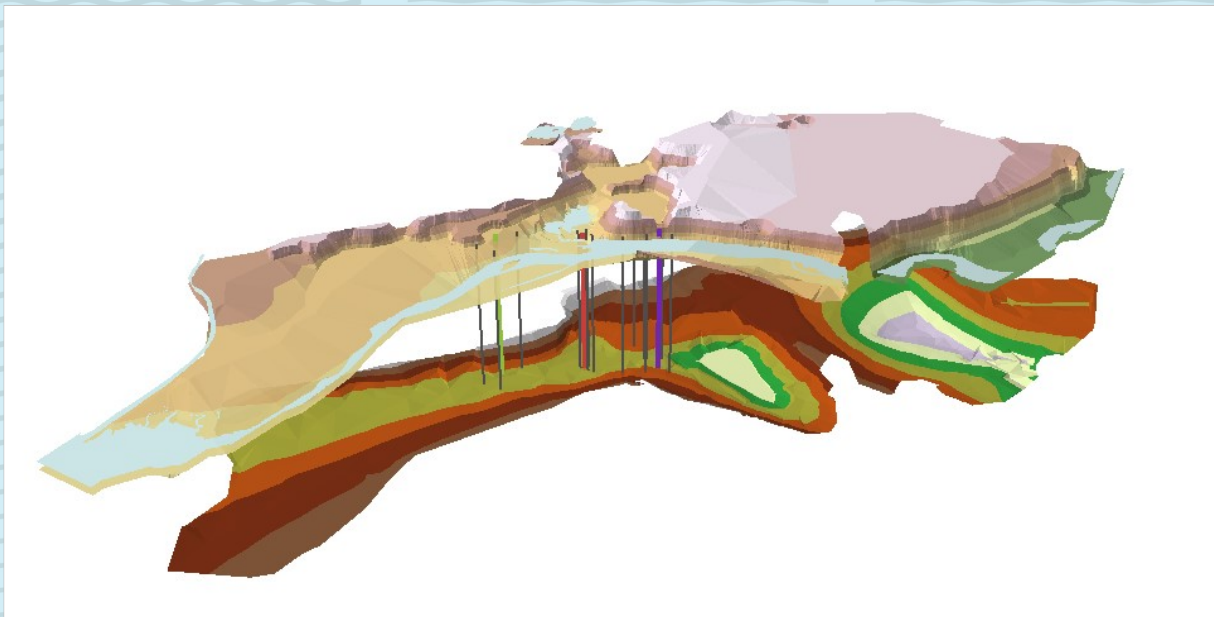


Erika Marcela Delgado Solli

GIS modellering og EUs vanndirektiv for akvifer

Hagadrag



Høgskolen i Sørøst-Norge
Avdeling for allmennvitenskapelige fag
Institutt for natur-, helse- og miljøfag
Postboks 235
3603-Kongsberg

<http://www.usn.no>

© 2016 Erika Marcela Delgado Solli

Denne avhandlingen representerer 60 studiepoeng

Sammendrag

Norge gjennomfører EUs vanndirektiv 2000/60/EF ved å utarbeide vannforskriften som trådte i kraft i 1.1.2007. I følge vannforskriften skal alle vannforekomstene i Norge ha minst "god" kjemisk og kvantitativ tilstand innen 2021. Dette reguleres ved å klassifisere og karakterisere miljøtilstanden til alle vannforekomstene.

I denne oppgaven er det utført en foreløpig akvifer karakterisering ved å kartlegge noen av de fysiske faktorene som er beskrevet i veileder 03.2013 utarbeide av NVE, denne veilederen beskriver hvordan grunnvannsforekomstene i Norge skal karakteriseres.

Akviferen Hagadrag er en viktig grunnvannkilderessurs for Bø kommune, det benyttes tre pumpebrønner for å forsyne Bø vassverk.

Data fra 2012 til 2014 ble innhentet ved feltarbeid og analysert ved modelleringsarbeid i ArcGIS, i tillegg ble data fra Bø vassverk og andres resultater fra tidligere undersøkelser benyttet.

Resultatene fra senkningsdata og strømningsmønster viser at pumpebrønn 4 har sitt eget strømningsområde og at pumpebrønn 2 og 3 har en interaksjon.

Strømningsmønstrene i akviferen viser at de ulike påvirkningene som denne er utsatt for, førte til at akviferen ble klassifisert som sårbar. Metoden ga ikke svar på i hvilken grad disse påvirkningene kan forringe grunnvannskvaliteten.

Abstract

Norway implements the EU Water Framework Directive 2000/60 / EC by preparing national regulations for water resources management which entered into force on 1.1.2007.

According to this directive, all water bodies in Norway must have at least "good" chemical and quantitative status by 2021. One step in this direction is by classifying and characterizing the environmental condition of all water bodies.

This master thesis work has developed a preliminary aquifer characterization by identifying some of the physical factors following the guideline 03.2013 developed by NVE. This guide explains how groundwater deposits in Norway can be characterized.

Hagadrag aquifer is an important groundwater source for the Bø municipality, this aquifer uses three pumping wells to supply water to the Bø purification plant.

Data from 2012 to 2014 were collected through fieldwork and analyzed by GIS modeling, in addition to the results of previous research and data from Bø water purification plant.

The results of flow patterns and drawdown data shows that well 4 has its own flow area and well 2 and 3 have an interaction.

Flow patterns in the aquifer Hagadrag shows that the various impacts that it is exposed to, leads to classifying the aquifer as vulnerable. The method did not provide answers to which extent the impacts can affect the quality of groundwater.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	9
1.1	Bakgrunn.....	9
1.1.1	Problemstilling og målsetning	9
1.2	Lowverk og grunnvann.....	11
1.2.1	Europaparlaments- og rådsdirektiv 2000/60/EF- EUs Vanndirektiv	11
1.2.2	Europaparlaments- og rådsdirektiv 2006/118/EC-EUs grunnvannsdirektiv	12
1.2.3	Veileder 03:2013 karakterisering av norske grunnvannsforkomster med forslag til påvirkningsanalyse.....	12
1.2.4	Fysiske faktorer.....	13
1.2.4.1	Grunnvannsdyp.....	13
1.2.4.2	Hydraulisk vannledningsevne og strømningsforhold.....	14
1.2.5	Sårbarhet	15
1.3	Akviferbeskrivelse	15
1.3.1	Beliggenhet og aktiviteter.....	15
1.3.2	Akvifer Hagadrag og pumpebrønner.....	16
1.3.2.1	Pumpebrønn 2 og 3	18
1.3.2.2	Pumpebrønn 4	18
1.3.3	Akvifer avgrensning	19
1.3.3.1	Grenser og nedbørsfeltet i akvifer Hagadrag	19
1.3.4	Berggrunn	21
1.3.5	Kvartærgeologi	22
1.4	Bø elva målestasjon	23
1.4.1	Vannføring i Hagadrag.....	24
1.4.2	Vannforbruk og elvevannføring.....	25
1.4.3	Nedbør 2013/2015	26
2.	Metode	27
2.1	Gis og Model Builder.....	27
2.1.1	Oppbygning av akvifer kart	27
2.2	Høydeverdier og koordinater til alle brønnene	28
2.3	Digital terreng model (DTM).....	28

2.3.1. Oppbygning av en DTM.....	30
2.4. Ekvipotensiale linjer	31
2.5. Transmissivitet og Magasinkoeffisient.....	32
2.6. Grunnvannsreservoarer med fritt vannspeil (Theis formel).....	33
2.7. Konstant strøming av en brønn i en fri akvifer (Hw).....	34
2.7.1. Beregn senking i pumpebrønn ved stasjonær tilstand	34
2.8. Grunnvannavstand.....	35
2.8.1. Høyde over havet til grunnvannstanden (G_h) i observasjonsbrønnene	36
2.8.2. Høyde over havet til grunvanstanden i pumpebrønn 2 og 3.....	37
2.9. Oppbygning av modell i ArcGis som viser strømningsmønsteret for pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene.....	38
2.10. Oppbygning av modell som viser strømningsmønsterene for alle pumpebrønnene og observasjonsbrønnene.....	39
2.11. Bø elva	40
2.12. Grunnvannsdyp.....	40
3. Resultater	41
3.1. Modell som viser strømningsmønsterene for pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene / 29.10.2012.....	41
3.1.1. Kart over strømningsmønsterene ved pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene / 29.10.2012.	42
3.2. Modell som viser strømningsmønsterene for pumpebrønn 2, 3 og observasjonsbrønnene.....	47
3.2.1. Kart over strømningsmønsterene i hele akviferen	49
3.2.1.1. Strømningsmønster den 17.06.2014.....	50
3.2.1.2. Strømningsmønster den 05.10.2014.....	52
3.3. Modellering i 3D	55
3.3.1. Høyden til grunnvannstanden rundt pumpebrønn 4 ved tre forskjellige nivåer	57
3.3.2. Grunnvannavstanden	58
3.3.3. Grunnvannsdyp.....	59
4. Diskusjon	60
4.1. Karakterisering.....	60

4.2. Strømningsmønsteret i akviferen.....	64
4.3. GIS Verktøy.....	68
5. Konklusjoner	69
6. Referanser.....	70

Forord

Målsettingen for oppgaven er å karakterisere akviferens sårbarhet i følge EUs grunnvannsdirektiv ved å identifisere senking og strømningsmønstre ved intermitterende drift av brønnene, og ved 3d visualisering av akviferen og brønner. Dette har vært gjennomført ved innhenting av data fra observasjoner og undersøkelser fra 2012 til 2014 i Hagadrag, Bø Kommune.

Denne ideen ble foreslått av Harald Klempe, Høgskolen Sørøst-Norge. En stor takk til Harald Klempe for mye hjelp, inspirerende veiledning og kunnskap. Uten hans bidrag kunne ikke denne oppgaven ha vært gjennomført. Jeg takker han også for den tålmodigheten han hadde gjennom hele prosessen. For all støtte og for den tiden han brukte, slik at jeg kunne jobbe med oppgaven også under svangerskapet mitt.

Det har vært veldig lærerikt innenfor det fagfeltet jeg er interessert i (Gis) og dette gjør at mastergraden min fra Spania blir godkjent i Norge. Det ble en lang prosess med ulike utfordringer, frustrasjoner og mye tid som ble brukt for å komme fram til det beste resultatet.

Jeg takker Ingrid Bergane, Bø Kommune, Harald Klempe og Frode Bergan, Høgskolen Sørøst -Norge for hjelp med feltarbeidet. Jeg takker også Gudmund Amundsen, Bø vassverk og Bjørn Tore Kilen, Sonton Teknologi AS for tilsendte data fra drift av vannverket.

Jeg takker min datter Thea Elisabeth Delgado Solli som har vært inspirasjonskilde for å gjennomføre denne oppgaven. Jeg takker også til alle vennene mine som passet på min datter da jeg jobbet med denne oppgaven og til de som hjalp meg med korrekturlesning.

Porsgrunn, mai 2016

Erika Marcela Delgado Solli

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

1.1.1 Problemstilling og målsetning

Europaparlament og råds direktiv 2000/60/EF har etablert en felles vannpolitikk i EU som heter vanddirektivet. Formålet med direktivet er å opprettholde eller oppnå en god miljøtilstand i ferskvann, grunnvann og kystvann innen 2015. Dette målet skal gjennomføres internasjonalt og nasjonalt. Forvaltning i henhold til vanddirektivet må inkludere karakterisering, overvåkning, tiltak og koordinering av alle vannforekomster (Miljødirektoratet, 2014).

EUs grunnvannsdirektiv 2006/118/EC ble utviklet etter kravene i artikkel 17 av EUs vanddirektiv, som definerer strategier for å forebygge og kontrollere forurensning av grunnvann.

EUs grunnvannsdirektiv 2006 /118/EC «On the protection of groundwater against pollution and deterioration» sier at grunnvann skal beskyttes mot forringelse og kjemikal forurensning siden alle økosystemer og menneskenes forsyning av vann er avhengig av grunnvann.

Norge har utarbeidet vannforskriften som trådte i kraft i 1.1.2007, og gjennomfører EUs vanddirektiv 2000/60/EF. Formålet med vannforskriften er å sikre at alle vannforekomstene i Norge skal ha minst "god" kjemisk og kvantitativ tilstand innen 2021. Tilstanden skal beskyttes mot forringelse, forbedres og gjenopprettes. Overflatevann og grunnvann har stor påvirkning på hverandre, når det sikres en god tilstand for en av disse, blir dette avgjørende for en god tilstand til den andre.

Vannforskriften (§17) sier at alle grunnvannsforkomster med større kapasitet enn 10 m³ per døgn eller som forsyner mer enn 50 personer med drikkevann, skal avgrensnes og beskrives. Dette gjelder også grunnvannsforkomster av samme størrelse som er tiltenkt benyttet til samme formål i fremtiden. Kravene gjelder derfor for Bø kommune

sin grunnvannsforsyning på Hagadrag som forsyner mer enn 4000 mennesker med vann, og har et døgnforbruk på 2700 – 3600 m³.

I 2004 utførte Norge det første karakteriseringsarbeidet (Tvedten 2008), kun noen få grunnvannsforekomster i landet ble karakterisert. Det vil si at det mangler mye informasjon ennå. Denne prosessen bør forbedres gjennom en hensiktsmessig karakterisering og dessuten en kontroll av de som allerede har blitt karakterisert og til de som skal karakteriseres. Fylkeskommunen er ansvarlig for gjennomføringen av det gjenstående karakteriseringsarbeidet.

Som en følge av vannforskriften fra 2007 har Norge laget en veileder 03.2013 som beskriver en metode for å karakterisere miljøtilstanden til grunnvannsforekomster. Miljøtilstanden er delt i to deler, kvantitative og kjemisk tilstand (Iversen & Gunnarsdóttir 2013).

Bø kommune sin drikkevannskilde er akviferen Hagadrag, det er risiko for at denne grunnvannsforekomsten ikke oppnår miljømålet innen 2021. Grunnen til forringelsen er ulike ytre påvirkninger. De viktigste påvirkninger er vannforsyning, vegsalt, masseuttak og jordbruk (NVE 2014).

Det er tre pumpebrønner i akviferen Hagadrag, og ved intermittert drift av disse kan akviferen endre seg over tid.

Målsettingen for oppgaven er å karakterisere akviferens sårbarhet ved å identifisere senking og strømningsmønstre ved intermittert drift av brønnene, og ved 3d visualisering av akviferen og brønnene.

1.2 Lovverk og grunnvann

2.8.1 Europarlaments- og rådsdirektiv 2000/60/EF- EUs Vanddirektiv

Grunnvann er en fornybar ressurs som kan bruke tid på å bygge seg opp og fornyes, og derfor må det sikres at det er en god tilstand for grunnvannet. Det er viktig å planlegge langsiktig og å sette inn tiltak tidlig.

Medlemslandene skal gjennomføre nødvendige tiltak for å forebygge eller begrense tilførselen av forurensende stoffer til grunnvannet og forebygge forringelse av tilstanden til alle grunnvannsforekomster.

Grunnvannsforekomster er forbundet med overflatevann og jordøkosystemer, den økologiske kvaliteten til overflatevann og jordøkosystemer kan bli påvirket av den kvantitative og kjemiske tilstanden til grunnvannsforekomster. Derfor er det viktig at tiltak blir samordnet mellom dem.

EUs vanddirektiv krever at det skal foretas to beskrivelser av grunnvannsforekomsten. Den første beskrivelsen gjelder vurdering av bruken og i hvilken grad den står i fare for å ikke oppnå miljømålet. Beskrivelsen skal identifiseres grunnvannsforekomstens beliggenhet, grense og belastningen som grunnvannsforekomsten kan bli utsatt for. Arten av de overliggende lagene i nedbørfeltet som grunnvannet får tilført vann fra og hvilke økosystemer som er direkte avhengige av grunnvannsforekomsten må også være en del av beskrivelsen.

En grundigere beskrivelse må gjøres når det er definert at grunnvannsforekomsten er utsatt for forurensning. Den skal inneholde opplysninger om menneskelig påvirkning, detaljert informasjon om hydrogeologiske egenskaper, kjemiske, geologiske og pedologiske data (EUs vanddirektiv 2000).

1.2.2 Europaparlaments-og rådsdirektiv 2006/118/EC-EUs grunnvannsdirektiv

Artikkel 17 i EUs rammedirektiv for vann (direktiv 2000/60/EF) forutsetter at det skal utarbeides et eget datterdirektiv for grunnvann, og derfor ble EUs grunnvannsdirektiv utarbeidet i 2006.

Hovedmål til EUs grunnvannsdirektiv er at medlemslandene må beskytte grunnvannet mot forurensning og forringelse, dette gjøres ved at det etableres felles kvalitetsstandarder for nitrater og pesticider.

Det stilles krav om at en vesentlig og vedvarende stigende tendens av forurensende stoffer, skal identifiseres og reverseres. Det skal iverksettes tiltak for å forhindre og begrense forurensning fra punktkilder og diffuse kilder.

Norsk lovverk implementerte EUs grunnvannsdirektiv i høsten 2010 som en integrert del av den norske vannforskriften.

1.2.3 Veileder 03:2013 karakterisering av norske grunnvannsforekomster med forslag til påvirkninganalyse

Norge må rapportere tilstanden til grunnvannet til EU, dette gjøres ut fra karakterisering og overvåkning av grunnvannsforekomster. Denne veilederen ble laget som et forslag for å vurdere grunnvannsforekomstene sin sårbarhet og tilstand.

Sårbarheten er et uttrykk for hvor utsatt en grunnvannsforekomst vil være for å bli forringet av forurensningskilder på overflaten. Hvor raskt forurensningen når ned til grunnvannet vil avhenge av nedbørsforhold, jordens egenskaper, mektighet, størrelsen på akviferen og transporten i akviferen (Iversen & Gunnarsdóttir 2013).

Denne veilederen bruker en modell som heter DRASTIC som ikke kan brukes i denne oppgaven på grunn av manglende data. Noen av de fysiske faktorene ble analysert for å gi en foreløpig karakterisering av akviferen Hagadrag.

1.2.4 Fysiske faktorer

De neste faktorene er en del av de hydrogeologiske egenskapene og hydrologiske forholdene. De hydrogeologiske egenskapene omfatter magasintype, grunnvannsnivå, permeabilitet og grunnvannsstrømning. Disse tolkes ut fra geologisk avsetningstype og data fra hydrogeologiske undersøkelser (sonderboringer, brønner, seismikk).

Resultater fra prøvepumper og kornfordelingsanalyser er verdifulle datagrunnlag (Hilmo 2007).

Hydrologiske forhold omfatter hovedsakelig interaksjon med overflatevann og vurdering av grunnvannsdannelse. Denne interaksjonen med overflatevann er vurdert på grunnlag av overflatehydrologi (nivå i tilstøtende bekker, elver, vann) samt observasjoner i brønner (Hilmo 2007).

1.2.4.1. Grunnvannsdyp

Veileder 03:2013 definerer grunnvannsdyp for en åpen akvifer og for en lukket akvifer. For en lukket akvifer ligger grunnvannet under et tett lag, og vannet kan ikke gå gjennom dette. For en åpen akvifer er grunnvannsdypet den vertikale avstanden fra jordoverflaten til nivået hvor alle porene er fylt med vann, og trykket ved grunnvannets overflate er lik atmosfæretrykket.

Jo større er dybden til grunnvannet er, jo mindre sårbart er grunnvannet for å bli forurenset. I følge veilederen har norske grunnvannforekomster en lav grunnvannsdypde. Målingene av grunnvannsdyp fra målestasjon Hagadrag i Bø viser en median dybde på 5.6 meter og disse var tatt ut i fra av det landsomfattende mark- og grunnvannsnett (LGN) (Iversen & Gunnarsdóttir 2013).

I 2008 gjorde NVE en grunnvankarakterisering i fire kommuner. NVE foreslo å bruke følgende akviferetykkelser: Tynn akvifer 3 m (0-5 m), middels akvifer 15 m (5-25 m) og tykk akvifer 30m (>25 m) (Tvedten 2008).

Hagadrag ligger i Bø kommune og i følge undersøkelsen som ble nevnt tidligere så er det akviferen Hagadrag en tynn akvifer siden grunnvannsstanden rundt de aktuelle brønnene er 2 – 3 m. Dette kom fram når vannavstanden ble målt direkte på feltet.

1.2.4.2. Hydraulisk vannledningsevne og strømningsforhold

Hydraulisk vannledningsevne defineres som akviferens evne til å transportere vann. Ut fra DRASTICs modell har mettet vannledningsevne fra breelv- og elveavsetninger en stor sårbarhet (Iversen & Gunnarsdóttir 2013).

Mettet vannledningsevne er en funksjon av kornstørrelsesfordelingen. Det er viktig med mange målinger for å få en representativ verdi.

Det finnes tidligere prøver for kornstørrelsesfordeling rundt pumpebrønn 4, men uten analyse.

Kornfordelingsanalyser rundt pumpebrønn 2 og 3 ble utført i to tidligere oppgaver (Halvorsen & Strømme 1989) og (Langeland & Moe 2003).

Strømningsforholdene er en viktig del av denne oppgaven, og disse vil vise hvordan akviferen blir påvirket av vannkilder og nedbør.

1.2.5 Sårbarhet

I følge rapporten skrevet av (Tvedten 2008) er sårbarheten vurdert ut fra type løsmasseoverdekning over akviferen og dybden til grunnvannsnivået. I tillegg bør det legges vekt på tykkelsen av selve akviferen.

Sårbarheten graderes i to forskjellige nivå:

1) Godt beskyttet. Lukket akvifer (beskyttet av minst 2 m tette lag for eksempel silt/leire), delvis lukket akvifer med over 10 m umettet sone eller åpen akvifer med over 20 m umettet sone.

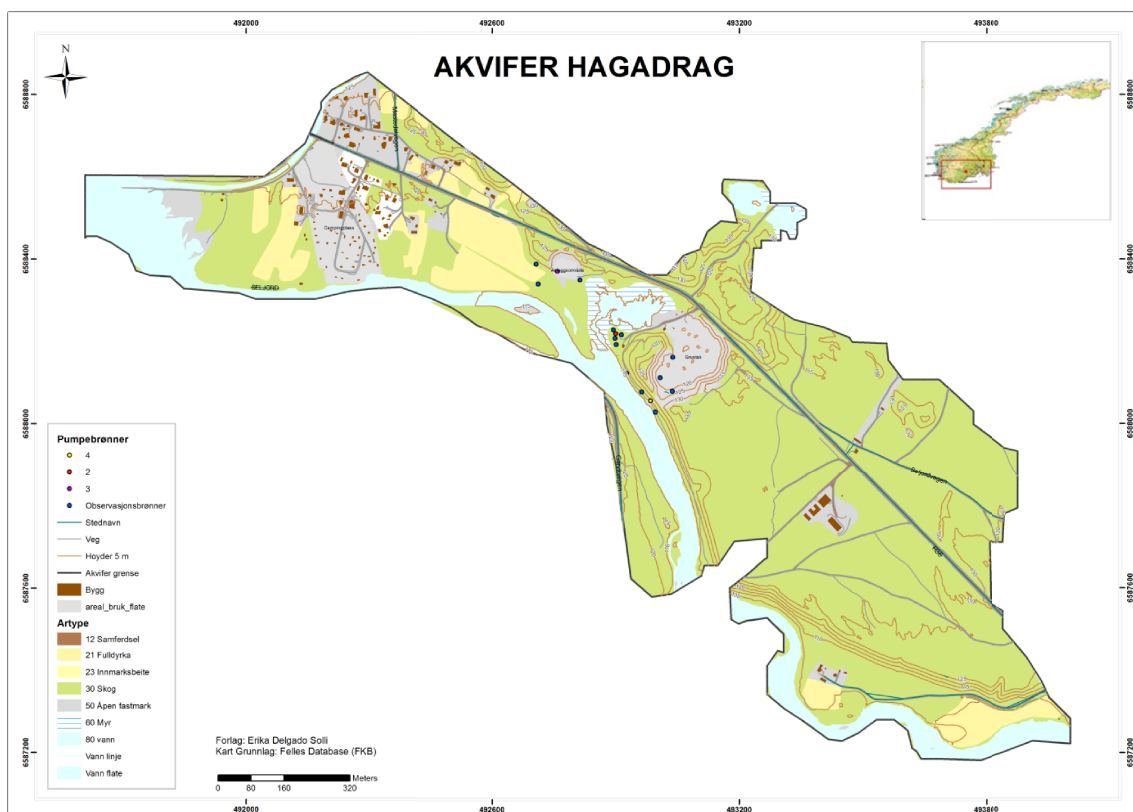
2) Dårlig beskyttet. Åpen akvifer (uten tette lag over) og mindre enn 20 m umettet sone. Når beskyttelsen er ukjent og det er liten umettet sone settes sårbarheten til 2. Typisk vil lavtliggende elveavsetninger uten overdekning og med høyt grunnvannsnivå få 2 i sårbarhet.

Åpne akvifere i breelavsetninger vil få 1 eller 2 i sårbarhet avhengig av tykkelsen av den umettede sonen, mens lukkede akviferer, for eksempel breelavsetninger dekt av bresjøsilte eller marin leire, som oftest vil få 1 i sårbarhet. Denne inndelingen er kun retningsgivende.

1.3 Akviferbeskrivelse

1.3.1 Beliggenhet og aktiviteter

Bø kommune ligger midt i Telemark, har et areal på 266 km² og omlag 5700 innbyggere (www.bo.kommune.no, 2014). Vannforsyning til Bø kommune er akviferen Hagadrag, denne ligger i Bø og Seljord kommune, og grenser til Bøelva og Sejordsvatnet. Riksveien (Rv 36) går over akviferen, det er også to grustak i Herremo avtseningen, det gamle Verpe grustak og et som startet i 2013. Det er dyrket mark med gressproduksjon nordvest i akviferområdet, se kart 1-1.



Kart 1-1. Kart viser hvor akvifer Hagadrag ligger i Norge og akviferen mer detaljert. (Data inhentet fra <http://kartverket.no/>).

