

Numerisk 3D-modellering av kvartærgeologi og hydrogeologi i Melhus sentrum

En vurdering av uttakskapasitet, optimal
utnyttelse og forvaltning til energiformål

Marit Johanne Førde

Geologi

Innlevert: mai 2015

Hovedveileder: Bjørge Brattli, IGB

Medveileder: Randi Kalskin Ramstad, IGB

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for geologi og bergteknikk

Oppgavetekst

Hovedtittel: Uttak av grunnvann i Melhus sentrum – hydrogeologiske og driftstekniske forhold

Samarbeid mellom: NTNU Institutt for geologi og bergteknikk, Norges geologiske undersøkelse, Melhus kommune og Asplan Viak.

Student: *Marit Johanne Førde*

Tittel: Numerisk 3D-modellering av kvartærgeologi og hydrogeologi i Melhus sentrum – En vurdering av uttakskapasitet, optimal utnyttelse og forvaltning til energiformål.

Tema: Overordnet grunnvannsforvaltning basert på (tilnærmet) 3-dimensjonal kartlegging.

Innhold:

- a) Litteraturstudium. Hvordan er grunnvarme regulert i lovverk og reglement i andre land for å sikre optimal forvaltning?
- b) Det skal gjøres en hydrogeologisk og kvartærgeologisk sammenstilling av Melhus sentrum. Sammenstillingen gjøres ut fra kvartærgeologiske kart, geofysiske målinger, geotekniske borer og data fra grunnvarmeanlegg i drift og øvrige registrerte brønner.
- c) Det skal gjøres en vurdering av grunnvannsmagasinet maksimale uttakskapasitet, utarbeide forslag til strategi for optimal forvaltning og utnyttelse av grunnvannsressursen, og hvordan de etablerte grunnvarmeanleggene basert på oppumpet grunnvann påvirker grunnvannsmagasinet uforstyrrede tilstand. Vurderingene baseres på alle relevante bakgrunnsdata og resultater fra eventuelle innsamlede felldata som overvåking av grunnvannsnivå og vannprøver. Vurderingen av optimal forvaltning og utnyttelse av grunnvannsmagasinet gjøres opp mot bestemmelsene om konsesjonsplikt for uttak av grunnvann hjemlet i Vannressursloven.

Arbeidsoppgaver:

- Innsamling av relevante bakgrunnsdata (Tekniske data fra oppgaven til Mari H. Riise (2015). Avgrensning av studieområde.
- Sammenstilling av data i egnet programvare.
- Med utgangspunkt i forrige kulepunkt, finne ut hvilke data som mangler og fra dette utarbeide et forslag til overvåkingsprogram for grunnvannsnivå og grunnvannstemperatur.
- Presentasjon av sammenstilling og vurderinger.

Sammendrag

Oppgavens formål er å finne en strategi for optimal utnyttelse og forvaltning av grunnvannsressursen under Melhus sentrum, anvendt til oppvarming av bebyggelse. Melhus sentrum har ni grunnvarmeanlegg som pumper opp grunnvann. Seks av anleggene returnerer vannet til grunnvannsforekomsten. All tilgjengelig data fra geologiske kart, tidligere geofysiske og geotekniske undersøkelser er blitt samlet inn for sammenstilling. Dataene ble prosessert ved tegning, 3D-modellering av kvartærgeologi i SubSurface Viewer MX og numerisk 3D-simulering av hydro- og termogeologi i FEFLOW. I tillegg er relevant norsk og utenlandsk lovverk gjennomgått og sett i forhold til situasjonen i Melhus.

Melhus sentrum ligger opp mot restene av randåsen, Melhusryggen. Grunnvannsforekomsten under sentrum ligger i Melhusryggens mektige sand- og grusavsetning. Området er dekket av et marint leirlag, som i øvre deler er omrørt og stabil. Grunnvannsressursen er svært saltholdig som følge av fossilt salt vann og salt fra overliggende marin leire. Ressursen er tolket til å bestå av flere grunnvannsmagasin, både åpne og delvis åpne. Simuleringene viser at dagens pumperater er vel innenfor ressursens kapasitet, men at reinfiltrasjon er viktig for bærekraftigheten. Det fremgår også at returbrønnene sender kaldt vann til produksjonsbrønnene, noe som kan svekke effektiviteten og bærekraftigheten i anleggene. For fremtidige større anlegg anbefales det derfor å anlegge egne brønnefelt hvor produksjonsbrønnene står oppstrøms returbrønnene i en tilstrekkelig avstand i forhold til kuldeettransport.

Det er NVE som avgjør om et anlegg har konsesjonsplikt. Slik lovverket er i dag er det de grunnvannsanleggene som forstyrrer grunnvannsnivået nevneverdig eller som forurensrer overflatevann som har konsesjonsplikt. Dette gjelder de anleggene som ble etablert eller har endret omfang etter at Vannressursloven trådte i kraft i 2001. Et reglement bør generelt føre til bedre forundersøkelser, som lønner seg for økonomi og bærekraftighet.

Abstract

The aim of this thesis is to find a strategy for optimal utilization and management of the groundwater resource under Melhus centre, exploited to the heating of buildings. In Melhus centre there are nine installations that extract water from the groundwater. Six of these reinject the water to the body of groundwater. All available data from geological maps, previous geophysical and geotechnical investigations are collected for processing. The processing includes drawing, 3D modelling of quaternary geology and numerical 3D simulation of hydro- and thermogeology. In addition, Norwegian and foreign legal framework and recommendations regarding ground source heating is reviewed in relation to the situation in Melhus centre.

Melhus centre is situated up against the morainic ridge, Melhusryggen. The remnant of Melhusryggen's thick gravel deposition is situated underneath Melhus centre, and constitutes the deposition from which the groundwater is abstracted. The moraine and the body of groundwater are covered by marine clay, which is locally stable. The body of groundwater has a high content of salt ions from fossil water and from the marine clay. The study suggests that there are multiple groundwater reservoirs, both open and confined. Today's abstraction rate is well within the capabilities of the resource, however reinjection is important for the sustainability. It appears that the reinjection wells send cold water to the production wells, which could weaken the sustainability. For future large-scale systems it is recommended to use well fields where the abstraction wells are placed upstream the reinjection wells at a suitable distance in regards to coolth transportation.

With today's legal framework the installations that disturb the groundwater level or flow or pollute surface water to a certain extent have to apply for concession. Reinjection of the water sustains the groundwater level, and is in that regard not a disturbance of the groundwater level. A legal framework should generally lead to better preliminary investigations, which is beneficial for both economics and sustainability.

Forord

Denne masteroppgaven er et samarbeid mellom NTNU Institutt for geologi og bergteknikk (IGB), Norges Geologiske Undersøkelse (NGU), Melhus kommune og Asplan Viak. Bjørge Brattli ved NTNU har vært hovedveileder. Oppgaven er formulert førsteamanuensis II ved NTNU og konsulent i Asplan Viak, Randi Kalsin Ramstad, som har vært medveileder. Bakgrunnen for oppgaven er ønsket om økt kunnskap rundt grunnvarme basert på oppumpet grunnvann, dens påvirkning på uforstyrret tilstand, og kunnskap om optimalisering og bærekraftig ressursutnyttelse. Arbeidet med oppgaven har vært parallelt med arbeidet til masteroppgaven til Mari Helen Riise.

Jeg vil takke Randi Kalsin Ramstad for god faglig hjelp og motivasjon under hele prosessen. Videre vil jeg takke Anna Seither og Hans de Beer fra NGU for veiledning i modelleringsprosessen og bruk av FEFLOW, ArcMap og SubSurface Viewer MX. Jeg vil også takke Gaute Storrø fra NGU for å ha bidratt med sin hydrogeologiske kompetanse. Bernt Olav Hilmo fra Asplan Viak, Ramstad og Storrø har tatt med Mari Helen Riise og meg på feltarbeid til Melhus hvor vi har fått være med på verdifulle undersøkelser og gjort datainnsamlinger. Jeg vil også takke Mari Helen Riise for godt samarbeid under arbeidet og på Hydrogeologiseminaret 2015. Videre sendes en takk til Inger-Lise Solberg fra NGU, som har bidratt med kunnskap om kvartærgeologien i Melhus, og Atle Dagestad fra NGU for gode faglige diskusjoner. Takk til Stian Aune fra Melhus kommune og Bjørnar Kristiansen fra Rambøll, som har delt relevante geotekniske datarapporter. Takk til Kristin Haugen for hjelp med forståelse av Vannressursloven. I tillegg vil jeg takke Rolf Aune, vaktmester ved flere av grunnvarmeanleggene, for flere nyttig informasjon og hyggelige kaffestunder i Melhus. Til slutt sendes en stor takk til geologiklassene kull '14 og '15 for intet mindre enn seks fantastiske år.

Marit Johanne Førde

Mai, 2015

Omslagsbilde: Numerisk 3D-modell av Melhus sentrum, FEFLOW, Marit Johanne Førde

Innholdsfortegnelse

OPPGAVETEKST	I
SAMMENDRAG	III
ABSTRACT	V
FORORD	VII
1 INNLEDNING	1
2 TEORI	3
2.1 UNDERSØKELSESONMRÅDET	3
2.1.1 <i>Melhus sentrum og grunnvarmeanleggene</i>	4
2.1.2 <i>Klima og hydrologiske data</i>	6
2.1.3 <i>Berggrunn</i>	7
2.1.4 <i>Kvartærgeologisk historie og beskrivelse av området</i>	7
2.2 HYDROGEOLOGI	12
2.2.1 <i>Grunnvann og grunnvannsspeilet</i>	12
2.2.2 <i>Akvifer – åpne, lukkede og delvis lukkede</i>	13
2.2.3 <i>Hydrogeologiske parametre</i>	14
2.2.4 <i>Hydraulisk potensial og poretrykk</i>	17
2.2.5 <i>Grunnvannsstrømning</i>	17
2.2.6 <i>Kommunikasjon med vassdrag – ekvipotensialkart</i>	19
2.2.7 <i>Temperatur</i>	19
2.3 GRUNNVANNSUTTAK	20
2.3.1 <i>Stasjonær tilstand</i>	20
2.3.2 <i>Transient tilstand</i>	20
2.3.3 <i>Uttak og brønnutforming</i>	21
2.3.4 <i>Reinfiltrasjon</i>	22
2.4 GRUNNVANNSKJEMI	23
2.4.1 <i>Elektrisk ledningsevne</i>	23
2.4.2 <i>Kjemiske reaksjoner</i>	24
2.4.3 <i>Sjøvannskjemi</i>	24
2.4.4 <i>Fossilt salt grunnvann og kvikkleiredannelse</i>	25
2.4.5 <i>Jern og mangan</i>	26
2.5 GRUNNVARME	27
2.5.1 <i>Varmelagring</i>	27
2.5.2 <i>Varmetransport</i>	27
2.5.3 <i>Varmepumper og grunnvannsvarme</i>	29
2.5.4 <i>Åpent system</i>	29
2.5.5 <i>Vekselvis maskin- / frikjøling og oppvarming</i>	30
2.6 GRUNNVARMEANLEGG OG PÅVIRKNING PÅ UFORSTYRRET TILSTAND	31
2.6.1 <i>Strømningsforhold</i>	31
2.6.2 <i>Temperaturrendring</i>	31
2.6.3 <i>Geoteknisk risiko</i>	32
2.7 2D-PROFILER OG 3D-MODELLERING.....	33
2.7.1 <i>2D-profiler i ArcMap og SubSurface Viewer MX</i>	33
2.7.2 <i>Numerisk grunnvannsmodellering i FEFLOW</i>	34
3 LOVVERK	37
3.1 RÅDIGHET OG EIERFORHOLD	37
3.2 KONSESJONSPLIKT	38
3.3 RETTING/STANS I VIRKSOMHET OG STRAFF	40
3.4 VANNFORSKRIFTEN	41
3.5 FORHOLD TIL ANNET LOVVERK.....	42

3.5.1	<i>Forskrift om konsekvensutredning</i>	43
3.6	DAGENS SITUASJON	44
3.7	LOVVERKET INTERNASJONALT	45
4	METODE	49
4.1	EKSISTERENDE DATA	49
4.1.1	<i>Geotekniske undersøkelser</i>	49
4.1.2	<i>Geofysiske undersøkelser: Seismikk, georadar og resistivitet</i>	50
4.2	MÅLING OG ANALYSE AV GRUNNVANNETS FYSISKE OG KJEMISKE EGENSKAPER	52
4.2.1	<i>Fysiske egenskaper</i>	53
4.2.2	<i>Kjemiske egenskaper</i>	55
4.3	MODELLERING	56
4.3.1	<i>Definere modellens horisontale utstrekning</i>	56
4.3.2	<i>SubSurface Viewer MX og ArcMap: Kvartærgeologisk modellering</i>	57
4.3.3	<i>FEFLOW: Hydrogeologisk 3D-modell</i>	62
4.3.4	<i>FEFLOW: Kuldeoverføring</i>	67
4.3.5	<i>FEFLOW: Transient tilstand</i>	68
4.3.6	<i>FEFLOW: Maksimalt grunnvannsuttak / pumpehastighet</i>	69
5	RESULTAT	71
5.1	SAMMENSTILLING AV EKSISTERENDE DATA	71
5.1.1	<i>Melhus sentrum</i>	71
5.1.2	<i>Melhusryggen</i>	72
5.1.3	<i>Utenfor sentrum</i>	72
5.2	MÅLINGER UTFØRT I MELHUS SENTRUM	73
5.2.1	<i>Fysiske egenskaper</i>	73
5.2.2	<i>Kjemiske egenskaper</i>	74
5.3	KVARTÆRGEOLOGISK 3D-MODELL	77
5.4	HYDROGEOLOGISK 3D-MODELL	82
5.4.1	<i>Kuldeoverføring</i>	87
5.4.2	<i>Transient tilstand</i>	88
6	DISKUSJON	91
6.1	KVARTÆRGEOLOGI OG MODELLERING I SUBSURFACE VIEWER MX	91
6.2	HYDROGEOLOGI OG SIMULERING I FEFLOW	93
6.3	KJEMISKE FORHOLD	99
6.4	PÅVIRKNING PÅ UFORSTYRRET TILSTAND	100
6.4.1	<i>Stabilitet i løsmassene og kvikkleiredannelse</i>	101
6.4.2	<i>Strømningsforhold</i>	101
6.4.3	<i>Grunnvannstemperatur</i>	101
6.4.4	<i>Grunnvannskjemi</i>	102
6.5	UTTAKSKAPASITET	102
6.6	STRATEGI FOR OPTIMAL UTNYTTELSE	104
6.7	LOVVERK OG OPTIMAL FORVALTNING	105
6.7.1	<i>Konsesjonsplikt for anleggene i Melhus</i>	106
6.7.2	<i>Pågående diskusjoner</i>	107
6.7.3	<i>Praksis i Norge vs. praksis i andre land</i>	108
7	KONKLUSJON	111
7.1	ANBEFALINGER OG VIDERE ARBEID	112
	REFERANSER	115
	VEDLEGG	119

Figurer

FIGUR 2.1: KART OVER TRONDHEIMSSOMRÅDET, MED UNDERSØKELSESSOMRÅDET MARKERT.	3
FIGUR 2.2: GRUNNVANNSBASERTE GRUNNVARMEANLEGG I MELHUS SENTRUM.	5
FIGUR 2.3: KART OVER ÅRSMIDDELNEDBØREN I NORGE, MED TRØNDELAG UTHEVET I BOKS (MODIFISERT ETTER DATA FRA EKLIMA.MET.NO, 2015).	6
FIGUR 2.4: LØSMASSEKART FRA NGUS LØSMASSEDATABASE (KART MODIFISERT ETTER REITE, 1983, 1985).	8
FIGUR 2.5: ILLUSTRASJON AV DANNELSEN AV EN RANDÅS. UNDER RANDÅSEN LIGGER TIDLIGERE AVSATT MARIN LEIRE (REITE ET AL., 1999).	10
FIGUR 2.6: DE ULIKE AKVIFERTYPENE (MODIFISERT ETTER BRATTLI, 2013).	14
FIGUR 2.7: FORHOLDET MELLOM TOTAL PORØSITET, EFFEKTIV PORØSITET OG IKKE-DRENERBART VANN (BRATTLI, 2009A)	15
FIGUR 2.8: TYPISKE VERDIER FOR HYDRAULISK KONDUKTIVITET I VANLIGE NORSKE SEDIMENTTYPER (BRATTLI, 2009A) .	16
FIGUR 2.9: ILLUSTRASJON AV GRUNNVANNSSTRØMNING I ET TERRENG (UTARBEIDET AV GRIP OG ROHDE (1988), GJENGITT AV GRUNNVANN.NO , 2015)	18
FIGUR 2.10: ILLUSTRASJON AV SENKNINGSTRAKTER I ÅPENT GRUNNVANNSMAGASIN (VENSTRE) OG LUKKET GRUNNVANNSMAGASIN (HØYRE) (MODIFISERT ETTER BRATTLI, 2009A).....	21
FIGUR 2.11: IONER I TYPISK SJØVANN (MODIFISERT ETTER MATHES, 1982)	25
FIGUR 2.12: ILLUSTRASJON AV KVIKKLEIRE FØR, ETTER OG UNDER RAS (MODIFISERT ETTER NGU.NO , 2015).....	26
FIGUR 2.13: ÅPEN LØSNING: DIREKTE BRUK AV OPPUMPET GRUNNVANN. INFILTRERING AV KALDERE VANN I INFILTRASJONSBRØNN (MODIFISERT ETTER NGU.NO , 2015).....	30
FIGUR 2.14: ILLUSTRASJON AV FORSKJELLEN PÅ VEKTORINFORMASJON (TIN) OG RASTERINFORMASJON (DEM) (MODIFISERT ETTER INDIANA.EDU , 2015).	34
FIGUR 3.1: KONSESJONSPROSESSEN I NEDERLAND (MODIFISERT ETTER VAN BEEK OG GODSCHALK, 2013).....	47
FIGUR 4.1: UNDERSØKELSE- OG BRØNNDATAPUNKT FRA TIDLIGERE ARBEID I OMRÅDET. DISSE DATAENE ER BRUKT SOM GRUNNLAGSDATA I OPPGAVEN.....	52
FIGUR 4.2: BRØNNPLASSERINGENE PÅ LENA TERRASSE. B1: GAMMEL PRODUKSJONSBRØNN. B2: GAMMEL INFILTRASJONSBRØNN. B3: NY BRØNN, FREMTIDIG PRODUKSJONSBRØNN.....	54
FIGUR 4.3: PRØVEPUMPING AV NY PRODUKSJONSBRØNN. HER FRA BRØNN B1, MED PLASTSLANGEN SOM SENDER VANNET NED I BRØNN B3 (FOTO: M. FØRDE).	55
FIGUR 4.4: MODELLENS UTSTREKNING ER VALGT UT FRA NEDBØRSFELT I OMRÅDET (MODIFISERT ETTER DATA FRA WWW.NVE.NO , 2015)	57
FIGUR 4.5: TIN AV ANTATT FJELLOVERFLATE INTERPOLERT FRA TEGNEDE DYBDEKOTELINJER.	58
FIGUR 4.6: DE TEGNEDE PROFILENE I 3D-VINDUET FØR DE INTERPOLERES TIL EN TETT 3D-MODELL. DET ER 100 METER MELLOM HVER RUTE.	60
FIGUR 4.7: SKJERMDUMP AV SUBSURFACE VIEWER MX. VENSTRE: OVERSIKTSVINDU. HER KAN MODELLEREREN TEGNE HVOR PROFILENE SKAL GÅ. HØYRE: 3D-VINDU. NEDERST: PROFILVINDU. HER KAN BRUKEREN TEGNE PROFILENE ETTER BRØNNINDIKASJONENE. TREKANTENE INDIKERER LAGDELINGEN I KRYSSENDE PROFIL.	61
FIGUR 4.8: LAG 2 (SANDGRUS) LAGET UT FRA DE YTRE GRENSENE I PROFILENE PÅ DEM-KART.....	62
FIGUR 4.9: SKJERMDUMP FRA FEFLOW. FREMSTE VINDUET VISER 3D-KONFIGURASJONEN. VINDUET BAK VISER DET FERDIGE RUTENETTET.	63
FIGUR 4.10: FREMSTILLING AV ARBEIDSPROSESSEN FOR Å FÅ GEOMETRIEN FRA ALLE LAGENE FRA RASTERFILENE I SUBSURFACE VIEWER TIL VEKTORFORMAT (SHAPEFIL) FOR FEFLOW.....	64
FIGUR 4.11: BRØNNFILTRENES TOPP- OG BUNNPLASSERING I DYPET, SETT MOT MELHUSRYGGEN FRA SØR FOR GIMSE.	65
FIGUR 4.12: ILLUSTRASJON AV FORENKLET INFILTRASJONSSITUASJON I UNDERSØKELSESSOMRÅDET. AVRENNINGEN ER ET GJENNOMSNITT AV AVRENNINGSVERDIENE FRA RUTENETTET I NVE ATLAS (MODIFISERT ETTER ATLAS.NVE.NO , 2015)	67
FIGUR 4.13: DE TRANSIENTE INFILTRASJONSDATANE LASTES INN I FEFLOW. DET INNSIRKLEDE OMRÅDET VISER ET VALGT TIDSSTEG, HER ETT ÅR, MED ALLEREDE VALGT VERDI FOR INFILTRASJON PÅ 480,35 MM/ÅR.	68
FIGUR 5.1: SENKNINGSKURVENE FOR BRØNNENE B3 OG B1 ETTER PRØVEPUMPINGEN PÅ LENA TERRASSE.	74
FIGUR 5.2: INNHOLD AV TYPISKE SJØVANNSSJONER MÅLT I FEM AV ANLEGGENE PÅ LOGARITMISK AKSE. RØD STREK INDIKERER GRENSEVERDIEN FOR KLORID I DRIKKEVANN.	75
FIGUR 5.3: ELEKTRISKE LEDNINGSEVNEN I GRUNNVANNET FRA DE ANLEGG DET BLE SAMLET VANNPRØVER. RØD STREK INDIKERER GRENSEVERDIEN FOR ELEKTRISK LEDNINGSEVNE I DRIKKEVANN.	75
FIGUR 5.4: pH OG ALKALITET I GRUNNVANNET FRA DE ANLEGG DET BLE SAMLET VANNPRØVER.....	76
FIGUR 5.5: INNHOLD AV JERN OG MANGAN I GRUNNVANNET FRA DE ANLEGG DET BLE SAMLET VANNPRØVER FRA PÅ LOGARITMISK AKSE. GRØNN OG LILLA LINJE VISER GRENSEVERDIEN FOR HENHOLDSVIS FE OG MN I DRIKKEVANN.	76

FIGUR 5.6: KART MED PLASSERING AV DE FEM UTVALGTE PROFILENE.	77
FIGUR 5.7: PROFIL 7 GÅR FRA VARMBU I VEST TIL MELHUSRYGGEN I ØST.	78
FIGUR 5.8: PROFIL 23 GÅR FRA MELHUSRYGGEN I NORD TIL HELT SØR I MODELLOMRÅDET, UTENFOR LODDGARD.	78
FIGUR 5.9: PROFIL 8 GÅR FRA MELHUSRYGGEN I NORD, ØST FOR PROFIL 23, OG HELT SØR I MODELLOMRÅDET TIL LODDGARD.	79
FIGUR 5.10: PROFIL 2 SVINGER FRA MELHUSRYGGEN I NORDVEST TIL GIMSE I SØRVEST.	79
FIGUR 5.11: PROFIL 19 GÅR FRA VARMBU I VEST TIL SÅVIDT OPP PÅ MELHUSRYGGEN I ØST.	80
FIGUR 5.12: I SUBSURFACE VIEWER MX ER DET INTERPOLERT MELLOM ALLE PROFILENE OG DANNET EN KOMPLETT 3D- MODELL. HER SETT PÅ SØRVEST, MED PROFIL GJENNOM MELHUSRYGGEN. I BILDETS VENSTRE YTTERKANT SES ENDEN PÅ LAG 2 TIL OG MED 5.	81
FIGUR 5.13: MODELLEN FRA SUBSURFACE VIEWER MED SEPARERTE LAG. FRA MODELLENS NORDLIGSTE PUNKT TIL SØRLIGSTE PUNKT ER DET 2500 METER. SKALAEN I VERTIKALRETNINGEN ER DOBLET.	82
FIGUR 5.14: EKVIPOTENSIALLINJE SOM VISER RESULTAT AV SIMULERING AV HYDRAULISK POTENSIAL I METER OVER HAVET I UFORSTYRRET TILSTAND. A) LAGFLATE 1 (TOPPLAG). B) LAGFLATE 3 (MARIN). C) LAGFLATE 4 (GRUS).	84
FIGUR 5.15: LAGFLATE 2 (SANDGRUS). SENKNINGSTRAKT RUNDT PRODUKSJONSBRØNNEN PÅ GIMSE.	85
FIGUR 5.16: LAGFLATE 5 (SAND). PÅVIRKNINGEN PÅ GRUNNVANNSNIVÅET I SENTRUM. ØVERST: DAGENS UTTAK. NEDERST: DOBBELT UTTAK. DET KAN I BEGGE SITUASJONER OBSERVERES STØRST SENKNINGSTRAKT RUNDT PRODUKSJONSBRØNNEN PÅ LENA TERRASSE.	86
FIGUR 5.17: KULDEOVERFØRING FRA RETURBRØNNENE I LAGFLATE 5 (SAND), UNDER INFILTRASJONSBRØNNENES FILTER. SITUASJONEN ER TILSVARENDE I OVERLIGGENDE LAG OG FOR TRANSIENT MODELL I SAMME LAGFLATE.	87
FIGUR 5.18: LAVERE KONDUKTIVITET I MELHUSRYGGEN. DET KALDE VANNET FRA RETURBRØNNENE STRØMMER RUNDT MELHUSRYGGEN OG UT I GAULA.	88
FIGUR 5.19: KULDEOVERFØRING I LAGFLATE 2 (SANDGRUS) VED DAG 2867 (OMTRENT 8 ÅR ETTER OPPSTART).	89
FIGUR 5.20: ØVERST: KULDEOVERFØRING I LAGFLATE 5 (SAND) VED DAG 121. NEDERST: KULDEOVERFØRING I LAGFLATE 4 (GRUS) VED DAG 2196 (6 ÅR ETTER OPPSTART).	90
FIGUR 6.1: RELATIVT GRUNNVANNSNIVÅMÅLINGER FRA PRODUKSJONSBRØNNEN I MELHUSET, OG VANNFØRINGSTALL FRA GAULFOSSEN MÅLESTASJON FRA 2008 OG 2014 (MODIFISERT ETTER RIISE, IN PREP., 2015)	94
FIGUR 6.2: ØVERST: LAGDELINGEN UNDER VASSFJELLET SLIK DET MESTE AV SIMULERINGEN BLE GJENNOMFØRT. LAG 2 (SANDGRUS) FLTARE UT VED DEN RØDE SIRKELEN. NEDERST: ENDRET TYKKELSE PÅ LAGENE.	96
FIGUR 6.3: A) TYKKELSE PÅ LAGENE I MELHUSRYGGEN FØR ENDRING, SLIK DET MESTE AV SIMULERINGEN BLE GJENNOMFØRT. B) ENDRING AV LAGTYKKELSEN, MED LAG 2 SOM ET TYNT LAG MELLOM LAG 1 OG 3.	98
FIGUR 7.1: FORSLAG TIL PLASSERING AV UNDERSØKELSESPUNKT MED DYPE BORINGER OG PERMANENTE OBSERVASJONSBRØNNER.	114

Tabeller

TABELL 2.1: TEKNISKE DATA HENTET FRA ANLEGGENE OG RIISE (IN PREP., 2015). UTHEVEDE FILTERLENGDER ER BEKREFTETE LENGDER, MENS DE RESTERENDE ER ANTATTE LENGDER.	4
TABELL 2.2: OVERSIKT OVER DE DOMINERENDE SEDIMENTTYPENE I UNDERSØKELSESONRÅDET, MED AVSETNINGSMILJØ- OG HISTORIKK.	12
TABELL 3.1: TERSEL- OG VENDEPUNKTSVERDI FOR NOEN STOFFER OG PARAMETERE I GRUNNVANN (VANNFORSKRIFTEN, 2007)	43
TABELL 4.1: OVERSIKT OVER EKSISTERENDE DATA FRA UNDERSØKELSER I UNDERSØKELSESONRÅDET.	51
TABELL 4.2: LAGDELING I MODELLERINGEN, MED LAG 1 (TOPPLAG) ØVERST I STRATIGRAFIEN.	59
TABELL 4.3: OVERSIKT OVER DE ULIKE LAGENES HYDROGEOLOGISKE EGENSKAPER	66
TABELL 4.4: VERDIER FOR LAGENES TERMISKE EGENSKAPER	67
TABELL 5.1: RESULTAT FRA PRØVEPUMPING I NY PRODUKSJONSBRØNN, B3 (RIISE, 2015).....	73
TABELL 5.2: RESULTAT AV BEREGNINGER AV SENKNING, Δs , TRANSMISSIVITET, T, HYDRAULISK KONDUKTIVITET, K, OG MAGASINKOEFFISIENT, S. B3 ER DEN NYE PRODUKSJONSBRØNNEN, MENS B2 ER GAMMEL INFILTRASJONSBRØNN.	73
TABELL 6.1: RESULTAT FRA XRF-ANALYSE AV JORDPRØVE TATT FRA MASSER I BRØNNKUM VED SPYLING AV REINFILTRERINGSBRØNNEN PÅ THORAGÅRDEN (RIISE, 2015).....	99

Vedlegg

VEDLEGG A KONSESJONSSØKING	119
VEDLEGG B SUBSURFACE VIEWER	122
VEDLEGG B.A) UTKLIPP HÅNDTEGNINGER	122
VEDLEGG B.B) BORELOGGER TIL SUBSURFACE VIEWER.....	124
VEDLEGG B.C) STORE PROFIL	126
VEDLEGG C FEFLOW	129
VEDLEGG C.A) TEKNISKE DATA TIL FEFLOW	129
VEDLEGG C.B) HYDRAULISK POTENSIAL I HØYERE LAG GJENNOM ET ÅR.	130
VEDLEGG C.C) KULDEOVERFØRINGSTVERRSNITT.	131
VEDLEGG C.D) DARCY-FLUKS: GRUNNVANNSSTRØMNING.....	132
VEDLEGG D RESULTAT FRA ANALYSE AV VANNPRØVER.....	133
VEDLEGG E DIGITALE VEDLEGG, ZIP-FIL.....	138
VEDLEGG E.A) KVARTÆRGEOLOGISK MODELL.....	138
VEDLEGG E.B) HYDROGEOLOGISKE MODELL.....	138

1 INNLEDNING

Bakgrunnen for oppgaven er grunnvarmeanleggene i Melhus sentrum. Her er det på et lite område etablert ni anlegg som alle pumper opp grunnvann fra løsmasser. Seks anlegg sender vannet tilbake til grunnvannsføremkomsten, mens de resterende sender det ut som overvann til elva Gaula. Det er gjort få eller ingen forundersøkelser til disse anleggene, og flere av anleggene har hatt en del problemer med utfelling og gjentetting av brønner. Samtidig viser aktiviteten i området at det må være snakk om en forekomst med stor vanngiverevne. Hensikten med oppgaven var derfor å vurdere grunnvannsføremkomstens egnethet, samt driftens påvirkning på grunnvannsføremkomstens uforstyrrede tilstand, og å finne en strategi for optimal anvendelse og forvaltning. Oppgaven er utarbeidet parallelt med oppgaven til masterstudent Mari Helen Riise, som tar for seg hvordan grunnvarme basert på oppumpet grunnvann kan optimaliseres.

Oppgaven besvares ved å gjøre en sammenstilling av all tilgjengelig relevant litteratur om kvartærgeologi og hydrogeologi Melhus sentrum. Relevant litteratur er kvartærgeologiske kart, geofysiske målinger, data fra registrerte brønner og geotekniske undersøkelser. I tillegg hentes data fra felt, prøvepumpingsundersøkelser og innsamling av vannprøver til analyse. Dette gjøres i samarbeid med Mari H. Riise (in. Prep., 2015). Teknisk informasjon om grunnvarmeanleggene fås fra Riises arbeid. Kvartærgeologi, hydrogeologi og driftens påvirkning sammenstilles ved bruk av 2D- og 3D-modellering og numerisk datasimulering. Strategi for optimal forvaltning kartlegges ved å se på og vurdere bestemmelsene for konsesjonsplikt hjemlet i Vannressursloven og dagens praksis, og sammenliknes med praksis, anbefalinger og lovverk i utlandet.

I kapittel 2 introduseres undersøkelsesområdet, området kvartærgeologi og klimatiske forhold. Deretter følger en gjennomgang av relevant bakgrunnsteori innen hydrogeologi, termogeologi og grunnvarme. I kapittel 3 gjennomgås norsk og utenlandsk lovverk rundt grunnvann, grunnvannsuttak og grunnvarme. I kapittel 4 gjennomgås og beskrives metodikken, før resultatene fremstilles i kapittel 5 og diskuteres i kapittel 6. I kapittel 7 følger konklusjonen og anbefalt videre arbeid.

Definisjoner

K – Hydraulisk ledningsevne (m/s)

n – Porøsitet

n_{eff} – Effektiv porøsitet

S – Magasinkoeffisient

T – Transmissivitet (horisontal hydraulisk ledningsevne i mettet sone) (m/s)

h – Hydraulisk potensial

Q – Uttaksrate (L/s , m³/år)

Grunnvannsmagasin – En akvifer, eller del av akvifer som anses som én hydraulisk enhet

Grunnvannsføremst – En avgrenset mengde grunnvann innenfor en eller flere akviferer

Lag – Geologisk / hydrogeologisk enhet med tykkelse

Lagflate – Geologisk / hydrogeologisk enhet uten tykkelse over eller under et lag

Reinfiltrasjon – Sende grunnvann benyttet i varmepumpe tilbake til grunnvannsmagasinet i en reinfiltrasjonsbrønn

Modellering – Forenklet fremstilling av en virkelighet

Simulering – Etterlikning av (konstruert) hendelsesforløp (ved hjelp av datamaskin)

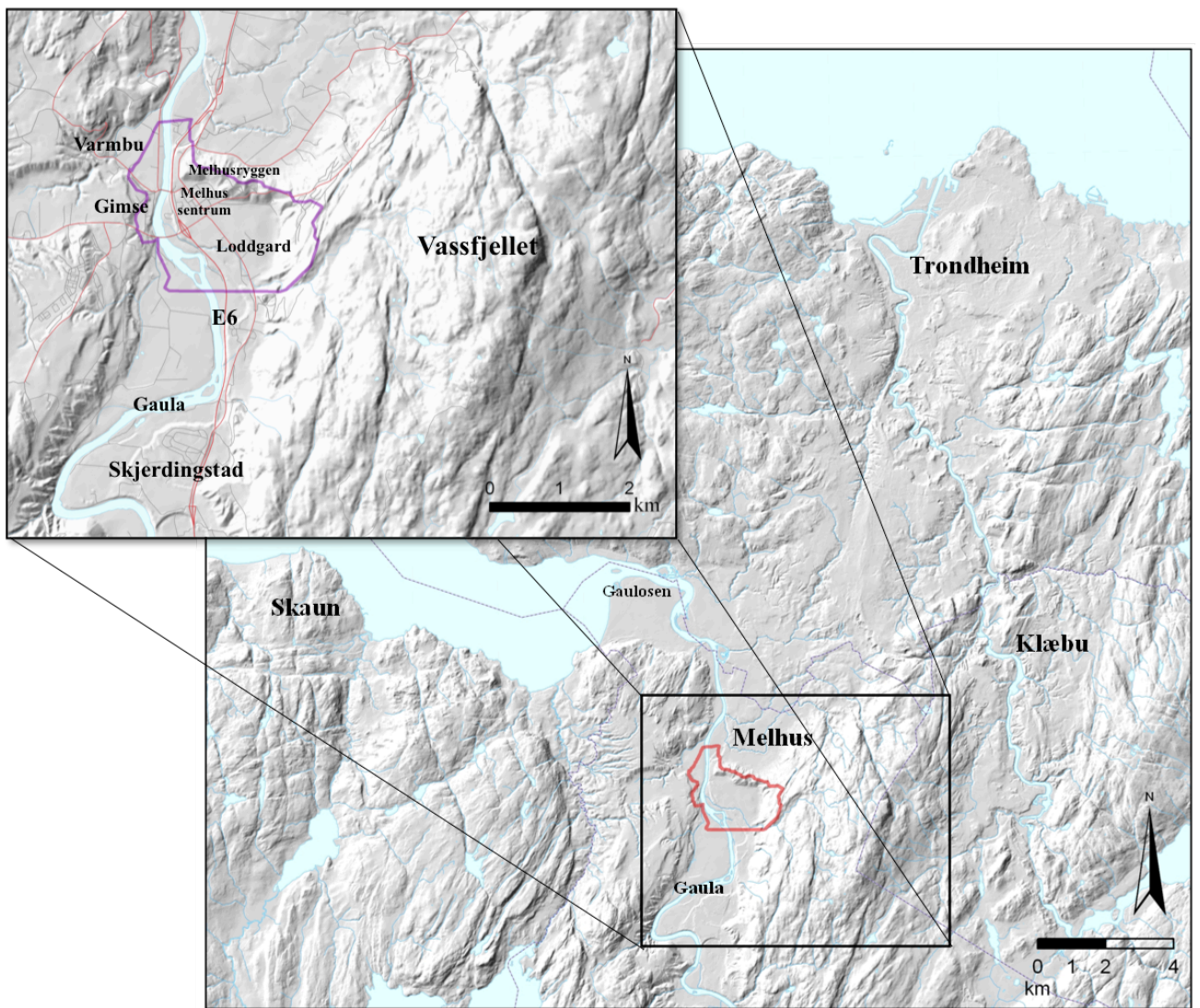
Ot. Prp. – Odelstingsproposisjon (Proposisjon til Stortinget)

Konsesjon - Tillatelse fra offentlig myndighet til å drive økonomisk virksomhet

2 TEORI

2.1 Undersøkellesområdet

Melhus kommune ligger i Gauldalen, ca. 2 mil sør for Trondheim, med omtrent 15.000 innbyggere og er Sør-Trøndelags største landkommune, med 696 km². Både jernbanen og E6 går gjennom Melhus sentrum og hele kommunen. Landskapet er variert, med store flate jordbruksområder, og skogklede fjell og åser. Elva Gaula renner gjennom hele kommunen, fra sør til nord. Melhus sentrum ligger opptil moreneavsetningen Melhusryggen, lokalt kjent som Egga eller Høgegga, som går inn mot Vassfjellet i øst. Undersøkellesområdet ligger i denne kommunen og er vist med utheving i Figur 2.1.



Figur 2.1: Kart over Trondheimsområdet, med undersøkellesområdet markert.

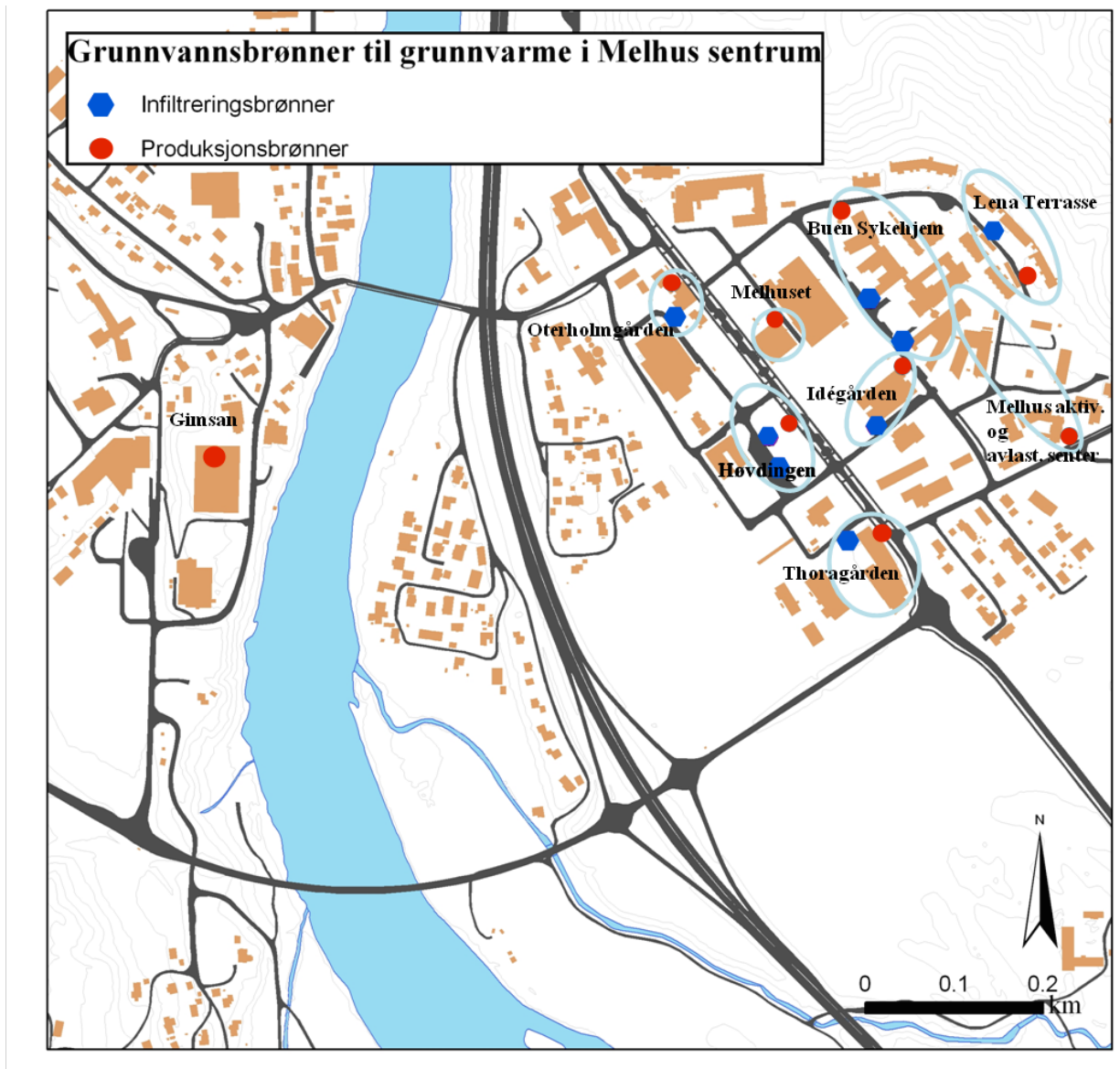
2.1.1 Melhus sentrum og grunnvarmeanleggene

Melhus kommune har en klima- og energiplan for 2014 - 2017 med mål om å redusere klimagassutslippet med 20 % av utslippene i 1991 innen 2020. En del av dette skal nås gjennom redusert energibruk i offentlige bygg, og bruk av alternativ energiforsyning. Det er her den store satsingen på grunnvannsbasert grunnvarme kommer inn (Melhus kommune, 2014).

I Melhus sentrum, øst for Gaula, er det høsten 2014 syv ulike grunnvarmeanlegg. Vest for Gaula ligger det i tillegg et anlegg, nærmere bestemt på Gimse (også kalt Gimsan). I tillegg har det blitt boret en produksjonsbrønn og to infiltrasjonsbrønner til et nytt nærings- og boligkompleks, Høvdingen, som vil stå klart i løpet av 2015. Til sammen er det ni grunnvarmeanlegg i området. Tre av disse anleggene sender vannet ut i overvannssystemet, mens de resterende anleggene reinfilerer vannet til grunnvannsforkomsten via infiltrasjonsbrønner. De ni anleggene er listet opp i Tabell 2.1 og plassert på kart i Figur 2.2.

Tabell 2.1: Tekniske data hentet fra anleggene og Riise (in prep., 2015). Uthevede filterlengder er bekreftede lengder, mens de resterende er antatte lengder.

Anlegg	Brønn	Filtertopp	Filterlengde	Reinfiltrasjon	Pumper ate	År etablert	Bygg
		moh	m		L/s		
Lena	Tur	-10	5	JA	13	2012	Leiligheter
	Retur	-8	10		13		
Thoragården	Tur	-61	4	JA	9	2012	Næringsbygg, leiligheter
	Retur	-65	4		9		
Melhuset	Tur	-18	4	NEI	7	2000	Næringsbygg, kontor
Oterholmgården	Tur	-16	4	JA	5	2010	Næringsbygg, kontor
	Retur	-8	4		5		
Melhus aktivitets- og avlastningssenter	Tur	-21,5	3,5	NEI	15	2000/20 13	Eldresenter, svømmebasseng
Buen sykehjem	Tur	-12	3	JA	7	2012	Sykehjem
	Retur	-41	4		3,5		
	Retur	-31	2		3,5		
Høvdingen	Tur	-44	3	JA	13	2015	Næringsbygg, leiligheter
	Retur	-39	3		6,5		
	Retur	-48	3		6,5		
Idégården	Tur	-28	14	JA	12	2008	Næringsbygg, leiligheter
	Retur	-38	9		12		
Gimse (Gimsan)	Tur	-10	4	NEI	23,6	2009	Skole, svømmehall

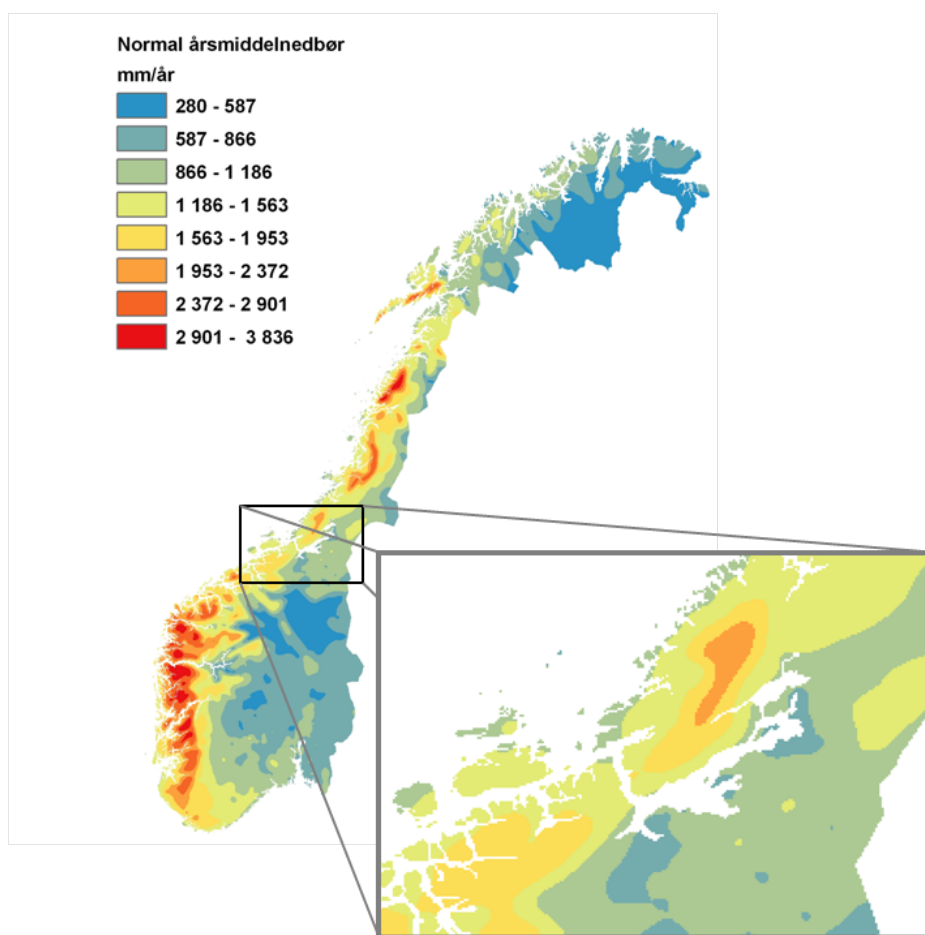


Figur 2.2: Grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg i Melhus sentrum.

Flere av anleggene har opplevd høy grad av jernutfelling og gjentetting. Problemene har oppstått på rør, varmevekslere og i infiltrasjonsbrønner. Det ene anlegget, Lena terrasse, har måttet stoppe sin grunnvarmeproduksjon på grunn av dette. I Oterholmgårdens returbrønn har det vært en del gjentetting. Her har de løst problemet ved å variere pumpemengdene. Melhuset har byttet ut deler av sine rør etter 14 års drift som følge av jernutfelling, uten å ha hatt store problemer som følge av utfellingen.

2.1.2 Klima og hydrologiske data

Melhus kommune ligger i et lavlandsområde, med de nordre delene noe mer kystnært. Meteorologisk Institutt har oversikt over norsk klimastatistikk. Temperaturer og nedbørsmengder blir til en hver tid sammenliknet med en normalverdi fra den forrige 30 årsperioden, kalt en normalperiode. Dette vil si at i dag sammenliknes nedbørsmengdene med gjennomsnittsnedbørsmengdene fra 1961 til 1990, og som referanse kalles dette normal årsmiddelnedbør. I følge Meteorologisk institutt (2015) ligger den normale årsmiddelnedbøren ved værstasjonen Løksmyr i Melhus på 700 - 1000 mm/år (se Figur 2.3). Lufttemperaturnormalen ved denne værstasjonen er mellom 5 – 6 °C .



Figur 2.3: Kart over årsmiddelnedbøren i Norge, med Trøndelag uthevet i boks (modifisert etter data fra eklima.met.no, 2015).

2.1.3 Berggrunn

Dybden ned til fjell er funnet å ligge på 250 – 300 meter på det dypeste nord og sør for undersøkelsesområdet (Sindre, 1980). Dermed kan ikke berggrunnsgeologien observeres direkte i store deler av undersøkelsesområdet, men tolkes ut fra omkringliggende blotninger. I følge berggrunnskartet over Trondheim består berggrunnen i området av bergarter som grønnstein og diabas (Wolff, 1976). Grønnstein er en metamorf bergart, dannet ved lavtemperatur-omvandling av mafiske størkningsbergarter, som diabas. Mafiske bergarter er rike på mangan og spesielt jern.

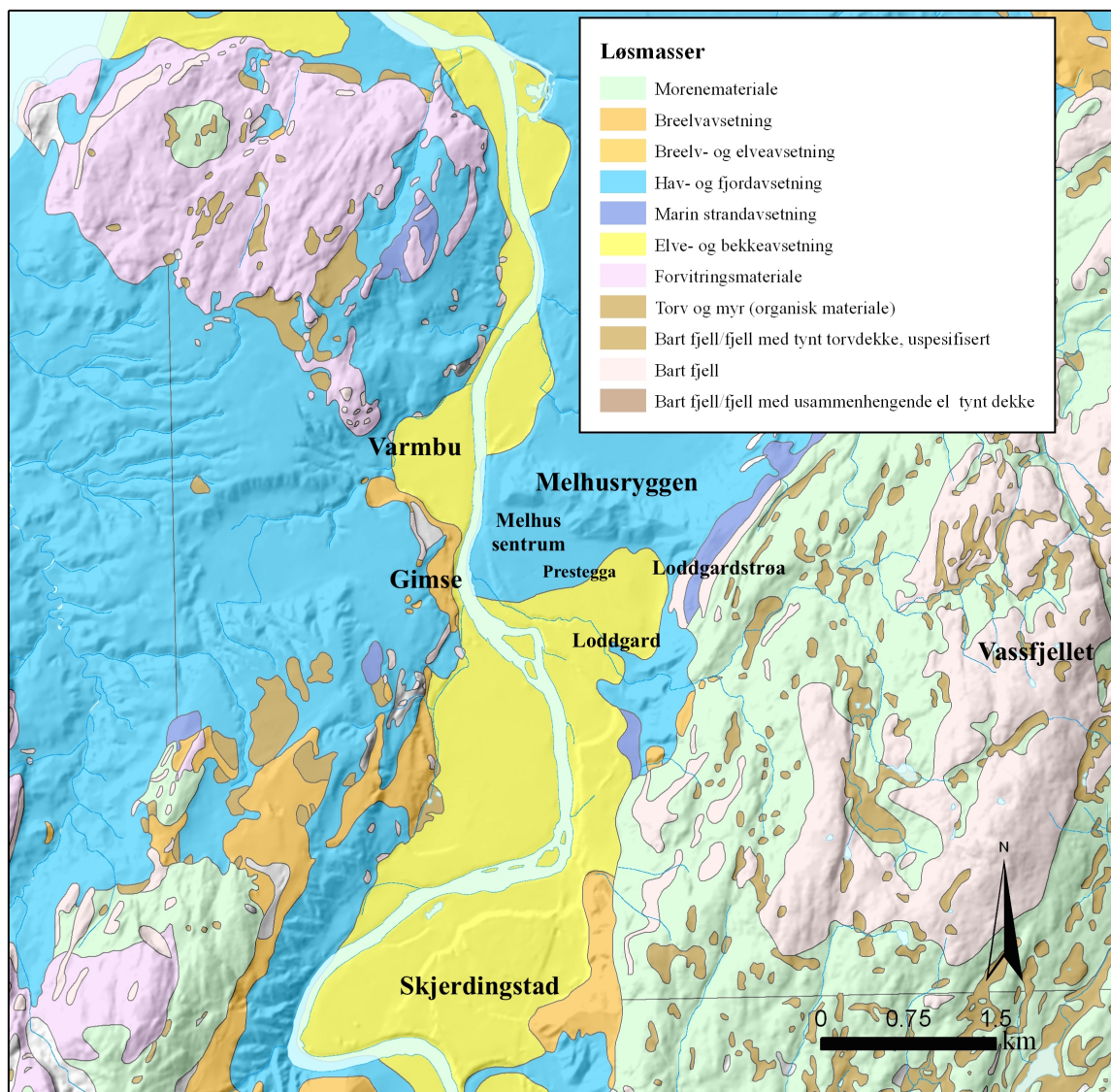
2.1.4 Kvartærgeologisk historie og beskrivelse av området

En god regionalgeologisk kjennskap er en stor fordel ved planlegging av grunnvanns- og grunnvarmeanlegg. Melhus ligger i elvedalen Gauldalen, et område med store løsmasseforekomster, i et landskap formet av siste istid. Den marine grensen i Melhus ligger på 175 meter over havet. På overflaten i sentrum er det for det meste tykk leire, med vekslende lag av sand og siltig finsand, med grusavsetninger under (Solberg et al., 2014). Utenfor sentrum ligger elveavsetninger i overflaten (se Figur 2.4).

