



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2019 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Revurdering av beskyttelsessoner rundt Elverum vannverk

Torill Gilje Oppistov

Miljø og naturresurser

Forord

Da jeg begynte å studere Miljø og naturresurser på NMBU viste jeg lite om hva jeg kom til å lære de to neste årene. Spenningen, utfordringen og mestringen som man får av å tilegne seg ny informasjon har bestandig vært drivkraften min til å ville studere. Det er nemlig ingen kunnskap som er tapt kunnskap. Slik var det her også. Da jeg sa ja til å skrive denne masteroppgaven hadde jeg aldri modellert noe som helst før. Det viste seg til å bli en utfordrende prosess med mange nedturer og desto større oppturer.

Jeg vil takke veilederen min, Helen K. French for all tålmodighet, glede og energi som hun har vist meg den siste tiden. Hun har bestandig ledet meg i riktig retning og kommet stadig med nye spreke ideer. Takk også til Mona Henriksen som hjalp meg med å få en større forståelse av geologien i området.

Det har også vært en glede å være med masterstudent ved UiO, Yannis Papadimitrakis i felt. Takk for de to flotte turene vi hadde i felt sammen.

Lange studiedager hadde heller ikke vært det samme uten gjengen på lesesalen. Sammen har vi delt forståelse, frustrasjon og glede. Takk for alle de gode stundene, kaffepausene og samtalene som vi har hatt i sammen.

Sist vil jeg takke venner og familie for at dere alltid har hatt troen på meg, gitt rom for meg og støttet meg uansett hvilken situasjon jeg har vært i.

Ås, mai 2019

Torill Gilje Oppistov

Sammendrag

Elverum vannverk ble startet opp på 80-tallet og pumper i dag opp ca. 6000 m³ vann per døgn. Rundt vannverket ligger det fire beskyttelsessoner som har til hensikt å verne om drikkevannskilden. Soneinndelingen følger folkehelseinstituttet sine retningslinjer og er nummerert fra sone 0 til sone III (se tabell 0-1).

Tabell 0-1 Retningslinjer til beskyttelsessoner rundt et brønnområde

Sone 0	Brønnens nærområde. Skal stå ca. 30 meter borte fra brønnområde.
Sone I	Infiltrasjonsområde. Grunnvann skal minst bruke 60 døgn fra sonens yttergrense til nærmeste brønn under maksimal pumpebelastning.
Sone II	Infiltrasjonsområde lengre fra brønnen. Alt eller deler av vannet som infiltreres når brønnområde og kan påvirke vannkvaliteten.
Sone III	Brønnens sikringssone. Infiltrert vann har svært lang oppholdstid. Det er usikkert om innfiltrert vann vil nå brønnområdet

På grunn av endringer i området ønskes det å få en større forståelse av grunnvannsstrømningen på Grindalsmoen, Elverum. Dette for å bedre kunne verne om drikkevannskilden. Sonene blir revurdert basert på feltvurderinger og data samlet inn før etablering av vannverket som til sammen skal gi nok data til en numerisk modell over området.

Forskjellige senarioer som mettet vannledningsevne, grunnvannstrømning, konstant trykkehøyde, forurensninger og årsvariasjoner ble testet ut i modellen. Tilslutt stod det igjen en bredere forståelse av de virkelige hydrologiske forholdene i området.

Modellresultatene ble tolket til en høyere mettet vannledningsevne i dypere lag enn på overflaten. Overflateavrenningen fra øvre del av nedbørsfeltet renner ned til nedre del av nedbørsfelt i elveløp og innsjø og mater området derfra. Det vil også være en grunnvannsmating over området fra nedbøren som faller ned. En grunnvannsmating fra nord til sør i området forekommer sannsynligvis også.

Beskyttelsessonene fra 1983 gjenspeiler det de hydrogeologiske forholdene i stor grad, men sone III burde ifølge modelleringen ha strukket seg lengre nord i området.

Abstract

Elverum waterworks started up in the 80s and pump approx. 6000 m³ water each day. Around the waterworks there are four protection zones, which intends to protect the drinking water source. The zone divisions follow the Norwegian Institute of Public Health's guidelines and are numbered from zone 0 to zone III (see table 0-1).

Table 0-1 Guidelines for protection zones around an well area.

Zone 0	The well's closest area. Must be around 10 - 30 meters away from well area.
Zone I	Infiltration Area. Groundwater should at least spend 60 days from the zone's outer boundary to the nearest well during maximum pumping load.
Zone II	Infiltration area further from the well. Any or all of the water infiltrated into the well area can affect water quality.
Zone III	The well's security zone. Infiltrated water has a very long residence time. It is uncertain whether infiltrated water will reach the well area

Due to changes in the area, it is desired to gain a greater understanding of the groundwater flow at Grindalsmoen, Elverum. This is to protect the drinking water source better. The zones are reassessed based on field data and data collected before the establishment of the waterworks, which together will provide enough data for a numerical model over the area.

Different scenarios such as different hydraulic conductivity, groundwater flow, hydraulic head, contaminants and year variations were tested in the model. Finally, there was a broader understanding of the real hydrological conditions in the area.

The model results were interpreted to a higher saturated water conductivity in deeper layers than on the surface. The surface runoff from the upper part of the precipitation field runs down to the lower part of the river basin and feeds the area from there. There will also be a groundwater feed over the area from the precipitation that falls down. A groundwater feed from north to south in the area probably also occurs.

The protection zones from 1983 largely reflect the hydrogeological conditions, but according to the modeling zone III should have stretched further north in the area.

Innholdsfortegnelse

Forord	II
Sammendrag.....	III
Abstract	IV
Innholdsfortegnelse	V
Forkortelser	VI
1 Introduksjon	1
1.1 Problemstilling	3
2 Områdebeskrivelse	4
2.1 Geologi	5
2.2 Hydrologisk kretsløp	6
2.3 Elverum vannverk	7
2.4 Interesser i området	10
2.5 Flomfare.....	13
3 Metode	16
3.1 Feltarbeid	17
3.2 Modellering.....	20
4 Resultat.....	37
4.1 Feltresultat	37
4.2 Modelleringsresultat	40
5 Diskusjon.....	55
5.1 Usikkerheter til feltresultat	55
5.2 Modellusikkerheter.....	55
5.3 Årsvariasjoner	60
5.4 Forurensningsproblematikk	60
5.5 Forslag til nye beskyttelsessoner.....	61
6 Konklusjon	64
6.1 Anbefalinger til videre arbeid	64
Litteraturliste	65

Forkortelser

Mattematiske uttrykk

Q	Strømningsrate	(m ³ /s)
K	Hydraulisk vannledningsevne	(m/s)
Ks	Mettet vannledningsevne	(m/s)
i	Hydraulisk gradient	-
A	Areal	(m ²)
q	Spesifikk strømningsrate / Darcy strømmning	(m/s)
P	Nedbør	(mm/år) eller (m/s)
R	Avrenning (Både grunnvannsmatning og overflateavrenning)	(mm/år) eller (m/s)
E0	Fordampning	(mm/år) eller (m/s)
ET	Evapotranspirasjon	(mm/år) eller (m/s)
ΔM	Endring i grunnvannsmagasin	(mm/år) eller (m/s)

Andre uttrykk

Øvre nedbørsfelt	Den delen av det topografisk definerte nedbørsfeltet som ikke er definert innenfor modellområdets grenser (se figur 3-6 side 26).
Nedre nedbørsfelt	Den delen av det topografisk definerte nedbørsfeltet som er modellert / modellert område (se figur 3-6 side 26).
Grunnvannsområdet	Sone 3 av dagens beskyttelsessoner (se figur 1-2 side 3)
LNF-område	Landbruks-, natur- og friluftsområde

1 Introduksjon

Grunnvann er en viktig ressurs til drikkevann, energiutvinning, flomdemping, akvakultur, beskyttelse av kulturarv, sikkerhet for liv og for å sikre minstevannføring i frostperioder. Områder i grunnen der alle porer og sprekker er fylt med vann, altså mettet sone kalles for grunnvann. I disse sonene kan veske flyte fritt mellom porene/sprekkene. Som følge av grunnvannets mange funksjonsområder er det en viktig ressurs å ta vare på (NGU, 2019b; Schwartz & Zhang, 2003).

De rensende forholdene i grunnen gjør grunnvann langt bedre beskyttet mot forurensning i forhold til overflatevann. Ettersom grunnvannet er skjult, er det lett å glemme å beskytte det. Jordbruk, skogbruk, samferdsel, septiktanker, avfallsdeponier og oljetanker er eksempler på forurensninger som kan forurense grunnvannet. Grunnvannsuttak i seg selv er også en aktivitet som kan føre til forurensning av grunnvannet (NGU, 2019d; Schwartz & Zhang, 2003).

I henhold til drikkevannsforskriften skal drikkevann til enhver tid være hygienisk betryggende. Vannkilden må være tilstrekkelig beskyttet for å være godkjent som drikkevannskilde. Dette kan gjøres ved å verne drikkevannskilden. Vern hindrer tilførsel av uønskede stoffer til vannkilden. Vannkilden kan også beskyttes med vannbehandling som fjerner og ødelegger betenkelige stoffer i vannkilden (Henriksen, 2015).

Grunnvannet har en annen kjemisk sammensetning enn overflatevann fordi det påvirkes av løsmasser og bergarter som det kommer i kontakt med. Dette kan blant annet føre til høy pH-verdi, lav alkalinitet og høyt jern- og manganinnhold i løsmassebrønner (NGU, 2019d).

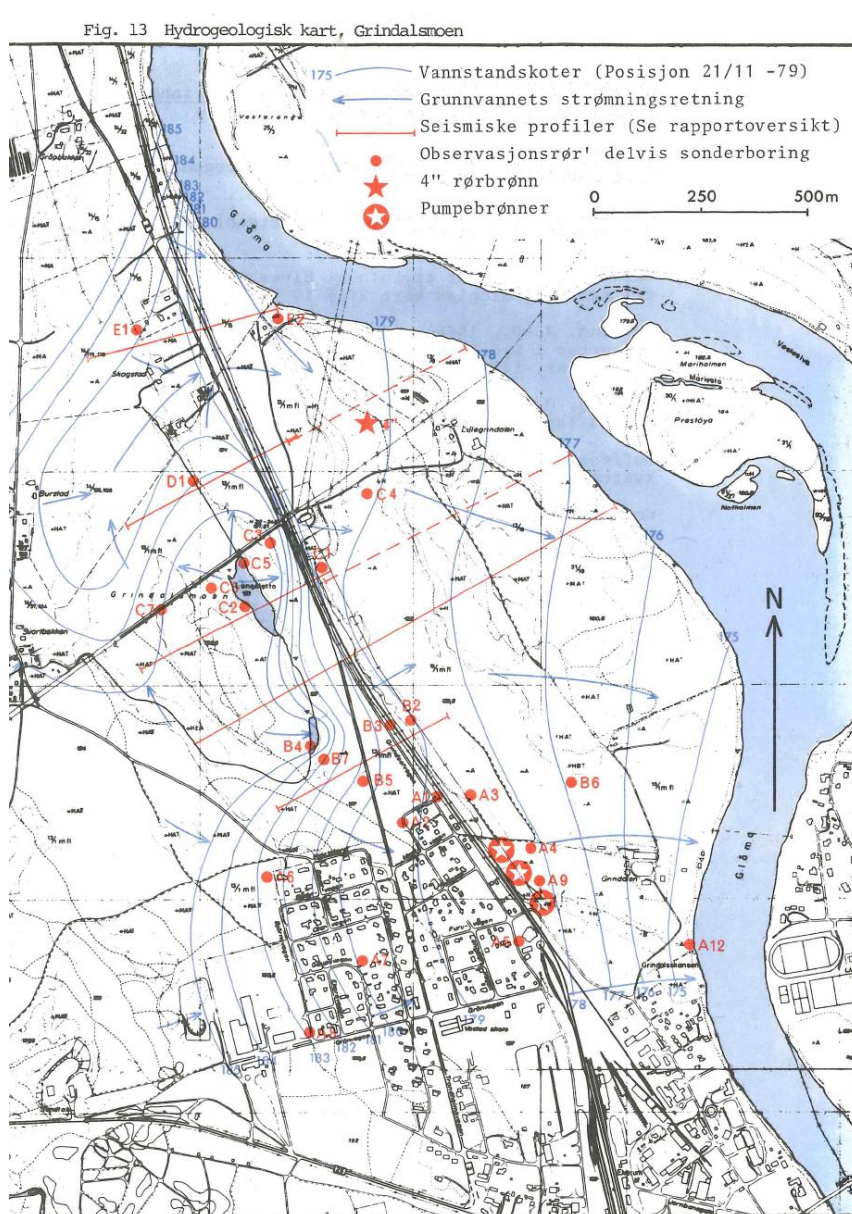
I Norge er overflatevannforsyning mer vanlig enn grunnvannsforsyning. I underkant av 500 000 personer har grunnvann som hovedvannkilde fra den kommunale vannforsyningen. Til sammenligning er omtrent 4,5 millioner innbyggere tilknyttet kommunal vannforsyning. Det er store regionale forskjeller. I Hedmark fylke var for eksempel 46,5 % av den kommunale vannforsyningen fra grunnvann i 2018 mens bare 0,4 % var fra grunnvann i Akershus. Grunnvann er også mer vanlig som drikkevann i spredt bebyggelse. Av de 1988 vannverkene som var i Norge i 2018 var 883 private (ssb.no, 2019).

Elverum vannverk ligger nord for Elverum sentrum, på vestsiden av Glomma. Tidligere har det også vært vannverk ved Grindalen (se figur 2-1 side 4) og ved Sagtjernet som ligger på

Introduksjon

østsiden av Glomma. Vannverket ved Grindalen og Sajtjernet er nå nedlagt (Hilmo & Kalskin, 1999).

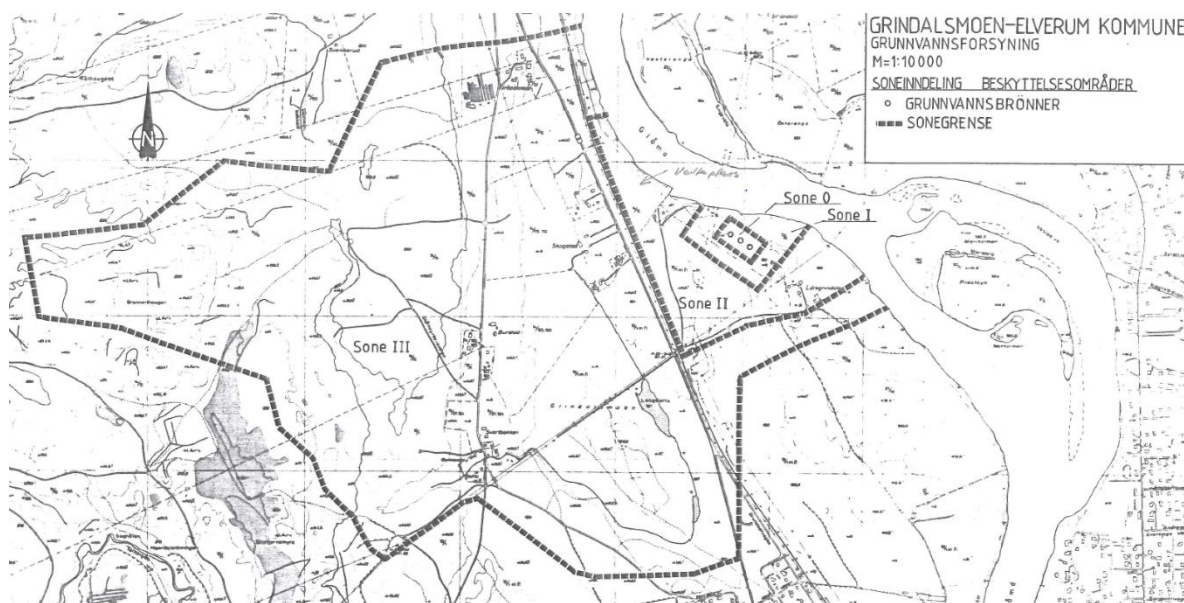
Høyt jern og manganinnhold i grunnvannet ved Grindalen var grunnen til en vurdering i 1983 av nordre Grindalsmoen som mulig plass til nytt vannverk. Vurderingen ble tatt på grunnlag av geohydrologiske undersøkelser og datasimulering (se figur 1-1). Nærhet til Glomma gjorde plassen gunstig. Dette skulle gi stabil vanntilførsel og mindre fare for høyt manganinnhold. Området lå også langt fra industri og bebyggelse som kunne forurense kilden (Knudsen, 1983).



Figur 1-1 Hydrogeologisk kart fra 1981 (Gaut et al., 1981)

1.1 Problemstilling

Problemstillingen til denne oppgaven handler om å få en forståelse av grunnvannsstrømningen i området for å kunne bedre verne om drikkevannskilden på Grindalsmoen i Elverum. I 1983 ble det definert fire beskyttelsessoner rundt vannverket (se figur 1-2). På grunn av ny industri, ombygning og andre endringer i området er det på tide å revurdere disse sonene. En revurdering av beskyttelsessonene er også viktig for å se om de var riktig plassert i utgangspunktet. Beskyttelsessonenes omfang skal derfor revurderes i henhold til drikkevannsforskriften.

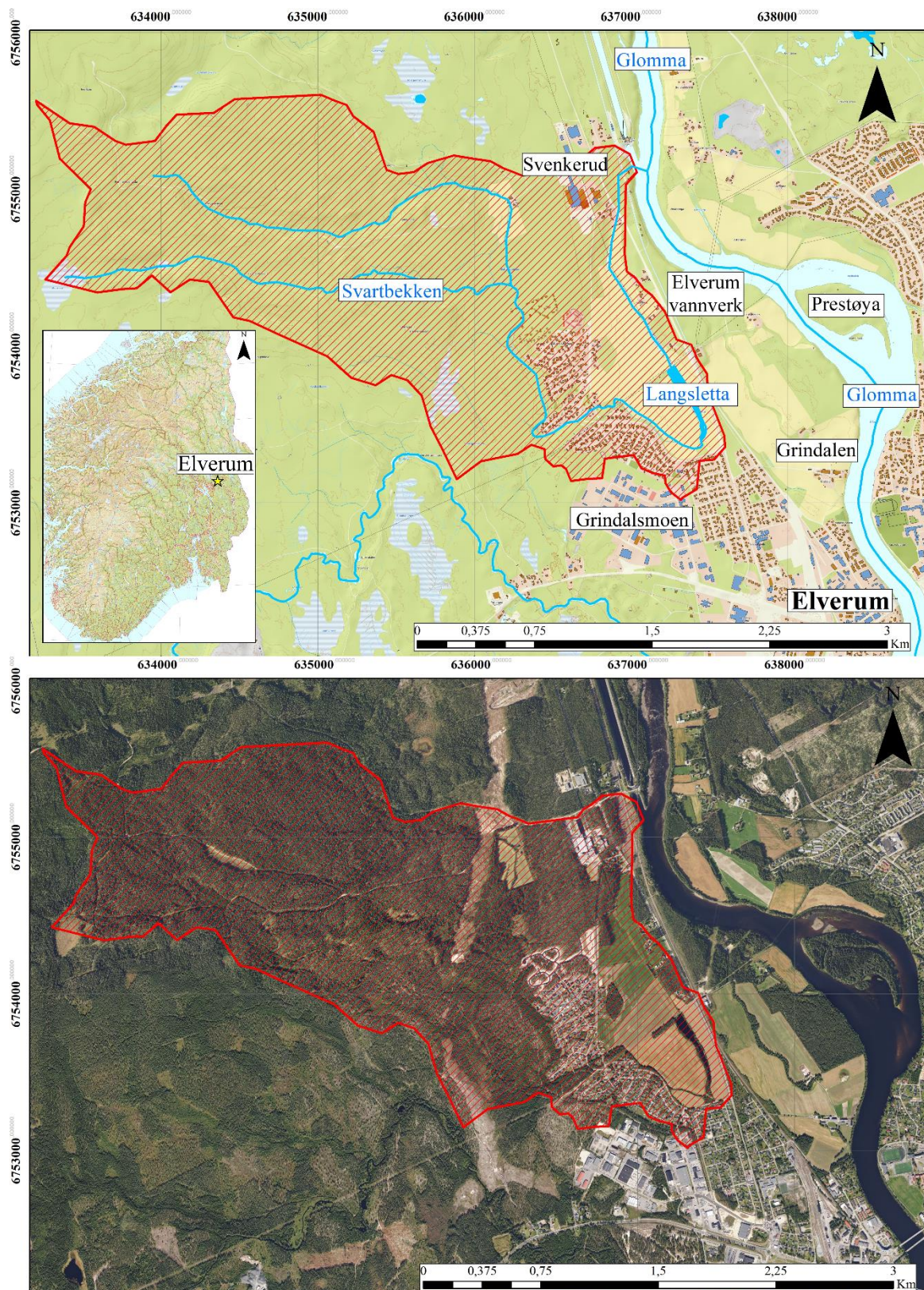


Figur 1-2 Beskyttelsessonene rundt Elverum vannverk fra 1983 (Knudsen, 1983)

Sommeren 2017 (Kharal, 2017) og sommeren 2018 har det blitt holdt feltkurs i området. Innsamlet data fra feltkursene inngår som et utvidet datamateriale til å beskrive geologi, hydrogeologi og vannkvalitet for området, i tillegg til dataene som ble samlet inn før etablering av vannverket. Feltkurset ble oppfulgt med undersøkelser fra 11 til 12 oktober. På feltkurset ble det gjort geofysiske, hydrogeologiske og kjemiske tester. Se vedlegg C for å finne mer ut om resultatene fra feltkursene som ble brukt i denne oppgaven.

2 Områdebeskrivelse

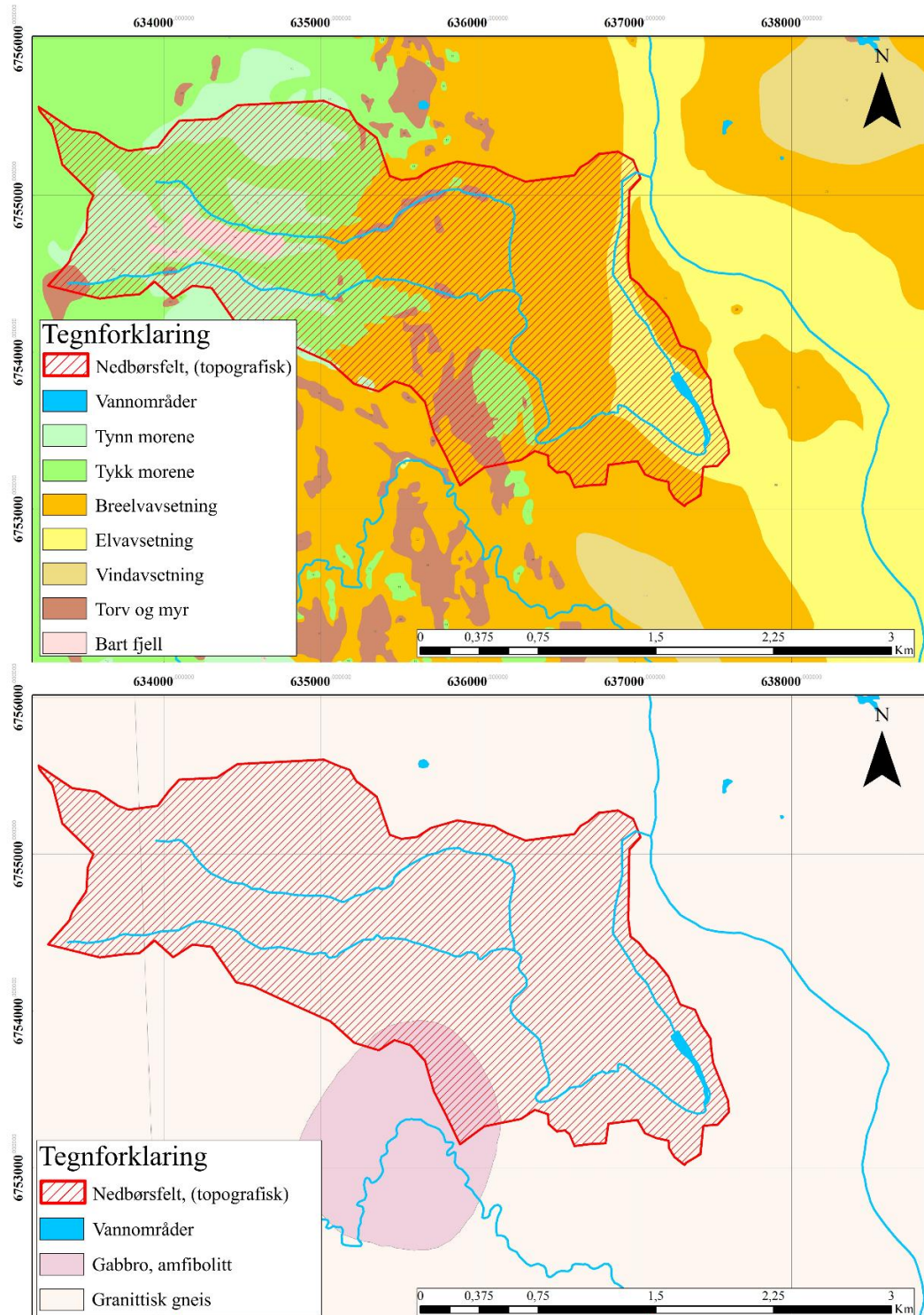
Det undersøkte området ligger nord for Elverum bykjerne (se figur 2-1).



Figur 2-1 Oversiktsbilde, rødt skravert er det topografisk bestemte nedbørsfeltet som er i det undersøkte området (Modifisert etter Georange, 2019a; Georange, 2019b; NVE, 2019b)

2.1 Geologi

Bergartene under løsmassene i området er preget av metamorfe bergarter slik som granittisk gneis fra prekambrisk tid (figur 2-2 B). Disse bergartene er kompetente og kan inneholde åpne sprekker på over 20 – 30 meters dyp. Intrusjoner av Gabbro/Amfibolitt forekommer også (Gaut et al., 1981; NGU, 2019a).



Figur 2-2 A (Øverst): Løsmassekart over området B (Nederst): Berggrunnskart over området (Modifisert etter NGU, 2019a; NGU, 2019e; NVE, 2019b)

Morenen (Grønn farge, figur 2-2 A) som trolig er fra isdekket fra siste istid, ligger i dalsidene og under de øvrige løsmassene i området i bunn av dalen. Det finnes trolig to forskjellige typer morene i området. (1.) bunnmorene som er sterkt komprimert med et høyt innhold av finstoff og (2.) ablasjonsmorene der mye av finstoffet er skylt bort før avsetning (Gaut et al., 1981; Hansen et al., 2005).

Isdekket under siste istid førte til et enormt trykk som presset ned landmassene. Når isen trakk seg tilbake kunne fjordarmer nå helt inn til Elverum. Foran breen ble det avsatt sand og grovere materiale (Breelvavsetning/Orange farge, figur 2-2 A), mens silt og leire ble fraktet videre ut i havet. I denne perioden skjedde det to katastrofale hendelser i området (tapping av Nedre Glomsjø ca. 9200 år før nåtid og tapping av Jøtulhoggsjøen ca. 9000 år før nåtid). Is som lå igjen etter tilbaketrekning av breen hadde demmet opp store innsjøer. Etterhvert kunne ikke isen holde vannmassene tilbake på grunn av for stort trykk. Tappinger som forårsaket store oversvømmelser rammet området og dette preger i stor grad strukturen til breelvsedimentene. Elven fikk høy vannstand, lavere vannhastighet og spredte seg utover et stort område. Finere sediment ble spredd over ett bredere område av elven. Den vertikale oppbygningen av løsmassene i området preges derfor av lag med finere materiale mellom sand, grus og stein. Vindavsetningene (Beige farge figur 2-2 A) stammer også trolig fra tappingshendelsene. En overflod av finkornede sediment lå igjen etter tapnings-hendelsene slik vind lett kunne dra dette utover området (Gaut et al., 1981; Hansen et al., 2005; Høgaas & Longva, 2016; NGU, 2019e).

Når trykket ble mindre på grunn av mindre ismasser, begynte landmassene langsomt å heve seg igjen. Elver overtok området der fjorder før hadde vært og eroderte seg ned i breelvavsetningene mens det avla elveavsetninger. Utfra løsmassekartet (figur 2-2A) og topografien ser det ut som om Glomma har hatt flere forskjellige løp i området (Hansen et al., 2005; NGU, 2019e).

2.2 Hydrologisk kretsløp

Grunnvannstrømmingene er en del av det hydrologiske kretsløpet. Det er viktig å forstå hvilket areal som bidrar til å forsyne et grunnvannsmagasin, og hvilke vannmengder som strømmer inn/ut av grunnvannsmagasinet. Dette fordi det er avgjørende for oppholdstiden og mengden vann som er i grunnvannsmagasinet til enhver tid. Det kan være utfordrende å bestemme nedbørsfeltet til en grunnvannskilde. Dette er fordi det ikke nødvendigvis er det samme som det topografisk avgrensede nedbørsfeltet som brukes til overflateavrenning.

Ved lengre oppholdstid vil grunnvannskvaliteten bli mer påvirket av grunnforholdene. Vannbalanseligningen (formel 2-1) forklarer hva som skjer i grunnvannsmagasinet når vann strømmer ut og/eller inn i magasinet (Hendriks, 2010; Tollan, 2015).

$$\text{Endring i magasin} = \text{Volum inn} - \text{Volum ut}$$

$$\Delta M = P + R + E$$

Formel 2-1

Med ΔM menes endring i vannmengde lagret i grunnvannsmagasinet mens P er nedbør, R er avrenning og E er evatranspirasjon. R kan videre deles opp i overflateavrenning og grunnvannsmatning (Hendriks, 2010; Tollan, 2015).

Ifølge NVE er avrenningen i det topografisk bestemte nedbørsfeltet (se figur 2-1) 284 mm/år. Nedbøren er beregnet til å være rundt 660 mm i året, der 358 mm faller om sommeren og 302 mm faller om vinteren. Vinternedbøren faller mest sannsynlig som snø ettersom temperaturen da ligger under 0 grader (se vedlegg B-1) (NVE, 2019b). Siden vintertemperaturen er under null grader er det minimal grunnvannsmatning fra overflaten om vinteren (Hendriks, 2010; NVE, 2019e).

I følge SeNorge.no er nedbøren rundt 500-750 mm/år, fordampningen 250-500 mm/år og avrenningen i området ligger rundt 200-400 mm/år. Overflateavrenningen er høyest om våren og ellers svært liten om sommeren, høsten og vinteren (NVE et al., 2019). Det ble ikke observert noe direkte elve/bekketilløp til Glomma i felt så det meste vannet vil før eller senere gå via grunnvannet til Glomma.

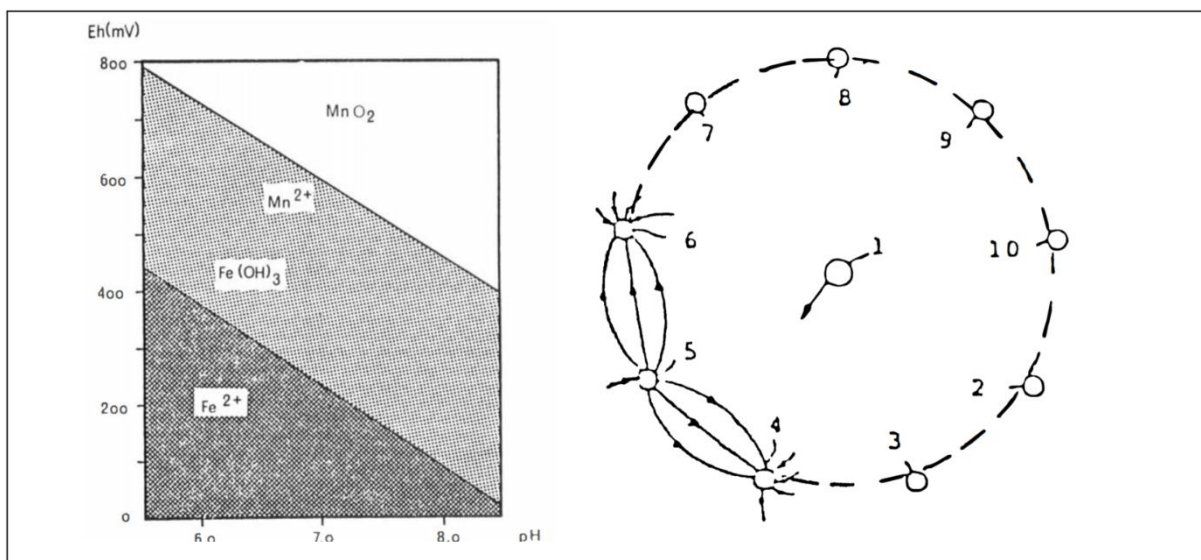
2.3 Elverum vannverk

Da vannverket ble bygget i 1987 var dette beregnet på et midlere fremtidig uttak på totalt 0,087 m³/s. Dette tilsvarer over 7250 m³ vann per døgn. Vannverket gir i dag vann til 17 000 personer og industri tilsvarende 14 700 personer. Totalt produseres det 6 000 m³ vann per døgn på vannverket. Jern og mangan i vannet fjernes ved hjelp av vyredoxmetoden og pH justeres ved hjelp av natriumhydroksid, NaOH, også kalt natronlut. Det kan også desinfiseres med UV dersom dette er nødvendig, før det distribueres på kommunens over 200 km lange vannledningsnett (Elverum kommune, 2014; Knudsen, 1983).

På vannverket er det totalt fire produksjonsbrønner som pumper vann uavhengig av hverandre. Den uavhengige pumpingen gjør vannverket godkjent som egen reservoarforsyning i en krisesituasjon. Elverum vannverk skal også kunne levere vann til Kirkekretsen vannverk ved hjelp av tankbil i en krisesituasjon. Kirkekretsen vannverk

produserer 50-70 m³ vann per døgn og leverer i dag vann til ca. 180 personer. Utover dette har Elverum vannverk avtaler med Hedmarken interkommunale avløpsselskap og Glåmdalen interkommunale vann- og avløpsselskap om levering av nødvann i beredskap (Elverum kommune, 2014).

Vyredoxmetoden benyttes på vannverket. Dette er en naturlig metode til å fjerne uønsket jern og mangan som finnes i toverdig form i drikkevannet. Grunnvann pumpes opp og blåses inn med oksygenholdig luft. Deretter å reinjiseres vannet i en annen brønn. Stoffer kan da oksidere og utfelles på grunn av høyere Eh og pH (figur 2-3 A). Vannet som pumpes opp fra produksjonsbrønnen vil da ha et lavere innhold av stoffene som er utfelt, (for eksempel jern og mangan) (Braester et al., 1988)



Figur 2-3 A (Venstre): Jern og mangan utfelles lettere ved høyere pH (x-akse) og Eh (y-akse). B (Høyre): Punkt 1 = Pumpebrønn, mens punkt 2 – 10 = Vyredox brønner (Braester et al., 1988).

De fire produksjonsbrønnene kan hver pumpe opp til 0,05 m³/s. Hver av brønnene er omkranset av 9 Vyredox brønner. To av Vyredoxbrønnene, for eksempel 1 og 3 (se figur 2-3 B) pumper opp 6 liter grunnvann per sekund som blir luftet og dermed tilført oksygen. Vannet blir deretter tilført brønn 2. De samme vyredoxbrønnene brukes i behandlingen i to timer. Deretter «hviler» vyredoxbrønnene i 3 timer før 3 nye brønner i sirkelen brukes til lufteprosessen. Pumpebrønne har hviletid for å unngå unødvendig påvirkning på vannforekomsten, da grunnvannsutttak kan virke forurensende på grunnvannsforekomsten (Braester et al., 1988; Engen, Geir 2019).

2.3.1 Beskyttelsessoner

Det er blitt laget fire beskyttelsessoner rundt vannverket (se figur 1-2, side 3).

Soneinndelingen følger folkehelseinstituttet sine retningslinjer og er nummeret fra sone 0 til

sone III. Soneinndelingen har prøvd å følge eiendomsgrenser eller naturlige grenser som grøfter, veger eller lignende. Ved Elverum vannverk er soneinndelingen basert på resultat fra geohydrologiske undersøkelser og datasimulering. Trolig er det hydrogeologiske kartet på side 2 (figur 1-1) lagt til grunn for å tegne opp sonene (Knudsen, 1983).

Sone 0 er nærområdet rundt brønnen (Folkehelseinstituttet, 2016; Knudsen, 1983; Krogh et al., 1987). Sonen skal ifølge retningslinjene bli gjerdet inn med et 1,5 m høyt nettinggjerde med låsbar port og bakken skal være tilsådd med gress. Gjerde skal stå minimum 30 meter fra brønnen. All annen virksomhet enn det som er nødvendig for vannverkets drift er ulovlig i denne sonen. I stedet for gjerde har Elverum vannverk heller valgt å ha bom langs vegen. Ellers følger vannverket retningslinjene for sone 0 (Knudsen, 1983; Krogh et al., 1987).

Sone I er infiltrasjonsområde nær brønnen. Grunnvannet skal minimum bruke 60 døgn fra sonens yttergrense til nærmeste brønn (Folkehelseinstituttet, 2016; Knudsen, 1983; Krogh et al., 1987). På vannverket er strømmingstid satt til å være lengre enn 60 døgn ved hjelp av datasimulering og geohydrologiske undersøkelser (Knudsen, 1983). (1) Nydyrking og bakkeplanering, (2) drift av grustak, (3) kloakkledninger som ikke er tette og tykkprøvd, (4) ny bebyggelse, (5) bruk av plantevernmidler og (6) lagring av kjemiske forbindelser er ikke tillatt i sonen. Olje og oljeprodukter til boligformål kan tillates hvis de er lagret i tanker på opptil 20 liter. Med kjemiske forbindelser menes tungmetaller, cyanider, pesticider, syrer og baser, vaskemidler, tensider og flotasjonskjemikalier (Knudsen, 1983; Krogh et al., 1987).

Sone II er infiltrasjonsområde lengre fra brønnen. Alt eller deler av vannet som infiltreres i denne sonen når brønnene og kan påvirke vannkvaliteten (Folkehelseinstituttet, 2016; Knudsen, 1983; Krogh et al., 1987). Det er relativt lave strømningshastigheter og lang oppholdstid av vann i grunnvannssonen. (1) Større anlegg som medfører stor økning av utnyttelse i området, (2) deponering av avfall, søppel og slam, (3) infiltrasjon av kloakk i grunnen og (4) lagring av kjemiske forbindelser, olje og mineraloljeprodukter i tanker større enn 6 kubikkmeter er ikke tillatt i sone II. (5) Bruk av plantevernmidler er ikke tillat etter nærmere retningslinjer. (6) I tillegg må nybygg eller tilbygg i sonen være godkjent av folkehelseinstituttet (Knudsen, 1983; Krogh et al., 1987).

Sone III er brønnens sikringssone. I dette området har infiltrert vann svært lang oppholdstid og det er usikkert om innfiltrert vann vil nå brønnområdet (Folkehelseinstituttet, 2016; Knudsen, 1983; Krogh et al., 1987). (1) Nyetablering av industri som helsemyndighetene anser som forurensningsfarlig, (2) nedgravde avfallsdeponier og (3) lagring av kjemiske

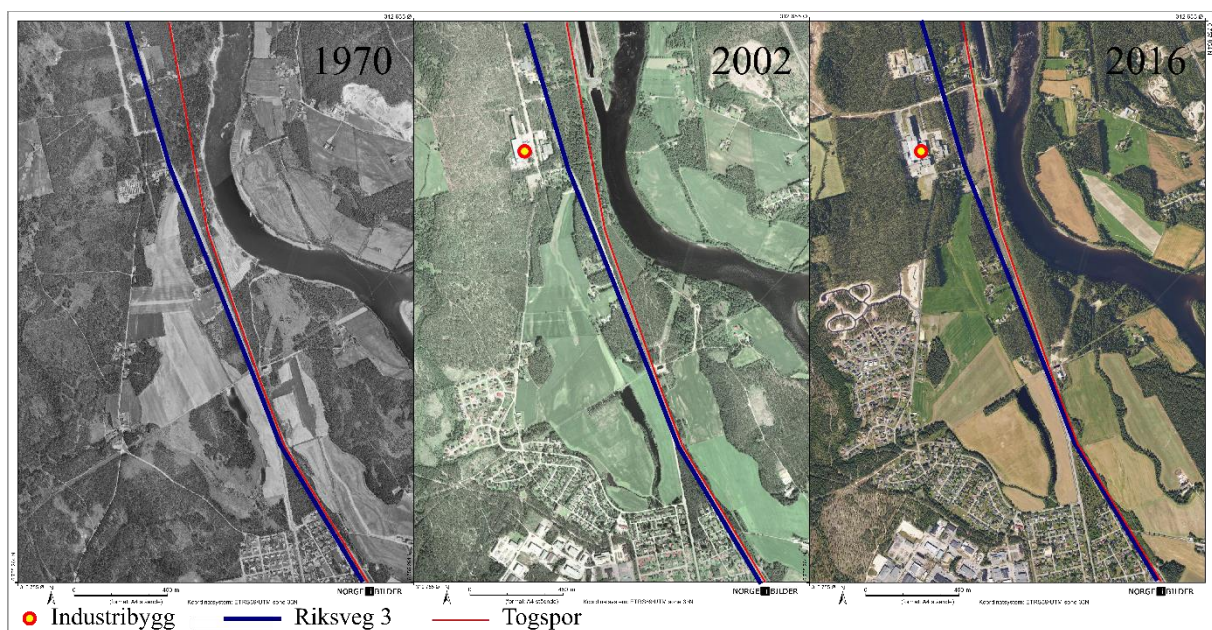
forbindelser, olje og mineraloljeprodukter i nedgravde tanker er ikke tillatt i sone III (Knudsen, 1983; Krogh et al., 1987).

2.4 Interesser i området

2.4.1 Tidligere interesser

Da området ble undersøkt på 80-tallet var området primært benyttet til landbruk og friluftaktiviteter. Det var et par bolighus i området samt en industribygning som ble bygget i 1977 (Stokken, 2019). Industribygningen tilhører Orkla og benyttes til produksjon av ferdigmat og bearbeiding av mat (Orkla, 2019).

Riksveg 3 lå da helt nede ved Glomma, bare et par titalls meter vekke fra togsporene som krysser området (se figur 2-4). I etableringsfasen av vannverket ble en del av riksveg 3, som gikk gjennom sone 3 av dagens beskyttelsessoner, (heretter kalt grunnvannsområdet) bestemt å ikke saltes. Dette ble gjort for å hindre kontaminering av grunnvannskilden (Statens vegvesen, 2012).



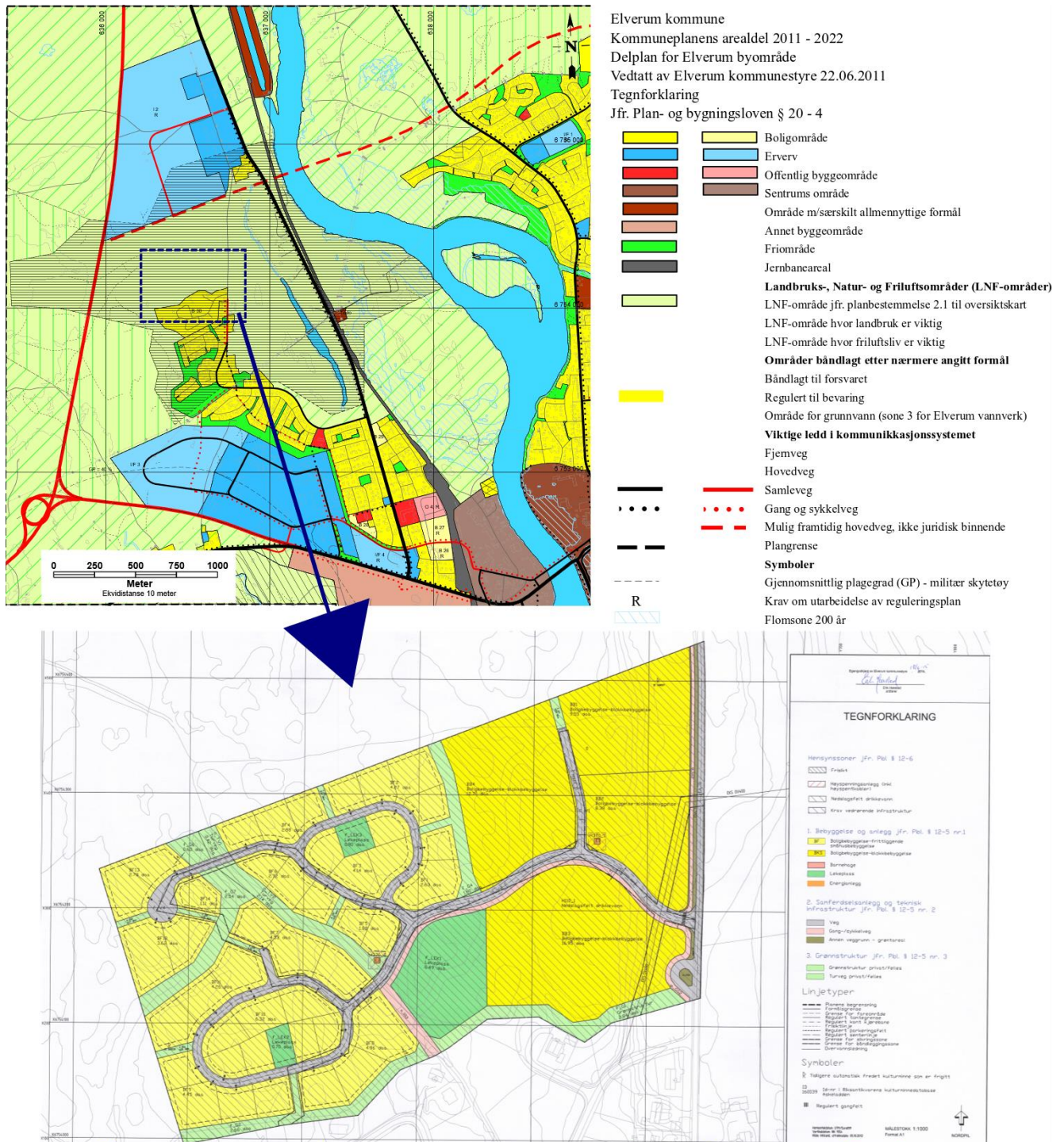
Figur 2-4 Utvikling av området siden 1970-tallet (Modifisert etter <https://www.norgebilder.no> [10.03.2019] av NIBIO et al., 2019)

2.4.2 Nåværende interesser

I 2011 ble det laget et arealplankart som viser hvordan endringen i området vil være fra 2011 til 2022 (figur 2-5). Grunnvannsområdet ligger hovedsakelig utenfor Elverums bygrense i denne planen. Unntaket er i den sør-østlige delen av grunnvannsområdet der det er boligområde og friområde (figur 2-5). Ellers ligger ikke grunnvannsområdet innenfor Elverums sentrumsområde eller bykjerne. Det er ingen større boligutbyggelse på

Områdebeskrivelse

kommuneplanens areal del i grunnvannsområdet. Bykjerne, sentrumsområde og eventuelt et område sørvest for bygrensen prioriteres til ny bebyggelse fremfor grunnvannsområdet (Elverum kommune, 2018).



Figur 2-5 Utsnitt av kommuneplanens arealplan (øverst) samt et utsnitt av en reguleringsplan som ikke var i tråd med kommuneplanens arealdel (nederst)(Modifisert etterArkitektbua as, 2015; Elverum kommune, 2018)

Mesteparten av arealet som inngår i grunnvannsområdet er kartlagt som LNF-område, landbruks-, natur- og friluftsområde i kommuneplanens arealdel for 2011 til 2022. LNF-område i nærheten av vannverket blir brukt som et viktig rekreasjonsområde for voksne og

barn. Her er det blant annet sykkel og turstier om sommeren og skiløyper om vinteren (Elverum kommune, 2010; Elverum kommune, 2018).

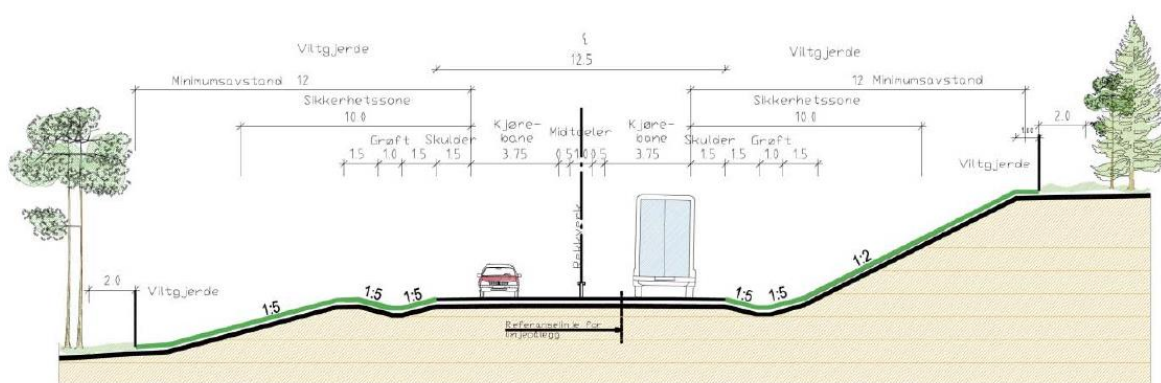
Landbruk er viktig for forvaltning av landskapet, vareproduksjon og står for 4 % av sysselsettingen i kommunen. Det dyrkes hovedsakelig gress på landbruksområdene innenfor grunnvannssonen (Elverum kommune, 2010).

Noe næringsbebyggelse ligger i grunnvannsområdet (blå polygon/erverv, figur 2-5). I 2018 holdt bedriftene Orkla Foods Norge AS, Netco AS (elektro, fiber og tele), Bolstad Eiendom AS og Polarvinduet AS til her (Plan1, 2018).

2.4.3 Fremtidige interesser

I 2015 ble det vedtatt en detaljregulering som skulle tilrettelegge for boliger nord for eksisterende boligområde innenfor grunnvannsområde (figur 2-5, nederst). På dette området kan det bygges ut totalt 180 nye boliger. Vann og avløp skal tilkobles eksisterende vann og avløpsnettverk mens overvann skal håndteres lokalt (Arkitektbua as, 2014).

En ny riksvei 3 skal lages i området. Riksvei 3 er en svært trafikkert vei som nesten 90 % av tungtrafikken mellom Sør- og Midt-Norge benytter. Daglig kjører det rundt 4 000-5 000 kjøretøy på strekningen over Grundsetmoen der 15-19 % av dette er tungtrafikk. En ny veg vil fjerne mesteparten av belastningen på den gamle vegen og flytte trafikken lenger vest i området. Det vil bli et stort inngrep på naturen i området da det berører et stor areal (se figur 2-6) (Statens vegvesen, 2012).



Figur 5-6. Dimensjoneringsklasse S5, lagt til grunn for rv. 3 Åkroken - Grundset

Figur 2-6 Tversnittsplan for hvordan den nye vegen i grunnvannsområdet kommer til å se ut, sett mot syd (Statens vegvesen, 2012).

Det ble vurdert å legge membran under den nye vegen for å hindre forurensning i grunnvannssonen. En løsning der vegen innenfor grunnvannssonen ikke blir saltet, slik som er gjeldende praksis for eksisterende riksveg 3 ble heller løsningen. Det skal også lages

beredskapsplan som skal ivareta området ved uhell av tilsøl med forurensende stoffer. Trolig går denne beredskapsplanen ut på å spyle vegbanen og skifte ut grøftemassene på stedet (Statens vegvesen, 2012).

Næringsindustrien i kommunen kommer også til å øke og mer industri ønskes å bygges ut i industriområdet (Plan1, 2018). Den nye riksvegen som skal komme gjør det også gunstig for industri i området (Stokken, 2019).

Befolkningen i Elverum kommune er beregnet å øke med 1 % per år. Det fører til en årlig økning i vannforbruk tilsvarende vannforbruket til 2 850 personer. Økt vannforbruk vil ha mindre betydning på vann-nettet ettersom kapasiteten i ledningsnettet er tilstrekkelig for den ekstra belastningen (Elverum kommune, 2014).

2.5 Flomfare

Store deler av indre og nordøstre Norge er i et hydrologisk regime der det er en dominerende snøsmeltingsflom i mai - juli og minimal vannføring i februar-mars på grunn av snøakkumulasjon (Gottschalk et al., 1979).

