



GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·

NGU RAPPORT 2022.024

Optimal ressursutnyttelse av
grunnvann til varme og kjøling i
Melhus og Elverum (ORMEL 1 og 2):
Sluttrapport fra prosjektene



Rapport nr.: 2022.024		ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)		Gradering: Åpen	
Tittel: Optimal ressursutnyttelse av grunnvann til varme og kjøling i Melhus og Elverum (ORMEL 1 og 2): Sluttrapport fra prosjektene					
Redaktører: Guri Venvik, Atle Dagestad, Randi K. Ramstad, Bjørn Frøngstad Bidragstere: Gunnhild Storbekkrønning Solli Mari Helen Riise, Lars Aaberg Stenvik, Sondre Gjengedal, Bernt Olav Hilmo, Henrik Holmberg, Trygve Eikevik, Morten Børseth, Hans Erik Skari og Heidi Erikstad			Oppdragsgiver: Regionale Forskningsfond Midt-Norge (RFF Trøndelag)		
Fylke: Trøndelag og Innlandet			Kommune: Melhus og Elverum		
Feltarbeid utført: 2016-2021		Rapportdato: Desember 2022		Prosjektnr.: 363200	Ansvarlig: Siw Taftø
Sammendrag <p>ORMEL-prosjektet er i mål. ORMEL står for «Optimal ressursutnyttelse av grunnvann til varme og kjøling i Melhus og Elverum» og er støttet av Regionale forskningsfond Midt-Norge. Kommunene Melhus og Elverum har store grunnvannsressurser og er foregangskommuner ved bruk av oppumpet grunnvann som varmekilde til varmepumper. Fra oppstarten av prosjektet i 2015 og ut 2018 er det blitt gjort omfattende kartlegging av grunnvannsressursene i sentrumsområdene i de to kommunene. Vi har studert driftsforhold ved eksisterende grunnvarmeanlegg og har på grunnlag av det utarbeidet klare forbedringsforslag til hvordan anleggene skal utformes, driftes og vedlikeholdes. Prosjektdeltakerne har i tillegg til Melhus (prosjekteier) og Elverum kommuner, vært instituttene Geovitenskap og petroleum (prosjektledelse) og Energi- og prosesseteknikk ved NTNU, Norges geologiske undersøkelse og konsulentselskapet Asplan Viak. Nøkkelen til de gode resultatene er det unike samarbeidet internt i prosjektgruppen, med eierne av grunnvarmeanleggene og med institutt for Energiteknikk ved Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm.</p> Hovedproblemstilling Hovedmålet i ORMEL har vært å fremskaffe et faglig solid og bærekraftig grunnlag for optimal utnyttelse og forvaltning av grunnvannsressursene i de to kommunesentrene. Dette er blant annet gjort gjennom et omfattende boreprogram, testing og modellering. Manglende kartlegging av selve grunnvannsressursene, samt varierende erfaring og kompetanse ved bruk av grunnvann til energiformål har tidligere vært begrensende faktorer for utnyttelse av denne fornybare energiressursen. Data innhentet i prosjektene ligger tilgjengelig i NGUs Nasjonale grunnvannsdatabase Granada (ngu.no), knyttet til tilhørende brønner.					
Emneord					
Grunnvarme		Grunnvann		Energi	
Ressurs		Kartlegging		Hydrogeologi	

Utvidet sammendrag ORMEL¹

Av Randi Kalskin Ramstad, Sondre Gjengedal, Bjørn Frengstad, Bernt Olav Hilmo, Atle Dagestad, Mari Helen Riise, Henrik Holmberg, Guri Venvik, Trygve Eikevik, Morten Børseth og Hans Erik Skari

ORMEL-prosjektet er i mål. ORMEL står for «Optimal ressursutnyttelse av grunnvann til varme og kjøling i Melhus og Elverum» og er støttet av Regionale forskningsfond Midt-Norge. Kommunene Melhus og Elverum har store grunnvannsressurser og er foregangskommuner ved bruk av oppumpet grunnvann som varmekilde til varmepumper. Fra oppstarten av prosjektet i 2015 og ut 2018 er det blitt gjort omfattende kartlegging av grunnvannsressursene i sentrumsområdene i de to kommunene. Vi har studert driftsforhold ved eksisterende grunnvarmeanlegg og har på grunnlag av det utarbeidet klare forbedringsforslag til hvordan anleggene skal utformes, driftes og vedlikeholdes. Prosjektdeltakerne har i tillegg til Melhus (prosjekteier) og Elverum kommuner, vært instituttene Geovitenskap og petroleum (prosjektledelse) og Energi- og prosesseteknikk ved NTNU, Norges geologiske undersøkelse og konsultentselskapet Asplan Viak. Nøkkelen til de gode resultatene er det unike samarbeidet internt i prosjektgruppen, med eierne av grunnvarmeanleggene og med institutt for Energiteknikk ved Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm.

Hovedproblemstilling

Hovedmålet i ORMEL har vært å fremskaffe et faglig solid og bærekraftig grunnlag for optimal utnyttelse og forvaltning av grunnvannsressursene i de to kommunesentrene. Dette er blant annet gjort gjennom et omfattende boreprogram, testing og modellering. Manglende kartlegging av selve grunnvannsressursene, samt varierende erfaring og kompetanse ved bruk av grunnvann til energiformål har tidligere vært begrensende faktorer for utnyttelse av denne fornybare energiressursen.

De viktigste resultatene

I Melhus sentrum er grunnvannsressursen så stor at den bør utnyttes kommersielt og i stor skala. Potensialet for varmeuttak fra grunnvannet i Melhus sentrum estimeres til å være mellom 5-10 MW og 15-30 GWh/år avhengig av hvordan anleggene driftes. Potensialet for kjøling er minst like høyt. Uansett er dette rikelig for å dekke varme- og kjølebehovet i Melhus. I Elverum er det også områder hvor store mengder grunnvann og energi kan utnyttes lokalt.

I tillegg til en helhetlig og detaljert dokumentasjon av grunnvannsressursene, er også den tekniske kompetansen ved bruk av grunnvann til varme- og kjøleformål økt betydelig på alle nivå i verdikjeden. Endelig har vi nok systemkompetanse for å designe, drifte og vedlikeholde lønnsomme grunnvarmeanlegg basert på oppumpet grunnvann på en systematisk måte. Siden denne type anlegg krever flerfaglig kompetanse med kunnskap om uttak av grunnvann fra sand- og grusavsetninger, varmepumpeteknikk, automasjon/overvåking og drift/vedlikehold, er det nødvendig at samarbeidet mellom fagene og systemkompetansen er tilstrekkelig slik at alle viktige forhold blir ivaretatt under utforming og drift av anleggene.

Erfaringer har vist at mange anlegg over tid får problemer med tetting av returbrønnene på grunn av jern- og manganutfellinger og/eller at brønnene fylles med partikler av sand og silt som pumpes opp sammen med grunnvannet. Utfellingene av jern og mangan reduserer kapasiteten i brønner, pumper, rør og varmevekslere, mens infiltrasjonskapasiteten gradvis reduseres etter hvert som partiklene fyller opp silen/filterdelen i returbrønnene. Løsningene til mange av disse problemene ligger i bedre oppfølging og anleggsdesign som legger til rette for enkelt og jevnlig vedlikehold. Kunnskapen fra ORMEL-prosjektet brukes i dag i undervisningen ved NTNU. Det er produsert til sammen 12 masteroppgaver, ca. samme antall prosjektoppgaver, og en PhD-kandidat som leverte sin avhandling i 2021 og en som er planlagt ferdig i 2023.

¹ Sammendraget er skrevet som populærvitenskapelig rapport i forbindelse med sluttrapporteringen av ORMEL

Evaluering

ORMEL har vært et unikt prosjekt fra dag én. Hovedgrunnen er den gode forankringen i Melhus og Elverum kommuner som har lagt forholdene til rette for entusiasmen og det gode samarbeidet. Prosjektet er gjennomført i henhold til intensjonene. Det har vært utfordrende å fremskaffe og tilrettelegge gode grunnlagsdata slik at de får størst mulig nytteverdi for eksisterende og framtidige brukere og eiere av grunnvarmeanlegg.

Veien videre

Heldigvis fortsetter ORMEL-eventyret som ORMEL2 (2018-2021) som også er støttet av Regionale forskningsfond Midt-Norge. ORMEL2 fokuserer på (1) å videreutvikle brønn- og driftsløsninger for fellesløsning for storskala utnyttelse av grunnvann til varme- og kjøling i Melhus sentrum og Gimseområdet, og (2) bedre forståelse av problemer knyttet til utfellinger av jern og mangan i grunnvarmeanlegg. Dette vil gi grunnlag for å utvikle praktiske tiltak for å redusere driftsmessige problemer som følge av utfellinger av jern og mangan fra grunnvann. Det er en PhD-kandidat knyttet til ORMEL2-arbeidet med jern og mangan som forventes ferdigstilt 2023.

Parallelt med ORMEL2 pågår det nå en konseptutredning, ledet av TrønderEnergi og med støtte fra Enova med formål å finne ut hvordan grunnvannsressursen kan kommersialiseres og hvilke forretningsmodeller som egner seg. I tillegg skal det skisseres konkrete tekniske løsninger i fellesnettet som grunnlag for lønnsomhetsberegningene til de ulike forretningsmodellene. Både ORMEL og ORMEL2 er viktige kunnskapsleverandører til konseptutredningen. Det forventes stor synergieffekt av prosjektene.



Figur 1: Vannspruten fra vaskingen av silen/filteret til en av brønnene i Melhus. Her rens pyles grusen rundt silen/filteret som er plassert på 73-78 meters dybde (Foto: Randi Kalskin Ramstad).

Utvidet sammendrag ORMEL2²

Av Randi Kalskin Ramstad, Guri Venvik, Morten Børseth, Bjørn Frengstad, Sondre Gjengedal, Lars Aaberg Stenvik, Gunnhild Storbekkrønning Solli, Atle Dagestad, Bernt Olav Hilmo, Mari Helen Riise, Henrik Holmberg, Trygve Eikevik, og Ola Nordhammer

ORMEL2-prosjektet er fullført. ORMEL står for «Optimal ressursutnyttelse av grunnvann til varme og kjøling i Melhus» og er støttet av Regionale forskningsfond Midt-Norge. ORMEL2 (2018-2021) er en videreføring av ORMEL1 (2015-2018) og har nytt godt av de gode samarbeidsrelasjonene som allerede var utviklet. Dette har gitt store synergier mot andre parallelle prosjekter i Melhus og andre steder.

Utviklede drifts- og vedlikeholdsprosedyrer, sammen med digitale overvåkningsløsninger spesialdesignet for formålet, tilrettelegger for en langsiktig kommersiell utnyttelse av grunnvannsressursen under Melhus sentrum. Dette blir videreført av TrønderEnergi. To doktorgrader, 13 masteroppgaver og 10 vitenskapelige artikler er basert på ORMEL-prosjektene.

Prosjektdeltakerne har i tillegg til Melhus kommune (prosjekteier), vært instituttene Geovitenskap og petroleum (prosjektledelse) og Energi- og prosessteknikk ved NTNU, Norges geologiske undersøkelse og konsultantselskapet Asplan Viak, Cand. Jur Gunnhild Storbekkrønning Solli ved UiO og Gjølvaag AS.

Melhus har med mange grunnvarmeanlegg i sentrum vært en pioner i bruk av grunnvann til oppvarming. Bakgrunnen for ORMEL-prosjektene var en bekymring for at de ulike anleggene kunne påvirke hverandre negativt. Samtidig var det et behov for at fellesskapet kunne dra nytte av erfaringene fra enkeltanlegg for design og drift av grunnvarmeanleggene. Bruk av grunnvann til energiformål krever kompetanse innen flere fagområder for blant annet for å kartlegge grunnvannsressursen og design- og driftstekniske forhold.

Hovedproblemstilling

Hovedproblemstillingene i ORMEL2 har vært å:

- Utvikle en fellesløsning (nærvarmenett) for utnyttelse av grunnvann til varme og kjøling med desentraliserte varmepumper i Melhus kommune med overføringsverdi til andre kommuner.
- Øke forståelsen av, og utvikle tiltak mot jern- og manganutfellinger i grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg.

De viktigste resultatene

Tekniske forhold:

ORMEL2 er en videreføring av ORMEL og har videreutviklet hvordan anleggene skal driftes og vedlikeholdes. Basert på studier av vannkjemiske og mikrobiologiske forhold er det laget drifts- og vedlikeholdsprosedyrer som forhindrer utfelling og løser opp jern og andre utfellinger i varmepumpesystemet. Dette er publisert i to vitenskapelige artikler i internasjonale journaler (Stenvik et al. 2022a, b). I samarbeid med Sameiet Lena terrasse og Optiview er det utviklet et spesialtilpasset overvåkingssystem for grunnvannsbaserte varmepumpeanlegg som kan overvåkes og fjernstyres via pc/smarttelefon. Overvåkingssystemet er en forutsetning for fellesløsning for storskala utnyttelse av grunnvann til energiformål i Melhus sentrum og Gimse. Dokumentasjon (blant annet brønnfilming og bruk av GIS) og rensemetoder som er utprøvd i ORMEL-prosjektene, inngår nå som standard for denne type anlegg.

Juridiske forhold:

Det er økonomiske og juridiske utfordringer knyttet til deling av energiresurser med stor verdi. Dr. Jur. Gunnhild Storbekkrønning Solli (2020) har belyst de lovmessige utfordringene ved forvaltning av og eierskap til grunnvann. Lovverket setter klare krav til kunnskap om grunnvann, men det faktiske kunnskapsnivået i forvaltningen er lavt. Kommunen har et større ansvar enn det

² Sammendraget er skrevet som populærvitenskapelig rapport i forbindelse med sluttrapporteringen av ORMEL 2

som eksplisitt fremgår av lovverket fordi krav til god grunnvannsforvaltning også følger av plan- og bygningsloven og vannforskriften.

Bedriftsøkonomiske forhold:

Kunnskapen fra ORMEL2 har tilrettelagt for å kommersialisere distribuerte varmepumpeløsninger for salg av varme og kjøling basert på oppumpet grunnvann. Det forretningsmessige og tekniske arbeidet med fellesløsningen er gjort av TrønderEnergi i et konseptutredningsarbeid støttet av Enova, etterfulgt av søknad og tilsagn om investeringsstøtte for utbygging av et fullskala anlegg. Det arbeides med flere konkrete prosjekter for overtakelse, planlegging, drift og salg av varme og kjøling i Melhus sentrum. Endelig utbyggingsbeslutning hos TrønderEnergi forventes høsten 2022.

ORMEL2 har vært integrert med andre prosjekter (Gimse barneskole, Melhushallen nord) hvor ny kunnskap har blitt tatt i bruk fortløpende.

Evaluering

Et av de store fortrinnene med ORMEL-prosjektene var at forskningen hele tiden ble utført i en større samfunnsmessig ramme. Dette så vi tydeligere i ORMEL2 enn i ORMEL1 da det tar tid å utvikle samarbeidsrelasjoner. For eksempel har TrønderEnergi og Asplan Viak videreført ideer, metodikk og erfaringer fra Melhus i andre prosjekter som Nyhavna og forskningsprosjektet INTO-ZERO – integrert planlegging av nullutslippsområder.

Veien videre

ORMEL-prosjektene har fremskaffet et kunnskapsgrunnlag som reduserer risikoen ved kommersiell utnyttelse av grunnvannsressurser. Tjenesteleveranser knyttet til varme og kjøling tas videre av TrønderEnergi. Metodikken og konseptene fra ORMEL har overføringsverdi og kan skaleres opp både med bruk av grunnvann og andre varmekilder. Det forventes en stor økning i bruk av lokale energikilder som følge av energiomstillingen og energi- og klimakrisen. Institutt for geovitenskap og petroleum ved NTNU er i gang med et nytt doktorgradsprosjekt på Bømoen i Voss herad der også bruk av grunnvann til varme/kjøling er tema.

Innhold

1. Innledning.....	1
1.1 Hovedproblemstillinger og delmål.....	1
1.2 Hva er grunnvarme fra grunnvann.....	2
2. Beskrivelse og undersøkelser i Melhus.....	5
2.1 Geologisk beskrivelse Melhus.....	5
2.2 Geofysiske undersøkelser.....	9
2.3 Brønnetableringer Melhus.....	11
2.4 Undersøkelser av grunnvannskjemien i Melhus.....	12
2.5 Videoinspeksjon av brønner i Melhus.....	13
3. Beskrivelse og undersøkelser i Elverum.....	16
3.1 Geologisk beskrivelse Elverum.....	16
3.2 Geofysiske undersøkelser.....	18
3.3 Hydrogeologiske undersøkelser på Elverum.....	20
3.4 Grunnboringer og brønnetableringer i Elverum.....	24
3.4.1 Ydalir 2015- juni 2017.....	24
3.4.2 NSB-tomta og Lillemoen skole.....	27
3.5 Grunnvannskjemi i Elverum.....	27
4. Kunnskapsbasert forvaltning av grunnvann – noen rettslige og faktiske utfordringer.....	28
4.1 Sammendrag.....	28
4.2 Forvaltning av grunnvann – hvem sitt ansvar?.....	28
4.3 Krav til kunnskapsbasert forvaltning etter norsk rett.....	30
4.4 Faktiske utfordringer med kunnskapsbasert forvaltning av grunnvann.....	31
4.5 Rettslige utfordringer ved en kunnskapsbasert forvaltning i dag.....	32
4.6 Veien videre.....	32
5. Resultater og konklusjon.....	33
6. Referanser.....	35

1. INNLEDNING

Denne rapporten oppsummerer prosjektene ORMEL1 og ORMEL 2. Mye av arbeidet er rapportert allerede, og denne rapporten gir en oversikt over hovedresultater, hovedarbeider og hvor data, rapporter og artikler er lagret og tilgjengeliggjort. Alle data som er samlet inn i ORMEL-prosjektene er tilgjengelig i Nasjonal Grunnvannsdatabase [Granada \(ngu.no\)](http://Granada.ngu.no) ved søk på de respektive borepunktene. Tilsvarende gir Vedlegg 1 gir en oversikt over alle masteroppgaver og vitenskapelige artikler der også sammendraget er gjengitt.

De gode resultatene som er oppnådd, er et resultat av det unike samarbeidet internt i prosjektgruppen (se figur 2 og 3) og med eierne av grunnvarmeanleggene.



Figur 1 Deltakerne i ORMEL



Figur 2 Deltakerne i ORMEL 2

1.1 Hovedproblemstillinger og delmål

Hovedmålet i ORMEL 1 (2015-2018) har vært å fremskaffe et godt faglig grunnlag for optimal utnyttelse og forvaltning av grunnvannsressursene i kommunesentrene av Melhus og Elverum. Dette er blant annet gjort gjennom et omfattende boreprogram med brønnetablering, kapasitetstesting, vannanalyser og hydrogeologisk modellering. Manglende kunnskap om grunnvannsressursene, samt varierende erfaring og kompetanse ved bruk av grunnvann til energiformål, har tidligere vært begrensende faktorer for optimal utnyttelse av denne fornybare energiressursen. Resultatene fra prosjektet har overføringsverdi til andre kommuner.

Delmål for ORMEL-prosjektet:

- Geologisk kartlegging i tre dimensjoner og evaluering av grunnvannsressursene i sentrale deler av Melhus og Elverum for å finne tålegrensen for energiuttak.
- Geografisk kartlegging av energibehov og tilhørende kartlegging av potensialet for bruk av grunnvann til energiformål.
- Vurdering av ulike teknologiske og økonomiske strategier og organisasjonsformer for kommersiell utnyttelse av den lokale grunnvannsressursen for leveranse av varme og kjøling.
- Utvikling av en manual om robust driftsteknologi og prosedyrer basert på erfaringsinnhenting fra eksisterende anlegg og fra litteraturen med spesielt fokus på utfordringer med jern- og manganutfellinger.
- Belyse kommunenes behov for klare juridiske rammer knyttet til uttak av grunnvann.
- Utdannelse av en doktorgradskandidat og en rekke masterstudenter ved Institutt for geovitenskap og petroleum og Institutt for energi- og prosessteknikk, NTNU.

I ORMEL2 (2018-2021) har hovedfokuset vært:

Å utvikle en fellesløsning for utnyttelse av grunnvann til varme og kjøling i et "nær-/fjernvarmenett" med desentraliserte varmepumper i Melhus sentrum og Gimseområdet med overføringsverdi til andre kommuner. Dernest bedre forståelse av problemer knyttet til utfellinger av jern og mangan i grunnvarmeanlegg og utvikle praktiske tiltak for å motvirke dette.

Delmål for ORMEL 2-prosjektet:

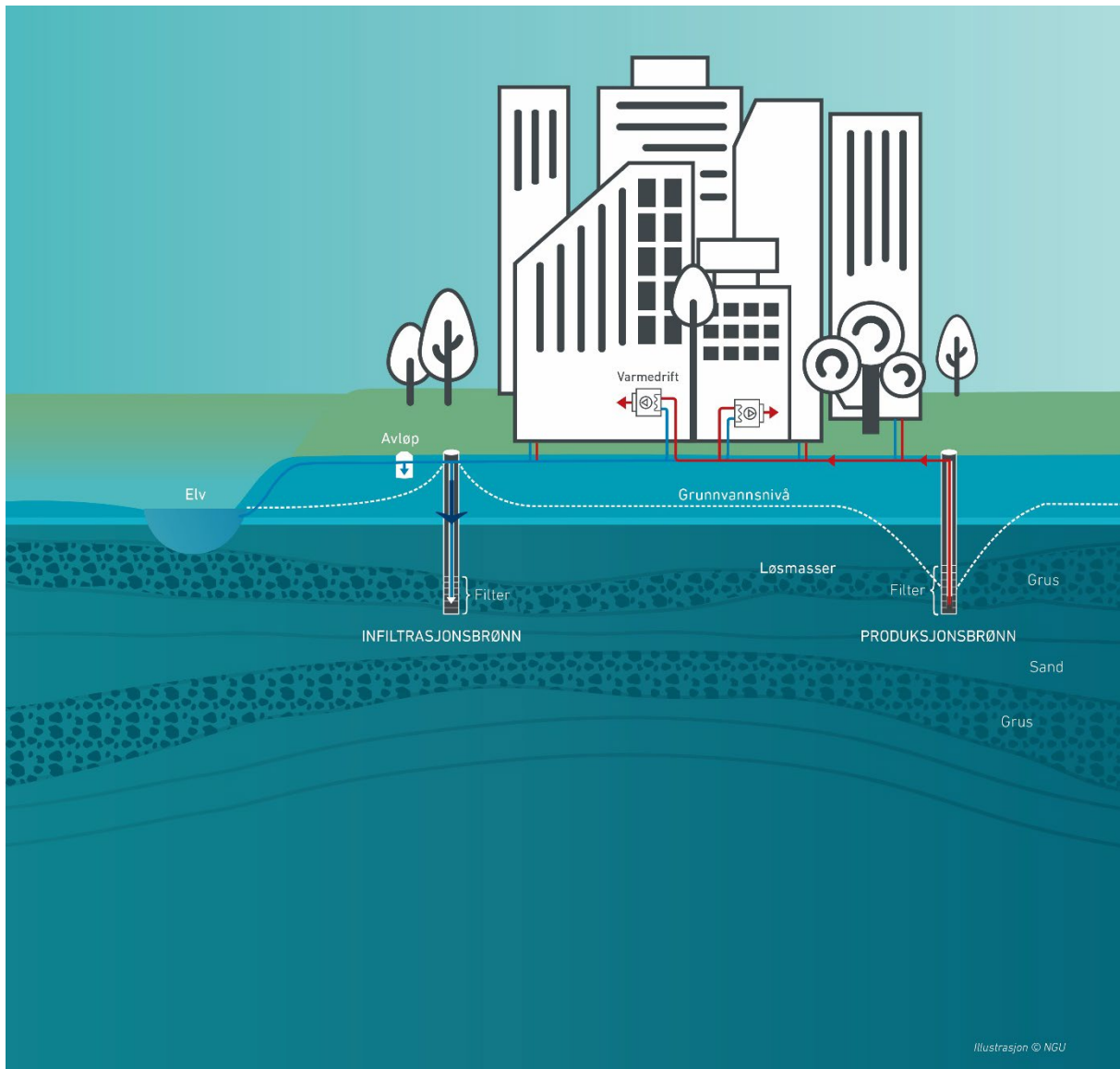
- Teste ut og dokumentere ny driftsteknologi og nye prosedyrer basert på erfaringsinnhenting gjennom ORMEL1 fra eksisterende anlegg i drift med spesielt fokus på håndtering av jern- og manganproblemer.
- Basert på tilgjengelig og ny kunnskap, samt juridiske aspekter, vurdere i hvilken grad det er nødvendig og/eller formålstjenlig å returnere vannet til grunnvannsmagasinet etter energiuttaket, eller om vannet kan slippes direkte til elv eller overvannsnett.
- Formidle kunnskap og resultater gjennom vitenskapelige publikasjoner, media, undervisning og internasjonalt samarbeid. Utdanne en doktorgradskandidat og tre masterstudenter ved Institutt for geovitenskap og petroleum samt to masterstudenter ved Institutt for energi og prosesssteknikk.

Synergier med parallelle prosjekter

- Trønderenergi har vurdert det forretningsmessige og tekniske arbeidet med fellesløsningen i et konseptutredningsarbeid støttet av Enova (Nagelhus m.fl. 2019). Dette er etterfulgt av søknad og tilsagn om investeringsstøtte for utbygging av et fullskala anlegg.
- Det arbeides med flere konkrete prosjekter for overtakelse, planlegging, drift og salg av varme og kjøling i Melhus sentrum. Endelig utbyggingsbeslutning hos TrønderEnergi forventes i løpet av 2023.
- Prosjekteringen og etableringen av grunnvarmeanleggene tilknyttet Gimse barneskole og Melhushallen nord hvor ny kunnskap fra ORMEL og ORMEL2 har blitt tatt i bruk fortløpende.

1.2 Hva er grunnvarme fra grunnvann

Figur 4 viser prinsippet for bruk av opp-pumpet grunnvann fra løsmasser. Grunnvannet pumpes opp gjennom en produksjonsbrønn som henter vannet fra et vannførende lag i sand- og grusmasser. Varmen hentes ut av grunnvannet gjennom en varmeveksler, og en varmepumpe øker temperaturen videre til ønsket temperatur til oppvarming av bygget. Det avkjølte vannet (typisk 3-4 grader kaldere) returneres i en infiltrasjonsbrønn eller avløp til vassdrag eller overvannssystem. På tilsvarende måte kan vannet brukes til kjøling av bygget; enten frikjøling eller maskinkjøling.

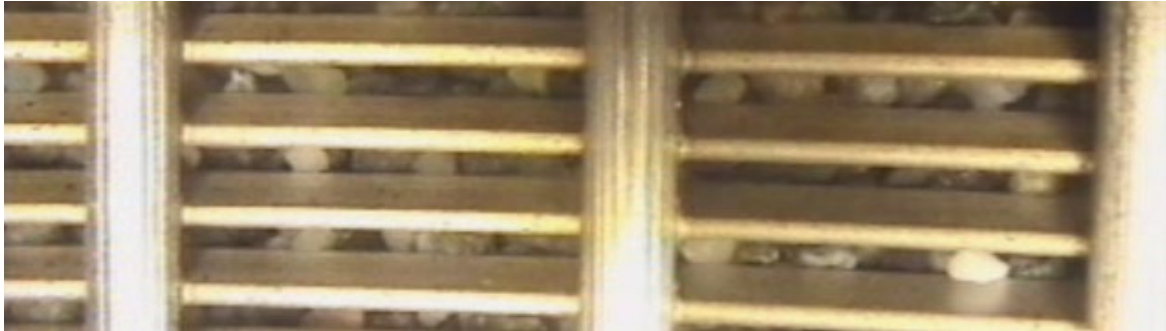


Figur 3. Illustrasjon som viser prinsippene for bruk av grunnvann til oppvarming og kjøling.