Den nåværende geologiske tidsepoken, kvartærtiden, er preget av veksling mellom kaldere og varmere perioder, med påfølgende framvekst og tilbaketrekking av isbreene. Kvartærtiden startet for 2 – 3 millioner år siden, og har hatt omkring 30 forskjellige istider ved de nordligste og sørligste breddegrader. Den siste istiden sluttet for 10.000 år siden (Reite et al., 1999).

Løsmassene i Figur 2.4 er dannet som følge av erosjonsprosesser under siste istid og perioden etter siste istid. Breen skraper og løsriver materialer fra berggrunnen, og transporterer, bryter opp og avsetter dette materialet. Slik former breen dype dalføre, og sedimentene blir avsatt i ulike typer landskapsformasjoner, avhengig av isbreativiteten. En isbre kan transportere og avsette alle kornstørrelser, fra leire til store blokker. Avsetningsmateriale direkte avsatt av en isbre kalles morenemateriale. Klimaet kan variere mellom kalde og varme perioder under samme istid. Erosjonen varierer med temperaturen på isen, og etter nedbørsmengde. Ved en kald periode med mer nedbør, vil isen rykke frem, og dytte og skrape i tidligere avsatt materiale. En vil få stillstand i isen når nedbørsmengden er lik avsmelting og avdamping. Ved

slike forhold vil avsetningen konsentreres langs brefronten. Ved perioder med varmere klima vil det avsatte materialet ligge som høyder i terrenget, kjent som randmorener. Det vil alltid oppstå smeltevannselver ut av brefronten, ved fjellsidene, inni og oppå en bre. Her fraktes det store mengder sedimenter.



Figur 2.4: Løsmassekart fra NGUs løsmassedatabase (kart modifisert etter Reite, 1983, 1985).

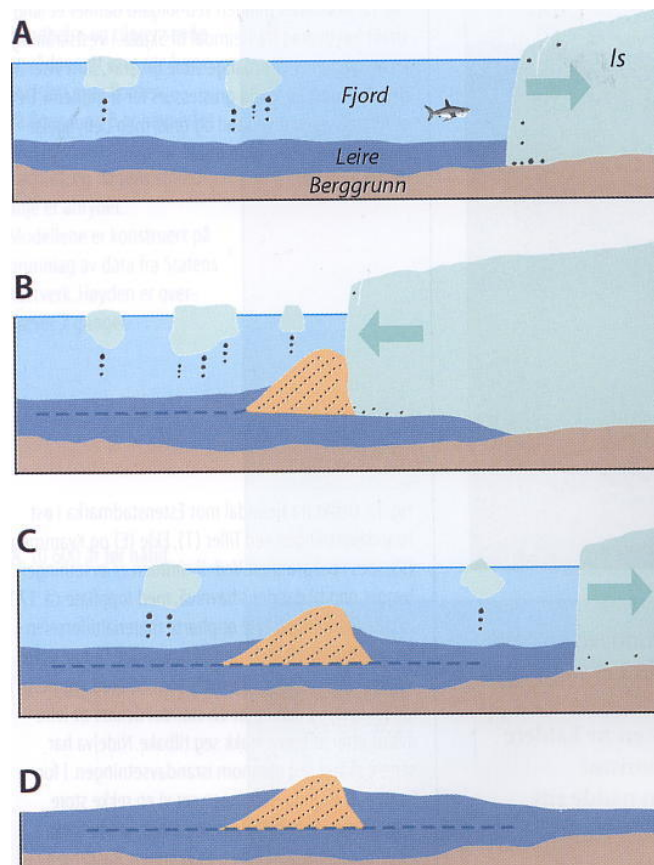
Mektigheten på isen som dekket Skandinavia under siste istid var meget stor, 2000 – 3000 meter på det tykkeste, som er makstykkelse på innlandsiser (Reite et al., 1999). Mektigheten gjør isen meget tung, noe som igjen fører til at landmassen blir sterkt nedpresset, og synker. Havene og fjordene vil strekke seg langt innover dalførene når isen begynner å smelte. Der hvor smeltevannselvene møter det stillestående fjordvannet, vil det bli høy avsetning. Det tyngste materialet vil synke til bunns først. Det lettere materialet kan flyte lenge i vannet, slik

at lette leirmasser dekker alt av hav- og fjordbunn. Orkdalen, Gauldalen og Nidelvas dalføre har de tykkeste hav- og fjordavsetningene i Sør-Trøndelag. Dette skyldes at alt smeltevannet strømmet gjennom disse dalførene under isavsmeltingen (Reite, 1990). Avrenningen mot Trondheimsfjorden under isavsmeltingen etter siste istid var fra et område på 50 000 – 60 000 km², med isskillet sør for Femunden. Til sammenlikning er avrenningen til Trondheimsfjorden i dag fra et område på 20 000 km², med vannskillet nord for Røros (Rise et al., 2006).

På nordsiden av Melhus sentrum ligger en markant løsmasserygg kalt Melhusryggen, eller Høgegga. Melhusryggen ble avsatt under det siste isfremrykket i Yngre Dryas for 11.000 til 10.000 år siden (Bargel et al., 2007). Isavsmeltingen begynte før dette isfremrykket, i Allerød, en mildere periode for 12.000 – 11.000 år siden. Havet hadde allerede begynt å trekke oppover i denne perioden, og på havbunnen ble det avsatt marine sedimenter (Reite, 1990).

Melhusryggen er 120 meter over havet på det høyeste. Ryggen er i følge Solberg et al. (2014), Hilmo (2007a) og Bargel et al. (2007) restene etter en glasifluvial randavsetning. Melhusryggen er hardpakket, og består i hovedsak av et 10 – 30 meter tykt silt- og leirlag over mektige glasifluviale masser. De marine massene over grusen viser at ryggen ble avsatt under vann, og dermed at isfronten på dette tidspunktet nådde ut til fjorden her. Når en randavsetning blir avsatt under vann kalles den en randås.

Ut fra Figur 2.5 ser en at en randås kan ligge over marine sedimenter. Når en isbre som ender ute i dypt vann, vil den delen av isen som ligger under vann flyte opp. Dette skyldes at is har lavere tetthet enn vann. Eventuelle masser som lå over fjellbunnen, vil dermed ikke eroderes vekk av isbreen. På distalsiden av en randås, siden lengst vekk fra isfronten, vil massene være lagdelte skrålag, som følge av at massene er avsatt under vann. Breffronten vil rykke frem og tilbake gjennom kalde og varme perioder. I tillegg vil isen stedvis spyle ut smeltemasser. Løsmassene på proksimalsiden, siden mot isen, av randåsen vil dermed ikke være lagdelte skrålag (Reite et al., 1999). Solberg et al. (2014) skriver at løsmassene her er blitt overkjørt og skjøvet sammen av isfronten, som fører til en svært variert og kompleks løsmassesammensetning.



Figur 2.5: Illustrasjon av dannelsen av en randås. Under randåsen ligger tidligere avsatt marin leire (Reite et al., 1999).

Når isen smelter etter en istid, vil landmassen heve seg som følge av at den store lasten fra isen er borte. Denne prosessen kalles isostasi, og er en prosess som er aktiv også i dag i de områdene som var dekket av isen under siste istid. Jordskorpen søker å oppnå likevekt etter å ha blitt presset ned av den tykke iskappa. Etter hvert som landmassen hever seg, vil havnivået synke. Det som var havbunnen kommer opp i dagen, og landskapet vil bli utsatt for erosjon fra nebør, grunnvann og elver. De sedimentene som ble avsatt i et marint, salt miljø vil bli utsatt for utvasking av salt. Ved tilstrekkelig utvasking vil den kunne omformes til kvikkleire og bli ustabil (Fredin et al., 2013) (se kapittel 5.4 om fossilt salt grunnvann og kvikkleiredannelse). Leire som ligger i overflaten vil være utsatt for vær, vind og mye gjennomvasking av ferskvann fra nedbør. Her vil leira omdannes til tørrskorpeleire (Reite, 1990).

Oppe i fjellsiden i området Loddgardstrøa (se Figur 2.4), fra ca 120 til 200 meter over havet, lengst sør i undersøkelsesområdet, viser NGUs løsmassekart marine strandavsetninger, som forteller at strandsonen lå her en periode. Sonen er flatere relativt til områdene nedenfor og

ovenfor, hvor det er et tynt overdekke og granskog. Kummeneje AS utførte i 1988 geotekniske undersøkelser i forbindelse med utbyggingen av et boligfelt på Loddgardstrøa. Deres dreietrykksondering viser 6 meter med silt under et 2 meter tykt humuslag. Undersøkelsene traff ikke fjell, men ut fra terreng, fjellblotninger og områdets begrensede utbredelse, er det trolig ikke dypere enn 8 meter ned til fjell (Lyche og Eggereide, 1988a). Reite (1990) skriver at marine strandavsetninger sjelden er mer enn 5 meter mektige, som da trolig vil være tilfellet også her.

Melhus sentrum ligger på en elveslette tett inntil Gaula, elva i Gauldalen. Elva eroderer i landskapet og transporterer og avsetter nye lag med løsmasser. Elvededimenter består av avrundede sedimenter i grusstørrelse. Slike elvededimenter vil i undersøkelsesområdet ligge over marine avsetninger i Varmbu og mellom Prestegga og Loddgarden. Elva vil hele tiden erodere i yttersving, og legge igjen masser i innersving. Slik vil den etter hvert få nye elveløp, og forlate de gamle. Dette vil flate ut terrenget i dalen. Elva vil skape ustabilitet ved erosjon i skråninger. Solberg et al. (2014) skriver at Melhusryggen opprinnelig trolig krysset hele dalgangens bredde. Landhevingen og erosjon fra elva Gaula har gjennomskåret randåsen til de restene som er der i dag. Når elva eroderer nederst i en skråning, vil det føre til at de drivende nedadgående kreftene blir høyere enn de oppadgående stabiliserende kreftene. Denne ustabiliteten fører til skred. I Gauldalen er det utallige landskapsformer og sedimentavsetninger som er bevis på skred (Reite, 1990).

Geotekniske og sedimentologiske undersøkelser i tillegg til resistivitetsundersøkelsene viser flere historiske og forhistoriske skred i undersøkelsesområdet. Skredene har ført til en sammenblanding av sedimentlag fra ulike avsetningsperioder. Ved utbyggingen av ny E6 gjennom Melhus sentrum ble det utført sedimentologiske undersøkelser (Hansen et al., 2007). Det ble også foretatt ¹⁴C- aldersdatering av biologisk innhold, slik at det ble funnet relativ alder på ulike lag. I skjæringer i Melhus var det tydelig at topplaget av leirsedimenter i sentrum er skredsedimenter over fluviale sedimenter. Skredavsetningene er opp til 8 meter tykke og dekker store arealer. Ut fra dette og aldersdateringen ble det konkludert med at det har vært flere større leirskred i området i middelalderen. I tillegg skriver Hansen et al. (2007) at det er meget sannsynlig at noen av skredene kan ha vært undersjøiske eller har gått ut i havet. I Tabell 2.2 er de akutelle løsmassematerialene i området listet opp kronologisk.

Tabell 2.2: Oversikt over de dominerende sedimenttypene i undersøkelsesområdet, med avsetningsmiljø- og historikk.

Materiale	Avsetningsmiljø	Geologisk prosess	Tid
Siltig, sandig leire	Hav og land	Skred	Forhistorisk og historisk tid
Sandig grus	Elv	Elvas meandering	Forhistorisk og historisk tid
Marin siltig leire	Hav	Isfremrykk hvor isbreen har avsatt de fineste kornene øverst på randåsen	Yngre Dryas, ca. 10.000 år siden
Vekslende sand og grus	Hav	Isfremrykk hvor isbreen har avsatt de groveste kornene nederst i randåsen	Yngre Dryas, ca. 10.000 år siden
Leire	Hav	Landmassen er presset ned av isen, og havet trukket inn	Allerød, en mildere periode, rundt 12.000 år siden.

2.2 Hydrogeologi

I dette kapittelet er Brattli (2009), Weight og Sonderegger (2008) og Fetter (2000) brukt som kilder.

Den hydrologiske syklus - Vannets kretsløp

Vannets kretsløp er begrepet som brukes for å beskrive vannets sykliske bevegelse, i alle dets tilstander. Kretsløpet går fra fordamping fra verdens hav og transport av vanndamp ved atmosfærisk sirkulasjon. Kondensasjon og presipitering fører til regn over land og hav. Vannet beveger seg videre i elver, innsjøer og grunnvann på veg tilbake til havet.

2.2.1 Grunnvann og grunnvannsspeilet

I hydrogeologi deles grunnen inn i en umettet og en mettet sone. Når regnvann perkulerer gjennom overflaten vil planterøtter holde på en del av dette vannet før det synker. Under røttene minker vannmengden, før den gradvis økes etter hvert som alle porer i løsmassen er fylt opp av vann. Det er i denne sonen, mettet sone, grunnvannet er utnyttbart for drikkevann

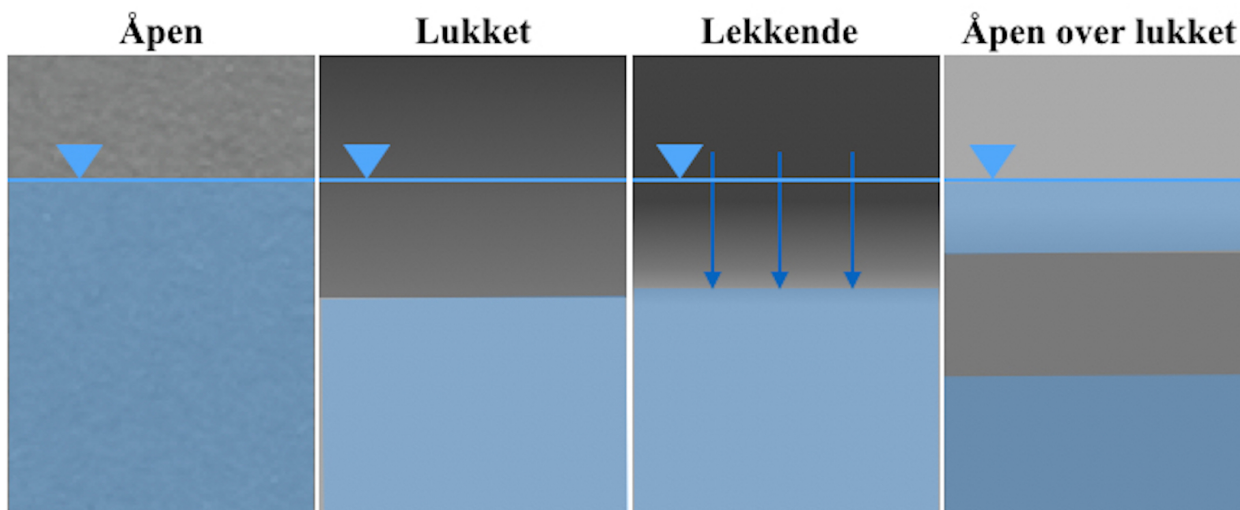
og grunnvarme. På grunn av vekten av overliggende vannsøyle er det totale hydrostatiske trykket i den mettede sonen høyere enn atmosfæretrykket. Skillet mellom umettet og mettet sone kalles grunnvannsspeilet, og er der porevannstrykket er likt atmosfæretrykket. Ved kartlegging av en grunnvannsforekomst er en interessert i å finne grunnvannsspeilet. Grunnvannsspeilet vil ofte følge overflateterrenget, og komme frem i dagen i forsenkninger, innsjøer, elver og ved havnivå. Grunnvannsspeilet vil være avhengig av klimasoner, med et høyt nivå i fuktige steder og motsatt. I tillegg vil grunnvannsspeilet variere med sesongene, etter som nedbørsmengder og snøsmelting varierer med sesongene. Melhus ligger i et lavlandsområde. Her vil grunnvannsspeilet være lavest om våren, før smeltevann fra snø og is har infiltrert inn i grunnen. Ettersom smeltevannet synker økes grunnvannsnivået, og når en topp mot slutten av våren eller starten av sommeren. Gjennom sommeren synker nivået, før høstregnet får det til igjen å stige. Når lufttemperaturen synker under 0°C, vil vannet i grunnen etter hvert fryse. Når is dannes i jordarten, vil vann lengre nede trekke opp til isfronten hvor det fryser. I tillegg kommer mye av nedbøren som snø, som vil lagres på overflaten. Vann trekkes opp fra større og større dyp, slik at grunnvannsnivået synker i løpet av vinteren.

2.2.2 Akvifer – åpne, lukkede og delvis lukkede

Grunnvannsmagasin som har økonomisk anvendbare mengder vann blir ofte betegnet som en akvifer (fra latin: vann-bærende). En akvifer kan være åpen, lukket eller en blanding, avhengig av løsmasselagene over akviferen. I en *åpen* akvifer står grunnvannet i direkte kontakt med atmosfæren, slik at grunnvannsmagasinet overflate har et hydrostatisk trykk likt atmosfæretrykket. Grunnvannsspeilets og grunnvannsmagasinet plassering er lik. En slik akvifer finnes i ukonsoliderte grus- eller sandavsetninger. Ved en *lukket* akvifer vil det hydrostatiske trykket stå under trykk fra de tette lagene over akviferen, og er slik skilt fra atmosfæren. Akviferens trykknivå i en lukket akvifer er bestemt av magasinets plassering i forhold til innmating av grunnvannet (se Figur 2.6).

Ofte kan de ”tette” lagene over og under en lukket akvifer ha en viss permeabilitet, som gjør akviferen delvis lukket. Slik dannes det en mettet sone over det egentlige grunnvannsspeilet. Hvis et lag under en åpen akvifer er tilnærmet inkompressibelt, men har likevel en viss permeabilitet, vil vann fra den øverste åpne akviferen lekke gjennom det semipermeable laget

og inn i den lukkede akviferen under. Slik kan det være flere og ulike typer akviferer i samme område. Ressursen refereres da ofte som en *grunnvannsforekomst* (se Figur 2.6).



Figur 2.6: De ulike akvifertypene (modifisert etter Brattli, 2013).

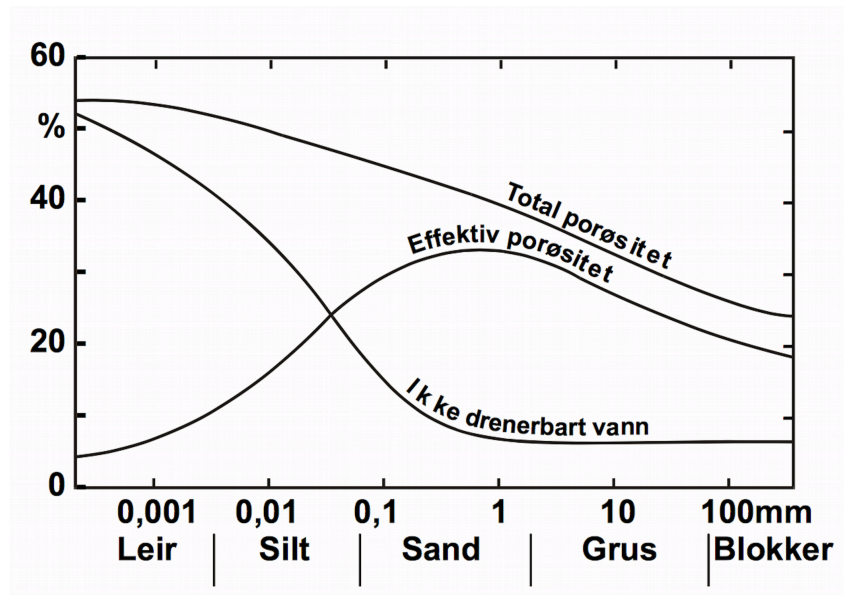
2.2.3 Hydrogeologiske parametre

For å finne ut om en grunnvannsressurs er utnyttbar må en kartlegge de hydrogeologiske parametrene til materialene som utgjør akviferen. De viktigste er:

- hydrauliske konduktivitet K
- magasineringskoeffisienten S
- porøsiteten n .

Porøsitet defineres som enhetsvolumet av porer V_p i prosent av det totale enhetsvolumet V_{tot} av materiale. I løsmasser er porøsiteten avhengig av kornstørrelser, kornform, sorteringsgrad, pakningsgrad og kornenes relative plassering. Høy porøsitet gis ofte av en godt sortert avsetning, som vil si at alle kornene har lik størrelse. Dette hindrer mindre korn i å fylle igjen åpenrom. Vind, rennende vann og bølgeaktivitet er geologiske prosesser som vil sortere en avsetning, og gi en åpen kornstruktur. Prosesser som skred gir dårlig sorterte sedimenter med lav porøsitet. I en vannutnyttingssammenheng er det mer fornuftig å snakke om den effektive porøsiteten, n_{eff} , som er definert som volumet av drenerbare porer. En jordarts *spesifikke retensjon* beskriver jordartens evne til å holde på vann. Denne øker med ettersom kornstørrelsen minker. På Figur 2.7 ser en at leire og silt holder på vannet mye mer enn det de

grovere jordartene gjør. Grove jordarter vil derfor være mer sensitiv for drenering ved lite nedbør enn det de fine jordartene vil være. Porøsitet kan bestemmes ved ulike måleinstrumenter og laboratoriemetoder.



Figur 2.7: Forholdet mellom total porøsitet, effektiv porøsitet og ikke-drenerbart vann (Brattli, 2009a)

Hydraulisk konduktivitet beskriver hvor lett vann kan strømme gjennom et materiale. Som eksempel har leire stor porøsitet, men lav hydraulisk ledningsevne fordi leira har ekstremt små porer uten kontakt med hverandre. I tillegg har leirmineralene overflateegenskaper som fører til sterke bindinger mellom vann og partikler. Ved hydraulisk konduktivitet må en også ta hensyn til en ny parameter, *permeabiliteten* k . Denne uttrykker jordartenes strømmingsegenskaper og er en funksjon av størrelsen på porene. Den hydrauliske konduktiviteten tar også i betraktning væskens strømmingsegenskaper, eller væskens *viskositet*, μ . Den hydrauliske konduktiviteten uttrykkes dermed:

$$K = k(\rho g / \mu) \quad [\text{m/s}] \quad (2.1)$$

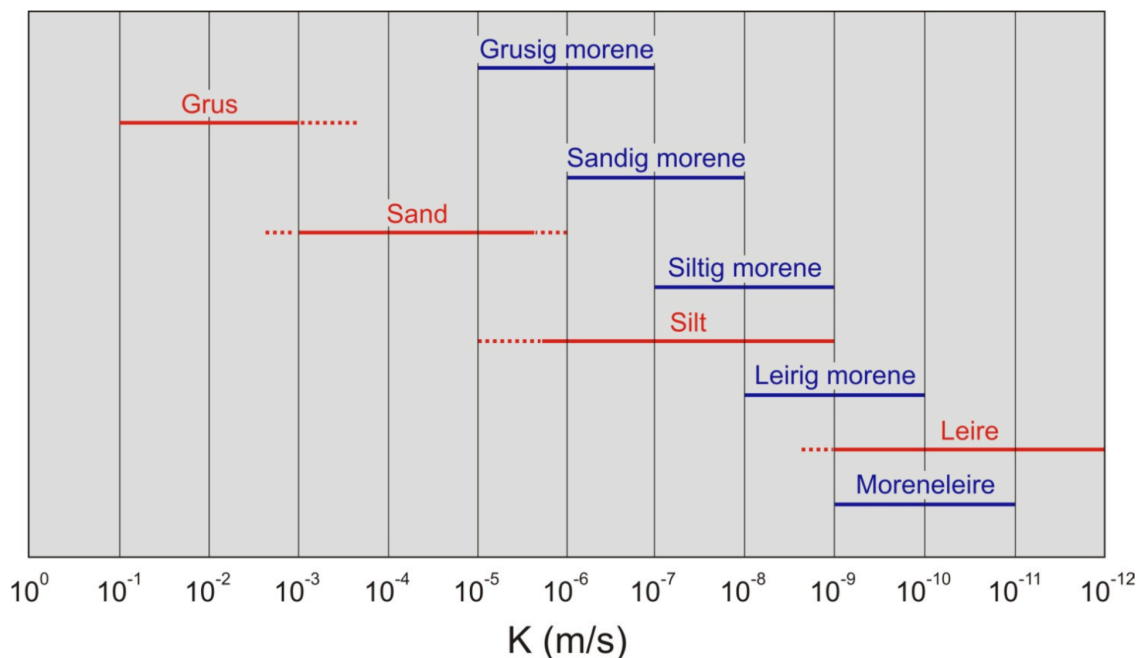
hvor g er gravitasjonskraften som virker på vannet og ρ er vannets tetthet. Figur 2.8 viser noen typiske verdier for hydraulisk konduktivitet for noen vanlige jordarter.

Den horisontale strømmingen er ofte større enn den vertikale i en akvifer. *Transmissiviteten*, T , beskriver hvor mye vann som kan strømme horisontalt gjennom en mettet avsetning med

hydraulisk gradient I , som beskriver helningen i grunnvannsspeilet. Sammenhengen mellom T og K er gitt ved:

$$T = Km \quad (2.2)$$

hvor m er mektigheten på akviferen.



Figur 2.8: Typiske verdier for hydraulisk konduktivitet i vanlige norske sedimenttyper (Brattli, 2009a)

Magasinkoeffisienten, S , refererer til den mengde vann som kan bli frigjort eller magasinert når grunnvannsnivået, eller grunnvannsnivåets trykkflate i en søyle med enhetsflate, senkes eller heves med en enhetsflate.

Magasinkoeffisienten i en lukket akvifer vil være en funksjon av akviferens elastisitet, som avhenger av kornstørrelse, kornform og pakningsgrad. Et vannuttak vil senke trykkflaten fordi vanntrykket i magasinet avtar. Følgelig oppstår det en sammenpakning av akviferen, og en utvidelse av vannet i akviferen. Magasinet spesifike magasinkoeffisient, S_s , er summen av vannmengdene ved sammenpakning av akviferen og utvidelse av vannet. Magasinkoeffisienten i lukket akvifer med mektighet m er:

$$S = mS_s \quad (2.3)$$

Den spesifikke magasinkoeffisienten er vanligvis i størrelsesorden $0,00003 \text{ m}^{-1}$ eller mindre. Magasinkoeffisienten blir da i størrelsesorden $0,005$ eller mindre.

Magasinkoeffisienten i en åpen akvifer vil først og fremst være et resultat av at porene fylles eller tømmes avhengig av *vannavgivningstallet*, S_y . *Vannavgivningstallet* er forholdet mellom fritt drenert vannvolum av vannmettet jord og det totale volumet. Magasinkoeffisienten for en åpen akvifer er dermed avhengig av porøsiteten:

$$S = S_y = n_{eff} \quad (2.4)$$

2.2.4 Hydraulisk potensial og poretrykk

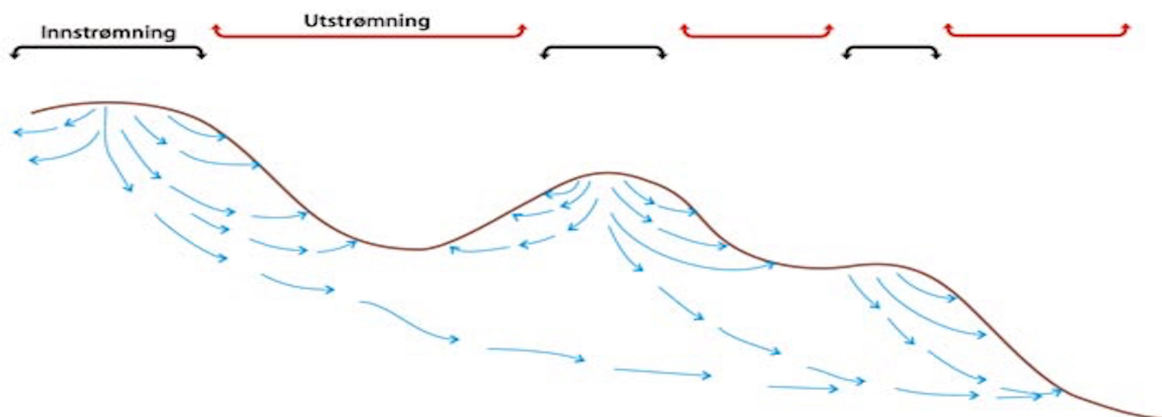
I engelsk terminologi innen hydrogeologi er ”hydraulic head” et mye brukt begrep. På nettsiden grunnvann.no er ”hydraulic head” oversatt til hydraulisk trykkehøyde, h . Ofte brukes hydraulisk potensial, h , om det samme. Hydraulisk potensial er summen av stedshøyde, z , trykkehøyde, hp ((NGU, 2015). Stedshøyden er målepunktets høyde over et gitt referansenivå – som havet. Den trykkbetingede trykkehøyden, hp , er høydeforskjellen mellom stedshøyden og akviferens trykknivå. Hydraulisk potensial er dermed lik:

$$h = z + hp \quad (2.5)$$

I en åpen akvifer vil h være lik z .

2.2.5 Grunnvannsstrømning

Det totale energibidraget som bidrar til grunnvannsstrømning er kinetisk energi, gravitasjonsenergi og trykkenalergi. Vann strømmer alltid fra høyt til lavt nivå. Nærmest overflaten vil grunnvannet følge terrenget, men på større dyp kan det strømme i motsatt retning, hvis dette er den overordnede gradienten ned mot havet (se Figur 2.9).



Figur 2.9: Illustrasjon av grunnvannsstrømning i et terreng (utarbeidet av Grip og Rohde (1988), gjengitt av grunnvann.no, 2015)

I 1856 utførte franskmannen Henry Darcy studier på vannets bevegelse. Han fant at volumet av vann som strømmer gjennom en sandsøyle av en viss karakter, er proporsjonal med energitapet per vektenhet. I tillegg er strømningsraten, Q , omvendt proporsjonal med lengden L , som vannet har strømmet. Videre fant Darcy at strømningsraten er proporsjonal med sandsøylens tverrsnittareal. Dette gir Darcys lov:

$$Q = -KA I \quad [\text{m/s}] \quad (2.6)$$

hvor I er den hydrauliske gradienten. Det negative fortegnet indikerer at strømmingen går i retning mot avtakende hydraulisk potensial. Strømning vil bare skje i den delen som ikke er pakket av sandkorn. Denne delen er lik den effektive porøsiteten, n_{eff} . Vi får da et uttrykk for den gjennomsnittlige hastigheten:

$$v = Q/n_{\text{eff}} A \quad [\text{m/s}] \quad (2.7)$$

I mettet sone er det poretrykket (p) og høyden over et bestemt referansenivå (z) som er det drivende potensialet for grunnvannsstrømning. I umettet sone blir strømning i tillegg drevet av det totale hydrauliske potensialet. Strømningen vil variere med vanninnholdet, slik at ved lavt vanninnhold vil trykkpotensialet i matriksen dominere, og motsatt ved høyt vanninnhold.

Ved et vanninnhold lik jordartens spesifikke retensjon vil det være en grunnvannsstrøm nedover i umettet sone, drevet av gravitasjonen. Den hydrauliske konduktiviteten er avhengig av vanninnholdet, og ikke en konstant som i mettet sone. Vanninnholdet styrer hvor mange strømningsveier vannet kan ta, da lite vann fører til færre ledere mellom kornene.

2.2.6 Kommunikasjon med vassdrag – ekvipotensialkart

Ekvipotensiallinjer tilsvarer høydekoter i et topografisk kart, og viser grunnvannets overflate (åpen akvifer) eller trykkflate (lukket akvifer). Ekvipotensiallinjene finner en ved å trekke linjer med lik meterverdi gjennom hydrologiske trekanter. Hydrologiske trekanter er tre punkt i terrenget med kjent høyde over havet, H , og vannivå, s . Ut fra høyde over havet og vannivået kan en beregne grunnvannsnivåets høyde over havet, h ($h = H - s$). Linjene gjennom trekantene med lik meterverdi utgjør ekvipotensiallinjene, og strømmingen vil være vertikalt på disse (Brattli, 2009a).

Ved kryssing av elver ved åpne akviferer vil ekvipotensiallinjene alltid danne en V-form som enten peker oppstrøms dersom elva mottar vann fra akviferen, eller nedstrøms dersom elva mater omkringliggende akviferer. I disse tilfellene er ekvipotensiallinjene henholdsvis høyere og lavere i terrenget i forhold til elva. Dersom ekvipotensiallinjene er høyere på bare den ene siden av elva, vil grunnvannet strømme gjennom elva og ut på andre siden. Et siste tilfelle er hvis de er like høye på begge sider, da vil grunnvannet strømme langsmed elva (Weight og Sonderegger, 2008).

Kommunikasjonen mellom elva og grunnvannsmagasinet kan også finnes ved å se på meandreringen til elva. Oppstrøms for en yttersving vil grunnvannet strømme inn i elva, men strømme ut igjen fra elva nedstrøms for yttersvingen.

2.2.7 Temperatur

Lufttemperaturen i Norge varierer sterkt mellom sommer og vinter. Data fra en værstasjon i Elverum målte i 1984 en maksimum på $+20\text{ °C}$ om sommeren og -24 °C på vinteren. Dette gir et stort spenn. Grunnvannet ved samme målestasjon holdt derimot en jevn temperatur på $+5\text{ °C}$, med litt stigning i november. I Norge ligger grunnvannstemperaturen på 10-150 meters

dyp på rundt 4-8 °C. Til sammenlikning ligger den rundt 15-19 °C i Spania på samme dyp (Banks, 2012).

2.3 Grunnvannsutttak

Ved utpumping av grunnvann vil det oppstå en senkningstrakt rundt brønnrøret. Senkningstrakten vil danne en gradient som leder mer grunnvann i brønnrørets retning Figur 2.10. Senkningstrakten utvikles gradvis, avhengig av magasinkoeffisientens størrelse.

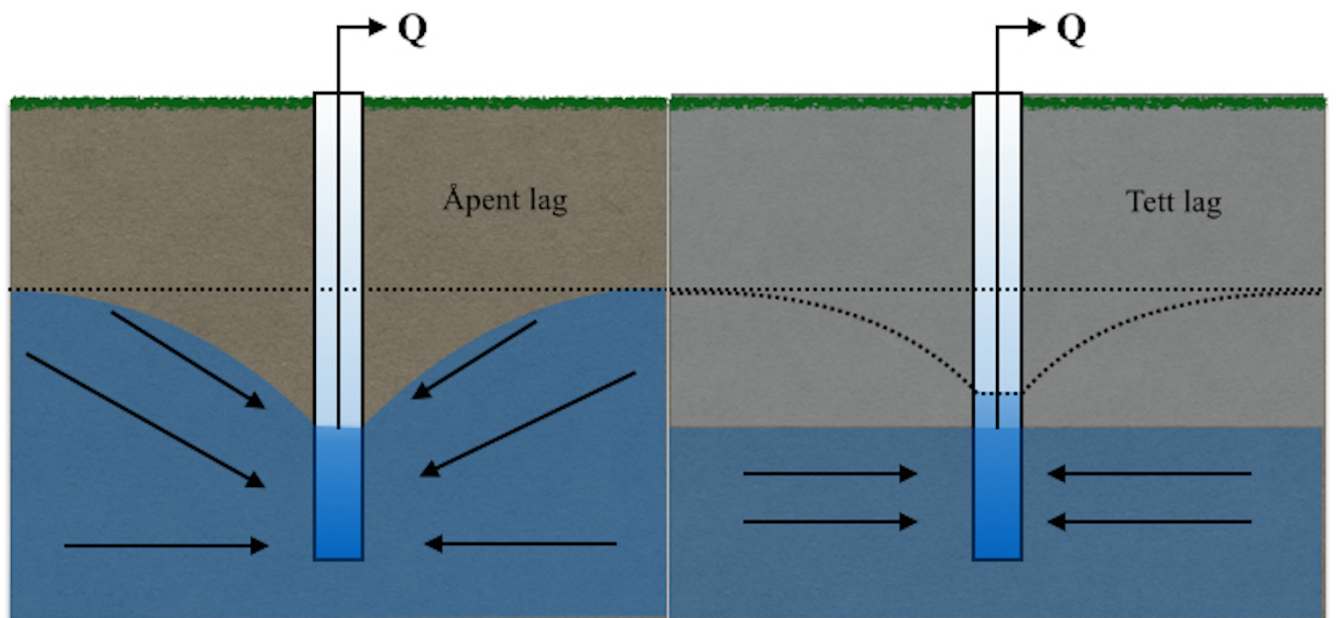
2.3.1 Stasjonær tilstand

Ved fullstendig stasjonær tilstand er grunnvannsstrømningen rundt brønnen konstant, både med hensyn til mengde og retning. Slike forhold er svært sjelden, men de er ofte tilnærmet stabile, slik at det kan benyttes formler som i teorien bare er gyldig for fullstendig stasjonære tilstander.

I en lukket akvifer vil potensialnivået danne en senkningstrakt rundt brønnrøret, hvor det er trykkflaten som synker. Mektigheten av akviferen vil være den samme, men pumpingen og gradienten i trykkflaten vil få mer vann til strømme mot brønnen. Uttaket i en åpen akvifer vil føre til en senkning av selve grunnvannsspeilet rundt brønnrøret, som også vil lede mer vann i brønnens retning (se Figur 2.10).

2.3.2 Transient tilstand

Ved ikke-stasjonære tilstander, eller transiente tilstander, har ikke systemet oppnådd likevekt, og det er fortsatt endringer i senkningstrakten. Ved slike forhold bruker en tidsavhengige data for å beregne transmissivitet og magasinkoeffisient. Jacobs metode ble utviklet i 1946 ut fra arbeidet til Theis (Brattli, 2009a; se metoden i kapittel 12.4).



Figur 2.10: Illustrasjon av senkningstrakter i åpent grunnvannsmagasin (venstre) og lukket grunnvannsmagasin (høyre) (modifisert etter Brattli, 2009a).

2.3.3 Uttak og brønntutforming

Grunnvannsuttaget og utformingen av brønnen til bruk i grunnvarme avhenger av løsmasseavsetningens egenskaper på følgende områder (Ramstad, 2011; Rueslåtten og Veslegard, 1991):

- Kvantitative egenskaper: mektighet, kontinuitet, stratigrafi, tekstur, transmissivitet, magasinkoeffisient og infiltrasjon
- Kvalitative egenskaper: lavt innhold av klorid, jern, mangan og kalsium, temperaturer mellom 3 – 4 °C.

Et viktig element i brønnrøret er filterrøret. Dette er den nederste delen av brønnrøret. Filterrøret har slisseåpninger for å slippe inn vann. Størrelsen på slisseåpningen er tilpasset til og varierer med egenskapene til akviferen og hvilken kornstørrelse løsmassene har. Filterrørets lengde varierer med (Rueslåtten og Veslegard, 1991):

- Akviferens mektighet
- Vannbehov til grunnvarmeanlegget
- Mulig senkning av vannstanden i brønnen

- Akviferens lagdeling
- Akvifertype (åpen/lukket)

Ved *lukket akvifer* bør filteret dekke 70 – 80 % av akviferens mektighet for å hindre at vannstanden senkes til under det tette laget og ned i akviferen. I *åpen akvifer* trenger ikke filteret dekke mer enn de nederste 30 % av akviferen. Uansett åpen eller lukket akvifer bør filteret plasseres i de lag som har høyest hydraulisk ledningsevne. I heterogene akviferer, åpne og lukkede, vil lagdelingen variere, slik at flere lag kan være vannførende (Rueslåttén og Veslegard, 1991).

Brønndiameteren i en borebrønn er vanligvis filterrørets indre diameter, og har betydning for brønnens vanngiverevne. Under boringen tres et arbeidsrør utenpå borerøret. Når boringen er ferdig blir filterrøret montert inne i arbeidsrøret. Arbeidsrøret trekkes deretter opp til enten rett over filteret eller til umettet sone. Boret diameter er arbeidsrørets ytre diameter, og er dermed større enn brønndiameteren. Ved uttak på 4,5 – 10,5 L/s er anbefalt indre diameter i arbeidsrøret 200 mm (Rueslåttén og Veslegard, 1991).

2.3.4 Reinfiltrasjon

En vanlig antakelse er at hvis én brønn har en uttaksevne på 5 L/s vil ti brønner i et brønnfelt gi 50 L/s. Dette er sjelden tilfelle av ulike årsaker (Banks, 2012):

- Den naturlige infiltrasjonen i området er ikke stor nok
- Brønnene i brønnfeltet forstyrrer hverandres uttaksevne
- De hydrauliske egenskapene til akviferen er ikke tilstrekkelige til å forsyne et brønnfelt med 50 L/s.

Ved reinfiltrasjon sendes det brukte vannet ned i grunnvannsmagasinet igjen ved hjelp av en infiltrasjonsbrønn. Tilføringen av vann fører til en negativ senkningstrakt som stiger rundt brønnrøret (se Figur 2.13). I et brønnfelt vil uttaks- og reinfiltreringsbrønnene utjevne hverandres senkningstrakter, slik at senkningene blir mye mindre. Dette gjør anlegget mye mer bærekraftig (Banks, 2012).

Akviferen må ha gode magasineringssegenskaper, slik at den kan motta store mengder vann som punktbelastning. Tester indikerer at infiltrasjonsbrønner har 20 – 50 % lavere kapasitet enn tilsvarende uttaksbrønner. Dette skyldes at porene i akviferen utenfor brønnfilteret etter hvert vil tettes igjen av frafiltrert materiale. Dette fører til at utstrømningsmotstanden øker. Hvis gjentettingen går for langt kan det oppstå skader som følge av at vann trenger opp i brønnrøret og lagres i løsmasser over filteret. Infiltrasjonsbrønnen bør derfor instrumenteres med automatisk overvåking av trykknivå og vannmengde. Ofte er det nødvendig å måtte bore flere reinfiltreringsbrønner enn uttaksbrønner (Eckholdt et al., 1995).

2.4 Grunnvannskjemi

Grunnvannets opprinnelse er nedbør fra den hydrologiske syklus. I både den mettede og umettede sonen skjer det en rekke prosesser som endrer vannets kjemiske sammensetning. Vann er et effektivt løsningsmiddel som over tid kan løse opp de fleste substanser. Dette fører til at grunnvannet består av mange kjemiske komponenter, eller oppløste stoffer, og vil aldri være helt ”rent” uten rensing. Sammensetningen og konsentrasjonen avhenger blant annet av sammensetning av løsmasser eller bergarter som vannet er i kontakt med. I tillegg avhenger vannets kjemi med biologisk og antropogen aktivitet og pH-betingelser. pH-betingelsene styres igjen i stor grad av løsmassenes eller bergartenes sammensetning.

Konsentrasjonen av oppløste stoffer og kjemiske komponenter måles enten i mg/L eller ekvivalentkonsentrasjon, ekv/L. Ekvivalentkonsentrasjonen forteller mengden ioner i løsning gitt som milliekvivalentvekten av stoffet per liter løsning. Denne enheten benyttes for mer grafisk framstilling, og oppnås ved å dele mg/L med stoffets formelvekt og valens. Valens refererer til antall elektroner i ytterste elektronskall, som forteller noe om reaksjonsevnen til et stoff.

2.4.1 Elektrisk ledningsevne

De oppløste stoffene fra løsmasser og berggrunn gjør grunnvannet til en form for elektrolyttløsning. Spesifikk ledningsevne er en elektrolyttløsnings ledningsevne, og har benevnningen mS/m ($1 \text{ mS/m} = 10 \mu\text{S/cm}$), hvor S står for Siemens etter den tyske ingeniøren Werner von Siemens (Brattli, 2009a). Verdien en får ved måling er et tilnærmet uttrykk for

vannets totalinnhold av oppløste uorganiske stoffer, da spesifikk ledningsevne og ionekonsentrasjon henger nøye sammen. Ledningsevnen varierer med temperatur, ionetyper og ionekonsentrasjon. Grenseverdien for ledningsevne i drikkevann ligger på 250 mS/m (2500 μ S/cm) (Drikkevannsforskriften, 2002). Høye verdier vil også kunne føre til skade på utstyr, i form av korrosjon og utfelling.

2.4.2 *Kjemiske reaksjoner*

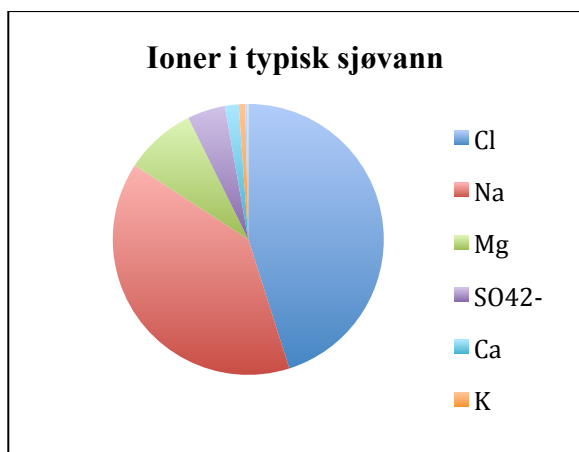
De prosessene som har størst betydning for grunnvannskjemien er de kjemiske forvittringsprosessene. Disse inndeles i:

- Oppløsning og hydratisering
- Hydrolyse
- Redoksreaksjoner

Uorganiske salter løses opp fullstendig i kontakt med vann. Denne prosessen kalles *hydratisering*. Salter består av ioneforbindelser mellom anioner og kationer av ulik størrelse. Størrelsesforskjellen gjør at saltene lett brytes opp av det sterkere hydrogenmolekylet. Hvis oppløsningen ikke er fullstendig er det snakk om *hydrolyse*. Mineralenes overflate har et ladningssjikt. Ladningssjiktet trekker på vannmolekylene og binder vann til overflaten. Avhengig av pH, kan vannet være dissosiert til H^+ og OH^- . Et surt miljø vil ha en høy konsentrasjon av H^+ -ioner. H^+ -ionene angriper kationene på mineralets overflate, og tar dets plass i et ionebytte. Slik brytes krystallstrukturen ned. Et surt miljø vil dermed føre til økt nedbrytning av mineraler.

2.4.3 *Sjøvannskjemi*

Ulike vannmiljø har ulike kjemiske miljø. Havvann har et høyt innhold av oppløste ioner. Ionene stammer fra sedimentene elvene har ført til havet fra forvitring i fjellene. Alle partikler gjennomgår kjemiske reaksjoner. I Figur 2.11 er forholdet mellom de ulike ionene i typisk sjøvann oppført i diagram. Det er klor og natrium som dominerer. Innholdet ligger henholdsvis på 550,1 mekv/L (19501 mg/L) og 486,4 mekv/L (11184 mg/L) (Mathes, 1982).



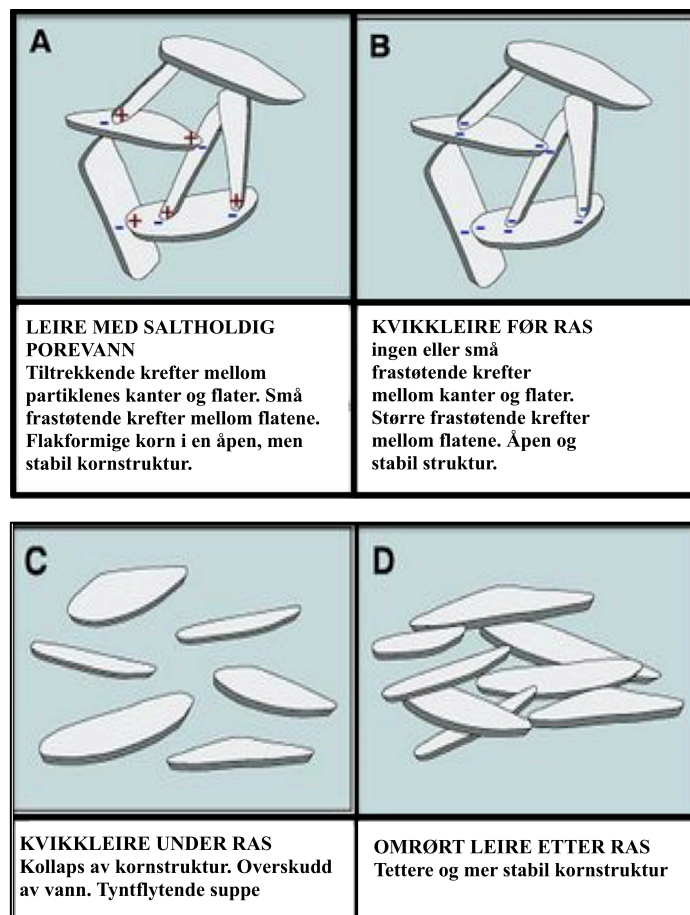
Sum anioner	609,4 mekv/L
Sum kationer	625,1 mekv/L

Figur 2.11: Ioner i typisk sjøvann (modifisert etter Mathes, 1982)

2.4.4 Fossilt salt grunnvann og kvikkleiredannelse

Grunnvannsmagasinet geokjemiske sammensetning kan også stamme fra det vannmiljøet løsmassene i magasinet ble avsatt i. Hvis avsetningen ble avsatt i sjøvann, og vannet fortsatt ligger i avsetningen, kalles vannet fossilt vann. Salt i et grunnvannsmagasin kan komme fra lommer med fossilt sjøvann, og ved tilsig av salt vann fra marine leirer over eller oppstrøms for magasinet. Inneholder et magasin både salt og ferskt vann, vil det saltholdige vannet ligge nederst, da ferskvannet har lavere egenvekt. Salt er svært korroderende, og er dermed ikke ønskelig i et grunnvarmeanlegg. Salt i lommer med fossilt vann kan fjernes ved vedvarende pumping. Det salte vannet blir erstattet med ferskvann. Kommer saltet fra tilsig fra marine leirer, vil ikke vedvarende pumping være like nyttig. Grenseverdien for akseptabelt drikkevann er satt til mindre enn 200 mg Cl/L. En vil kunne smake saltet i vannet ved om lag 350 mg Cl/L (Ellingsen, 1995).

Leirsedimenter som skylles ut i havet vil reagere med saltioner i havvannet, og avsettes i en korthusstruktur mellom leirmineralenes flate og ionene (Figur 2.12). Når en stor innlandsis begynner å smelte vil jordskorpen heve seg, og havbunnen kommer etter hvert opp over havoverflaten. Den gamle havbunnen vil bli gjenstand for ferskvannsgjennomstrømming fra nedbør. Det ferske vannet vasker ut ionene, og gjør strukturen ustabil, og leira blir etter hvert omdannet til kvikkleire. Kvikkleira er svært utsatt for skred ved belastning. Kvikkleiredannelsen er en lang prosess, og fortsatt er størsteparten av de marine leirene i Norge saltholdige (Brattli, 2014).



Figur 2.12: Illustrasjon av kvikkleire før, etter og under ras (modifisert etter ngu.no, 2015)

2.4.5 Jern og mangan

Jern og mangan kommer fra helt lokale geologiske forhold. Trøndelag er dominert av basiske bergarter, som inneholder jern og mangan. Til sammenlikning er det for det meste felsiske bergarter på Sørlandet, som har få problemer knyttet til jern og mangan. Liten sirkulasjon i grunnvannet, og dermed mangel på oksygen, gir reduserende miljø og gjør ressursen mer utsatt. I oksygenfattig vann vil jernet og manganet være oppløst. I kontakt med oksygen, som ved oppumping, oppstår et oksiderende miljø. Her vil jern og mangan felle ut som brune eller svarte lag av hydroksider. Problemer med jern og mangan er oftere tilfelle i dype eller lukkede akviferer, da disse er de mest oksygenfattige (Banks, 2012). Ofte vil innholdet av jern og mangan synke etter en viss tids pumping, men innholdet kan også øke (Brattli, 2009b). I drikkevannsforskriften (2001) er grenseverdien for jerninnhold i drikkevann er satt til 0,2 mg/L Fe. For mangan er grenseverdien 0,05 mg/L Mn.

2.5 Grunnvarme

Ved benyttelse av grunnvarme må en ha kunnskap om *termogeologi*. David Banks (2012) definerer termogeologi som ”studiet av tilstedeværelsen, bevegelsen og utnyttelsen av laventalpivarmer i den relativt grunne geosfæren”. Entalpi beskriver mengden varme i et system, og laventalpivarmer defineres som temperaturer under omlag 40 °C. Den relativt grunne geosfæren defineres som dybder ned til omtrent 300 meters dybde. Ved grunnvarmeuttak benytter en varmen i grunnvannet, slik at kunnskap om hydrogeologi er avgjørende for best mulig utnyttelse av ressursen. I det dette kapitlet er Banks (2012) brukt som kilde, om ikke annet er spesifisert.

I Norge er det estimert at det finnes 29 000 grunnvarmeanlegg. Ca. 90 % av disse henter varmen indirekte fra grunnvann i fjell, altså lukkede system. Den andre typen system, åpne, pumper opp vannet og tar ut varme av vannet. Det er åpne system som benyttes i undersøkelsesområdet. Den jevne grunnvannstemperaturen og temperaturen i bakken fører til stabil drift og ytelse i grunnvarmeanlegg basert på oppumping av grunnvann. Temperaturen på vannet løftes i varmepumpa til en temperatur som kan distribuere varme til tappevann og romoppvarming. Ca. 70 % av varmen kommer fra grunnen, mens 30 % er elektrisitet som driver varmepumpa (Ramstad, 2011).

2.5.1 Varmelagring

Et materiales evne til å lagre varme kalles spesifikk varmekapasitet, og har symbolet S_c , med benevnning kJ/kgK. Ofte snakkes det om volumetrisk varmekapasitet, S_{VC} , som avhenger av materialets tetthet. Vann har en høy varmekapasitet, med $S_{VC} \approx 4200 \text{ kJ/m}^3/\text{K}$ ved 15 – 20 °C. Det er også vanlig å benytte $1,17 \text{ kWh/m}^3/^\circ\text{C}$ ved effektberegninger. Denne høye verdien gjør at varmekapasiteten i et porøst materiale først og fremst avhenger av fuktinnhold.

2.5.2 Varmetransport

Å forstå hvordan varme beveger seg gjør det lettere å utnytte den. Ulike materialer har forskjellig varmeledningsevne, eller termisk konduktivitet. Varmeledningsevne har ofte

symbolet λ , med benevnningen $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Varmetransport, eller varmeoverføring, kan skje ved tre ulike mekanismer: *Konduksjon*, *konveksjon* og *stråling*.

