke i juni (A) medan det andre er teke i juli/august (B).

6.5.4 Utvida prøve

I B3, B4 og B6 er det teke ein utvida prøve (prøvepakke B). Analysane er teke på litt ulike tidspunkt, då prøven for B3 er teke i juni 2016, medan for B4 og B6 er prøvane teke i oktober 2017. Det er og litt forskjell i kva parameter som er målt i dei to omgangane. Her er det trekt fram antimon, då det tidlegare har vore diskutert i oppgåva.

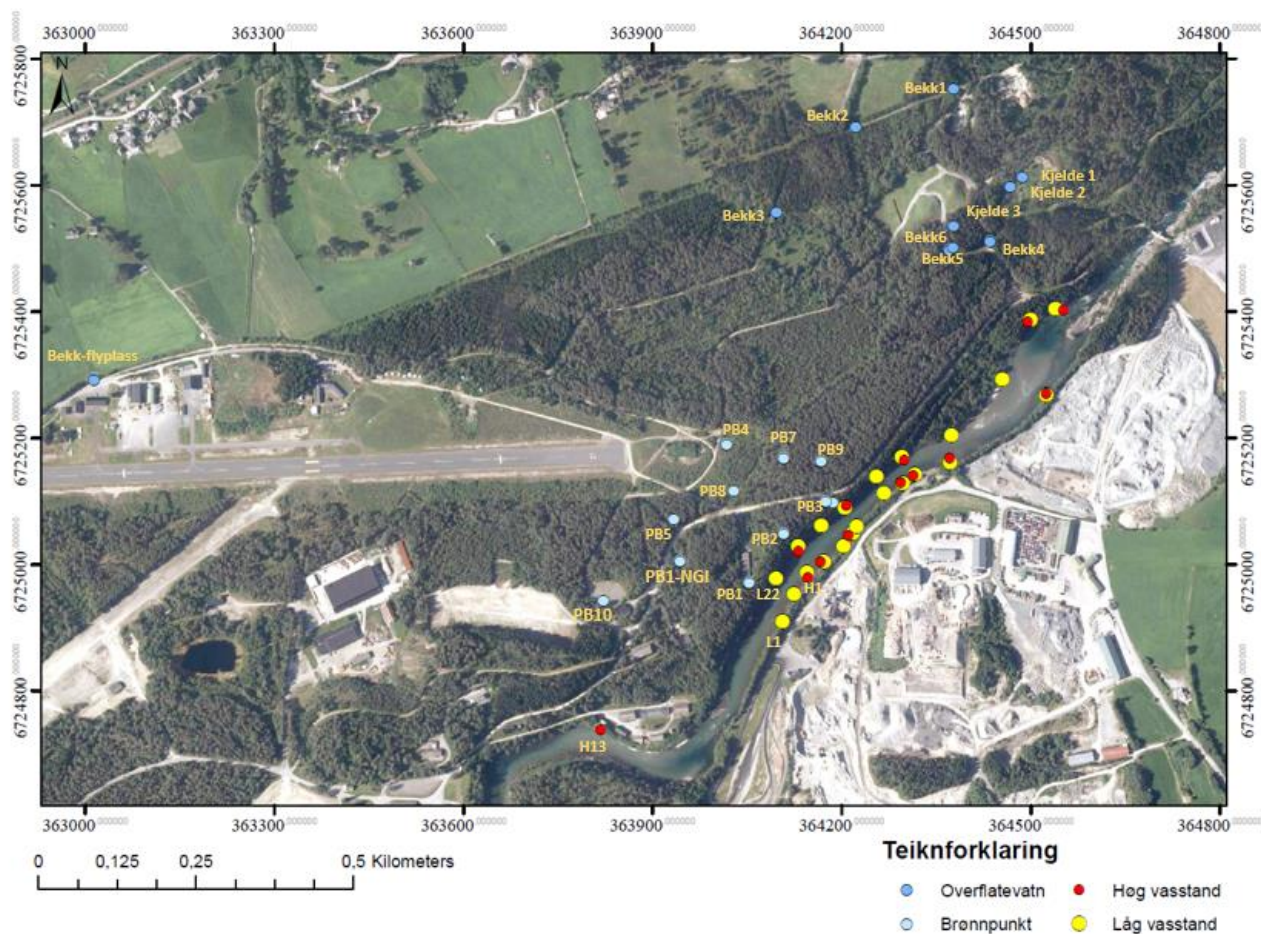
Antimon

For antimon er det berre ein brønn der konsentrasjonen av antimon er over deteksjonsgrensa på 0,02 µg/l, og det er i B3. Her er det ein konsentrasjon på 0,03 µg/l. Grensa for antimon i drikkevassforskrifta (2016) er på 5,0 µg/l, noko som viser at det er svært låg konsentrasjon av antimon i B3 og at den er godt under grensa for denne parameteren.

6.6 Elektrisk leiingsevne

Det er gjort målingar av elektrisk leiingsevne i grunnvatn og overflatevatn samt langs Raundalselvi knytt til det aktuelle området på Bømoen og Bjørkemoen (Figur 6.19). Tabell 6.3 viser målingane gjort ved høg vasstand i elva medan tabell 6.4 viser målingar gjort ved låg vasstand. Det er ikkje gjort målingar på nøyaktig same plass ved dei to tilfella, då det var spesielt vanskeleg å ta seg fram ved elva ved høg vasstand. Tabell 6.5 viser verdiane frå grunnvatn på Bømoen og Tabell 6.6 viser verdiane i overflatevatn på Bømoen.

Tabell 6.3 viser at elektrisk leiingsevne er svært låg og omtrent lik langs begge sider av elva ved høg vassføring. Ved Bjørkemoen er det målt høg elektrisk leiingsevne i vatn som vert tilført elva via eit røyr (sjå delkapittel 6.2.5). I det vatnet blander seg med elva er verdiane ikkje noko særleg høgare enn resten av verdiane langs elva. Dei høge verdiane er markert med blått i Tabell 6.3.



Figur 6.19: Figuren viser ei oversikt over dei ulike målepunkta for elektrisk leiingsevne på Bømoen og Bjørkemoen. For høg og låg vasstand er det skilt med røde og gule punkt, der målingar ved høg vasstand er gjort i august, medan målingane ved låg vasstand er gjort i oktober. Dei røde og gule punkta er ikkje markert med namn på figuren bortsett frå startpunktet og sluttpunktet. I mellom desse punkta går det i stigande rekkefølge. Begge seriane startar på Bjørkemoen og sluttar på Bømoen. Flyfoto frå Norge i Bilder (2017).

Tabell 6.3: Oversikt over målingar av elektrisk leiingsevna og temperatur langs Raundalselvi ved høg vasstand. Det vart gjort målingar 5. august langs elva på Bømoen sida (H8-H13), medan det vart gjort målingar på Bjørkemoen sida 6. august (H1-H7). H5 er same plass som L10 i Tabell 6.4.

Punkt	Elektrisk leiingsevne i ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
H1	8,4	11,5
H2	8,4	11,5
H3	10,5	11,5
H4	11,5	8,7
H5 utsleppsvatn	576	17,7
H5 i elv utanfor	11,5	11,6
H6	7,8	11,5

H7	7,9	11,5
H8	7,0	11,6
H9	7,0	11,5
H10	7,3	11,6
H11	7,3	11,6
H12	7,8	11,7
H13	7,4	11,9

Tabell 6.4: Tabellen viser ei oversikt over målingar av elektrisk leiingsevne når vasstanden er låg i Raundalselvi. Målingane vart utført den 9 oktober. Høge verdier er markert med blått i tabellen.

Punkt	Elektrisk leiingsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
L1	28,4	3,3
L2	34,5	3,4
L3	19,3	3,4
L4	20,8	3,4
L5	25,3	3,5
L6	34,6	3,4
L7 (oppkoma av grunnvatn)	477	6,4
L7 (i møte med elv)	145,6	4,1
L8	21,8	3,4
L9	27,4	3,4
L10 (utlaup)	400	16
L10 (i møte med elv)	117,5	8,0
L11	12,4	3,2
L12	14,8	3,3
L13	11,5	3,6
L14	11,5	3,1
L15	11,5	3,4
L16	12,6	6,0
L17	11,5	3,3
L18	12,4	3,4
L19	12,3	3,6
L20	13	3,6
L21	12,3	3,4
L22	18,7	3,6

Tabell 6.4 viser at elektrisk leiingsevne er høgare ved låg vassføring. Som for målingane gjort ved høg vassføring er verdiane lågast og omtrent lik langs elva på Bømoen sida. Den siste målinga i tabellen er markert med gult, og den er tatt rett etter avlaupet der dei slepp ut grunnvatn pumpa opp frå B4 og B6. Det er den høgaste målinga målt langs elva på Bømoen sida. På Bjørkemoen sida er det generelt ein litt høgare elektrisk leiingsevne enn på Bømoen sida av elva. Det er òg målt svært høg elektrisk leiingsevne i eit par punkter der det vert tilført vatn til Raundalselvi. Det eine punktet er eit røyr som tilfører vatn til elva (punkt L10) same punkt som H5. I det vatnet blandar seg med elva er verdiane ikkje noko særleg høgare enn resten av verdiane langs elva. Det er òg målt nokre høge verdiar der det kjem vatn opp mellom steinane langs elvebotn. Her er det eit tydeleg område med misfarging og vatnet har høgare verdiar enn elvevatnet (punkt L7). Det kan sjå ut til at oppkomme og utsleppet påverkar vatnet eit lengre stykke nedover, når det er låg vasstand, men at det framleis ikkje har noko påverknad på vatnet på Bømoen sia.

Tabell 6.5: Oversikt over den elektriske leiingsevna og temperatur i dei ulike brønnpunkta på Bømoen. Kvar dei ulike målingane er teke kan ein sjå i Figur 6.18. Målingane vart gjort den 3. august 2017. Verdien som skil seg mykje ut er markert i blått.

Brønn	Elektrisk leiingsevne $\mu\text{S}/\text{cm}$	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
PB1	89,2	6,2
PB2	246	6,7
PB3	36,4	5,5
PB4	43	6,9
PB5	66,1	6,8
PB7	44,4	7
PB8	43,7	6,9
PB9	40,5	6,8
PB10	60,4	6,9
NGI PB1 E	68,7	6,8

Det er òg målt elektrisk leiingsevne i alle observasjonsbrønnane på Bømoen. Desse resultatane er vist i tabell 6.6. Ut i frå den tabellen kan ein sjå at det er i hovudsak låg elektrisk leiingsevne i alle brønnane utanom PB2, som har ein tydeleg høgare leiingsevne enn dei andre. Leiingsevna i grunnvassbrønnane er høgare enn den elektriske leiingsevna generelt i

elva. PB3 skil seg litt ut frå dei andre med ein litt lågare temperatur. PB1 har ei litt høgare leiingsevne enn dei andre brønnane, bortsett frå PB2, og noko lågare temperatur.

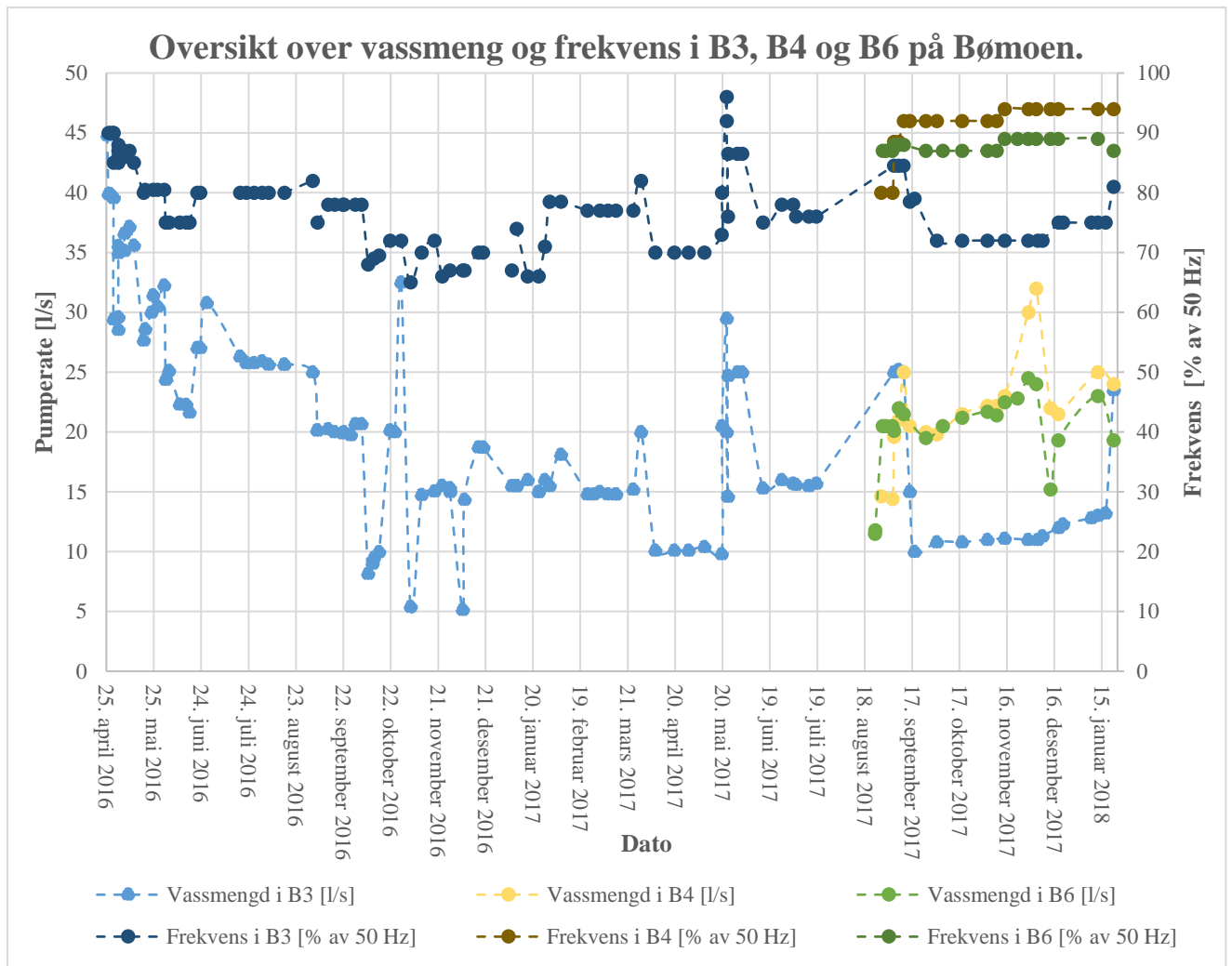
Tabell 6.6: Oversikt over målingar av elektriske leiingsevne og temperatur i overflatevatn og der det kjem opp grunnvatn naturleg. Målingane vart utført på tre ulike dagar. 4. august vart det målt elektrisk leiingsevne i Kjelde 1- Kjelde 3 og Bekk 1-Bekk3. 5. august vart det gjort måling i Bekk-flyplass. 7. august vart det gjort målingar i Bekk4 - Bekk6. Målingane markert i blått skil seg ut.

Prøvepunkt	Elektrisk leiingsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
Kjelde 1	86,4	6,8
Kjelde 2	69,7	5,4
Kjelde 3	68,5	5,9
Bekk 1	83,7	11,7
Bekk 2	116,0	11,7
Bekk 3	97,6	11,8
Bekk-flyplass	107,1	12,4
Bekk 4	85,7	10,4
Bekk 5	92,5	6,9
Bekk 6	64,9	6,9

Tabell 6.6 viser den elektriske leiingsevna i overflatevatn og oppkomer med grunnvatn på Bømoen. Det er nokre verdiar som skil seg litt ut frå dei andre. I Bekk 2, Bekk 3 og Bekk-flyplass er verdiane for leiingsevna nær eller over 100. Dei er plassert i bekkar i grensa mellom skog og dyrka mark (Figur 6.19). Temperatur i Bekk1-Bekk4 og bekk flyplass har ein litt høgare temperatur enn det grunnvassbrønnane har, men er ganske lik den i elva som er målt på omtrent same tid (høg vasstand).

6.7 Pumpekapasitet i B3, B4 og B6

Voss kommune starta å pumpa i B3 i slutten av april 2016, medan dei starta å pumpa i B4 og B6 i slutten av august 2017. Dei har logga utpumpa vassmengd og frekvensen på pumpene. Det har vore litt endringar i kor mykje vatn det har blitt pumpa i dei ulike brønnane og kva frekvens pumpa er sett til, dette er vist i Figur 6.20. Variasjon i B3 er i hovudsak for å sjå etter endring i mangankonsentrasjon ved ulike uttaksmengder. B3 skal kanskje ikkje nyttast til drikkevassuttak, då det er eit problem med høgare konsentrasjonar av mangan og jern enn ønskeleg.



Figur 6.20: Grafen viser kor mykje vatn som er pumpa med kva frekvens for dei ulike brønnane.