Direkte varmeveksling av grunnvann er en effektiv måte å utnytte grunnen til varme og kjøling der de geologiske forholdene ligger til rette for det. For store anlegg kan kostnadene være betydelig lavere enn for et tilsvarende anlegg med bruk av bergvarme.

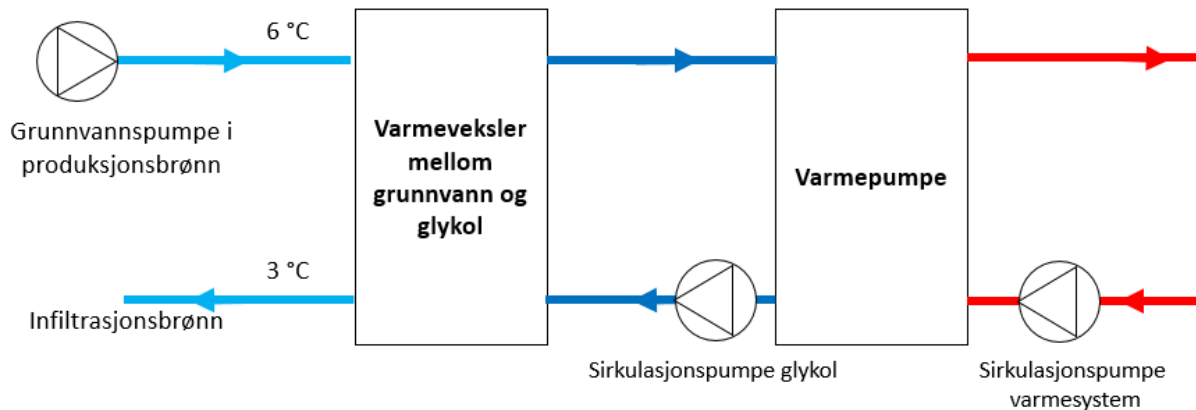
En viktig forutsetning for uttak av større energimengder fra grunnvann er at det kan etableres brønner med stor vanngiverevne, tilstrekkelig høy temperatur og egnet vannkjemi. Vannmettede løsmasseavsetninger bestående av sand og grus har høy vanngiverevne mens berggrunnen samt løsmasser med høyt innhold av silt og leire har relativt liten vanngiverevne. Bygninger som bygges på tykke løsmasseavsetninger av sand og grus, slik som vist på figur 3, kan ha gode forutsetninger for å kunne bruke grunnvann som varmekilde. Det må utføres hydrogeologiske undersøkelser for å avklare dette.

Brønner i løsmasser etableres med et slissefilter med lengde og slisseåpning som er tilpasset kornstørrelsen på løsmassene filteret plasseres i. Når et sliksfilter er riktig designet og installert vil filterveggen se ut som vist i Figur 4. Her sees slissene i brønnveggen med sandpartikler imellom slissene. I dette tilfellet er slisseåpningene 1 mm brede. Dette er samme type brønnndesign som brukes til drikkevannsforsyning.



Figur 4: Filterrør med 1 mm slisser i en grunnvannsbrønn.

I noen tilfeller inneholder grunnvannet løste mineraler som kan by på utfordringer i forhold til design og drift av systemet. Dette kan være problemer knyttet til korrosjon av rørdeler eller utfelling av mineraler og partikler som tetter komponenter i rørkretsene, ventiler, varmevekslere osv. Det er derfor vanlig å bruke en sekundær varmeveksler mellom grunnvannskretsen og varmepumpen for å unngå at det oppstår problemer i selve fordampere i varmeveksleren. Grundige forundersøkelser og planlegging utført av erfarne fagfolk er derfor viktig for å unngå slike problemer. Ett typisk systemoppsett vil kunne se ut som på Figur 6 under.



Figur 5. Typisk systemoppsett for grunnvarmesystem med grunnvann som varmekilde.

2. BESKRIVELSE OG UNDERSØKELSER I MELHUS

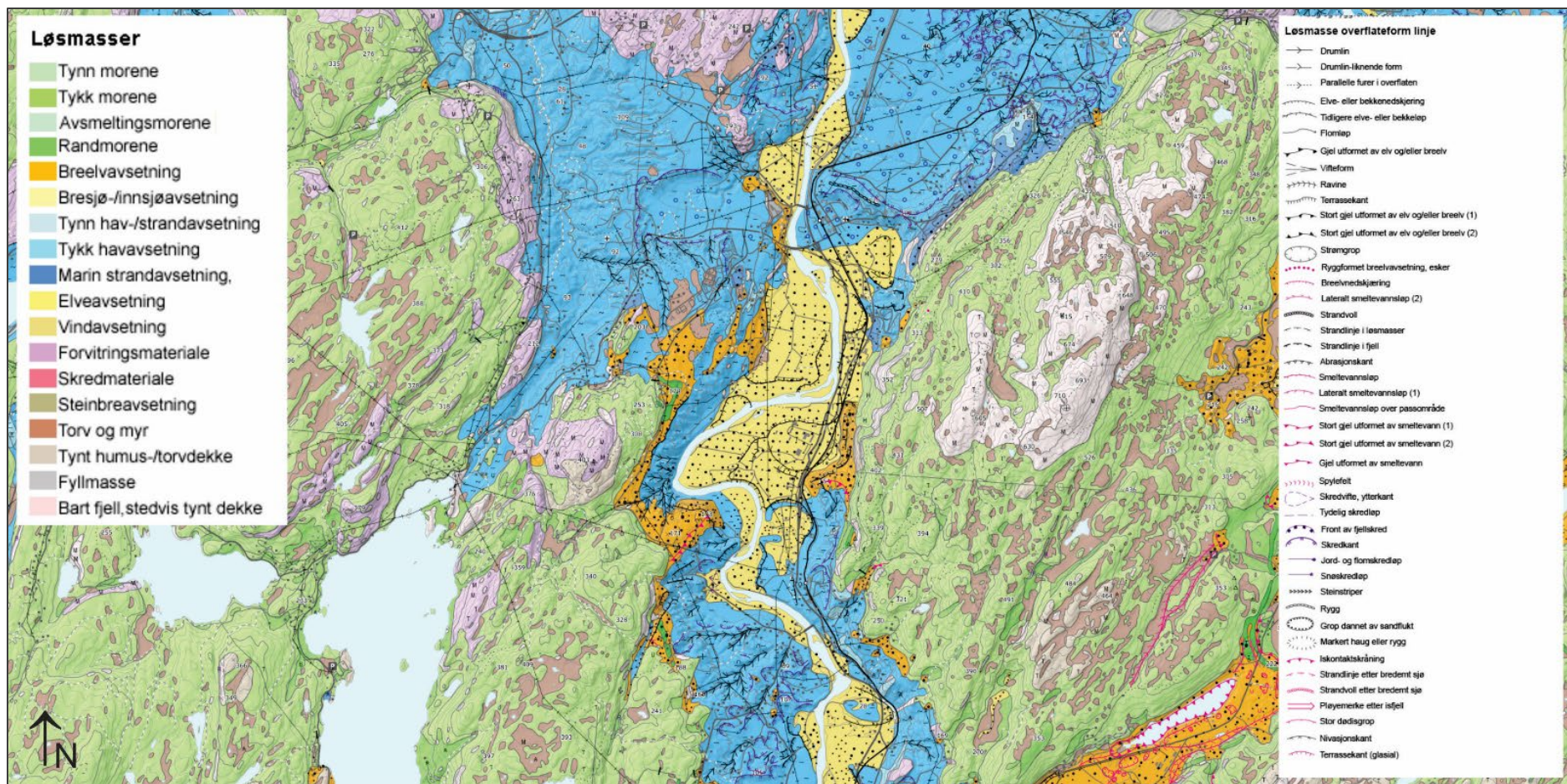
2.1 Geologisk beskrivelse Melhus

De geologiske forholdene i Melhus og Gauldalen er tidligere beskrevet av blant annet; Hugdahl (1979), Muring (1992), Storrø (2000), Solberg & Glåmen (2004), Hansen et al. (2007) og Solberg, Dagestad og Dalsegg (2014). En regional oversikt over løsmasseavsetningene i Gauldalen fremkommer på de kvartærgeologiske kartene Trondheim (Reite, 1983) og Støren (Reite, 1985, Figur 6). Tidligere geofysiske undersøkelser er utført av Sindre (1980) og Lauritzen (1998).

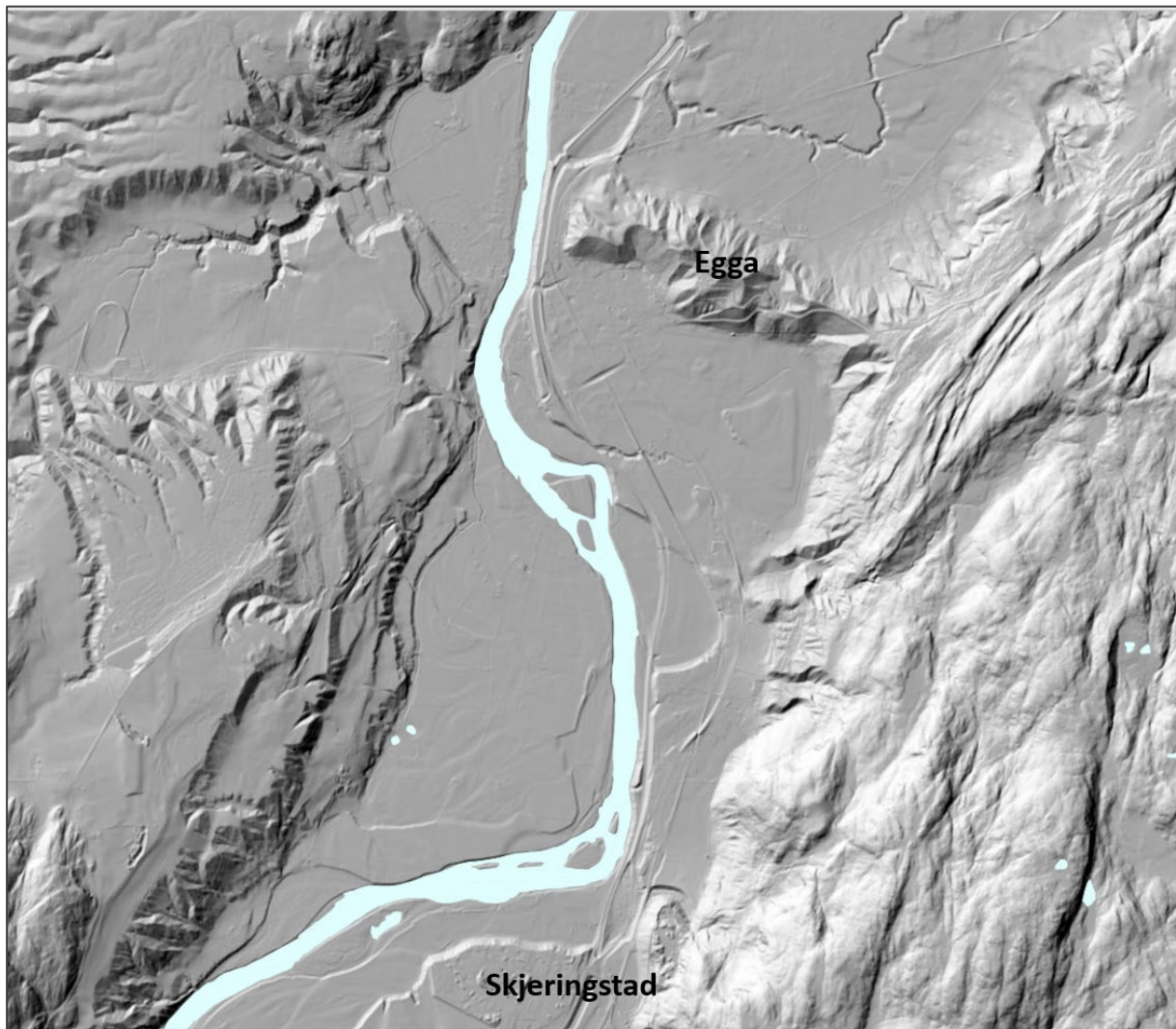
I forbindelse med utbygging av de mange grunnvarmeanlegg i Melhus er det utført flere grunnboringer og brønnetableringer. Den detaljerte kartleggingen gir viktig informasjon om løsmassesammensetningen mot dypet i dette området (Solberg & Glåmen 2004; Hansen m.fl. 2007). Informasjon om de fleste boringer for grunnvann og energibrønner ligger i NGUs brønndatabase [GRANADA](#), og informasjon om geotekniske undersøkelser er tilgjengelig i Nasjonal database for grunnundersøkelser - [NADAG](#).

Solberg, Dagestad og Dalsegg (2014) utførte en detaljert kartlegging av grunnforholdene i Melhus sentrum, hvor store mengder av glasifluviale, fluviale og marine sedimenter er avsatt. Det er antatt at det ligger et tynt morenedekke direkte over berggrunnen. Dette er observert under boringer i ORMEL prosjektene og dokumentert i borelogger. Det kvartærgeologiske kartet i Figur 7 (Reite 1983, 1985) viser at fluviale sedimenter er avsatt over de marine sedimentene med elveterrasser og gamle elveløp etter Gaulas aktivitet i nyere tid. Spor etter skredaktivitet, som skredgroper og skredmasser er vist i kartet (Figur 7).

Topografien i selve Melhus sentrum domineres av Melhusryggen (Egga) som strekker seg fra dalsiden i øst og ca. en kilometer mot vest på tvers av Gauldalen. Toppen av åsryggen ligger lett synlig i terrenget rundt 100 meter over de flate områdene på sør og nordsiden. Løsmassene i overflaten av Egga domineres av tykke marine avsetninger, som i randområdene stedvis er overlappet av elveavsetninger av sand og grus (Figur 7). Melhusryggen (Egga) er tolket til å være restene av en breelvsavsetning avsatt under siste istid for ca. 10.000 år siden i framkanten av breen i Gauldalen der den møtte Trondheimsfjorden. Etter hvert som breen smeltet og trakk seg tilbake opp Gauldalen og fjorden fylte dalen, ble Egga dekket av et 10-30 m tykt leirlag over sand og grusavsetningen (Hugdahl 1979; Solberg, m. fl. 2014; Multiconsult 2006).



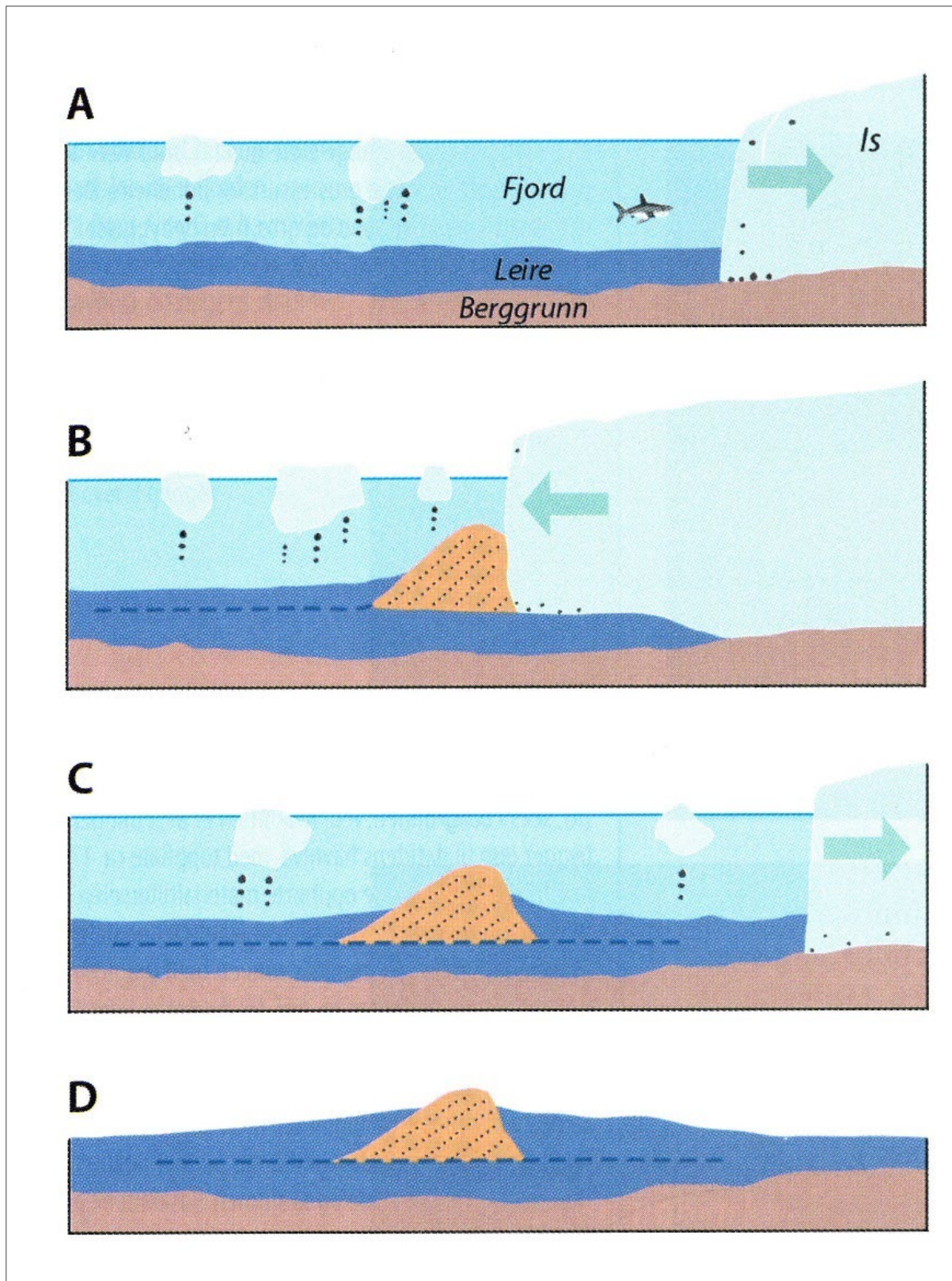
Figur 6. Kvartærgeologisk kart over Melhus, Kilde Løsmasser (ngu.no), basert på Reiste 1983 & 1985. Kartet har blitt revidert i ettertid.



Figur 7. Terrengmodell over deler av Gauldalen som viser spor av Gaulas erosjon i elveavsetninger samt ravinedannelse på Melhusryggen som følge av leirras. (Kilde til LIDAR data; Kartverket)

Det antas at Melhusryggen ble bygd opp i hele dalgangens bredde og strakk seg helt over mot Gimsan, men senere landheving og erosjon fra elva Gaula har gjennomskåret den vestlige delen av randåsen, slik at bare den østlige delen av randavsetningen gjenstår i dag. Prosessen er fremstilt i Figur 8. Landhevingen har også ført til leirskred med tydelig ravinedannelse flere steder langs Egga. Lengre sør i Gauldalen finnes det flere liknende rester av større randavsetninger fra slutten av siste istid, der løsmasseterrassene ved Gravråksmoen og Kregnes er de mest framtreddende.

I nyere tid har elva Gaula omformet deler av dalbunnen gjennom erosjon av eldre løsmasseavsetninger og avsatt nyere elveavsetninger av sand og grus. Spor etter Gaulas aktivitet er elveterrasser og gamle elveløp i dalbunnen kommer tydelig fram på høydemodellen over området (figur 7). I tillegg finnes mange spor etter raviner og skredaktivitet, som skredgroper og skredmasser.



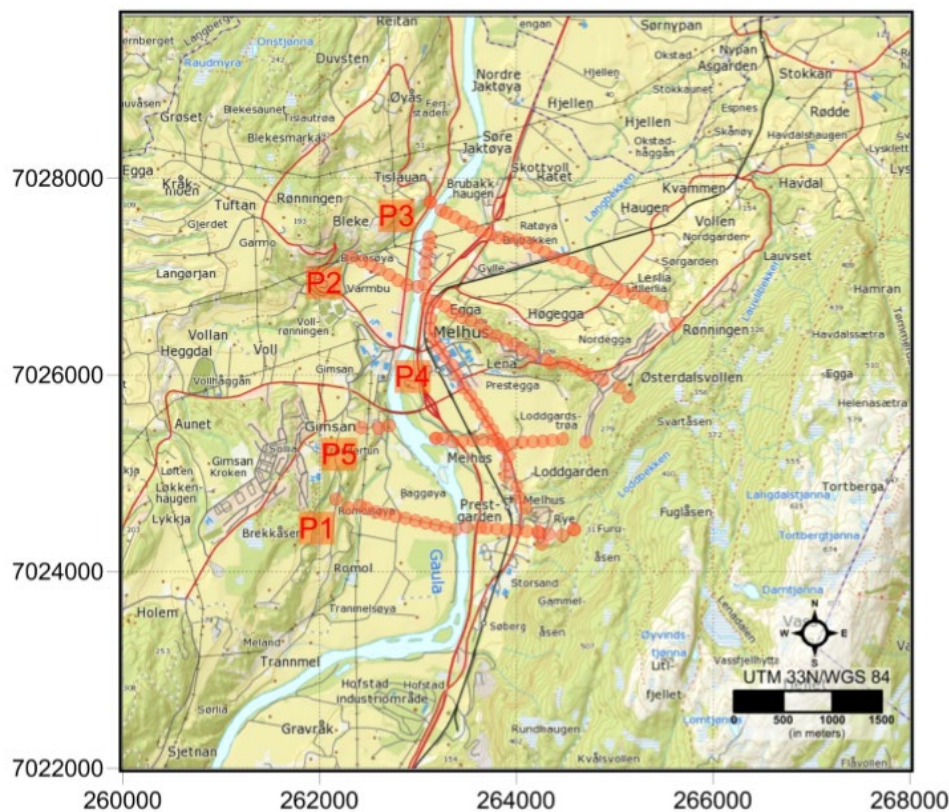
Figur 8. Prinsippskisse som viser dannelsen av Melhusryggen ved fremrykk av brefronten, avsetning av randåsen av sand og grus med etterfølgende avsetning av marin leire (fra Reite m.fl. 1999).

2.2 Geofysiske undersøkelser

Allerede på 1970-tallet ble det utført seismiske målinger flere steder i Gauldalen for å estimere tykkelsen til løsmassene over berggrunnen (Sindre 1980). Disse undersøkelsene viser at det under løsmassene er et overfordypet u-formet dalprofil, utformet gjennom glacial erosjon, og flere steder ble det registrert mer enn 200 m overdekning ned til berggrunnen. Størst tolket mektighet har løsmassene ved utløpet av Gaula der det ble målt mer enn 400 m dyp ned til fast fjell. I nyere tid er det gjennomført seismiske undersøkelser i nærheten av Melhus sentrum som indikerte betydelig løsmassemektheter (Mauring 1992), og georadar undersøkelser langs flere elvestrekninger i Gaula, bl.a. på Kuba ved Melhus sentrum (Lauritsen 1998), som viste gjennomgående grove elveavsetninger med liten mektighet over finkornige marin sedimenter. På 2000-tallet ble det gjennomført flere 2D-resistivitetsundersøkelser i Melhus sentrum som også indikerte betydelig løsmassemekthet med dypereliggende grovkornete sedimenter under marine sedimenter (Solberg m.fl. 2014). Tolkningene av noen av de geofysiske profilene er noe usikker da grunnvannet i de dype avsetningene har brakkvannskarakter som vil påvirke de geofysiske opptakene og de geologiske tolkningene.

I regi av ORMEL-prosjektet ble det i 2015 gjennomført gravimetrisk målinger langs flere profiler i og rundt Melhus sentrum (Figur 10. Tassis m.fl 2016). Målet for disse undersøkelsene var å kartlegge løsmassemektheten og berggrunnens morfologi. Gravimetri er en velegnet metode for å kartlegge løsmassemekthet i urbane områder da den er ikke-destruktiv.

Gravitasjonsmålingen inneholder 175 gravitasjonsstasjoner hvor 133 av dem plassert langs 5 profiler med normalt 100 m avstand mellom hver stasjon. De øvrige 42 gravitasjonsstasjonene er regionale målinger, hovedsakelig lokalisert på fjellblotninger med kjente bergarter plassert utenfor områder dekket av løsmasser.

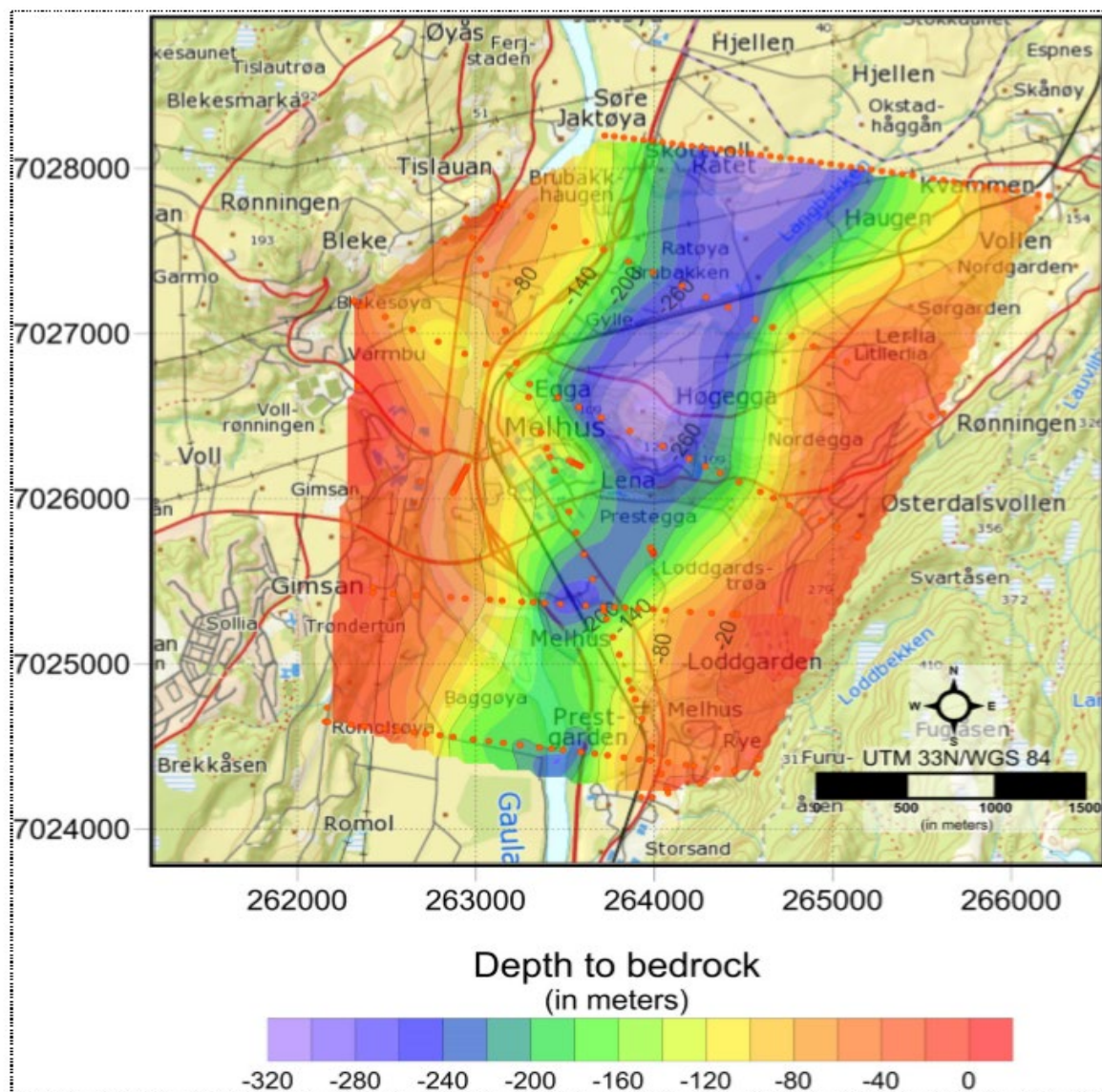


Figur 9. Fem gravitasjonsprofiler er samlet inn under kartleggingen av dybde til fjell (Tassis m.fl. 2016).