1.3.2 Akvifer Hagadrag og pumpebrønner

En akvifer er definert som at løsavsetningene med grunnvann må kunne lede vann i store nok mengder til å forsyne en brønn (Fetter 1994 s. 95). De permeable massene har god vannledningsevne og består av sand, grus eller stein. Avsetningene stammer fra breelver eller er postglaciale avsetninger (Jansen 1980).

Denne akviferen oppfylder kravene fra vannforskriften § 17, siden Hagadrag forsyner mer enn 4000 innbyggere og vannforbruket er 2700 - 3600m³/d i hele Bø kommune.

I Hagadrag er det tre løsmassebrønner som blir pumpet hele året, og de ligger cirka 1.5 km fra Seljordsvatnet.

I denne oppgaven ble det tatt i hensyn til brønn 2, 3 og 4. Brønnene som ikke er merket med pil på kartet, er ikke i bruk i dag. Brønn 2 ble tatt i bruk i 1978, brønn 3 i 2000 men satt i drift 2002, brønn 4 i 2012 og brønn 1 ble tatt ut av drift i 2012. Bilde 1-1 viser hvor brønnene er plassert ifølge NGU (NGU 2014).



Bilde 1- 1. Plassering av pumpebrønnene 2, 3 og 4 (NGU 2014).

Alle brønnene er utstyrt med grunnvannspumper med kapasitet på 150 m³/t (42 l/s) som pumper mot høydebassenget på Kupanuten med ca 90 m løftehøyde. Driften på brønnene blir alternert og to av brønnene står kontinuerlig i drift (Kraft 2011).

Det ble utført et pumpeforsøk av Bø kommune og Høgskolen i Telemark for brønn 4 fra 12.09.2011 til 18.11.2011. Pumpekapasiteten ble underveis justert fra 160m³/t til 115 m³/t. Etter pumpeforsøket ble det bestemt å kjøre pumpebrønn 4 med 115 m³/t (pers. med Harald Klempe, Høgskolen i Sørøst- Norge. 27. mai 2014).

Råvannskvaliteten er god, men med noe lav pH og høyt manganinnhold. Det er brønn 2 som har problemer med høyt og økende manganinnhold. Det er sannsynlig at årsaken er knyttet til induert infiltrasjon i Herretjønn (bilde 1-1). Her er det mye organisk materiale og sannsynligvis oksygenfattige forhold som fører til utløsning av mangan fra underliggende sedimenter (Kraft 2011).

1.3.2.1. Pumpebrønn 2 og 3

Pumpebrønn 3 ligger i en glasifluvial avsetning som inneholder en esker. Sondeboringer gjort i 2003 viser sand og grus i homogene lag med lite finere sedimenter (Langeland & Moe, 2003). Denne eskeren ble dannet etter at isen smeltet fra morenryggen som ligger i nordøst.

Mellom pumpebrønn 3 og Bø elva finnes det et topplag på to til fem meter som inneholder finsand, silt og organisk materiale nærmere Herretjønn (Langeland & Moe 2003).

Pumpebrønn 2 ligger under et myrområde og avsetninger består av sand og grus under et finsandlag. I følge (Halvorsen & Stømme 1989) ligger pumpebrønn 2 i en esker også.

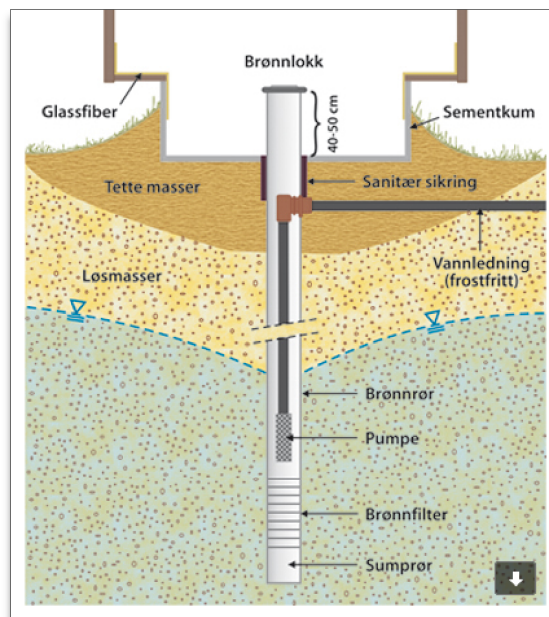
Pumpebrønn 2 er 22 meter og har to filtre, en mellom 12-16 meter og den andre mellom 18-21 meter (Gudmund Amundsen, Bø kommune. E-post 29.04.2016).

I reguleringsplanen for beskyttelse av Bø vassverk står det at pumpebrønn 3 er 30 m dyp, med filterplassering på 25 – 30 meter (Kraft 2011).

1.3.2.2. Pumpebrønn 4

Pumpebrønnen 4 er 23 m lang og har et lokk med diameter på 30 cm. Sensoren henger i cirka 11 m ned i brønnen. Brønnen har et filterrør med 0.1 mm avstand mellom hvert filter, som henger fra 7 til 22 m ned i brønnen. Pumpeuttaket skjer på mellom 18 og 19 m. Det er en sump i den nederste meteren på 22-23m

Brønnen ligger på 120.17 moh målt fra brønnlokket og 117.45 moh fra rørtoppen. Datalogger henger på 106.05 moh. Bilde 1-2 viser et eksempel på en pumpebrønn i løsmasser.



Bilde 1- 2. Pumpebrønn i løsmasser (Brønnboring, 2014).

1.3.3 Akvifer avgrensning

1.3.3.1. Grenser og nedbørsfeltet i akvifer Hagadrag

I følge EUs direktiv må alle grunnvannsforekomstene som brukes som drikkevannskilde karakteriseres. En viktig faktor for å karakterisere Hagadrag akviferen er å avgrense denne.

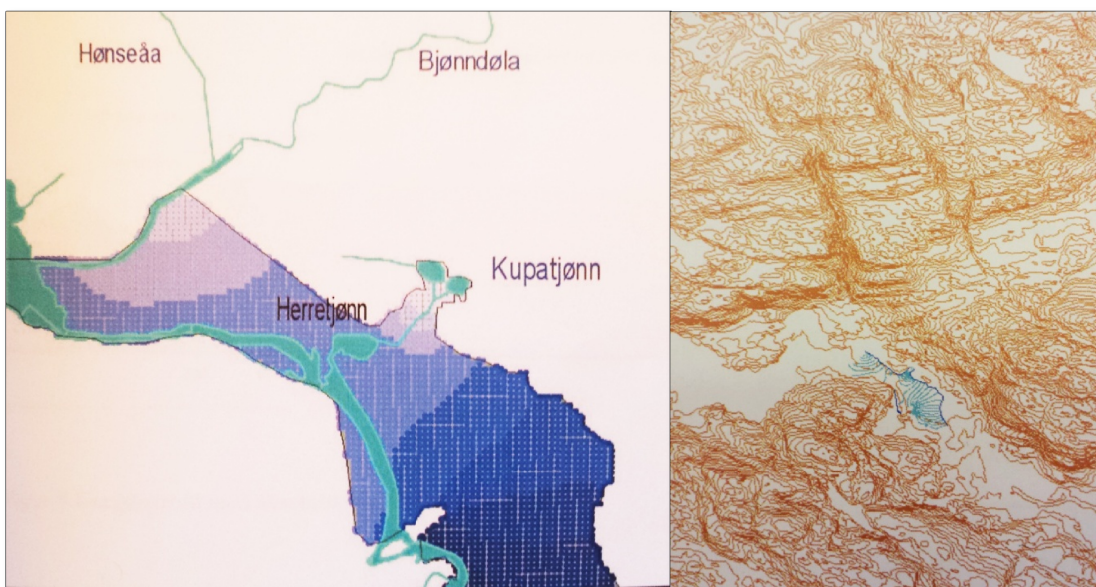
I følge (Hilmo 2007) skal avgrensningen følge forekomstens yttergrenser i terrenget både for åpne og lukkede forekomster. Hver forekomst avgrenses som et polygon, og arealet beregnes. Dette arbeidet kan gjøres i GIS (ArcMap).

Forekomstenes beliggenhet og grenser er i hovedsak bestemt på grunnlag av tidligere utført hydrogeologisk og kvartærgeologisk kartlegging, samt data fra NGUs hydrogeologiske database (boringer, brønner, grunnvannskvalitet), grunnvannsundersøkelser og andre grunnundersøkelser. I tillegg er det gjennomført feltbefaring for vurdering av enkelte forekomster (Kraft 2007).

I denne oppgaven ble det brukt en akvifersavgrensning som tidligere har blitt utarbeidet ved Høgskolen i Telemark (Klempe 1994).

Akviferen på Hagadrag har et areal på 1576 daa. Grensene mot nord er Hølseå og Bjørndøla, Kupatjønn og Herretjønn er grenser i øst. Bø elva er grensen i sør og går gjennom hele akviferen. Den har sitt utspring i Seljordsvatn som ligger i vest. Se bilde 1-2.

I en tidligere rapport (Gulbrandsen et al 2005) ble nedbørsfeltet avgrenset. Det ble laget et kart over nedbørsfelt med delnedbørsfelt og med sine respektive strømningsretninger. Bilde 1-3 viser syv delnedbørsfelt, hvor vannet strømmer i hele nedbørsområdet.



Bilde 1-3. Bildet til høyre viser plasseringen av akviferen i nedbørsområdet og bildet til venstre viser beliggenheten til akviferen i forhold til vannkildene. Bildene er hentet fra (Gulbrandsen et al 2005).



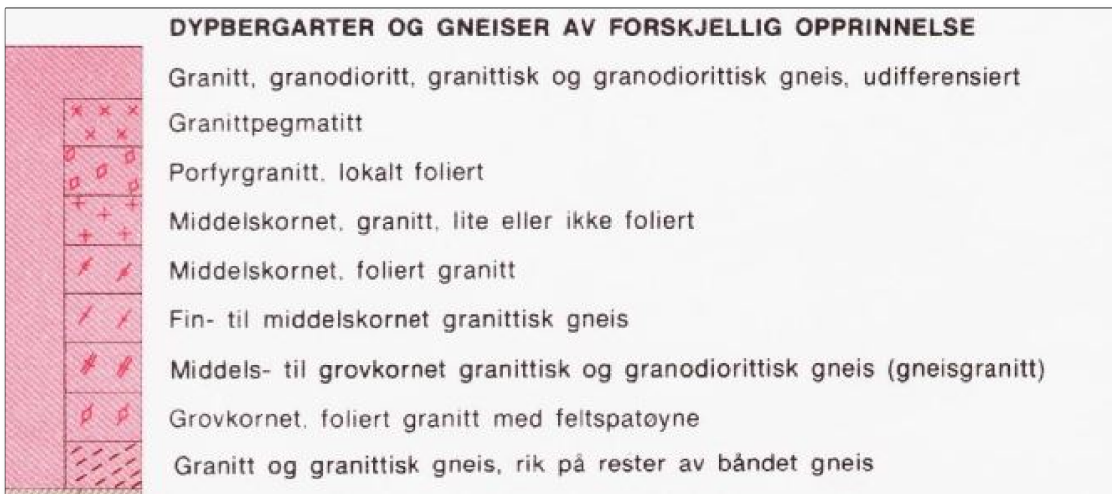
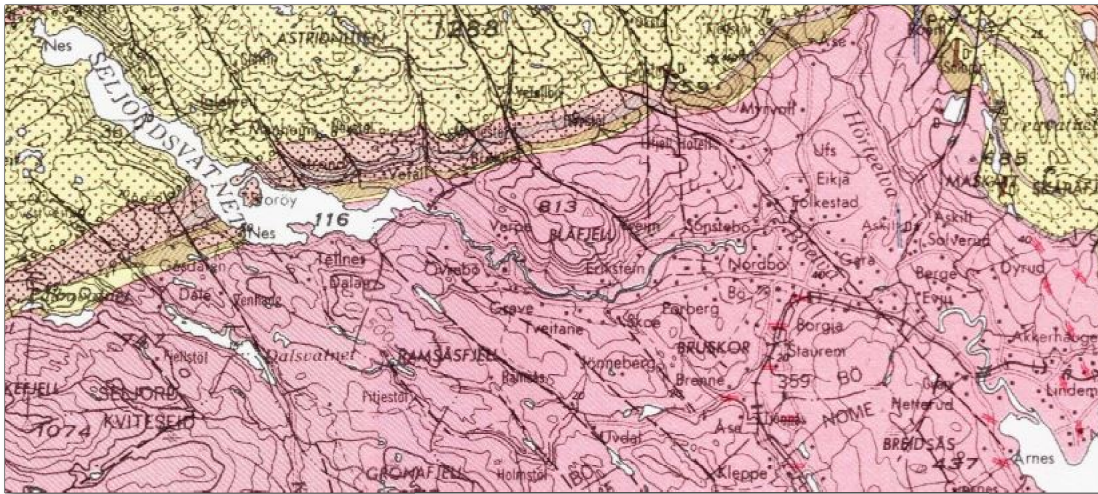
Bilde 1-4. Bildet til venstre viser strømningsnettverk i hele nedbørsområdet og bildene til høyre viser mer detaljert vanngiverne til akviferen.

De viktigste vanngiverne til akviferen er nedbørfeltet til Kupatjønn, HøNSEåa, Herretjønn og Bø elva. Tilførselen fra Kupatjønn strømmer mot pumpebrønn 2 og 4.

Kupatjønn er delt i to på grunn av en vannledning med fylling. Elva HøNSEåa har utløp i Seljordsvatn men har også en naturlig dreneringsvei mot Bø elva, se forrige bilde 1-3 øverst til høyre.

1.3.4 Berggrunn

Bergartene som dominerer i Bø er gneis, granitt og amfibolitt og ble dannet i prekambrium for cirka 4.5 milliarder til 600 millioner år siden. Bergartene ligger åpent i terrenget og det er dekket med et tynt lag løssmasse (Dons & Jorde 1978).



Bilde 1- 5. Berggrunn i området Hagadrag (Dons & Jorde 1978). Vedlegg 1.

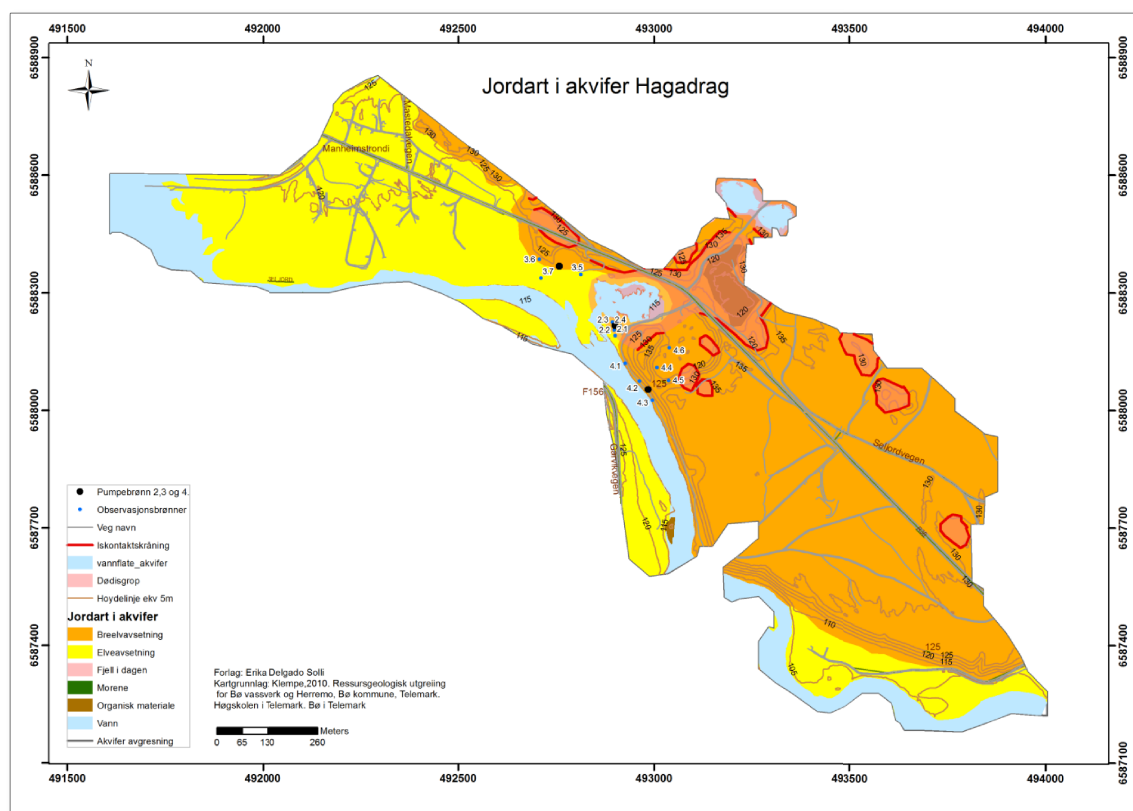
Hagadrag området er dekket av en stor ensartet gneisgranitt. Granitten er omkring 1200 millioner år gammel (Arne Solli, Berggrunkart i Telemark. NGU. E-post 05.09.2014). Bilde 1-4 er hentet fra berggrunkart 1:250 000, se vedlegg 1

1.3.5 Kwartærgeologi

Hagadrag ligger i glasifluviale avsetninger og deler av området ligger under marin grensen fra den siste istiden. Herremoen glassifluviale avsetning ligger i den østlige delen av akviferen Hagadrag og marin grensen der ligger på cirka 134 moh, topplaget i deltavsetningen består av stein, blokkrik grus og sand. (Jansen 1986, s. 60).

Avsetningene er dannet i kontakt med is og dette kan ses som dødisterreng og dødigrøper, en stor del av akviferen er sammensatt av breelvavsetning og elveavsetning, en veldig liten del består av tynn morene og fjell. Kart 1-2 ble laget med kartgrunnlag fra en tidligere rapport (Klempe 2010).

Pumpebrønn 3 og 4 ligger på breelvaavsetninger og pumpebrønn 2 på elveavsetninger. Observasjonsbrønnene rundt pumpebrønn 4 og observasjonsbrønn 3.6 ligger på breelvaavsetninger. Flere av observasjonsbrønnene rundt pumpebrønn 2 og 3 ligger på elveavsetninger.



Kart 1-2. Denne figuren viser en stor del av breelvavsetninger som kan ha gode egenskaper til løsmassebrønner i akviferen Hagadrag (Klempe 2010).

1.4 Bø elva målestasjon

Forholdet mellom akviferen Hagadrag og Bøelva er en toveiskommunikasjon, slik at grunnvannet både mates av og mater elver og innsjøer. Hvilke vei dette foregår er avhengig av grunnvannsnivået og vannføringen i vassdragene.

Bø elva kan ha en påvirkning på grunnvannsnivået til denne akviferen. Derfor ble det innhentet data om vannavstand og vannføring i Bø elva. Informasjon av målestasjon Hagadrag ble innhentet fra NVE (E-post fra Eva Klausen 01.09.2014). De bruker en skala ute i elva som har en nullpunkt 112,87 moh, som er utgangspunktet for måling av vannstanden.

For å vise hvordan strømningsmønsteret ble påvirket av Bø elva, må høyde over havet beregnes. Dette gjøres ved å legge sammen vannstanden og nullpunkthøyden.

Koordinatene til målestasjonen er UTM-øst: 492895 og UTM-nord: 6588165 i UTM-sone: 32. De neste bildene viser målestasjonen.

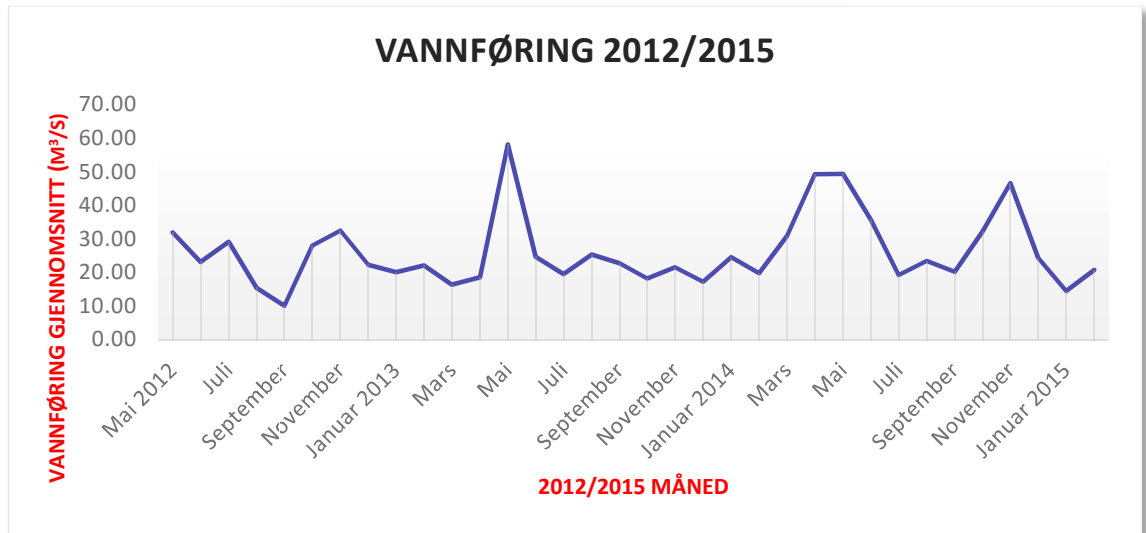


Bilde 1- 6. Hagadrag målestasjon. Rød firkant viser skalaen ut i Bø elva.

1.4.1 Vannføring i Hagadrag

Figur 1-1 viser vannføringen i perioden fra mai 2012 til februar 2015. Verdiene i diagrammet for hver måned er gjennomsnittet av alle verdier i måneden.

I denne perioden var de maksimale vannføringsverdiene i mai 2013 ($135,78 \text{ m}^3/\text{s}$), mai 2014 ($87,029 \text{ m}^3/\text{s}$), april 2014 ($65,10 \text{ m}^3/\text{s}$) og 24 oktober 2014 ($73,27 \text{ m}^3/\text{s}$). De laveste vannføringsverdiene var i september 2012 ($4,26 \text{ m}^3/\text{s}$), oktober 2013 ($7,9 \text{ m}^3/\text{s}$), juli 2014 ($10,4 \text{ m}^3/\text{s}$) og oktober 2014 ($4,47 \text{ m}^3/\text{s}$).



Figur 1-1. Vannføring i Hagadrag. Kilde:NVE.

1.4.2 Vannforbruk og elvevannføring

Vannforbruket i Bø i Telemark er høyt om sommeren grunnet plenvanning og Bø sommerland. Om vinteren, våren og høsten er vannforbruket normalt. Maksimalt vannforbruk er 3800 m³/d, det normale vannforbruket er 2700 m³/d.

På grunnlag av elvevannføringen og vannforbruket ble det bestemt hvilke perioder som skulle brukes for å lage ulike oversikter over strømningsmønster til grunnvannet. Det var ønskelig å lage strømningsmodeller for normalt vannforbruk og høyt vannforbruk ved normal og liten vannføring som vist i tabell 1-1.

Tabell 1-1. Perioder som ble brukt for å lage strømningsmønster i akvifer Hagadrag

Høyt vannforbruk og normal vannføring	Normalt vannforbruk og liten vannføring
Juni 2014	Oktober 2012/Oktober 2014

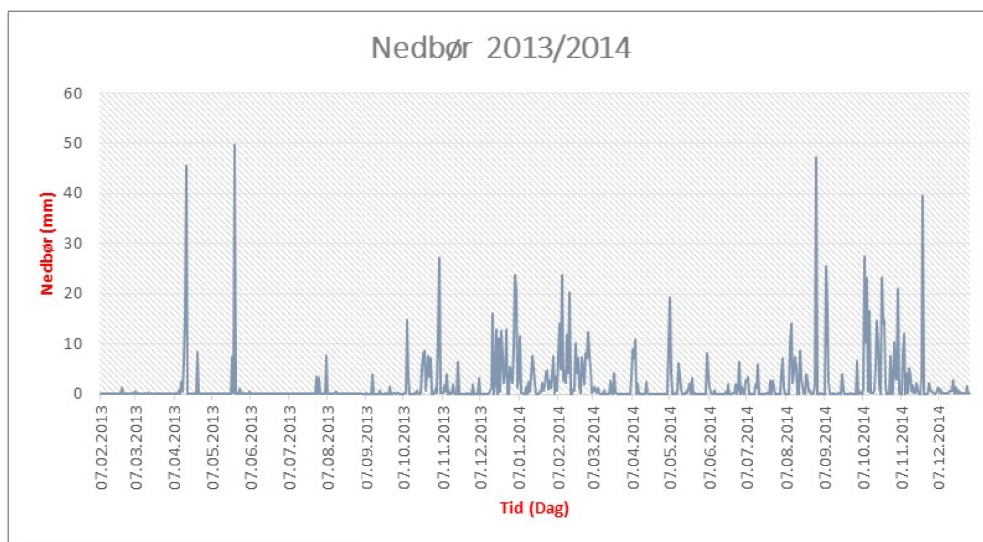
For å lage strømningsmønstermodeller for hele akviferen benyttes data fra 2014, grunnen til dette er at dataene ble samlet inn dette året for alle brønnene. Data til pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene rundt denne, ble samlet inn fra 2012 til 2015.

1.4.3 Nedbør 2013/2015

Det finnes en målestasjon i Bø kommune, 105 m.o.h. Stasjonen ble satt opp i januar 2005, den måler temperatur og nedbør. Observasjonsdata ble innhentet fra eklima.no sin nettside for perioden februar 2013 til februar 2015. Verdiene i diagrammet for hver måned er gjennomsnittet av alle verdiene i måneden.

Det mangler data for noen dager, men i denne oppgaven er det viktigst å ha en oversikt over når det var mye eller lite nedbør i løpet av de to siste årene. Det ble tatt hensyn til dette når det skulle velges representative perioder for å analysere strømningsforholdene i akviferen.