6.8 Hydraulisk trykkhøgde

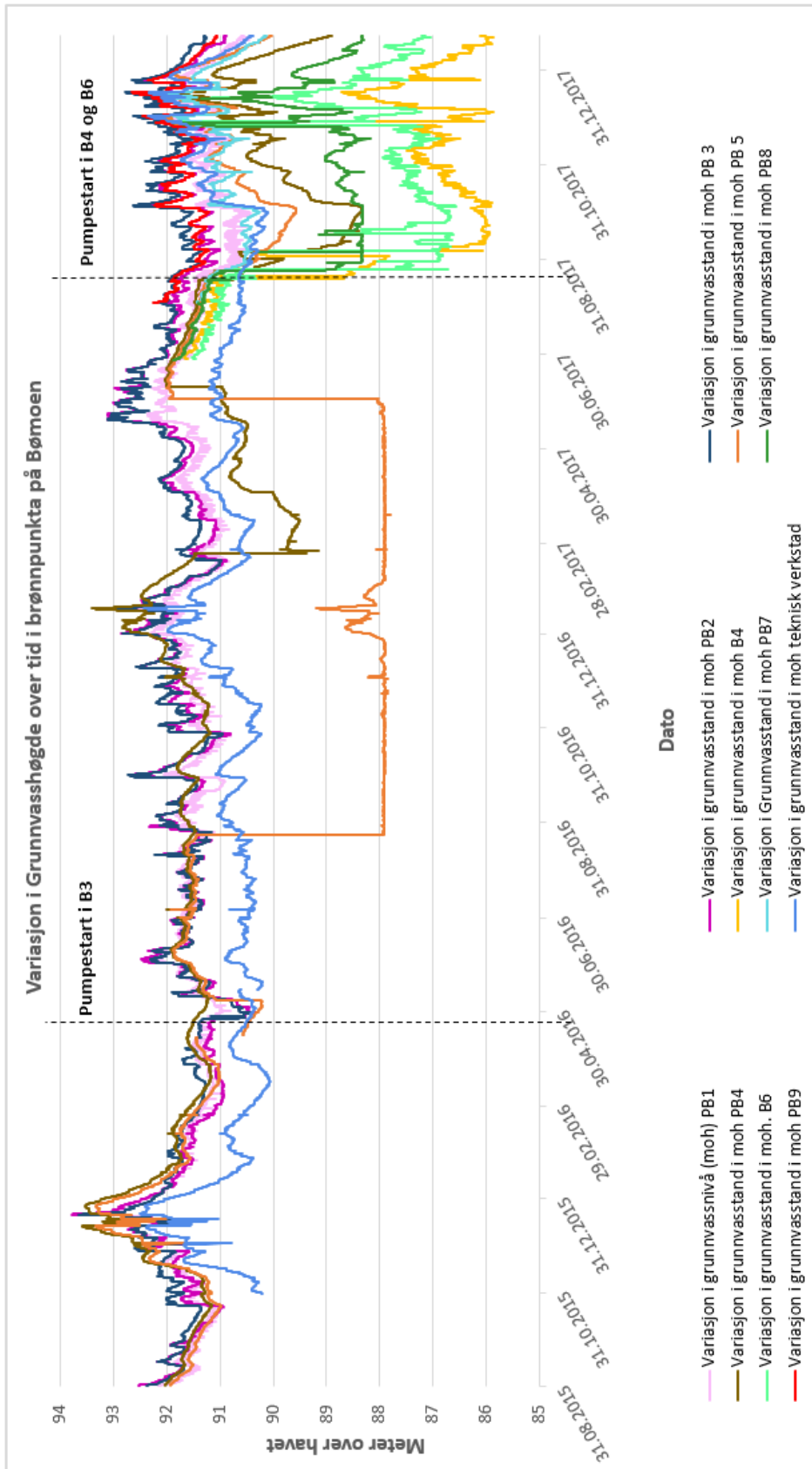
Endringa i den hydrauliske trykkhøgda i dei ulike brønnpunkta på Bømoen er vist i Figur 6.21. Det har vore utført logging sidan 31.08.2015 og det går føre seg logging framleis. Denne serien sluttar i slutten av januar 2018, då det var siste tur i felt for avlesing av dataloggarar. Ut i frå grafen kan ein sjå at det er relativt lik trend i stort sett alle brønnane på Bømoen. I byrjinga av grafen kan ein og sjå at grunnvasshøgda i dei ulike brønnane er ganske lik, bortsett frå teknisk verkstad, som har ein litt lågare grunnvasshøgde. Det vart lagt ut litt fleire dataloggarar i juli 2017 og ein kan sjå at dei ligg på omkring same grunnvasshøgde som dei andre. Det er og ein topp i grunnvasshøgda rundt desember/januar, noko ein kan sjå i 2015, 2016 og 2017.

Det er starta å pumpa i 3 brønnar i måleperioden. B3 i 2016 og i 2017 i B4 og B6. Når det vart starta å pumpa i B3, kan ein sjå litt endring i PB3 og PB2 før dei går tilbake til normal høgde

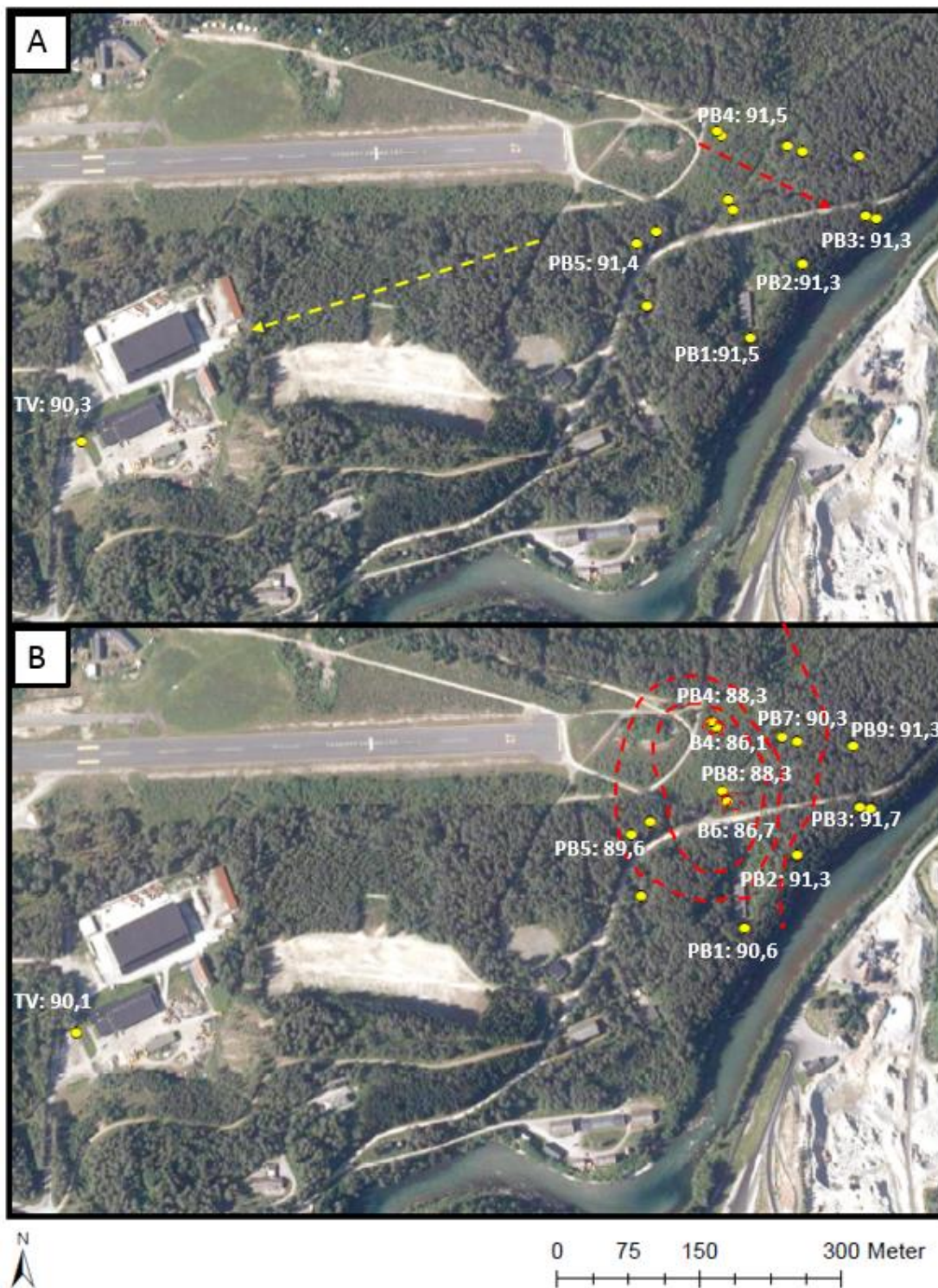
igjen og følgjer hovudtrenden. Pumpinga i denne brønnen ser ikkje ut til å påverka dei andre brønnane i noko særleg grad. Då det vart starta å pumpa i B4 og B6 i slutten av august 2017, er det større endring i grunnvasshøgda i nokre brønnar, men dei følgjer ein hovudtrend sjølv om der er større variasjon i grunnvasshøgda. Det er størst variasjon i dei to brønnane det er begynt å pumpa i (B4 og B6), men det er ein tydeleg påverknad på dei to observasjonsbrønnane som ligg tettast inntil (PB 4 og PB8). Det er mindre endringar i høgda i PB5, PB1 og PB7. I PB2, PB3 PB9 og teknisk verkstad ser ikkje påverka ut av at det er byrja å pumpa i dei to nye brønnane.

I PB5 kan ein sjå at det er ein hurtig «fall» i grunnvasshøgda i slutten av august 2016. Den låge grunnvasstanden held seg omtrent på same nivå, utanom ein topp, som samsvarer med hovudtrenden i dei andre brønnane. Etter dette området på grafen der grunnvasstanden er lågare i PB5, går den tilbake til normalen og følgjer same trend som i dei andre brønnane att i byrjinga av juni 2017. I PB4 kan ein sjå ei liknande hending, men der er fallet i grunnvasstanden mindre og hovudtrenden er synleg heile vegen i tidsintervallet der grunnvasstanden plutsleg søkk i slutten av februar 2017 og så går tilbake til normalen i byrjinga av juni. Desse målingane vert det sett bort frå då ein trur det skuldast knute på tau eller liknande som har gjort at loggarane ikkje ligg på same nivå som resten av måleperioden.

Ved utrekning av lengda på tauet til loggarane kan ein sjå at det er stor variasjon i nokre brønnar når det kjem til den utrekna loggarhøgda. Dei målingane det er gjort utrekningar for er gjort frå juni 2017 til januar 2018 (sjå Vedlegg B), der det er to til tre målingar gjort i dei ulike brønnane. Dette er med på å gi ein mindre nøyaktigheit for dataene i desse brønnane. Dei brønnane med størst variasjon er PB1, PB2, B4, B6 og PB9. Når grunnvasshøgda er rekna ut basert på gjennomsnittet, vil grafen visa for låg grunnvasshøgde ved den første (juni 2017) og den siste målinga (januar2018) og for høg vasstand ved den målinga gjort i august (2017) for PB1. Dette er òg den brønnen med størst variasjon i utrekna loggarhøgde (kvar loggaren er plassert i brønnen i m o.h.), der variasjonsbreidda er på 71 cm. For PB2, B6 og PB9 vert det vist litt for høg vasstand i målingane gjort i juni og august 2017, medan det syner for låg grunnvasstand i dei andre målingane i forhold til gjennomsnittet. For B4 er det motsett òg her vil ein få for låg grunnvasstand i august og september 2017 medan i januar 2018 vil det vera høgare grunnvasstand enn vist i grafen. Sjølv om grunnvasstanden ikkje er heilt nøyaktig får det fram trendane i alle brønnane.



Figur 6.21: Den hydrauliske trykkehøgda for dei ulike brønnpunkta på Bømoen er vist i figuren. Det er òg markert når det vart satt i gang med å pumpa i B3, B4 og B6 starta.



Figur 6.22: Dei to illustrasjonane viser kvar vatnet vil strøyma ut i frå høgda på grunnvatnet i ulike målepunkt på Bømoen. Alle tala er oppgitt i m o.h. og TV står for teknisk verkstad. Elva er tenkt til å ha høgda der det går frå elvebotn til vegetasjon, som er på 91 m o.h. A. viser korleis vatnet strøymar ved pumping i B3 (25.07.2016). B. viser korleis vatnet strøymar ut i frå grunnvasshøgda i dei ulike brønnpunkta ved pumping i B3, B4 og B6 (01.10.2017). Høgdekoter i det samanhengande grunnvassspeilet har ein avstand på 1 meter.

Det er laga eit par oversiktsbileter over vasshøgda i brønnane for å seia noko om korleis vatnet strøymer i akviferen når det vert pumpa i brønnane. Høgdeknotene for grunnvassspeilet er trekt omtrentleg i oversiktsbileter for å gi eit inntrykk av kva veg vatnet strøymer. Det er laga eit for når berre B3 vert pumpa og eit når det er starta pumping i B4 og B6 i tillegg (Figur 6.22). Karta er laga ut i frå høgda funne ved hjelp av gjennomsnittss grunnvasshøgda i brønnane. I del A av figuren kan ein sjå at det er eit ganske jamn høgda i brønnane på området til kommunen (PB3 og PB2 har lågast grunnvassnivå), og vasshøgden indikerer at vatnet strøymer mot teknisk verkstad, men at det kan vera litt som trekk mot PB3. I Figur 6.22B kan ein i større grad sjå at brønnane vert påverka av pumping i B4 og B6 enn når det berre var pumping i B3. I denne delen av figuren ser ein at det er det blir trekt meir vatn frå området rundt, og ikkje i hovudsak elva, slik det ser ut når dei pumpar i berre B3. Korleis strøymingsmønsteret vert i forhold til teknisk verkstad er vanskelig å seie, då det kan vera eit vasskille mellom den og brønnane på kommunen sitt område, men det kan vera at det vert trekt litt meir vatn frå denne retninga eller det kan vera på grunnlag av at det er målt på to ulike årstider, og det naturleg vil vera ein lågare vasstand i B enn A ved teknisk verkstad.

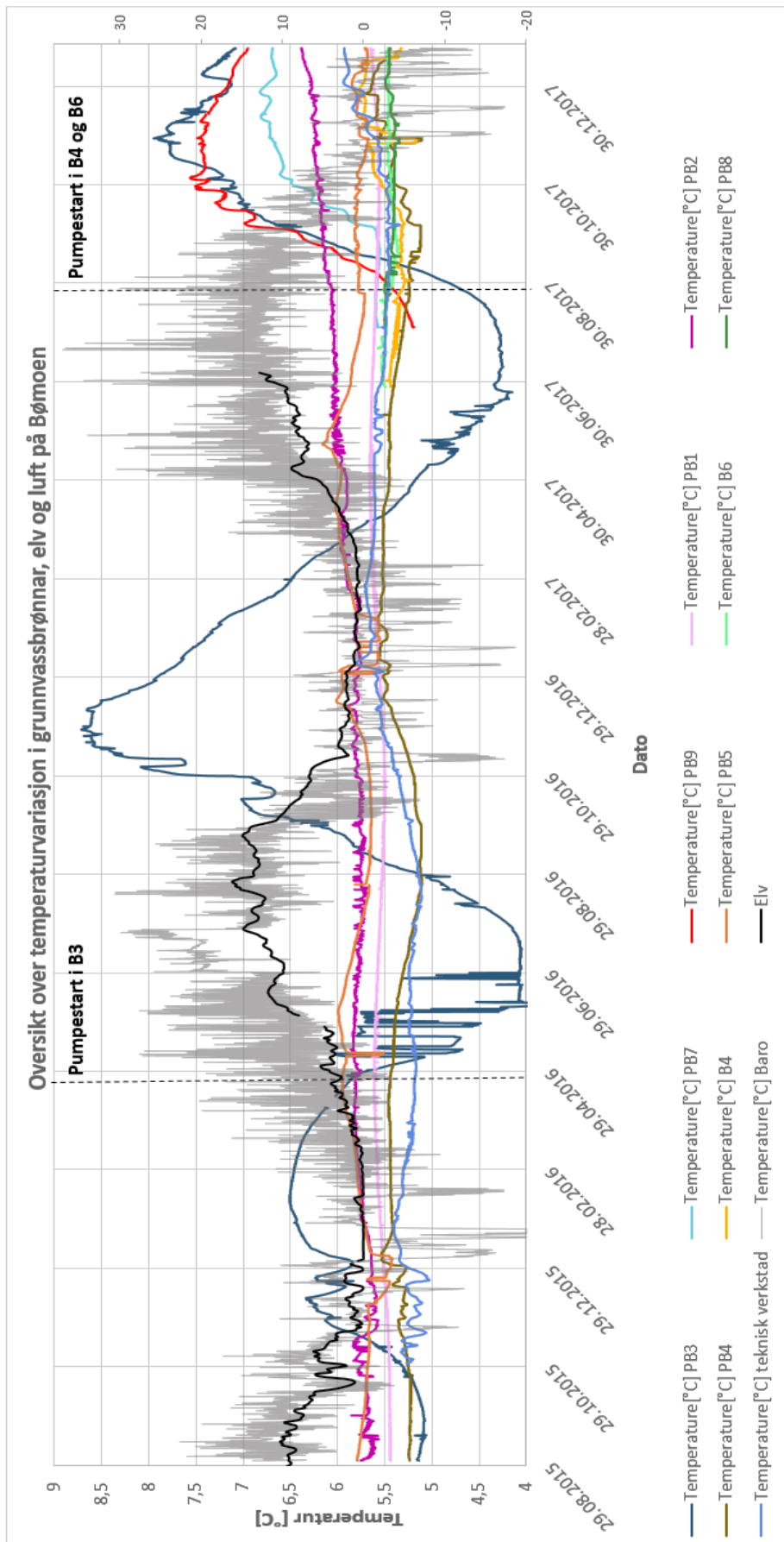
6.9 Vasstemperatur

Variasjonen i temperatur i dei ulike brønnane på Bømoen er framstilt saman med vasstemperaturtemperaturen i elva og lufttemperaturen på Bømoen, Figur 6.23. Grafane viser at det er store variasjonar i temperaturen i brønn PB3 gjennom heile perioden. PB 9 og PB7 ser og ut til å ha ein stor variasjon i temperatur, sjølv om dei har ein kortare måleperiode, og dei ser ut til å viser ein topp i temperaturmålingane rundt same tidspunkt som PB 3. Store svingingar i temperatur kan tyde på at desse brønnane er meir påverka av elva, då dei viser ein liknande trend som elva med forseinking. Sjølv om det er tydelegast sesongvariasjon i B3, PB7 og PB9 er det sesongvariasjonar i dei andre brønnane òg. I PB2 er det ikkje lett å sjå ein sesongvariasjon då temperaturen har ein svak stigning i temperatur i brønnen frå oktober 2016 til avslutta måling i januar 2018. Det ein kan sjå ut i frå byrjinga av måleperioden er at PB2 har ein delvis korrelasjon med sesongvariasjonen i PB1, men at den er litt høgare.