Gravitasjonsmodellering ble utført med bruk av GM-SYS-modulen til Geosoft Oasis Montaj-programvaren. Våre modeller ble begrenset til data fra flere NGU-databaser, for eksempel borehullsdyp, tetthetsprøve, geologiske data og andre geofysiske tolkningsresultater. Under

modelleringen har vi opprinnelig holdt en konstant tetthet i løsmassene på $2,0 \text{ g/cm}^3$ mens berggrunnen ble gitt en verdi på $2,85 \text{ g/cm}^3$ (Grønnstein). Tettheten i løsmassene ble bestemt etter å ha sammenlignet resultatene med en seismisk undersøkelse som sammenfalt med en av gravitasjonsprofilene.

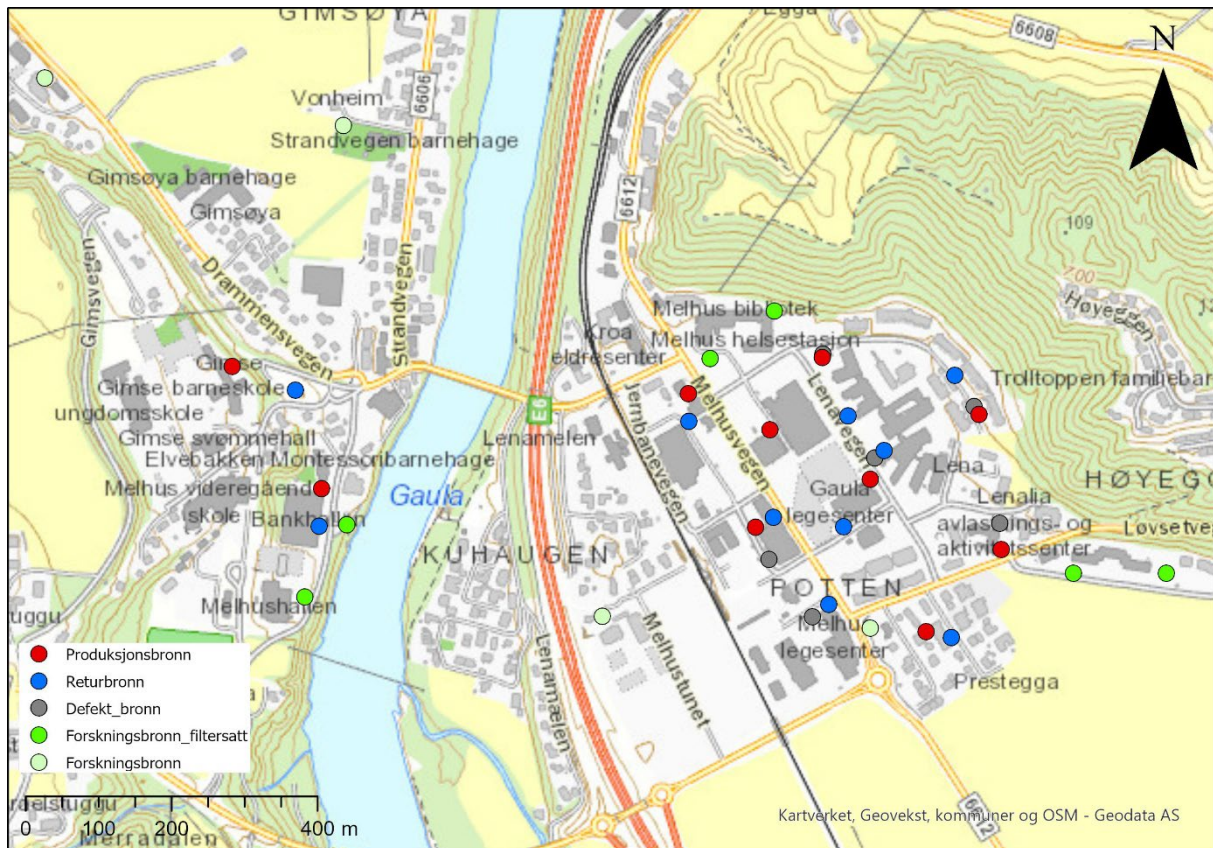
Gravimetrisk tolkning indikerer at løsmassene i regionen kan ha opp til ca. 300 meter tykkelse, det vil si ca. 250 meter under havnivå, som vist i Figur 11. Usikkerhet i dybden er estimert til ca. 10%. Tolkningene ble deretter kontrollert mot og forbedret med data om løsmassetykkelse fra forskjellige NGU-databaser som NADAG og GRANADA og andre kilder. Tolkningen har konstruert en total dybde til fjell. Resultatet av gravitasjonsmålingene er vis i Figur 10, og viser at sedimenter er dypere nord for Melhus sentrum enn mot sør.



Figur 10. Resultat av gravitasjonsmålinger og tolkninger av dataene viser at dyp til fjell er opp til ca. 300 meter, det vil si ca. 250 meter under havnivå.

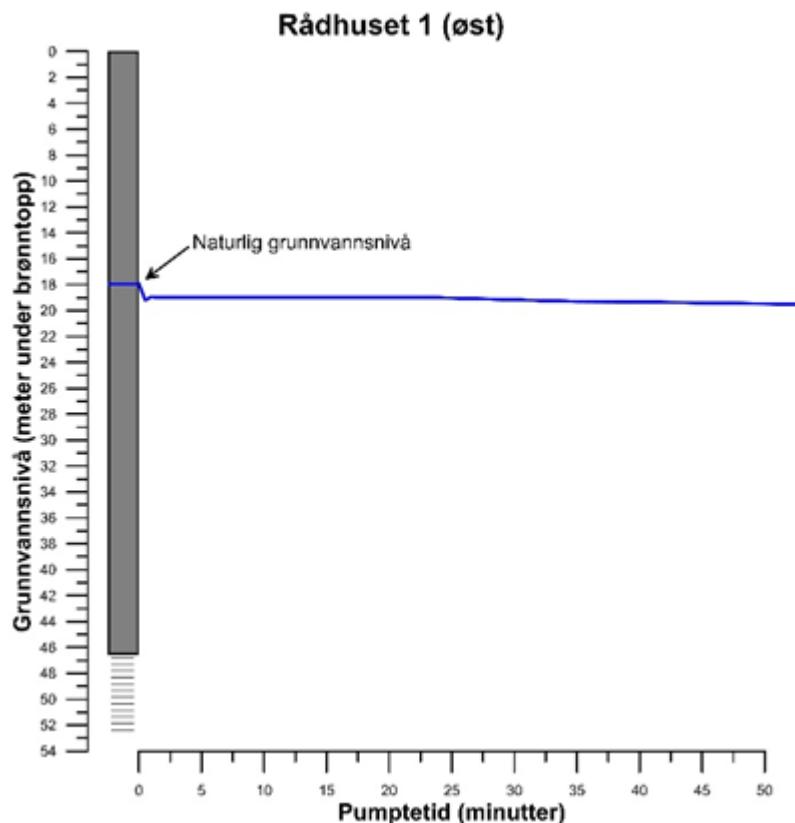
2.3 Brønnetableringer Melhus

De fleste av borehullene i Melhus sentrum er inkludert i ORMEL prosjektet, enten som nyetablering, brønninspeksjon og/eller kapasitetsvurdering av eksisterende brønner (Figur 11). Informasjon om brønnene og tilhørende borelogger er tilgjengelig i Nasjonal grunnvannsdatabase [Granada \(ngu.no\)](http://Granada.ngu.no). Under prøvepumping av brønnene i Melhus sentrum, var det typisk at grunnvannsnivået hurtig falt til et litt lavere nivå og stabiliserte seg der, se figur 12.



Figur 11: Oversikt over brønner som er etablert i Melhus sentrum, fra Riise (2021).

Resultater fra prøvepumping i regi av ORMEL-prosjektene i Melhus og Elverum er rapportert i Riise (2021). Figur 12 viser utvikling i grunnvannsnivået ved Rådhuset 1 (øst) etter 50 minutters pumping med et uttak på 15 l/s.



Figur 12 Utvikling i grunnvannsnivået ved Rådhuset 1 (øst) etter 50 minutters pumping med et uttak på 15 l/s (Riise 2021).

Borehullslogger og kornfordelingsanalyser av sedimentprøver fra grunnboringer i Melhus er beskrevet i Seyoum Hellestveit 2018. Her er også tidsvariasjoner i grunnvannsnivåene og vannføring i Gaula beskrevet for å vurdere om Gaula er en mulig kilde til grunnvannsdannelse.

2.4 Undersøkelser av grunnvannskjemien i Melhus

PhD stipendiat Lars Aaberg Stenvik ved Institutt for geovitenskap og petroleum, NTNU startet i 2018 et doktorgradsarbeid om utfellingsproblemer med jern og mangan i norske drikkevannsbrønner med fokus på Melhus. Grunnvann med høye konsentrasjoner av oppløst jern og mangan medfører fare for utfelling av jern- og manganoksider i filter, pumper og andre tekniske installasjoner dersom grunnvannet kommer i kontakt med oksygen i grunnvarmesystemet. Dette har vært den vanlige oppfattelsen når brønntuffellingsrisiko vurderes. Fokus i forbindelse med utforming og installasjon av grunnvarmesystemer har derfor vært på å holde rørkomponentene i grunnvarmesystemet lufttette, samt sørge for at inntaks- og infiltrasjonspunktene i brønnene senkes et godt stykke under grunnvannsspeilet for å unngå at grunnvannet kommer i kontakt med oksygen. Erfaringene fra Melhus viser at disse tiltakene likevel ikke klarer å fjerne all utfellingsrisiko. Her pumpes dypt, oksygenfattig, jern- og manganrikt og saltholdig grunnvann opp, og forårsaker til dels store utfordringer med utfellinger som tetter igjen både produksjons- og infiltrasjonsbrønnefiltere, pumper, rør og varmevekslere. Infiltrasjonsbrønnene virker å være særlig utsatt for gjentetting. Dette medfører behov for kostbare rehabiliteringer og utbytting av systemkomponenter, og i enkelte tilfeller boring av ny brønn. Fokuset i PhD-arbeidet til Lars Aaberg Stenvik har derfor vært å se mer inngående på årsaker til og tiltak mot utfellingsproblemene. Relevante spørsmål er: Hva skiller anleggene hvor det ikke registreres problemer med utfellinger fra de hvor det registreres problemer med dette? Hvordan påvirker variasjon i vannkvalitet i Melhus-akviferen utfellingstype og -alvorlighetsgrad av utfelling? Hvordan spiller mikrobiologien og såkalte jernoksidende bakterier inn? Finnes det muligheter for forbedring av rehabiliterings- og driftsmetodikk?

For å prøve å besvare disse spørsmålene har omfattende undersøkelser av vannkjemi og – mikrobiologi samt laboratorieanalyser og videoinspeksjoner av utfellinger blitt utført for alle de ti grunnvarmeanleggene i Melhus sentrum og Gimse. I forbindelse med vannkjemi-undersøkelsene har en skreddersydd, lufttett “gjennomstrømningscelle” blitt utviklet ved IGP, NTNU som muliggjør måling av parametere som løst oksygen og pH uten påvirkning fra lufta rundt. Observasjoner og analyser av driftsdata og rehabiliteringer har også vært viktige i arbeidet, i tillegg til innhenting av erfaringer fra andre land, blant annet Tyskland og Nederland, fra litteraturstudier og konferansedeltakelse.



Figur 13. Jernutfelling i rør og varmeveksles fra Melhus. Foto: Randi K. Ramstad.

2.5 Videoinspeksjon av brønner i Melhus

Videoinspeksjon av grunnvannsbrønner er et nyttig verktøy for å dokumentere brønnetablering, vurdere utfellingstype og –omfang, samt planlegge og evaluere brønnrehabilitering. Inspeksjonen utføres ved å føre et vanntett kamera festet med vinsj til en undersøkelsesbil ned i brønnen som skal undersøkes. Samtidig vises en live-video fra kameraet inne i undersøkelsesbilen. Dette gjør det mulig å vurdere hvilke deler av brønnen som skal undersøkes mer inngående. I tillegg til live-funksjonen får oppdragsgiver en minnepenn med full video og rapport fra inspeksjonen. Bilder fra brønninspeksjon er vist i figur 14-figur 17.

Undersøkelsesmetoden har blitt mye brukt på produksjons-, infiltrasjons- og observasjonsbrønner tilknyttet ORMEL-prosjektene i Melhus, og har blant annet avdekket:

- feil installasjon av brønnfilter,
- utfelling av jernoksider, bioslim og sedimenter, inkl. hvilke deler av brønnen som har vært mest gjentettet, og
- suksess og mangel på suksess av forskjellige tiltak for brønnrehabilitering

Videoinspeksjon har derfor vært et viktig verktøy for ORMEL 2s arbeidspakke tilknyttet jern- og manganutfellingsproblematikk og PhD-prosjektet til Lars Aaberg Stenvik. Metoden er beskrevet i mer detalj i Gjengedal m.fl. 2018.

Videoinspeksjoner har vært sentralt i en rekke rapporterte arbeider i Melhus (Riise og Hilmo 2014; Hilmo, 2018; Riise, 2018a; Riise, 2018b og Hilmo og Riise, 2020).



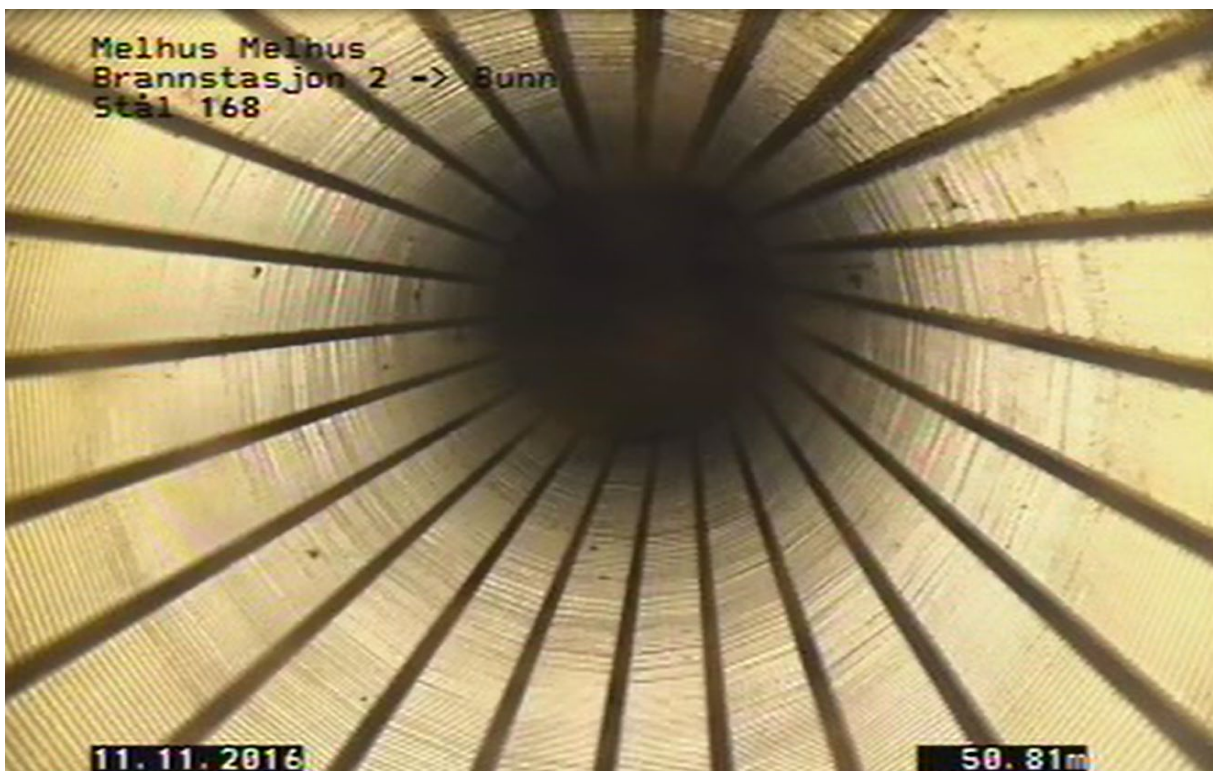
Figur 14. Oppsett for videoinspeksjon av observasjonsbrønn i Melhus utført av Gjølvaag A . S (Foto: Randi Kalskin Ramstad).



Figur 15. Brønninspeksjon i brønn i Losjeveien 3, 73,05 meters dyp. Eksempel på brønnfilter som er delvis tettet. Grus og sandkorn er synlig i slissene bak filteret. Foto fra Gjølvaag AS.



Figur 16. Brønninspeksjon i brønn Brannstasjonen, brønn 1, 54,72 meters dyp. Eksempel på hvordan brønnfilteret bør se ut, uten utfelling eller avleireing. Foto fra Gjøvåg AS.



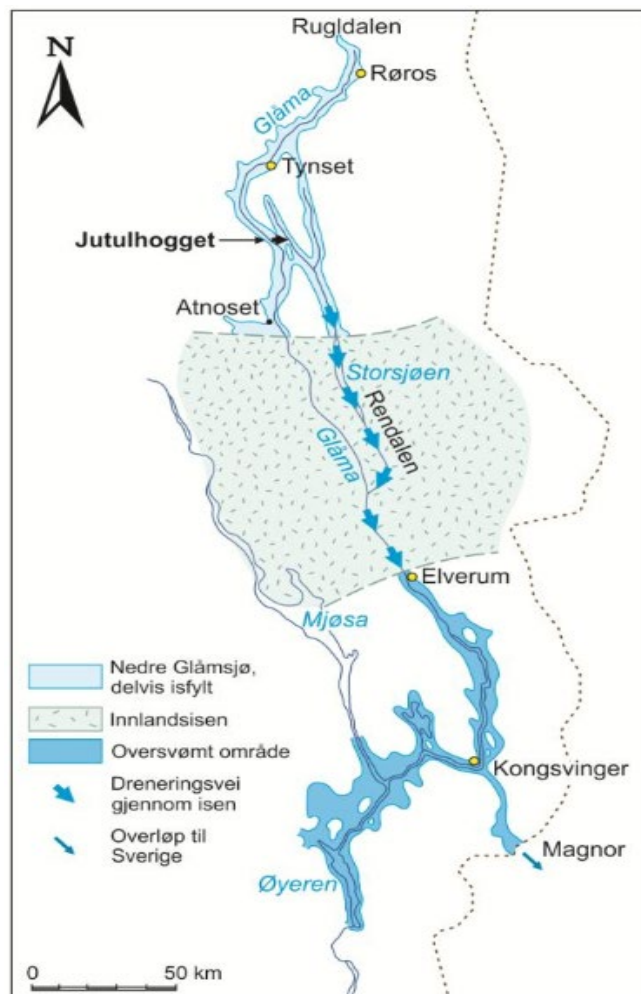
Figur 17. Brønninspeksjon i brønn Brannstasjonen, brønn 2, 50,81 meters dyp. Eksempel på hvordan kameraert filmer på vei ned i brønnen. Foto fra Gjøvåg AS.

3. BESKRIVELSE OG UNDERSØKELSER I ELVERUM

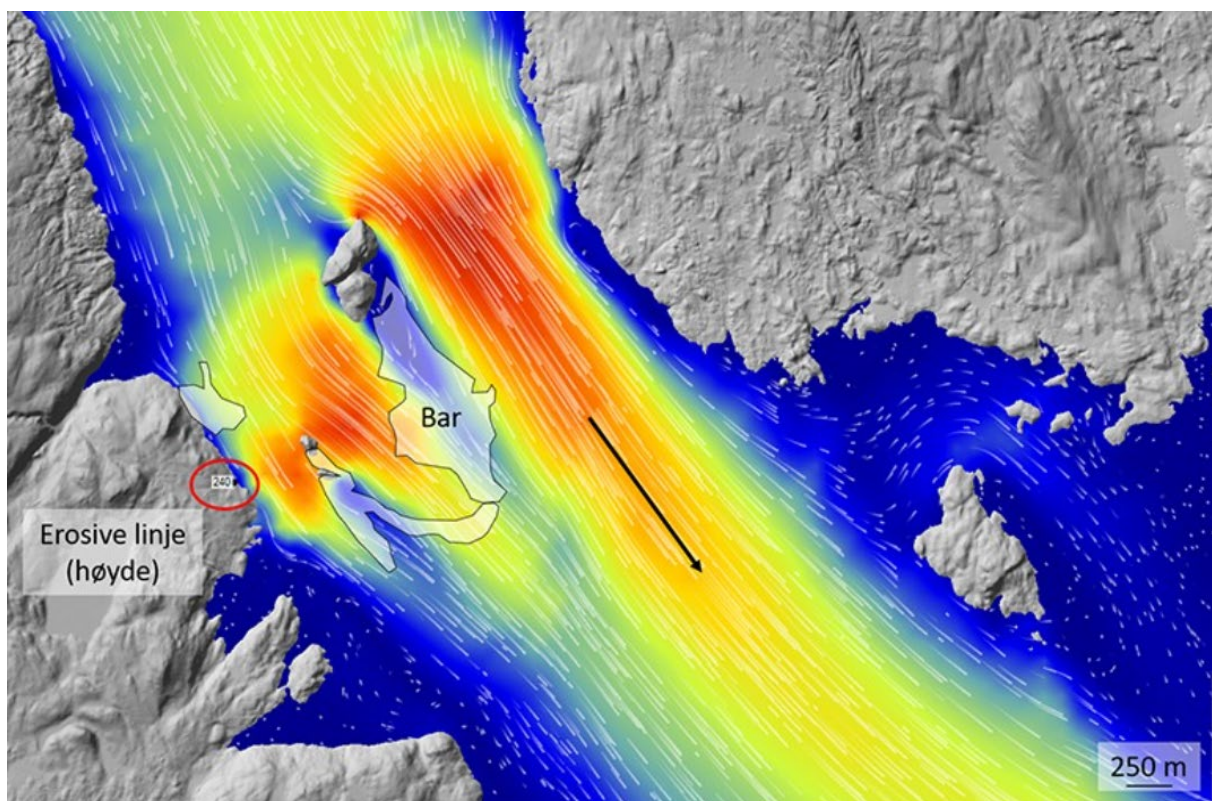
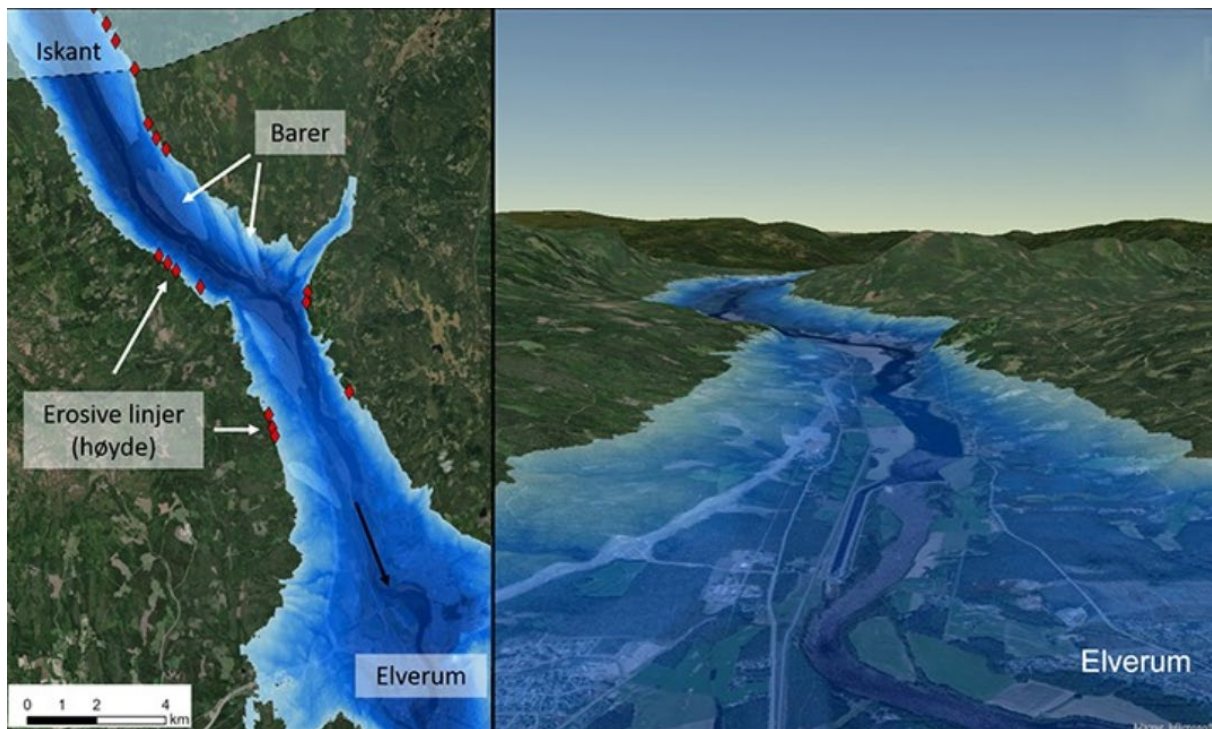
3.1 Geologisk beskrivelse Elverum

Området i og rundt Elverum er dekket med mektige løsmasser fra siste istid som senere er noe erodert og re-sedimentert av Glomma og mindre sidevassdrag (Bargel 1982, 1983). Slike erosjons- og sedimentasjonsprosesser foregår ofte over lang tid, men i dette tilfellet er det spesielt en geologisk hendelse som satt sine spor på løsmassegeologien, nemlig en plutselig og enorm flom fra tapningen av en stor bredemt sjø (fagterm: jøkulhlaup).

Den bredemte sjøen i Østerdalen, kalt Nedre Glåmsjø, ble dannet mellom vannskillet i Trøndelag i nord og isbreen i Østerdalen sør for Alvdal som stengte for dreneringen sørover (Figur 18). På sitt største var denne sjøen trolig tre ganger større enn dagens Mjøsa. Da isdemningen brast for cirka 10.000 år siden, fosset smeltevann østover til Rendalen med voldsom kraft og dannet Jutulhogget. Flomvannet fosset videre sørover, trengte seg under ismassene i Rendalen og videre nedover Østerdalen til utløp ved iskanten rett nord for Elverum hvor det flommet ut over de lavereliggende områdene langs vassdraget (Longva, 1984). Vannføringen i Glomma ved Kongsvinger under jøkulhlaupet er beregnet til å ha vært 6 - 8 ganger større enn Amazonas og over tusen ganger større enn normalvannføringen i Glomma (Figur 19, Auran og Høgaas 2021). Sedimentene fra tapningen utgjør alt fra meget store steinblokker nærmest Jutulhogget og med avtakende størrelse sørover. I Elverumsområdet ble det avsatt tykke lag av sand og grus som går over til mer finkornige flomsedimenter i Kongsvingerområdet (Olsen et al. 2018). For mer utførlig informasjon om flommen henvises til Høgaas og Longva (2016).