Termisk konduksjon (varmeledning) er varmeoverføring ved kollisjoner mellom legemer med ulik temperatur, og vil alltid gå fra det varme legemet til det kalde legemet (høyere til lavere konsentrasjon). Varme diffunderer gjennom fast stoff, væske eller gass ved molekylær interaksjon (diffusjon). Kvarts har den høyeste varmeledningsevnen, på rundt $7 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Bergarters varmeledningsevne avhenger dermed av kvartsinnholdet. Varmeledningsevnen varierer også med porøsitet, eller luft- og vanninnhold, da luft og vann leder varme dårlig. Innen løsmasser er en god varmeleder en vannmettet kvartssandavsetning, mens en dårlig varmeleder er en tørr og godt sortert avsetning. Varmeledningsevnen vil derfor variere med lagdelingen.

Konveksjon er varmetransport hvor varmen forflyttes i en væske i bevegelse. I de fleste tilfeller er det snakk om adveksjon, hvor væsken blir forflyttet av en ekstern kraft. Denne kraften kan for eksempel være tyngdekraften. Konveksjon kan også oppstå i et legeme som i utgangspunktet var statisk. Hvis dette legemet blir påført en annen temperatur enn den hadde i utgangspunktet, vil legemet få en ny tetthet og enten stige eller synke: Synke ved kaldere temperatur (høyere tetthet), og stige ved høyere temperatur (lavere tetthet).

Alle legemer sender fra seg energi i form av elektromagnetisk *stråling*. Denne energien overføres som varme til kaldere legemer uten kontakt. Ved laventalpvarme er elektromagnetisk stråling fra sola hovedkilden til varmen.

Disse mekanismene gjør at varme kan transporteres i tre retninger. Varmetransporten vil avhenge av egenskapene i overliggende og underliggende lag. Om det bare er akviferen som kan lede varme, vil varmen strømme langt med grunnvannet. Hvis lagene over og under har kapasitet til å ta opp varme, vil varmen spre seg i disse retningene i tillegg. Den horisontale spredningen blir dermed kortere (Banks, 2012).

2.5.3 Varmepumper og grunnvannsvarme

Rudolf Clausius definerte i 1834 entropi for å beskrive hvordan varme kan endres til å gi fysisk arbeid. Videre definerte han termodynamikkens andre hovedsetning, som sier at entropien for en spontan prosess i et isolert system aldri vil minke. Entropien vil forbli lik eller øke, og systemet søker likevekt. En varmepumpe produserer varme gjennom å føre væske eller gass fra et lav-temperaturmiljø til et høy-temperaturmiljø. Dette strider med termodynamikkens andre hovedsetning og derfor må denne prosessen tvinges fram. Temperaturhevingen skjer ved hjelp av elektrisk arbeid. Varmepumpa har en viss *effekt*, definert som et arbeid utført per tidsenhet, med enhet watt, W. Effekten er produktet av den volumetriske varmekapasiteten til materialet det hentes varme fra, S_{vc} , temperaturen som hentes ut av materialet, ΔT , og mengden som tas ut, Q , i m^3 /time:

$$Effekt = Q\Delta T S_{vc} \quad (2.8)$$

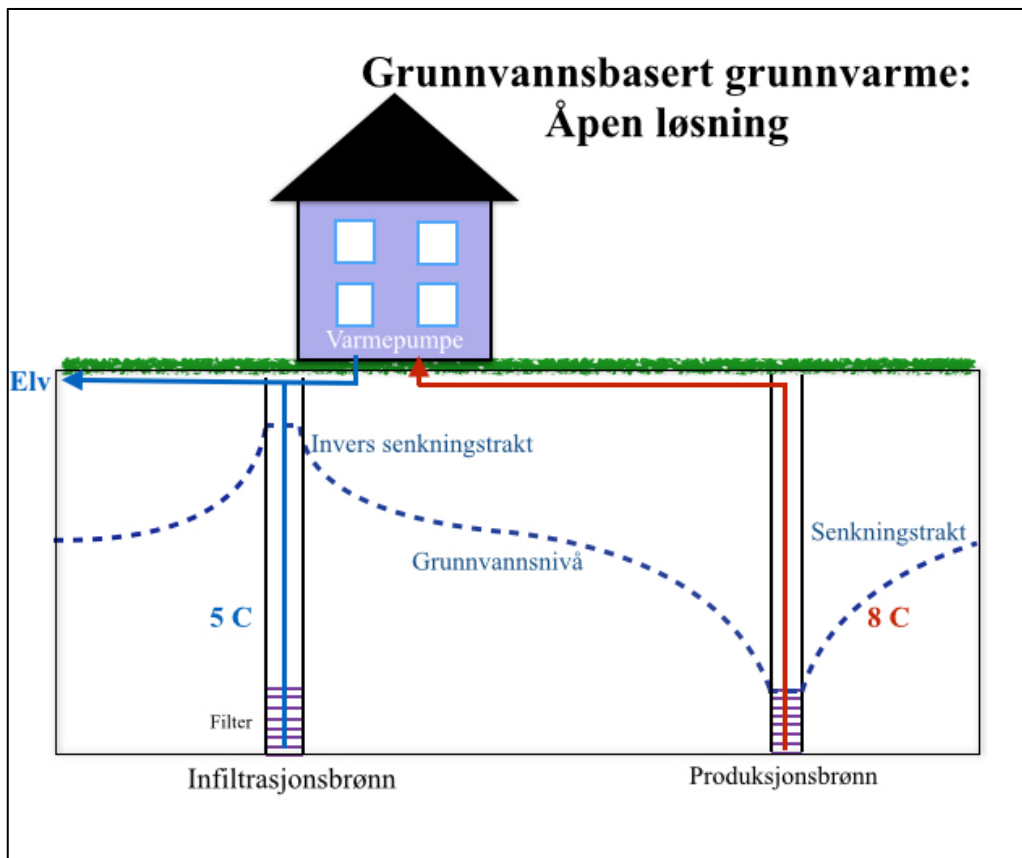
Ramstad (2011) har listet opp følgende fordeler med å benytte grunnvarme:

- God lønnsomhet hvis de geologiske forutsetningene er tilstede
- Egnet for middels til store anlegg
- Kontorbygg vil ikke trenge store kjølevifter på taket
 - Sparer konstruksjonskostnader
 - Frigitt plass – leiligheter, hager
- Lav brannfare, lang levetid, støyfri (om den er riktig montert)
- Lave driftskostnader
- Lavt CO₂-utslipp
- Kan brukes til både oppvarming og kjøling

2.5.4 Åpent system

Ved et åpent system brukes grunnvannet direkte. Grunnvannet pumpes opp gjennom en produksjonsbrønn til varmeveksleren, hvor det tas ut varme av vannet. I varmeveksleren, eller fordamperen, tas det ut temperaturer fra vannet på 3 – 5 °C. Enten sirkulerer grunnvannet gjennom hele systemet eller det benyttes en annen sirkulerende væske. Denne væsken tar opp varmen fra grunnvannet overført gjennom varmeveksleren. En kompressor, drevet av

elektrisk energi, øker temperaturen på væsken som fører til en faseovergang fra væske til damp. Dampen sendes til kondensatorer (radiatorer eller gulvvarmerør) i huset, kondenserer og avgir varme til rommet. Væsken avkjøles deretter i et ekspansjonshvelv. Grunnvannet sendes ut igjen, enten ved bruk av infiltrasjonsbrønn eller som overvann til avløp og nærliggende vann (se Figur 2.13). Det returnerte vannet har fått en lavere temperatur tilsvarende det som ble tatt ut i varmeveksleren.



Figur 2.13: Åpen løsning: direkte bruk av oppumpet grunnvann. Infiltrering av kaldere vann i infiltrasjonsbrønn (modifisert etter ngu.no, 2015).

2.5.5 Vekselvis maskin-/frikjøling og oppvarming

Ved kjøling reverseres væskestrømmen i systemet. Det vil si at kondensatoren blir fordampere og motsatt. Varmen blir dermed transportert ut av bygningen. Denne varmen blir sendt ut til grunnvannet, enten gjennom åpen eller lukket løsning. Ved frikjøling varmes grunnvannet direkte i varmeveksleren mot byggets ventilasjons- eller kjølesystem. I henhold til termodynamikkens andre hovedsetning trengs det ingen elektrisk energi ved frikjøling

siden grunnvannet vil være kaldere enn luften innendørs. Dette blir dermed en svært effektiv løsning med tanke på driftskostnader og CO₂-utslipp. Maskinkjøling krever vesentlig mer elektrisitet enn frikjøling (Banks, 2012).

2.6 Grunnvarmeanlegg og påvirkning på uforstyrret tilstand

I det følgende kapittel er Banks (2012) brukt som kilde om ikke annet er angitt.

For høyt grunnvannsutttak fra én brønn kan føre til at senkningstrakten senkes rundt flere brønner. Dette fører blant annet til høyere pumpekostnader og det kan redusere tilstrømning til nærliggende innsjøer og elver. I verste fall kan akviferen tørke ut. På samme måte kan for høy reinfiltrering påføre skader, som å oversvømme kjellere. Det kan også være en forurensningsrisiko ved reinfiltrering. Eventuelle stoffer som har blitt tilsatt vannet gjennom dets løp i grunnvarmeanlegget kan slippes ut i grunnvannet, og spres videre. I tillegg bør det være klart at det reinfiltreres i samme akvifer, da to akviferer kan ha ulik kjemi. Hvis ikke kan kjemien endres i grunnvannet. Grunnvannet kan inneholde mer salt og naturlig forekommende forurensende substanser, som hydrogensulfid, og være mer reduserende. Andre følger av utslipp er økt flomrisiko i resipient og risiko relatert til endret temperatur. Både opp- og nedpumpingen kan endre de geotekniske og termiske forholdene i grunnen.

2.6.1 Strømningsforhold

Brønner vil forstyrre de naturlige strømningsforholdene i et grunnvannsmagasin. Senkningstraktene danner en sirkulær gradient som leder mer vann ned til filteret i produksjonsbrønnen. Infiltrasjonsbrønnene fører til inverse senkningstrakter (se Figur 2.13). Jo bredere senkningstrakt jo større område vil få et endret strømningsbilde.

2.6.2 Temperaturendring

På samme måte som man kan pumpe ut for mye vann fra en akvifer, slik at den tørker ut, kan man også endre temperaturen for mye. Det er fortsatt noe usikkert hvordan og hvor stor påvirkning en temperaturendring har på økologi og kjemi. Varmere vann kan føre til en endring i mikrobiota (Banks, 2012). Eckholdt et al. (1995) skriver at erfaringer fra ulike

anlegg i Norden viser at det er uproblematisk for vannverk å infiltrere vann fra åpne basseng ned til 0 °C.

Hydraulisk feedback

Gradienten til senkningstrakten rundt infiltrasjonsbrønnen kan også føre til at returvannet strømmer tilbake ned til produksjonsbrønnen. Risikoen ved å bruke injeksjonsbrønn er at vannet som pumpes ned påvirker temperaturen på grunnvannet som skal pumpes opp. Dette kalles ”hydraulic feedback” i Banks (2012). Det kaldere returvannet i returbrønnen resulterer i en termisk ”lomme” nedover langs den hydrauliske gradienten. Grunnvannet blir kaldere og kaldere som følge stadig uttak av varme, som gjør at det etter hvert ikke kan tas ut like mye varme som anlegget bruker. Clyde og Madabhushi (1983) har vist sammenhengen mellom avstanden, L , mellom produksjons- og reinfiltreringsbrønn, og om temperaturen vil påvirke anlegget, her for et kjølebehov (Banks, 2012):

$$L < \frac{2Q}{T\pi i} \quad (2.9)$$

hvor Q er pumpemengden per tidsenhet og i er den naturlige hydrauliske gradienten. Er injeksjonsbrønnen plassert oppstrøms produksjonsbrønnen er sannsynligheten for hydraulisk feedback mye større. Systemet kan likevel være bærekraftig lenge dersom det oppumpede vannet inneholder bare en liten del av vannet fra reinfiltrasjonsbrønnen.

Ved å snu systemet om til et kjølesystem den varmeste perioden av sommeren (se kapittel 8.3) kan den hydrauliske effekten svekkes eller hindres helt. Vannet blir da oppvarmet gjennom kjølebehovet om sommeren (Banks, 2012).

2.6.3 Geoteknisk risiko

Endringer i grunnvannsnivå eller trykknivå endrer lastsituasjonen i grunnen, og kan føre til bevegelse i grunnen. Det er ulike scenarier som kan føre til dette, som for høy utpumping av vann eller at det oppstår sandpumping. På grunn av den elastiske responsen i løsmasser ved endring i grunnvannsnivå og poretrykk vil grunnen trekke seg sammen ved for høy

utpumping, og utvide seg ved for høy nedpumping. En slik endring i grunnforholdene kan føre til setningsskader i overliggende bygg. Ved sandpumping er det i enkelte tilfeller blitt brukt feil filter, slik at sand også blir med inn i brønnen og pumpa. Ikke bare fører dette til problemer i varmpumpa, men det blir også fjernet store mengder sedimenter. Hvis det for eksempel pumpes 10 L/s med grunnvann som inneholder 1 mg/L sand resulterer dette i 310 kg sand per år. Dette fører naturlig nok til en ustabil grunn, med muligheter for setningsskader på overliggende bygg. I verste fall oppstår større eller mindre synkehull (Banks, 2012).

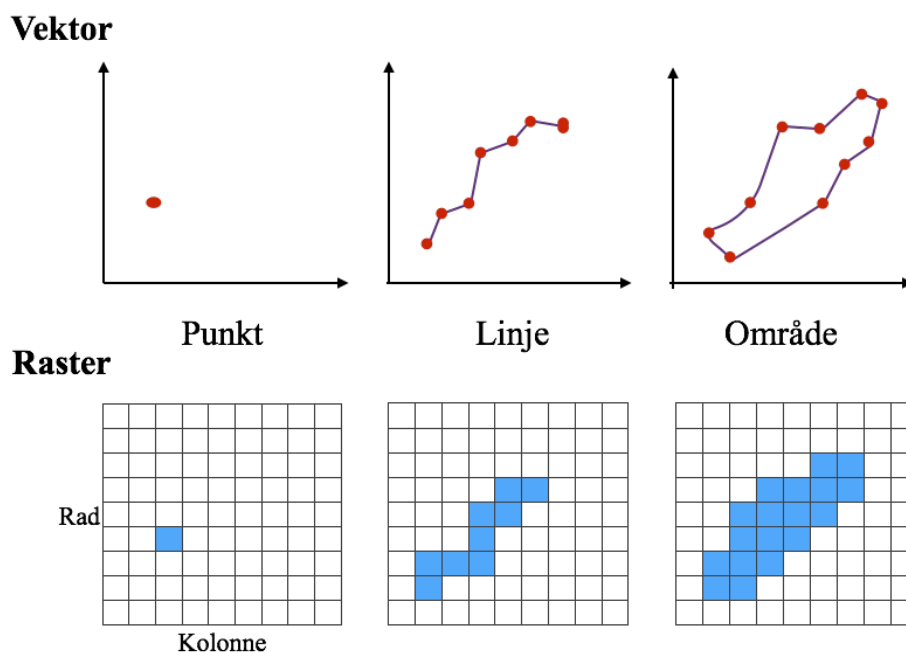
Gjentatt frost og opptining fører til en sortering i løsmassen, hvor de fineste sedimentene migrerer bort. Infiltrasjon av vann ved eller under frysepunktet kan derfor føre til kollaps i sedimentstrukturen rundt brønnen. Rør og system i undergrunnen som er ømfintlige for frost bør derfor plasseres et stykke unna en returbrønn (Banks, 2012).

2.7 2D-profiler og 3D-modellering

Tradisjonelt har det blitt brukt overflatekart og tverrsnitt for å visualisere undergrunnen. Ved introduksjonen av 3D-modellering ved hjelp av dataprogramvarer i geologisk sammenheng har denne, fram til relativt nylig, blitt mest brukt i gruve- og petroleumsbransjen. 3D-modellering av løsmasser brukes innen mange retninger innenfor geologi. I Norge er metoden mye brukt for å få større kunnskap om potensielle skredlokaliteter, som for eksempel hvor langt et skred vil gå.

2.7.1 2D-profiler i ArcMap og SubSurface Viewer MX

Modelleringsprogrammene benytter seg av geografiske informasjonssystemer (GIS) for en visuell og kvantitativ kommunikasjon. GIS er et verktøy for lagring, manipulering, analyse og fremvisning av geografiske eller romlig refererte data. Et slikt program er ArcMap. GIS-dataene kan lagres som vektor eller raster, hvor vektor er sett med punkter, linjer og polygoner, og raster er matriser med rader og kolonner (se Figur 2.14). Vektordata med geografisk informasjon kalles gjerne en shapefil. For å få dataene fremstilt tredimensjonalt, trengs det volumetriske data. Ved vektordata benyttes det 3D-grenserepresentasjoner, og for raster benyttes det volumelementer, kalt voxel (*vo-lume, pix-el*). SubSurface Viewer MX er et modelleringsverktøy tilpasset geologer, fremfor modellerere (INSIGHT, 2014).



Figur 2.14: Illustrasjon av forskjellen på vektorinformasjon (TIN) og rasterinformasjon (DEM) (modifisert etter indiana.edu, 2015).

DEM (Digital Elevation Model) og TIN (Triangulated Irregular Network) er digitale datastrukturer som representerer en overflate. TIN er en vektor-fil, mens DEM er raster. Begge disse formatene brukes i både ArcMap og SubSurface Viewer MX. TIN har den fordel at den bruker punkter ut fra en algoritme som velger de punktene som best representerer terrenget (INSIGHT, 2014).

2.7.2 Numerisk grunnvannsmodellering i FEFLOW

FEFLOW (Finite Element subsurface FLOW system) er en programvare for numerisk modellering av vannstrømning i undergrunnen. Programvaren benytter metoder innenfor ulike tilnærminger, og kan slik estimere blant annet transporttider for vann, kvantifisere vannmengder, forutsi grunnvannsforvaltningstiltak, og designe grunnvarmeuttak.

Den første mye brukte modellen av grunnvannsstrømning ble utviklet av United States Geological Survey (USGS) allerede i 1978, under navnet MOC. Den mer kjente programvaren MODFLOW ble klar til privat bruk i 1988 (Kresic, 2006). Både MODFLOW og FEFLOW blir brukt i private og statlige institusjoner i Norge. Norges vassdrags- og

energidirektorat (NVE) benytter for eksempel begge, og har en mengde referanser hvor numerisk modellering er blitt benyttet i rapporten ”Elv og grunnvann: Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma, Hedmark (002.Z). Rapport 1: Formål og metoder” (Colleuille et al., 2004).

Kontinuummekanisk tilnærming

Kontinuumsmekanikk er analyse av kinematikk og den mekaniske atferden til materialer fremstilt som sammenhengende masse. Analysen tar hensyn til et relativt begrenset antall egenskaper, som tetthet ρ , konsentrasjon av kjemiske stoffer C_k , og temperatur T . De fysiske lovene for bevaring av bevegelsesmengde, trykk, masse og energi anvendes for å beskrive adferden.

Matematisk tilnærming

Den matematiske tilnærmingen skal gi løsningene på likningene funnet ved den kontinuumsmekaniske tilnærmingen innenfor gitte start- og grensebetingelser. Ved modelleringen brukes det matematiske approksimasjonsmetoder. Disse vil idealisere og etterlikne virkeligheten, men kan introdusere mange ulike feil. I modelleringsprogrammet blir det benyttet ulike numeriske modeller for å best mulig unngå slike feil. De ulike numeriske modellene er endelig differanse-metoden (eng. Finite Difference Method, FDM), endelig volum-metoden (eng. Finite Volume Method, FVM), og endelig element-metoden (eng. Finite Element Method, FEM). Modelleringsprogrammet MODFLOW er basert på FDM. FDM benytter grunnleggende balanselikninger, og slik begrenser metoden seg til enkle geometrier og grensebetingelser. FVM og FEM deler inn den kontinuumsmekaniske tilnærmingen i flere elementer, og kan variere mye mer i start- og grensebetingelser (Diersch, 2014). I følge produsentene bak FEFLOW er FEM mer anvendelig og kraftig på grunn av de følgende egenskapene (Diersch, 2014, p. 1-14):

- Godt matematiske grunnlag: Innholdsrik og solid matematikk.
- Geometriløs: FEM kan benyttes på alle geometrier.
- Ustrukturert nett (eng. mesh): Med et ustrukturert nett kan brukeren plassere ubegrensede mengder elementer hvor hun vil.

- Robust: FEM har individuelle approksimasjoner for hvert lokale element, og setter disse sammen. Dette gjør FEM mindre sensitiv til enkeltfeil eller fordreininger i nettet.

Simuleringstilnærming

For å bruke den numeriske modellen til praktiske formål må den være kodet ved programmering og kjøres på en datamaskin. Dette gir en simulering som gir løsningene på geometri, tid, betingelser etc. Resultatene en får ved simuleringen må tolkes og evalueres.

3 LOVVERK

Mye av lovverket rundt vannressursbruk i Norge er preget av vannkraftindustrien. Vassdragsloven kom allerede i 1887, og i 1909 kom det konsesjonslov for å hindre at utenlandske aktører skulle kunne kjøpe opp norske vannfall. På 70- og 80-tallet ble behovet for regulering og et lovverk tydelig da utallige fosser og elver gjennom hele første halvdel av 1900-tallet hadde blitt lagt i rør. Følgene for natur, miljø og livsgrunnlag ble tydelig. I 1973 vedtok Stortinget Verneplan I (Småkraft, 2015). Etter mange revisjoner tar i dag et omfattende lovverk innen vannkraftindustrien hensyn til blant annet naturmiljø, biomiljø, rekreasjon og krav om effektive og bærekraftige anlegg (Vassdragsreguleringsloven, 1917, Forurensningsloven, 1981, Vannressursloven, 2000).

Det var først ved oppdateringen av den tidligere vassdragsloven i 2000 at grunnvann ble inkludert i lovverket, i lov om vassdrag og grunnvann, med ikrafttredelse 01.01.2001 (Vannressursloven, 2000). Behovet for et regelverk rundt bruken av grunnvann ble diskutert i odelstingsproposisjon (Ot.prp.) nr. 39 (Olje- og energidepartementet, 1989-99). Odelstingsproposisjon er et utgått begrep for det som i dag benevnes som proposisjon til Stortinget, og brukes når regjeringen foreslår nye lover eller ved oppheving av eksisterende lover. I odelstingsproposisjonen kommer det fram at *”det har vært et mål for myndighetene å sikre grunnvannsressursene som et ledd i arbeidet med en bærekraftig utvikling”*. Videre skriver de *”at det er et mål at den norske lovgivningen fremmer muligheten for å i større grad ta grunnvann i bruk (...) og legger til rette for utnytting av grunnvannsressursene på annen måte enn ved vannuttak”*.

3.1 Rådighet og eierforhold

I Ot.prp. nr. 39 (1998-99) ble eierforholdet til grunnvannet diskutert, og synene delte seg mellom at det er grunneier som har full rett, til at grunnvannet skal være en fellesressurs som petroleumsressurser og mutbare mineraler. Det fremgår videre at det ikke er nødvendig å begrense eiendomsretten for å sikre samfunnet med tilstrekkelig vann, da disse interessene vil bli ivaretatt gjennom en konsesjonsordning.

Vannressursloven skal, i følge § 1 (2000) sikre forsvarlig bruk og forvaltning av vassdrag og grunnvann i en samfunnsmessig sammenheng. I følge vannressurslovens § 44 er det grunneier som eier grunnvannet under grunneiers tomt. Grunneier står fritt til å bruke grunnvannet til vanlig bruk på eiendommen, som til egen husholdning og husdyr, jf. § 45 første ledd. Dette gjelder også vannforsyning til hytter. Grunneier står fritt til å utvide bruken dersom den samlede belastningen ikke overskrider det som er naturlig for vanlig bruk. Grunneier har eksklusiv råderett over grunnvannet såfremt ikke annen avtale eller annet rettslig grunnlag motstrider dette. Det samme gjelder uttak av grunnvann ved skråboring til en annens eiendom, eller ved ekspropriasjon. Hvis det oppstår uenighet om eierforhold, er dette et privatrettslig forhold, som ligger utenfor Vassdragsmyndighetens ansvarsområde. Vassdragsmyndigheten i Norge er NVE.

Viktige lovverk som omhandler eierforhold og råderett er Sameieloven og Naboloven. I Melhus er det observert at temperaturen på vannet fra ett anleggs returbrønn har begynt å påvirke temperaturen på vannet i naboanleggets produksjonsbrønn. I slike tilfeller er det Naboloven som gjelder, etter Vannressurslovens § 6 (2000). Samtidig er det sannsynlig at anleggene tar ut grunnvann fra det samme grunnvannsmagasinet, slik at eierskapet blir et sameie, i henhold til Vannressurslovens § 13 (2000). Sameieloven sier at ressursen i så tilfelle vil bli fordelt på overflateeierne i samsvar med de ulike eiendommenes overflateareal.

3.2 Konesjonsplikt

I følge bokmålsordboka fra Språkrådet og Universitetet i Oslo er konsesjon ”*tillatelse fra offentlig myndighet til å drive økonomisk virksomhet*” (UiO, 2010). I odelstingsproposisjonen ble det påpekt at ”*det ikke er et vanntett skille mellom grunnvannstiltak og vassdragstiltak*” (Olje- og energidepartementet, 1989-99). Ved tiltak som kan være til skade eller skape hinder for allmenne interesser i et vassdrag eller en sjø, må det søkes om konsesjon, jf. Vannressursloven § 8 (2000). Et uttak må ikke medføre en unaturlig senkning av grunnvannsnivået over flere sesonger, og det må heller ikke føre til nedgang av betydning i kvaliteten på grunnvannet. Vannets kvalitet må kunne være egnet til alminnelig vannforsyning eller annen aktuell forsyning (Hustveit, 2002), jf. § 10 om vannuttak og minstevannføring. Ved uttak som overskrider denne eller en grense satt av vassdragsmyndigheten, jf. § 45 annet ledd punkt a og b, blir uttaket konsesjonspliktig.

I følge Kårstein et al. (2005) vil grunnvannsutttak som ble etablert før ikrafttredelsen av vannressursloven bli konsesjonspliktige dersom uttaket økes eller omfanget endres, og ville vært konsesjonspliktig som nytt.

Ved behandling av konsesjon skal det etter § 10 legges vekt på å sikre:

- vannspeil
- vassdragets betydning for plante- og dyreliv
- vannkvalitet
- grunnvannsforekomster

Ved konsesjon kan NVE gi tillatelse til at disse vilkårene fravikes ved en kortere periode eller for enkelttilfeller. Betingelsen er at det ikke skal ha miljømessige konsekvenser.

Typiske konsesjonspliktige tiltak er uttak til offentlig vannforsyning og vannkrevende industri. Konsesjonspliktige tiltak andre enn grunnvannsutttak er i følge Kårstein et al. (2005) blant annet grunnarbeider, tunneler og andre haller i fjell og løsmasser, tiltak som hindrer infiltrasjon som asfaltering av større områder, drenering og utnyttelse av grunnvarme og geoenergi. I tillegg kan betydelig tilførsel av vann til et grunnvannsmagasin være konsesjonspliktig. Disse tiltakene kan endre kvalitet, grunnvannsstand, strømningsforhold og mengde på grunnvannet.

Vassdragsmyndigheten kan i følge § 39 sette forskrift om at planlegging, bygging, drift og undersøkelser skal utføres av kvalifisert personell. Hvis dette mangler kan

Vassdragsmyndigheten gi pålegg om tiltak dersom konsesjon ikke går gjennom og det kan gjennomføres uten urimelige kostnader, jf. § 7.

Vannressursloven omhandler også grunnvannsboring. I følge Vannressursloven § 46, forskrift om oppgaveplikt ved brønnboring, skal boring etter grunnvann utføres med aktsomhet for å unngå negative konsekvenser. Det skal sendes en melding til Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) snarest og innen tre måneder etter fullført boring. NGU kan til en hver tid bestemme hva som er oppgavepliktig. Det må meldes inn brønnens koordinater, størrelse, retning, dybde og formål. Aller helst skal det også meldes inn eventuelt påtruffet vann,

eventuell løsmassefordeling, kapasitet, stabil vannstand og filterplassering. All denne informasjonen gjøres offentlig tilgjengelig gjennom NGUs digitale database GRANADA (Grunnvannsdatabasen).

For at NVE skal kunne vurdere om et grunnvannstiltak er konsesjonspliktig, skal tiltakshaver i følge Kårstein et al. (2005) sende inn en beskrivelse av tiltaket. Det er ulovlig og straffbart å sette i gang konsesjonspliktige tiltak uten konsesjon, jf. § 63. Tiltakshaver bør derfor alltid henvende seg til NVE om tiltakshaveren er i tvil om tiltaket er konsesjonspliktig, og opplyse følgende (Kårstein et al., 2005):

- tiltakets beliggenhet angitt på kart i målestokk 1:50 000 og 1:5000
- tiltakets formål. Ved grunnvannsforsyning må det oppgis hva slags virksomheter som skal dekkes, for eksempel antall boliger, arbeidsplasser og/eller hytter
- grunnvannsuttakets størrelse i m³/døgn
- mulig påvirkning på nærliggende vassdrag
- om det er fare for tørkeskader

Vurderingen av tiltakets konsesjonsplikt skal basere seg på søknadens beskrivelser, kommentarer fra for eksempel fylkesmannens miljøvernavdeling, kommunen og faglige vurderinger. Dersom et tiltak er konsesjonspliktig skal vurderingen være en veiing av fordeler og ulemper for berørte allmenne og private interesser, og grunnvannforekomsten som berøres av tiltaket. I Vedlegg A finnes en oversikt over hva som må være med i en konsesjonssøknad. Generelt må det være med blant annet en beskrivelse av den berørte grunnvannforekomsten og eventuelt vassdrag, beskrivelse av tiltaket, forhold til annet lovverk og konsekvenser og virkninger som følge av tiltaket (Kårstein et al., 2005).

3.3 Retting/stans i virksomhet og straff

Vassdragsmyndigheten har etter Vannressursloven § 59 - 62 (2000) rett til å kreve oppretting eller stans av et konsesjonspliktig foretak, dersom konsesjon ikke blir gitt. Opprettingen eller stansen må gjøres dersom det har skjedd eller vil skje miljøskade. Det vil også kunne bli gitt et overtredelsesgebyr. Dersom inngrepet har påvirket en vannforekomst slik at det er umulig eller uforholdsmessig kostnadskrevende å gjenopprette etter kravene i Vannforskriften § 6,

kan det gis mindre strenge miljømål, jf. Vannforskriften § 10 (2007). Virksomhetens metoder må erstattes med en annen mindre miljømessig skadelig metode, og overflate- og grunnvann må ikke skades ytterligere.

3.4 Vannforskriften

Vannforskriften, eller vannforvaltningsforskriften, følger vanndirektivet fra EU om felles vannpolitikk (Vannforskriften, § 32 a) og trådte i kraft 1.1.2007 (Vannforskriften, 2006). Forskriften er hjemlet i Forurensningsloven, Plan- og Bygningsloven og Vannressursloven (Tvedten, 2008). Første og kanskje viktigste betraktning for vedtaket av direktivet er at *”vann er ikke en alminnelig handelsvare, men et gode som må beskyttes, forsvares og behandles som sådan”* (EP/Rdir. 2000/60/EF). Formålet med direktivet er å fastsette rammer for vern av overflatevann, overgangsvann, kystvann og grunnvann. Gjennom rammene ønskes det å nå felles mål om å forbedre vannøkosystemer, fremme bærekraftig bruk, reduksjon av forurensning av grunnvann, og hindre skader fra flom og tørke. Vannforskriftens § 32 a sier at departementet har rapporteringsforpliktelser i henhold til vanndirektivet.

For å nå målene i forskriften ble det fra 2006 til 2007 utarbeidet et klassifiseringsarbeid av norske fagekspert i fire norske kommuner (Tvedten, 2008). Arbeidet skulle gi grunnlag for inndeling i norske grunnvannsføremster. I utgangspunktet skal alle grunnvannsressurser over 10 m³ vurderes og karakteriseres, men dette er blitt redusert til ”viktige” ressurser, deriblant flere i Melhus. Basert på en grovkarakterisering av grunnvann gjort i 2004, ble det i denne rapporten registrert noe over 700 grunnvannsføremster i Norge. Karakteriseringsarbeidet er svært viktig for å kartlegge aktuelle fremtidige grunnvannsuttak for drikkevann. Karakteriseringsarbeidet er gitt tre ledd:

1. **Første karakterisering:** Alle grunnvannsføremster skal kartlegges med hensyn til bruk og om de er i fare for å ikke nå miljømålene satt i forskriften. I tillegg skal blant annet belastninger som føremsten kan bli utsatt for beskrives.
2. **Ytterligere karakterisering:** Om en grunnvannsføremst er utsatt, må føremsten karakteriseres ytterligere. Det må kartlegges risikoer og hvilke tiltak som må iverksettes for å bedre forholdene i føremsten.
3. **Vurdering av virkningene av menneskelig aktivitet på grunnvannet**

4. **Vurdering av virkningene av endring i grunnvannsstand:** Det kan ut fra hensyn til innvirkning på følgende områder fastsettes lavere miljømål:
 - a. Overflatevann og tilhørende terrestriske økosystemer
 - b. Vannregulering, drenering og flomvern
 - c. Menneskeskapt utvikling
5. **Vurdering av virkningene av forurensning av grunnvannskvaliteten**

I Vannforskriften skal grunnvann karakteriseres som i enten god eller dårlig tilstand, i motsetning til andre vannmiljøer som har svært god, god og moderat tilstand. Tilstandene gjelder for kvantitativ og kvalitativ tilstand. Ved god kvantitativ tilstand skal ”*det langsiktige gjennomsnittlige uttaket ikke overstige den tilgjengelige grunnvannsressursen*”. Ved god kvalitativ tilstand skal grunnvannsførekosten ikke ha blitt påvirket av saltvann, eller overstige terskelverdiene i Tabell 3.1. Hvis et stoff nærmer seg vendepunktverdien står ressursen i fare for å ikke lenger ha god kvalitativ tilstand. Kravene for kvalitativ og kvantitativ tilstand skal sikre at miljømål for tilknyttede overflatevann nås, sikre mot vesentlig forringelse, og sikre mot skade på overflatesystemer direkte avhengige av grunnvannsførekosten. Endringer i strømningsretning på grunn av nivåendringer kan ved god tilstand forekomme midlertidig, eller kontinuerlig i et avgrenset område. Endringen kan ikke føre til at saltvann eller annet trenger inn. Det kan med andre ord gis godkjenning til inngrep og aktivitet som fører til forringelse, altså nedsatt tilstand, dersom samfunnsnyten og gevinsten er større enn miljøtapet. Da må alle tiltak for å begrense negativ påvirkning ha blitt forsøkt brukt, og aktiviteten må være bærekraftig.

3.5 Forhold til annet lovverk

Hvis et tiltak krever tillatelse fra en annen myndighet enn NVE, trengs det ikke konsesjon etter vannressursloven, jf. § 20. Slike tiltak kan være:

- Tiltak som må ha tillatelse etter forurensningsloven eller tilhørende forskrifter
- Tiltak som er tillatt i bebyggelsesplan eller reguleringsplan etter plan- og bygningsloven
- Tiltak som må ha dispensasjon fra vernevedtak etter naturvernloven eller utføres som skjøtselstiltak etter naturvernloven

Tabell 3.1: Tersel- og vendepunktverdi for noen stoffer og parametere i grunnvann (Vannforskriften, 2007)

Stoffer/parameter	Terskelverdi	Vendepunktverdi
Nitrat, mg/l	50,0	37,5
Bekjempningsmidler, µg/l	0,1	0,07
Sum bekjempningsmidler, µg/l	0,5	0,4
Klorid, mg/l	200,0	150,0
Sulfat, mg/l	100,0	75,0
Ammonium, mg/l N	0,5	0,4
Arsen, µg/l	10,0	7,5
Kadmium, µg/l	5,0	3,7
Bly, µg/l	10,0	7,5
Kvikksølv, µg/l	0,5	0,4
Sum av Trikloretten og Tetrakloretten, µg/l	10,0	7,5

Det er NVE som avgjør om § 20 skal benyttes, det vil si at en annen myndighet kan behandle en søknad. Dette gjør de på bakgrunn av byggherrens beskrivelse av prosjektet og av planlagt, eventuelt gjennomført, behandling etter annet lovverk. Det må likevel fremgå tydelige opplysninger om grunnvannsmagasin og vassdrag i reguleringsplan eller bebyggelsesplan etter plan- og bygningsloven slik at en skal kunne vurdere virkningene. Tiltaket skal fortsatt ivareta vannressurslovens hensikter. Det er vassdragsmyndigheten, NVE, sitt ansvar å følge med på dette, og det er NVE som er høringsinstans for planer som har tiltak som kan påvirke grunnvannet. I tillegg har NVE, som statlig fagmyndighet, myndighet til å komme med innvendinger til arealplaner etter plan- og bygningsloven.

3.5.1 Forskrift om konsekvensutredning

Fra 1. januar 2015 ble nye regulerende grenseverdier gjeldende for grunnvann satt i forskrift om konsekvensutredning (2014) . Her står det at ”anlegg for grunnvann der den mengden vann som tas ut eller infiltreres utgjør minst 10 millioner m³ pr. år” alltid skal konsekvensutredes, jf. Forskrift om konsekvensutredning § 2. 10 mill m³/år tilsvarer ca 1200 m³/t eller 333 L/s. Den ansvarlige myndighet er NVE, og behandlingen skal knyttes opp mot Vannressursloven. Etter Forskriftens § 4 (2014) må det sendes inn melding om tiltakets

formål, områdebeskrivelse, aktuelle problemstillinger rettet mot miljø og samfunn og realistiske alternativer. Meldingen vil bli lagt ut på høring, hvor ansvarlig myndighet kan stoppe prosessen om myndigheten vurderer det som nødvendig. Fristen for uttalelser skal være minst seks uker, og maksimal planleggingstid for utredningen er satt til ti uker etter uttalelsesfristen, jf. § 5. Hvis NVE vurderer tiltaket som risikabelt for en nasjonal eller regional verdi, må Klima- og Miljødepartementet varsles, som får to uker på å eventuelt gi merknader til tiltaket, jf. § 6.

Selve konsekvensutredningen skal identifisere, beskrive og vurdere effekten av tiltaket på følgende områder, jf. § 7:

- Befolkning og helse
- Naturmangfold
- Jordsmonn, jord, vann, luft og klima
- Kulturminner, materielle verdier og landskap
- Samvirke mellom de ovennevnte faktorer

Det skal benyttes anerkjente metoder for å utføre forundersøkelsene, og undersøkelsene skal utføres av relevant faglig kompetent personell, jf. § 7. Utredningen skal inneholde en oppsummering beregnet på offentlig distribusjon. Når konsekvensutredningen er klar skal den sendes ut på høring, og ansvarlig myndighet behandler søknaden med hensyn til konsekvensutredningen og høringsuttalelsene.

3.6 Dagens situasjon

Slik lovverket er i dag kreves det ofte ikke konsesjon ved hverken åpne og lukkede grunnvarmeanlegg. Noen kommuner kan operere med melde- eller søknadsplikt i henhold til Plan- og bygningsloven, Forurensningsloven og Vannressursloven. Kommunene kan også ha dette i egen reguleringsplan. Gjennom *Forskrift for utslipp av avløpsvann fra bolig- og fritidsbebyggelse mindre enn 50 pe, Melhus kommune, Sør Trøndelag* kan Melhus kommunen regulere utslipp av avløps- og gråvann (Forurensningsforskriften, 2009).

I følge Kristin Haugen fra konsesjonsavdelingen i NVE (personlig kommunikasjon, 11.03.2015) er første skritt ofte en uformell henvendelse til NVE, med spørsmål om et planlagt grunnvannsutttak til grunnvarme er konsesjonspliktig. NVE gir beskjed tilbake om at det enten er det eller ikke er det, eller at det må sendes en rapport med mer informasjon. Haugen sier det er sjelden NVE gir beskjed om at et vannuttak ikke er konsesjonspliktig ved første henvendelse. En av NVEs oppgaver er å ta vare på allmenne interesser. I dag er dette det viktigste hensynet ved grunnvannsutttak til grunnvarme. Hvis NVE får vite om et planlagt tiltak vil de derfor kontakte kommuner, fylkeskommuner og mattilsynet for å avdekke en eventuell konflikt med andre planer (personlig kommunikasjon, 11.03.2015).

3.7 Lovverket internasjonalt

Det er ikke bare Norge som har manglende lovverk rundt utnyttning av grunnen til varme- og kjøleformål. Haehnlein et al. (2010) skriver at bare et fåtall land har et gjennomgående regulerende lovverk. Her pekes det på uforståelige lovverk som mangler definisjoner og grenseverdier. Av 46 spurte land, er det for eksempel bare tre som har en lovlig bindende minste avstand mellom brønner. I følge Sveriges geologiske undersøkelser (SGU) (2007) kan hver kommune i Sverige stille krav om at det for både åpne og lukkede system skal være minst 10 meter til neste eiendom. Videre er kravet 20 meter til neste grunnvarmeinstallasjon og 30 meter til drikkevannsutttak. Grensebetingelsene i de ulike landene er svært sprikende. I Sveits er for eksempel den maksimalt akseptable temperaturendringen 3 °C, mens den er 11 °C i Frankrike.

Regeocities er et internasjonalt prosjekt som jobber for integreringen av grunnvarme. De undersøker og promoterer beste praksis og et faglig begrunnet lovverk. Gjennom dette vil de få byer til å nå EUs klima- og energimål for 2020, i det såkalte 20-20-20-rammeverket gjengitt av Den europeiske delegasjon i Norge (2015). *Regeocities* har gitt ut flere nyttige rapporter om status og forslag til forbedringer.

Danmark er avhengig av deres grunnvann som drikkevann, og grunnvannet beskrives dermed som en av deres aller viktigste ressurser. Danmark har hatt kontinuerlig overvåking av grunnvannet siden 1989. Alle inngrep må søkes om på forhånd, da det ikke er lov å anlegge grunnvarmeanlegg uten lisens. I motsetning til Norge, hvor det skal søkes til et nasjonalt

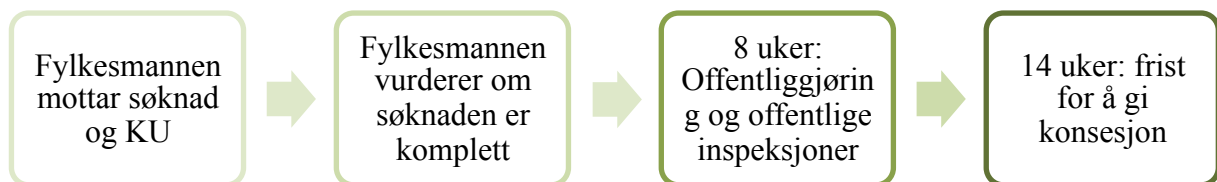
organ, NVE, gjøres dette på kommunalt nivå i Danmark. Vannressursene forvaltes av kommunene, som også lisensierer grunnvarmeanlegg. I søknaden må det vises til grundige undersøkelser, tilsvarende de som står i Vannressursloven i Norge. Det er i tillegg satt grensebetingelser, som at den totale temperaturendringen i grunnvannet ikke skal overstige 0,5 °C (Vangkilde-Pedersen og Nielsen, 2013) og at grunnvannstemperaturen ikke kan senkes til under 2 °C (Haehnlein et al., 2010). Ved godkjenningen benytter kommunene et offentlig tilgjengelig GIS-kart over drikkevannsressursene. Disse har tilhørende grensebetingelser for eventuell etablering av nærliggende aktivitet (Vangkilde-Pedersen og Nielsen, 2013). Alle vannverk og enkeltstående tiltak som pumper opp grunnvann skal daglig måle grunnvannsstanden. I følge De nationale geologiske undersøkelser i Danmark og Grønland (GEUS, 2014). De årlige oppumpede mengdene sendes inn til den aktuelle kommunen og den offentlige nasjonale databasen, JUPITER.

I Danmark er det et krav at alle som utfører borearbeider er sertifisert til arbeidet. Det er ulike klasser etter hvilket ansvar boreren har. I Sverige har grunnvarme vært populært de siste 30 årene. De har rundt 300.000 grunnvarmeanlegg, de fleste lukket. Hver vannregion kan avgjøre om sertifisering av brønnborere er obligatorisk (Jardeby et al., 2013), og de har en liste med krav som sertifiserte brønnborere må oppfylle. Dette omfatter blant annet at boreren har godkjent sveisefagbrev, minst tre års erfaring i brønnboring og godkjent resultat i ”Juridik för brunnsborrhare” og i ”Praktisk hydrogeologi” (SGU, 2015). I tillegg har Sverige et system for sertifisering av et brønnanlegg. Her sjekkes det hvert år om oppfølgingen av anlegget er etter sertifiseringskravene. Både Sverige og Danmark har krav om at det skal sendes inn melding om boring til henholdsvis SGU eller GEUS, med den samme informasjonen som kreves i Norge. I tillegg utfører GEUS geologiske undersøkelser på prøver fra boringer, og samler mulige geologiske data i en tilhørende database (Vangkilde-Pedersen og Nielsen, 2013).

Det landet som kanskje har kommet lengst i bruken av grunnvarme basert på oppumpet grunnvann er Nederland. I en rapport fra Regeocities står det at det i 2011 var etablert 1600 åpne grunnvarmeanlegg, som til sammen brukte 229 millioner m³ vann per år. Virksomheten fikk et springbrett på 80-tallet da myndighetene foreslo et forbud mot utslipp av avkjølede vann. Fra 2003 ble det satt i gang skolerings av kunder, entreprenører og operatører, i tillegg til at sertifisering av borefirma ble obligatorisk (van Beek og Godschalk, 2013). Utnyttelse av grunnvann til bruk i grunnvarme faller under deres Vannlov, som i Norge. Nederland har satt en konsesjonsgrense på uttak over 10 m³/t (2,8 L/s). Laveste tillatte temperatur på reinfiltret

vann er satt til 5 °C, og høyeste er satt til 25 °C. Alle tiltak må søkes om tillatelse med en konsekvensutredning. Konsekvensutredningen må beskrive blant annet de hydrogeologiske egenskapene, hydrologiske og termiske effekter av tiltaket, eventuelle påvirkede system i en radius på 500 – 1000 meter og konsolideringsberegninger (setningskaderisiko). Konesjon eller innrapportering skjer hos den aktuelle fylkesmannen. Hvert fylke har sin vannplan og undergrunnsplan.

Fram til sommeren 2013 var behandlingstiden av en konesjon i Nederland omtrent seks måneder. Etter dette ble det i loven satt en grense på åtte pluss seks uker. Dette gjør det enklere å etablere anlegg i allerede påbegynte byggeprosjekt uten at det fører til store kostnader som følge av forsinkelser. Andre reguleringer som trådte i kraft er krav om overvåking/registrering av operativt system. Konesjonsprosessen i Nederland er som i Figur 3.1.



Figur 3.1: Konesjonsprosessen i Nederland (modifisert etter van Beek og Godschalk, 2013)

Selv om land som Danmark, Sverige og Nederland har kommet langt i regulering og lovverk rundt etablering av grunnvarmeanlegg, påpeker Haehnlein et al. (2010) at grunnlaget for grensebetingelsene er empirisk definert og ikke vitenskapelig. I regioner i land som Tyskland og Østerrike er praksisen noe annerledes. Her anbefales det å bruke foreslåtte analytiske metoder med de stedsspesifikke hydrogeologiske forholdene og grunnvarmeanleggets spesifikasjoner. Slik kan grenseverdiene settes for ethvert prosjekt.

4 METODE

4.1 Eksisterende data

Data er blitt hentet fra ulike offentlige institusjoner. Meteorologisk institutt har e-tjenesten eKlima (eklima.met.no, 2015) der man gjennom å opprette bruker kan laste ned ulike hydrologiske data fra deres værstasjoner. NVE har e-tjenesten NVE Atlas, som er en samling digitale tematiske kart (atlas.nve.no, 2015). Særlig relevant for oppgaven var kart over nedbørsfelt, og kart med rutenett med tall for avrenning. I tillegg ble datasettene over sikringstiltak, flomsoner og verneplan vassdrag benyttet.

4.1.1 Geotekniske undersøkelser

Geotekniske undersøkelser benyttes for å kartlegge byggegrunnens anvendbarhet og stabilitet. Disse undersøkelsene går derfor sjelden dypere enn 30 meter. De mest brukte metodene i de undersøkte rapportene er dreiesondering, dreietrykksondering, og totalsondering. Dreiesondering gir informasjon om grunnens relative fasthet, og eventuelt dybde til fast grunn. Dreietrykksondering vil stoppe mot stein og blokk, og brukes til sondering i finkornede jordarter, fra leire til grus. Totalsondering kan derimot bore i eventuelt berg, og kan bestemme lagdeling i løsmasser. I den umiddelbare undergrunnen er det totalsondering som gir det mest komplette bildet. Slike undersøkelser er blitt gjort i forbindelse med byggegrunn for hus og veg.

I noen av rapportene er det også utført måling av grunnvannsnivå eller poretrykksnivå ved bruk av henholdsvis nedslåing av hul sandspiss og måling med et piezometer. Grunnvannsstanden observeres direkte i sandspissen. Et piezometer er et målerør som trykkes ned til ønsket dyp. Et filter på piezometeret måler væsketrykket enten som stighøyden inne i røret eller elektronisk med trykkmåler i røret (Nestvold, 1983).

I forbindelse med vegutbyggingen av E6 i området utførte kvartærgeologer fra NGU feltarbeid i løsmasseskjæringene for å se på skredfacies i løsmasser (Hansen et al., 2007).

4.1.2 Geofysiske undersøkelser: Seismikk, georadar og resistivitet

På 70-tallet og i 1992 ble det gjort seismiske undersøkelser i Gauldalen av henholdsvis Sindre (1980) og Mauring (1992). Disse undersøkelsene gir informasjon om dyp til fjell og løsmassefordeling ved hjelp av energipulser som sender ned i bakken med geofoner. Stor avstand mellom geofonene gir informasjon på større dyp, men blir mindre detaljerte (Sindre, 1980).

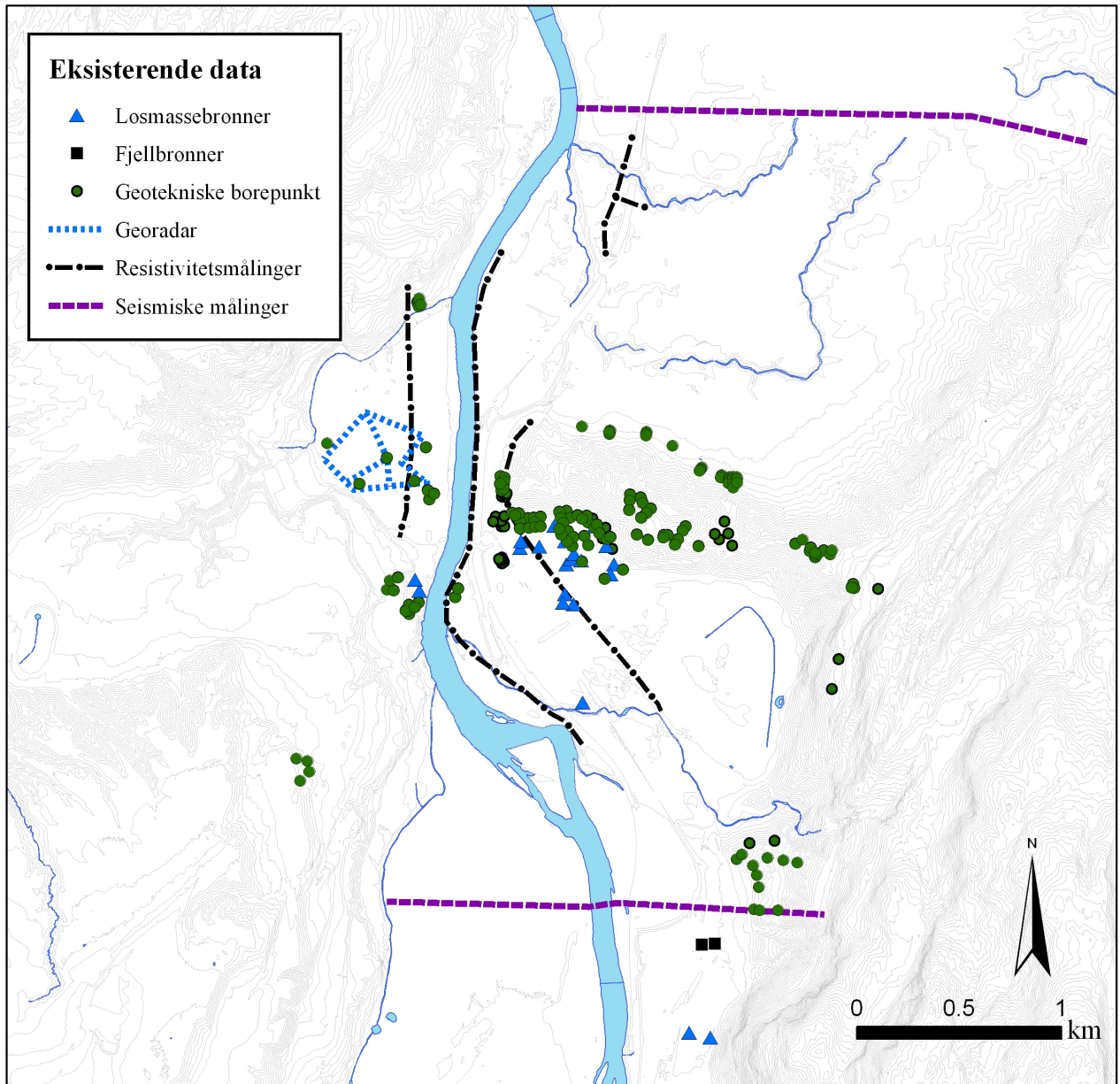
Det er i tillegg utført resistivitetsmålinger i regi av NGU i forbindelse med utbyggingen av E6 (Solberg et al., 2014). Denne dreide seg i første omgang om å kartlegge løsmasseforekomstene i området, men har vist seg nyttig i tolkning av grunnvarme- og grunnvannspotensial, i tillegg til kartlegging av kvikkleireforekomster. Resistivitetsmålingene måler motstanden nedover i bakken ved at det sendes strøm ned til et visst dyp fra elektroder plassert på overflaten langs en linje. Disse målingene går ned til 160 meter på det dypeste, avhengig av avstanden mellom sondene. I de aktuelle resistivitetsmålingene er det brukt en avstand på 10 meter mellom hver sonde. Dette betyr at løsmasselag tynnere enn 10 meter ikke detekteres i målingen.