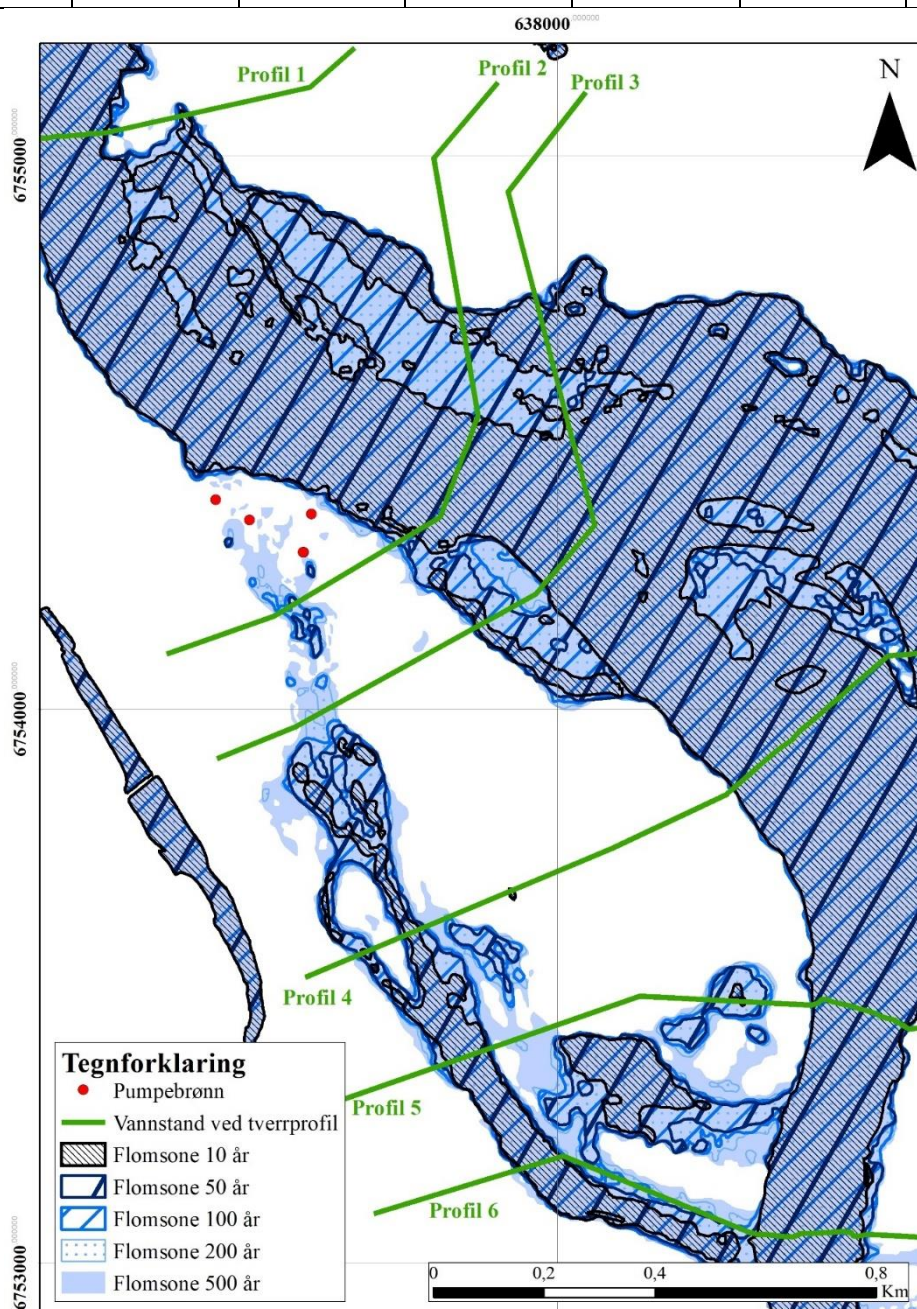
Glommavassdraget pleier å flomme hvert år imellom april og juni i forbindelse med snøsmeltingen (Fjelstad, 2000; NVE, 2019e). Omfanget, størrelsen og lengden på flommen kan variere fra år til år. Det er blitt beregnet omfanget av en 10, 20, 100, 200 og 500 årsflom i området (se tabell 2-1 og figur 2-7). Flomsonene er beregnet med vannlinjeberegninger. All topografi i nærheten av Glomma som er under den kalkulerte flomhøyden vil da bli markert som flomsone (Fjelstad, 2000) .

En 10 års flom er ikke en flom som kommer hvert 10 år, men en flom som det er 10 % sannsynlighet for å få i løpet av et år. På samme måte er det 0,2 % sannsynlighet for å få en 500 årsflom i løpet av et år. To 500 års flommer kan altså komme rett etter hverandre, men sannsynligheten for dette er veldig liten (Fjelstad, 2000).

Områdebeskrivelse

Tabell 2-1 Viser hvor høy vannstanden i Glomma vil være ved en 10-, 50-, 100-, 200- eller 500 årsflom. Profilene der høyden er hentet fra vises i figur 2-7 (Modifisert etter Fjelstad, 2000).

	Vannstand (m.o.h.)					
	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	Profil 5	Profil 6
10 årsflom	184,3	182,6	182,3	182,1	182,1	181,9
20 årsflom	184,7	183,0	182,7	182,5	182,5	182,2
50 årsflom	185,3	183,5	183,2	183,0	182,9	182,6
100 årsflom	185,6	183,9	183,6	183,3	183,2	182,9
200 årsflom	186,0	184,2	183,9	183,6	183,5	183,2
500 årsflom	186,5	184,7	184,4	184,2	184,0	183,6



Figur 2-7 Omfanget av en 10, 50, 100, 200 og 500 årsflom og hvordan dette vil påvirke pumpebrønnene på Elverum vannverk. Se tabell 2-1 for vannstand ved tverrprofilene (Modifisert etter Fjelstad, 2000)

Områdebeskrivelse

Ifølge figur 2-7 vil en 10, 50, 100 eller 200 årsflom ikke nå brønnene. En 500 årsflom kan påvirke de sørligste brønnene.

Den siste store flommen var i 1995, som da hadde en vannføring på rundt 3 000 m³/s ved Elverum (SNL, 2019b). Året etter denne store flommen ble det laget flomm-voller rundt vannverket (NVE, 2019d). Ettersom flomvollene er laget før Fjelstad (2000) sine berginger, er det disse flomvollene mest tenkelig tatt med i flomberegningene. Den største flommen som er kjent i Glommavassdraget var Storofsen i 1789 som steg betydelig lenger enn flommen i 1995 (se fig 2-8)(Mardal, 2018).



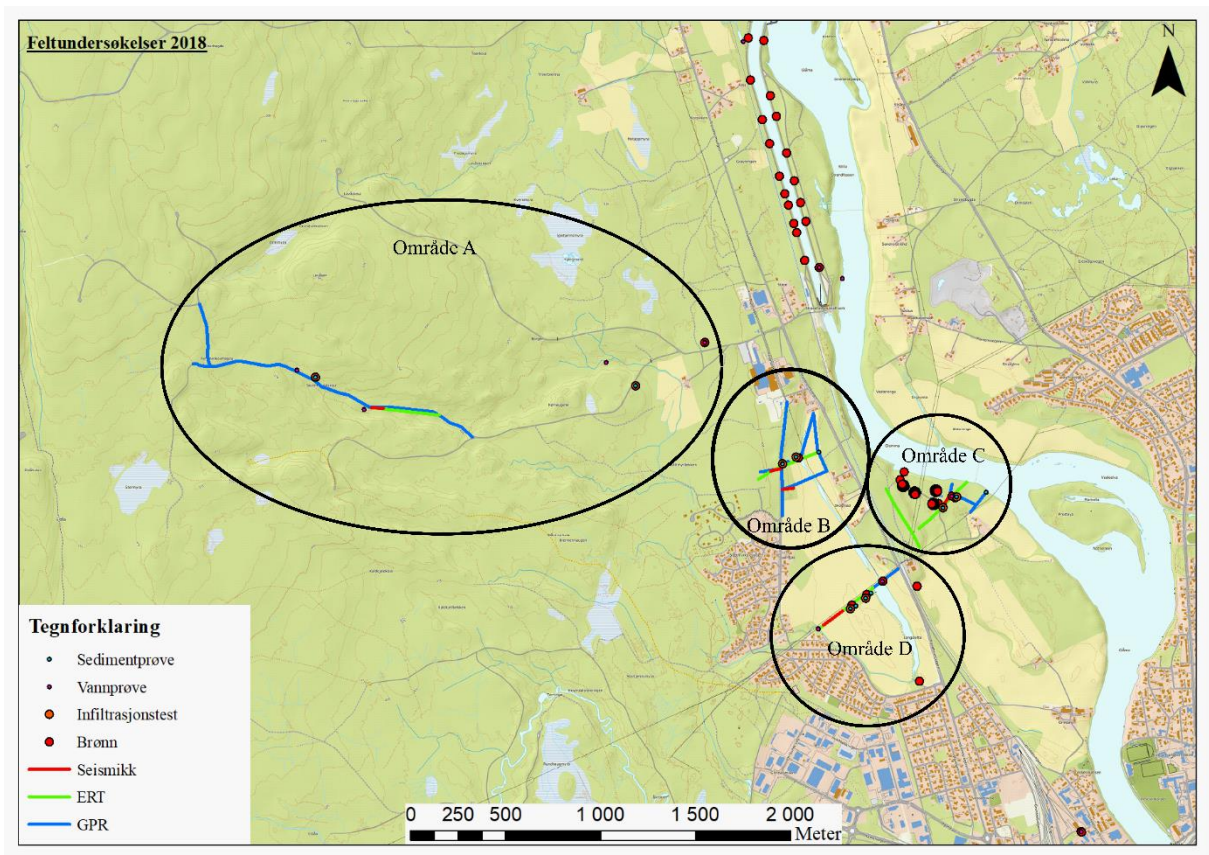
Figur 2-8 Flomstein, ca. 1,5 km sørøst fra Elverum vannverk. Flommen fra 1995 er ca. 60 cm lavere enn Storofsen i 1789 (UTM koordinater: 60.888357, 11.549369)

Ifølge NVE forventes snøsmelteflommene å bli mindre i tiden som kommer.

Snøsmelteflommene kan komme tidligere på grunn av økt temperatur. Det forventes også en økende flomfare på senhøsten og vinteren (NVE, 2019a).

3 Metode

For å analysere grunnvannsstrømningen og oppholdstider rundt vannverket er en numerisk grunnvannsmodell (USGS, 2019a) brukt i denne masteroppgaven. Fysiske betingelser er definert i modellen med data innsamlet før etablering av vannverket sammen med innsamlede data om geologiske og hydrologiske forhold omkring vannverket fra feltkurs i hydrogeologi (GEO221(NMBU)) fra årene 2017 og 2018. I dette kapittelet gis en kort beskrivelse av metodene benyttet under feltarbeid ved Elverum vannverk sommeren og høsten 2018 (se vedlegg C). Undertegnede har selv deltatt i feltkurset i 2018. Videre beskrives hvordan den konseptuelle modellen er bygget opp samt detaljer om prosessering og resultater av modellarbeidet. Se vedlegg C, masteroppgaven fra Kharal (2017) eller French (2019) for mer informasjon om feltarbeidet gjort i 2017 og 2018.



Figur 3-1 Feltundersøkelser gjort i 2018. Se vedlegg C for mer informasjon eller mer detaljerte kart. Feltarbeidet fra 2017 foregikk hovedsakelig i område C

Et kjent uttrykk innen modellering er «Søppel inn = Søppel ut» (Essink, 2000).

Feltundersøkelser er benyttet for å få bedre oversikt over de hydrogeologiske forholdene på Elverum. Dermed vil modellen som lages være mest mulig troverdig. Ved å ta med verdier fra felt som f.eks. målt mettet vannledningsevne, skille mellom litologiske grenser, dybde til

berggrunn i modellen vil modellen bli mer lik de faktiske forholdene. Målt grunnvannshøyde i felt kan også sammenlignes med modellert grunnvannshøyde for å teste om modellen er troverdig.

3.1 Feltarbeid

3.1.1 Geofysiske metoder

Ground penetrating radar

Ground penetrating radar, GPR er en metode der det benyttes en sender til å gi ut elektromagnetiske bølger i bakken. Impulsen reflekteres når den treffer på en geologisk grense eller enkelte typer av nedgravd avfall. Den reflekterte impulsen blir så fanget opp av en mottaker og ankomsttid blir tatt. Har det gått lang tid fra impulsen ble sendt ut til den blir tatt opp i mottaker er grensen langt nede i bakken, mens det ved kortere tid er en grense lengre oppe i bakken. Hvor langt nede i bakken ett radarsignal går (z) avhenger av elektrisk ledningsevne til undersøkt materiale (σ), og kan beregnes med følgende forhold (formel 3-1)(Schwartz & Zhang, 2003):

$$Z = 35/\sigma \text{ (meter)} \quad \text{Formel 3-1}$$

Materiale med høy elektrisk ledningsevne slik som fuktig silt og leire vil altså ikke få like bra/dype resultat som for eksempel tørr sand (Schwartz & Zhang, 2003).

Seismikk

Seismikk er en metode der lydbølger (energibølger/ rystninger) i jorden sendes ut og tas opp av en seismograf eller en geofon. Reisetiden til den seismiske bølgen blir målt i forskjellige typer litologi. Seismiske bølger kan gå direkte fra utslagskilde til mottaker (Overflatebølge), reflektere i en geologisk grense (Reflektert bølge) eller gå langs den geologiske grensen en stund for å så reflektere tilbake (Refraktert bølge). Farten til en refraktert bølge sier mye om mediet som den beveger seg i. Seismikkbølger i tørr sand har for eksempel lavere hastighet enn seismikkbølger i våt sand (Mussett & Khan, 2000).

Elektrisk resistivitetstomografi

Elektrisk resistivitetstomografi, ERT går ut på å måle resistiviteten i forskjellige geologiske materialer. Elektrisk strøm (I) blir injisert mellom to elektroder, mens den elektriske potensialforskjellen (V) blir målt mellom to andre. Tilsynelatende resistivitet (ρ_a) blir så regnet ut ved formel 3-2 (Schwartz & Zhang, 2003):

Metode

$$\rho a = K \frac{\Delta V}{I} \quad \text{Formel 3-2}$$

Der ΔV er potensialforskjellen mellom elektrodene, I er den strømmen som ble indusert i grunnen og K er en geometrisk faktor som avhenger av oppsettet til det geometriske feltet. Ved å ta mange målinger med forskjellig distanse mellom elektrodene kan det lages et profil av resistiviteten i grunnen (Schwartz & Zhang, 2003).

3.1.2 Infiltrasjonstest

Infiltrasjonstestene ble utført med konstant trykkehøyde gitt ved et system med en Marionettesylinder som kontrollerte trykkehøyden i et jordhull som ble fylt med vann og en 40 * 40 * 30 cm stor svamp. Vann ble fylt i hullet til svampen ble mettet. En slange fra cylinderen ble så plassert i svampen og cylinderen ble åpnet slik at vann kunne renne fra cylinderen til svampen. Så ble mengden vann som infiltrerte grunnen per tidsenhet (Q) notert ned.

Metoden følger to grunnleggende hydrologiske prinsipp (formel 3-3 og 3-4):

$$Q_{\text{Ut av cylinder}} = Q_{\text{Som går inn i omliggende sediment}} \quad \text{Formel 3-3}$$

$$\text{Darcy's lov: } Q = K * a * i = K(a^2 + 4ab)i \quad \text{Formel 3-4}$$

K er da hydraulisk ledningsevne mens a er lengdene av sidene til det kvadratiske hullet (40 cm), b er den konstante vannhøyden i hullet (30 cm) og i er gradienten (1) (Jenssen, 2018)

3.1.3 Kornfordelingskurve

Det ble tatt sedimentprøver i felt. Prøvene ble samlet inn, tørket og siktet i 0,0625, 0,125, 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8 og 16 mm sikter. Kumulativ vektprosent ble så regnet ut. Kornstørrelse distribusjonen gir en indikasjon på sedimentets avsetningshistorie (Visser, 1969). Det kan også gi en indikasjon på den mettede vannledningsevnen til sedimentet (Schwartz & Zhang, 2003).

I felt ble sedimentprøvene siktet utendørs. Finere materialet i prøven kan da ha blitt tatt med vinden. Prøvene ble veid før sikting og sammenliknet med total sum etter sikting for å kvantifisere tapet av prøven ved sikting. Prøvene ble heller ikke brent, det kan derfor være en del organisk materiale i prøvene.

3.1.4 Vannkjemi

Fra hver vannprøvelokasjon ble det målt temperatur (°C), elektrisk ledningsevne (microSimens/cm), alkalinitet (mg/L av CaCO₃), oppløst oksygen og pH ($\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$).

Det ble også tatt vannprøver i 3 plastbeholdere som ble brakt med til laboratorieundersøkelser. En av vannprøvene var til analyse for kationer, en var til analyse for anioner og den siste var til en mer generell analyse. For å oppbevare kationprøven best mulig ble den tilsatt et par dråper konsentrert salpetersyre. Dette senker pH i prøven (Schwartz & Zhang, 2003).

3.1.5 Brønnundersøkelser

De eksisterende brønnene i området ble undersøkt og et par ekstra brønner ble installert. Det ble blant annet målt høyde og diameter på brønnen og grunnvannsdybde. I et par av brønnene ble det tatt vannprøver (se figur C-1 i vedlegg). Før brønnene ble installert ble det utført en sonderboring. Med et erfarent øre kan det høres hvilken kornstørrelse som finnes i det sedimentlaget som sonderborspissen står i.

Slug test

Slug test er en test der grunnvannsstanden (H) og brønnens diameter måles før det slippes ned et kjent volum vann. Så måles vannstanden ved start (h_0) og etter kjente tidsintervall (h), eller så kan en diver brukes for å måle trykkforskjell i brønnen etter kjente tidsintervall (h). Et høyere trykk i brønnen betyr da en høyere vannstand i brønnen. Ved å plote $(H-h/H-h_0)$ mot tid på et semi-logaritmisk diagram og tegne en rett linje gjennom dataene kan T_{37} bli funnet ved $(H-h/H-h_0) = 0,37$. Fra dette kan vannsledningsevne (K) bli regnet ut (formel 3-5):

$$K = \frac{r^2 * \log_e\left(\frac{L}{R}\right)}{2LT_{37}} \quad \text{Formel 3-5}$$

Der L er lengde på brønnfilter og R er radius på brønn (Schwartz & Zhang, 2003).

Pumpe test

Når det pumpes vann fra en brønn vil de omliggende vannmassene strømme mot brønnen, og en senkningstrakt vil dannes rundt brønnen. Denne senkningen kan sees i en observasjonsbrønn som er i nærheten av pumpebrønnen. Det blir en senkningsfase når pumpingen pågår og en gjenoppbyggingsfase etter pumpingen har stoppet. Ved å registrere senkningen i observasjonsrøret og avstand til observasjonsrøret fra pumperøret kan transmissivitet (T), lagringskoeffisient (S), brønnnyttelse og effektivitet regnes ut.

3.2 Modelling

Numerisk modellering er en matematisk løsningsmetode som benyttes for å løse partielle differensiallikninger, som grunnvannslikningen i tre dimensjoner er et eksempel på (se formel 3-6). Det er et rimelig verktøy til å analysere enkle og komplekse systemer. Metoden kan brukes til å forutsi fremtidige senarioer eller som en database. En modell er en forenkling av virkeligheten, men med de rette betingelsene vil den gi gode indikasjoner på en reell situasjon.

Programmet som er brukt til modelleringen er ModelMuse, MODFLOW, MT3DMS, GW_Chart, ArcGIS og Inkscape.

ModelMuse er et grafisk brukergrensesnitt, altså et program som gjør det mulig for en bruker å styre andre programmer, (slik som MODFLOW og MT3DMS) uten å taste kommandoer inn i datamaskinens operativsystem. Programmet er laget av USAs geologiske undersøkelse, (USGS) og er gratis å laste ned (Rossen, 2018; USGS, 2019a).

MODFLOW er USGS modell til hydrogeologisk modellering. Modellen brukes som en internasjonal standard for simulering og prognose av grunnvannsforhold og grunnvann/overflatevannsinteraksjoner (Harbaugh, 2005; USGS, 2019b).

MT3DMS er et program som kan brukes til å modellere stofftransport sammen med vanntransportmodellen MODFLOW (USGS, 2019c).

GW_Chart ble brukt til å lese konsentrasjon per tid eller høyde på vannspeilet til et valgt punkt i modellen (Winston, 2000).

ArcGIS er et geografisk informasjonssystem (GIS). Programmet kan brukes til oppretting, analyse, administrasjon, redigering og visualisering av geografiske data (Esri, 2019).

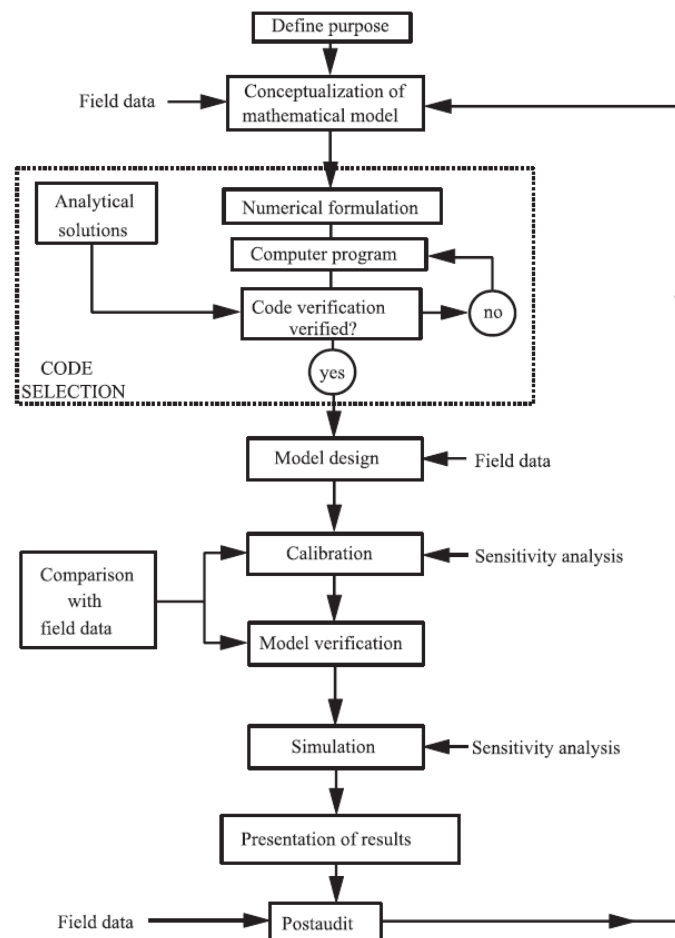
Inkscape er et gratis bilde-redigeringsprogram som kan brukes til redigering av vektorgrafikk (Inkscape, 2019).

Grunnvannsstrømning kan beregnes ved hjelp av vannbalanseligningen og Darcy's lov (se formel 2-1 og 3-4) som til sammen lager grunnlaget for gir formel 3-6 (Schwartz & Zhang, 2003).

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial}{\partial t} \quad \text{Formel 3-6}$$

Metode

Trinnene beskrevet i modelleringsprotokollen (Essink, 2000) er så langt det har vært mulig blitt benyttet i modelleringsarbeidet i denne oppgaven (se figur 3-2).



Figur 3-2 Det kreves flere steg for å lage en endelig modell (Essink, 2000).

Det første steget i modelleringsprotokollen er å definere hva som er ønsket å få ut av modelleringen. Hva modellen skal brukes til, hvilke problemstillinger modellen skal svare på og om modellering er den beste måten å løse problemstillingen på er viktige ting å tenke gjennom i dette steget (Essink, 2000).

En modell vil aldri bli like kompleks som virkeligheten. Derfor må modellen forenkles. Dette kan gjøres ved å skjematiskere de geologiske forholdene for å så lage et konsept for den matematiske modellen (Essink, 2000).

Etter modelldesign (se kapittel 3.2.1 – 3.2.2) er blitt bestemt, er modellen blitt kalibrert, simulert, presentert og etter-justert. Å kalibrere en modell betyr å justere systemparameterne for å få modellresultatet til å tilsvare målte feltverdier. For eksempel er det blitt sett på hvordan strømmingen fra Langsletta kan tilsvare verdiene målt i felt, om det kommer grunnvannsstrømning inn fra nord eller ut mot sør eller om noen av betingelsene i modellen er

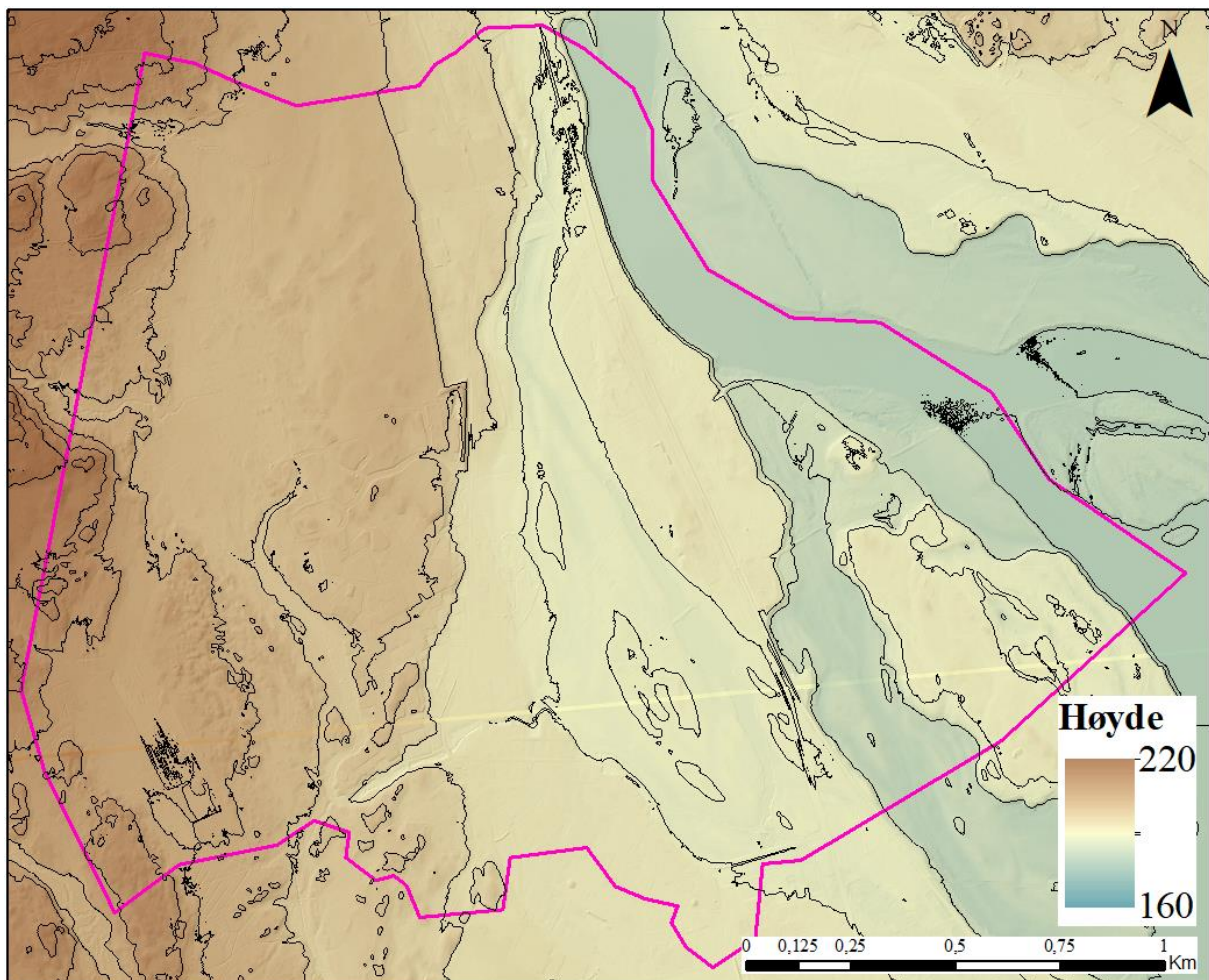
Metode

større eller mindre enn antatt. En simulering kan gi modellerte resultater som sier noe om forhold som det ikke er noe data på, f.eks. om en forurensning fra Langslettainnsjøen vil nå brønnområdet innen 180 dager.

Modellen er ikke blitt verifisert, den har altså ikke blitt testet ut med nytt, uavhengig datasett (Essink, 2000). Dette fordi det ikke er et register noen lange tidsserier av data i området.

3.2.1 Modelldesign

Modellens overflate (figur 3-3) ble bestemt av en terrengmodell hentet fra høydedata.no. Her er høydedataene hentet inn med lasermålinger fra fly. Flyvningen over dette stedet skal ha skjedd 02.06.2016. Vegetasjon og hus fjernes fra lasermålingene for å oppnå en korrekt terrengmodell. For å få dataene inn i ModellMuse programmet ble de først lagt inn i ArcGIS. Her ble det laget en shape-fil med punkter i et rutenett på 10 *10 meter. Høyde fra terrengmodellen ble så ekstrahert til hvert punkt før shape-filen ble lagt inn i Modellmuse (Kartverket, 2019a).



Figur 3-3 Terrengmodellen som er blitt brukt til overflate. De svarte strekene representerer konturlinjer med en vertikal høydeforskjell på 5 meter. Terrengmodellen er basert på laser (Modifisert etter Kartverket, 2019a).

Metode

Modellbunnen ble definert ved hjelp av GPR målinger gjort i felt og data fra tidligere grunnundersøkelser, se vedlegg C.2, NGU (2019c), Hillestad og Melleby (1972) og Sjelmo (2016) for mer informasjon. Etter dette ble dataene interpolert med «natural neighbour». Denne interpolasjonsmetoden ga best/mest jevne resultat. Laget ble så justert enkelte plasser for å få det til å se naturlig ut og for at bunnområdet ikke skal ligge høyere enn terrengoverflaten i modellen (se figur 3-5).

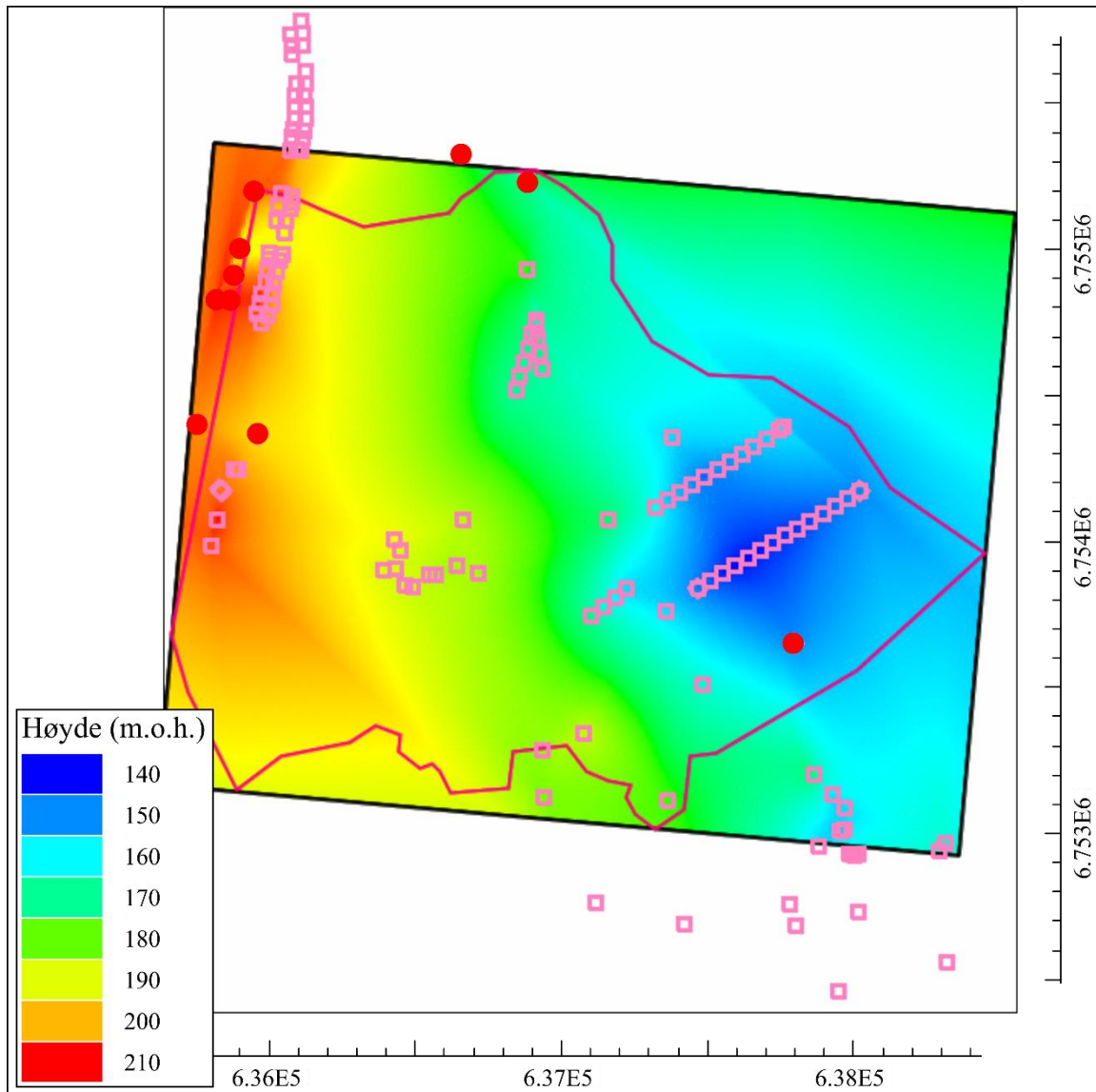
Natural neighbour går ut på å bestemme en verdi til ett gitt punkt ved å se på de nærliggende punkt (se formel 3-7) (Sukumar et al., 2001).

$$u^h(x) = \sum_{I=1}^n \phi_I(x) u_I$$

Formel 3-7

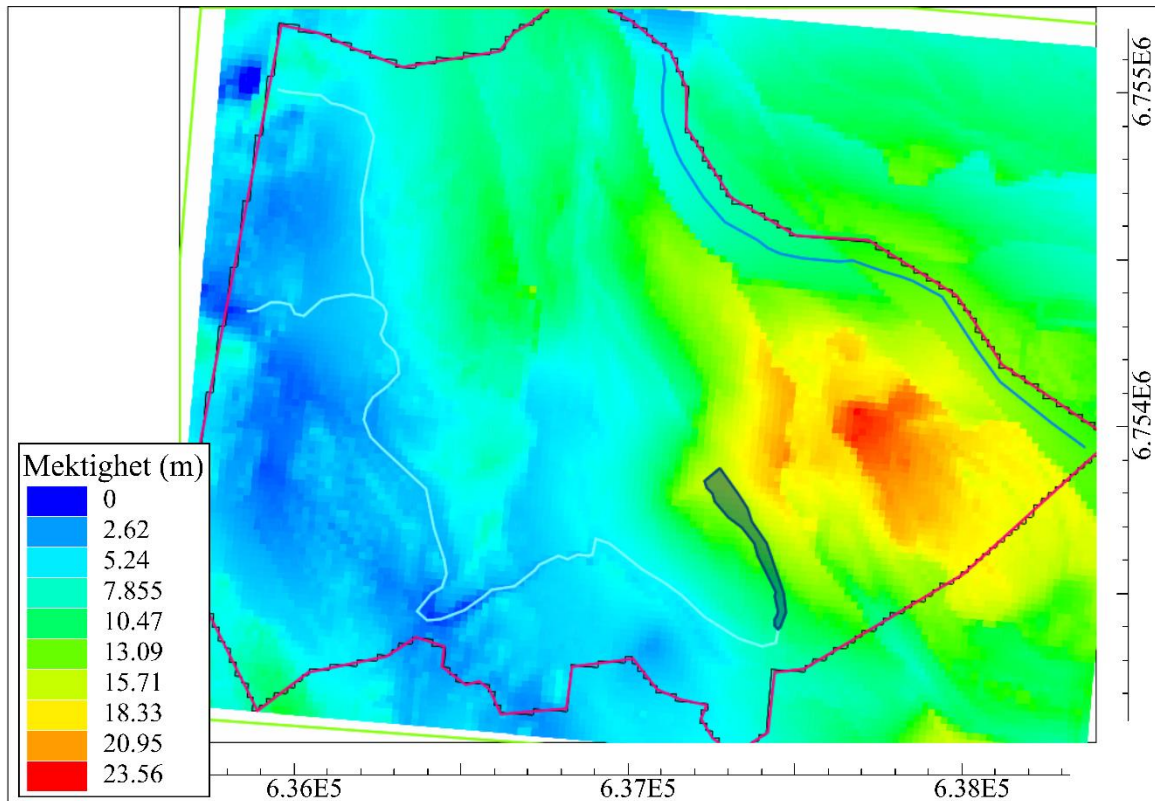
Verdien til punkt $u^h(x)$ er da lik summen av n nabopunkt multiplisert med $\phi_I(x)$. Hvert nabopunkt u_I ($I = 1, 2, \dots, n$) har en bestemt verdi (i dette tilfelle til berggrunnshøyde i m.o.h.). $\phi_I(x)$ er en verdi mellom 0 og 1 som sier hvor mye nabopunktet (u_I) vektlegges (Sukumar et al., 2001).

Metode



Figur 3-4 Grunnforholdene til den hydrologiske modellen. Rosa firkanter representere steder der dypet til berggrunnshøyden er kjent/tolket. Røde punkt er steder der det er gjort etterjusteringer.

Når terrengoverflaten og berggrunnshøyden er lagt inn i modellen vil modelltykkelsen være lik figur 3-5. Mektigheten til modellen er da størst i nærheten av Glomma.



Figur 3-5 Mektighet til modell

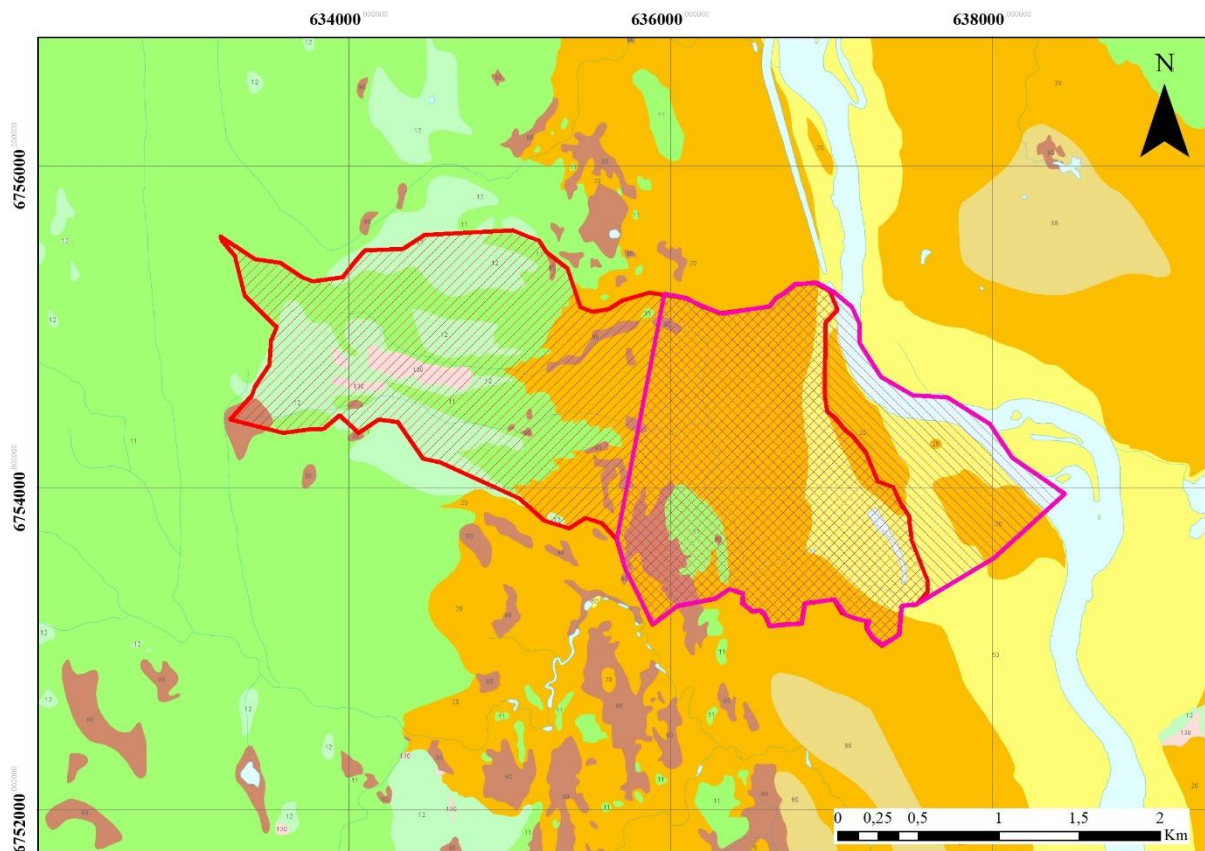
Hvor liten nøyaktighet som er akseptabelt i en modell avhenger blant annet av den naturlige variasjonen i grunnvannssystemet, mengde data fra området og hva som er hensikten med modellen (Essink, 2000). I dette tilfellet ble det modellerte området delt inn i ett rutenett der hver rute er $20 * 20$ m. Dette er lite nok til å få en tilfredsstillende modell samtidig som det blir lett for programmene å kjøre modellen.

Yttergrensen til modellen ble definert ved hjelp av å se på det topografisk bestemte nedbørsfeltet til området (figur 3-6). Det er ikke alltid det topografisk bestemte nedbørsfeltet stemmer med nedbørsfeltet for grunnvann. Dette gjelder særlig der det er et tykt lag med løsmasser (Hendriks, 2010). Derfor ble det også testet ut om det var en grunnvannsstrømning inn i området fra nord og en utstrømning av grunnvann mot sør.

I øvre del av topografisk nedbørsfeltet er løsmassene tynne. Det kan bli et problem for MODFLOW å modellere tynne løsmasser, ettersom cellene i rutenettet da har liten/ingen kontakt med hverandre. Derfor ble det laget en mindre modell, som ikke tar med øvre del av nedbørsfeltet. Grensen ble definert der det bare var morene, altså øvre del av nedbørsfelt. Arealet på øvre nedbørsfelt er $3,19 * 10^6$ kvadratmeter mens arealet på nedre del av nedbørsfelt (modellert område) er $3,89 * 10^6$ kvadratmeter. For å få vannbidraget fra øvre nedbørsfelt inn i modellen blir det satt inn grunnvannsmating fra øvre/østlig del av modellert

Metode

område. Det testes også ut hva som skjer dersom vannbidraget fra øvre nedbørsfelt kommer som overflateavrenning.



Figur 3-6 Rødt polygon viser nedbørsfelt til hovedelvene som renner i området (Modifisert etter NVE, 2019b). Rosa polygon markerer modellert område. Løsmassekart er blitt brukt som bakgrunnskart (se NGU, 2019e).

Modellen ble simulert over forskjellige tidsperioder, der den lengste simuleringen varte 10 år.

3.2.2 Mettet vannledningsevne

Ifølge Schwartz og Zhang (2003) skal mettet vannledningsevne for morene grus, sand, silt og leire følge tabell 3-1. Tabellen viser at løsmasser får høyere mettet vannledningsevne ved større sortering eller kornstørrelse.

Tabell 3-1 Representative verdier av mettet vannledningsevne for ulike sediment (Schwartz & Zhang, 2003)

Sediment	Mettet vannledningsevne (m/s)
Grus	$3 * 10^{-4} - 3 * 10^{-2}$
Grov sand	$9 * 10^{-7} - 6 * 10^{-3}$
Medium sand	$9 * 10^{-7} - 5 * 10^{-4}$
Fin sand	$2 * 10^{-7} - 2 * 10^{-4}$
Silt	$1 * 10^{-9} - 2 * 10^{-6}$
Morene	$1 * 10^{-12} - 2 * 10^{-6}$
Leire	$1 * 10^{-11} - 4,7 * 10^{-9}$

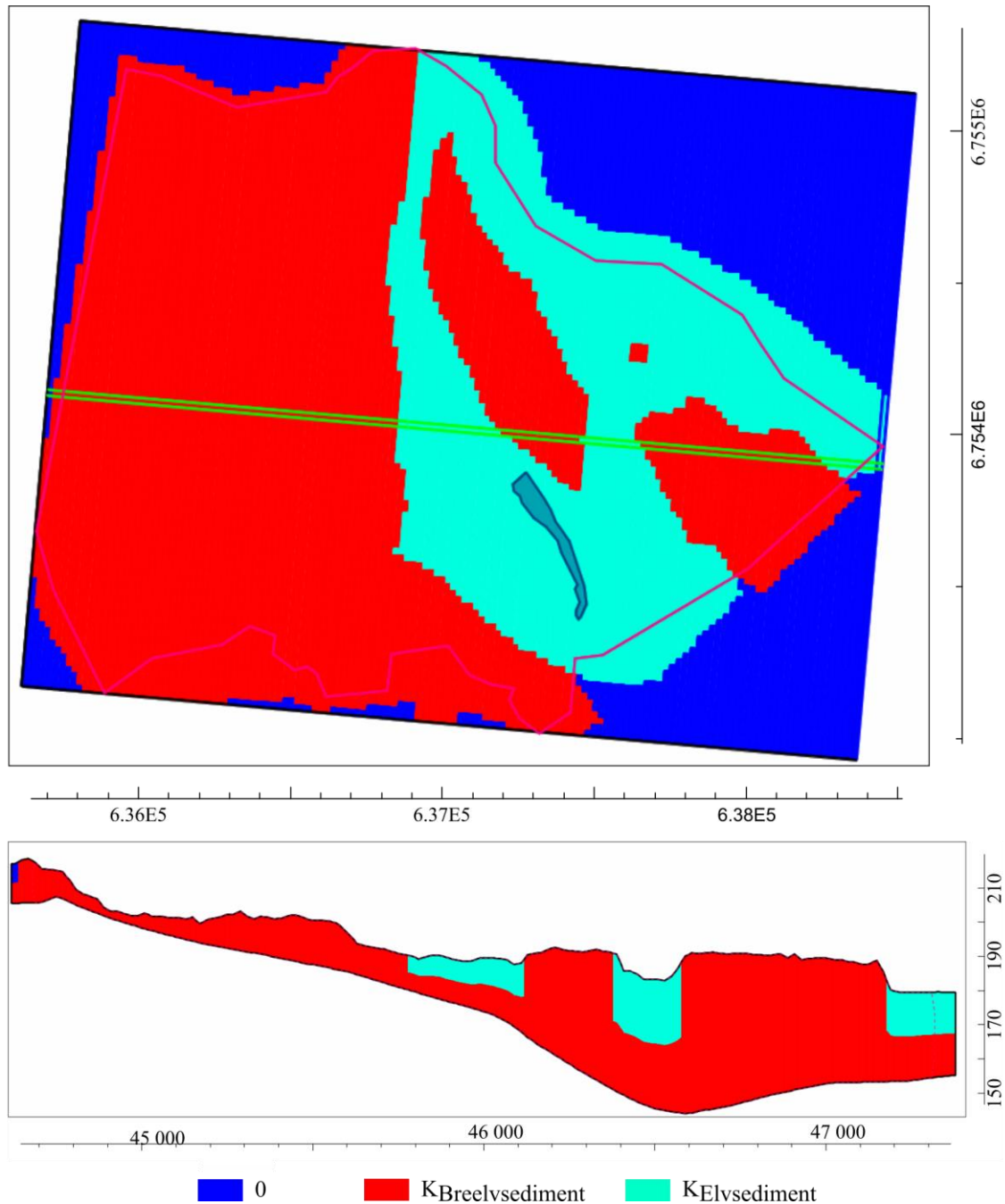
Metode

Modellen er definert med to lag fordi det i felt er målt forskjell i mettet vannledningsevne (se figur 3-7). I det øverste laget er løsmassekartet fra NGU (2019e) brukt til å skille mellom der det er elvesediment og breelvsediment. I nedre lag er alt definert som breelv sediment. Det ligger breelvsediment under elvesedimentet ettersom Glomma har kommet etter breelven som avsatte breelvsediment lå her. Det vil også ligge noe morene i det nedre lag. Fordi det er blitt valgt å lage en tolagsmodell med bare to forskjellige verdier for mettet vannledningsevne vil morenen bli modellert med den samme mettet vannledningsevnen som breelvsedimentet. Begge lagene er av lik tykkelse. Dette virket mest hensiktsmessig da elveavsetningen da hadde tykkelse som er ganske lik den som er observert i felt og i andre studier, som f.eks. Gaut et al. (1981) og NGU (2019c). Hele området er definert som en åpen akvifer. Da kan akviferen motta veske som infiltreres fra overflaten.

Den mettede vannledningsevnen som ble testet ut i modellen (tabell 3-2) var maksimumsverdier og minimumsverdier fra det som er målt i felt (se vedlegg C.3 og C.4).

Tabell 3-2 Viser mettet vannledningsevne som er endret på/brukt i modellen.

Plassering	Mettet vannledningsevne
Elvesediment, se lyseblått område figur 3-7	$6,25 * 10^{-6}$ til $7,7 * 10^{-4}$ m/s
Morene/Breelvsediment, se rødt område figur 3-7	$1,7 * 10^{-5}$ til $2,9 * 10^{-4}$ m/s



Figur 3-7 Fordeling mellom elvesediment og breelvsediment i modellen, øverst vises arealfordeling i øverste lag, under vises vertikal snitt der grønn strek i øverste bilde markerer hvor i modellen profilet (nederst) er hentet fra.

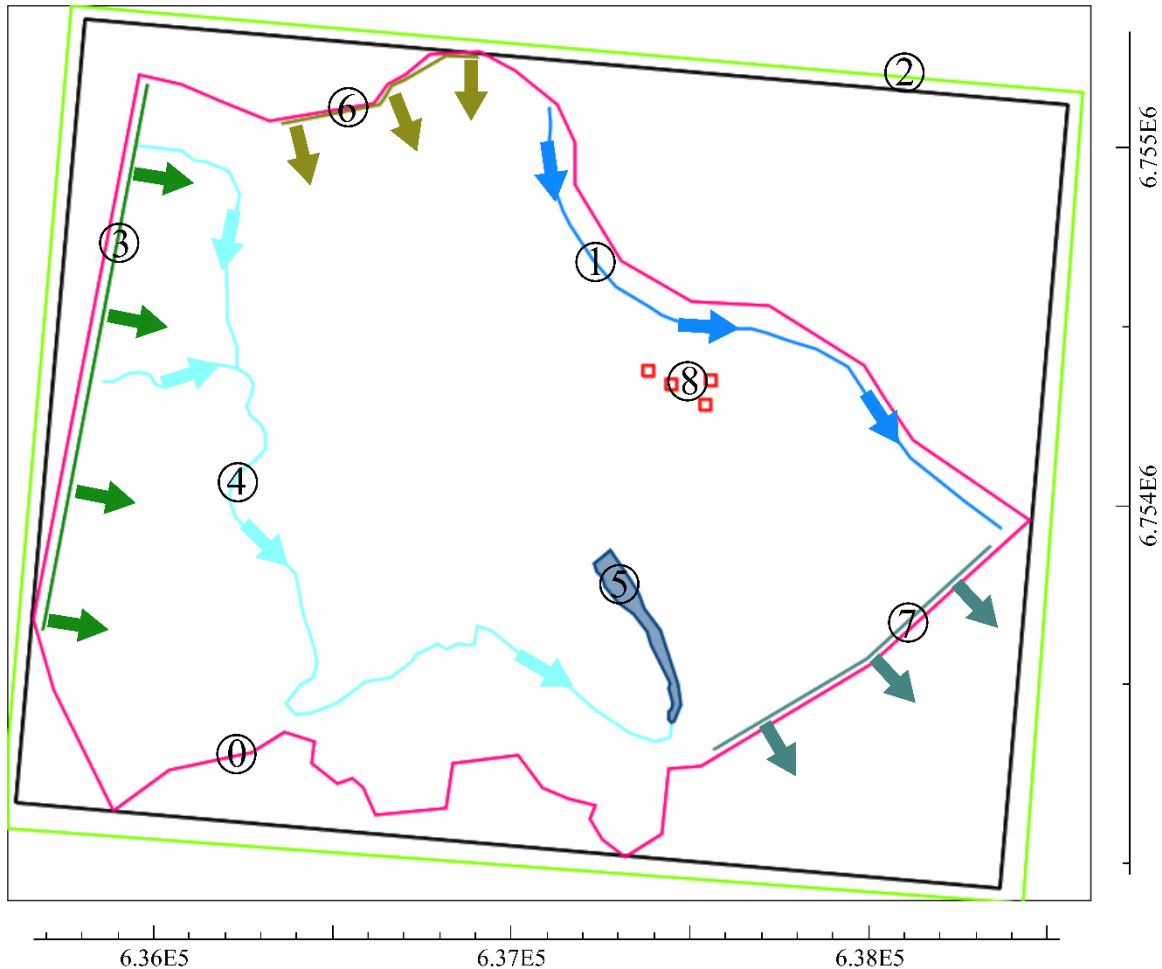
3.2.3 Grensebetingelser

Det finnes tre forskjellige typer grensebetingelser. Type 1 er Dirichlet grensebetingelse som brukes der den hydrauliske trykkehøyden er kjent, for eksempel i en elv eller innsjø. Type 2 heter Neumann og bestemmes ved en gitt strømningsrate, for eksempel vann som pumpes ut av en brønn eller mengde avrenning til akvifer fra overflate. Neumann grensebetingelse kan også være lik null, for eksempel ved et grunnvannsskille eller ved en lavpermeabel enhet.

Metode

Type 3, Cauchy grensebetingelse relaterer hydraulisk trykkehøyde til vannstrømningen (Schwartz & Zhang, 2003).

I denne modellen ble flere grensebetingelser testet ut. Se figur 3-8 for de ulike grensebetingelsene som ble testet ut.



Figur 3-8 Ulike grensebetingelsene som er testet ut i modellen. 0. Yttergrense av modell 1. Hydraulisk trykkehøyde ved Glomma. 2. Avrenning fra overflaten av modellen 3. Grunnvannsmatning fra øvre del av nedbørsfeltet. 4. Avrenning fra øvre del av nedbørsfelt som overflatetilsig i bekker. 5. Hydraulisk trykkehøyde ved Langslettainnsjøen. 6. Grunnvannsmatning fra nord. 7. Grunnvannsmatning mot sør. 8. Pumpebrønner med konstant pumperate.

Konstant trykkehøyde ved Glomma

Konstant trykkehøyde ved Glomma (Dirichlet), (se grensebetingelse nummer 1 figur 3-8) ble satt inn som en linje fra nord (181,5 m.o.h.) til sør (180,1 m.o.h.). Det ønskes å sette opp Glomma med konstant trykkehøyde fordi det er kjent at grunnvannet strømmer mot Glomma.

Grunnvannsmating fra overflate av modell

Grunnvannsmating (neuman), fra overflaten av modellen (Grensebetingelse 2, figur 3-8) ble brukt på modelloverflaten og tilsvarer avrenningen til grunnvannsakviferen fra nedbør i

modellert område. Arealet av overflaten til modellen er 3 887 311 kvadratmeter og en grunnvannsmating på 200 til 400 mm/år ble testet ut.

Avrenning fra øvre nedbørsfelt

Avrenningen fra øvre nedbørsfelt (figur 3-6) kan tilføres grunnvannet i den nedre delen på forskjellige måter. Det kan skje som grunnvannsmating (grensebetingelse 3 figur 3-8).