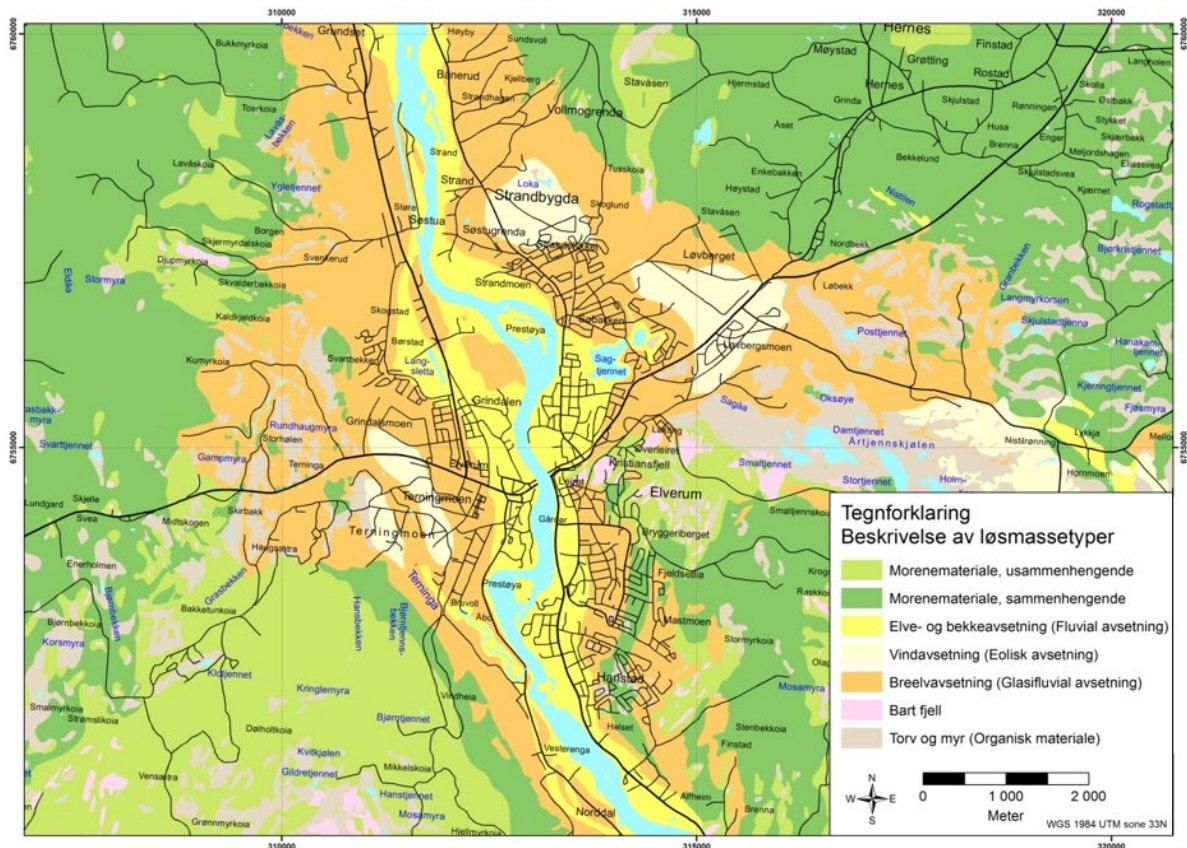
Figur 18. Omfanget av jøkulhlaupet med drenering av vannet ved tapningen av Nedre Glåmsjø, dannelsen av Jutulhogget og oversvømmelsen av de sørlige områdene langs Glåmdalen (Longva, 1984).



Figur 19. Høyeste flomnivå og strømningsskart ved tapingen av Nedre Glåmsjø basert på geologiske feltobservasjoner. Ut fra erosjonslinjer i terrenget var flomnivået over 80 meter over dagens dalbunn i Elverumsområdet (Auran og Høgaas 2021).

Figur 20 viser et kvartærgeologisk kart over Elverum. Det som er markert med grønt på kartet er kartlagt som morene avsatt under innlandsisen, mens oransje farge viser grus, sand og silt avsatt under megafloppen på slutten av siste istid. Gul farge viser elveavsetninger av nyere tid; sortert

materiale med silt, sand og grus som er erodert og re-sedimentert av Glomma og sidevassdrag. Det er også registrert flere store dødisgroper i løsmasseavsetningene hvor Sagtjennet og Vesletjennet er de mest framtrepende. Stedvis stikker fjellblotninger opp gjennom løsmassedeckket og er vist med lys rosa farge på det kvartærgeologiske kartet. Områder med torv (organisk materiale) er vist med gråbrun farge.

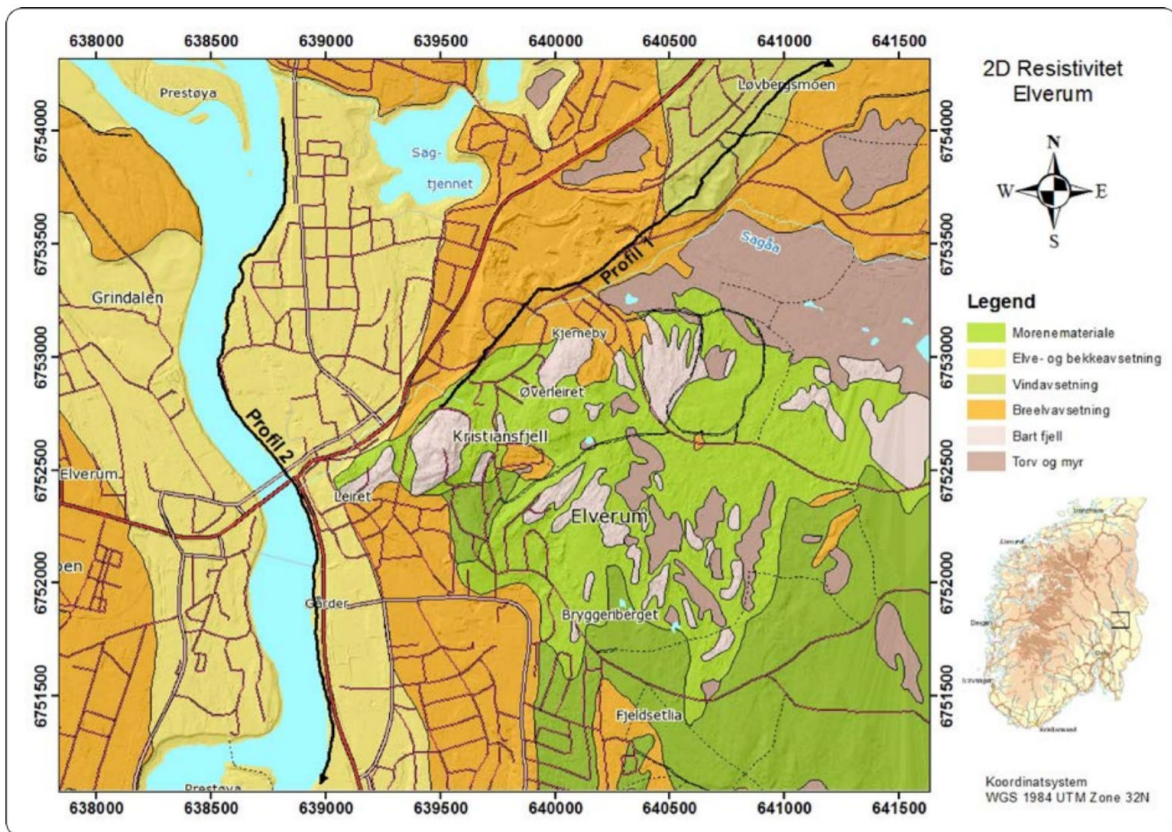


Figur 20. Kvartærgeologisk kart over Elverum ([http://geo.ngu.no/kart/losmasse mobil/](http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/)). Det er forventet at mesteparten av breelvasavsetningene, som stedvis er flere titalls meter mektige, ble avsatt i løpet av noen få dager i forbindelse megafloppen mot slutten av siste istid.

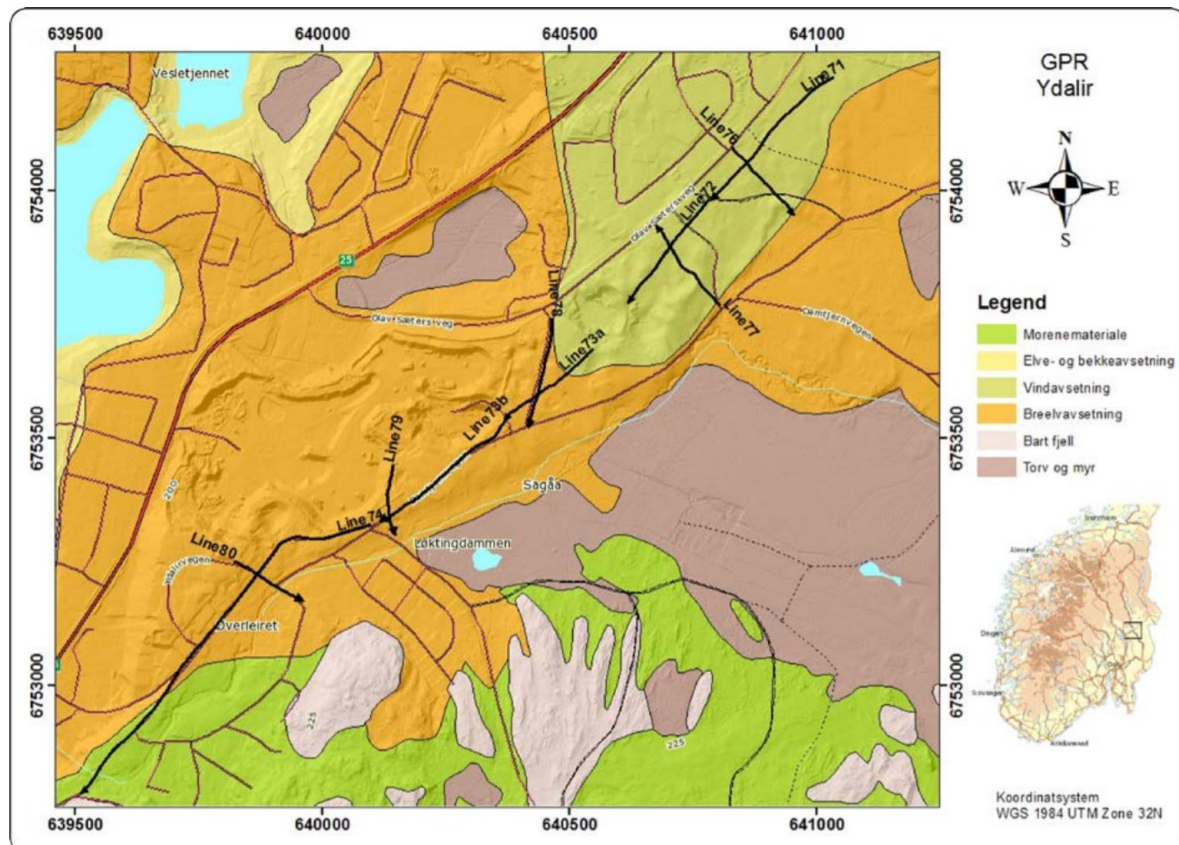
Det er noe usikkerhet knyttet til hvor langt opp i Østerdalen havet har stått etter nedsmeltingen av den store innlandsisen (Høgaas og Longva, 2016). På overflaten, og i de områder hvor det er utført grunnundersøkelser i Elverumsområdet, er det ikke påvist marine avsetninger.

3.2 Geofysiske undersøkelser

Det ble utført både georadarundersøkelser (GPR) og elektriske målinger (2D-resitivitet) langs flere profiler i Elverum med hovedfokus på Ydalir-området (figur 21 og figur 22). Resultatene er samlet i en egen NGU-rapport (Larsen m.fl 2016). Georadarundersøkelsene viser lagdelte løsmasser med betydelig mektighet i alle profilene. Fjelloverflaten og grunnvannsspeilets beliggenhet kan også sees i flere av profilene. 2D-resitivitetsmålingene gir også noe informasjon om løsmassemektighet og beliggenhet av grunnvannsspeilet, men har ikke samme detaljeringsgrad som georadarundersøkelsene. Målingene er stedvis også betydelig påvirket av støy fra tekniske installasjoner som ledninger og kabler i undergrunnen.



Figur 21. Oversikt over 2D resistivetsprofiler utført i Elverum, bakgrunn er kvartærgeologisk kart (Larsen m.fl 2016).

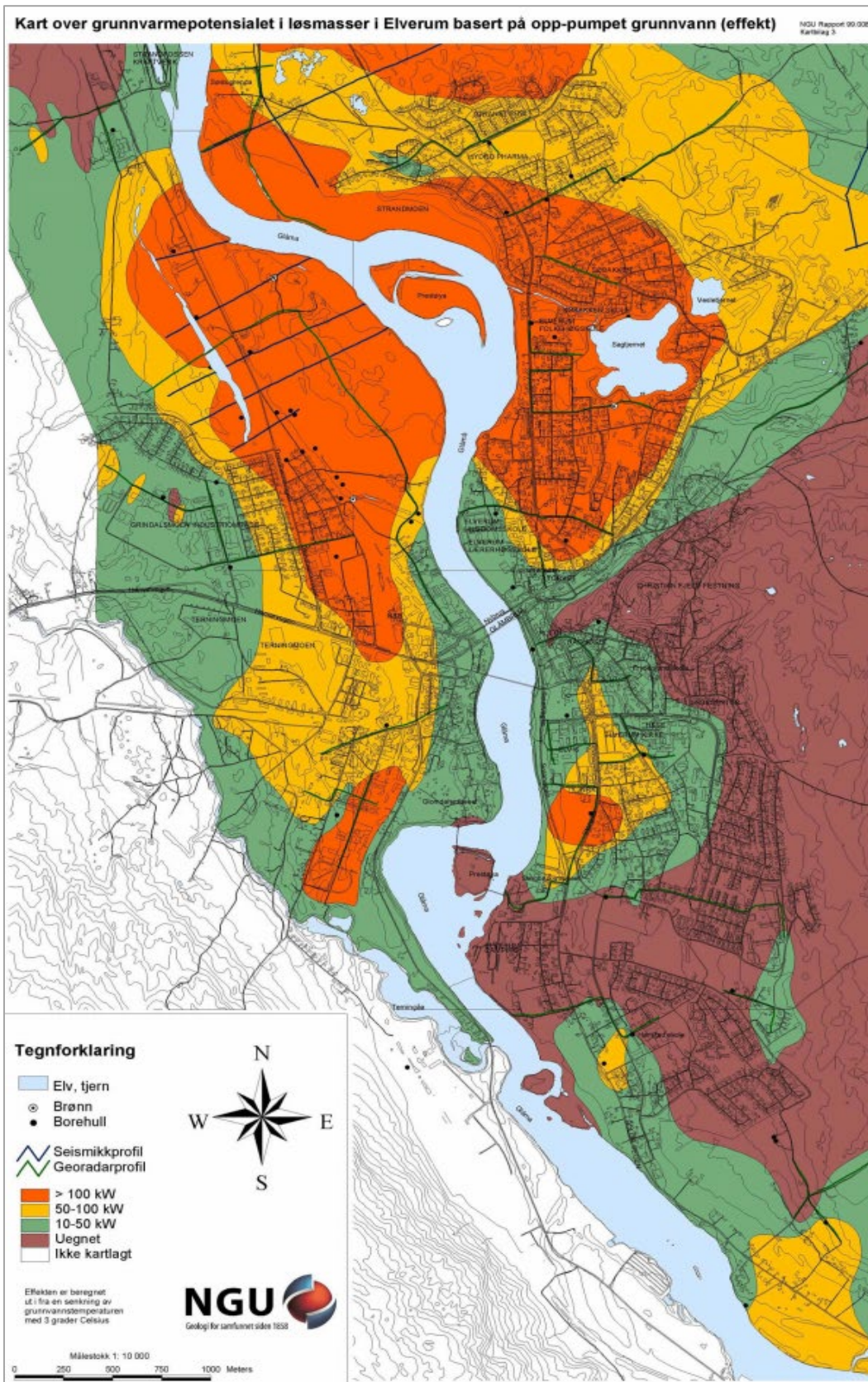


Figur 22. Georadarprofiler målt ved Ydalir, bakgrunn er kvartærgeologisk kart (Larsen m.fl 2016).

3.3 Hydrogeologiske undersøkelser på Elverum

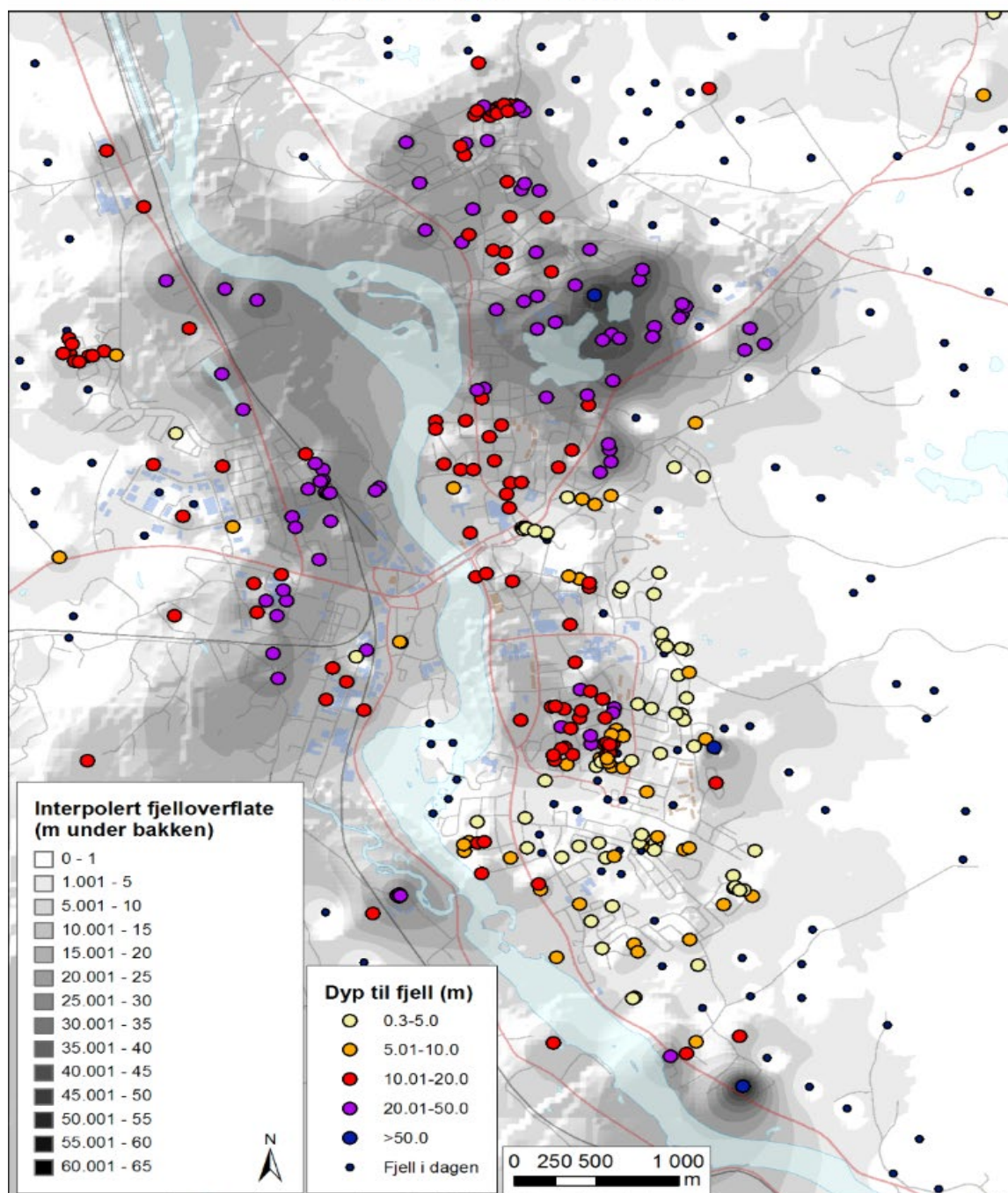
På midten av 1950-tallet ble det gjennomført geologiske undersøkelser for å finne egnede områder for uttak av grunnvann til drikkevannsforsyning til Elverum. Elverum har hatt kommunal drikkevannsforsyning fra grunnvann siden den gang, først ved Sagtjernet, senere ved Grindalen på Vestad og til sist på dagens vannverk ved Lille Grindalen, nordvest for sentrum. Mye av de tidligere geofysiske undersøkelser, grunnboringer og brønnetableringer fra disse lokaliseringsene er sammenstilt i vannressurskart for Elverum (Gaut et al 1981). Kartlegging av grunnvarmepotensialet i løsmasser i Elverum på slutten av 1990-tallet med grunnboringer, etablering av undersøkelsesboringer og georadarundersøkelser har gitt nyttig hydrogeologisk informasjon om området (Lauritsen, 1999, Kalskin 1999). På bakgrunn av disse undersøkelsene ble det utarbeidet et grunnvarmepotensialkart over Elverumsområdet, vist i figur 23.

En rekke private energibrønner gir også viktig geologisk informasjon, spesielt om dyp til fjell og variasjoner i fjelltopografien under løsmassene (figur 24).



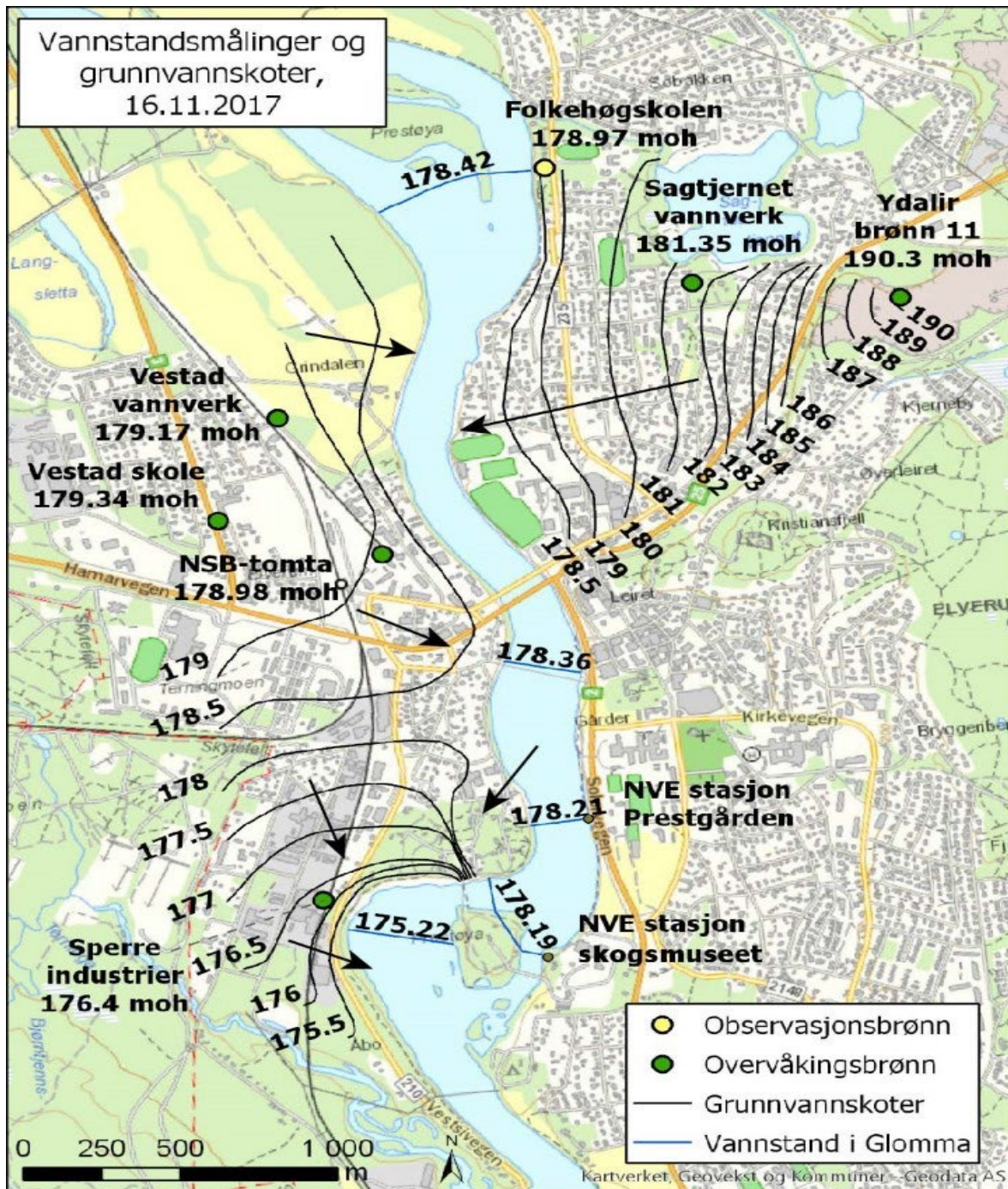
Figur 23. Grunnvannspotensialkart over Elverum basert på geofysiske undersøkelser, grunnboringer og brønnetablering fram til 1998 (Kalskin og Hilmo 1999, [NGU Rapport 99008.pdf](#)).

Dyp til fjell - Elverum



Figur 24. Kart over dyp til fjell i Elverum. Punktene viser en sammenstilling av registrerte borer i Nasjonal brønnboringsdatabase (https://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/) med informasjon om dyp til fjell (Seither, NGU 2016).