I 2007 utførte Asplan Viak georadarundersøkelser på Gimse i forbindelse med reguleringsplan av området. Ved bruk av georadar sendes elektromagnetiske pulser ned i bakken. Metoden kan gi informasjon om løsmasstype, løsmassetykkelse og dybde til grunnvannspeil (Hilmo og Forbord, 2007). Resultatene ble sammenliknet med sonderboringer for å relatere georadarmålingene opp mot disse.

I Tabell 4.1 er alle eksisterende data oppført med kilde, hensikt år undersøkelsen ble utført og omfanget. I Figur 4.1 er dataene plassert i kart.

Tabell 4.1: Oversikt over eksisterende data fra undersøkelser i undersøkelsesområdet.

Data	Referanse / Leverandør	Hensikt	År utført	Antall / omfang
Resistivitetsmåling	Solberg et al. (2014) / NGU	Løsmassefordeling mot dypet. Deteksjon av marine salter og kvikkleire. 160 meters dybde.	2003 2008	6 profiler 6500 m. + 1000 m på Skjerdingstad.
Løsmassebrønner	GRANADA	Energibrønner i løsmasser. Vanngiverevne. Løsmassefordeling ned mot 80 meters dybde. Eventuell fjelldybde.	1999 - 2014	22 brønner
Georadar	Hilmo og Forbord (2007) /Asplan Viak	For grunnundersøkelser. Lokalisering av løsmassefordeling i dypet og grunnvannsspeil. 10 meters dybde	2007	1 rapport 8 profiler
Geotekniske undersøkelser: Dreietrykksondering Totalsondering Grunnvannsnivå- og poretrykkmålinger	Melhus kommune	For byggegrunn. Geotekniske undersøkelser ned mot 30 m. Med løsmasseanalyse i lab fra prøve tatt fra ned mot 10 m.	1963 - 2014	24 rapporter 148 borepunkt
Fjellbrønner	GRANADA	Energibrønn i fjell.	2008	2 brønner
Seismiske målinger	Sindre (1980) / NGU	Dybde til fjell og test av nytt utstyr	1972 - 1979	2 profiler 4650 m



Figur 4.1: Undersøkelles- og brønndatapunkt fra tidligere arbeid i området. Disse dataene er brukt som grunnlagsdata i oppgaven.

4.2 Måling og analyse av grunnvannets fysiske og kjemiske egenskaper

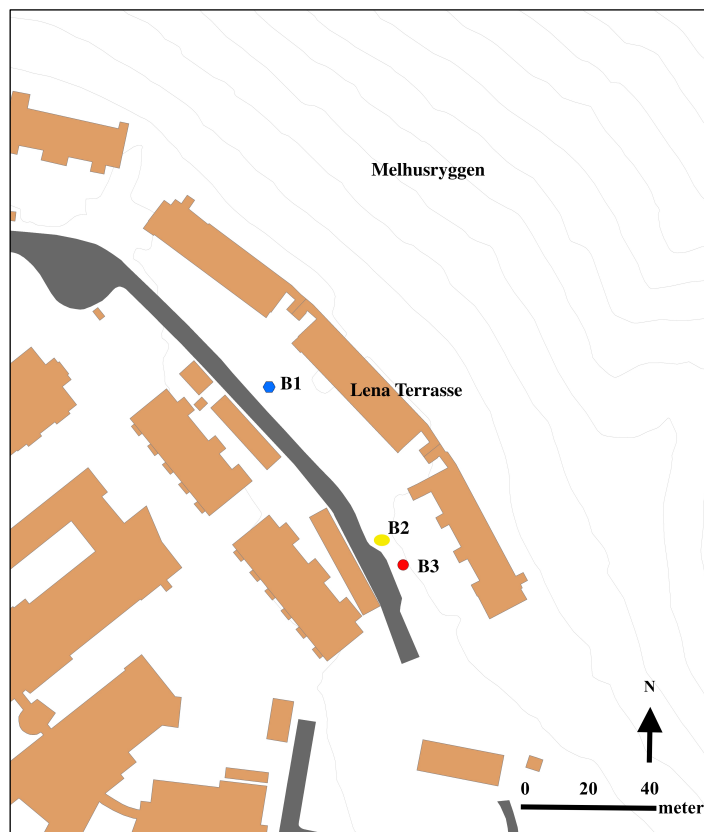
Sammen med medstudent Mari Helen Riise ble det hentet tekniske data fra grunnvarmeanleggene. Dataene ble enten muntlig formidlet av driftsansvarlige på anleggene, hentet fra brønnrapporter, brønnskjema eller fra data om varmepumpa. Det har ellers blitt utført prøvepumping på Lena Terrasse i regi av Asplan Viak, og innsamling og prøvetaking av vannprøver i regi av Asplan Viak og NGU.

Det har blitt benyttet data som er samlet inn eller analysert av Riise (2015). Aktuelle data var sammenstilling av vannføringsdata i Gaula og vannstandsdata fra pumpebrønnen i Melhuset. I tillegg ble det også sett på resultatene fra XRF-analyse av jordprøve tatt i reinfiltreringsbrønnen i Thoragården. Det ble utført trykkspyling i brønnrøret for å åpne det gjentettede filteret. I den sammenheng samlet det seg masser i brønnkummen. Disse massene ble brukt i analysen.

4.2.1 Fysiske egenskaper

15. september 2014 ble testprøvepumping utført, og prøvepumping påbegynt i en ny brønn, B3, til Lena terrasse (se Figur 4.3). Brønnen ble boret og pumpen etablert av Båsum Boring AS, og pumpingen foregikk i regi av Asplan Viak. Den nye brønnen ligger noe høyere i terrenget enn de to andre eksisterende brønnene, B1 og B2, og skulle testes for om den egnet seg best som produksjonsbrønn eller infiltrasjonsbrønn (se Figur 4.2). Brønnen har 5 meter filter, mot den forrige produksjonsbrønnen som har 10 meter filter.

I første omgang ble vannet pumpet til en overvannskum, gjennom en plastslange (se Figur 4.3), ved en uttaksmengde på 9 L/s. Etter en halvtimes tid ble plastslangen satt ned i den lavereliggende gamle produksjonsbrønnen, B1, slik at den nå ble en infiltrasjonsbrønn. Pumpemengden ble etter hvert økt til 13,4 L/s, og deretter til 22 L/s. Grunnvannsstanden i brønnene ble målt med jevne mellomrom, hyppigst i B3. Vannstanden ble målt med en trykksonde som ble ført ned i brønnrøret, og antall meter ned til angitt vannstand ble lest av. I tillegg ble temperatur og elektrisk ledningsevne målt. Testprøvepumpingen ble stoppet etter ca. 1,5 timer.



Figur 4.2: Brønnplasseringene på Lena Terrasse. B1: Gammel produksjonsbrønn. B2: Gammel infiltrasjonsbrønn. B3: Ny brønn, fremtidig produksjonsbrønn.

Etter testprøvepumpingen ble en ukes prøvepumping igangsatt, hvor grunnvannsstand, temperatur og elektrisk ledningsevne ble målt en gang om dagen. Samme prosedyre ble gjentatt for B1 som produksjonsbrønn og B3 som infiltrasjonsbrønn noen uker senere.

Prøvepumpingen gav data til å kunne beregne konduktivitet og transmissivitet til grunnvannsmagasinet under Lena Terrasse. Det ble benyttet Jacobs metode: De tidsavhengige dataene for senkning ble satt opp mot pumpetiden, i en logaritmisk akse. Senkningen ble beregnet som stigningstallet mellom 100 minutter, t_{100} , og 10 minutter, t_{10} . I følge Jacobs metode ble transmissiviteten, T , og magasinkoeffisienten, S , funnet ut fra henholdsvis

$$T = 0,183 \frac{Q}{\Delta s} \quad (4.1)$$

$$S = 2,25 \frac{T t_{0,sek}}{r^2} \quad (4.2)$$

hvor Q er uttaksmengden, Δs er senkningen, r er radiusen mellom pumpebrønn og observasjonsbrønn og t_0 er tiden ved observert påbegynt senkning.



Figur 4.3: Prøvepumping av ny produksjonsbrønn. Her fra brønn B1, med plastslangen som sender vannet ned i brønn B3 (Foto: M. Førde).

13. mars 2015 ble det i regi av AsplanViak ved Bernt Olav Hilmo gjort målinger i returbrønnen i Thoragården. Thoragårdens eier PrimaHus hadde forespurt undersøkelsen etter at returbrønnen hadde gått tett. Det ble gjort vannstandsmålinger med trykksonde.

4.2.2 Kjemiske egenskaper

24. september og 10. oktober 2014 ble det samlet inn vannprøver og gjort målinger med ledningsevne måler i anleggene på Lena, i Thoragården, Idégården, Melhuset og Oterholmgården. For å måle temperatur og ledningsevne ble måleapparatet satt ned i en prøveflaske som samtidig ble fylt med oppumpet vann fra brønnen. Ledningsevne måleren var av merket WTW Cond 330i/SET Tetra con 325 electrode. Prøveflaskene ble først vasket i vannet fra brønnen. Det ble også samlet inn vannprøver fra de samme anleggene, en 5 dl-flaske fra hvert anlegg. Alle flaskene ble først vasket i vann fra den aktuelle brønnen. Den 10. oktober ble det brukt filter i felt, mens prøvene fra 24. september ble filtrert først på lab.

Tolv vannprøver ble sendt inn til NGU-lab for ICP-AES-kationanalyse og IC-anionanalyse. De tolv vannprøvene med medfølgende duplikater ble analysert, til sammen 24 prøver.

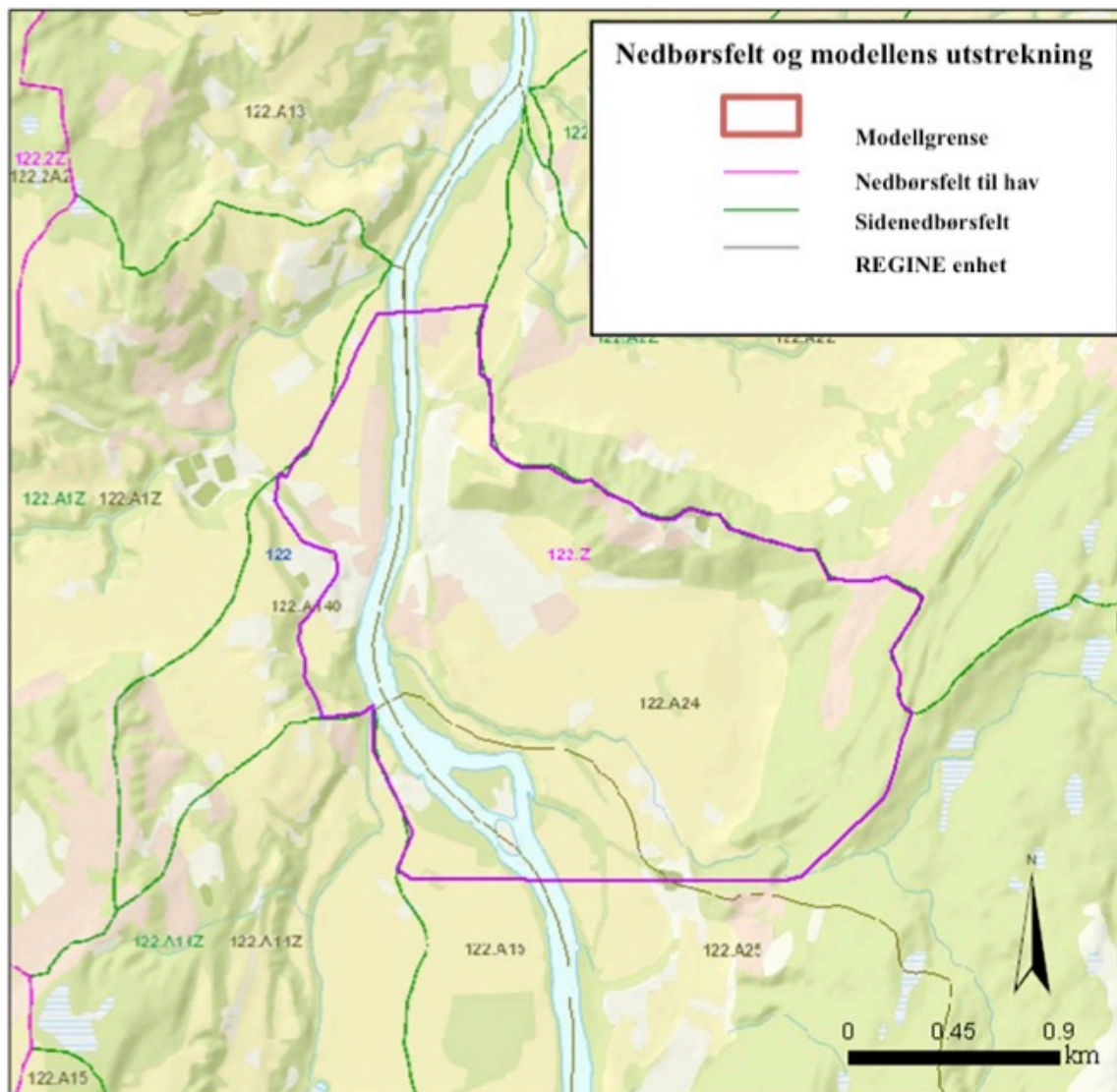
4.3 Modellering

I boka ”Applied groundwater modelling: Simulation of flow and advective transport” (Anderson og Woessner, 1991) er det foreslått følgende arbeidsgang som er fulgt i modelleringsarbeidet i denne oppgaven:

1. Utvikling av en konseptuell lokalitetsmodell.
2. Valg av datakode (programvare) som mest effektivt kan simulere konseptet og møte målet med modellen.
3. Definere modellgeometrien: lateral og vertikal utstrekning av modellarealet, rutenett (eng: grid) og plassering og antall lag.
4. Sette inn hydrogeologiske parametere, og eventuelle transportparametere for hver modellcelle: horisontal og vertikal hydraulisk konduktivitet, med anisotropier, effektiv porøsitet, transmissivitet og flere.
5. Definere grensebetingelser.
6. Eventuell bestemmelse av startbetingelser, som grunnvannsnivået og kjemi (forurensningskonsentrasjoner).
7. Definere interne og eksterne hydrauliske faktorer som påvirker systemet: infiltrasjon, evapotranspirasjon, brønnpumping, kommunikasjon med overflatevann, drenering, infiltrasjon fra andre kilder (naboakviferer, infiltrasjonsbrønner).

4.3.1 *Definere modellens horisontale utstrekning*

For å finne undersøkelsesområdet og modellens utstrekning, ble dataene i REGINE benyttet, med sidedebørsfelt som ytre grenser (se Figur 4.4). Ved noen områder ble det valgt å ikke benytte sidedebørsfeltets grenser på grunn av ønsket modellstørrelse. Loddgardsbekken i nord, Gaula i vest og Melhusryggen i sør utgjør grensene for den REGINE-enheten Melhus sentrum er en del av (se Figur 4.4). Det ble valgt å se bort fra Loddgardsbekken. Dette ble gjort for å forenkle modellen, og på grunnlag av at bekken trolig har liten påvirkning på den dype grunnvannsressursen.



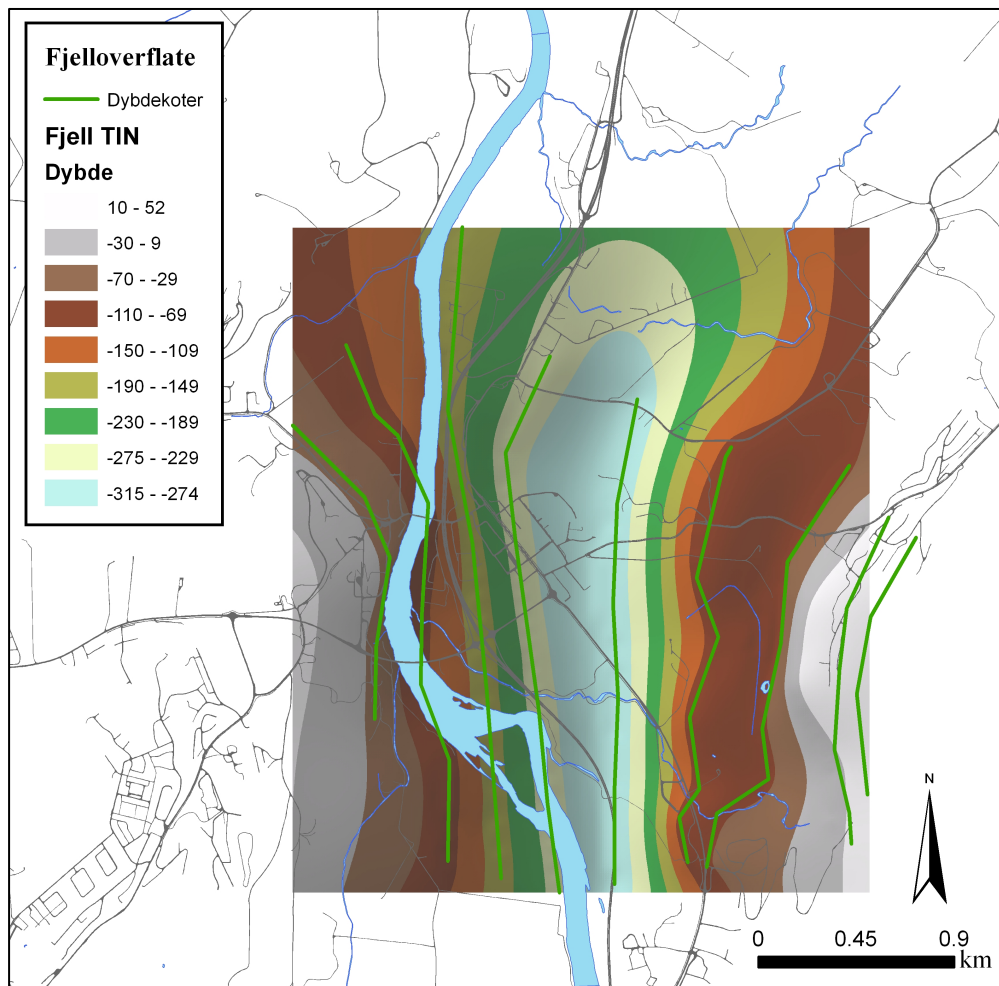
Figur 4.4: Modellens utstrekning er valgt ut fra nedbørsfelt i området (modifisert etter data fra www.nve.no, 2015)

4.3.2 SubSurface Viewer MX og ArcMap: Kvantærgeologisk modellering

Den geologiske modelleringen utgjør trinn 1, 2 og 3 i arbeidsganglisten ovenfor. Ved modelleringen ble det for overflaten og nær overflate benyttet NGUs løsmassekart, de geotekniske rapportene og georadarmålingen. For dypere informasjon ble brønnskjemane fra GRANADA benyttet, og den dypeste informasjonen er hentet fra resistivitetsmålingene.

I store deler av området er dybden til fjell ukjent, slik at størsteparten av arealets dybde ble tolket ut fra den informasjonene som er kjent. To brønner på Gimse viser en dybde på 34 meter fra overflaten til fjell. Fire andre brønner 1 – 2 km sør for undersøkelsesområdet viser

55 meter til fjell fra overflaten. Disse fire brønnene ligger relativt tett opptil Vassfjellet. For å få et bilde av dypet, ble det tatt hensyn til refleksjonsmålingene til Sindre (1980), som viser store dyp midt i tverrsnittet av Gauldalen, og til resistivitetsmålingene (Solberg et al., 2014). Fjelloverflaten ble tegnet i ArcMap ved å legge inn linjer med dybdeinformasjon for berggrunnen. Deretter ble linjene interpolert til en kontinuerlig overflate i en TIN-fil (se kapittel 2.7.1 og Figur 4.5).



Figur 4.5: TIN av antatt fjelloverflate interpolert fra tegnede dybdekotelinjer.

I første omgang ble det forsøkt å skaffe en oversikt gjennom håndtegning for å få en idé av hvordan undergrunnen kunne se ut. Det ble valgt å forenkle en god del i sentrumsområdet, da det mest sannsynlig er en mye mer komplisert lagdeling som følge av avsetningsmiljøet- og historikken. Det ble valgt å begrense modellen til seks lag, som vist i Tabell 4.2. Dette på grunn av den store usikkerheten rundt hva som faktisk befinner seg i grunnen, modelleringsprogrammets begrensninger og tidsbruk. Modellen er ment å gi et inntrykk av

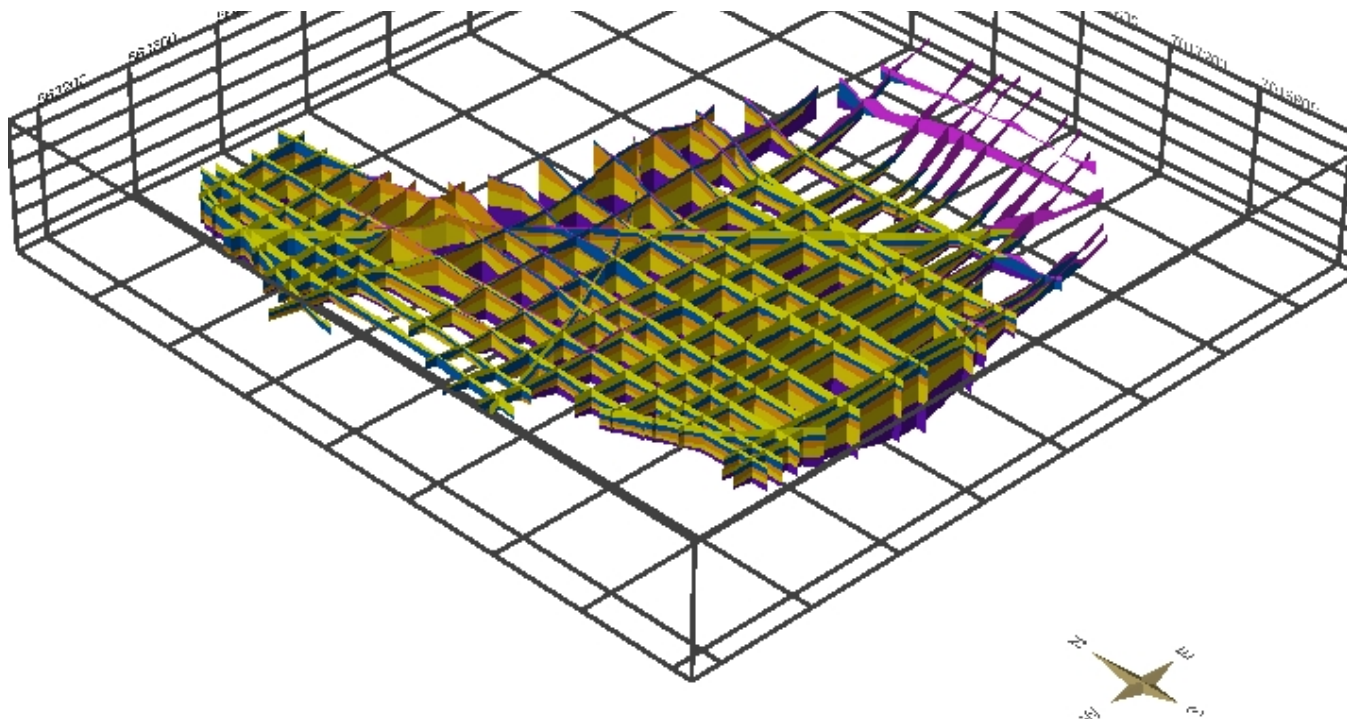
kvartærgeologien i undersøkelsesområdet, og ikke gjengivelse av hvordan det faktisk er. De seks lagene ble valgt med hensyn til ulike strømningssegenskaper, samtidig som det også ble lagt vekt på avsetningsmiljø. Laget "Sand" ble lagt til fordi det i flere brønnboreskjemaer er tolket et sandlag under gruslaget. Laget "Bunnleire" ble lagt til fordi kvartærhistorien og avsetningsmiljøet tilsier at et slikt lag mest sannsynlig er til stede. Dette laget er svært tykt i midten av dalen. Dette ble gjort for få en mer konservativ dybde på de vannførende lagene det kan tas ut grunnvann fra, Lag 4 (Grus) og Lag 5 (Sand).

Tabell 4.2: Lagdeling i modelleringen, med Lag 1 (Topplag) øverst i stratigrafien.

Lag	Sedimentologisk navn	Beskrivelse	Farge
Lag 1	Topplag	Skredmasser med sammenpakket leire, silt og sand, med innslag av grus. I tillegg stedeagne masser som tørrskorpeleire. Dekker hele Melhus sentrum og fjellsiden rundt Loddgardstrøa.	Rosa: 
Lag 2	Sandgrus	Stort sett elvesedimenter fra etter istiden. Finnes delvis under og rundt Melhus sentrum.	Gul: 
Lag 3	Marin	Marin leire og silt avsatt samtidig med Melhusryggen. Finnes i hele området i varierende tykkelse.	Blå: 
Lag 4	Grus	Glasifluvial grus og sand avsatt under havnivået i og rundt Melhusryggen. Vannførende lag.	Oransje: 
Lag 5	Sand	Glasifluvial sand og silt avsatt under havnivået. Vannførende lag.	Lysoransje: 
Lag 6	Bunnleire	Marin leire avsatt før isfremrykket som avsatte Melhusryggen.	Lilla: 

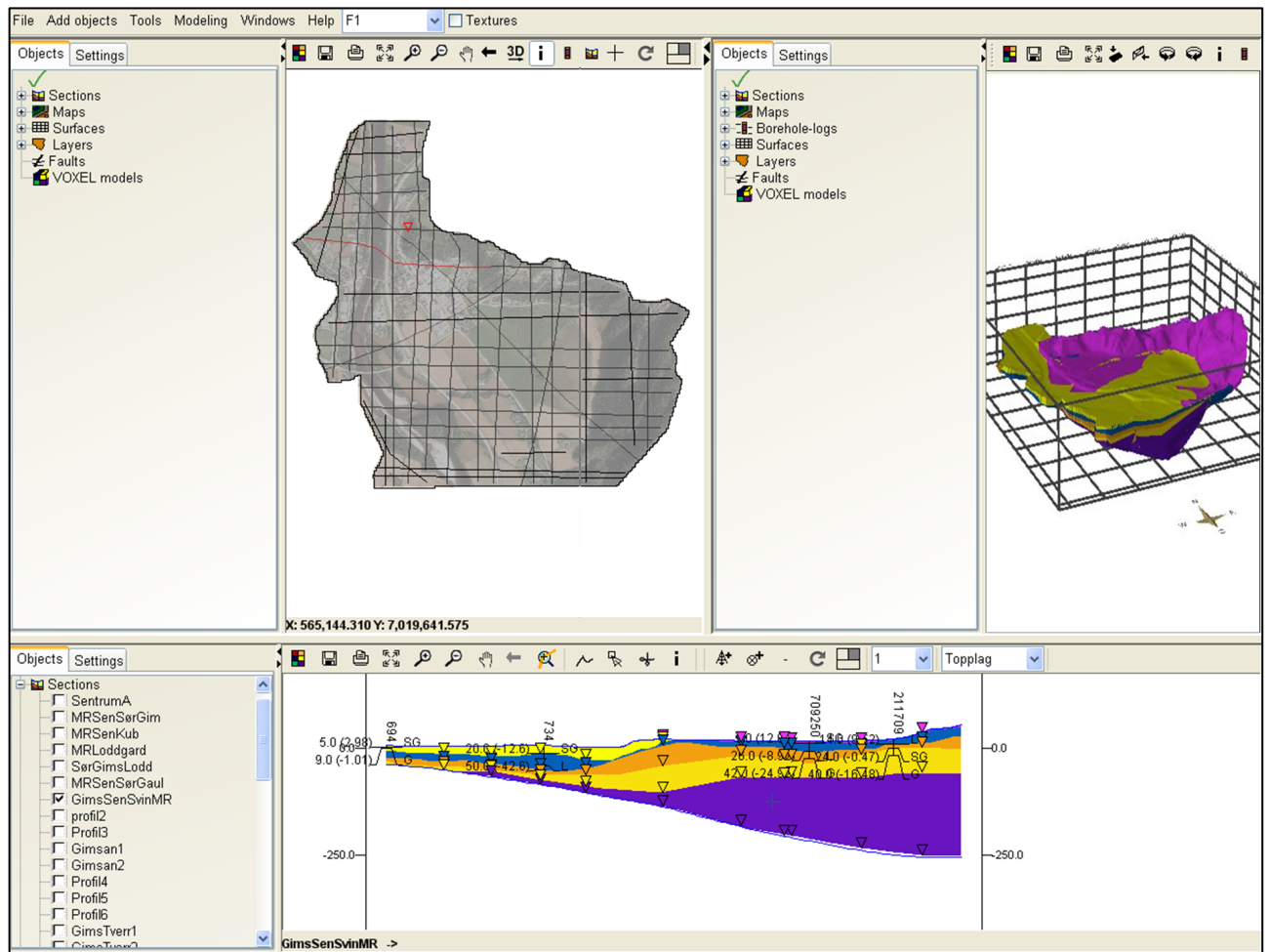
SubSurface Viewer MX leser filer fra Excel, omgjort til egnet filformat. Det trengs én fil med informasjon om de geologiske lagene og deres plassering i forhold til hverandre, og en annen fil som beskriver farge og gjennomsiktighet til disse lagene. I tillegg trengs det en egen fil med alle boringene og deres koordinater, og en fjerde fil med boringenes lagdelingsinformasjon i dypet. Boreloggene benyttet i SubSurface Viewer er listet opp i Vedlegg B.b). Det ble benyttet en TIN-fil av terrenget. TIN-filen ble laget i ArcMap gjennom omforming av en DEM-fil hentet fra NGUs database. Boringene blir plassert etter koordinatene, og med merker i dypet som angir overgangen mellom geologiske lag (se Figur 4.7). I områdene uten brønner ble lagdelingen tolket og tegnet ut fra eksisterende data. Det er

derfor gjort en del antakelser og forenklinger. Modellen blir en full 3D-modell ved at programmet interpolerer mellom tegnede profiler og horisontale lag (se Figur 4.6). Jo flere profiler, jo mer detaljert vil modellen bli. Det er derfor tegnet 40 profiler for å unngå en grov interpolering.



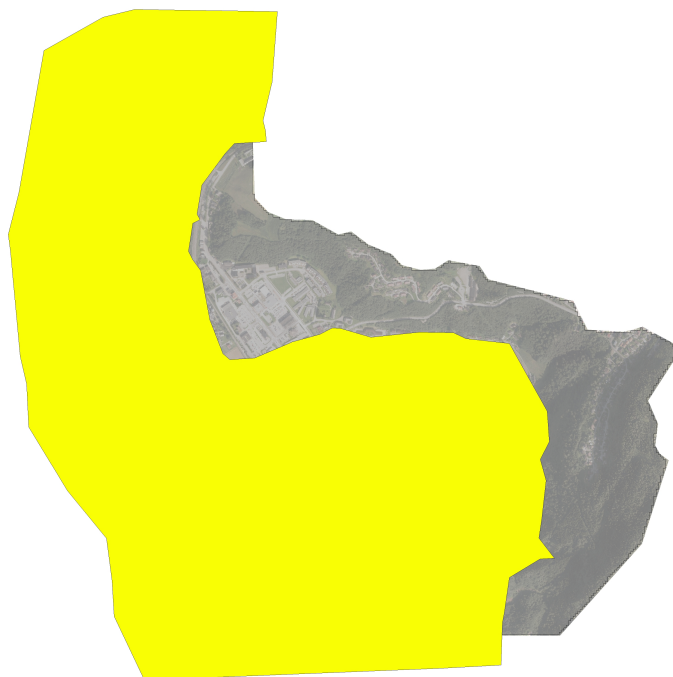
Figur 4.6: De tegnede profilene i 3D-vinduet før de interpoleres til en tett 3D-modell. Det er 100 meter mellom hver rute.

Det ble utført tre nye boringer for det nye grunnvarmeanlegget til Høvdingen. Ut fra boreskjemaene ble boringene utført i desember 2013 og januar 2014. Brønnskjemaene ble mottatt først i februar 2015. Disse er derfor ikke blitt inkludert i bakgrunns materialet til modellen. Senere sammenlikning av profiler og boring viser lite avvik.



Figur 4.7: Skjermdump av SubSurface Viewer MX. Venstre: Oversiktvindue. Her kan modellereren tegne hvor profilene skal gå. Høyre: 3D-vindue. Nederst: Profilvindue. Her kan brukeren tegne profilene etter brønnindikasjonene. Trekantene indikerer lagdelingen i kryssende profil.

SubSurface Viewer MX beregner lagflater for bunn og topp i hvert lag ut fra profilene. Det må først tegnes polygoner som definerer lagflatenes utstrekning som i Figur 4.8. Disse må strekkes ut utenfor modellens grenser for å fastsette høyden ved grensene. Hvis polygonene til lagene ikke går utenfor modellens grense, vil ikke programmet lese noen høyde, og en får feilkalkuleringer med lag som går inn i hverandre. I tillegg må underliggende lag gå lengre ut enn overliggende lag av samme årsak.

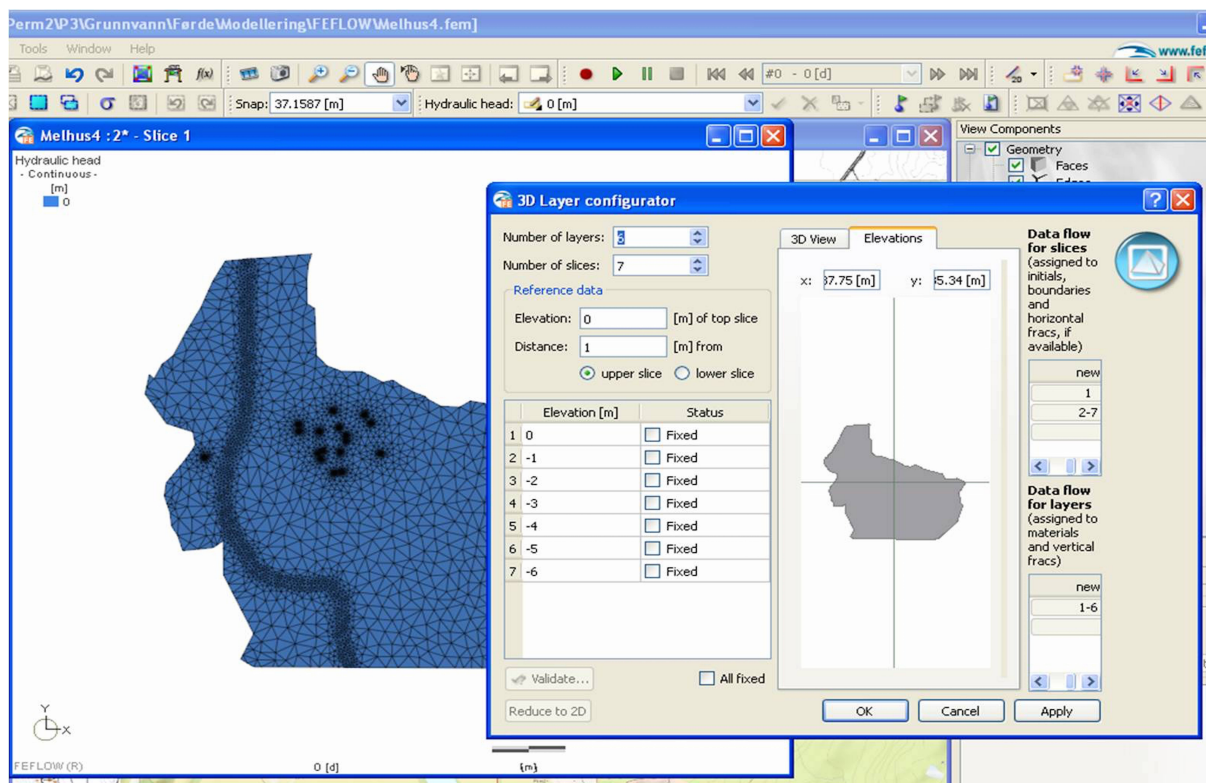


Figur 4.8: Lag 2 (Sandgrus) laget ut fra de ytre grensene i profilene på DEM-kart.

4.3.3 FEFLOW: Hydrogeologisk 3D-modell

Datagrunnlaget for den hydrogeologiske modelleringen er tatt fra prøvepumpingen, og ellers basert på verdier fra tabeller i Fysisk og kjemisk hydrogeologi (Brattli, 2009a). Andre spesifikke verdier som nedbør er funnet i databaser hos institusjonene NVE og Meteorologisk institutt (se kapittel 2.1.2).

For modelleringen av de hydrogeologiske forholdene ble det numeriske modelleringsprogrammet FEFLOW, versjon 6.2.6207 benyttet, og utgjør trinn 4 til 7 i arbeidsganglisten. Modellområdet fra ArcMap og et områdekartbilde for orientering ble lastet inn i programmet. Elven ble tegnet inn ut fra områdekartbildet. Brønnenes koordinatpunkter ble lastet inn som Excel-ark. Gaula ble tegnet inn som en linje etter bakgrunnskartet. I beregningen benytter programmet et rutenett med et visst antall elementer (Finite Element Method, FEM). En kan velge mellom tre ulike metoder for å lage dette rutenettet: GridBuilder, Advancing Front og Triangle. Metoden Triangle ble benyttet, da det er bare denne som takler alle brukte linjer og punkter (se Figur 4.9).

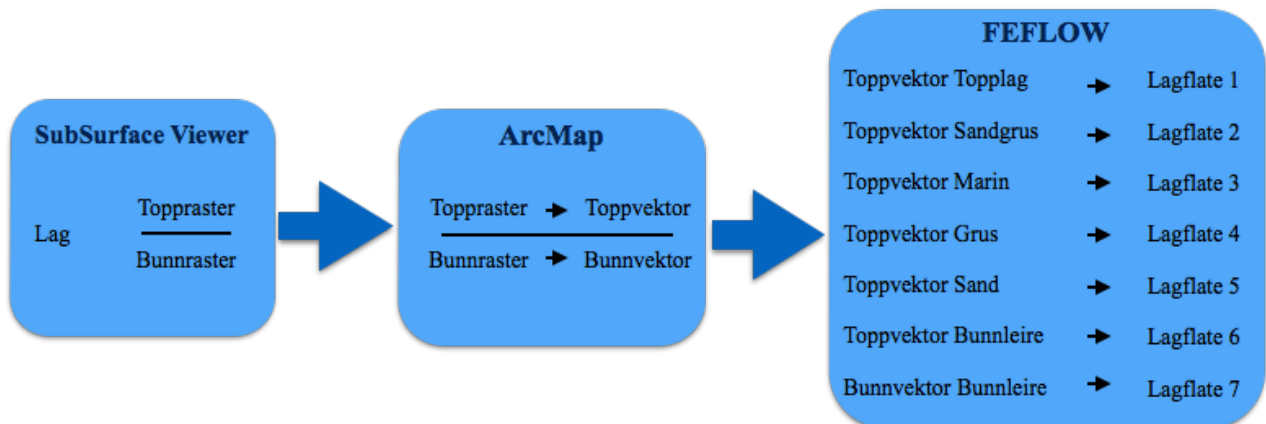


Figur 4.9: Skjermdump fra FEFLOW. Fremste vinduet viser 3D-konfigurasjonen. Vinduet bak viser det ferdige rutenettet.

Når flaten har fått et rutenett kan brukeren legge inn flere lag for å gjøre modellen tredimensjonal. Dette gjøres i en egen meny, i en 3D-konfigurasjon, altså hvor en bestemmer hvordan modellen er satt sammen, og velger hvor mange lag en vil ha (se Figur 4.9). Her gikk det med en del tid da programmet gjentatte ganger kollapset da det skulle gjennomføre denne kommandoen. Programvaren ble oppdatert etter å ha fått siste versjon fra DHI-wasy, som er utviklerne bak programvaren, og kommandoen lot seg gjennomføre. Det ble valgt seks lag, som gir syv lagflater å jobbe med.

Lagene og lagflatene fra SubSurface Viewer MX ble brukt for å få opprette geometrien til lagene i FEFLOW. De ulike lagene i SubSurfaceViewer MX blir lagret som egne filer for topp og bunn i raster-format. Dette formatet kan ikke FEFLOW lese. Derfor ble alle lagenes topp- og bunnrasterfiler lastet inn i ArcMap. Rasterfilene ble omgjort til vektorfil (shapefil) i ArcMap, som er kompatibelt med FEFLOW. Vektorfilene ble lastet inn i FEFLOW, og tilegnet en lagflate (se Figur 4.10). Informasjonen fra vektorene i filene ble overført til alle punkter i rutenettet i modellen ved bruk av nærmeste nabo-interpolasjon. Nærmeste nabo-interpolasjon er en matematisk approksimasjonsmetode for gi en verdi til et punkt basert på

kjente verdier i et gitt antall nærliggende punkt. Lag 4 (Grus) vil ha Lagflate 4 med Toppvektor Grus i toppen, og Lagflate 5 med Toppvektor Sand i bunnen. Mange av resultatene en får vises best på lagflatene, slik at for å finne resultatene for Lag 4 (Grus) må brukeren se på både Lagflate 4 og Lagflate 5 (se kapittel 5.4).



Figur 4.10: Fremstilling av arbeidsprosessen for å få geometrien fra alle lagene fra rasterfilene i SubSurface Viewer til vektorformat (shapefil) for FEFLOW.

I modellen fra SubSurface Viewer dekker ikke Topplaget hele arealet av Lagflate 1 i modellområdet, mens det underliggende laget Sandgrus ligger i dagen i større deler. I FEFLOW må alle lagflater dekke hele arealet. FEFLOW vil derfor automatisk lage en flat overflate ut fra der hvor lagflaten slutter og ut til modellgrensen. For å rette opp i dette ble det arealet i Lagflate 1 (Topplaget) som ble flatet ut selektert. Det valgte området i Lagflate 1 (Sandgrus) ble gitt terrengverdiene fra den underliggende lagflaten Lagflate 2 (Sandgrus), slik at terrenget ble riktig (se kapittel 6.2).

Grensebetingelser

Det ble i første omgang valgt å modellere med stabil tilstand, slik at det er brukt gjennomsnittsverdier for ulike variabler som i virkeligheten kan variere over tid.

For at programmet skal forstå at det tette rutenettet i Gaulas løp er en elv, må informasjon om vannflatens gradient i elva tilføres. Vannivået i elva varierer med nedbøren og årstidene, men det ble valgt et gjennomsnitt med 3,4 moh i det sørligste punktet og 2,8 moh i det nordligste punktet. Dette ble valgt på grunnlag av høydeinformasjon målt på elva i ArcMap rett utenfor Melhus sentrum. Det ble antatt en gradient på maks 1 meter fra sørligste til nordligste punkt i modellområdet. Elvas vannflate ble laget i ArcMap, på samme måte som berggrunnen (se

kapittel 4.3.2). Vannflaten ble satt til *Fluid Transfer Boundary Condition*, en grensebetingelse som angir høyden for hvor det overføres vann mellom elva og grunnvannet.

Andre parametere FEFLOW krever for simuleringen er grensebetingelser i modellens ytre grenser hvor det er inn-/utstrømning av grunnvann, kalt *Hydraulic Head Boundary Condition*. I denne modellen er dette i nord og sør. De andre grensene er vannskillere, slik at her skal det i teorien ikke være noe grunnvann som går ut eller som kommer inn fra andre områder.

Brønnenes opp- og nedpumping er også en grensebetingelse. Det ble laget et Excel-ark med hver brønns objektidentifikasjon, koordinater, brønnfiltrenes topp- og bunn plassering, pumpe rate og brønnenes radius. Dette Excel-arket ble lastet inn i FEFLOW, og plassert i det tredimensjonale rutenettet (se Figur 4.11).



Figur 4.11: Brønnfiltrenes topp- og bunn plassering i dypet, sett mot Melhusryggen fra sør for Gimse.

Materialeegenskaper

For å gjenskape områdets hydrogeologi ble de ulike lagene, og deler innenfor et lag, gitt ulike materialeegenskaper. De grunnleggende egenskapene er konduktivitet, transmissivitet, porøsitet, inn- og utstrømningsrate og inn- og utstrømning på topp/bunn.

I FEFLOW blir transmissivitet betegnet som horisontal konduktivitet i x- og y-retning, altså K_{xx} og K_{yy} . Vertikal konduktivitet er betegnet K_{zz} . Disse egenskapene ble gitt helt like verdier for samme lag. I lag 4 (Grus) hvor grunnvannsforekomsten ligger ble verdiene basert på beregningene fra prøvepumpingen på Lena Terrasse. De resterende verdiene er tatt ut fra tabell modifisert av Brattli etter Carlsson & Gustafson (2009) (se Figur 2.8), og ellers tilpasset resultatene fra prøvepumpingen. Det ble i tillegg forsøkt modellert med andre verdier for konduktivitet i Melhusryggens ulike lag i ulike simuleringer. Siden FEFLOW trekker alle lagflater og lag ut hele modellområdet, ble Lag 2 (Sandgrus) dratt inn under Melhusryggen, hvor det ikke er. Det ble gitt lavere verdier for konduktivitet i dette området i dette laget (se Tabell 4.3). Dette ble gjort for forsøke å få fram at Melhusryggen er drenert (Nestvold, 1983).

Tabell 4.3: Oversikt over de ulike lagenes hydrogeologiske egenskaper

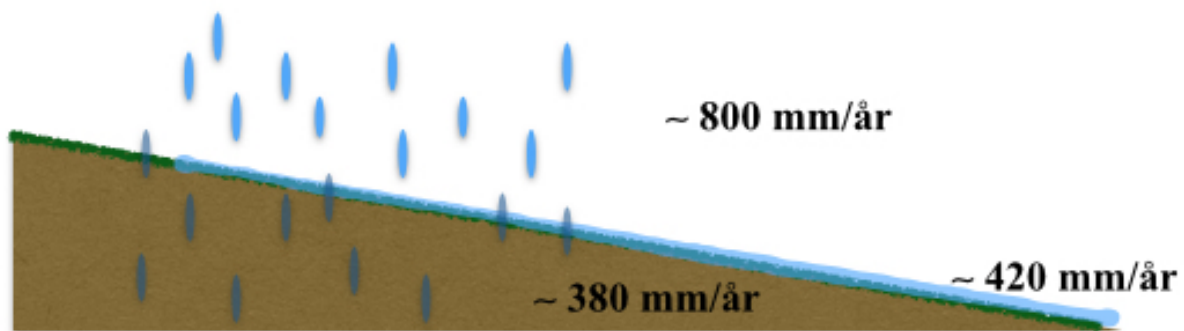
Lag	Hydraulisk konduktivitet	Transmissivitet	Effektiv porøsitet	Hydraulisk konduktivitet Melhusryggen	Hydraulisk konduktivitet Melhusryggen
	m/s	m/s	%	m/s	m/s
Lag 1 - Topplag	10^{-8}	10^{-8}	10		
Lag 2 - Sandgrus	10^{-3}	10^{-3}	35	10^{-5}	
Lag 3 - Marin	10^{-9}	10^{-9}	20		
Lag 4 - Grus	10^{-3}	$3,1 \cdot 10^{-2}$	30		10^{-5}
Lag 5 - Sand	10^{-5}	10^{-5}	30		
Lag 6 - Bunnleire	10^{-10}	10^{-10}	5		

Porøsitetsverdiene (*Drain-/fillable porosity*) er tatt ut fra tabell fra Brattli (2009) (se Figur 2.7).

Inn- og utstrømningsrate, kalt *In-transfer rate* og *Out-transfer rate* i FEFLOW, beskriver strømningsrate for infiltrasjon fra overflatevann og strømningsrate for eksfiltrasjon til overflatevann. Denne verdien ble brukt for grunnvannsmagasinetts kommunikasjon med elva.

En viktig parameter for simuleringen av hydrogeologiske forhold er infiltrasjon, kalt *In/outflow in top/bottom*. Nedbørstall ble funnet i Meteorologisk institutts offentlige database,

eKlima, som kunne lastes inn i ArcMap (se kapittel 2.1.2). Videre ble tall for avrenning funnet i NVEs kartdatatjeneste. I hydrologiske kart er avrenning ført opp som et rutenett over hele landet. Tilnærmet infiltrasjon ble ut fra disse verdiene funnet med en forenklet likning, som i Figur 4.12.



Figur 4.12: Illustrasjon av forenklet infiltrasjonssituasjon i undersøkelsesområdet. Avrenningen er et gjennomsnitt av avrenningsverdiene fra rutenettet i NVE Atlas (modifisert etter atlas.nve.no, 2015)

4.3.4 FEFLOW: Kuldeoverføring

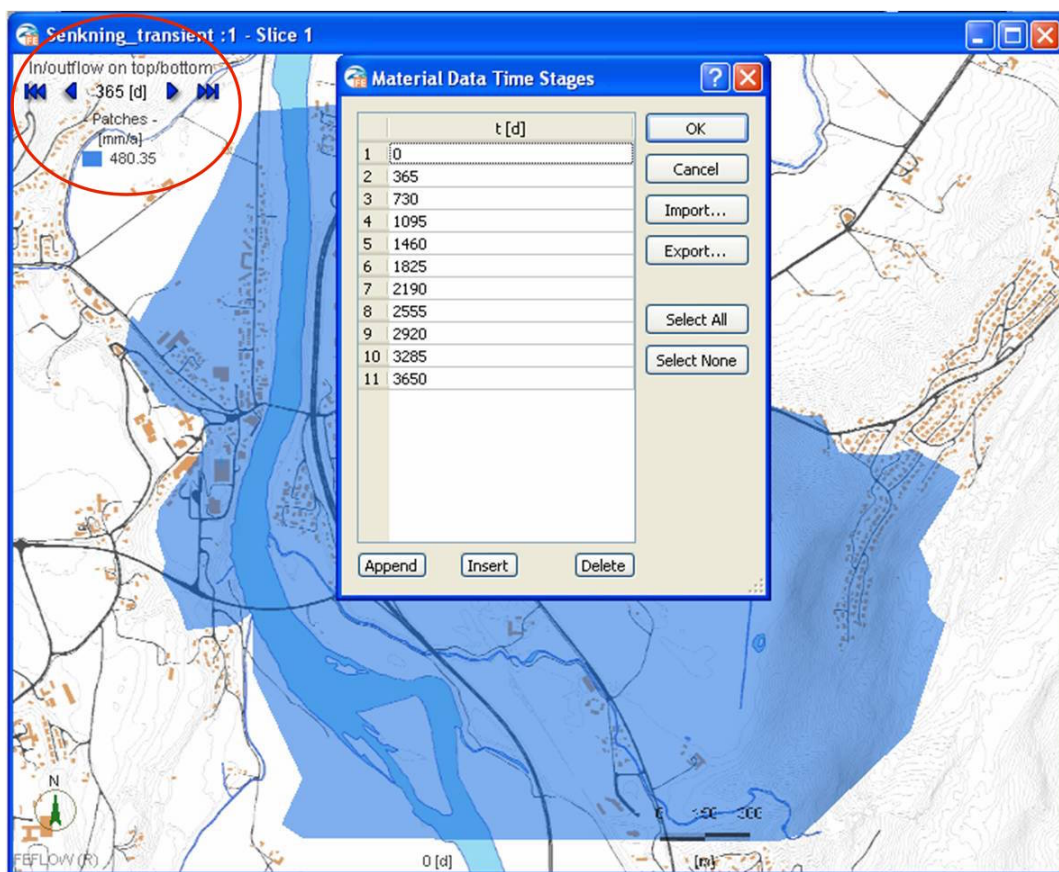
Siden det tas ut varme fra grunnvannet som pumpes opp vil vannet som reinfiltres være kaldere. For å illustrere denne problematikken er det i modellen simulert ved stabil tilstand, altså ingen variasjon i temperatur på grunnvannet eller i uttaksmenge. Grunnvannstemperaturen ble satt til 8 °C, en gjennomsnittstemperatur av litteraturverdier og målinger gjort i felt. Varmeuttaket er ved mange av anleggene 3 °C, slik at temperaturen på vannet som reinfiltres er satt til 5 °C. I FEFLOW er denne verdien *Temperature BC*, en grenseverdi for temperatur. Hvert lag ble gitt verdier for termisk konduktivitet og volumetrisk varmekapasitet, som i Tabell 4.4, basert på tall fra Hilmo og Kalskin (1999).

Tabell 4.4: Verdier for lagenes termiske egenskaper

Lag	Termisk konduktivitet	Spesifikk varmekapasitet	Volumetrisk varmekapasitet
	W/mK	kJ/kgK	kJ/m ³ K
Lag 1 – Topplag	0,9	1,38	1326,2
Lag 2 - Sandgrus	2,7	0,83	1037,5
Lag 3 - Marin	0,9	1,38	1326,2
Lag 4 - Grus	2,7	0,83	1037,5
Lag 5 - Sand	2,7	0,83	2324,0
Lag 6 - Bunnleire	0,9	1,38	1326,2
Vann	0,6	4,2	4199,9

4.3.5 FEFLOW: Transient tilstand

Det ble i tillegg til modellering ved stabil tilstand kjørt simuleringer ved transient tilstand. Ved slik modellering varierer en eller flere parametere med tiden. I denne modellen ble det satt inn samlet nedbør for hvert år ti år tilbake. Nedbørsdataene ble hentet fra eKlima. FEFLOW lar brukeren velge hvilken parameter som skal være transient, hvor mange tidstrinn og i hvilken enhet. Infiltrasjonsparameteren, In/outflow on top/bottom, ble endret til transient. I Excel ble hvert års totale infiltrasjonsmengde regnet ut fra likningen ovenfor. I FEFLOW ble det valgt ti trinn, med 365 dager mellom hvert trinn (se Figur 4.13). Når FEFLOW kjører modellen interpolerer den mellom trinnene for å få en gradvis overgang mellom trinnene. Slik blir gjennomkjøringen en film som viser grunnvannstandens bevegelse gjennom ti år.



Figur 4.13: De transiente infiltrasjonsdatane lastes inn i FEFLOW. Det innsirklede området viser et valgt tidssteg, her ett år, med allerede valgt verdi for infiltrasjon på 480,35 mm/år.