Nedbøren som faller ned i øvre del av nedbørsfeltet kan også renne ned i nedre del av nedbørsfeltet som overflatevann via bekker (grensebetingelse 4 figur 3-8). Det kan også skje i en kombinasjon der vann renner via bekker ned til Langsletta og gir en konstant vanntilførsel til underliggende akvifer herfra (grensebetingelse 4 og 5, figur 3-8).

Elvenettet fra NVE (2019c) ble brukt til modellering av overflatevann i elveløp (Grensebetingelse 4 figur 3-8). Det ble ikke registrert noen elv fra Langsletta-innsjøen til Glomma i felt. Det er heller ikke spor av denne elven på østsiden av riksveg 3, noe som tyder på at bekke/elveløpet som kommer ut i Glomma bare er vannfylt ved ekstreme flomsituasjoner med høy vannstand. Derfor er det ikke lagt inn noen elv her.

Det ønskes å sette konstant trykkehøyde ved Langsletta (grensebetingelse nummer 5 figur 3-8), da det er ulike teorier på hvordan innsjøen påvirker området. Grunneier mener grunnvannet i området blir presset opp og inn til innsjøen i tillegg til at innsjøen får vanntilførsel fra elveløp (Oppistov, 2019), men i henhold til ekvipotensiallinjene på grunnvannskartet (Gaut et al., 1981, figur 1-1) mater denne innsjøen det omliggende grunnvannsmagasinet. Det finnes heller ingen bilder på NorgeiBilder.no av NIBIO et al. (2019) der innsjøen er tørket ut (figur 3-9). Dette tyder på at grunnvannsakviferen mates av vannet i Langsletta. De kjemiske testene fra feltkurset i 2018 (vedlegg C.5) viser lav elektriske konduktivitet og en pH som er nærmest lik den tatt lengre oppe i området, noe som også viser at innsjøvannet infiltrerer grunnvannet.

Langsletta ble satt inn i overflaten til modellen som et mørkeblått polygon. Polygonet er hentet fra NVE (2019c). Høyden til modellen der Langsletta ligger er omtrent 189 m.o.h. Polygonet har et areal på 21010,89 kvadratmeter og er 1122,5 meter langt.

For å finne ut hvor mye vann som renner fra øvre nedbørsfelt ($Q_{\text{Øvre}}$, tabell 3-2) ganges årlig avrenning på 200 – 400 mm/år med areal av øvre del av nedbørsfelt ($A_{\text{Øvre}}$) (tabell 3-2).

Metode

Tabell 3-3 Viser avrenning til modelloverflaten i mm/år og m/s, areal av øvre del av nedbørsfelt ($A_{\text{øvre}}$) og volum avrenning fra øvre nedbørsfelt per sekund ($Q_{\text{øvre}}$).

Avrenning (mm/år)	Avrenning (m/s)	$A_{\text{øvre}}$ (m ²)	$Q_{\text{øvre}}$ (m ³ /s)
200	$6,34 \cdot 10^{-9}$	$3,19 \cdot 10^6$	0,02
300	$9,51 \cdot 10^{-9}$		0,03
400	$1,27 \cdot 10^{-8}$		0,04

Dersom avrenning fra øvre nedbørsfelt renner inn i nedre nedbørsfelt/modellert område som grunnvannsmating kan dette regnes ut (tabell 3-4). Avrenning fra øvre nedbørsfelt ($Q_{\text{øvre}}$) blir delt på areal av modell der grunnvannstilsig renner inn ($A_{\text{øvre grense}}$) for å finne spesifikk grunnvannsmating ($q_{\text{øvre grense}}$). Lengden på $A_{\text{øvre grense}}$ er 1552,15 meter mens bredden er undulerende. Her er anslått bredde på øvre grense rundt 8 meter ut ifra å se på figurbredden (figur 3-5). Ettersom den spesifikke grunnvannsmatningen ($q_{\text{øvre grense}}$) er lagt til $A_{\text{øvre grense}}$ vil programmet plote inn $q_{\text{øvre grense}}$ til hver kvadratmeter av $A_{\text{øvre grense}}$.

Tabell 3-4 Viser volum avrenning fra øvre nedbørsfelt per sekund ($Q_{\text{øvre}}$), areal av vestlig side av modell der lengde er 1552,15 meter og bredde er ~8 meter ($A_{\text{øvre grense}}$) og spesifikk grunnvannsmating fra topp av modell ($q_{\text{øvre grense}}$) (Grensebetingelse 3 i fig.3-8)

$Q_{\text{øvre}}$ (m ³ /s)	$A_{\text{øvre grense}}$ (m ²)	$q_{\text{øvre grense}}$ (m/s)
0,02	12417,2	$1,63 \cdot 10^{-6}$
0,03		$2,44 \cdot 10^{-6}$
0,04		$3,25 \cdot 10^{-6}$

Overflateavrenning ble bestemt ved å se på vannbudsjettet til modellen ved modellering av grunnvannstilsig fra øvre nedbørsfelt (tabell 4-2). Ved å prøve flere forskjellige verdier i modellen vil det tilslutt være et lignende budsjett for overflateavrenning (tabell 4-3 og 4-4). Tabell 3-5 og 3-6 viser hvilke verdier som ga lignende verdier ved en avrenningsrate på 0,02, 0,03 og 0,04 m³/s fra øvre nedbørsfelt.

Tabell 3-5 Viser vannmengde og konduktiviteten til elveløpet hvis all avrenning fra øvre nedbørsfelt ($Q_{\text{øvre}}$) kommer som overflateavrenning i elveløp (Grensebetingelse 4 i fig.3-8).

$Q_{\text{øvre}}$ (m ³ /s)	Vannmengde i elveløp (Måles som lengde fra elvebunn til elvevannoverflate)	Konduktivitet i elveløp per m
0,02	0,023 cm	0,001
0,03	14 cm	0,001
0,04	200 cm	0,003

Tabell 3-6 Viser vannmengde og konduktiviteten til elveløpet og høyden på Langsletta hvis all avrenning fra øvre nedbørsfelt ($Q_{\text{øvre}}$) kommer som overflateavrenning i elveløp og i Langslettainnsjøen (Grensebetingelse 4 og 5 i fig.3-8).

$Q_{\text{øvre}}$ (m ³ /s)	Vannmengde i elveløp (Måles som lengde fra elvebunn til elvevannoverflate)	Konduktivitet i elveløp per m	Langsletta
0,02	1,65 cm	0,001	187,2 m.o.h.
0,03	6 cm	0,001	189 m.o.h.
0,04	50 cm	0,001	187 m.o.h.

Metode

Grunnvannsmating i skogsterreng pleier å være mindre enn den i gressterreng fordi evapotranspirasjonen er større i skog. Øvre del av nedbørsfeltet er preget av skogsterreng mens nedre del er preget av beitemark/gress. Ifølge Zhang et al. (2001) kan formel 3 – 8 brukes til å regne ut grunnvannsmating i skogsterreng i forhold til beitemark.

$$\frac{ET}{P} = \frac{1 + w \frac{E_0}{P}}{1 + w \frac{E_0}{P} + (\frac{E_0}{P})^{-1}}$$

Formel 3-8

Tabell 3-7 Verdier brukt til utregning av grunnvannsmating fra skog og beitemark i området

	W	P (mm/år)	E ₀ /P	ET/P	ET (mm/år)	R (mm/år)
Skog	2	660	0.5 – 0.6	0.5 – 0.57	330 - 375	330 - 284
Beitemark	0.5	660	0.5 – 0.6	0.38 – 0.44	254 - 289	406 - 371

Hvis den plante-tilgjengelige vannkoeffisient (w) er 2 for skog og 0,5 for beitemark (Zhang et al., 2001), nedbøren (P) er rundt 660 mm/år og fordampningen delt på nedbøren (E₀/P) er på 0,5–0,6 (250 til 500 mm/år delt på 750 til 500 mm/år) vil evapotranspirasjonen delt på nedbøren (ET/P) bli 0,5 – 0,57 for skog og 0,38 til 0,44 for beitemark. Evapotranspirasjonen ((ET = ET/P) * P) blir da 330 – 375 mm/år for skog og 254 – 289 mm/år for beitemark. Grunnvannsmatingen (R = P - ET) for skog blir da 330 til 284 mm/år mens grunnvannsmatingen for beitemark blir 406 til 371 mm/år.

Grunnvannsmating fra nord eller til sør

Yttergrense av modell, se rosa polygon figur 3-8 er der hvor strømningsraten er lik null (Neuman). Dette ble bestemt i Model Muse ved å sette celler innenfor polygonet som aktive og celler utenfor polygonet som ikke aktive. Selv om denne grensen settes til 0-strømning, kan den overskrives ved å legge til inn og utstrømning som vist av grensebetingelser 3,6 og 7 i figur 3-8.

Det har blitt diskutert om det kan komme noe grunnvannsmatning fra nord i det modellerte området (Grensebetingelse 6 figur 3-8). På kart har det blitt registrert bekkeløp fra utsiden av modellens nordlige yttergrense som renner inn i området (Kartverket, 2019b). Figur 1-1 viser også en kraftig vannstandssenkning fra 185 til 180 meter over en distanse på under 250 meter i dette området. Grunnvannsmating ble regnet ut ved hjelp av darcys lov ($Q = KiA \rightarrow q = Ki$) der K var 0.00015 m/s og i var lik den topografiske helningen på 0,02 se Kartverket (2019b), noe som ga en q på $3 \cdot 10^{-6}$ m/s. q verdien ble satt til arealet til grensen satt i nord. Den nordlige grensen er 608,5 meter lang og har en undulerende bredde mellom 15 og 20 meter.

Metode

Hvis det er en grunnvannsmating fra nord i området kan det også være en utstrømningsgrense i sør av modellen (Grensebetingelse 7 figur 3-8). Dette stemmer godt med figur 1-1 som en viser sørøstlig strømningsretning i dette området. Det kan også være vannmengder fra Langslettainnsjøen som strømmer ut mot sør.

Grunnvannsmatingen mot sør ble bestemt på samme måte som grunnvannsmatingen mot nord ble bestemt ($q = Ki$). Mot sør går helningen til terrenget svakt oppover (Kartverket, 2019b). Derfor ble «i» satt til en mer horisontal strømning enn nord ($i = 0,01$). K ble satt til 0,00015 m/s. Grunnvannsmatningen ble satt inn i grensen mot sør som er 966 meter lang og har en undulerende bredde på mellom 20 og 35 meter.

Enhet med høy mettet vannledningsevne under breelv- og elveavsetningen

En annen teori som ble testet ut er om det er en sammenhengende enhet med høy mettet vannledningsevne parallelt med Glommas elveløp, som frakter store vannmengder inn og ut av området.

En esker kan for eksempel ha blitt dannet når området var dekket av breer. Eskere kan bli opptil 20 meter høye og flere kilometer lange. De blir dannet under isbreer og fungerer da som store smeltekanaler som frakter med seg vannmasser ut av isbreen. Eskere består av grovt materiale, som sand og grus og har en høy mettet vannledningsevne (SNL, 2019a). Olsen et al. (2018) har blant annet beskrevet slike begravde eskere på flere steder i Hedmark fylke.

På bunnen av modellen ble det satt opp en 15 meter høy formasjon som strakk seg over 4 km fra nord til sør. Den mettede vannledningsevnen (K_s) ble satt til 0,001 m/s. Inn og ut av modellsidene, (der enheten krysser ytterkanten av modellen) ble det satt en grunnvannsmating (q) på $1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Dette beregnet ut fra endring i topografi (figur 3-3) er ~4 meter mellom der grunnvannet siver inn og ut av modellen. Hydraulisk gradient blir da $1 \cdot 10^{-3}$ ($i = 4/4000$). Grunnvannsmatingen ble satt til et areal som stakk seg 15 meter opp fra modellbunnen, og var 190 meter bredt.

Pumperate

I modellen ble det lagt inn fire pumpebønner (Grensebetingelse 8, figur 3-8), som tilsvarer de fire pumpebrønnene på vannverket. Posisjonen til pumpebrønnene i modellen er hentet fra GPS posisjonene målt i felt. Pumpebrønnene ble plottet inn som et punkt der pumpingen foregikk i midten av nederste lag, og pumpingen var direkte. Pumperaten ble lagt inn som en negativ verdi. Dette får vann til å pumpes ut og ikke inn i modellen.

Metode

Pumperaten på $-0,017 \text{ m}^3/\text{s} * 4$ (tabell 3-8) er den reelle pumperaten som ble brukt ved vannverket i 2017 og 2018 (Engen, Geir, 2019), mens pumperaten på $-0,05 \text{ m}^3/\text{s} * 4$ er den maksimale pumperaten som brønnene kan pumpe. Pumperaten settes inn som en negativ verdi da det pumpes ut og ikke inn til modellen.

Tabell 3-8 Årlig produsert vannmengde ved Elverum vannverk (Engen, Geir 2019).

År	$\text{m}^3/\text{år}$	m^3/s	$\text{m}^3/\text{s pr. brønn}$
2016	1989686	0.063	0.016
2017	2104247	0.067	0.017
2018	2167568	0.069	0.017

3.2.4 Årstidsvariasjoner

Til nå har modellen ikke forandret seg over tid, altså vært stasjonær. Det ble forsøkt å se hvordan modellen forandrer seg over tid, ved å sette inn årstidsvariasjoner. Aller først ble tiden på simuleringen satt til ett år (31 536 000 sekund). Ettersom et hydrologisk år starter den 1 september ble det naturlig å sette dette som startdato for modellen. Simuleringstiden ble så delt inn i 4 forskjellige tidsrom (høst, vinter, vår og sommer). Høst-tidsrommet er satt til stasjonær mens vinter, vår og sommer tidsrommene er satt til transient (forandrer seg over tid). Høstperioden er fra 1 september til 30 november mens vinterperioden er fra 1 desember til 28 februar. Vårperioden er fra 1 mars til 31 mai og sommerperioden er fra 1 juni til 31 august. Dette gir tidsrommene en henholdsvis lengde på 91, 90, 92 og 92 dager (se tabell 4-8)

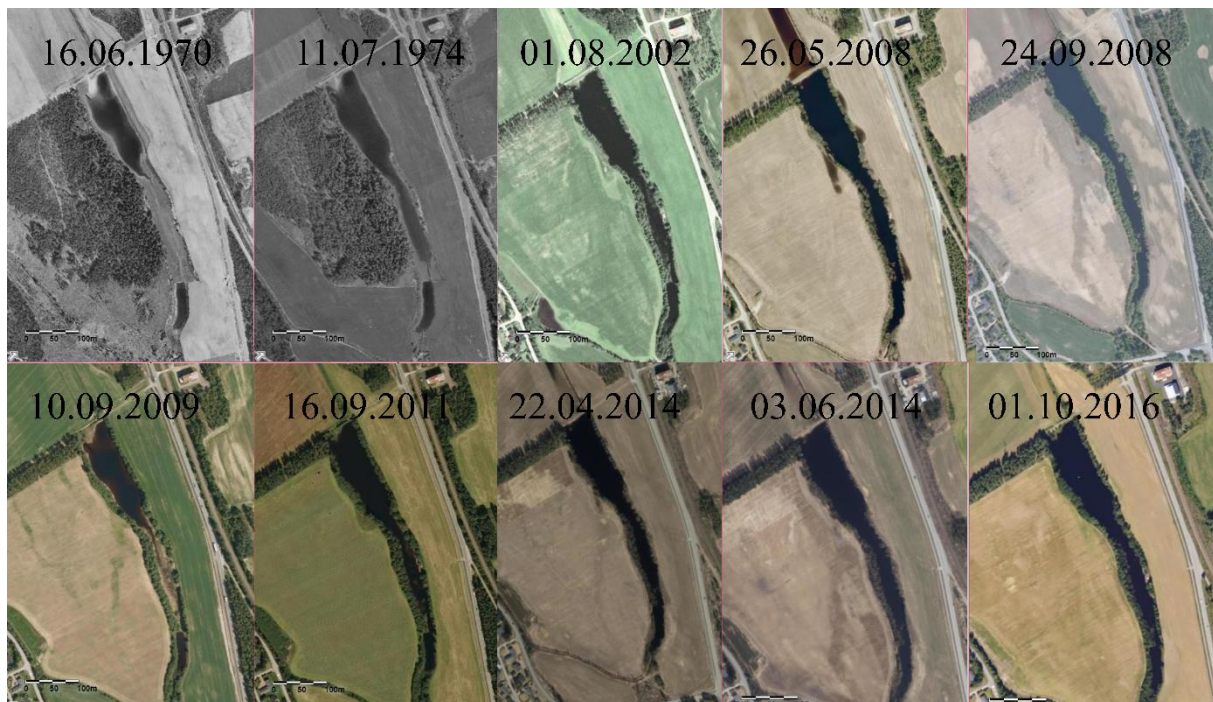
I årstidsmodellen er grunnvannsinnmating fra overflaten (grensebetingelse 2), overflateavrenning fra øvre nedbørsfelt (grensebetingelse 4) og konstant trykkehøyde ved Glomma og Langsletta (grensebetingelse 1 og 5) benyttet. For å finne grunnvannsmatingen fra overflaten ble verdier fra NVE et al. (2019) brukt (se tabell 3-9). Trykkehøyden ved Glomma ble funnet ved å se på verdier fra NVEs målestasjon ved Skogmuseet, som ligger 3,5 km lengre sør fra vannverket (Kartverket, 2019b; NVE, 2019e). Ved Skogmuseet måles vannstanden hver time. Vannstanden fra 1 september 2017 til 31 august 2018 ble hentet og en gjennomsnittlig vannstand for hver dag ble regnet ut (se vedlegg B-2). Så ble en gjennomsnittlig vannstand for høst, vinter, vår, sommer og hele det hydrologiske året 2017 – 2018 regnet ut. Det ble regnet ut hvor mye vannstanden for de ulike tidsrommene høst, vinter, vår og sommer varierte fra den gjennomsnittlige vannstanden fra det hydrologiske året 2017 – 2018 (tabell 3-9).

Metode

Tabell 3-9 Viser hvilke verdier som er lagt inn i den transiente modellen med ulike årstidsvariasjoner (Grensebetingelse 1, 2,4 og 5 figur 3-8). Høst = 1 september til 30 november, Vinter = 1. desember til 28 februar. Vår = 1 mars til 31 mai og sommer = 1. juni til 31. august.

Årstid	Dager	Sekund	Grunnvannsmating		Trykkehøyde (m.o.h.)		Elvedybde (m)
			(mm)	(m/s)	Glomma	Langslett a	
Høst	91	7862400	50	6,36E-09	181,62 - 180,22	189,50	0,20
Vinter	90	7776000	0	0	181,38 - 179,98	188,50	0,02
Vår	92	7948800	100	1,26E-08	181,79 - 180,39	190,00	0,38
Sommer	92	7948800	50	6,29E-09	181,20 - 179,80	188,00	0,20
Totalt (2018)	365	3153600 0	200	6,34E-09	181,5 - 180,1	189,00	0,20

Det er ikke blitt målt noen årlig variasjon av trykkehøyden ved Langsletta, men fra intervju med grunneier og bilder (figur 3-9) antas det at innsjøen sjeldent eller aldri tørker helt ut (Oppistov, 2019). Sommeren 2018 ble trykkehøyden ved Langsletta målt til å være 187,72 meter. Terrengoverflaten ved Langsletta er satt til å være rundt 189 meter. Utfra dette ble antatt vannstand ved Langsletta lik 189,5 meter i høstperioden, 188,5 i vinterperioden, 190 meter i vårperioden og 188 meter i sommerperioden (se tabell 3-9).



Figur 3-9 Bilder av Langsletta fra forskjellige datoer. NB! Bildene er i forskjellig kvalitet (Modifisert etter <https://www.norgebilder.no> av NIBIO et al., 2019).

Vannstanden eller vannføringen i elveløpene er ikke blitt målt. Elvedybden (Vannoverflaten i elveløpene - elvebunn) er derfor blitt antatt utfra verdier fra NVE et al. (2019). Modellen ville ikke kjøre riktig ved en vannføring lik null i vinterperioden. Elvedybden ble derfor satt til 2

cm i vinterperioden. Elvebunnen var konstant 0,2 meter under modelloverflaten og konduktiviteten til elveløpene var konstant 0,001 m/s. Det ble testet lavere konduktivitet, men da tørket elveløpene ut. Det eneste som ble endret på for de forskjellige sesongperiodene var høyden på vannoverflaten i elveløpene.

3.2.5 Forurensningskilder

En forurensning kan både komme fra ett bestemt areal, linje eller punkt og kan være både en kortvarig hendelse eller et kontinuerlig utslipp. I modellen er forskjellige hendelser utprøvd, slik som saltholdig grunnvannsmating fra veg og en forurensning i Langslettainnsjøen.

Modpath versjon 6 ble brukt for å finne ut hvordan en forurensning ville spre seg fra kilden og ut i området. Dette programmet danner strømningslinjer som viser hvordan forurensningen sprer seg.

En ting som ble testet ut var om saltingen av gammel og ny riksveg ville påvirke vannkvaliteten ved vannverket. Utfra mengderapporten fra Wåhlin (2017) strøs det i gjennomsnitt 14,6 tonn salt per kilometer riksveg på Østlandet. Dette tilsvarer $1,46 \cdot 10^5$ gram salt per meter riksveg. I modellen ble det sett på hva som ville skje dersom denne saltmengden rant bort fra den gamle og nye vegen i løpet av en dag, i forbindelse med snøsmeltingen. Transportmodellen MT3DMS ble derfor kjørt med en spesifisert konsentrasjon på $1,6898 \text{ g/m}^3/\text{s}$ i en dag ($((1,46 \cdot 10^5 \text{ g/m}^3) / (24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s})) = 1,6898 \text{ g/m}^3/\text{s}$) tilsatt 1. mars. Deretter ble modellen kjørt videre i 180 dager.

Et annet senario som ble testet ut var hva som ville skje dersom Lansletta ble forurensset. En stor lettoppløselig forbindelse fra den nye riksvegen kan lett bli ført ned i elveløpene som krysser vegen og videre bli ført ned til innsjøen. Langsletta ble derfor fylt med en forurensning som hadde en konsentrasjon på $1000 \text{ g/m}^3/\text{s}$. Grensebetingelsene fra årsmodellen ble brukt og det ble sett på hvordan forurensningen utvikler seg hvis den starter 1 mars.

10 års senario

Det ble forsøkt å kjøre en modell som viser om det er økning av salt i pumpebrønnene. Modellen ble kjørt med grensebetingelse 1, 2, 4 og 5 og avrenning på 300 mm/år i øvre og nedre nedbørsfelt (se tabell 3-6). Den gamle riksvegen hadde en saltholdig avrenning i en dag med en konsentrasjon på $1,6898 \text{ g/m}^3/\text{s}$ hvert år. Konsentrasjonen av salt ble i målt fire ganger i året slik at det er 91 dager mellom hver måling.

4 Resultat

4.1 Feltresultat

Grunnvannsområdet er relativt flatt med en terrenghøyde som strekker seg fra cirka 180 meter over havet ved Glomma til 280 meter over havet øverst/helt vest. Elveløpene som befant seg i området var cirka 0,5 meter brede og 0,2 meter dype (se figur 4-1). Cirka dybde på elveløpet ble forsøkt å sette inn i modell (se figur 4-1)



Figur 4-1 Elveløpet lengst mot nord bare et titalls meter fra anleggsområdet der de bygger ny veg. Bildet til venstre er fra 25.06.2019 mens bildet til høyre er fra 12.10.2019

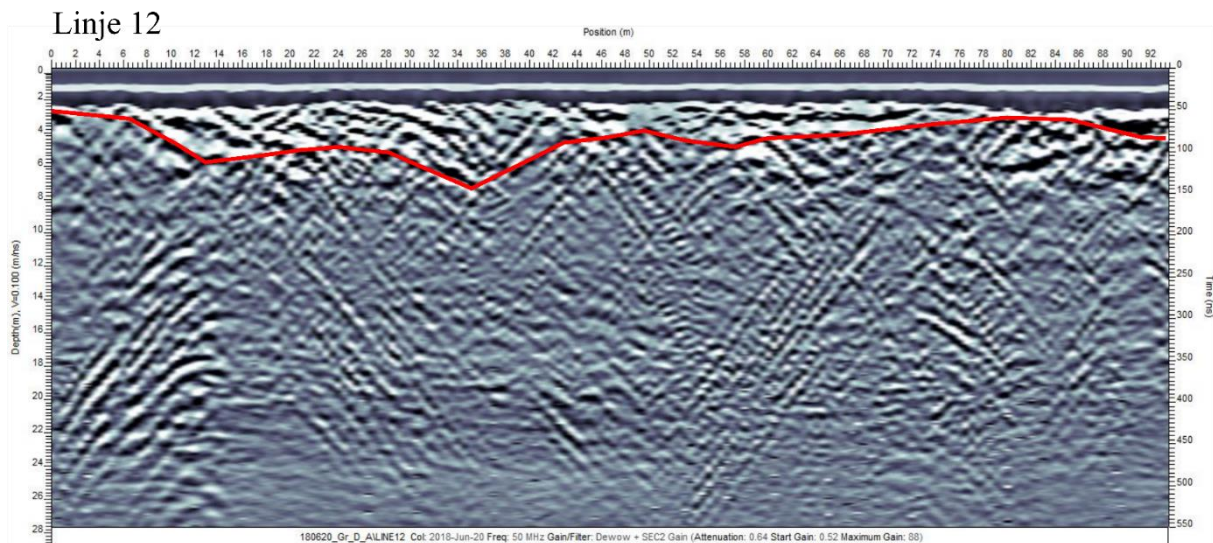
I øvre del av det topografisk avgrensede nedbørsfeltet er det ablasjonsmorene med en tykkelse på 0 – 14 meter. Podzol var en typisk jordtype som befant seg her. Vegetasjonen var preget av skog, særlig furutrær. Der området ikke var preget av skog lå det myr.

Nedre nedbørsfelt er preget av dyrket mark og enkelte skogsområder. Det er også noen myrområder i dette området, da særlig helt sørvest i området.

GPR bildene viste en undulerende berggrunn og løsmasser som varierte i tykkelse. De tynneste løsmasseavsetningene lå helt øverst i nedbørsfeltet mens tykkere løsmasseavsetninger lå lengre nede i feltet.

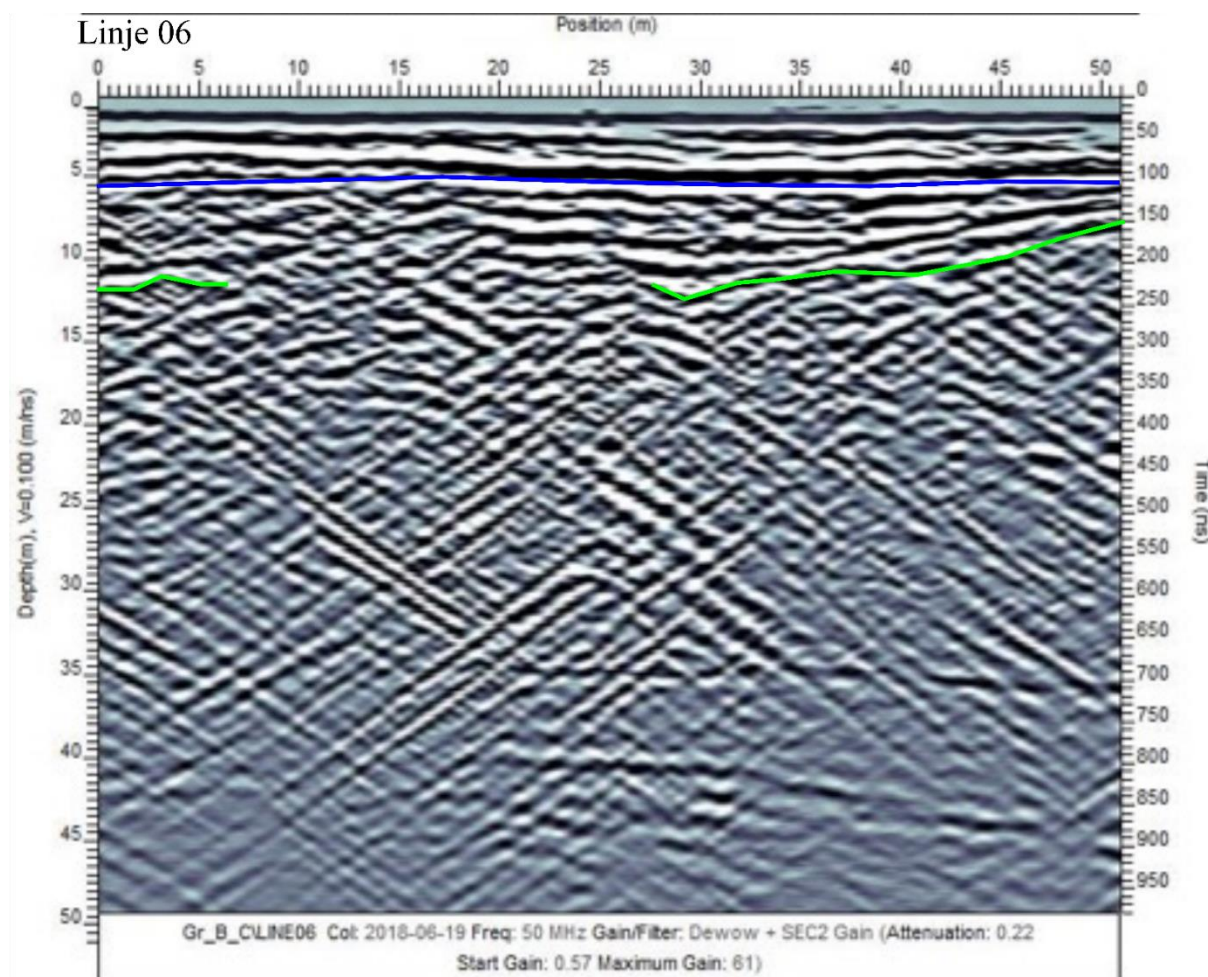
Resultat

På GPR bildene til område A er det mange omvendte U-er i bilde som blir tolket store blokker i moreneavsetninger (se figur 4-2). Under disse er det et skille som antas å være skille mellom løsmasser og berggrunn. I område B er det mindre omvendte U-er, noe som karakteriserer elvesedimenter. I de øverste sedimentene er det også en antydning til lagstratigrafi, noe som også gjør det veldig sannsynlig å oppdage finere sediment i disse løsmassene. De samme fine sedimentene er det antydninger til i område C og D (se figur 4-3). Enkelte av GPR bildene fra område B og D ble brukt til å bestemme dybde til berggrunn, da det ikke var mange nok undersøkelsesbrønner som kunne fortelle om løsmassetykkelsen i disse områdene.



Figur 4-2 GPR-profil fra område A (Se figur 3-1 for områdelokalisjon). Rød strek markerer tolket skille mellom berggrunn og løsmasser

Resultat



Figur 4-3 GPR-profil fra område C (Se figur 3-1 for områdelokalisjon). Blå strek markerer det som er tolket som grunnvannsspeilet, mens grønn strek markerer en overgang mellom fine, stratifiserte løsmasser til grovere løsmasser.

Seisikkundersøkelsene ga følgende resultat i område A, B, C og D (Tabell 4-1)

Tabell 4-1 Tykkelse på første litologiske lag i område A, B, C og D (Se figur 3-1 for områdelokalisjon).

Seismikk	Mektighet (m)
A	0,63
B	8,3 – 8,74
C	8,9
D	8,5

I område B, C og D viser seismikken dybden ned til grunnvannsspeilet mens det i området A mest sannsynlig er målt dybden ned til en stor stein.

På ERT profilene ble det for det meste tolket hvor langt ned det var til grunnvannsspeilet. ERT profilen fra område A ble ganske dårlig da elektrodene ikke var festet godt nok nede i jorden. Dette førte til bilder som var for uleselige til god tolkning. I område B ble dybde til

Resultat

berggrunnen tolket. Denne var lengre nede enn GPR målingene og andre resultater i nærheten derfor er dette resultatet ikke blitt brukt videre.

Infiltrasjonstesten viser mettet vannledningsevne fra ulike punkter i området. Resultatene av K_s fra infiltrasjonstesten varierte fra $7,7 \cdot 10^{-4}$ til $1,5 \cdot 10^{-5}$ m/s.

K_s verdier utfra kornfordelingsanalysen blir $7,2 \cdot 10^{-4}$ m/s til $3,2 \cdot 10^{-6}$ m/s der de sediment prøvene som ble tatt dypest nede i grunnen (fra ~50 til 100 cm) varierte fra $5,3 \cdot 10^{-4}$ m/s til $6,2 \cdot 10^{-6}$ m/s. De forskjellige K_s verdiene ble testet ut i modellen (se figur 4-4)

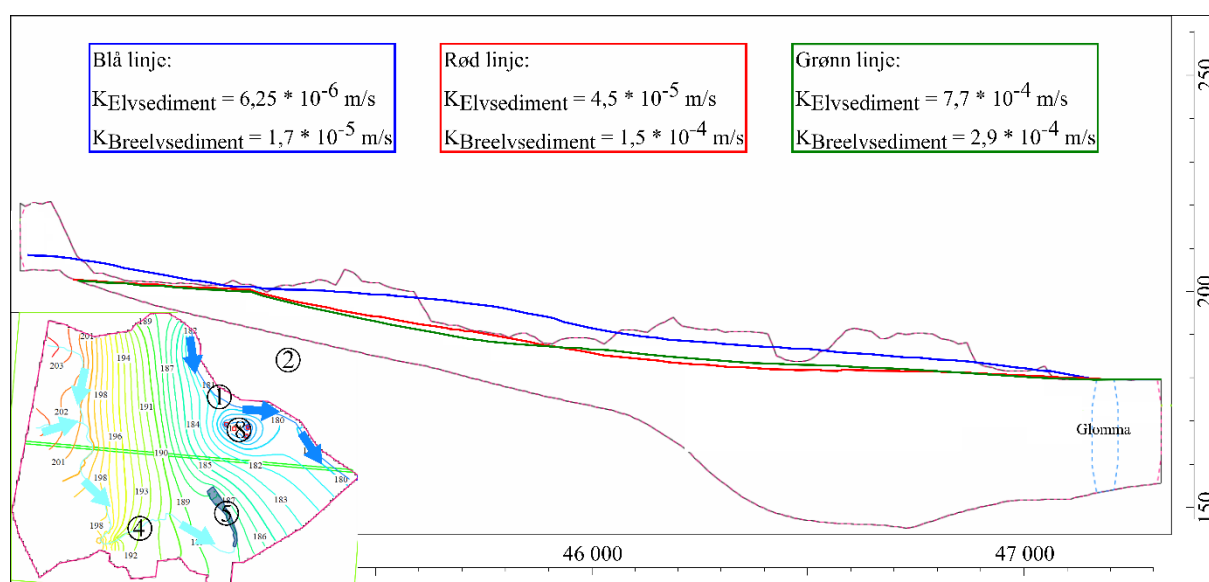
For flere resultater fra felt vises det til vedlegg C, French (2019) og masteroppgaven til Kharal (2017).

4.2 Modelleringsresultat

4.2.1 Sensitivitetsanalyse

Forskjellige verdier av mettet vannledningsevne ble satt inn i modellen for å se reaksjonen (se figur 4-4). Det fungerte å ha de høyeste verdiene av mettet vannledningsevne i modellen men med de laveste verdiene ble modellen overmettet av vann i øverste del/vestlig del av modellen.

Videre ble mettet vannledningsevne på $4,5 \cdot 10^{-5}$ m/s brukt til elvesedimentet og $1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s brukt til breelvsedimentet.



Figur 4-4 Viser hvordan grunnvannsspeilet i modellen reagerer på ulike mettet vannledningsevne. Figuren nede i venstre hjørne viser vannspeilet ved mettet vannledningsevne på $4,5 \cdot 10^{-5}$ m/s i elvesedimentet og $1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s i breelvsedimentet. Grensebetingelse 1, 2, 4, 5 og 8 er blitt brukt (se kapittel 3, avrenning = 300 mm/år i øvre og nedre nedbørsfelt for verdier til grensebetingelser). Grønn strek i figuren i venstre hjørne markerer hvor i modellen profilet er hentet fra. Zoomet på de profilene er 10X bredere i forhold til lengde.

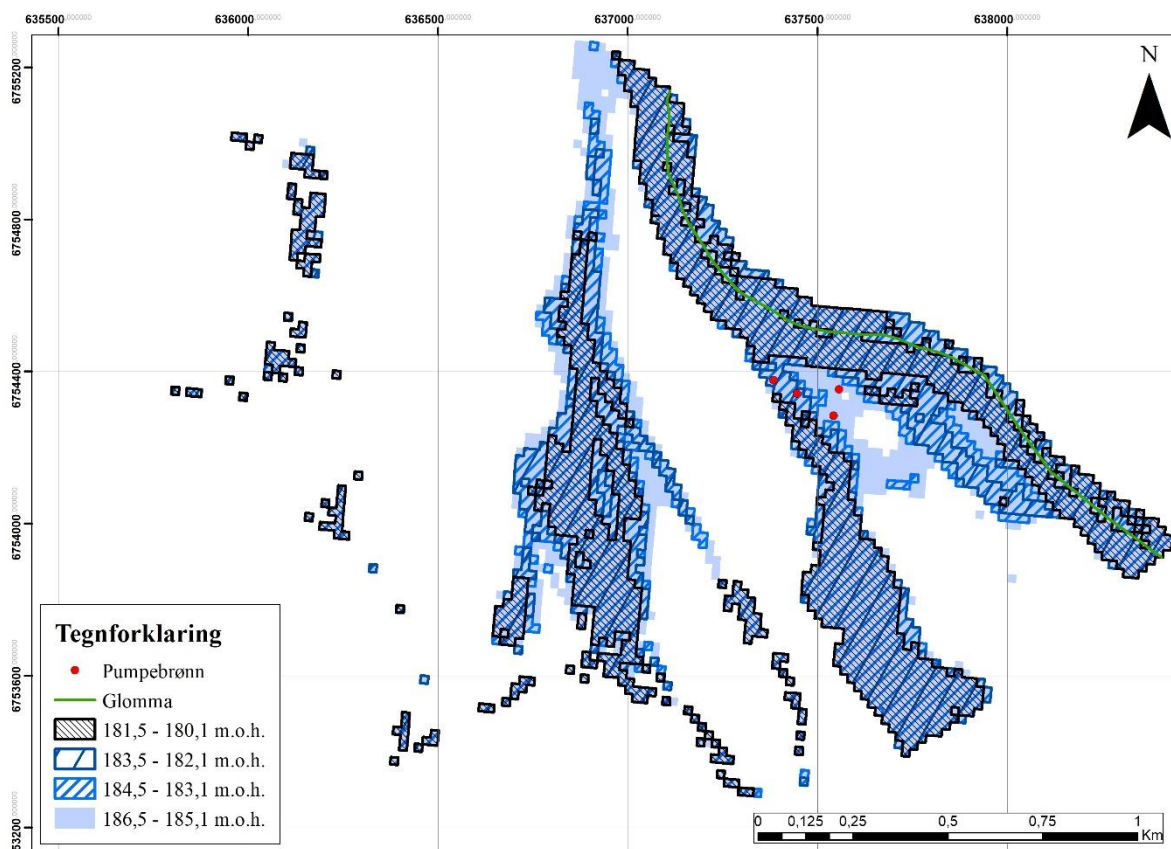
Flere rute-nettdesign ble testet ut (vedlegg A-1). Modelloverflaten blir mer jevnere i et større rutenett. Endret rutenettet ga ellers liten endring på modellresultatet.

4.2.2 Vurdering av grensebetingelser

Ulike grensebetingelser er testet utfra hvordan en kjenner nedbørfeltet og den lokale geologien. Det er alltid en usikkerhet rundt hvilke hydrogeologiske prosesser som er i området. Derfor er det fokusert på å teste ut ulike grensebetingelser.

Konstant trykkhøyde ved Glomma

Det ble testet ut hva som ville skje dersom Glomma lå 179,5 -178,1 m.o.h, 183,5 -182,1 m.o.h. og 186,5 -185,1 m.o.h (se figur 4-5). En vannstand på 186,5 – 185,1 meter i Glomma tilsvarer en 500-års flom.



Figur 4-5 Viser hvor modellert grunnvannsspeil er over modelloverflaten ved ulike vannstand i Glomma. Grønn sterk (Glomma) markerer det området som er satt med konstant trykkhøyde. Grensebetingelse 1,2, 4 og 5 er blitt brukt (se kapittel 3, avrenning = 300 mm/år i øvre og nedre nedbørsfelt for grenseverdier).

Når Glomma er satt til 181,5 til 180,1 m.o.h. vil vannspeilet være over vannoverflaten på enkelte områder vest for Glomma (figur 4-5). Det ble ikke lagt inn noen elv mellom Langsletta innsjøen og Glomma, men der denne elven skulle ha ligget er grunnvannsspeilet ofte over modelloverflaten. Vannspeilet er også over modelloverflaten på nedsiden av

Langsletta. To av pumpebrønnene vil være oversvømt med en vannstand på 183,5 -182,1 m.o.h. og ved 184,5-183,1 m.o.h. Først når vannstanden i Glomma er 186,5 – 185,1 vil alle pumpebrønnene være oversvømt.

Konstant trykkehøyde ved Langsletta

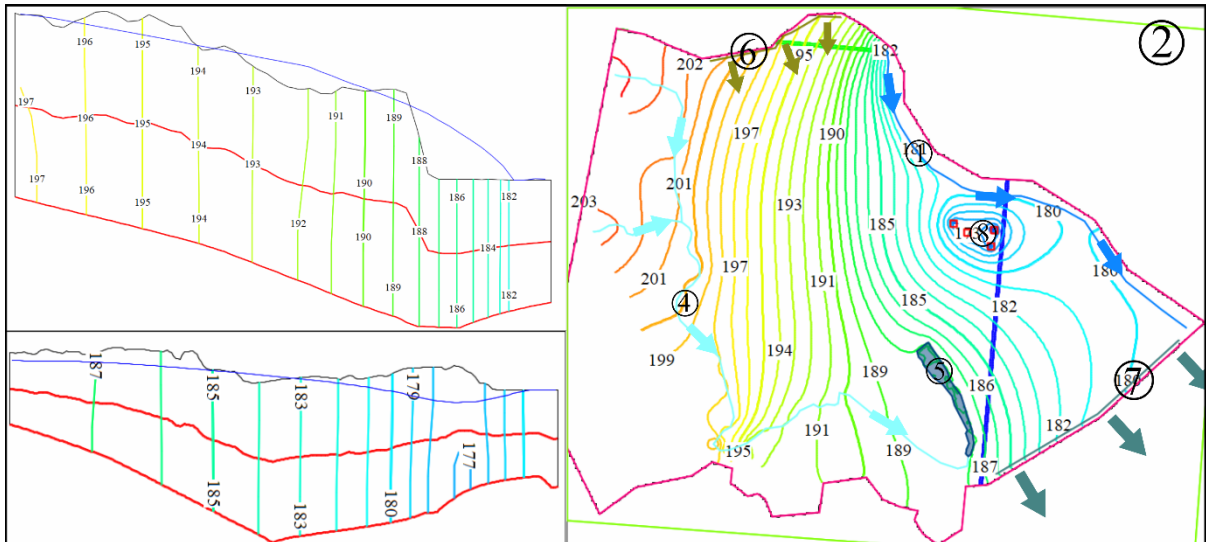
Det ble forsøkt å endre trykkehøyden ved Langsletta for å se om dette kunne hindre området nedenfor i å bli oversvømt (se vedlegg A-8). Ved en trykkehøyde på 182 m.o.h. vil grunnvannsspeilet være under modelloverflaten i området nedenfor Langslettainnsjøen. Ved denne trykkehøyden renner vann ned i Langsletta fra både ned-/østside og opp/-vestside av innsjøen, og grunnvannsspeilet er svært hellende på vestside i forhold til østside. I tillegg er dette 7-8 meter lavere enn den målte/reelle trykkehøyden til Langsletta i felt.

Grunnvannsmating til/fra ytterkant av modell

Med grunnvannsmating på $3 \cdot 10^{-6}$ m/s over et areal på $\sim 1000 \text{ m}^2$ (Grensebetingelse 6) ble området oversvømt (Vedlegg A-6). Det ble også forsøkt å legge inn en grunnvannsmating som var litt mindre men dette resulterte også i et veldig høyt grunnvannsspeil.

Når Langsletta innsjøen settes opp som en konstant trykkehøyde blir området nedfor innsjøen oversvømt. Ved å sette inn en negativ grunnvannsmatning mot sør kan muligens oversvømmelsen unngås (vedlegg A-7). En q verdi på $1,5 \cdot 10^{-6}$ m/s fjernet ikke alt overflatevannet som var registrert nedfor Langsletta. Det ble derfor utprøvd flere verdier til grunnvannsspeilet lå nedenfor terrengoverflaten. Ved en q-verdi på $2,5 \cdot 10^{-6}$ m/s mot sør ligger nesten hele grunnvannsspeilet under modelloverflaten. Grunnvannsspeilet har da en kraftig helning mot sør, og ligner ikke på de naturlige forholdene.

Når grunnvannsmating nord og sør ble lagt inn resulterte dette i en lavere grunnvannsstand i nord (figur 4-6). Grunnvannskvotene ligner da på kvotene i figur 1-1. Grunnvannsspeilet er imidlertid fremdeles delvis over modelloverflaten i nord og over modelloverflaten nedenfor Langsletta.



Resultat

Tabell 4-2 Vannbudsjett til modell der Qøvre kommer inn i modellen som grunnvannsmating. Grensebetingelsene som er blitt brukt er grunnvannsmating fra modelltopp og øvre nedbørsfelt samt konstant trykkehøyde ved Glomma (Grensebetingelse 1, 2 og 3 figur 3-8).

Qøvre	Inn (m ³ /s)			Totalt ut (m ³ /s)	Inn - Ut	Avvik (%)
	Konstant trykkehøyde	Grunnvannsmating	Totalt inn			
0,02	0,0016	0,08	0,0817	0,0817	0,00	0,00
0,03	0,0015	0,1201	0,1216	0,1216	0,00	0,00
0,04	0,0014	0,1601	0,1615	0,1615	0,00	0,01

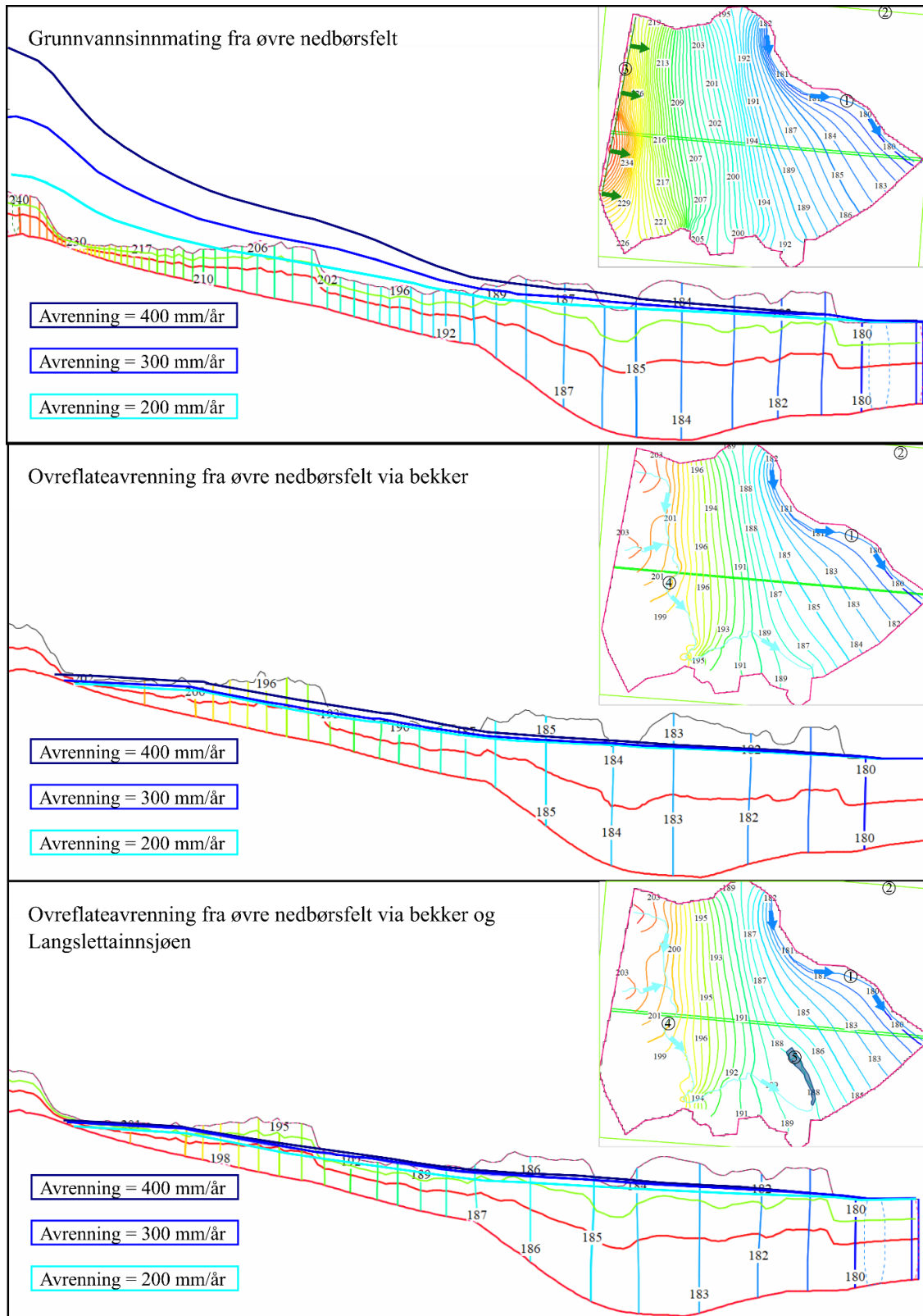
Tabell 4-3 Vannbudsjett til modell der Qøvre kommer inn i modellen som overflateavrenning fra elveløp. Grensebetingelsene som er blitt brukt er overflateavrenning fra modelltopp, elveavrenning til modell og konstant trykkehøyde ved Glomma (Grensebetingelse 1, 2 og 4 figur 3-8).

Qøvre	Inn (m ³ /s)				Ut (m ³ /s)			Inn - ut	Avvik (%)
	Konstant trykkehøyde	Elv	Grunnvannsmating	Totalt inn	Konstant trykkehøyde	Elv	Totalt ut		
0,02	0,002	0,06	0,0198	0,0819	0,066	0,02	0,0820	0,0	0,00
0,03	0,002	0,09	0,0303	0,1220	0,075	0,05	0,1220	0,0	-0,01
0,04	0,002	0,11	0,0446	0,1617	0,912	0,07	0,1618	0,0	-0,03

Tabell 4-4 Vannbudsjett til modell der Qøvre kommer inn i modellen som overflateavrenning i elveløp og innsjø. Grensebetingelsene som er blitt brukt er overflateavrenning fra modelltopp, elveavrenning til modell og konstant trykkehøyde ved Langevatn samt konstant trykkehøyde ved Glomma (Grensebetingelse 1, 2, 4 og 5 figur 3-8).

Qøvre	Inn (m ³ /s)				Ut (m ³ /s)			Inn - ut	Avvik (%)
	Konstant trykkehøyde	Elv	Grunnvannsmating	Totalt inn	Konstant trykkehøyde	Elv	Totalt ut		
0,02	0,0145	0,05	0,0187	0,0816	0,07	0,01	0,0816	0,0	0,00
0,03	0,022	0,07	0,0299	0,1217	0,09	0,04	0,1217	0,0	0,00
0,04	0,034	0,09	0,0412	0,1611	0,10	0,06	0,1611	0,0	-0,01

Resultat



Figur 4-7 Øverst: Avrenning fra øvre nedbørsfelt kommer som grunnvannsmating (grensebetingelse 1,2 og 3). Midt: Avrenning fra øvre nedbørsfelt kommer som overflatevann fra elv/bekkeløp (grensebetingelse 1,2 og 4). Nederst: Avrenning fra øvre nedbørsfelt kommer som overflatevann fra elv/bekkeløp og innsjøen (grensebetingelse 1,2, 4 og 5). Glomma (grensebetingelse 1) har en konstant trykkehøyde på 181,5 til 180,1 m.o.h. i alle figurene. For verdier av grensebetingelse 2,3,4 og 5 vises det til kapittel 3.2.3, avrenning = 300 mm/år i øvre og nedre nedbørsfelt. Figuren øverst i høyre markerer hvor i modellen profilene er hentet fra (se grønn strek), hvilke grensebetingelser som er blitt brukt og vannstadskvotene ved en avrenning på 300 mm/år. Zoomet på profilene er 10X bredere i forhold til lengde. For vannstadskvotene ved en avrenning på 200 og 400 mm/år vises det til vedlegg A-3 og A-4

Resultat

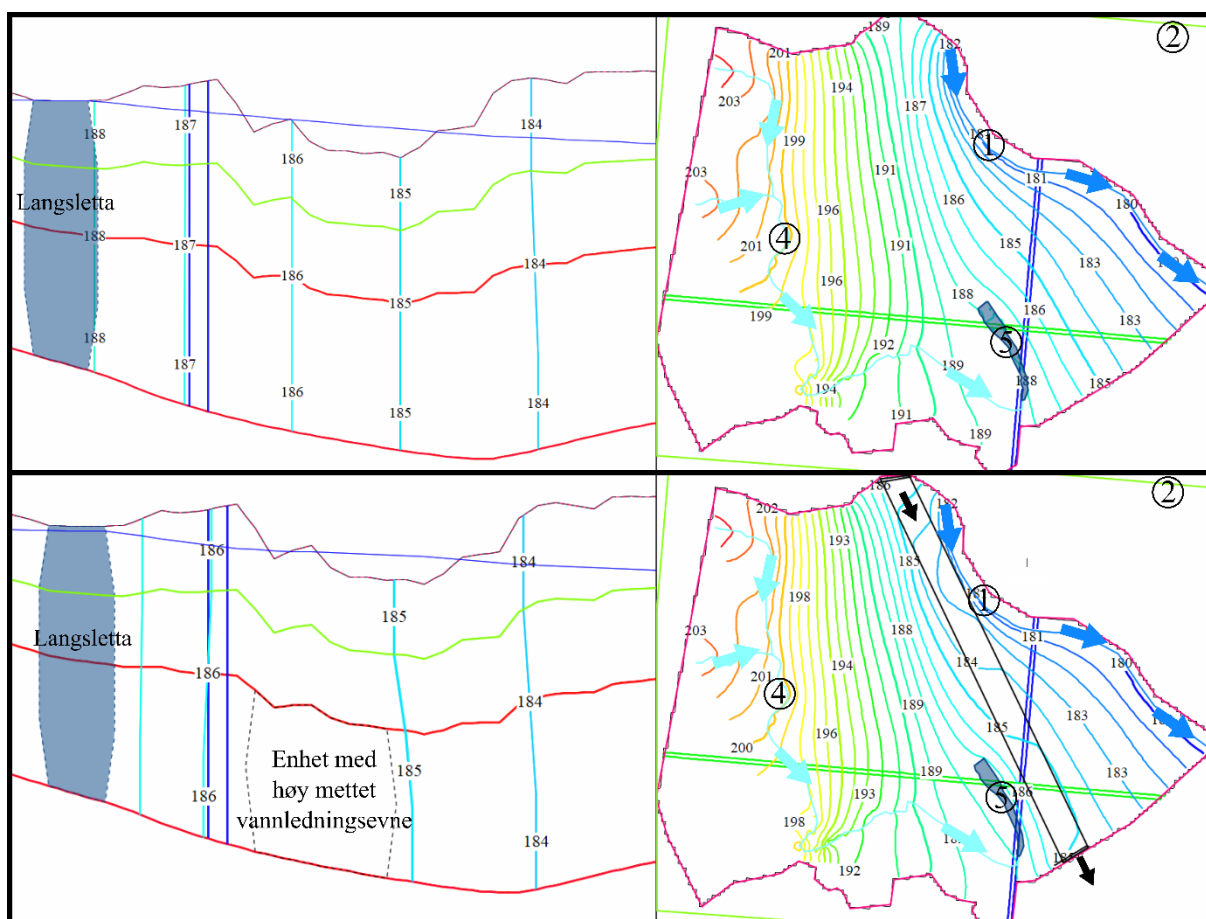
Grunnvannsspeilet blir veldig høyt i øvre del av modellert område ved grunnvannsmating fra øvre nedbørsfelt, mens deler av grunnvannsspeilet blir tørrlagt ved overflateavrenning fra øvre nedbørsfelt (figur 4-7). Vannstanden i nedre del av modellert område blir litt høyere mens vannstanden i øvre del av modellert område blir lavere ved konstant trykkehøyde ved Langsletta i forhold til uten konstant trykkehøyde.