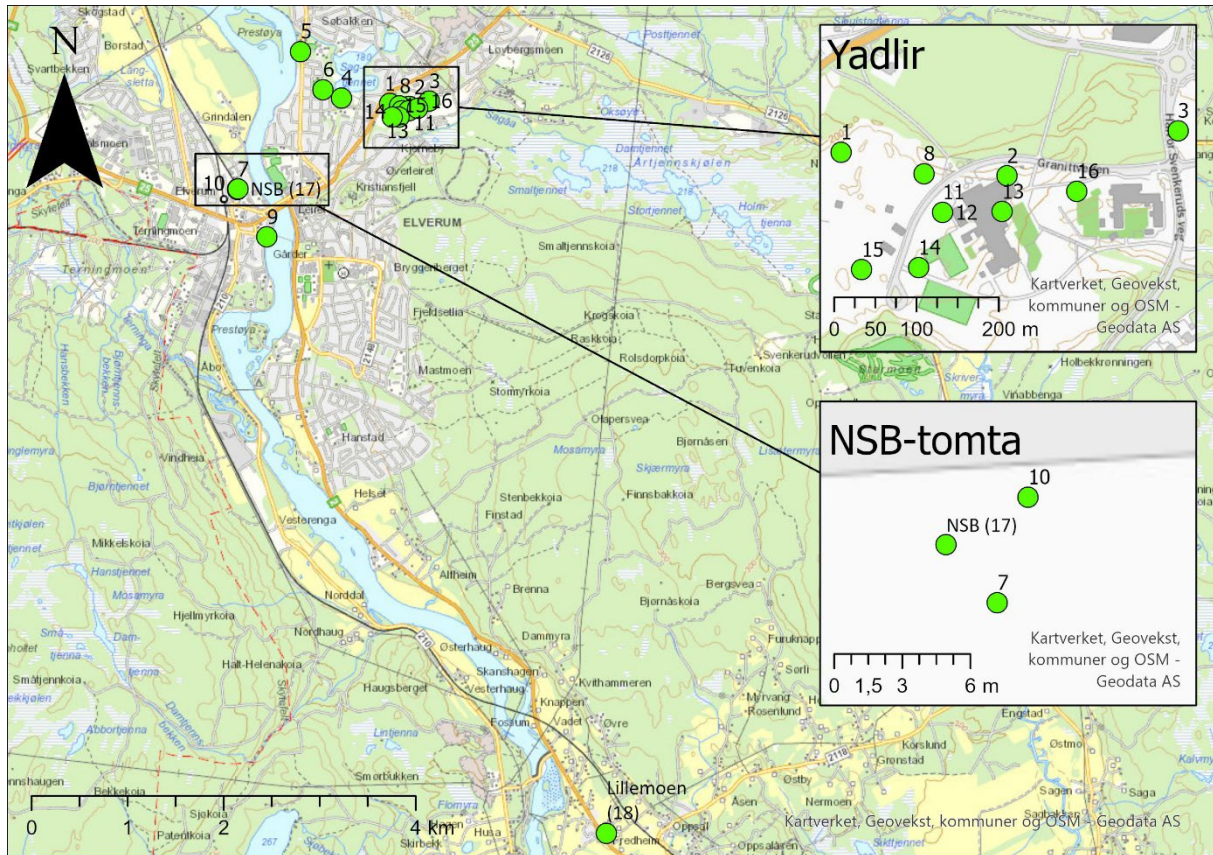
Parallelt med ORMEL-prosjektet er det gjennomført et miljøprosjekt der grunnvannets kjemiske tilstand i Elverum er blitt kartlagt. Dette er et samarbeidsprosjekt mellom NGU og Miljødirektoratet som et ledd i arbeidet med vannforskriften. Det har siden 2016 blitt tatt ut flere grunnvannsprøver til kjemiske analyser fra utvalgte grunnvannsbrønner (Seither m.fl. 2019). Noen av disse inngår i ORMEL-prosjektet. Denne kartleggingen har gitt informasjon om variasjon i grunnvannets kjemiske sammensetning og grunnvannsnivå over tid. På bakgrunn av disse undersøkelsene har det blitt utarbeidet et grunnvannskotekart over Elverum med angivelse av strømningsforhold i grunnvannsforekomsten (Figur 24). Logging av grunnvannsnivå og nivå i Glomma viser at grunnvannsnivået i grunnvannsforekomsten er påvirket av hurtige endringer i Glommas vannivå (Figur 25).



Figur 25. Grunnvannskotekart basert på vannstandsmålinger den 16.11.2017, angitt i meter over havet. På grunn av lesbarheten er ekvidistansen mellom grunnvannskotene 0,5 m på vestsiden og 1 m på østsiden av Glomma. Omtrentlig strømningsretning på grunnvannet er angitt med piler (Seither m.fl. 2019).

3.4 Grunnboringer og brønnetableringer i Elverum

viser omfanget av grunnboringer og brønnetableringer i Elverum.



Figur 26. Oversikt over grunnboringer og brønnetableringer utført i Elverum under ORMEL1 (Riise, 2019)

3.4.1 Ydalir 2015- juni 2017.

Basert på utbyggingsplanene for Ydalir i 2015 ble mye av grunnundersøkelsene gjort i dette området (Figur 26). Det ble blant annet utført flere feltbefaringer, georadarmålinger, grunnboringer og brønnetableringer, pumpetester av brønnene og kjemiske analyser av grunnvannet. Formålet var å kartlegge om de geologiske forholdene var egnet for uttak av større mengder grunnvann.

De tre sonderboringene som ble utført i juni 2016 i Ydalir ga viktig informasjon om løsmassesammensetningen og dyp til berg som ble benyttet i den geologiske tolkingen av de geofysiske undersøkelsene.

I september 2016 ble det etablert en peilebrønn/sandspiss og en overvåkingsbrønn som ga ytterligere grunnlag for dimensjonering og etablering av fem fullskala prøvepumpingsbrønner påfølgende vinter (figur 27). Det ble under etablering av brønnene gjort registreringer av løsmassesammensetning og tatt ut sedimentprøver. Tekniske detaljer og utforming av brønnene samt resultater fra kapasitetstesting av brønnene er vist i tabell 1. To av brønnene (brønn 8 og 11) er små brønner som brukes til overvåking. Brønn nr. 15 fungerer også som en overvåkingsbrønn, men denne er av større dimensjon. De fire resterende brønnene, nr. 12, nr. 13, nr. 14 og nr. 16, er større brønner komplett med filter og pumper. Brønn nr. 16 fungerer som en infiltrasjonsbrønn. Brønnloggene fra undersøkelsene i Ydalir beskriver en geologisk oppbygning som vist i Figur 28 og Figur 29. Figurene viser at Ydalir har en lagdelt geologisk oppbygning med vekslende lag av sand og siltige masser, samt et grovt lag med grus og stein rett over berget.

Grunnboringene viser generelt forholdsvis liten vannføringsevne i sedimentene i dette området unntatt i det grove laget rett over berggrunnen. Prøvepumpingen (tabell 1) viser moderat til god vanngiverevne i disse grove løsmassene, men den samlede kapasiteten blir moderat på grunn av begrensede mektighet og utstrekning på det grove laget. Alle brønnene er filtersatt i det grove gruslaget og grunnvannet pumpes hovedsakelig fra disse sedimentene. Tykkelsen på gruslaget varierer, men synes ut fra grunnundersøkelsene å ligge direkte på berget i hele området, dog med noe varierende egenskaper spesielt imot brønn nr. 15.

Generelt varierer grunnvannstemperaturen gjennom året, men stabiliseres jo dypere under terrengoverflaten brønnens filter er plassert. I Ydalir ble temperaturen logget i brønnene vinteren 2016/2017. Tre eksempler på registrerte temperaturdata sees i Figur 30. Figuren viser at brønn nr. 14, som måler ved 10,5 meters dyp, har større variasjoner enn brønn nr. 13 og nr. 16 som måler ved 20 meters dyp. Spesielt brønn nr. 16 har svært stabil temperatur i den loggførte perioden.

Undersøkelsene viste begrenset kapasitet for uttak av grunnvann over tid, samt at den kjemiske vannkvaliteten var uegnet for varmeveksling (avsnitt 3.5). Brønnene på Ydalir har etter hvert blitt fjernet i forbindelse med utbyggingen av området.

Overvåkingsbrønn (brønn 11) ble etablert i samarbeid med NGU-prosjektet «Kartlegging og overvåking av typelokaliteter for grunnvann med antropogen belastning» og er beskrevet i Seither m.fl. (2019).

Tabell 1: Teknisk utforming av overvåkings- og prøvepumpingsbrønner i Ydalir. Kapasitet ut fra testpumping av produksjonsbrønner er også angitt.

Brønn	Diameter (mm)	Dyp fjell (m)	Filter type	Filterplassering (m) under terreng	Tykkelse grov lag	Pumpe	Kapasitet (l/s)
8	54	22,5	Sandspiss	21,5–22,5	1,5 m	Nei	-
11	63	22,5	1mmPEHD	20,5-22,5	3,5 m	Nei	-
12	273	23,5	0,75mmCS	20,5-23,5	4,5 m	Ja	5
13	273	24,0	0,75mmCS	23,0-26,0	4,0 m	Ja	5
14	273	13,0	0,75mmCS	11,0-14,0	7,0 m	Ja	Mindre enn 5
15	273	20,0	0,75mmCS	18,0-21,0	15,0 m	Nei	Mindre enn 1
16	273	24,0	1mmPVC	20,5-25,5	5,5 m	Nei	?

Det er 7 brønner i Ydalir.

Nr. 8 er en peilebrønn

Nr. 11 er en HMS-brønn

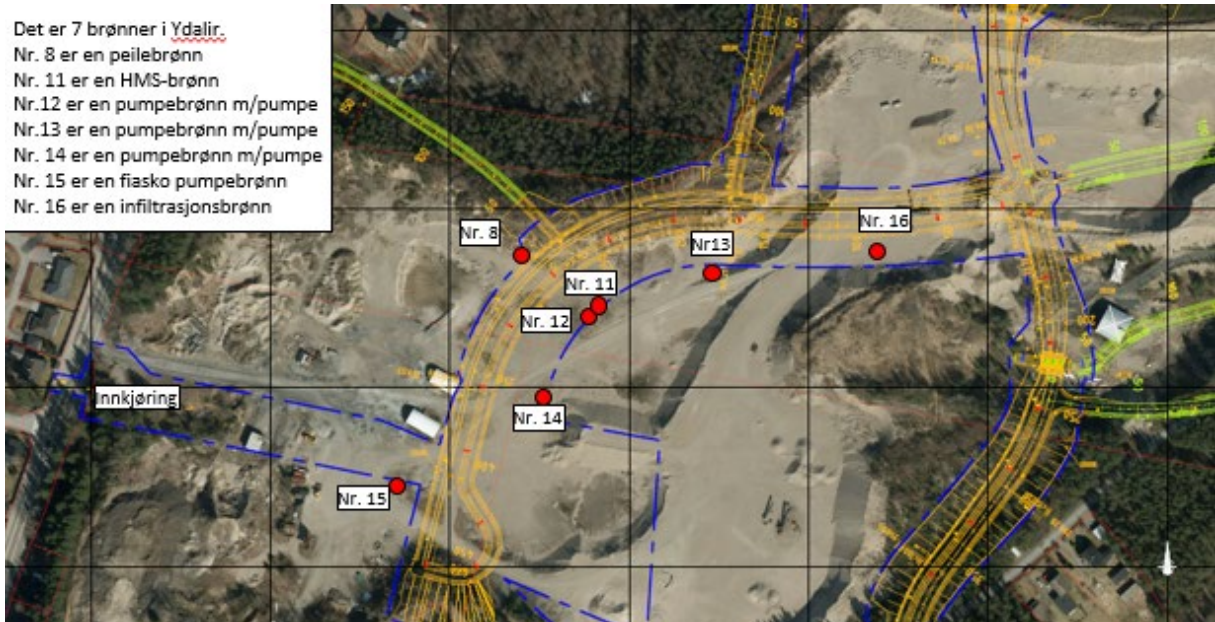
Nr.12 er en pumpebrønn m/pumpe

Nr.13 er en pumpebrønn m/pumpe

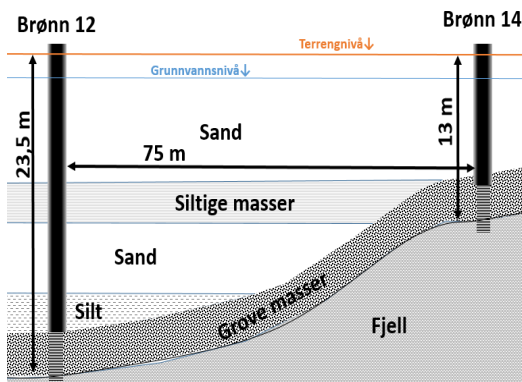
Nr. 14 er en pumpebrønn m/pumpe

Nr. 15 er en fiasko pumpebrønn

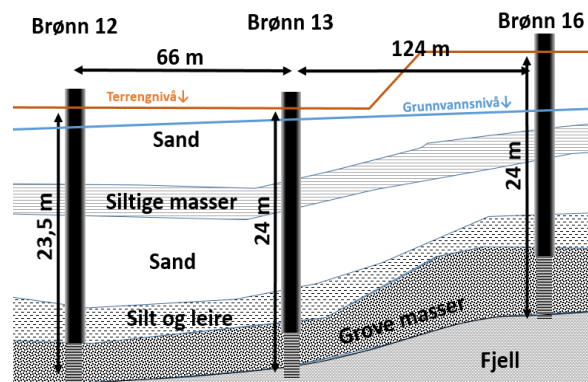
Nr. 16 er en infiltrasjonsbrønn



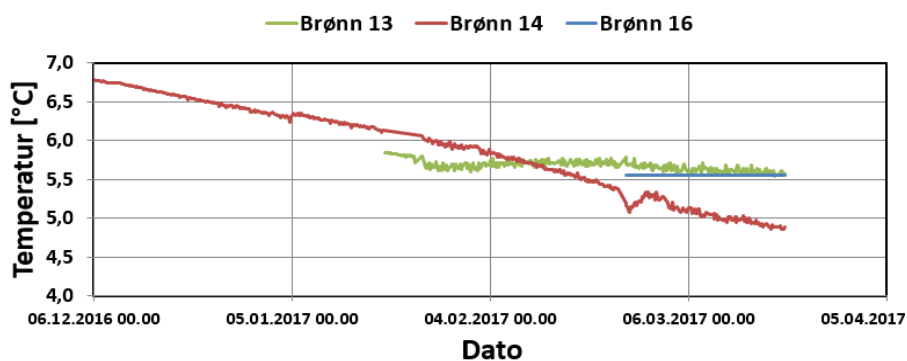
Figur 27. Overvåkingsbrønner og fullskala prøvepumpingsbrønner etablert i Ydalir i 2016.



Figur 28: Geologisk tolkning av løsmassene mellom brønn nr. 12 og nr. 14 i Ydalir.



Figur 29: Geologisk tolkning av løsmassene mellom brønn nr. 12, nr. 13 og nr. 16 i Ydalir.



Figur 30: Registrerte temperaturer i Brønn nr. 13, nr. 14 og nr. 16.

3.4.2 NSB-tomta og Lillemoen skole

Det er etablert to fullskala grunnvannsbrønner på henholdsvis NSB-tomta (forsøksbrønn 17) og på Lillemoen skole (forsøksbrønn 18) (Figur 26). Disse ble prøvepumpet og er rapportert i Riise (2021). I tillegg ble det på NSB-tomta boret en overvåkingsbrønn (2" PEH) i samarbeid med NGU-prosjektet «Kartlegging og overvåking av typelokaliteter for grunnvann med antropogen belastning», se Seither m.fl. (2019).

På bakgrunn av resultatene fra undersøkelsene på Lillemoen skole ble det etablert et grunnvarmeanlegg som forsyner skolen med varme.

3.5 Grunnvannskjemi i Elverum

Grunnvannskjemien i Elverum er vurdert i Seither m.fl. (2019) og Brøste (2017). Analyseresultatene viste at grunnvannet i Ydalir har høye konsentrasjoner av jern og mangan som kan forårsake problemer med utfellinger av jern- og manganoksider i brønnfiltre, rørsystem og varmevekslere. Dette ble bekreftet av langtidsprøvepumping av brønnene i Ydalir (Figur 31).

Undersøkelsene fra NSB-brønnen og Lillemoen skole viser god kjemisk kvalitet med tanke på bruk av grunnvann til energi (Seither m.fl. 2019, Riise 2021 og Brøste 2017)



Figur 31. Jern og manganutfellinger fra grunnvannet i forbindelse med prøvepumping i Ydalir.

4. KUNNSKAPSBASERT FORVALTNING AV GRUNNVANN – NOEN RETTSLIGE OG FAKTISKE UTFORDRINGER

Dette kapittelet er skrevet av Gunnhild Storbekkrønning Solli, basert på «*Ute av syne, ute av sinn – om rettigheter til og forvaltning av grunnvann i norsk rett*», doktoravhandling ved Juridisk fakultet, UIO, 2020. <https://www.haugenbok.no/9788293816195/pensum-og-fagboker/jus/ute-av-syne-ute-av-sinn>

4.1 Sammendrag

Grunnvann er den største, tilgjengelige ferskvannsressursen vi har i Norge, og det er en viktig naturressurs for mennesker og miljø, samtidig som det er en økonomisk ressurs for eieren av grunnvannet. Ressursen har nytteverdi til bl.a. til energiproduksjon og drikkevann og er en viktig leverandør av økosystemtjenester til miljøet rundt seg. Grunnvann er også en sentral nøkkel i en god samfunnsmessig planlegging i et endret klima, f.eks. for å hindre flom. Hvem som eier retten til grunnvannet og hvordan regelverket for forvaltning av ressursen er, har både privat- og offentligrettslig betydning. Samtidig som grunnvann er en viktig ressurs, kan manglende hensyntagen til grunnvann i planlegging føre til skade på omgivelsene. For å styre og forvalte grunnvann på en god måte, er kunnskap en helt avgjørende faktor. I stor grad er det eierne av grunnvannet og kommunene som har ansvar for forvaltning av grunnvann, og det er underkommunisert og lite kjent hva dette ansvaret innebærer og hvilke kunnskapskrav aktørene må ha for å forvalte ressursen riktig. Denne artikkelen belyser hvilke rettslige krav som stilles til kunnskapsbasert forvaltning av grunnvann i norsk rett og peker på enkelte utfordringer det mangelfulle faktiske kunnskapsgrunnlaget om grunnvann medfører for selve forvaltningen av ressursen.

4.2 Forvaltning av grunnvann – hvem sitt ansvar?

Hvordan vi forvalter grunnvannet i dag, har betydning for hvordan ressursen kan fungere i økosystemet og brukes av oss mennesker i morgen. Utfordringen ved forvaltning av grunnvann er at det er en viktig ressurs, men det er samtidig komplisert å regulere fordi riktig forvaltning krever kunnskap. Til tross for at grunnvann gjerne finnes overalt i undergrunnen, har vi liten kunnskap om faktorer som beliggenhet, omfanget og kvaliteten av ressursen. Melhus kommune er et godt eksempel på en kommune som visste å nyttiggjøre seg grunnvann til både drikkevann og oppvarming av kommunale bygg, samtidig som det er bygd opp kunnskap og kompetanse om grunnvann som har nytteverdi for også andre enn kommunen selv.

I Norge har vi hatt rettsregler om forvaltning av vann fra vikingtiden av. Den tidlige reguleringen var rettet mot *eieren av vannet* og begrenset hvordan eieren gjennom ulike typer bruk kunne gripe inn i vannstrømmen ut fra hensyn til andre rettighetshaveres tilgang til vannet. Moderne vannforvaltning skjer ut fra videre perspektiv, hvor rettighetshavernes interesser fremdeles skal ivaretas, samtidig som også andre samfunnshensyn er minst like viktige. Andre samfunnshensyn ved forvaltning av grunnvann er ivaretagelse av de ulike bruksformålene som nevnt i punktet over som drikkevann og næringsproduksjon, men også betydningen av grunnvann i økosystemet og som leverandør av økosystemtjenester som vannrensning og opprettholdelse av poretrykket i undergrunn.³ Forvaltning av grunnvannet må ivareta ressursen som sådan gjennom overordnet planlegging og ved gjennomføring av konkrete tiltak, samtidig som det må hindres at grunnvannspåvirkning kan skade andre ressurser, f.eks. at uttak av grunnvann kan føre til setningsskader i bygningsmasser. Når forvaltning av grunnvann har et så vidt spekter, vil ansvaret tilligge ulike aktører og med ulikt innhold etter hvilken rolle de innehar.

Eieren av grunnvannet er en slik aktør. Først i år 2000 ble det regulert i norsk rett hvem som skulle eie grunnvannet. Før dette tidspunktet hadde enkelte kunne tillegge seg retten til

³ Se oversikt over formålet ved grunnvannsforvaltning i Solli (2020) s. 71-80.

grunnvann gjennom okkupasjon, dvs. ta grunnvann i bruk f.eks. ved å etablere en brønn.⁴ Gjennom vannressursloven i 2000 § 44 ble eieren av overflatearealet også eieren av grunnvannet under eiendommen sin – uavhengig av om vedkommende tar grunnvannet i bruk selv. Fordi grunnvannet kan ligge i grunnvannsforekomster som kan strekke seg over store avstander under bakken, bestemte lovgiver at grunnvannet i slike tilfelle vil ligge i sameie mellom de som har grunnvannsforekomsten under sin tomt. Sameiedelen til grunnvannet skal da settes ut fra størrelsen på eiendommen i overflaten.⁵ Eierskap til grunnvann innebærer en annen måte å tenke på enn ved eierskap til en landeiendom – eierskapet til grunnvann er knyttet til en tredimensjonal ressurs som ligger under bakken og kan være i sameie mellom mange ulike store og små eiere. Det er åpenbart at det vil være vanskelig for eierne å vite om og i hvilken grad grunnvannet brukes av sameiere eller uvedkommende, og om grunnvannsressursen kan være truet av f.eks. forurensningskilder som ligger langt vekk fra grunneierens eiendom. I Melhus kommune vil det f.eks. innebære at grunnvannsmagasinet under Melhus sentrum eies av de største grunneierne – uavhengig av om de bruker grunnvannet eller ei. Det innebærer at bl.a. at eieren har rett til bruk av vannet, eieren kan nekte andre å bruke vannet og eieren har en rett til uttak til egen husholdning og husdyr som ikke kan bortprioriteres til andre formål, f.eks. drikkevann til befolkningen.⁶ Det innebærer også at grunneieren har en forpliktelse til å ivareta grunnvannet og ikke gjennomføre tiltak som medfører skade på grunnvannet eller andre private eller allmenne interesser, jf. § 43a. Eierens kompetanse til å bruke og påvirke grunnvannet er begrenset av konsesjonsplikten og begrensninger i arealbruk. Det innebærer bl.a. at større grunnvannsuttak vil kunne kreve konsesjon fra vassdragsmyndigheten etter vannressursloven § 45. Når offentligrettslige regler på denne måten griper inn i hvordan eieren kan forvalte ressursen, reduseres også eierens ansvar tilsvarende til den sfæren vedkommende har kontroll over. Samspillet kan bli komplisert, da det kan etableres grunnvannskonsesjoner uten at rettsforholdet til private eiere avklares.⁷

Vassdragsmyndigheten, særlig ved NVE, har vært den sentrale forvaltningsaktøren innen vannforvaltningen, som har vært ansett som en sentralt regulert forvaltningssektor. Siden 2000 har NVE også hatt ansvar for konsesjoner til grunnvannstiltak. Det er likevel få grunnvannskonsesjonssaker som har vært behandlet, og sakene det gjelder, gjelder i de fleste saker relativt små uttak av grunnvann. De større infrastrukturtiltakene som potensielt kan ha stor betydning for og påvirkning av grunnvann, som f.eks. tunnelutbygging og energibrønner basert på grunnvannsuttak, har NVE vurdert at har ligget utenfor hva som er konsesjonspliktig tiltak. Det vil si at disse tiltakene kan gjennomføres uten konsesjon fra NVE og uten offentlig forhåndskontroll, men at tiltakshaver har det fulle ansvar dersom skade skjer.⁸ Av andre sentrale aktører av betydning for grunnvannsforvaltning, er Miljødirektoratet, som har et koordineringsansvar for gjennomføringen av vannforskriften og har forvaltningsansvar for områder som er vernet etter naturmangfoldloven.

Kommunene har i realiteten et langt større ansvar for grunnvannsforvaltning enn det som fremgår av lovverket, hvor grunnvann ikke er nevnt knyttet til kommunale plikter overhode. Kommunene har kun en beskjedne myndighetsrolle etter vannressursloven, som er den sentrale loven for bruk og forvaltning av grunnvann etter norsk rett. Kommunene har imidlertid et stort ansvar for grunnvannsforvaltning gjennom arealforvaltning etter plan- og bygningsloven og vannforskriften.⁹ Dette ansvaret er underkommunisert i plan- og bygningsloven, som ikke omtaler grunnvann direkte.

⁴ Solli (2020) s. 52-59.

⁵ Se om nærmere om avgrensningen av grunnvannsretten i Solli (2020) s. 307-323.

⁶ Se hva rettigheten innebærer for eieren i Solli (2020) s. 323-356.

⁷ Solli (2020) s. 266-278.

⁸ Se konsesjonsbehandling i Solli (2020) s. 157-288 og s. 455-459.

⁹ Solli (2020) s. 419-431.

4.3 Krav til kunnskapsbasert forvaltning etter norsk rett

Forvaltningen av grunnvann må være kunnskapsbasert. Hva innebærer dette? Og hvilke krav stilles til kunnskaper ved forvaltning av grunnvann etter norsk rett?

Kunnskapsbasert forvaltning innebærer at forvaltningen er basert på og tar hensyn til kunnskap om grunnvannets beliggenhet, kvalitet og kvantitet og hvordan grunnvannet kan påvirke og påvirkes av omgivelsene. Det innebærer særlige utfordringer for grunnvann som en skjult ressurs.

Krav til kunnskapsbasert forvaltning følger av ulike rettsgrunnlag og er rettet mot ulike aktører. *For forvaltningsorganer* følger et generelt utredningskrav av forvaltningsloven § 17, som innebærer at enkeltvedtak skal være så godt utredet som mulig.¹⁰ Av naturmangfoldloven § 8 følger det et grunnleggende krav at offentlige beslutninger som berører naturmangfoldet skal så langt det er rimelig bygge på vitenskapelig kunnskap om arters bestandssituasjon, naturtypers utbredelse og økologiske tilstand, samt effekten av påvirkninger. Kravet til kunnskapsgrunnlaget skal stå i et rimelig forhold til sakens karakter og risiko for skade på naturmangfoldet. Visse typer tiltak og planer krever konsekvensutredning med sine særegne krav til saksutredning.¹¹ For tiltak som er konsesjonspliktige etter vannressursloven, som uttak av vann og infrastrukturtiltak som kan føre til nevneverdig skade eller ulempe for allmenne eller private interesser, skal konsesjonsmyndighet undersøke forhold som grunnvannsmagasinetns tålegrense, om minstevannførselen i tilgrensende vannforekomster opprettholdes og hvordan tiltaket vil påvirke andre interesser.¹²

Uavhengig av hvilke tiltak som igangsettes, har norske myndigheter plikt til å innhente et *visst basisnivå* av kunnskaper etter vannforskriften. Vannforskriften gjennomfører våre EØS-rettslige forpliktelser etter vanddirektivet. Etter vannforskriften skal de regionale vannregionmyndighetene kartlegge alle grunnvannsforkomster både hva gjelder kvalitet og kvantitet, og det skal lages forvaltningsplaner med tiltak for å sørge at grunnvannets kvalitet og kvantitet forbedres – ikke forringes.¹³ Disse forvaltningsplanene og tiltakene skal igjen trekkes inn i arbeidet kommunene gjør med de kommunale planene.¹⁴ Etter vannforskriften skal grunnvannsforkomstene overvåkes, og forvaltningsplanene skal revideres hvert sjette år for å oppdatere kunnskapen og tiltaksplaner for å nå miljømålene.

Også *private aktører* må ha kjennskap til grunnvannsforkomstenes kapasitet, beliggenhet og størrelse. Hvis det tas ut grunnvann, må uttaket begrenses til grunnvannsmagasinetns tålegrense etter vannressursloven § 44 og ivareta en minstevannføring i tiliggende vassdrag etter § 10.¹⁵ I tillegg må alle som gjennomfører tiltak som kan føre til skade på grunnvann eller gjennomfører grunnvannstiltak, gjennomføre disse til minst mulig skade eller ulempe for allmenne eller private interesser. Det kan f.eks. medføre krav til at utbygninger skjer på en slik måte at vannbalansen i undergrunnen opprettholdes slik at det ikke skjer setningsskader eller erosjon i nærområdene.

Rent praktisk innebærer det at kommuner, andre forvaltningsinstanser og private parter må ha en viss juridisk kompetanse om rettsreglene og hydrogeologisk kompetanse om hvordan tiltak og planer kan påvirke grunnvann og omgivelsene.

¹⁰ Se om utredningsplikten i Solli (2020) s. 200-225.

¹¹ Solli (2020) s. 209-213 og 428-431.

¹² Solli (2020) s. 245-257.

¹³ Se om miljøgrenser for grunnvann etter direktivet i Solli (2020) s. 250-255.

¹⁴ Solli (2020) s. 400-414.

¹⁵ Solli (2020) s. 324-338.

4.4 Faktiske utfordringer med kunnskapsbasert forvaltning av grunnvann

Når lovverket stiller høye krav om kunnskap til grunnvann både ved basiskunnskap etter vannforskriften, ved planarbeid og ved tiltak og anlegg som kan medføre fare, skulle en tro at det faktiske kunnskapsnivået samsvaret med disse kravene. Slik er det imidlertid ikke i dag.¹⁶

Ansvar for dette er delt. Grunnvann er ikke kartlagt i Norge slik kravene etter vannforskriften og EUs vanddirektiv er.¹⁷ Broen mellom kravene til rettslig regulering og forvaltning er derfor ikke til stede på den måten som regelverket forutsetter. Plikten til kunnskapsinnhenting er lagt på sentralt nivå til Miljødirektoratet og vannregionmyndighetene, men kommunene har like fullt en plikt til kunnskapsbasert forvaltning når det legges planer og fattes vedtak. Det er den enkeltes private aktørs plikt å innhente nødvendig kunnskap svarende til de plikter og tiltak som skal iverksettes, men samtidig må regelverket være tilpasset slik at det ikke blir for komplisert for den enkelte å forstå f.eks. hvem en eier grunnvannsforekomster sammen med. For at private skal kunne oppfylle de kravene som følger av regelverket i dag, forutsetter det at det er innhentet en viss basiskunnskap som er gjort tilgjengelig. At det ikke er kartlagt i henhold til forskriften og direktivet, innebærer at kommunene og private aktører ikke får den kunnskapen som forutsettes for en samordnet forvaltning.

Et annet forhold er at det finnes mer informasjon enn det som faktisk er tilgjengeliggjort for allmennheten. NGU har en database over grunnvannsbrønner og kartfestet oversikt over geologiske grunnundersøkelser basert på tiltakshavers rapporteringsplikt etter vannressursloven § 46. Her er det en stor underrapportering – særlig gjelder dette hydrogeologisk rapporter fra ulike undersøkelser.¹⁸ Kartlegging av vannforekomster skal samles på nettportalen vann-nett.no, og i tillegg til at det ikke er klassifisert grunnvannsforekomster etter vannforskriften, mangler en også data fra allerede kartlagte grunnvannsforekomster både når det gjelder faktisk forekomster, kvalitet og kvantitet. For eksempel er det ikke registrert grunnvannsforekomster i Melhus kommune på vann-nett foruten om grunnvannsforekomstene som ligger langs hele Gaulavassdraget – til tross for at disse er kartlagt gjennom flere forskningsprosjekter og av kommunen selv i tilknytning til arbeid etter plan- og bygningsloven.¹⁹

For kommunal sektor er det særlig forvaltning av grunnvann etter plan- og bygningsloven som innebærer store utfordringer i praksis. Det har dels sammenheng med at Kommunal- og moderniseringsdepartementet har lagt til grunn en snever forståelse av hvilke tiltak som krever tillatelse etter plan- og bygningsloven som innebærer at grunnvannsboring i hovedsak ikke anses som søknadspliktige tiltak.²⁰ Det gjør at kommunene har liten kontroll på utviklingen av undergrunnen dersom de ikke vedtar særlige tilpasninger i arealplaner og reguleringsplaner.²¹ Få kommuner utreder grunnvannsmessige forhold ved plan, som Melhus kommune gjorde ved kommunedelplanen for å avklare arealdisponeringsmessige forhold rundt grunnvannsforekomsten på Fremo,²² og det kan stilles spørsmål ved om grunnvannsmessige forhold blir godt nok belyst i konsekvensutredninger etter plan- og bygningsloven slik dette gjøres i dag.²³

For kommunene er det en særlig utfordring å skaffe tilstrekkelig hydrogeologisk kompetanse for å identifisere hvilke forhold som krever en nærmere utredning, noe som kan innebære at arealbruk skjer i dag med en praktisk talt irreversibel virkning for morgendagen, f.eks. ved å det legges infrastruktur eller næringsareal over potensielle drikkevannsforekomster.

¹⁶ Solli (2020) s. 445-469.

¹⁷ Solli (2020) s. 402-414.

¹⁸ Solli (2020) s. 31-33.

¹⁹ Se f.eks. Solli (2020) s. 462.

²⁰ Solli (2020) s. 178-180.

²¹ Solli (2020) s. 431-433.

²² Solli (2020) s. 431.

²³ Solli (2020) s. 227-233, 428-431 og 442-444.

4.5 Rettslige utfordringer ved en kunnskapsbasert forvaltning i dag

Regelverket vi har om grunnvann i dag tilfredsstillende en del kjernepunkter ved forvaltning av grunnvann: Vi har regler som regulerer hvem som har rettigheter til grunnvann, vi har regler som regulerer hvilke tiltak som trenger offentligrettslige konsesjoner fordi de er av en slik karakter at de kan skade ressursen, forbud mot forurensning og nedgradering av grunnvannets kvalitet og kvantitet, og vi har regler som stiller krav til langsiktig planlegging for å hensynta og ivareta grunnvann i samfunnsplanleggingen.²⁴

Regelverket har likevel svakheter slik det er i dag. Det gjelder for det første sameie modellen for privat eierskap av felles grunnvannsforkomster etter vannressursloven § 44, som forutsetter at private eiere skal ha kunnskap om hvor grunnvannet under deres eiendom ligger og i hvilket omfang grunnvannet brukes i dag. Undergrunnen er i stor grad uregulert, og i mangel av regelverk utvikles i dag undergrunnen på en måte som kan være problematisk for videre samfunnsutvikling, som infrastrukturtiltak. Videre er det ikke i tilstrekkelig grad avstemt mellom ulike regelverk hvilke tiltak som skal være konsesjonspliktige etter vannressursloven og søknadspliktige etter plan- og bygningsloven. I sum fører det til at kanskje ikke de riktige tiltakene søknadsbehandles ut fra intensjonen om at konsesjonsbehandling skal skje av tiltak som kan medføre potensiell skade eller ulempe. Grunnvann er i lite grad synlig i regelverket og veiledere til regelverket, noe som er nødvendig å endre for å bidra til bedre forvaltning og kunnskapsheving.²⁵

4.6 Veien videre

Grunnvann vil være en viktigere ressurs i årene som kommer. Det har dels betydning ved at *bruken* er økende både som drikkevannskilde, til energiproduksjon og til næring, som f.eks. til settefiskanlegg. I tillegg vil *klimaendringer* gjøre at vi får mer nedbør i noen områder og mindre nedbør i andre, slik at vi i perioder vil ha for lite ferskvann og i perioder vil få problemer med å håndtere styrtregn og flom. Det setter krav til forvaltning av grunnvann og overflatevann sett i sammenheng – både for å sikre nok vannressurser og for å regulere vannmasser for å unngå skade.

Den største faktiske utfordringen for forvaltning av grunnvann er å innhente kunnskap, gjøre innhentede kunnskap allment kjent og at ulike aktører har god nok kompetanse til å håndtere grunnvannsfaglige spørsmål ved gjennomføring av ulike prosjekter og arealplanlegging. ORMEL-prosjektet har bidratt til en slik kunnskapsutvikling, og det er viktig denne kunnskapen videreformidles til og videreutvikles i samfunnet for øvrig.

²⁴ Solli s. 121- 130 om effektive virkemidler for grunnvannsforvaltning.

²⁵ Solli s. 425-470.

5. RESULTATER OG KONKLUSJON

Det har vært helt essensielt for prosjektenes suksess at arbeidet har vært godt forankret i Melhus og Elverum kommuner. Gode grunnlagsdata er krevende å få tak i, og mye arbeid er lagt i å undersøke grunnen og grunnvannet. Det samme gjelder innhenting av driftsdata fra installasjonene. Erfaringene fra ORMEL-prosjektene vil ha stor nytteverdi for framtidige brukere og eiere av grunnvarmeanlegg.

Undersøkelsene i ORMEL viser at grunnvannsressursen i Melhus sentrum er stor nok for kommersiell utnyttelse med et anslått potensial for varmeuttak mellom 5-10 MW og 15-30 GWh/år avhengig av hvordan anleggene driftes. I tillegg er potensialet for kjøling i samme størrelsesorden. Energiressursene vil kunne dekke varme- og kjølebehovet i Melhus sentrum. Lokalt i Elverum er det tilgjengelig grunnvann for energiutnyttelse. Dette er dokumentert ved Lillemoen og på NSB-tomta. Ved Ydalir var grunnvannsressursen for liten og den kjemiske vannkvaliteten uegnet for grunnvarmeuttak basert på uttak av gruvann.

Utnyttelse av grunnvarme krever kompetanse fra mange fagområder, herunder grunnvarme, hydrogeologi, varmepumpe-teknikk, automasjon/overvåking og drift/vedlikehold. Den tekniske kompetansen ved bruk av grunnvann til varme- og kjøleformål har gjennom ORMEL-prosjektene økt betydelig på alle nivåene i verdikjeden. Dette gjelder særlig designfasen hvor utilstrekkelige løsninger fra start skapte store utfordringer i driftsfasen.

Mange av anleggene har hatt problemer med tetting av returbrønnene på grunn av utfelte jern- og manganforbindelser. I tillegg kan returbrønnene fylles med partikler av sand og silt som pumpes opp sammen med grunnvannet dersom filteret i produksjonsbrønnen er feil plassert eller feildimensjonert. Dette reduserer gradvis kapasiteten i brønner, pumper, rør og varmevekslere. Basert på studier av vannkjemiske og mikrobiologiske forhold, samt løst CO₂-gass i grunnvannet, er det laget bedre drifts- og vedlikeholdsprosedyrer.

Et spesialtilpasset overvåkingssystem som kan overvåkes og fjernstyres via pc/smarttelefon er utviklet i samarbeid mellom Sameiet Lena terrasse og Optiview og legger til rette for enklere, preventivt og prediktivt vedlikehold. En slik overvåkningsløsning er en forutsetning for storskala utnyttelse av grunnvann i et felles nærvarmenett. Dokumentasjon ved bruk av brønnpilming, GIS og rensemetoder som er utprøvd i ORMEL-prosjektene, inngår nå som standard for denne type anlegg.

De økonomiske og juridiske utfordringer knyttet til forvaltning og eierskap av grunnvann er belyst av Dr. Jur. Gunnhild Storbekkrønning Solli (2020) med Melhus som eksempel. Det settes klare krav til kunnskap om grunnvann i lovverket gjennom plan- og bygningsloven og vannforskriften, men forvaltningens faktiske kunnskapsnivå er utilstrekkelig.

Kommersialisering av distribuerte varmepumpeløsninger for salg av varme og kjøling fra grunnvann i Melhus er basert på kunnskapen fra ORMEL-prosjektene. TrønderEnergi har med støtte fra Enova, utviklet konseptet og de forretningsmessige aspektene ved en fellesløsning. De har fått tilsagn om investeringsstøtte for utbygging av et fullskala anlegg, og flere konkrete prosjekter for overtakelse, planlegging, drift og salg av varme og kjøling i Melhus sentrum er under arbeid. Høsten 2022 forventes det en endelig utbyggingsbeslutning hos TrønderEnergi.

Ny kunnskap fra ORMEL har blitt tatt i bruk fortløpende i andre prosjekter som f.eks. Gimse barneskole og Melhushallen nord. En doktorgrad er fullført og nummer to forventes ferdig våren 2023. Dette inkluderer ti artikler publisert i nasjonale og internasjonale vitenskapelige tidsskrift. I tillegg er det utført 13 masteroppgaver ved NTNU. Ved Institutt for geovitenskap og petroleum, NTNU er et nytt doktorgradsprosjekt nylig igangsatt på Bømoen i Voss herad hvor tilrettelegging for bruk av grunnvann til varme/kjøling er et viktig tema.

Forskningen i ORMEL-prosjektene har hele tiden blitt utført innenfor en større samfunnsmessig ramme. Det har blitt fremskaffet et kunnskapsgrunnlag som reduserer risikoen ved kommersiell utnyttelse av grunnvannsressurser. Det tar tid å utvikle samarbeidsrelasjoner, og det var derfor ekstra viktig at vi kunne fortsette arbeidet i ORMEL 2. Nå er tiden moden for å avrunde forskningsdelen i Melhus og videreføre metodikken og konseptene i mer kommersielle

anvendelser. For eksempel har TrønderEnergi og Asplan Viak videreført ideer, metodikk og erfaringer i nye prosjekter som Nyhavna i Trondheim og innovasjonsprosjektet INTO-ZERO – integrert planlegging av nullutslippsområder.

Som en følge av den pågående energiomstillingen og energi- og klimakrisen, er det forventet at lokale energikilder vil få stadig større betydning. Resultatene som er oppnådd i ORMEL og ORMEL 2 kan overføres og skaleres opp både med bruk av grunnvann og andre varmekilder.

6. REFERANSER

Aurand, K. & Høgaas, F. 2021: [Coupling hydrodynamic simulations with field observations to reconstruct the Nedre Glomsjø outburst flood](#). NGF Vinterkonferanse 8. januar 2021.

Bargel, T. G. 1982: Elverum, kvartærgeologisk kart 2016 IV, 1:50 000. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse.

Bargel, T. H. 1983: Elverum. Beskrivelse til kvartærgeologisk kart 2016 IV – M 1:50 000, med fargetrykt kart. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse.

Brøste, H. M. 2017: Vannkvalitet knyttet til grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg i Melhus og Elverum. Masteroppgave, Institutt for geovitenskap og petroleum, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Colleuille, H., Dimakis, P. & Wong, W.K. Norges vassdrags- og energidirektorat 2005: Elv og grunnvann Sluttrapport - oppsummering og anbefalinger. NVE rapport nr 8 2005.

https://publikasjoner.nve.no/rapport_miljoebasert_vannfoering/2005/miljoebasert2005_08.pdf

Driscoll F.G. 1986: Groundwater and wells –second edition. Utah water resources laboratory , ISBN 09-616-45601.

Eggen G. & Vangsnes G. 2005: Heat pump for district cooling and heating of Oslo Airport Gardermoen. Proceedings of the 8th IEA Heat Pump Conference, 7 s.

Gaukstad, L., Haraldseth, Å., Hagen, K.R., & Rognlien, S. 1995: Glommens og Laagens Brukseierforening Bind III 1968-1993. ISBN 82-993758-0-0. 316s.

Gaut, A., Klemetsrud, T. og Rohr-Torp, E. 1981: Elverum M 1:50 000. Beskrivelse til vannressurskart "Grunnvann i løsavsetninger". Spesielle rapporter 31. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse.

Gjengedal, S., Ramstad, R.K., Hilmo, B.O. & Frengstad, B.S. 2018: Video inspection of wells in open loop ground source heat pump systems in Norway. IGSHPA Research Track, Stockholm, Sweeden, September 18-20, 2018. p 1-5.

Granada – Nasjonal grunnvannsdatabase: <http://geo.ngu.no/kart/granada/>

Grunnforurensingsdatabase: <https://grunnforurensning.miljodirektoratet.no/>

Haugen, T. 2015: Kartlegging av dybde til fjell i Elverum sentrum og geologisk beskrivelse til videre bruk i 3D-modell. Prosjektoppgave. NTNU.

Hansen, L., Eilertsen, R.S., 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 202:710-729

Hilmo, B.O. & Riise, M.H. 2020: Energibrønn Gimse barneskole, Melhus kommune. Asplan Viak AS **Notat**. Oppdragsnummer 605045-02. ORMEL 2 prosjektet. 13. august 2020.

Hugdahl, H. 1979: Løsmassegeologiske undersøkelser i Melhusområdet. Prosjektoppgave NTH

Høgaas, F., Longva, O. 2016: Mega deposits and erosive features related to the glacial lake Nedre Glomsjø outburst flood, southeastern Norway. Quaternary Science Reviews, Vol 151 (2016), pp. 273-291.

Høgaas, F., Aurand, K. & Longva, O. 2021: [Palaeolakes and outburst floods in south-central Norway](#). NGF Vinterkonferanse 8. januar 2021.

Kalskin, R. & Hilmo, B.O. 1999 Kartlegging av potensialet for grunnvarmeuttak fra løsmasser i Elverum. NGU-rapport 99.008. Norges geologiske undersøkelse. https://www.ngu.no/upload/Aktuelt/Nyheter2012/99_008.pdf

Larsen, B., E., Ganerød, G. V. & Høgaas, F. (2017). Bakkegeofysiske undersøkelser ved Ydalir og Elverum sentrum, Elverum kommune, Hedmark. NGU-rapport 2016.020. Norges geologiske undersøkelse.

https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2016/2016_020.pdf

Lauritsen, T. 1998: Georadarundersøkelse av sedimentene i Gaulas elvebunn. NGU rapport 98.147

<https://www.ngu.no/publikasjon/georadarunders%C3%B8kkelser-av-sedimentene-i-gaulas-elvebunn>

Lauritsen, T. 1999: Georadarmålinger i forbindelse med kartlegging av grunnvarmepotensialet i løsmasser ved Elverum. NGU-rapport 99.024. Norges geologiske undersøkelse.

<https://openarchive.ngu.no/ngu-xmlui/handle/11250/2665511>

Longva, O. 1984: Romeriksmjelen danna ved ein storflaum på Austlandet for vel 9000 år siden, Norges geologiske undersøkelse, Årsmelding (1984), pp. 8-11.

Nagelhus, L. 2019: Trønderenergi Kraft AS - KONSEPTUTREDNING FELLESLØSNING GRUNNVANN TIL VARME OG KJØLING I MELHUS SENTRUM/ GIMSE. Rapport 619762-01 Asplan Viak. https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Eksterne-grunnvannsrapporter/VRL46_2019_005a_ful.pdf

Mauring, E. 1992: Refleksjonsseismiske målinger på Melhus, Melhus kommune, Sør-Trøndelag. NGU rapport 92.176

Meteorologisk institutt: <http://eklima.met.no/>

Multiconsult 2006: Kvikkleirekartlegging Melhus. Geoteknisk datarapport. Multiconsult rapport 411760-1, 3. juli 2006

Olsen, L., Bergstrøm, B., Sveian, H. & Riiber, K. 2018: Beskrivelse til kvartærgeologisk kart over Hedmark fylke i M 1:300000. NGU-rapport 2017.042. 41s.

<https://www.ngu.no/publikasjon/beskrivelse-til-kvartærgeologisk-kart-over-hedmark-fylke-i-m-1300-000>

Ramstad R.K., Gjengedal S., Frengstad B.S., Hilmo B.O., Dagestad A., Riise M.H., Holmberg H., Venvik G., Eikevik T., Børseth M. og Skari H.E. 2018: ORMEL –Optimal ressursutnyttelse av grunnvann til varme og kjøling i Melhus og Elverum. Popular science article as the final summary of the research project.

Reite, A.J. 1983: Trondheim. Beskrivelse til kvartærgeologisk kart 1521 I, M 1:50000. NGU nr. 391. + kart

Reite, A.J. 1985: Støren. Beskrivelse til kvartærgeologisk kart 1621 III, M 1:50000. NGU Skrifter 65, 25 s. + kart

Reite, A.J., Sveian, H. & Erichsen, E. 1999. Trondheim fra istid til nåtid. Gråsteinen 5, NGU.

Riise, M .H. 2015: Praktisk guide for grunnvarmeanlegg basert på oppumpet grunnvann: Hydrogeologiske forundersøkelser, etablering, drift og oppfølging med utgangspunkt i erfaringer fra etablerte anlegg i Melhus sentrum (Master thesis). NTNU, Trondheim.

Riise, M.H. & Hilmo, B.O. 2014: Sameiet Lena Terrasse – Tilstandsvurdering av grunnvannsbrønner. Asplan Viak **Notat**, oppdrag 533241 (11.11.2014).

Riise, M.H. 2018a: Nye grunnvannsbrønner til Buen sykehjem, Melhus kommune. Asplan Viak **Rapport**, oppdragsnummer 618200-01.

Riise, M.H. 2018b: Rehabilitering av infiltrasjonsbrønn – Oterholmgården. Sameiet Melhusvegen 451. Asplan Viak **Rapport**. Oppdrag: 613776-01-Testpumping av energibrønner (23.02.2018).

Riise, M. H. 2018c: Lillemoen skole Grunnbrønn, Elverum Kommune, Asplan Viak AS Rapport, Oppdragsnr. 610468-02 (03.12.2018).

Riise, M. H. 2018d: Trinntest NSB-brønn, Elverum, Asplan Viak AS **Notat**. Oppdragsnummer 8801

Seither, A., Gundersen, P., Jæger, Ø. & Sæther, O.M. 2017: Landsomfattende mark- og grunnvannsnett (LGN) – Fortid og fremtid etter 39 års drift. NGU-rapport 2016.039.
<https://www.ngu.no/publikasjon/landsomfattende-mark-og-grunnvannsnett-lgn-fortid-og-framtid-etter-39-ars-drift>

Seither, A., Dagestad, A., Jæger, Ø., Gundersen P., Minde, Å., Eggen, O., Ganerød, G., Gjengedal, S., Larsen, B. E. & Høgaas, F. 2019. Elverum - Kartlegging og overvåking av typelokaliteter for grunnvann med antropogen belastning. NGU rapport 2019.018.
https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2019/2019_018.pdf

Sindre, A. 1980: Seismiske målinger 1972-1979 i Gauldalen. NGU rapport 1641

Solberg, I.L. & Glåmen, M.G. 2004: Geologisk utvikling med hovedvekt på leirskred i nedre del av Gauldalen, Sør-Trøndelag. Studentoppgave ved Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU

Solberg, I.-L., Dagestad, A. & Dalsegg, E. 2014: 2D resistivetsmålinger ved Brubakken, Melhus sentrum og Skjerdingstad i Melhus kommune, Sør-Trøndelag: Data og tolkninger, Rapport nr. 2014.022. Trondheim: Norges geologiske undersøkelser.

<https://www.ngu.no/publikasjon/2d-resistivetsmalinger-ved-brubakken-melhus-sentrum-og-skjerdingstad-i-melhus-kommune>

Solli, G. S. 2020: *Ute av syne, ute av sinn – om rettigheter til og forvaltning av grunnvann i norsk rett*, doktoravhandling ved Juridisk fakultet, UIO, 2020.

Stenvik, L. A., Gjengedal, S., Ramstad, R. K. & Frengstad, B.S. 2022a: Hydrochemical and biotic control on iron incrustations in groundwater heat pump systems: Case study from a saline, anoxic aquifer in Melhus, Norway. *Geothermics*. vol. 100.

Stenvik, L. A., Gjengedal, S., Ramstad, R. K. & Frengstad, B.S. 2022b: How to avoid gas clogging in groundwater heat pump systems: a case study from the Lena terrasse system in Melhus, Norway. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. vol. 81 (4).

Storrø, G. 2000: Grunnvannsundersøkelser i tilknytning til planlagte energibrønner i Lenaområdet. Melhus sentrum. NGU rapport 2000.069.

<https://www.ngu.no/publikasjon/grunnvannsundersokelser-i-tilknytning-til-planlagte-energibrønner-i-lena-området-melhus>

Tassis, G., Gellein, J. & Rønning, J.S. 2016: Depth to bedrock and bedrock morphology from gravity measurements at Melhus, Melhus Municipality, Sør-Trøndelag. NGU Report 2016.011.
https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2016/2016_011.pdf

Vannmiljødatabasen: <https://vannmiljo.miljodirektoratet.no/>

Wolff, F.C. 1976: Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Trondheim 1:250 000. Norges geologiske undersøkelse.

Wong, Wai Kwok & Colleuille, Hervé. 2005: Elv og grunnvann. Estimering av grunnvannsbidrag til det totale avløpet ved hydrogramseparering. NVE rapport nr 5 – 2005.

Vedlegg 1: Doktorgradsavhandling og vitenskapelige artikler

Sondre Gjengedals doktorgradsavhandling (2021)

[Groundwater heat pump systems: new insight on design and on fluid flow in unconsolidated aquifers](#)

Abstract

This PhD thesis concerns groundwater heat pump (GWHP) systems in Norway, which are systems that utilize groundwater as a source of thermal energy for heating and cooling applications in buildings. GWHP systems can typically enable consumers to save 70 % or more of their electric energy demand for heating applications compared to conventional electric heating. The main study site for this PhD project is in Melhus, just south of Trondheim, where ten such GWHP systems currently utilize groundwater from an unconsolidated aquifer beneath the town center, the so-called Melhus aquifer. Both the design and the operational strategy employed by the GWHP systems influence their efficiency and long-term operations. This thesis focus on, and demonstrate, that it is vitally important to understand how groundwater flows through both the aquifer and the GWHP system to ensure a reliable, sustainable, and efficient utilization of the groundwater resource.

Six scientific articles form the core of this thesis and addresses various topics of groundwater flow through GWHP systems. Five of the papers investigate problems due to clogging, which frequently trouble GWHP operations. All GWHP systems in Melhus are affected by clogging problems that disrupt the flow of water, and thereby the heating and cooling process. Clogging can occur due to a variety of reasons and is a severe challenge for the successful long-term operation. In some cases, clogging mechanisms have caused the entire GWHP system to malfunction. Routine surveillance of the operation and regular maintenance is thus important for GWHP systems. A surveillance method that measures the hydraulic and thermal performance of the GWHP system is presented and tested for this purpose. This method can detect where and when maintenance is needed and allow a GWHP-specialist to follow up and interpret the performance data and schedule for the correct maintenance measures. Also, one possible clogging trigger event has been analyzed specifically, because it is triggered by the design of the system layout and occurs when vacuum pressures develop in the pipes and in the wells. Vacuum pressures affect the solubility of gases in groundwater and can trigger exsolution of dissolved gas, which has the potential to catalyze chemical reactions that precipitate particles, such as iron or manganese hydroxides. These particles are frequently found to be causing the clogging itself.

The last paper focus on the groundwater flow properties of aquifers. Pumping of groundwater from an aquifer induce hydraulic strain in the soil. The magnitude of induced hydraulic strain is governed by the permeability of the pores within this soil. This phenomenon was studied by means of a novel and innovative 3D technique, which employs 3D-printing, CT scanning and laboratory work. It is demonstrated that the permeability of a single pore can be described by the Stokes equation. The pore permeability is a function of the pore geometry, where the pore shape, the specific porosity, the specific surface area, and the contraction ratio of the pore channel, have governing roles. This knowledge is valuable when interpreting hydrogeological data, GWHP performance data, and for numerical modeling of groundwater flow in aquifers in general.

Finally, the thesis highlights some practical aspects of GWHP design for Norwegian conditions. To ensure the best design of a GWHP systems it is crucial that the GWHP-specialist is involved at an early stage in new projects and that pre-investigations are performed on-site in advance of system construction. Regular maintenance and surveillance is crucial for a successful operation. Maintenance and operational control necessitate that the GWHP design and the groundwater pipe layout allow easy access for cleaning equipment to all parts of the groundwater system. For Norwegian conditions it is recommended that the GWHP operation utilize the full thermal potential of each liter of groundwater. The groundwater temperature should be lowered as much as possible, restricted to the lower limit of 2°C after heat exchange. This will enable the operation to rely on a minimal pumping rate which will contribute to a reducing the risk of clogging.

Vitenskapelige artikler 2018

Gjengedal, S.; Ramstad, R. K.; Hilmo, B. O.; Frengstad, B. S., 2018. Video inspection of wells in open loop ground source heat pump systems in Norway. Editor: Prof. Jeffrey D. Spitler. International Ground Source Heat Pump Association, Oklahoma. In IGSHPA conference proceedings2018. <https://doi.org/10.22488/okstate.18.000025>

Abstract:

This paper presents results from video inspections of groundwater wells in Melhus and Elverum, in Norway. The method has identified iron hydroxides, bacterial growth and sand production as causes of clogging in different wells. Video inspection has proven itself a reliable, inexpensive and quick method for such investigations. The videos supply documentation for the building owner about the well condition. A video inspection should be incorporated as a standard part of the tender document and an integrated part of the maintenance routine. Finally, open loop GSHP and ATES system wells should be designed and manufactured with integrated video inspection options. This will ease the fault detection process and reduce maintenance costs of the system through the lifetime of the wells.

Gjengedal, S., Ramstad, R.K., Hilmo, B.O., and Frengstad, B. 2018 Video inspection of wells in open loop ground source heat pump systems in Norway. IGSHPA Research Track, Stockholm, Sweeden, September 18-20, 2018. p 1-5.

https://shareok.org/bitstream/handle/11244/301563/oksd_ighspa_2018_gjengedal.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Abstract:

This paper presents results from video inspections of groundwater wells in Melhus and Elverum, in Norway. The method has identified iron hydroxides, bacterial growth and sand production as causes of clogging in different wells. Video inspection has proven itself a reliable, inexpensive and quick method for such investigations. The videos supply documentation for the building owner about the well condition. A video inspection should be incorporated as a standard part of the tender document and an integrated part of the maintenance routine. Finally, open loop GSHP and ATES system wells should be designed and manufactured with integrated video inspection options. This will ease the fault detection process and reduce maintenance costs of the system through the lifetime of the wells.

Vitenskapelige artikler 2019

Gjengedal, Sondre; Stenvik, Lars Aaberg; Storli, Pål-Tore Selbo; Ramstad, Randi Kalskin; Hilmo, Bernt Olav; Frengstad, Bjørn S. (2019) [Design of Groundwater Heat Pump Systems. Principles, Tools, and Strategies for Controlling Gas and Precipitation Problems. *Energies*, vol. 12 \(19\).](https://doi.org/10.3390/en12193657) <https://doi.org/10.3390/en12193657>

Abstract:

The utilization of groundwater heat pump systems is increasing in Norway, which are currently widely employed for heating and cooling applications in the town center of Melhus. The investigations of the Melhus installations are detecting gas exsolution as a possible trigger for precipitation reaction that causes incrustation of iron and manganese compounds in the systems. This paper discusses risks associated with gas exsolution and considers gas exsolution triggers in a typical Norwegian groundwater heat pump (GWHP) system configuration. The concept of the solubility grade line (SGL) is developed and suggested as a tool for optimizing the design. Based on SGL analysis and the intention of avoiding gas exsolution during heat production, an alternative system design in the same aquifer is presented and compared. The analyses show that the traditional system design is predisposed to gas clogging risks and prone to vacuum pressures in parts of the system. The alternative design mediates the risks by adjusting the well

and piping configuration and by applying a backpressure technique. The results demonstrate how the groundwater heat pump system design can be customized according to local aquifer conditions to avoid gas exsolution during operation. It is recommended that the presented method of analysis should be utilized in dimensioning of systems and included in the monitoring scheme of the systems.

Vitenskapelige artikler 2020

Gjengedal, Sondre; Brøtan, Vegard; Buset, Ole Tore; Larsen, Erik; Åsebø Berg, Olav; Torsæter, Ole; Ramstad, Randi Kalskin; Hilmo, Bernt Olav; Frengstad, Bjørn. (2020) [Fluid flow through 3D-printed particle beds: a new technique for understanding, validating, and improving predictability of permeability from empirical equations](#). *Transport in Porous Media*, vol. 134.

Abstract:

The application of 3D technology for fabrication of artificial porous media samples improves porous media flow studies. The geometrical characteristics of a porous media pore channel: the channel shape, size, porosity, specific surface, expansion ratio, contraction ratio, and the tortuous pathway of the channel can be controlled through advanced additive manufacturing techniques (3D printing), computed tomography imagery (CT imaging) and image analysis methods. These 3D technologies have here been applied to construct and analyze four homogeneous porous media samples with predefined geometrical properties that are otherwise impossible to construct with conventional methods. Uncertainties regarding the geometrical properties are minimized because the 3D-printed porous media samples can be evaluated with CT imaging after fabrication. It is this combination of 3D technology that improves the data acquisition and data interpretation and contributes to new insight into the phenomenon of fluid flow through porous media. The effects of the individual geometrical properties on the fluid flow are then accounted for in permeability experiments in a Hassler flow cell. The results of the experimental work are used to test the theoretical foundation of the Kozeny–Carman equation and the extended version known as the Ergun equation. These equations are developed from analogies to the Hagen–Poiseuille flow equation. Based on the results from the laboratory experiments in this study, an analytical equation based on the analytical Navier–Stokes equations is presented as an alternative to the Hagen–Poiseuille analogy for porous media channels with non-uniform channel geometries. The agreement between experiment and the new equation reveals that the dissipating losses of mechanical energy in porous media flows are not a result of frictional shear alone. The mechanical losses are also a result of pressure dissipation that arise due to the non-uniformity of the channel geometry, which induced spatial variations to the strain rate field and induce acceleration of the velocity field in the flow through the porous medium. It is this acceleration that causes a divergence from linear flow conditions as the Stokes flow criterion ($Re \ll 1$) is breached and causes the convective acceleration term to affect the flow behavior. The suggested modifications of theory and the presented experiments prove that the effects of surface roughness (1) do not alter the flow behavior in the Darcy flow regime or (2) in the Forchheimer flow regime. This implies that the flow is still laminar for the Forchheimer flow velocities tested.

Gjengedal, Sondre; Ramstad, Randi Kalskin; Hilmo, Bernt Olav; Frengstad, Bjørn S.. (2020) [Fouling and clogging surveillance in open loop GSHP systems: A systematic procedure for fouling and clogging detection in the whole groundwater circuit](#). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 79. <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01556-5>

Abstract:

Fouling and clogging are some of the major water quality problems encountered in open loop ground source heat pump (GSHP) systems and aquifer thermal energy storage (ATES) systems. Here we present a surveillance strategy that can detect if and identify where in the system fouling and clogging might be developing without having to shut off the heat pump. In the presented

system design, the test requires a minimum of four temperature sensors and two pressure sensors to describe the performance of the four major heat source system components, namely, the production well, the injection well, the submersible pump and the groundwater heat exchanger. The surveillance procedure involves conducting a step-test with incremental increases in the groundwater flow rate while measuring the pressure and temperature responses in the system components. The performance of the newly constructed installation functions as a baseline for future tests. By conducting the test systematically during operation an altered performance of the system can indicate clogging or fouling issues. Even though the cause of the problem must be identified through other means, the surveillance procedure presented here allows the operator to plan necessary maintenance and avoid critical damage to the heat source system.

Stenvik, L.A., Hilmo, B.O. (2020) Jern- og manganproblematikk ved grunnvannsuttak – gjennomgang med eksempler fra Ringerike og Sunndal vannverk. *Vann*. vol. 55 (2).

Lenke:<https://vannforeningen.no/dokumentarkiv/jern-og-manganproblematikk-ved-grunnvannsuttak-gjennomgang-med-eksempler-fra-ringerike-og-sunndal-vannverk/>

Sammendrag:

Jern og mangan er redoks-sensitive elementer som oksideres og felles ut som (hydr)oksid i oksygenrikt miljø, og reduseres og løses i vann ved oksygenfattige forhold. Høye elementkonsentrasjoner ved grunnvannsuttak gir problemer med utfellinger som tetter brønnfiltre og ledningsnett, samt uønsket farge og smak på drikkevannet. Utfelling av jern gir vanligvis større driftsproblemer enn utfelling av mangan, grunnet større tilgjengelighet i naturmiljøet og raskere utfellingskinetikk, mens mangan representerer en større utfordring i vannbehandlingssammenheng. Sunndal vannverk har hatt store utfordringer med høyt innhold av jern og jernutfellinger siden etableringen. Brønnrehabiliteringer har ikke klart å gjenopprette kapasiteten, noe som kan skyldes modning av utfellingene til mindre løselige jernmineraler over tid. Rehabiliteringer, eventuelt inkludert kjemiske metoder for å øke løseligheten, bør derfor gjennomføres på et tidlig stadie. Problem med høye konsentrasjoner av mangan etter lengre tid kan skyldes treg utfellingskinetikk og sorpsjon som sinker mangantransporten i grunnvannsmagasinet. Dette kan forklare forhøyede mangankonsentrasjoner etter 19 års drift ved Ringerike vannverk. For å avdekke problem(type) bør redoksparametere og spesifikk brønncapasitet måles jevnlig.

Vitenskapelige artikler 2021

Ramstad, R. K., Gjengedal, S., Frengstad, B. S., Hilmo, B. O.; Riise, M. H. & Holmberg, H. (2021): Groundwater for Heating and Cooling in Melhus and Elverum in Norway –Highlights from the ORMEL-Project with Focus on Infiltration Wells. Proceedings World Geothermal Congress 2020+1. Reykjavik. Iceland. <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/papers/WGC/2020/15038.pdf>

Abstract:

The main objective in the research project called Optimal Utilization of Groundwater for Heating and Cooling in Melhus and Elverum (2015-2018) in Norway has been to provide a sufficient and sustainable base of knowledge for optimized utilization and management of the aquifer in the two town centers. Many open system GWHP in the center of Melhus have challenges with clogging of the injection wells due to iron and manganese precipitations, and/or filling of the wells with particles of sand and silt pumped with groundwater. Precipitation of iron and manganese reduce the capacity of wells and affects pumps, pipes and heat exchangers. The infiltration capacity is gradually reduced by the filling of the well screen part of the infiltration well. Therefore, the screened groundwater wells in sand and gravel aquifers, and especially the infiltration wells have gained special attention in this article. Re-infiltration of heat exchanged groundwater to the

aquifer seems to be more challenging than pumping groundwater from a production well. Another important point is that the experience with the use of screened infiltration wells at least in Norway, is scarce and almost limited to the open ground source heat pump installations where the first ones were established around 20 years ago. Before the ORMEL-projects including the sequel ORMEL2, there has been little systematic studies on the use of groundwater for energy purposes in Norway. The experience from rehabilitation of an infiltration well in an open system GWHP installation at Melhus, namely Lena Terrace, has been used to illustrate the complexity of the problem to be addressed and the need for a systematic approach with the topic. Here a mix of both precipitation of iron oxides and sedimentations seems to occur. Theoretically and in general, we cannot exclude the possibility that some pumping wells also continuously produces suspended solids with the groundwater. The best rehabilitation results of the infiltration well at Lena Terrace seems to be the steaming and the sectional mammoth pumping. Rehabilitation of drinking water wells also often obtain good results with this method. However, the method is not widely used maybe due to limited availability by the industry and knowledge. Compared to production wells, the need of rehabilitation of infiltration wells seems to be more present with respect to both sediments and precipitation of e.g. iron and manganese oxides. Therefore, it is time to develop the steaming and mammoth pumping procedure further so that this well cleaning method is easily available, effective and can be used on a regular basis and before the infiltration rate in the infiltration well is critically low. Two more important issues are also addressed in the Lena Terrace case, namely the usefulness of the video inspection and the need for good surveillance of the operation of the open system GWHP. Video inspections document, and give a cost effective well condition analysis, and should be used before and after well rehabilitations in addition to hydraulic tests. The need of a central control and monitoring system is essential. With the new central control system available at Lena Terrace this winter, the last rehabilitation in July 2019 was initiated with basis in the monitoring of the water level in the infiltration well and done as a preventive measure before the situation got critical. This broad perspective and approach concerning the use of groundwater to energy purposes should continue taking into account the ongoing plans for establishing a large-scale system in Melhus. This involves further work with design, to understand precipitation mechanisms and conditions, to achieve effective operating strategies with routinely and cost-effective maintenance and targeted well rehabilitation procedures.

Stenvik, L.A.; Frengstad, B. S.; Gjengedal, S.; Ramstad, R. K. (2021) Diagnosing Encrustation Problems in Open-loop Groundwater Heat Pump Systems in Melhus, Norway. *Proceedings World Geothermal Congress 2020+1*, Reykjavik, Iceland, April - October 2021

<https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/papers/WGC/2020/29027.pdf?t=1612683797>

Abstract:

Groundwater in unconsolidated sediments represents a local and renewable energy resource. Utilizing the groundwater as an energy source for open-loop ground source heat pumps offers the possibility of cost-effective heating and cooling of buildings. Still the method is not utilized to its full potential. However, in the town of Melhus, Norway the method is widely used, with currently nine plants operating. All the plants have experienced incrustation problems, with iron oxides as the major incrustation product. This paper includes groundwater chemical data from seven of these plants. The groundwater is anoxic and with a relatively low pH, leading to metal dissolution. When the water enters the system, mixing of different water qualities, contact with the atmosphere and CO₂ degassing may occur. This will lead to oxygenation and a pH increase respectively, consequently triggering oxidation leading to insoluble oxides precipitating. The possible presence of iron related bacteria catalyze oxidation. These problems may be accompanied with mechanical incrustations, caused by sedimentation of suspended solids in the groundwater. With time, these precipitations will encrust and clog parts of the system, e.g. well screens and heat exchangers, leading to a decreased water extraction and heat transfer capacity. Results from field measurements and lab analysis of water samples in seven open loop systems in Melhus suggest that the water in the open-loop system is oversaturated with regards to iron oxides. High iron concentrations (> 3 mg/l) lead to oversaturation, despite a low dissolved

oxygen content ($\leq 0,05$ mg/l). This matches data on incrustation type from video inspection of wells and mineralogical analysis of the incrustation material. However, data on oxygenation pathways, CO₂ degassing, microbiology and suspended solids in the systems must be retrieved to fully diagnose the incrustation problems in Melhus.

Vitenskapelige artikler 2022

Stenvik, L.A.; Gjengedal, S.; Ramstad, R. K; Frengstad, B. S (2022). [Hydrochemical and biotic control on iron incrustations in groundwater heat pump systems: Case study from a saline, anoxic aquifer in Melhus, Norway. Geothermics.](https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102349) vol. 100. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102349>

Abstract:

Clogging by incrustations of nine groundwater heat pump (GWHP) systems in Melhus, Norway have been investigated by field and laboratory methods for water quality and incrustation composition. Iron oxides incrust systems extracting relatively shallow, low-saline groundwater, while iron sulfides are associated with deeper, more saline groundwater. Hydrochemical conditions in iron oxide clogged GWHP systems are favorable for the growth of iron-oxidizing bacteria. Also, sediment deposits clog the well systems. The variety of incrustation problems detected in Melhus emphasizes that clogging must be expected and dealt with, instead of solely attempted avoided through system design or re-location.

Stenvik, L.A.; Gjengedal, S.; Ramstad, R. K; Frengstad, B. S. (2022). [How to avoid gas clogging in groundwater heat pump systems: a case study from the Lena terrasse system in Melhus, Norway. Bulletin of Engineering Geology and the Environment.](https://doi.org/10.1007/s10064-022-02652-9) vol. 81 (4). <https://doi.org/10.1007/s10064-022-02652-9>

Abstract:

Vacuum pressures are unfavorable in water pipes since they pose a risk to degassing dissolved gases from the water and air in-leakage. If the water flow rate through the pipeline is too low, gas bubbles will rise to local high points and create stagnant gas pockets. Gas pockets may clog both directly by obstructing the flow cross-section and indirectly by disturbing chemical equilibria. Gas clogging in the Lena terrasse groundwater heat pump system (GWHP) in Melhus, Norway, has been investigated by pressure, temperature, groundwater flow rate, and pump power consumption monitoring data. The GWHP extracts groundwater through a production well, leads it to a heat exchanger at the terrain level, and then re-injects the water through an injection well. It thus operates as a siphon which is prone to vacuum pressures. Analytical tools adapted from hydraulic engineering have been used to identify vacuum pressures and insufficient pipe flow rates to remove gas pockets in the Lena terrasse GWHP. Monitoring data shows that incrustation induced pressure build-up in the injection well filter does not impact the pump production capacity. This indicates gravity driven *waterfall flow* from the heat exchanger to the injection well, caused by stagnant gas pockets. It is recommended to install a backpressure valve at the end of the injection pipe or multiple narrow injection pipes inside the injection well, and air release valves at the local high points, to ensure the system is kept pressurized and water-filled. The extra required pumping head will approximately equal the overpressure criterion (e.g., 0.5 bar) set at the pressure minimum in the groundwater circuit, which introduces quite modest extra pumping costs per year.

Vedlegg 2: Masteroppgaver ved NTNU 2015-2021

Masteroppgaver 2015

Mari Helen Riise 2015: Praktisk guide for grunnvarmeanlegg basert på oppumpet grunnvann - Hydrogeologiske forundersøkelser, etablering, drift og oppfølging med utgangspunkt i erfaringer fra etablerte anlegg i Melhus sentrum.

<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2350389>

Praktisk guide for grunnvarmeanlegg basert på oppumpet grunnvann» er en masteroppgave skrevet av Mari Helen Riise. Oppgaven er utført i forbindelse med faget GEOL3090 Masteroppgave i geologi, ved Institutt for geologi og bergteknikk (IGB) ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgaven er på totalt 104 sider.

I Melhus sentrum i Sør-Trøndelag fylke er det i løpet av de siste 16 årene etablert åtte grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg. Slike anlegg utnytter den stabile temperaturen i grunnvannet til oppvarmings- og avkjølingsformål. Frem til nå har ingen hatt fullstendig oversikt over de ulike anleggene i Melhus sentrum, og i dette studiet er det derfor gjennomført en kartlegging av disse. Hensikten med arbeidet har vært å lage en oversiktlig og lettleselig guide for anbefalt fremgangsmåte ved etablering av slike anlegg.

Hydrogeologiske forundersøkelser er helt sentralt for vellykket prosjektering av et grunnvannsbasert grunnvarmeanlegg. I Melhus sentrum er det kun gjennomført forundersøkelser ved ett anlegg. Hydrogeolog har ikke vært med på selve prosjekteringen ved noen av anleggene. Det er heller ikke søkt om konsesjon for uttak og infiltrasjon av grunnvann. Brønndelen av anleggene er i flere tilfeller dårlig dokumentert, og anleggene mangler flere sentrale måleinstrumenter for overvåking av grunnvannsmagasinet og ulike driftsparametere. Resultatene fra vannanalysene viser at grunnvannet har relativt høy konsentrasjon av jern, mangan og kalsium, som i kontakt med luft vil oksidere og felles ut. Utfellingene er registrert ved flere anlegg, og i ett tilfellet ble problemet så utstrakt at anlegget ble ødelagt. Det er også høy konsentrasjon korrosjonsfremmende ioner som klorid og sulfat. Ved to av anleggene er det dokumentert tegn til termisk brudd.

De ovennevnte erfaringene danner sammen med et litteraturstudium grunnlaget for guiden. Guiden tar for seg følgende tema:

1. Viktigheten av tilstrekkelige hydrogeologiske forundersøkelser.
2. Etablering av anlegg, med fokus på konsesjonssøknader og FDV-dokumentasjon.
3. Oppfølging under driftsfasen, og viktige måleinstrumenter som er nødvendige for dette.
4. Vanlige utfordringer med slike anlegg, spesielt knyttet til vannkvalitet, brønnutforming, termisk brudd, og endringer i grunnvannsspeilet.

Marit Førde 2015: Numerisk 3D-modellering av kvartærgeologi og hydrogeologi i Melhus sentrum - En vurdering av uttakskapasitet, optimal utnyttelse og forvaltning til energiformål

<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2350392>

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 brønnfelt 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 forurenser 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.

Masteroppgaver 2016

Marit Sandbakken **2016**: 3-dimensjonal visualisering av grunnvannsmagasinet i Elverum sentrum - Hydrogeologisk og kvartærgeologisk forståelse

<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2392939>

Oppgaven er tilknyttet ORMEL-prosjektet (Optimal ressursutnyttelse av grunnvann til oppvarming og kjøling) og omhandler bruk av oppumpet grunnvann til oppvarming og kjøling. Kommunesentrene Elverum og Melhus er studieområdene. Hovedhensikten med oppgaven har vært å få en bedre forståelse av grunnvannsmagasinerne på de to stedene, og deres samspill med elvene Glomma og Gaula. Arbeidet har gått ut på å sammenstille eksisterende og nye data til en 3-dimensjonal visualisering av grunnvannsmagasinet i Elverum, samt å sammenstille nye innsamlede data fra brønnboringer og gravimetrimålinger på Melhus.

I Elverum består grunnvannsforekomsten av fluviale og glasifluviale avsetninger. Oppgaven fokuserer på grunnvannsmagasinet på østsiden av Glomma, nord for Kristiansfjell. Basert på informasjon fra eksisterende grunnvannsmålinger i løsmassebrønner, samt resultater fra refraksjonsseismikk- og georadarundersøkelser i området, er det laget en visualisering av grunnvannsmagasinet i programvaren SubsurfaceViewer. Modellen viser et tørt sandlag over grunnvannsspeilet, med fjell og morene under. Nye georadarundersøkelser er inkludert i modellen. De viser et svakt hellende grunnvannsspeil som følger terrenget mot elven. Grunnvannsspeilet ligger 3-16 meter under overflaten. Modellen av grunnvannsmagasinet er beheftet med usikkerhet, siden målingene er gjort på ulike tidspunkt og dermed ikke representerer samme grunnvannstilstand.

Gustafssons metode er benyttet for beregning av hydraulisk konduktivitet (K-verdi) og er basert på prøver fra Gaut et al. (1981). Resultatene viste en gjennomsnittlig K-verdi på $1,32 \cdot 10^{-3}$ m/s, noe som indikerer gode strømningsforhold i grunnvannsmagasinet. Vannbalansen er beregnet til å være positiv med nydannelse av grunnvann på 147 mm hvert år.

Gravimetritolkningene på Melhus indikerer en dyp dal fylt med seidmenter. I nord er dyp til fjell litt over 300 meter, i sør ca. 250 meter. Fire løsmassebrønner ble boret på Melhus høsten 2015 og sedimentprøver fra en av brønnene er brukt til å beregne hydraulisk konduktivitet. Resultatene viser at det er godt permeable masser fra 21 til 54 meter under overflaten. Vannstandsmålinger i alle brønnene viste et relativt flatt grunnvannsspeil som lå under vannstanden i Gaula. Grunnvannsspeilet ser ut til å følge terrenget.

Thomas Haugen **2016**: Estimering og sammenligning av hydraulisk ledningsevne ved hjelp av kornfordelingsanalyser, permeametertester og feltmåling.

<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2404065>

Den hydrauliske ledningsevnen er et mål på en væskes evne til å strøme gjennom et porøst medium, og er en av de viktigste parameterne å få kartlagt i hydrogeologiske sammenhenger. I forbindelse med denne oppgaven er det gjort et studium av metoder som benyttes for å estimere den hydrauliske ledningsevnen med et mål om å avgjøre hvilke som er mest nøyaktige i forhold til det som måles i felt. Det er blitt gjennomført kornfordelingsanalyser og permeametertester på prøvemateriale hentet ut i forbindelse med prosjektet ORMEL, samt gjennomført én brønnpumpetest i en av brønnene som er blitt boret. Resultatene fra de ulike metodene er blitt sammenlignet, og det var metoden utviklet av Harleman, Melhorn og Rumer (1963), samt permeameterestene som ga de beste tilnærmingene til den hydrauliske ledningsevnen som måles gjennom prøvepumping. Hazens metode, og spesielt Gustafsons metode resulterte i de største avvikene fra prøvepumpingsresultatene. De øvrige metodene som er blitt testet resulterte i verdier liggende mellom de overnevnte metodene.

Gian Maria Stradiotto 2016: Ground Source Heat Pump in District Heating and Cooling System in Elverum - Grunnvannsbasert varmepumpe for fjernvarme og kjøling i Elverum

<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2392098>

The project presented in this master thesis work was evaluated from September 2015 - January 2016 under the supervision of Professor Trygve Magne Eikevik, Department of Energy and Process Engineering at the Norwegian University of Science and Technology, in collaboration with the Project Manager Randi Kalskin Ramstad, Department of Geology and Mineral Resources Engineering at the Norwegian University of Science and Technology.

The paper is divided into seven main chapters as follows:

Chapter 1 is a general introduction to the project.

Chapter 2 provides a quick summary of the origin of the geothermal energy with some historical data.

Chapter 3 reviews the actual state of the art regarding the Geothermal Heat Pumps, by providing a rapid overview of all the technologies (Surface Water Heat Pumps, Ground Water Heat Pumps and Ground Coupled Heat Pumps) and their possible applications.

Chapter 4 gives the reader some general data regarding the various typologies of heat exchangers that are used in these kind of applications.

Chapter 5 provides a quick overview of the legislation regarding the refrigerants and an introduction to some possible refrigerants that could be used during the heat pump cycle (according to the legislation), with some economic data related to heat pumps operated with those refrigerants.

Chapter 6 is the main chapter constituting the project itself. After a quick presentation of the main assumptions taken in this paper, the building site is analyzed using the planimetry and a system to fulfil the space heating/cooling and domestic hot water is designed (heat pumps and pipes). Afterwards the peak and simultaneous loads for each typology of building are evaluated to choose the shape of the distribution circuits; those in this paper are named circuit A for houses and row-houses and circuit B for all the other buildings. A first simple economical evaluation of the proposed heat pumps is then shown. In this chapter the needed electric heating to fulfil the peak load in each domiciles are also evaluated, after having chosen the dimension of the system, and the losses along the pipe network; in particular, adding the last ones to the chosen size of the system, the required size for the heat pump in each circuit was obtained, i.e. 131.56kW for circuit A and 726.30kW for circuit B. With these data, a simple economical evaluation was completed, using known information from the company Johnson Controls, obtaining, with the chosen sizes and the chosen limits to the economic evaluation, a simple payback period of 8.760 and 8.068 years respectively for circuit A and B. In the end, with data regarding some heat-packs furnished by Johnson Controls, a simulation of the heat pump systems was operated using EES to confirm

that what was hypothesized is achievable in the reality and to see how some parameters changes with the decrease of the load. The results of the simulation show that the size of the intermediate heat exchanger between the brine and the groundwater is 36.31m² for the heat-pack of circuit A and 102.4m² for each of the two heat-pack of circuit B and that the size of the heat exchangers to produce the domestic hot water and the space heating water, in circuit B during the summer mode at full load, is 2.853m². The mass flow rates(kg/s) of the brine and of the groundwater for the two circuits during the winter and the summer modes were also found. After this some simulations were run at a partial load only with the purpose to see how the COP varies.

Chapter 7 contains the conclusions and some suggestions for future works on the site and how the quality of the data to build the system could be improved. After the list of the sources used to write this paper, the reader will find the appendix, containing some useful information discussed during the work.

Masteroppgaver 2017

Håvard Tømmerdal 2017: En evaluering av empiriske formler som relaterer kornfordeling til hydraulisk konduktivitet og deres egnethet til bruk i fluviale og glasifluviale sedimenter

<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2452117>

En evaluering av empiriske formler som relaterer kornfordeling til hydraulisk konduktivitet og deres egnethet til bruk i fluviale og glasifluviale sedimenter» er en masteroppgave skrevet av Håvard Tømmerdal våren 2017. Oppgaven er skrevet i forbindelse med emnet TGB4935 Miljø og hydrogeologi, masteroppgave, ved Institutt for geovitenskap og petroleum ved NTNU. Oppgaven er på totalt 110 sider.

Oppgaven er tilknyttet ORMEL prosjektet (Optimal Ressursutnyttelse av grunnvann til oppvarming og kjøling i Melhus og Elverum) og omhandler bruken av empiriske formler ved estimering av hydraulisk konduktivitet i fluviale og glasifluviale sedimenter i Elverum. Hydraulisk konduktivitet beskriver hvor lett en væske transporteres gjennom et porøst medium, og er en av de viktigste parameterne å undersøke ved etablering av grunnvannsbrønner. I forbindelse med denne oppgaven er det foretatt en statistisk analyse av ulike kornparameteres korrelasjon med den hydrauliske konduktiviteten. Videre er det foretatt en sammenligning av estimerte verdier for hydraulisk konduktivitet. Den hydrauliske konduktiviteten er målt ved permeameteresting i laboratoriet, samt beregnet ved bruk av de empiriske formlene utviklet av Hazen, Gustafson, Harleman, U.S. Bureau of Reclamation, Kozeny Carman, Loudon, Hazen

Taylor og Kenney. Felles for de empiriske formlene er at alle benytter informasjon fra sedimentenes kornfordelingskurver ved estimering av hydraulisk konduktivitet. Oppgaven inkluderer også en analyse av to brønnpumpetester, men grunnet praktiske problemer har det ikke vært mulig å bruke disse i evalueringen av de empiriske formlenes validitet.

Resultatene fra denne oppgaven indikerer at d₅ gir en sterkere positiv korrelasjon med den hydrauliske konduktiviteten målt ved permeameteresting enn hva d₁₀ gir. Kornstørrelsen d₂₀ og graderingstallet Cu gir en svak korrelasjon med den hydrauliske konduktiviteten målt ved permeameteresting, mens porøsiteten gir en moderat til sterk korrelasjon. For feltområdet som er undersøkt gir Kozeny Carmans formel og Loudons formel de mest presise estimeringene av den hydrauliske konduktiviteten. Kennes formel viser den sterkeste korrelasjonen med verdier for hydraulisk konduktivitet målt ved permeameteresting, men gir trolig et for konservativt estimat i forhold til «in situ» hydraulisk konduktivitet. Gustafsons formel og Hazens formel gir de største overestimeringene av den hydrauliske konduktiviteten målt ved permeameteresting, mens U.S. Bureau of Reclamations formel gir den svakeste korrelasjonskoeffisienten. Formlene til Hazen Taylor og Harleman gir en underestimering av den hydrauliske konduktiviteten.

Inger Strøm Flugsrud 2017: Vann- og varmetransport i grunnvannsakvifereni Melhus sentrum - konseptuell vurdering.

https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2486582/18173_FULLTEXT.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vann- og varmetransport i grunnvannsakviferen i Melhus sentrum – konseptuell vurdering er en masteroppgave skrevet av Inger Strøm Flugsrud høsten 2017. Arbeidet er gjort i forbindelse med emnet TGB4935 Miljø- og hydrogeologi, masteroppgave ved Institutt for Geovitenskap og Petroleum ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet. Oppgaven er på 92 sider.

Oppgaven er tilknyttet forskningsprosjektet ORMEL (Optimal ressursutnyttelse av grunnvann til oppvarming og kjøling i Melhus og Elverum). Hovedmålet for prosjektet er å fremskaffe et faglig solid og bærekraftig grunnlag for en optimal utnyttelse og forvaltning av grunnvannsressursene i de to kommunesentrene. Hensikten med masteroppgaven er å undersøke hvordan vann og varme transporteres i bakken, og hvordan de hydrogeologiske forholdene på Melhus påvirker disse prosessene. Det fokuseres på hydraulisk konduktivitet beregnet ved Kozeny-Carman og Kennneys formler og samvirke mellom varmetransport ved konveksjon og diffusjon.

Kozeny-Carman og Kenney utviklet empiriske formler for beregning av hydraulisk konduktivitet. Kenney formel benytter d_5 , diameteren som 5% av prøvens masse er mindre enn. KozenyCarman benytter spesifikt overflateareal S_0 og poretallet e , og begge parameterne kan måles eller beregnes fra kornfordeling. Sammenlikning av resultater i oppgaven viser at for prøvemateriale er S_0 tilnærmet omvendt proporsjonal med d_5 , og for 2/3 av prøvematerialet er Kenney og KozenyCarmans formler tilnærmet like følsomme overfor endringer i mengden finstoff.

I et grunnvannsbasert grunnvarmeanlegg med åpent system pumpes grunnvann opp i en produksjonsbrønn og sendes gjennom en varmpumpe. Deretter blir vann med endret temperatur reinfiltret i akviferen gjennom en returbrønn. Oppgaven har brukt eksisterende data til å beregne hydraulisk gradient og hydraulisk konduktivitet. Deretter undersøkes det hvordan variasjon i disse parameterne påvirker temperaturspredningen fra returbrønnen. Dersom produksjons- og returbrønnene er plassert ugunstig i forhold til grunnvannstrømningen, vil temperaturforskjellen mellom brønnene kunne utjevnes. Det reduserer effektiviteten til systemet. Hvordan varmen forplanter seg i bakken vil ha betydning for gunstig plassering av returbrønn.

Varmetransport er modellert med et lite program lagd i Fortran i forbindelse med denne oppgaven. Programmet ser kun på temperaturdistribusjon som følge av konveksjondiffusjonslikningen mellom to brønner med konstant grunnvannshastighet. Det medfører svært mange forenklinger. Fordelen med et slikt program er at man enkelt kan sette seg inn i matematikken som ligger bak, og at det er mulig å teste mange tilfeller ved å regulere få parametere. Det er svært godt egnet for å øke forståelse. Modellering av varmetransport i denne oppgaven er utført på forenklete, konseptuelle scenarier. Ut ifra modellering av injeksjon av kaldt vann i en trelags akvifer, ble følgende trender funnet:

- Størrelsen på varmeledningsevnen til akviferen påvirker i svært liten grad temperaturdistribusjonen.
- Økning i hydraulisk konduktivitet medfører en økt horisontal utstrekning av sonen hvor temperatur påvirkes. Varmetransport ved konveksjon blir dominerende.
- Økning i hydraulisk gradient medfører en redusert vertikal utstrekning av sonen hvor temperatur påvirkes, og økt horisontal utstrekning. Ved lav hydraulisk gradient vil varmetransport ved diffusjon spille en større rolle. Tiltak for å reduseres sjansen for at produksjonsbrønnen påvirkes av temperaturendringer fra returbrønnen kan inkludere å øke avstanden mellom brønnene. Det vil redusere den hydrauliske gradienten, og varmen vil i større grad spres til over- og underliggende lag. Det vil være en fordel å plassere returbrønnen slik at den naturlige hydrauliske gradienten motvirker den kunstige som oppstår ved pumping. Plasseringen av andre nærliggende grunnvarmeanlegg vil påvirke hvor man kan plassere returbrønnen.

Videre arbeid kan inkludere å vurdere om Kozeny-Carmans formel i praksis krever måling av porøsitet, eller om det finnes bedre empiriske porøsitetsformler basert på kornfordeling. Videre kan det lages et program eller bruke eksisterende programvare som FEFLOW til vurdere

varmetransport på Melhus i detalj for å kunne si noe om og eventuelt når termisk kortslutning vil kunne inntreffe.

Heidi Marstein Brøste 2017: Vannkvalitet knyttet til grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg i Melhus og Elverum

https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2453843/17573_FULLTEXT.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gjennom forskningsprosjektet ORMEL (Optimal ressursutnyttelse av grunnvann til oppvarming og kjøling i Melhus og Elverum) skal bruken av grunnvann som varmekilde i Melhus og Elverum optimaliseres. Dårlig vannkvalitet kan i verste fall føre til at driften av anlegget må avsluttes. Hensikten med denne oppgaven er derfor å kartlegge vannkjemien i Melhus og Elverum, evaluere hvilke problemer som kan oppstå i slike anlegg i disse områdene og undersøke hvordan problemene kan håndteres for å optimalisere driften.

I Melhus har grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg vært i bruk siden 1999. Ved flere tilfeller har jernutfellinger skapt problemer for driften. I oppgaven ble vannkvaliteten undersøkt gjennom prøvetaking og analyse av ni brønner. Resultatene viste jern og manganverdier som kan føre til utfellingsproblemer som igjentetting av brønnfilter, rørsystem, varmeveksler eller returbrønn. Innholdet av suspendert stoff kan forårsake problemer ved reinjisering av vannet i de fleste brønnene i Melhus. Vannet hadde flere steder et høyt innhold av salt, noe som kan føre til korrosjon over tid.

I Elverum kommune ble det nylig boret flere løsmassebrønner som er tiltenkt grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg. To av disse brønnene ble prøvetatt i forbindelse med oppgaven. Den ene ved Lillemoen skole i Heradsbygd, og den andre ved Ydalirfeltet som skal bli en ny bydel i Elverum. Bortsett fra lav pH og alkalitet så grunnvannet ved Lillemoen skole ut til å være egnet til et grunnvannsbasert grunnvarmesystem. Vannet hadde et relativt lavt innhold av jern, mangan og korrosjonsfremmende ioner. Ved Ydalirfeltet er risikoen for jern og manganutfellinger større. Lukten av råtne egg tyder på et reduserende og korrosivt miljø.

Tilstopping av jern og mangan kan hindres ved å unngå all kontakt med luft. Kraner, ventiler og koblinger må være helt tette, og vannet må reinjiseres under grunnvannsspeilet i returbrønnen. Pumpa i produksjonsbrønnen må ikke plasseres under øvre filterkant for å unngå at vannstanden senkes ned i brønnfilteret. Jevnlig prøvetaking kan avdekke endringer i vannkjemien som tyder på utfelling. Økt trykktap over varmeveksleren, samt økt pumpeenergi og driftskostnader kan være et tegn på utfelling i varmeveksleren.

Et filter kan fjerne det suspenderte stoffet og unngå at returbrønnene tettes. Hvis returbrønnen tettes av partikler, kan pumping fra returbrønnen være løsningen. Brønnmaterialet bør velges med hensyn til korrosjon.

Anja Beate Anderssen 2017: Grunnvannsbaserte varmpumper Tilrettelegging for bruk av grunnvann til oppvarming og kjøling i Melhus sentrum - sentralisert løsning

<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2456111?locale-attribute=en>

I et grunnvannsbasert energisystem er det helt essensielt å benytte grunnvannet indirekte som varmekilde til varmpumper. Dette kommer som en følge av utfellinger av metallioner som danner et belegg på varmeveksleren. Beleggdannelse har stor innvirkning på både trykktapet og varmegjennomgangstallet i varmeveksleren. Når beleggdannelsen er 1,2 mm er varmegjennomgangstallet halvert. Det er derfor viktig med tiltak for å fjerne beleggdannelse på grunnvannsvarmevekslerene. En mulig løsning her er kombinasjonen av tilbakeskylling av grunnvann gjennom varmeveksleren ved forhøyet trykktap og bruk av CIP-rensemaskin årlig.

Sekundærkretsen legges i et stjerneledningssystem for mulighet til utbyggelse ved et senere tidspunkt. Sekundærfluidet velges å være vann med 25 wt% etanol. I prisberegninger er det benyttet vann med 35% etanol da dette var den eneste prisen oppgitt.

Men antagler om boligmassen i Melhus sentrum og Melhustunets bygningsplaner ble det totale energibehovet til oppvarming estimert til 46 433 MWh/år. Dette gir at varmebehovet for denne boligmassen totalt er 24 MW ved DUT. Med antagelser om en varmepumpe som dekker 90% av dette varmebehovet, må det kunne hentes ut 11 MW fra grunnvannet på den kaldeste dagen i året.

Total investeringskostnad for dette energisystemet er i best case scenario 31,9 MNOK og i worst case scenario 35,8 MNOK. Her er ikke grunnvannspumpen eller varmepumpesentralene tatt med i betraktning. I bergning av innsparing sammenlignes systemet opp mot en el-kjel. Med en strømpris på konstant 35 øre/kWh og nettleie på 50 øre/kWh blir tilbakebetalingstiden for dette energisystemet 1,32 år for best case og 1,48 år for worst case. Dette er en utrolig lav tilbakebetalingstid. Dette kan skyldes forenklinger antagelser gjort i beregninger i oppgaven.

Før en endelig beslutning blir tatt må dette energisystemet sammenlignes opp mot andre løsninger. En løsning som bør vurderes er bruken av en fjernvarmesentral som produserer varmtvann ved brønnene og sender varmtvann i distribusjonssystemet. Den tredje løsningen som bør vurderes er å ha en varmepumpe som løfter varmen litt og sirkulerer en middelsvarm temperatur i distribusjonssystem. Alle disse løsningene må sammenlignes opp mot dagens system.

Hongyun Zhou 2017: Modelling of Ground Source Systems for Heat Pump Operations

https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2476530/18133_FULLTEXT.pdf?sequence=1&isAllowed=y

This thesis concerns the regional hydraulic and thermal interference between well doublets of ground source heat pump systems. The thesis falls into three parts of which the first focus on theoretical review of operating mechanism and available modelling methodology of ground source heat pump systems. The second part emphasize on establishing appropriate model to reflect the interference with experimental data collected from real sites at city Melhus, Norway.

The third and last part involves a test for validation and simulation result analysis for drawing suggestions to help mitigate the negative interference between wells doublets. The essence of the thesis is described hereunder, starting with the ground source heat pump systems.

A Ground source heat pump (GSHP) system migrates the heat from the outdoor circuit to the air conditioning and hot water terminal of indoor circuit through a circular operation of refrigerant circuit. Groundwater heat pump (GWHP) systems, as an open-loop subclass of Ground source heat pump systems take aquifers as a storage of thermal energy. The system operates by drawing water from an abstraction well, passing it through a heat exchanger and discharging it into nearby infiltration well.

From the point of either users or regulatory authority, ground source heat pump systems have incomparable advantages over conventional heating approaches in reproducibility, energy conservation, environmental friendliness, versatility and long service life. Likewise, groundwater source heat pump systems also yield a higher performance efficiency and lower operation cost than Air source heat pump (ASHP) systems. To help achieve a higher overall efficiency during the systems' service life, numerous models have being proposed by researchers to predict the thermal response under different design parameters and groundwater flow conditions.

As for city Melhus, wells for groundwater source heat pump system are sporadically distributed in its urban area. Meanwhile the geological condition of layer of aquifers in Melhus fits the case of unconfined aquifers and strata structure could be simplified into five major layers according to predominating constituent of each layer. A numerical model was therefore established by software Feflow on the basis of parameters collected from samples at city fire station.

Validation was conducted and the outcomes were compared to theoretical and experimental data. Series of 10-year simulations were performed. Simulations disclosed the pros and cons of multiple means of figuring out hydraulic and thermal breakthrough time, two crucial indicators to reflect the moment when overall efficiency of the system begins to deteriorate. Besides, the outcomes also revealed to which extent breakthrough time and system's overall efficiency could be affected by altering the external factors used as independent variables of input. It was found that:

Placing the abstraction well up the hydraulic gradient from the infiltration well thus forming a contrary flow would produce a 3.4% increment in thermal breakthrough time as compared to same hydraulic gradient's case and placing it down the hydraulic gradient would produce a 2.9% depletion on thermal breakthrough time in contrast. Doubling the speed of groundwater flow would yield a 3.3% increment in thermal breakthrough time. Reducing the abstraction rate or hydraulic conductivity by half would generate a 107.5%, 80.2% increment in thermal breakthrough time, representing a negative correlation. From this point of view, abstraction rate along with hydraulic conductivity proves to play more significant a role in affecting breakthrough time than direction or speed of groundwater flow.

In addition to breakthrough time, the same factors also contribute to the movement of turning point for operational efficiency. Meanwhile, setting the abstraction point higher than or at least at the same depth of injection level would gain a long-term advantage over setting it 5 meters below the injection level. Factors like direction and speed of groundwater flow contributes limited influence while abstraction rate and hydraulic conductivity both would incur a remarkable shift on transient and overall efficiency turning point. Compared to a normal service life of the groundwater source heat pump system, users are only required to make a trade-off between short-term and long-term efficiency only if the abstraction rate is smaller than 7.5L per second or the specific horizontal hydraulic conductivity is below 0.002m/s.

Furthermore, users are recommended to turn the GWHP system into intermittent operation. Put the system in operation in an intermittent manner would significantly raise the ending temperature at the end of each operation cycle by 0.2-0.4 degrees Celsius and substantially delay the breakthrough. Meanwhile, intermittent operation also contributes to a postpone of the turning point of the overall efficiency. Under such circumstance, users are more likely to be obliged to choose between the short-term and long-term efficiency.

Masteroppgaver 2018

Martina Seyoum Hellestveit 2018: 3D-modellering av grunnvannstrømning og varmetransport i akviferen i Melhus sentrum -En kvartær-og hydrogeologisk tolkning, med vurdering av uttakskapasitet.

<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2502904>

«3D-modellering av grunnvannstrømning og varmetransport i akviferen i Melhus sentrum» er en masteroppgave skrevet av Martina S. Hellestveit. Oppgaven er utført i forbindelse med faget GEOL3090

– Masteroppgave i geologi, ved institutt for geovitenskap og petroleum (IGP) ved Norges teknisknaturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgavens formål er å tolke oppbygning og strømnings- og temperaturforhold i akviferen i Melhus sentrum, basert på tidligere undersøkelser og nye data. Effekten av dagens vann- og varmeuttak, og en økt fremtidig uttaksmengde skal også vurderes.

Akviferen består av glasifluvialt materiale fra randåsen Melhusryggen som ble avsatt i kvartærtiden og avgrensner sentrum i nordlig retning. Avsetningen er dekket av et lag med marin leire, som øker i mektighet i sørlig retning. Melhus sentrum utnytter grunnvannsressursen gjennom ni grunnvarmeanlegg basert på oppumpet grunnvann. Seks av anleggene returnerer nedkjølt vann tilbake til akviferen.

I 2015 ble forskningsprosjektet ORMEL₁ igangsatt, og i den forbindelse ble det etablert 10 undersøkelsesbrønner i sentrum, hvor 8 ble utstyrt med trykk- og temperatursensorer. Data fra disse brønnene er brukt til å tolke akviferens oppbygging, samspill med elva Gaula og termiske effekter av varmeuttaket. Dataene viser at det er god hydraulisk kontakt mellom Gaula og akviferen, og strømningsmønsteret domineres av elvas gradient og korttidsfluktuasjoner. Elvas påvirkning avtar i dypet, og med lateral avstand til elvebredden. Temperaturen i akviferen er derfor relativt stabil i store deler av akviferen. Det forekommer likevel noen temperaturvariasjoner i dypet som skyldes termisk samspill mellom de ulike grunnvannsanleggene. Grunnvannskjemien er svært salt, preget av enten fossilt saltvann, eller utlekking av salt porevann fra den marine leiren.

Under boringen av undersøkelsesbrønnene ble det tatt masseprøver, hvis sammensetning ble analysert og brukt til å bygge opp en kvartærgeologisk dybdemodell av sentrumsområdet, med fokus på å kombinere lignende hydrostratigrafiske enheter. Modelleringen ble gjort ved bruk av programmene Subsurface Viewer og ArcMap. Det ble konstruert en modell med tre hovednivåer; øverst et marint leirelag med varierende mektighet, etterfulgt av den glasifluviale avsetningen, med marin leire og morene i bunn.

Videre ble modellen overført til FEFLOW for å tilegne den hydrogeologiske strømnings- og termiske parametre, som ble hentet fra loggerdataene og litteraturen. Modellen ble så brukt til å simulere ulike uttaksløsninger. Resultatet viste at et økt uttak med dagens uttaksløsning vil forsterke tilfellene av termisk kortslutning, føre til økt elveinfiltrasjon og redusere anleggenes kapasitet på sikt. En felles uttaks- og reinfiltrasjonsløsning vil kunne redusere problemenes omfang, men avhenger av optimal plassering av produksjons- og returområdet.

1 Optimal ressursutnyttelse av grunnvann til oppvarming og kjøling i Melhus og Elverum

Runa Solberg 2018: Modification of Existing Permeameters to Estimate Hydraulic Conductivity of Groundwater in Unconsolidated Sand in the Laboratory

“Modifisering av eksisterende permeameterer for å estimere hydraulisk konduktivitet til grunnvann i ukonsolidert sand i laboratoriet”

https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmli/bitstream/handle/11250/2562105/19367_FULLTEXT.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Masteroppgaven er skrevet i forbindelse med emnet TPG4920 – Petroleumsteknologi, masteroppgave, ved Institutt for geovitenskap og petroleum ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgaven er en videreføring av forfatterens fordypningsprosjekt gjennomført høsten 2017. Oppgaven er på totalt 116 sider.

Hydraulisk konduktivitet beskriver hvor lett en væske beveger seg gjennom et porøst medium og kan estimeres ved bruk av flere metoder. En enkel og kostnadsbesparende metode for å estimere hydraulisk konduktivitet er ved permeameteresting i laboratoriet. Det har vist seg å være en utfordring å estimere hydraulisk konduktivitet i laboratoriet fordi prøvematerialet ikke representerer et uforstyrret “in-situ” materiale i felt, fordi kornstrukturen til prøven blir forstyrret under boreprosessen av grunnvannsbrønner og når den transporteres fra brønn til laboratoriet. Målet med denne oppgaven er å modifisere 3 allerede eksisterende permeameterer; Darcy-cellen, luft permeameteret og væske permeameteret (de 2 sistnevnte samlet kalt kjerne permeameterer), i et forsøk på å bedre beregne hydraulisk konduktivitet til en ukonsolidert sand i laboratoriet. Formålet med dette er å få resultater for hydraulisk konduktivitet av grunnvann som kan brukes som et estimat av “in situ” hydraulisk konduktivitet i ukonsolidert sand i felt.

Den minste gjennomsnittlige verdien for hydraulisk konduktivitet estimeres ved bruk av væske permeameteret og gir en verdi lik $2,19 \times 10^{-6}$ m/s, etterfulgt av luft permeameteret med en verdi lik $2,25 \times 10^{-5}$ m/s. Den største verdien estimeres ved bruk av Darcy-cellen med et gjennomsnitt lik $1,26 \times 10^{-3}$ m/s. Resultatene fra oppgaven viser at det ikke er mulig å bruke de modifiserte kjerne permeameterne til estimering av hydraulisk konduktivitet til grunnvann i ukonsolidert sand. Ytterligere modifikasjoner av oppsett og innsamling av mer data er nødvendig. Den modifiserte

Darcy-cellen gir de mest pålitelige verdiene for hydraulisk konduktivitet, men metoder for å fullstendig mette prøven med saltvann må undersøkes ytterligere for å få resultater for hydraulisk konduktivitet av grunnvann som kan brukes som et estimat av «in-situ» hydraulisk konduktivitet til en ukonsolidert sand i felt.

Masteroppgaver 2021

Cathrine Hasz Ophaug (2021): Grunnvannsvarmepumpe i fjernkjøle- og fjernvarmesystem.

[NTNU Open: Grunnvannsvarmepumpe i fjernkjøle- og fjernvarmesystemer](#)

Sammendrag

Det er flere fordeler med en felles distribusjonskrets i Melhus. Det gjør den fornybare ressursen tilgjengelig for flere, ved at bygg på områder der det ikke er gunstig å bore brønner kan koble seg til fellesnettet. Denne typen fellesnett gjør at varmforsyningen kan tilpasses hvert enkelt bygg, ved at hvert bygg har egne varmesentraler med varmepumper som henter varme eller kjøling fra distribusjonskretsen. I tillegg kan et slikt fellesnett brukes for både varme og kjøling, og det gjør systemet mindre sårbart for nedetid i enkeltbrønner og øker dermed stabiliteten i varmforsyningen.

Det er i denne masteroppgaven først presentert relevant teori for temaet, deretter er det gjort et litteraturstudie rundt denne typen distribusjonskrets og det er foreslått fire forskjellige løsninger for aktiv og passiv kjøling. Det er videre utviklet en modell i EES for et slikt grunnvannsystem i Melhus, med en hovedkrets, flere mindre delkretser til bygg og flere varmekilder i form av grunnvannsvarmevekslere. Modellen simulerer trykket i hvert punkt i systemet, beregner trykktap og nødvendig massestrømmen for å dekke effektbehovet i hvert bygg. Modellen er brukt til å se på hvordan mengderegulering vil påvirke et slikt system. Temperaturstyrt effektregulering er også vurdert men ikke lagt inn i modellen.

Mengderegulering med turtallsregulerte pumper kan spare pumpearbeid ved at pumpene girer ned og pumper mindre massestrøm når varmebehovet minker. Sammenlignet med en dag med en utetemperatur på $T=0^{\circ}\text{C}$ kan forskjellen i tilført effekt til pumpen være på 44,33kW mot en dag med dimensjonerende utetemperatur. Forskjellen i pumpearbeid mellom den kaldeste dagen i året og den varmeste er 46,25kW. Driften av systemet må simuleres over hele året for å finne nøyaktig hvor mye pumpearbeid som kunne vært spart ved turtallsregulerte pumper. Temperaturstyrt effektregulering vil gi konstant tilført pumpeeffekt året rundt, da massestrømmen i systemet er konstant. Sammenlignet med reguleringsprinsippet med varierende massestrøm vil reguleringsprinsippet med konstant massestrøm gi høyere massestrøm i systemet.

Aktiv kjøling er ikke lagt inn i modellen. Ettersom varmepumpene opererer konstant for å forvarme tappevannet, slik som modellene er bygd opp, kunne den lavere temperaturen ut fra fordamperen i varmepumpen vært utnyttet til aktiv kjøling. Dette er ikke gjort i denne modellen, men det kan være av interesse å se på hvordan dette ville påvirket systemet. Ettersom de lavere temperaturene ut fra fordamperen i varmepumpen ville bidratt med en større ΔT til kjølingen, ville dette gjort nødvendig sirkulert vannmengden gjennom distribusjonskretsen ved kjøling mindre. Dette vil igjen ha en positiv effekt på tilført pumpearbeid.

Vedlegg 3 Populærvitenskapelige artikler og debattinnlegg

Kalskin Ramstad, R.K. og Hilmo, B.-O. (2016) Ormel-prosjektet. VVS-aktuelt 2/2016 [ORMEL-prosjektet \(vvsaktuelt.no\)](http://ormel-prosjektet.vvsaktuelt.no)

Ganerød, G.V. og Ramstad, R.K. (2016) Grunnvann som energikilde har ingen CO₂-utslipp, likevel er det litebrukt i Norge. Debattinnlegg i Teknisk ukeblad 9/5 2016. [«Grunnvann som energikilde har ingen CO₂-utslipp, likevel er det lite brukt i Norge» - Tu.no](http://www.tu.no/nyheter/2016/09/05/grunnvann-som-energi-kilde)

Stenvik, L.A. (2020) Utfellingsproblemer med jern og mangan i norske drikkevannsbrønner. *Kommunalteknikk*. (4). https://issuu.com/kommunalteknikk/docs/6kt_4-20/s/11415728

Vedlegg 4 Nettartikkel

Nettartikkel Elverum kommune: [Billig, miljøvennlig oppvarming | Elverum kommune](#)

Publisert august 2018



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
- NGU -

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no