Figur 1-2 viser at det var veldig mye snø vinteren 2013 sammenlignet med vinteren 2014. Vinteren 2014 var det lite snø i lavlandet men mye snø i fjellet. Sommeren 2014 var mye regn sammenlignet med sommeren 2013, da det var en veldig tørr periode med lite regn. I oktober 2014 var det mye mer nedbør enn i oktober 2013.



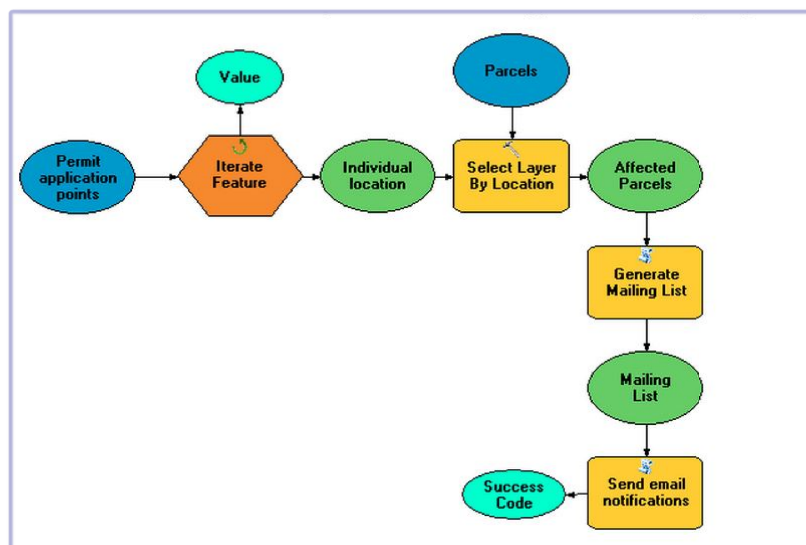
Figur 1-2. Nedbør 2013/2014 Bø målestasjon i Telemark. . Data for å lage figuren ble innhentet fra eklima.no.

2. Metode

2.1. Gis og Model Builder

Model Builder er et verktøy i ArcGis for å behandle arbeidsflyt og prosesser. Model Builder bruker bokser av ulik farge og form. Blå bokser er grunnlagsdata, verktøy som skal brukes kan være gule eller oransje bokser, parametre er lyseblå bokser og grønne bokser viser resultatet. Man kan gi boksene navn som gir en bedre oversikt. Ved hjelp av piler kan man følge prosedyrene, da blir det lettere å se hva som er gjort (Fauske & Fyhn 2012).

Det er mulig å endre produktet på enkel måte hvis det er satt opp noen bokser med faste parametre (lyseblå), bilde 2-1. Man kan kjøre hele prosessen igjen fra begynnelsen til slutt eller bare en del av prosessen.

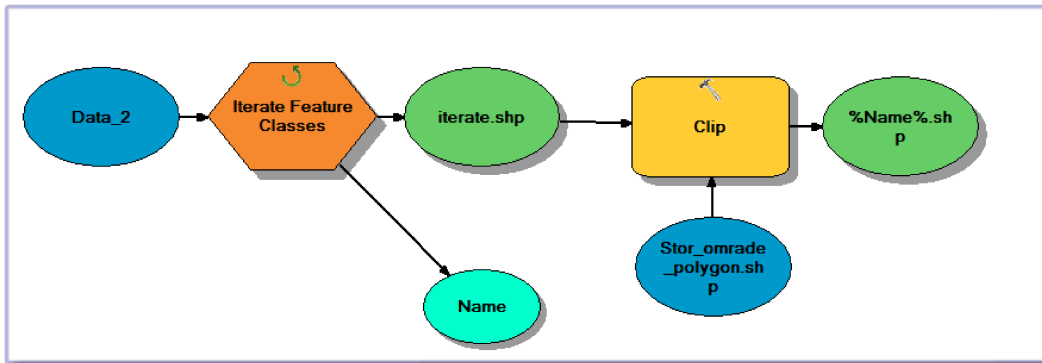


Bilde 2-1. Eksempel på oppbygningen av en model i Model Builder (Esri 2015).

2.1.1 Oppbygning av akvifer kart

Først ble det laget et kart over akviferen Hagadrag. For å kunne lage dette, ble FKB data innhentet fra Kartverket. For å ha mer kontroll på hvilke prosedyrer eller funksjoner som ble brukt, ble det valgt å bruke Model Builder.

Som nevnt tidligere ligger akviferen Hagadrag i Seljord og Bø kommune. Disse områdene ble fusjonert (merge), deretter ble det digitalisert et polygon av området og til slutt ble det brukt en funksjon som heter iterate features classes for clip av alle data. Se figur 2-1.



Figur 2-1. Prosedyrer i Modell Buidet. Iterate Features og en clip funksjon velger de dataene man trenger for et bestemt område.

2.2. Høydeverdier og koordinater til alle brønnene

Koordinatene og høyder over havet ble lest inn med GPS utstyr fra Bø kommune, men det ble gjennomført en nivellering for de usikre høydene til punktene som ligger i tett skog.

Det ble laget en tabell med alle koordinater og høyder i Excel, denne tabellen ble fremstilt i ArcMap med Add XY funksjon og resultatet er et punkttema. Koordinatene er viktige for å kunne plassere brønnene i et kart og høydeverdiene legges inn i ArcGis som en Z verdi. Dette visualiseres i en 3d figur i ArcScene. Vedlegg 2.

2.3. Digital terreng model (DTM)

En digital terreng modell er et viktig verktøy i bruk av hydrologiske, geomorfologiske og biologiske aplikasjoner (Moore, Grayson & Ladson 1991 s.1).

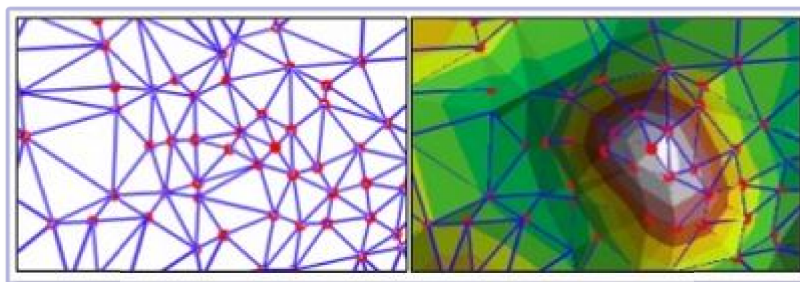
En DTM gir en mulighet for å modellere, analysere og vise fenomener knyttet til topografi. Det er en digital representasjon av en del av jordoverflaten og dermed kan man se høydeforskjeller i terrengoverflaten både på land og havbunnen.

Disse høydeforskjellene legges i modellen med en z verdi og i tillegg må det legges inn koordinater (x, y) for å kunne vise en tredimensjonal digital modell av terrenget.

For å bygge en DTM er det nødvendig etablere et forhold mellom de topologiske dataelementene ved å interpolere, dette gir en tilnærme overflate bilde. Det vil si at man kan finne verdier mellom punkter (ukjente steder) med kjente verdier. I denne oppgaven ble det brukt lineær interpolering.

I dag finnes det to datastrukturer for å håndtere operasjoner med opprinnelige data. Disse strukturene heter raster (rectangular grid) og TIN (Triangulated Irregular Network). Et raster er bedre egnet til å representere kontinuerlige varierende fenomen mens TIN gir bedre resultat når det gjelder å tilnærme seg til virkeligheten i terrenget (Weibel & Heller 1991).

Et TIN er et nettverk av sammenkoblede trekkanter som representerer terrenget. Alle nodene som ligger i hjørnene av trianglene har en høydeverdi. Mellom punktene dannes det hellende flater som følger terrenget (Bernhardsen 2000).



Bilde 2-2. Viser noder og generte flater fra triangulering (Esri 2015).

Trianguleringen blir laget av forskjellige algoritmer, den mest vanlige er Delaunay som består av to ting: trekkanter skal være omskrevet med en sirkel og det skal være tre punkter på denne sirkelen.

Etter triangulering kan det dukke opp noen konvekse hull som kan ordnes med å legge inn en soft clip, dette er en funksjon som man velger når det skal bygges opp en TIN. Datagrunnlaget for å lage en TIN består av punkter, linjer og flater. Fra z verdiene blir det generert punkter og fra knekkepunkt i linje segmenter (Esri 2015).

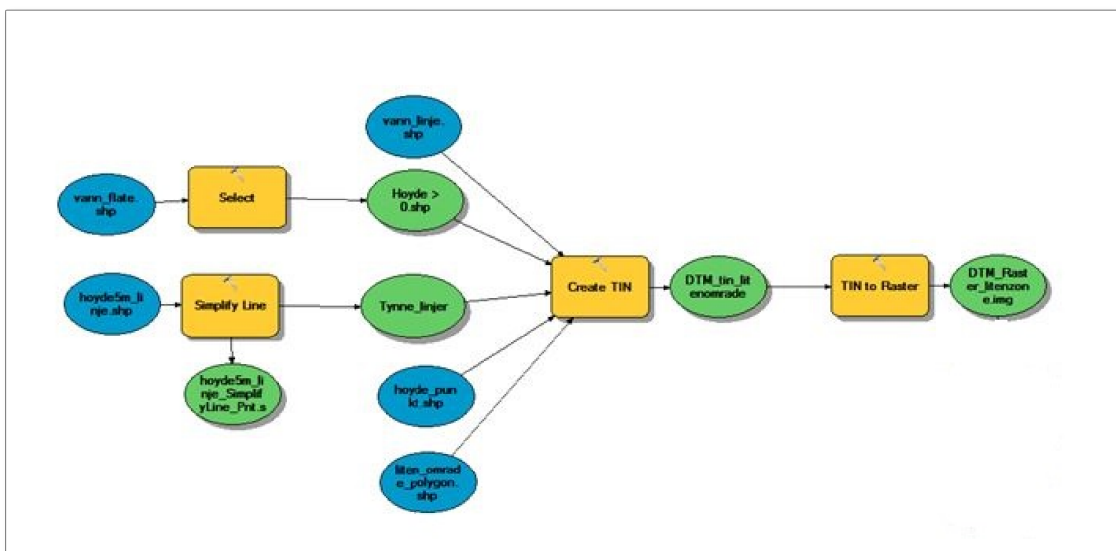
For å lage en TIN det er lurt å sjekke datagrunnlaget nøyaktig. Før TIN ble laget i denne oppgaven bruktes en funksjon som heter "Generalize" for å forbedre høyde linjer.

Hvis man vil endre eller stoppe trianguleringen kan man bruke Hard breaklines. Disse blir blant annet elver, innsjøer, kystlinjes, osv.

2.3.1 Oppbygning av en DTM

For å bygge en digital terrengmodell (DTM) for akviferen ble verktøyet Model Builder også benyttet. Figur 2-2.

Med denne metoden ble det laget en DTM for markoverflate og en for bunnflate, figur 2-2.



Figur 2-2. Viser prosedyrene for måten en DTM ble bygd opp.

ArcScene ble brukt for å kunne visualisere terrengmodellen i 3D. I ArcScene må det brukes TIN format (Triangulated Irregular Network). Deretter brukte vi Features to 3D funksjon i ArcScene for å visualisere vannlinjer og veier i terrengmodellen (DTM) i 3D.

For å lage DTM bunnflate måtte det benyttes et berggrunnskart som kartgrunnlag. Dette ble skannet og digitalisert (pers. med Harald Klempe, Høgskolen i Sørøst- Norge. 27. mai 2014). De skannede bildene ble georeferert til koordinatsystemet WGS 1984 UTM sone 32N.

Punkttema med alle brønnene ble fremstilt som 3D objekt i terrengmodellen ved å bruke funksjonen "Extrude".

Modellen i figur 2-2 ble også brukt for å lage 3D bilder som viser høydene til grunnvannavstanden på forskjellige filterdybder.

2.4. Ekvipotensiale linjer

Vannet beveget seg fra de punktene som har mer energi til de som har mindre energi. Denne energien blir kalt hydraulisk potensial, og dette er vist ved høyden av vannsøylen i det aktuelle punktet

Strømningslinjene er et resultat av hastighetsvektorene på et gitt tidspunkt og de ekvipotensiale linjene er et geometrisk sted for punkter i rommet, som har samme hydrauliske potensial. Dermed blir strømningsretningen laget vinkelrett på ekvipotensiallinje ved å søke den maksimale gradient.

Strømningsnettet er en representasjon av strømningsretningen i et plan ved flylinjer og ekvipotensiallinjer (Sanchez 2012).

Når vannet strømmer fra et lag til et annet lag med en annen hydraulisk konduktivitet, vil retningen av strømning endres. Dette kalles refraksjon av strømningslinjer (Fetter 1994, s. 136).

2.5. Transmissivitet og Magasinkoeffisient

Transmissivitet (T) og magasinkoeffisient (S) er egenskaper som er relevant for evaluering av grunnvann. Transmissivitet (T) viser sammenhengen mellom hydraulisk ledningsevne og akviferens mektighet.

Formel 1

$$T = bK$$

T= transmissivitet (m²/sek)

b= akvifer mektigheten (m)

K= hydrauliske konduktiviteten (m/sek)

Transmissivitet viser vannets vannføring gjennom en enhetsbredde av en akvifer gjennom hele mektigheten under en gradient på 1 (Fetter 1994, s. 100).

Magasinkoeffisient er volumet av vann som reduserer eller tilfører i lagring per enhet akviferoverflateareal ved å endre trykkehøyden med én meter. Magasinkoeffisient for en akvifer med fritt vannspeil er derfor lik effektiv porøsitet, og betegnes som spesifikk ytelse (Andersen & Haman 1970 , s. 33).

Magasinkoeffisienten er fra 0.02 til 0.3 for en åpen akvifer, for en lukket akvifer er det vanlig å fa S verdier mindre enn 0.005 (Fetter 1994, s.102). S verdier for grus og sand sendimenter er det 0.05-0.015 for en åpen akvifer og 0.0001 for en lukket akvifer (Villanueva & Iglesias 1984, s. 29).

Den hydrauliske ledningsevne (K) viser spesifikk vannføring ved en gradient lik 1 (m/s).

Tette masser som silt og leire har lave K verdier, mens grovere og sorterte masser har høyere. Tabell 2-1 viser på de typiske K verdiene i løsmasser (Fetter 1994, s. 85).

Tabell 2-1. Representativ K verdiene i løsmasser . Tabell hentet fra (Sæther 2008).

Kornstørrelse	K (m/s)
Godt sortert grus	10^{-4} - 10^{-2}
Godt sortert sand	10^{-5} - 10^{-3}
Siltig sand, fin sand	10^{-7} - 10^{-5}
Silt, sandig silt	10^{-8} - 10^{-6}
Leire	10^{-11} - 10^{-8}

2.6. Grunnvannsreservoarer med fritt vannspeil (Theis formel)

Dataene fra pumpeforsøk og observerte pumpeperioder under ordinær drift ble plottet på et semilogaritmisk papir. Tidssenkningen ble plottet på den logaritmiske akse og senkningsavstanden ble plottet på den lineære akse. Gjennom de avsatte punktene trekkes en rett linje, hvis helning bestemmes som senkningen over en dekad (Δs) (Andersen & Haman, 1970, s. 31).

Formel 2

$$T = \frac{0.183 \times Q}{\Delta s}$$

T= transmissivitet (m²/sek)

Q= pumpekapasitet (m³/sek)

Δs= senkning over en dekad (m)

Formel 3

$$S = \frac{135Tt_0}{r^2}$$

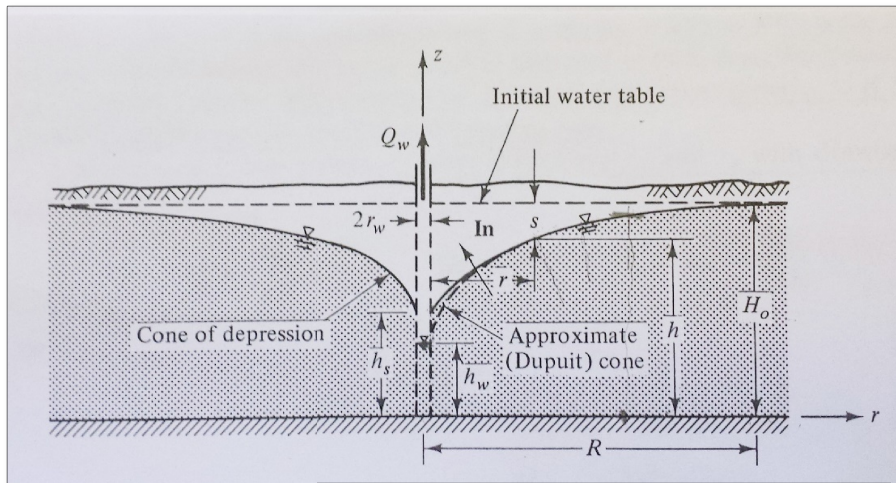
S= magasinkoeffisient (dimensjonløs)

t₀=tidsverdien i skjæringspunktet for den rette linja og tidsaksen ved senkning lik null (min)

r= avstand mellom pumpebrønn og observasjonsbrønn (m)

2.7. Konstant strømming av en brønn i en fri akvifer (H_w)

Nivået på grunnvannspeilet i bakken rundt brønnen blir senket når vannet pumpes ut av en brønn. Dette skaper en sone kalt senkingstrakt. Neste bilde viser en senkingstrakt i nærheten av en pumpebrønn med en pumpekapasitet (Q_w) i en åpen akvifer, se bilde 7 (Bear 1979, s. 309).



Bilde 2-3. Radial strømming til en brønn i en åpen akvifer (Bear 1979, s. 310).

2.7.1 Beregn senking i pumpebrønn ved stasjonær tilstand

Formel 4

$$H_o^2 - h_w^2 = \frac{Q_w}{\pi K} \ln\left(\frac{R}{r_w}\right)$$

Formel 5

$$h_w = \sqrt{H_o^2 - \frac{Q_w}{\pi K} \ln\left(\frac{R}{r_w}\right)}$$

H_o = høyde til grunnvannsavstand i observasjonsbrønn (m)

h_w = høyde til grunnvannsavstand i pumpebrønn (m)

Q_w = Pumpekapasitet i brønn (m³/sek)

K = hydrauliske konduktiviteten (m/sek)

R = Avstand fra pumpebrønn til observasjonsbrønn

r_w = radius av pumpebrønn (m)

2.8. Grunnvannavstand

For oppnå målet i dette prosjektet var det viktig å velge representative punkter rundt pumpebrønn 2, 3 og 4, ved bruk av flere observasjonsbrønner. I hver brønn er det en sensor for trykk og temperatur. Disse sensorene registrerer data kontinuerlig og kan leses av på en PC.

Sensoren eller datalogger registrerer trykk og temperatur med et tidsintervall, i dette tilfellet ble det registret hver time. For hele området ble det brukt en barometrisk logger, som ble hengt i en observasjonsbrønn. Dataene fra dataloggerne og barometer er lest inn og behandlet i Excel. Disse loggerne er Minidiver fra Schlumberger, bilde 2-4.



Bilde 2-4. Bildet til venstre viser en Minidiver som gir trykk og temperatur i hver piezometer, bildet til høyre viser en observasjonsbrønn med de tre piezometer og de er markert i forhold til filternivået.

Rundt pumpebrønn 2 ligger 4 observasjonsbrønner og rundt pumpebrønn 3 ligger 3 observasjonsbrønner. Alle observasjonsbrønnene ligger i forskjellige nivåer og i forskjellige avstander fra pumpebrønnene.

Rundt pumpebrønn 4 ligger 6 observasjonsbrønner med tre piezometer. Piezometrene er laget av polyetylen med 4 cm diameter og har 3 forskjellige filternivåer som er 5, 12 og 19 meter. Borsett fra 4.3 som har 3 filternivåer 5, 7 og 10 meter.

Vedlegg 3 viser informasjon om alle brønnene, dybde til loggerne og avstander fra observasjonsbrønnene til pumpebrønnene rundt dem.

2.8.1 Høyde over havet til grunnvannstanden i observasjonsbrønnene (G_h)

Høyden til grunnvannstanden for alle observasjonsbrønnene er beregnet med formel 6 og 7. Trykkdata ble registrert fra hver datalogg i hver piezometer og for hvert nivå. I de første utregningene ble det brukt informasjon fra piezometer ved filternivået på 5 meter.

Trykkdataene fra sensorer og barometer i observasjonsbrønnene er registrert hver time, men denne måtte interpoleres for å ha riktige høydeverdier for det samme tidspunktet.

Ut i fra interpolerte trykkverdier ble det regnet ut høyde over havet verdier (G_h) for hvert tidspunkt og for hver observasjonsbrønn.

Resultatet G_h ble anvendt til å bygge en modell i ArcGis som viser strømningsmønster i akviferen.

Formel 6

$$p = T_d - T_b$$

p = Hydrostatikk trykk
 T_d = trykk fra dataloggerne
 T_b = Atmosfæretrykk

Formel 7

$$G_h = H_r - (F_n - p)$$

G_h = høyde over havet til grunnvannstand (m)
 H_r = høyde over havet på toppen av rør i hver brønn (m)
 F_n = filternivået der henger sensor (m)

For å kontrollere resultatene fra den forrige metoden som beregnet grunnvannstanden, ble det målebånd metoden benyttet for å sammenligne.

Den 23.06.2014 ble det brukt et målebånd under feltarbeidet for å måle grunnvannstanden direkte i terrenget på et tidspunkt. Bilde 2-5 viser målebåndet som ble brukt.



Bilde 2-5. Målebånd for å måle grunnvannstanden.

2.8.2 Høyde over havet til grunvanstanden i pumpebrønn 2 og 3

Det finnes ikke data for grunnvannstanden for pumpebrønn 2 og 3. For å finne ut dette, måtte de hydrauliske parametre transmissivitet (T) og magasinkoeffisient (S) beregnes med ligninger fra kappitel 2.5. Dette måtte først gjøres for alle observasjonsbrønnene rundt disse to pumpebrønnene.

Dataene fra observasjonsbrønner ble plottet på et semilogaritmisk papir og etter å ha beregnet T og S for alle observasjonsbrønnene, ble det valgt en T og S verdier fra den observasjonsbrønnen som er nærmest pumpebrønnen, tabell 3-3.

Deretter ble formel 1 brukt for å beregne den hydrauliske konduktiviteten (K). Denne parameteren behøves i formel 5 som gir høyde over havet til grunnvannstanden i pumpebrønn 2 og 3. Formel 5 ble lagt inn i Excel.

2.9. Oppbygning av modell i ArcGis som viser strømningsmønsteret for pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene

Det ble samlet trykkdata fra pumpebrønn 4 fra 23.10.2012 til 10.11.2014, og den ble målt hvert sjette minutt. Ut i fra disse dataene ble grunnvannsnivåene i pumpebrønnen beregnet.

For å kvalitetssikre beregningene ble det innhentet pumpedata fra vannverket i Bø kommune.

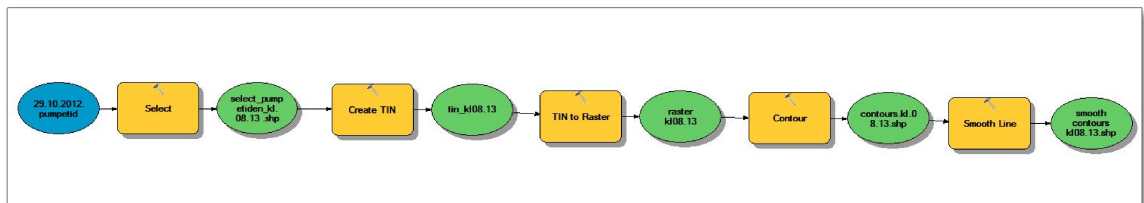
For å bygge en modell av strømningsmønsteret ble det valgt data fra den 29.10.2012. Da kunne vi se at vannet ble pumpet ut, dette viser en tydelig senkning og en stigning, se figur 3-1.

Data fra pumpebrønn 4 ble behandlet på en annen måte enn data fra observasjonsbrønnene. Først ble høyde over havet til grunnvannstanden i pumpebrønn 4 beregnet, som forklart i kappitel 3.1. Deretter ble G_h verdier for observasjonsbrønnene beregnet med formelene som ble forklart i kapitel 2.8.1

Høyde over havet verdiene (G_h) fra observasjonsbrønnene, høyder over havet til grunnvannstanden i pumpebrønn 4 og høydeverdiene til Bø elva ble samlet i en tabell for å lage et punkttema, se vedlegg 4.

Punkttema ble brukt for å lage en TIN som bruker en linear interpolering funksjon, deretter ble det laget en raster fra TIN og til slutt ble det laget ekvipotensiallinjer med Contours funksjon (Ekvidistanse 0.1 m , 0.2 m og 1 m) og disse linjene ble forbedret med Smooth funksjon (20 m og 50 m). Figur 2-3 viser prosedyrene i Modell Builder.

Ekvipotensiallinjer viser lik potensial i grunnvannstanden på de ulike tidspunktene på samme dato.



Figur 2-3. Modell Builder for å lage DTM og ekvipotensiallinjer.

2.10. Oppbygning av modell som viser strømningsmønstrene for alle pumpebrønnene og observasjonsbrønnene

Strømningsmønsteret ble analysert i to perioder, tabell 1-1 viser de to periodene som ble valgt for å bygge strømningsmønstermodellene.

Data for alle pumpebrønnene og observasjonsbrønnene ble samlet fra mai 2014 til februar 2015. Figur 2-3 viser metoden for å bygge en strømningsmønstermodell. Alle dataene ble samlet i en datatabell og georeferert i ArcMap. Se vedlegg 5.

Høydene over havet til grunnvannstanden i pumpebrønn 2 og 3 ble beregnet ut fra formelen i kappitel 2.7 og høydene over havet til grunnvannstanden til pumpebrønn 4 ble beregnet ut fra fremgansmåten som er beskrevet i kapitel 3.1.

Høydene over havet til grunnvannstanden til observasjonsbrønnene ble beregnet på samme måte som er forklart i kapitel 2.8.1.

Data fra observasjonsbrønn 2.3 (F1217) ble brukt for å velge tidspunktene som viser senkning, stigning eller jevn strømming, tabell 2-2 viser tidspunktene.

Tabell 2-2. Tidspunktene som ble valgt for å lage strømningsforholdskartene.

Dato	Klokkeslett
17.06.2014	15.55 /22.55
05.10.2014	12.55 / 23.55

Siden det ikke var tilgjengelig data fra loggeren i observasjonsbrønn 4.3A på grunn av at den sviktet, så ble det innhentet data fra den nærmeste loggeren. Det vil si data logger i observasjonsbrønn 4.3B (J9400).

Ekvipotensiallinjene for juni og oktober ble laget med 0,1 meter intervall og glattet for hver 20 meter.

2.11. Bø elva

Som nevnt i kappittel 1.4 kan Bø elva påvirke strømningsforholdene i de ulike periodene og derfor ble det bestemt å lage ekstra punkter i Bø elva. Som utgangspunkt ble det brukt data fra NVE sin målestasjon. Ut fra den så ble det laget to ekstra punkter mot sør i elva (B1/B2).

Vannstandshøyden for disse punktene ble beregnet med utgangspunkt ut i fra avstandsdata fra NVE sin målestasjon og de nye punktene. I tillegg ble avstanden mellom punktenes kotehøyde benyttet.

2.12. Grunnvannsdyp

For å lage et kart som viser grunnvannsdybden i akviferen, ble 3D analyse i ArcMap 10.1 benyttet, det konverterer en TIN til et grid. I verktøyet romlig analyse ble "Raster Calculator" benyttet.

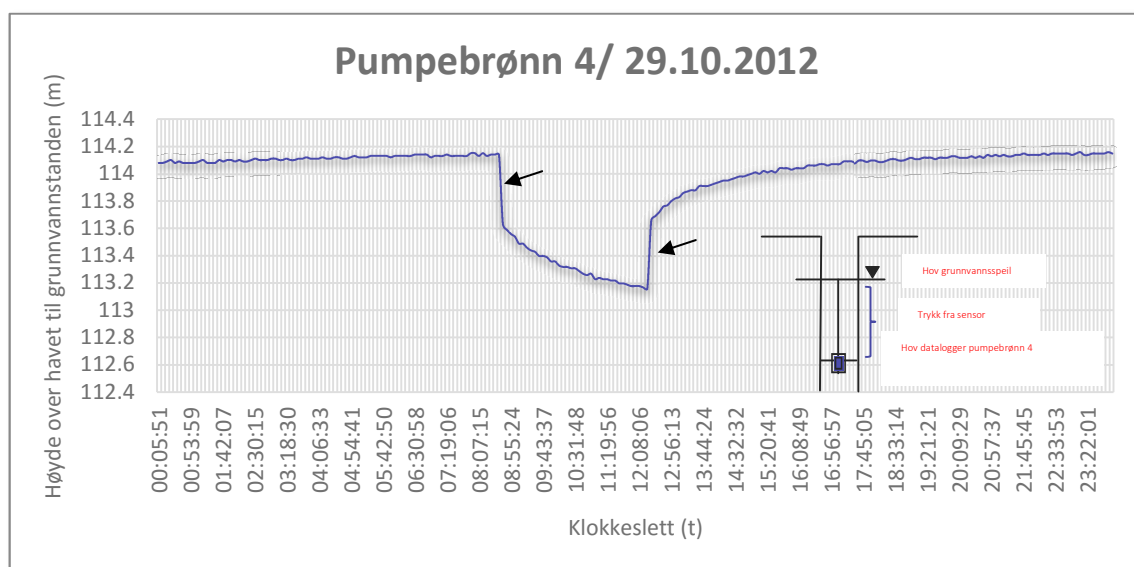
Det ble laget et grid for markooverflate og en for grunnvannsspeilet, disse trekkes fra hverandre med "Raster Calculator". Grunnvannsspeilets grid ble laget ut fra data innhentet den 17.06.2014 kl 15.55

For å kvalitetssikre beregningene ble det innhentet pumpedata fra vannverket i Bø kommune.

3. Resultater

3.1. Modell som viser strømningsmønstrene for pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene / 29.10.2012

Figur 3-1 viser utviklingen av grunnvannstanden i pumpebrønn 4 i løpet av et døgn (29.10.2012). Med utgangspunkt i denne figuren ble det valgt 5 forskjellige tider. Før pumpebrønnen starter, midtveis etter senkning, når pumpebrønnen stopper, midtveis etter stigning, og på slutten av dagen.



Figur 3--1. Utvikling av grunnvannstanden i pumpebrønn 4 i løpet av et døgn (29.10.2012). Fire timer pumpetid.

I figur 3-1 er det to lange rette linjer fra pumpebrønnen startet (senking) og etter at den har stoppet (stigning), disse viser trolig filtertapet. Det vil si at trykket reduseres på grunn av motstand i filteret (pers. med Harald Klempe, Høgskolen i Sørøst- Norge. 19. januar 2015).

Det ble ikke beregnet filtertapverdi for stigningsdataene, men denne ble beregnet for senkningsdataene fra Kl 08.13 til 08.43, se tabell 3-1 .

Tabell 3-1. Filtertapverdien

Dato/Tid	Trykk	Filtertapverdien
29.10.2012/08.13	8,36	8,36-7,84=0,52
29.10.2012/08.43	7,84	

Resultatet av beregningene av høydeverdiene til grunnvannstanden i pumpebrønn 4 vises i tabell 3-2.

Tabell 3-2. Høydeverdiene over havet til grunnvannstanden i pumpebrønn 4 i 29.10.2012.

Dato/Tid	Trykk	Høyde Datalogg pumpebrønn 4	Høyde over havet til grunnvannstanden=Trykk +Høyde Datalogg pumpebrønn 4	Filtertapverdi	Høyde over havet total til grunnvannstanden= Høyde grunnvannstanden + filtertapverdi
29.10.2012/08.13	8,36	106,05	114.41	-	114.41
29.10.2012/09.31	7,64	106.05	113.69	0.52	114.15
29.10.2012/12.14	7,38	106.05	113.43	0.52	113.95
29.10.2012/15.02	8,22	106.05	114.27	-	114.27
29.10.2012/23.46	8,36	106.05	114.41	-	114.41

Høydeverdiene til grunnvannstanden den 29.10.2012 for pumpebrønn 4, alle observasjonsbrønnene og Bø elva vises i vedlegg 4.

Nedbørsdata den 29 oktober 2012 ble hentet fra eklima.no og fra den nærmeste målestasjon (Gvarv). Målestanden var 7,2mm.

3.1.1 Kart over strømningsmønstrene ved pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene / 29.10.2012.

Den 29.10.2012 var det lite vannføring, lite nedbør og normalt vannforbruk.

Det har tidligere blitt beskrevet hvordan dataene ble brukt for å lage strømningsforholdsmodellen for pumpebrønn 4 og observasjonbrønnene. Se kappitel 2.9.

Det viktigste var å undersøke hvordan vannet strømmer under pumpetiden på en vanlig dag. Figur 3-1 viser utvikling av vannstanden til pumpebrønn 4 den dagen.

De neste kartene viser strømningsforholdene for det første nivået rundt pumpebrønn 4. Det ble laget en avgrensning for å gi et bedre TIN bilde.

Sekningen i pumpebrønn 4 er 0,46 meter i løpet av 4 timer, det vil si i pumpetiden.

Kart 3-1 viser strømningsforholdet når pumpingen ikke har startet fra brønn 4. På dette tidspunktet har vannivået i pumpebrønn 4 et lavere nivå enn det som vises i observasjonsbrønnene, untatt observasjonsbrønn 4.1.A.

Kart 3-1 viser også et vannskille mot sør og sørvest, vannet drenerer nedover mot pumpebrønnen og mot Bø elva.

Under pumping har Bø elva en gradient inn mot observasjonsbrønn 4.1.A, 4.2.A og pumpebrønn 4, men lite gradient mot observasjonsbrønn 4.3A.

Kart 3-2, kl 09.31 viser at grunnvannet strømmte i nesten den samme retningen som kl 08.13. Bortsett fra at det er en brattere gradient rundt pumpebrønn 4.

Kl 09.31 (under pumping) hadde grunnvannstanden i observasjonsbrønnene 4.2A, 4.3A og 4.4.A høyere verdier enn den hadde kl 08.13 (før pumpingen startet). Dette viser et stort potensial fra disse observasjonsbrønnenne mot pumpebrønn 4 under pumping.

Grunnvannstanden i observasjonsbrønnene 4.6A, 4.5A og 4.1.A hadde lavere verdier enn den hadde kl 08.13. Dette viser at det under pumping blir lavere potensial rundt disse observasjonsbrønnene, på grunn av at vannet strømmte raskere mot pumpebrønnen og at de er plassert lengre fra pumpebrønnen.

Kl 12.14 (pumping stopper) vannet fortsatte å strømme mot pumpebrønn 4. De potensielle linjene rundt pumpebrønnen er tettere og dette viser det laveste senkningsnivået den dagen.

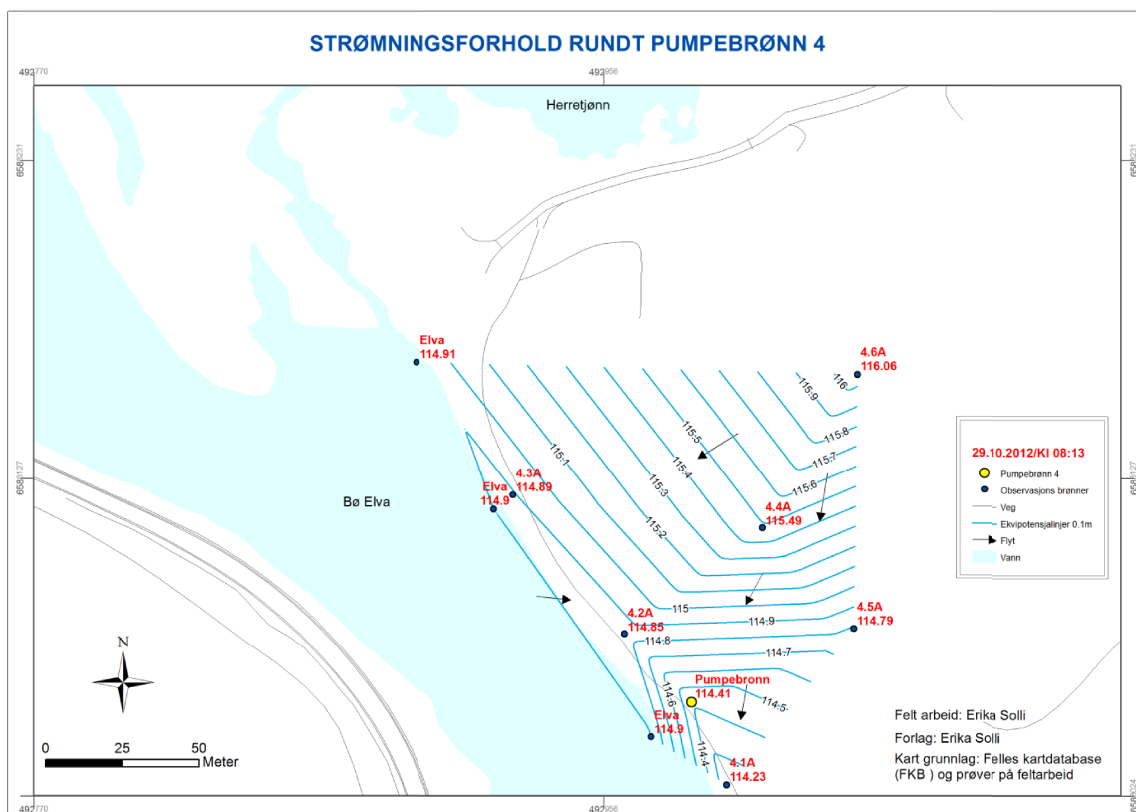
Vannivået i Bø elva ble i liten grad påvirket under pumping. Kart 3-3 viser at vannet strømte fra Bø elva til akviferen mot alle observasjonsbrønnene og pumpebrønnen.

Etter kl 12.14 begynte pumpebrønnen å fylles igjen og etter 3 timer har vannet steget omtrent en halv meter igjen, se kart 3-4.

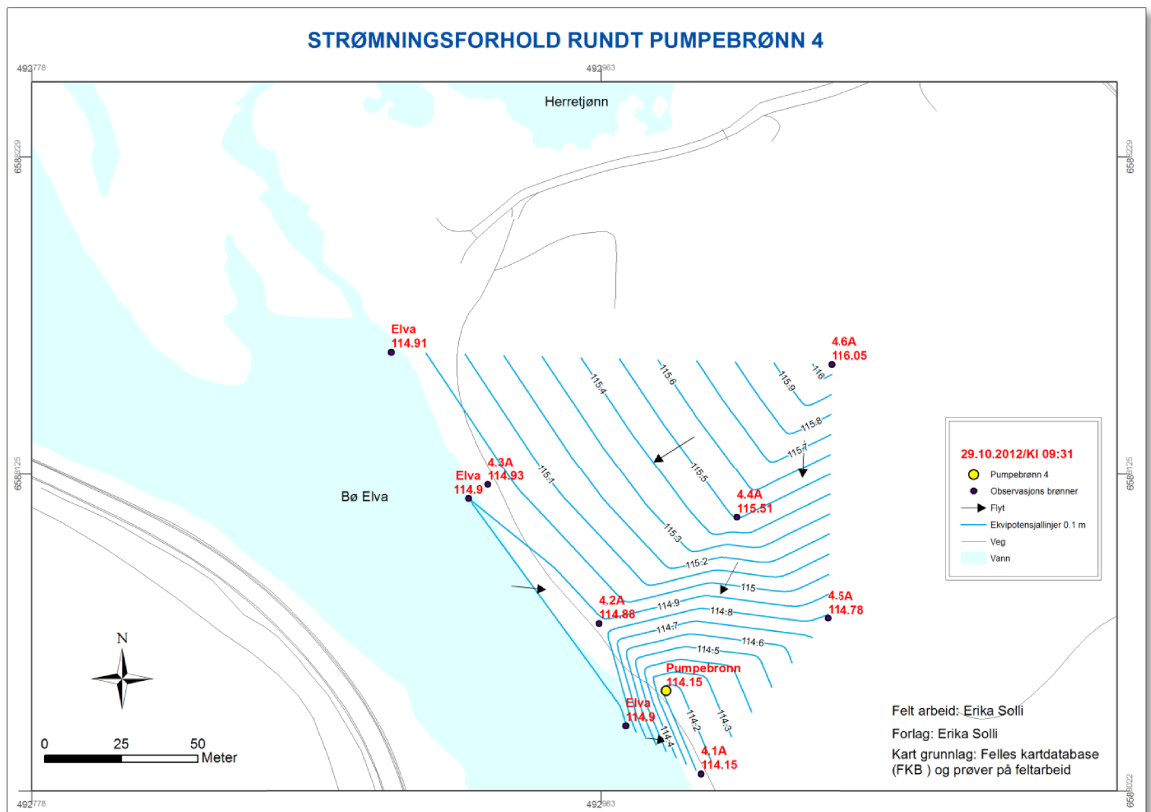
I stingningsperioden på 11 timer (fra kl 12.14 til 23.46), ble grunnvannivået i observasjonsbrønn 4.6A og 4.5A neste ikke påvirket

Det strømte mye vann mot observasjonsbrønn 4.1.A fra Bø elva mot sørøst og fra akviferen mot sørvest.

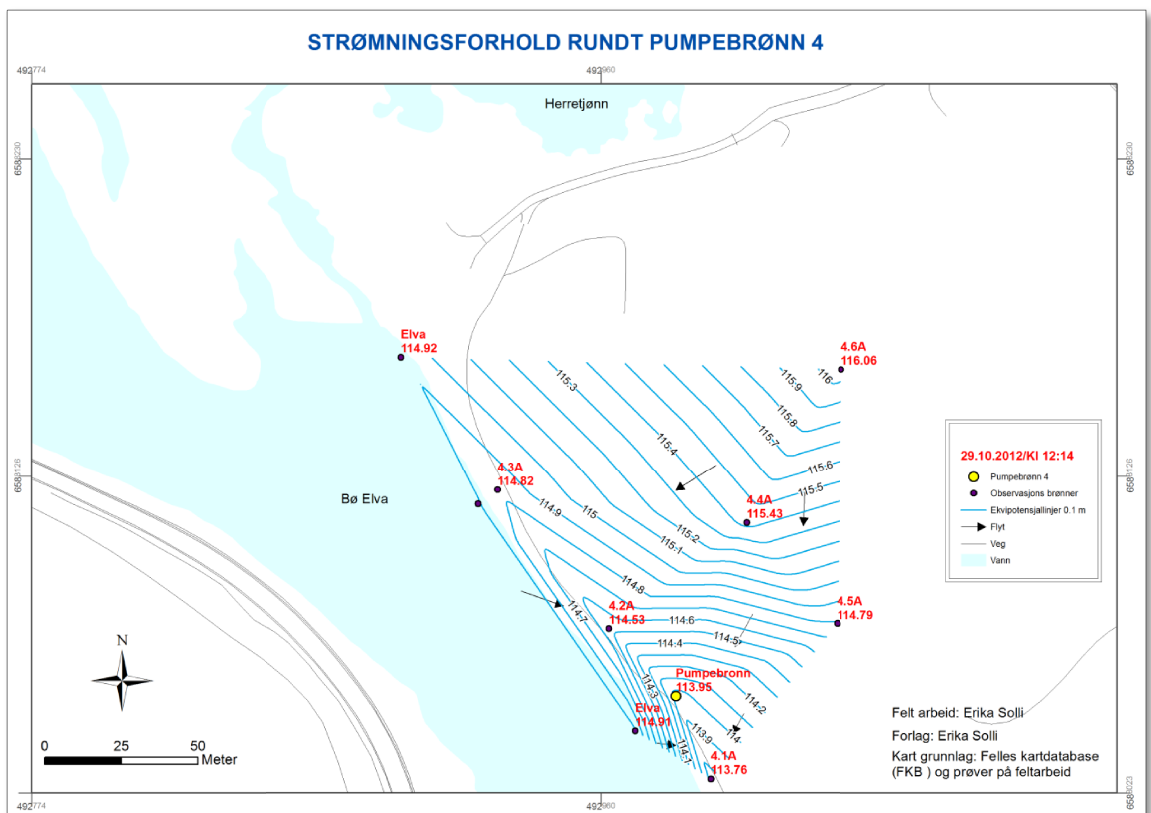
Det var ikke strømning fra Bø elva mot observasjonsbrønn 4.3.A etter at pumpingen begynte.



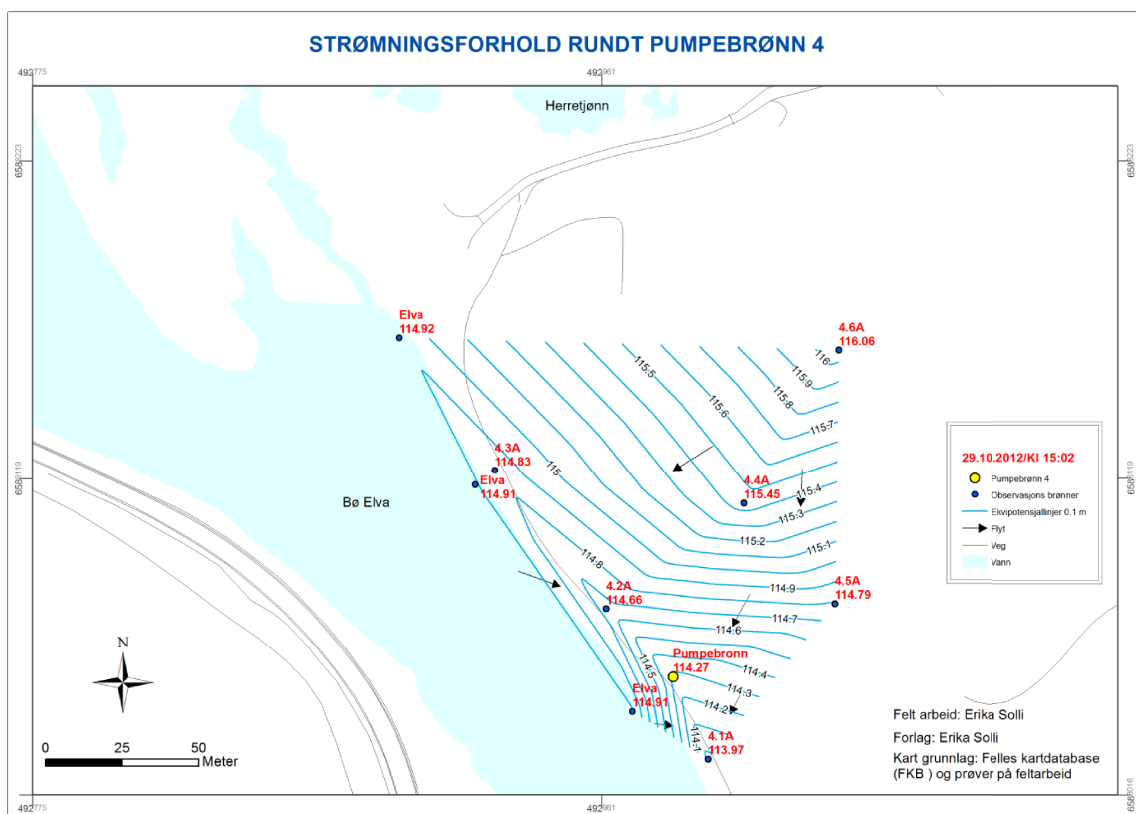
Kart 3-1. Pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene. Strømningsforhold den 29.10.2012 Kl 08:13 før brønnen begynte å pumpe.



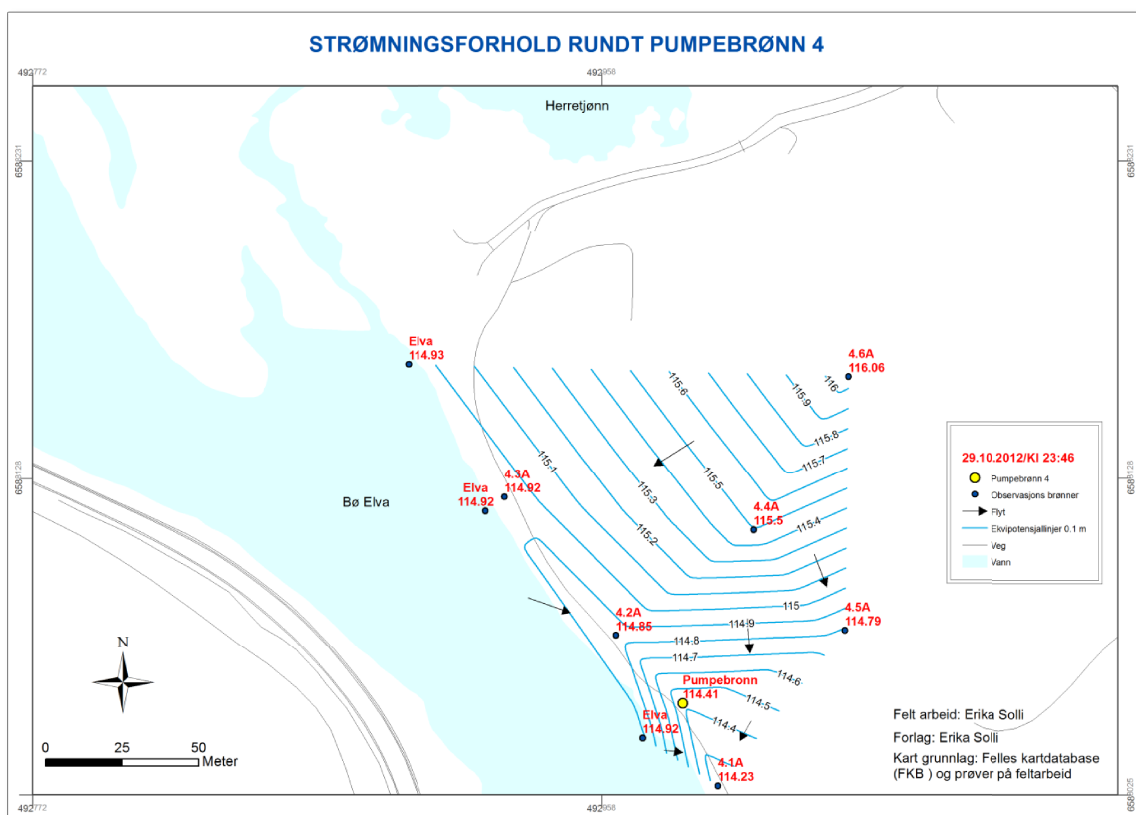
Kart 3-2. Pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene. Strømningsforhold den 29.10.2012 KI 09:31, når brønnen pumper. Pumpebrønn startet å pumpe kl 08:37.



Kart 3-3. Pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene. Strømningsforhold den 29.10.2012 KI 12:14 når brønn 4 stoppet å pumpe.



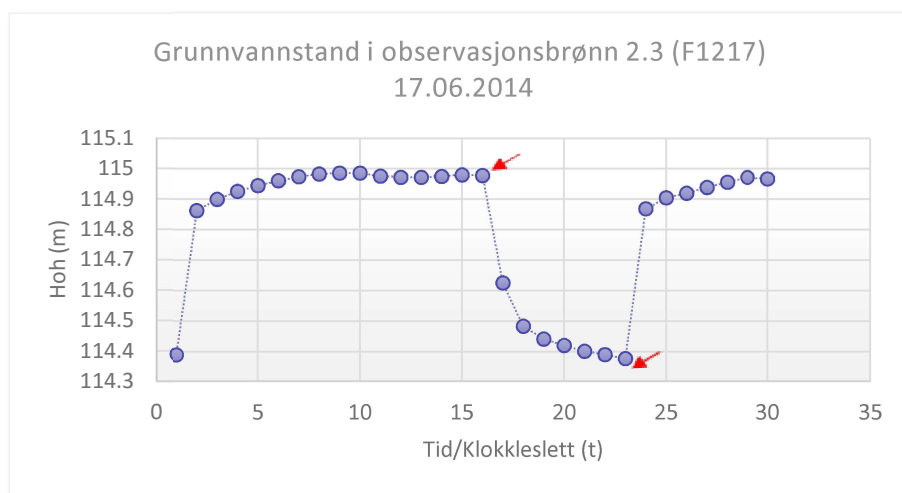
Kart 3-4. Pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene. Strømningsforhold den 29.10.2012 Kl 15:02 etter at brønnen har begynt å fylles.