Ved en mindre grunnvannsmating fra øvre nedbørsfelt ble vannstanden fortsatt høy i øvre del av modellert område (se vedlegg A-5)

Enhet med høy mettet ledningsevne

Det er også forsøkt å sette inn en enhet med høy mettet ledningsevne nedenfor Langsletta.

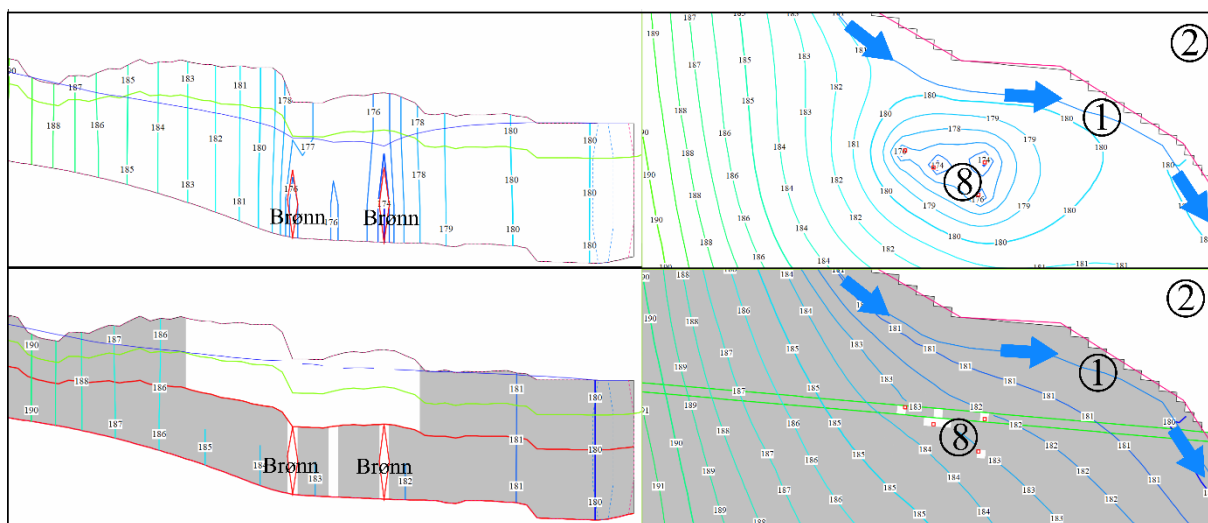
Dessverre hadde enheten liten påvirkning på det høye vannspeilet øst for Langsletta (figur 4-8).



Figur 4-8 Viser hvordan grunnvannsstanden ser ut med (nederst) og uten (øverst) enhet med høy mettet vannledningsevne. Enheten har en K-verdi på 0,001 m/s og er 281981 m² i areal og 15 meter høy. Der Eskeren kommer inn i modellen i nord og går ut i sør er det satt inn et til-/fra-strømnings areal på 2816 m² med en q-verdi på $1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Glomma (grensebetingelse 1) har en konstant trykkehøyde på 181,5 til 180,1 m.o.h i alle figurene. Grunnvannsmating fra modelloverflaten (grensebetingelse 2) er på $9,52 \cdot 10^{-9}$ m/s. Elveløpene (grensebetingelse 4) er definert med en vannhøyde på 6 cm og ledningsevne på 0,0001/m. Langsletta (Grensebetingelse 5) er 189 m.o.h. Grønn strek i figurene til høyre markerer hvor i modellen profilene (venstre) er hentet fra. Zoomet på profilene er 10X bredere i forhold til lengde

Pumperate

Flere forskjellige pumperater er utprøvd i området (se figur 4-9 og vedlegg A-9). Pumperaten på $-0,05 \text{ m}^3/\text{s} * 4$ er den maksimale pumperaten som brønnene kan pumpe på. Ved denne pumperaten blir ifølge modellen cellene i nærheten av brønnene tørrlagt, dvs. tilsiget av vann er mindre enn mengden vann som pumpes opp i brønnene. Den maksimale pumperaten som var mulig i modellen var en pumperate på $-0,04 * 4 \text{ m}^3/\text{s}$. Da ble det pumpet ut vann fra kun en av brønnene. Det ble forsøkt å gjenfukte tørre celler. Ulike verdier ble testet ut, uten noen forbedring av resultat.



Figur 4-9 Hvordan pumperaten til grunnvannsbrønnene påvirker grunnvannsforholdene. Grønn strek i figurene til høyre markerer hvor i modellen profilene (venstre) er hentet fra. Øverst: Brønnene pumper med en pumperate på $-0,017 * 4 \text{ m}^3/\text{s}$. Nederst: Brønnene pumper med en pumperate på $-0,05 \text{ m}^3/\text{s}$

Det ble forsøkt å endre den mettede vannledningsevnen til breelvsedimentlaget for å få pumpene til å virke med en pumperate på $-0,05 \text{ m}^3/\text{s} * 4$. Når den mettede vannledningsevnen var på $0,00032 \text{ m/s}$ virket pumpene. Ved denne vannledningsevnen ble også vannspeilet nedenfor Langsletta lavere (se vedlegg A-10).

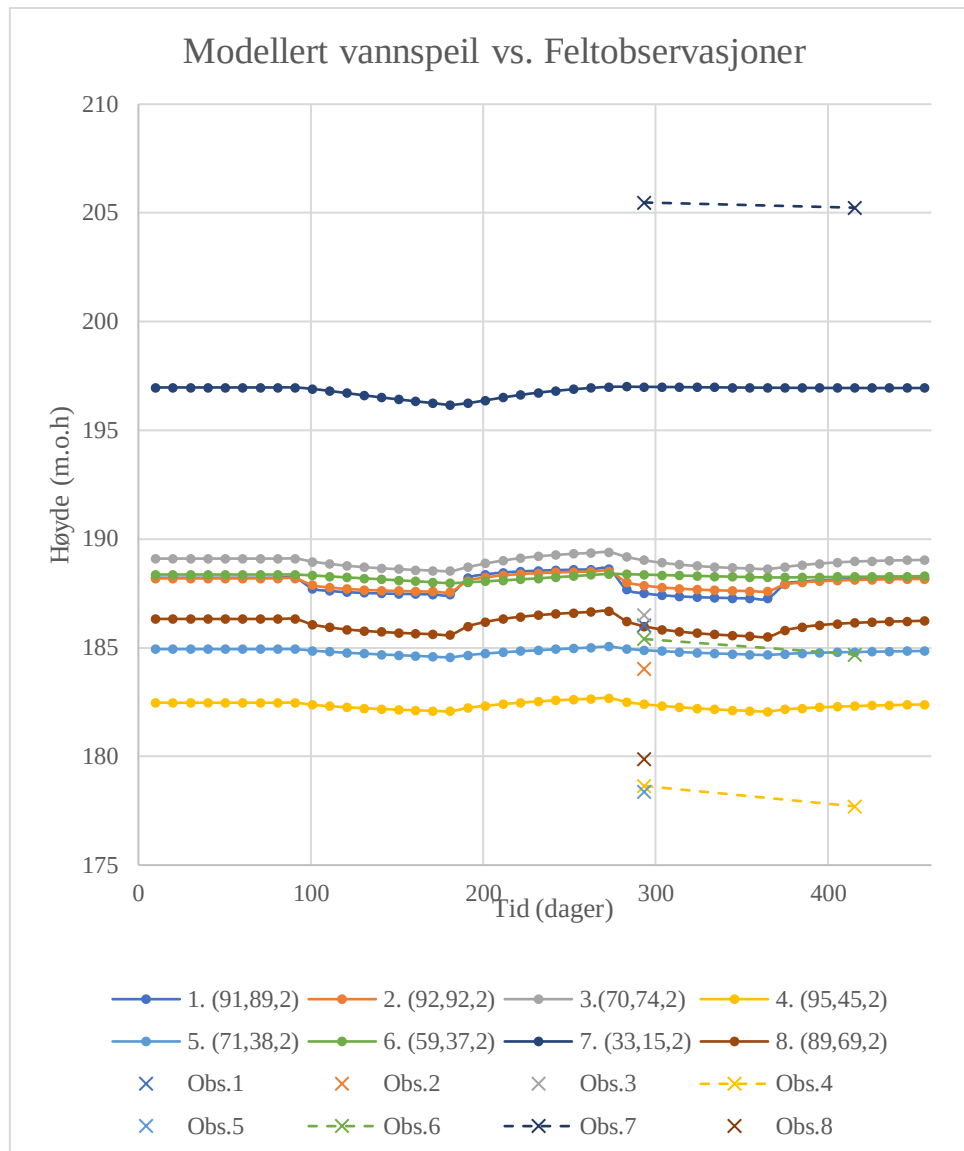
4.2.3 Årsvariasjoner

Ved å sette inn grensebetingelser for årsvariasjoner (tabell 3-9) viser modellen et konstant vannspeil mellom 1. september 2017 og 1. desember 2017 da dette er modellert som stasjonær (figur 4-9). Mellom 1. desember 2017 og 1. mars 2018 sank modellert grunnvannsspeil med omtrent 0,5 meter. Deretter steg grunnvannsspeilet med omtrent 0,5 - 1 meter fra 1 mars til 1 juni. Mellom 1. juni og 31. august sank vannspeilet med omtrent 0,5 meter og mellom 31. august og 1. september steg det med 0,5 meter.

Det er noen regionale forskjeller i endring av grunnvannsstand i modellen. I område A, B og C (se figur 4-1) endrer grunnvannstanden seg minst, se 6.(59,37,2) 7.(33,15,2), 4.(95,45,2) og

Resultat

5.(71,38,2) i figur 4-10. I område D (ved Langsletta) er grunnvannstandendringene noe høyere, se 1. (91,89,2), 2.(92,92,2) 3.(70,74,2) og 8.(89,69,2) i figur 4-10.



Figur 4-10 Modellert grunnvannsspeil med årsvariasjoner. Modellert fra 1. september 2017 til 1. desember 2018. Se tabell 3-8 for grensebetingelser. Modellert grunnvannsspeil er sammenlignet med observasjoner i felt der 1. (91,89,2)/obs.1 er i nordlig ende av Langsletta, 2.(92,92,2)/obs.2 er i sørlig ende av Langsletta, punkt 3.(70,74,2)/obs.3 er vest for Langsletta, 4. (95,45,2)/obs.4 er i område C (ved vannverket), 5.(71,38,2)/obs.5 er i område C, helt i nærheten av Glomma, 6.(59,37,2)/obs.6 er i område B, 7.(33,15,2)/obs.7 er i område A og 8.(89,69,2)/obs.8 er øst for Langsletta. Se figur 4-1 for lokasjon til område A, B og C eller se vedlegg C.6 for lokasjon til brønnene som feltobservasjonene er hentet fra.

Årsmodellen for 2017 - 2018 viser et relativt stabilt vannspeil, til tross for en varm sommer med høy fordampning i området og lite nedbør (Skaland et al., 2019). Sammenlignet med feltobservasjonene er modellert grunnvannsspeil over 5 meter lavere enn observert grunnvannsspeil i område A, mens det er 2-5 meter høyere enn observert grunnvannsspeil i område B, C og D (se figur 4-1 og 4-10). Endringen i høyde på grunnvannsspeil mellom juni 2018 og oktober 2018 ser ut til å være ganske lik i modellert og observert grunnvannsspeil.

4.2.4 Forurensningssenarioer

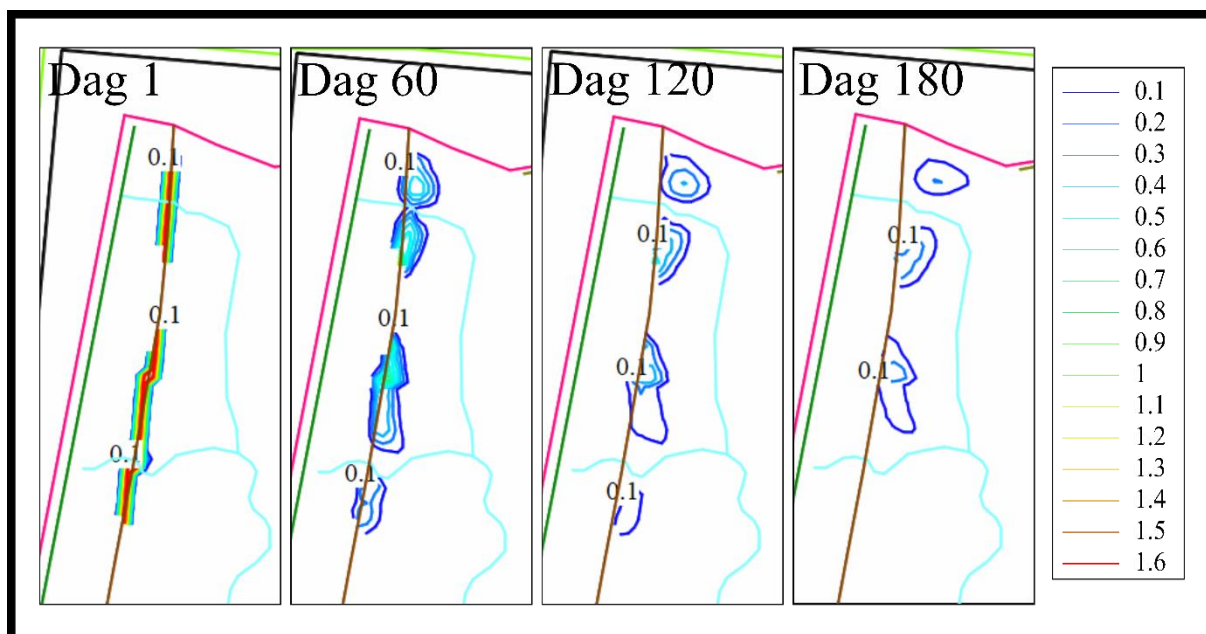
Nye riksveg 3

Bare en mindre del av forurensningen fra den nye vegen vil nå pumpebrønnene (figur 4-11). Ettersom noen av strømningslinjene går direkte fra den nye riksvegen til pumpestasjonen kan likevel avrenningen fra den nye riksvegen påvirke vannkvaliteten ved vannverket. Ut fra modellen ser det ut som om relativt mye av vegavrenningen vil nå elveløpene som fører ned til Langsletta.

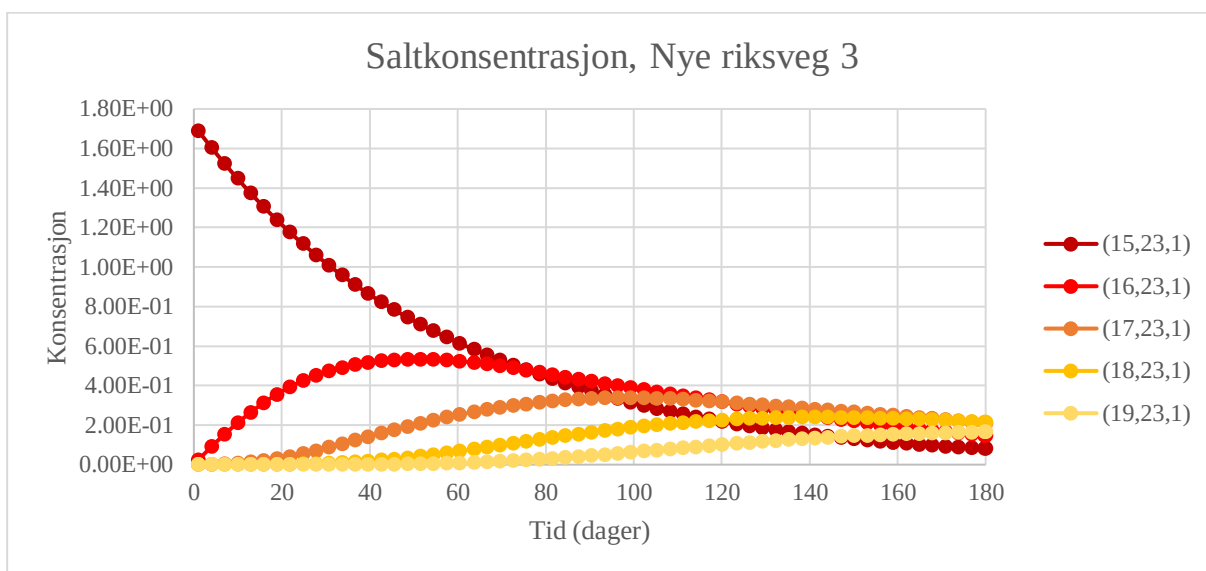
Når overflateavrenning brukes som grensebetingelse fra øvre nedbørsfelt vil ikke sørlig del av ny riksvegen bli modellert med strømningslinjer, da det ikke er noe modellert grunnvann i dette området (se figur 4-7). Se vedlegg A-11 for modell med grunnvannsmating fra øvre nedbørsfelt og strømningslinjer i dette området. Forurensning fra sørlig område av veg ikke vil treffe pumpestasjonene ved vannverket, men heller gå ned i elvenettet og deretter til Langsletta (vedlegg A-11).



Figur 4-11 Strømningslinjer som en forurensning bruker dersom den hadde blitt sluppet fra den nye riksveg 3. Se tabell 3-8 for grensebetingelser. Stiplet linje viser utsnittet som er brukt i figur 4-11 og mørk rødt, rødt, brunt, gult og lysegult punkt representerer henholdsvis (15,23,1), (16,23,1), (17,23,1), (18,23,1) og (19,23,1) i figur 4-12



Figur 4-12 spredning av salt fra den nye vegen

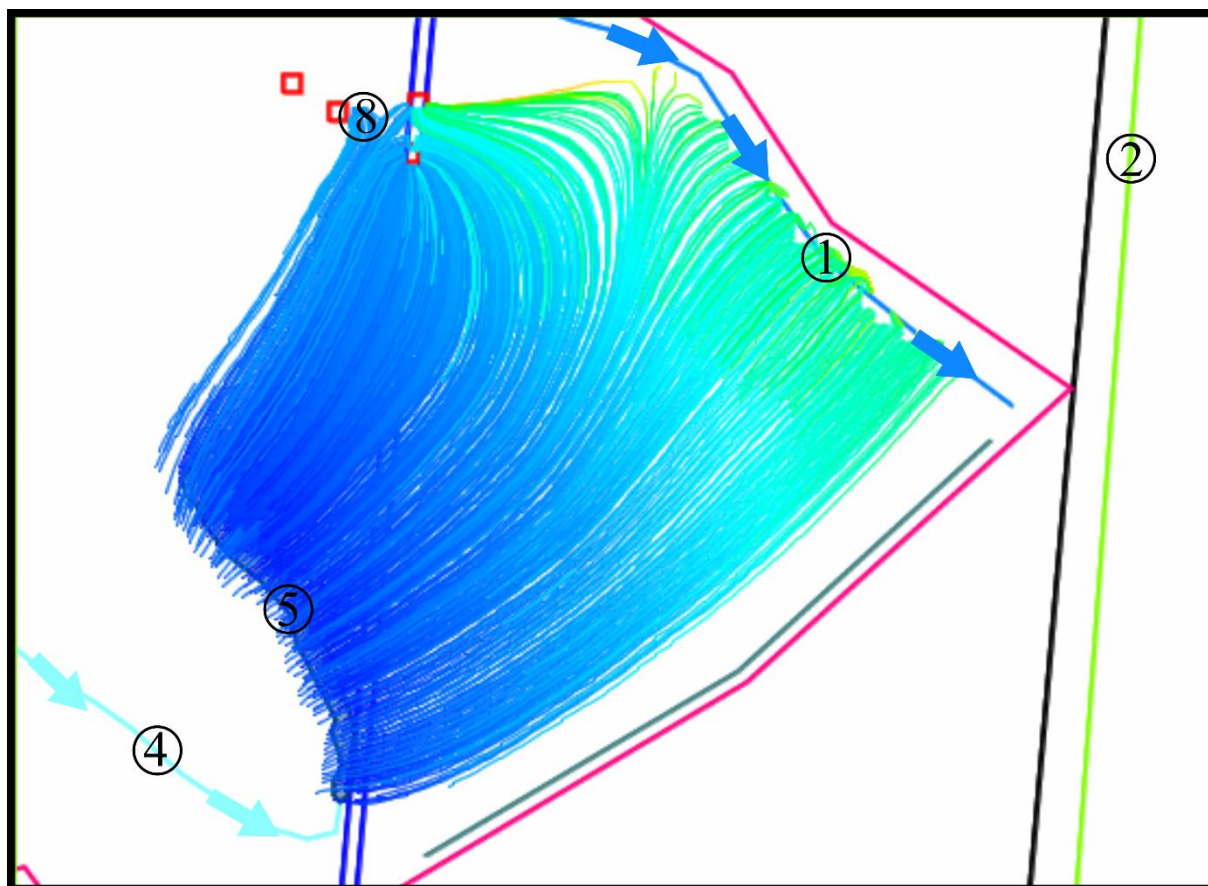


Figur 4-13 Saltkonsentrasjon ved nye riksveg 3. Punkt (15,23,1) er konsentrasjonen tatt på den nye riksveg 3 mens punkt (16,23,1), (17,23,1), (18,23,1) og (19,23,1) er henholdsvis 20, 40, 60 og 80 meter vekk fra vegen (se figur 4-11).

Saltavrenningen fra den nye vegen vil ifølge modellen halvere konsentrasjonen i løpet av 40 døgn (se figur 4-13). Etter 80 døgn er konsentrasjonen igjen halvert til $0,4 \text{ g/m}^3$. Ved døgn 180 er den maksimale konsentrasjonen $0,2 \text{ g/m}^3$. Ved døgn 180 har forurensningen enda ikke nådd elv- og bekkeløpene som fører ned til Langslettainnsjøen (se figur 4-12).

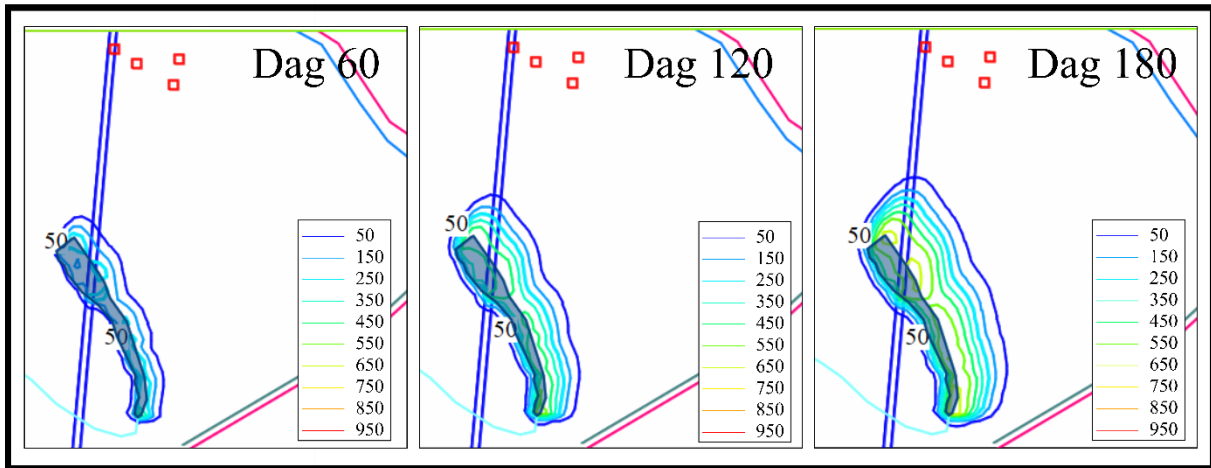
Langsletta

Ved en forurensning i Langsletta vil en større del av grunnvannssiget fra innsjøen nå vannverket. Noe vil også gå direkte fra innsjøen til Glomma (se figur 4-14).



Figur 4-14 Strømningslinjer fra Langsletta

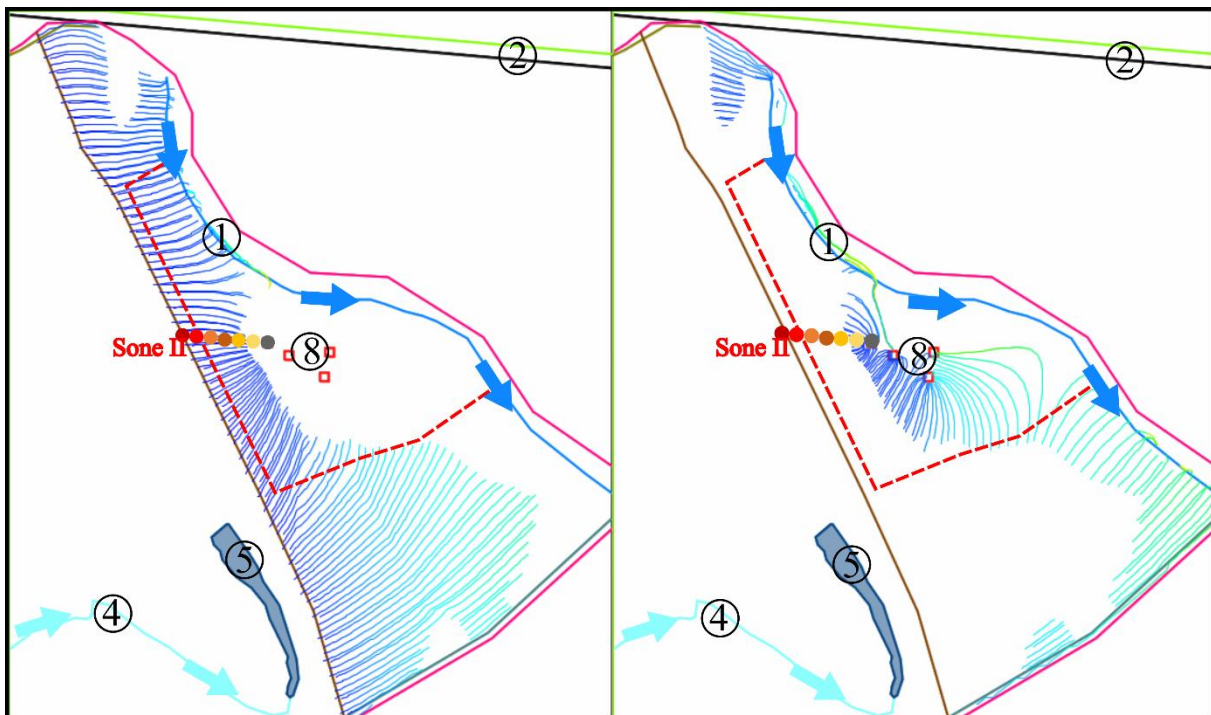
Forurensingen fra Langslettainnsjøen er bare kommet halvveis til brønnen i løpet av 180 døgn (figur 4-15). Denne forurensningskilden er kontinuerlig. Dette gjør konsentrasjonen høyest ved innsjøen og lavere lengre vekk fra innsjøen. Ettersom grunnvannet går mot Glomma og vannverket blir forurensningen spredt raskere på nedsiden/ nordøst for innsjøen.



Figur 4-15 Spredning av forurensing fra Langsletta

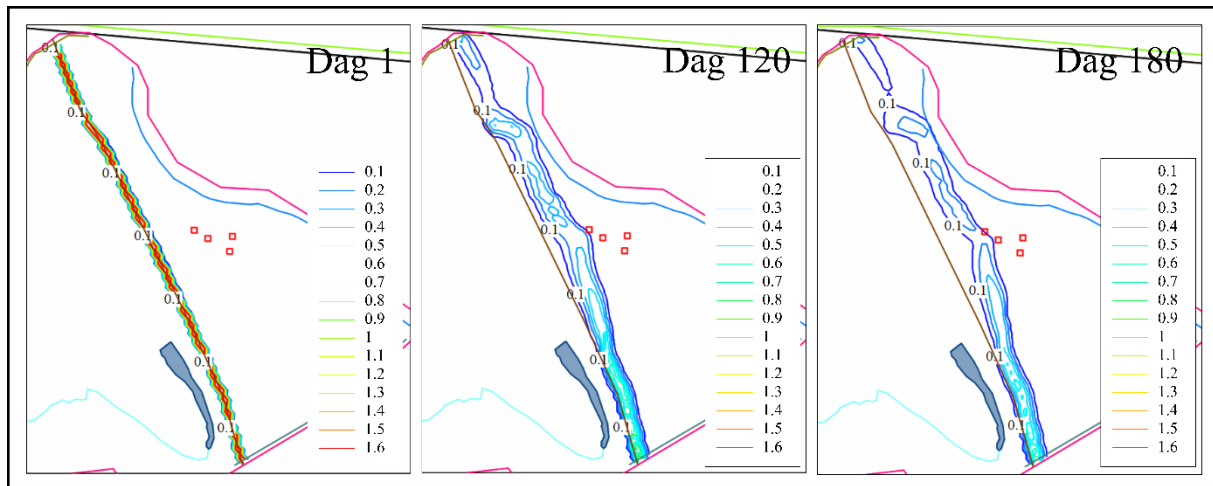
Gamle riksveg 3

En større del av vegavrenningen vil nå pumpebrønnene fra den gamle riksvegen (figur 4-16). I tillegg er vegen mye nærmere vannverket enn den nye. Forurensninger vil dermed bruke kortere tid fra veg til pumpestasjon. Ettersom vegstrekningen i modellen er den samme som inngår i sone III av beskyttelsessonene, er det ikke lov å salte hele denne strekningen.

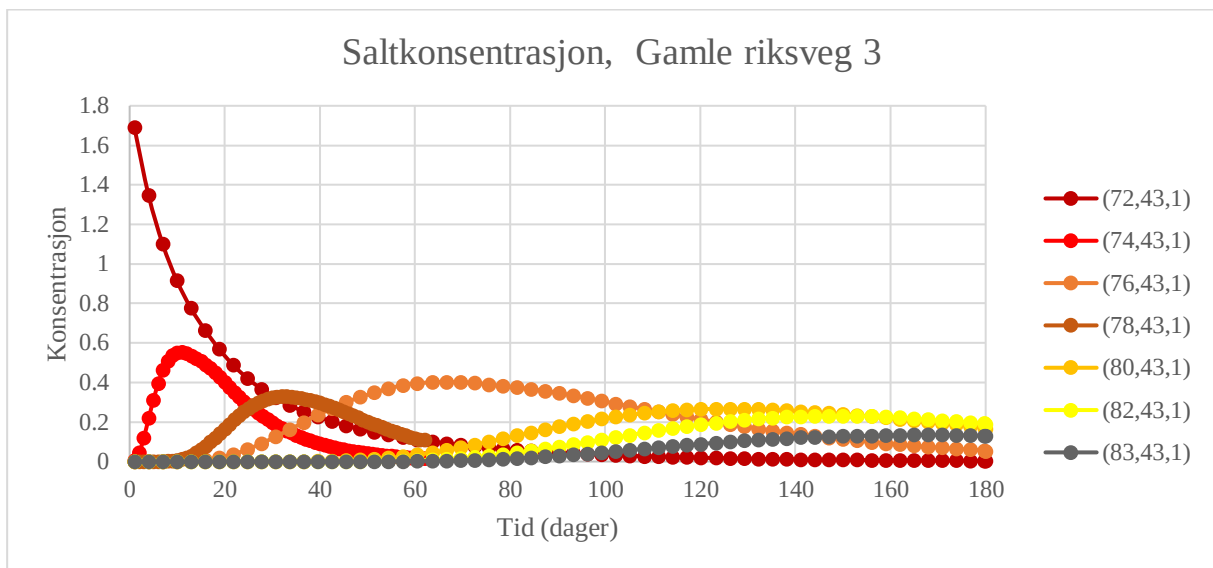


Figur 4-16 Strømningslinjer fra den gamle riksveg 3. Sone II av beskyttelsessonene fra 1983 (se figur 1-2) er også tegnet inn. mørk rødt, rødt, lys brunt, brunt, gult, lysegult og grått punkt representerer henholdsvis (72,43,1), (74,43,1), (74,43,1), (76,43,1), (78,43,1), (80,43,1), (82,43,1) og (83, 43, 1) i figur 4-18

Resultat



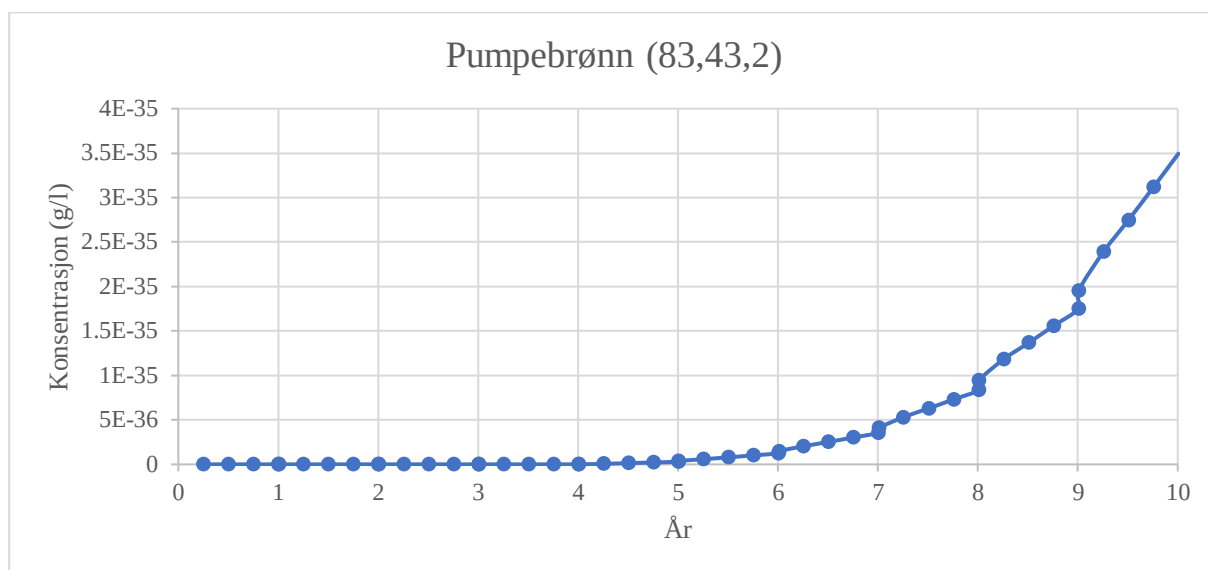
Figur 4-17 Saltspredning fra den gamle riksvegen



Figur 4-18 Saltkonsentrasjon ved den gamle riksvegen. Punkt (72,43,1) er konsentrasjonen tatt på den gamle riksveg 3 mens punkt (74,43,1), (76,43,1), (78,43,1), (80,43,1) og (82,43,1) er henholdsvis 40, 80 og 120, 160 og 200 meter vekk fra riksvegen. Punkt (83, 43, 1) er saltkonsentrasjonen ved pumpebrønnen som er nærmest vegen (se figur 4-16)

Ved døgn 129 har saltforurensingen nesten nådd den brønnen som er nærmest vegen, med en konsentrasjon på $0,1 \text{ g/m}^3$ (figur 4-18). Ved døgn 180 har saltforurensningen nådd to av de fire brønnene ved vannverket (se figur 4-17). Saltkonsentrasjonen er også blitt svært svekket. Den høyeste konsentrasjonen ved dag 180 er $0,13 \text{ g/m}^3$.

10 års senario



Figur 4-19 Saltkonsentrasjonen i pumpebrønnen som er nærmest riksvegen hvis vegen saltes hver vinter i 10 år.

Salt konsentrasjonen fortsetter å øke i den brønnen som er nærmest den gamle riksvegen (se figur 4-19). De 3 andre brønnene hadde konstant en konsentrasjon på 0 g/m³/s i 10 års modellen. Det vil si det ikke ble målt noen økning av saltkonsentrasjon i disse brønnene over lengre tid.

5 Diskusjon

Problemstillingen til denne oppgaven handlet om å få en forståelse av grunnvannsstrømningen i området for å kunne bedre verne om drikkevannskilden på Grindalsmoen i Elverum. Forskjellige grunnvannssenarioer er testet ut å i dette kapittelet kommer det til å bli lagt vekk på hvilke senarioer som fungerer og hvilke som ikke fungerer. Tilslutt står det igjen et helhetlig inntrykk av området som blir brukt til å revurdere beskyttelsessessionene rundt vannverket (se kapittel 5.5).

5.1 Usikkerheter til feltresultat

Det er noe usikkerhet til feltresultatene. Feltarbeidet er utført av studenter som ikke har stor erfaring med de ulike metodene benyttet, og metodene kan derfor ha blitt utført feil. Ulike grupper har utført undersøkelsene på områdene A, B, C og D (se figur 3-1). Dette kan ha ført til ulik metodeutførelse i de forskjellige områdene. I tillegg kan feiltolkning av andres notater ha forekommet.

En annen årsak til feil kan være grensen mellom breelvsediment og elevmateriale er litt diffust, slik en måling av elvesediment egentlig kan ha vært en måling av breelvsediment. Ligger det for eksempel et tynt lag av elvesediment over breelvsediment, kan det se ut som om det måles mettet vannledningsevne i elvesediment mens det som egentlig måles er breelvsediment.

Feltresultatene har allikevel gitt en god indikasjon på hvordan de geohydrologiske forholdene er. Ved å sammenligne feltresultatene med dataene som ble samlet inn før etablering av vannverket blir mange av usikkerhetene unngått.

5.2 Modellusikkerheter

Ofte bestemmes beskyttelsessessionene rundt et vannverk utfra egen erfaring, enkle analytiske metoder og hydrogeologiske undersøkelser (Heidenstrøm & Colleuille, 2000; Krogh et al., 1987). Modellering kan ikke erstatte undersøkelser fra felt da det trengs en god forståelse av forholdene i et område for å kunne lage en god modell, men det vil gi mye mer håndfaste data på hva som foregår i et område og vil være et godt supplement til feltarbeid.

Modellering kan ta noe lengre tid men det gir både bedre resultater og minker faren for en feil forståelse av de hydrogeologiske forholdene i et område. Derfor er modellering en god måte å løse problemstillingen på.

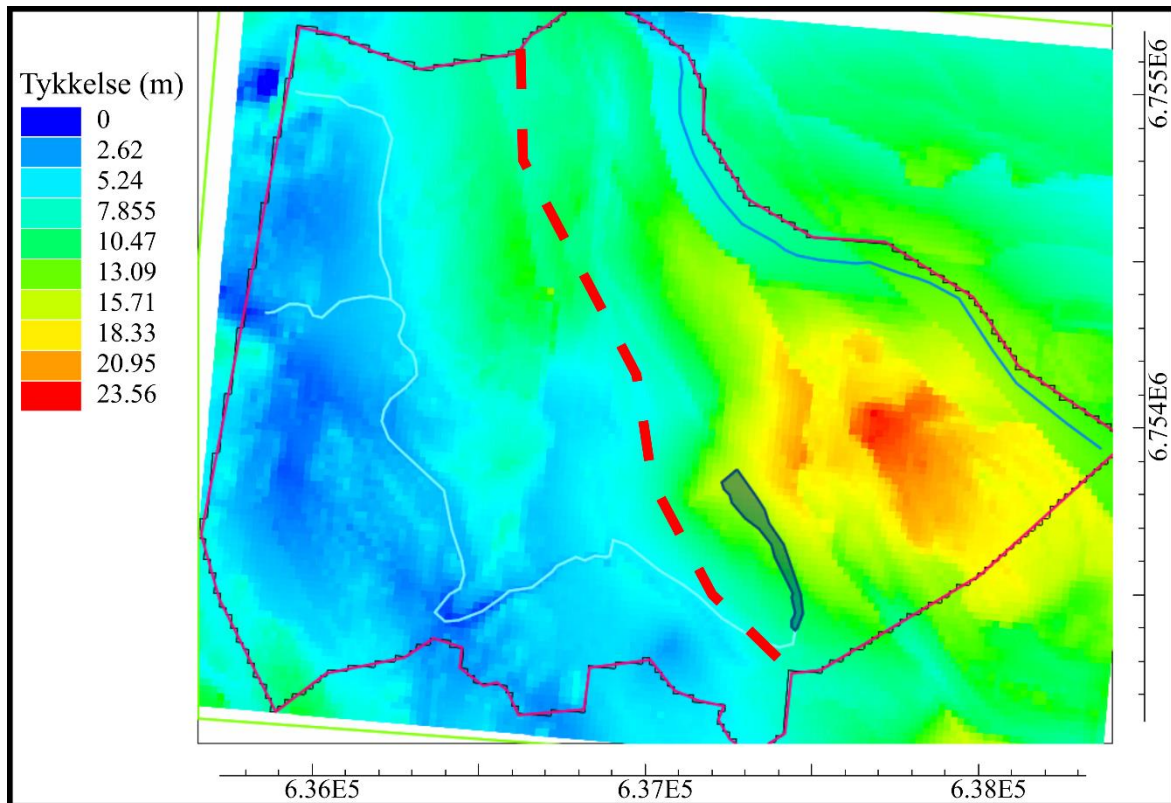
5.2.1 Modelldesign

Modellens overflate ble hentet fra kartverket og skal være ganske pålitelig. Det ligger allikevel en usikkerhet i om vannstanden på terrengmodellen representerer en normal vannstand for et år. Ettersom flyvningen ble gjort i starten av juni (rett etter snøsmelteperioden) kan vannstanden være litt høy i forhold til den gjennomsnittlige vannstanden for et år. Dette kan gjøre trykkehøyden i modellen litt høyere i forhold til de virkelige forholdene, da Glomma og Langsletta (grensebetingelse 1 og 5 figur 3-8) som oftest er modellert med en konstant trykkehøyde som er lik modelloverflatens høyde.

Det er også et par usikkerheter rundt modelldybden. Spesielt i nord, (ved industriområdet) og i sør der det skal bygges nye boliger vet en lite om dybden til berggrunnen. Flere målinger må utføres for få mer nøyaktige resultat. Interpolationsmetoden som ble benyttet (Nearest neighbour) ga best resultat. Det var stor forskjell mellom hvordan bunnområdet så ut med de forskjellige interpolationsmetodene. En annen interpolationsmetode ville ha gitt annerledes resultater. Interpolasjonsmetoden «point inv. Dist. Sq.» ga bra resultater over modelldybden. Natural neighbour ble benyttet fremfor point inv. Dist. Sq. da sistnevnte gir en tykkere sedimentdybde i øvre del av modell enn det som er antatt.

Modellens yttergrense er topografisk bestemt av NVE (2019b). De øvre, tynne løsmassene følger sannsynligvis det topografisk bestemte nedbørsområdet men jo tykkere løsmassene blir, jo mindre er sannsynligheten for at nedbørsfeltet til grunnvannet blir bestemt av topografien (Hendriks, 2010). Grensen mellom øvre nedbørsfelt og nedre nedbørsfelt ble først satt litt høyere, mellom morenematerialet og breelvsedimentet. Dette ga et resultat der modellens bunn ble satt over modelloverflaten, på grunn av for lite data på sedimentets mektighet i dette område. Grensen ble derfor satt litt lengre nede, der det var mer data på sediment dybde. Hadde grensen mellom øvre og nedre nedbørsfelt blitt satt lengre nede ville det ikke vært mulig å modellere en forurensning fra den nye riksvegen. Overgangen fra skogsområdet til myrområde/landbruksområde/boligområde gjør det også til en gunstig plass å dele modellen.

Hvis det ikke skulle bli sett på hvordan en forurensning fra den nye riksvegen ville påvirke området, kunne en mulig grense mellom øvre og nedre nedbørsfelt også ha blitt satt i den grensen der sediment-tykkelsen blir betydelig større (se figur 5-1), men dette ville gitt en mye mindre modell.



Figur 5-1 Tykkelse av sediment. Rød, stiplet linje viser et mulig forslag til grense mellom øvre og nedre nedbørsfelt

5.2.2 Mettet vannledningsevne

Elvesediment, som er et sandig sediment bør ha en kornstørrelse mellom $6 \cdot 10^{-3}$ og $2 \cdot 10^{-7}$ m/s (tabell 3-1). I felt lå den mettede vannledningsevnen til elvesediment innenfor dette intervallet. Ulike verdier av mettet vannledningsevne er utprøvd i modellen. Dermed er det god grunn til å tro feltverdiene stemmer med de virkelige forholdene. Elvesedimentet skal ha en lavere mettet vannledningsevne enn breelvsediment da sedimentet ofte blir grovere lengre mot berggrunnen. En mettet vannledningsevne på $4,5 \cdot 10^{-5}$ m/s ble derfor valgt til å representere vannledningsevnen i øverste lag/elvesedimentlaget til modellen.

Breelvmateriale kan ha en kornstørrelse fra fin sand til blokk. Det skiller seg ut fra morenemateriale ved å være litt mer sortert og rundet (Thoresen, 1991). Mettet vannledningsevne varierte mer i prøvene av breelvsedimentene. Trolig er dette løsmasselaget mer heterogent enn elvesediment og kan inneholde fraksjoner av både ablasjonsmorene, breelvsediment og sediment fra tappningshendelsene. En mettet vannledningsevne på $1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s ble valgt til breelvsedimentlaget da det passet inn i modellen med de andre variablene. En for lav mettet vannledningsevne ga nemlig et vannspeil som gikk over modelloverflaten. Det er mulig det mettede breelvsedimentlaget også var mer porøst.

I følge vedlegg A-10 vil pumpene virke med maksimal pumpehastighet med en mettet vannledningsevne på 0,00032 m/s. Dette er høyere enn infiltrasjonen målt i felt, men en slik mettet vannledningsevne i nedre lag kan også være mulig.

Det ble valgt å lage en tolags modell ettersom grunnlaget for en trelagsmodell er litt snevert. Det er blitt målt mettet vannledningsevne av morenematerialet i området også (se vedlegg C.3 og C.4, prøvepunkt GA1, A1), men tykkelsen på dette laget er usikkert. I tillegg er det litt lite å basere seg på bare ett prøvepunkt. Det ville derfor gi en veldig usikker variabel i modellen. Det må allikevel poengteres at det finnes mindre forskjeller av mettet vannledningsevne i de virkelige forholdene som ikke er tatt med i modellen, og med mer tilgjengelig data hadde flere en modell med flere variasjoner blitt mer lik de reelle forholdene.

Det er en usikkerhet i det å basere mettet vannledningsevne på feltresultat der mettet vannledningsevne kun er målt på overflaten. I ettertid av modelleringen ser det ut som om kornfordelingen fra Gaut et al. (1981) burde blitt vektlagt mer. I denne kilden finnes det kornfordelingskurver fra sediment som er hentet på opptil 30 meters dyp i modellert område. Fra kornfordelingskurvene kan mettet vannledningsevne bli regnet ut. Dette er blitt gjort i masteroppgaven til Sandbakken (2016) (Se vedlegg B-3)

5.2.3 Grunnvannsmating til/fra ytterkant av modell

Muligens finnes det en sammenhengende enhet med høy mettet ledningsevne parallelt med Glommas elveløp i området, men modellen viste ikke noen klare tegn til dette (se figur 4-8). En mer reel situasjon er grunnvannsmating i nord og grunnvannsutmatning i sør av modellen (se figur 4-6). Hvor stor denne strømmingen er, er derimot litt utvist, da grunnvannsstanden er både over modelloverflaten i nord og sør ved en grunnvannsmating på $3 \cdot 10^{-6}$ m/s i nord og en grunnvannsutmatning på $1,5 \cdot 10^{-6}$ m/s i sør.

5.2.4 Usikkerhet rundt grunnvannsmating til/fra Langsletta

Hvorfor området nedenfor Langslettainnsjøen blir oversvømt er usikkert. Det har blitt sett på forskjellige årsaker til dette. For lav mettet vannledningsevne kan være mulig årsak. På figur 4-2 ser en at en høyere mettet vannledningsevne gir mindre oversvømmelser i modellen. Ovenfor Langsletta (Område D) er målte verdier for mettet vannledningsevne $7,7 \cdot 10^{-4}$ - $7,4 \cdot 10^{-5}$ m/s med marionettesylinder. Å sette en mettet vannledningsevne til $1,5 \cdot 10^{-5}$ m/s kan derfor være for lavt. I tillegg er det store endringer i mettet vannledningsevne og flere litologiske lag i området (se avsnitt 2.1). Å lage en to-lags modell kan derfor ha vært en for stor forenkling av de virkelige forholdene. En annen mulig årsak til oversvømmelsen

nedenfor Langsletta er for mye grunnvannsmating/avrenning i modellen, enten ved en for høy trykkehøyde ved Glomma eller ved en for høy trykkehøyde ved Langsletta. Noe av grunnvannet kan også strømme mot sør i modellen. En annen grunn til feil kan være ukorrekt løsmassedybde ettersom det ikke er mange undersøkelsesbrønner i dette området.

5.2.5 Avrenning fra øvre nedbørsfelt

Fra GPR undersøkelsene i felt ble det ikke registrert noe grunnvannsspeil i øvre nedbørsfelt (se vedlegg C.2). Løsmassene i øvre nedbørsfelt var heller ikke særlig tykke. Det var imidlertid enkelte myrområder der og mange små bekkeløp. Modellresultatene ble også bedre når avrenning fra øvre nedbørsfelt var overflateavrenning og ikke grunnvannsmating. Det er derfor gått utfra at de meste av avrenning som kommer fra øvre nedbørsfelt er overflateavrenning, men det utelukkes ikke at noe av avrenningen fra øvre nedbørsfelt også er grunnvannsmating. Særlig helt i vest i grensen mellom øvre og nedre nedbørsfelt må noe av avrenningen fra øvre nedbørsfelt komme ned som grunnvannsmating for at det i det hele tatt skal være grunnvann her.

Sørvestlig del av modell er tørr lagt når avrenning fra øvre nedbørsfelt kommer som overflateavrenning. Dette området er preget av myr i virkeligheten (Kartverket, 2019b). Dette tyder på at grunnvannet som er i dette området er stillestående. Det at programmet tørrlegger denne delen i modellen ved bruk av kun overflateavrenning, vil ikke ha så mye å si for resultatene ellers i området, da grunnvannsmatingen fra/til denne delen av nedbørsfeltet trolig er minimal i virkeligheten.

Det kan ha vært feil å beregne at avrenningen i øvre nedbørsfelt er like stor som grunnvannsmatingen i nedre nedbørsfelt. En endret vegetasjon er med på å gjøre avrenningen i øvre nedbørsfelt høyere enn avrenningen i nedre nedbørsfelt. I tillegg til forskjellig vegetasjon er også løsmassedybden i øvre del av nedbørsfeltet betydelig mindre enn løsmassedybden i nedre (modellerte) del av nedbørsfeltet. Dette forklarer hvorfor det ikke er mettet sone med stor mektighet i øvre del av nedbørsfeltet, ettersom det er lettere for vannet fra dette området å fordampe da det ligger nærmere overflaten (Hendriks, 2010).

5.2.6 Pumping ved Elverum vannverk

Resultatene fra modelleringen viser at Elverum vannverk ikke klarer å pumpe opp vann fra alle sine fire brønner med en pumpehastighet på $-0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ samtidig hvis den mettede vannledningsevnen er 0,00015. Dette stemmer ikke med virkeligheten. I vannbalansen kommer det frem at mer vann går inn i modellen enn det som går ut. Da er heller ikke dette

årsaken til tørrlegging av brønnene. Muligens er den mettede vannledningsevnen blitt satt til for lave verdier. Dette kan ha gjort at modellresultatene ikke tilsvarer det reelle scenarioet.