4.3.6 FEFLOW: Maksimalt grunnvannsuttak / pumpehastighet

Basert på brønndybder fra brønnskjema, er plassering av filter valgt som utgangspunkt for maksimal senkning. Ut fra dette er total maksimal pumpehastighet forsøkt funnet for hele området, med hensyn til det svakeste anlegget. Ulike pumpehastigheter er valgt for anleggene i FEFLOW, og deretter lest av vannsøylen fra simuleringen. Hvis vannsøylen er nærme, på eller under antatt plassering av filter, blir den modellerte pumpehastigheten maksimal pumpehastighet.

5 RESULTAT

5.1 Sammenstilling av eksisterende data

Nedenfor følger en sammenstilling av de eksisterende data med fokus på hydrogeologiske egenskaper delt inn etter området.

5.1.1 *Melhus sentrum*

I de geotekniske rapportene er det registrert høy motstand i faste leirmasser i sentrum. Leira har dermed vært omrørt i en skredhendelse, og leira er stabil. Stedvis og på større dyp viser laboratorieprøver og resistivitetsmålingene at det finnes kvikkleire (Solberg et al., 2014, Solheim og Tørum, 2006).

Strømningsretningen i de øvre lagene i Melhus sentrum skiller seg fra resten av undersøkelsesområdet, da den her vil være påvirket av terrengforhøyningen Melhusryggen utgjør. Storrøs (2000) tolkninger av grunnvannsundersøkelser i tilknytning til planlegging av grunnvarmeanlegg ved Lena terrasser i Melhus sentrum viser at strømningsretningen er i sørvestlig retning, fra Melhusryggen mot Gaula. Gradienten i grunnvannsspeilet er fra 3,5 til 3,1 moh.

Ioneinnholdet i grunnvannsprøver har ført til en del forvirring rundt forståelsen av lagdelingen i området. I tolkningsarbeidet av resistivitetsmålingene ble områdene med lav elektrisk motstand under Melhus sentrum karakterisert som at det var elektrisk støy tilstede. Elektrisk støy vil forstyrre målinger, og gjøre målingene usikre. Vanligvis ville områder med lav motstand blitt tolket som saltholdig marin leire. Sommeren 2014 ble det for denne oppgaven, for Riise (in prep., 2015) sin oppgave og ferdigstillelsen av rapporten til Solberg et al. (2014) tatt vannprøver ved anleggene i Melhus sentrum. Vannprøvene og senere geotekniske målinger viste at det er snakk om fossilt vann i grusmassene. Små grunnvannsgradienter i kombinasjon med løsmassefordelingen kan være forklaringen på at det saltholdige porevannet ikke har blitt drenert ut. I tillegg lekker det salt fra den overliggende marine leira (Solberg et al., 2014).

5.1.2 Melhusryggen

De seismiske undersøkelser til Sindre (1980) viser en betydelig dybde til fjell. Målinger utført nord og sør for Melhus sentrum viser dybder på 250 – 300 meter i de dypeste delene midt i dalen. Refleksjonsmålingene til Mauring (1992) viser refleksjoner som ble tolket til å være en fjellterskel liggende under hele Melhusryggen. Maurings tolkningsresultat motstrider undersøkelser og tolkningsresultater fra tidligere og senere undersøkelser, som ikke har vist fast fjell under Melhusryggen ved de nivåene Mauring (1992) viser til.

Flere geotekniske undersøkelser, sammen med resistivitetsmålingene, viser et fast siltig tørrskorpeleire på omtrent 12 meter over et tykt sand-/gruslag. I en Kummeneje-rapport (Nestvold og Lefstad, 1984) står det at poretrykkmålinger ved 5 meters dybde viser et grunnvannsnivå ved 1,7 meter under terreng. Målinger utført ved 10 meters dybde viser lavt poretrykk, som tilsier at Melhusryggen er drenert.

5.1.3 Utenfor sentrum

Nord og sør for sentrum er det ingen grunnvannsbrønner verken til jordbruk, drikkevann eller til oppvarming i undersøkelsesområdet. Resistivitetsmålingene viser at det ved Gimse, vest for Gaula, er over 40 meter til grusmassene som hører til Melhusryggen. Grunnundersøkelser utført i forbindelse med utbyggingen av E6 viser i vegvesenrapport Ud 800A (2002) registrert kvikkleire og sensitiv leire lengst sørøst i undersøkelsesområdet. Videre viser denne rapporten at grunnvannsnivået i undersøkelsesområdet er lavere i nord enn i sør. Beregninger viser grunnvannsspeil på 22 meter over havet omtrent ved Skjerdingsstad (se Figur 2.1), og 17 moh (5 – 7 meter ned fra overflaten) ca. 1 km nord for undersøkelsesområdet. Beregningene er gjort ut fra poretrykkmålinger og antatt hydrostatisk trykk.

Georadarmålingene på Gimse viste et grunnvannsspeil på mellom 3 og 6 meter over havet, med gradient mot Gaula.

5.2 Målinger utført i Melhus sentrum

5.2.1 Fysiske egenskaper

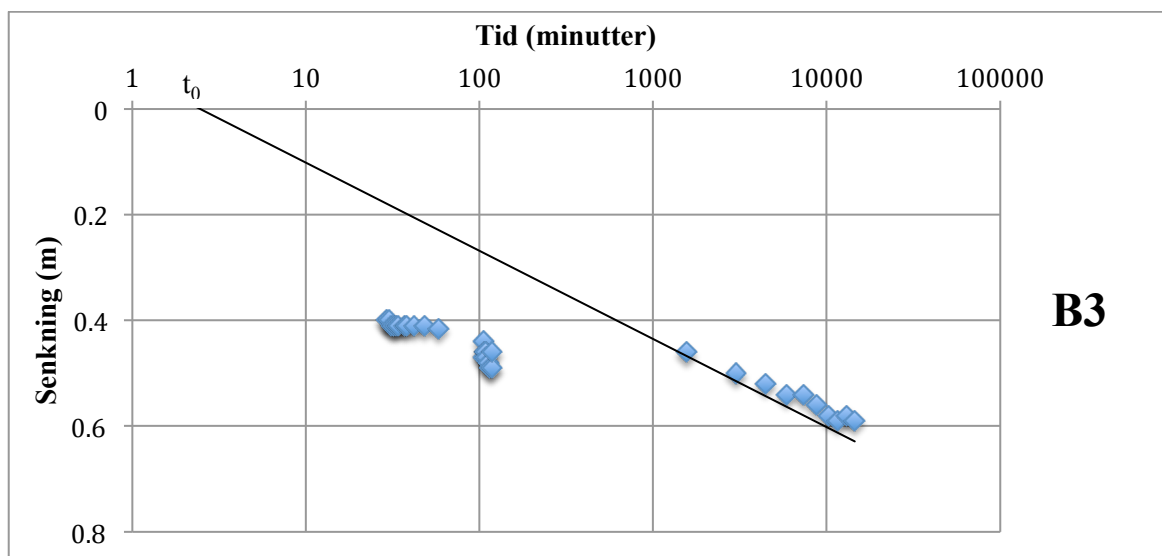
Tabell 5.1 og Tabell 5.2 viser resultatene fra beregninger gjort i Excel etter prøvepumpingen. Figur 5.1 viser senkningskurvene benyttet i beregningene ved bruk av Jacobs metode (se kapittel 4.2.1).

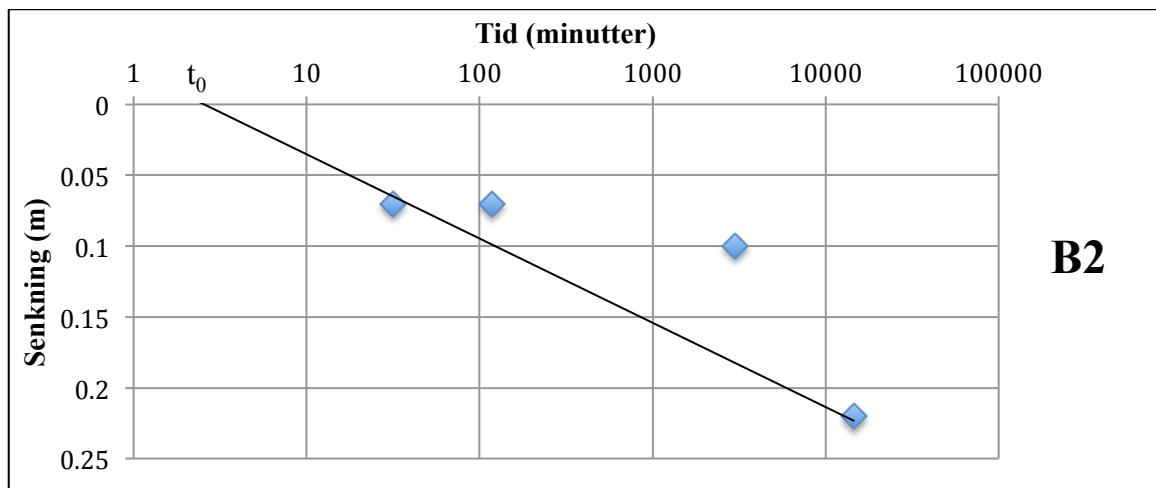
Tabell 5.1: Resultat fra prøvepumpning i ny produksjonsbrønn, B3 (Riise, 2015)

Uttak	Vannstand i brønn	Vertikal senkning	Spesifikk kapasitet
L/s	meter ned fra brønnkant	m	L/s per meter senkning
0	23,8	0	0
9	24,1	0,2	39,1
17	24,2	0,4	41,5
22	24,6	0,7	29,1

Tabell 5.2: Resultat av beregninger av senkning, Δs , transmissivitet, T , hydraulisk konduktivitet, K , og magasinkoeffisient, S . B3 er den nye produksjonsbrønnen, mens B2 er gammel infiltrasjonsbrønn.

Brønn	Δs	T	K	S
	m	m^2/s	m^3/s	
B3	0,08	0,031	0,001	274,794873
B2	0,05	0,049	0,001	0,45022392





Figur 5.1: Senkningskurvene for brønnene B3 og B1 etter prøvepumpingen på Lena Terrasse.

Konduktiviteten ble funnet med likning 2 i kapittel 2.2.3. Mektigheten på akviferen, m, ble satt til 30 meter, en gjennomsnittlig tykkelse fra den modellerte akviferen (se kapittel 5.3).

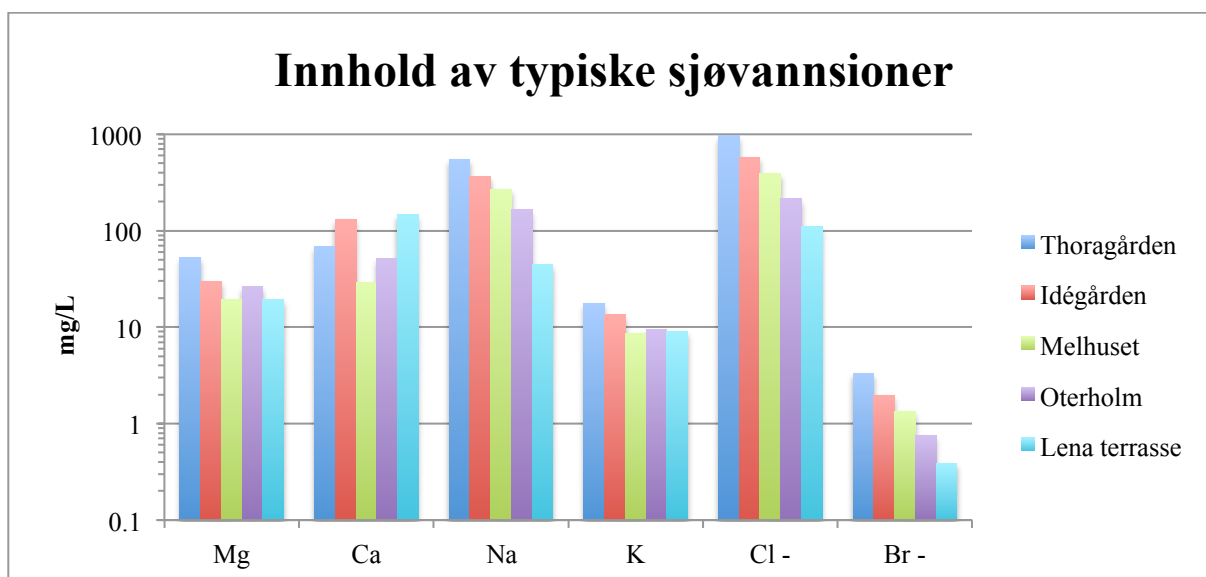
Magasinkoeffisienten er antatt å tilsvare den effektive porøsiteten i løsmassene i grunnvannsmagasinet ut fra likning 4 i kapittel 2.2.3.

Målingen i returbrønnen i anlegget i Thoragården viste et grunnvannsnivå på 15,9 meter fra overflaten, som tilsvarer på 2,1 meter over havet.

5.2.2 Kjemiske egenskaper

Alle resultatene vist nedenfor er tatt fra de vannprøvene som ble samlet inn med filtrering i felt den 10. oktober 2014. Se Vedlegg D for komplett resultatliste fra analyse.

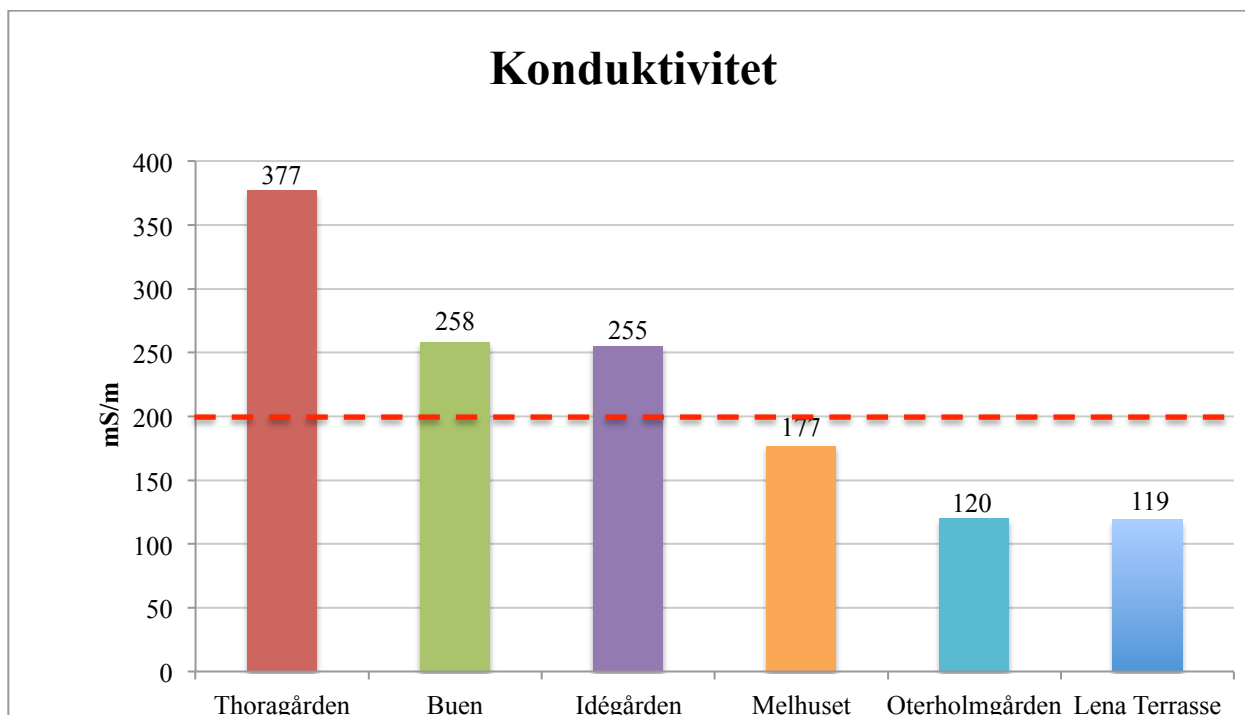
Figur 5.2 viser mengdene av typiske sjøvannsioner i grunnvannet. Klorid og natrium har de høyeste verdiene. Beregninger gjort i Excel viser at summen av målte anioner og summen av målte kationer andre feltdag er lik, og dermed er analysen god.



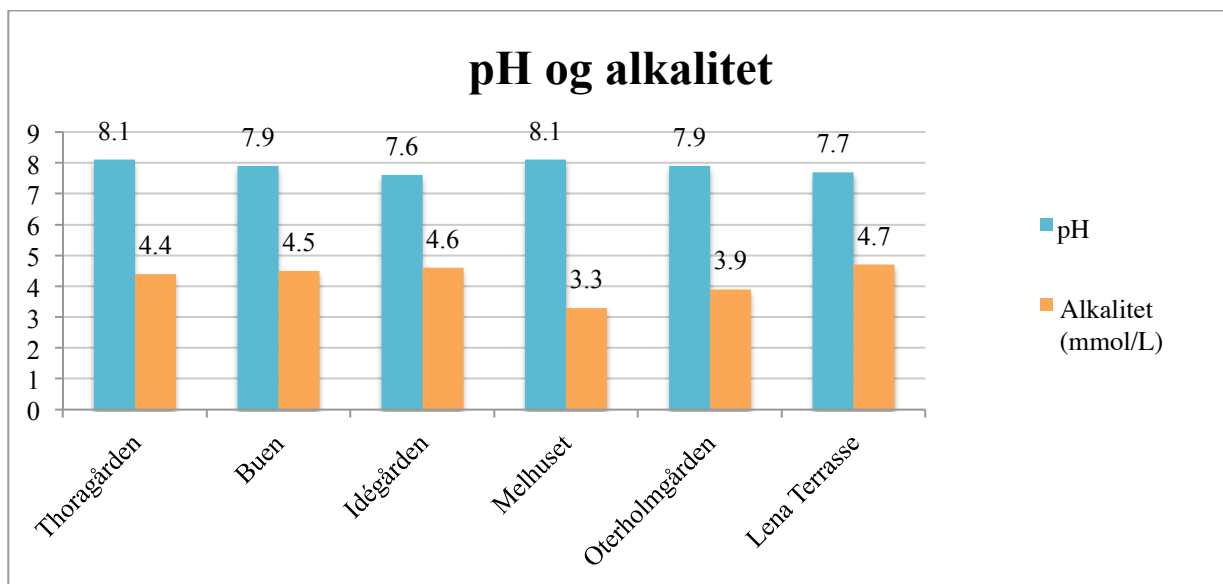
Figur 5.2: Innhold av typiske sjøvannsioner målt i fem av anleggene på logaritmisk akse. Rød strek indikerer grenseverdien for klorid i drikkevann.

Sum kationer 99,4 mg/L
Sum anioner 100,07 mg/L

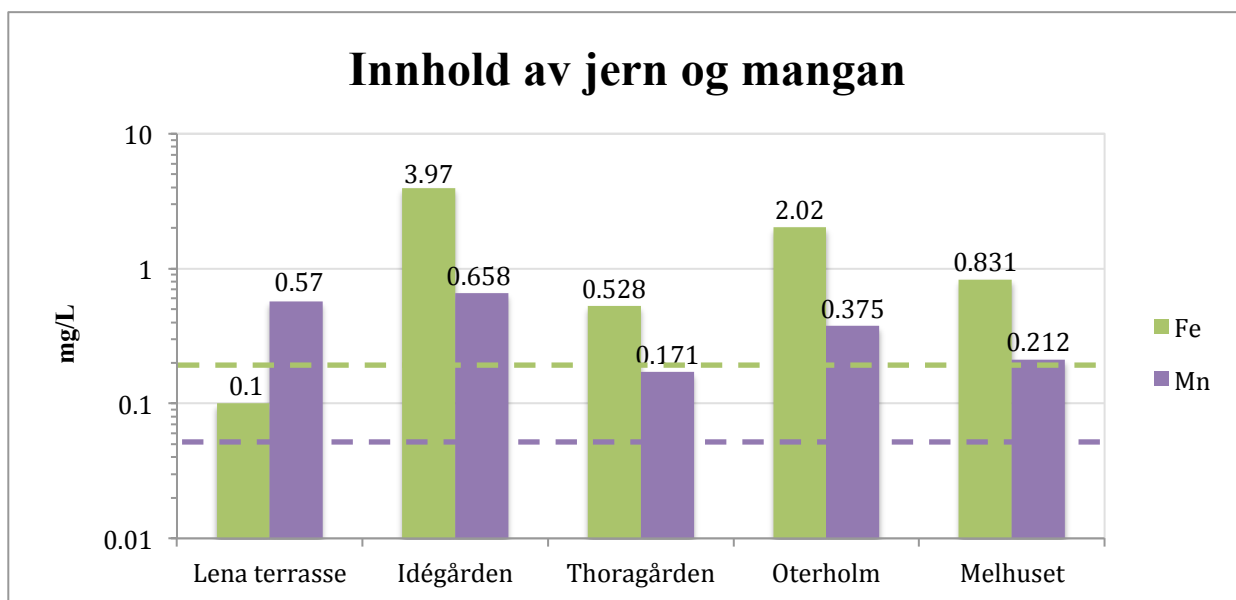
Figur 5.3, Figur 5.4 og Figur 5.5 viser resultatene for henholdsvis elektrisk ledningsevne, pH, alkalitet og innhold av jern og mangan i vannanalysen.



Figur 5.3: Elektriske ledningsevnen i grunnvannet fra de anlegg det ble samlet vannprøver. Rød strek indikerer grenseverdien for elektrisk ledningsevne i drikkevann.



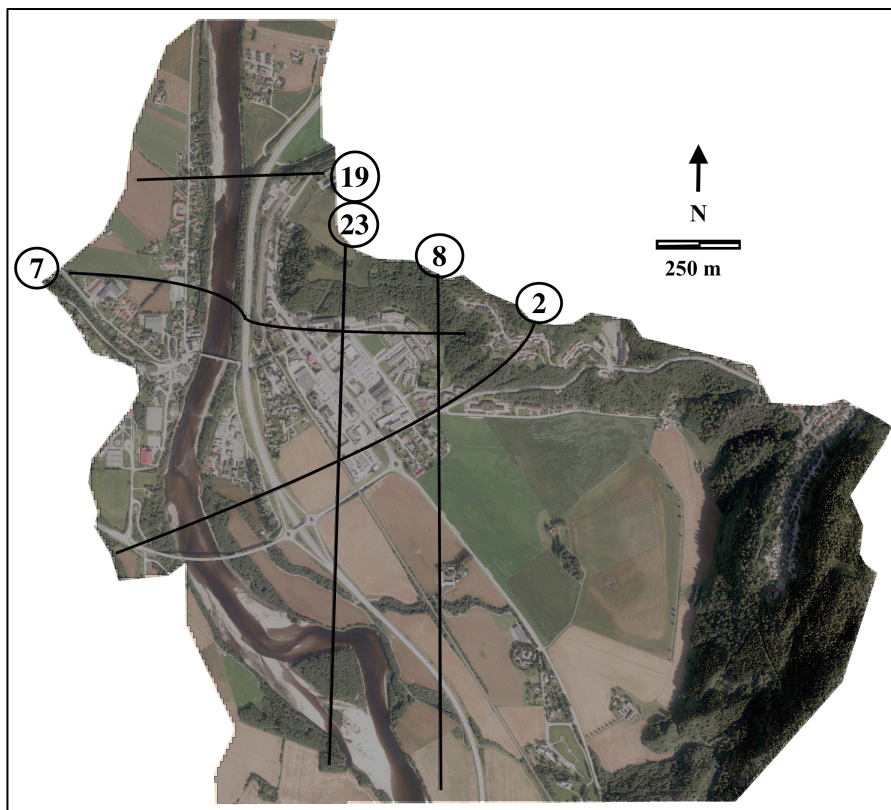
Figur 5.4: pH og alkalitet i grunnvannet fra de anlegg det ble samlet vannprøver.



Figur 5.5: Innhold av jern og mangan i grunnvannet fra de anlegg det ble samlet vannprøver fra på logaritmisk akse. Grønn og lilla linje viser grenseverdien for henholdsvis Fe og Mn i drikkevann.

5.3 Kvartærgeologisk 3D-modell

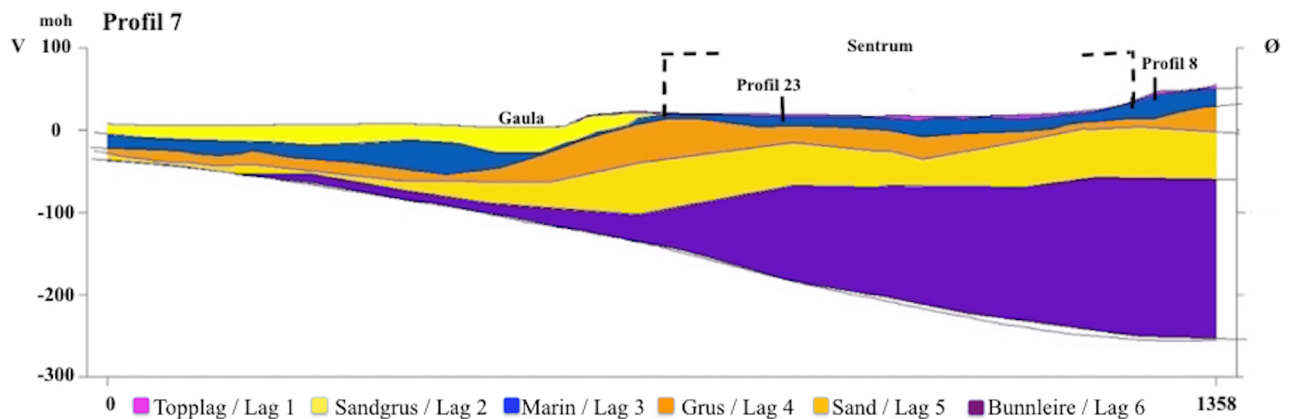
Figur 5.6 viser plasseringen av fem utvalgte profil. I Vedlegg B.c) er profilene i større format.



Figur 5.6: kart med plassering av de fem utvalgte profilene.

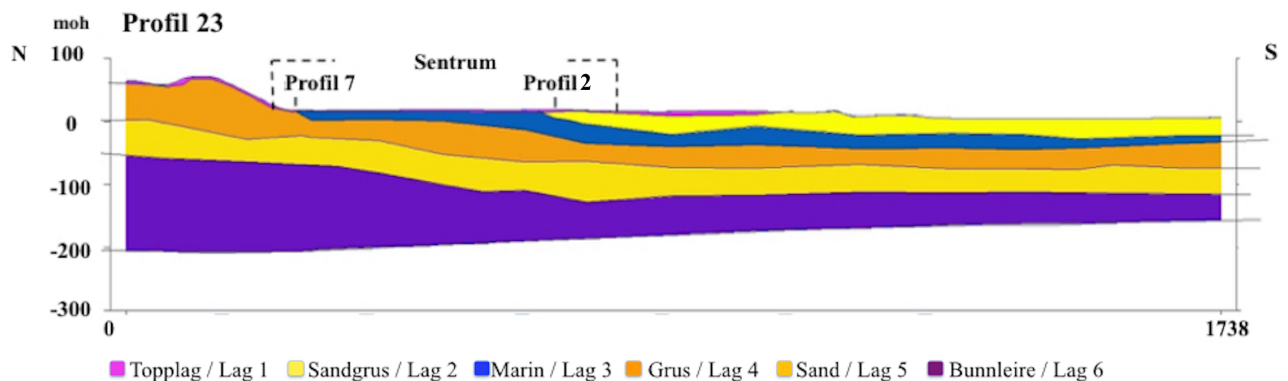
Profil 7 (se Figur 5.7) går fra vest, mellom Varmbu og Gimse. Herfra går profilet østover, krysser Gaula, og svinger for å få med sentrumsområdet foran Melhusryggen. Profilet går litt inn i Melhusryggen i øst. Profilet viser tydelig berggrunnens tverrsnitt gjennom dalen, med det største dypet i enden av profilet, ca midt i dalen. Lag 2 (Marin) tynnes ut på østsiden av Gaula, i skråningen opp fra elva. I sentrumsområdet er elvededimentene ikke tilstedeværende. Både massene i Melhusryggen og leira i Lag 6 (Bunnleire) er tegnet tykkere mot øst. Lag 1 (Topplaget) er gjennomgående fra toppen av skråningen på østsiden av Gaula til enden av profilet i øst.

RESULTAT



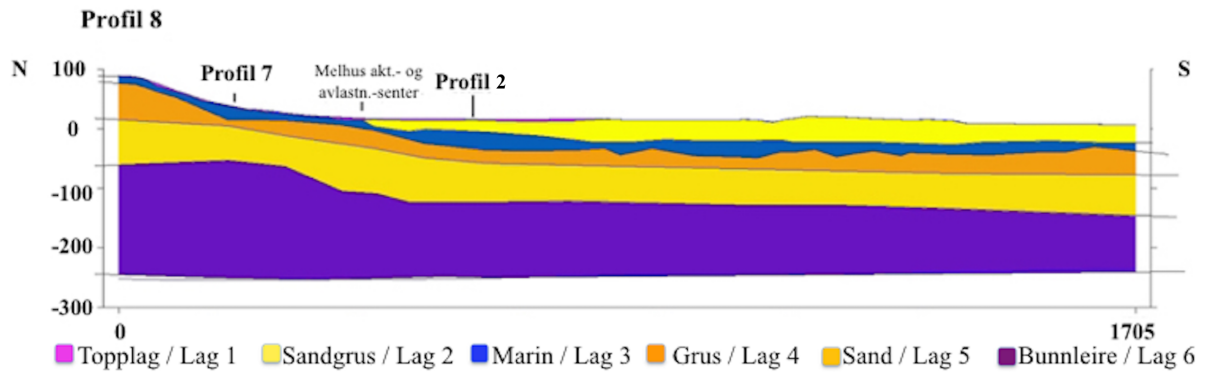
Figur 5.7: Profil 7 går fra Varmbu i vest til Melhusryggen i øst.

Profil 23 (se Figur 5.8) går fra vestenden av Melhusryggen, sørover gjennom sentrum og Høvdingen og ender rett sør for Gaula ved modellgrensen. Lag 1 (Topplag) er noe tykkere over Melhusryggen enn i profil 7. Lag 3 (Marin) er ikke tilstedeværende før på flata i sentrum. Lag 2 (Sandgrus) varierer noe i mektighet sørover, og Lag 3 (Marin) tynnes ut.



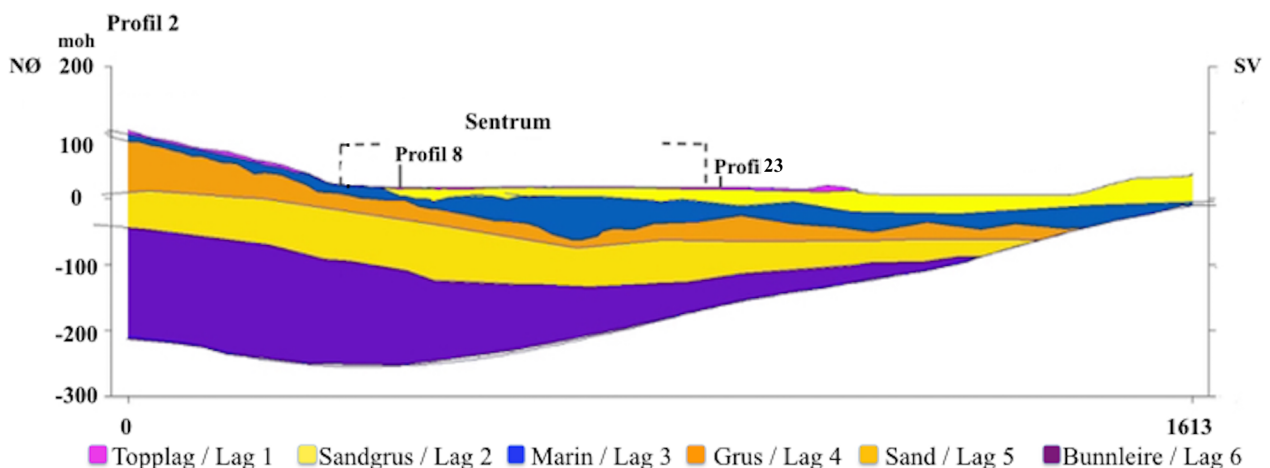
Figur 5.8: Profil 23 går fra Melhusryggen i nord til helt sør i modellområdet, utenfor Loddgard.

Profil 8 (se Figur 5.9) går fra Melhusryggen nord for Lena, sørover gjennom Melhus aktivitets- og avlastningscenter og ender ved modellgrensen i sør. Den marine leira i Lag 3 (Marin) er tilstedeværende i hele profilet. Ved Melhus aktivitets- og avlastningscenter viser profilet enden på elvesedimentene i Lag 2 (Sandgrus). Tykkelsen på den marine leira og underliggende gruslag er tolket til å være svært varierende, og forsøkt illustrert i profilene.



Figur 5.9: Profil 8 går fra Melhusryggen i nord, øst for profil 23, og helt sør i modellområdet til Loddgard.

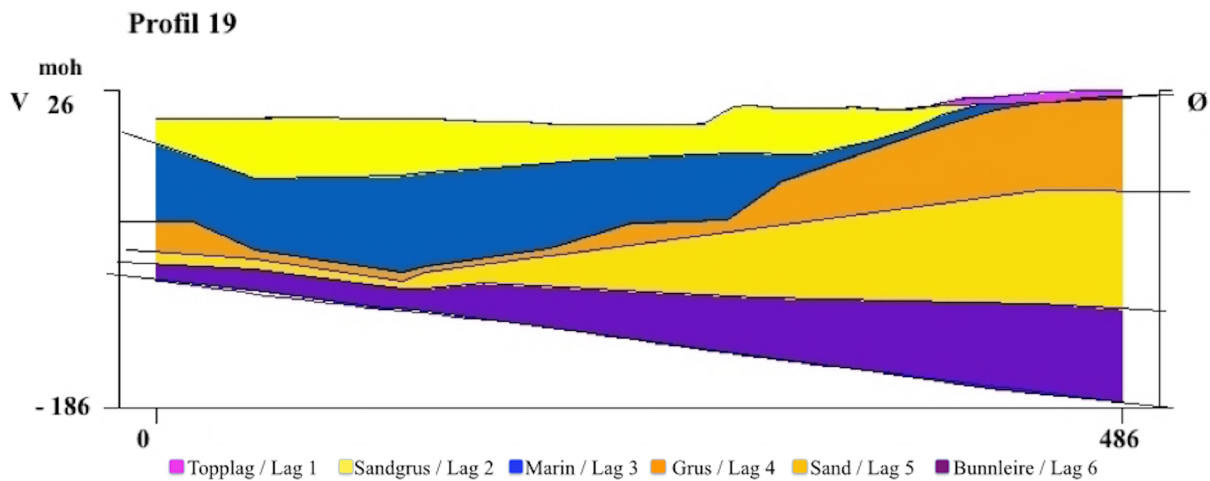
Profil 2 (se Figur 5.10) går fra nordøst mot sørvest. I nordvest starter profilet på Melhusryggen, og svinger gjennom sørenden av sentrum og Thoragården, krysser Gaula og ender på Gimse i vest. Melhusryggen er dekket av et tynt tørrskorpelag i Lag 1 (Topplag). Massene i Lag 3 (Marin), 4 (Grus) og 5 (Sand) fra Melhusryggen er gjennomgående i profilet. Ved profil 8 er elvesedimentene i Lag 2 (Sandgrus) tilstedeværende mellom Lag 1 (Topplag) og 3 (Marin) ut profilet mot sørvest, og øker mektighet. Fra elvebanken til Gaula i nordøst ligger Lag 2 (Sandgrus) i dagen. Lag 3 (Marin) og 4 (Grus) varierer i tykkelse gjennom profilet. Midt i sentrumsområdet av profilet er Lag 3 (Marin) svært tykt, i overenstemmelse med geotekniske undersøkelser.



Figur 5.10: Profil 2 svinger fra Melhusryggen i nordvest til Gimse i sørvest.

RESULTAT

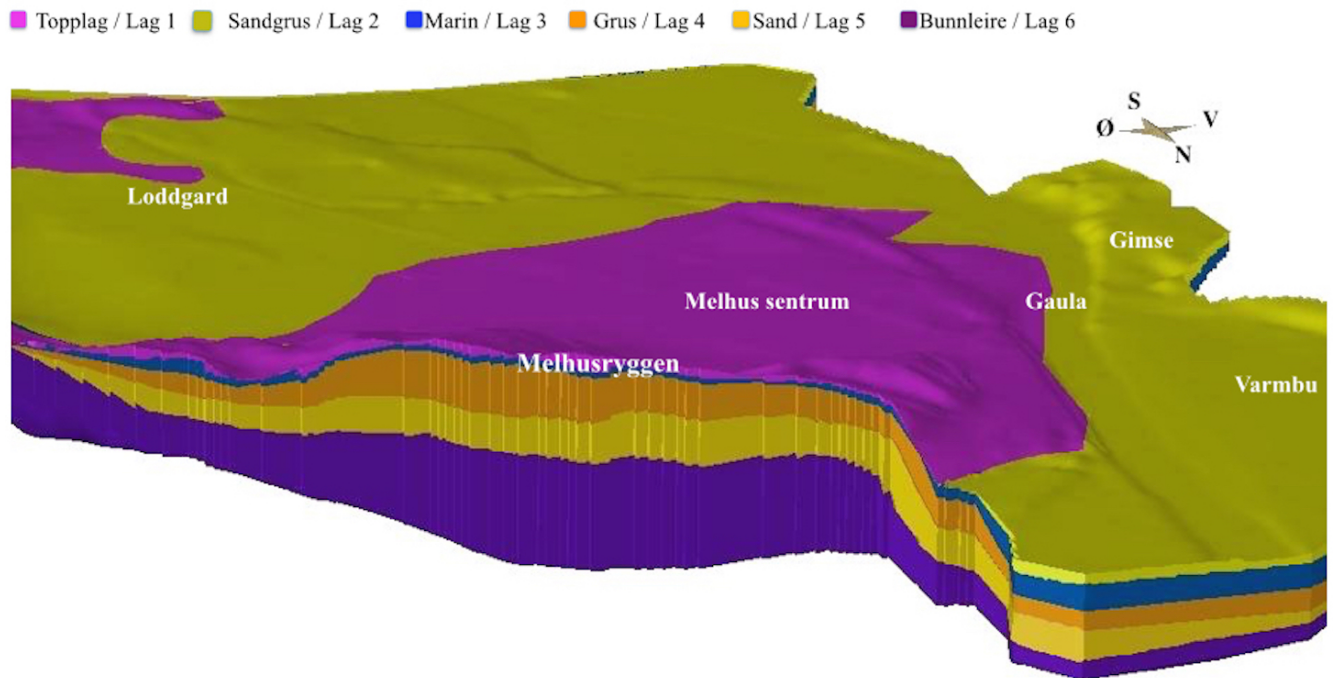
Profil 19 (se Figur 5.11) går fra nordvestenden av Melhusryggen, krysser Gaula og ender på Varmbu i vest. Lagene tilhørende Melhusryggen skrår ned vestover. Elvededimentene i Lag 2 (Sandgrus) blir tykkere mot vest. Grusmassene i Lag 4 (Grus) blir tynnere under den marine leira i Lag 3 (Marin) øst, som blir mektigere fra midten av profilet.



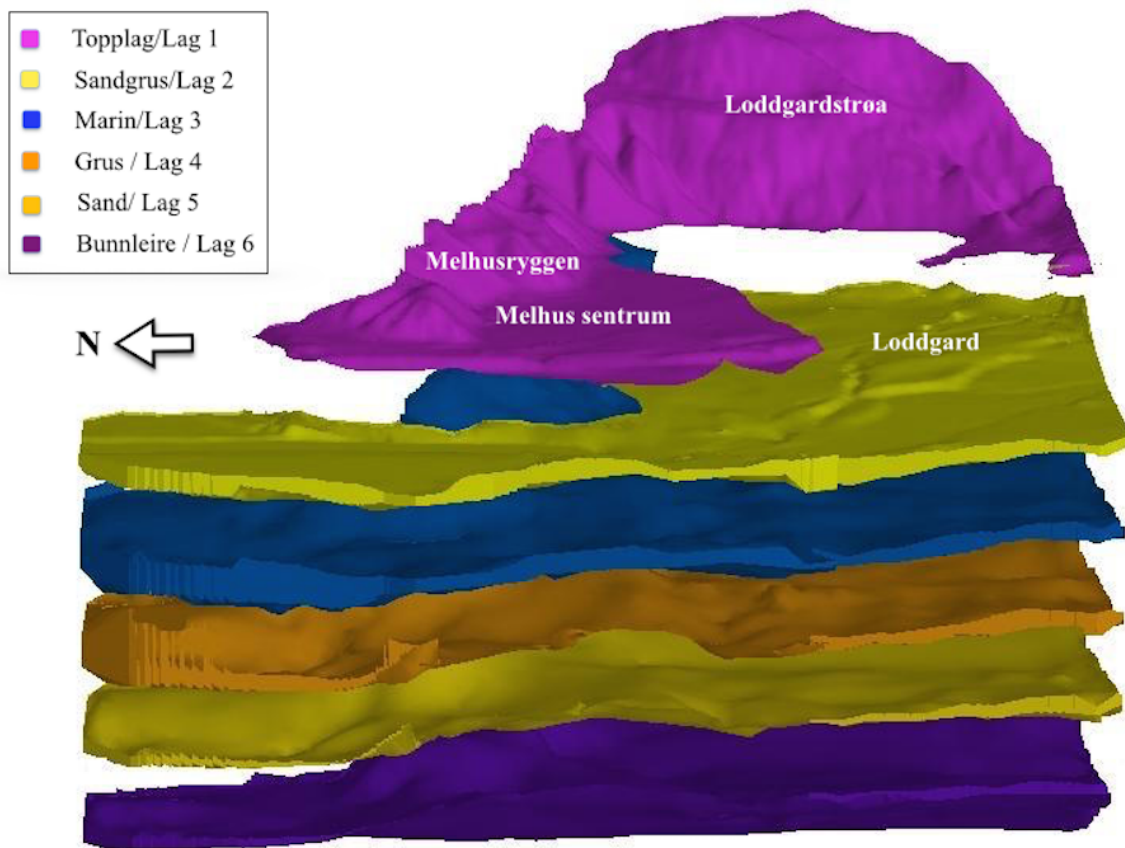
Figur 5.11: Profil 19 går fra Varmbu i vest til såvidt opp på Melhusryggen i øst.

Figur 5.12 viser den komplette 3D-modellen av området, sett mot sørvest. Lag 6 (Bunnleire) er mektig i midten av modellen, og fyller slik opp fordypningen i dalen. Lag 1 (Topplag) strekker seg ut fra Melhusryggen og ned til Gaula i sørvest. Laget er ikke tilstede i området Loddgarden, sørøst for sentrum.

I Figur 5.13 er modellen vist i østlig retning, mot Vassfjellet. Her er modellagene separert slik at det er synlig hvor langt inn Lag 2 (Sandgrus) går inn under Lag 1 (Topplaget) i sentrum. Lag 2 (Sandgrus) og de underliggende lagene ender i østenden og treffer på berggrunnen under Lag 1 (Topplag).



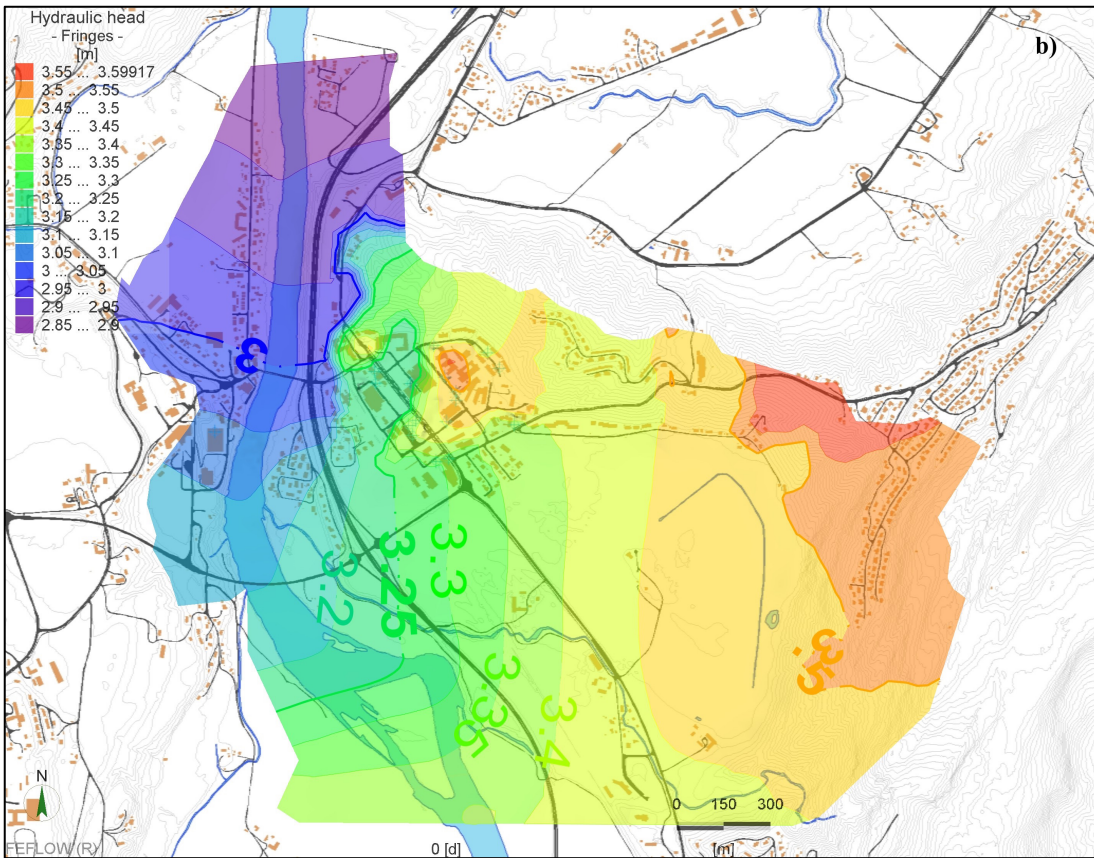
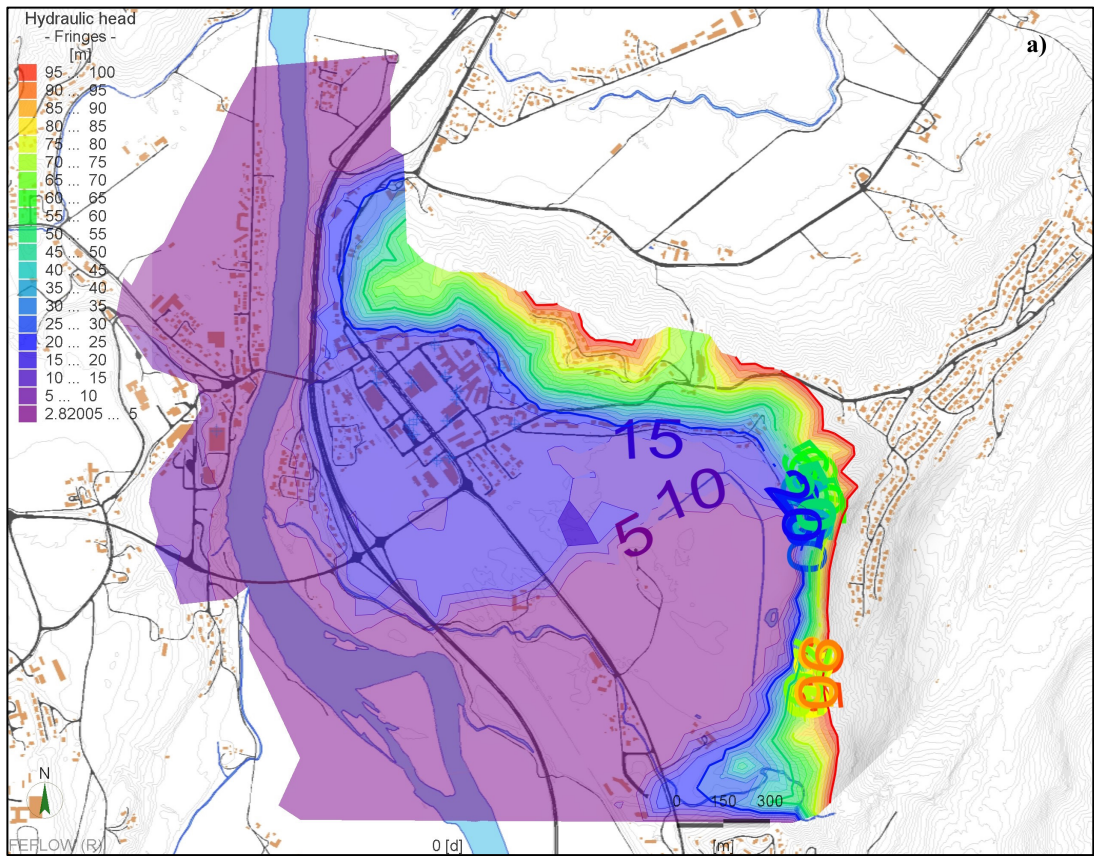
Figur 5.12: I SubSurface Viewer MX er det interpolert mellom alle profilene og dannet en komplett 3D-modell. Her sett på sørvest, med profil gjennom Melhusryggen. I bildets venstre ytterkant ses enden på Lag 2 til og med 5.

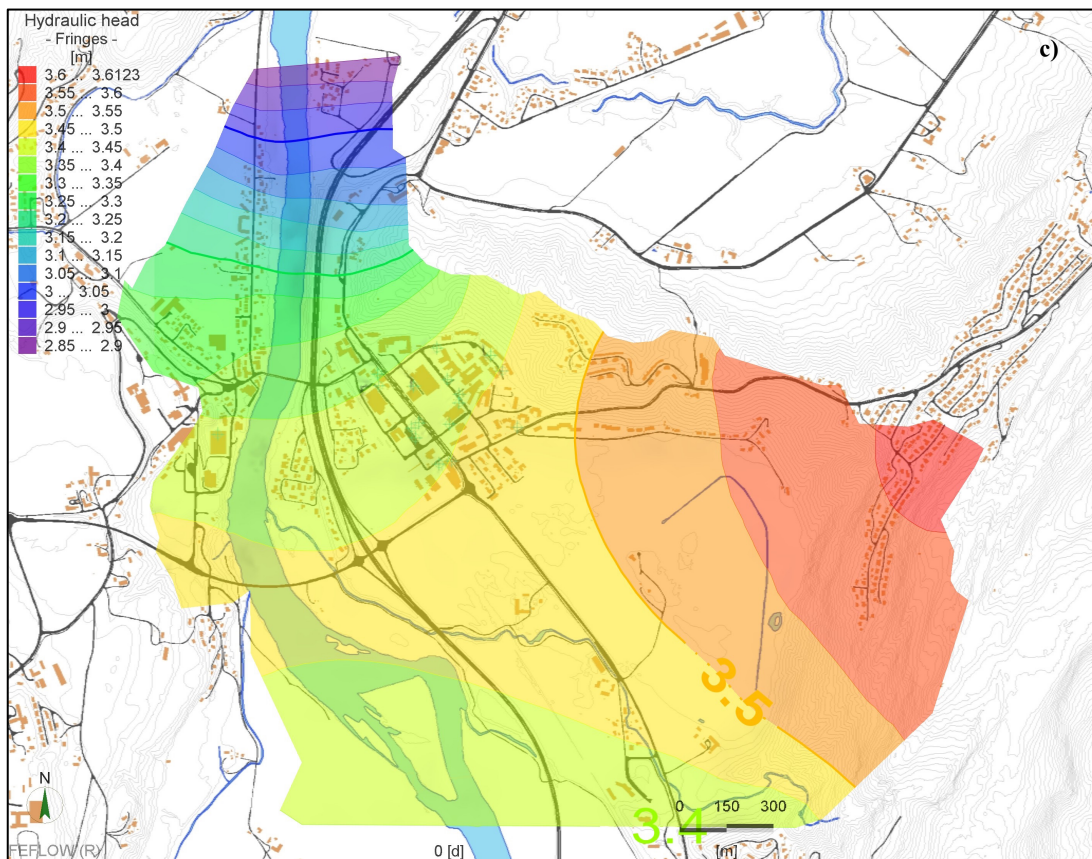


Figur 5.13: Modellen fra SubSurface Viewer med separerte lag. Fra modellens nordligste punkt til sørligste punkt er det 2500 meter. Skalaen i vertikalretningen er doblet.

5.4 Hydrogeologisk 3D-modell

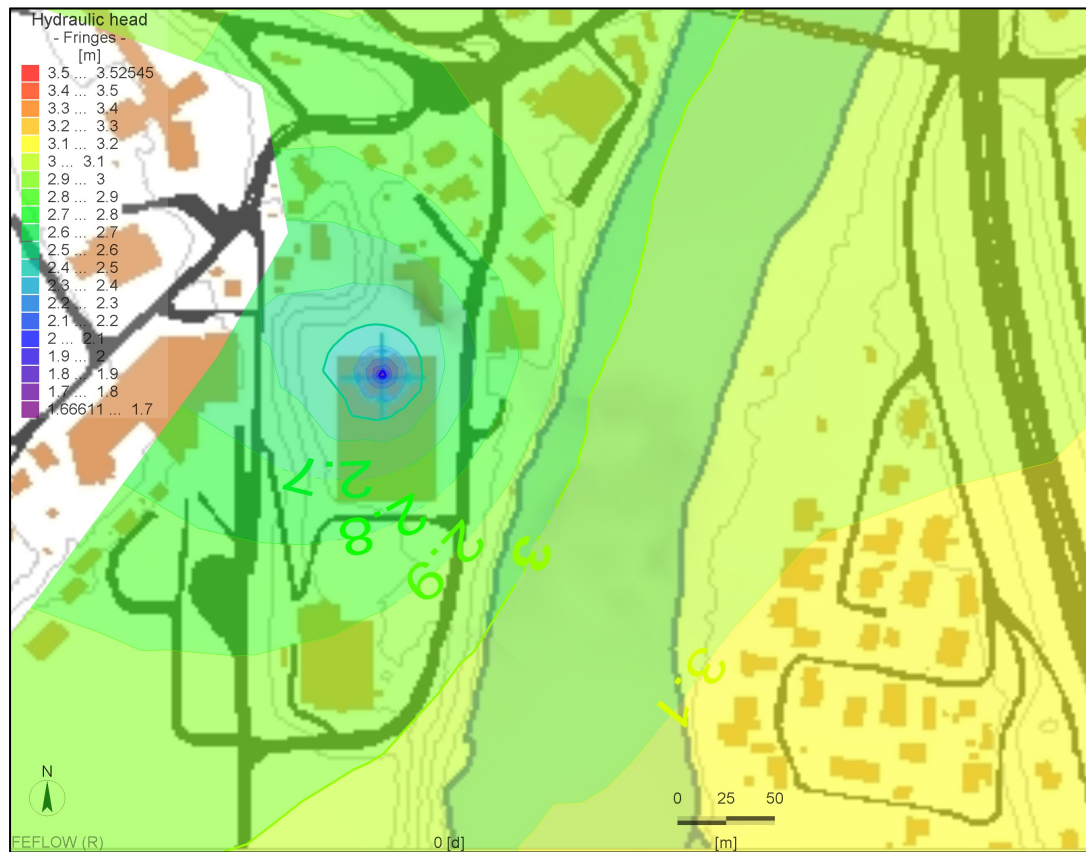
Det ble i første omgang kjørt en modell av de hydrogeologiske forholdene uten uttak eller infiltrasjon i brønner, altså en simulering i uforstyrret tilstand. Simuleringen i FEFLOW viser at grunnvannsnivået ligger på rundt 3,4 meter over havet i sentrumsområdet. Strømningen i de tre øverste lagene er preget av det lokale terrenget, med gradienter ned fra Melhusryggen og sørvestover mot elva og sørover i den østligste delen av ryggen. Grunnvannet fra Vassfjellet strømmer tilsynelatende mot elva. Figur 5.14 viser det hydrauliske potensialet som ekvipotensiallinjer i ulike lagflater (se kapittel 2.2.4 og 2.2.6). Figur 5.14 a) viser det hydrauliske potensialet i Lagflate 1 (Topplaget). Hydrauliske potensial over 100 meter over havet (oppe i fjellsiden) er sett bort fra for å få fram variasjonene på lavere terreng. Rødt viser de høyeste nivåene, og lilla viser de laveste. I modellens Lagflate 3 (Marin) ses det store variasjoner i det hydrauliske potensialet (se Figur 5.14b). I Lagflate 4 (Grus) er nivået jevnere (se Figur 5.14 c).