Kart 3-5. Pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene. Strømningsforhold den 29.10.2012 Kl 23:46 når det er ingen pumping.

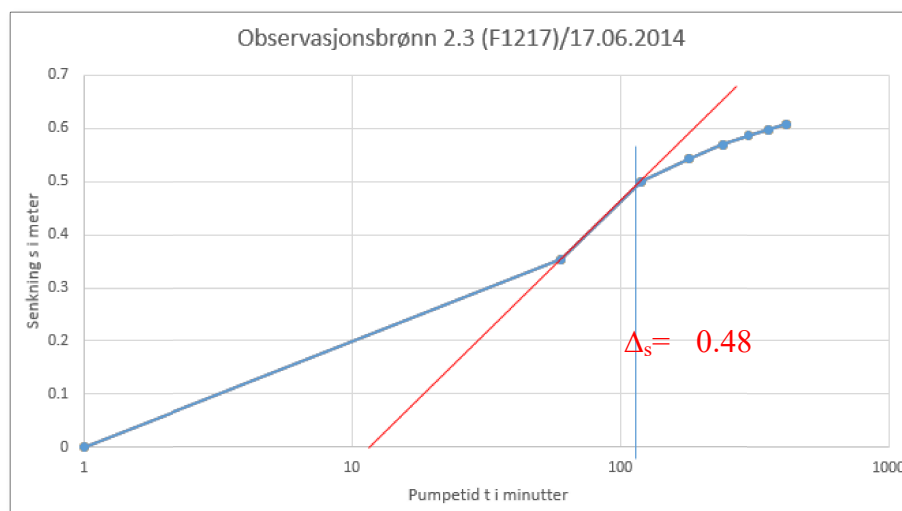
3.2. Modell som viser strømningsmønstrene for pumpebrønn 2, 3 og observasjonsbrønnene

Figur 3-2 viser utviklingen av grunnvannstanden i observasjonsbrønn 2.3 (F1217) den 17.06.2014. Pilene peker på perioden da det var senkning, det vil si fra kl 15.00 til 22.00.

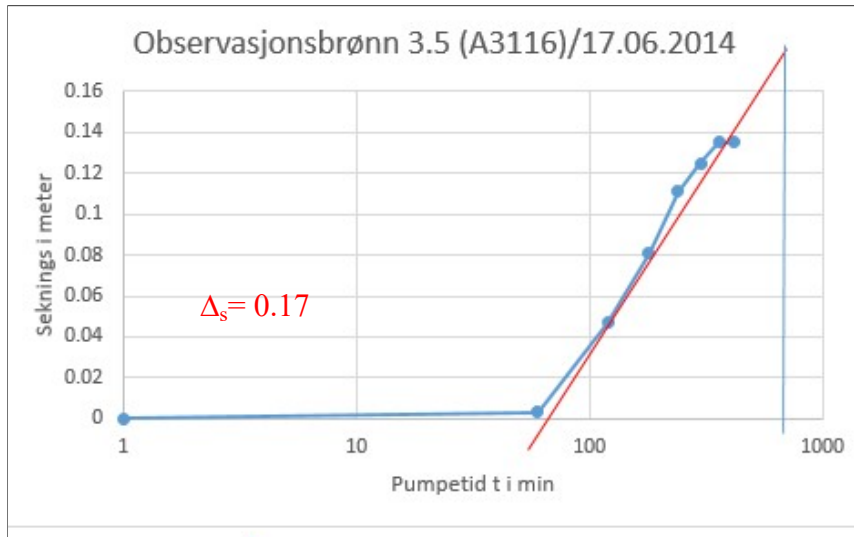


Figur 3-2. Observasjonsbrønn 2.3 ligger ved Herretjønn.

Figur 3-3 og 3-4 viser plottene i en semilogaritmisk skala og ut i fra det ble T og S beregnet. Figurene viser også at $\Delta_s = 0.48$ i observasjonsbrønn 2.3 og $\Delta_s = 0.17$ i observasjonsbrønn 3.5.



Figur 3-3. Theis graf til observasjonsbrønn 2.3 (F1217)



Figur 3-4. Theis graf til observasjonsbrønn 3.5 (A3116)

Resultatene av S verdiene viser en åpen akvifer med fritt vannspeil rundt pumpebrønn 2 og 3. Derfor ble ligningene i kapittel 2.6 benyttet. Ved å bruke T verdiene ble K beregnet, se formel 1.

Resultatene av K verdiene fra observasjonsbrønnene 2.3 og 3.5 ble brukt i formel 5 for å beregne høyden til grunnvannstanden i pumpebrønn 2 og 3. Se tabell 3-3 (røde verdier).

Verdiene av de hydrauliske konduktivitene bekreftet at området rundt pumpebrønn 3 og pumpebrønn 2 består av sand og grus (Fetter 1994, s. 85).

Tabell 3-3. Parametere for beregning av grunnvannspeilshøyde til pumpebrønn 2 og 3. Data ble beregnet fra den 17.06.2014.

Brønn Observasjonsbrønn	Logg	T= Transmissivitet (m ² /sek)	S=Magasinkoeffisient	K= Hydrauliske konduktiviteten (m/sek)	Mektigheten (m)	Q (m ³ /sek)
2					20	0.032
2.2	A4317	0.0084	0.4806	0.0004		
2.3	F1217	0.0122	0.1491	0.0006		
2.1	A3061	0.0115	0.0174	0.0006		
2.4	A2038	0.0079	0.3304	0.0004		
3					28	0.032
3.5	A3116	0.0338	0.0773	0.0012		
3.6	A4319	0.4831	2.7696	0.0173		
3.7	A1993	No data		No data		

Metoden for å beregne høyde til grunnvannstanden i pumpebrønn 2 og 3 ble forklart i kappitel 2.8.2. Tabell 3-4 og 3-5 viser datagrunnlag, beregninger og resultater.

Tabell 3-4. Beregning av høyde over havet til grunnvannstanden i pumpebrønn 2

Dato	Klokkeslett	H? Observasjonsbrønn F1217 (2.3)	Qw (m ³ /sek)	K= Transmissivitet/ Mektighet	R (m)	Rw (m)	Høyde over havet til grunnvannstanden i pumpebrønn [hw=?H ² -Qw/π*K *ln (R/rw)]
20.02.2014	2.55	111,98	0,03194	0,00060894	10,5	0,15	111,66
24.04.2014	0.55	111,99					111,67
	15.55	111,97					111,65
17.06.2014	15.55	114,97					114,66
	22.55	114,37					114,06
05.10.2014	12.55	115,47					115,16
	23.55	114,86					114,55

Tabell 3-5. Beregning av høyde over havet til grunnvannstanden i pumpebrønn 3.

Pumpebrønn 3							
Dato	Klokkeslett	H? Observasjonsbrønn A3116 (3.5)	Qw (m ³ /sek)	K= Transmissivitet/ Mektighet	R (m)	Rw (m)	Høyde over havet til grunnvannstanden i pumpebrønn [hw=?H ² -Qw/π*K *ln (R/rw)]
20.02.2014	2.55	109,614	0,03194	0,0012	58,88	0,15	109,38
24.04.2014	0.55	109,63					109,40
	15.55	109,62					109,39
17.06.2014	15.55	115,31					115,10
	22.55	115,19					114,97
05.10.2014	12.55	114,93					114,71
	23.55	114,78					114,56

3.2.1 Kart over strømningsmønstrene i hele akviferen

I dette kapittelet vises strømningsmønstrene i hele akviferen og når alle pumpebrønnene er i bruk i ulike perioder.

Det hydrauliske potensialet i observasjonsbrønn 4.3B er lavt og dette laget et bratt mønster rundt denne (kart 3-6). Datalogger 4.3A sviktet og derfor ble det brukt potensial fra 4.3B som var det nærmeste og følgende filternivået.

3.2.1.1. Strømningsmønster den 17.06.2014

Den 17.06.2014 var det normal vannføring og et høyt vannforbruk. Vannføringen var på 28.82 m³/s og det var lite nedbør. Figur 3-2 viser endringene i løpet av 30 timer i observasjonsbrønn 2.3. Den viser en tydelig senkning fra kl 16.00 til 23.00 på nesten 50 cm og en stigning etter kl 23.00 på nesten 50 cm.

Pumpebrønn 2 og 4 var de brønnene som var i drift i denne perioden, pumpebrønn 3 var ikke i drift. Pumpebrønn 2 var i bruk fra kl 07.06 til kl 10.59 og kl 17.25 til kl 23.55 den 17.06.2014. Pumpebrønn 4 var i bruk fra kl 07.06 den 17.06.2014 til kl 17.30 den 18.06.2014. Det vil si at pumpebrønn 4 var i bruk hele dagen.

Kart 3-6 viser strømningsmønsteret kl 15.55. Her er pumpebrønn 2 og 3 i ro, og pumpebrønn 4 er i bruk. Etter kl 15.55 begynte grunnvannstanden i alle brønnenne å synke.

Vannet strømmer fra nordøst og nordvest mot pumpebrønn 2 og området rundt. Bø elva infiltrerte mot området rundt pumpebrønn 2, Herretjønn bidrar også mot området rundt pumpebrønn 2. Det er stigning i pumpebrønn 2, og det kan virke som den har blitt fylt.

Det var et vannskille mot vest og sørvest fra observasjonsbrønn 4.6A i området rundt pumpebrønn 4. Det er en bratt gradient rundt pumpebrønn 4 på grunn av senkning.

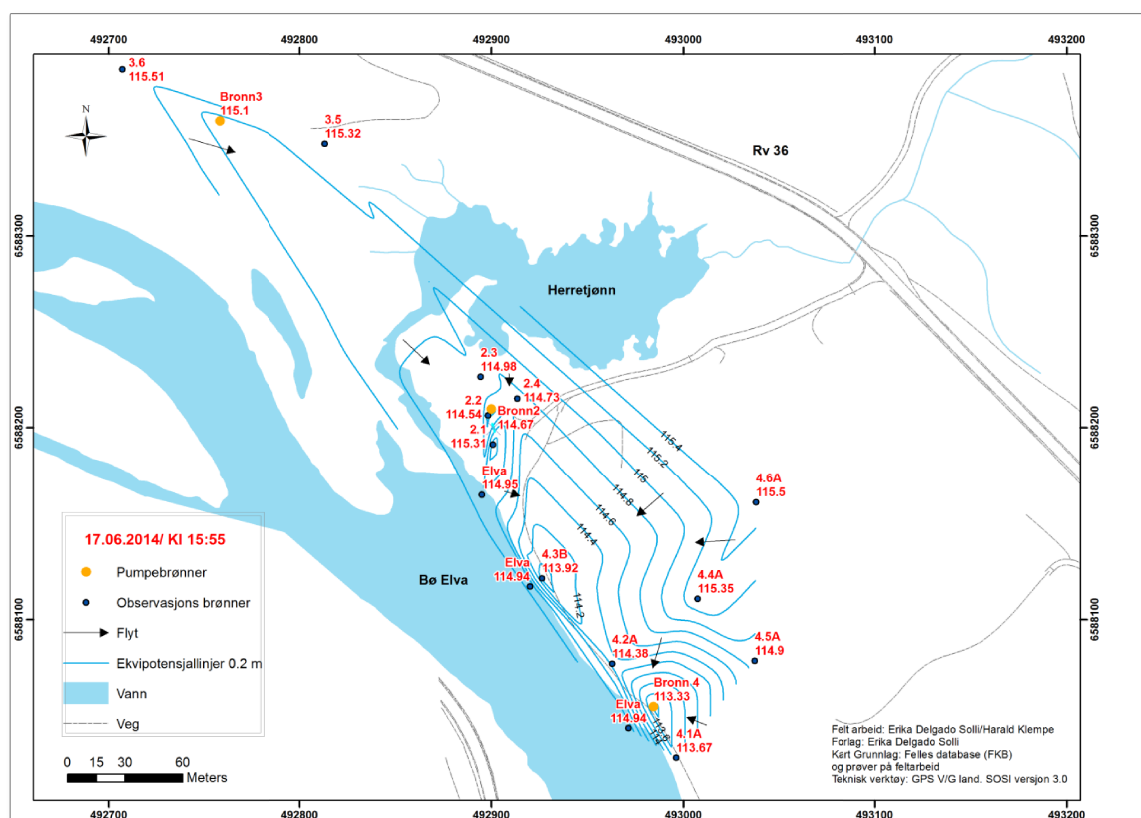
Observasjonsbrønn 4.3B viser et lavere nivå på 113,92 m enn det som var i Bø elva. Det var nesten det samme vannivået som i pumpebrønn 4, grunnen til dette kan være at dataene til denne observasjonsbrønnen tilhører en datalogger som henger 12 m under bakken.

Kart 3-7 viser strømningsmønsteret kl 22.55, der grunnvannstanden i alle brønnene har sunket og viser derfor et lavere vannnivå enn det som vises på kart 3-6.

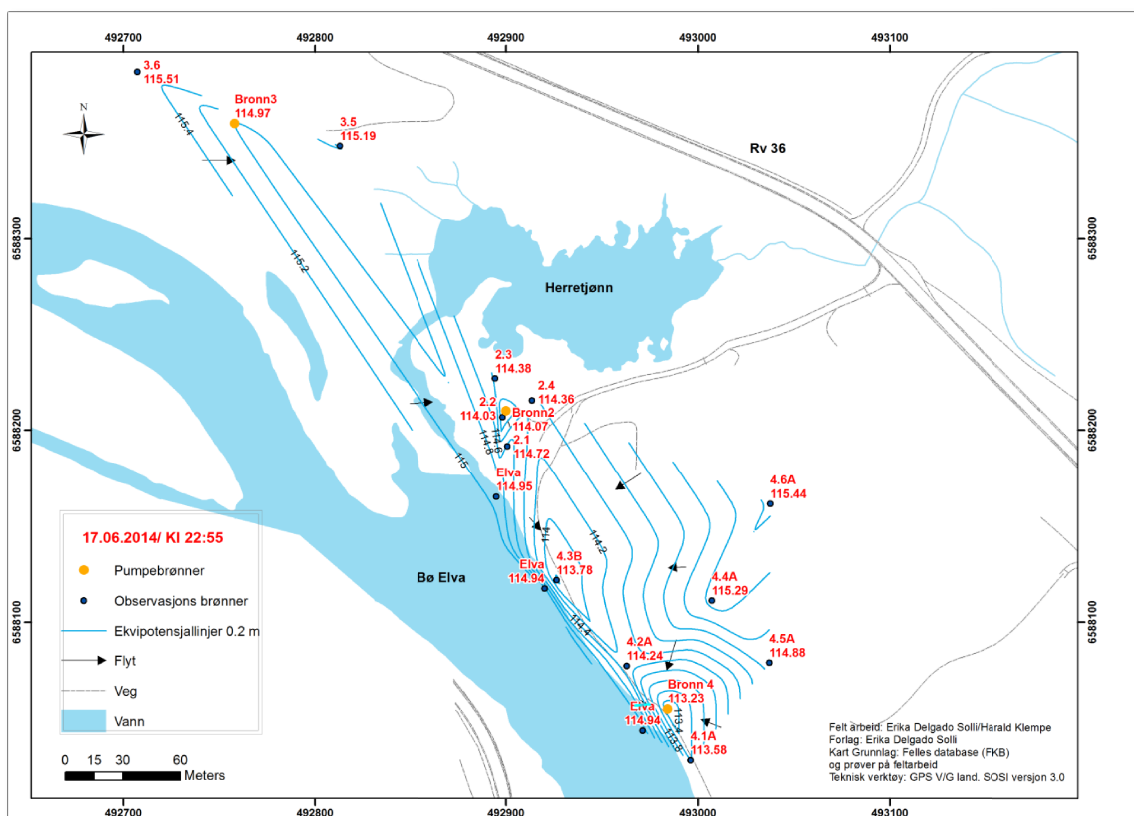
Det er senkning i området rundt pumpebrønn 3, bortsett fra i observasjonsbrønn 3.6 når både pumpebrønn 2 og 4 er i bruk.

Grunnvannet strømte mot øst og sørøst fra området mellom pumpebrønn 2 og 3. Vannet strømte fra Bø elva mot øst og nordøst mot området rundt pumpebrønn 2.

Rundt pumpebrønn 4 vannet strømte mot sør og sørvest mot Bø elva. Bø elva bidrar mot området rundt pumpebrønn mot sørøst.



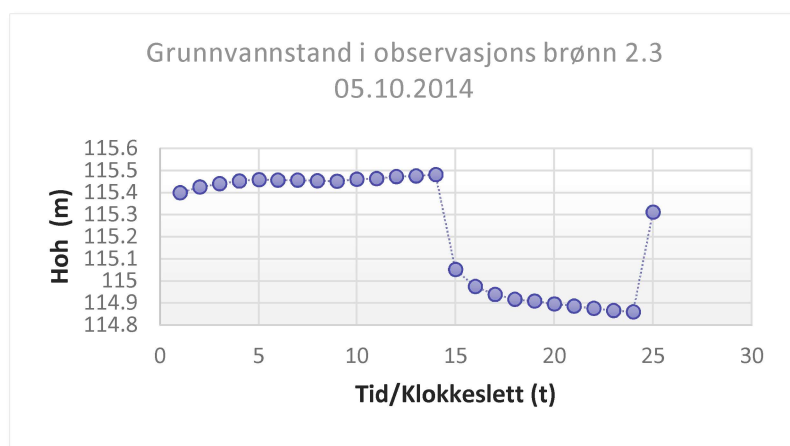
Kart 3-6. Kartet over viser strømningsforholdet 17.06.2014 kl 15.55. Brønn 3 er ikke i drift, brønn 2 og 4 var i drift, men det var bare pumpebrønn 4 som var i bruk på dette tidspunktet.



Kart 3-7. Kartet over viser strømningsforholdet 17.06.2014 kl 22.55. Pumpebrønn 2 og 4 var i drift, det ble pumpet fra begge på dette tidspunktet. Brønn 3 er ikke i drift.

3.2.1.2 Strømningsmønster den 05.10.2014

Den 5. oktober var det lite vannføring 4.7 m³/s, 0.2 mm nedbør og et normalt vannforbruk. Figur 3-5 viser senkning i observasjonsbrønn 2.3.



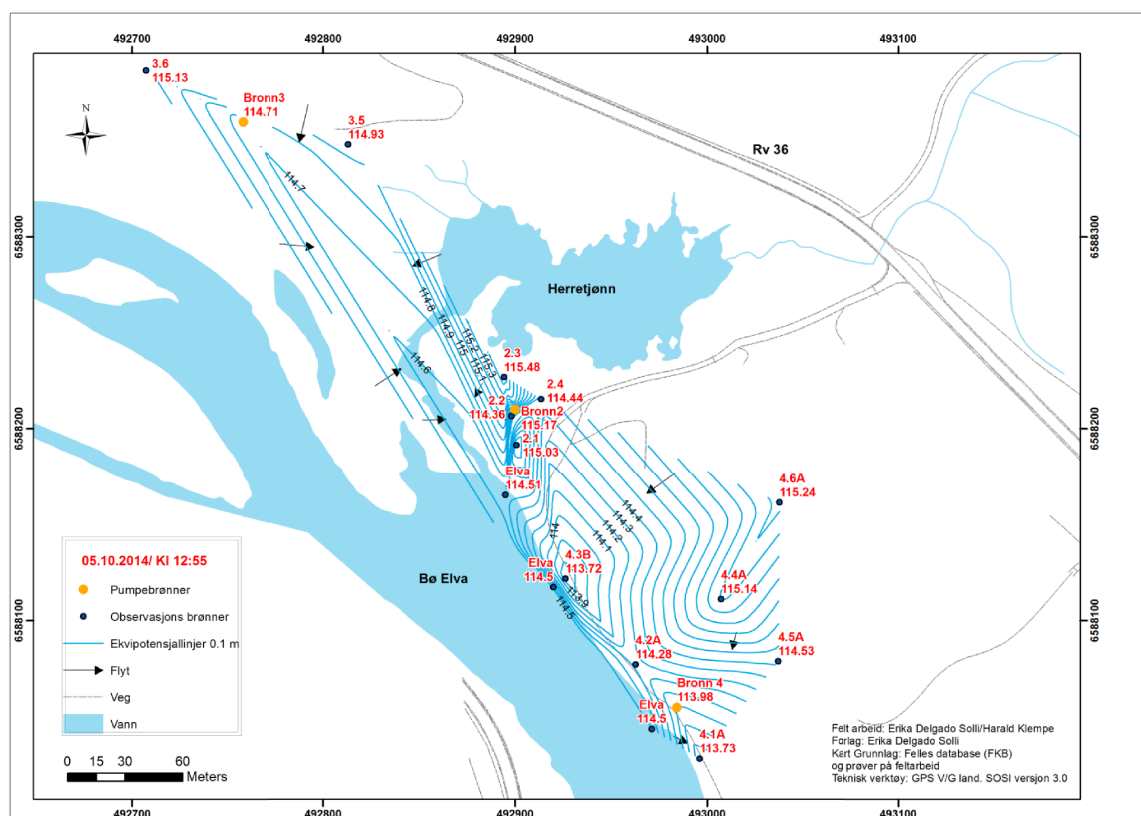
Figur 3-5. Høyde til grunnvannstanden i observasjonsbrønn 2.3 den 05.10.2014.

Pumpebrønn 2 og 4 var de brønnene som var i drift i denne perioden, men kl 12.55 var det ingen pumping.

Pumpebrønn 2 var i bruk fra 05.10.2014 kl 15.09 til 06.10.2014 kl 00.45. Pumpebrønn 4 var i bruk fra 05.10.2014 kl 05.07 til 05.10.2014 kl 09.28.

Vedlegg 5 viser at mellom kl 12.55 til kl 23.55 sank grunnvannstanden i pumpebrønn 2 og etter kl 23.55 begynte det å stige igjen. Grunnvannstanden i pumpebrønn 3 sank fram til 23.55 og etter det begynte det å stige igjen. Kl 12.55 fyltes pumpebrønn 4.

Kart 3-8 viser strømningsmønster den 05.10.2014 kl 12.55. Dette viser at det fortsatt er strømning i området rundt alle brønnene.



Kart 3-8. Kartet over viser strømningsmønsteret 05.10.2014 kl 12.55. Pumpebrønn 2 og 4 er i drift, pumpebrønn 3 er ikke i drift. Alle pumpebrønnene er i ro på dette tidspunktet (ingen pumping).

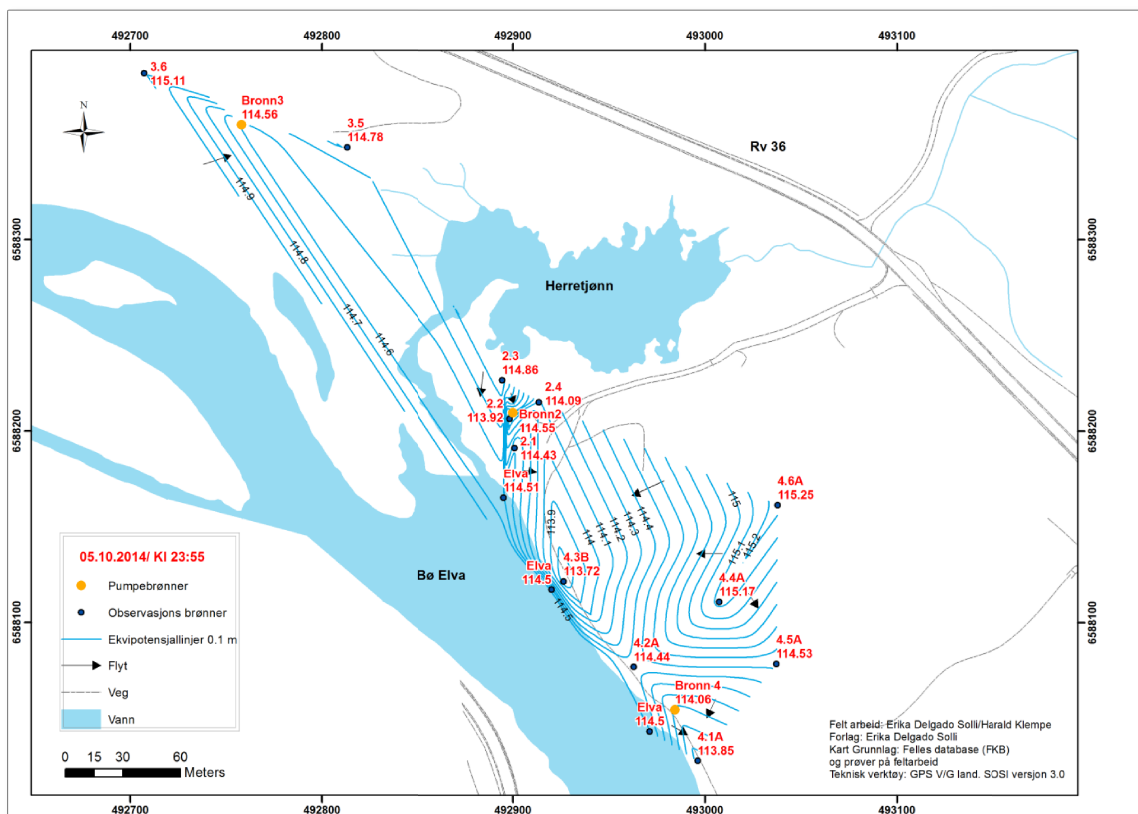
Fra Herretjønn strømte vannet mot observasjonsbrønn 2.2, 2.4 og Bø elva.

Fra området rundt pumpebrønn 3 strømte vannet mot området mellom pumpebrønn 2 og 3. Det strømte også vann fra Bø elva i retning øst og sørøst.

I området rundt pumpebrønn 4 var det fortsatt et vannskille når det ikke ble pumpet. Vannet strømte fra akviferen mot Bø elva og pumpebrønn 4. Det er strømning fra Bø elva mot området rundt pumpebrønn 4 i retning sørøst.

Kart 3-9 viser strømningsmønsteret kl 23.55, vannet strømte fra området rundt pumpebrønn 3 mot området mellom pumpebrønn 2 og 3. Herretjønn bidrar mot pumpebrønn 2 og Bø elva.

Bø elva bidrar retning øst mot området rundt pumpebrønn 4 i og sørøst. Vannstanden i pumpebrønn 4 ble ikke påvirket av at pumpebrønn 2 var i bruk.

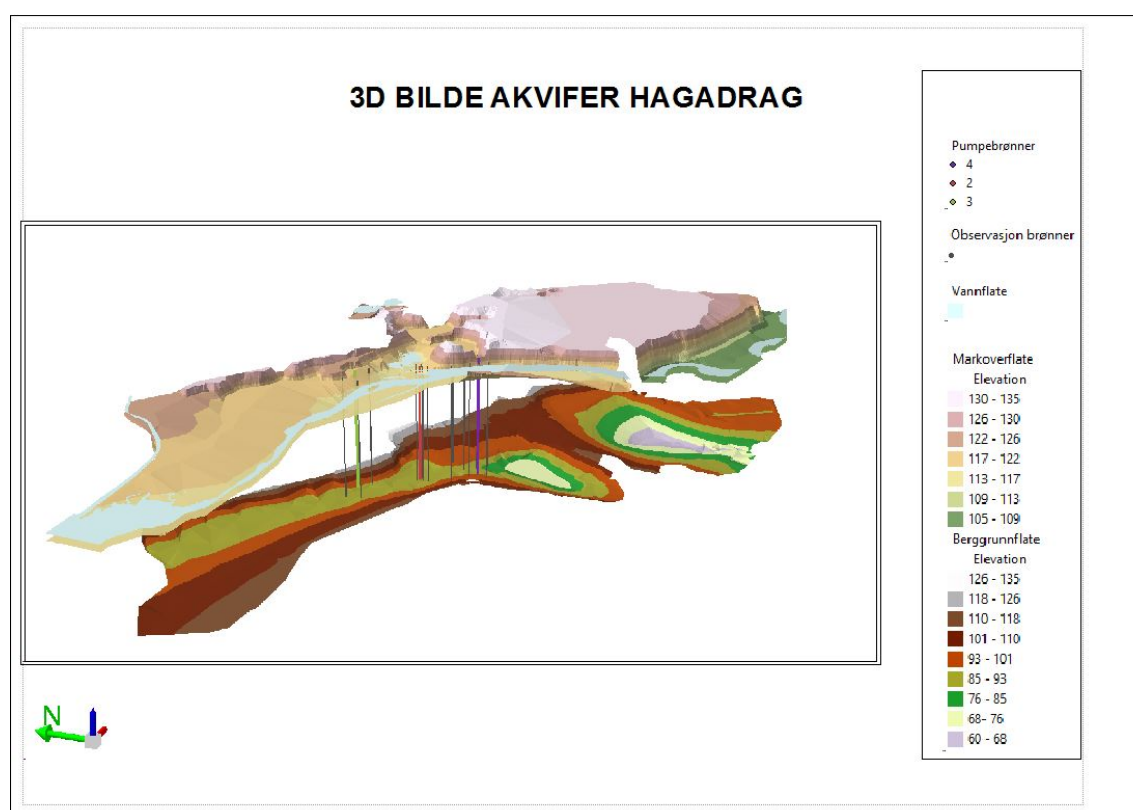


Kart 3-9. Kartet over viser strømningsmønsteret 05.10.2014 kl 23.55.. Pumpebrønn 2 og 4 er i drift, pumpebrønn 3 er ikke i drift. Pumpebrønn 2 er i bruk på dette tidspunktet. Pumpetiden i brønn 2 varte cirka ni timer etter kl 15.14.

3.3. Modellering i 3D

Det ble bygget opp en DTM for markoverflate og en DTM for bunnflate. Begge DTM er i TIN format og vises et 3D bilde i ArcScene.

De neste bildene viser hvor pumpebrønnene og observasjonsbrønnene er plassert i DTM. Linjene som viser brønnene ble trukket nedover med funksjonen "Extrude" i layer properties. Bilde 3-1 viser hele akviferen og bilde 3-2 et mer detaljert område.

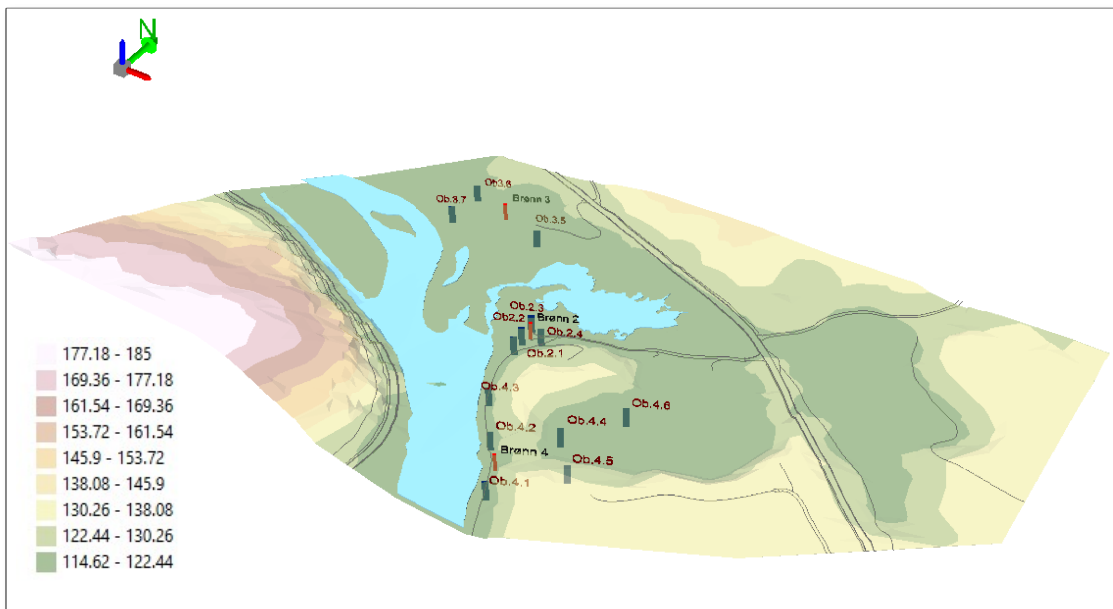


Bilde 3-1. 3D bilde av DTM over markoverflate og bunnflate. Både pumpebrønnene og observasjonsbrønnene ble trukket nedover med "extrude" funksjonen med bruk av verdien (-100).

Akviferen Hagadrag ligger på mellom 109 m.o.h til 130 m. o.h. Både pumpebrønnene og observasjonsbrønnene ligger på mellom 113 m.o.h til 122 m.o.h. Mot sør og nordøst blir terrenget høyere. Herretjønn ligger på oversiden av pumpebrønn 2.

Fra pumpebrønn 2 til pumpebrønn 4 blir terrenget høyere, det er en rygg som skiller disse to områdene.

Mellom pumpebrønn 4, observasjonsbrønnene 4.1, 4.2, 4.3 og observasjonsbrønnene 4.4, 4.5 og 4.6 kan man se en rygg som går fra til 135 m.o.h ned til 118 m.o.h, der ligger grustaket.



Bilde 3-2. 3D bilde viser hvor alle brønnene ligger. Pumpebrønnene vises med rød farge og observasjonsbrønnene med blå farge

Observasjonsbrønn 3.5 og 3.7 ligger i et lavere terreng enn det observasjonsbrønn 3.8 gjør.

Observasjonsbrønnene rundt pumpebrønn 2 ligger på nesten samme nivå, unntatt 2.4 som ligger litt lavere enn de andre.

DTM til bunnflaten viser at den ligger fra 60 m.o.h til 135 m.o.h. De fleste brønnene ligger mellom 85 m.o.h til 93 m.o.h. Observasjonsbrønn 4.1,4.2, 4.3, 4.6 og pumpebrønn 4 ligger mellom 93 m.o.h til 101 m.o.h.

Høydene ifølge GPS er ikke helt like de som vises på DTM markooverflate i TIN format.

Pumpebrønn 2 ligger på 118,258 m.o.h og i følge TIN ligger denne på 115,213 m.o.h.
Pumpebrønn 3 ligger på 118,276 m.o.h og i følge TIN ligger denne på 119,303 m.o.h.
Pumpebrønn 4 ligger på 117,45 og i følge TIN denne på 119.813 m.o.h.

3.3.1 Høyden til grunnvannstanden rundt pumpebrønn 4 ved tre forskjellige nivåer

Bilde 3-3 viser de forskjellige høydene til grunnvannstanden på ulike filterdyp. Dataene som ble benyttet er fra 17.06.2014 kl 15.55 og ved pumping fra pumpebrønn 4.

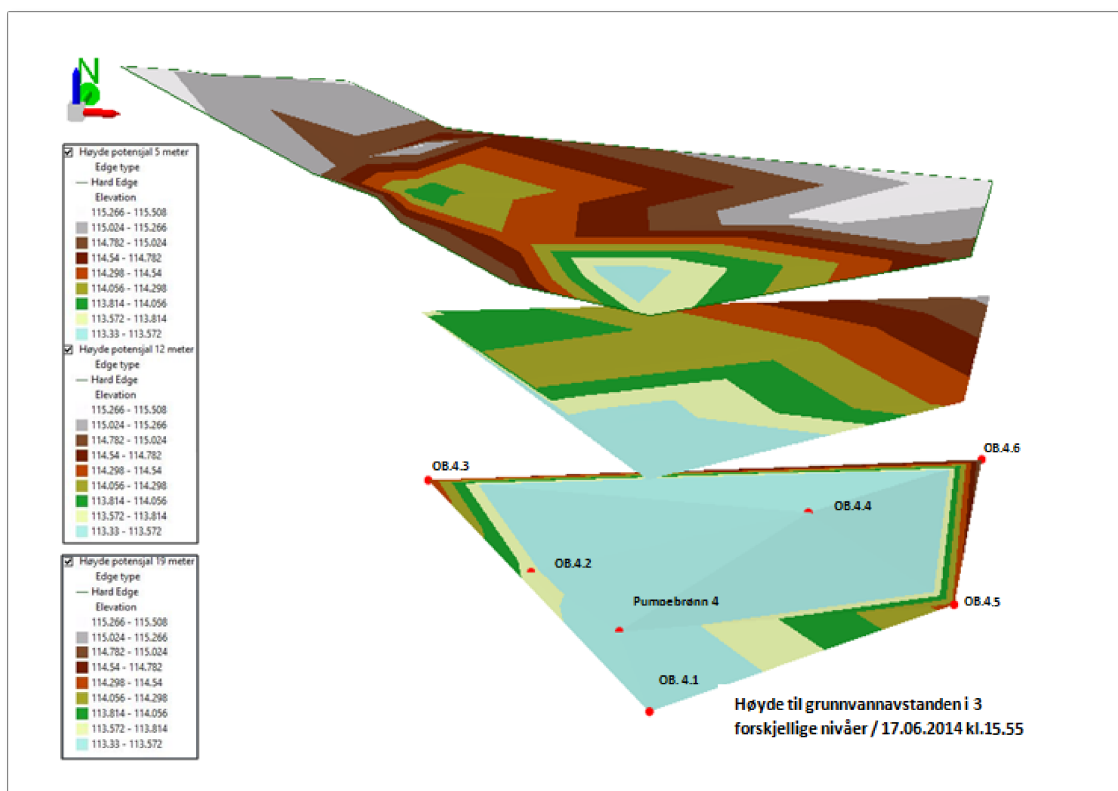
Det øverste bildet er høydene til grunnvannstanden i akviferen på 5 meters filterdyp. Dette viser en bratt gradient mot pumpebrønnen (lysblå farge). Mot nordvest rundt observasjonsbrønn 4.3 er det også en bratt gradient (mørke grønn), årsaken til dette var at det ble brukt data fra filterdyp på 12 meter.

Bildet i midten viser høydene til grunnvannspeilet ut ifra data på 12 meter filterdybde. Dette viser fortsatt en gradient mot pumpebrønnen men litt flatere.

Det nederste bildet viser at grunnvannsnivået er på nesten det samme nivået som pumpebrønnen, untatt de observasjonsbrønnene som er langt unna.

Rundt observasjonsbrønn 4.3 er nivået høyere enn det som vises på bildet i midten, det vil si at vannet strømmer oppover.

Årsaken til dette kan være posisjonen i forhold til filteret i pumpebrønnen. På det øverste bildet vises en større gradient (sekningstrakt) og på det nederste bildet vises en horisontal strømning rett mot brønn (pers. med Harald Klempe, Høgskolen i Sørøst-Norge. 25. mai 2016).



Bilde 3-3. Høyde til grunnvannavstanden i området rundt pumpebrønn 4 på tre forskjellige filterdybder.

3.3.2 Grunnvannavstanden

Den 23.06.2014 ble det tatt grunnvannsmålinger direkte i feltet med et målebånd og sammelignet med grunnvannstanden beregnet fra dataloggerne og barometeret. Tabell 3-6 viser resultatene.

Tabell 3- 6.Grunnvannstanden den 23.06.2014 i observasjonsbrønnene mellom kl 3 og kl 4.

Dato	Observasjonsbrønn	Logger Navn	Vannavstand (Målebånd)	Vannavstand (DataLogg)
23.06.2014	2.1	A3061	1.8	1.23
	2.2	A4317	1.83	1.94
	2.3	F1217	2.15	*
	2.4	A2038	1.3	1.25
	3.5	A3116	1.61	1.44
	3.6	A4319	2.3	2.051
	3.7	A1993	1.7	*

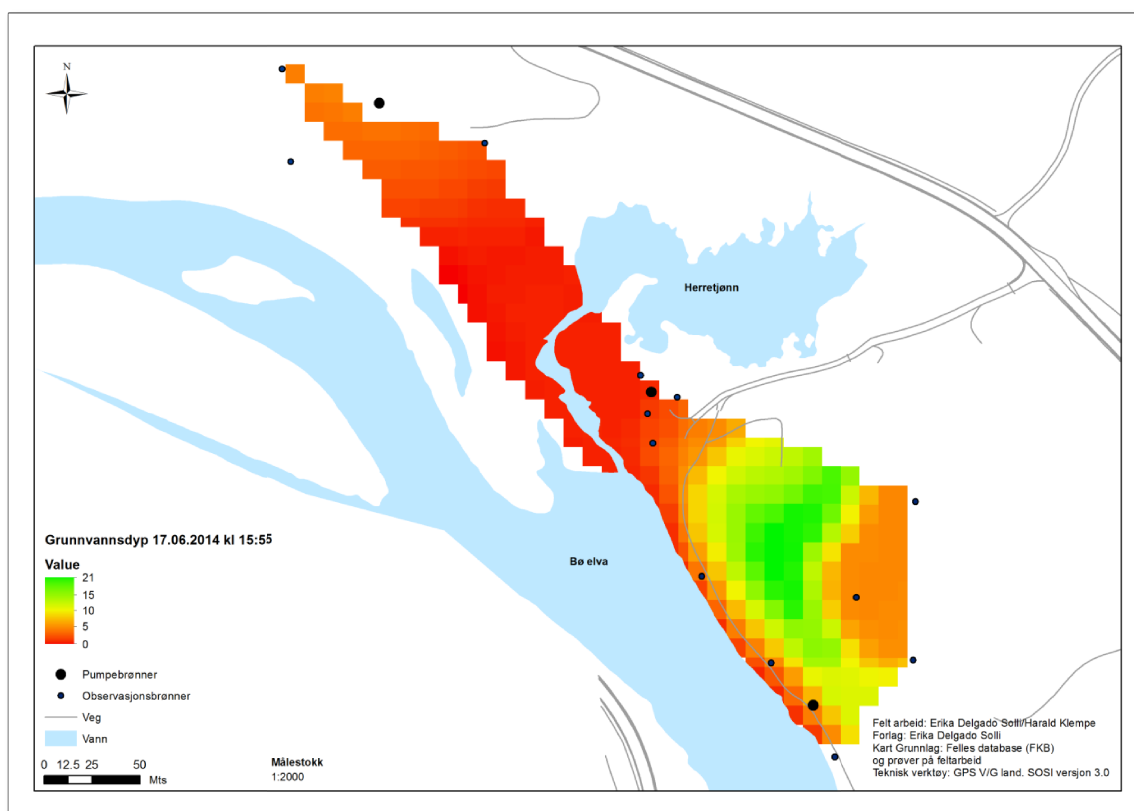
*Datalogger fungerte ikke.

I følge tabellen 3-6 er det litt forskjell på målingene og dette viser at beregningene forklart i kappitel 2.8.1 er riktige. Grunnen til at det er små avvik, er at målingene med målebånd kan være litt unøyaktige.

3.3.3 Grunnvannsdyp

Kart 3-10 viser at grunnvannsdypden i akviferen ligger på mellom 0 til 21 meter den 17.06.2014.

Det grønne området viser den høye ryggen som er rundt grustaket. Grunnvannsdypden i nærheten av observasjonsbrønnene ligger på mellom 0 til 5 meter. Det røde området viser at grunnvannsdypden er null. Siden det ikke er observasjonsbrønner i dette område kan resultatet være feil.



Kart 3-10. Grunnvannsdyp i akviferen den 17.06.2014 kl 15.55

4. Diskusjon

4.1. Karakterisering

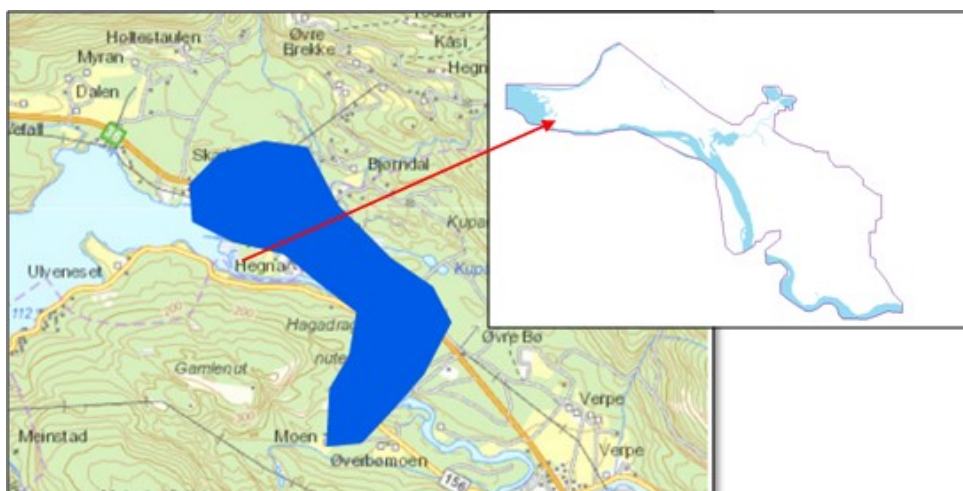
Norge har mange grunnvannforekomster og et stort potensial for å forsette å pumpe grunnvann, derfor er det viktig å kunne karakterisere disse grunnvannforekomstene.

Men for å lage en fullstendig karakterisering av en akvifer, er det nødvendig å samle inn mer informasjon fra flere fysiske og kjemiske faktorer som er nevnt tidligere.

Det finnes et faktark for hver vannforekomst i Norge (NVE 2014). I dette faktarket er det informasjon om miljøtilstand, risikovurdering, påvirkninger og andre faktorer.

En del av akviferen Hagadrag ligger i grunnvannforekomsten Øvre Bø, som er oppført på faktarket, se bilde 4-1. Denne grunnvannforekomsten er vurdert til at det er risiko for at miljømålet ikke nås innen 2021, men både den kvantitative og kjemiske tilstanden er god. Risikoen skyldes at den utsatt for ytre påvirkninger.

Påvirkningene som er nevnt i faktarket er de samme som de som er oppført på reguleringsplanen for beskyttelse av Bø vassverk (Kraft 2011). Veisalting på Rv 36, boligområde, campingplass, jordbruk, masseuttak og drikkevannforsyning med bruk av løsmassebrønner.



Bilde 4-1. Øvre Bø grunnvannforekomst (Faktark 2014).

Den kvantitative tilstanden inneholder en analyse av de fysiske faktorerne. I denne oppgaven ble noen av disse faktorerne analysert og resultatet bidro til å gi en vurdering av sårbarheten. Tidligere i oppgaven ble det nevnt at sårbarheten må defineres når en grunnvannforekomst skal karakteriseres.

En grovkartlegging utført av BGR & UNESCO antyder at norske grunnvannforekomster har kort avstand fra jordoverflaten til grunnvannet og har derfor generelt høy sårbarhet (Iversen & Gunnarsdóttir 2013).

En åpen akvifer er godt beskyttet hvis den har mer enn 20 meter umettet sone og en lukket akvifer er godt beskyttet hvis den har en 2 meter silt eller leire tettlag (Tvedten 2008). I løsmasser er det mektighet, permeabilitet og jordas lagdeling som er bestemmende for sårbarheten (Gaut 2011). Et tidligere forprosjekt fra Jordforsk brukte jordsmonnkart til sårbarhetskartlegging av grunnvann i løsmasser (Kværner 1996).

Flate avsetninger av sand/grus, hvor dypet til grunnvannsspeilet er mindre enn fem meter, er i denne sammenheng mest sårbare. Generelt vil de fleste grunnvannsforkomstene i Norge havne i denne kategorien. I veileder 03:2013 står det at gradering av sårbarhet for de ulike faktorene i DRASTIC er fra 1 til 10, (1=minst sårbar, 10 = mest sårbar). Tabell 2 i den samme veilederen viser at jordarter som torv, sand og grus er klassifisert som 8 (Iversen & Gunnarsdóttir 2004).

Akviferen Hagadrag er både åpen og lukket og i følge overnevnte kriterier så er akviferen sårbar.

Mektigheten er 28 meter rundt pumpebrønn 3 og 20 meter rundt pumpebrønn 2, mellom disse to områdene er deler av området dekket av et lag med finsand, sand og grus (Halvorsen & Strømme 1989) og en del av området er dekket med torv og silt (Langeland & Moe 2003). Den sonen som er umettet er mindre en 20 meter, i følge resultatene av målingene av grunnvannsavstanden.

Driftserfaringer fra Bø vassverk over en periode på 10 til mer enn 30 år for de ulike brønnene, viser at det er en naturlig beskyttelse som utgjør en fullgod hygienisk barriere. En sannsynlig årsak er elvebunnen har mer finstoff og langt lavere permeabilitet enn massene i grunnvannsmagasinet (Kraft 2011).

I tillegg gjør torv området mellom pumpebrønn 2 og pumpebrønn 3 at vannet siger sakte og dette gjør akviferen lukket og godt beskyttet i dette området (pers. med Harald Klempe, Høgskolen i Sørøst- Norge. 14. april 2016).

Vannet som har vært pumpet fra brønn 2 har hatt høye nivåer av mangan og dette er på grunn av at Herretjønn påvirker akviferen (Langeland & Moe 2003), noe som også er bekreftet i reguleringsplanen (Kraft 2011). Tjernet ligger veldig nærme pumpebrønn 2.

En studie fra NGU sier at manganinnholdet er knyttet til det finstoffrike laget i avsetningen og at grunnvannet i slike lag vanligvis har lavere oksygeninnhold, dette gir en økt løselighet av både jern og mangan (Hilmo 2007). Pumpevannet fra brønn 4 inneholder ikke høye mangannivåer og dette kan være på grunn at vannet ikke strømmer fra Herretjønn mot pumpebrønn 4.

I det øverste laget er det en 3.5 meter tykk morene (till) fra sørøst mot nordvest rundt observasjonsbrønn 4.2, denne gjør denne delen av akviferen lukket. Sand- og gruslaget rundt observasjonsbrønn 4.3 mot nordøst i grustaket gjør akviferen åpen (pers. med Harald Klempe, Høgskolen i Sørøst- Norge. 02. mars 2016).

I følge klausuleringsvilkår fra 1979 kunne det ikke tas ut grus lavere enn 5 meter over grunnvannspeilet og ikke nærmere grunnvannsbrønnene enn 150 meter. En tidligere prosjektoppgave fant ut at det har vært utvinning av grus innenfor grensen på 150 meter (Gulbrandsen et al 2005).

I reguleringsplanen for Bø vassverk står det nå at uttak av sand/grus ikke skal gå dypere enn 3 m over grunnvannsnivå, det vil si ned til kote 118. Det kan tas ut masser ned til

kote 117 forutsatt fortløpende tilbakeføring av masser med > 20% finsand/silt til kote 118 (Kraft 2011).

Hvis pumpeperioden viser at senkningen er raskere i begynnelsen og deretter flater ut, så er det en lukket akvifer (Kruseman og de Ridder 1992, s. 33). Sekningsdiagrammene i juni og oktober viser dette. Når diagrammene sammenlignes med resultatene av S verdiene fra juni, så er området rundt pumpebrønn 2 en lukket akvifer med lekkasje $S=0.14$ og området rundt pumpebrønn 3 en åpen akvifer $S=0.07$.

S verdiene er ganske høye og dette kan være et tviltsomt resultat, se tabell 3-3. Dette skyldes sannsynligvis at det er en lukket akvifer med lekkasje og dette kan skje på grunn av at finsandlaget forsinker vandrenereing i området rundt pumpebrønn 3 (pers. med Harald Klempe, Høgskolen i Sørøst- Norge. 14. april 2016). En undersøkelse fant at lekkasjer i en akviferen kan påvirke magasinkoeffisienten (Li 2001).

Et pumpeforsøk i pumpebrønn 2 i 1989 viste en $T=0,014$, denne verdien er tilnærmet lik resultatet i denne oppgaven $T=0,012$ (tabell 3-3). Den samme undersøkelsen ga lavere S verdier som tilsvarte en lukket akvifer for området rundt pumpebrønn 2 (Halvorsen & Strømme 1989). T og S verdiene i oppgaven ble beregnet med å bruke sekingsdata i Theis formel. Theis metoden har også blitt brukt i andre undersøkelser for å beregne disse parameterne (Bardsley 1991).

I 2003 ble det utført hydrogeologiske undersøkelser i området rundt pumpebrønn 3, Bø elva og Herretjønn. Resultatene av pumpeforsøk i pumpebrønn 3 ga en $S=0,046$, $K=0,00048$ og $T=0,017$ med å bruke Theis formel. I følge denne undersøkelsen er området rundt pumpebrønn 3 en åpen akvifer med en tilnærme stasjonær tilstand (Langeland & Mo 2003).

I følge tabell 3-3 er resultatene av K verdiene lavere mot området rundt pumpebrønn 2 enn det er mot området rundt pumpebrønn 3. Mellom Bø elva, pumpebrønn 3 og Herretjønn ligger det et lag med torv og siltblanda sand som trolig senker K verdien (Langeland & Mo 2003).

Området rundt pumpebrønn 4 er både en lukket og åpen akvifer. S, K og T verdiene rundt pumpebrønn 4 ble beregnet ut i fra en tidligere undersøkelse. S verdien viste en lukket akvifer ($S= 0,0015$, $K=0,00027$ og $T= 0,0054$) (pers. med Harald Klempe, Høgskolen i Sørøst- Norge. 14. april 2016).

Akviferens vannkilder er Herretjønn, Kupatjønn, Bø elva og Bjønndøla som bidrar til akviferen som Bø vassverk benytter. Vann som transporteres som overflateavrenning i bekker og elver kan infiltrere grunnen på et senere tidspunkt. Dette er spesielt aktuelt der elver krysser akviferen, eller ved oppsamling av vann i tjern og vann på akviferen. Hvis grunnvannspeilet ligger dypere enn elva eller tjernet, og disse har permeable sedimenter i bunnen, vil de kunne være en vannkilde for akviferen (Halvorsen 2012).

Herretjønn og Kupatjønn samler opp vann fra nedbørsfeltet og kan fungere som vannkilde for akviferen. Vannet fra fjellområdene rundt med mye avrenning samles opp og kan infiltrere akviferen nedstrøms (Halvorsen 2012). Dette støtter alle resultater som har vist at disse vannkildene har stor påvirkning på strømningsforholdene i akviferen.

4.2. Strømningsmønsteret i akviferen

Formålet med å lage en grunnvannsmodell var å se strømningsmønstre når brønnene er i bruk, dette gir et bilde av strømningsforholdene i akviferen.

Modellen viser grunnvannsnivå med små avvik fra virkeligheten. Modellen beskriver egenskapene til akviferen ved hjelp av strømningsmønstre, og viser en mulig interaksjon mellom grunnvann og elvevann. Modellen viser også at strømningsmønsteret endret seg ved pumping og i ulike perioder.

Strømningsforholdene har vist at det skjer innmating fra Bø elva mot akviferen og denne infiltrasjonen er viktig ved behov for stort vannuttak. Brønnene til Bø vassverk trekker ca $0,8 * 10^6 \text{ m}^3/\text{år}$. Dette er 2,5 prosent av $31,5 \text{ mill m}^3/\text{år}$ av Bø elvas sin vannføring og at det er mer enn nok vann i Bøelva til å dekke brønnens behov, selv ved lav vannføring (Halvorsen 2012).

I følge reguleringsplanen til Bø vassverk står det at hoveddelen av vannet sannsynligvis kommer fra Bø elva, men en betydelig andel kan komme fra Bjørndøla via innmating i grove eskermasser (Kraft 2011).

Det meste av vannet kommer fra Bø elva og i mindre grad fra akviferen, det er bidra fra Kupatjønn som drenerer mot pumpebrønn 4 og Herretjønn, og fra Hønsåa mot området rundt pumpebrønn 3. Bilde 1-4 viser at vannet i området rundt pumpebrønn 4 strømmer mot Bø elva (nordvest) og mot pumpebrønn 4 (sørvest) (Gulbrandsen et al 2005). Det er en svakhet at det ikke ble satt en datalogg i Herretjønn for å måle vannivået, dette kunne ha påvirket strømningsmodellen.

De to nye punktene som ble laget i Bø elva ga et bedre og større bilde av strømningsmønstrene rundt pumpebrønn 4. Dette viste at det er bidra fra Bø elva mot pumpebrønn 4, som er vist i kart 3-1.

Når grunnvannpotensialen i pumpebrønn 2 var på ca 115 m (Kart 3-8) er det gradient fra akviferen og ut mot Bø elva og ved 114 m (kart 3-9) så er lite gradient fra Bø elva mot pumpebrønn 2.

Når pumpebrønn 2 var i drift og det bare ble pumpet fra denne kombinert med liten vannføring, førte dette sannsynligvis til at grunnvannstanden i pumpebrønn 3 sank. Pumpebrønn 4 ble ikke påvirket når pumpebrønn 2 var i bruk, den fortsatte å fylles (kart 3-9).

Når pumpebrønn 4 var i drift og det bare var pumping fra denne og ved normal vannføring i Bø elva, påvirket pumpingen fra denne ikke grunnvannstanden i de andre brønnene i (kart 3-6).

Ved normal vannføring og pumping fra brønn 2 og 4 samtidig, var det påvirkning av grunnvannstanden i pumpebrønn 3 (kart 3-7). Dette viser en interaksjon mellom pumpebrønn 2 og 3. Grunnvannstanden rundt en brønn senkes ved pumping og dette danner en senkingstrakt rundt denne. Hvis senkingstrakten strekker seg til andre

nærliggende brønner, vil grunnvannstanden i disse brønnene også senkes (Waller 1982).

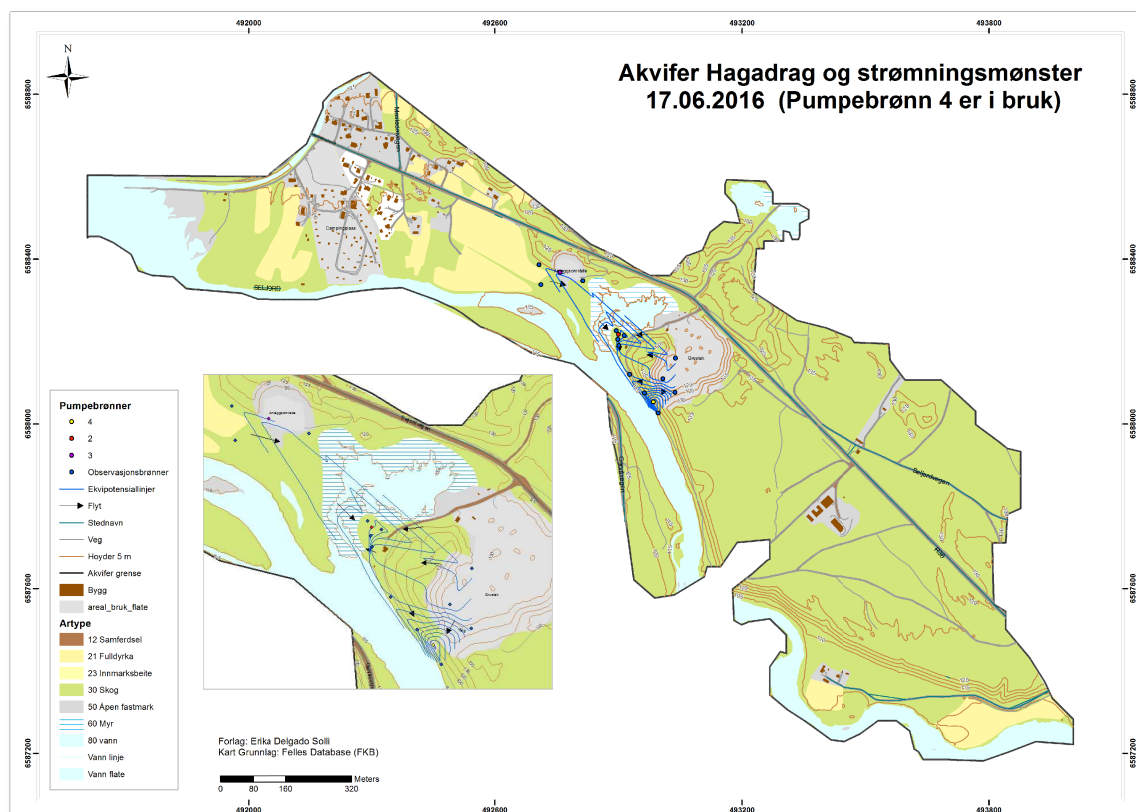
Når det ikke ble pumpet og ved liten vannføring, strømmte vannet fra Bø elva mot området mellom brønn 2 og 3 og mot pumpebrønn 4. Det strømmte også fra Herretjønn mot torvområde og Bø elva. Grunnvannet strømmte fra nordvest og nordøst for pumpebrønn 3 mot torvområde. I en tidligere oppgave ble konkludert med at pumpebrønn 3 ble matet fra Bø elva (Langeland & Mo 2003).

Observasjonsbrønn 4.3B viste et veldig lavt potensial fordi de er plassert dypere enn de andre observasjonsbrønnene, og dette førte til at det ble litt feil bilde av strømningsmønsteret.

Kart 3-11 viser hvordan strømningsmønter er plassert i følge påviringene i akvifer. I dette kartet ble det brukt strømningsmønster uten høyde potensialeverdier fra observasjonsbrønn 4.3B. Strømningretningene viser mindre gradient mot observasjonsbrønn 4.3 og at vannet strømmer mer mot nordvest mot Bø elva og nord mot området rundt pumpebrønn 2.

I følge strømningsmønstre rundt pumpebrønn 3, ser det ut som at vannet strømmer fra nord og nordøst for pumpebrønn 3 mot denne. I dette området er det en campingplass, et boligområdet og jordbruksområde som kan påvirke kvaliteten til grunnvannet. Dette vannet strømmer også mot området rundt pumpebrønn 2. En undersøkelse fant ut at vanning påvirket overflatevann og grunnvann mer enn antatt (Hasenmueller & Criss 2013).

Riksveg 36 går langs akviferen og i følge strømningretning, strømmer grunnvannet fra øst og nordøst mot akviferen. Det er usikkert i hvor stor grad veisalting påvirker grunnvannet. Langs riksveien ligger det dreneringsrør som skal drenere saltholdig vann forbi akviferen og ut i Bø elva (Halvorsen 2012).



Kart 3-11. Påvirkninger i akviferen Hagadrag og strømningsmønster den 17.06.2016 kl. 15.55. Det var bare pumpebrønn 4 som var i bruk.

I området rundt pumpebrønn 2 er det høye konsentrasjoner av mangan og i følge strømningsmønsteret i dette området, ser det ikke ut til at vannet strømmer mot området rundt pumpebrønn 4. Det er derfor ikke høye konsentrasjoner av mangan i dette området.

I følge strømningsmønsteret rundt pumpebrønn 4, strømmer grunnvannet mot Bø elva og området rundt pumpebrønn 2. Aktiviteter i grustaket kan påvirke grunnvannskvaliteten i pumpebrønn 2 og 4.

Observasjonsbrønnene settes ned i samme nivå som filteret på prøvebrønnen eller i et nivå med god hydraulisk kommunikasjon til pumpebrønnen (Gaut 2011). Det anbefales også at nye dataloggere i observasjonsbrønnene henger på samme nivå.

4.3. GIS Verktøy

GIS kan være et nyttig verktøy til bruk ved grunnvannsmodellering, det har vært brukt i de siste årene i mange land for analyse og tolkning av data. Denne oppgaven gir en ide om hvordan GIS kan brukes for å analysere de fysiske faktorene når det skal lages en grunnvannkarakterisering. Det har også vært veldig nyttig å bruke modell Builder for å lage kartene som viser strømningsmønster og ArcScene for å lage en 3D visualisering av akviferen og brønnene.

I veileder 03:2013 foreslås det at kommunen kan bruke modell DRASTIC for å karakterisere grunnvannforekomster, men det er ikke nevnt at man kan bruke GIS, som kan være et nyttig verktøy til dette. Det foreslås derfor å benytte "map algebra" funksjon i ArcMap, etter at all relevant informasjon av sårbarhetsindeks er samlet inn.

Denne funksjonen gir vekt verdier gjennom en algoritme som man bestemmer med teoretiske kriterier. Tilslutt lages det et kart som viser sårbarheten i hele akviferen eller grunnvannforekomsten. Dette gir et grunnlag for den beste plasseringen av nye pumpebrønner og hvilke gamle pumpebrønner som bør stenges. Sårbarheten til Paluxy akvifer Central Texas, USA ble vurdert ved hjelp av Gis og en modifisert DRASTIC metode (Fritch et al 2000).

5. Konklusjoner

Akviferen Hagadrag er en viktig grunnvannressurs for Bø kommune som er i risiko for ikke oppnå miljømålet i EUs vanddirektiv 2000/60/EF. I følge strømningsmønstrene og senkningsresultatene i denne oppgaven, kan de ulike påvirkninger rundt akviferen gjøre den sårbar. Avhengig av lagdelingen i de ulike områdene kan denne være beskyttet i noen områder og dette gjør at det var vanskelig å identifisere sårbarhetsgraden. Det er viktig å legge til grundigere undersøkelser av lagdelingen ved bruk av denne metoden.

Denne metoden oppnådde å identifisere at akviferen Hagadrag er både åpen og lukket i følge S verdiene. Disse verdiene ble påvirket av hvilken observasjonsbrønn senkningsdataene ble hentet fra.

Metoden for å beregne høydene til grunnvannstanden i pumpebrønn 2 og 3 ga et overestimert resultat. Resultatet hadde vært bedre hvis den maksimale utbredelse av senkingsstrakta i formel 5 hadde vært benyttet. Dette kunne ha ført til lavere høyder i pumpebrønnene.

Model Builder, 3D analyse verktøy og 3D visualisering i GIS, har vært nyttige verktøy i denne oppgaven og anbefales ved fremtidige undersøkelser. Det hadde vært en fordel å lage 3D profiler for brønnene, dette hadde vist senkningstrakten rundt disse.

Endringen av restriksjonen for masseuttak i akviferen kan skape en ressurskonflikt, fordi dette kan føre til at akviferen kan bli mer sårbar og vannkvaliteten i Bø elva kan også bli påvirket. En stor del av vannet som strømmer inn mot akviferen kommer fra Bø elva, derfor anbefales det å fortsette med en videre overvåking av området.

Siden resultatene av denne undersøkelsen viser at strømningsmønsteret i akvifer Hagadrag ble påvirket ved intermitterende drift av brønnen, er det nyttig å fortsette med undersøkelser for å se om dette endres over tid.

6. Referanser

Andersen, L. J., & Haman, Z. (1970). *Nye metoder for prøvepumpning af boringer og grundvandsreservoarer*. København,: (C. A. Reitzels)

Bardsley, W.E. (1991). Graphical estimation of the Theis drawdown function. *Journal of Hydrology*, v.128, p.357-367.

Bear, J. (1979). *Hydraulics of groundwater: New York*, McGraw-Hill Book Company

Bernhardsen, T. (2000). *Geografiske informasjonssystemer*, 3. utg., Vett & Viten, Nesbru
Brønnboring. [Bilde] (2014). Hentet fra http://www.grunnvann.no/bore_boring.php

Dons, J.A., & Jorde, K. (1978). *Bergrunnskart*, Skien. M. 1:250 000. Norges geologiske undersøkelse.

Esri (2015). *Model Builder*. ArcGis Help Library. Hentet 20.01.2015, fra
<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/002w0000001000000>
0

Esri (2015). *TIN*. ArcGis Help Library. Hentet 20.01.2015, fra
http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=About_TIN_surfaces

EUs vanddirektiv (2000). Europaparlaments- og rådsdirektiv 2000/60/EF om fastsettelse av rammer for fellesskapets vannpolitikk . Hentet fra
<http://europolov.no/rettsakt/vanddirektivet/id-1>

Faktark. [Bilde].(2014). Hentet fra <http://vann-nett.no/portal/Water?WaterbodyID=016-977-G>

Fauske, A., Fyhn, N. (2012). *Gis og solenergi. Solinnstråling i Bø Kommune*. (Fagrapport. Høgskolen i Telemark). Institutt for natur-, helse- og miljøfag. Hentet fra <http://www.slideshare.net/alfauske/gis-prosjekt-ved-hit-analyse-av-solinnstrling-for-solfangeranlegg>

Fetter, C. W. (1994) *Applied Hydrogeology*. New Jersey : Prentice Hall. 4 : Vol. 2001. ISBN 0-13-088239-9

Fritch, T. G., McKnight, C. L., Yelderman Jr, J. C., & Arnold, J. G. (2000). *An aquifer vulnerability assessment of the Paluxy aquifer, central Texas, USA, using GIS and a modified DRASTIC approach*. *Environmental Management*, 25(3), 337-345.

Gaut, Sylvi. (2011). *Beskyttelse av grunnvannsanlegg – en veileder. Norges geologiske undersøkelse*, 45 s. ISBN 978-82-7385-145-1. Hentet fra http://www.grunnvanninorge.no/GiN_veiledere/BeskyttelseAvGrunnvannsanlegg_web.pdf.

Gulbrandsen, O. M., Hansen, T. W., Nordmarken, M., Skårnes, A.G., Trollsås, B., & Øksendal, L. (2005). *Bruk av GIS ved flerbruk av området rundt drikkevannskilden på Hagadrag: Prosjektstyringsrapport*. (Fagrapport, Høgskolen i Telemark).

Halvorsen, E. (2012). *Klorid kontaminasjon av grunnvann - numerisk modellering av vannverket på Bø i Telemark*. (Masteroppgave, Universitet for Miljø og Biovitenskap), Hente

Halvorsen, M &., Strømme, K. (1989). *Vassforsyning Bø kommune*. (Hovedoppgave, Bø Telemark distriktshøgskole). Bø.

Hasenmueller, E. A. & Criss, R. E. (2013). Multiple sources of boron in urban surface waters and groundwaters: *Science of the Total Environment (STOTEN)*, 447, p. 235-247

Hilmo, B. O. (2007). *Grunnvannforekomster i Melhus Kommune. Risiko- og statusvurdering. Norgesvassdrags- og Energidirektorakt (NVE rapport 02/2007)*. Hentet fra http://www.ngu.no/upload/publikasjoner/Eksterne-grunnvannsrapporter/VRL46_2009_003a_ful.pdf

Iversen, A., Gunnarsdóttir, H. (2013). Karakterisering av norske grunnvannsforekomster med forslag til påvirkningsanalyse. Veileder 03:2013. Hentet 04.09 2014, fra http://www.vannportalen.no/globalassets/nasjonalt/dokumenter/veiledere-direktoratsgruppa/03_2013_grunnvannsveileder_140109_ziok0.pdf

Jansen, I. J. (1980). *Jordartskart Øvre Bø. M 1:20000*. Jordregisterinstitutt, Ås og Telemark distrikthøgskolen, Bø.

Jansen, I. J. (1986). *Kvartærgeologi, jord og landskap i Telemark gjennom 11000 år*. Institutt for naturanalyse.

Klempe, H. (1994). 2- dimensjonal grunnvannsmodellering av en infiltrasjonsakvifer. Hagadrag, Telemark, Norge. Høgskolen i Telemark, 1994. 15s

Klempe, H. (2010). Ressursgeologisk utgreiing for Bø vassverk og Herremo, Bø Kommune, Telemark. Høgskolen i Telemark. Institutt for natur-, helse og miljøvern fag.

Klempe, H. (2011). Grunnvannsforsyning til Bø kommune. Pumpeforsøk av ny brønn. Høgskolen i Telemark. Institutt for natur-, helse og miljøvern fag.

Kraft, P. (2007). *Karakterisering av grunnvannsforekomster i Lier kommune (Asplan viak rapport 514 641 / 2007)*. Hentet fra http://www.ngu.no/upload/publikasjoner/Eksterne-grunnvannsrapporter/VRL46_2009_002a_ful.pdf

Kraft, P. (2011). *Beskyttelse av råvannskilden til Bø vassverk: Bø kommune* (Asplan viak rapport 522947/ 2011). Hentet fra http://webhotel2.gisline.no/GisLinePlanarkiv/0821/02_32_2009/Dokumenter/Beskyttelsesplan.pdf

Kruseman, G. P og de Ridder, N. A. (1992). *Analysis and evaluation of pumping test data*. Second edition. ILRI 1992. 337s

Kværner, J. (1996). *Sårbarhetskartlegging av grunnvann i løsmasser : metoder for differensiering av arealer i sårbarhetssoner : bruk av jordsmonnkart og jorddata som grunnlag for sårbarhetsklassifisering og tiltaksplanlegging på sjøldrenert jord : forprosjekt*. Jordforsk. Rapport 13. Ås. 49 pp.

Langeland, K., Moe, J. O. (2003). *Ny brønn ved Bø vassverk, Telemark. Matematisk modell av akviferen og oversikt over akviferegenskapar og vasskvalitet*. (Hovedfagsoppgåve, Høgskolen i Telemark). K. Langeland & J.O Moe, Bø.

Li, H., & Jiao, J. J. (2001). *Analytical studies of groundwater-head fluctuation in a coastal confined aquifer overlain by a semi-permeable layer with storage*. *Advances in Water Resources*, 24(5), 565-573.

Miljødirektoratet. (2014). *Om vanndirektivet - EUs rammedirektiv for vann*. Hentet 04.09.2014, fra <http://www.vannportalen.no/regelverk1/vanndirektivet/>

Moore, I. D., Grayson, R. B., & Ladson, A. R. (1991). *Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications*. *Hydrological Processes*, 5(1): 3–30

NGU. (2014). *Grunnvannsborehull GRANADA*. Hentet 05.09.2014, fra <http://geo.ngu.no/kart/granada/>

NVE. (2014). *Faktaark for vannforekomster*. Hentet 05.09.2014, fra <http://vannnett.no/portal/Water?WaterbodyID=016-977-G>

NVE. (2015). *Faktaark for vannforekomster*. Hentet 03.02.2015, fra <http://vannnett.no/portal/Water?WaterbodyID=016-977-G>

Sanchez, J. (2012). *Hidráulica Subterránea. Principios Básicos*. Universidad de Salamanca. Departamento de Geología. España. Hente fra: http://ocw.usal.es/ciencias-experimentales/hidrologia/contenidos/09.Hidraulica_Subterranea.pdf

Sæther, S. (2008). *Modellering av transient kloridtransport i en lukket akvifer i et morenekompleks*. (Masteroppgave, Høgskolen i Telemark), Hentet fra <http://docplayer.no/8538470-Modellering-av-transient-kloridtransport-i-en-lukket-akvifer-i-et-morenekompleks.html>

Tvedten, S. (2008). *Karakterisering av grunnvannforekomster. Eksempler fra Kommune Melhus, Øyer, Voss og Lier* (NVE rapport 16/2008) . Hentet fra <http://docplayer.no/5968882-Karakterisering-av-grunnvannsforkomster.html>

Vestgarden, L.S., Klempe, H. (2010). *Karakterisering av grunnvannsforkomster i Siljan-/Farrisvassdraget*. Høgskolen i Telemark.

Weibel, R., & Heller, M. (1991), *Digital Terrain Modelling*. In : Maguire, D.J ., Goodchild, M.F ., and Rhind, D.W. (eds.) . *Geographical Information Systems : Principles and Applications*, London: Longman, 1 : 269-297.

Waller, R. M. (1982). *Ground Water and the Rural Homeowner*, Pamphlet. *US Geological Survey*.

Villanueva, M. M ., & Iglesias, A. L. (1984). *Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo*. IGME, Madrid, 426 pp.

Referanser internettsider

http://www.grunnvanninorge.no/forvaltning_eu_print.html. 14-01-14. 13:39

http://www.readcube.com/articles/10.1002%2Faic.690260304?r3_referer=wol

<http://www.kartverket.no/>

[http://www.hydrologiraadet.no/modules/module_109/publisher_view_product.asp?bP
review=1&iEntityId=11572](http://www.hydrologiraadet.no/modules/module_109/publisher_view_product.asp?bP
review=1&iEntityId=11572)

[http://www.nve.no/no/Nyhetsarkiv-/Grunnvannsituasjonen/Grunnvannsituasjon-3-
august-2013/](http://www.nve.no/no/Nyhetsarkiv-/Grunnvannsituasjonen/Grunnvannsituasjon-3-
august-2013/)

http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html. 10.09.2014
kl 10:37

<http://www.bo.kommune.no/> 2014

http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2008/2008_069.pdf.

Oversikt over bilder, figurer og tabeller

Bilde 1- 1. Plassering av pumpebrønnene 2, 3 og 4 (NGU 2014).....	17
Bilde 1- 2. Pumpebrønn i løsmasser (Brønnboring, 2014).	19
Bilde 1- 3. Bildet til høyre viser plasseringen av akviferen i nedbørsområdet og bildet til venstre viser beliggenheten til akviferen i forhold til vannkildene. Bildene er hentet fra (Gulbrandsen et al 2005).	20
Bilde 1- 4. Bildet til venstre viser strømningsnettverk i hele nedbørsområdet og bildene til høyre viser mer detaljert vanngiverne til akviferen.	21
Bilde 1- 5. Berggrunn i området Hagadrag (Dons & Jorde 1978). Vedlegg 1.	22
Bilde 1- 6. Hagadrag målestasjon. Rød firkant viser skalaen ut i Bø elva.	24
Bilde 2-1. Eksempel på oppbygningen av en model i Model Builder (Esri 2015).....	27
Bilde 2-2. Viser noder og generte flater fra triangulering (Esri 2015).	29
Bilde 2-3. Radial strømning til en brønn i en åpen akvifer(Bear 1979, s. 310).....	34
Bilde 2- 4. Bildet til venstre viser en Minidiver som gir trykk og temperatur i hver piezometer, bildet til høyre viser en observasjonsbrønn med de tre piezometer og de er markert i forhold til filternivået.	35
Bilde 2-5. Målebånd for å måle grunnvannstanden.	37
Bilde 3-1. 3D bilde av DTM over markoverflate og bunnflate. Både pumpebrønnene og observasjonsbrønnene ble trukket nedover med "extrude" funksjon med verdien (-100).	55
Bilde 3-2. 3D bilde viser hvor alle brønnene ligger. Pumpebrønnene vises med rød farge og observasjonsbrønnene med blå farge.....	56
Bilde 3-3. Høyde til grunnvannstanden i området rundt pumpebrønn 4 på tre forskjellige filterdybder.	58
Figur 1-1. Vannføring i Hagadrag. Kilde:NVE.....	25
Figur 1-2. Nedbør 2013/2014 Bø målestasjon i Telemark. . Data for å lage figuren ble innhentet fra eklima.no.....	26

Figur 2-1. Prosedyrer i Modell Builder. Iterate Features og en clip funksjon velger de dataene man trenger for et bestemt område.....	28
Figur 2-2. Viser prosedyrene for måten en DTM ble bygd opp.....	30
Figur 2- 3. Modell Builder for å lage DTM og ekvipotensjallinjer.....	39
Figur 3-1. Utvikling av vannstanden i pumpebrønn 4 i løpet av et døgn (29.10.2012).Fire timer pumpetid.....	41
Figur 3-2. Observasjonsbrønn 2.3 ligger ved Herretjønn.....	47
Figur 3-3. Theis graf til observasjonsbrønn 2.3 (F1217)	47
Figur 3-4. Theis graf til observasjonsbrønn 3.5 (A3116).....	48
Figur 3-5. Høyde i grunnvannspeil i observasjonsbrønn 2.3 den 05.10.2014.	52
Tabell 1- 1. Perioder som ble brukt for å lage strømningsmønster i akvifer Hagadrag ...	25
Tabell 2-1. Representativ K verdiene i løsmasser . Tabell hentet fra (Sæther 2008).....	33
Tabell 2-2. Tidspunktene som ble valgt for å lage strømningsforholdskartene.	39
Tabell 3-1. Filtertapverdien	42
Tabell 3-2. Høydeverdiene over havet til grunnvannstanden i pumpebrønn 4 i 29.10.2012.	42
Tabell 3-3. Parametere for beregning av grunnvannspeilshøyde til pumpebrønn 2 og 3. Data ble beregnet fra den 17.06.2014.	48
Tabell 3-4. Beregning av høyde over havet til grunnvannstanden i pumpebrønn 2.....	49
Tabell 3-5. Beregning av høyde over havet til grunnvannstanden i pumpebrønn 3.....	49
Tabell 3- 6. Grunnvannstanden den 23.06.2014 i observasjonsbrønnene mellom kl 3 og kl 4.	58
Kart 1-1. Kart viser hvor akvifer Hagadrag ligger i Norge og akviferen mer detaljert. (Data inhentet fra http://kartverket.no/).....	16
Kart 1-2. Denne figuren viser en stor del av breelavsetninger som kan ha gode egenskaper til løsmassebrønner i akviferen Hagadrag (Klempe 2010).	23

Kart 3-1. Pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene. Strømningsforhold den 29.10.2012 Kl 08:13 før brønnen begynte å pumpe.	44
Kart 3-2. Pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene. Strømningsforhold den 29.10.2012 Kl 09.31, når brønnen pumper. Pumpebrønn startet å pumpe kl 08.37.....	45
Kart 3-3. Pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene.Strømningsforhold den 29.10.2012 Kl 12:14 når brønn 4 stoppet å pumpe.	45
Kart 3-4. Pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene. Strømningsforhold den 29.10.2012 Kl 15:02 etter at brønnen har begynt å fylles.	46
Kart 3-5. Pumpebrønn 4 og observasjonsbrønnene. Strømningsforhold den 29.10.2012 Kl 23:46 når det er ingen pumping.	46
Kart 3-6. Kartet over viser strømningsforholdet 17.06.2014 kl 15.55. Brønn 3 er ikke i drift, brønn 2 og 4 var i drift, men det var bare pumpebrønn 4 som var i bruk på dette tidspunktet.....	51
Kart 3-7. Kartet over viser strømningsforholdet 17.06.2014 kl 22.55. Pumpebrønn 2 og 4 var i drift, det ble pumpet fra begge på dette tidspunktet. Brønn 3 er ikke i drift.....	52
Kart 3-8. Kartet over viser strømningsmønsteret 05.10.2014 kl 12.55. Pumpebrønn 2 og 4 er i drift, pumpebrønn 3 er ikke i drift. Alle pumpebrønnene er i ro på dette tidspunktet (ingen pumping).	53
Kart 3-9. Kartet over viser strømningsmønsteret 05.10.2014 kl 23.55.. Pumpebrønn 2 og 4 er i drift, pumpebrønn 3 er ikke i drift. Pumpebrønn 2 er i bruk på dette tidspunktet. Pumpetiden i brønn 2 varte cirka ni timer etter kl 15.14.....	54
Kart 3-10. Grunnvannsdyp i akviferen den 17.06.2014 kl 15.55.....	59
Kart 3-11. Påvirkninger i akviferen Hagadrag og strømningsmønster den 17.06.2016 kl. 15.55. Det var bare pumpebrønn 4 som var i bruk.	67

Vedlegg 2: Koordinater

ID	X	Y	Z (H.o.h)	Name	Logg
0	492900	6588210.000	118.258	Bronn2	
1	492900.73	6588191.349	116.45	2.1	A3061
2	492898.183	6588206.631	116.53	2.2	A4317
3	492894.337	6588226.808	116.81	2.3	F1217
4	492913.519	6588215.341	115.9	2.4	A2038
5	492758	6588360.000	118.276	Bronn3	
6	492813.066	6588348.154	116.64	3.5	A3116
7	492707.21	6588386.827	117.45	3.6	A4319
8	492711.775	6588338.498	116.73	3.7	A1993
9	492984.473	6588054.498	117.45	Bronn 4	
10	492995.87	6588027.62	116.58	4.1A	A4384
11	492962.66	6588076.43	117.5	4.2A	A4358
12	492926.37	6588121.57	117.46	4.3A	J9695
13	493007.49	6588110.89	118.13	4.4A	J9587
14	493037.17	6588078.09	117.62	4.5A	A4362
15	493038.37	6588160.95	118.9	4.6A	A4332
16	492895	6588165	112.87	Bø Elva	Bø elva

Vedlegg 3: Informasjon om brønner og observasjonsbrønner.

Pumpebrønn	Observasjonsbrønn	Nivået	Dypde Logg (m)	Avstand fra observasjonsbrønn til Brønn	Logger Navn
4	1A	1	5.5	29.19	A4384
		2	12.5		A2035
		3	19.5		B2502
	2A	1	5.5	30.93	A4358
		2	12.5		L1285
		3	19.5		B2746
	3A	1	4.5	88.73	J9695
		2	6.5		J9400
		3	9.5		H7214
	4A	1	5.5	60.9	J9587
		2	12.5		H6890
		3	19.5		B2705
	5A	1	5.5	57.73	A4362
		2	12.5		H7195
		3	19.5		L1579
6A	1	5.5	119.31	A4332	
	2	12.5		H9095	
	3	19.5		B2490	
3	3.5		7.01	58.88	A3116
	3.6		6.99	53.82	A4319
	3.7		7.48	55.38	A1993
2	2.1		16.29	26.66	A3061
	2.2		8.15	11.5	A4317
	2.3		4.90	10.5	F1217
	2.4		7.52	13.8	A2038
Barometer satt i observasjonsbrønn 4.2A			1.18	30.93	K3894

Vedlegg 4: Høyde verdier for grunnvannsspeil den 29.10.2012 i pumpebrønn 4, observasjonsbrønnene og Bø elva.

X Koordinat	Y Koordinat	Tid	Z (Høyde grunnvannsspeil)	Navn	Datalogg
492984.47	6588054.5	8.13	114.41	Pumpebrønn	B4
492984.47	6588054.5	9.31	114.15	Pumpebrønn	B4
492984.47	6588054.5	12.14	113.95	Pumpebrønn	B4
492984.47	6588054.5	15.02	114.27	Pumpebrønn	B4
492984.47	6588054.5	23.46	114.41	Pumpebrønn	B4
492995.87	6588027.62	8.13	114.23	4.1A	A4384
492995.87	6588027.62	9.31	114.15	4.1A	A4384
492995.87	6588027.62	12.14	113.76	4.1A	A4384
492995.87	6588027.62	15.02	113.97	4.1A	A4384
492995.87	6588027.62	23.46	114.23	4.1A	A4384
492962.66	6588076.43	8.13	114.85	4.2A	A4358
492962.66	6588076.43	9.31	114.88	4.2A	A4358
492962.66	6588076.43	12.14	114.53	4.2A	A4358
492962.66	6588076.43	15.02	114.66	4.2A	A4358
492962.66	6588076.43	23.46	114.85	4.2A	A4358
492926.37	6588121.57	8.13	114.89	4.3A	J9695
492926.37	6588121.57	9.31	114.93	4.3A	J9695
492926.37	6588121.57	12.14	114.82	4.3A	J9695
492926.37	6588121.57	15.02	114.83	4.3A	J9695
492926.37	6588121.57	23.46	114.92	4.3A	J9695
493007.49	6588110.89	8.13	115.49	4.4A	J9587
493007.49	6588110.89	9.31	115.51	4.4A	J9587
493007.49	6588110.89	12.14	115.43	4.4A	J9587
493007.49	6588110.89	15.02	115.45	4.4A	J9587
493007.49	6588110.89	23.46	115.5	4.4A	J9587
493037.17	6588078.09	8.13	114.79	4.5A	A4362
493037.17	6588078.09	9.31	114.78	4.5A	A4362
493037.17	6588078.09	12.14	114.79	4.5A	A4362
493037.17	6588078.09	15.02	114.79	4.5A	A4362
493037.17	6588078.09	23.46	114.79	4.5A	A4362
493038.37	6588160.95	8.13	116.06	4.6A	A4332
493038.37	6588160.95	9.31	116.05	4.6A	A4332
493038.37	6588160.95	12.14	116.06	4.6A	A4332
493038.37	6588160.95	15.02	116.06	4.6A	A4332
493038.37	6588160.95	23.46	116.06	4.6A	A4332
492895.00	6588165.00	8.13	114.91	Bø elva	BE
492895.00	6588165.00	9.31	114.91	Bø elva	BE
492895.00	6588165.00	12.14	114.92	Bø elva	BE
492895.00	6588165.00	15.02	114.92	Bø elva	BE
492895.00	6588165.00	23.46	114.93	Bø elva	BE
492971.30	6588043.19	8.13	114.90	Elva	B1
492971.30	6588043.19	9.31	114.90	Elva	B1
492971.30	6588043.19	12.14	114.91	Elva	B1
492971.30	6588043.19	15.02	114.91	Elva	B1
492971.30	6588043.19	23.46	114.92	Elva	B1
492920.10	6588117.01	8.13	114.90	Elva	B2
492920.10	6588117.01	9.31	114.90	Elva	B2
492920.10	6588117.01	12.14	114.91	Elva	B2
492920.10	6588117.01	15.02	114.91	Elva	B2
492920.10	6588117.01	23.46	114.92	Elva	B2

Vedlegg 5: Datagrunnlag for strømningsforholdene kart

ID	X	Y	Hoh	Zr	Name	Logg	Tid	Dato
0	492900	6588210.000	118.258	114.677	Bronn2	B2	8.55	17.06.2014
1	492900	6588210.000	118.258	114.669	Bronn2	B2	15.55	17.06.2014
2	492900	6588210.000	118.258	114.067	Bronn2	B2	22.55	17.06.2014
3	492900	6588210.000	118.258	114.498	Bronn2	B2	23.55	17.06.2014
4	492900.73	6588191.35	116.45	115.313	2.1	A3061	8.55	17.06.2014
5	492900.73	6588191.35	116.45	115.308	2.1	A3061	15.55	17.06.2014
6	492900.73	6588191.35	116.45	114.716	2.1	A3061	22.55	17.06.2014
7	492900.73	6588191.35	116.45	115.142	2.1	A3061	23.55	17.06.2014
8	492898.183	6588206.63	116.53	114.648	2.2	A4317	8.55	17.06.2014
9	492898.183	6588206.63	116.53	114.541	2.2	A4317	15.55	17.06.2014
10	492898.183	6588206.63	116.53	114.033	2.2	A4317	22.55	17.06.2014
11	492898.183	6588206.63	116.53	114.215	2.2	A4317	23.55	17.06.2014
12	492894.337	6588226.81	116.81	114.986	2.3	F1217	8.55	17.06.2014
13	492894.337	6588226.81	116.81	114.978	2.3	F1217	15.55	17.06.2014
14	492894.337	6588226.81	116.81	114.378	2.3	F1217	22.55	17.06.2014
15	492894.337	6588226.81	116.81	114.807	2.3	F1217	23.55	17.06.2014
16	492913.519	6588215.34	115.90	114.735	2.4	A2038	8.55	17.06.2014
17	492913.519	6588215.34	115.90	114.728	2.4	A2038	15.55	17.06.2014
18	492913.519	6588215.34	115.90	114.358	2.4	A2038	22.55	17.06.2014
19	492913.519	6588215.34	115.90	114.529	2.4	A2038	23.55	17.06.2014
20	492758	6588360.000	118.276	115.093	Bronn3	B3	8.55	17.06.2014
21	492758	6588360.000	118.276	115.101	Bronn3	B3	15.55	17.06.2014
22	492758	6588360.000	118.276	114.974	Bronn3	B3	22.55	17.06.2014
23	492758	6588360.000	118.276	114.978	Bronn3	B3	23.55	17.06.2014
24	492813.066	6588348.15	116.64	115.311	3.5	A3116	8.55	17.06.2014
25	492813.066	6588348.15	116.64	115.319	3.5	A3116	15.55	17.06.2014
26	492813.066	6588348.15	116.64	115.192	3.5	A3116	22.55	17.06.2014
27	492813.066	6588348.15	116.64	115.196	3.5	A3116	23.55	17.06.2014
28	492707.21	6588386.83	117.45	115.505	3.6	A4319	8.55	17.06.2014
29	492707.21	6588386.83	117.45	115.508	3.6	A4319	15.55	17.06.2014
30	492707.21	6588386.83	117.45	115.506	3.6	A4319	22.55	17.06.2014
31	492707.21	6588386.83	117.45	115.504	3.6	A4319	23.55	17.06.2014
32	492711.77	6588338.49	116.73	ND	3.7	A1993	ND	ND
33	492711.77	6588338.49	116.73	ND	3.7	A1993	ND	ND
34	492711.77	6588338.49	116.73	ND	3.7	A1993	ND	ND
35	492711.77	6588338.49	116.73	ND	3.7	A1993	ND	ND
36	492984.473	6588054.5	117.45	113.210	Bronn 4	B4	8.55	17.06.2014
37	492984.473	6588054.5	117.45	113.330	Bronn 4	B4	15.55	17.06.2014
38	492984.473	6588054.5	117.45	113.230	Bronn 4	B4	22.55	17.06.2014
39	492984.473	6588054.5	117.45	113.230	Bronn 4	B4	23.55	17.06.2014
40	492996.257	6588027.81	116.58	114.133	4.1A	A4384	8.55	17.06.2014
41	492996.257	6588027.81	116.58	113.669	4.1A	A4384	15.55	17.06.2014
42	492996.257	6588027.81	116.58	113.582	4.1A	A4384	22.55	17.06.2014
43	492996.257	6588027.81	116.58	113.573	4.1A	A4384	23.55	17.06.2014
44	492962.921	6588076.76	117.5	114.645	4.2A	A4358	8.55	17.06.2014
45	492962.921	6588076.76	117.5	114.38	4.2A	A4358	15.55	17.06.2014
46	492962.921	6588076.76	117.5	114.241	4.2A	A4358	22.55	17.06.2014
47	492962.921	6588076.76	117.5	114.224	4.2A	A4358	23.55	17.06.2014
48	492926.362	6588121.34	117.46	114.04	4.3B	J9400	8.55	17.06.2014
49	492926.362	6588121.34	117.46	113.923	4.3B	J9400	15.55	17.06.2014
50	492926.362	6588121.34	117.46	113.78	4.3B	J9400	22.55	17.06.2014
51	492926.362	6588121.34	117.46	113.763	4.3B	J9400	23.55	17.06.2014
52	493007.396	6588110.71	118.13	115.404	4.4A	J9587	8.55	17.06.2014
53	493007.396	6588110.71	118.13	115.35	4.4A	J9587	15.55	17.06.2014
54	493007.396	6588110.71	118.13	115.293	4.4A	J9587	22.55	17.06.2014
55	493007.396	6588110.71	118.13	115.287	4.4A	J9587	23.55	17.06.2014
56	493037.2	6588078.38	117.62	114.901	4.5A	A4362	8.55	17.06.2014
57	493037.2	6588078.38	117.62	114.896	4.5A	A4362	15.55	17.06.2014
58	493037.2	6588078.38	117.62	114.882	4.5A	A4362	22.55	17.06.2014
59	493037.2	6588078.38	117.62	114.88	4.5A	A4362	23.55	17.06.2014
60	493037.848	6588161.14	118.9	115.483	4.6A	A4332	8.55	17.06.2014
61	493037.848	6588161.14	118.9	115.499	4.6A	A4332	15.55	17.06.2014
62	493037.848	6588161.14	118.9	115.443	4.6A	A4332	22.55	17.06.2014
63	493037.848	6588161.14	118.9	115.431	4.6A	A4332	23.55	17.06.2014
64	492895	6588165	112.87	114.95	Elva	BE	8.55	17.06.2014
65	492895	6588165	112.87	114.95	Elva	BE	15.55	17.06.2014
66	492895	6588165	112.87	114.95	Elva	BE	22.55	17.06.2014
67	492895	6588165	112.87	114.95	Elva	BE	23.55	17.06.2014
68	492971.3	6588043.19	ND	114.944	Elva	BE1	8.55	17.06.2014
69	492971.3	6588043.19	ND	114.944	Elva	BE1	15.55	17.06.2014
70	492971.3	6588043.19	ND	114.944	Elva	BE1	22.55	17.06.2014
71	492971.3	6588043.19	ND	114.944	Elva	BE1	23.55	17.06.2014
72	492920.1	6588117.01	ND	114.94	Elva	BE2	8.55	17.06.2014
73	492920.1	6588117.01	ND	114.94	Elva	BE2	15.55	17.06.2014
74	492920.1	6588117.01	ND	114.94	Elva	BE2	22.55	17.06.2014
75	492920.1	6588117.01	ND	114.94	Elva	BE2	23.55	17.06.2014

ID	X	Y	Hoh	Zr	Name	Logg	Tid	Dato
228	492900	6588210	118.258	115.168	Bronn2	B2	12.55	05.10.2014
229	492900	6588210	118.258	114.666	Bronn2	B2	15.55	05.10.2014
230	492900	6588210	118.258	114.551	Bronn2	B2	23.55	05.10.2014
231	492900	6588210	118.258	115.004	Bronn2	B2	0.55	06.10.2014
232	492900.73	6588191.35	116.45	115.025	2.1	A3061	12.55	05.10.2014
233	492900.73	6588191.35	116.45	114.533	2.1	A3061	15.55	05.10.2014
234	492900.73	6588191.35	116.45	114.425	2.1	A3061	23.55	05.10.2014
235	492900.73	6588191.35	116.45	114.878	2.1	A3061	0.55	06.10.2014
236	492898.183	6588206.63	116.53	114.361	2.2	A4317	12.55	05.10.2014
237	492898.183	6588206.63	116.53	113.874	2.2	A4317	15.55	05.10.2014
238	492898.183	6588206.63	116.53	113.921	2.2	A4317	23.55	05.10.2014
239	492898.183	6588206.63	116.53	114.095	2.2	A4317	0.55	06.10.2014
240	492894.337	6588226.81	116.81	115.476	2.3	F1217	12.55	05.10.2014
241	492894.337	6588226.81	116.81	114.975	2.3	F1217	15.55	05.10.2014
242	492894.337	6588226.81	116.81	114.86	2.3	F1217	23.55	05.10.2014
243	492894.337	6588226.81	116.81	115.312	2.3	F1217	0.55	06.10.2014
244	492913.519	6588215.34	115.9	114.44	2.4	A2038	12.55	05.10.2014
245	492913.519	6588215.34	115.9	114.208	2.4	A2038	15.55	05.10.2014
246	492913.519	6588215.34	115.9	114.087	2.4	A2038	23.55	05.10.2014
247	492913.519	6588215.34	115.9	114.265	2.4	A2038	0.55	06.10.2014
248	492758	6588360	118.276	114.713	Bronn3	B3	12.55	05.10.2014
249	492758	6588360	118.276	114.680	Bronn3	B3	15.55	05.10.2014
250	492758	6588360	118.276	114.564	Bronn3	B3	23.55	05.10.2014
251	492758	6588360	118.276	114.581	Bronn3	B3	0.55	06.10.2014
252	492813.066	6588348.15	116.64	114.932	3.5	A3116	12.55	05.10.2014
253	492813.066	6588348.15	116.64	114.899	3.5	A3116	15.55	05.10.2014
254	492813.066	6588348.15	116.64	114.783	3.5	A3116	23.55	05.10.2014
255	492813.066	6588348.15	116.64	114.8	3.5	A3116	0.55	06.10.2014
256	492707.21	6588386.83	117.45	115.132	3.6	A4319	12.55	05.10.2014
257	492707.21	6588386.83	117.45	115.136	3.6	A4319	15.55	05.10.2014
258	492707.21	6588386.83	117.45	115.114	3.6	A4319	23.55	05.10.2014
259	492707.21	6588386.83	117.45	115.105	3.6	A4319	0.55	06.10.2014
260	492711.77	6588338.49	116.73	ND	3.7	A1993	ND	ND
261	492711.77	6588338.49	116.73	ND	3.7	A1993	ND	ND
262	492711.77	6588338.49	116.73	ND	3.7	A1993	ND	ND
263	492711.77	6588338.49	116.73	ND	3.7	A1993	ND	ND
264	492984.473	6588054.5	117.45	113.98	Bronn 4	B4	12.55	05.10.2014
265	492984.473	6588054.5	117.45	114.07	Bronn 4	B4	15.55	05.10.2014
266	492984.473	6588054.5	117.45	114.06	Bronn 4	B4	23.55	05.10.2014
267	492984.473	6588054.5	117.45	114.05	Bronn 4	B4	0.55	06.10.2014
268	492996.257	6588027.81	116.58	113.728	4.1A	A4384	12.55	05.10.2014
269	492996.257	6588027.81	116.58	113.834	4.1A	A4384	15.55	05.10.2014
270	492996.257	6588027.81	116.58	113.845	4.1A	A4384	23.55	05.10.2014
271	492996.257	6588027.81	116.58	113.843	4.1A	A4384	0.55	06.10.2014
272	492962.921	6588076.76	117.5	114.277	4.2A	A4358	12.55	05.10.2014
273	492962.921	6588076.76	117.5	114.411	4.2A	A4358	15.55	05.10.2014
274	492962.921	6588076.76	117.5	114.436	4.2A	A4358	23.55	05.10.2014
275	492962.921	6588076.76	117.5	114.434	4.2A	A4358	0.55	06.10.2014
276	492926.362	6588121.34	117.46	113.723	4.3B	J9400	12.55	05.10.2014
277	492926.362	6588121.34	117.46	113.795	4.3B	J9400	15.55	05.10.2014
278	492926.362	6588121.34	117.46	113.723	4.3B	J9400	23.55	05.10.2014
279	492926.362	6588121.34	117.46	113.719	4.3B	J9400	0.55	06.10.2014
280	493007.396	6588110.71	118.13	115.141	4.4A	J9587	12.55	05.10.2014
281	493007.396	6588110.71	118.13	115.17	4.4A	J9587	15.55	05.10.2014
282	493007.396	6588110.71	118.13	115.17	4.4A	J9587	23.55	05.10.2014
283	493007.396	6588110.71	118.13	115.166	4.4A	J9587	0.55	06.10.2014
284	493037.2	6588078.38	117.62	114.53	4.5A	A4362	12.55	05.10.2014
285	493037.2	6588078.38	117.62	114.533	4.5A	A4362	15.55	05.10.2014
286	493037.2	6588078.38	117.62	114.532	4.5A	A4362	23.55	05.10.2014
287	493037.2	6588078.38	117.62	114.531	4.5A	A4362	0.55	06.10.2014
288	493037.848	6588161.14	118.9	115.24	4.6A	A4332	12.55	05.10.2014
289	493037.848	6588161.14	118.9	115.26	4.6A	A4332	15.55	05.10.2014
290	493037.848	6588161.14	118.9	115.245	4.6A	A4332	23.55	05.10.2014
291	493037.848	6588161.14	118.9	115.241	4.6A	A4332	0.55	06.10.2014
292	492895	6588165	112.87	114.51	Elva	BE	12.55	05.10.2014
293	492895	6588165	112.87	114.51	Elva	BE	15.55	05.10.2014
294	492895	6588165	112.87	114.51	Elva	BE	23.55	05.10.2014
295	492895	6588165	112.87	114.51	Elva	BE	0.55	06.10.2014
296	492971.3	6588043.19	ND	114.504	Elva	BE1	12.55	05.10.2014
297	492971.3	6588043.19	ND	114.504	Elva	BE1	15.55	05.10.2014
298	492971.3	6588043.19	ND	114.504	Elva	BE1	23.55	05.10.2014
299	492971.3	6588043.19	ND	114.504	Elva	BE1	0.55	06.10.2014
300	492920.1	6588117.01	ND	114.5	Elva	BE2	12.55	05.10.2014
301	492920.1	6588117.01	ND	114.5	Elva	BE2	15.55	05.10.2014
302	492920.1	6588117.01	ND	114.5	Elva	BE2	23.55	05.10.2014
303	492920.1	6588117.01	ND	114.5	Elva	BE2	0.55	06.10.2014