5.3 Årsvariasjoner

Det er usikkert om årsvariasjonene av trykkehøyden til Glomma ved vannverket er like dem som er 3,5 km nedenfor ved Skogmuseet. En særlig grunn til dette er at Elven deles opp ved Skogmuseet. Det er ikke funnet noen loggere som har loggført grunnvannsstanden, elvevannføringen eller trykkehøyden ved Langsletta over et helt år eller lenger i det modellerte området. Dette gjør det vanskelig å beregne hvor stor årsvariasjonen er i området, slik at mye er beregnet ved hjelp av litt gjetting.

Året 2018 er ikke det samme som et normal-år da sommeren var ekstremt varm og nedbørsfattig (Skaland et al., 2019). Grunnvannsmatingen fra modelltoppen burde da ha vært mindre, særlig i vår og sommertidsrommet. Årlig grunnvannsmating er lavt i modellen da normal grunnvannsmating er 200 – 400 mm/året mens modellen har en grunnvannsmatning på 200 mm/år, men den kunne ha blitt satt enda mer ned.

Punkt 7.(33,15,2)/obs.7 var fem meter lavere i modellen enn det målt i felt (figur 4-9). Muligens er dette fordi det ikke er tatt med en grunnvannsmating fra nord i denne modellen. Hadde det blitt tatt med grunnvannsmating fra nord i modellen ville sannsynligvis modellert grunnvannsstand i dette området blitt høyere. Hadde det i tillegg vært en grunnvannsmating mot sør ville modellvannspeilet i område B, C og D antakelig blitt lavere.

5.4 Forurensningsproblematikk

Det finnes flere forurensningskilder i området. (1.) Industriområdet kan bidra til forurensning av organisk materiale, nitrogen, oljeprodukter, tungmetaller og kjemikalier/mikroforurensninger. (2.) Veger kan føre til nitrogen-, olje-, tungmetall- og kjemikalieutslipp, i tillegg til salt og mikroplast utslipp. (3.) Boligområder kan føre til at både organisk materiale, nitrogen, patogene mikroorganismer, oljeprodukter, tungmetaller og kjemikalier blir sluppet ut ved en lekkasje i husholdningsavløpet. I tillegg vil et boligområde øke trafikkmengden i området. (4.) Landbruket virker også forurensende, da det bidrar til forurensning av organisk materiale, patogene mikroorganismer, tungmetaller og kjemikalier. (5.) I tillegg kan luftbårne partikler forurense grunnvannskilden med tungmetaller, kjemikalier og mikroforurensninger. Hvor stor helserisiko som er forbundet med de ulike stoffene

avhenger av giftighet, nedbrytbarhet, mobilitet, løselighet og konsentrasjon (Henriksen, 2015).

I modelleringen ble det valgt å fokusere på forurensning fra den nye og den gamle riksvegen og en eventuell forurensning fra Langsletta.

Jordbruksområdene i nærheten av Langsletta er også til fare for grunnvannskvaliteten til vannverket og ligger nærmere vannverket enn vegen. Det ble ikke fokusert på forurensning fra landbruket da det mest er grunne brønner som er utsatt for forurensning av organisk materiale (Henriksen, 2015). Det er også strenge restriksjoner på hva slags midler som det er lov å bruke nærheten av grunnvannsbrønner.

Togsporene i området ble det heller ikke valgt å fokusere på da disse ligger såpass nært og parallelt med den gamle riksvegen.

Flomproblematikken rundt vannverket er liten ettersom at Glomma sjeldent drar med seg organisk materiale, finstoff og forurenset vann inn i grunnvannsområdet på grunn av flom.

Saltholdig avrenning fra den gamle riksvegen kan være en trussel på vannkvaliteten ved pumpestasjonen og vil mest sannsynlig akkumuleres i området ved årlig salting av vegen. Selv om saltkonsentrasjonen akkumuleres vil konsentrasjonen være så lav at det vil ta mer en ti år før saltkonsentrasjonen i grunnvannet blir en reel trussel på vannkvaliteten.

Det vil ta veldig lang tid før en forurensning fra den nye riksvegen når vannverket. En mer reel situasjon er at forurensning fra den nye vegen renner ned til Langsletta via nærmeste elveløp, og forurenser drikkevannet fra innsjøen, men dette vil også ta klart mye lengre tid enn en forurensning fra den gamle riksvegen. Langsletta kan også bli forurenset av andre ting enn den nye riksvegen, for eksempel boligområde vest for innsjøen.

5.5 Forslag til nye beskyttelsessoner

I forhold til figur 1-1 er det modellerte resultatet ganske forskjellig. Begge figurene viser et grunnvannsspeil som går ned til Glomma, og begge figurene har satt høyden ved Langsletta til rundt 189 m.o.h. Trykkehøyden ved Glomma er meget forskjellig. Mens figur 1-1 har en endring i trykkehøyde ved Glomma fra 185 til 176 meter har modellen en trykkehøyde rundt 181,5-180,1 meter i det samme området. Hvorfor figur 1-1 har en så stor endring i trykkehøyde ved Glomma er uklart. Muligens grunnvannsspeilet ved elven går litt nedenfor elvevannstanden. Dette er f.eks. registrert på Gulløysmoen i Alvdal, 150 km lengre opp i Glomma. Figur 1-1 viser også en kraftig gradient på grunnvannsspeilet ned fra Langsletta.

Diskusjon

Dette er sannsynlig mer likt de naturlige forholdene enn det modellerte grunnvannsspeilet. Figur 1-1 viser også det er noe grunnvannsmating fra nord og mot sør, særlig i nærheten av Glomma.

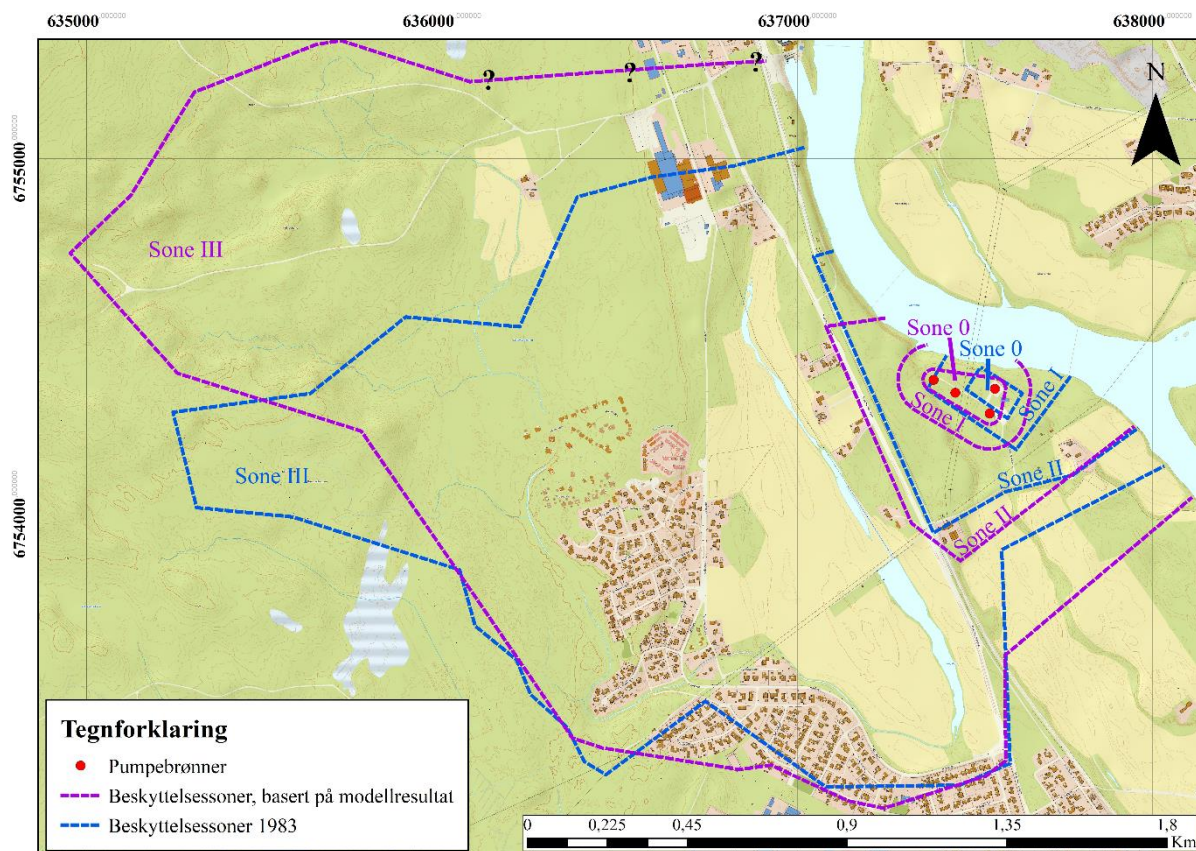
Haugen (2015) har et kart over dybde til grunnvannsspeil som også går kraftig ned øst for Langsletta (se vedlegg B-4). Dette grunnvannskartet viser at grunnvannsspeilet går oppover mot Glomma etter nedsynkningen øst for Langsletta. Dette stemmer ikke med det som er observert i felt.

Ut fra vannstadskvotene i modellen er det mulig å lage nye beskyttelsessoner for området. Vannstandskvotene vil da være basert på observasjoner i felt og modellresultat. Det er ikke tatt i betraktning at sonegrensene bør følge eiendomsgrenser eller naturlige grenser slik som Knudsen (1983) har gjort.

Etter nøye betenkning ble det funnet ut at det var figur 4-6 som best illustrerte den naturlige grunnvannsstanden i området. Sammenlignet med denne grunnvannstanden gikk sone III i beregningene fra 1983 litt lengre mot nord på sørlig side av vannverket. Fra Langsletta og opp til myrområde hadde de to soneinndelingsforslagene ganske like resultat. Verken beskyttelsessonene fra 1983 eller modellresultatet hadde tatt med myren i nord som en del av sone III, selv om dette er en del av det topografisk bestemte nedbørsfeltet. Den øverste delen av sone III har Knudsen (1983) satt litt lenger sør enn det nye forslaget. Modell 4-7 viser at grunnvannsakviferen strekker seg litt lenger mot nord, da det her er en strømningsrate fra nord men det er usikkert hvor mye ettersom dette området ligger utenfor modellert område.

Diskusjon

Soneinndelingen her er derfor basert på topografi og etter elveløpene på kartet som renner ned til Langsletta.



Figur 5-2 Forslag til nye beskyttelsessoner sammenlignet med beskyttelsessoner fra 1983

Sone II er basert på strømningslinjene i figur 4-11, 4-14 og 4-16. Disse figurene viser ganske klare forskjeller mellom de strømningslinjene som vil renne ned til pumpebrønnene og der det er mindre sannsynlighet for strømningslinjene til å nå vannverksområde. Det er ikke store forskjeller mellom det nye forslaget til beskyttelsessone II og det som brukes annet enn at det brukte strekker seg litt lenger mot nord.

Siden en forurensning fra den gamle vegen brukte 120 dager fra veg til nærmeste pumpestasjon og strekningen mellom veg og nærmeste pumpe er 200 meter, kan sone I tenkes å være 100 meter vekke fra pumpestasjonen. Denne sonen var litt lenger sør enn på kartet fra 1983. Det ser ut som om kartet fra 1983 ikke har helt de rette koordinatene på pumpebrønnene da pumpebrønnene ligger delvis utenfor sone I og sone 0. Avstanden fra sone I til sone II er imidlertid ganske lik i grensesettingen fra 1983 og det nye forslaget.

6 Konklusjon

Beskyttelsesonen fra 1983 gjenspeiler det de hydrogeologiske forholdene i stor grad, men det er enkelte ting som kan forbedres. I sone 0 er det i dag fire brønner. Alle de fire brønnene bør inngå på kartet med sonegrense 0 tegnet rundt. Sone I ser ut til også å være utfor noen av brønnlokalisationene. Til fremtidig arbeid i området kan det være en ide å se nærmere på om oppholdstiden fra denne sonen faktisk er 60 døgn. Det er mulig sone II burde ha flyttet seg litt lenger mot i sør det i forhold til figur 4-16. Sone III burde også ha vært lagt litt lengre mot nord på nordlig side av vannverket (se figur 5-2).

Modelleringsarbeidet som ble lagt til grunn ga en dypere forståelse av de hydrogeologiske forholdene i nærheten av Elverum vannverk. Området er preget av elver og innsjø som mater grunnvannsmagasinet samtidig som det får grunnvannsmating fra nedbøren som faller i området. Sannsynligvis er det også en grunnvannsmating fra nord til sør i området. Mettet vannledningsevne er høyere i dypere lag enn på overflaten.

6.1 Anbefalinger til videre arbeid

For å få en bedre forståelse av grunnvannsstrømningen i området bør flere loggere legges ut, slik at det kan måles endring i grunnvannsstand over et år eller lenger. Det vil være hensiktsmessig å ha loggere som kan stå ute over flere år slik at de kan følge svingninger over lengre tid og også se effekt av flom.

Det bør også installeres flere undersøkelsesbrønner. Særlig i nordlig del av området treng det å installeres brønner for å kunne få en dypere forståelse av grunnvannsstrømningen herfra.

Det bør også sees mer på hvordan vyredoxmetoden påvirker grunnvannskvaliteten. Bruk av vyredox har gitt gode resultater i Elverum mens det på andre pumpeverk ikke har fungert på bra. Det er en lite utprøvd metode i Norge. Derfor må det undersøkes videre hvordan metoden fungerer under norske forhold (Ahmad, 2012; Hilmo & Storrø, 2000).

Litteraturliste

- Ahmad, M. (2012). *Iron and Manganese removal from groundwater Geochemical modeling of the Vyredox method*. Masteroppgave. Oslo: Universitetet i Oslo. Tilgjengelig fra: https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/12540/Mansoor_Masterxthesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y (lest 10.05.2019).
- Arkitektbua as. (2014). *Planbeskrivelse Detaljregulering Slåttmyrbakken nord Alternativ 2 PlanID 2012012 Elverum kommune PlanID 2012012* Tilgjengelig fra: <http://kart.esol.no/webinnsyn/Content/plandialog/GetGIplanregisterFil.aspx?systemid=32dc3952517b4b4781bc0e1a9931a436&k=427&arkivnavn=> (lest 15.03.2019).
- Arkitektbua as. (2015). *Detaljregulering Slåttmyrbakken II, Arealplan-ID 2012012, Elverum kommune*. Tilgjengelig fra: <http://kart.esol.no/webinnsyn/Content/plandialog/GetGIplanregisterFil.aspx?systemid=3a2edc9d60704295b72726ddda907cbe&k=427&arkivnavn=> (lest 15.03.2019).
- Braester, C., Martinell, R. J. W. S. & Technology. (1988). The Vyredox and Nitredox methods of in situ treatment of groundwater. 20 (3): 149-163.
- Elverum kommune. (2010). *Elverum kommune kommuneplan 2010 - 2022 samfunnsdel "ELVERUM MOT 2030"* Elverum kommune kommuneplan 2010 - 2022. Tilgjengelig fra: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/cdn.elverum.kommune.no/files/Planer-og-strategier/Kommuneplan-20102022-samfunnsdel.pdf> (lest 28.02.2019).
- Elverum kommune. (2014). *Hovedplan vann og avløp 2015-2024* Tilgjengelig fra: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/cdn.elverum.kommune.no/files/Planer-og-strategier/Hovedplan-vannforsyning-og-avloep-2015-2024.pdf> (lest 25.03.2019).
- Elverum kommune. (2018). *Kommuneplan*. Tilgjengelig fra: <https://www.elverum.kommune.no/politikk/kommuneplan> (lest 29.01.2019).
- Engen, G. (2019). *Arbeidsleder-vann* (e-post til Per Aagaard 26.02.2019).
- Esri. (2019). ArcGIS. Tilgjengelig fra: <https://www.arcgis.com/home/index.html> (lest 10.03.2019).
- Essink, G. H. P. O. (2000). L4018/GWM 1 Groundwater Modelling. 201.
- Fjelstad, K. (2000). *Flomsonekart Delprosjekt Elverum*. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/flomsonekart/2000/flomsonekart2000_03.pdf (lest 10.05.2019).
- Folkehelseinstituttet. (2016). *Vannrapport 127 Vannforsyning og helse - veiledning i drikkevannshygiene* Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/contentassets/10f6285109df44af96a0de9dd283c5ed/vannrapport-127---vannforsyning-og-helse.pdf> (lest 10.05.2019).
- French, H. K. (2019). *Field course Elverum2018* Elverum: NMBU. Upublisert manuskript.
- Gaut, A., Klemetsrud, T. & Rohr-Torp, E. (1981). *Elverum : beskrivelse til vannressurskart "Grunnvann i løsavsetninger" - blad 2016 IV, 1:50 000*. Meddelelser fra Vannboringsarkivet. Spesielle rapporter, b. 31. Oslo: Norges geologiske undersøkelse, (NGU).
- Geonorge. (2019a). *Norge i Bilder WMS-Ortofoto*. I: Kartverket (red.). Tilgjengelig fra: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/norge-i-bilder/norge-i-bilder-wms-ortofoto/dcee8bf4-fdf3-4433-a91b-209c7d9b0b0f> (lest 29.01.2019).
- Geonorge. (2019b). *Topografisk Norgeskart*. I: Kartverket (red.). Tilgjengelig fra: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/kartverket/topografisk-norgeskart/f004268c-d4a1-4801-91cb-daa46236fab7> (lest 29.01.2019).

- Gottschalk, L., Jensen, J. L., Lundquist, D., Solantie, R. & Tollan, A. (1979). Hydrologic regions in the Nordic countries [runoff, Denmark, Sweden, Norway, Finland]. 10 (5): 273-286.
- Hansen, L., Rohr-Torp, E., Tønnesen, J. F., Rønning, J. S. & Måring, E. (2005). Grunnvann og grunnvarme fra dype dalfyllinger langs Glåma
- NGU-rapport, 2002.082.
- Harbaugh, A. W. (2005). MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—the Ground-Water
- Flow Process U.S. Geological Survey, Techniques and Methods 6-
- A16: variously p.
- Haugen, T. (2015). Kartlegging av dybde til fjell i Elverum sentrum og geologisk beskrivelse til videre bruk i 3D-modell.
- Heidenstrøm, B. & Colleuille, H. (2000). *Beskyttelsessoner rundt grunnvannsverk : fastsettelse av beskyttelsessoner rundt grunnvannsverk ved bruk av modellverktøy : et tilfellestudie på Gulløymoen, Alvdal kommune*. Dokument. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat, (NVE). Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/dokument/2000/dokument2000_21.pdf (lest 10.05.2019).
- Hendriks, M. (2010). *Introduction to physical hydrology*: Oxford University Press.
- Henriksen, H. (2015). Kompendium GE482 Innføring i hydrogeologi.
- Hillestad, G. & Melleby, P. (1972). NGU Rapport nr. 1135 Seismisk undersøkelse Grindalsmoen, Elverum, Hedmark.
- Hilmo, B. O. & Kalskin, R. (1999). Kartlegging av potensialet for grunnvarmeuttak fra løsmasser i Elverum. NGU: 63.
- Hilmo, B. O. & Storror, G. (2000). Prøvepumping av grunnvannsbrønner på Eide, Hemne kommune. NGU, 2000.082.
- Høgaas, F. & Longva, O. (2016). Mega deposits and erosive features related to the glacial lake Nedre Glomsjø outburst flood, southeastern Norway. *Elsevier*, 151: 273-291. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.09.015>.
- Inkscape. (2019). *Inkscape Draw Freely*. Tilgjengelig fra: <https://inkscape.org/> (lest 10.03.2019).
- Jenssen, P. (2018). *Field methods hydrogeology Infiltration test*. Elverum: Universitetet for miljø- og biovitenskap (Metodebeskrivelse, feltkurs 20.06.2018).
- Kartverket. (2019a). *Høydedata og terrengmodeller fra kartverket*. Tilgjengelig fra: <https://www.kartverket.no/data/Hoydedata-og-terrengmodeller/> (lest 10.03.2019).
- Kartverket. (2019b). *Norgeskart*. Tilgjengelig fra: https://www.norgeskart.no/?_ga=2.13666815.93665580.1552221107-1339095622.1550920034#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=11&lat=6757444.35&lon=312946.96&markerLat=6757450.052052765&markerLon=310636.39516902476&panel=searchOptionsPanel&sok=Svenkerud (lest 10.03.2019).
- Kharal, N. (2017). *Hydrogeological condition at the water works of Elverum kommune*. Masterthesis. Ås: Norwegian University of Life Sciences, Ås. Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/2497989> (lest 07.05.2018).
- Knudsen, C. H. (1983). Elverum kommune Grunnvannsforsyning Grindalsmoen Beskyttelse av infiltrasjonsområdet for nye grunnvannsbrønner.
- Krogh, T., Weideborg, M. & Ellingsen, K. (1987). *Beskyttelse av grunnvannskilder*. Oslo: Statens institutt for folkehelse.
- Mardal, M. A. (2018). *Storofsen*. SNL. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/Storofsen> (lest 29.01.2019).

Litteraturliste

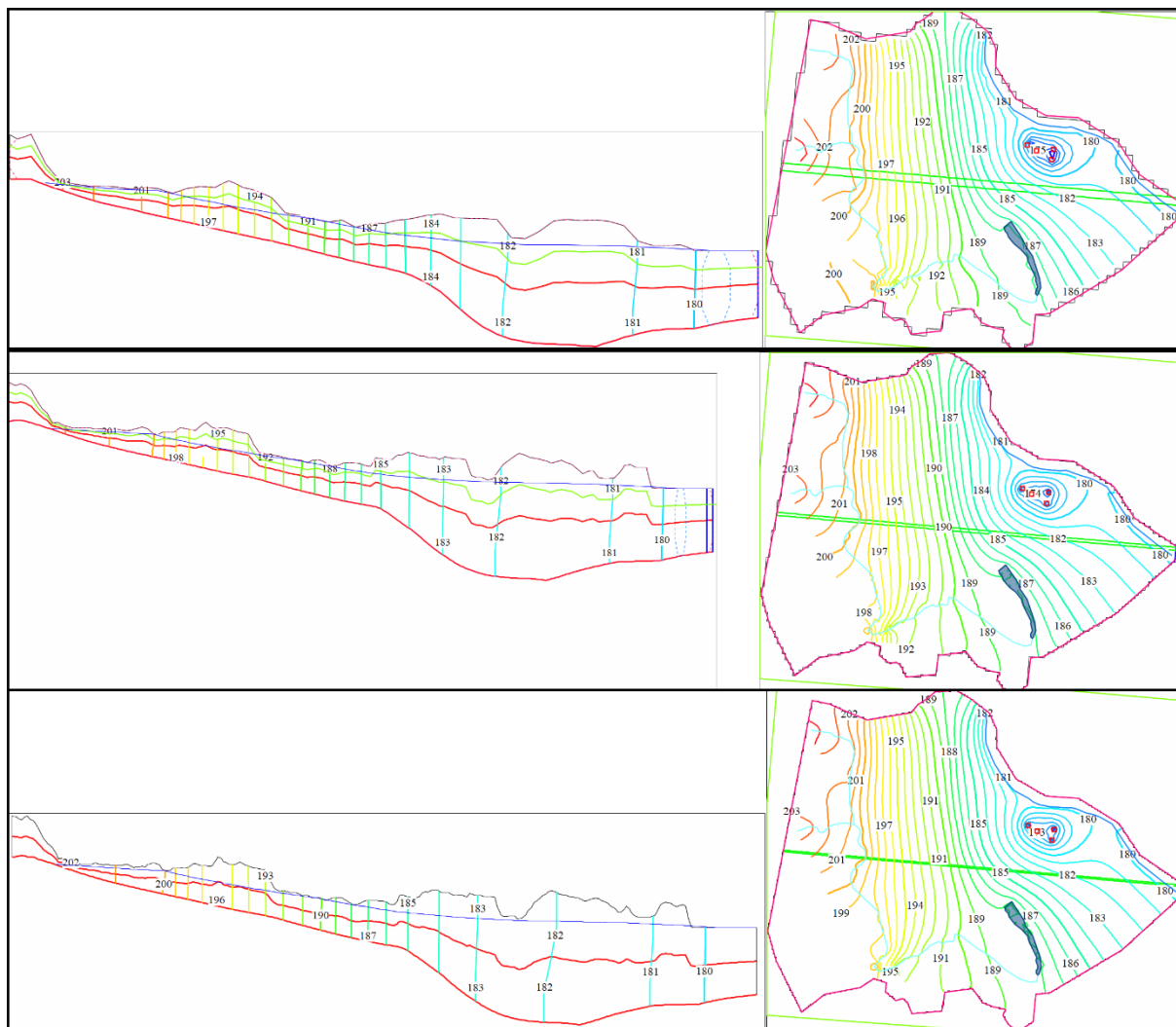
- Mussett, A. E. & Khan, M. A. (2000). *Looking into the earth: an introduction to geological geophysics*: Cambridge University Press.
- NGU. (2019a). *Berggrunn*. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/> (lest 20.01.2019).
- NGU. (2019b). *Generelt om grunnvann*. Tilgjengelig fra: <http://www.ngu.no/grunnvanninorge/alt-om-grunnvann/generelt-om-grunnvann> (lest 29.01.2019).
- NGU. (2019c). *Granada Nasjonal grunnvannsdatabase*. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/granada/> (lest 10.03.2019).
- NGU. (2019d). *Grunnvannskjemi*. Tilgjengelig fra: <http://www.ngu.no/grunnvanninorge/alt-om-grunnvann/grunnvann-i-norge/grunnvannskjemi> (lest 29.01.2019).
- NGU. (2019e). *Løsmasser*. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/> (lest 29.01.2019).
- NIBIO, Statens vegvesen & Statens kartverk. (2019). *Norge i bilder*. Tilgjengelig fra: <https://www.norgebilder.no/?x=312094&y=6756061&level=14&utm=33&projects=916&layers=&plannedOmlop=0&plannedGeovekst=0> (lest 10.03.2019).
- NVE. (2019a). *Klima nå og i framtiden*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/klima/klima-na-og-i-framtiden/> (lest 29.01.2019).
- NVE. (2019b). *Nevina*. Tilgjengelig fra: <http://nevina.nve.no/> (lest 07.03.2019).
- NVE. (2019c). *NVE innsjødatabase*. Tilgjengelig fra: <https://gis3.nve.no/link/?link=innsjodatabase> (lest 01.04.2019).
- NVE. (2019d). *NVE sikringstiltak*. Tilgjengelig fra: <https://temakart.nve.no/link/?link=sikringstiltak> (lest 29.01.2019).
- NVE. (2019e). *Sildre*. Tilgjengelig fra: <http://sildre.nve.no/Sildre/Station/2.1088.0> (lest 25.04.2019).
- NVE, met.no & Kartverket. (2019). *Klima*. I: seNorge.no (red.). seNorge.no. Tilgjengelig fra: <http://www.senorge.no/index.html?p=klima> (lest 10.03.2019).
- Olsen, L., Bergstrøm, B., Sveian, H. & Riiber, K. (2018). Beskrivelse til kvatærgeologisk kart over Hedmark fylke i M 1:300 000. NGU, 2017 042: 41.
- Oppistov, T. G. (2019). *Intervju med grunneier Amund Grindalen*. Elverum (10.03.2019).
- Orkla. (2019). *Matsenteret på Elverum*. <https://www.orkla.no/om-oss/orkla-foods/orkla-foods-norge/vare-fabrikker/matsenteret-pa-elverum/>. Tilgjengelig fra: <https://www.orkla.no/om-oss/orkla-foods/orkla-foods-norge/vare-fabrikker/matsenteret-pa-elverum/> (lest 01.04.2019).
- Plan1. (2018). *PLANbeskrivelse med konsekvensutredning for Grundsetmoen næringspark*, Elverum kommune PLAN-ID: 2017005
- Rossen, E. (2018). *Brukergrensesnitt*. Store norske leksikon, (SNL). Tilgjengelig fra: <https://snl.no/brukergrensesnitt>. (lest 10.03.2019).
- Sandbakken, M. E. (2016). *3-dimensjonal visualisering av grunnvannsmagasinet i Elverum sentrum*. Masteroppgave. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Tilgjengelig fra: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2392939> (lest 08.05.2019).
- Schwartz, F. W. & Zhang, H. (2003). *Fundamentals of ground water*. The Ohio State University: John Wiley & Sons, INC.
- Sjelmo, Å. (2016). RV. 3/rv.25 Løten - Elverum Geoteknisk datarapport Del4, Åkroken - Grundset. 354.
- Skaland, R. G., Colleuille, H., Andersen, A. S. H., Mamen, J., Grinde, L., Tajet, T. T., Lundstad, E., Sidselrud, L. F., Tunheim, K., Hanssen-Bauer, I., et al. (2019). Tørkesommeren 2018. *METinfo*, ISSN 1894-759X.

Litteraturliste

- SNL. (2019a). *esker - geologi*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/esker - _geologi](https://snl.no/esker_-_geologi) (lest 14.04.2019).
- SNL. (2019b). *Glomma*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/Glomma#-Flom> (lest 29.01.2019).
- ssb.no. (2019). *Statistikkbanken Kommunal vannforsyning 11786: Vannkvalitet. Kommunalt drikkevann, etter region, statistikkvariabel og år*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/11786/tableViewLayout1/> (lest 29.03.2019).
- Statens vegvesen. (2012). Reguleringsplan Prosjekt: Rv. 3/rv. 25 Ommangsvollen - Grundset Parsell: Rv. 3 Løten gr. - Grundset Rv. 25 Åkroken - Basthjørnet
- Elverum kommune.
- Stokken, D. O. (2019). *Senior Vice President Corporate Communications and Corporate Affairs* (e-post til Orkla Foods Norge 24.01.2019).
- Sukumar, N., Moran, B., Yu Semenov, A. & Belikov, V. (2001). Natural neighbour Galerkin methods. *International journal for numerical methods in engineering*, 50 (1): 1-27.
- Thoresen, M. K. (1991). *Kvartærgeologisk kart over Norge: tema: jordarter*. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse.
- Tollan, A. (2015). Hvilket kretsløp?
- USGS. (2019a). *ModelMuse: A Graphical User Interface for Groundwater Models*. www.usgs.gov. Tilgjengelig fra: <https://www.usgs.gov/software/modelmuse-a-graphical-user-interface-groundwater-models> (lest 10.03.2019).
- USGS. (2019b). *Modflow and Related Programs*. <https://www.usgs.gov>. Tilgjengelig fra: https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/modflow-and-related-programs?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects (lest 10.03.2019).
- USGS. (2019c). *MT3D-USGS: Groundwater Solute Transport Simulator for MODFLOW*. Tilgjengelig fra: <https://www.usgs.gov/software/mt3d-usgs-groundwater-solute-transport-simulator-modflow> (lest 10.03.2019).
- Visher, G. S. (1969). Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Research*, 39 (3).
- Winston, R. B. (2000). Graphical User Interface for MODFLOW, Version 4. U.S. GEOLOGICAL SURVEY Open-File Report 00-315.
- Wåhlin, J. (2017). Mengderapportering vinteren 2016/2017. *Vegavdelingen, Statens vegvesen*, Nr. 529.
- Zhang, L., Dawes, W. & Walker, G. (2001). Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water resources research*, 37 (3): 701-708.

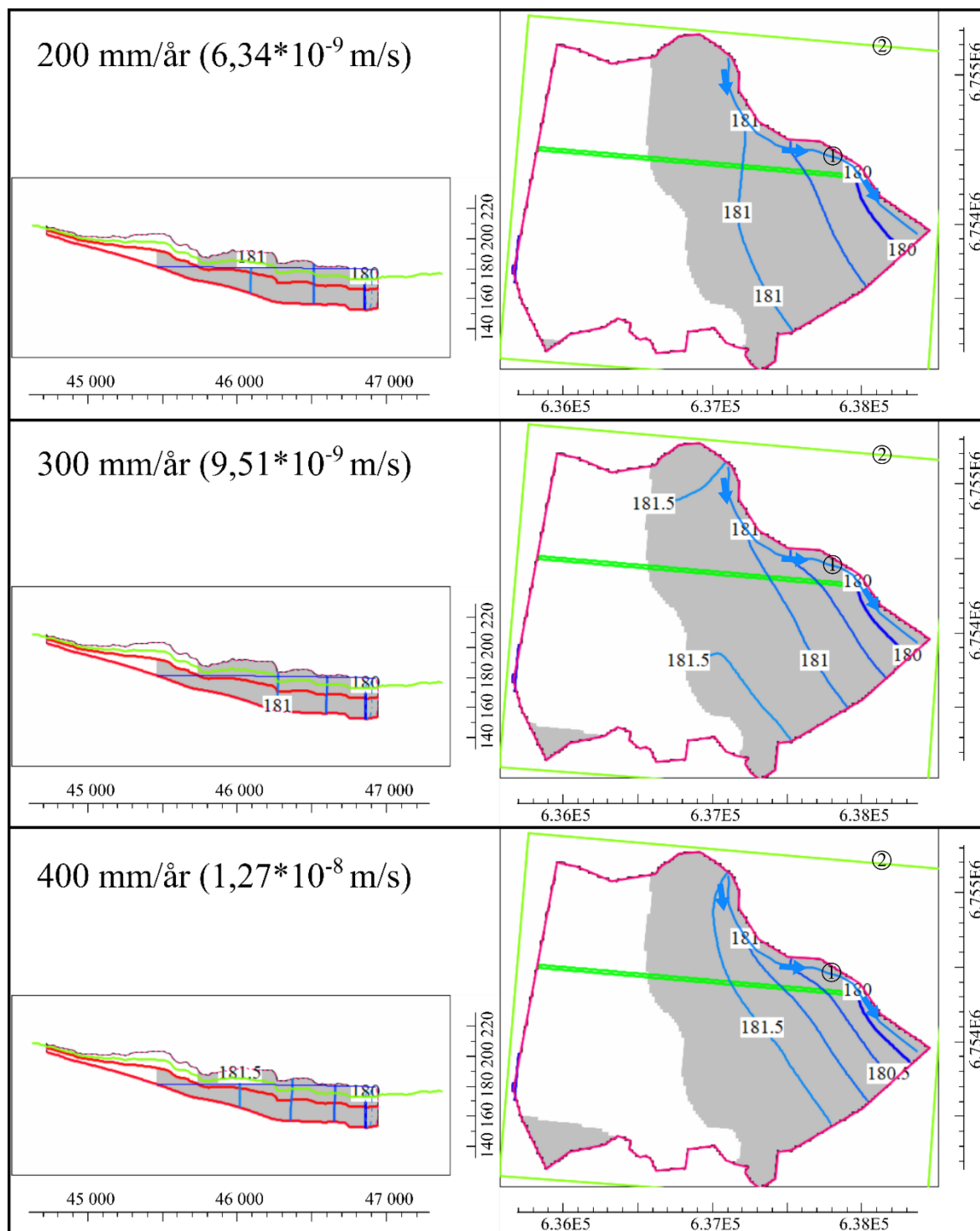
Vedlegg A

Vedlegg A



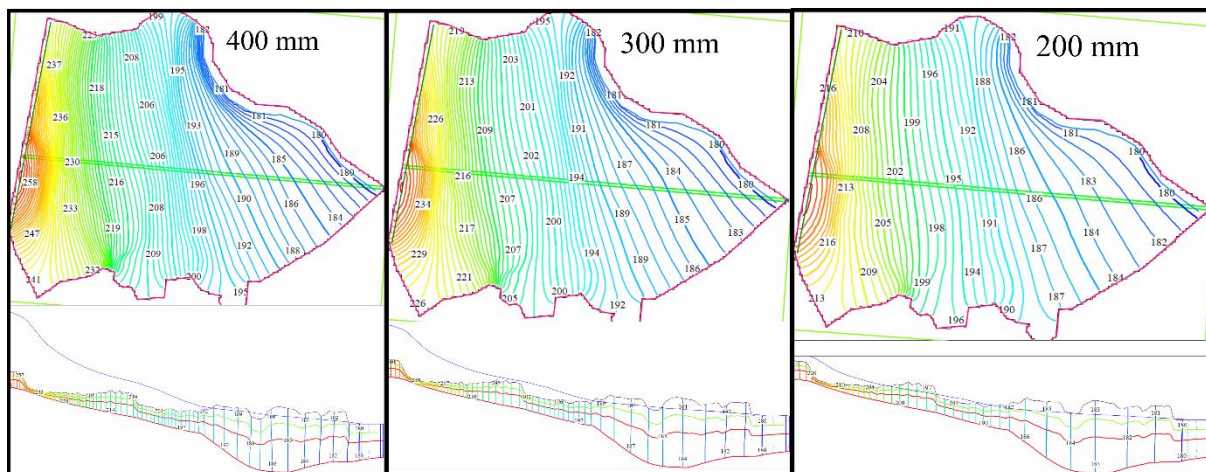
Figur A- 1 Viser hvordan modellen reagerer på ulike rutnett. Figur A (øverst) har ruter på 50 * 50 m, figur B (midterst) har ruter på 20 * 20 m og figur C (nederst) har ruter på 10 * 10 m. Grønn strek i figurene til høyre markere hvor i modellen profilene (venstre) er hentet fra. Zoomet på de profilene er 10X bredere i forhold til lengde.

Vedlegg A



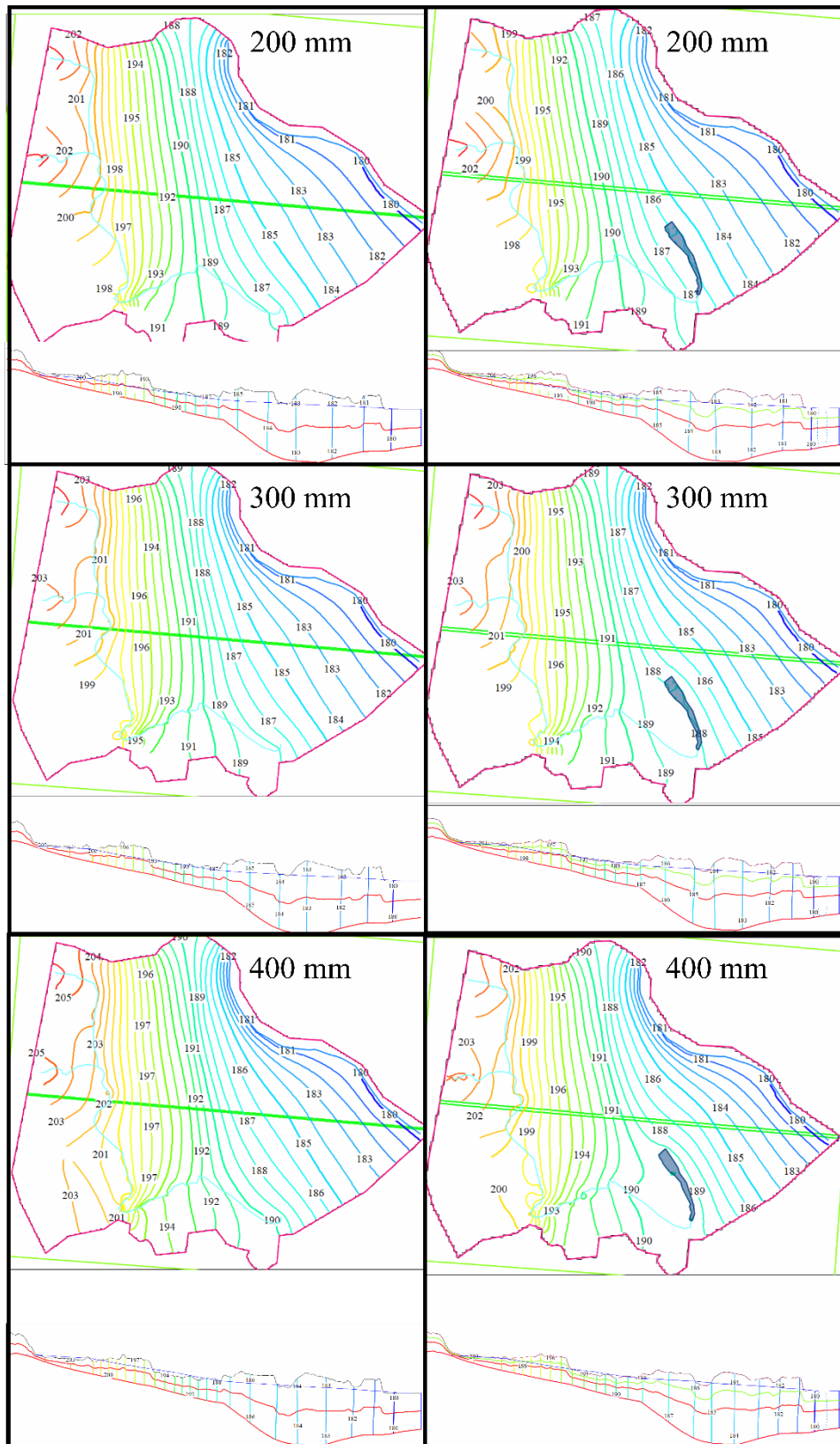
Figur A-2 Den hydrauliske trykkehøyden ved grunnvannsmating fra modelloverflaten på 200 - 400 mm/år og konstant trykkehøyde ved Glomma på 181,5 – 180,1 m.o.h. (grensebetingelse 1 og 2 figur 3-6). Grått felt markerer grunnvannceller mens det vite området er tørre celler. Grønn strek i figurene til høyre markerer hvor i modellen profilene (venstre) er hentet fra. Zoomet på profilene er 10X bredere i forhold til lengde.

Vedlegg A



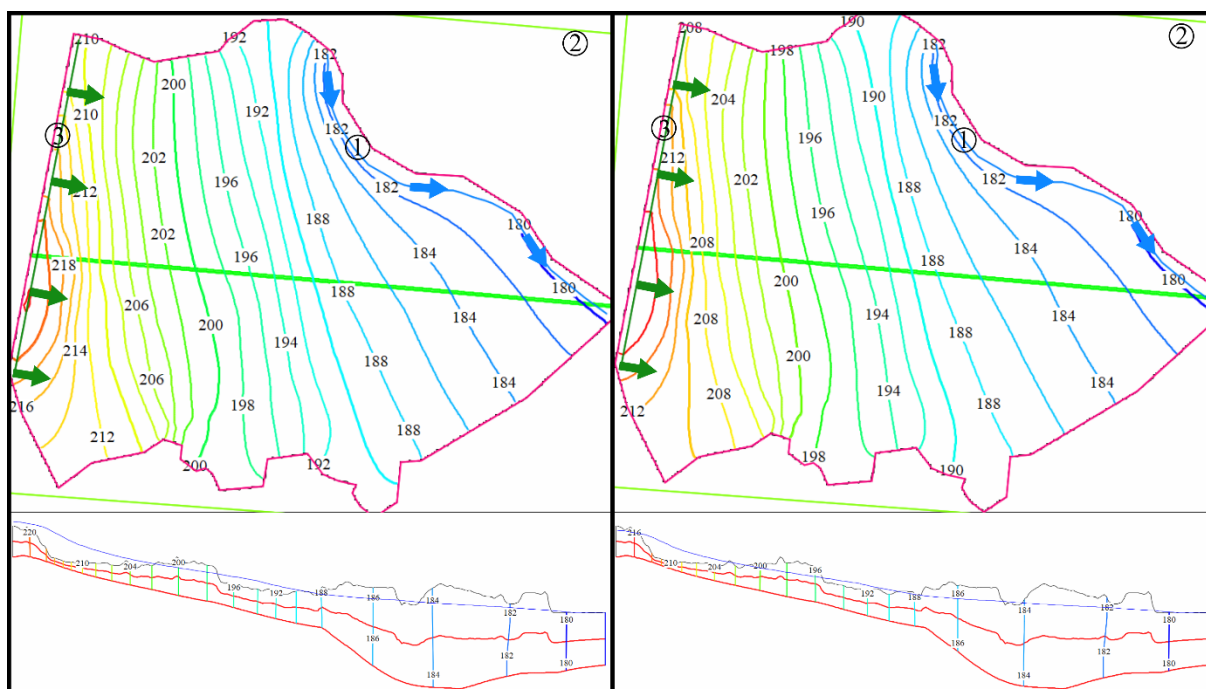
Figur A-3 Viser modellert grunnvannsspeil der avrenning fra øvre nedbørsfelt kommer som grunnvannsinntaking. Venstre: Grunnvannsmating i øvre og nedre nedbørsfelt (grensebetingelse 2 og 3) er 400 mm/år. Midt: Grunnvannsmating i øvre og nedre nedbørsfelt (grensebetingelse 2 og 3) er 300 mm/år. Høyre: Grunnvannsmating i øvre og nedre nedbørsfelt (grensebetingelse 2 og 3) er 200 mm/år. Glomma (grensebetingelse 1) har en konstant trykkehøyde på 181,5 til 180,1 m.o.h i alle figurene. Grønn strek i figurene øverst markerer hvor i modellen profilene er hentet fra. Zoomet på profilene er 10X bredere i forhold til lengde.

Vedlegg A



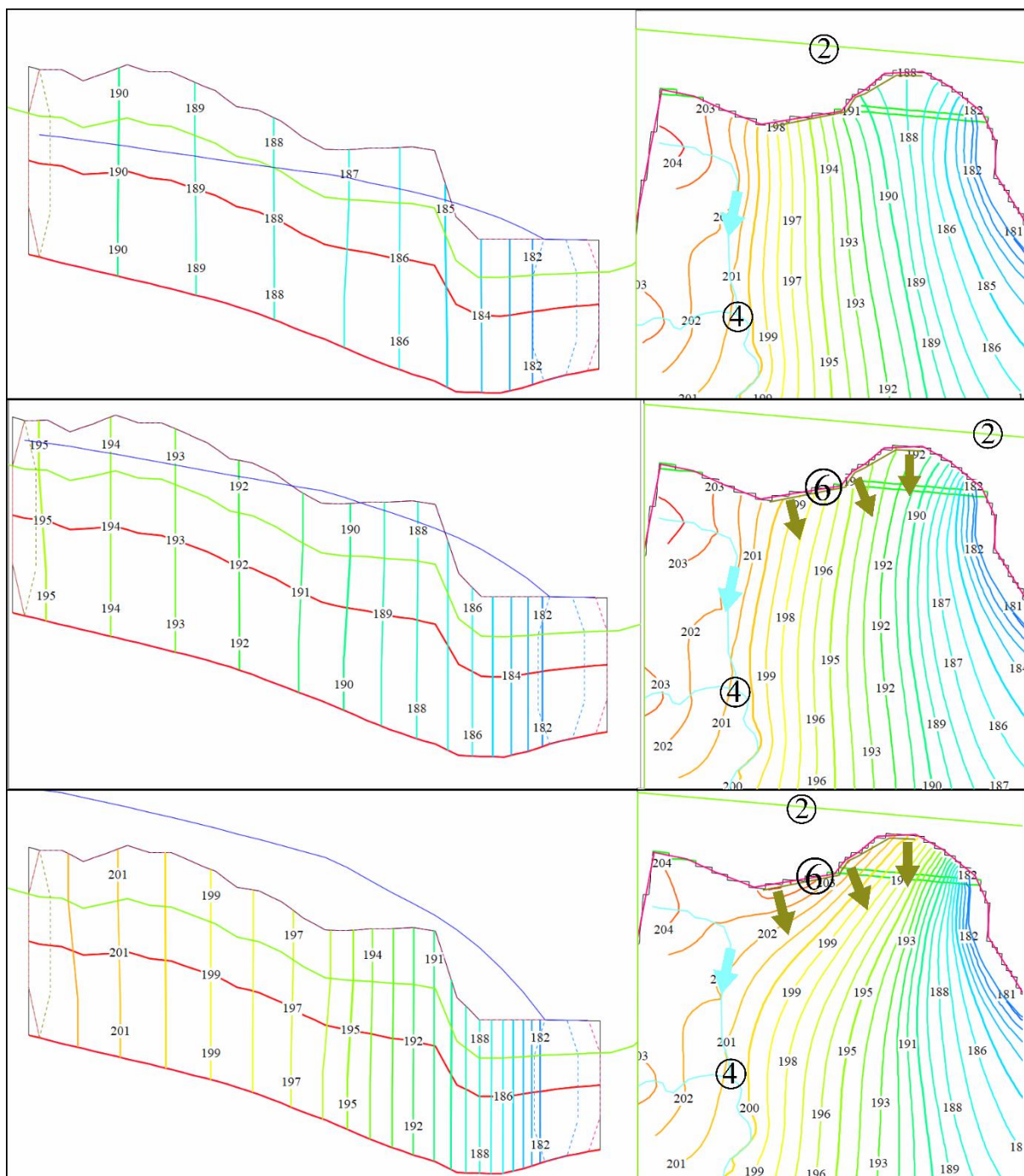
Figur A- 4 Venstre: Viser modellert grunnvannsspeil der avrenning fra øvre nedbørsfelt kommer som overflateavrenning i bekker (grensebetingelse 4). Høyre: Viser modellert grunnvannsspeil der avrenning fra øvre nedbørsfelt kommer som overflateavrenning i bekker og innsjø (grensebetingelse 4 og 5) Øverst: Avrenning til grunnvannsmagasin i øvre og nedre nedbørsfelt (grensebetingelse 2) er 400 mm/år. Midt: Avrenning til grunnvannsmagasin i øvre og nedre nedbørsfelt er 300 mm/år. Nederst: Avrenning til grunnvannsmagasin i øvre og nedre nedbørsfelt er 200 mm/år. Glomma (grensebetingelse 1) har en konstant trykkehøyde på 181,5 til 180,1 m.o.h i alle figurene. Grønn strek i figurene øverst markerer hvor i modellen profilene er hentet fra. Zoomet på profilene er 10X bredere i forhold til lengde.

Vedlegg A



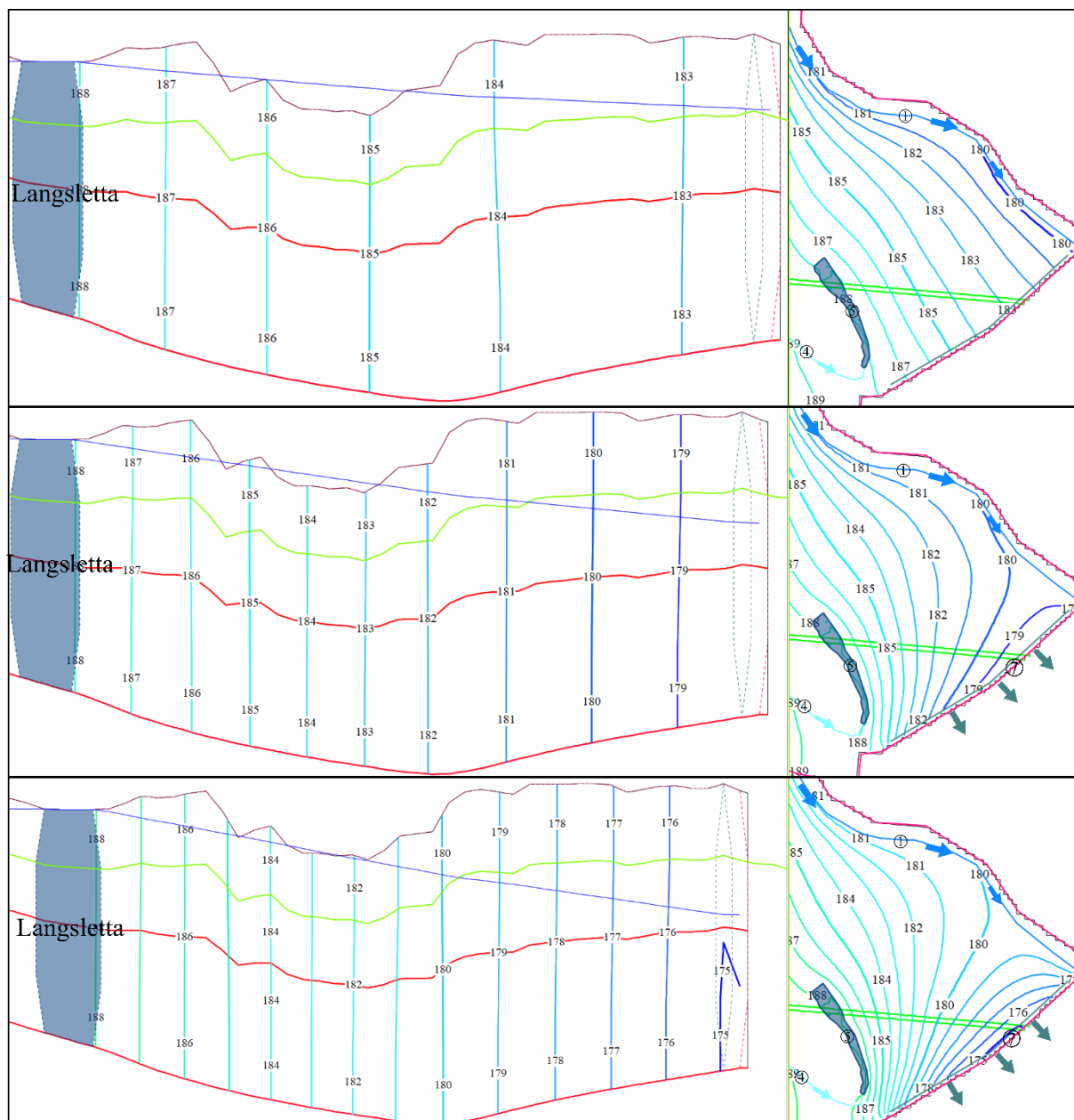
Figur A-5 Grunnvannsmatingen i øvre nedbørsfelt er lavere enn grunnvannsmatingen i nedre nedbørsfelt på grunn av endret vegetasjon (Zhang et al., 2001)(tabell 3-7). Venstre: Grunnvannsmatingen fra øvre nedbørsfelt (Grensebetingelse 3) er 330 mm/år og avrenning fra modelloverflaten / nedre nedbørsfelt (grensebetingelse 2) er 406 mm/år. Høyre: Grunnvannsmatingen fra øvre nedbørsfelt (Grensebetingelse 3 figur 3-8) er 284 mm/år og avrenning fra modelloverflaten / nedre nedbørsfelt (grensebetingelse 2 figur 3-8) er 371 mm/år. Glomma (grensebetingelse 1 figur 3-8) har en konstant trykkehøyde på 181,5 til 180,1 m.o.h i begge figurene. Grønn strek i øverste bilde markerer hvor i modellen profilene er hentet fra. Zoomet på profilene er 10X bredere i forhold til lengde.