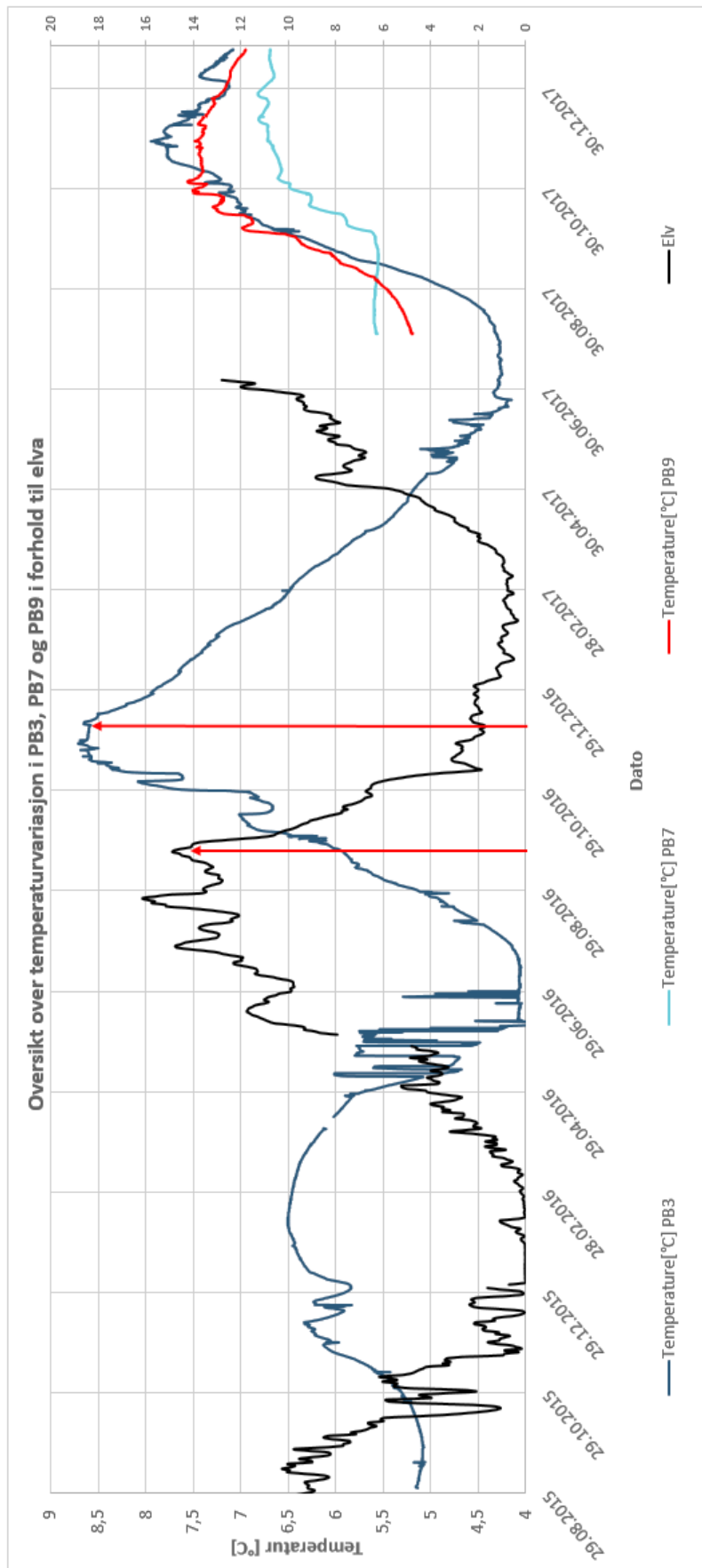
For å få eit klarare bilete av dei ulike variasjonane og opphaldstida i forhold til elva er det lagt fram ein graf for dei brønnane med stor variasjonsbredde i temperatur (Figur 6.24) og eit par grafar for dei med mindre variasjonsbredde (Figur 6.25 og Figur 6.26). I dei grafane er det og vist korleis ein estimerer opphaldstida til vatnet mellom elva og dei ulike brønnane. Det er

ikkje alle brønnane det har vore mogeleg å finna opphaldstida til i forhold til elva, då det er korte måleperiodar i dei og elva sin måleperiode ikkje går så langt. Det er tatt høgde for elva sin topp i 2016 for å finna ein omtrentleg opphaldstid med temperatur og det er nytta punktet der grafen byrjar å søkke igjen. Brønnane det er funne opphaldstid til er PB1, PB3, PB4 og PB5 med denne metoden. Det er PB3 som har den kortaste opphaldstida med omkring to og ein halv månadar, dersom ein tar utgangspunkt i der grafen byrjar å søkke i 2016 (sjå piler i Figur 6.23). Dersom ein tar utgangspunkt i det punktet der grafen byrjar å stige for elva og for PB3 får ein ei opphaldstid på nesten 5 månadar. Ein kan ikkje finne opphaldstida for PB7 og PB9, men dei ser ut til å ha ein topp på omtrent same tidspunkt så PB3. PB9 er på sitt varmaste i november og PB7 er på sitt varmaste i slutten av desember, noko som er omtrent då PB3 er varmest som er rundt november-desember i 2017. PB 4 har ei opphaldstid på 6,5 månadar, dersom ein ser ut frå når grafen byrjar å søkke, men det er litt vanskeleg å fastsetta. Dermed er det òg sett på den første toppen til elva som ser ut til å samsvara med PB4 (sjå blå piler i Figur 6.25), og då får ein 6 månadar. Ut i frå det kan ein seie at opphaldstida er rundt 6 månadar. PB1 har ein sesongvariasjon på under 0,3 °C og ei opphaldstid på omkring 7,5 månadar. Den brønnen vatnet frå elva når siste er PB5 og her er opphaldstida på omkring 8 månadar.

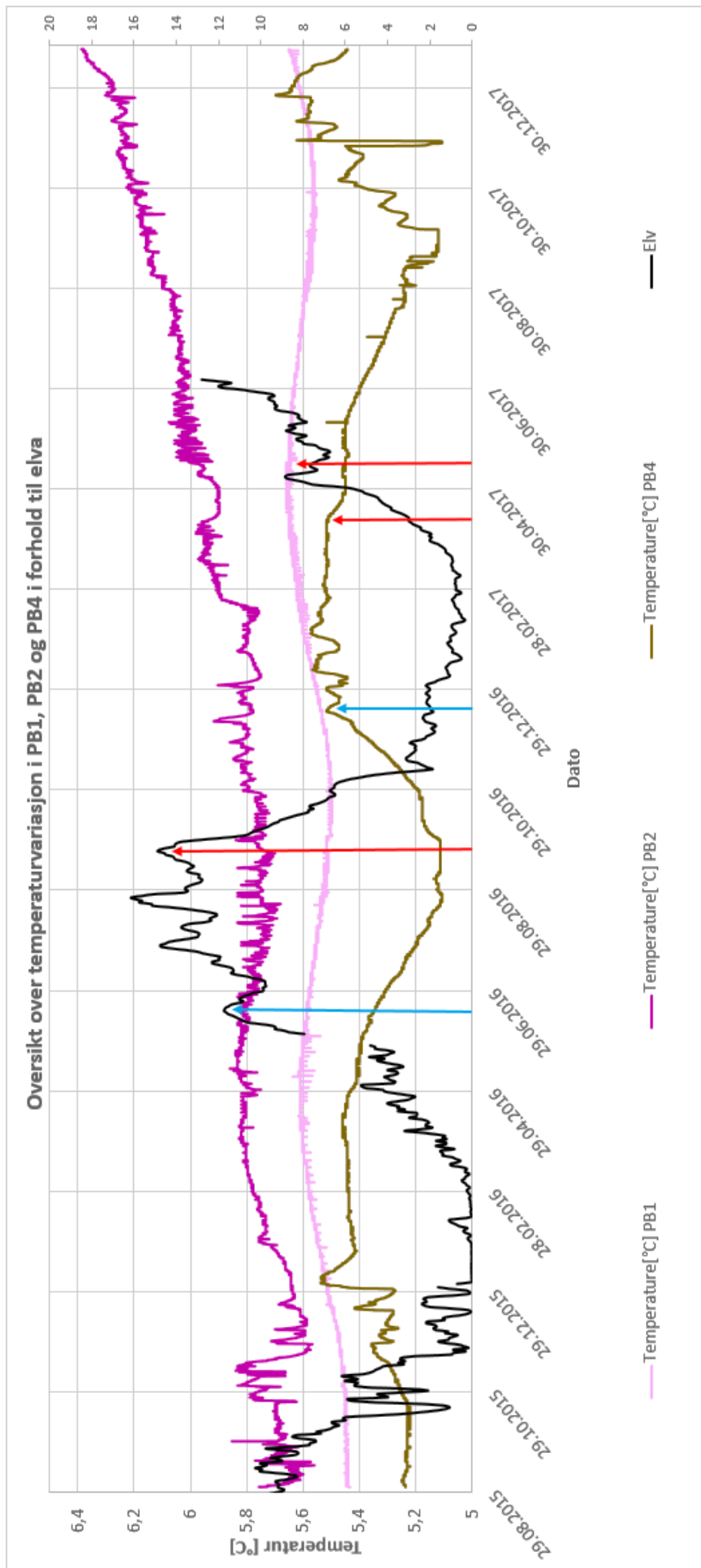
For perioden opphaldstida er berekna for var det berre B3 som blei pumpa. I etterkant av pumpestart i B4 og B6 kan ein sjå at trendane i ein del av brønnane går gjennom ein endring, noko som kan tyda på at strøymingsmønsteret og opphaldstida kan vera inne i ein endring når det er pumping i desse brønnane òg.



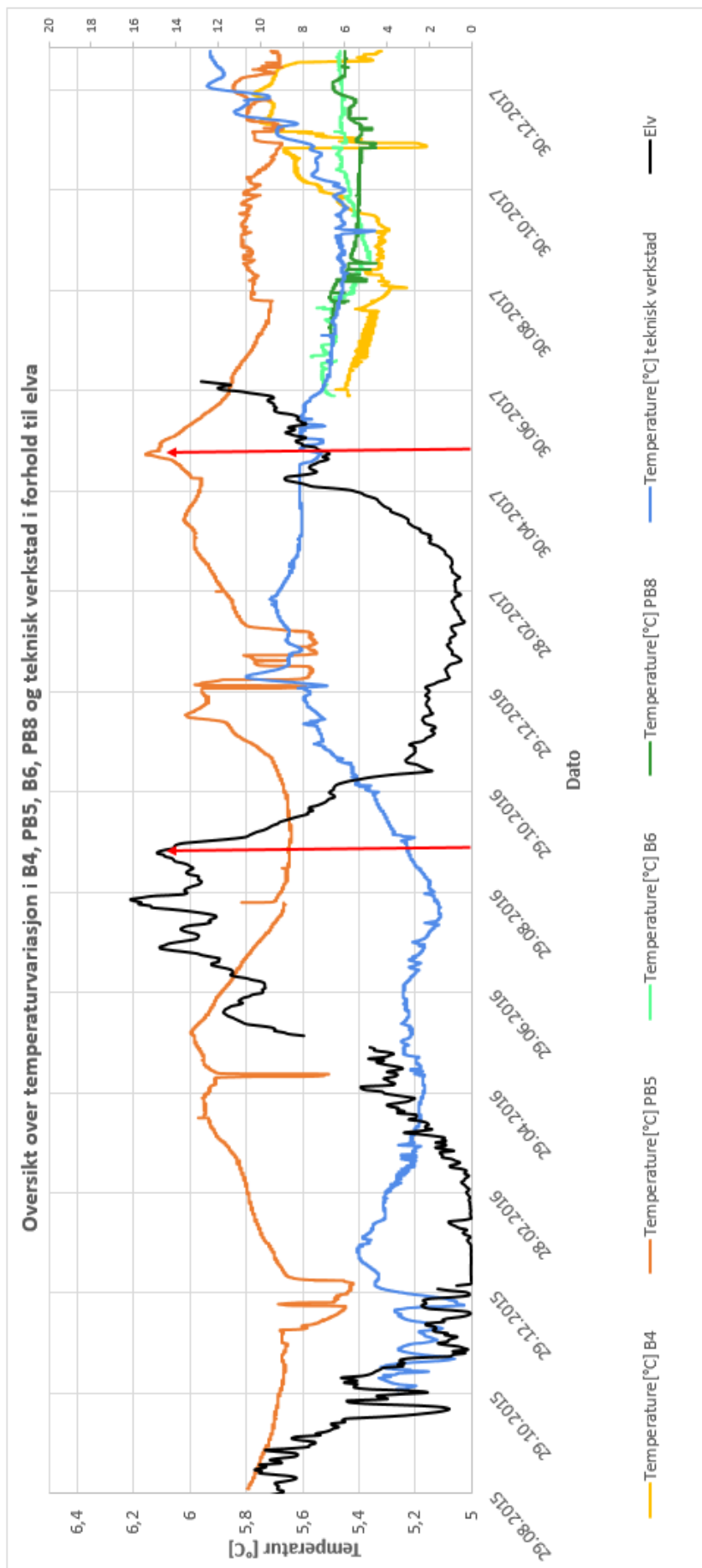
Figur 6.23: Grafane viser ei oversikt over temperaturen i dei ulike brønnpunkta, luft og elva (målt ved målestasjon Raundalselvi ovf. Strondaelvi). Elv- og lufttemperatur er vist på sekundæraksen i grafen. For elva er ikkje temperaturmålingane lengre enn til juni 2017, medan i brønnane er den målt fram til januar 2018.



Figur 6.24: Viser korleis temperaturen varierer i PB3, PB7, PB9 og i elva. Elva er vist på den sekundære aksene. Dei røde pilene i grafen viser toppunkt for elva og PB3 og dei er vidare nytta til å finna opphaldstida mellom elva og PB3.



Figur 6.25: Grafen viser ein oversikt over temperaturendringar i PB1, PB2, PB4 og i elva. Elva er vist på sekundæraksen. Røde piler viser der grafen byrjar å søkke, medan dei blå pilene viser ein topp på elva som samsvarer med ein topp i PB4.



Figur 6.26: Grafen viser variasjon i temperatur i prøvepunkta B4, B6, PB5, PB8 og teknisk verkstad i forhold til elva. Dei røde pilene viser punktet på grafen der den byrjar å søkke igjen etter eit toppunkt i elva og PB5. Ut i frå avstanden finn ein opphaldstida til vatnet mellom dei to punkta.

6.10 Utrekning av opphaldstid

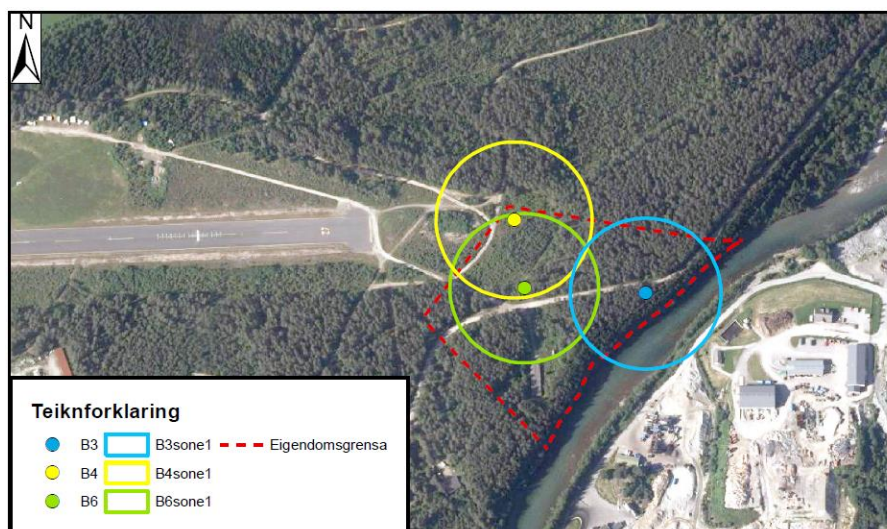
For å etablere ein tryggingsplan er det tradisjonelt sett ei grensa på 60 dagar opphaldstid i metta sone frå ytterkant av sone 1 inn til uttak av vatn. Her er det vist utrekning for B3, B4 og B6, der ein finn grensa på 60 dagar. For å finna r , som er radiusen frå brønnen ein trekk vatn frå er formelen under nytta. Der sett ein inn kor mykje vatn som vert pumpa ut i løpet av 60 døgn (Q_{60}), mektigheita til metta sone (M) og effektiv porøsitet (n_e).

$$r = \sqrt{\frac{Q_{60}}{\pi * M * n_e}}$$

Q_{60} er gjennomsnittet av pumpemengda sidan dei starta å pumpa i dei ulike brønnane. Det er gjort slik for alle brønnane sjølv om det ikkje er sikkert dei kjem til å pumpa så mykje eller i det heile i B3. For B4 og B6 passar gjennomsnittet godt med det dei ønsker å ta ut frå dei to brønnane som er omtrent 40 l/s. Ut i frå utrekningane vist i Tabell 6.7 er det svært liten forskjell på dei utstrekninga av dei ulike sonene sjølv om det er litt forskjell i uttaksmengda.

Tabell 6.7: Tabellen viser ei oversikt over utrekninga av radiusen ut frå brønnen der vatnet vil nå pumpa på 60 døgn. Det er nytta gjennomsnitt av logga vassuttak frå brønnane og ein mektigheit lik metta sone som er satt til 15 m. Den effektive porøsiteten er satt til 0,3.

Brønn	Mengd vatn l/s	Mengd vatn, Q (m ³ /s)	Mengd vatn per 60 døgn, Q ₆₀	r (m)
B3	20,5	0,0205	106116,5	87
B4	22,1	0,0221	114721,9	90
B6	20,2	0,0202	104509,4	86

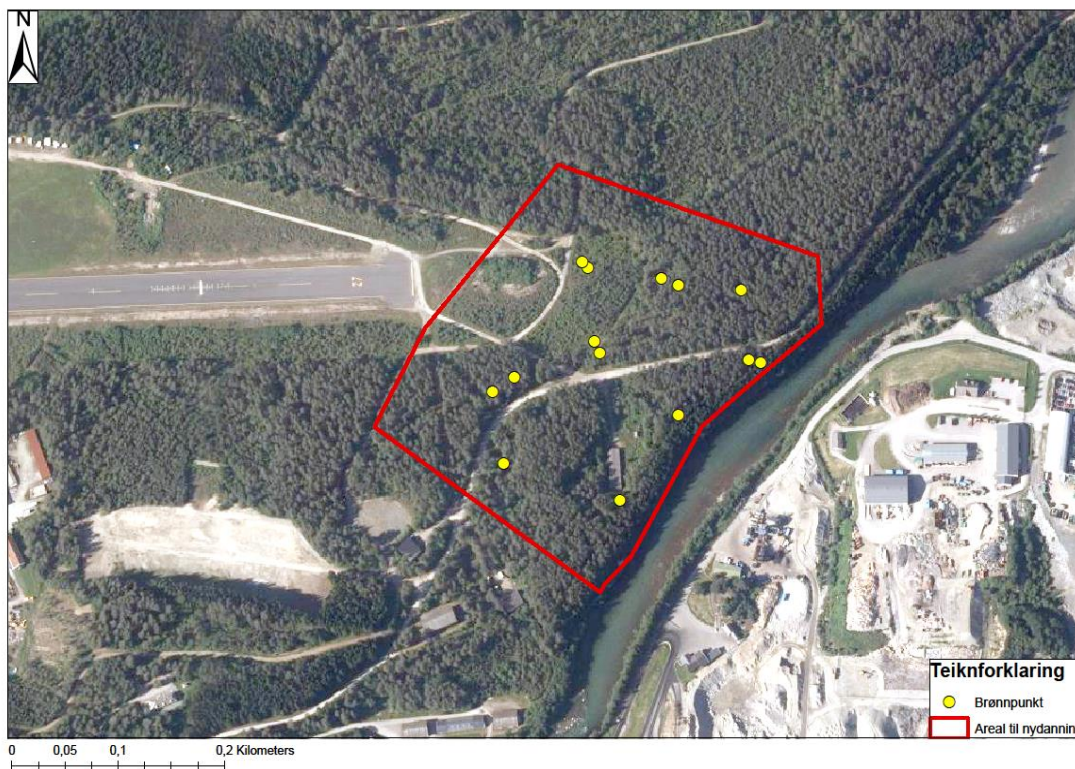


Figur 6.27: Oversiktsbilete over sonegrensene for sone 1 ut i frå B3, B4 og B6. Flyfoto frå Norge i Bilder.

Sonegrensene til sone 1 er illustrert i Figur 6.27. Her kan ein sjå at sonegrensa for sone 1 strekk seg utover eigedomsgrensa til Voss kommune. Resultatet lagt fram her er basert på at det er radiell strøyming i området.

6.11 Vassbalanseutrekning for Bømoen

Det er rekna ut kor mykje nydanning som skjer i nærleiken av brønnane og arealet nytta i utrekninga er vist i Figur 6.28. Utrekningane er gjort for å finna ut kor mykje nedbør ein kan ha tilgjengeleg for nydanning i nær tilknytning til området, og med det ønska uttaket kor mykje vatn som må trekkast frå område utanfor det valte arealet og elva. Arealet er trekt litt utanfor brønnane i området, og det samsvarer ikkje med området Voss kommune eig på Bømoen (sjå Figur 6.27) For å rekna ut kor mykje nydanning av grunnvatn som kan skje, er det nytta temperaturar frå barometerloggaren på Bømoen for 2017. For nedbør er det nytta data frå nedbørstasjonen på Vossevangen frå 2017. I forhold til nedbørsdata for normalperioden 1961-1990 (sjå delkapittel 3.4) på Bømoen er dette eit vått år.



Figur 6.28: Oversikt over arealet nytta i utrekninga av nydanning i området rundt brønnane. Flyfoto frå Norge i Bilder (2017).

Tabell 6.8 viser ei oversikt over mengd vatn som kan nyttast til nydanning kvar måned og total gjennom heile året. For å rekna ut evapotranspirasjonen er det nytta Thorntwaites formel

(Thornthwaite, 1948). Utrekning av evapotranspirasjonen er vist i Vedlegg C. Nettonedbør vil seie den totale nedbøren kvar månad minus evapotranspirasjonen. Ein kan tydeleg sjå at i mai, juli, august og september er månadar, der det er mindre nedbør enn det er potensiell evapotranspirasjon, dermed vil det ikkje skje nydanning frå nedbør i denne perioden.

Tabell 6.8: Tabellen viser ei oversikt over utrekna mengd av vatn som er tilgjengeleg for nydanning, på grunn av nedbør kvar månad i nærleiken av brønnområdet. For å rekne ut dette er det nytta ei overflateavrenning på 10 %.

	Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli
Temperatur	-2,38	-1,81	1,38	4,68	11,35	12,7	14,27
Nedbør	144,2	101,0	95,5	100,8	41,6	104,5	64,3
Evapotranspirasjon	0,0	0,0	10,5	30,1	64,8	71,4	78,9
Overflateavrenning	14,4	10,1	9,6	10,1	4,2	10,5	6,4
Netto nedbør	144	101	85	71	-23	33	-15
Areal (m²)	93000	93000	93000	93000	93000	93000	93000
Tilgjengelig vatn for nydanning (m³)	12070	8454	7018	5640	-2540	2111	-1958

	August	September	Oktober	November	Desember	SUM
Temperatur	13,12	11,2	5,96	0,32	-2,47	5,7
Nedbør	50,6	54,7	263,4	221,3	237,0	1479
Evapotranspirasjon	73,4	64,0	37,1	3,0	0,0	433
Overflateavrenning	5,1	5,5	26,3	22,1	23,7	148
Netto nedbør	-23	-9	226	218	237	1046
Areal (m²)	93000	93000	93000	93000	93000	93000
Tilgjengelig vatn for nydanning (m³)	-2595	-1374	18593	18247	19837	83503

Kommunen ønsker å ta ut 8000 m³ per døgn, noko som vert om lag 2,92 millionar m³ per år. Her er det rekna ut at ved nydanning er det om lag 83500 m³, noko som vil tilsvara omtrent 3 % av det kommunen ønsker å ta ut. Dette viser at for å ta ut så mykje vatn må ein ha tilførsel frå elva og trekke vatn frå eit større området enn det som er i tett nærleik til brønnane.

7 Diskusjon

7.1 Opphaldstid og strøymingsmønster

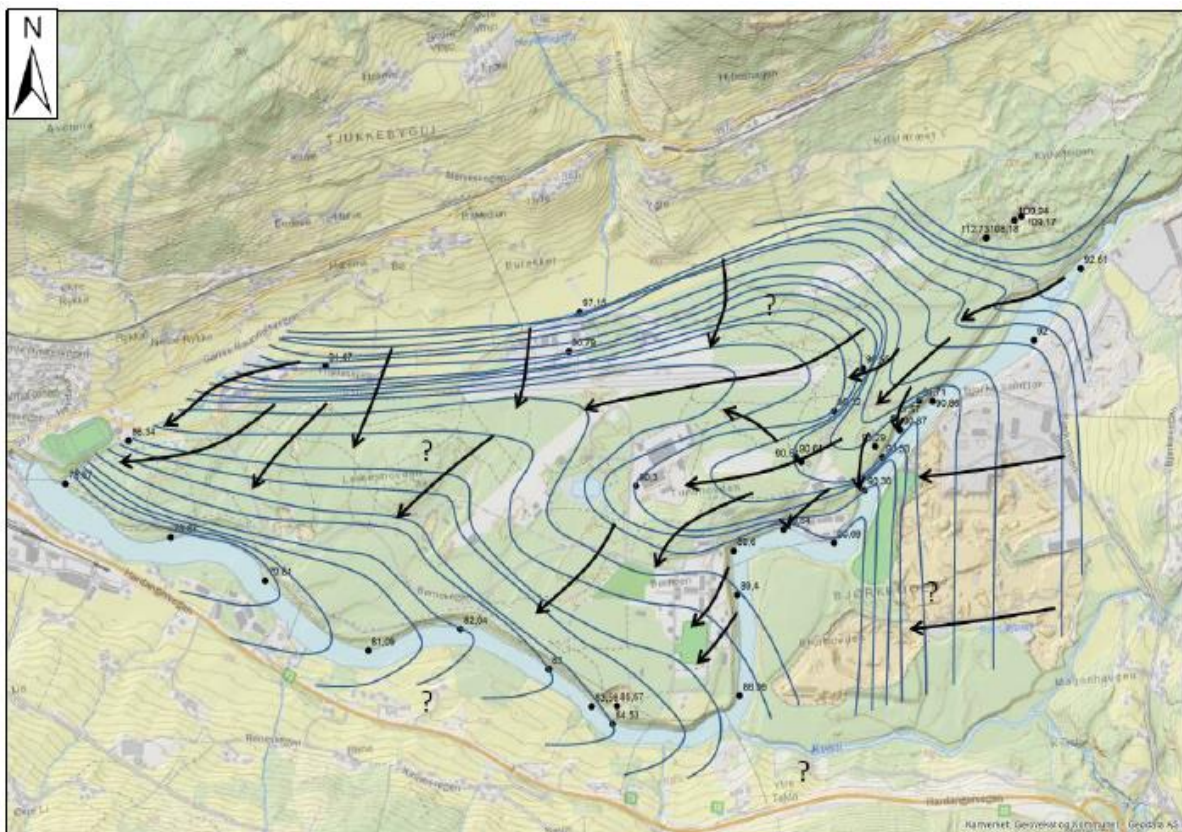
Det er fleire metodar som er nytta for å estimera opphaldstida i akviferen og ut i frå dei, er det òg prøvd å seie noko om strøymingsmønsteret i området. Strøymingsmønsteret er òg sett på ut i frå den hydrauliske trykkehøgda i dei ulike brønnpunkta i området.

Ved hjelp av oksygenisotopar, er opphaldstida for B4 og B6 satt til i underkant av 3 månadar, medan den for B3 er sett til i underkant av 4 månadar. Då B3 ligg svært nær elva, og dei to brønnane B4 og B6 ligg eit stykke lengre inne på området, er det òg unaturleg at det skal vera ein lengre periode frå elvevatn når inn til B3 enn til dei to andre brønnane. Som tidlegare nemnt, vart det ikkje teke prøve frå B3 i desember og dermed kan ein ha mista toppunktet. Dersom ein har mista toppunktet i B3 og det er samtidig som for B4 og B6, indikerer opphaldstida at vatnet ikkje kjem rett inn frå elva ved brønnområdet, men at det kjem inn lengre oppe langs elva. Dette stemmer godt overeins med Bryn (2016) sitt strøymingskart (Figur 7.1) der vatnet kjem inn ovanfor brønnområdet i elva, og dermed vil nå dei tre brønnane rundt same tid.

Ut i frå temperaturmålingane frå dei ulike målepunkta er det òg estimert ei opphaldstid i akviferen i forhold til elva. Opphaldstida funne ut i frå temperatur samsvarar ikkje heilt med den opphaldstida ein får ved hjelp av oksygenisotopar. Det er ikkje data frå dei same brønnane, men dersom ein samanliknar opphaldstida til produksjonsbrønnane (B3 og B4) med dei resultatane ein får frå observasjonsbrønnane som ligg like ved (PB3 og PB4), kan ein få ein indikasjon på korleis dei ulike opphaldstidene er i forhold til kvarandre. For PB3 får ein to ulike opphaldstider for kva punkt på grafen ein tar utgangspunkt i. Dersom ein ser på det punktet der grafen byrjar å søkke er det omtrentleg 2,5 månadar, medan ser ein på der grafen byrjar å stige er det omtrent 5 månadar. Dette samsvarer ikkje heilt med opphaldstida på i underkant av 4 månadar for oksygenisotop metoden. Dersom ein tar utgangspunkt i at B3 har mista toppunktet i desember ville det blitt ei opphaldstid på i underkant av 3 månadar for oksygenisotopar medan det vil vera omtrent 2,5 månadar med temperatur. Prøveperioden for oksygenisotopar er på hausten og vinteren 2017, medan temperaturavlesinga for å finne toppunktet er og lest av på same tidspunkt, berre det er brukt målingar for 2016. Då det ikkje er ein lengre innsamling av prøvar for oksygen, kan ein ikkje seie om det vil vera den same opphaldstida dersom ein ser på botnpunktet til oksygen og der grafen byrjar å stige, men det

kan vera at denne brønnen har to ulike opphaldstider. Dersom ein ser på opphaldstida i forhold til vassnivået i brønn PB3, kan ein sjå at i den perioden der det er ei kort opphaldstid er det ei høg vasstand i brønnen og ved den lange opphaldstida er det ein låg vasstand. Dette kan tyde på at mengda nydanning spelar inn på opphaldstida i PB3.

For PB4 er det estimert ei opphaldstid på omkring 6 månadar for temperatur, noko som ikkje samsvarer med opphaldstida for oksygenisotopar på i underkant av 3 månadar. Ein av grunnane til at det ikkje samsvarer, kan vera det faktum at det berre vart pumpa i B3 i det tidsrommet ein har estimert opphaldstida ut i frå temperatur, men når det er estimert ut i frå oksygenisotopar er det pumping i alle tre brønnane. Ved pumping i to nye brønnar kan ein tenke seg at strøymingsmønsteret og opphaldstida vert endra, og dermed kan ein få ei endra opphaldstid. Det vil òg kunne gi eit endra blandingsforhold mellom elvevatn og nedbør, då ein gjerne vil trekka meir vatn frå elva inn i akviferen ved auka pumping.

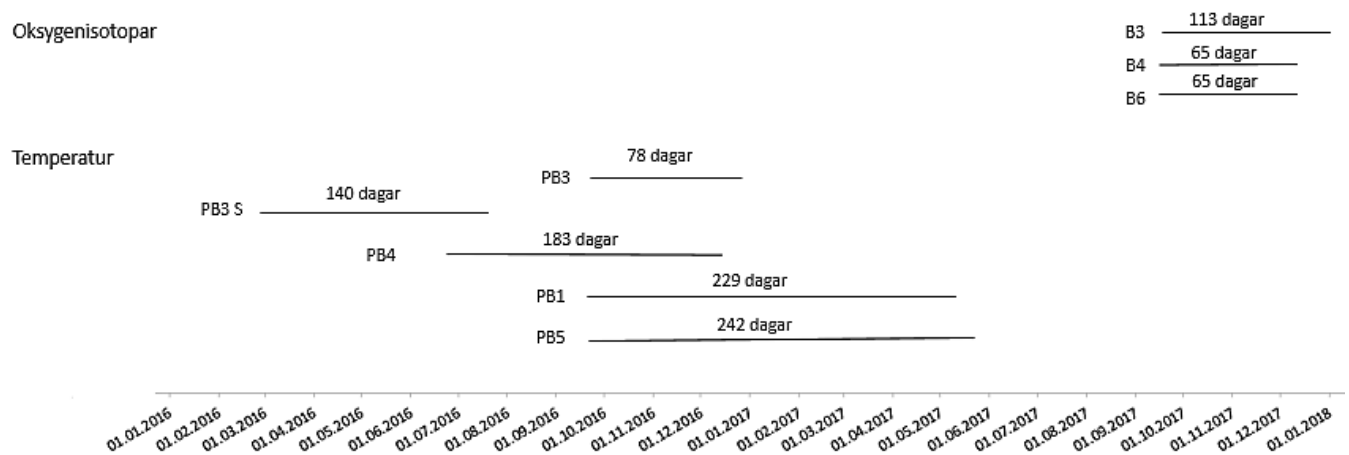


Figur 7.1: Ei oversikt over korleis strøymingsmønsteret var i området på bakgrunn av målingar gjort i elv, brønnpunkt og kvar elva gir frå seg vatn og kvar den får vatn. Figuren er henta frå Bryn (2016).

Ut i frå dei opphaldstidene, som er basert på temperaturmålingane kan ein sjå at det underbygger det at vatnet trekk inn i grunnvassførekomsten oppstrøms i elva, slik om lagt

fram i Bryn (2016) (Figur 7.1), då dei brønnane nærmast innlaupet vist i Bryn (2016) sitt strøymingskart, har kortare opphaldstid (PB4 og PB3) enn dei nedstraums (PB1 og PB5).

Henriksen et al. (1996) berekna opphaldstid basert på oksygen og temperatur i en open lausmasseakvifer i Esebotn, Sogn og Fjordane. Ut i frå den artikkelen vart det konkludert med at oksygenisotopar var den metoden som gav best resultat, men at dei resultata dei fekk var samanliknbare. Dersom ein går ut i frå at opphaldstida for B3 og PB3 vil vera ulike ut i frå om ein går ut i frå topp- eller botnpunkt, får ein ved samanlikning av toppunkt i 2016 (temperatur) og 2017 (oksygen) ei omtrentleg lik opphaldstid. Noko som kan tyde på at dei to metodane kan samanliknast. Figur 7.2 viser opphaldstidene til dei ulike brønnane ved oksygen og temperaturmålingar. Det vil òg seie at B3 og PB3 ikkje vert påverka i så stor grad av pumping i B4 og B6, sidan den ikkje får ei endring i opphaldstid. Om ein går ut i frå at det er mogeleg å samanlikna dei to metodane kan ein sjå at det omtrent er ei halvering i opphaldstid mellom elva og B4 (PB4) etter pumpestart i dei nye brønnane. Det ser òg ut til å vera ein liten auke i temperaturen i PB4 etter pumpestart, noko som kan tyde på at den vert meir påverka av elva i etterkant av pumping, noko som kan bygge opp under denne påstanden om at det er ei kortare opphaldstid og dermed meir påverking frå elva.



Figur 7.2: Oversikt over opphaldstidene til ulike brønnpunkt ved oksygen og temperaturmålingar. PB3 har to ulike tider i figuren, og PB3 S står for det punktet det er stigning i grafen ein går ut i frå. Opphaldstidene er òg oppgitt i dagar i figuren.

Det er nytta ein siste måte for å estimera ei opphaldstid i akviferen, og det er berekning av opphaldstida basert på informasjon om akviferen og uttaksmengda av vatn. Her er det lagt til grunn radiell strøyming, men ut i frå det Bryn (2016) legg fram i si oppgåve vil det meste av vatnet, dersom ein pumpar i B3, komma frå den nordlege delen av området (sjå Figur 3.8).

Det ser heller ikkje ut til å ha påverka grunnvassnivået i dei andre brønnane noko særleg når ein pumpa i berre B3. Ved pumping i B4 og B6 kan ein sjå at det påverkar området i større grad, og dei to PB1 og PB5 som ligg nedstrøms (sjå Figur 6.22). Dette kan komme frå at vatnet vert trekt meir frå dette området når ein pumpar i dei to nye brønnane eller så kan det vera redusert vasstilførsel i dei to brønnane når ein startar å pumpa i B4 og B6. Det kan tenkast at ein vil få eit liknande strøymingsområdet i B4 og B6, og at Figur 6.27 dermed ikkje viser det reelle påverka området når ein pumpar i brønnane. Det kan tenkast at tilstrøymingsområdet vil strekke seg meir mot nord, og at det ikkje vil trekkast så mykje vatn frå det området mot brønnen teknisk verkstad, men hindra ein del vatn frå å strøyme i denne retninga og slik senke grunnvassnivået i det området òg.

Det er ikkje berre opphaldstida som kan vera med på å indikera kva veg vatnet strøyer i akviferen, det er og nytta målingar av den hydrauliske trykkehøgda. Ut i frå Figur 6.21 er det tydeleg at det ikkje er veldig stor variasjon i grunnvasshøgda før pumping i brønnane og det ser ut til av vatnet strøyer i retning brønnen teknisk verkstad. I etterkant av pumping i B3, kan ein sjå litt endring i PB3 og PB2, men det er ikkje stor endring og dei går tilbake til å følgja trenden. Korleis ein kan tenke seg at vatnet strøyer ved pumping i B3 og så når ein byrjar å pumpa i B4 og B6 òg er vist i Figur 6.22. I figuren kan ein tydeleg sjå at det vil vera ein endring i korleis vatnet strøyer, og at meir vatn vert trekt mot B4 og B6. Det er òg blitt etablert senkingstrakt rundt brønnane etter pumpestart. Dette kan vera med på å underbygga den forskjellen det er i opphaldstida for vatnet mellom elva og B4 og PB4 estimert ut i frå oksygen (pumpa i alle tre brønnane) og temperatur (pumpa berre i B3). Ved danning av senkingstrakter vil det bli ein større gradient og dermed hurtigare strøyming. Dette kan skapa endring i strøymingsmønsteret i forhold til slik det er lagt fram av Bryn (2016) i Figur 7.1. Dersom det vert starta å pumpa i dei to siste brønnane (B5 og B7), kan dette vera med på å endre strøymingsmønsteret i forhold til slik det er vist i Bryn (2016) og slik det er i dag.

7.2 Vasskvalitet og ureining i området

Elektrisk leiingsevne er ein metode som vert brukt for å indikera ureiningskjelder. Den er her brukt for å få eit overordna innblikk i kvaliteten på grunnvatn og overflatevatn. Målingane på både Bømoen og Bjørkemoen viser at det er nokre plassar som skil seg ut med ein høg leiingsevne i forhold til det generelle nivået i området.

På Bjørkemoen er det målt høge verdiar for elektrisk leiingsevne to plassar langs elva. Ein der det kjem ut vatn frå eit røyr og ein plass der det kjem vatn opp mellom steinane i elvebotn, noko ein tydeleg kan sjå når det er låg vasstand i elva. Dei høge målingane ser ikkje ut til å påverka elva nedstrøms eller over på andre sida av elva til Bømoen. Dei høge målingane for dei to punkta kan tyde på at det er ureining då, dei er så høge i forhold til resten av området. Røyrret kjem frå reinseanlegget til IHM, og her viser og vassprøvene og beleggprøvene at det er ein aktiv ureiningskjelde til området. Det er blant anna påvist konsentrasjonar av PCB i belegget, som er ei stoffgruppe kategorisert som ei miljøgift, som er lite løyseleg i vatn og er bioakkumulerande i feittvevet til dyr og menneske. For det området der det kjem opp vatn mellom steinane er det ikkje gjort vassanalysar, men tidlegare arbeid viser at det er ein ureining og at det mest sannsynleg kjem frå det gamle deponiet på Bjørkemoen (Soldal, 2000; Johnsen, 2016; Bryn, 2016).

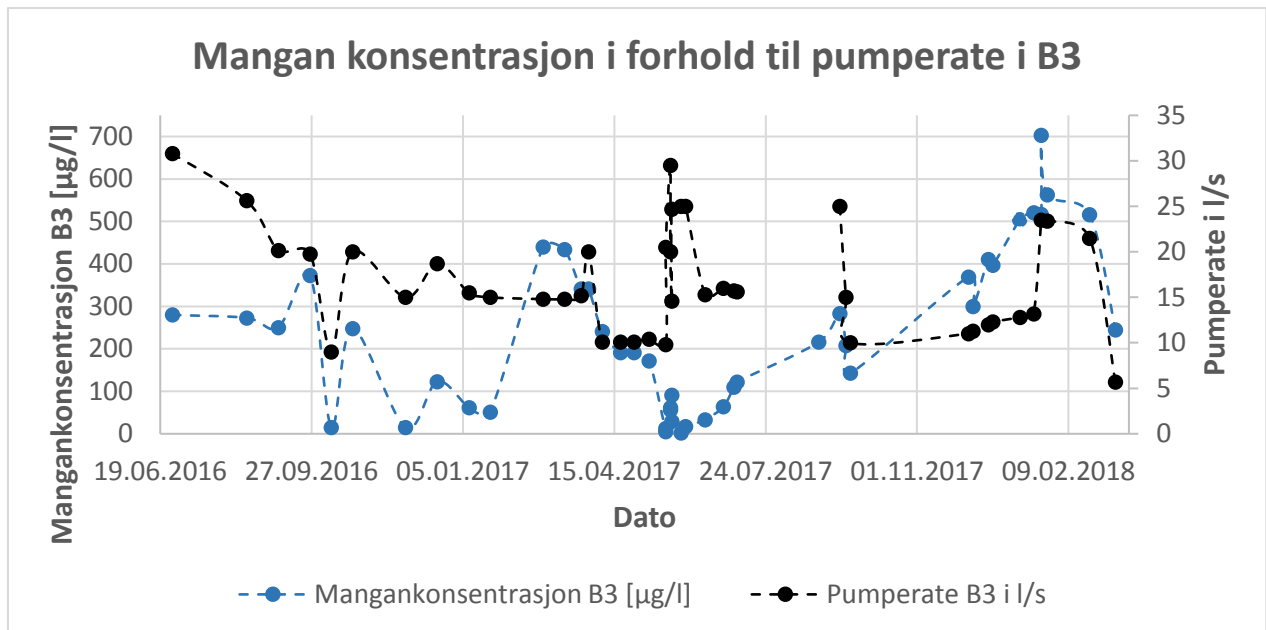
Det at den høge leiingsevna ved punkter på Bjørkemoen ikkje påverka leiingsevna i elva på Bømoen sida eller nedstraums kan tyda på at elva er ein god barriere. Sjølv om den er ein god barriere er det i ei modellering frå Bryn (2016) si oppgåva, som viser at vatn kan verta transportert frå Bjørkemoen til Bømoen i den metta sona (sjå Figur 3.8). Tidlegare er det òg nemnt av Pedersen og Veslegard (1985), at ved store uttak kan ureining finna vegen frå Bjørkemoen til Bømoen. Sjølv om det er mogeleg for vatnet å gå den vegen er det ut i frå Bryn (2016) sin modell ein svært liten del som vert trekt frå Bjørkemoen og ved hjelp av fortynningsprosessar (diffusjon og dispersjon), vil det vera ein liten konsentrasjon av stoffa tilført frå Bjørkemoen. Sjølv om det ser ut til at elva er ein god nok barriere for å tynna ut ureina vatn tilført elva og at det ikkje vert trekt mykje vatn får Bjørkemoen, er det ei aktiv ureiningskjelde i området. Dei to punkta som er undersøkt for ureining på Bjørkemoen høyrer til IHM sitt reinseanlegg og sigevatn frå det eldre deponiet på Bjørkemoen. Det kan dermed vera ønskeleg å følgja med på desse områda vidare.

Ut i frå tabellen som viser målingar av elektrisk leiingsevne i overflatevatn (Tabell 6.6) er det nokre verdiar som skil seg ut. Bekk 2, Bekk 3 og Bekk-flyplass kan mogeleg forklarast med gardsbruka, som ligg i skråninga inn mot bekkane i enden av skråninga. I følgje Sognnæs (2016) si masteroppgåve om eit området i Myrkdalen, er det vist at i nærleiken av jordbruksområder kan ein få høgare verdiar av elektrisk leiingsevne i vatn, på grunn av utslepp i samanheng med jordbruksaktivitetar. Det er ikkje fleire målingar på ulike årstider, så

det kan ikkje konkluderast med dette, men det er sannsynleg forslag til høgare elektrisk leiingsevne.

Grunnvatnet har i all hovudsak ein høgare elektrisk leiingsevne enn det elvevatnet har. Den brønnen leiingsevna er høgast i er PB2, og her er leiingsevna over dobbelt så høg som den brønnen med nest høgast leiingsevne (PB1). I alle metallprøvane som er trekt fram i denne oppgåva, kan ein sjå at det er høgare verdi i PB2 enn i dei andre brønnane. Det er blant anna ein høg verdi for mangan i denne brønnen, men det er det òg i PB3 og den har ein svært låg leiingsevne i forhold, dermed kan ikkje denne høge konsentrasjonen av mangan forklara den høge leiingsevna aleine. Generelt i metallanalysen er det ein litt høgare konsentrasjon av dei ulike parameterane i PB2 enn det er i dei andre brønnane. Det at det generelt er høgare konsentrasjon kan vera med på å forklare den høge leiingsevna i større grad. Den høge leiingsevna er uansett ein indikasjon på ureining, og innhald av uønskt metallion viser at det kan vera lurt å halda eit auga med denne brønnen. I observasjonsbrønnen nær B3 (PB3) er det den lågaste elektriske leiingsevna målt i brønnane, men i B3 er det dei høgaste verdiane av mangan og jern av dei tre produksjonsbrønnane. Jern har fått høgare konsentrasjon etter heving av brønnen, medan mangan har hatt ein varierende konsentrasjon heile tida. Begge parameterane er over grensa i drikkevassforskrifta (2016) ved fleire prøvetidspunkter. Det har vore ei varierende uttaksmengd av vatn frå brønnen, for å sjå om det uttaksmengda påverka mangankonsentrasjonen i vatnet. Korleis dei to parameterane er i forhold til kvarandre er vist i Figur 7.3.

Ut i frå 7.3 kan ein sjå at ved nokre tidspunkt følgjer konsentrasjonen av mangan i B3 mengda vatn som vert teke ut av brønnen, men det er ikkje slik heile tida. Det er tydeleg i perioden frå slutten av september 2016 til starten av januar 2017 at dei samsvarer. Der det bli senking i uttaksmengda, vert det og ein senking i mangankonsentrasjonen. Så kjem ein periode der det ikkje er noko særleg samsvar mellom uttaksmengda og konsentrasjonen av mangan.



Figur 7.3: Oversikt over endring i mangankonsentrasjonen i forhold til pumperaten i B3.

Sjølv om det er nokre ureiningskjelder i området, ser det ikkje ut til å ha ein påverknad i stor grad på grunnvasskvaliteten på Bømoen. Alle parameterar utan om mangan og jern i B3 er innafor drikkevassforskrifta (2016) sine grenseverdier når det kjem til produksjonsbrønnane (B3, B4 og B6). Sjølv om vasskvaliteten er bra no er det viktig å følgja med dei prøvepunktene som viste ureining, då dei kan trua kvaliteten på vatnet, dersom ein har endring i strøymingsmønster til dømes ved pumping i alle brønnane. Det kan òg vera ein ide med eit nytt sett med prøvar når det vert starta pumping i dei to siste brønnane (B5 og B7), for å sjå om det vil ha ein påverknad for grunnvasskvaliteten.

7.3 Naturleg vern av grunnvassførekomsten

Det naturlege vernet av grunnvatnet er viktig og det er fleire måtar ein kan sjå kor godt verna det er. Ved boring av brønnane er det gjort innsamling av sedimentprøvar, som det er gjort utrekningar for hydraulisk konduktivitet ut frå. Dei viser at det i hovudsak er eit lag med låg hydraulisk konduktivitet i den øvre delen av avsettinga rundt brønnane, som vil gi eit naturleg vern. I den umetta sona vil det skje naturleg filtrering og tilbakehalding av ureining, og dersom vatnet brukar lang tid på å komme seg gjennom den øvre delen, vil reaksjonar ha lang tid på å skje. Det vil òg gi eit betre vern mot bakteriar og virus, då mange av dei vil kunna bli filtret bort eller ikkje overlev så lenge. Det er ein brønn som skil seg ut frå dei andre, og det er PB5. Dette punktet har ein høgare hydraulisk konduktivitet enn dei andre, før den får eit området med ein lågare konduktivitet. Sjølv om PB5 skil seg litt ut har alle brønnane eit

område med låg hydraulisk konduktivitet før filteret i brønnen. I området med filteret har alle brønnane ein høgre konduktivitet. Dette vil vera bra då det vil gi meir vatn frå brønnane enn om det hadde vore plassert i eit lag der det var mykje lågare hydraulisk konduktivitet.

Variasjonsbreidda for temperatur i dei ulike brønnane kan òg vera med på å seia noko om kor godt verna vatnet er frå omgivnadane. I Henriksen et al. (1996) er det beskrive at i grunne akviferar vil vasstemperaturen vera påverka av daglege eller sesongvariasjonar og dersom det er innputt frå elv, vil det vera ein lik trend som i elva med ein liten forseinking. Der det er små variasjonar vil det dermed vera mindre påverka frå overflata. I PB3, PB7 og PB9 kan ein sjå ut i frå variasjonsbreidda i temperatur at den er relativt stor i forhold til dei andre brønnane, og at trenden liknar elva i større grad. Det kan bety at PB3, PB7 og PB9 er meir påverka frå omgivnadane enn dei andre brønnane, og at dei er mindre verna mot ureining enn dei brønnane med mindre variasjon i temperatur og ei relativ lang opphaldstid i forhold.

7.4 Vassbalanse

Det er viktig at vassbalansen vert oppretthaldt i området ved uttak, slik at det ikkje vert eit overforbruk av ressursen. Kor mykje nedbør ein tek ut i forhold til nydanning i nær tilknytning til området kan indikera at ein trekk vatn frå andre deler av området og/eller elva. Nydanninga ein kan forventa gjennom eit år ut frå utrekningane i oppgåva (sjå delkapittel 6.11), tilseier at det er om lag 3 % av det årlege ønska uttaket til kommunen. Dermed må det trekkast vatn frå eit større areal og frå elva. Ut i frå temperaturen i elva og i nokre av brønnane spesielt, er det tydeleg at elva vil mata magasinet. Dette kjem òg fram ut i frå oksygenisotopanalysane at det er ei blanding av elvevatn og nedbør i akviferen. I Bryn (2016) kjem det og fram at det vert trekt vatn frå andre deler av området. Dette viser at det ikkje berre er ureining innafor området rundt brønnane, som vil vera ein trussel for grunnvasskvaliteten. Då Forsvaret etablerte eit vassverk på Bømoen, vart det ut i frå ein rapport frå Pedersen og Veslegard (1985) konkludert med at det skal vera tilstrekkeleg å oppretthalda vassbalansen i form av mating frå elva og nedbør, ved uttak av vatn. Sjølv om det vil vera eit større uttak av vatn her no enn tidlegare ser det ut til at elva og nedbøren framleis vil vera tilstrekkeleg for å oppretthalda vassbalansen.

Då det i hovudsak ikkje skjer noko nydanning i vintermånadane, på grunn av frost og nedbør i form av snø, vil grunnvasstanden falle i denne perioden. Det vil det òg gjere i slutten av sommaren til slutten av september, då det har vore lite nedbør i forhold til evapotranspirasjon

i månedane før og det i hovudsak ikkje har vore noko nydanning. Dette kan ein sjå igjen i grafen i Figur 6.21, der ein har ein nedgang i grunnvasshøgda i frå desember til mars, der ein ser ut til å få ein innputt av smeltevatn før det så vil falla litt mot september. Det ser ut til at nydanning i hovudsak skjer på hausten, då ein får ein større stigning i grunnvasstanden mot rundt slutten på året der ein har ein topp, noko som er tydeleg i både 2015, 2016 og 2017.

7.5 Risiko- og sårbarheitsanalyse

Risiko- og sårbarheitsanalysen (ROS-analyse) er basert på funna i felt og analyseresultat, litteratur og tidlegare undersøkingar.

Uttak av vatn i området: Det er bora fem brønnar, som er ønskeleg å nyttast til produksjon av drikkevatt på Bømoen. Dei brønnane er B3, B4, B5, B6 og B7. Det er ikkje sikkert brønn B3 vert nytta då det er eit problem med jern og mangan i denne brønnen. B5 og B7 er ikkje teke i bruk enno. I B4 og B6 er det, ved hjelp av pumpeforsøk, gitt eit maksimumsuttak på omkring 40 l/s. Bømoen vil totalt verta dimensjonert for å ta ut 8000 m³/d, noko som vil tilsvare omkring 90 l/s.

Belastingar i området

På bakgrunn av diskusjon av funn i felt og tidlegare litteratur om området, kjem det fram fleire kjelder som kan vera ureinande faktorar for grunnvatnet på Bømoen. Dei ulike ureinande faktorane som kan vera belastingar i området der det ønska grunnvassuttaket skal vera er: deponi, flyplass, uttak av massar, jernbane, restar etter ammunisjon, auka bruk og utbygging av området og avfallsdeponi.

Vurdering av belastingar

Risiko for belastning og plassering i forhold til grunnvassuttak

- **Deponi:** Det ligg eit gammalt militært deponiet som er lokalisert i fordjupinga i terrenget, og er innanfor tilsigsområdet til grunnvassuttaket. Det er påvist høge verdiar av bly i jordprøvar, men ikkje i nokre av vassprøvane teke i området. Det er dårleg overdekking av avfallet, det er synleg skrapmetall ved overflata og nedover mot djupet. Ved infiltrasjon av nedbør og smeltande snø i deponiet er det ein risiko for utvasking av alt avfall som ligg i deponiet.

- **Flyplass:** Ved flyplassen er det lagring av flydrivstoff, og det er alltid ein risiko for ulykker tilknytt flyging. Det har tidlegare vore lekkasje frå drivstofftanken på området, noko som skapte ein risiko for ureining. Under opprydding etter tidlegare lekkasje vart det fjerna masse som var ureina, ureininga passerte ikkje umetta sone og det vart ikkje påvist ureining i grunnvatnet. Innflyginga og austlige del av flystripa ligg nær den delen av grunnvassmagasinet der det er aktuelt å etablera vassverk. Oppbevaring av flydrivstoffet ligg i andre enden av flystripa i forhold til ønska drikkevassuttak. I luftlinje er det omkring 750 meter frå dei nærmaste uttaka. Ut i frå strøymingsmodellen til Bryn (2016) er det i hovudsak strøyming i frå nord, difor er det ikkje sannsynleg at det vil førekome strøyming i retning vassuttaket dersom det er lekkasje av drivstoff ved hangarområdet. Ulykker i forbindelse med flyging utgjer likevel ein trussel.
- **Jernbane:** Jernbanen går langs Bømoen (sjå Figur 3.7) og dersom det skjer ei ulykke er det ein mogelegheit for ureining av området rundt jernbanen. Jernbanelinja går høgt i terrenget i forhold til grunnvassressursen. Overflateavrenning frå dette området i retning Bømoen kan føra til ureining dersom dette vatnet infiltrerer i Bømoen. Det er små bekkar i nordlige del av Bømoen som vil drenere ut mykje av vatn som kjem frå nord. Derfor vil dei kunne fungere som eit verna av vatnet i grunnvassmagasinet mot ureining frå nord.
- **Uttak av massar:** Det er tidlegare gjort uttak av massar på Bømoen og ved vidare utvikling av området, er det ønska å leggja uttak av massar i området aust på Bømoen. Spesielt to av dei områda dei ønsker å ta ut massar ligg svært nærme vassuttaket (sjå Figur 3.11) og er i tilsigsområdet for vatn til planlagde uttaksområde av drikkevatt. Dette kan få store konsekvensar for kvaliteten på vatnet, då ein tar bort deler av den umetta sona og dermed tar bort deler av det naturlege vernet til grunnvassførekomsten. I forhold til vassuttak vil det òg verta ein auke i motorisert ferdsel og fleire maskinar på området. Dette kan føra til ein auke i risikoen for ureining i form av petroleumsprodukt.
- **Restar av ammunisjon:** I området er det fleire areal det har vore nytta ammunisjon i samband med militærbruk. Det området som ligg nærmast uttaket av vatn er kortbanane. Dette området er miljøsanert, men om det ligg at restar kan det påverka grunnvatnet. I vassprøvane er det ikkje vist noko teikn til påverknad frå ammunisjonsrestar. I tillegg må ein rekna med at det har vore bruk av ammunisjon mange andre stader i området òg.
- **Avfallsdeponi:** Avfallsdeponiet på Bjørkemoen er direkte tilknytt Raundalselvi og det er tydeleg at det er utslepp av ureina vatn til elva. Det er ikkje påvist ved prøvepumping at

det er ureining frå Bjørkemoen som påverkar vasskvaliteten i brønnane. I følgje Bryn (2016) er det mogeleg at grunnvatn kan bli trekt frå IHM sin gamle avfallsdeponi, men at det vil vera i små mengder og at ureininga ikkje vil påverka vasskvaliteten på grunn av at det vert trekt lite vatn frå den sida, og det vil skje fortynning og binding av ulik ureining i massane.

- **Auka bruk av området:** Ved utbygging av dei ulike delområda på Bømoen, vil det bli ein auka bruk og ei større belastning på området. Det vil i hovudsak vera utbygging av næringsbygg og bustader nedstrøms for området nytta til reservevassverk, men bruken av naturområdet, til dømes turløyper, vil ein kunne forventa å ha ein aukiing i bruken av. Dette auka arealpresset kan skapa ureining av området og det er viktig å leggja til rette for slik bruk, spesielt rundt brønnområdet, for å unngå ureining.

Vurdert Belastning

Belastinga på Bømoen i tilknytning til det planlagde reservevassverket er vurdert i dette tilfellet til å vera «3: Høg Belastning.» Det er på grunn av at det er fleire kjelder som kan utgjere ein risiko for ureining av grunnvatnet, og fleire av dei ligg innanfor tilsigsområdet til grunnvassuttaket. Dei viktigaste belastningane i området er: deponi, flyplass, uttak av massar og auka bruk av området.

Vurdering av sårbarheit

Grunnvassførekomsten på Bømoen er ein open lausmasseakvifer, som består av glasifluvialt materiale. I følgje Misund (2006) er det ei avsetning med ein mektigheit på 30 m, der den umetta sona er på omkring 5 m. Den umetta sona er ikkje så liten som 5 meter, den ligg på omkring 10-15 meter og varierer litt med sesong, og vil dermed gi eit betre vern enn det som er anteke i Misund (2006), då større mektigheit i den umetta sona vil gi eit betre vern mot ureining. I den umetta sona vil det gå føre seg tilbakehalding av mikroorganismar og prosessar som held tilbake og bryt ned ureining.

Den hydraulisk konduktiviteten viser at det er eit lag med mindre hydraulisk konduktivitet i den øvre delen av avsetninga og at det så er eit lag med høgare hydraulisk konduktivitet i nærleiken av filterhøgda i brønnane. Ein låg hydraulisk konduktivitet i den øvre delen vil vera med på å gi eit betre vern mot ureining, då vatn vil bruke lengre tid gjennom den umetta sona, og det her kan skje prosessar som mekanisk forvitring, adsorpsjon eller andre prosessar som

held att eller fortynnar ureininga. Lang tid gjennom den umetta sona vil òg gi eit betre vern mot bakteriar.

Gradering av sårbarheit

Vassførekomsten er ein open lausmasseakvifer, men mektigheita til den umetta sona vil vera eit godt vern mot ureining då den er på mellom 10 og 15 meter. Den hydrauliske konduktiviteten er låg i umetta sone noko som òg vil vera med på å beskytta grunnvatnet mot ureining. Samanlagt vil dette føra til ein gradering av sårbarheit på 1 «godt verna».

Risikovurdering

For å samla belastinga og sårbarheita til ein risiko vurdering multipliserer ein dei to faktorane saman. I dette tilfelle er det belastinga som er 3 «Høg belastning,» og sårbarheita som er 1 «godt vern». Då vert risikoen 3×1 som er ein risiko med gradering 3, noko som tilseier at grunnvassførekomsten er «Possibly at risk» med ein berekna risiko på 3.

Tabell 7.1: Tabellen gir eit overblikk over ROS-analysen i oppgåva. Forkortingane på belastingsstypene står for F: ureina grunn, I: industriområdet og M: militærleir.

<i>Belastningar</i>	<i>Belastingsgrad</i>	<i>Vern av akviferen</i>	<i>Umetta sone</i>	<i>Sårbarheit</i>	<i>Risiko</i>
F, I, M	3	Godt vern	10-15	1	3

Tiltak for å bøte på situasjonen

Ein kan gjera fleire tiltak for å gjera risikoen for ureining mindre enn den er i dag. For det første kan ein dekke over det gamle militærdeponiet med impermeable massar som hindrar danning av sivevatn. Dette vil òg kunne hindra oppsamling av vatn i fordjupinga, samt utvasking av bly ved nedbør. Overvaking i forhold til flyplassen og oppbevaring av flydrivstoff, er viktig med tanke på lekkasjar og ulykker som kan inntreffa. Det er òg viktig å ha på plass rutinar for korleis ein skal handtera ei ulykke om den inntreffer. Det bør heller ikkje startast uttak av massar frå områda som grenser til vassuttaket, då dette aukar risikoen for ureining av grunnvatnet, både med omsyn til bruk av maskinar og kjøretøy og det faktum at ein del av den umetta sona vert fjerna og slik gir eit mindre vern av grunnvassførekomsten. Voss kommune har valt å etablera uttaksbrønner i nær tilknytning til eigedomsgrensa si på Bømoen. Sjølv om alle har eit ansvar for ikkje å ureina drikkevatt, er det opp til kommunen å

sikra vassverket. Dermed kan det vera av interesse for kommunen å kjøpa litt meir areal rundt uttaka av drikkevatt, slik at kommunen kan styre arealutviklinga i det næraste området.

Dersom dei avbøtande tiltaka vert gjort og kommunen kjøper opp litt meir området rundt brønnane for å ha full kontroll på det næraste området av brønnane, vil det ikkje vera ein stor risiko for ureining av grunnvatnet.

7.6 Tryggingsplan

Føremålet med tryggingsplanen for Bømoen er å verna om grunnvassførekomsten slik forholda er i dag, samtidig som ein må verna om førekomsten for framtidig bruk, som kan vera til skade for vasskvaliteten. Utforminga for tryggingsplanen må òg vera slik at det er mogeleg å forholde seg til. Her vil det leggjast fram ein plan som vernar om vassressursen i Bømoen, men samtidig opnar for å nytta området.

Ønska bruk av området frå kommunen si sida

Voss kommune ønsker å nytta dette området til meir enn berre eit uttak av vatn. Dei har eit ønske om eit fleirbruksområde, der folk kan nytte tilrettelagde turløyper slik det er i dag, og nytta området rundt brønnane til dømes til rasteplassar eller liknande. Dei ønsker ikkje gjerder rundt den inste sona (sone 0), men ha små brønnhus, som ikkje gjer eit stort innhogg i naturen. Sjølv om kommunen har eit spesifikt ønske til korleis utforminga av vassverket og bruken av området er ønska, vil det her bli lagt vekt på sikkerheit i tillegg. Dermed vil det vidare vera lagt fram ein diskusjon rundt dei ulike sonene, deretter lagt fram eit forslag til vern.

Diskusjon av dei ulike sonene

Brønnområdet

I rettleiaren for vern av grunnvassanlegg er det sagt at sone 0 eller brønnområdet bør ha ein utstrekning på omkring 10-30 m (Gaut, 2011). Kor mektig den umetta sona er vil spela inn på størrelsen på utstrekninga av denne sona. Det er på bakgrunn av prosessar som skjer i den umetta sona, som vernar om grunnvatnet i form av nedbryting og tilbakehalding av ureining. I dette tilfellet er det ein mektig umetta sone på omkring 10-15 meter i området og eit lag med noko lågare hydraulisk konduktivitet i den øvre delen av avsettinga, noko som vil vera eit

godt vern for grunnvatnet. Dermed er det ikkje nødvendig å ha ei brønnsone (sone 0) som er større enn 10 meter utanfor brønnane.

I hovudsak er det vanlig å verna slike områder med eit gjerde rundt, der det berre er lov med ferdsel knytt til drift og vedlikehald av vassverket innanfor gjerdet (Gaut, 2011). Kommunen har eit ønske om eit meir ope området, der det ikkje er gjerder rundt brønnane, men berre brønnhus som vern for brønnane. Dette vil tillata folk å setja seg ned ved sida av brønnhusa. Det har og vore snakk om sittegrupper i nær tilknytning til brønnhusa, noko som vil invitera i større grad til å nytta områda i nærleiken av inste området rundt brønnane. Dette vil utgjera ei risiko for grunnvasskvaliteten og det er ikkje anbefalt. Sittegrupper er ikkje anbefalt å ha i nærleiken av brønnområdet og bør plasserast utanfor sone 0, og kanskje trekkast enno eit stykke vekk.

Ved å ikkje gjerda inn området rundt brønnane er det eit større sannsyn for at personar utan tilgang kan ta seg inn på området dei ikkje skal opphalda seg i. Det kan òg vera ein større fare for hærverk på brønnhusa. Så sjølv om det ikkje er eit ønske om å setta opp gjerde rundt brønnhusa kan det vera ein fordel, då det i større grad vil hindra uvedkomne tilgang så tett på brønnane. Skilting er òg ein mogelegheit for å sikra området betre, utan å setta opp gjerder. Der kan det stå forklaring om drikkevatt og restriksjonar for området og eventuelt ei oversikt over områder som er tillat å nytta til rasteplassar eller liknande, der det er tillaga for slikt. Men ut i frå observasjonar og åtferd rundt andre installasjonar med skilting vil det i noko grad uansett bli nytta av personar som ikkje tek omsyn til skilting med åtvaring. Dersom ein uansett går for eit alternativ utan gjerde er det viktig med synleg skilting, avfalls handtering og lokalitetar på området som i stor grad trekkjer folk vekk frå området rundt brønnane.

Brønnane ligg i tilknytning til vegar og turstiar i området, noko som gjer at det er lett tilgjengeleg å koma fram til dei med bil og nødvendig utstyr. Ved utvikling og utbygging av området vil dette bli turstiar som i større grad vil bli brukt. Turstiane blir brukt både vinterstid, då det er skiløyper, og resten av året når ein kan gå og sykla i området. Slik bruken av turløypene er i dag viser ingen synleg påverking på vasskvaliteten. Så for å ikkje øydelegga noko for turløyper i området kan det vera eit kompromiss i å setta opp gjerder, men som ikkje strekk seg ut 10 meter frå brønnområdet der dei møter på turløyper, samt at det er

skilta godt i området rundt. Skikkeleg avfallshandtering i området rundt denne sona vil òg vera viktig.

Sone 1 & 2

Sone 1 og sone 2 er i tradisjonelle situasjonar ulike soner, der grensa til sone 1 vert styrt av området ein trekk vatn frå på 60 dagar med ønska utpumpa vassmengd, medan sone 2 er det fjerne tilsigsområdet, der vatn når grunnvassbrønnen av og til eller permanent. I dette tilfelle er det ønska å sette dei to sonene saman, på bakgrunn av kommunen sine ønsker og då det er ein metode som ein gjerne går over til i områder der det er stor pågang på området rundt og det er ulike eigarar av områder i nær tilknytning.

Den tradisjonelle grensa for sone 1 er rekna ut til å blir 87 meter for B3, 90 meter for B4 og 86 meter for B6. Ved utrekning er det nytta sylindermethoden og den legg radiell strøyming til grunn. Det vil seie at ein reknar med at vatn strøymer like fort inn mot brønnen frå alle kantar. Ut i frå strøymingsmodellen til Bryn (2016) vil det ikkje vera radiell strøyming, men dei vil strekka seg meir mot nord. Det kan vera eit forslag å slå sone 1 og sone 2 saman og sette grensa til kommunen si eigedomsgrensa på Bømoen. Området dei eig og kvar dei ulike sonegrensene for sone 1 ville vore, er vist i Figur 6.27. Eigedomsgrensa ligg svært tett opp mot brønnane og ein kan tydeleg sjå at sone 1 grensa går over denne for alle brønnane. Det kan dermed vera aktuelt for kommunen å kjøpa litt meir av området på Bømoen mot dei to grenselinjene som ligg svært nær B4. Det kan vera lurt å disponera eit området som strekk seg like langt som sone 1 grensa, slik at det vert mogleg å kontrollere det som skjer i den næraste sona til brønnane.

I denne sona ligg observasjonsbrønnane. Av sikkerheitsmessige årsakar kan det vera lurt å laga eit vern rundt desse, slik at det ikkje er enkelt å komme til dei. Det kan vera i from av hengelasar på lokk, slik at ikkje personar utan åtgang til desse brønnane kan opna dei, eller ein kum slik at ein ikkje kjem til brønnrøyret. Dersom dei ikkje vert sikra kan det skje ureining ved til dømes at nokon tilfører noko som ikkje skal i vatnet, eller at brønnlokket vert liggjande av, slik at nedbør renn direkte ned i akviferen utan å gå gjennom den umetta sona.

Det bør gjerast fleire tiltak i denne sona for å verna om drikkevasskjelda. For det første om det er eit ønske å nytta området slik det er i dag til tur og friluftsliv er det viktig å tenke på at

området i større grad vil nyttast av folk ved utbygging. Større pågang i området vil gi større mogelegheit for ureining. Skikkelege rutinar for handtering av avfall bør leggjast fram og det bør skiltast godt i området, for å få minst mogeleg ureining i området. Dersom kommunen ønsker å trekke folk til området, med rasteplass eller liknande og samtidig nytta det til vassuttak bør aktivitetsområdet trekkast vekk frå område der brønnane er lokalisert. Området mellom elva og vegen rundt PB1 og NGI-PB1 er eit område som vil vera godt egna til dette. Då området i hovudsak er lokalisert utanfor tilstrøymingsområdet til brønnane.

Det er fleire restriksjonar som kan vera nyttig å setta i området for å verne om grunnvasskvaliteten. For å verna om den umetta sona bør det ikkje gravast i området eller byggast nye anlegg, utan at det er i tilknytning til vassverket. Det bør ikkje vera tillate å nytta telt i denne sona, eller aktivitetar som opptek eit området over lengre tid. Lagring av stoff som kan ureina grunnvatnet bør heller ikkje tillastast i området. Vegen som går gjennom området bør berre nyttast til trafikk som er nødvendig for å komme seg til eller frå vassverket og det bør ikkje nyttast noko form for kjemikaliar eller salt på vegen. Dersom det er behov for å ha næringstrafikk gjennom området kan det tillastast etter avtale med kommunen, men det bør berre tillastast i mindre omfang og i korte periodar, då ulykker eller utslepp av oljeprodukt kan vera veldig skadeleg for vasskvaliteten.

Sone 3

Sone 3 vil vera den sona som er utanfor eigedomsgrensa til Voss kommune om ein set sone 1 og 2 til eigedomsgrensa. Sone 3 vil då komma tettare på brønnområdet enn ved ei tradisjonell soneinndeling. Sjølv om sone 3 vert utanfor området kommunen eig, har alle eit ansvar for ikkje å ureina drikkevattnet i forhold til drikkevassforskrifta (2016). Det vil seie heile området frå vasstilsigsområdet til tapping av grunnvatn. Dermed må det settast grenser for kva som er tillate òg i dette området.

Det har vore lagt fram forslag om å legge grustak i nærleiken av vassuttaket (sjå Figur 3.11), det bør i denne planen settast restriksjonar for kvar det er lov med grustak i denne sona eller om det i det heile er tillate. Det er vist i ein modell frå Bryn (2016) at vatn vil trekka frå området ønska for grustak i alternativ to, med pumping i B3. No når dei er byrja å pumpa i B4 og B6 òg er det sannsynleg at vatne som vert trekt til dei brønnane kjem i frå området som vert påverka av grustak i alternativ 1 og 3. På grunnlag av det bør det ikkje vera tillate med

grustak i alle fall i dei to alternativa. I alternativ 1 er det eit grustak, som er lokalisert i andre enden av delområde aust. Det er eit stykke frå området, men då det er ein mogelegheit at det kan påverka kvaliteten på grunnvatnet og det kan nå brønnane i uttaksområdet, er det ikkje anbefalt å laga til eit grustak her heller.

Utbreiinga av sone 3 bør omhandla heile det området som kan påverka grunnvasskvaliteten. Ut i frå det som kjem fram i Bryn (2016) si oppgåve, er det eit stort området det vert trekt vatn frå den nordlege delen (sjå Figur 3.8) og litt frå Bjørkemoen sida. Det er ikkje laga ein modell for korleis det vil bli med pumping i dei tre brønnane som er i drift no, men det er gått ut frå at dei trekke frå litt same retning. Dermed kan ein tenke seg at det ikkje er nødvendig å sette veldig store områder i delområde Sør innanfor sone 3. I delområde Nord kan området i større grad bli påverka, dersom strøymingsmønsteret bli liknande for B4 og B6 som for B3. Etter at Bryn (2016) utarbeidde strøymingsmodellen for grunnvatn er det kome mykje nye data. Det kan derfor vera formålstenleg å oppdatera modellen før endeleg sonegrense vert utarbeidd. Det bør vera restriksjonar for oppbevaring av kjemikaliar i denne sona, då det er i så nær tilknytning til brønnen. Området nord for brønnane der uttaka skjer, er svært sannsynlege for å påverka brønnområdet.

Det er jordbruk i den nordlege skråninga, men det ser ikkje ut til å påverka vatnet på noko måte. Det er litt høgare leiingsevne i bekken som går langs med skillet mellom jordbruk og skog, men elles ikkje noko som skil seg ut. Dermed treng ein ikkje inkludera dette inn i planen for området.

Forslag til tryggingssplan for områder

Kart over området og kvar dei ulike sonene vil gå, er vist i Figur 7.4.

Sone 0

Setta opp eit gjerde rundt brønnområda som strekk seg 10 meter frå dei ulike brønnane, men tilpass gjerdet til t.d. turløyper. Ved hjelp av skilting og tilstrekkeleg avfallshandtering vil det kunne gi eit tilstrekkeleg vern. Ved val av gjerde kan ein velja eit som tek omsyn til terreng og natur for å gjer minst mogeleg innhogg i naturen.

Sone 1

Sone 1 og 2 vert utforma på ein måte som tek omsyn til store ønske frå fleire hald om å nytta Bømoen til ulike føremål. Det er anbefalt å sette yttergrensa av sona til eigedomsgrensa og

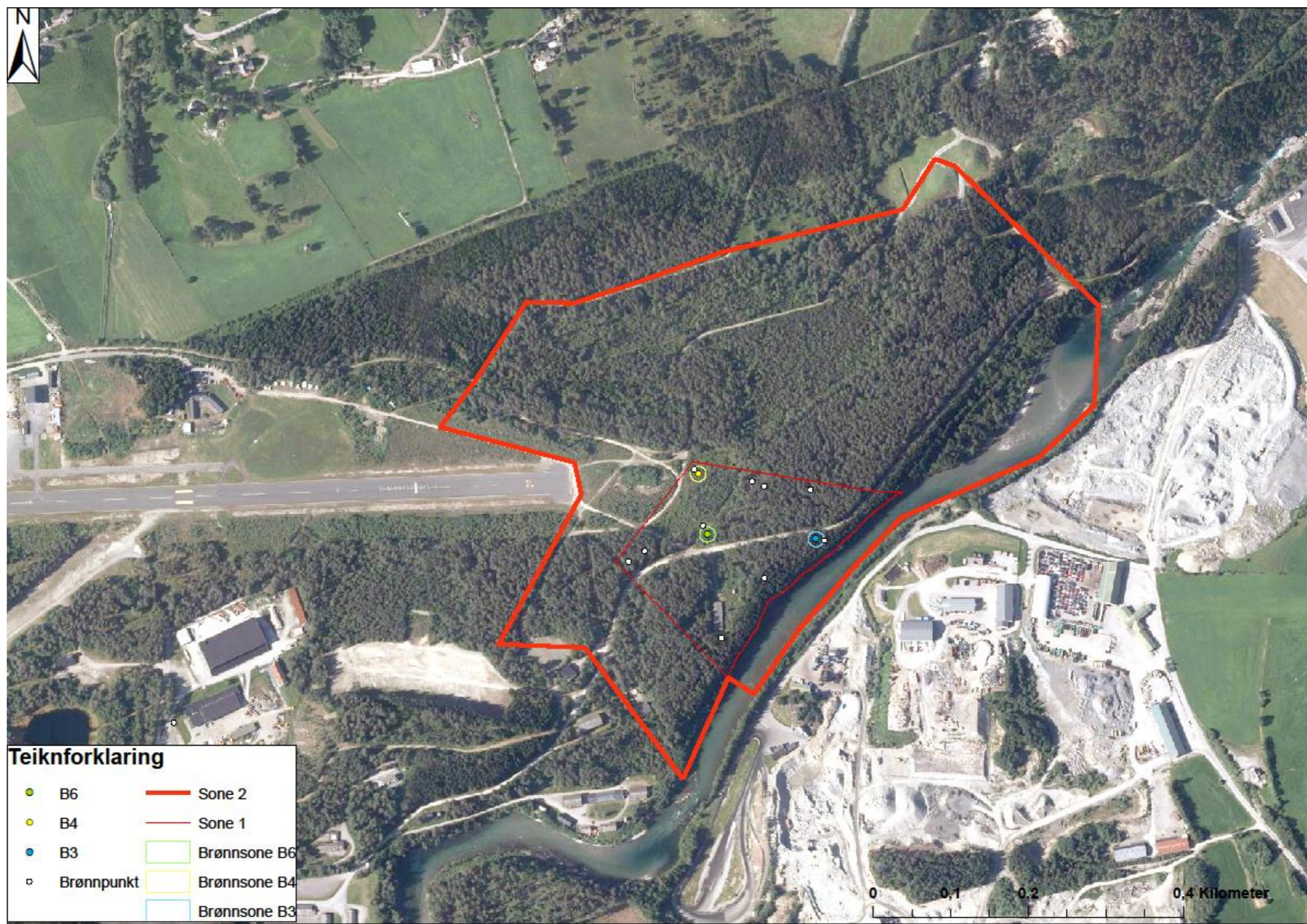
restriksjonane i området kan vera strenge. Kommunen kan eventuelt vurdere om det er mogeleg å utvida eigedomsgrensa mot flystripa og nordover for å få meir kontroll over aktivitetane i området. Restriksjonar ein bør ha i området:

- Området skal kunna nyttast til turområde og friluftsområde, men det bør vera god skilta og ha tilstrekkeleg med avfallsbøtter og gode rutinar for å tømme dei.
- Det er ikkje tillate å bygga noko eller grava på området utanom i tilknytning til vassverket.
- Overnatting i telt og større samankomstar er ikkje tillate.
- Vegen på området skal ikkje nyttast utanom nyttekjøring i større grad enn til og frå vassverket eller til områder på Bømoen ein ikkje kjem seg til elles.

Sone 2

Utstrekkinga av sone 2 er vist i Figur 7.3. Det er her sett opp restriksjonar for sone 3 som vernar om området.

- Det er ikkje tillate med masseuttak i sone 3.
- Oppbevaring av kjemikaliar og oljeprodukt kan tillatast i mindre mengder og det må vera gode rutinar for å hindre lekkasjar. Dersom det skjer lekkasjar skal det gjerast strakstiltak for å hindre og for å kunne ta opp mengdene med kjemikaliar utan at dei vert tilført den umetta sona.
- Det er ikkje lov med deponi eller avfallshandtering.
- Det er ikkje tillate med større campingsområder.



Figur 7.4: Figuren viser ei oversikt over forslag til sonegrenser.

8 Konklusjon

I dei følgende punkta vert hovudfunna i masteroppgåva summert opp:

- Ut frå varme og stabile oksygenisotopar, er opphaldstida til vatnet mellom elva og brønnpunkter i akviferen funne. Det er ikkje estimert ei opphaldstid til alle brønnane, men dei opphaldstidene som er funne er lagt fram her. For B4 og B6, er opphaldstida frå elva til brønnane estimert til å vera i underkant av 3 månadar. For B3 er opphaldstida i underkant av 4 månadar, estimert med oksygenisotopar. Ved hjelp av temperatur har ein funne opphaldstida for PB3, PB4, PB1 og PB5. For PB3 er det funne to ulike opphaldstider: ei på omkring 2,5 månadar og ein på nesten 5 månadar. For PB4 er opphaldstida omkring 6 månadar, for PB1 er den på omkring 7 månadar og for PB5 på omkring 8 månadar. Ut frå opphaldstidene ser det ut til at vatnet treng inn i akviferen frå elva oppstrøms for brønnområdet. Dermed er det størst risiko for at ureining i akviferen nord og nord-aust for brønnområdet skal ureina drikkevandet.
- Det er fleire ureiningskjelder i området, og dei kan utgjera ein risiko for grunnvasskvaliteten. Ureiningskjeldene er Indre Hordaland Miljøverk sin avfallsplass på Bjørkemoen, flyplassen på Bømoen, eit gammalt deponi og friluftsliv i området. På noverande tidspunkt er det eit godt vern mot ureiningskjeldene i området i form av ei mektig umetta sone. Dersom det vert starta uttak av massar vil vernet mot ureininga av grunnvatnet bli svekka.
- Kvaliteten på vatnet i akviferen er i hovudsak svært bra. Det er problem med mangan og jern i B3, noko som kjem fram etter ein lengre periode med prøvepumping og prøvetaking i brønnen. Det er berre desse to parameterane som overstig grensa i drikkevassforskrifta (2016).
- Det er påvist ureining i for av tungmetall i jordprøvar, og ved gamle skytebanar kan det ligge att restar av ammunisjon. Sjølv om det er kjelder til ureining av tungmetall i området, er det ikkje funne nokon verdiar i vassprøvane som viser ureining av akviferen i form av tungmetall.
- Tryggingssplanen for Bømoen, som blir føreslått i masteroppgåva, inneheld eit forslag til tre vernesoner: brønnområde (sone 0), sone 1 og sone 2. Tryggingssplanen inneheld eit forslag om å gjerda inn brønnområdet, men samtidig ta vare på dei etablerte turløypene. Sone 1 vil følgja eigedomsgrensa til Voss kommune. Det er anbefalt å kjøpa litt meir området, sidan brønnane ligg veldig nær grensa. Sone 2 vil vera utanfor eigedomsgrensa, slik det er vist på Figur 7.4.

- ROS-analysen utført for området, gir ein risiko på 3, som vil seia at førekomsten er i kategorien «possible at risk». Kategorien er bestemt på bakgrunn av ein risiko for ureining på 3 «høg belastning», og ein sårbarheit sett til 1 «godt verna».

9 Vidare arbeid

Det er fleire ting ein vidare kunne ha jobba med rundt dette prosjektet. Det er eit pågåande prosjekt, både med utvikling og utbygging av reservevassverket på Bømoen, noko som gjer det interessant å utføra fleire undersøkingar.

- For å få ei betre forståing for opphaldstid burde det vore ein lengre serie med oksygenisotopar, for å kunna samanlikna dei med topp og botnpunkt med temperatur. Det kan òg vera av interesse med eit prøvetakings intervall på 1 veke i staden for 14 dagar, for å finne ei meir nøyaktig opphaldstid.
- Dei to brønnane B5 og B7 er ikkje fokusert på i denne oppgåva. Dermed kan det vera spanande å sjå om strøymingsmønsteret vert annleis når ein startar å pumpa i dei to brønnane. Det kan òg vera lurt å gjennomføra ei modellering av heile området, med den uttaksmengda i dei ulike brønnane som er ønska. Dei er ikkje tatt med i dette prosjektet, då dei berre vart bora før innsamling av data vart avslutta (januar 2018) for dette prosjektet.

Kjeldeliste

- Aarseth, I. (2005) Bømoen. I: Helland-Hansen, W., Byrkjeland, S., Fossen, F., Moe, B., Skaar, E. Aarseth, I. og Brekke, N.G. red. *Naturhistorisk vegbok – Hordaland*. Bergen: Bergen museum og Nord 4. s. 450.
- Anderson, C. G. (2012) The metallurgy of antimony. *Chemie der Erde - Geochemistry - Interdisciplinary Journal for Chemical Problems of the Geosciences and Geoecology*, 72, s. 3-8. DOI: 10.1016/j.chemer.2012.04.001
- Anderson, M. P. (2005) Heat as a Ground Water Tracer. *Ground Water*, 43 (6), s. 951-968. DOI: 10.1111/j.1745-6584.2005.00052.x
- Andersson, A.-C., Andersson, O. & Gustafson, G. (1984) *Brunnar: undersökning, dimensionering, borring, drift*. Rapport R42:1984. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- Appelo, C. A. J. og Postma, D. (2005) *Geochemistry, groundwater and pollution*. 2. Utg. Nederland: A.A. Balkema Publishers.
- Aune, B. (1993) *Temperaturnormaler, normalperiode 1961-1990*. 02/93 KLIMA. Oslo: Det Norske Metreologiske Institutt.
- Bakketun, O. (1986) *Masseutgreiing for: nytt vassanlegg for Bømoen leir*. Voss: s. n.
- Barnaby, F. (1988) Groundwater Pollution. *Ambio*, 17 (6), s. 406-406.
- Bryn, C. R. (2016) *A reserve water resource in Voss, Norway* [masteroppgåva]. University of Copenhagen.
- Craig, H. (1961) Standard for Reporting Concentrations of Deuterium and Oxygen-18 in Natural Waters. *Science*, 133 (3467), s. 1833-1834.
- Drikkevannsforskriften. *Forskrift 22. desember 2016 nr. 1868 om vannforsyning og drikkevann*.
- Eckholdt, E. & Snilsberg, P. (1992) *Grunnvann: beskyttelse av drikkevannskilder*. GiN-veileder nr. 7. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse.
- Edwards, M. (2014) Fetal death and reduced birth rates associated with exposure to lead-contaminated drinking water. *Environmental science & technology*, 48(1), s. 739-746. DOI: 10.1021/es4034952.
- Ellingsen, K. (1992) *Grunnvannskvalitet : problemer og tiltak*. GiN-veileder nr. 12 Trondheim: Norges geologiske undersøkelse.
- Ellingsen, K. og Banks, D. 1993: An introduction to groundwater in Norway-promotion and reconnaissance mapping. In Banks, D. & Banks, S. (ed .), *Hydrogeology of Hard*

- Rocks. Memoires of th e XXIVth Congress International Association of Hydrogeologists 2*, s. 1031-1041.
- Fedje, E. (2011a) *Bømoen øvingsfelt – miljøteknisk grunnundersøkelse*. Bergen: Forsvarsbygg Skifte Eigedom og COWI AS.
- Fedje, E. (2011b) *Bømoen - risikovurdering og tiltaksplan 2011*. Bergen: Forsvarsbygg Skifte Eigedom og COWI AS.
- Ferrante, M., Conti, G. O., Rasic-Milutinovic, Z. og Jovanovic, D. (2013) *Health Effects of Metals and Related Substances in Drinking Water*. London: IWA Publishing.
- Fetter, C. W. (2014) *Applied hydrogeology - Pearson new international edition*. 4 utg. Edinburgh Gate: Pearson Education Limited.
- Folkehelseinstituttet (2014) *Miljø og helse – en kunnskapsbase. Kjemisk og fysisk vannkvalitet* [Internett]. Oppdatert 2016. s. 1.: Folkehelseinstituttet. Tilgjengeleg frå <https://www.fhi.no/nettpub/mihe/vann/Vannkvalitet/> [Lest 13. mars 2018].
- Folkehelseinstituttet (2016) *Vannforsyning og helse – veiledning i drikkevannshygiene*. Vannrapport 127. s.l.: Folkehelseinstituttet. Tilgjengelig frå: <https://www.fhi.no/publ/2016/vannrapport-127> [Lest 16.10.2017].
- Forurensningsloven. *Lov 13. mars 1981 nr. 6 om vern mot forurensning og om avfall*.
- Førland, E. J. (1993) *Nedbørnormaler - Normalperiode 1961-1990*. 39/93 KLIMA. Oslo: Det Norske Metrologiske Institutt.
- Freeze, A. R. og Cherry, J. A. (1979) *Groundwater*. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, N.J.
- Frøyland, L., Hvåle, H. , Soldal, O. og Bjørnstad, T. H. (2015) *Bømoen - Voss kommune. Temarapport naturressurser. Konsekvensutredning for KU-tema 12 jordressurser og tema 13 vannressurser*. Stavanger: COWI AS.
- Gaut, S. (2011) *Beskyttelse av grunnvannsanlegg – en veileder*. s.l.: Norges geologiske undersøkelse.
- Garmo, Ø. A. (2015) *Overvåking av avrenning fra nedlagte skyte-og øvingsfelt - Årsrapport for 2014*. s. l.: Forsvarsbygg Skifte Eiendom og Norsk institutt for vannforskning (NIVA).
- Global Water (2008) *WTW Operating manual - Cond 3110 Conductivity meter*. [Internett]. Weilheim: WTW GmbH. Tilgjengeleg frå: <http://www.globalw.com/products/cond3110.html> [Lest 06.10.17]
- Gustafson, G. (1983) *Brunnssystem för värmelagring och värmeutvinning i akviferer*. Rapport: R39:1983. Stocholm: Statens råd för byggnadsforskning.

- Harvey, F. E., Lee, D. R., Rudolph, D. L. og Frappe, S. K. (1997) Locating groundwater discharge in large lakes using bottom sediment electrical conductivity mapping. *Water Resources Research*, Vol. 33 (11), s. 2,609-2,615.
- Hem, J. D. (1985) *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*. 3. utg. Alexandria: U. S. Geological Survey.
- Henriksen, H. og Jæger, Ø. (1992) *Grunnvann i Voss kommune*. NGU-rapport 92.129. Trondheim: Norges Geologiske Undersøkelse.
- Henriksen, H. & Nielsen, J. T. (2015) *Innføring i Hydrogeologi*. Undervisningskompendium. Sogndal: Høgskulen i Sogn og Fjordane.
- Henriksen, H., Rye, N. & Soldal, O. (1996) *Groundwater transit time in a small costal aquifer at Esebotn, Sogn og Fjordane, western Norway*. NGU Bull. 431, s. 5-17.
- Hjelle, C. og Tallarek, D. (2014) *Områdereguleringsplan med konsekvensutredning for Bømoen, Gnr. 92 Bnr.5, Gnr. 108 Bnr. 2, m.fl. Planbeskrivelse - Forslag til planprogram - vedlegg*. s. 1.: 3RW Arkitekter.
- Hjelle, C. , Tallarek, D. og Piña, H. (2017) *Områdereguleringsplan med konsekvensutredning for Bømoen, Gnr. 92 Bnr.5, Gnr. 108 Bnr. 2, m.fl. Planbeskrivelse - Hovuddokument*. s.1.: 3RW Arkitekter.
- Holmström, P. og Kibsgaard, A. (2009) *Miljøteknisk undersøkelse, fase 2 på Bømoen, Voss kommune*. Futura rapportnr. 5/2009. Oslo: Forsvarsbygg Futura – Miljø.
- Holmqvist, E. (2015) *Flomberegning for Vosso (062.Z) : revidert juni 2015*. NVE Rapport nr 56-2015. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Johansen, P. E. (2012) *Tillatelse til å utføre tiltak i forurenset grunn på Bømoen leir – gnr 92 bnr 5 i Voss kommune i Hordaland*. Oslo: Klima- og forurensingsdirektoratet og Forsvarsbygg Skifte Eiendom.
- Johnsen, G.H. (2016) *IHM sitt avfallsmottak Bjørkemoen - Voss. Miljørapport 2015*. Rapport nr. 2219. Tilgjengeleg frå: www.radgivende-biologer.no. Bergen: Rådgivende Biologer AS.
- Johnson, C. A., Moench, H., Wersin, P., Kugler, P. og Wenger, C. (2005). Solubility of Antimony and Other Elements in Samples Taken from Shooting Ranges. *Journal of Environmental Quality*, 34(1), 248-254. DOI: 10.2134/jeq2005.0248
- Kvåle, H. (2015) *Rapport - Resultat av overflatescreening i Bømoen*. Voss: COWI AS.
- Langsholt, E., Roald, L. A., Holmqvist, E., Fleig, A. (2015) *Flommen på Vestlandet oktober 2014*. Rapport nr. 11:2015. Oslo: Norges vassdrag- og energidirektorat.

- Ljung, K. & Vahter, M. (2007) Time to re-evaluate the guideline value for manganese in drinking water? *Environmental Health Perspectives*, 115(11), s.1533–1538. DOI: 10.1289/ehp.10316
- McDowell-Boyer, L. M., Hunt, J. R. & Sitar, N. (1986) Particle transport through porous media. *Water Resources Research*, 22 (13), s. 1901-1921.
DOI:10.1029/WR022i013p01901
- Misund, A. (2006) *Karakterisering av grunnvannsførekoster i Voss kommune. Fagrapport.* Flekkefjord: COWI AS og Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Moe, B. (2005) *Kartlegging og verdisetting av naturtyper i Voss.* MVA-rapport 7/2005. s. 1.: Voss kommune og Fylkesmannen i Hordaland.
- Mæland, P. J. (1963) *Kvartærgeologiske studier i området mellom Granvin og Voss* [Hovudoppgåve]. Universitetet i Bergen.
- Nag, S. (2009) *Bømoen skyte- og øvningsfelt, Voss kommune. Tiltaksplan for forurenset grunn.* Oslo: Forsvarsbygg Sifte Eiendom og NGI.
- Norges Geologiske Undersøkelse (2018a) *Ressurser – Grus og Pukk ressurskart.* s. 1.: NGU. Tilgjengeleg frå <<http://geo.ngu.no/kart/minkommune/?kommunenr=1235>> [Lest 13. februar 2018].
- Norges geologiske undersøkelse (NGU) (2017a) *Berggrunn: Nasjonal berggrunnsdatabase.* Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/
- Norges geologiske undersøkelse (NGU) (2017b) *Løsmasser: Nasjonal løsmassedatabase.* Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/
- Norges geologiske undersøkelse (NGU) (2017c). *Hva er grunnvann?.* Tilgjengeleg frå: http://www.grunnvanninorge.no/grunnvann_hva_er.php [Hentet: 27.11.2017].
- Norges geologiske undersøkelse (NGU) (2016) *Bruk av grunnvann.* Trondheim: Norges Geologiske Undersøkelse. Tilgjengeleg frå: http://www.grunnvanninorge.no/grunnvann_bruk_av.php. [Lest: 5 september 2017].
- Norge i Bilder (2017) *Norge i Bilder.* Kartverket, NIBIO og Statens vegvesen. Tilgjengelig fra: <https://www.norgeibilder.no/>
- Okkenhaug, G., Almås, Å. R., Morin, N., Hale, S. E. og Arp, H. P. H. (2015) The presence and leachability of antimony in different wastes and waste handling facilities in Norway. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 17 (11), s. 1880-1891.

- Pedersen, O. C. og Veslegard, G. (1985) *Grunnvannsforsyning Bømoen – Geoelektriske målinger og hydrogeologiske vurderinger*. Rappoert 30356.01. Oslo: A/S Geoteam.
- Post, V. E. A. & Von Asmuth, J. R., (2013) Review: Hydraulic head measurements - New technologies, classic pitfalls. *Hydrogeology Journal* 21(4), 737-750. DOI 10.1007/s10040-013-0969-0
- Schlumberg Water Service (2014). Diver manual. Nederland: Schlumberg Water Service.
- Schwartz, F. W. og Zhang, H. (2003) *Fundamentals of groundwater*. New York: John Wiley & sons, Inc.
- Skreden, S. A. (1967) *Kvartærgeologiske undersøkelser i området Voss - Bolstadøyri samt Bordalen [Hovudoppgåve]*. Bergen: Universitetet i Bergen.
- Sognæs, G. F. (2016) *Risiko- og sårbarhetsanalyse av ein grunnvassførekomst i Myrkdalen, Voss [Masteroppgåve]*. Universitetet i Bergen.
- Soldal, O. (2000) *Førebels rapport om misfara elvebotn i Raundalselva*. Sandsli: InterConsult Group ASA.
- Sigmond, E. M. O. (1998) *Geologisk kart over Norge*. Berggrunnsgeologisk kart ODDA, M 1: 250 000. Norges geologiske undersøkelse.
- Statens forurensningstilsyn (SFT) (2008) *Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann – Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter*. TA-2229/2007. Oslo: Statens forurensningstilsyn.
- Statens vegvesen (2014) *Feltundersøkelser*. Håndbok 211. s. 1.: Statens vegvesen.
- St.prp. nr. 89 (1984-1985) *Verneplan III for vassdrag*.
- Sæther, O. M. og de Caritat, P. (1997) *Geochemical processes, weathering and groundwater recharge in catchments*. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Tollan, A. (2002) *Vannressurser*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Thorntwaite, C. W. (1948) An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38 (1). s. 55-94.
- Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O., L. og Alley, W., M. (1998) *Ground Water and Surface Water A Single Resource*. U.S. Geological Survey Circular: rapport: C 1139. Denver, Colorado: U. S. Geological Survey
- World Health Organization (WHO) (2003) *Antimon in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. s. 1.: World Health Organisation.

World Health Organization (WHO) (2011) *Guidelines for drinking-water quality*. 4th ed.,
Geneva: World Health Organization.

Vedlegg

Innholdsliste

Vedlegg A: Utrekning av hydraulisk konduktivitet frå kornfordelingskurver og filterhøgde for brønnane.

Vedlegg B: Utrekning av tau lengd til dataloggarar i dei ulike brønnane

Vedlegg C: Vassbalanseutrekning

Digitale vedlegg

Vedlegg D: Analyse av belegg ved utlaup og vassprøvar frå Bjørkemoen

Vedlegg E: Oksygenisotop analyse

Vedlegg F: Metallanalysar

Vedlegg G: Utvida prøvar

Vedlegg H: Rådata – Dataloggarar

Vedlegg I: Behandla data – Dataloggarar

Vedlegg J: Kornfordelingskurver

Vedlegg K: Data frå Voss kommune

Vedlegg A

Hydraulisk konduktivitet utrekna frå kornfordelingskurver:

PB 7									
Djup	d10	d60	u=d60/d10	G(u)	e	e(u)	K(m/s)	K(m/d)	
6,00	0,06	7,25	115,08		1,63	0,08	2117,29	8,40E-06	0,73
9,00	0,09	4,80	53,33		1,67	0,10	3367,42	2,73E-05	2,36
12,00	0,16	6,90	43,13		1,69	0,11	3840,59	9,83E-05	8,49
15,00	0,36	4,00	11,11		2,00	0,16	8974,31	1,16E-03	100,49
18,00	1,00	7,00	7,00		2,22	0,19	11692,32	1,17E-02	1010,22
21,00	0,46	4,80	10,43		2,02	0,16	9318,94	1,97E-03	170,37
24,00	0,75	4,60	6,13		2,31	0,20	12519,49	7,04E-03	608,45
25,00	0,56	4,50	8,04		2,15	0,18	10842,76	3,40E-03	293,79

PB 8									
Djup	d10	d60	u=d60/d10	G(u)	e	E(u)	K(m/s)	K(m/d)	
6,00	0,10	6,75	67,50		1,65	0,09	2915,33	2,92E-05	2,52
9,00	0,08	5,60	70,00		1,65	0,09	2851,61	1,83E-05	1,58
12,00	0,13	6,25	50,00		1,67	0,10	3504,14	5,48E-05	4,73
15,00	0,40	5,70	14,25		1,91	0,15	7704,43	1,23E-03	106,51
18,00	0,27	5,80	21,48		1,80	0,13	5953,01	4,34E-04	37,50
21,00	0,90	7,50	8,33		2,13	0,18	10623,04	8,60E-03	743,44
24,00	0,31	2,90	9,35		2,07	0,17	9939,72	9,55E-04	82,53
25,00	0,50	5,10	10,20		2,03	0,16	9446,08	2,36E-03	204,04

PB 9									
Djup	d10	d60	u=d60/d10	G(u)	e	E(u)	K(m/s)	K(m/d)	
6,00	0,06	4,80	76,19		1,64	0,09	2708,95	1,08E-05	0,93
9,00	0,25	7,50	30,00		1,74	0,12	4820,69	3,01E-04	26,03
12,00	0,20	5,60	28,00		1,75	0,12	5035,02	2,01E-04	17,40
15,00	0,52	5,30	10,19		2,03	0,16	9450,31	2,56E-03	220,78
18,00	0,34	4,80	14,12		1,91	0,15	7749,21	8,96E-04	77,40
21,00	0,19	1,45	7,84		2,16	0,18	10994,55	3,76E-04	32,51
24,00	0,18	0,93	5,29		2,42	0,21	13445,27	4,12E-04	35,58
25,00	0,27	0,90	3,33		2,88	0,25	15930,60	1,16E-03	100,34

Tabell 1: Viser ei oversikt over høgda til filtera i produksjonsbrønnane.

Pumpebrønn	Filterhøgde i m o.h.
B3	82,3-90,3
B4	78,4-86,4
B6	80,0-88,0
B5	78,5-86,5
B7	78,1-86,1

Vedlegg B: Utrekning av tau lengd til dataloggarar i dei ulike brønnane

PB 1					
Dato	Trykk over loggar ($P_D - P_B$)/100 (m)	Målt med klukkelodd i m	Grunnvassnivå i m o.h.	Loggarplassering i m o.h.	Gjennomsnitt av loggar plassering i m o. h.
09.06.2017	3,696	11,81	92,24	88,544	
02.08.2017	3,217375	12,88	91,17	87,952625	
22.01.2018	2,16825	13,22	90,83	88,66175	
					88,386125

PB 2					
Dato	Trykk over loggar ($P_D - P_B$)/100 (m)	Målt med klukkelodd	Grunnvassnivå i m o.h.	Loggarplassering i m o.h.	Gjennomsnitt av loggar plassering i m o.h.
09.06.2017	9,53575	10,96	92,3	82,76425	
02.08.2017	9,04225	11,33	91,93	82,88775	
22.01.2018	7,94966	12,15	91,11	83,16034	
					82,93744667

PB 3					
Dato	Trykk over loggar ($P_D - P_B$)/100 (m)	Målt med klukkelodd	Grunnvassnivå i m o.h.	Loggarplassering i m o.h.	Gjennomsnitt av loggar plassering i m o.h.
09.06.2017	3,45854	11,62	92,38	88,92146	
02.08.2017	3,251915	11,91	92,09	88,838085	
22.01.2018	2,3965	12,73	91,27	88,8735	
					88,87768167

PB 4					
Dato	Trykk over loggar ($P_D - P_B$)/100 (m)	Målt med klukkelodd	Grunnvassnivå i m o.h.	Loggarplassering i m o.h.	Gjennomsnitt av loggar plassering i m o.h.
09.06.2017	5,390577	10,81	92,03	86,639423	
02.08.2017	4,854835	11,37	91,47	86,615165	
22.01.2018	2,28191	13,96	88,88	86,59809	
					86,61755933

B4					
Dato	Trykk over loggar ($P_D - P_B$)/100 (m)	Målt med klukkelodd	Grunnvassnivå i m o.h.	Loggar plassering i m o.h.	Gjennomsnitt av loggar plassering i m o.h.
28.08.2017	2,04983	14,8	88,32	86,27017	
09.11.2017	1,4045	15,51	87,61	86,2055	
22.01.2018	0,05808	17,38	85,74	85,68192	
					86,05253

PB 5					
Dato	Trykk over loggar (PD-PB)/100 (m)	Målt med klukkelodd	Grunnvassnivå i m o.h.	Loggar plassering i m o.h.	Gjennomsnitt av loggar plassering i m o.h.
02.08.2017	3,420665	14,24	91,36	87,939335	
22.01.2018	2,072	15,57	90,03	87,958	
					87,9486675

B6					
Dato	Trykk over loggar (PD-PB)/100 (m)	Målt med klukkelodd	Grunnvassnivå i m o.h.	Loggar plassering i m o.h.	Gjennomsnitt av loggar plassering i m o.h.
29.08.2017	0,787755	18,76	87,2	86,412245	
09.11.2017	1,19275	17,98	87,98	86,78725	
22.01.2018	0,5265	18,56	87,4	86,8735	
					86,69099833

PB 7					
Dato	Trykk over loggar (PD-PB)/100 (m)	Målt med klukkelodd	Grunnvassnivå i m o.h.	Loggar plassering i m o.h.	Gjennomsnitt av loggar plassering i m o.h.
02.08.2017	2,95458	12,93	91,39	88,43542	
22.01.2018	1,638	14,16	90,16	88,522	
					88,47871

PB 8					
Dato	Trykk over loggar (PD-PB)/100 (m)	Målt med klukkelodd	Grunnvassnivå i m o.h.	Loggar plassering i m o.h.	Gjennomsnitt av loggar plassering i m o.h.
02.08.2017	2,942	14,52	91,3	88,358	
					88,358

PB 9					
Dato	Trykk over loggar (PD-PB)/100 (m)	Målt med klukkelodd	Grunnvassnivå i m o.h.	Loggar plassering i m o.h.	Gjennomsnitt av loggar plassering i m o.h.
02.08.2017	4,69408	12,71	92,06	87,36592	
22.01.2018	3,56125	13,59	91,18	87,61875	
					87,492335

Teknisk verkstad					
Dato	Trykk over loggar (PD-PB)/100 (m)	Målt med klukkelodd	Grunnvassnivå i m o.h.	Loggarplassering i m o.h.	Gjennomsnitt av loggar plassering i m o.h.
02.08.2017	2,027075	10,28	90,65	88,622925	
22.01.2018	1,74475	10,53	90,4	88,65525	
					88,6390875

Vedlegg C

Utrekning av evapotranspirasjon til vassbalanselikninga.

Tn er månedlig middeltemperatur					
I er årlig temperatur indeks, I=summen av 12 stk. in, $in=(Tn/5)*1,514$					
	Middel tempertatur		Fordamping		
Måned	Mid.temp.Tn	in	Mnd.fordunst. $E=16(10*(Tn/I))*a$		
jan. 17	0,0	0	0,00		
feb.17	0,0	0	0,00		
mar.17	1,4	0,1424	10,49		
apr.17	4,7	0,9018	30,08		
mai.17	11,3	3,45	64,75		
jun.17	12,7	4,10	71,35		
jul.17	14,3	4,89	78,92		
aug.17	13,1	4,31	73,44		
sep.17	11,2	3,39	64,00		
okt.17	6,0	1,30	37,13		
nov.17	0,3	0,0156	2,97		
des.17	0,0	0	0,00		
Årlig temperatur indeks, I			22,50	433	mm fordamping
$a=(6751*(10^{-10}*(I^3)))-(771*(10^{-7}*(I^2)))+(1792*(10^{-5})*I)+(49239*(10^{-5}))$					
a=	0,86421246				