Figur 5.14: Ekvipotensiallinje som viser resultat av simulering av hydraulisk potensial i meter over havet i uforstyrret tilstand. a) Lagflate 1 (Topplag). b) Lagflate 3 (Marin). c) Lagflate 4 (Grus).

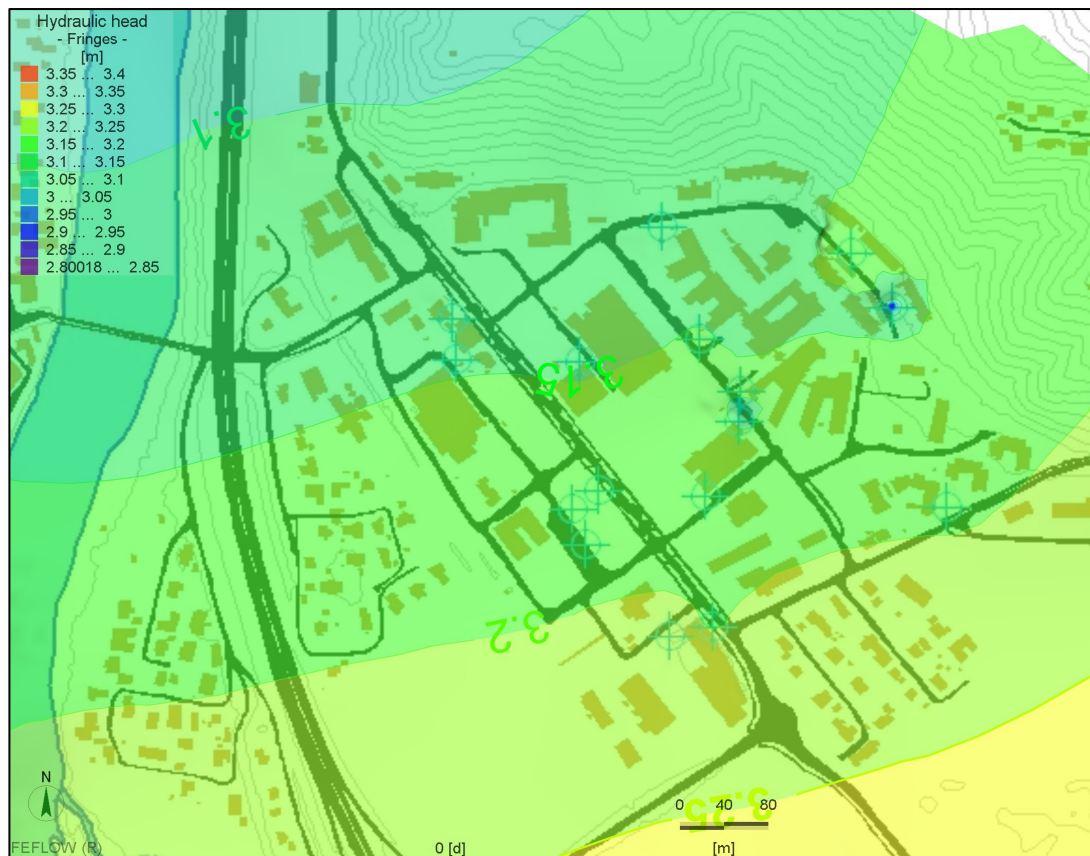
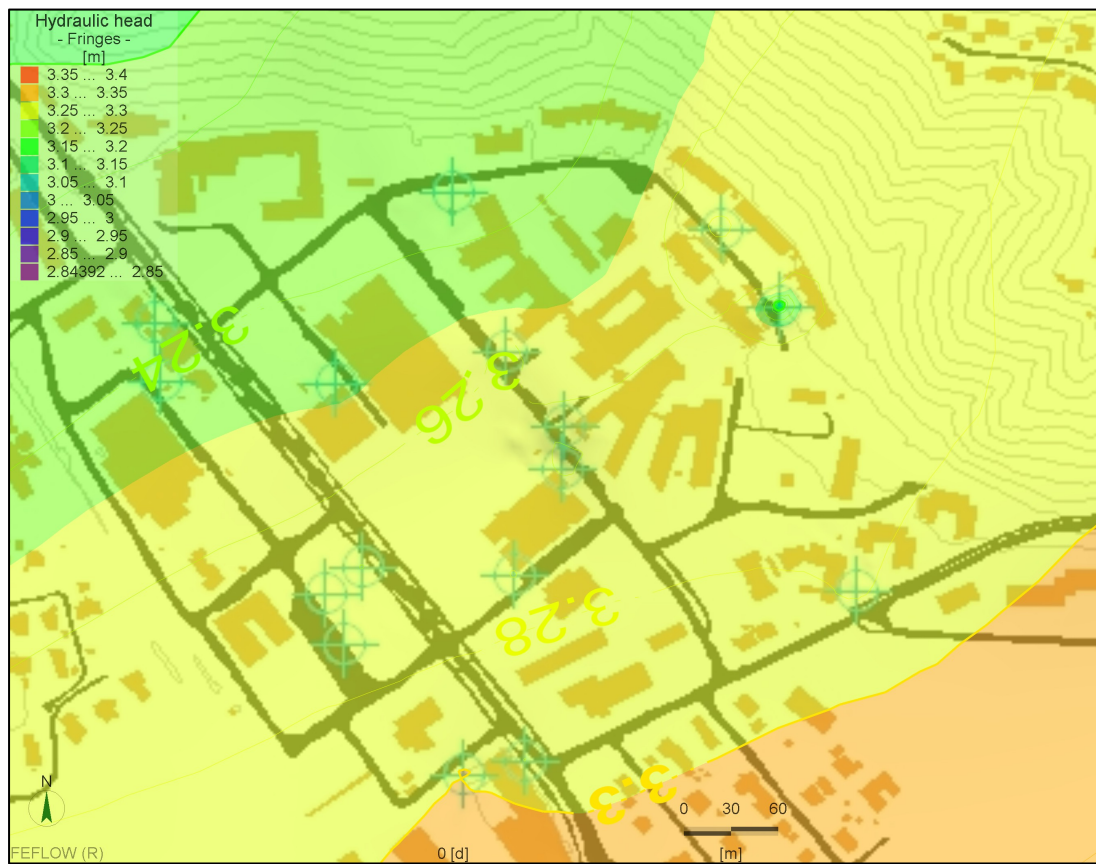
Med uttaks- og reinfiltrasjonsbrønnene satt inn i modellen viser beregningene gjort i FEFLOW liten påvirkning på grunnvannsressursen ved den pumpevirksomheten som er i dag. I Figur 5.15 kan de største forstyrrelsene observeres ved det frittstående anlegget på Gimse i Lagflate 2 (Sandgrus).



Figur 5.15: Lagflate 2 (Sandgrus). Senkningstrakt rundt produksjonsbrønnen på Gimse.

I den samme lagflaten er det liten påvirkning i sentrum. I sentrum ses senkningen i Lagflate 4 (Grus) og 5 (Sand). I Lagflate 5 (Sand) kan det observeres at det er Lena Terrasse som har størst senkning på 20 cm, og noe mindre ved Idégården. Alle anleggene utgjør en større samlet forstyrrelse på uforstyrret tilstand, med en senkning på gjennomsnittlig 10 cm i sentrum (se Figur 5.16). De lokale senkningstraktene ser ut til å være meget små.

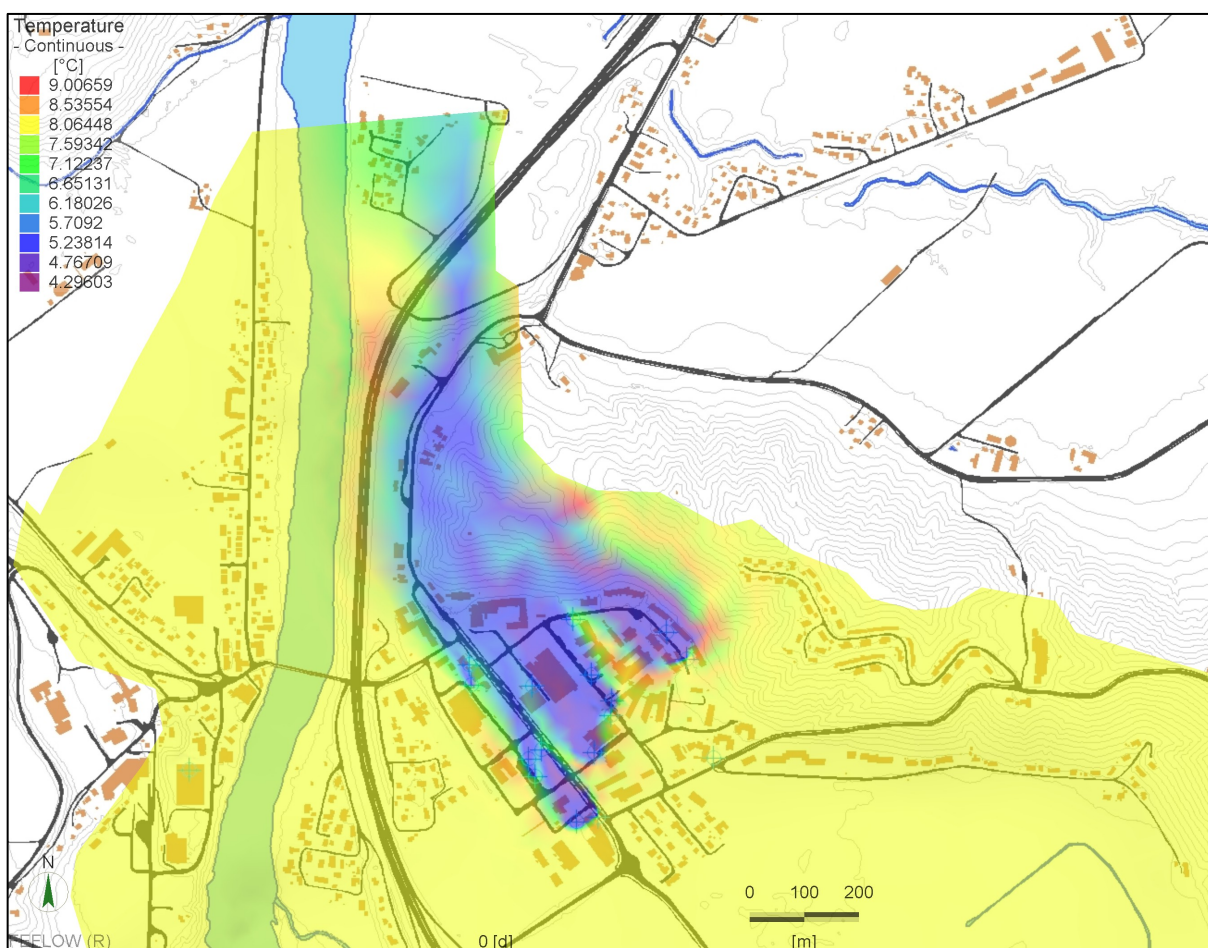
Ved større uttaksmengde hvor alt ikke returneres viser resultatene i FEFLOW større senkningstrakter rundt returbrønnene på Lena terrasse og Idégården, og et grunnvannsnivå i sentrum omtrent 10 cm lavere.



Figur 5.16: Lagflate 5 (Sand). Påvirkningen på grunnvannsnivået i sentrum. Øverst: Dagens uttak. Nederst: Dobbelt uttak. Det kan i begge situasjoner observeres størst senkningstrakt rundt produksjonsbrønnen på Lena terrasse.

5.4.1 Kuldeoverføring

Simuleringen med reinfiltrasjon på 5 °C fra alle reinfiltreringsbrønnene ved stabil tilstand viser et stort område på 5 °C i sentrum. Temperaturendringen spres med den regionale strømningsretningen mot nord, men ved Melhusryggen økes temperaturen til 8 °C igjen. Rundt reinfiltreringsbrønnene er temperaturen nesten en grad lavere enn 5 °C, vist som lilla farge på Figur 5.17.

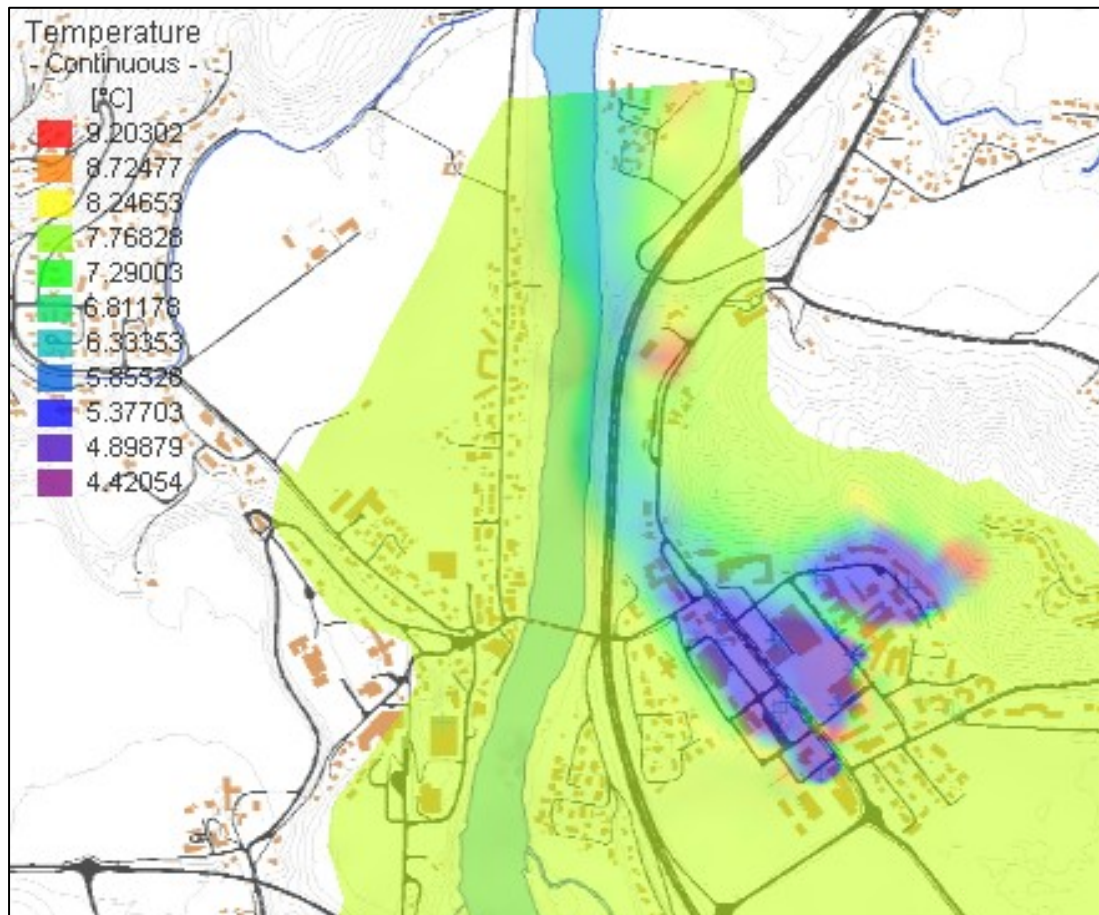


Figur 5.17: Kuldeoverføring fra returbrønnene i Lagflate 5 (Sand), under infiltrasjonsbrønnenes filter. Situasjonen er tilsvarende i overliggende lag og for transient modell i samme lagflate.

Ved lavere porøsitet og hydraulisk konduktivitet i Melhusryggenområdet i Lagflate 4 (Grus) (se Tabell 4.3) ses det en tydelig endring i strømningsretninger og temperaturspredning. Modellen viser at det kalde vannet fra reinfiltreringsbrønnene spres ved disse forholdene i hovedsak nordover og inn i Gaula (se Figur 5.18). Temperaturendringen observeres ikke i

Melhusryggen. Grunnvannsnivået i uforstyrret tilstand heller i østlig retning gjennom Melhusryggen og mot Gaula.

Ved lavere hydraulisk konduktivitet i området i Melhusryggen i Lag 2 (Sandgrus) (se Tabell 4.3) mislyktes simuleringen, og gav dermed et ugyldig svar.

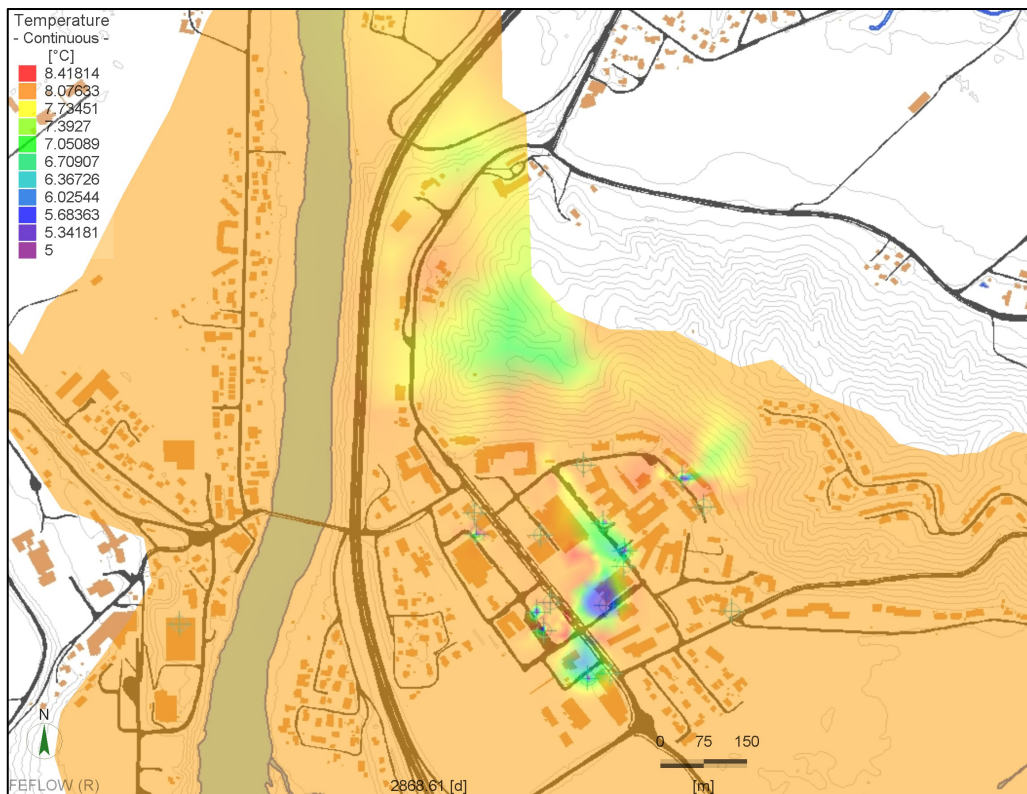


Figur 5.18: Lavere konduktivitet i Melhusryggen. Det kalde vannet fra returbrønnene strømmer rundt Melhusryggen og ut i Gaula.

5.4.2 Transient tilstand

Ved transient modell og varierende infiltrasjon, observeres det at det hydrauliske potensialet varierer med tiden. I dype lag, hvor det meste av uttaket foregår, er det en forsinkelse i reaksjonen fra den naturlige infiltrasjonen. I løpet av 2014, hvor infiltrasjonen ble funnet til å være bare rett over 100 mm, sank ikke vannstanden i dype lag. Dette var siste simuleringsår. I øvre lag er variasjonen mye større. I gjennomkjøringen av den transiente modellen kan det ses at kuldeoverføringen er mye lavere i øvre lag enn i dypere lag, hvor reinfiltreringen foregår

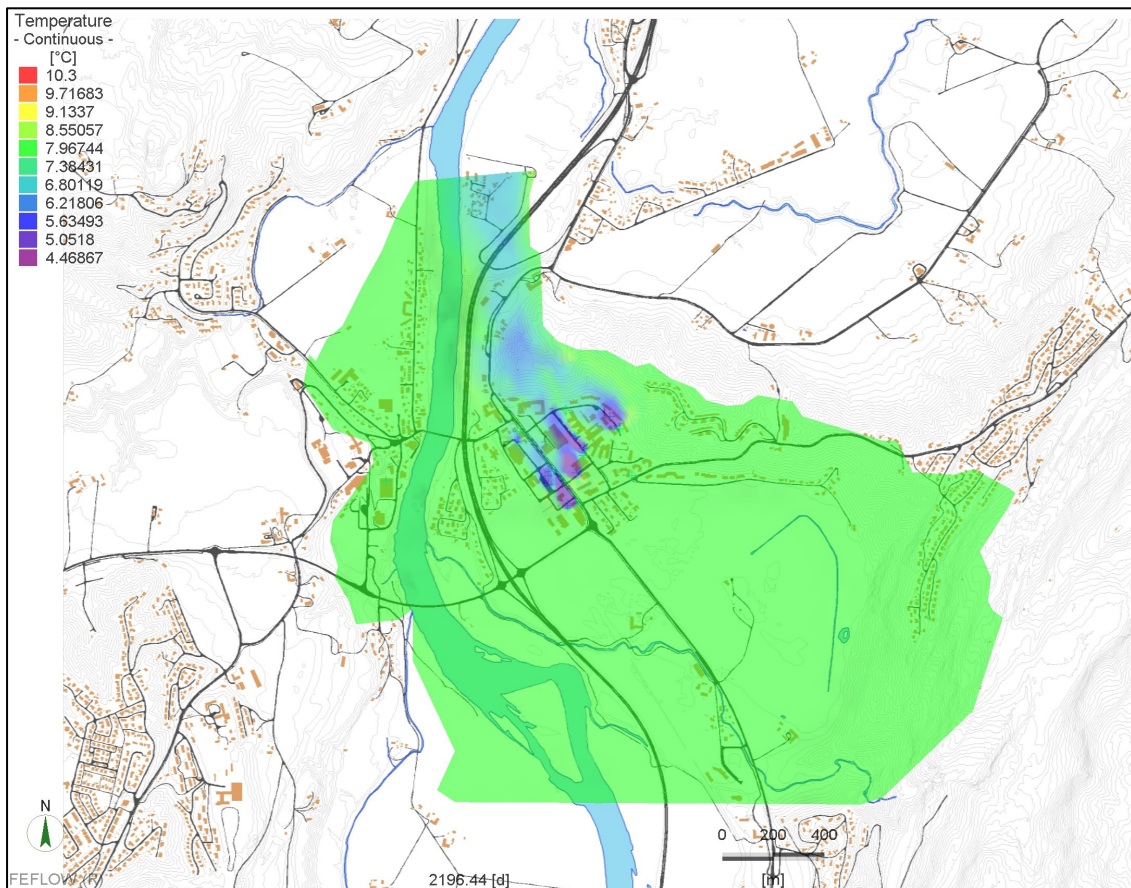
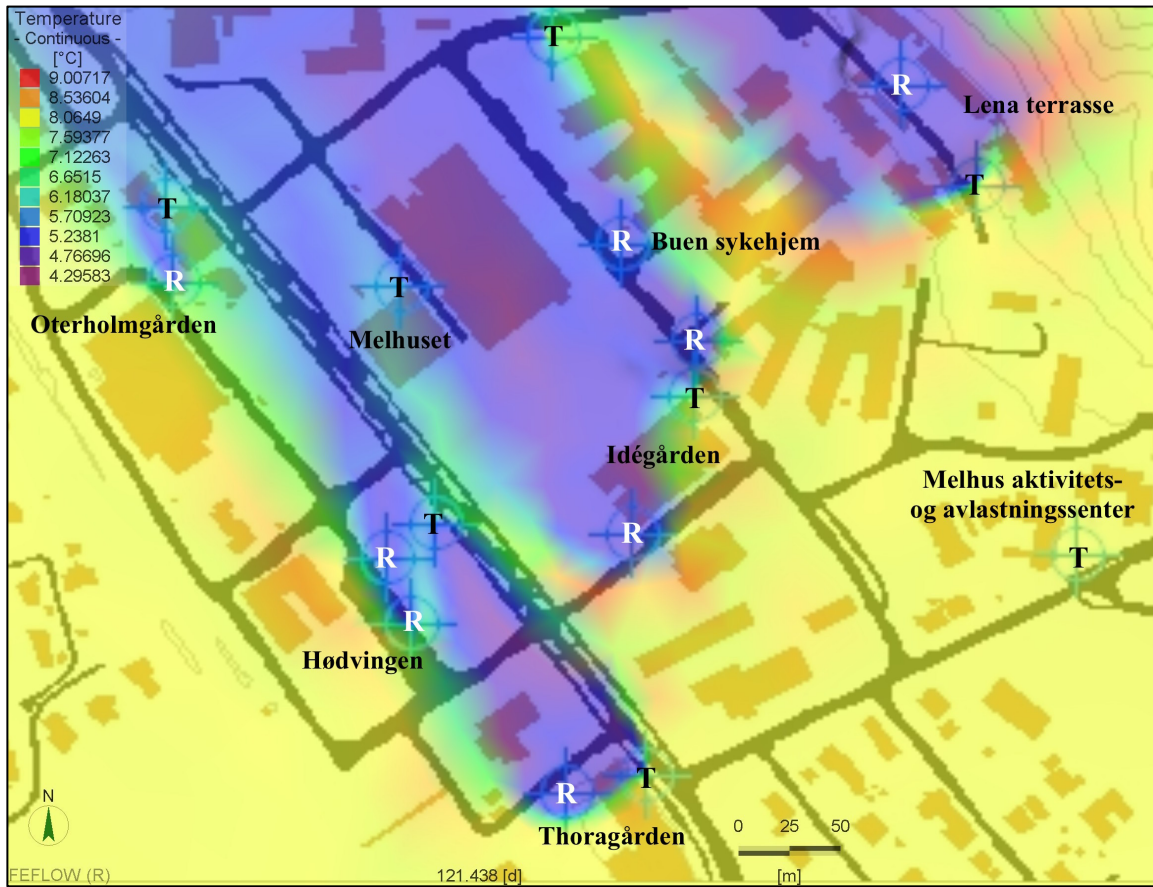
(se Figur 5.20 og Figur 5.19). Figur 5.20 viser i detalj kuldeoverføringen mellom de ulike anleggene i sentrum.



Figur 5.19: Kuldeoverføring i Lagflate 2 (Sandgrus) ved dag 2867 (omtrent 8 år etter oppstart).

Temperaturrendringen fra vannet fra infiltrasjonsbrønnenes filtre i Lag 4 (Grus) sprer seg vertikalt til alle lag. Lagflate 5 (Sand) viser høy horisontal spredning. I Lagflate 4 (Grus) er den horisontale spredningen mye mer varierende.

For flere resultatfigurer se Vedlegg C.



Figur 5.20: Øverst: Kuldeoverføring i Lagflate 5 (Sand) ved dag 121. Nederst: Kuldeoverføring i Lagflate 4 (Grus) ved dag 2196 (6 år etter oppstart).

6 DISKUSJON

6.1 Kvartærgeologi og modellering i SubSurface Viewer MX

De geotekniske målingene, brønn databasen og resistivitetsmålingene er brukt som grunnlag for den kvartærgeologiske sammenstillingen i denne oppgaven. Ved de geotekniske undersøkelsene er det i mange tilfeller analysert prøver i laboratorium for å finne hva slags løsmasse det er snakk om. En slik analyse gjør rapporten presis og verdifull. De geotekniske rapportene fått fra Melhus kommune er i tillegg georeferert i ArcMap-format, noe som forenklet arbeidet betraktelig. Mot dypet er det nødvendig med tolkning, da målingene fra de geotekniske undersøkelsene bare viser dreietrykksmotstanden.

I GRANADA er de aktuelle registrerte brønnene brukt som grunnlag. Brønnskjemaene viser løsmassefordelingen på større dyp enn de geotekniske. Boringene er utført av borefirma, men det har ikke vært geologer tilstede ved boringene. Brønnskjemaene er derfor ikke av god nok kvalitet til å brukes uten en viss skepsis. I tillegg kan koordinatene være noe feil. Løsmassebrønnen lengst sør i modellområdet i Figur 4.1 har en ulogisk inndeling av løsmasselag sammenliknet med resultatene i resistivitetsmålingene. I tillegg er brønnen registrert som en energibrønn, men plassert i et jordbruksområde. Brønnen er dermed sett bort fra. Bruk av ulike georeferansesystem, og usikre GPS-målere er ofte årsaken til feilplassering.

Den utførte resistivitetsmålingen gikk ned til 160 meter på det dypeste. Ved utførelsen ble det benyttet en elektrodeavstand på 10 meter. Dette betyr at løsmasselag- og lommer som er under 10 meter tykke ikke vil gi utslag på målingene (Solberg et al., 2014). Dette var muligens tilfelle langsmed Gaula vest for Melhus sentrum, hvor det ut fra resistivitetsmålingene ser ut til at det bare er grovere masser. Eksisterende data viser leire både i sentrum, sør for sentrum, under Melhusryggen og på Gimse og Varmbu. Derfor ble det antatt at det er leire også i området mellom Gaula og Melhus sentrum, men at den er under 10 meter tykk.

Leirlaget mellom Gaula og grunnvannsforekomsten under Melhus sentrum utgjør en mulig feilkilde, da dette kan hindre tilstrømming av vann fra Gaula til grunnvannsforekomsten i senere simuleringer.

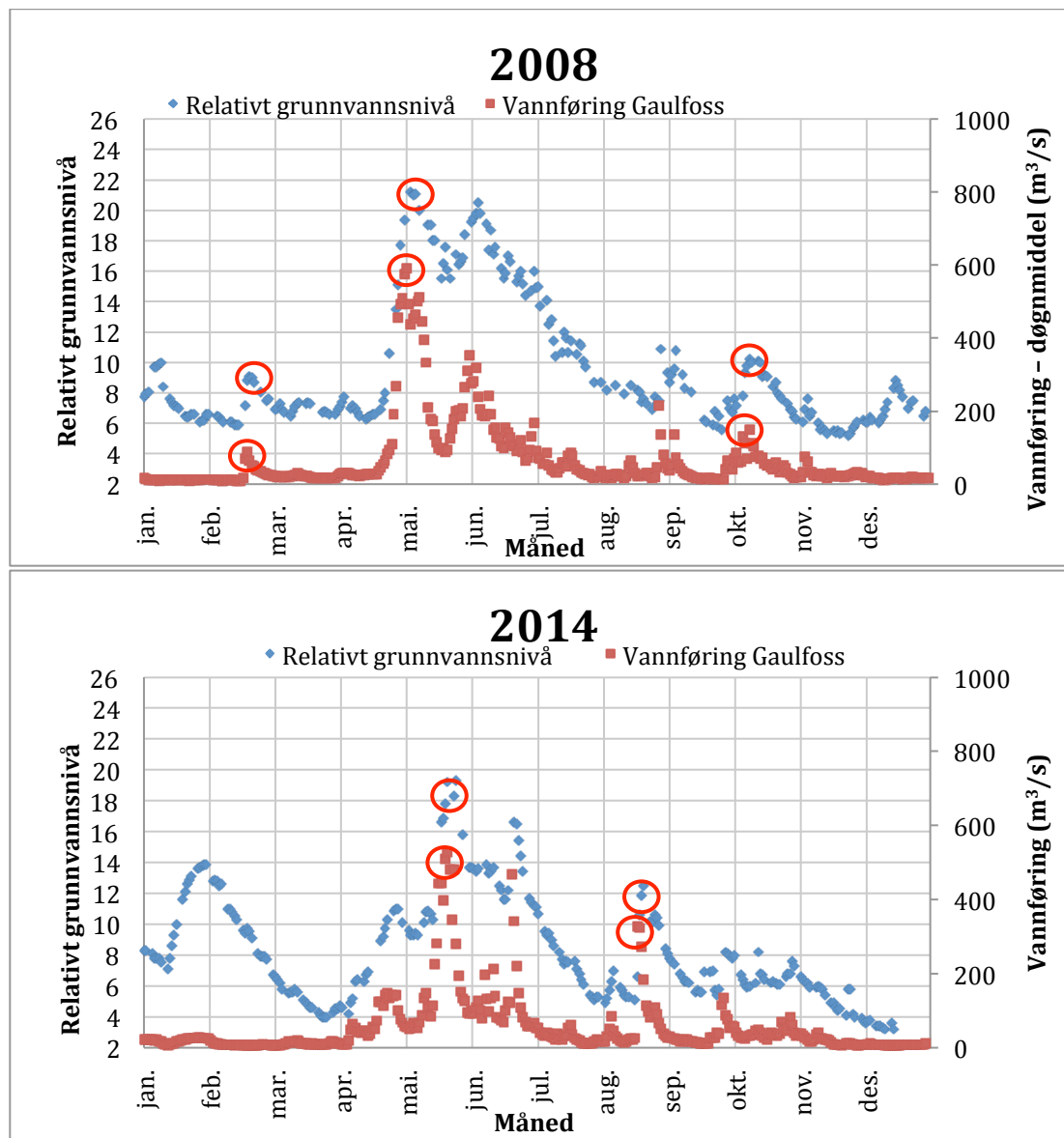
I tillegg er leirefordelingen i sentrum varierende i de eksisterende dataene. Her er det derfor antatt at leira er stort sett under 10 meter tykk, og noen steder meget tykk. Dette stemmer overens med de geotekniske målingene som viser stor tykkelse ved Thoragården. I vestre flanke av Melhusryggen viser geotekniske undersøkelser bare et tørrskorpelag rett over grusmasser. Dette vises også i resistivitetsmålingene. Dette tørrskorpelaget er tolket til å være rester av skred som er blitt omdannet til tørrskorpeleire gjennom nedbør. I de områdene hvor leira er omdannet til tørrskorpeleire er Lag 3 (Marin) modellert som et tykkere Lag 1 (Toppleire).

Løsmassefordelingen i dypet er basert på resultatene fra resistivitetsmålingene. Bunnleira fremstår som meget tykk i modellene. Dette stemmer ikke overens med teorien om randåsens oppbygging i Figur 2.5. Bunnleira ble tegnet tykkere for å få fram en konservativ tykkelse av grunnvannsmagasinet, og går derfor litt opp i Melhusryggen. Det er ikke nødvendigvis leire som ligger i hele dette området, men muligens en avsetning med tilsvarende vanngiverevne. Grunnvannsmagasinet kan være mye tykkere enn det som er modellert, og kan dermed utgjøre en større ressurs enn det som fremgår av resultatene.

I Solberg et al. (2014) er det konkludert med at det permeable gruslaget som grunnvannet pumpes opp fra, skråner i sørlig retning fra Melhusryggen. Dette kommer ikke tydelig fram i den kvartærgeologiske modellen i denne oppgaven. Ut fra resistivitetsmålingene ser det ut til at det er grove masser i en relativt jevn høyde. Samtidig blir leirlaget over tynnere sørover, og erstattet av grovere masser både over og under. Det logiske er at Melhusryggen er blitt delvis erodert bort av elva i tiden etter siste istid. Restene av dens kjerne ligger i Melhus sentrum, det som i dag er foran Melhusryggen. Nedover i dypet vil Melhusryggen fortsette i sørlig/sørvestlig retning. Trolig er det grove masser fra andre avsetningsepisoder både før og etter siste isfremrykk sør for Melhusryggen. De kan være avsatt av isfjell, av slamstrømmer fra isbreen eller av is som dannes i vinterhalvåret i elver og fjordarmer. Det kan derfor være vanskelig å skille det som er moreneryggen fra det som er droppmateriale. Leira som ligger over kan uansett være avsatt på samme tid, da leira vil bruke mye lengre tid på å avsette enn større materiale. En annen forklaring er at moreneryggen har hatt en stor utbredelse, og opprinnelig dekket store deler av modellområdet.

6.2 Hydrogeologi og simulering i FEFLOW

En stor utfordring har vært å finne ut om akviferen under Melhus sentrum er åpen, lukket eller delvis åpen. Testpumpingen viste liten senkning. Riise (in prep. 2015) har gjort en sammenstilling av vannføringstall fra en målestasjon i Gaula og relativt grunnvannsnivåmåling i brønnen i Melhuset. Korrelasjonen mellom vannføringsdata i Gaula og grunnvannsstandsmålinger i produksjonsbrønnen i Melhuset tyder på kommunikasjon og dermed en åpen akvifer (se Figur 6.1). Den økte vannstanden i brønnen i Melhuset kan også forklares med en lukket akvifer. Med økt vannføring i elva, vil vannet gå ut i eventuelle åpne gruslag som ligger over det tette leirlaget. Lasten fra dette vannet fører til et økt trykk på akviferen, som får grunnvannssøylen til å stige. Dette registreres som høyere grunnvannsstand i brønnen i Melhuset. Når vannføringen i elva er lav vil mengden vann i åpne lag over det tette laget være mindre, og vannsøylen i brønnen synker. I tillegg tyder grunnvannskjemien på et svært stillestående grunnvann, altså liten blanding med ferskvann.



Figur 6.1: Relativt grunnvannsnivåmålinger fra produksjonsbrønnen i Melhuset, og vannføringstall fra Gaulfossen målestasjon fra 2008 og 2014 (modifisert etter Riise, in prep., 2015)

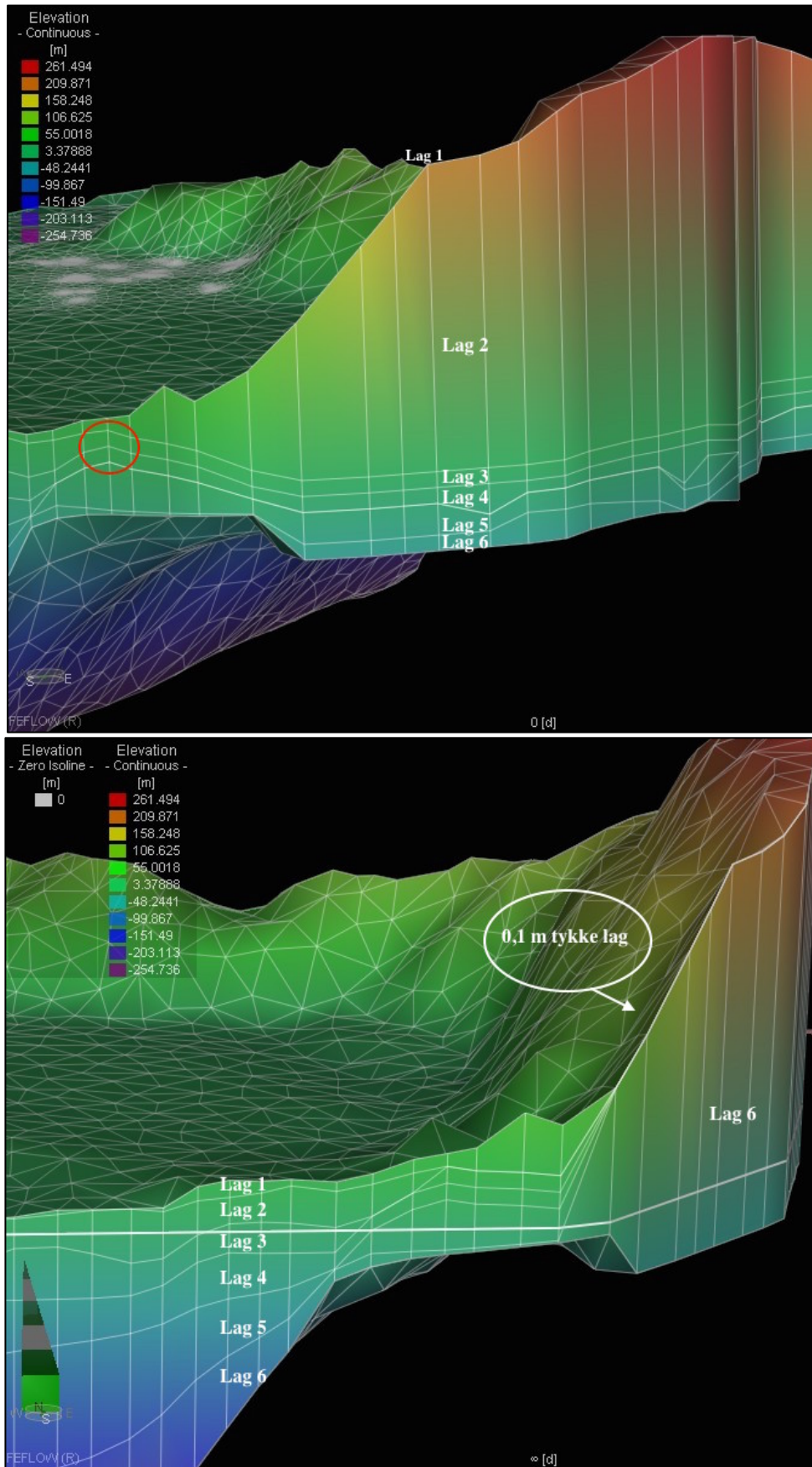
Geotekniske undersøkelser viser en svært varierende lagdeling under Melhus sentrum. Det ble forsøkt å få jevne lagflater i SubSurface Viewer MX, og samtidig få fram de tilgjengelige dataene av løsmassefordelingen i sentrum. Dette ble gjort for at brønnenes filterplassering skulle stemme overens med stratigrafien. I simuleringen i FEFLOW gav dette soner hvor det hydrauliske potensialet ligger noe høyere enn ellers i Lagflate 2 (Grus) og 3 (Marin). Simuleringen viser dermed flere grunnvannsnivå, som følge av tette eller semipermeable lag. Fra grensen hvor elvesedimentene i Lag 2 (Sandgrus) ender under sentrum ser det ut til å være

ett grunnvannsnivå. Dette tyder på at det kan være snakk om svært lokale åpne, lukkede og delvis lukkede soner.

Målingene av grunnvannsnivå utført av Statens Vegvesen i 2011 viser også veldig høye nivå sammenliknet med grunnvannsnivået i sentrum (se kapittel 5.1). Også her kan det være snakk om en mettete sone over grunnvannsnivået.

Overgangen fra lokal til regional strømningsretning skjer ved Lagflate 4, under leira. Bildene i Vedlegg C.d) viser Darcy fluksen i Lagflate 3 og Lagflate 4. Her kan det ses at grunnvannet i Lagflate 3 sør for Melhusryggen går i retning Gaula, mens vest for Melhusryggen følger grunnvannet elvas strømming nordover. I Lagflate 4 strømmer grunnvannet nordover uavhengig av elva. Dette stemmer overens med teorien om lokal og regional grunnvannsstrømming.

Som beskrevet i kapittel 5.4 trekker FEFLOW lag som ender midt i modellen ut til modellgrensen, med en tykkelse på 0,1 meter. Resultatet av dette kan ses i modellen under Loddgardstrøa og under Melhusryggen (se Figur 6.2 a) og Figur 6.3 a). Alle resultater er simulert med lagdelingsgeometrien som i Figur 6.2 a) og Figur 6.3 a).

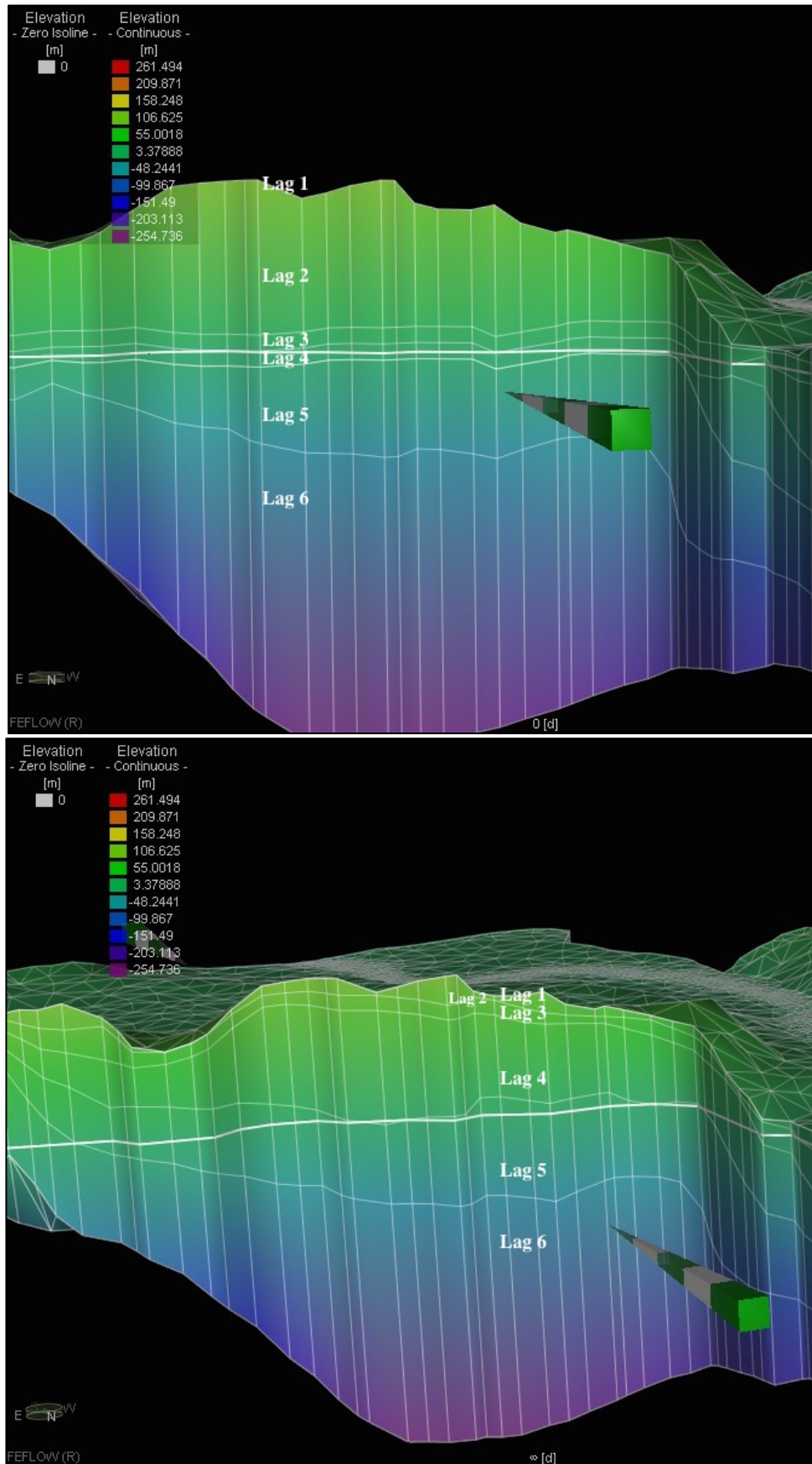


Figur 6.2: Øverst: Lagdelingen under Vassfjellet slik det meste av simuleringen ble gjennomført. Lag 2 (Sandgrus) ftare ut ved den røde sirkelen. Nederst: Endret tykkelse på lagene.

Som følge av de automatiske endringene som skjer i FEFLOW utgjør lagtykkelsene en mulig feilkilde. Vannmengdene kan bli større enn de er i virkeligheten, og strømningsretningene kan bli feil. Lag 2 (Sandgrus) slutter egentlig midt under sentrum. I FEFLOW har den automatiske tilpasningen ført til at Lag 2 (Sandgrus) har erstattet det området i Melhusryggen hvor Lag 4 (Grus) og Lag 5 (Sand) skulle ha dominert. Målt senkning ved prøvepumpingen på Lena og resultatene fra simuleringen stemmer likevel godt overens. Mens målt grunnvannsnivå i Thoragårdens returbrønn og resultatet i modellen stemmer ikke overens. Dette kan skrives seg fra de nevnte svakhetene i modellen, eller fra naturlige sesongvariasjoner i grunnvannsnivået. Målinger av grunnvannsnivå ved geotekniske undersøkelser gjort ved to ulike sesonger viser variasjoner i grunnvannsstanden (Pedersen, 2011). Sen vinter og tidlig vår har de laveste grunnvannsnivåene på grunn av frost, nedbør som snø og lite infiltrasjon. Dette gir et avvik fra resultatet i FEFLOW, da avviket er observert ved modellen med stabil tilstand. Korrelasjonen mellom modellen og målte feltverdier kan forklares med at de modellerte hydrogeologiske egenskapene i Lag 2 (Sandgrus), Lag 4 (Grus) og 5 (Sand) i Melhusryggen er relativt like. Det kan derfor antas at resultatene er av en slik verdi slik at de kan brukes i en videre vurdering av grunnvannsmagasinet.

Etter å ha oppdaget denne problemstillingen ble terrenget mellom lagflatene forsøkt rettet opp som vist i Figur 6.2 b) og Figur 6.3 b). Denne endringen førte til at beregningene mislyktes. De resultatene som ble vist viste at vannet i alle lag strømmer fra Loddgardstrøa, og forbi Gaula til Gimse. Georadarmålingene på Gimse viser at grunnvannet her strømmer mot Gaula. Det blir derfor for stor gradient å ha alle lagene som tynne lag over fjellsiden. Ved store høydeforskjeller i geometrien i lagdelingen ser det ut til at løseren i FEFLOW blir numerisk ustabil med de gitte grensebetingelsene eller initialbetingelsene. Det trengs gode inputdata for grensebetingelser og materialegenskaper og modeller tilpasset FEFLOW.

Varmestrømningssimuleringene viser stor spredning, særlig i horisontal retning. Ved andre verdier for varmekapasitet kan det godt hende at situasjonen blir ganske annerledes. Det ble ikke sett på andre verdier for varmekapasitet.



Figur 6.3: a) Tykkelse på lagene i Melhusryggen før endring, slik det meste av simuleringen ble gjennomført. b) Endring av lagtykkelsen, med Lag 2 som et tynt lag mellom Lag 1 og 3.

Det kan være interessant å vurdere FEFLOW opp mot det, i Norge, mer brukte modelleringsprogrammet MODFLOW. MODFLOW er en gratis, open source-programvare mens FEFLOW er kommersielt. I følge brukere på researchgate.com (2015) kan det se ut til at en generell oppfatning er at begge får like gode resultater. MODFLOW tar kortere tid å lære seg, men har begrensede muligheter når det kommer til kompleks geometri. I tillegg kan ikke MODFLOW simulere varmetransport, som har vært et viktig ledd i denne oppgaven.

6.3 Kjemiske forhold

Berggrunnen i området består av jernrike bergarter. Masseprøveanalys fra Riise (in prep., 2015) viser et innhold av Fe₂O₃ på 4 % i masser tatt fra returbrønnen på Thoragården (se Tabell 6.1). Analyseresultatet på 4 % ble forsøkt sammenliknet med målinger av jern i flomsedimenter fra geokjemisk atlas (Ottesen et al., 2000), men her er det usikkert om målemetodene gir samme form for jern. Masseprøven ble tatt ikke med tanke på analyse, men for å åpne filteret ved trykkspyling. Ved spylingen har masser og stoffer blitt presset både ut i grunnvannsmagasinet igjen og opp ut av brønnen. Brønnen har vist seg å ikke være lufttett, slik at innholdet av Fe₂O₃ kan komme oksidering av jern fra grunnvann, fra oksidering av utstyr og fra løsmasseavsetningen. For å få en representativ måling av løsmassekjemien i området burde det ha blitt tatt løsmasseprøver fra boringer med analyse som hensikt.

Tabell 6.1: Resultat fra XRF-analyse av jordprøve tatt fra masser i brønnkum ved spyling av reinfiltreringsbrønnen på Thoragården (Riise, 2015).

Stoff	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	MnO	Lol	Sum
(%)	3,79%	0,67%	3,88	1,45	0,1	72,38	9,11	1,93	1,58	0,07	2,38	97,34

Analysen av masseprøven i Thoragården kan tyde på at sandinfiltrering fra grunnvannsmagasinet har vært problemet her, og ikke jernutfelling. Dette kommer som en følge av avbrutt infiltrasjon fra anlegget. Uten vann i brønnen er det ikke noe trykk på innsiden av filteret, som gjør at sand kan trekke inn i filteret og avsettes i brønnrøret.

Det geokjemiske atlaset viser også at det er relativt høye verdier for syreløselig jern i området, som forteller at det er mye lettløselig jern i området. Dette stemmer overens med de høye jernverdiene i vannprøvene fra grunnvannet.

Under innsamlingen av vannprøver til analyse 10.10.14 ble prøvene tatt med filtrering i felt. Prøvene tatt 22.09.14 gjennomgikk filtrering i lab, etter transport. Etter prøvetakingen fulgte et opphold i tid fra 24.09.2014 til tidligst 6.10.2014, da prøvene ble mottatt av laboratoriet og analysen ble satt i gang. Jern fra første prøverunde er under deteksjonsgrensen ved alle anleggene (se Vedlegg D). En forklaring på dette er at det løse jernet i første prøverunde felte ut på små partikler i vannet før vannet ble analysert. Ristingen under transport kan ha forsterket utfellingen. Dette er derfor en feilkilde. Jern- og mangan-innholdet er over grensen for akseptabelt drikkevann i resultatene fra andre prøverunde (se Figur 5.5). Dette gjelder spesielt brønnen i Idégården. Det er tydelig at det er svært liten oksygentilgang i akviferen.

Resultatene viser at det er de dypeste brønnene som har høyest ledningsevne. Modelleringen viser at grunnvannet her har passert tykkere marine leirlag, og dermed inneholder større mengder ioner, som salt. De dypeste brønnene ligger lengst sør i området. Dette stemmer overens med tolkningen om at det marine leirlaget øker i tykkelse i denne retningen. Det lavere saltinnholdet i de nordlige anleggene kan tyde på at det tynnere leirlaget har blitt utsatt for mer ferskvannsgjennomstrømning fra Melhusryggen og utvasking av salt. Samtidig er det særligst liggende anlegget, Thoragården, en av de nyeste av de undersøkte anleggene. Dette kan bety at en utvasking av det fossile salte vannet ikke har fått virke like lenge som i de andre anleggene. Innholdet av sjøvannsioner i grunnvannsprøvene korrelerer med innholdet i sjøvann, men nivåene forteller at det har foregått en utvasking, særlig av klorid.

Resultatene av målingen av grunnvannskjemien viser en nokså ulik vannkjemi i de ulike anleggene. Ulikhetene kan forklares med teorien om at det er snakk om flere grunnvannsmagasiner, som igjen støtter opp om denne teorien.

6.4 Påvirkning på uforstyrret tilstand

I modellene er det sett på anleggenes påvirkning på grunnvannets uforstyrrede tilstand. Det er fokusert på endringer i stabilitet i løsmasser og kvikkleiredannelse, strømningsforhold, grunnvannskjemi og temperatur.

6.4.1 Stabilitet i løsmassene og kvikkleiredannelse

Det har blitt meldt bekymring for om utpumpingen og reinfiltreringen fører til hurtigere utvasking av saltet i grunnvannsressursens overliggende marine leire. Grunnvannet som returneres til grunnvannsressursen kan i grunnvarmeanlegget ha blitt rensset for salter. Ferskvann vil vaske ut salt, og dermed kunne gjøre prosessen for å danne kvikkleire kortere. Siden utpumpingen og reinfiltrering skjer under den marine leira, vil utvaskingen av leira fortsatt være naturlig. Saltet i den marine leira vil perkolere nedover til gruslaget upåvirket av pumpevirksomheten.

Setningsskader som følge av grunnvannsuttak til grunnvarme skjer enten gjennom at selve uttaket eller infiltrasjonen endrer lastbildet, eller at det pumpes ut finstoff sammen med vannet. Begge deler fører til at grunnen senkes (heves ved infiltrasjon) og kan skade bebyggelse. Det er ikke gjort noen målinger av sedimentmengder gjennom denne oppgaven eller i oppgaven til Riise (in prep., 2015). Det blir heller ikke gjort noen målinger gjennom driften av anleggene på Melhus.

6.4.2 Strømningsforhold

FEFLOW viser samstemte strømningsretninger for grunnvannet i forstyrret og uforstyrret tilstand. Pumpemengdene i hvert av anleggene er såpass små i forhold til grunnvannsforekomstens vanngiverevne slik at forstyrrelsene er minimale.

6.4.3 Grunnvannstemperatur

Reinfiltreringen fører til kaldere vann i sentrum og med grunnvannets strømningsretning. Det er ikke observert noen direkte negative følger av dette i noen av anleggene, men på sikt vil dette svekke anleggenes effektivitet (Banks, 2012). Resultatet i simuleringen ved stabil tilstand viser en påvirkning i et stort område, både horisontalt og vertikalt (se Figur 5.17). Temperaturendringen kan likevel bli jevnet ut som følge av diffusjon og konduksjon, og følgelig bli tynnet ut i tre retninger. Videre vil løsmassene ta opp mye av kulda før vannet rekker å overføre all kulda til en produksjonsbrønn. Det er sett mindre påvirkning i øvre lag i tidlig fase av 10 årsperioden i den transiente modellen (se Figur 5.20). Den transiente

modellen viser hvordan den naturlige temperaturen på grunnvannet dominerer i Lag 1 (Topplag) til 3 (Marin), ned til akviferen.

6.4.4 Grunnvannskjemi

Alle undersøkelserne til Storrø (2000) er gjort i området rundt Lena Terrasse. Resultatene fra disse målingene sammenliknet med resultatene i denne oppgaven og i Riise (2015) viser korrelasjon. Manganinnholdet er bare noen få milligram høyere i de nyeste målingene. Jerninnholdet i Storrøs resultater er alle under 0,01 mg/L Fe, mens resultatene i de nyere målingene viser 0,1 mg/L Fe. Det kan ut fra dette virke som at det har vært en økning i særlig jerninnholdet i løpet av denne 15-årsperioden. I følge Ellingsen (1995) kan dette være en følge av vedvarende pumping. Det kan også skyldes prøvetakingsmetodene. Prøvene som ble tatt uten filtrering til denne oppgaven kom under deteksjonsgrensen, altså samme resultat som i Storrø (2000). Det kan derfor ikke trekkes noen konklusjon om endring i jern- eller manganinnholdet.

Resultatene fra måling av ledningsevne og innhold av sjøvannsioner stemmer godt overens med tidligere målinger. Data fra Storrø (2000), GRANADA og målinger gjort i felt i rapporten til Solberg et al. (2014) viser ledningsevner mellom 100-500 mS/m. Sammenlikningen viser at nivåene har holdt seg konstant, tilsynelatende upåvirket av grunnvarmeanlegget på Lena. Som i tilfellene med jern- og manganinnhold kan det også her være feilkilder fra prøvetakingsmetodene.

6.5 Uttakskapasitet

I følge Brattli (2009) vil en randås som Melhusryggen være godt egnet for store grunnvannsuttak, og særlig hvis ressursen tyder på å kommunisere med vassdraget. Ut fra modelleringen er dagens uttak og reinfiltrering (med de snart etablerte brønnene til Høvdingen) vel innenfor ressursen uttakskapasitet. Den største senkningen ses i modellene ved Lena Terrasse. Dette gjelder også ved doblett uttak. Pumpebrønnene nærmest Melhusryggen i øst er også de som ligger an til å forsterke hverandres senkningstrakter ved en eventuell økning i pumpemengder. Det at det er observert større senkning ved Lena enn ved anleggene nærmere elva i nordlig retning, kan tyde på at Melhusryggen er svært permeabel og drenert. Dette stemmer med resultater og tolkninger fra geotekniske undersøkelser.

Foreløpig viser data fra Mari Helen Riises arbeid at anleggene pumper opp kaldere vann fra andre anlegg, men at de ikke har merket noen negative effekter som følge av temperatursenkning (in prep., 2015). Dette skyldes nok grunnens høye volumetriske varmekapasitet, altså at grunnen utjevner temperaturendringer raskt. Modellen viser store området med lavere temperatur, særlig i horisontal retning i det dypet hvor returbrønnenes filter er plassert.

På løsmassekartet til NGU er det kartlagt breelvmaterialer på Gimse. I modellene er dette modellert som yngre elvesedimenter over leire. Undersøkelser har vist at det ligger grus og sand over leire i området. Det ble derfor antatt at dette breelvmaterialet ligger over tett leire, og er ikke en del av breelvmaterialet som benyttes som grunnvannsmagasin i sentrum. Hvis leira ikke er tilstede over eller under dette breelvmaterialet kan nedbør i området strømme til grunnvannsmagasinet i sentrum.

De eksisterende dataene og avsetningshistorikken tyder på at det kan være snakk om flere grunnvannsmagasin i Melhus sentrum, og ikke ett sammenhengende magasin. Dette kom ikke tydelig fram i simuleringene i FEFLOW, da denne er basert på den forenklete modelleringen fra SubSurface Viewer. Hvis dette er tilfellet kan senkningstraktene være større enn det som vises i FEFLOW, da reinfiltrasjonen til de ulike magasinene vil være lavere.

Den beregnede magasincoeffisienten fra resultatene er ugyldig på grunn av for lite data til å egentlig kunne benytte Jacobs metode. Observasjonsbrønn, B2, var for nærme pumpebrønnen, B3, og det ble gjort få registreringer av senkningen i brønn B1. B1 fungerte som infiltrasjonsbrønn under store deler av forsøket, slik at det ikke kunne måles grunnvannsstand her. Det er derfor brukt målinger fra B2 og B3 i beregningene, som da gir det store tallet i resultatene. Antakelsen om at magasincoeffisienten tilsvarer den ukjente effektive porøsiteten i løsmassene i grunnvannsmagasinet ut fra likning 4 i kapittel 2.2.3, blir derfor mer korrekt.

Grunnvannsressursens uttakskapasitet er ikke tallfestet. Dette skyldes for lite bakgrunnsdata til å kunne gjøre en slik beregning. I simuleringen ble det forsøkt å sett verdier for pumpemengde en god del høyere enn det doble, men beregningen ble ikke fullført. Pumpemengdene begrenses av de gitte brønn- og filterdimensjonene, slik at større pumpemengder ikke er mulig. Uttakskapasiteten begrenses dermed av anleggets dimensjoner.

For å tallfeste uttakskapasiteten må det tillegg tas hensyn til temperaturendringene som følge av reinfiltreringen, og unngå hydraulisk feedback. Videre er optimal plassering avgjørende for om en utnytter grunnvannsressursens fulle kapasitet. Dette diskuteres mer i det følgende delkapittelet.

6.6 Strategi for optimal utnyttelse

Det er tydelig at grunnvannsressursen tåler dagens uttaksmengder sammen med reinfiltrering. For å sikre et enda mer kostnadseffektivt og bærekraftig system bør alle anleggene likevel variere pumpingen etter behov. Dette vil føre til mindre slitasje utstyret. I tillegg vil ikke ressursen påvirkes unødig. Det må likevel reinfiltreres konstant, for å unngå problemer med at sand kommer inn i brønnen gjennom filteret, slik om i Thoragården.

Banks (2012) skriver at temperaturen på returvannet vil raskt utjevnes i grunnvannet. Simuleringen viser at temperaturen rundt returbrønnen synker til under temperaturen på vannet som sendes ut, som følge av hydraulisk feedback. Med utgangspunkt i denne simuleringen bør ikke temperaturen på returvannet være lavere enn 4 °C. Ved lavere temperaturer enn dette vil ikke anleggene kunne ta ut de nødvendige 3 °C som kreves. I tillegg er det en risiko for at vannet nærmer seg frysepunktet, og dermed skader anlegget.

Med hensyn til grunnvannsressursen og elvas miljø ser det ikke ut til at å pumpe ned vann kaldere enn grunnvannet fører til noen form for skade. På den annen side er det gjort lite forskning på følgene for miljøet av kaldere eller varmere returvann (Haehnlein et al., 2010).

Risikoen for hydraulisk feedback og eventuelle følger på omkringliggende miljø kan reduseres ved bruk av frikjøling. Muligheten til å benytte frikjøling effektivt begrenses gjerne av byggets alder. Eldre bygg ikke er like godt isolerte som dagens, om de ikke er godt etterisolert, og har derfor sjelden et kjølebehov.

Med tanke på optimal forvaltning og utnyttelse av grunnvannsressursen bør det etableres ulike overvåkingsenheter i både produksjons-, infiltrasjons- og observasjonsbrønner. Etablering av observasjonsbrønner vil gi informasjon om grunnvannsstanden i magasinet utenfor brønnene. Slik kan en enklere følge med på om variasjonene i grunnvannsstanden skyldes selve

grunnvarmesystemet eller naturlig variasjoner. Her kan en også følge med på og sammenlikne temperaturer. I tillegg må det tas jevnlig vannanalyser fra både observasjonsbrønner og anleggsbrønner for overvåking av vannkjemi.

For å unngå hydraulisk feedback kan det benyttes tur- og returfelt for brønnene der de ulike byggene har et felles anlegg. Her ville alle produksjonsbrønnene blitt plassert i et felt sør for infiltrasjonsbrønnene, altså oppstrøms, slik at det kalde vannet fra infiltrasjonsbrønnene ikke går tilbake til produksjonsbrønnene. Uttaket må skje på det dypet hvor grunnvannsstrømningen følger den regionale retningen mot nord. Det må også gjøres noen beregninger eller simuleringer som viser hvor langt ut en senkningstrakt rundt begge feltene vil gå. Hvis senkningstraktene rundt infiltrasjonsbrønnene og produksjonsbrønnene ligger for nært i forhold til likning 2.9, og slik skaper en gradient slik at returvannet strømmer tilbake til produksjonsbrønnene, risikerer en hydraulisk feedback. Dette vil i tillegg avhenge av egenskapene i løsmassene. Grunnvannet kan ha gått tilbake til stabil temperatur innen det har nådd produksjonsbrønnen. I tillegg vil produksjonsbrønnen mates med upåvirket grunnvann fra den andre siden, som er med på å jevne ut temperaturen. Siden kaldt vann er tyngre enn varmere vann, foreslås det å plassere filtrene i returbrønnene lavere enn filtrene i produksjonsbrønnene. Dette kan være med på å hindre gradienter som følge av senkningstrakter. Reinfiltreringen må uansett foregå i samme grunnvannsmagasin for optimal utnyttelse og bærekraftighet. I tillegg bør det være flere returbrønner enn produksjonsbrønner.

Ved all form for grunnvannsuttak er det en risiko for setningsskader på bebyggelse. Av den grunn bør sandmengdene som pumpes opp kontrolleres. Videre bør det settes en grense for hvor mye sand som kan følge med det opppumpede vannet per tidsenhet. Sistnevnte tiltak vil gjøre det enklere å føre kontroll.

6.7 Lovverk og optimal forvaltning

Det er lagt opp til en rekke tiltak i Vannressursloven som skal sikre optimal forvaltning og utnyttelse av grunnvannsressurser. De fleste av disse mangler i anleggene i Melhus. I kapittel 3.2 om konsesjonsplikt er det skrevet hva som må være med i en konsesjonssøknad. I en slik søknad må det fremgå hvilke avbøtende og kvalitetssikrende tiltak som skal gjøres.

Ovennevnte tiltak om å etablere observasjonsbrønner for overvåking av ressursen står nevnt som krav ved konsesjonssøking.

Den nye forskriften som sier at alt av vannuttak og vanninfiltrering over 10 millioner m³ per år (317 L/s) skal konsekvensutredes krever bedre forundersøkelser. En konsekvensutredning vil lønne seg for både anlegget og miljøet. Likevel vil ikke den nye forskriften fange særlig mange grunnvarmeanlegg. Ingen av enkeltanleggene eller alle anleggene i Melhus sentrum sett under ett går inn under den satte grensen. Alle anleggene utgjør et relativt høyt uttak, med fortsatt usikker påvirkning på nærmiljøet. Med utgangspunkt i situasjonen i Melhus kan det virke som at en grense for konsekvensutredning burde ha blitt satt lavere for å få med flere anlegg. Arbeidet som utføres for en konsekvensutredning kan også bidra i arbeidet for å nå målene om å kartlegge Norges grunnvannsressurser satt i Vannforskriften. Å jobbe med målene i Vannforskriften vil lønne seg for grunnvarmeindustrien, brukerne, arbeidsmarkedet, for myndighetene for å tilfredsstille EU og ikke minst fremtidens drikkevannsmuligheter. Et forslag kunne være å innføre en form for statlig støtte til det forarbeidet som utføres som er nyttig for arbeidet med kartleggingen til Vannforskriften.

6.7.1 Konsesjonsplikt for anleggene i Melhus

Vurderingen av om et anlegg har konsesjonsplikt gjelder bare for de anleggene som ble oppført etter et vannressursloven trådte i kraft i 2001, og for de anleggene som har endret uttaket etter den tid. Anlegget i Melhuset ble etablert i 1999, har ikke endret noe siden, og trenger derfor ikke søke om konsesjon. Lena Terrasse og Melhus avlastnings- og aktivitetssenter har begge endret sine uttak, og kan derfor bli vurdert som konsesjonspliktige.

Den transiente modellen med nedbørsdata fra de siste ti åra viser at påvirkningen på grunnvannsressursen er i henhold til lovverket om stabil grunnvannsstand. Det er heller ikke sett noen betydelig negativ effekt på ressursens kvalitet. De anleggene som reinfiltrerer vann til grunnvannet bidrar til opprettholdelsen av grunnvannsnivået, som gjør at disse anleggene i utgangspunktet ikke har konsesjonsplikt.

Anleggene som slipper det oppumpede grunnvannet ut som overvann i Gaula bidrar ikke til å opprettholde grunnvannsbalansen. I tillegg regnes utpumpingen til Gaula som et vassdragstiltak etter Vannressursloven § 3. Her gjelder aktsomhetsplikten i § 5, og

konsesjonsplikten blir gyldig om tiltaket kan være til nevneverdig skade eller ulempe for allmenne interesser i vassdraget. I tillegg reguleres temperaturendring av Forurensningsloven. Det er ikke gjort målinger i elva for å avdekke en eventuell forurensning her. Det er sett i modellen at påvirkningen på grunnvannsforekomsten er større om det ikke er lav infiltrasjon. Senkningen på Gimse er synlig, men den er også stabil. Uttaket i anleggene i sentrum som ikke benytter returbrønn, Melhuset og Melhus aktivitets- og avlastningscenter, er på henholdsvis 7 L/s og 15 L/s – til sammen 22 L/s. Situasjonen kan sammenliknes med den på Gimse, med en tilsvarende påvirkning med bare disse to anleggene i sentrum. Dette er det ikke sett på i modell. I sentrum er det snakk om et mye større område. De to anleggene står nesten 400 meter fra hverandre i luftlinje, slik at senkningstraktene antakeligvis ikke vil forsterkes av hverandres senkningstrakter. For å vurdere konsesjonsplikten til anleggene uten returbrønn må det i større grad avdekkes eventuelle påvirkninger på Gaula og grunnvannsforekomsten uten infiltrasjon fra de andre anleggene. Gaula er et stort vassdrag, som en kan anta at tåler dagens virksomhet og påvirkning. Det er også sett at det er snakk om en mektig ressurs, med stor vanngiverevne. Det vil uansett være NVE som avgjør i hvert enkelt tilfelle om et tiltak er konsesjonspliktig.

6.7.2 Pågående diskusjoner

Under Hydrogeologiseminarer 2015 ved NGU holdt Karin Kvålseth fra Sweco et foredrag om konsesjonsplikten ved grunnvannsuttak til drikkevann. Hun viste til en kompleks prosess for å få godkjent konsesjon, og stilte spørsmål ved hensiktsmessigheten rundt denne prosessen. I de aller fleste tilfeller søkes det ikke om konsesjon til grunnvarmetiltak i grunnvann, i følge Haugen (2015). Blant deltakerne på Hydrogeologiseminarer var det tilstede tiltakseiere, brønnborere, representanter fra NVE og NGU og konsulenter. Rundt tema grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg savnet alle et tydeligere reglement eller tydeligere retningslinjer. Det ble foreslått at grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg burde falle inn under en form for søknadsplikt, men som en forenklet konsesjonsplikt etter erfaringene med godkjenningsprosessen for drikkevann. I Ot.prp. nr. 39 er det nevnt at Norges grunnvannsressurser ville bli sikret gjennom en konsesjonsordning. Dette er overholdt gjennom drikkevannsforskriften, men det mangler fortsatt en forskrift som gjelder påvirkning, uttak og infiltrasjon av grunnvann til bruk i grunnvarme.

6.7.3 *Praksis i Norge vs. praksis i andre land*

Den løsmassegeologien som tilsvarer den i Norge best er Sverige, slik at det på mange områder vil være mest naturlig å se dit. Sverige, Danmark og Nederland opererer med grenseverdier. Regionen Baden-Württemberg i Tyskland anbefaler å benytte foreslåtte analyser for å kalkulere den mest forsvarlige og effektive grensen avhengig av anlegg og sted. Å sette en generell grenseverdi er enklere å lovregulere og å forholde seg til for brukere, men analysemetoden er mer nøyaktig. Analysemetoden behøver ikke være tid- og kostnadskrevende om det metoden er klart beskrevet og lett tilgjengelig for utbygger. I mange provinser i flere land må det alltid søkes om tillatelse, og data fra anlegget i drift sendes inn til myndighetene jevnlig. Dette sikrer oversikt hos myndighetene, og anleggseieren sikres god oppfølging av anlegget, og kan slik forutse eventuelle problemer.

Et viktig grep som er gjort i Danmark, Sverige og Nederland er at det er satt krav – i ulik grad – om at personellet som installerer brønner til grunnvarme skal være sertifisert. I Vannressursloven er det satt krav om kvalifisert personell, uten at dette er definert videre. Opplæring og forståelse i hydrogeologiske prinsipper ved grunnvannsuttak i tillegg til det tekniske vil være et viktig skritt mot mer lønnsomme og bærekraftige anlegg.

Van Beek og Godschalk (2013) skriver om erfaringer i Nederland, og at en viktig barriere for etablering av grunnvannsvarmeanlegg er at systemet noen steder har et dårlig rykte. De skriver at det dårlige ryktet har skyldes den ofte manglende ekspertisen bak anleggsetableringene og manglende tid og pengebruk på forundersøkelser. Fortsatt kan amatører etablere anlegg. Dette kan føre til lite effektive system med kort levetid. Å legge inn mer tid, kunnskapsformidling og penger løser dette. Synliggjøring, tilgjengelig nødvendig informasjon, bevisstgjøring, sertifiseringskrav vil kunne heve statusen til grunnvannsbasert grunnvarme. I Norge er ikke det samme negative ryktet opplevd. På den annen side, hvis dette er noe Nederland har opplevd, er det noe som burde unngås i Norge ved å benytte forslagene til Van Beek og Godschalk (2013) preventivt. Problemene i de grunnvannsbaserte grunnvarmeanleggene i Melhus har ført til ekstra kostnader og frustrasjon hos brukerne. Om problemene herfra blir en gjenganger i andre anlegg, kan systemet få et dårlig rykte som fører til færre nye anlegg. Myndighetene i Norge har gjennom byggeforskrift satt krav til at større offentlige bygg må ha en viss prosent fornybar energi. Her er det viktig at grunnvannsbasert grunnvarme kommer fram som et godt alternativ.

Heahnlein et al. (2010) påpeker at det manglende eller lite regulerende lovverket i mange land kommer av at grunnvarme er lite brukt sammenliknet med andre fornybare energikilder. Behovet for et regelverk ligger dermed ikke til grunn. Samtidig kan for mye byråkrati hindre etablering av nye grunnvarmeanlegg. Nederland har sett på en løsning på dette ved å sette begrensinger også til myndighetene. De har satt en maksimums behandlingstid av søknader. Dette gjør det lettere for å utbyggere med tanke på tidsperspektiv på anleggstiden og økonomi. Norge har gjennom mye bruk av overflatevann til vannkraft opprettet et lovverk med tanke på vannkraft og blant annet økosystem, levegrunnlag og rekreasjonsverdi. Våre naboland har gjennomgått de samme erfaringene og sett behovene for et regelverk rundt grunnvarme. Gjennom de erfaringene, lovverket og reglementet som eksisterer i andre land kan norske myndigheter se muligheten i å hente erfaringer herfra og sette et passende norsk lovverk.

7 KONKLUSJON

Basert på arbeidet som er utført, kan resultatene konkluderes med følgende punkter:

- Ressursen er gjennom datasammenstillingen, modelleringen og simuleringen tolket til å bestå av flere grunnvannsmagasin, både åpne og delvis åpne.
- Poretrykket ligger høyt i Melhusryggen, før det i grusmassene er drenert ned til grunnvannsnivået på 3 - 4 meter over havet.
- De marine saltene i grunnvannsressursen er tolket til å komme fra lommer av fossilt vann i grusavsetningen og fra overliggende marin leire. Mengdene ser ikke ut til å ha minket siden tidligere vannanalyse i år 2000. Saltet har foreløpig ikke ført til noen negative konsekvenser for grunnvarmeanleggene, men kan potensielt gjøre det.
- Den transiente modellen viser at det hydrauliske potensialet i øvre lag responderer på nedbørsmengdene, men at det tar tid før dette reflekteres i grunnvannsspeilet.
- Det kan ut fra resultatene i FEFLOW og fra prøvepumpingen konkluderes med at grunnvannsføremkomsten som benyttes til grunnvarme har stor vanngiverevne og takler dagens pumping og reinfiltrasjon godt.
- Det er ikke funnet noen verdi for grunnvannsføremkomstens maksimale uttakskapasitet. Det trengs en større datamengde, som magasinets utstrekning og dybde, for å finne denne. Uttakskapasiteten er i tillegg begrenset av hvert anleggs plassering i forhold til hverandre, brønn- og filterdimensjoner og pumpetype.
- Reinfiltrasjonen er viktig for å opprettholde ressursens tåleevne og grunnvarmeanleggenes levetid.
- Simuleringen i FEFLOW viser at returbrønnene sender kaldt vann til andre produksjonsbrønner, som fører til hydraulisk feedback. Simuleringen viser at temperaturen rundt returbrønnen synker til under temperaturen på vannet som sendes ut, som følge av hydraulisk feedback.
- Modellen er ikke en refleksjon av virkeligheten, men gir et inntrykk av hvilke hydrogeologiske forhold som kan påberegnes i området ut fra dagens kunnskap. De resultatene som kan sammenliknes med dataene samlet inn av Riise (in prep., 2015) ser ut til å stemme godt overens.
- Det vil være lønnsomt å gjøre nøyaktige hydrogeologiske undersøkelser før brønnplassering. Særlig viktig er det å finne grunnvannets strømningsretning for å

unngå hydraulisk feedback. Produksjonsbrønnene bør være oppstrøms returbrønnene, og i en slik avstand at gradienten fra senkningstraktene ikke leder vannet fra returbrønnen tilbake til produksjonsbrønnen. Siden kaldt vann er tyngre enn varmere vann, foreslås det at filtrene i returbrønnene ligger dypere enn filtrene i produksjonsbrønnene. De må likevel være i samme akvifer for ikke å påvirke andre løsmasselag og for optimal utnyttelse.

- Lovverket er mangelfullt når det kommer til regulering av grunnvarmeanlegg. I tillegg er det det som står forvirrende for de fleste å forholde seg til. Det er ønske om mer regulering fra alle parter i grunnvarmeindustrien. Bedre forundersøkelser fører til mer lønnsomme anlegg, i tillegg til at det bidrar til å nå målene satt i Vannforskriften.
- Sverige, Danmark og Nederland er noen av få land som har et regelverk som omhandler grunnvannsuttak og grunnvarme. De har satt grenseverdier for blant annet minste avstand mellom brønn til brønn og laveste tillate returtemperatur. Retningslinjer i Baden-Württemberg anbefaler å samle inn data som analyseres i foreslåtte analytiske metoder for å finne beste grenseverdi. Disse landene operer også med krav eller tilbud om sertifisering av brønnborere, hvor de i opplæringen også fokuseres på hydrogeologi.
- Det er store muligheter for norske myndigheter å hente erfaringer fra utlandet og finne den beste løsningen for et godt regelverk i Norge.
- Slik loven er i dag ser det ut til at grunnvarmeanleggene i Melhus sentrum som returnerer grunnvannet til grunnvannsressursen ikke har konsesjonsplikt. De anleggene som ikke returnerer grunnvannet påvirker magasinet og elva i en større, men ukjent grad, som gjør at de kan ha konsesjonsplikt.

7.1 Anbefalinger og videre arbeid

De to programmene SubSurface Viewer og FEFLOW arbeider i ulike formater, og det kreves en del tilpassing. Det vil være en stor fordel å først gjøre modelleringene i SubSurface MX med god kunnskap om de krav og begrensinger som FEFLOW har. Hvis det er hydrogeologien som ønskes framstilt, må dette hensynet tas med i modelleringen i SubSurface Viewer, og skille lagene med større hensyn til hydrogeologiske egenskaper. Dette vil kunne gi mer pålitelige resultat. Det tar tid å sette seg inn i alle muligheten som er i FEFLOW, og kanskje er det derfor FEFLOW er relativt lite brukt i Norge. Det anbefales

likevel å bruke tid på dette programmet, og utnytte de mulighetene programvaren tilbyr. Numerisk 3D-simulering og modellering erstatter ikke de tradisjonelle metodene, men er et verktøy for å visualisere problemstillingen for kolleger og lekmenn. En god modell vil være svært nyttig ved forundersøkelser.

Høsten 2014 ble det søkt om forskningsmidler fra Regionale forskningsfond Midt-Norge til et større prosjekt om grunnvarme. Søknaden ble innvilget vinteren 2015. Prosjektet heter optimal ressursutnyttelse av grunnvann til oppvarming og kjøling i Melhus og Elverum (ORMEL). Prosjektgruppen er satt sammen av representanter fra Melhus kommune og Elverum kommune, NTNU ved Institutt for Geologi og Bergteknikk og ved Institutt for Energi- og Prosessteknikk, NGU samt konsulentselskapet Asplan Viak. Melhus kommune er prosjekteiere. Her vil sentrale tema være blant annet beregning av ressursens maksimale tålegrense ved ressursutnyttelse, og systematisk kunnskapsbygging og formidling.

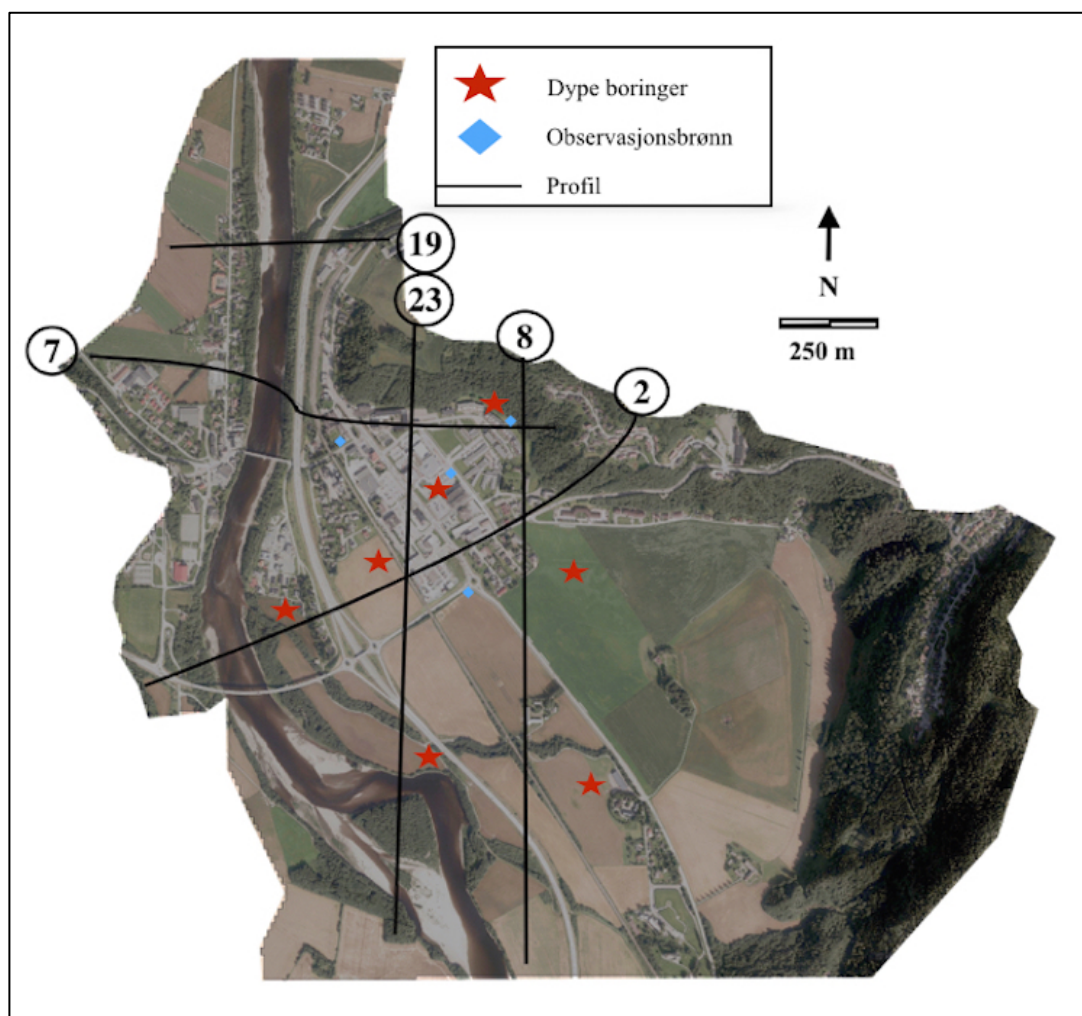
Med tanke på det videre arbeidet som skal foregå gjennom ORMEL er det i Figur 7.1 foreslått områder for dype boringer basert på resultatene i denne oppgaven. Plasseringen av de dype boringene er valgt for å kunne si noe om følgende:

- Grunnvannsmagasinet utstrekning og dybde (volum)
- Kommunikasjonen mellom Gaula og grunnvannsmagasinet
- Detaljert løsmassefordeling i dypet
- Melhusryggen og dens kontakt med sentrum

Om mulig så bør det gjøres flere undersøkelser for å finne porøsitet og hydraulisk ledningsevne i de ulike lagene. For å være sikre på strømningsretningene, som er veldig viktige for optimal utnyttelse, kan det forsøkes med tracer-forsøk. Det bør også kartlegges om fjellet og fjellsiden har noen betydning for grunnvannsressursen. For å få svar på dette bør det gjøres undersøkelser for å avdekke sprekker i fjellet. Dette kan for eksempel gjøres med seismiske målinger. Dyp til fjell er andre steder funnet ved hjelp av gravimetri, en geofysisk metode hvor tettheten nedover i dypet måles langsmed bakken. I tillegg bør infiltrasjonsområdet kartlegges mer presist.

KONKLUSJON

Observasjonsbrønnene i Figur 7.1 er plassert der hvor det trengs informasjon om forholdene i grunnvannet, og bør gå ned til 70 meter under havet. Plasseringen bør være både oppstrøms og nedstrøms – i regional og lokal strømningsretning, og inne i grunnvannsmagasinet. Brønner som ikke brukes kan omgjøres til observasjonsbrønner. Slike er det på Lena Terrasse og ved Melhus aktivitets- og avlastningssenter.



Figur 7.1: Forslag til plassering av undersøkelsespunkt med dype borer og permanente observasjonsbrønner.

I en større sammenheng bør det forskes på følgene av grunnvannstemperaturrendringer på natur og økosystem.

Referanser

- ANDERSON, M. P. & WOESSNER, W. W. 1991. *Applied groundwater modelling: Simulation of flow and advective transport*, Academic Press.
- BANKS, D. 2012. *An Introduction to Thermogeology, ground source heating and cooling*, John Wiley and Sons, Ltd.
- BARGEL, T., LAGERBÄCK, R. & NENONEN, K. 2007. Beskrivelse til kvartærgeologiske kart over Midt-Norden. Norges Geologiske Undersøkelse, Sveriges Geologiske Undersøkelse, Finlands Geologiske Undersøkelse.
- BERG, P. O. 2002. Grunnundersøkelser: E6 Melhus, Hofstad og Burbakken miljøkulverter, Statens vegvesen rapport Ud 800A.
- BRATTLI, B. 2009a. *Fysisk og kjemisk hydrogeologi*, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- BRATTLI, B. 2009b. Grunnvannsutttak i løsmasseavsetninger. *Kompendium TGB4205, Hydrogeologi, Anvendelse og metodikk*. Institutt for geologi og bergteknikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- BRATTLI, B. 2013. Egenskaper ved akviferer - kapittel 2. Forelesningsnotat distribuert i TGB4205 Hydrogeologi. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- BRATTLI, B. 2014. *Ingeniørgeologi: Løsmasse*, Trondheim, Norges teknisk-naturvitenskapelige Universitet, Institutt for geologi og bergteknikk.
- COLLEUILLE, H., PEDERSEN, T. S. & DIMAKIS, P. 2004. Elv og grunnvann: Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z). Rapport 1, Formål og metoder. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- DIERSCH, H.-J. G. 2014. *FEFLOW: Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media*, Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- ECKHOLDT, E., FINSRUD, R. & SNEKKERBAKKEN, A. M. 1995. GiN-veileder nr. 11 Grunnvann: Kunstig infiltrasjon. *Grunnvann i Norge*. Norges Geologiske Undersøkelse.
- ELLINGSEN, K. 1995. Grunnvannskvalitet, problemer og tiltak, GiN-veileder nr. 12. Norges Geologiske Undersøkelse.
- EMAUS, K. 1995. Høyeggen 24 - 30, Glidning/ras i skråning, Kummeneje rapport K10899.
- EMAUS, K. & EGGEREIDE, K. 1995. Melhus kommune, Omsorgsboliger Lena, Grunnundersøkelse, Geoteknisk vurdering, Kummeneje rapport K10995.
- EMAUS, K. & EGGEREIDE, K. 1996. Varmbobygg AS, Boligfelt Olastubakken, Gimse, Grunnundersøkelser, datarapport, Kummeneje rapport K10877.
- EMAUS, K. & EGGEREIDE, K. 1997. Melhus kommune, Melhus omsorgssenter, Grunnundersøkelse og generell geoteknisk vurdering for forprosjekt, Kummeneje rapport K11718.
- EMAUS, K. & EGGEREIDE, K. 2001. Melhus kommune, Vannledning mot Melhus kommune, Grunnundersøkelse, Geoteknisk vurdering, Scandiaconsult rapport 610512.
- EMAUS, K. & KRISTIANSEN, B. 1999. Boligtomt Varmbovegen, Grunnundersøkelser, Datarapport og geoteknisk vurdering, Kummeneje rapport K13326.
- ENLID, E. 2003. Aasen Bygg AS, Boliger Lena, Melhus, Grunnundersøkelse, Geoteknisk vurdering, Scandiaconsult rapport 630299A.
- ENLID, E. & KRISTIANSEN, B. 1999. Selmer Bolig AS, Lena terrasse, Grunnundersøkelser, Geoteknisk vurdering, Kummeneje rapport K13307.
- ENLID, E. & KRISTIANSEN, B. 2001. Lena Felt B5, Melhus, Grunnundersøkelser, Geoteknisk vurdering, Scandiaconsult rapport 610002.
- EUROPAPARLAMENTS- OG RÅDS DIREKTIV 2000. Europaparlaments- og rådsdirektiv 2000/60/EF av 23. oktober 2000 om fastsettelse av en ramme for fellesskapstiltak på området vannpolitikk.
- FOLGERØHOLM, I. 2000. Ryefeltet, Melhus, VA-anlegg, Grunnundersøkelse, Datarapport, Scandiaconsult rapport 600132.
- FORSKRIFT OM KONSEKVENSENTREDNING. 2014. *Forskrift om konsekvensutredning etter plan- og bygningsloven. Fastsatt ved kgl.res. 22.12.2014 med hjemmel i lov 2008-06-27-71*

- [Online]. URL: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-12-19-1726?q=forskrift+om+konsekvensutredning> [5.05.2015].
- FORURENSNINGSFORSKRIFTEN. 2009. *Forskrift for utslipp av avløpsvann, Melhus kommune. Fastsatt ved kgl.res. 24.06.2004* [Online]. URL: <https://lovdata.no/dokument/OV/forskrift/2009-02-10-218?q=Melhus+Vann+og+avløp> [07.05.2015].
- FREDIN, O., BERGSTRØM, B., EILERTSEN, R., HANSEN, L., LONGVA, O., NESJE, A. & SVEIAN, H. 2013. Glacial landforms and quaternary landscape development in Norway. *Geological Survey of Norway Special Publication*.
- GEUS. 2014. *Grundvandsovervågning GRUMO* [Online]. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse. URL: <http://www.geus.dk/DK/water-soil/monitoring/groundwater-monitoring/Sider/default.aspx> [14.05.2015].
- GRANADA. 2015. *Granada - Nasjonal grunnvannsdatabase* [Online]. Norges Geologiske Undersøkelser. URL: <http://geo.ngu.no/kart/granada/> [14.05.2015].
- HAEHNLEIN, S., BAYER, P. & BLUM, P. 2010. International legal status of the use of shallow geothermal energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2611 - 2525.
- HANSEN, L., EILERTSEN, R., SOLBERG, I.-L., SVEIAN, H. & ROKOENGEN, K. 2007. Facies characteristics, morphology and depositional models of clay-slide deposits in terraced fjord valleys, Norway. *Sedimentary Geology*, 710-729.
- HAUGEN, K. 2015. Personlig kommunikasjon.
- HILMO, B. O. & FORBORD, R. 2007. Grunnundersøkelser ved Gimsøyen, Asplan Viak rapport 515490.
- HILMO, B. O. & KALSKIN, R. 1999. Kartlegging av potensialet for grunnvarmeuttak fra løsmasser i Elverum, NGU rapport 2008.006.
- HUSTVEIT, A. 2002. Behandling etter vannressursloven m.v. av vassdragstiltak og tiltak som kan påvirke vassdrag og grunnvann. 43.
- INDIANA UNIVERSITY. 2015. *Introduction to Vector Data* [Online]. Indiana University. URL: <http://www.indiana.edu/~gisci/courses/g338/images/chapter2figs/fig2-11.gif> [11.05.2015].
- INSIGHT 2014. Manual, SubSurfaceViewer XL and SubSurfaceViewer MX 6.0. *INSIGHT Geologiske Softwaresysteme GmbH*.
- JARDEBY, Å., BENSON, J. & RÅFTEGÅRD, O. 2013. National Report Sweden, Regeocities. SP Sveriges tekniske forskningsinstitut.
- KÅRSTEIN, H., GANGÅS, G. & NORUM, D. 2005. Grunnvann i vannressursloven: Konesjonsplikt og konesjonsbehandling. KTV-notat. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- KOMMUNE, M. 2014. Klima- og energiplan, mål og tiltak 2014 - 2017. Melhus Kommune.
- KRESIC, N. 2006. *Hydrogeology and groundwater modeling*, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- KUMMENEJE, O. 1978. Melhus kommune, Reguleringsplan Høgegga, Orienterende grunnundersøkelser, vurdering, Kummeneje rapport K2697.
- KUMMENEJE, O. 1979. Melhus rådhus, Kummeneje rapport 2987.
- LEFSTAD, O. 2007. Trio-Bygg AS, Boligfelt Lenamelen, Melhus, Grunnundersøkelser og geoteknisk vurdering, Rambøll rapport 6061142.
- LEFSTAD, O. & LYCHE, E. 2005. Nybygg Lørvik Eiendom AS, Melhus, Grunnundersøkelse, Datarapport, Scandiaconsult rapport 6050258.
- LYCHE, E. & EGGEREIDE, K. 1985. Melhus kommune, Videregående skole, Grunnundersøkelse og geoteknisk vurdering, Kummeneje rapport K5244.
- LYCHE, E. & EGGEREIDE, K. 1988a. Grunnundersøkelse, Geoteknisk og geologisk vurdering av områdene, Kummeneje rapport K7008.
- LYCHE, E. & EGGEREIDE, K. 1988b. Jernbeton A/S, A/S Melhus Tomteselskap, Boligfelt Østerdalsvolden og Loddgårdstrøa, Grunnundersøkelse, Geoteknisk og geologisk vurdering av områdene, Kummeneje rapport 7008.
- MATHES, G. 1982. *The Properties of Groundwater*, John Wiley & Sons.
- MAURING, E. 1992. Refleksjonsseismiske målinger på Melhus, NGU rapport 92.176.
- MET. 2015. *eKlima* [Online]. Meteorologisk Institutt. URL: eklima.met.no [30.04.2015].
- NESTVOLD, J. T. & EGGEREIDE, K. 1985. Melhus kommune, Idrettshall, Grunnundersøkelse og geoteknisk vurdering av skisseforslag, Kummeneje rapport 5410.

-
- NESTVOLD, J. T. & LEFSTAD, O. 1984. Melhus Tomteselskap A/S, Høyeggen boligfelt, Supplerende undersøkelser i selvbyggerfeltet, Kummeneje rapport K4037.
- NESTVOLD, J. T. & LEFSTAD, O. 1986. Melhus Tomteselskap A/S, Løvsetvn., pel 400 - 500, Geotekniske undersøkelser, datarapport, Kummeneje 5626.
- NGU. 2015. *Grunnvann i Norge* [Online]. Norges Geologiske Undersøkelse. URL: http://www.grunnvann.no/grunnvann_hva_er.php [30.04. 2015].
- NORGE, D. E. U. D. T. 2015. *En helhetlig klima- og energipolitikk i EU (16/02/2015)* [Online]. Den europeiske unions delegasjon til Norge. URL: http://eeas.europa.eu/delegations/norway/press_corner/aktuelt/items/20151602_1_no.htm [12.04.2015 2015].
- OLJE- OG ENERGIDEPARTEMENTET 1989-99. Ot. prp. nr. 39 : Lov om vassdrag og grunnvann (Vannressursloven). Oslo: Olje- Energidepartementet.
- OTTESEN, R. T., BOGEN, J., BØLVIKEN, B., VOLDEN, T. & HAUGLAND, T. 2000. *Geokjemisk atlas for Norge, del 1: Geokjemisk sammensetning av flomsedimenter*, Norges Geologiske Undersøkelse.
- PEDERSEN, M. B. 2011. Melhus kommune, Melhus omsorgssenter, Grunnundersøkelser, Datarapport, Rambøll rapport 6100896.
- RAMSTAD, R. K. 2011. Grunnvarme i Norge - kartlegging av økonomisk potensial. Norges Vassdrags- og energidirektoriat.
- REITE, A. J. 1990. Veiledning til kartet: Sør-Trøndelag fylke Kvartærgeologiske kart M 1:250.000. Norges Geologiske Undersøkelse.
- REITE, A. J., SVEIAN, H. & ERICHSEN, E. 1999. Gråsteinen 5 - Trondheim fra istid til nåtid. Norges Geologiske Undersøkelse.
- RIISE, M. H. 2015. *Praktisk guide for grunnvarmeanlegg basert på oppumpet grunnvann*, Msc, in prep., Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for ingeniørgeologi og bergteknikk.
- RISE, L., BØE, R., SVEIAN, H., LYSÅ, A. & OLSEN, H. A. 2006. The deglaciation history of Trondheimsfjorden and Trondheimsleia, Central Norway. *Norwegian Journal of Geology*, 86, 419-438.
- RUESLÅTTEN, H. & VESLEGARD, G. 1991. Grunnvannsbrønner i løsmasser - dimensjonering og utforming. *Kompendium - TGB4205 Hydrogeologi, Anvendelse og metodikk*. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- RYE, O. A. & EGGEREIDE, K. 1989. Veg til Østerdalsvolden og Loddgårdstrøa. Grunnundersøkelser og geoteknisk vurdering, Kummeneje rapport K7273.
- SGU. 2015. *Certificerade brunnsborrhare* [Online]. Sveriges Geologiska Undersökning. URL: <http://www.sgu.se/grundvatten/brunnar-och-dricksvatten/anlaggning-av-brunn/certificerade-brunnsborrhare/> [30.01. 2015].
- SINDRE, A. 1980. Seismiske målinger i Gauldalen 1972 - 1979, NGU rapport 1641.
- SMÅKRAFT. 2015. *Vannkraftens utvikling i Norge* [Online]. Småkraft AS. URL: <http://www.smaakraft.no/topp/om-oss/smakrafthistorie/> [27.04 2015].
- SOLBERG, I.-L., DAGESTAD, A. & DALSEGG, E. 2014. 2D resistivitetmålinger ved Brubakken, Melhus sentrum og Skjerdingsstad i Melhus kommune, Sør-Trøndelag. Data og tolkninger, NGU rapport 2014.022.
- SOLHEIM, O. M. 2008. Strandveien 14-18, Melhus, Orienterende grunnundersøkelse, Multiconsult rapport 412664.
- SOLHEIM, O. M. & TØRUM, E. 2006. Grunnundersøkelser Melhus, Kvikkleirekartlegging Melhus, Geoteknisk datarapport, Multiconsult rapport 411760.
- SØREIDE, I. J. M. 2012. Almåsgården Melhus, Grunnundersøkelser, Datarapport, Rambøll rapport 6120853.
- SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING 2007. Normgrunn -07: Att borra brunn för energi och vatten - en vägledning. Sveriges Geologiska Underökning.
- THYHOLT, A. 1982. Melhus Sparebank, Nybygg, Melhus sentrum, Geotekniske undersøkelser, Datarapport, Kummeneje rapport K3954.
- TVEDTEN, S. 2008. Karakterisering av grunnvannsforekomster. Eksempler fra Melhus, Øyer, Voss og Lier. Norges Vassdrags- og Energidirektoriat.

- Bokmålsordboka, Nynorskordboka. 2015. [Online]. Universitetet i Oslo, Språkrådet. URL: <http://www.nob-ordbok.uio.no/perl/ordbok.cgi?OPP=konsesjon&bokmaal=+&ordbok=bokmaal> [24.02 2015].
- VAN BEEK, D. & GODSCHALK, B. 2013. Regulative framework in the Netherlands. Nederland.
- VANGKILDE-PEDERSEN, T. & NIELSEN, A. M. 2013. National rapport der omhandler ikke tekniske, dvs. administrative barrierer mod udnyttelse af overfladenær jordvarme til både opvarmning og køling. *Regeocities*. Danmark.
- VANNFORSKRIFTEN. 2006. *Forskrift om rammer for vannforvaltningen etter vannressursloven. Fastsatt ved kgl.res. 19.12.2006 med hjemmel i lov LOV-1981-03-13-6-§9, LOV-2000-11-24-82-§9, LOV-2000-11-24-82-§65, LOV-2008-06-27-71-§3-6, LOV-2008-06-27-71-§8-1, LOV-2008-06-27-71-§9-7* [Online]. URL: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446?q=vannforskriften> [05.05.2015].
- VANNRESSURSLOVEN. 2000. *Lov om vassdrag og grunnvann* [Online]. Lovdata. URL: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82?q=vannressursloven> [07.05.2015].
- VASSDRAGSREGULERINGSLOVEN. 1917. *Lov om vassdragsreguleringer* [Online]. Lovdata. URL: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1917-12-14-17?q=vassdragsreguleringsloven>.
- WEIGHT, W. D. & SONDEREGGER, J. L. 2008. *Manual of Applied Field Hydrogeology*, McGraw-Hill.
- WOLFF, F. C. 1976. *Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Trondheim 1:250 000*. Norges Geologiske Undersøkelse.

Vedlegg

Vedlegg A Konesjonssøking

Etter KTV-notat nr 72/2005 skal en søknad om konsesjon beskrive følgende (Kårstein et al., 2005):

- a) **Tiltakshavers og tiltakets navn og beliggenhet**
(kommune, fylke, eventuelt UTM-koordinater). Dersom det er flere tiltakshavere, skal alle deltakernes navn oppgis
- b) **Kort beskrivelse av hva det søkes om.**
- c) **Beskrivelse av den berørte grunnvannsforekomsten og eventuelt berørt vassdrag.**
Forekomstens egenskaper, topografi og utstrekning, avsetningstype med antatt mektighet og sammensetning, struktur og egenskaper i umettet sone, berggrunnsgeologi. I tillegg:
 - a. Resultater fra grunnundersøkelser
 - b. Beskrivelse av vesentlige inngrep som berører grunnvann og vassdrag i det aktuelle området, og deres tilstand før inngrep.
 - c. Kart med nedbørsfeltet som tiltaket og alle eksisterende inngrep inngår i. Kartets målestokk skal være i 1:50 000 og 1:5 000, og brukte stedsnavn skal kunne finnes på kart.
 - d. Hydrologiske data og beregninger. De viktigste data er antatt grunnvannsdannelse, vannkvalitet, nedbørens årstidsvariasjon, infiltrasjonsområder, naturlig avrenning og strømningsforhold. I tillegg bør det inngå en vurdering av forekomstens kapasitet, også under ekstreme værforhold. Søknad for større inngrep bør inneholde frekvensanalyser på nedbør/snødata og temperatur, analyser av vannbalansen og sesongvariasjoner. Hvis tiltaket er i tilknytning til et vassdrag skal det legges frem opplysninger om vannstands- og vannføringsvariasjoner i vassdraget.
- d) **Dagens arealbruk**

e) **Beskrivelse av tiltaket det søkes om**

Beskrivelse, fordeler og begrunnelse for valgt løsning av tiltak, med mulige alternative løsninger. I tillegg må konsekvenser hvis tiltaket ikke gjennomføres beskrives. Tekniske brønnsesifikasjoner med antall brønner, brønndybder, filterplassering, filterhøyde og nødvendige tegninger må inngå, med UTM-koordinater for brønnene. Resultater fra prøvepumping, beregninger av berørt grunnvannsmagasin. Planlagt vannuttak med sesongvariasjoner i driften, med midlere og maksimalt vannuttak i l/s, m³/dag, m³/uke og m³/år.

f) **Beskrivelse av forholdet til rettighetshavere**

Kartfesting og beskrivelse av grunneiere og eiendomsforhold og andre privatrettslige forhold. Beliggenhet og størrelse av arealer som må klausuleres og eventuelt eksproprieres.

g) **Beskrivelse av forhold til annet lovverk og andre forvaltningsmyndigheter**

Det skal være med en omtale av tiltakets søknadsstatus etter plan- og bygningsloven og en omtale av kontakt kommunale og andre myndigheter. I tillegg må det beskrives hvordan annet relevant lovverk, som kulturminneloven, laks- og innlandsfiskeloven og forurensningsloven, er ivare tatt. Det må oppgis om berørte vassdrag er vernet gjennom Verneplan for vassdrag. Oppgaveplikten til NGU må også dokumenteres.

h) **Konsekvenser/virkninger av tiltaket**

Her bør alle nedenfor nevnte punkter gjøres rede for, slik at en skal kunne sammenlikne forholdene i det berørte området før og etter gjennomføring av tiltak.

- Nytte og formål av tiltaket
- Endringer i kvalitet og mengde på grunnvannsforekomsten
- Påvirkning/skade på andre vannforsyningsinteresser
- Virkning på kvalitet og mengde av overflatevann og virkning på drenering av overflatevann eller våtmarker
- Virkning for forurensning og resipientforhold

-
- Virkning på naturverdier, som geologiske verdier, fauna og flora, våtmarker. Biologisk mangfold må omtales spesielt, med vekt på sårbare arter. Herunder går også særlig verneinteresser
 - Geotekniske konsekvenser, som setninger med bygningstekniske konsekvenser, skråningsstabilitet og liknende
 - Konsekvenser for berørte brukerinteresser, som ferdsel, fiske og friluftsliv
 - Konsekvenser for faste kulturminner
 - Konsekvenser for jord- og skogbruk, reindrift, utmarks- og annen næringsvirksomhet
 - Konsekvenser for samiske bruks- og bosetningsområder og deres samfunnsinteresser
 - Konsekvenser for utnyttelse av mineral- og masseforekomster

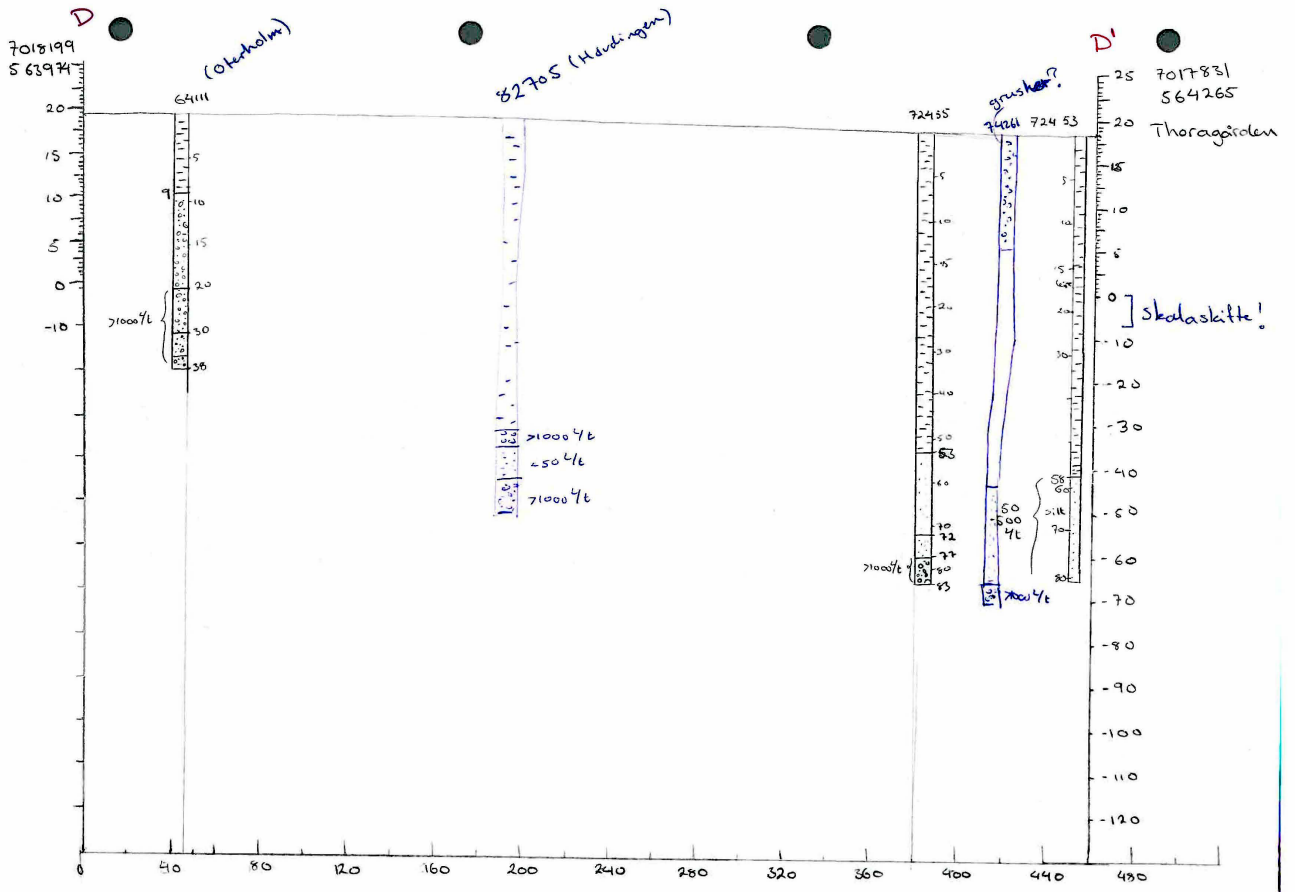
i) Avbøtende og kontrollerende tiltak

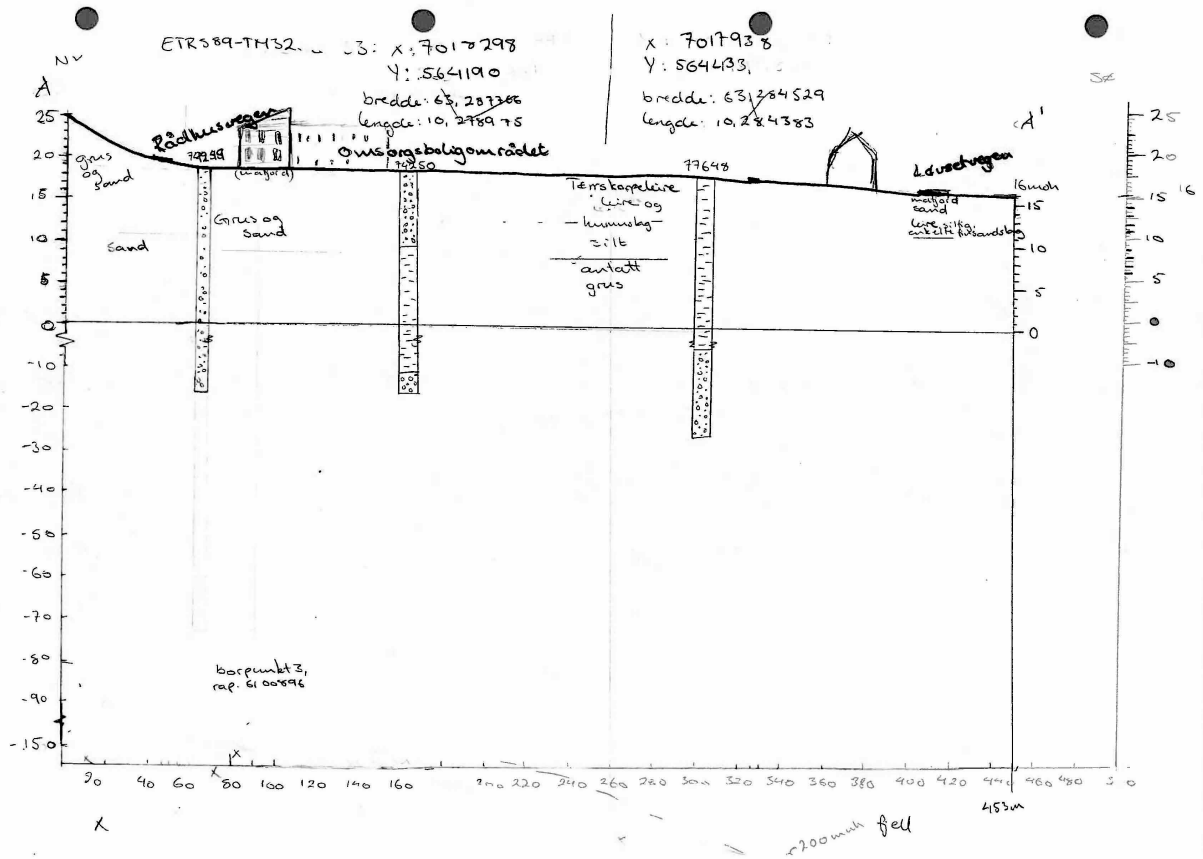
Det skal redegjøres for hvilke tiltak som planlegges iverksatt for å kontrollere og hindre at grunnvannsmagasinet tåleevne ikke overskrides. Dette kan være peilebrønner for overvåking av grunnvannsnivået, eller jevnlig vannanalyser for overvåking av vannkjemi.

Ved en eventuell tillatelse av NVE vil de normalt fastsette et sett med vilkår for tillatelsen, som å pålegge tiltakshaver oppfølgende undersøkelser og kontroller.

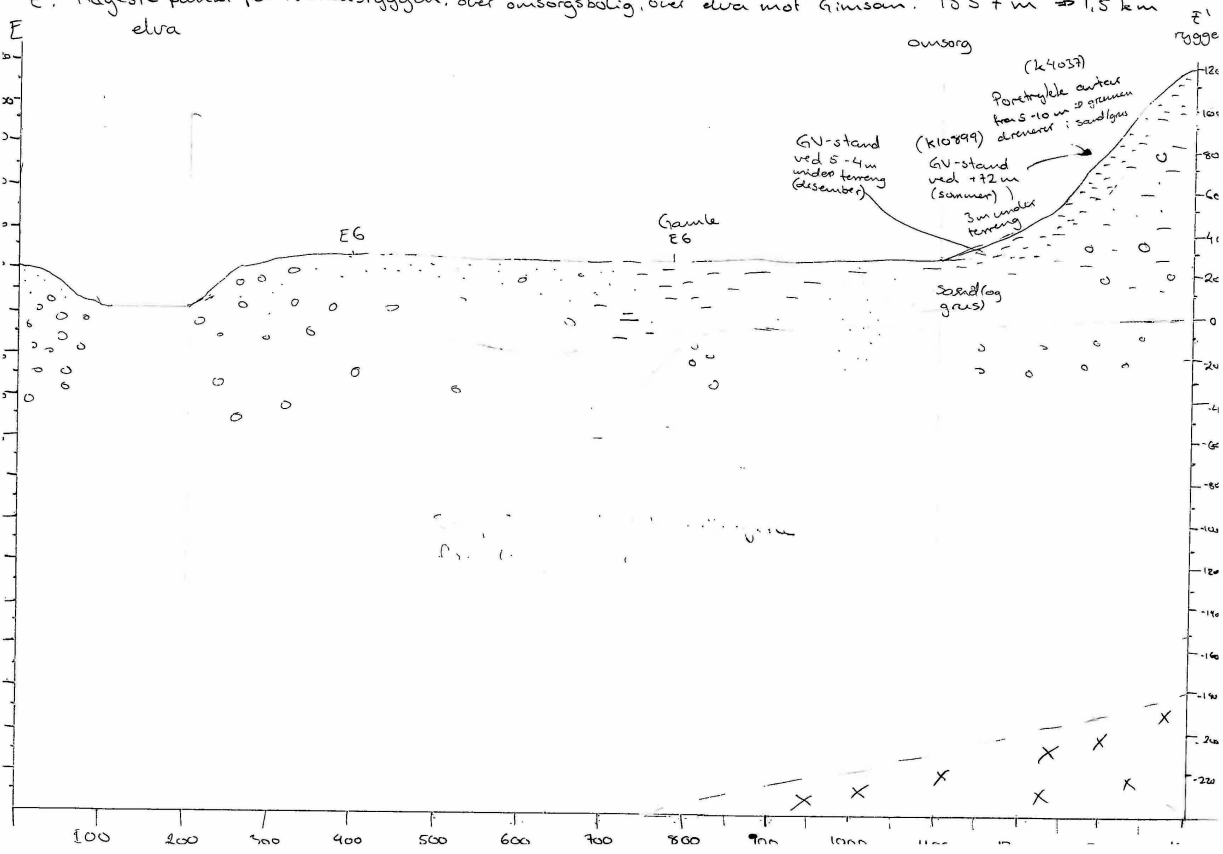
Vedlegg B SubSurface Viewer

Vedlegg B.a) Utklipp håndtegninger





E. Høgeste punkt for Mellusryggen, over omsorgsbolig, over elva mot Gimsan: 1557 m → 1,5 km elva

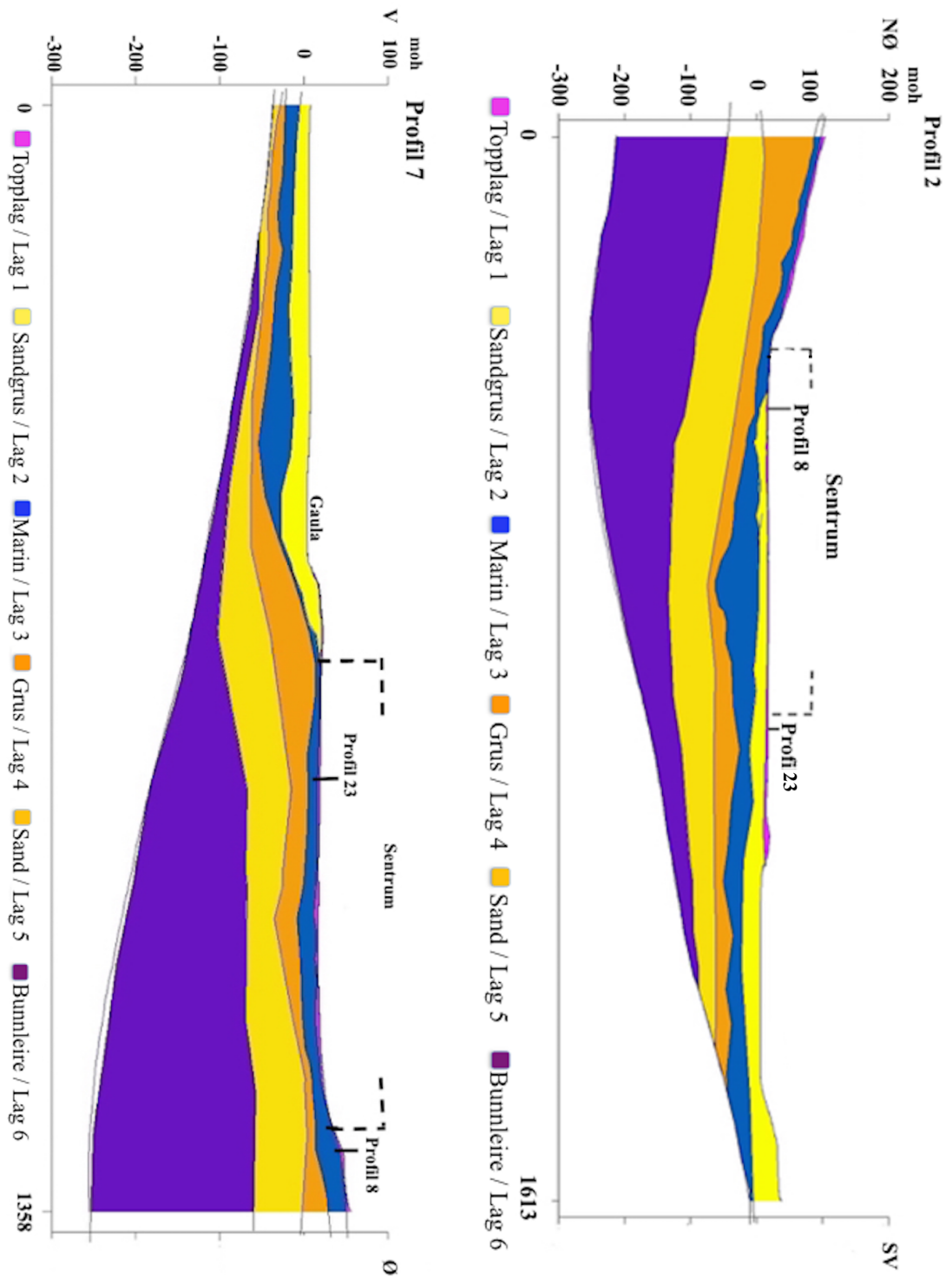


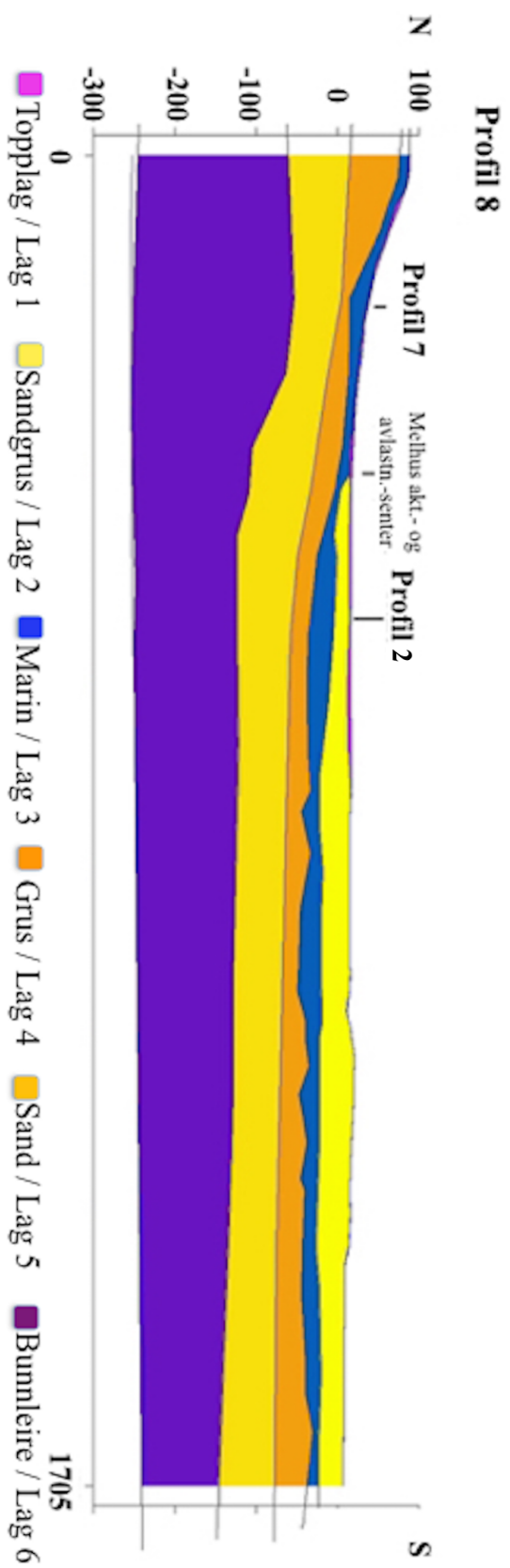
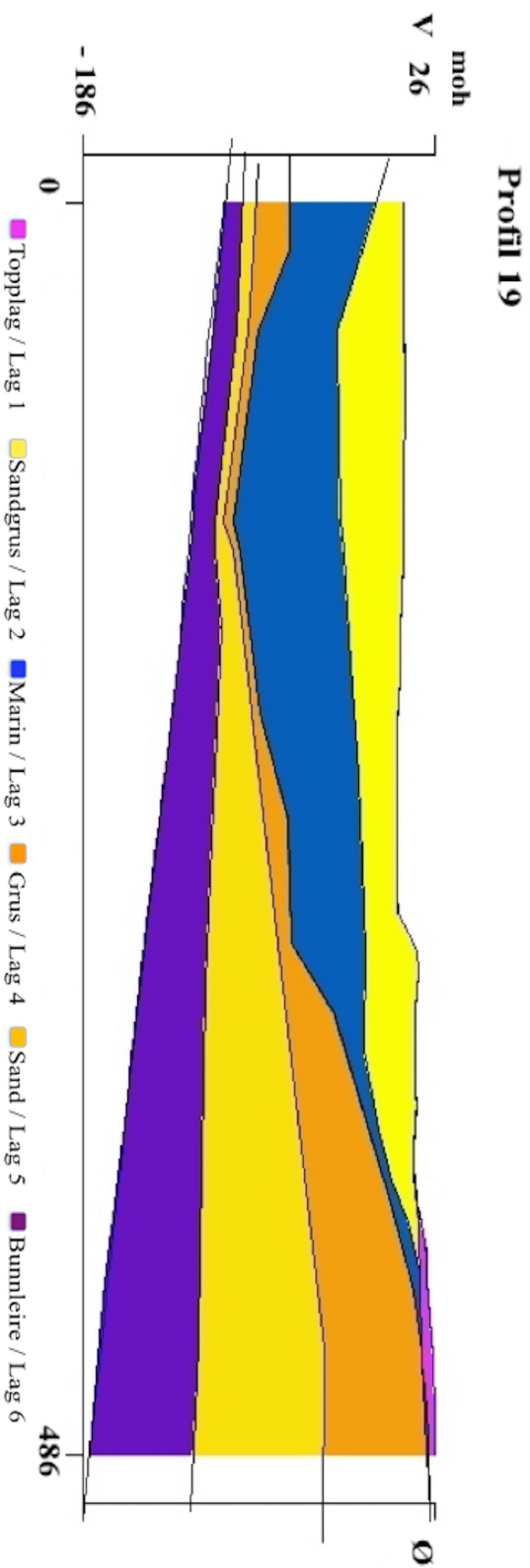
Vedlegg B.b) Borelogger til SubSurface Viewer

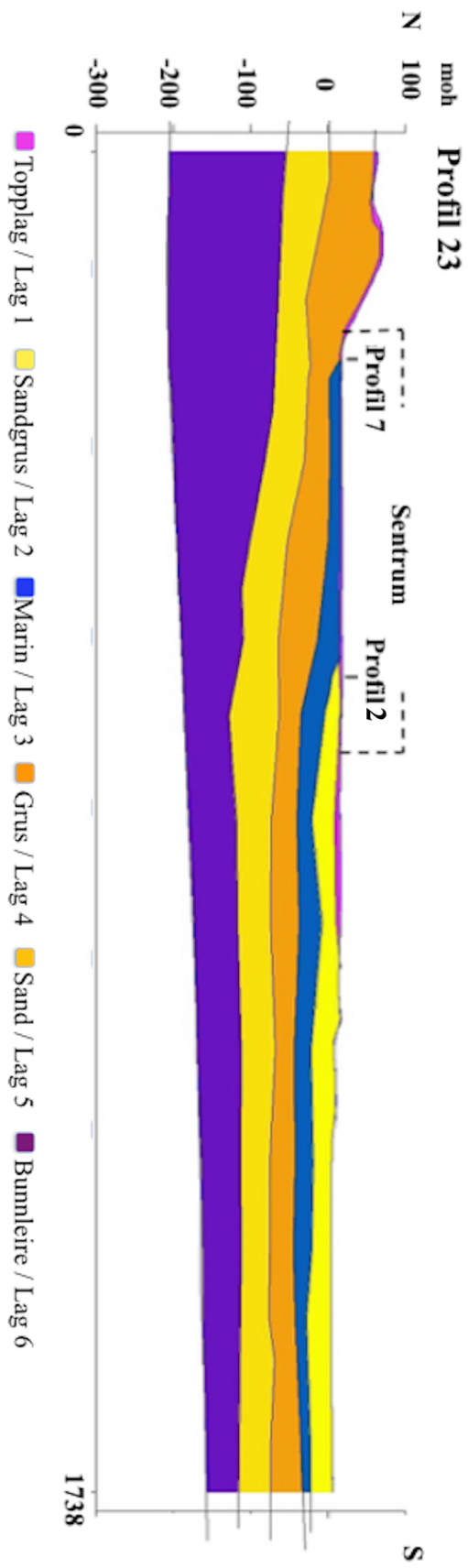
ID	Easting	Northing	Z	Bygg / Rapport	Løsmassefordeling	
213587	564452	7018045	19,6	Melhus akt.- og avl.-senter	Fra overflate	
					0 - 15	siltig sand
					0 - 25	grus
					0 - 34	grus
211709	564358	7018231	23,5	Lena terrasse		
					0 - 14	leire
					14 - 40	grus
211672	564415	7018135	25,4	Lena terrasse		
					0 - 14	silt
					24 - 40	grus
213592	564086	7018131	17,9	Melhuset		
					0 - 30	silt
					30 - 40	grus
491000	564298	7017367	16,1			
505039	564219	7018044	18,1	Idégården		
					0 - 55	Leire
					55 - 65	Grus
505044	564242	7018070	17,8	Idégården		
					0 - 42	Leire
					42 - 60	Grus
525811	563498	7017914	14,1	Idrettsbygg	0 - 34	Leire
539452	563477	7017968	12,6		34 -	Fjell
605341	563991	7018124	18,1	Oterholmgården		
					0 - 17	Leire
					17 - 19	Sand
					19 - 23	Marin
					23 - 30	Grus
						Grus
605348	563996	7018158	17,9	Oterholmgården		
					0 - 9	Leire
					9 - 20	Sand
					20 - 38	Grus
652312	564255	7017848	17,5	Thoragården		
					0 - 63	Leire
					63 - 82	Sandsilt
					82 - 87	Grus
						Grus
652315	564211	7017898	18,4	Thoragården		
					0 - 53	Leire
					53 - 77	Sandsilt
					77 - 83	Grus
						Grus
709219	564203	7017856	17,7	Thoragården		
					0 - 63	Leire
					63 - 82	Sand
					82 - 87	Grus
						Grus
709240	564257	7018096	17,4	Buen sykehjem		
					0 - 36	Leire
					35 - 38	Sand
					38 - 45	Grus
709246	564212	7018157	16,6	Buen sykehjem	0 - 9	Sand

					9 - 28	Leire
					28 - 33	Grus
709250	564160	7018234	17,1	Buen sykehjem		
					0 - 33	Grus
783719	564436	7017994	16,9	Melhus akt.- og avl.-senter		
					0 - 10	grus
					10 - 20	leire
					20 - 43	grus
765537	564292	7018063	17,5	Buen sykehjem		
					0 - 21	Leire
					21 - 42	grus
225260	564139	7018215	17,2	Buen sykehjem		
					0 - 26	Leire
					26 - 36	Sand
					36 - 42	Grus
						Grud
						Grus
211696	564294	7018267	19,9	Lena Terrasse		
					0 - 12	siltig leire
					12 - 40	grus
542	563666	7017884	8	6061142 (elveban Lenamelen)	0 - 2	Leire
					2 - 4	Sand og grus
					4 - 7	Leire
					7 - 30	Grus
734	563578	7018396	7	412665 (Varmbu)	0 - 20	Sand og grus
					20 - 50	Leire
694	563209	7018431	6,3	515490 (Gimse)		
					0 - 9	sand og grus
211	565519	7017431	145,5	7008 (Loddgardstrøa)	tynt dekke	silt
						leire
393	565614	7017927	140	7273 (Loddgardstrøa)	tynt dekke	sand
767	563896	7018435	25,4	6120853 (vest for M-ryggen)		
					0 - 3	silt og leire
					0 3 - 4	sandig grus
					0 9 - 25	grus
306	564690	7018181	71,4	10899 (Melhusryggen)	0 - 13	meget fast leire
						sand- og siltlag
359	564523	7018360	76,5	4037 (Melhusryggen)	0 - 4	tørskropeleire
					0 4 - 14	leire

Vedlegg B.c) Store profil





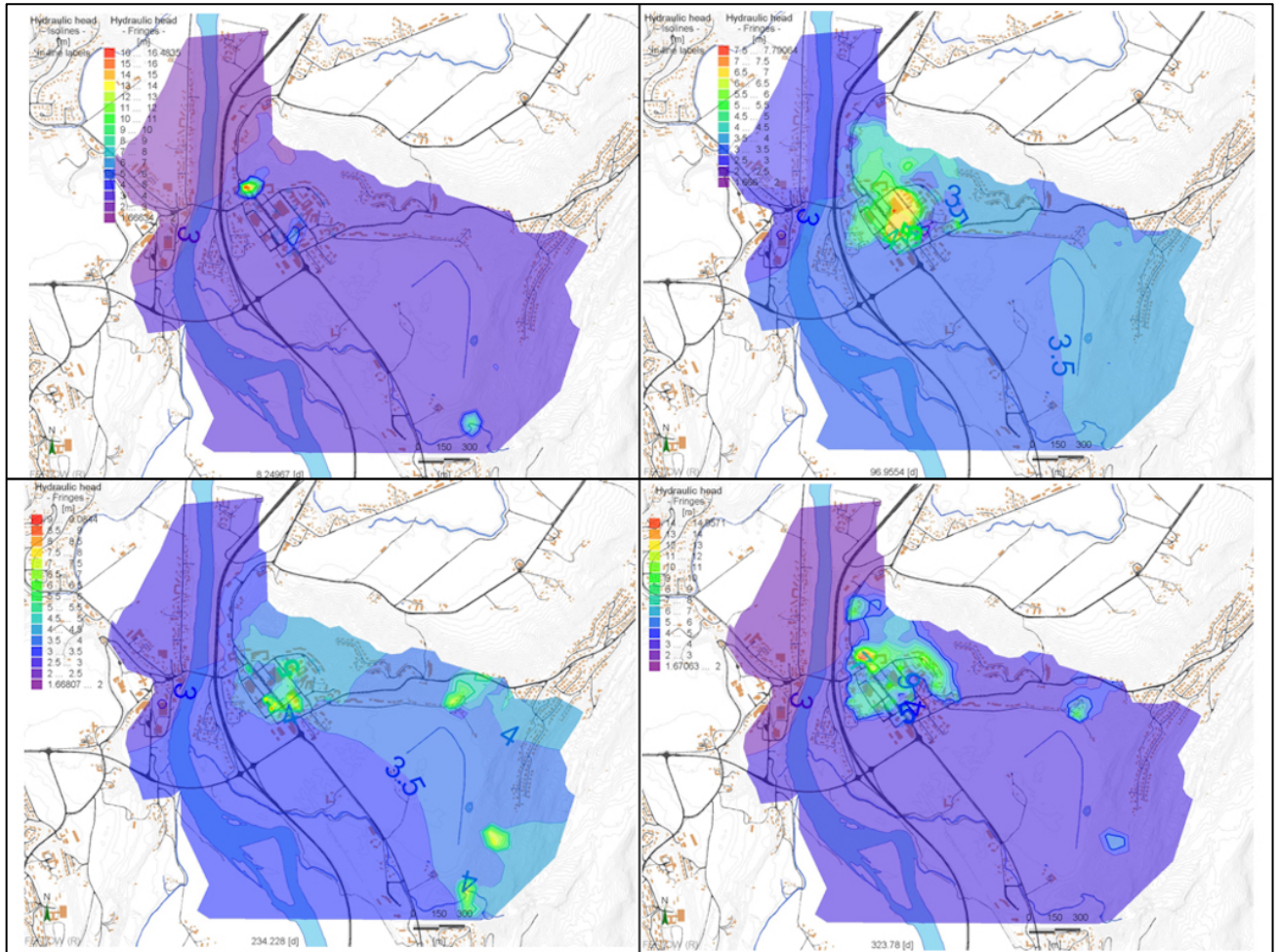


Vedlegg C FEFLOW

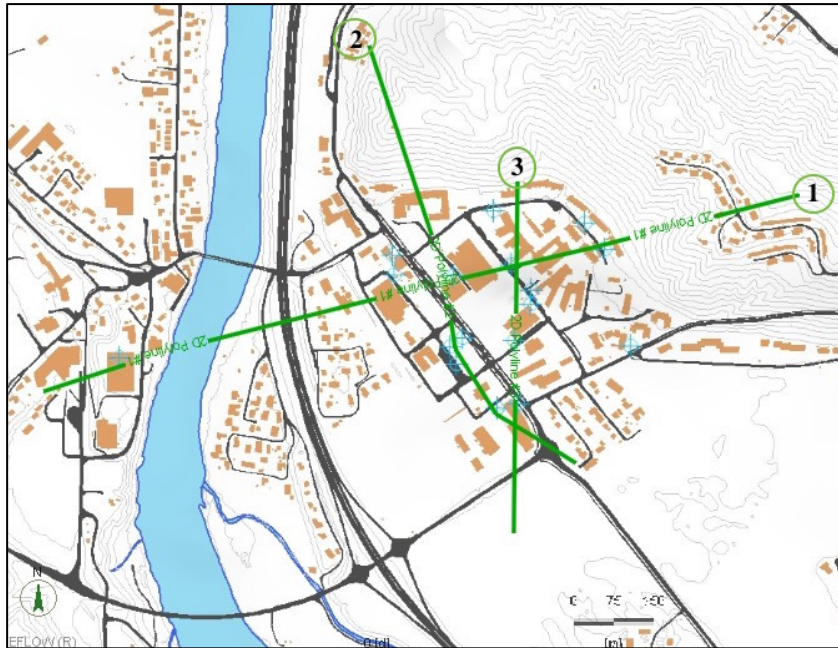
Vedlegg C.a) Tekniske data til FEFLOW

Anlegg	UTM_X	UTM_Y	Z	Brønn	Filterlengde	moh filterbunn	moh filtertopp	Brønnrørradius	Pumpeeffekt	Tinn - Tut
			moh					m	L/s	gr. C
Lena	564388,869	7018171,022	25	Tur	5	-15	-10	0,16	15	3
	564351,107	7018221,246	22	Retur	10	-18	-8	0,16	15	
Thoragården	564208,563	7017893,17	18	Tur	4	-65	-61	0,16	9	3
	564187,407	7017874,312	18	Retur	4	-69	-65	0,16	9	
Melhuset	564105,88	7018123,209	18	Tur	4	-22	-18	0,16	7	3
Oterholmgården	563990,009	7018162,279	18	Tur	4	-20	-16	0,16	5,7	3
	563994,2	7018124,741	18	Retur	4	-12	-8	0,16	5,7	
Lenavegen 3	564436,54	7017989,997	18	Tur	3,5	-25	-21,5	0,16	16,7	3
Buen sykehjem	564143,817	7018236,066	18	Tur	3	-15	-12	0,16	7,1	3
	564250	7018099	18	Retur	4	-27	-23	0,16	3,5	
	564214	7018147	18	Retur	2	-15	-13	0,16	3,5	
Høvdingen	564122	7018005	18	Tur	3	-47	-44	0,193	7,5	4
	564110	7017957	18	Retur	3	-42	-39	0,193	3,25	
	564099	7017989	18	Retur	3	-51	-48	0,193	3,25	
Idégården	564249,09	7018069,046	18	Tur	14	-42	-28	0,16	9,6	3
	564218,792	7018001,162	18	Retur	9	-47	-38	0,16	9,6	
Gimse	563477	7017968	20	Tur	4	-14	-10	0,25	23,6	3
						Sum uttak			101,2	
						Sum infiltrasjon			52,8	
						Netto uttak			48,4	
						gjennomsnitt			9,7	

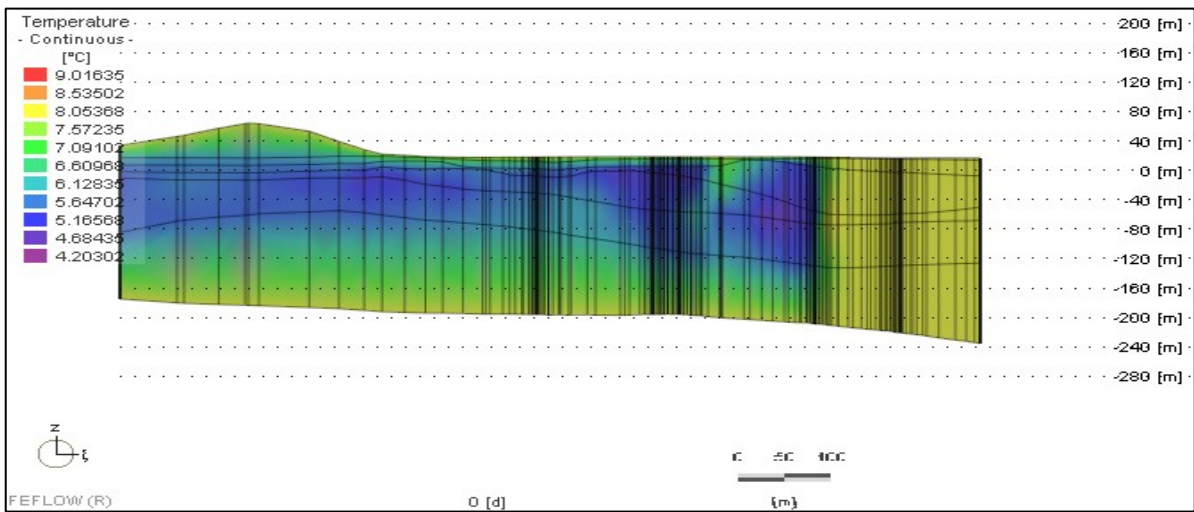
Vedlegg C.b) *Hydraulisk potensial i høyere lag gjennom et år.*



Vedlegg C.c) Kuldeoverføringstverrsnitt.

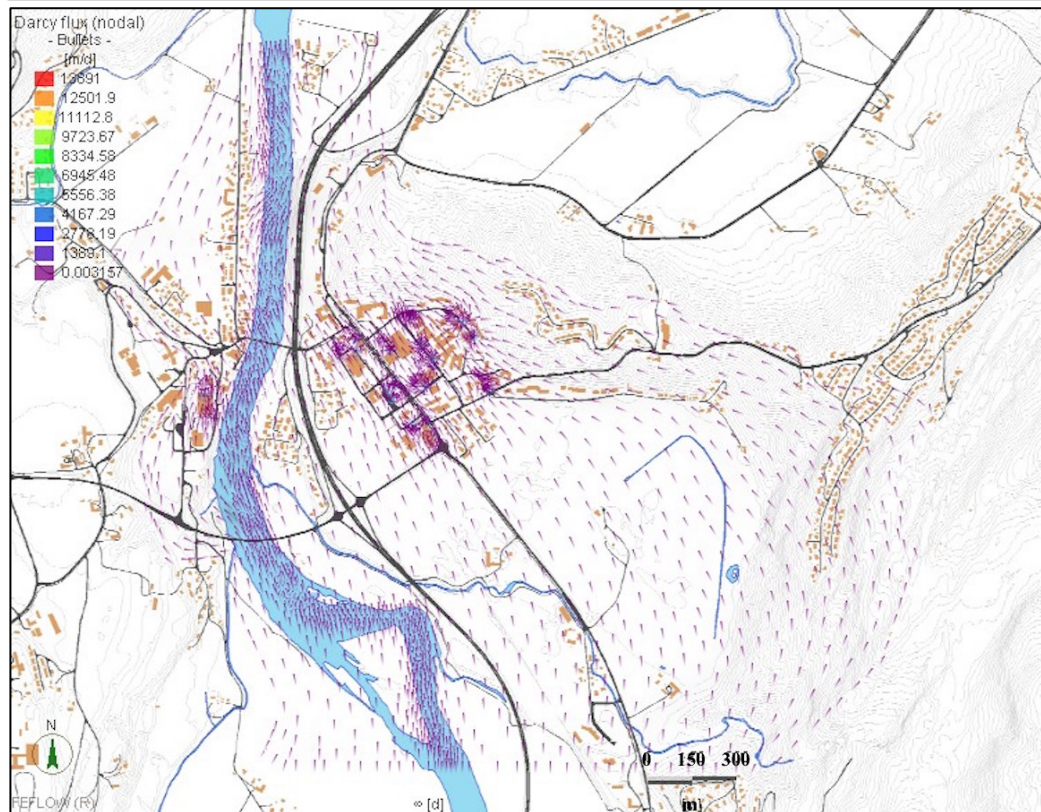
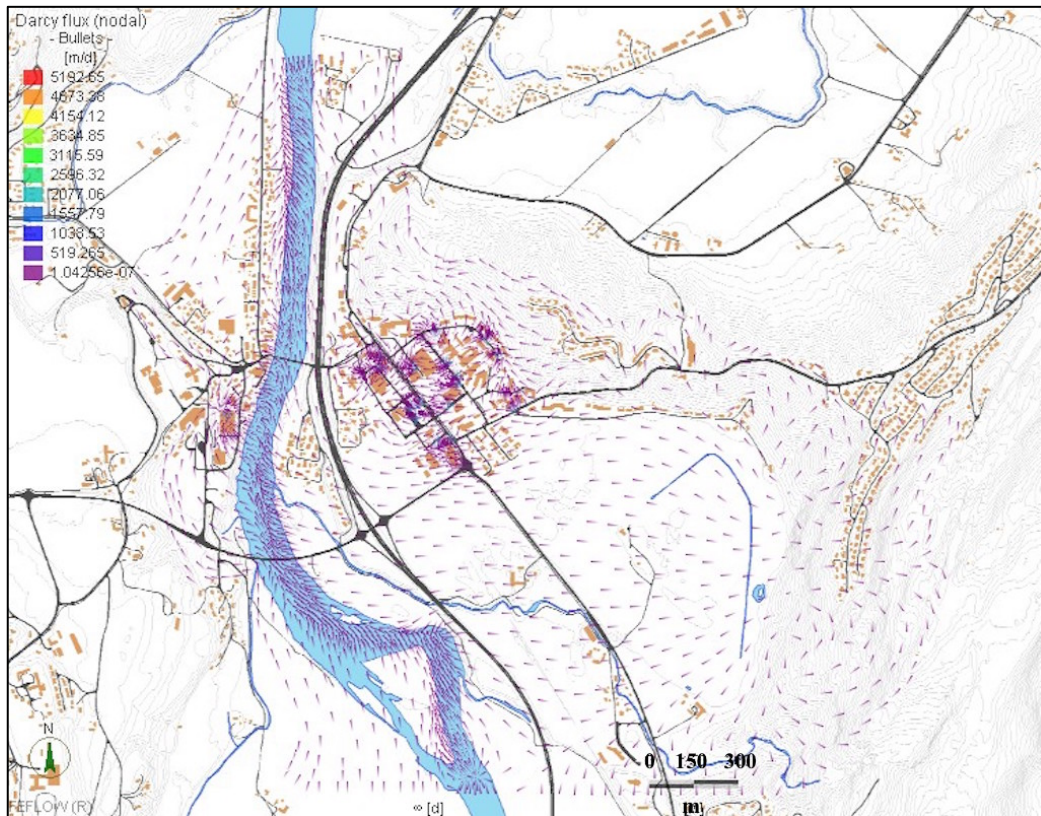


Profil 2



Vedlegg C.d) Darcy-fluks: grunnvannsstrømning

Øverst: Lagflate 2 (Sandgrus). Nederst: Lagflate 4 (Grus).



Vedlegg D Resultat fra analyse av vannprøver



Postadr.: 7491 Trondheim
Besøksadresse:
Leiv Eirikssons vei 39
Tlf.: 73 90 40 00
Telefaks: 73 92 16 20

ANALYSERAPPORT

ANALYSEKONTRAKT NR.: 2014.0216
NGU PROSJEKT NR.: 357200

OPPDRAGSGIVER: NGU, Melhus grunnvarme

ADRESSE:

TLF.:

KONTAKTPERSON: Gaute Storrø

PRØVETYPE: VANN

ANTALL PRØVER: 25

IDENTIFIKASJON AV PRØVER: I følge liste fra oppdragsgiver

PRØVER MOTTATT: 06.10.2014

ANMERKNINGER: Ingen

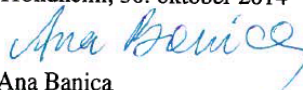
SPEKIFIKASJON AV OPPDRAGET I HENHOLD TIL ANALYSEKONTRAKT:

METODE	DOKUMENTASJON *)	OMFATTES AV AKKREDITERING
ICP-AES-kationanalyse	NGU-SD 3.1	Nei
IC	NGU-SD 3.4	Nei

Denne rapporten inneholder i alt 7 sider. Gjengivelse av analysedata skal skje på en slik måte at meningsinnholdet i rapporten ikke endres.

Alle forhold ved prøvetaking, behandling og transport av prøvene før innlevering til NGU-Lab er underlagt oppdragsgivers ansvar. Analyseresultater framlagt i denne rapporten refererer derfor kun til det prøvematerialet som er mottatt av NGU-Lab.

Trondheim, 30. oktober 2014


Ana Banica

*) Fortegnelse over dokumentasjon finnes i NGU-Labs Kvalitetshåndbok, NGU-SD 0.1, som kan rekvireres fra NGU-Labs sekretariat.



7491 TRONDHEIM
 Tlf.: 73 90 40 00
 Telefaks: 73 92 16 20

ICP-AES ANALYSER
 VANN
 ANALYSEKONTRAKTNR. 2014.0216

INSTRUMENT:

ICP-AES type Perkin Elmer Optima 4300 Dual View

METODE:

Metodopsettet er beskrevet i NGU-SD 3.1: ICP-AES -analyse av vann

NEDRE BESTEMMELSESGRENSER (LLQ) OG HØYESTE MÅLEOMRÅDE VED VANNANALYSER

(For vannprøver som fortynnes blir deteksjonsgrensene automatisk omregnet) (1 mg/l = 1 ppm)

	Si	Al	Fe	Ti	Mg	Ca	Na	K	Mn	P	Cu	Zn	Pb	Ni	Co	V
LLQ	0.02	0.02	0.002	0.001	0.05	0.02	0.05	0.5	0.001	0.05	0.005	0.002	0.005	0.005	0.001	0.005
Høyeste målegrense	5	50	50	5	100	100	250	20	5	10	5	5	5	5	5	5
	Mo	Cd	Cr	Ba	Sr	Zr	Ag	B	Be	Li	Sc	Ce	La	Y	As	Sb
LLQ	0.005	5E-04	0.002	0.002	0.001	0.002	0.005	0.02	0.001	0.005	0.001	0.02	0.005	0.001	0.01	0.005
Høyeste målegrense	5	10	50	5	5	5	1	5	5	5	5	5	5	5	20	5
	(Se)	(Sn)														
LLQ	0.01	0.01														
Høyeste målegrense	10	10														

ANALYSEUSIKKERHET:

NBI Analyse for Se og Sn leveres kun på forespørsel.

i) Nedre måleområde (LLQ - 5*LLQ):

± 50 rel. %: As, Sb (Se, Sn) ± 37.5 rel. %: K, Pb

± 25 rel. %: Ag, Al, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, La, Li, Mg, Mo, Mn, Na, Ni, P, Si, Se, Sr, Ti, V, Y, Zn, Zr

ii) Øvre måleområde (> 5*LLQ):

± 20 rel. %: As, Sb (Se, Sn) ± 15 rel. %: K, Pb

± 10 rel. %: Ag, Al, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, La, Li, Mg, Mo, Mn, Na, Ni, P, Si, Se, Sr, Ti, V, Y, Zn, Zr

Oppgitte usikkerheter har dekningsfaktor 2 (2 standardavvik), noe som tilsvarer et konfidensintervall på 95 %.

NBI i området LLQ - 2*LLQ kan usikkerheten overstige gitt verdi.

Det analyseres rutinemessig kontrollprøver som føres i kontrolldiagram (X-diagram). Disse kan forevises om ønskelig.**PREISISJON:**

25

ANTALL PRØVER:**ANMERKNINGER:**

Prøvetypen (Grunnvarme-vann) omfattes ikke av akkreditering, derfor rapporteres oppdraget uakkreditert.

Noen prøver har Na konsentrasjoner høyere enn høyest målegrense (250 ppm).

Type prøveforbehandling anmerkes med S, for surgjøring og F, for filtrering, mens suksessene "felt" eller "lab" angir hvor ble det prøvene behandlet.

Gjengivelse av analysedata skal skje på en slik måte at meningsinnholdet i rapporten ikke endres.

Ferdig analysert	28.okt.14	Ruikai Xie/Haaga Agasøster Kristian
	Dato	OPERATØR

//Filijty_perm/Lab/ICP_AES/Data/20140216_ICP_AES

Forside_ICP-AES (Rapportmal ver. 7.4 av 04.03.2014)

Delrapport ICP-AES-1



7491 TRONDHEIM
Tlf.: 73 90 40 00
Telefaks: 73 92 16 20

ICP-AES ANALYSER
VANN
ANALYSEKONTRAKTNR. 2014.0216

Prøve ID	Si [mg/L]	Al [mg/L]	Fe [mg/L]	Ti [mg/L]	Mg [mg/L]	Ca [mg/L]	Na [mg/L]	K [mg/L]	Mn [mg/L]	P [mg/L]	Cu [mg/L]	Zn [mg/L]	Pb [mg/L]	Ni [mg/L]	Co [mg/L]	V [mg/L]
79315_S lab	4.40	<0.02	2.00	<0.001	19.2	144	51.7	8.06	0.620	<0.05	<0.005	0.0021	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79316_S lab	4.20	<0.02	0.529	<0.001	48.5	62.8	479	15.6	0.150	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79317_S lab	4.20	<0.02	2.81	<0.001	23.2	103	271	10.4	0.500	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79318_S lab	3.08	<0.02	0.748	<0.001	16.2	24.4	213	7.05	0.191	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79319_S lab	3.87	<0.02	1.45	0.0013	18.1	36.0	135	7.55	0.241	<0.05	<0.005	0.0156	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79315_F/S lab	4.05	<0.02	<0.002	<0.001	18.4	139	48.9	7.64	0.597	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79316_F/S lab	4.06	<0.02	<0.002	<0.001	48.5	63.1	469	15.4	0.156	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79317_F/S lab	4.30	<0.02	<0.002	<0.001	25.1	112	285	11.1	0.523	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79318_F/S lab	3.66	<0.02	<0.002	<0.001	19.7	29.8	251	8.43	0.206	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79319_F/S lab	3.89	<0.02	<0.002	<0.001	19.1	38.1	139	7.82	0.243	<0.05	<0.005	0.0066	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79320_F-S feitt	4.24	<0.02	0.100	0.0012	19.2	147	44.6	8.99	0.570	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	0.0253	0.0024	<0.005
79321_F-S feitt	4.90	<0.02	2.02	<0.001	26.5	51.8	165	9.48	0.375	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79322_F-S feitt	5.65	<0.02	3.97	0.0011	30.1	131	366	13.4	0.658	<0.05	0.0080	<0.002	<0.005	0.0282	<0.001	<0.005
79323_F-S feitt	3.96	<0.02	0.831	<0.001	19.3	29.3	268	8.58	0.212	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79324_F-S feitt	4.78	<0.02	0.528	<0.001	52.6	68.3	550	17.6	0.171	<0.05	<0.005	0.0026	<0.005	0.0163	<0.001	<0.005
79320_F/S lab	4.14	<0.02	<0.002	<0.001	18.5	145	11.9	8.72	0.527	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	0.0227	0.0018	<0.005
79321_F/S lab	4.42	<0.02	<0.002	<0.001	24.3	48.5	147	8.81	0.344	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79322_F/S lab	4.95	<0.02	<0.002	<0.001	27.5	122	324	12.2	0.605	<0.05	<0.005	0.0030	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79323_F/S lab	3.88	<0.02	<0.002	<0.001	19.9	29.8	263	8.58	0.210	<0.05	<0.005	0.0032	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79324_F/S lab	4.81	<0.02	<0.002	<0.001	54.9	71.8	553	18.1	0.173	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	0.0166	<0.001	<0.005
79325_Feitt/S lab	4.29	<0.02	0.0026	0.0011	21.2	159	55.2	10.8	0.794	<0.05	<0.005	0.0564	<0.005	0.0193	0.0012	<0.005
79326_Feitt/S lab	5.03	<0.02	<0.002	<0.001	26.4	138	341	12.5	0.722	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79325_F/S lab	4.36	<0.02	<0.002	0.0011	21.5	162	56.1	11.2	0.775	<0.05	<0.005	0.0609	<0.005	0.0190	0.0014	<0.005
79326_F/S lab	4.65	<0.02	<0.002	<0.001	24.3	126	316	11.4	0.672	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
91011_Feitt/S lab	2.42	0.077	0.0238	<0.001	1.04	8.87	2.89	1.59	<0.001	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005

*Lena Terrasse
Thorvald
i de gamle
Mellumet
Osterheim
Osterheim
i de gamle
Mellumet
Thorvald*

INSTRUMENT:
METODE:
Dionex Ionkromatograf ICS-1100

Metodeoppsettet er beskrevet i NGU-SD 3.4: IC-analyse av anioner

NEDRE BESTEMMELSESGRENSER (LLQ) OG ANALYSEUSIKKERHETER (1 mg/l = 1 ppm):

	F	Cl ⁻	NO ₂ ⁻ *	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
LLQ, mg/l:	0.05	0.1	0.1	0.1	0.25	0.4	0.2
INFO: laveste måleområde, mg/l	0.05 - 1.0	0.10 - 1.0	0.10 - 1.0	0.10 - 1.0	0.25 - 2.5	0.40 - 4.0	0.20 - 2.0
Usikkerhet (laveste måleområdet)	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
INFO: høyeste måleområde, mg/l	1.0 - 2.0	1.0 - 8.0	1.0 - 8.0	1.0 - 8.0	2.5 - 20	4.0 - 20	2.0 - 20
Usikkerhet (høyeste måleområde)	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %

Oppgitte usikkerheter har dekningsfaktor 2 (2 standardavvik), noe som tilsvarer et konfidensintervall på 95 %.

 *) NGU-lab er ikke akkreditert for NO₂⁻
PRESISJON :

Det analyseres rutinemessig kontrollprøver som føres i kontrollidiagram (X-diagram). Disse kan forevises om ønskelig.

ANTALL PRØVER:

13

ANMERKNINGER:

Prøvetypen (Grunnvarme-vann) omfattes ikke av akkreditering, derfor rapporteres oppdraget uakkreditert. Noen av prøvene måtte også fortynnes så mye som 150 ganger for å få klorid innenfor måleområde.

Gjengivelse av analysedata skal skje på en slik måte at meningsinnholdet i rapporten ikke endres.

Ferdig analysert

24. okt. 2014

Marit Sigrid Halle

Dato

OPERATØR

Prøve ID	F mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Br ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	PO ₄ ³⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l
79315	0,0751	131	<0,1	0,456	0,262	<0,4	160
79316	<0,05	944	<0,1	3,28	<0,25	<0,4	190
79317	<0,05	576	<0,1	1,98	0,274	<0,4	169
79318	0,736	388	<0,1	1,39	0,253	<0,4	95,5
79319	0,713	191	<0,1	0,647	0,359	<0,4	70,5
79320	0,0681	112	<0,1	0,389	0,321	<0,4	175
79321	0,599	214	<0,1	0,752	0,311	<0,4	78,3
79322	0,193	578	<0,1	1,98	0,278	<0,4	172
79323	0,712	389	<0,1	1,33	<0,25	<0,4	96
79324	<0,05	961	<0,1	3,34	0,256	<0,4	196
79325	0,0530	128	<0,1	0,432	<0,25	<0,4	195
79326	<0,05	576	<0,1	1,95	<0,25	<0,4	171
91011	<0,05	2,30	<0,1	<0,1	0,328	<0,4	8,15

Vedlegg E Digitale vedlegg, ZIP-fil

Vedlegg E.a) Kwartærgeologisk modell

Inneholder:

- Manual til SubSurface Viewer med installasjonslink til en gratis reader-versjon av programmet
- Lesbar versjon av den kvartærgeologiske modellen
- Alle de modellerte lagene som .shp-fil (shapefil)
- Borehullsinformasjon brukt i prosjektet

Vedlegg E.b) Hydrogeologiske modell

Inneholder:

- Installasjonslink av FEFLOW (fullversjon, hvor viewer-versjonen vil fungere uten lisens)
- To modeller: stasjonær og transient
- De brukte inputdataene