Vedlegg A



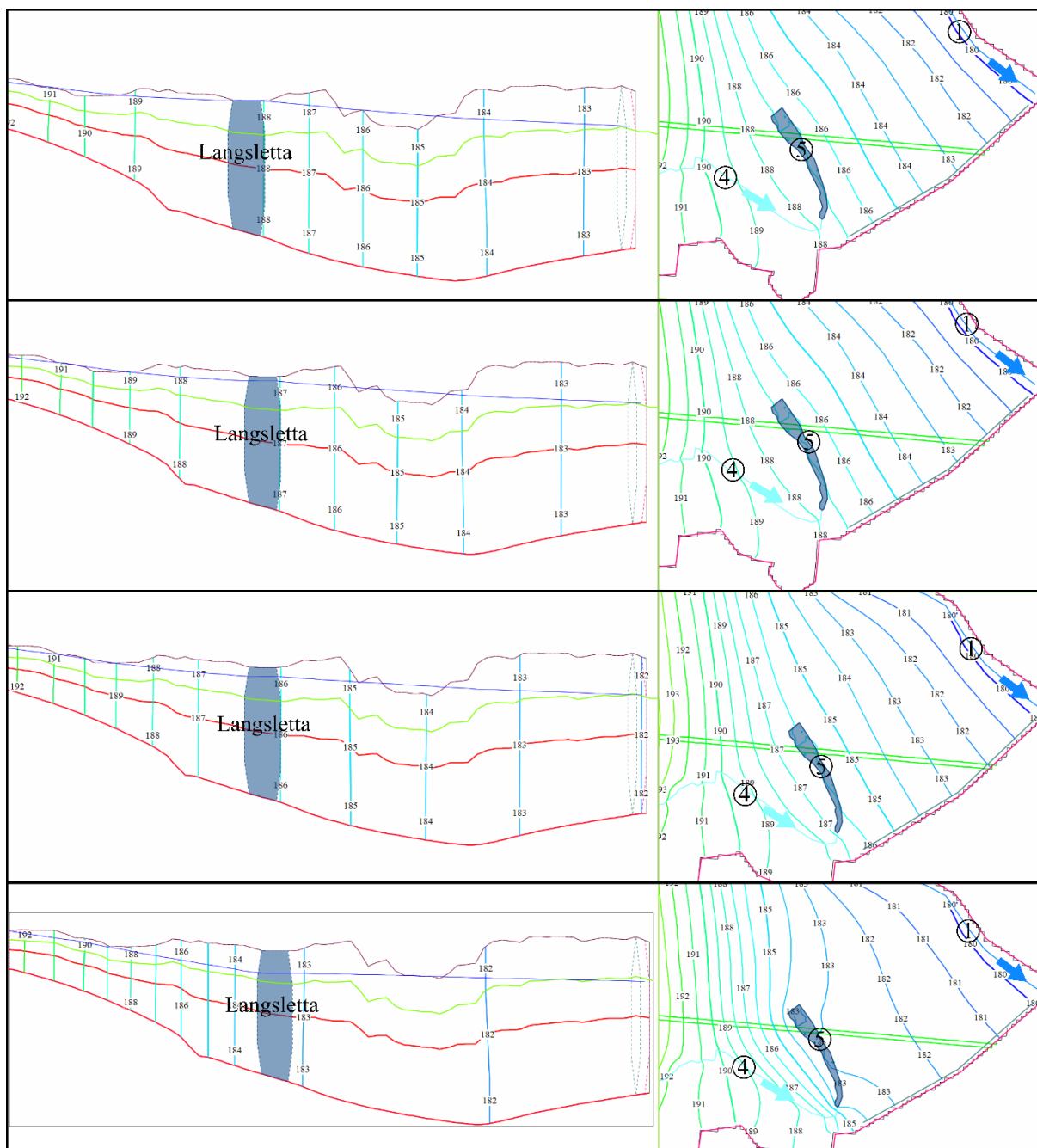
Figur A-6 Hvordan området i nord ser ut hvis det strømmer inn vann fra nord (Grensebetingelse 6). Figur A (Øverst) Har en q -verdi på 0 m/s fra grense nord. Figur B (Midterst) Har en q -verdi på $1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ fra grense nord. Figur C (Nederst) Har en q -verdi på $3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ fra grense nord. Glomma (grensebetingelse 1) har en konstant trykkehøyde på 181,5 til 180,1 m.o.h i alle figurene. Grunnvannsmating fra modelloverflaten (grensebetingelse 2) er på $9,52 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$. Elveløpene (grensebetingelse 4) er definert med vannmengde på 6 cm og ledningsevnen på 0,0001/m. Langsletta (grensebetingelse 5) har trykkehøyde på 189 m.o.h. Grønn strek i figurene til høyre markerer hvor i modellen profilene (venstre) er hentet fra. Zoomet på profilene er 10X bredere i forhold til lengde.

Vedlegg A



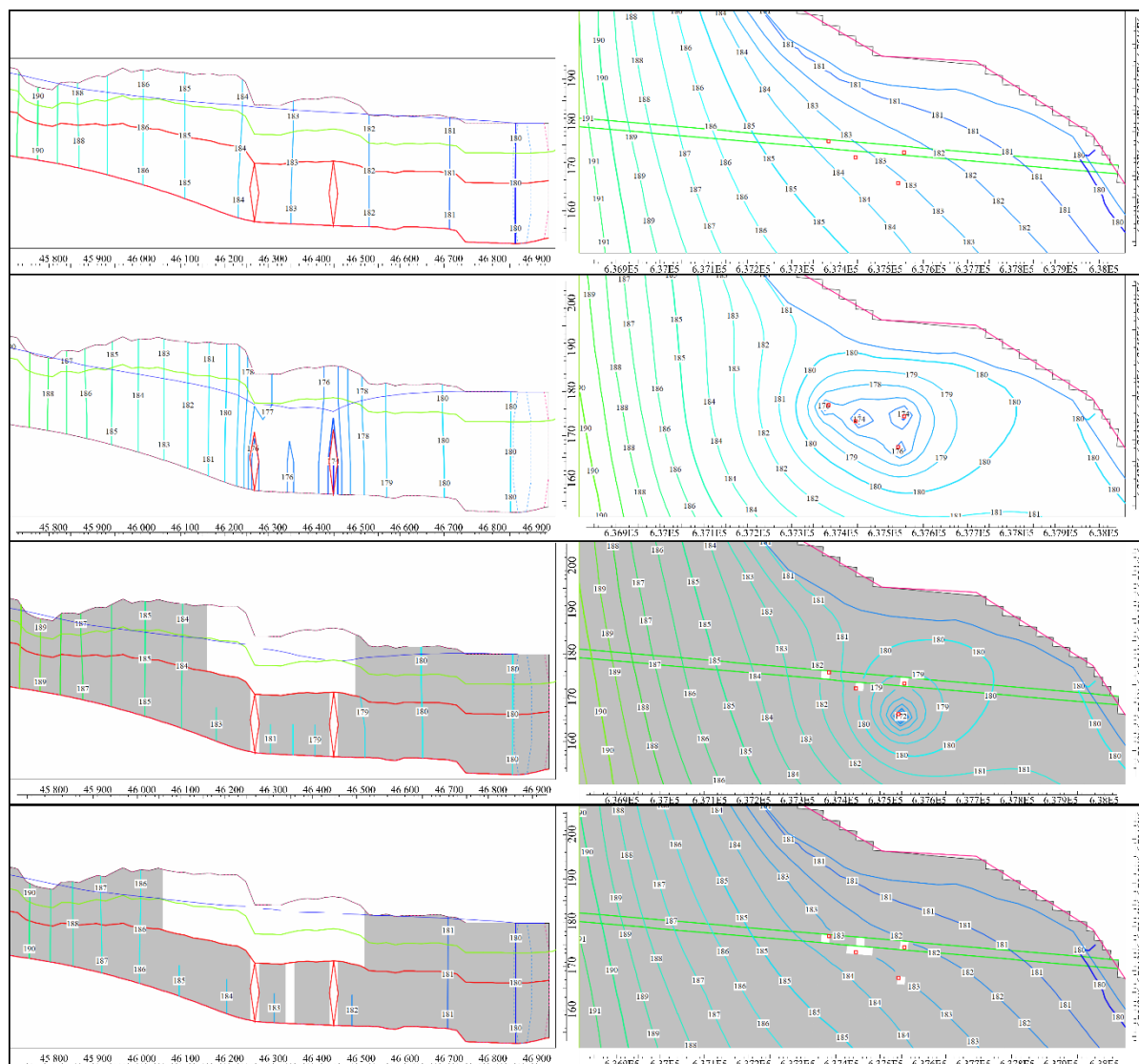
Figur A-7 Hvordan figuren ser ut med grunnvannsmating mot sør (grensebetingelse 7 figur 3-6). Figur A (Øverst) Har en q -verdi på 0 m/s mot sør. Figur B (Midterst) Har en q -verdi på $1,5 \cdot 10^{-6}$ m/s mot sør. Figur C (Nederst) Har en q -verdi på $2,5 \cdot 10^{-6}$ m/s fra grense nord. Glomma (grensebetingelse 1) har en konstant trykkehøyde på 181,5 til 180,1 m.o.h i alle figurene. Grunnvannsmating fra modelloverflaten (grensebetingelse 2) er på $9,52 \cdot 10^{-9}$ m/s. Elveløpene (grensebetingelse 4) er definert med vannmengde på 6 cm og ledningsevnen på 0,0001/m. Langsletta (grensebetingelse 5) har trykkehøyde på 189 m.o.h. Grønn strek i figurene til høyre markerer hvor i modellen profilene (venstre) er hentet fra. Zoomet på profilene er 10X bredere i forhold til lengde.

Vedlegg A



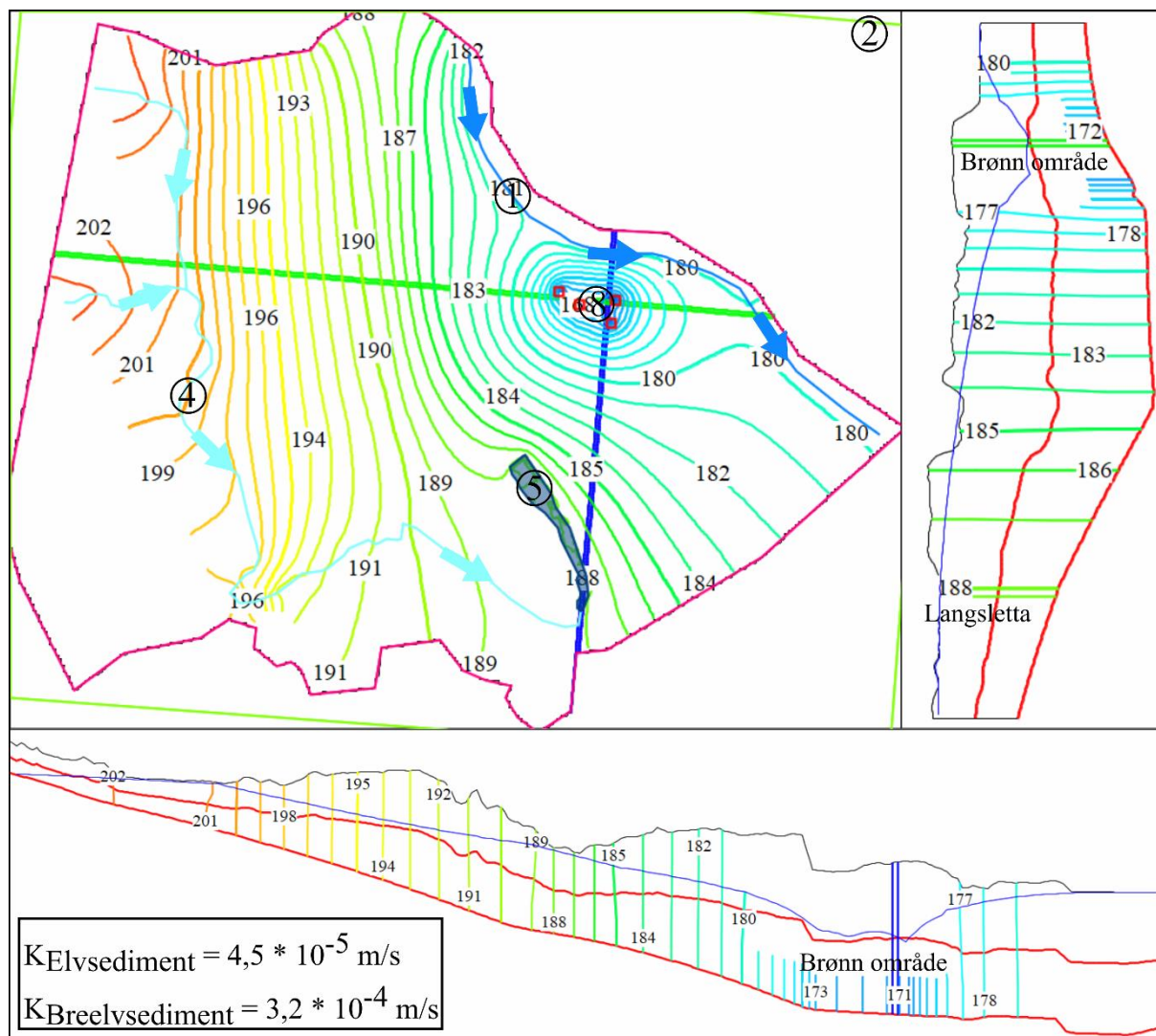
Figur A-8 Hvordan modellen ser ut med ulik trykkehøyde ved Langsletta (grensebetingelse 5). Fra øverste til nederste figur: Trykkehøyde til Langsletta er 189, 188, 187 og 182 meter. Glomma (grensebetingelse 1) har en konstant trykkehøyde på 181,5 til 180,1 m.o.h i alle figurene. Grunnvannsmating fra modelloverflaten (grensebetingelse 2) er på $9,52 \cdot 10^{-9}$ m/s. Elveløpene (grensebetingelse 4) er definert med vannmengde på 6 cm og ledningsevnen på 0,0001/m. Langsletta (grensebetingelse 5) har trykkehøyde på 189 m.o.h. Grønn strek i figurene til høyre markerer hvor i modellen profilene (venstre) er hentet fra. Zoomet på profilene er 10X bredere i forhold til lengde.

Vedlegg A



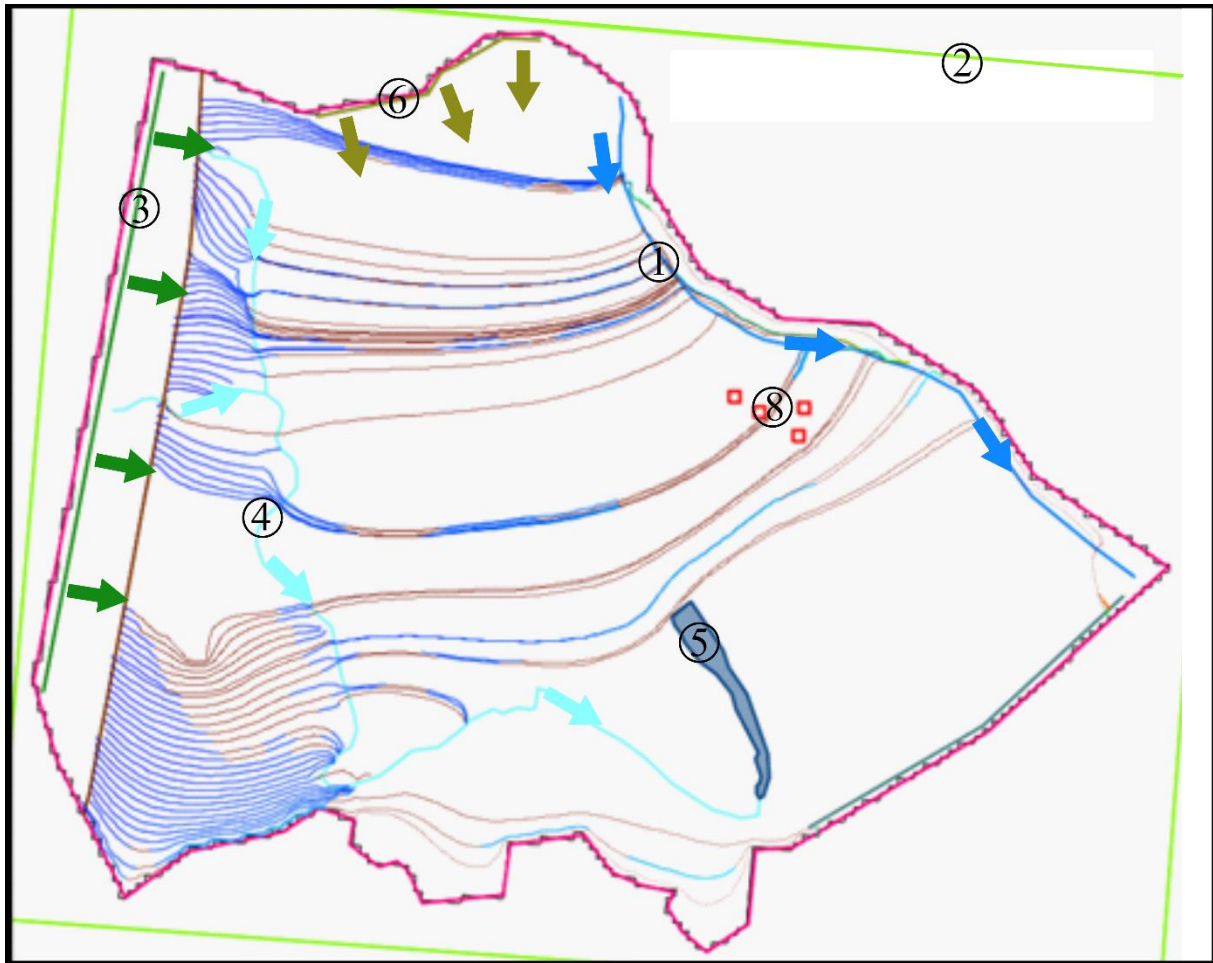
Figur A-9 Hvordan pumperaten til grunnvannsbrønnene påvirker grunnvannsforholdene. Fra øverste til nederste figur: Brønnene pumper med en pumpe-rate på 0, -0,017 * 4, -0,004*4 og -0,05 * 4 m³/s. Glomma (grensebetingelse 1 figur 3-8) har en konstant trykkehøyde på 181,5 til 180,1 m.o.h i alle figurene. Grunnvannsmating fra modelloverflaten (grensebetingelse 2, figur 3-6) er på $9,52 \cdot 10^{-9}$ m/s. Elveløpene (grensebetingelse 4) er definert med vannmengde på 6 cm og ledningsevnen på 0,0001/m. Langsletta (grensebetingelse 5) har trykkehøyde på 189 m.o.h. Grønn strek i figurene til høyre markerer hvor i modellen profilene (venstre) er hentet fra. Zoomet på profilene er 10X bredere i forhold til lengde.

Vedlegg A



Figur A-10 Med økt mettet vannledningsevne vil brønnene kunne pumpe med en rate på $-0,05 \cdot 4 \text{ m}^3/\text{s}$. Glomma (grensebetingelse 1) har en konstant trykkehøyde på 181,5 til 180,1 m.o.h. Grunnvannsmating fra modelloverflaten (grensebetingelse 2) er på $9,52 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$. Elveløpene (grensebetingelse 4) er definert med vannmengde på 6 cm og ledningsevnen på 0,0001/m. Langsletta (grensebetingelse 5) har trykkehøyde på 189 m.o.h. Grønn og blå strek i figur øverst til venstre markerer hvor i modellen profilene (nederst og høyre) er hentet fra. Zoomet på profilene er 10X bredere i forhold til lengde.

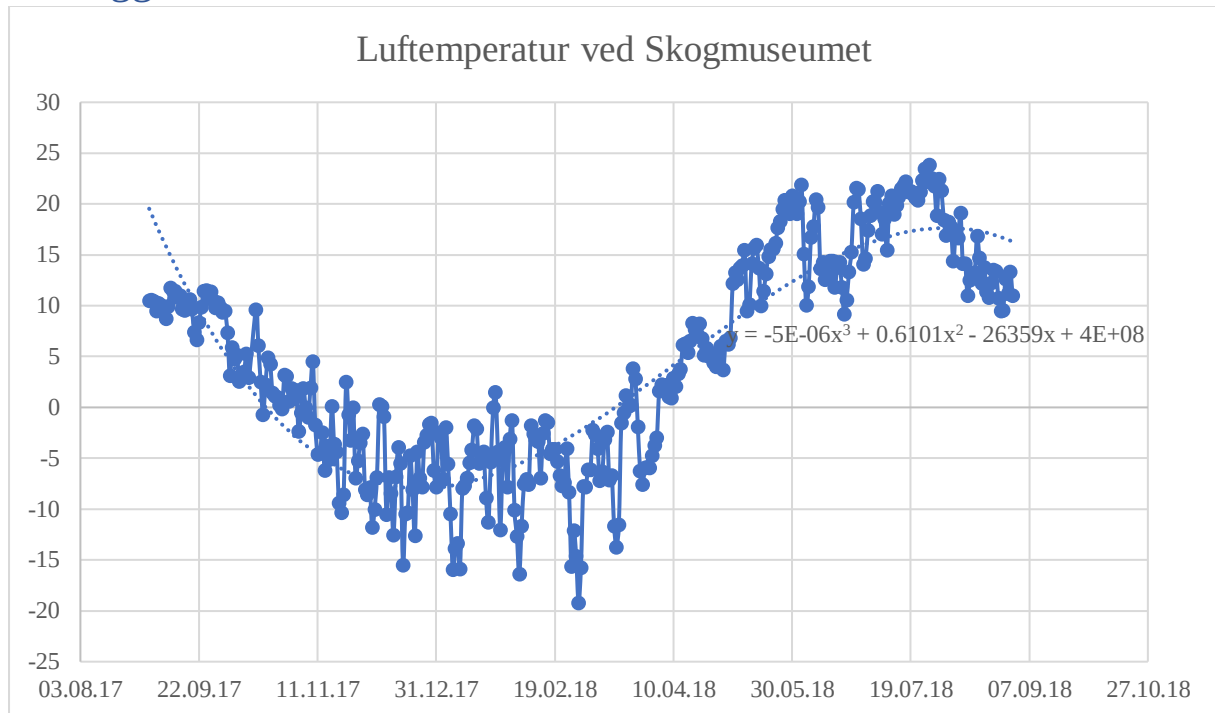
Vedlegg A



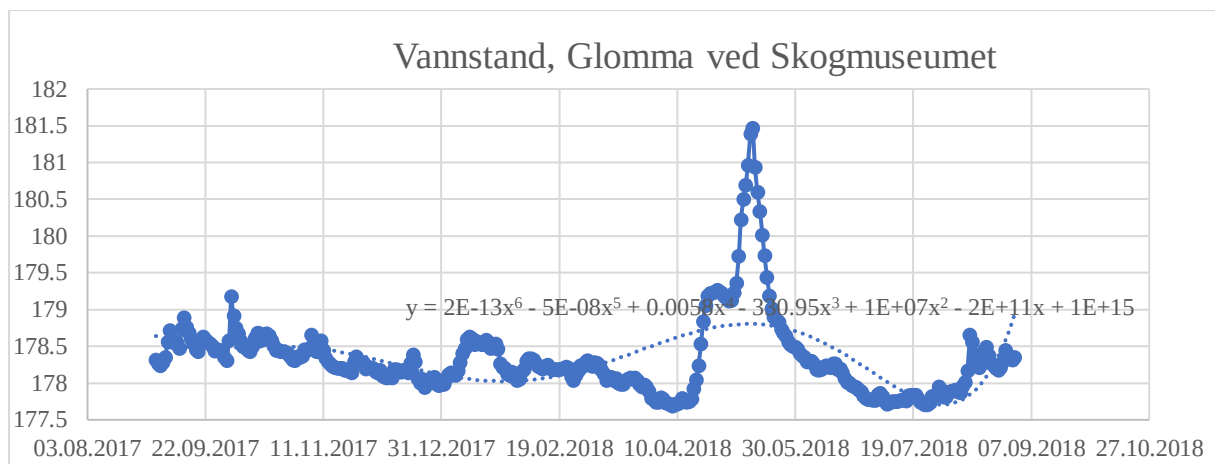
Figur A-11 Ved grunnvannsmating fra øvre nedbørsfelt vil modellen også ha grunnvann i sørvestlig del. Når strømningslinjene er blå er de i øvre lag av modell, mens de er lilla i nedre lag av modell. Glomma (grensebetingelse 1) har en konstant trykkehøyde på 181,5 til 180,1 m.o.h. Grunnvannsmating fra modelloverflaten (grensebetingelse 2) er på $1,11 \cdot 10^{-8}$ m/s. Avrenning fra øvre nedbørsfelt (grensebetingelse 3) er $1,2 \cdot 10^{-8}$. Elveløpene (grensebetingelse 4) er definert med vannmengde på 25 cm og ledningsevnen på 0,01/m. Langsletta (grensebetingelse 5) har trykkehøyde på 189 m.o.h. Avrenning fra nord (grensebetingelse 6) er $8 \cdot 10^{-7}$. Grensebetingelse 8 er ikke aktiv.

Zhang, L., Dawes, W. & Walker, G. (2001). Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water resources research*, 37 (3): 701-708.

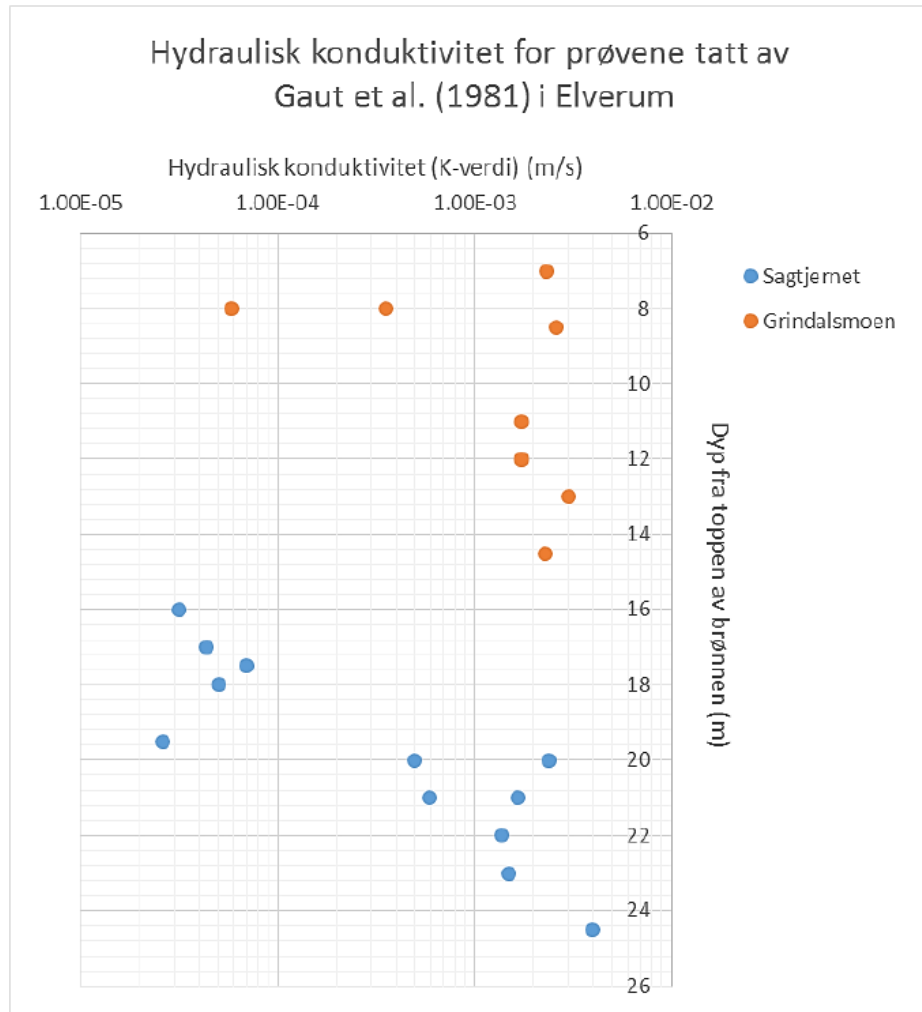
Vedlegg B



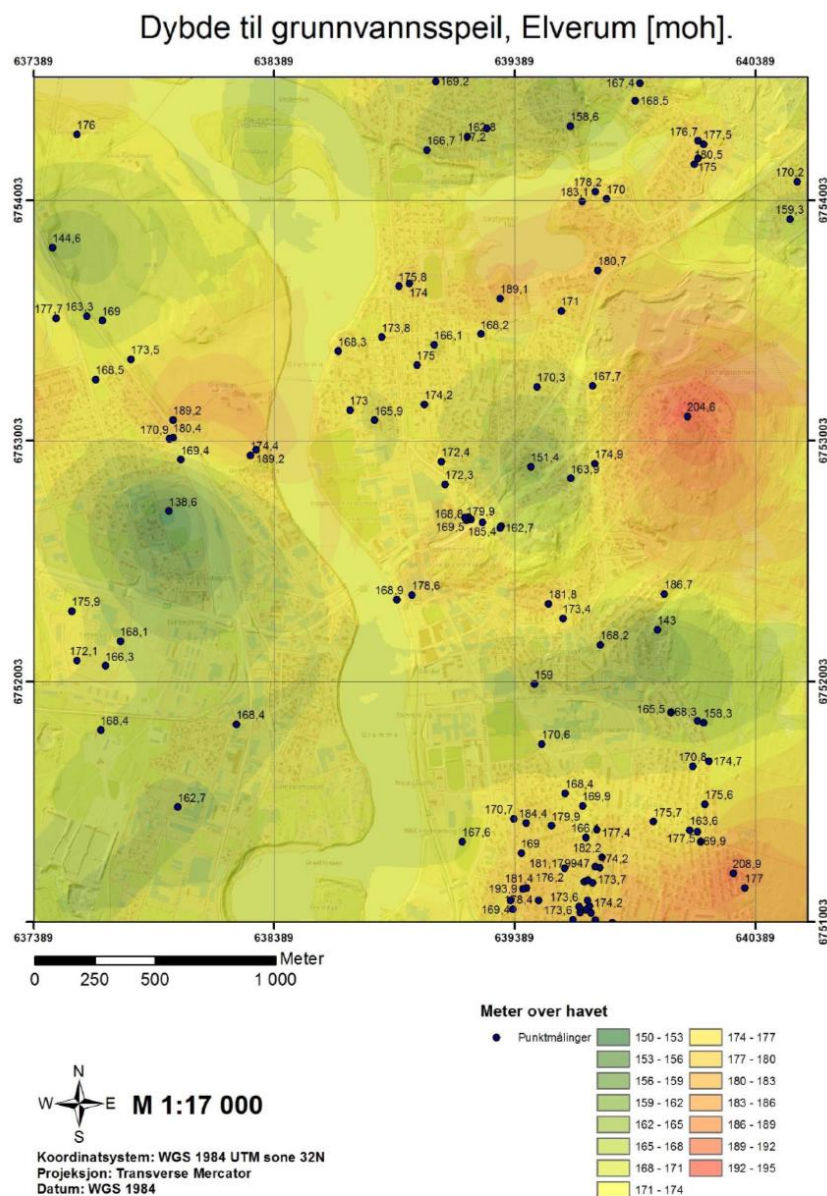
Figur B-1 Lufttemperatur ved Skogmuseumet, Elverum fra 1. september 2017 til 31. august 2018 (Modifisert etter NVE, 2019).



Figur B-2 Vannstand i Glomma ved Skogmuseumet, Elverum fra 1. september 2017 til 31. august 2018 (Modifisert etter NVE, 2019).



Figur 4.14. Beregnet hydraulisk konduktivitet (K-verdi) for sedimentprøvene i Elverum plottet mot dypet fra overflaten. Prøvene er tatt av Gaut et al. (1981).



Figur 34: Fargene illustrerer interpolerte verdier av grunnvannsspeilets dybde i meter over havet

Figur B-4 Dybde til grunnvannsspeil (Haugen, 2015)

Gaut, A., Klemetsrud, T. & Rohr-Torp, E. (1981). *Elverum : beskrivelse til vannressurskart "Grunnvann i løsavsetninger" - blad 2016 IV, 1:50 000*. Meddelelser fra Vannboringsarkivet. Spesielle rapporter, b. 31. Oslo: Norges geologiske undersøkelse, (NGU).

Haugen, T. (2015). Kartlegging av dybde til fjell i Elverum sentrum og geologisk beskrivelse til videre bruk i 3D-modell. NVE. (2019). *Sildre*. Tilgjengelig fra: <http://sildre.nve.no/Sildre/Station/2.1088.0> (lest 25.04.2019).

Sandbakken, M. E. (2016). *3-dimensjonal visualisering av grunnvannsmagasinet i Elverum sentrum*. Masteroppgave. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Tilgjengelig fra: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2392939> (lest 08.05.2019).

Vedlegg C

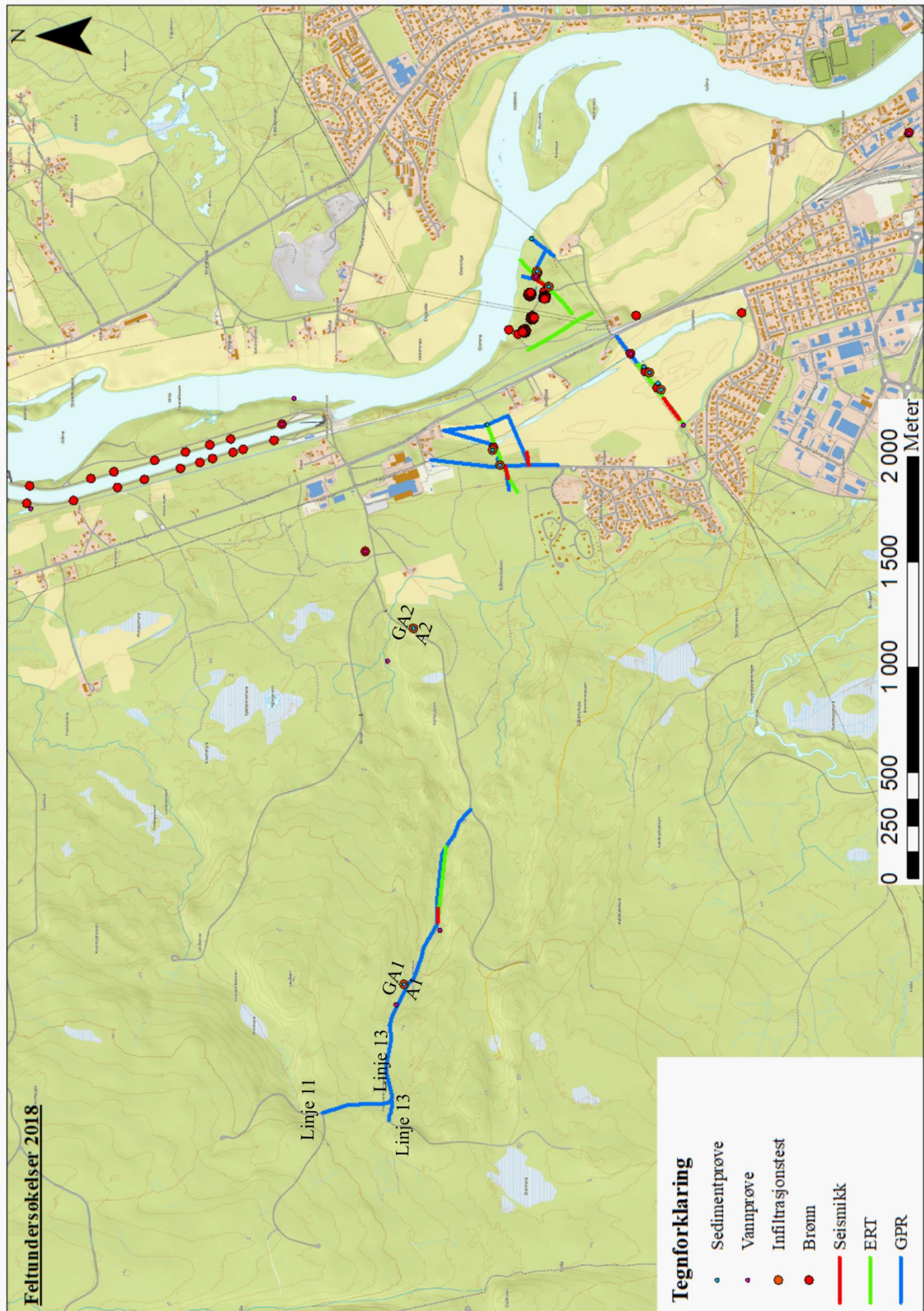
Dette vedlegget inneholder en del av resultatene fra feltkurset GEO221 ved NMBU, som ble gjort sommeren 2018. For mer data eller for å se resultatene fra feltarbeidet sommeren 2017 besøk google disk mappen «Fieald course Elverum 2018» via linken nedenfor.

<https://drive.google.com/drive/folders/12GKdg0hNIOFdpuMDgZYqv51oCmbp0T0w?usp=sharing> [20.04.2019]

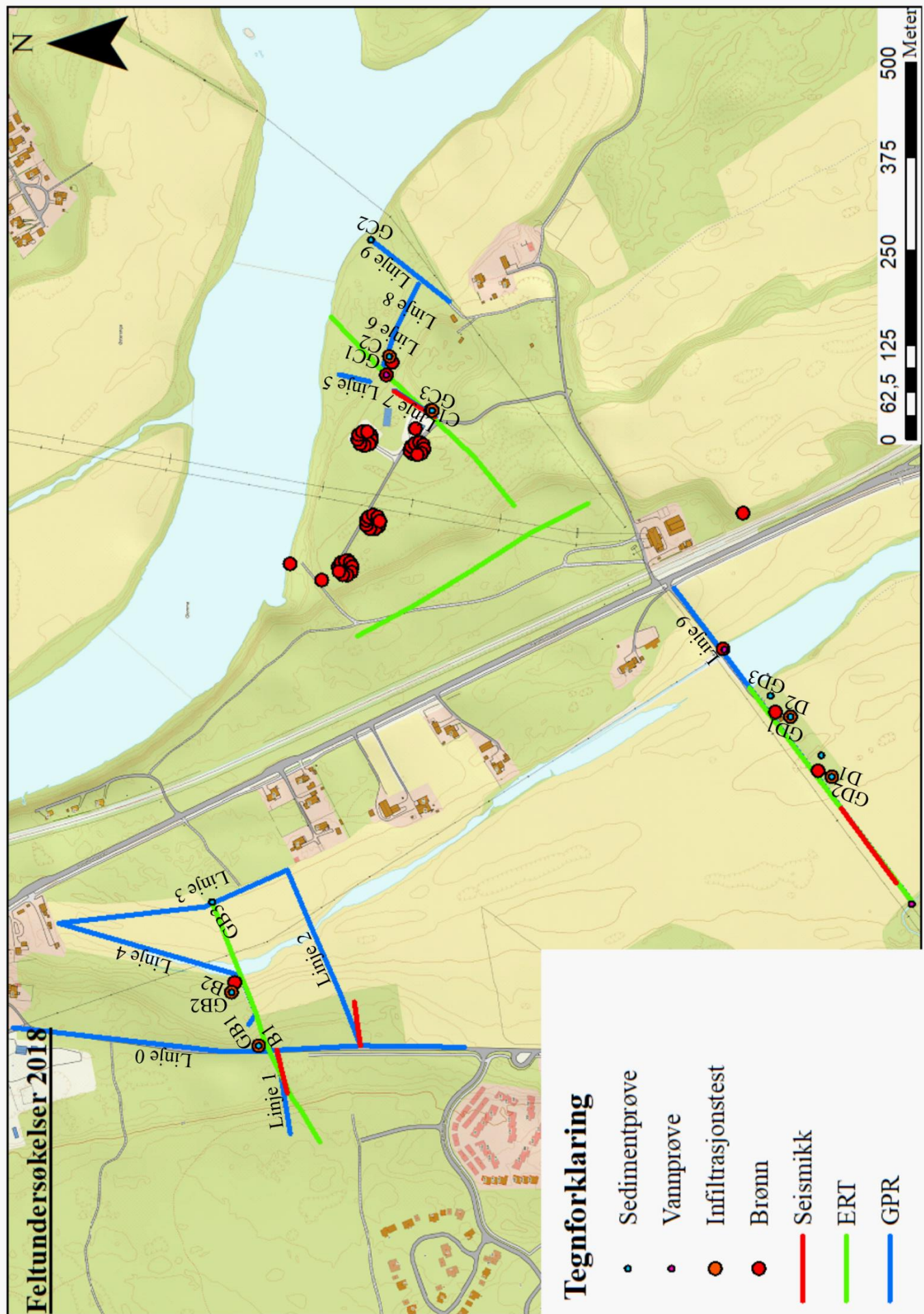
Innhold

C.1 Kart.....	2
C.2 GPR	5
C.3 Infiltrasjonstester	15
C.4 Kornstørrelse-distribusjon.....	20
C.5 Vannkjemi.....	32
C.6 Undersøkte brønner	33
C.7 Lydtest	35

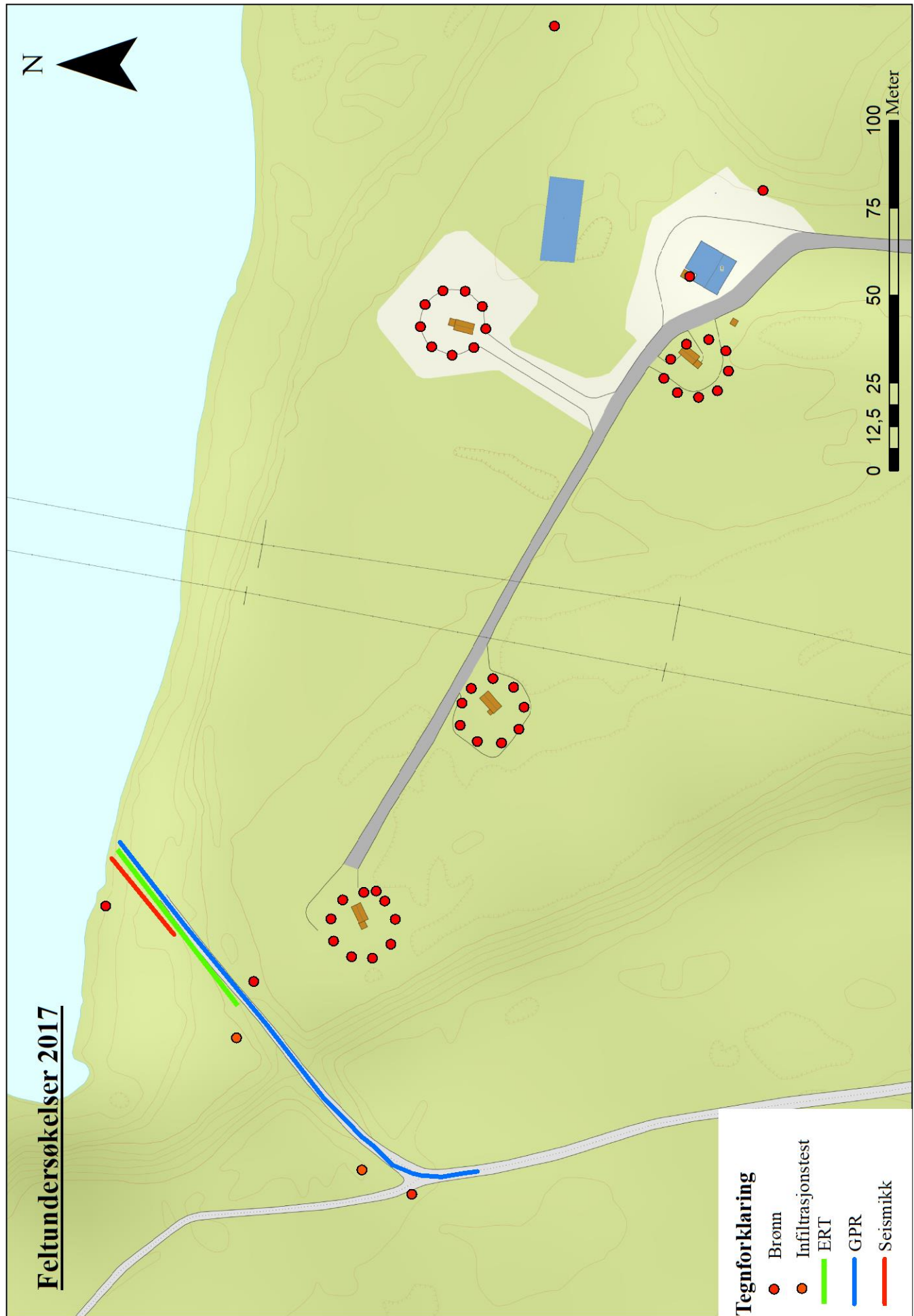
C.1 Kart



Figur C - 1 Oversikt over undersøkelsesområdet og feltarbeidet som ble gjort sommeren 2018



Figur C - 2 Nærbilde av undersøkelsesområdet og feltarbeidet som ble gjort sommeren 2018, i nærheten av Elverum vannverk

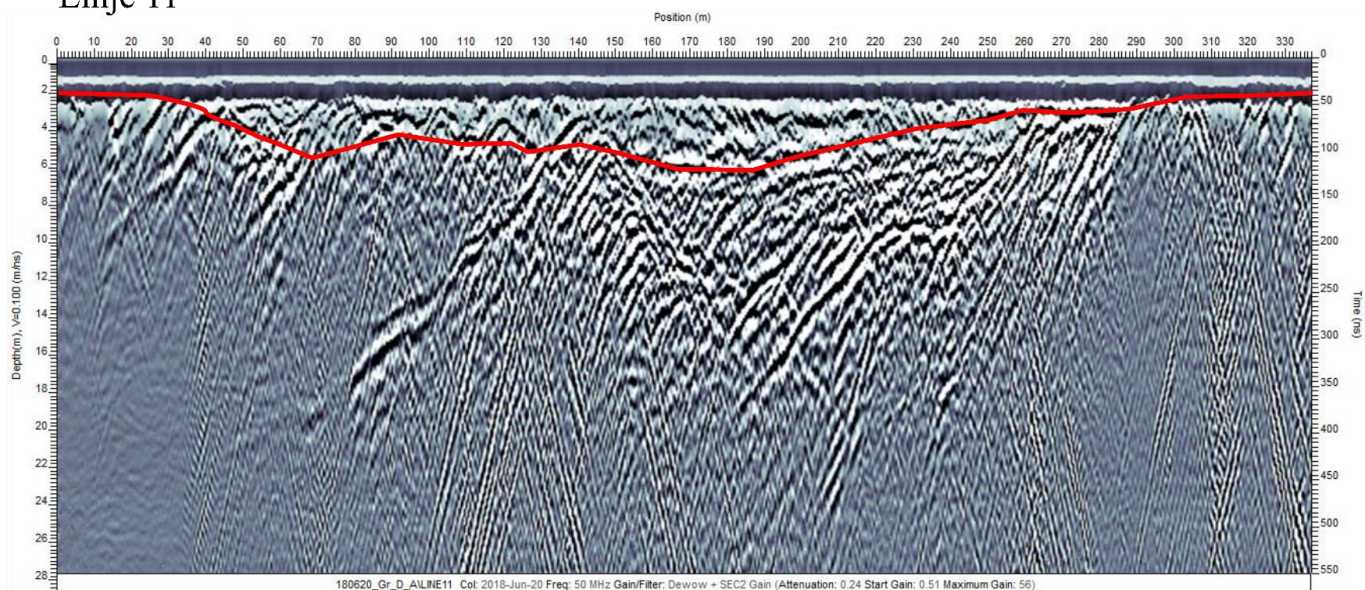


Figur C - 3 Oversikt over undersøkelsesområdet og feltarbeidet som ble gjort sommeren 2017, i nærheten av Elverum vannverk

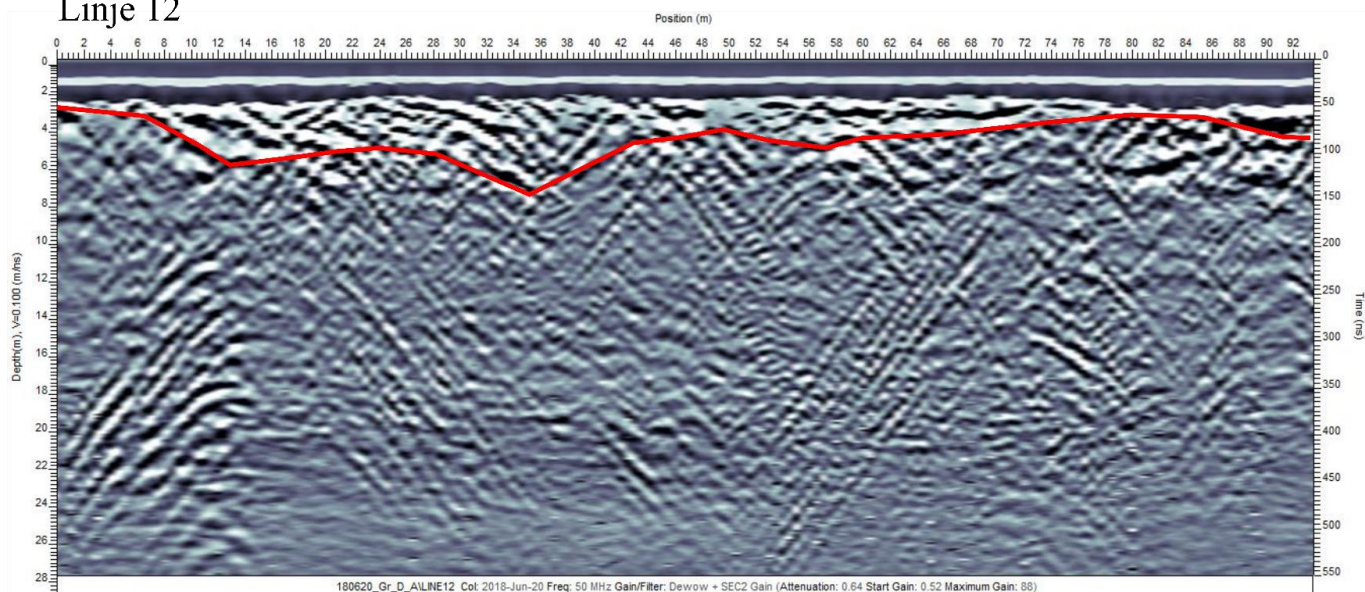
C.2 GPR

GPR profiler, område A

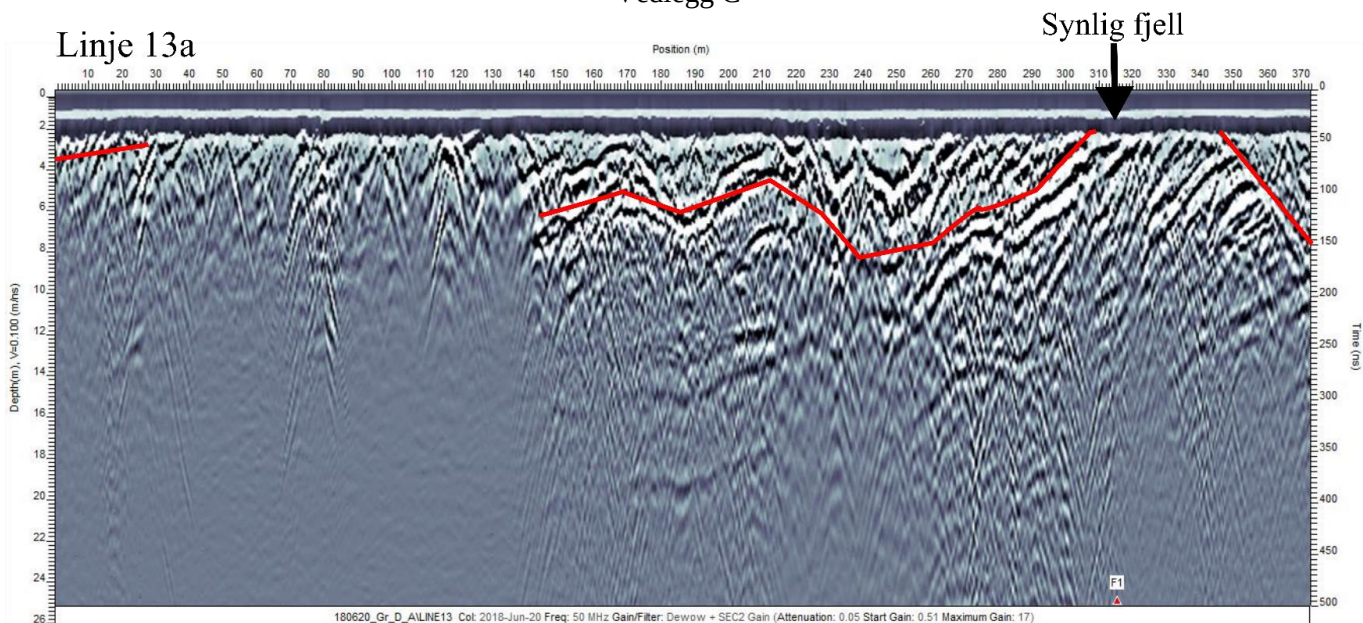
Linje 11

*Figur C - 4 GPR-profil fra område A. Rød strek markerer tolket skille mellom berggrunn og løsmasser*

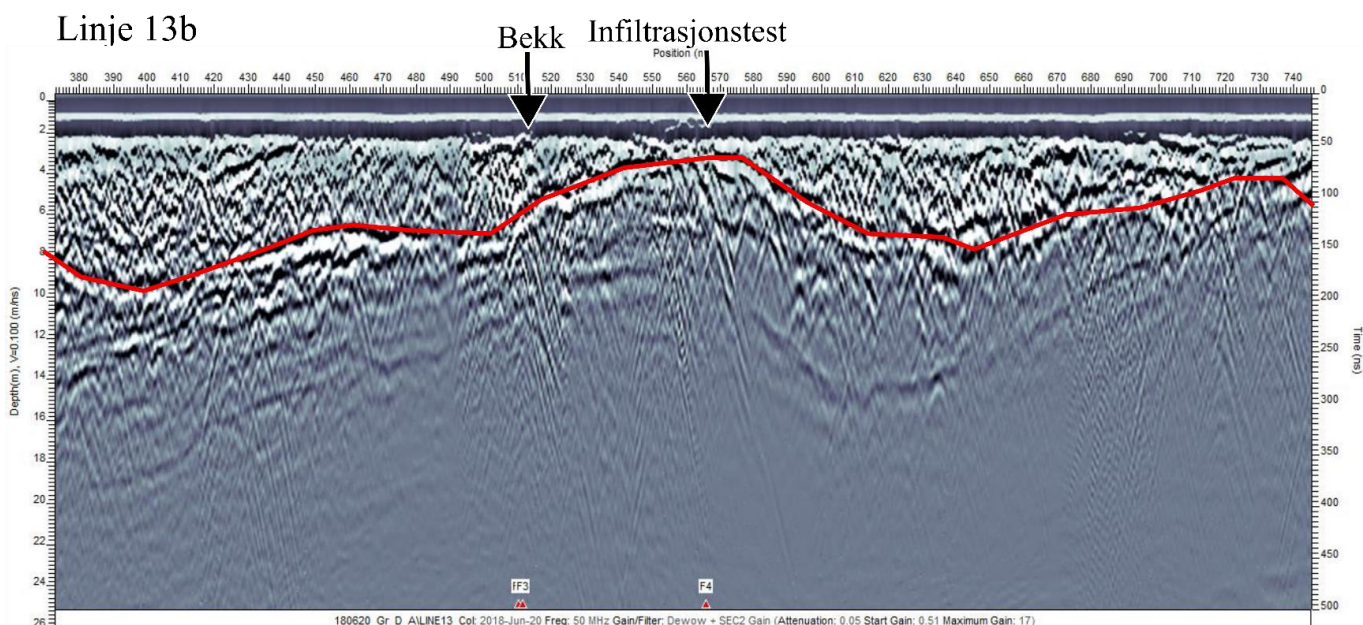
Linje 12

*Figur C - 5 GPR-profil fra område A. Rød strek markerer tolket skille mellom berggrunn og løsmasser*

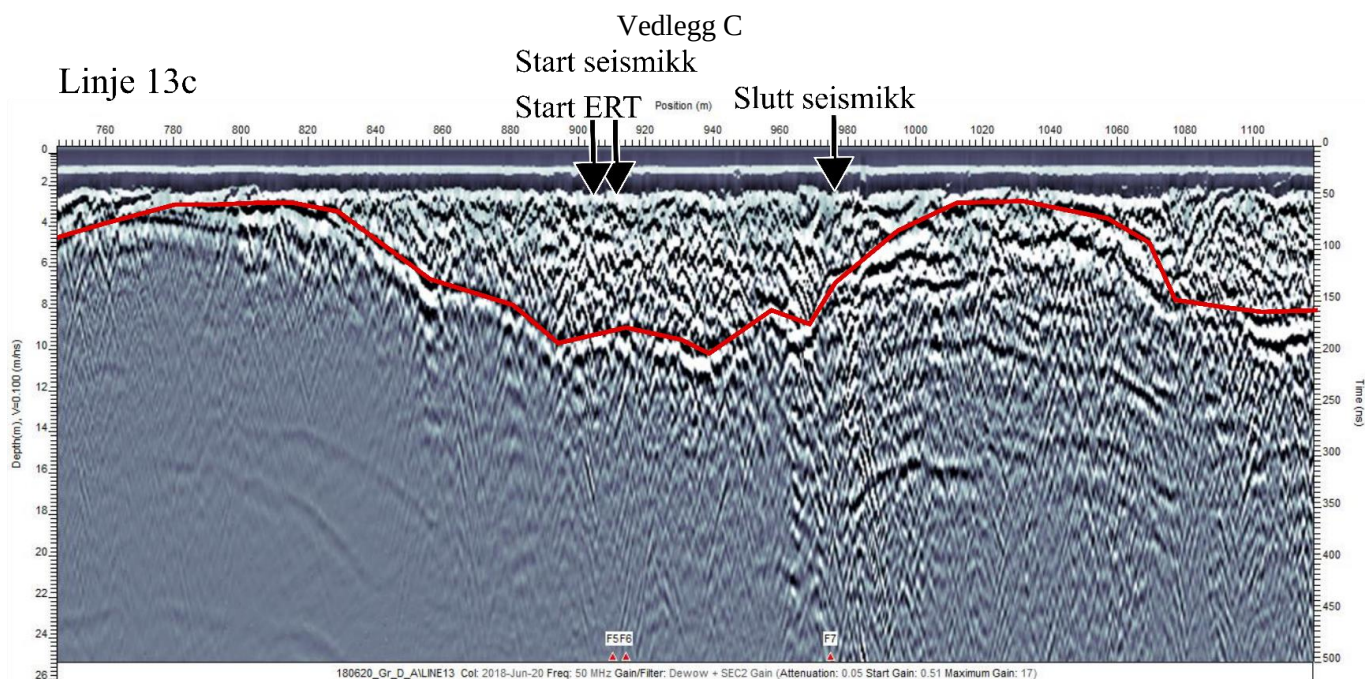
Vedlegg C



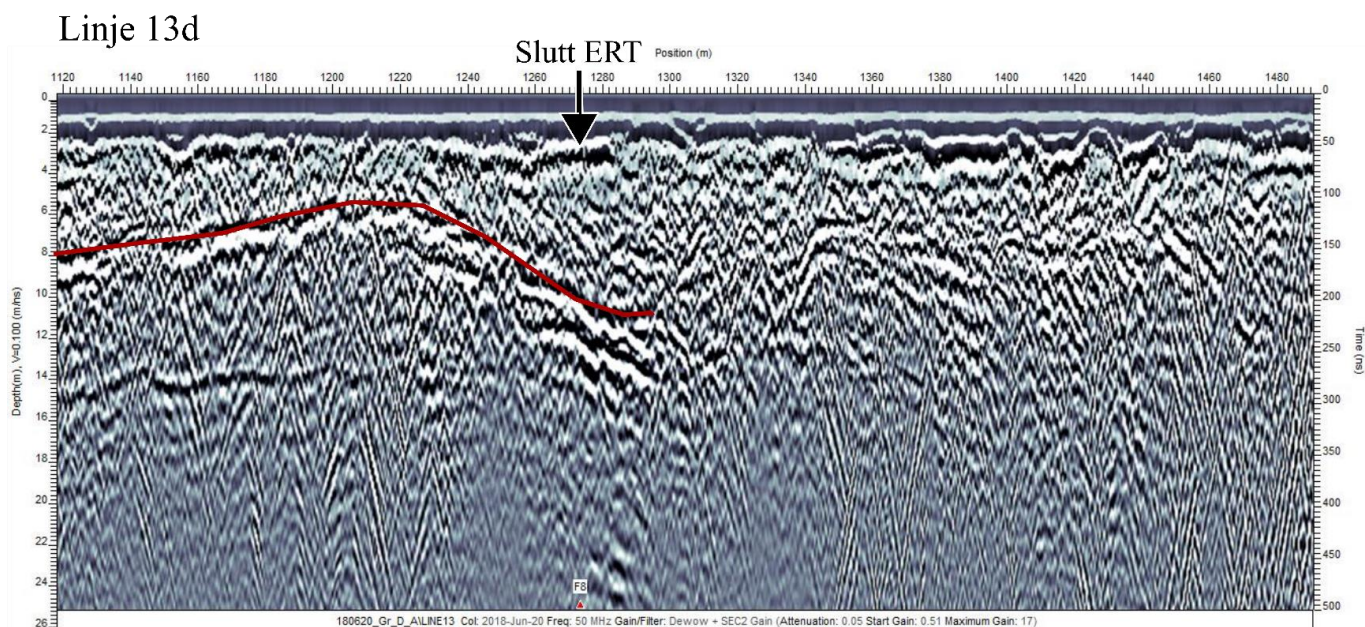
Figur C - 6 GPR-profil fra område A. Rød strek markerer tolket skille mellom berggrunn og løsmasser



Figur C - 7 GPR-profil fra område A. Rød strek markerer tolket skille mellom berggrunn og løsmasser



Figur C - 8 GPR-profil fra område A. Rød strek markerer tolket skille mellom berggrunn og løsmasser

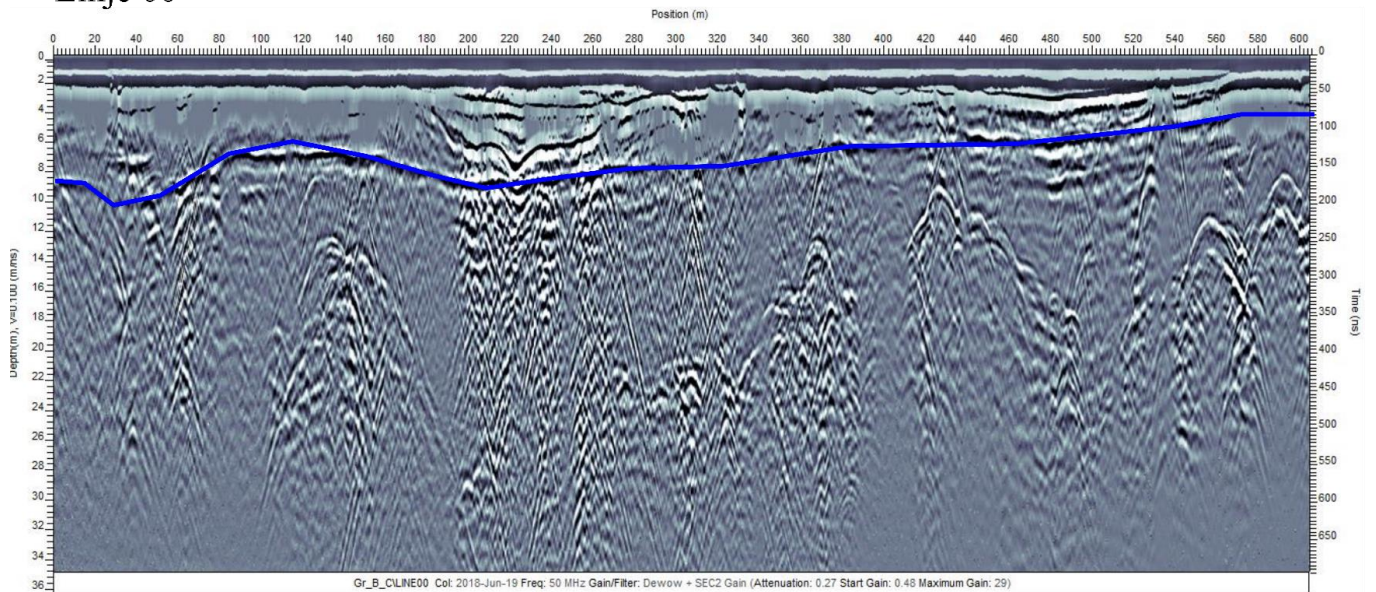


Figur C - 9 GPR-profil fra område A. Rød strek markerer tolket skille mellom berggrunn og løsmasser

Vedlegg C

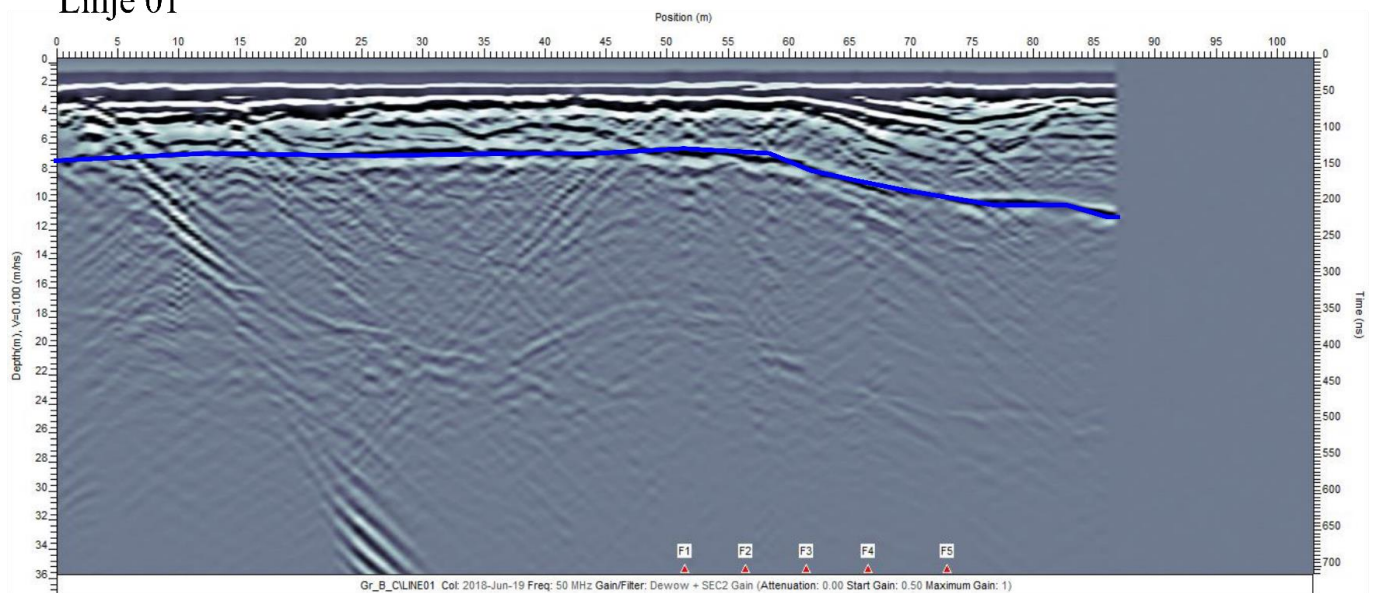
GPR profiler, område B

Linje 00



Figur C - 10 GPR-profil fra område B. Blå strek markerer det som er tolket som grunnvannsspeilet

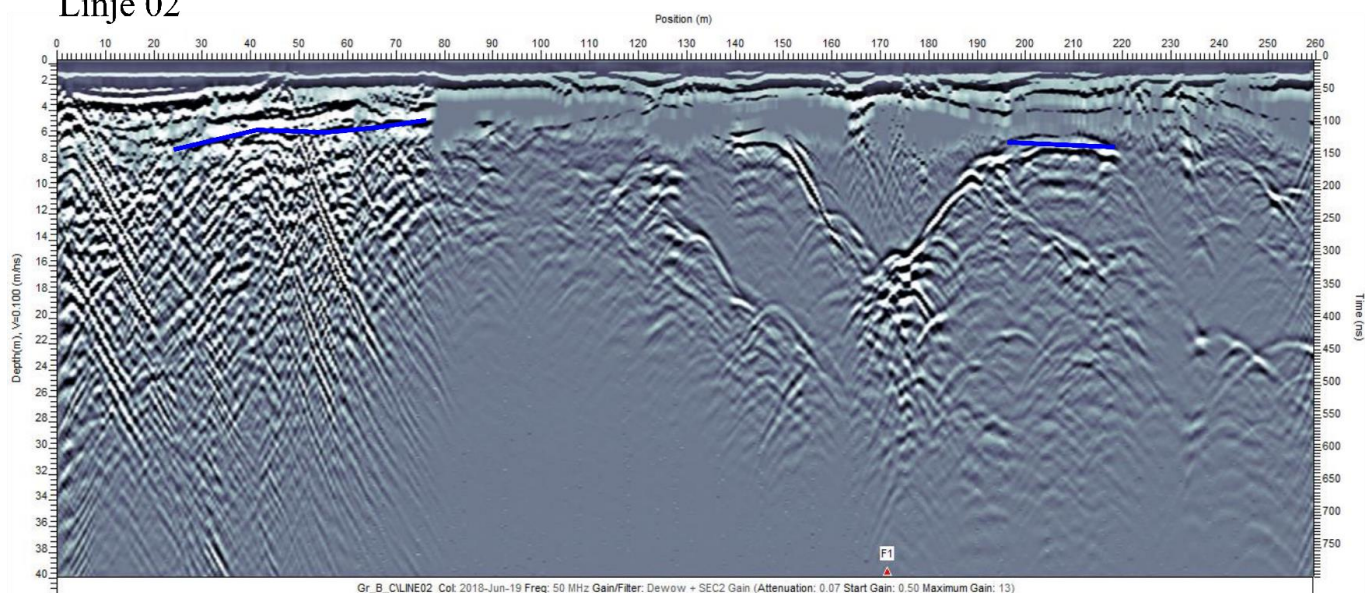
Linje 01



Figur C - 11 GPR-profil fra område B. Blå strek markerer det som er tolket som grunnvannsspeilet

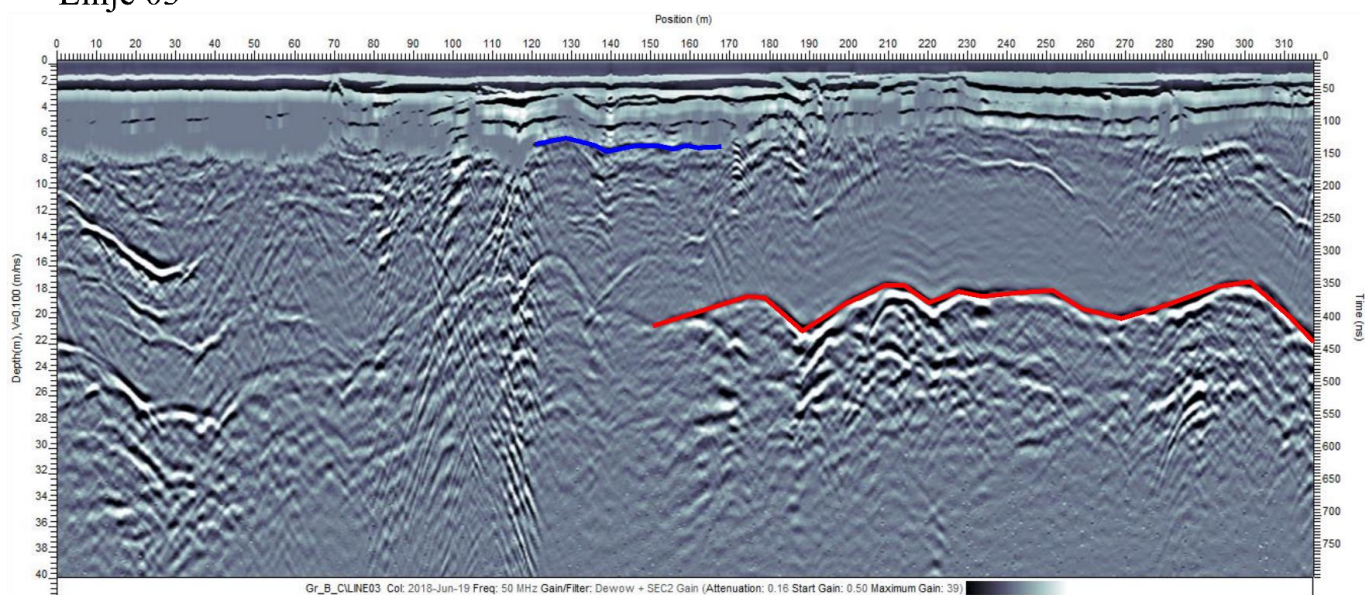
Vedlegg C

Linje 02



Figur C - 12 GPR-profil fra område B. Blå strek markerer det som er tolket som grunnvannsspeilet

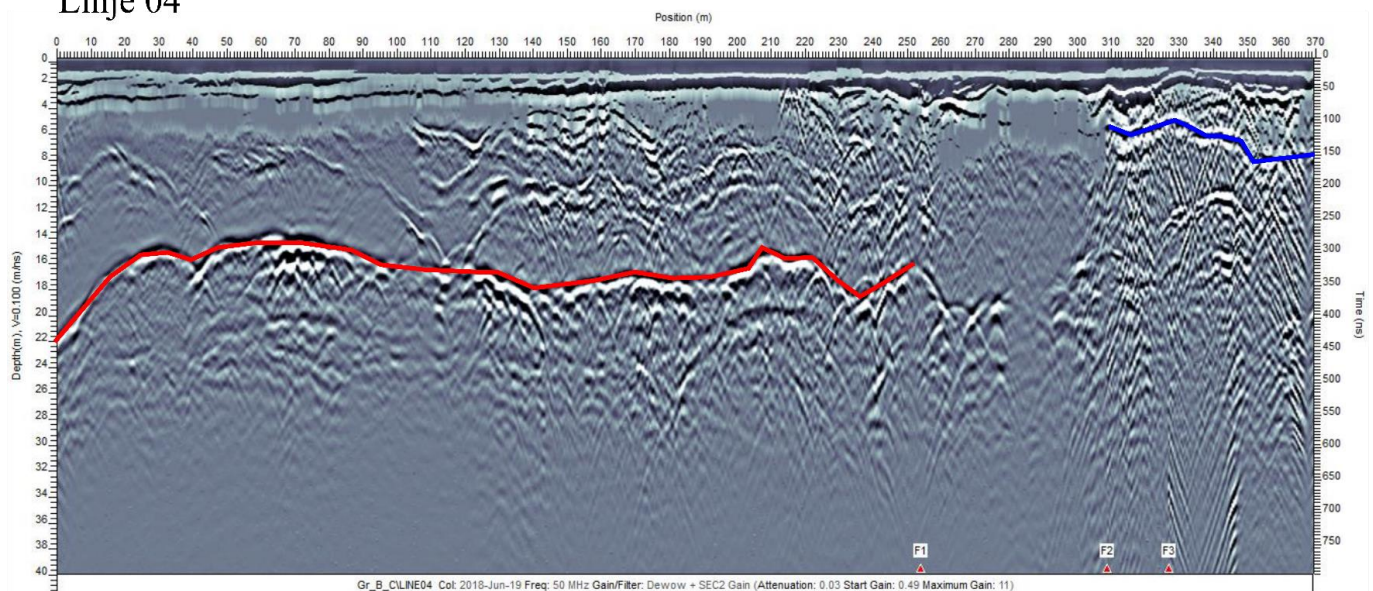
Linje 03



Figur C - 13 GPR-profil fra område B. Blå strek markerer det som er tolket som grunnvannsspeilet,
mens rød strek markerer tolket skille mellom berggrunn og løsmasser

Vedlegg C

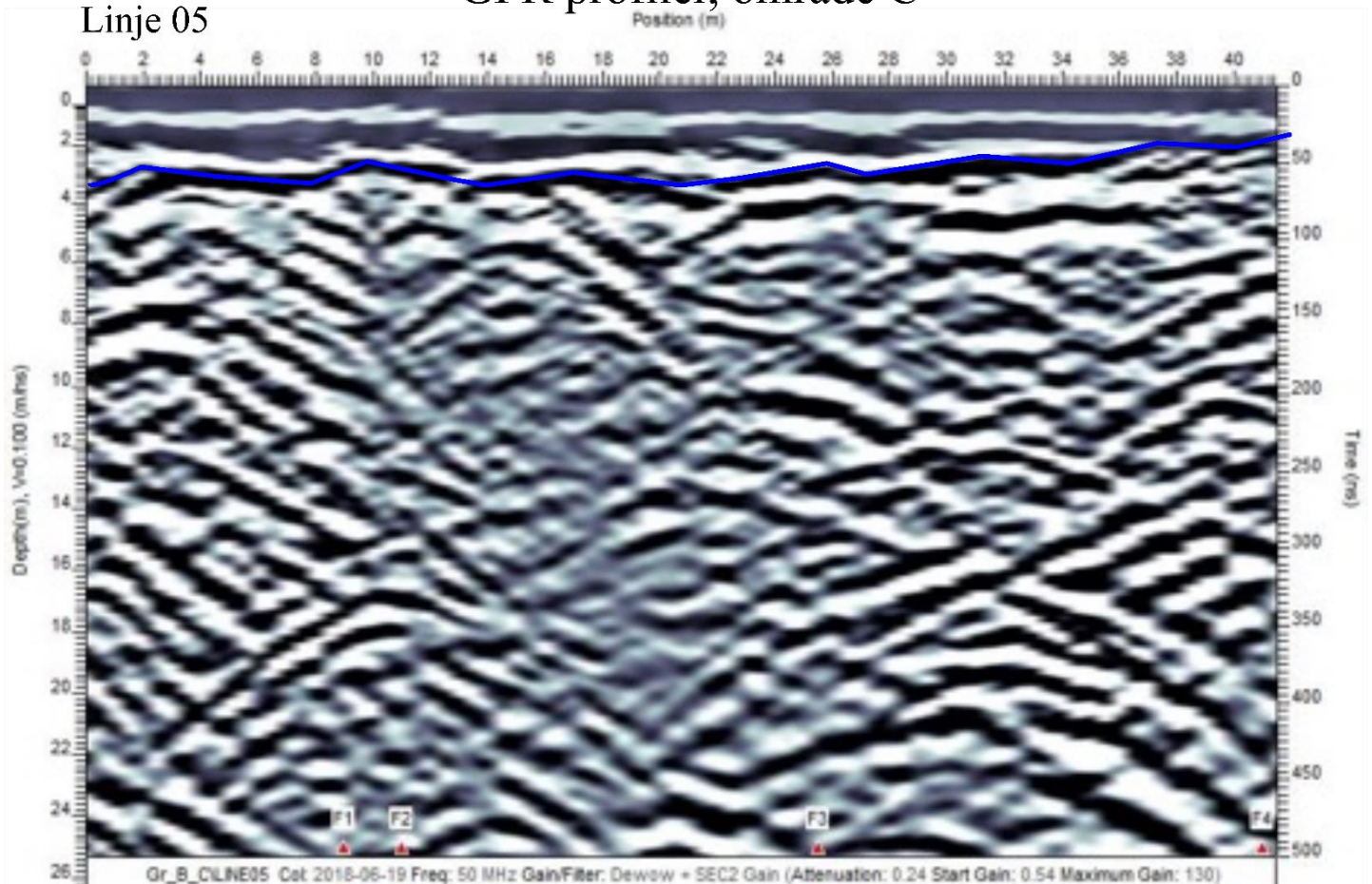
Linje 04



Figur C - 14 GPR-profil fra område B. Blå strek markerer det som er tolket som grunnvannsspeilet, mens rød strek markerer tolket skille mellom berggrunn og løsmasser

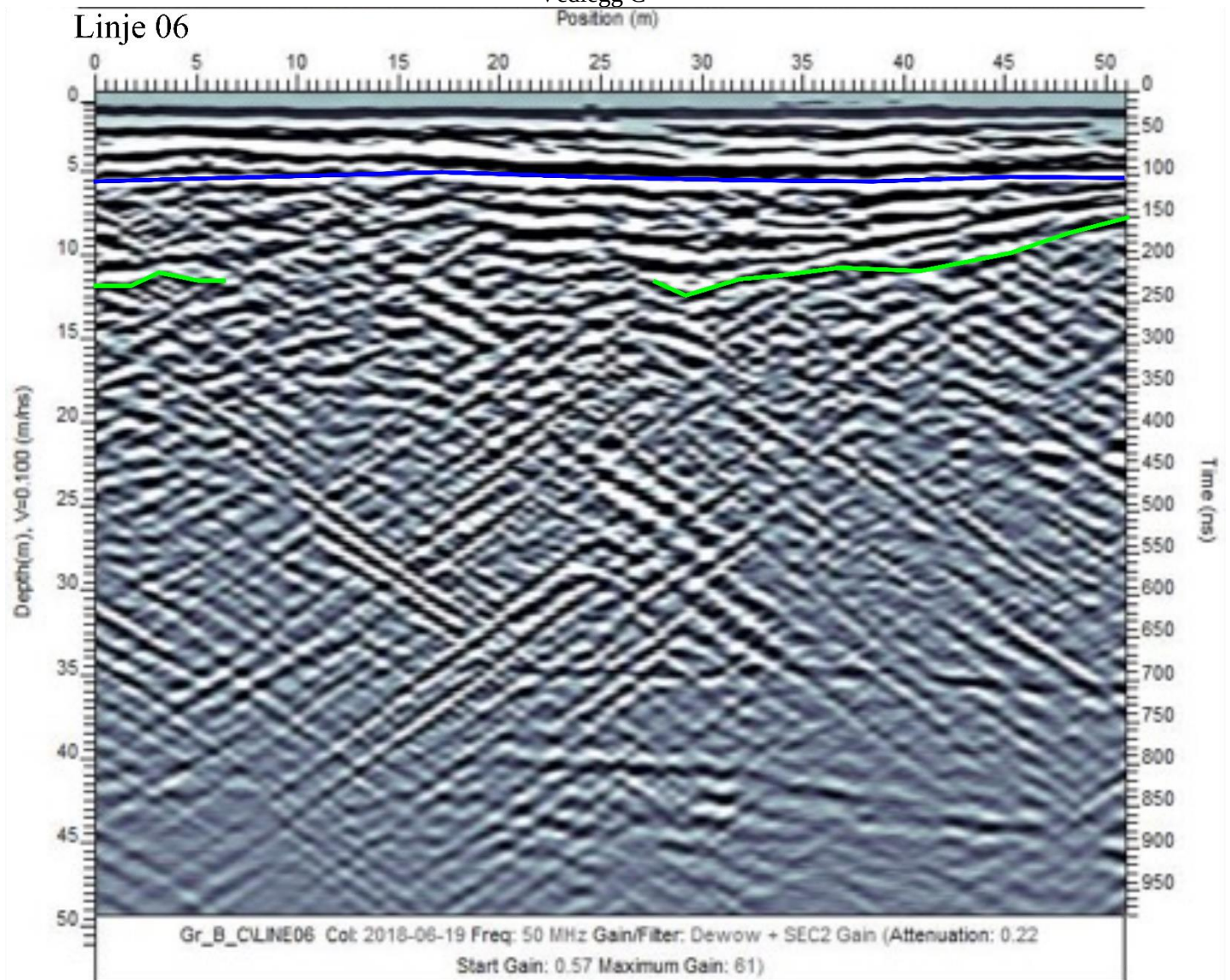
GPR profiler, område C

Linje 05



Figur C - 15 GPR-profil fra område C. Blå strek markerer det som er tolket som grunnvannsspeilet, mens rød strek markerer tolket skille mellom berggrunn og løsmasser

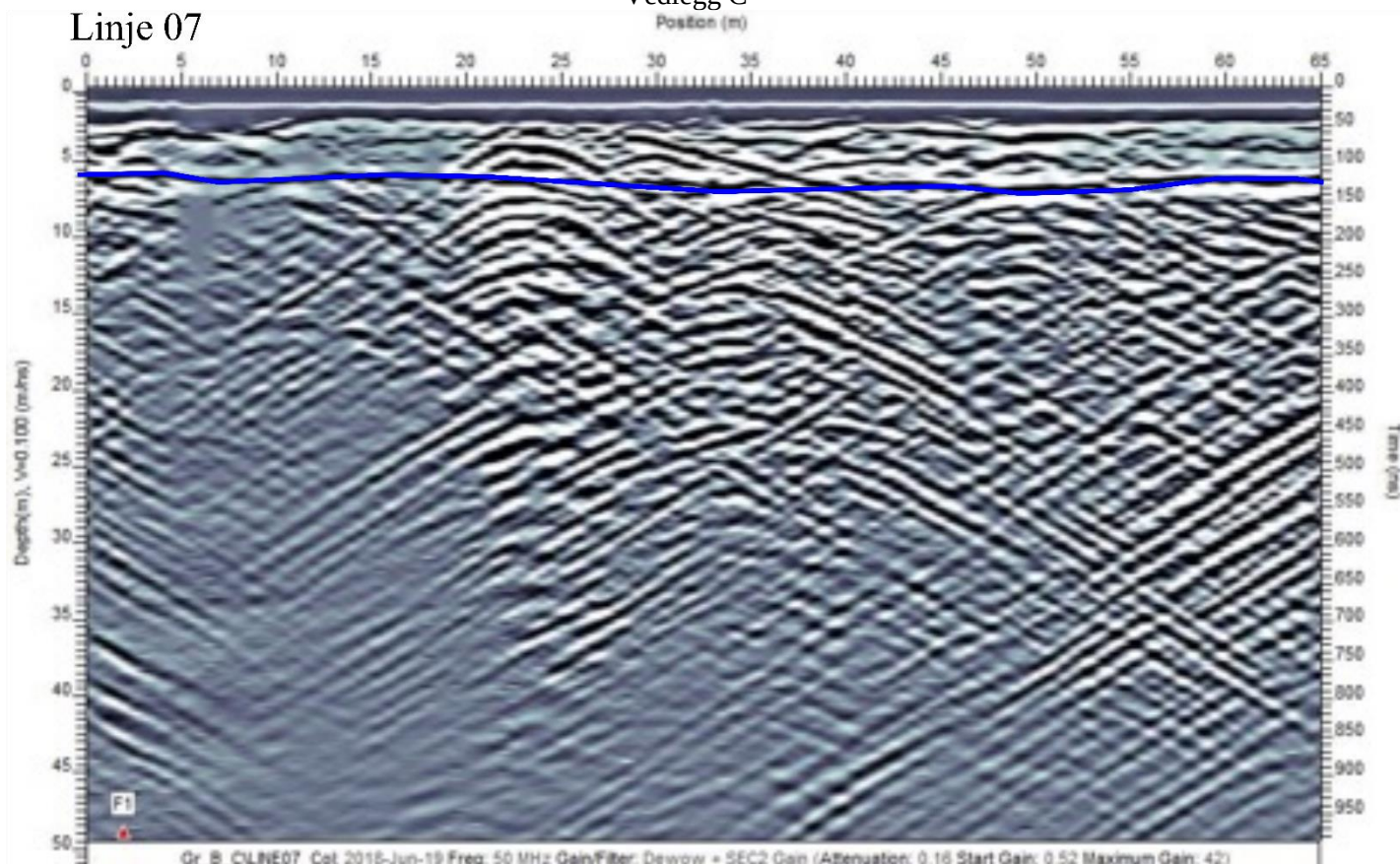
Linje 06



Figur C - 16 GPR-profil fra område C. Blå strek markerer det som er tolket som grunnvannsspeilet, mens grønn strek markerer en overgang mellom fine, stratifiserte løsmasser til grovere løsmasser.

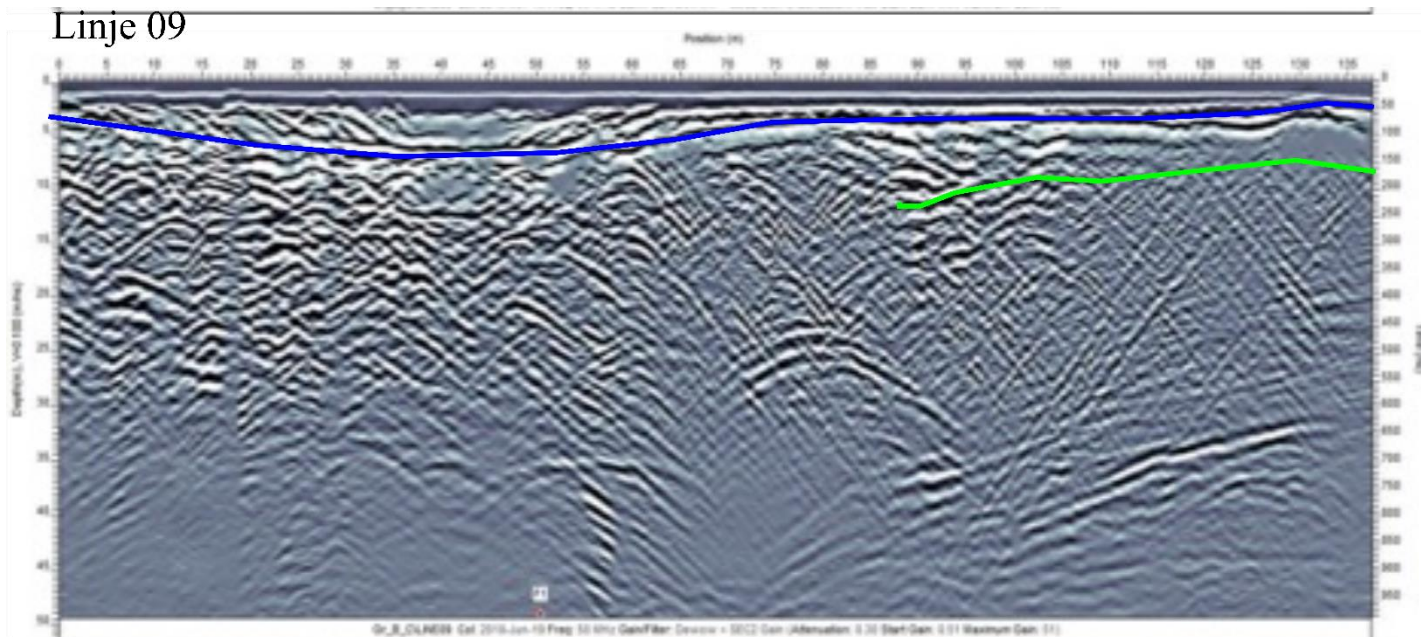
Vedlegg C

Linje 07



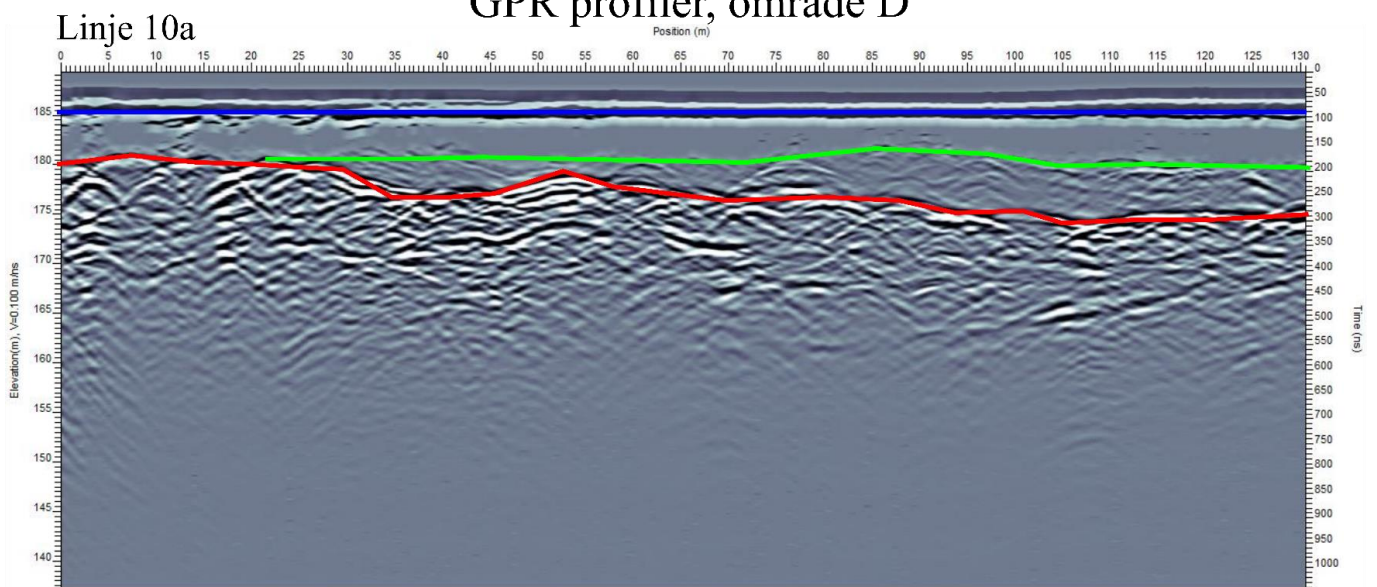
Figur C - 17 GPR-profil fra område C. Blå strek markerer det som er tolket som grunnvannspeilet.

Linje 09

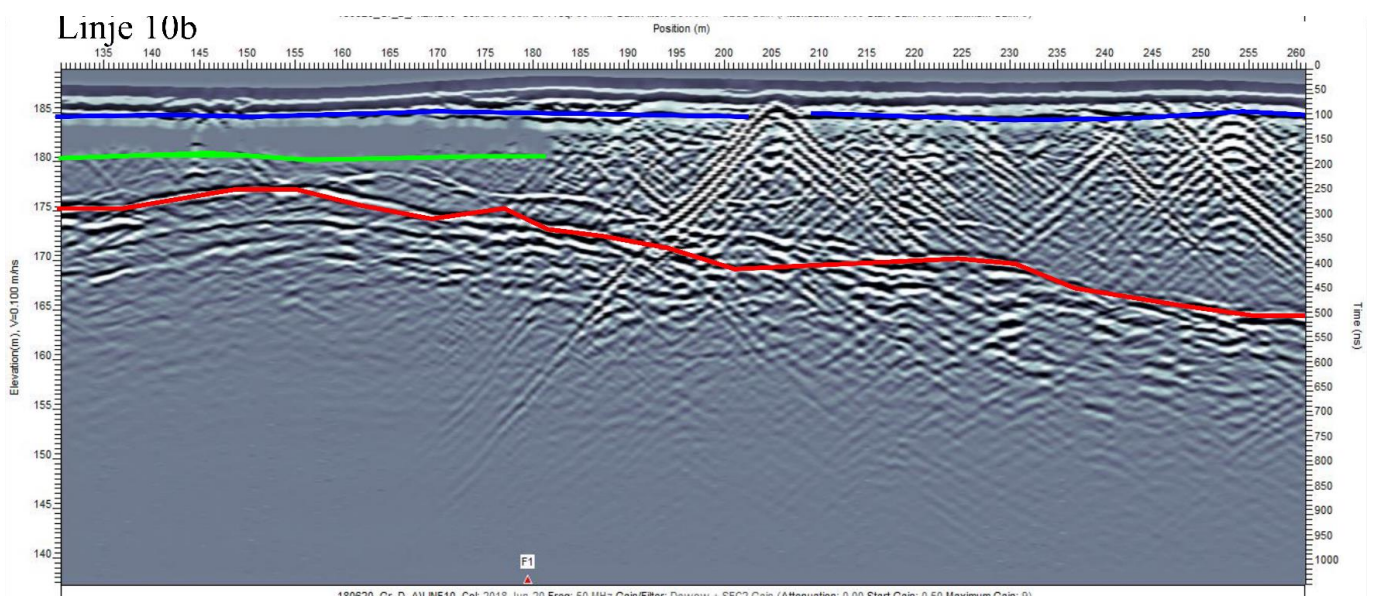


Figur C - 18 GPR-profil fra område C. Blå strek markerer det som er tolket som grunnvannspeilet, mens grønn strek markerer en overgang mellom fine, stratifiserte løsmasser til grovere løsmasser.

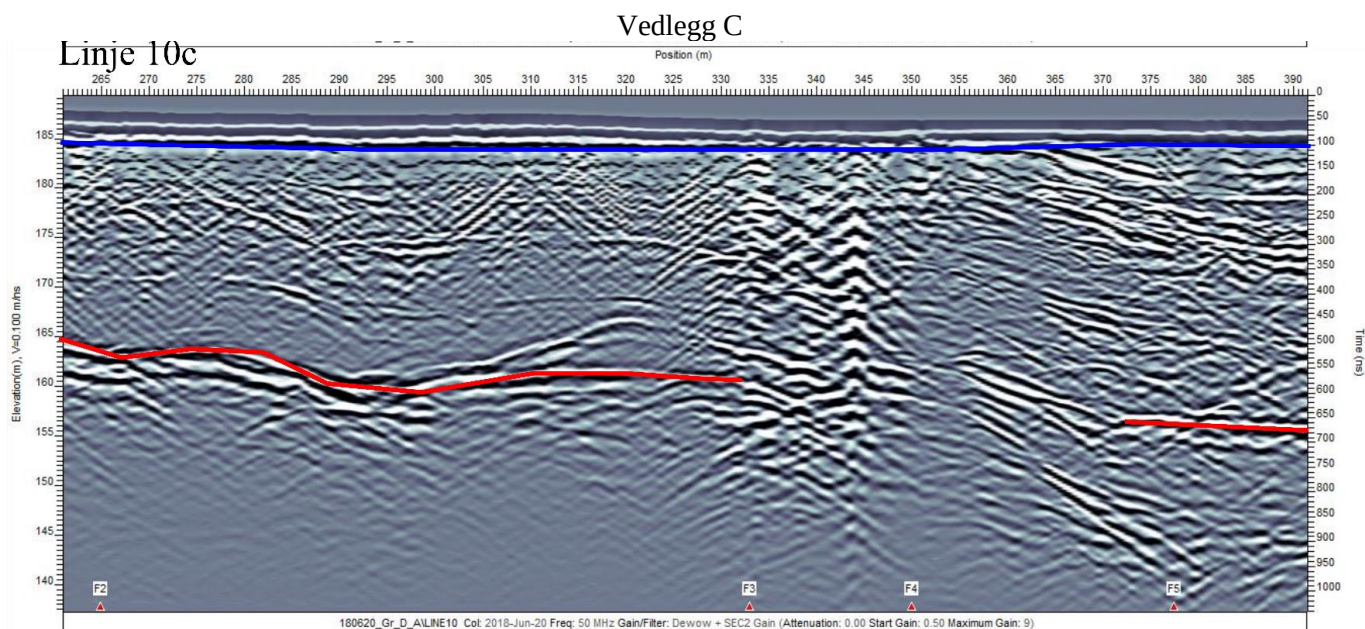
Vedlegg C GPR profiler, område D



Figur C - 19 GPR-profil fra område D. Blå strek markerer det som er tolket som grunnvannsspeilet, mens grønn strek markerer en overgang mellom fine løsmasser til grovere løsmasser. Rød strek markerer tolket skille mellom berggrunn og løsmasser



Figur C - 20 GPR-profil fra område D. Blå strek markerer det som er tolket som grunnvannsspeilet, mens grønn strek markerer en overgang mellom fine løsmasser til grovere løsmasser. Rød strek markerer tolket skille mellom berggrunn og løsmasser



Figur C - 21 GPR-profil fra område D. Blå strek markerer det som er tolket som grunnvannsspeilet, mens rød strek markerer tolket skille mellom berggrunn og løsmasser

Vedlegg C

C.3 Infiltrasjonstester

Tabell C-0 Infiltrasjonstest fra område A

Areal av sylinder (m2)				0,0153938
Areal av infiltrasjon (m2)				0,24
Lokalitet	A1			
Forsøk	Tid (s)	Vann-nivå (cm)	Q (m3/s)	Ks (m/s)
1	0	1		
	418	4	1,47309E-06	6,13788E-06
	440	6	2,09916E-06	8,74648E-06
	475	8	2,59264E-06	1,08027E-05
	510	10	3,01839E-06	1,25766E-05
	550	12	3,35865E-06	1,39944E-05
	590	14,5	3,78322E-06	1,57634E-05
	665	14,8	3,42599E-06	1,4275E-05
	705	20,3	4,43254E-06	1,84689E-05
	901	21	3,5879E-06	1,49496E-05
	1510	21,5	2,19183E-06	9,13264E-06
	1570	50	4,90249E-06	2,0427E-05
2	0	0		
	15	14	0,000143676	0,000598648
	35	15,5	6,81726E-05	0,000284052
	182	16	1,3533E-05	5,63876E-05
	185	26	2,16345E-05	9,01439E-05
	365	26,5	1,11763E-05	4,6568E-05
	825	27	5,03797E-06	2,09916E-05
	1415	27,5	2,99173E-06	1,24655E-05
	2161	50	3,56173E-06	1,48405E-05
Lokalitet	A2			
Forsøk	Tid (s)	Vann-nivå (cm)	Q (m3/s)	Ks (m/s)
1	0	1	#DIV/0!	#DIV/0!
	256	4	2,40528E-06	1,0022E-05
	324	6,5	3,08826E-06	1,28678E-05
	415	9	3,33842E-06	1,39101E-05
	481	12	3,84045E-06	1,60019E-05
	585	15	3,94713E-06	1,64464E-05
	674	17,8	4,06543E-06	1,69393E-05
	757	20,5	4,16873E-06	1,73697E-05
	855	23,5	4,23105E-06	1,76294E-05
	960	26,2	4,20123E-06	1,75051E-05
	1062	29	4,20358E-06	1,75149E-05
	1138	31,8	4,30161E-06	1,79234E-05
	1238	34,8	4,32718E-06	1,80299E-05
	1324	37,8	4,39491E-06	1,83121E-05
	1452	40,5	4,29373E-06	1,78905E-05
	1558	43	4,24861E-06	1,77025E-05
	1665	46	4,25294E-06	1,77206E-05
	1772	48,8	4,23938E-06	1,76641E-05
	1861	50	4,1359E-06	1,72329E-05

Vedlegg C

Tabell C-1 Infiltrasjonstest fra område B

Areal av sylinder (m2)				0,0154
Areal av infiltrasjon (m2)				0,2
Lokalitet	B1			
Forsøk	Tid (s)	Vann-nivå (cm)	Q (m3/s)	Ks (m/s)
1	0	25,5		
	36	32	0,000136889	0,000684444
	56	35	0,00009625	0,00048125
	71	38	8,24225E-05	0,000412113
	87	41	7,25747E-05	0,000362874
	126	48	5,86667E-05	0,000293333
2	0	22,5		
	36	28,5	0,000121917	0,000609583
	80	35	0,000067375	0,000336875
	106	37,5	5,44811E-05	0,000272406
	126	40	4,88889E-05	0,000244444
	150	43	4,41467E-05	0,000220733
	176	46	0,00004025	0,00020125
	203	49	3,71724E-05	0,000185862
Lokalitet	B2			
Forsøk	Tid (s)	Vann-nivå (cm)	Q (m3/s)	Ks (m/s)
1	0	23		
	15	26	0,000266933	0,001334667
	33	28,5	0,000133	0,000665
	53	31,5	9,15283E-05	0,000457642
	75	35,5	7,28933E-05	0,000364467
	98	37,5	5,89286E-05	0,000294643
	122	40,5	5,1123E-05	0,000255615
	147	43	4,50476E-05	0,000225238
	172	46	4,1186E-05	0,00020593
	197	49	3,83046E-05	0,000191523
	223	50	3,45291E-05	0,000172646
2	0	18		
	19	20,5	0,000166158	0,000830789
	38	23	9,32105E-05	0,000466053
	60	25	6,41667E-05	0,000320833
	82	27	5,07073E-05	0,000253537
	107	29,5	4,24579E-05	0,00021229
	130	31,5	3,73154E-05	0,000186577
	170	36	3,26118E-05	0,000163059
	197	39	3,04873E-05	0,000152437
	227	41	2,7815E-05	0,000139075
	257	44	2,63658E-05	0,000131829
	287	46,5	2,49512E-05	0,000124756
	317	49	2,38044E-05	0,000119022
	348	49,5	2,19052E-05	0,000109526

Vedlegg C
Tabell C-2 Infiltrasjonstest fra område C

Areal av sylinder (m2)				0,0153938
Areal av infiltrasjon (m2)				0,2125
Lokalitet	C1			
Forsøk	Tid (s)	Vann-nivå (cm)	Q (m3/s)	Ks (m/s)
1	10	11	0,000169332	0,000796856
	24	13	8,33831E-05	0,000392391
	39	14	5,52598E-05	0,000260046
	59	16	4,17459E-05	0,000196451
	77	17	3,39863E-05	0,000159936
	98	19	2,98451E-05	0,000140448
	120	20,5	2,62977E-05	0,000123754
	142	22	2,38496E-05	0,000112233
	165	24	2,2391E-05	0,000105369
	189	26	2,11767E-05	9,96549E-05
	211	28	2,04278E-05	9,61308E-05
	237	29	1,88363E-05	8,86414E-05
	258	31	1,84964E-05	8,7042E-05
	385	40	1,59936E-05	7,52638E-05
	412	42	1,56927E-05	7,38481E-05
	431	43	1,53581E-05	7,22734E-05
	550	45,5	1,27349E-05	5,99288E-05
	778	50	9,89319E-06	4,65562E-05
Lokalitet	C2			
Forsøk	Tid (s)	Vann-nivå (cm)	Q (m3/s)	Ks (m/s)
1	16	13	0,000125075	0,000588587
	21	15	0,000109956	0,000517439
	28	16	8,79646E-05	0,000413951
	37	18	7,48888E-05	0,000352418
	47	21	6,87808E-05	0,000323674
	58	23	6,10444E-05	0,000287268
	75	25	5,13127E-05	0,000241471
	90	29	4,96023E-05	0,000233422
	105	32	4,69145E-05	0,000220774
	123	35	4,38035E-05	0,000206134
	139	38	4,20838E-05	0,000198041
	157	41	4,02004E-05	0,000189178
	180	45	3,84845E-05	0,000181104
	201	49	3,75272E-05	0,000176599
	229	50	3,36109E-05	0,000158169
2	18	20	0,000171042	0,000804905
	31	22	0,000109246	0,0005141
	44	25	8,74648E-05	0,000411599
	60	27	6,92721E-05	0,000325986
	71	29	6,28761E-05	0,000295888
	85	31	5,61421E-05	0,000264198
	100	33,5	5,15692E-05	0,000242679
	115	36	4,81893E-05	0,000226773
	139	39	4,31912E-05	0,000203253
	160	43	4,13708E-05	0,000194686
	179	45,5	3,91295E-05	0,000184139
	201	49	3,75272E-05	0,000176599
	223	50	3,45153E-05	0,000162425

Vedlegg C

Tabell C-3 Infiltrasjonstest fra område D1

Areal av sylinder (m2)				0,015386
Areal av infiltrasjon (m2)				0,2
Lokalitet	D1			
Forsøk	Tid (s)	Vann-nivå (cm)	Q (m3/s)	Ks (m/s)
1	10	12	0,000184632	0,00092316
	22	15	0,000104905	0,000524523
	41	17	6,37956E-05	0,000318978
	61	20	5,04459E-05	0,00025223
	80	22	4,23115E-05	0,000211558
	99	24	3,72994E-05	0,000186497
	120	26	3,33363E-05	0,000166682
	143	29	3,12024E-05	0,000156012
	165	31	2,8907E-05	0,000144535
	190	34	2,75328E-05	0,000137664
	214	37	2,6602E-05	0,00013301
	236	39	2,5426E-05	0,00012713
	262	42	2,46646E-05	0,000123323
	290	44	2,33443E-05	0,000116721
	315	47	2,29569E-05	0,000114784
	338	50	2,27604E-05	0,000113802
2	24	14	8,97517E-05	0,000448758
	44	16	5,59491E-05	0,000279745
	65	18	4,26074E-05	0,000213037
	86	20	3,57814E-05	0,000178907
	109	22	3,10543E-05	0,000155272
	130	24	2,84049E-05	0,000142025
	153	26	2,61461E-05	0,000130731
	174	29,5	2,60855E-05	0,000130427
	199	31	2,39681E-05	0,000119841
	226	34,5	2,34875E-05	0,000117437
	250	36	2,21558E-05	0,000110779
	276	38	2,11836E-05	0,000105918
	298	40	2,06523E-05	0,000103262
	323	43	2,04829E-05	0,000102415
	351	46,5	2,03832E-05	0,000101916
	381	48	1,93839E-05	9,69197E-05
	403	50	1,90893E-05	9,54467E-05
3	12	3	0,000038465	0,000192325
	21	4	2,93067E-05	0,000146533
	36	6	2,56433E-05	0,000128217
	54	8	2,27941E-05	0,00011397
	74	10	2,07919E-05	0,000103959
	93	12	1,98529E-05	9,92645E-05
	115	14	1,87308E-05	9,36539E-05
	137	16	1,79691E-05	8,98453E-05
	157	18	0,00001764	0,0000882
	179	20	1,71911E-05	8,59553E-05
	203	22	1,66745E-05	8,33724E-05
	225	24	1,64117E-05	8,20587E-05
	248	26	1,61305E-05	8,06524E-05
	272	28	1,58385E-05	7,91926E-05
	300	30	0,000015386	0,00007693
	324	33	1,56709E-05	7,83546E-05
	356	35	1,51267E-05	7,56334E-05
	276	38	2,11836E-05	0,000105918
	408	40	1,50843E-05	7,54216E-05
	433	43,5	1,54571E-05	7,72853E-05
	459	45	1,50843E-05	7,54216E-05
	485	47	1,49101E-05	7,45507E-05
	510	49	1,47826E-05	7,39131E-05

Vedlegg C

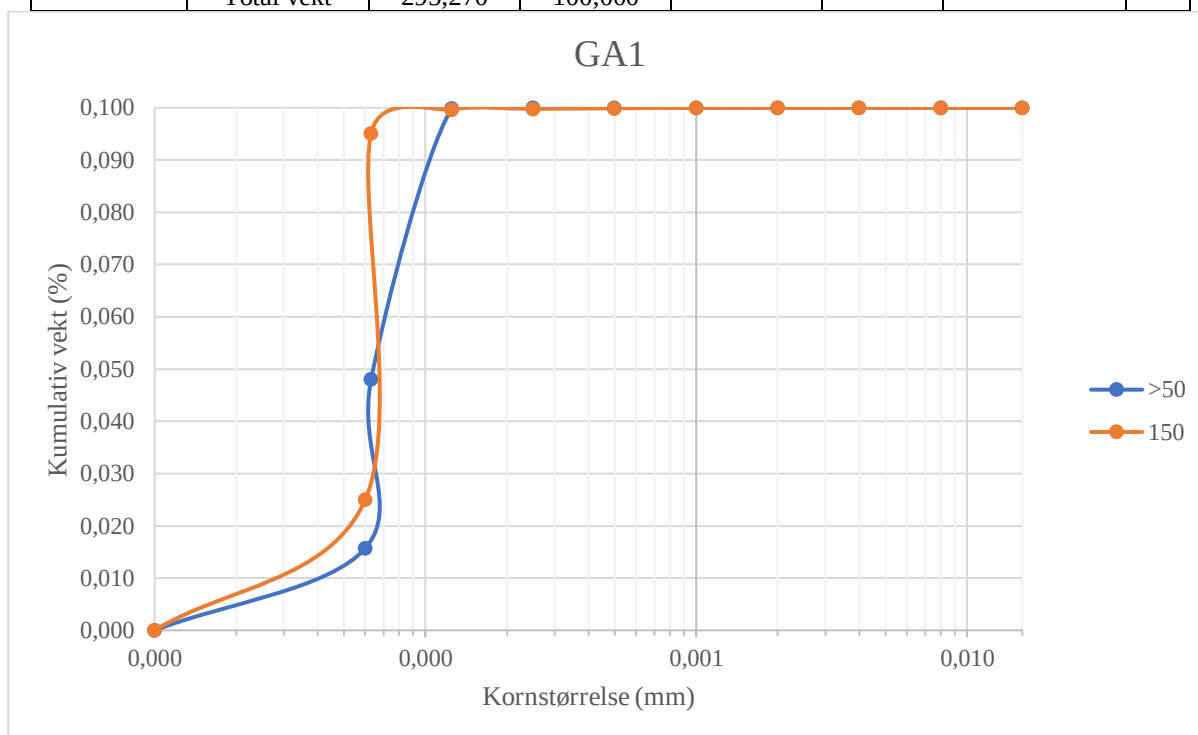
Tabell C-1 Infiltrasjonstest fra område D2

Lokalitet	D2			
Forsøk	Tid (s)	Vann-nivå (cm)	Q (m ³ /s)	Ks (m/s)
1	22	31	0,000216803	0,001084014
	30	34	0,000174375	0,000871873
	33	37	0,00017251	0,000862548
	36	39	0,000166682	0,000833408
	44	44	0,00015386	0,0007693
	47	46	0,000150586	0,000752932
	50	47	0,000144628	0,000723142
	53	49	0,000142248	0,00071124
2	18	32	0,000273529	0,001367644
	24	36	0,00023079	0,00115395
	30	39	0,000200018	0,00100009
	38	40	0,000161958	0,000809789
	46	43	0,000143826	0,000719128
3	19	33	0,000267231	0,001336153
	25	38	0,000233867	0,001169336
	31	41	0,000203492	0,001017461
	39	45	0,000177531	0,000887654
	42	47	0,000172177	0,000860883
	49	49	0,00015386	0,0007693
4	18	28	0,000239338	0,001196689
	24	31	0,000198736	0,000993679
	29	34	0,000180388	0,000901938
	34	37	0,000167436	0,000837179
	38	39	0,000157909	0,000789545
	42	41	0,000150197	0,000750983
	46	43	0,000143826	0,000719128
	49	45	0,0001413	0,0007065
	53	46	0,000133539	0,000667694
	58	48	0,000127332	0,000636662

C.4 Kornstørrelse-distribusjon

Tabell C-5 Utregning av kornstørrelsedistribusjon og mettet ledningsevne

Lokalisation	GA1						
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
>50	0,010	0,000	0,000	0,000			
	0,060	118,357	15,740	15,740	d10	0,058	mm
	0,063	242,592	32,261	48,001	d60	0,15	mm
	0,125	390,322	51,907	99,908	d60/d10	2,586206897	
	0,250	0,520	0,069	99,977	Ks	0,00003364	m/s
	0,500	0,147	0,020	99,996			
	1,000	0,027	0,004	100,000			
	2,000	0,000	0,000	100,000			
	4,000	0,000	0,000	100,000			
	8,000	0,000	0,000	100,000			
	16,000	0,000	0,000	100,000			
	Total vekt	751,965	100,000				
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
150	0,010	0,00	0,000	0,000			
	0,06	73,92	25,035	25,03	d10	0,055	mm
	0,063	206,96	70,092	95,126	d60	0,095	mm
	0,125	13,49	4,569	99,695	d60/d10	1,727272727	
	0,25	0,28	0,095	99,790	Ks	0,00003025	m/s
	0,5	0,32	0,108	99,898			
	1	0,30	0,102	100,000			
	2	0,00	0,000	100,000			
	4	0,00	0,000	100,000			
	8	0,00	0,000	100,000			
	16	0,00	0,000	100,000			
	Total vekt	295,270	100,000				



Figur C - 22 Kornfordelingskurve for område GA1

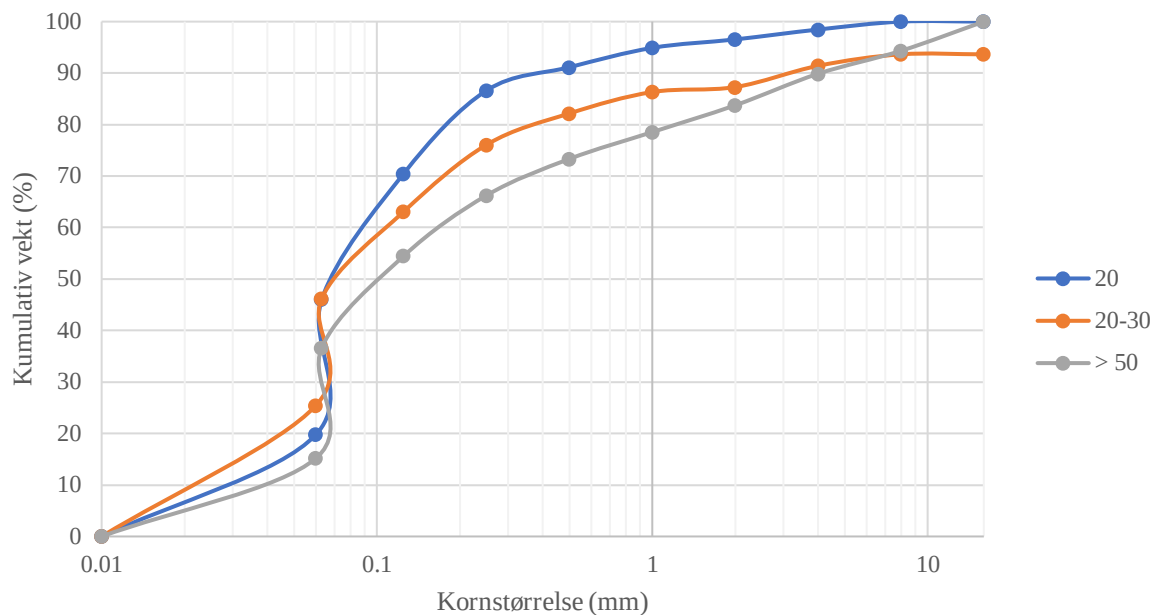
Vedlegg C

Tabell C-6 Utregning av kornstørrelsedistribusjon og mettet ledningsevne

Lokasjon	GA2						
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
20	0,01	0	0	0			
	0,06	58,768	19,776	19,776			
	0,063	78,004	26,250	46,026			
	0,125	72,634	24,443	70,469	d10	0,05	mm
	0,25	47,999	16,152	86,621	d60	0,18	mm
	0,5	13,427	4,518	91,140	d60/d10	3,6	
	1	11,18	3,762	94,902	Ks	0,000025	m/s
	2	4,863	1,636	96,538			
	4	5,713	1,923	98,461			
	8	4,574	1,539	100,000			
	16	0	0,000	100,000			
	Total vekt	297,162	100,000				
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
20-30	0,01	0	0	0			
	0,06	84,955	25,430	25,430			
	0,063	69,487	20,800	46,230			
	0,125	56,288	,849	63,079	d10	0,036	mm
	0,25	43,427	12,999	76,079	d60	0,19	mm
	0,5	20,355	6,093	82,172	d60/d10	5,277777778	
	1	13,871	4,152	86,324	Ks	0,00001296	m/s
	2	3,214	0,962	87,286			
	4	13,794	4,129	91,415			
	8	7,443	2,228	93,643			
	16	0	0,000	93,643			
	Total vekt	334,071	100,000				
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
> 50	0,01	0	0,000	0			
	0,06	44,57	15,181	15,181			
	0,063	63,04	21,471	36,652	d10	0,052	mm
	0,125	52,3	17,813	54,465	d60	0,28	mm
	0,25	34,59	11,781	66,247	d60/d10	5,384615385	
	0,5	20,8	7,084	73,331	Ks	0,00002704	m/s
	1	15,3	5,211	78,542			
	2	15,28	5,204	83,747			
	4	17,99	6,127	89,874			
	8	13,07	4,452	94,326			
	16	16,66	5,674	100,000			
	Total vekt	293,6	100,000				

Vedlegg C

GA2



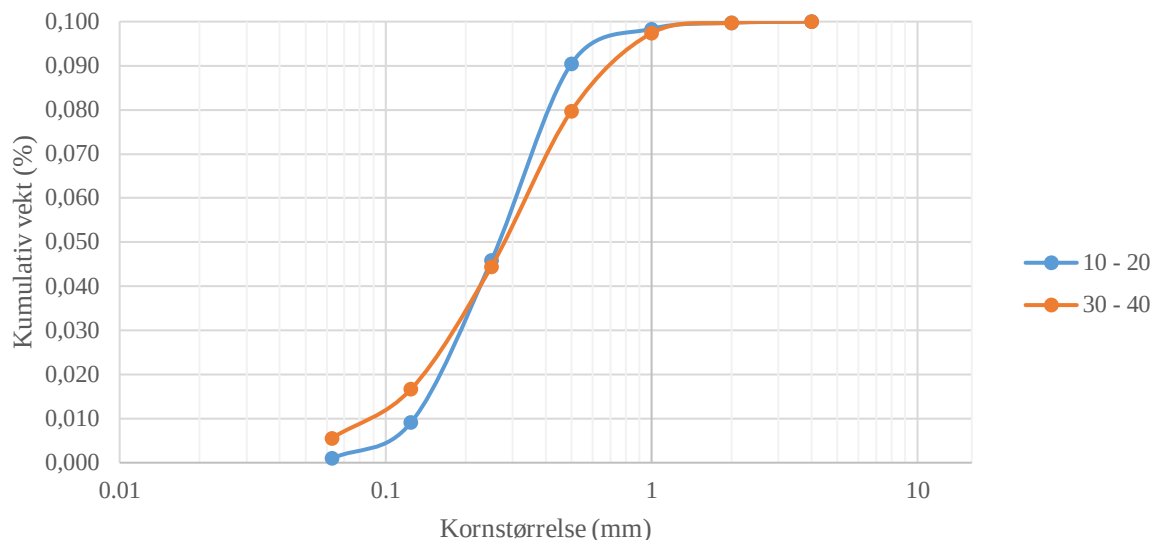
Figur C - 23 Kornfordelingskurve for område GA2

Tabell C-7 Utregning av kornstørrelsedistribusjon og mettet ledningsevne

Lokalisation	GB1						
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
10 - 20	0,063	4,21	0,986	0,986			
	0,125	35,08	8,216	9,202			
	0,25	156,43	36,636	45,838			
	0,5	190,67	44,655	90,494	d10	0,13	mm
	1	33,58	7,865	98,358	d60	0,3	mm
	2	5,87	1,375	99,733	d60/d10	2,307692308	
	4	1,14	0,267	100,000	Ks	0,000169	m/s
	Total vekt	426,98	100,000	0			
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
30 - 40	0,063	13,82	5,614	5,614			
	0,125	27,435	11,146	16,760	d10	0,09	mm
	0,25	68,24	27,723	44,483	d60	0,35	mm
	0,5	86,89	35,300	79,783	d60/d10	3,888888889	
	1	43,3	17,591	97,374	Ks	0,000081	m/s
	2	5,78	2,348	99,722			
	4	0,685	0,278	100,000			
	Total vekt	246,15	100,000				

Vedlegg C

GB1



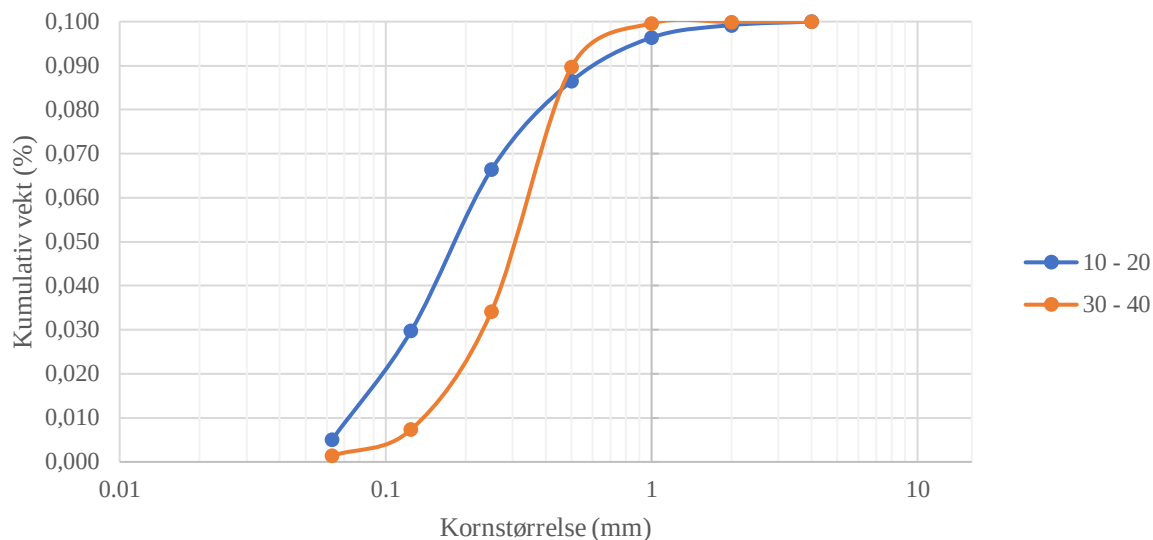
Figur C - 24 Kornfordelingskurve for område GB1

Tabell C-8 Utregning av kornstørrelsedistribution og mettet ledningsevne

Lokalisation	GB2						
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
10 - 20	0,063	13,76	5,108	5,108			
	0,125	66,63	24,735	29,843			
	0,25	98,45	36,547	66,389	d10	0,07	mm
	0,5	54,16	20,105	86,495	d60	0,23	mm
	1	26,62	9,882	96,377	d60/d10	3,285714286	
	2	7,6	2,821	99,198	Ks	0,000049	m/s
	4	2,16	0,802	100,000			
	Total vekt	269,38	100,000				
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
30 - 40	0,063	3,33	1,393	1,393	d10	0,14	mm
	0,125	14,39	6,019	7,411	d60	0,35	mm
	0,25	63,96	26,751	34,163	d60/d10	2,5	
	0,5	132,8	55,544	89,707	Ks	0,000196	m/s
	1	23,64	9,887	99,594			
	2	0,75	0,314	99,908			
	4	0,22	0,092	100,000			
	Total vekt	239,09	100,000	0			

Vedlegg C

GB2



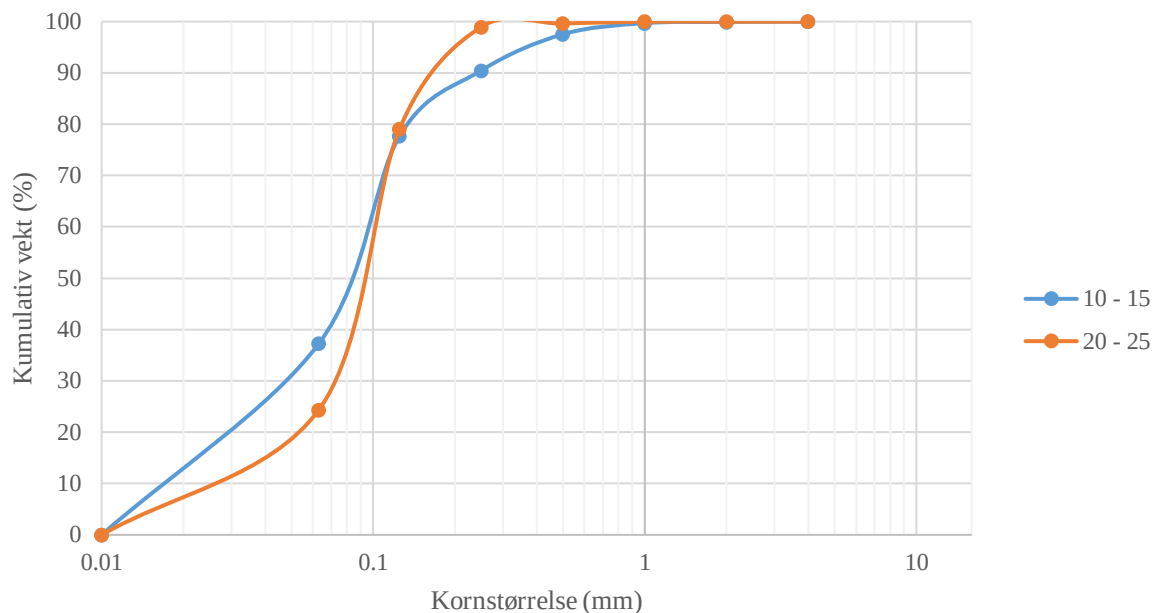
Figur C - 25 Kornfordelingskurve for område GB2

Tabell C-9 Utregning av kornstørrelsedistribusjon og mettet ledningsevne

Lokalisation	GB3						
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
10 - 15	0,01	0	0	0			
	0,063	83,9	37,249	37,249			
	0,125	91,1	40,446	77,695	d10	0,018	mm
	0,25	28,78	12,777	90,472	d60	0,095	mm
	0,5	15,93	7,072	97,545	d60/d10	5,277777778	
	1	4,86	2,158	99,703	Ks	0,00000324	m/s
	2	0,54	0,240	99,942			
	4	0,13	0,058	100,000			
	Total vekt	225,24	100,000	0			
20 - 25	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
	0,01	0	0,000	0,000			
	0,063	64,88	24,336	24,336			
	0,125	146	54,764	79,100	d10	0,025	mm
	0,25	52,95	19,861	98,961	d60	0,1	mm
	0,5	1,77	0,664	99,625	d60/d10	4	
	1	0,95	0,356	99,981	Ks	0,00000625	m/s
	2	0,05	0,019	100,000			
	4	0	0,000	100,000			
	Total vekt	266,6	100,000				

Vedlegg C

GB3

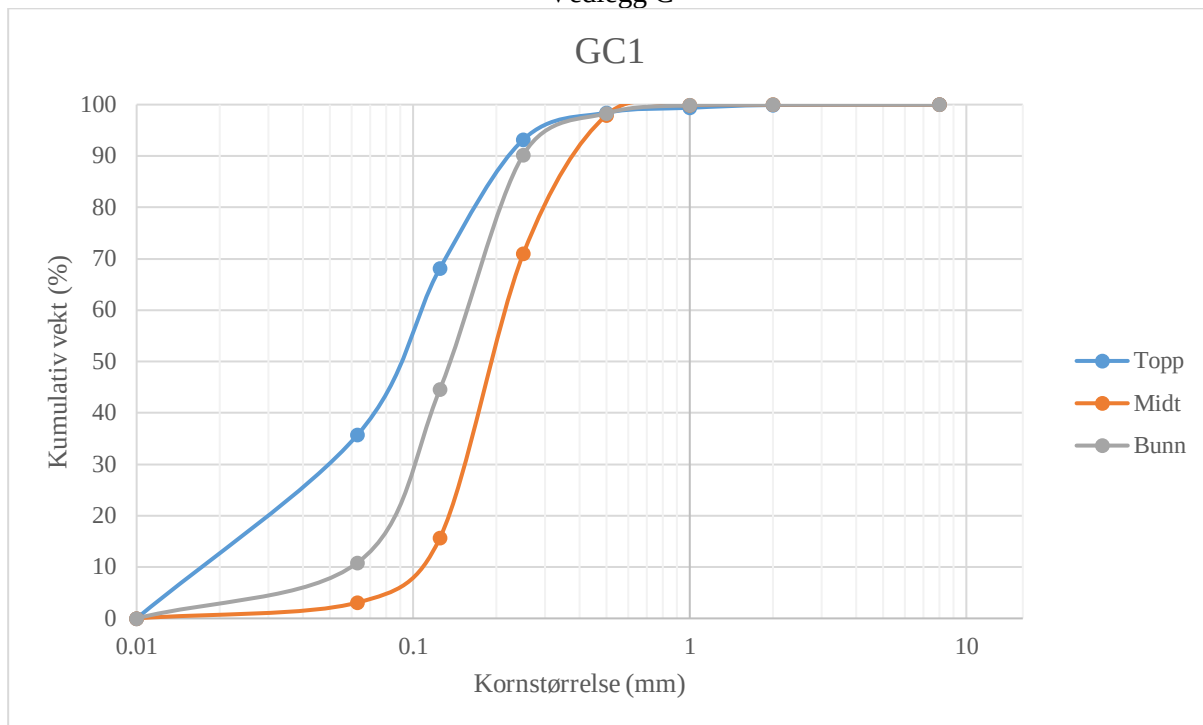


Figur C - 26 Kornfordelingskurve for område GB3

Tabell C-10 Utregning av kornstørrelsedistribution og mettet ledningsevne

Lokasjon	GC1						
Dybde	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
Topp	0,01	0	0	0			
	0,063	158,64	35,777	35,777			
	0,125	143,62	32,390	68,167	d10	0,018	mm
	0,25	110,9	25,011	93,178	d60	0,13	mm
	0,5	23,3	5,255	98,433	d60/d10	7,222222222	
	1	4,18	0,943	99,375	Ks	0,00000324	m/s
	2	2,43	0,548	99,923			
	8	0,34	0,077	100,000			
	Total vekt	443,41	100,000				
Dybde	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
Midt	0,01	0	0	0			
	0,063	25,19	3,095	3,095			
	0,125	102,64	12,609	15,704	d10	0,11	mm
	0,25	449,74	55,250	70,953	d60	0,21	mm
	0,5	219,83	27,006	97,959	d60/d10	1,909090909	
	1	15,46	1,899	99,858	Ks	0,000121	m/s
	2	1,03	0,127	99,985			
	8	0,125	0,015	100,000			
	Total vekt	814,015	100,000				
Dybde	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
Bunn	0,01	0	0	0			
	0,063	40,73	10,874	10,874			
	0,125	126,44	33,757	44,631	d10	0,064	mm
	0,25	170,79	45,598	90,229	d60	0,18	mm
	0,5	30,28	8,084	98,313	d60/d10	2,8125	
	1	5,87	1,567	99,880	Ks	0,00004096	m/s
	2	0,4	0,107	99,987			
	8	0,05	0,013	100,000			
	Total vekt	374,56	100,000				

Vedlegg C



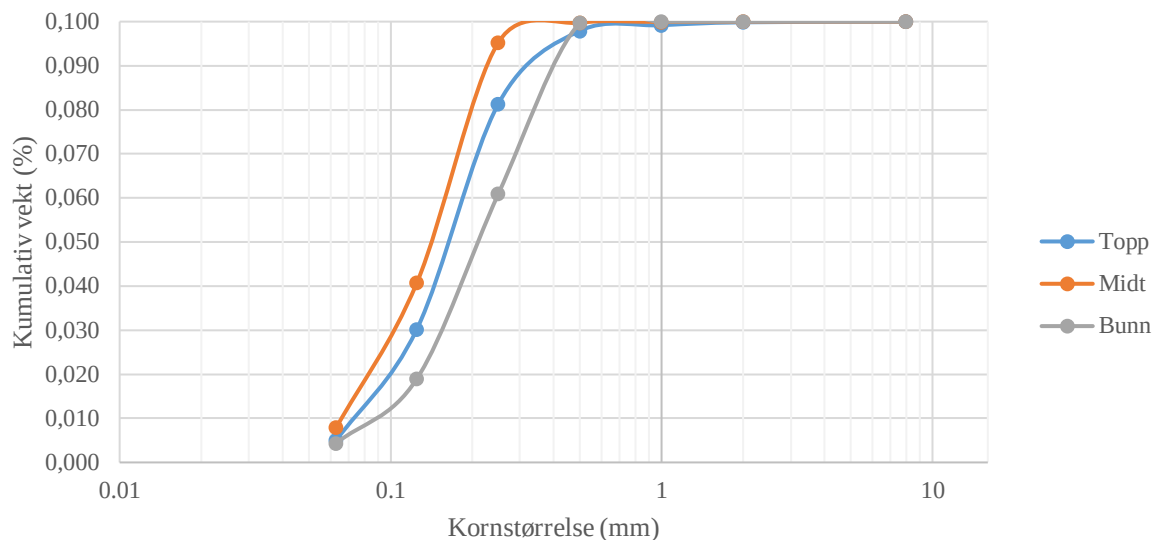
Figur C - 27 Kornfordelingskurve for område GC1

Tabell C-11 Utregning av kornstørrelsedistribusjon og mettet ledningsevne

Lokasjon	GC2						
Dybde	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
Topp	0,063	20,08	4,988	4,988			
	0,125	101,55	25,227	30,216	d10	0,07	mm
	0,25	205,93	51,158	81,373	d60	0,19	mm
	0,5	66,58	16,540	97,913	d60/d10	2,714285714	
	1	5,09	1,264	99,178	Ks	0,000049	m/s
	2	2,68	0,666	99,843			
	8	0,63	0,157	100,000			
	Total vekt	402,54	100,000				
Dybde	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
Midt	0,063	30,07	7,891	7,891			
	0,125	125,15	32,842	40,733	d10	0,065	mm
	0,25	207,93	54,565	95,297	d60	0,17	mm
	0,5	16,95	4,448	99,745	d60/d10	2,615384615	
	1	0,67	0,176	99,921	Ks	0,00004225	m/s
	2	0,3	0,079	100,000			
	8	0	0,000	100,000			
	Total vekt	381,07	100,000				
Dybde	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
Bunn	0,063	20,43	4,367	4,367			
	0,125	68,3	14,600	18,967			
	0,25	196,42	41,986	60,953	d10	0,09	mm
	0,5	181,44	38,784	99,737	d60	0,25	mm
	1	1,15	0,246	99,983	d60/d10	2,777777778	
	2	0,08	0,017	100,000	Ks	0,000081	m/s
	8	0	0,000	100,000			
	Total vekt	467,82	100,000				

Vedlegg C

GC2



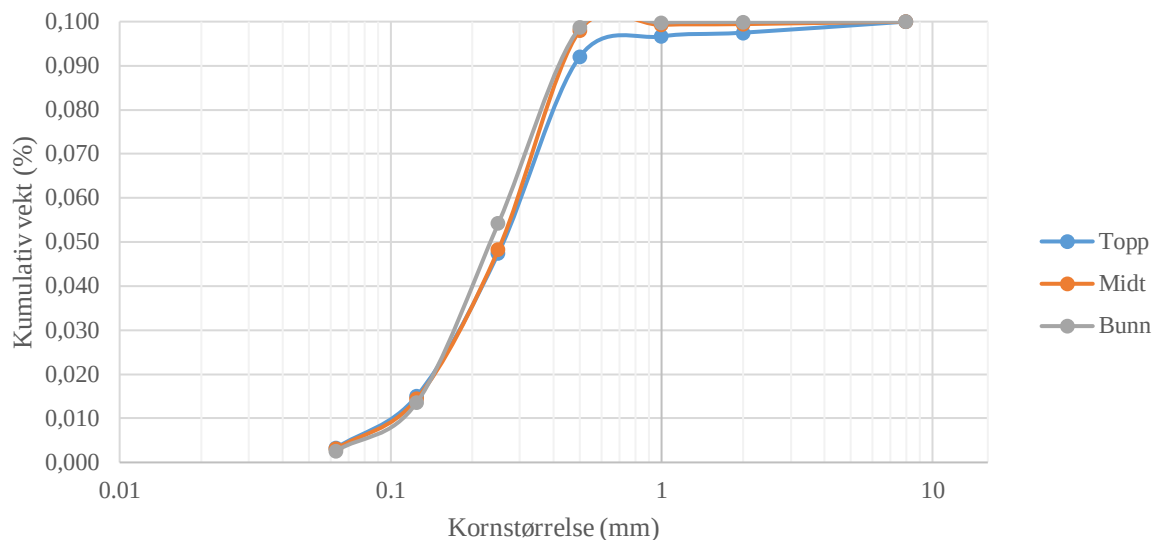
Figur C - 28 Kornfordelingskurve for område GC2

Tabell C-12 Utregning av kornstørrelsedistribusjon og mettet ledningsevne

Lokasjon	GC3						
Dybde	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
Topp	0,063	14,64	3,302	3,302			
	0,125	52,37	11,810	15,112	d10	0,1	mm
	0,25	143,57	32,378	47,490	d60	0,3	mm
	0,5	197,84	44,617	92,107	d60/d10	3	
	1	20,09	4,531	96,637	Ks	0,0001	m/s
	2	3,78	0,852	97,490			
	8	11,13	2,510	100,000			
	Total vekt	443,42	100,000				
Dybde	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
Midt	0,063	14,9	3,098	3,098			
	0,125	54,57	11,347	14,445			
	0,25	162,79	33,848	48,293	d10	0,11	mm
	0,5	239,42	49,782	98,075	d60	0,3	mm
	1	5,68	1,181	99,256	d60/d10	2,727272727	
	2	0,88	0,183	99,439	Ks	0,000121	m/s
	8	2,7	0,561	100,000			
	Total vekt	480,94	100,000				
Dybde	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
Bunn	0,063	15,62	2,647	2,647			
	0,125	64,78	10,978	13,625	d10	0,125	mm
	0,25	239,86	40,648	54,273	d60	0,27	mm
	0,5	262,05	44,408	98,682	d60/d10	2,615384615	
	1	6,53	1,107	99,788	Ks	0,00015625	m/s
	2	0,79	0,134	99,922			
	8	0,46	0,078	100,000			
	Total vekt	590,09	100,000				

Vedlegg C

GC3



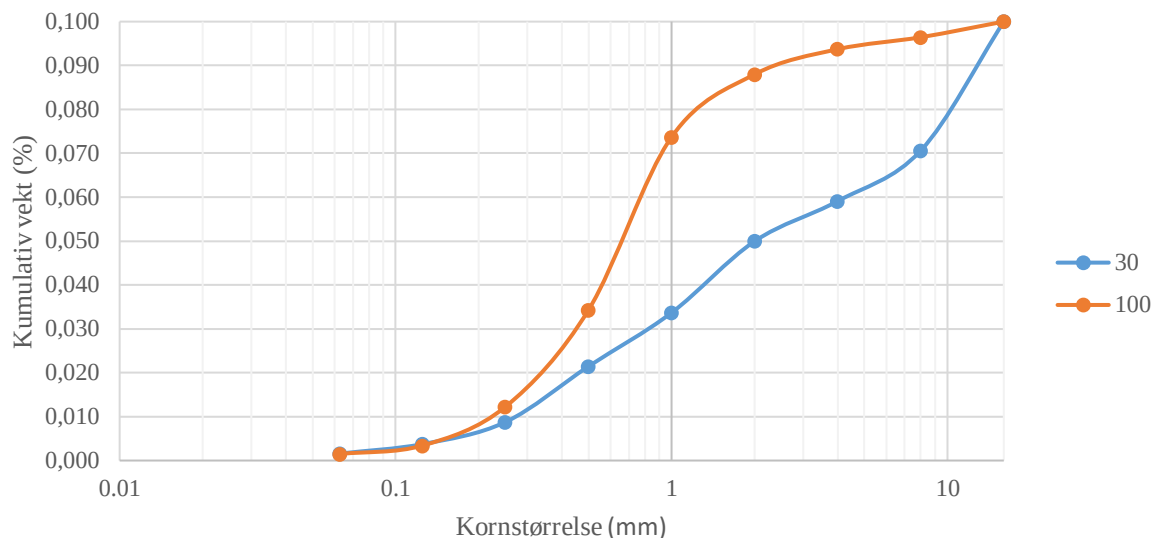
Figur C - 29 Kornfordelingskurve for område GC3

Tabell C-13 Utregning av kornstørrelsedistribution og mettet ledningsevne

Lokasjon	GD1 (x3)						
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
30	0,063	10,529	1,592	1,592			
	0,125	14,201	2,148	3,740	d10	0,27	mm
	0,25	33,235	5,026	8,766	d60	4	mm
	0,5	83,858	12,682	21,448	d60/d10	14,81481481	
	1	80,825	12,223	33,671	Ks	0,000729	m/s
	2	107,725	16,291	49,962			
	4	60,448	9,142	59,104			
	8	76,093	11,508	70,612			
	16	194,328	29,388	100,000			
	Total vekt	661,242	100,000				
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
100	0,063	13,64	1,498	1,498			
	0,125	17,393	1,910	3,408	d10	0,23	mm
	0,25	80,57	8,848	12,256	d60	0,8	mm
	0,5	200,607	22,030	34,286	d60/d10	3,47826087	
	1	358,895	39,413	73,699	Ks	0,000529	m/s
	2	130,132	14,291	87,990			
	4	52,135	5,725	93,715			
	8	24,81	2,725	96,440			
	16	32,421	3,560	100,000			
	Total vekt	910,603	100,000				

Vedlegg C

GD1



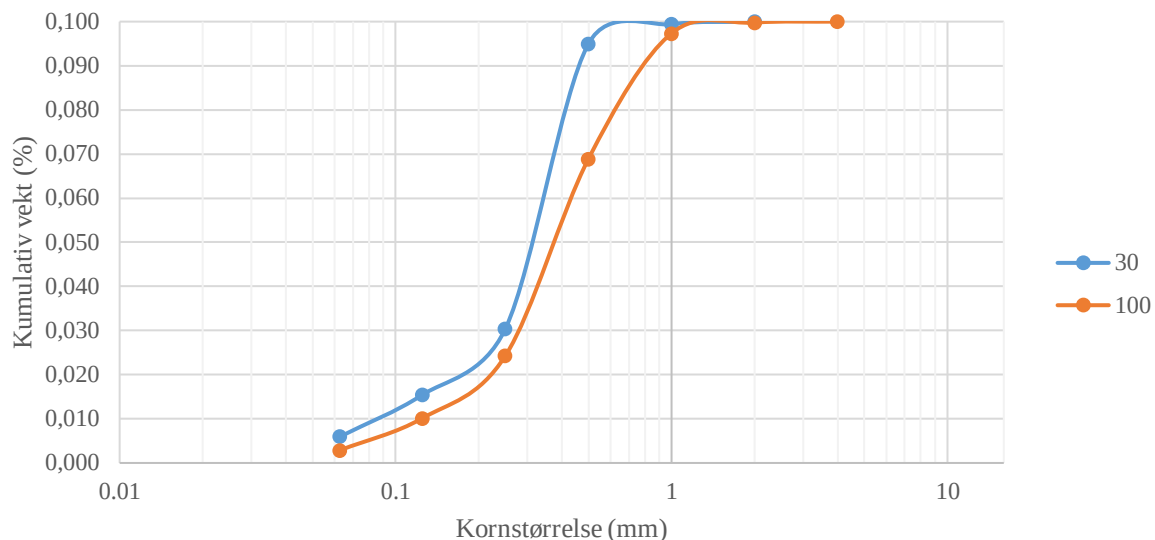
Figur C - 30 Kornfordelingskurve for område GD1

Tabell C-14 Utregning av kornstørrelsedistribusjon og mettet ledningsevne

Lokalisation	GD2 (x1)						
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
30	0,063	14,89	5,990	5,990			
	0,125	23,49	9,450	15,439	d10	0,08	mm
	0,25	37,25	14,985	30,424	d60	0,35	mm
	0,5	160,51	64,570	94,994	d60/d10	4,375	
	1	10,95	4,405	99,399	Ks	0,000064	m/s
	2	1,494	0,601	100,000			
	Total vekt	248,584	100,000				
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
100	0,063	11,04	2,902	2,902			
	0,125	27,519	7,235	10,137	d10	0,13	mm
	0,25	53,862	14,160	24,297	d60	0,45	mm
	0,5	169,675	44,607	68,904	d60/d10	3,461538462	
	1	108,176	28,439	97,343	Ks	0,000169	m/s
	2	9,23	2,427	99,770			
	4	0,875	0,230	100,000			
	Total vekt	380,377	100,000				

Vedlegg C

GD2



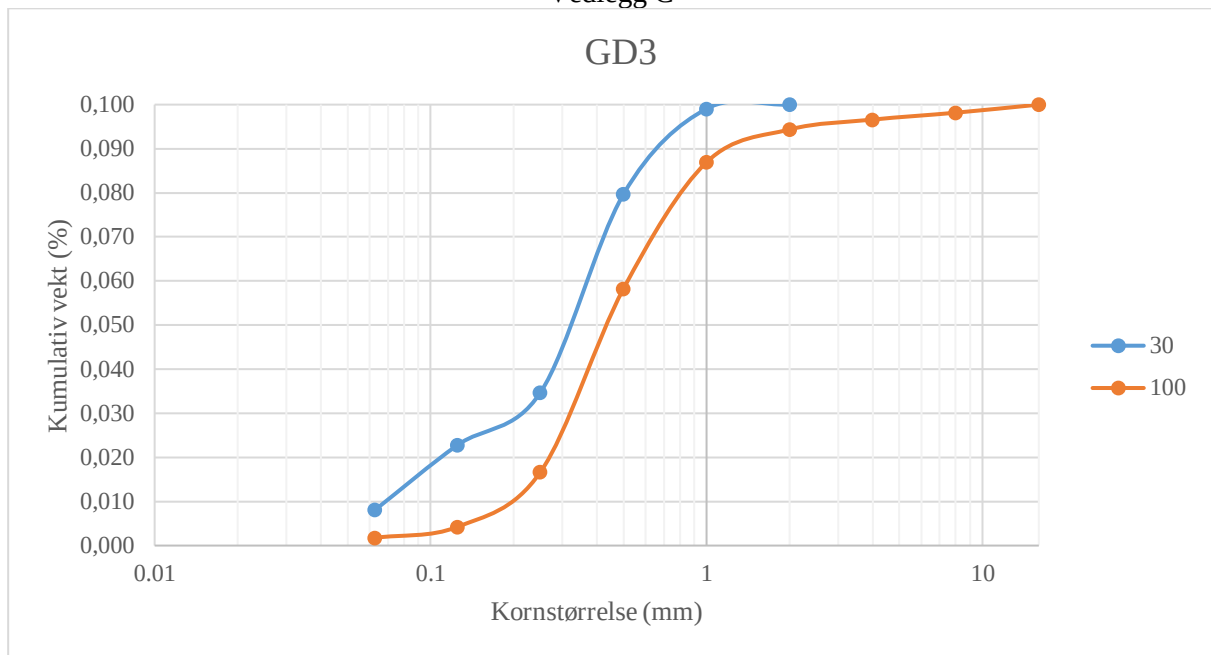
Figur C - 31 Kornfordelingskurve for område GD2

Tabell C-15 Utregning av kornstørrelsedistribusjon og mettet ledningsevne

Lokalisation	GD3 (x4)						
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
30	0,063	26,133	8,113	8,113			
	0,125	47,202	14,654	22,767	d10	0,065	mm
	0,25	38,452	11,937	34,704	d60	0,37	mm
	0,5	144,895	44,983	79,687	d60/d10	5,692307692	
	1	62,386	19,368	99,054	Ks	0,00004225	m/s
	2	3,046	0,946	100,000			
	Total vekt	322,114	100,000				
Dybde (cm)	Kornstørrelse (mm)	Vekt (g)	Prosent av total vekt	Kumulativ vekt (%)			
100	0,063	8,146	1,760	1,760			
	0,125	11,463	2,476	4,236			
	0,25	57,507	12,424	16,660			
	0,5	192,473	41,582	58,242	d10	0,2	mm
	1	132,787	28,687	86,929	d60	0,52	mm
	2	34,435	7,439	94,369	d60/d10	2,6	
	4	10,337	2,233	96,602	Ks	0,0004	m/s
	8	7,254	1,567	98,169			
	16	8,475	1,831	100,000			
	Total vekt	462,877	100,000				

Vedlegg C

GD3



Figur C - 32 Kornfordelingskurve for område GD3

Vedlegg C

C.5 Vannkjemi

Tabell C-16 Kjemiske tester fra feltområdet

Lokasjon	Beskrivelse	Utmx	Utmy	Utmz	Dato og tid	pH	Temp. (oC)	Electrisk konduktivitet (microS/cm)	Alkalinitet (mg/L av CaCO3)	Oks. mettning (mg/l)	Oks. mettning (%)
Kjem.A1	North Langsletta elv, laveste takningspunkt (før byggeplass til ny veg).	635821.26	6755026.68	209.5	21.06.2018 10.00	5,32	11,00	24,90	12,5	??	??
Kjem.A2	North Langsletta elv, Midterste punkt (etter myr)	634548.14	6754778.90	241	21.06.2018 10.30	5,38	9,8	26,2	12,5	??	??
Kjem.A3	North Langsletta elv, høyeste takningspunkt (etter skog)	634195.32	6754986.50	261.5	21.06.2018 11.00	4,9	8,5	17,3	5	??	??
Kjem.A4	Glomma	637064.00	6755469.00	178	21.06.2018 11.30	6,18	11,3	40	14,7	??	??
Kjem.A5	Eidsiva brønn 1	636942,21	6755526,3	195,414	25.06.2018 10.00	5,76	10,5	118	22,7	??	??
Kjem.A6	Gruppe A drilllet brønn	636340,135	6755132,0	207,8	26.06.2018 10.00	6,7	9,2	55,5	27,3	??	??
Kjem.A7	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
Kjem.B1	Liten bekk, brunt vann, ingen lukt, turbulent strømning	636196	6754392	213	21.06.2018 13:32	5,2	9,5	20	10	7,4	67,3
Kjem.B2	Bekk mellom to jorder, klart vann, ingen lukt, turbulent strømning	636207	6754744	227	21.06.2018 14:00	4,9	9,4	26	5	7,6	68,9
Kjem.B3	Grunnvann fra frøft i felt. Skittent (sediment rikt), ingen lukt	636876	6754672	199	21.06.2018 15:00	4,1	7,1	34	10	4,5	38,3
Kjem.B4	Eidsivabrønn, sedimentrikt svart vann, ingen lukt	636730	6755858	194	22.06.2018 10:00	4,1	8,7	85	Ikke målbart	0,61	4,8
Kjem.C1	Brønn 8505 test 1	637640,495	6754324,319	184,673	21.06.2018 20:00	5	7	33,3	50	??	??
	Brønn 8505 test 2	637640,495	6754324,319	184,673	22.06.2018 20:00		10,7	53,3		??	??
Kjem.D1	Innsjø test 1	637275,336	6753875,39	187,729	21.06.2018 10:14	5,7	14,1	24,2	8,3	??	??
	Innsjø test 2	637275,336	6753875,39	187,729	21.06.2018 10:24		14	24		??	??
	Innsjø test 3	637275,336	6753875,39	187,729	21.06.2018 10:34		14	24,1		??	??
Kjem.D2	Bekk test 1	636937,336	6753626,231	188,467	22.06.2018 10:28	5,2	8,3	23,6	20	??	??
	Bekk test 2	636937,336	6753626,231	188,467	23.06.2018 11:33		8,3	23,6		??	??
	Bekk test 3	636937,336	6753626,231	188,467	24.06.2018 11:38		8,4	23,7		??	??
Kjem.D3	Brønn ved togspor	638319,628	6752560,427	189,263	??	??	??	??	??	??	??

C.6 Undersøkte brønner

Tabell C-17 Undersøkte brønner i området

Referanse	Utmx	Utmy	Høyde (m.o.h.)	TOC høyde (m)	Total lengde til piezometer (m)	Dybde til vannspeil (m)	Piezometer diameter (m)
Well Group A	636340,135	6755132,04	207,832	208,832	7,11	3,35	0,035
"Drilltroppen" well	636820	6754530	190	190,76	7	5,32	??
Well2	637187,539	6753799,535	189,611	190,451	7,5	4,24	0,0028
Well1	637108,164	6753743,443	190,139	190,889	6,76	4,4	0,0033
Well3	637276,329	6753877,148	188,044	188,814	4,95	2,8	0,003
Well5	637469,204	6753351,184	188,364	189,126	5,1	5,1	0,0033
Well4	637456,841	6753851,584	185,563	186,308	8,84	6,41	0,0036
Well6	638319,628	6752561,427	189,263	190,063	30	11,15	0,0207
Well7	638322,157	6752558,694	189,38	190,42	15	11,5	0,0033
Sounding	637848,235	6754318,164					
Eidsiva brønner							
Well0	??	??	??	??	Tett ved 9m	??	??
Well1	636942,21	6755526,34	195,414	196,254	16	13	0,13
Well2	636871,95	6755768,87	195,13	195,67	9,3	12,1	0,08
Well3	636843,68	6755867,63	195,63	241,13	Tett	9,1	0,08
Well4	636811,14	6755982,2	195,844	196,444	12,65	9,23	0,13
Well5	636770,53	6756128,26	195,676	196,096	12,2	8,25	0,13
Well6	636716,99	6756321,35	195,395	195,825	8,19	7,36	0,08
Well7	636684,79	6756429,67	195,903	196,283	11,3	7,69	0,13
Well8	636650,11	6756719,92	195,741	195,971	9	6,68	0,13
Group B Well1	636865,93	6755563,46	195,979	196,644	19,9	12,18	0,13
Group B Well2	636823,35	6755709,32	195,869	196,464	11,3	9,63	0,08
Group B Well3	636808,53	6755757,69	195,713	196,268	11,85	9,28	0,08
Group B Well4	636779,76	6755854,15	195,834	196,464	11,58	9,2	0,08
Group B Well5	636761,25	6755913,83	195,756	196,416	11,83	9,12	0,08
Group B Well6	636732,94	6756006,52	195,776	196,336	12,06	9,11	0,08
Group B Well7	636681,14	6756177,14	195,91	196,53	12,26	8,26	0,08
Group B Well8	636642,35	6756304,55	195,58	196,14	11,7	7,8	0,08
Group B Well9	636580,87	6756512,07	196,155	196,955	8,03	7,72	0,08
Group B Well10	636568,92	6756733,2	195,957	196,737	9,09	7,02	0,13
Eidsiva well	636730	6755858	194	194,64	18,3	11,9	0,13
Brønner rundt vannverket							
8605	637393,583	6754375,18	184,151	??	??	??	??
Well2017river	637389,335	6754452,393	181,091	??	6,11	2,71	??
BRONNC03	637657,167	6754316,663	184,435	??	??	??	??
BRONNC02	637640,495	6754324,319	184,673	??	??	??	??
BRONNC01	637593,555	6754264,779	186,102	??	??	??	??
BRONNC04	637383,994	6754375,13	184,42	??	??	??	??
well07	637367,822	6754410,113	185,92	??	??	??	??
8601(Brønn ved hus)	637569,001	6754285,657	185,59	??	16,12	6,95	??

Vedlegg C

Vyredox brønner							
P2BR1	637535,881	6754289,2	185,332	??	??	??	??
P2BR2	637539,938	6754293,085	185,337	??	??	??	??
P2BR3	637545,403	6754291,152	185,353	??	??	??	??
P2BR4	637549,694	6754286,602	185,351	??	??	??	??
P2BR5	637551,041	6754280,273	185,437	??	??	??	??
P2BR6	637547,786	6754275,374	185,266	??	??	??	??
P2BR7	637542,047	6754274,65	185,259	??	??	??	??
P2BR8	637536,417	6754277,789	185,314	??	??	??	??
P2BR9	637534,528	6754283,193	185,361	??	??	??	??
P1BR1	637560,476	6754344,89	185,714	??	??	??	??
P1BR2	637554,119	6754343,917	185,684	??	??	??	??
P1BR3	637548,715	6754347,314	185,779	??	??	??	??
P1BR4	637546,535	6754353,495	185,845	??	??	??	??
P1BR5	637548,981	6754359,333	185,884	??	??	??	??
P1BR6	637554,664	6754362,526	185,904	??	??	??	??
P1BR7	637560,997	6754361,214	185,954	??	??	??	??
P1BR8	637564,949	6754356,121	185,888	??	??	??	??
P1BR9	637564,828	6754349,756	185,81	??	??	??	??
P3BR1	637439,813	6754334,452	184,129	??	??	??	??
P3BR2	637435,901	6754339,423	184,138	??	??	??	??
P3BR3	637436,276	6754346,342	184,1	??	??	??	??
P3BR4	637440,953	6754351,196	184,2	??	??	??	??
P3BR5	637447,264	6754350,677	184,136	??	??	??	??
P3BR6	637451,441	6754348,05	184,123	??	??	??	??
P3BR7	637454,24	6754341,844	184,173	??	??	??	??
P3BR8	637451,764	6754335,969	184,127	??	??	??	??
P3BR9	637446,082	6754332,971	184,174	??	??	??	??
P4BR1	637385,674	6754388,096	184,426	??	??	??	??
P4BR2	637391,104	6754384,712	184,346	??	??	??	??
P4BR3	637393,242	6754378,74	184,333	??	??	??	??
P4BR4	637390,77	6754372,733	184,357	??	??	??	??
P4BR5	637385,528	6754369,709	184,354	??	??	??	??
P4BR6	637378,458	6754371,014	184,285	??	??	??	??
P4BR7	637374,475	6754376,247	184,267	??	??	??	??
P4BR8	637374,872	6754382,218	184,266	??	??	??	??
P4BR9	637379,325	6754387,325	184,302	??	??	??	??

C.7 Lydtest

Lydtest A

Tabell C-18 Lydtest fra borret brønn i område A

Rør (m)	Tid (s)	Lyd	Kommentar
1	11	Jevn lyd	Sand
2	16	Muligens litt jevnere lyd	Sand
3	21	Samme lyd som over	Sand
4	16	Grovere lyd	Litt grovere material men fremdeles sand.
5	22	Samme som over	Samme som over, de siste 10 cm var vanskeligere å gå igjennom.
6	23	Grovere lyd	De siste 30 cm var vanskelig å gå gjennom. Grov sand muligens noe grus.
7	25	Lyden ved rotasjon er lik som over.	De siste 50 cm veldig vanskelig å gå igjennom. Grov sand muligens noe grus.
7,5	30	Ingen lyd ved rotasjon.	Ikke mulig å gå lengre ned ved 50 cm. Kan være en større stein eller tettpakket materiale.

Lydtest B:

Fra lyden under boring ble sedimenter tolket som sand/grus

Vedlegg C

Lydtest D:

Tabell C-19 Lydtest fra borret brønn i område D

Rør (m)	Tid (s)	Lyd	Kommentar
1	58	Knitrende	Rykninger, steiner
2	68	Bussing og knitring	Stein/Blokk, fin grus, grov sand
3	125	Klarer ikke å rotere stang	Kompakt, stang sitter fast mellom to steiner/blokker
4	45	Knitring og sliping, jevn lyd etter første rotasjon	Grov sand
5	40	Knitring, jevn lyd	Grov sand
6	41	Knitring	Grov sand
7	38	Knitring	Grov sand
8	36	Knitring	Grov sand



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway