

Praktisk guide for grunnvarmeanlegg basert på oppumpet grunnvann

Hydrogeologiske forundersøkelser,
etablering, drift og oppfølging med
utgangspunkt i erfaringer fra etablerte
anlegg i Melhus sentrum

Mari Helen Riise

Geologi

Innlevert: mai 2015

Hovedveileder: Bjørge Brattli, IGB

Medveileder: Randi Ramstad, Asplan Viak

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for geologi og bergteknikk

OPPGAVETEKST

Student: Mari Helen Riise

Tittel: Praktisk guide for grunnvarmeanlegg basert på oppumpet grunnvann – hydrogeologiske forundersøkelser, etablering, drift og oppfølging med utgangspunkt i erfaringer fra etablerte anlegg i Melhus sentrum

Innhold:

- Litteraturstudium
- Dokumentasjon og oppfølging av grunnvannsbaserte varmepumpeanlegg med sammenstilling og analyse av historiske driftsdata – med vekt på hydrogeologiske forhold og anlegg i Melhus sentrum. Dette inkluderer også forslag til optimalisering av driften av de enkelte anleggene.
- Feltarbeid knyttes til uttesting og oppfølging av ny brønn ved Lena Terrasse, samt befaring med innsamling av data fra de enkelte anleggene i Melhus.
- Det skal utarbeides en praktisk guide som forklarer hvordan man går frem hvis forholdene ligger til rette for det og hvis man ønsker å etablere et grunnvarmeanlegg basert på oppumpet grunnvann. Guiden skal ta for seg hele prosessen fra forundersøkelser til etablering, drift og oppfølging av slike anlegg. Guiden skal belyse anbefalt praksis og kjente utfordringer, samt foreslå et oversiktlig oppsett for dokumentasjon av sentrale deler i brønn delen av anlegget. Guiden underbygges med praktiske og godt dokumenterte eksempler fra Melhus sentrum.

Arbeidsoppgaver:

- Innsamling av relevante data om grunnvarmeanleggene i Melhus sentrum. Intervju av sentrale personer som har vært og/eller er involvert i utformingen og/eller driften av anlegget. Innsamlet informasjon benyttes også i oppgave 1.
- Sammenstilling av data.
- Etterspørre eventuelle manglende data fra prosjekterende, brønnborer eller driftspersonale

- Gjennomføre feltarbeid med oppfølging og analyser
- Utarbeide forslag til et oversiktlig oppsett for dokumentasjon av sentrale deler i brønn delen av anlegget (utomhusdelen av anlegget)
- Beskrive anbefalt praksis
- Lage oversikt over kjente utfordringer med aktuelle løsninger
- Utarbeide guide

SAMMENDRAG

«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. Brøndelen 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. Utfellinger 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.

ABSTRACT

“Practical Guide for Ground Water Heat Pump Systems” (GWHP) is a master thesis written by Mari Helen Riise. The thesis is the final requirement for fulfilment of a Master of Science in Geology, and is submitted to the Department of Geology and Mineral Resources Engineering at The Norwegian University of Science and Technology. The thesis contains a total of 104 pages.

GWHP systems utilize the stable temperature of groundwater for heating and cooling purposes. During the last 16 years, eight such systems have been established in the center of Melhus in Sør-Trøndelag, Norway. Until now, no one has had a complete overview of the different systems, and it has thus been made an attempt to map these. The aim of the study has been to make a clear and easy-to-follow guide for establishment of GWHP systems.

Preliminary hydrogeological mapping is essential for successful design of a GHWP system. The hydrogeological mapping of Melhus has not been sufficient, and none of the systems have applied for license for withdrawal and infiltration of groundwater. The well systems are in several cases poorly documented, and essential measuring instruments for monitoring of the groundwater and operation parameters are missing. Water analysis show that the groundwater has relatively high concentrations of iron, manganese and calcium, which will oxidize and precipitate in contact with air. Problems due to precipitations have been registered at some of the systems, and in one case, it led to shut down of a system. The groundwater also contains relatively high concentrations of salt, which over time may lead to corrosion of central parts of the system. Signs of thermal feedback has been documented in two of a system.

The experiences from Melhus and a literary study make the foundation for the guide. The guide addresses the following themes:

1. The importance of proper preliminary hydrogeological studies.
2. Establishment of GWHP systems. This includes license application to the Norwegian Water Resources and Energy Directorate, and documentation of the well system.
3. Measuring instruments which are necessary for proper follow-up of a GWHP system.
4. Challenges that may rise due to poor water quality, well design, thermal feedback, and changes in the groundwater level.

INNHALDSFORTEGNELSE

Oppgavetekst	I
Sammendrag	III
Abstract	V
Innholdsfortegnelse	VII
Figurliste	XI
Tabelliste	XV
Forkortelser	XVII
Forord	XIX
1 Innledning	1
2 Teori	3
2.1 Generelt om grunnvarme	3
2.1.1 Kilder til grunnvarme	3
2.1.2 Lagring og overføring av varme.....	4
2.2 Grunner til å bruke grunnvarme	5
2.2.1 Redusere klimagassutslipp	5
2.2.2 Krav fra myndighetene	5
2.2.3 Økonomi.....	6
2.3 Varmepumpe	6
2.4 Lukkede systemer – Grunnvarme i fjell	8
2.5 Åpne systemer – Grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg	9
2.6 Grunnleggende hydrogeologi	11
2.6.1 Akvifer	11
2.6.2 Hydrauliske egenskaper	12
2.6.3 Grunnvannsnivå	13
2.6.4 Grunnvannstemperatur	14
2.7 Lover og forskrifter som regulerer bruk av grunnvann	15
2.8 Hydrogeologiske forundersøkelser	16
2.8.1 Kart- og rapportstudier	17
2.8.2 Innledende kartlegging og overvåking	17
2.8.3 Overslagsberegninger	17
2.8.4 Geofysiske undersøkelsesmetoder	18
2.8.5 Sonderboring og undersøkelsesbrønner	22
2.8.6 Fullskala brønnboring	23
2.8.7 Prøvepumping	24
2.8.8 Vannprøver – undersøkelse av grunnvannets kvalitet.....	25

2.8.9	Hydrauliske beregninger	26
2.9	Etablering, drift og oppfølging	30
2.10	Utfordringer og løsninger	30
2.10.1	Setninger og hiv	30
2.10.2	Termisk brudd	30
2.10.3	Gjentetting av brønner.....	31
2.10.4	Korrosjon.....	34
2.11	Hva er gjort i andre studier?.....	34
3	Områdebeskrivelse.....	37
3.1	Geografisk plassering	37
3.2	Kvartærgeologi og berggrunnsgeologi	37
3.3	Grunnvarmeanleggene.....	38
3.3.1	Lenavegen 3 (1999).....	41
3.3.2	Melhuset (1999)	42
3.3.3	Lena Terrasse (2003).....	43
3.3.4	Idegården (2008)	45
3.3.5	Oterholmgården (2010)	46
3.3.6	Thoragården (2013).....	47
3.3.7	Buen (2013).....	48
3.3.8	Høvdingen (2015)	49
4	Metode.....	51
4.1	Informasjonsinnhenting	51
4.2	Vannprøvetaking	52
4.3	Uttesting og oppfølging av brønner på Lena Terrasse	53
4.3.1	Gjennomføring av korttids testpumping og lengre tids prøvepumping	55
4.3.2	Beregning av magasinparametere fra testpumping og prøvepumping.....	55
4.4	Undersøkelser av returbrønnen på Thoragården	56
5	Resultater	59
5.1	Grunnvannsnivået ved Melhuset	59
5.2	Grunnvannstemperatur	62
5.2.1	Enkeltmålinger av grunnvannstemperaturen.....	62
5.2.2	Brønntemperatur ved Idegården.....	63
5.2.3	Brønntemperatur ved Thoragården	65
5.3	Uttaksmengde fra akviferen og levert effekt fra varmpumpene	66
5.4	Vannkvalitetsanalyse	67
5.4.1	Fysiske parametere	67
5.4.2	Kjemiske parametere.....	68

5.5	Feltundersøkelser ved Lena terrasse.....	70
5.5.1	Spesifikk kapasitet og målinger av grunnvannsnivået i B3	70
5.5.2	Spesifikk kapasitet og målinger av grunnvannsnivået i B1	71
5.5.3	Målinger av grunnvannsnivået i B2	72
5.5.4	Vannkvalitet	73
5.5.5	Hydrauliske beregninger	74
5.6	Feltundersøkelser ved Thoragården.....	75
5.6.1	Glødetap	76
5.6.2	XRF	76
6	Diskusjon.....	77
6.1	Grunnvannsnivået.....	77
6.2	Grunnvannstemperatur og termisk brudd	78
6.3	Vannkvalitet.....	80
6.3.1	Prøvetakingsprosedyre for vannprøver	80
6.3.2	Utfellinger	81
6.3.3	Korrosjon.....	81
6.4	Reetablering av anlegget ved Lena terrasse	82
6.5	Evaluering av returbrønnen på Thoragården	83
6.6	Akviferens utbredelse og kapasitet.....	84
6.7	Forslag til optimalisering av driften av anleggene	85
6.7.1	Generelle råd	86
6.7.2	Lenavegen 3	86
6.7.3	Melhuset	87
6.7.4	Lena terrasse.....	87
6.7.5	Idegården	87
6.7.6	Oterholmgården.....	87
6.7.7	Thoragården	87
6.7.8	Buen	88
6.7.9	Høvdingen	88
7	Guide for etablering av grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg.....	89
7.1	Forundersøkelser	89
7.2	Etablering.....	90
7.3	Oppfølging i driftsfasen.....	91
7.4	Utfordringer og løsninger	95
8	Konklusjon.....	97
9	Videre arbeid	99
10	Referanseliste.....	101

Vedlegg	1
A Relativt grunnvannsnivå	3
B Vannanalyser	15
B.1 Prøveliste	15
B.2 Kjemisk analyse.....	16
B.3 Fysisk analyse.....	22
B.4 Fysisk og kjemisk analyse for Lena terrasse B3.....	22
C Feltmålinger fra Lena terrasse	23
C.1 Beregning av uttaksmengde for hvert trinn	23
C.2 Del 1 Pumping fra B3 med infiltrasjon i B1 (september 2014).....	24
C.2 Del 2 Pumping fra B1 med infiltrasjon i B3 (oktober 2014).....	25
D Beregning av hydrauliske parametere	27
D.1 Thiems metode for lukkede akviferer (stasjonær tilstand)	27
D.2 Theis metode for lukkede akviferer (transient tilstand).....	28
D.3 Cooper-Jacob metode for lukkede akviferer (transient tilstand)	29
D.4 Hydraulisk konduktivitet	29
E Eksempel på FDV-dokumentasjon	31
E.1 Sammendrag fra forundersøkelsene	31
E.2 Borerapport.....	32
E.3 Brønnsesifikasjoner og brønnskisse	33
E.4 Produktdatablad for grunnvannspumpe.....	35
E.5 Produktdatablad for varmpumpe	38

FIGURLISTE

Figur 2.1 Prinsipiell skisse av en varmpumpe.	7
Figur 2.2 Skjematisk diagram av et lukket system.	8
Figur 2.3 Skjematisk diagram av et åpent system.	10
Figur 2.4 Levert effekt fra varmpumpa ved forskjellig uttaksmengde (Q) og temperatursenkning (ΔT).....	11
Figur 2.5 Åpen, lukket og lekkende akvifer.	12
Figur 2.6 Hydraulisk konduktivitet for noen typiske løsmasser.	13
Figur 2.7 Utvikling i grunnvannsnivå i ulike regioner i Norge.....	14
Figur 2.8 Variasjoner i gjennomsnittlig grunnvannstemperatur for ulike soner i Norge, Sverige og Finland....	15
Figur 2.9 Prinsipiell skisse for utførelse av målinger med georadar.	19
Figur 2.10 Prinsipiell skisse for utførelse av målinger av magnetisk resonans.	20
Figur 2.11 Resistivitetsprofil fra Melhus sentrum.....	21
Figur 2.12 Prinsipiell skisse av direkte, reflekterte og refrakterte bølger.	22
Figur 2.13 Prinsipiell skisse av typisk løsmassebrønn for drikkevannsanlegg.	24
Figur 3.1 Løsmassekart over Melhus.....	38
Figur 3.2 Oversiktskart over alle grunnvarmeanleggene i Melhus sentrum med tilhørende brønner.	39
Figur 3.3 Brønnenes filterplassering	40
Figur 3.4 Lenavegen 3	41
Figur 3.5 Melhuset.....	42
Figur 3.6 Lena terrasse.....	43
Figur 3.7 Videoinspeksjon av den gamle produksjonsbrønnen.....	44
Figur 3.8 Idegården	45
Figur 3.9 Oterholmgården	46
Figur 3.10 Thoragården	47
Figur 3.11 Den nye delen av Buen Helse- og omsorgssenter («Buen»).....	48
Figur 3.12 Høydingen.....	49
Figur 4.1 Nærbilde og oversiktsbilde av Tesla Topcon GPS.	52
Figur 4.2 Prøvetakingsutstyr til vannprøvetaking.	53
Figur 4.3 Oversiktsbilde fra Lena terrasse fra den første prøvepumpingsperioden	54
Figur 4.4 Oversiktskart over brønnplasseringen på Lena terrasse.....	54
Figur 4.5 Fremgangsmåte for prøvepreparering.....	57
Figur 4.6 Instrumenter for analyse av glødetap og XRF.	58
Figur 5.1 Årtidsfluktuasjoner.....	60
Figur 5.2 Relativt grunnvannsnivå i produksjonsbrønnen i Melhuset plottet mot vannføringen ved Gaulfoss. ...	61
Figur 5.3 Flerårsfluktuasjoner.....	62
Figur 5.4 Grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønnen og returbrønnen på Idegården i 2012.	63
Figur 5.5 Grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønnen og returbrønnen på Idegården i 2013.	64
Figur 5.6 Grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønnen og returbrønnen på Idegården i 2014.	64
Figur 5.7 Grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønnen og returbrønnen på Thoragården i 2013.....	65

<i>Figur 5.8 Grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønn og returbrønn på Thoragården i 2014.</i>	66
<i>Figur 5.9 Resultater fra fysisk analyse.</i>	67
<i>Figur 5.10 Ioner som fremmer utfelling.</i>	68
<i>Figur 5.11 Ioner som fremmer korrosjon.</i>	69
<i>Figur 5.12 Rustutfelling i fire anlegg.</i>	70
<i>Figur 5.13 Grunnvannsnivåets utvikling i B3 ved langtids prøvepumping av brønnen</i>	71
<i>Figur 5.14 Grunnvannsnivåets utvikling i B1 ved langtids prøvepumping av brønnen</i>	72
<i>Figur 5.15 Grunnvannsnivået i B2 plottet mot nedbør i løpet av de to prøvepumpingsperiodene.</i>	73
<i>Figur 5.16 Returrøret i returbrønnen ved Thoragården</i>	75
<i>Figur 7.1 Fiktivt eksempel på prinsipiell skisse av brønndelen til et grunnvannsbasert grunnvarmeanlegg.</i>	92
<i>Figur 7.2 Fiktivt eksempel på hvordan grafer kan presenteres i SD-anlegget.</i>	93
<i>Figur 7.3 Fiktivt eksempel på hvordan oversikt over energifordelingen kan presenteres i SD-anlegget.</i>	94
<i>Figur 7.4 Eksempel på presentasjon av vannanalyser.</i>	95
<i>Figur A.1 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2003</i>	3
<i>Figur A.2 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2003</i>	3
<i>Figur A.3 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2004</i>	4
<i>Figur A.4 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2004</i>	4
<i>Figur A.5 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2005</i>	5
<i>Figur A.6 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2005</i>	5
<i>Figur A.7 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2006</i>	6
<i>Figur A.8 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2006</i>	6
<i>Figur A.9 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2007</i>	7
<i>Figur A.10 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2007</i>	7
<i>Figur A.11 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2008</i>	8
<i>Figur A.12 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2008</i>	8
<i>Figur A.13 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2009</i>	9
<i>Figur A.14 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2009</i>	9
<i>Figur A.15 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2010</i>	10
<i>Figur A.16 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2010</i>	10
<i>Figur A.17 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2011</i>	11
<i>Figur A.18 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2011</i>	11
<i>Figur A.19 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2012</i>	12
<i>Figur A.20 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2012</i>	12
<i>Figur A.21 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2013</i>	13
<i>Figur A.22 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2013</i>	13
<i>Figur A.23 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2014</i>	14
<i>Figur A.24 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2014</i>	14
<i>Figur B.1 Resultater fra fysisk analyse</i>	22
<i>Figur B.2 Fysisk og kjemisk analyse av vannprøven fra B3 på Lena terrasse</i>	22
<i>Figur C.1 Beregning av uttaksmengde for trinn 3 i den andre pumpeperioden</i>	23

<i>Figur C.2 Beregning av uttaksmengde for trinn 2 i den første pumpeperioden.....</i>	<i>24</i>
<i>Figur D.1 Prinsipiell skisse av forholdene ved langtids prøvepumping av B3</i>	<i>27</i>
<i>Figur D.2 Feltkurve og Theis typekurve ved prøvepumping av B3 med infiltrasjon i B1</i>	<i>28</i>
<i>Figur D.3 Cooper-Jacob kurve ved pumping av B3 med infiltrasjon i B1</i>	<i>29</i>
<i>Figur E.1 Sammendrag av forundersøkelsesrapport fra Lena Terrasse</i>	<i>31</i>
<i>Figur E.2 Borerapporten til produksjonsbrønnen på Lenavegen 3</i>	<i>32</i>
<i>Figur E.3 Eksempel på oversikt over brønnsesifikasjoner</i>	<i>33</i>
<i>Figur E.4 Skisse av produksjonsbrønnen på Lenavegen 3.....</i>	<i>34</i>
<i>Figur E.5 Produktdatablad (side 1) for grunnvannspumpa på Lenavegen 3.....</i>	<i>35</i>
<i>Figur E.6 Produktdatablad (side 2) for grunnvannspumpa på Lenavegen 3.....</i>	<i>36</i>
<i>Figur E.7 Produktdatablad (side 3) for grunnvannspumpa på Lenavegen 3.....</i>	<i>37</i>
<i>Figur E.8 Produktdatablad for varmpumpa på Buen.....</i>	<i>38</i>

TABELLISTE

<i>Tabell 2.1 Volumetrisk varmekapasitet for noen utvalgte materialer</i>	<i>4</i>
<i>Tabell 2.2 Parametere som burde undersøkes ved analyse av grunnvannskvaliteten.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabell 2.3 Oversikt over ligninger for ulike hydrauliske beregninger</i>	<i>29</i>
<i>Tabell 3.1 Brønnoversikt Melhus sentrum.</i>	<i>39</i>
<i>Tabell 5.1 Årsnedbør fra målestasjonen ved Leinstrand.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabell 5.2 Enkeltmålinger av grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønnen til de ulike anleggene</i>	<i>62</i>
<i>Tabell 5.3 Beregnet effekt og uttaksmengde fra hvert anlegg</i>	<i>66</i>
<i>Tabell 5.4 Elektrisk ledningsevne målt i felt</i>	<i>68</i>
<i>Tabell 5.5 Resultater fra testpumping del 1</i>	<i>71</i>
<i>Tabell 5.6 Resultater fra testpumping del 2</i>	<i>72</i>
<i>Tabell 5.7 Resultater fra vannkvalitetsanalyse av B3 og B1 ved Lena terrasse.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabell 5.8 Økning og minking i de ulike parameterne</i>	<i>74</i>
<i>Tabell 5.9 Oversikt over beregninger av transmissivitet og magasinkoeffisient.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabell 5.10 Glødetap for masseprøven fra returbrønnen på Thoragården.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabell 5.11 Resultater fra XRF analyse angitt som prosent av total konsentrasjon.</i>	<i>76</i>
<i>Tabell 7.1 Overvåkingsinstrumenter.</i>	<i>91</i>
<i>Tabell C.1 Feltnålinger fra prøvepumping del 1.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabell C.2 Feltnålinger fra prøvepumping del 2.....</i>	<i>25</i>

FORKORTELSER

COP	Coefficient of Performance (effektfaktor)
FDV	Forvaltning, drift og vedlikehold
FoU	Forskning og Utvikling
GPR	Ground Penetrating Radar
GRANADA	Den nasjonale grunnvannsdatabasen
GWHP	Ground Water Heat Pump
IGB	Institutt for geologi og bergteknikk
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
NGU	Norges geologiske undersøkelse
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
ORMEL	Optimal resussursutnyttelse av grunnvann til oppvarming og kjøling i Melhus og Elverum
RSI	Ryznar Stability Index
SD-anlegg	Sentral Driftsovervåking anlegg
SPF	Seasonal Performance Factor (årsvarmefaktor)
VVS	Varme-, ventilasjons- og sanitærteknikk
XRF	X-Ray Fluorescence

FORORD

Bakgrunnen for oppgaven er et ønske fra flere hold om en kartlegging av grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg i Melhus sentrum. Hovedmålet har vært å lage en guide for naturlig fremgangsmåte ved etablering av slike anlegg. Oppgaveteksten er formulert av Randi Kalskin Ramstad. Oppgaven er gjennomført i samarbeid med Asplan Viak AS og Norges geologiske undersøkelse (NGU). Arbeidet er utført parallelt med Marit Johanne Førde sin masteroppgave.

Jeg ønsker å rette en stor takk til mine veiledere ved NTNU, Randi Kalskin Ramstad og Bjørge Brattli. I løpet av arbeidet med oppgaven har de bidratt med god veiledning, faglige diskusjoner og tilbakemeldinger, samt et stort engasjement. Videre vil jeg takke ansatte ved avdeling for Vann og Miljø ved Asplan Viak i Trondheim, særlig Bernt Olav Hilmo, som har lært meg mye innen praktisk hydrogeologi. Han har også bidratt i forbindelse med feltarbeidet, sammen med Gaute Storrø ved NGU. En stor takk rettes til dere begge. Jeg ønsker også å takke Torill Sørløkk for hjelp og veiledning i forbindelse med laboratoriarbeidet.

Opgaven har krevd innsamling av diverse informasjon om anleggene i Melhus sentrum, og jeg vil gjerne takke de som har bidratt i dette arbeidet. Spesielt takk til Rolf J. Aune, som har stilt opp fra dag én og videre gjennom hele arbeidet. Andre som jeg gjerne vil takke i denne sammenhengen er:

Trond Erik Berg

Per Arne Kjelsberg

Folke Havdal

Runar Lian

Jon Ole Helgetun

Arnstein Aalberg

Odd Løkken

Svein Godager

TOBB Eiendomsservice AS

Båsum Boring Trøndelag AS

Til slutt vil jeg takke mine medstudenter for fem fine år ved NTNU. Spesielt takk til Marit Johanne Førde for hyggelig og godt samarbeid.

Trondheim, 15.mai 2015

Mari Helen Riise

1 INNLEDNING

Høsten 2012 ble NGU kontaktet av en brønnborer med bekymringer i forbindelse med utbyggingen av grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg i Melhus sentrum. På dette tidspunktet var det ingen som hadde fullstendig oversikt over de åtte anleggene som finnes i sentrum, og det ble derfor sett et behov for en kartlegging av situasjonen og mulig offentlig styring av fremtidige etableringer av grunnvarmeanlegg i området. Ønsket om en slik kartlegging dannet grunnlaget for to masteroppgaver om temaet. Begge masteroppgavene er utarbeidet ved IGB på NTNU, i samarbeid med NGU og Asplan Viak. Oppgavene har krevd samarbeid mellom kandidatene, og selv om hver oppgave er selvstendig, utfyller de hverandre.

Mye av den hydrogeologiske kompetansen som finnes i forbindelse med grunnvannsanlegg til drikkevannsforsyning er direkte overførbart til grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg. Utbygger og andre som er med på prosjekteringen av grunnvarmeanlegg har imidlertid ikke nok kunnskap om betydningen av de hydrogeologiske forholdene for slike anlegg. I praksis betyr det at mange anlegg etableres uten tilstrekkelig fagkompetanse, noe som i mange tilfeller fører til at de ikke driftes optimalt (Ramstad 2014). Formålet med denne masteroppgaven er derfor å utarbeide en guide for anbefalt fremgangsmåte ved etablering av grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg, med hovedvekt på hydrogeologiske forhold. Siden guiden er beregnet på personer uten eller med liten hydrogeologisk bakgrunn, er det valgt å gjøre et detaljert litteraturstudie der blant annet grunnleggende hydrogeologiske begreper forklares. Guiden inneholder informasjon om hele prosessen fra forundersøkelser til drift og vedlikehold. I tillegg belyses kjente utfordringer, og det anbefales løsninger til disse. Guiden skal kunne leses isolert, og gjentar derfor deler av oppgaven i kort versjon.

Guiden underbygges med eksempler fra Melhus sentrum. Informasjon om disse anleggene er hentet inn ved hjelp av intervjuer med vaktmestere, analyse av historiske driftsdata, vannanalyser, analyse av en masseprøve, samt feltarbeid knyttet til uttesting og oppfølging av to grunnvannsbrønner.

2 TEORI

Grunnvarmeanlegg deles inn i to hovedkategorier, *åpne* og *lukkede* systemer. I et åpent system utnyttes varmen direkte fra grunnvann som pumpes opp fra et grunnvannsmagasin, og slike systemer kalles gjerne grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg. I et lukket system tas grunnvarme ut fra berggrunnen ved hjelp av kollektorslanger. I dette kapitlet presenteres først generell teori om grunnvarme og de to ulike anleggstypene. Deretter legges det hovedvekt på åpne systemer med uttak av grunnvann fra løsmassebrønner, ettersom det er slike systemer som finnes i Melhus sentrum. Viktige aspekter ved forundersøkelser, etablering, drift, oppfølging og utfordringer presenteres.

2.1 GENERELT OM GRUNNVARME

Termogeologi blir av Banks (2012) definert som «*studiet av forekomst, bevegelse og utnyttelse av lav-entalpi varme i den relativt grunne delen av geosfæren*». I konvensjonell geotermisk forskning defineres lav-entalpi som temperaturer under 90 °C, men vanligvis er det snakk om temperaturer under 40 °C som forekommer ned til ca. 300 meters dyp under terrengoverflaten. Varmen ligger lagret som energi i berggrunn, sedimenter og grunnvann, og kalles grunnvarme. Denne kan utnyttes direkte eller indirekte sammen med en varmepumpe til oppvarming og avkjøling. I Norge er temperaturen ved 300 meters dyp vanligvis ikke mer enn 12-14 °C (Rønning et al. 2013).

2.1.1 Kilder til grunnvarme

Hovedkilden til grunnvarme er solenergi som absorberes og lagres i bakken i løpet av året. Daglige temperatursvingninger når ned til ca. 40 cm dyp, mens årlige svingninger når ned til 6-10 m dyp. Under 10 m dyp er temperaturen relativt stabil gjennom hele året, og omtrent lik gjennomsnittlig overflatetemperatur. Overflatetemperaturen styres av faktorer som beliggenhet, gjennomsnittlig lufttemperatur, nedbørsfordeling og snødekke. I Norge er gjennomsnittlig temperatur i den grunne delen av bakken (<150 m) vanligvis mellom 2-7 °C, det vil si varmere enn lufttemperaturen om vinteren, men kaldere enn lufttemperaturen om sommeren. Dette gjør at bakken kan utnyttes som et varmelager: en kilde til oppvarming om vinteren og avkjøling om sommeren. Grunnvarme får også et lite bidrag fra den geotermale varmestrømningen fra jordas indre mot terrengoverflaten. Dette styres av den geotermale gradienten, som er en temperaturgradient på ca. 1-3 °C per 100 meter. Spalting av radioaktive elementer i berggrunnen (radiogen varmeproduksjon) bidrar også til en liten del av varmen. I

spesielle områder kan geokjemisk energi utgjøre en liten forskjell, ved at oksidasjonsreaksjoner som forekommer ved nedbryting av organisk materiale er eksoterme, og dermed frigir varme (Banks 2012).

2.1.2 Lagring og overføring av varme

Grunnvarme tas ut fra berggrunn, sedimenter og grunnvann, og disse materialenes evne til å lagre og overføre varme er svært viktig når det kommer til energipotensialet som kan utnyttes i et grunnvarmeanlegg. Evnen til å lagre varme er definert som spesifikk varmekapasitet (S_C), og måles i joules per Kelvin per kilogram. Spesifikk varmekapasitet kan også oppgis i joules per Kelvin per enhetsvolum, og kalles da volumetrisk varmekapasitet (S_{VC}). De fleste bergarter og sedimenter har verdier for S_{VC} rundt 1,9-2,5 Mega(M)JK⁻¹m⁻³ (se tabell 2.1). Vann har omtrent dobbelt så høy S_{VC} (ca. 4,18 MJK⁻¹L⁻¹), noe som betyr at S_{VC} i porøse bergarter, jord og sedimenter er sterkt avhengig av vanninnholdet (Banks 2012).

Tabell 2.1 Volumetrisk varmekapasitet for noen utvalgte materialer , fra (Banks 2012).

Material	Volumetrisk varmekapasitet (MJm ⁻³ K ⁻¹)
Vann	4,18
Kalkstein	1,9-2,4 (2,3)
Skifer	2,3
Sandstein	2,0-2,1
Gneis	2,1-2,6 (2,1)
Granitt	1,6-3,1 (2,4)
Kvartsitt	1,9-2,7 (2,1)
Kvarts	1,9-2,0

Varme overføres fra et stoff til et annet ved hjelp av *konduktivitet*, *konveksjon* og/eller *stråling*. Varmeoverføring via konduktivitet skjer ved at molekylene vibrerer slik at varmen diffunderer gjennom det aktuelle stoffet. Av de vanligste bergartsdannende mineralene er det kvarts som har høyest varmeledningsevne (termisk konduktivitet), og kvartsinnholdet er derfor av stor betydning for hvor godt en bergart kan overføre varme. Konveksjon foregår ved hjelp av fluidbevegelse, og er derfor dominerende for varmeoverføring i grunnvann. Varme kan også overføres fra et stoff til et annet ved hjelp av stråling. Stråling sendes ut i form av elektromagnetisk energi fra alle stoffer, og jo varmere et stoff er, desto mer stråling. I den grunne jordoverflaten er konduktivitet og konveksjon de viktigste overføringsmekanismene for varme (Banks 2012).

2.2 GRUNNER TIL Å BRUKE GRUNNVARME

Det er flere gode grunner til at både privatpersoner og firmaer bør vurdere å bruke grunnvarme til oppvarming og avkjøling av sine bygg. De tre viktigste argumentene gjengis i korthet i de neste avsnittene.

2.2.1 Redusere klimagassutslipp

I løpet av 2013 og 2014 publiserte FNs klimapanel (IPCC) den femte hovedrapporten om klimaendringer. Rapporten består av tre delrapporter og en oppsummerende synteserapport. I delrapport nr. 1, «The Physical Science Basis», slås følgende fast:

Warming of the climate system is unequivocal, and since the 1950s, many of the observed changes are unprecedented over decades to millennia. The atmosphere and ocean have warmed, the amounts of snow and ice have diminished, sea level has risen, and the concentrations of greenhouse gases have increased (IPCC 2013, s. 4).

Det er bred enighet i panelet om at dersom utslippene av fossilt brennstoff til atmosfæren fortsetter, vil det kunne skade jordas klima og økologi. Det er derfor ønskelig å minke klimagassutslippene, og da særlig utslippene av fossile brennstoff.

For å gjennomføre dette er det flere strategier som tas i bruk, der følgende tre punkter er sentrale: (1) redusere totalt energiforbruk, (2) utnytte energikilder som ikke er avhengige av fossilt brennstoff, og (3) finne alternative lagringsmetoder for fossilt CO₂. Grunnvarme er en fornybar energikilde, og grunnvarmeanlegg imøtekommer dermed punkt 2 (så lenge elektrisiteten som trengs for å drive varmepumpa ikke kommer fra fossilt brennstoff). Sammenlignet med strømfyring reduseres også totalforbruket av elektrisitet (Banks 2012).

2.2.2 Krav fra myndighetene

Et annet viktig argument for å utnytte grunnvarme er kravene som er satt i Byggeteknisk forskrift utgitt i 2010, vanligvis forkortet til TEK10. Denne forskriften gjelder alle nybygg i Norge. I § 14-7 blir det fastslått at bygninger over 500 m² skal dekke minimum 60 % av netto varmebehov med en annen energiforsyning enn direktevirkende elektrisitet eller fossile brensler hos sluttbruker. For bygninger under 500 m² er det tilsvarende kravet minimum 40 %. Unntak kan innvilges dersom det kan dokumenteres at naturforhold gjør det praktisk umulig å tilfredsstille kravet, hvis netto varmebehov beregnes til mindre enn 15 000 kWh/år, eller hvis kravet fører til merkostnader utover boligbygningens livsløp (TEK10 2010). Myndighetene krever altså at energieffektive teknologier skal installeres i alle nybygg, og utnyttelse av grunnvarme er et godt alternativ for å imøtekomme dette kravet.

2.2.3 Økonomi

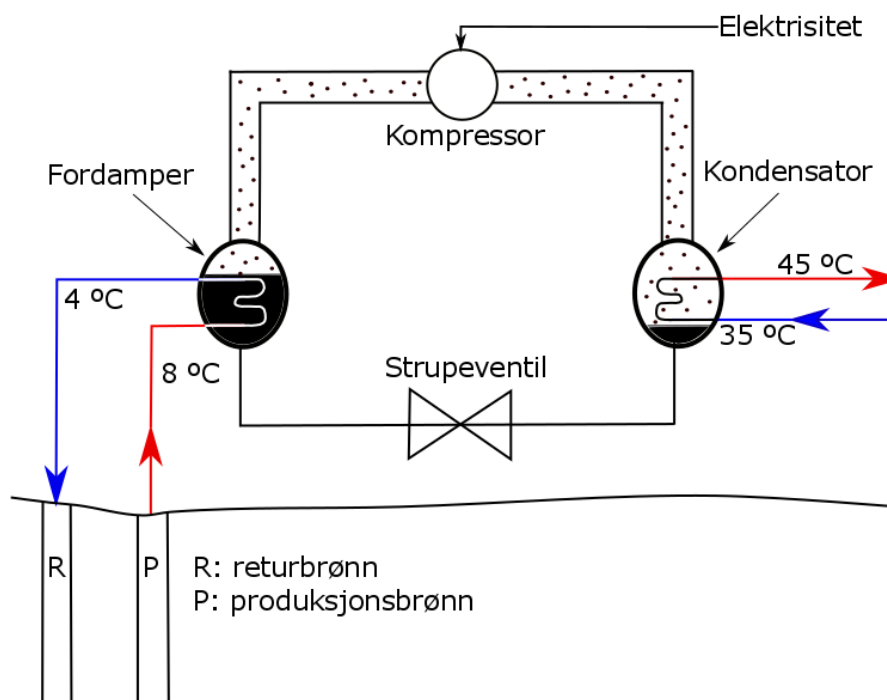
Sist men ikke minst er økonomi en god grunn til å investere i grunnvarmebasert oppvarming og/eller avkjøling. Installasjonskostnaden for et grunnvarmeanlegg er relativt høy, men lave driftskostnader, god driftssikkerhet og lite vedlikehold gjør det lønnsomt i et langt tidsperspektiv. Grad av lønnsomhet avhenger blant annet av geologiske forhold, anleggstypen, størrelsen på anlegget og prisen på konkurrerende energivarer (Ramstad 2011).

2.3 VARMEPUMPE

Utnyttelse av grunnvarme til oppvarming foregår ved hjelp av en varmepumpe som henter varmeenergi fra bakken, som så fordeler varmen i et bygg ved hjelp av et vannbårent oppvarmingssystem. En varmepumpe er enkelt sagt en maskin som pumper varme med lav temperatur til et høyere temperaturnivå. For å kunne gjøre dette trenger den tilførsel av en viss andel høyverdig energi. I de fleste tilfeller er dette elektrisitet, men det finnes også gass- og dieseldrevne varmepumpeanlegg. Varmepumpa utnytter den høyverdige energien mer effektivt enn oppvarmingssystemer basert på direkte bruk av elektrisitet. Varmen som varmepumpa avgir er tilnærmet lik summen av varmemengden som tas opp fra kilden og tilført elektrisk energi for å drifte varmepumpa (Stene 2000).

De fleste varmepumper overfører varme ved hjelp av et arbeidsmedium som går gjennom en kompresjons-ekspansjonssyklus. Syklusen foregår i varmepumpas fire hovedkomponenter: *fordamperen*, *kompressoren*, *kondensatoren* og *strupeventilen*, se figur 2.1. Ved inngangen til fordamperen er arbeidsmediet en væske, og trykket her er så lavt at væsken har lavere temperatur enn varmekilden. Denne temperaturforskjellen gjør at varme strømmer fra varmekilden til væsken, som så begynner å koke og går over til gassfase. Når all væsken har fordampet til gass, suges gassen inn i en kompressor. Her komprimeres den slik at den får et høyere trykk, og dette fører samtidig til en temperaturøkning. Gassen strømmer så videre til kondensatoren hvor den andre varmeoverføringen foregår. Gassen har høyere temperatur enn mediet som skal varmes opp (for eksempel vann i en radiator krets), og temperaturforskjellen gjør at varme strømmer fra gassen over til dette mediet. Når varme avgis kondenserer gassen, og ved utløpet av kondensatoren har arbeidsmediet i gassform gått over til væskefase igjen. Denne væsken strømmer nå videre til en strupeventil. Her senkes trykket til fordampningstrykket, og væsken strømmer tilbake til fordamperen slik at kretsløpet kan gjentas på nytt. Kort oppsummert flytter arbeidsmediet varmeenergi fra fordampersiden til

kondensatorsiden, og på veien økes varmeenergiens temperaturnivå ved hjelp av kompressoren (Stene 2000).



Figur 2.1 Prinsipiell skisse av en varmepumpe. Fordamperen og kondensatoren er varmevekslere, det vil si mekaniske deler der varme overføres fra et medium til et annet. Figuren er ikke i målestokk. Modifisert etter Stene (2000).

Effektiviteten til en varmepumpe uttrykkes ved en effektfaktor (COP). Effektfaktoren er et mål på forholdet mellom hvor mye varme varmepumpa leverer og hvor mye energi som brukes til å drive den. Jo høyere effektfaktor, desto mer effektiv er varmepumpa.

Effektfaktoren er gitt av ligning 2.1:

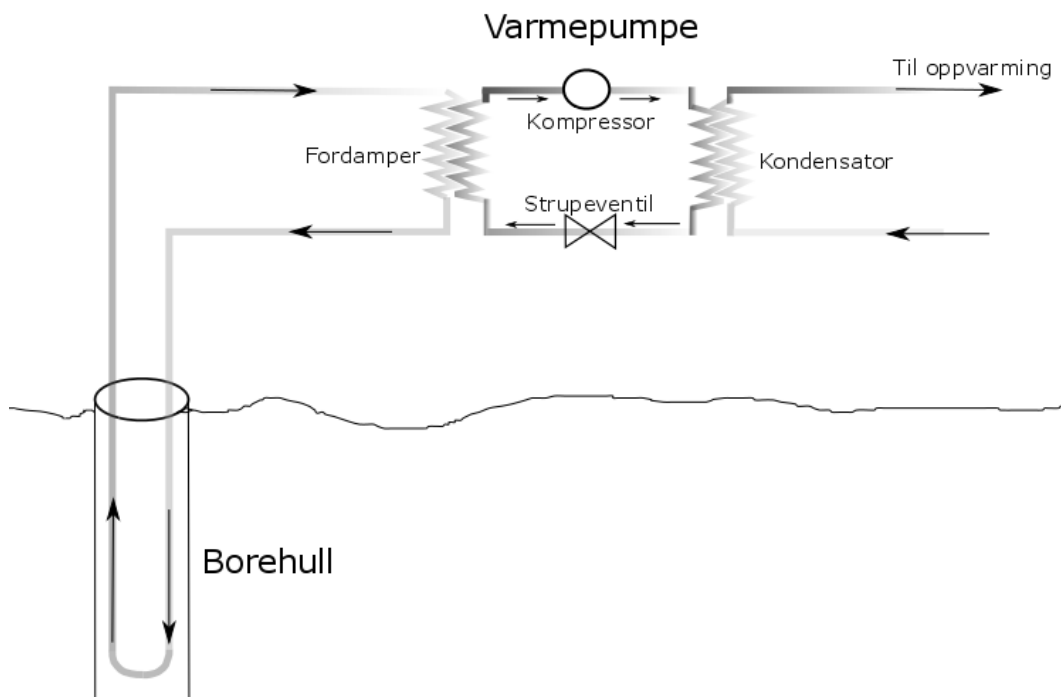
2.1 Effektfaktor

$$COP = \frac{H}{E}$$

der H er total varmeeffekt som leveres fra varmepumpa, mens E er den elektriske energien som kreves for å drive varmepumpa. Effektfaktoren er en momentan verdi som avhenger av temperaturen ved varmekilden og temperaturen der varmen skal leveres. For de fleste varmepumper som benyttes i tilknytning til grunnvarmeanlegg bør effektfaktoren være minst 3, og helst 4. For å kunne si noe om varmepumpas effektivitet over tid, benyttes derfor årsvarmefaktoren (SPF). Denne parameteren er et mål for gjennomsnittlig effektfaktor over lengre tid, for eksempel en oppvarmings sesong (Stene 2000).

2.4 LUKKEDE SYSTEMER – GRUNNVARME I FJELL

Antall grunnvarmeanlegg i Norge ble i 2010 estimert til å være ca. 26 000, og mer enn 90 % av disse er vertikale borehull i berggrunnen med lukket kollektorslange (Midttømme et al. 2010). Slike anlegg har lang levetid (minst 40 år), og passer for alle anleggsstørrelser. Energipotensialet styres hovedsakelig av temperaturen i berggrunnen og berggrunnens varmeledningsevne. Prinsippet for slike anlegg er vist i figur 2.2, og går ut på at en vannbasert frostsikker væske sendes ned i bakken gjennom en kollektorslange. Kollektorslangen fungerer som en varmeveksler i borehullet, og temperaturforskjellen mellom den kalde væsken i kollektorslangen og den relativt varme berggrunnen fører til at varme overføres til væsken. Væsken føres så til varmepumpa der varmen trekkes ut, og etter avkjøling er den klar for en ny runde gjennom systemet. Hullene bores vanligvis som vertikale åpne hull i berggrunnen med fôringsrør i den øvre delen. Grunnvann som omslutter kollektorslangen fungerer som en termisk kontakt mellom berggrunnen og kollektorslangen. Vertikale borehull i fjell krever lite areal, og på overflaten er et vanlig kumlokk det eneste som avslører at det er et grunnvarmeanlegg der. Dybden på borehullet avhenger av varmebehovet og hvor mye varme hullet kan levere (Ramstad 2011). I Norge er vanlig dybde 100-300 meter (NGU 2015b) .



Figur 2.2 Skjematisk diagram av et lukket system. Varme fra berggrunnen strømmer mot en vannbasert frostsikker væske i kollektorslangen, og varmepumpa trekker varme ut fra væsken. Modifisert etter Banks (2012).

Lukkede systemer kan etableres andre steder enn i berggrunn, der det vanligste er kollektorslanger som graves ned i horisontale grøfter med dybde 0,5-2 m. Energipotensialet avhenger av jordarten, men det er vanlig med 15-30 watt per meter kollektorslange. Systemet virker best dersom jorda er fuktig, siden fuktig jord leder varme bedre enn tørr jord. Mesteparten av varmen hentes ut ved faseovergangen fra væske til is. Den største ulempen med slike systemer er at de er arealkrevende, men dersom forholdene ligger til rette for det er dette normalt den rimeligste løsningen av de lukkede systemene (Ramstad 2011).

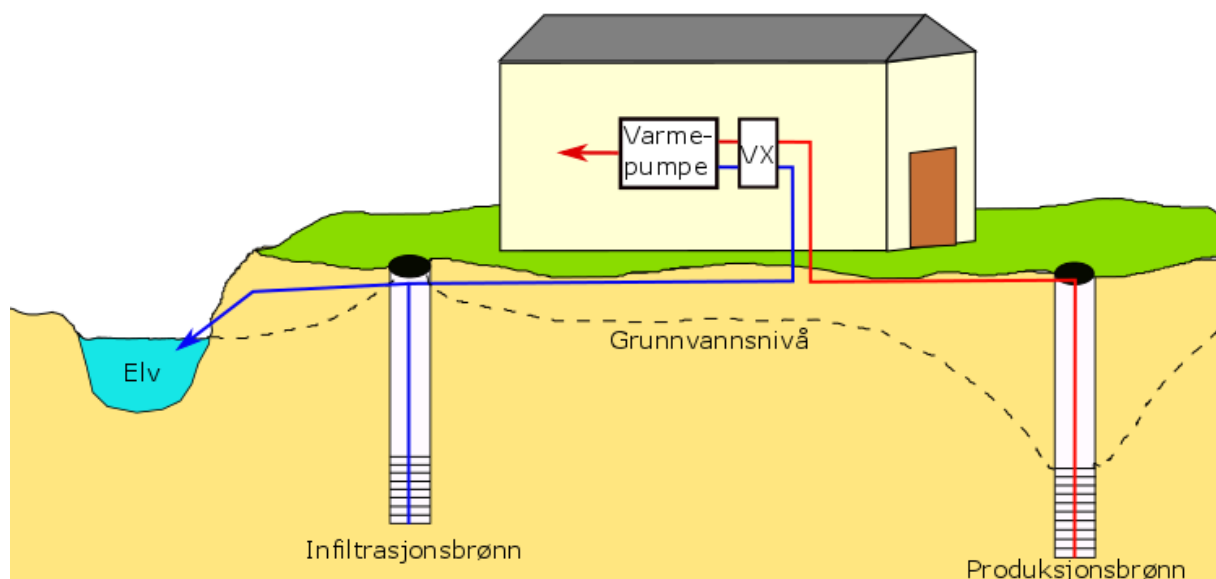
2.5 ÅPNE SYSTEMER – GRUNNVANNSBASERTE GRUNNVARMEANLEGG

Selv om lukkede systemer med kollektorslange i fjell er mest utbredt i Norge, er det på steder der forholdene ligger til rette for det mest gunstig med åpne systemer. I slike systemer pumpes grunnvann opp fra et grunnvannsmagasin, og en varmepumpe foredler varmen og fordeler den i bygget ved hjelp av et vannbårent varmesystem. Varmen tas direkte ut fra grunnvannet, noe som gir et større energipotensial enn det som er mulig i lukkede systemer. Grunnvannet er som regel kaldt nok til at det også kan brukes direkte til avkjølingsformål i varme sommermåned. Dette muliggjøres ved at overskuddsvarme fra bygningens kjøledistribusjonssystem overføres til grunnvannet via en varmeveksler. For å unngå problemer som kan oppstå i forbindelse med vannkvaliteten og suspenderte partikler i vannet, er det vanlig at grunnvannet varmeveksles i en egen varmeveksler før varmepumpa, slik at grunnvannet aldri går gjennom selve varmepumpa. En arbeidsvæske (vanligvis en glykolblanding) frakter varmen fra veksleren til varmepumpa. Moderne varmevekslere er effektive, slik at varmetapet med denne løsningen blir svært lavt. Det vil alltid være en fare for at varmeveksleren ødelegges, men det er rimeligere å rense eller bytte ut denne enn varmepumpa.

Brønner som står i store avsetninger av grus og sand har som regel størst kapasitet. Når grunnvann pumpes ut fra et grunnvannsmagasin bestående av løsmasser, vil det dannes en senkningstrakt rundt produksjonsbrønnen. I verste fall kan en slik senkning resultere i setninger i finkornige løsmasser. For å minke faren for setninger samt å opprettholde naturlig grunnvannsnivå i området, er det vanlig å ha en returbrønn der vannet infiltreres tilbake til akviferen etter å ha gått gjennom systemet, se figur 2.3. En slik løsning er praktisk siden det ekskluderer behovet for en egen avløpsledning. Dersom infiltrasjon ikke er mulig kan vannet eventuelt sendes til nærliggende elv eller lignede (Gustafson 1983).

I en studie fra Canada utført tidlig på 1990-tallet ble de økonomiske aspektene ved grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg undersøkt, og samtidig sett i sammenheng med miljø og

utslipp av klimagasser. Undersøkelsene var basert på to demonstrasjonsprosjekter, ett i Scarborough (Ontario) og ett i Carleton (Ottawa). Resultatene viste at slike systemer utvilsomt er økonomisk lønnsomme. Ca. 70 % av energien fra varmepumpa kommer direkte fra grunnvannet, mens de resterende 30 % kommer fra elektrisk energi for å drive varmepumpa. Dersom anlegget kombinerer oppvarming om vinteren med frikjøling om sommeren er lønnsomhetsgraden enda større, ettersom det kun er pumpesirkulasjonen som utgjør en kostnad ved frikjøling. Slike anlegg er mest gunstige for bygninger av middels størrelse, som for eksempel forretningsbygg. Forretningsbygg installeres vanligvis med både kjølemaskiner og varmepumper, slik at de ekstra kostnadene ved å installere et anlegg med grunnvannsbasert oppvarming og avkjøling begrenses seg til brønner, pumper, varmevekslere, rørsystemer og overvåkningssystemer. Installasjonskostnadene for slike anlegg er høye, men dette spares inn igjen i reduserte strømutfgifter, god driftssikkerhet og lite vedlikehold (Cruickshanks et al. 1993). Tilbakebetalingstiden for slike anlegg er typisk 3-5 år for forretningsbygg, og 5-12 år for boliger (Stene 2000).



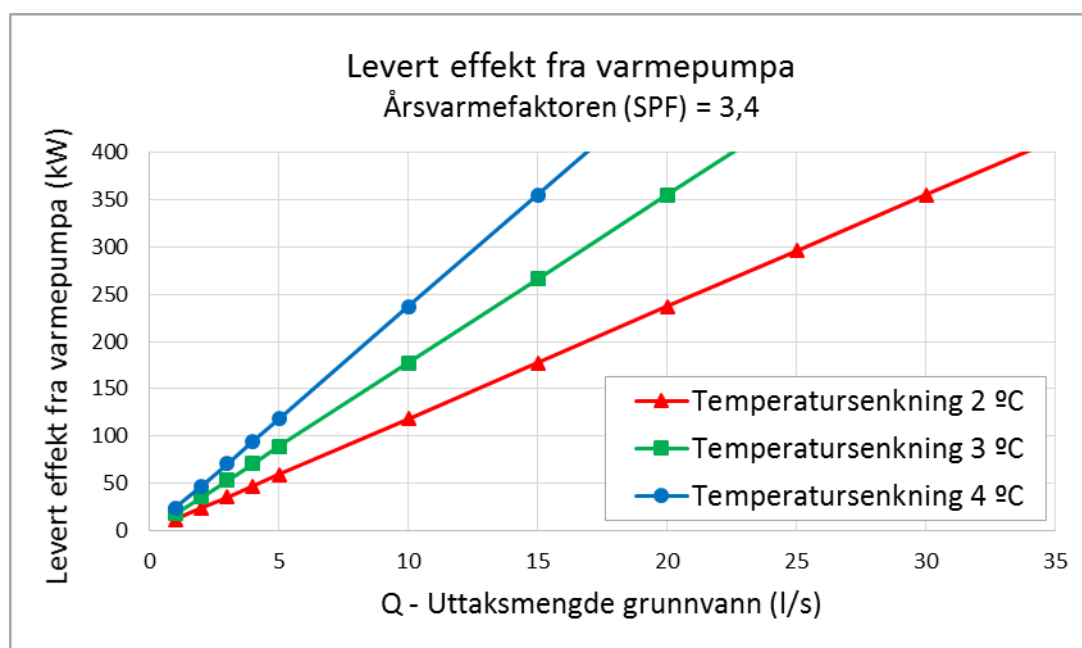
Figur 2.3 Skematisk diagram av et åpent system. Grunnvann pumpes opp i en produksjonsbrønn, sendes gjennom en varmeveksler (VX) foran varmepumpa, og i retur til enten en returbrønn eller elv. Modifisert etter NGU (2015d).

Energipotensialet bestemmes av mengden tilgjengelig grunnvann og grunnvannstemperaturen. Hvor mye varme som kan trekkes ut fra det strømmende grunnvannet er gitt av ligning 2.2:

2.2 Varmeeffekt

$$G = Q \times \Delta T \times S_{VC(vann)}$$

der G er et mål på varmeeffekt (J/s), Q er uttaksmengde (L/s), ΔT er temperaturuttak (K), og $S_{VC(vann)}$ er vannets volumetriske varmekapasitet ($\text{JK}^{-1}\text{L}^{-1}$). $S_{VC(vann)}$ er tilnærmet konstant ($4180 \text{ JK}^{-1}\text{L}^{-1}$), mens potensiell uttaksmengde og temperaturuttak varierer fra sted til sted. Effekt oppgis ofte som kW i stedet for J/s ($1 \text{ kW} = 1000 \text{ J/s}$) (Banks 2012). Forholdet mellom disse parameterne er illustrert i figur 2.4.



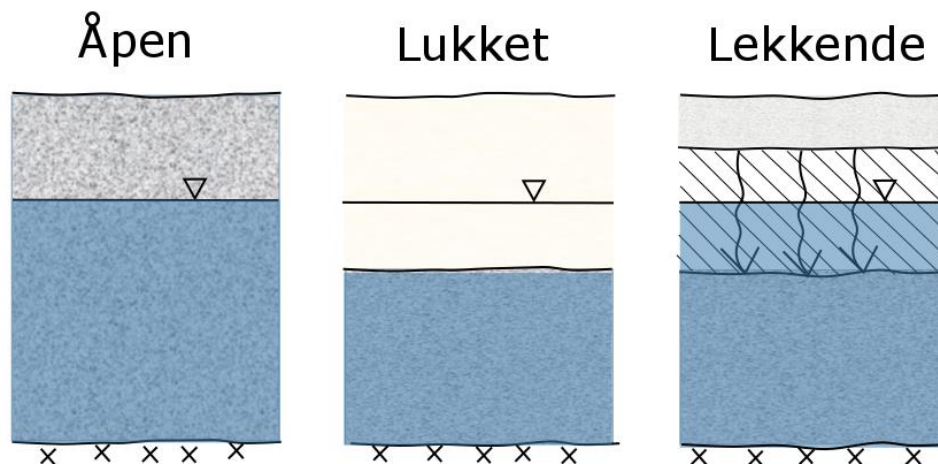
Figur 2.4 Levert effekt fra varmepumpa ved forskjellig uttaksmengde (Q) og temperatursenkning (ΔT) ved $\text{SPF} = 3,4$. Legg merke til at lav temperatursenkning og høyt vannuttak (rød graf) kan gi samme effekt som høy temperatursenkning med lavt vannuttak (blå graf).

2.6 GRUNNLEGGENDE HYDROGEOLOGI

2.6.1 Akvifer

Under terrengoverflaten deles den grunne delen av bakken inn i to hovedsoner basert på vanninnhold, en øvre umettet sone og en nedre mettet sone. I den umettede sonen er porerommene helt eller delvis fylt med luft, mens i den mettede sonen er alle porerommene fylt med vann. Vannet i den mettede sonen kalles grunnvann. En formasjon i løsmasser eller berggrunn som er vannmettet og tilstrekkelig permeabel for uttak av så store grunnvannsmengder at det er økonomisk gunstig defineres som en akvifer (grunnvannsmagasin). Det skilles hovedsakelig mellom åpne og lukkede akviferer, avhengig av om de har henholdsvis permeable eller impermeable lag over seg. En akvifer med et

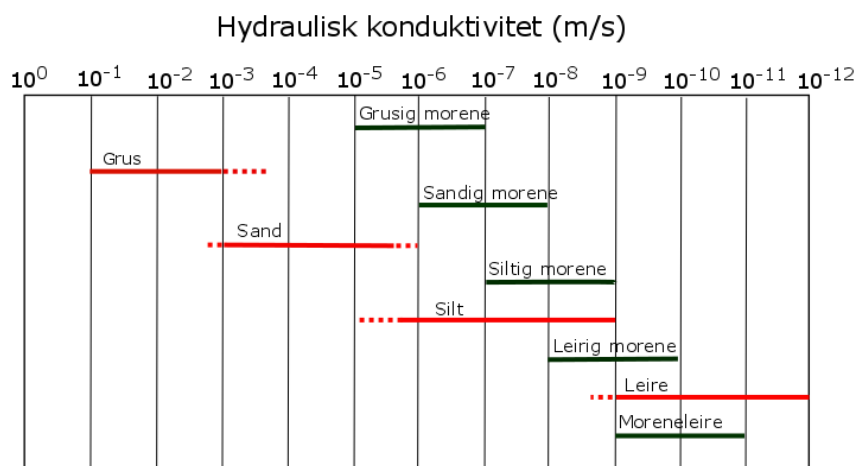
overliggende tilnærmet lavpermeabelt lag som likevel tillater noe tilsig av vann fra terrengoverflaten og ned til akviferen kalles lekkende akvifer (se figur 2.5). I en åpen akvifer står grunnvannet i direkte kontakt med atmosfæren, og grensen mellom umettet og mettet sone kalles grunnvannsspeilet. I lukkede akviferer skiller grunnvannet fra atmosfæren av et tett lag, slik at grunnvannet står under trykk. Hvis det settes ned en brønn i en slik akvifer vil vannet stige til en høyde som tilsvarer grunnvannets trykkflate (Brattli 2009).



Figur 2.5 Åpen, lukket og lekkende akvifer. Grensen for grunnvannsnivået/grunnvannets trykkflate er markert med trekant. Modifisert etter Brattli (2013).

2.6.2 Hydrauliske egenskaper

De viktigste hydrauliske egenskapene til en akvifer er dens hydrauliske konduktivitet (K), transmissivitet (T) og magasineringssegenskaper (S). Førstnevnte parameter er et mål på et materiales evne til å lede væske fra pore til pore. Den er avhengig av både permeabiliteten i akviferen og grunnvannets strømmingsegenskaper. Typiske verdier for ulike løsmasser er oppgitt i figur 2.6. Transmissiviteten er et produkt av den hydrauliske konduktiviteten og akviferens tykkelse, og uttrykker hvor mye vann som kan strømme horisontalt gjennom en mettet avsetning med hydraulisk gradient 1. Magasinkoeffisienten beskriver hvor mye grunnvann som avgis eller magasineres i et enhetsvolum av akviferen når grunnvannets trykknivå endres med én enhet (Fetter 2001).



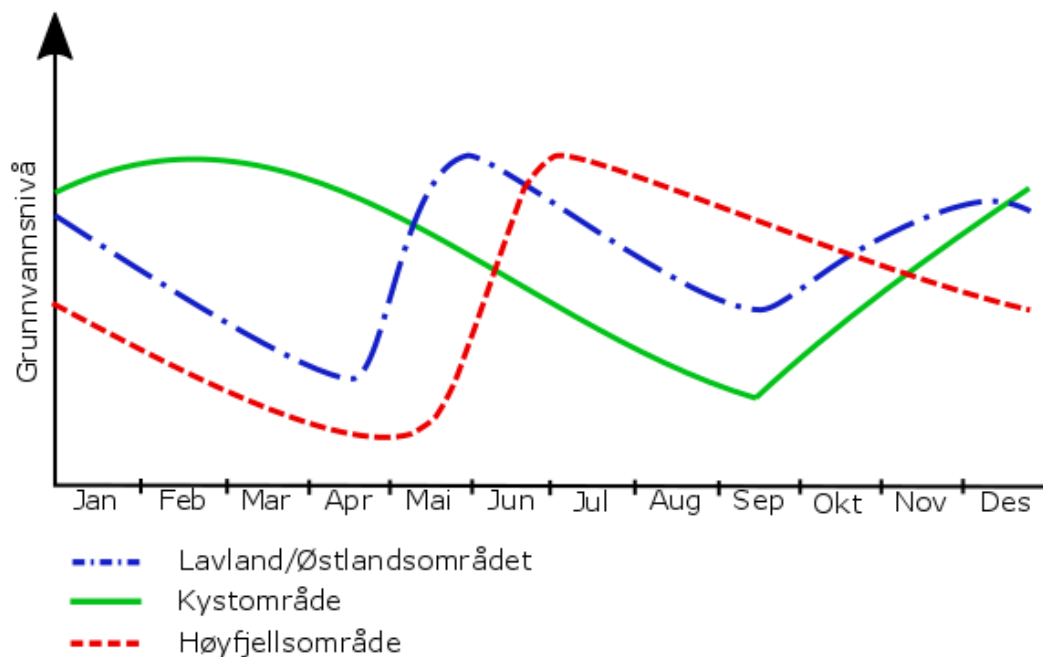
Figur 2.6 Hydraulisk konduktivitet for noen typiske løsmasser. Modifisert etter Carlsson og Gustafson (1984).

2.6.3 Grunnvannsnivå

I løpet av et år vil grunnvannsnivået fluktuere, noe som hovedsakelig skyldes systematiske variasjoner i temperatur og nedbør. Nedbør fører til heving av grunnvannsnivået, mens langvarig tørke fører til senkning. Størrelsen på utslaget i akviferen og hvor lang tid det tar før det inntreffer avhenger av akviferens mektighet og den vertikale hydrauliske konduktiviteten i den umettede sonen. Lavpermeable lag over akviferen vil forsinke infiltrasjonshastigheten, slik at en akvifers respons på en nedbørshendelse kan ta flere dager. Dersom den umettede sonen er tynn og består av grovkornet materiale, vil imidlertid responstiden være kortere (Brattli 2009).

Kirkhusmo og Sønsterud (1988) har ved hjelp av data fra prosjektet «Landsomfattende grunnvannsnett» (LGN) utarbeidet en figur som viser normal utvikling av grunnvannsnivå i ulike regioner i Norge (se figur 2.7). Dataene er basert på observerte endringer i grunnvannsnivået ved målestasjoner som representerer ulike geologiske, topografiske og klimatiske forhold. Figuren gjelder for selvmatende akviferer, det vil si at nydannelsen av grunnvann avhenger av nedbørs- og avsmeltingsforholdene. I lavlandsområder er det to maksima og to minima i løpet av et år. Det første minimum opptrer rett før snøsmeltingen på våren, og deretter følger første maksimum som følge av snøsmeltingen. I løpet av sommeren synker grunnvannsnivået igjen, og i september følger det andre minimumet. Utover høsten øker grunnvannsnivået som følge av høstnedbøren, og det andre maksimumet forekommer i overgangen mellom november/desember. I kystområder faller mye av vinternedbøren som regn, samtidig som at det er lite teledannelse. Dette fører til at maksimum forekommer på vinterstid, med avtagende grunnvannsnivå utover våren og sommeren. Minimumsnivået opptrer i september, og utover høsten øker grunnvannsnivået igjen grunnet høstnedbør. I

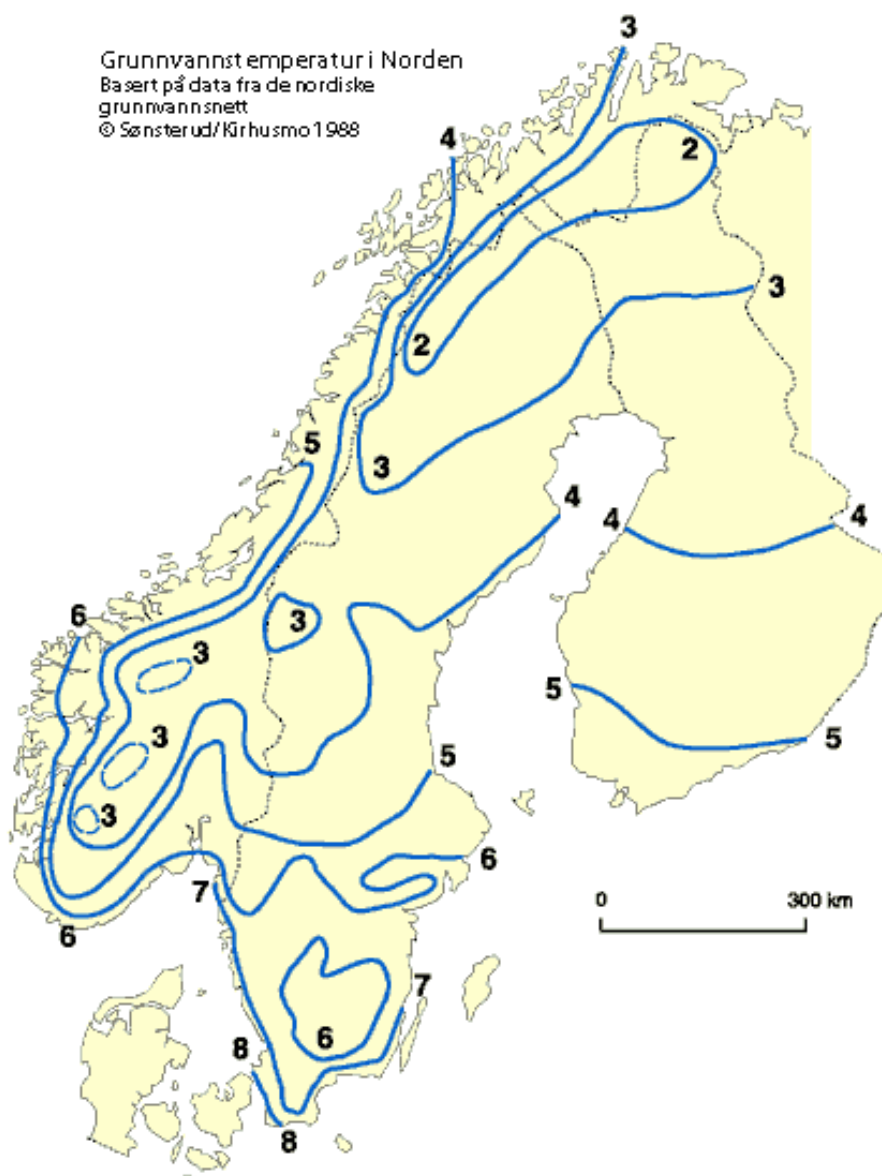
høyfjellsområder er det ofte et minimum like før snøsmelting og et maksimum like etter. I disse områdene kan det forekomme et lite maksimum også om høsten, avhengig av snø- og teleforholdene. Variasjonene i grunnvannsnivået avhenger av de geologiske materialene i akviferen. De største variasjonene forekommer i moreneområder (1-3 meter er vanlig i morene), og skyldes at morenejord har liten effektiv porøsitet. I grovkornede avsetninger med høy porøsitet, som for eksempel breelvavsetninger og elveavsetninger, er årsvariasjonen vanligvis mindre enn i morenejord (Kirkhusmo & Sønsterud 1988).



Figur 2.7 Utvikling i grunnvannsnivå i ulike regioner i Norge. Modifisert etter Kirkhusmo og Sønsterud (1988).

2.6.4 Grunnvannstemperatur

Grunnvannstemperaturen styres i hovedsak av solinnstråling og lufttemperatur. I grunne løsmasser ned til ca. 5-7 m dyp er det ofte en forsinkelse i utviklingen av grunnvannstemperaturen i forhold til lufttemperaturen, slik at de laveste temperaturene måles om sommeren og de høyeste om vinteren. I dypere løsmassebrønner og i fjellbrønner stabiliserer grunnvannstemperaturen seg ved 10-15 m dyp, og er tilnærmet lik stedets luftmiddeltemperatur (Kirkhusmo & Sønsterud 1988). I Norge varierer grunnvannets gjennomsnittstemperatur mellom 3-7 °C (figur 2.8). Maksimumstemperaturen kan være opp til 10 °C (Jæren), og minimum ned til 1 °C (Karasjøk) (Pedersen et al. 2003).



Figur 2.8 Variasjoner i gjennomsnittlig grunnvannstemperatur for ulike soner i Norge, Sverige og Finland. Hentet fra Hilmo et al. (1998), basert på Kirkhusmo & Sønsteruds data fra LGN.

2.7 LOVER OG FORSKRIFTER SOM REGULERER BRUK AV GRUNNVANN

Bruk av grunnvann reguleres av ulike lover og forskrifter, der den viktigste for grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg er Vannressursloven. Vannressursloven trådte i kraft 1.januar 2001, og skal sikre samfunnsmessig forsvarlig bruk og forvaltning av vassdrag og grunnvann. Loven sier at grunnvann tilhører grunneier, så lenge ikke annet følger av særlige rettsforhold. Dette betyr at grunneier kan ta ut vann til husholdning og husdyr på sin egen eiendom uten konsesjon, så lenge uttaket ikke overstiger det omfanget som er naturlig for eiendommen. Andre unntak er dersom uttaket fører til skade eller ulempe i vassdraget for allmenne eller private interesser, eller hvis uttaket fører til at vannstanden blir mindre enn

alminnelig lavvannføring. I slike tilfeller må det søkes konsesjon for uttaket hos Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), som er vassdragsmyndigheten i Norge. Kriteriene for å få konsesjon er at fordelene ved tiltaket overstiger skader og ulemper som påføres allmenne eller private interesser som berøres. Dersom loven ikke overholdes kan tiltakshaver straffes med bøter eller fengsel (Vannressursloven 2000). Dersom tiltakshaver er usikker på om anlegget er konsesjonspliktig, må vedkommende henvende seg til nærmeste regionkontor i NVE. NVE vurderer så konsesjonspliktigheten ut i fra tiltakshavers beskrivelse av anlegget. Grunnvannsuttak etablert før vannressurslovens ikrafttredelse i 2001, blir konsesjonspliktige dersom omfanget økes eller endres slik at uttaket ville vært konsesjonspliktig hvis anlegget var nytt i dag (Kårstein et al. 2005). Fra og med 1.januar 2015 er det lovpålagt at alle grunnvannsbygg som tar ut eller infiltrerer minst 10 millioner m³ grunnvann per år (317 l/s) skal konsekvensutredes (Konsekvensutredningsforskriften 2015).

Drikkevannsforskriften er en del av Matloven, og regulerer kravene til drikkevann i Norge. Formålet med denne er *«å sikre forsyning av drikkevann i tilfredsstillende mengde og av tilfredsstillende kvalitet, herunder å sikre at drikkevannet ikke inneholder helseskadelig forurensning av noe slag og forøvrig er helsemessig betryggende»* (Drikkevannsforskriften 2001, §1). Selv om kravene til grunnvann som brukes i grunnvarmeanlegg ikke omfattes av Drikkevannsforskriften, kan en vel av grenseverdiene som er satt av bruksmessige hensyn tas i betraktning også for slike anlegg. Krav som er satt med hensyn på helse har ingen ting å si for grunnvarmeanlegg.

2.8 HYDROGEOLOGISKE FORUNDERSØKELSER

Hydrogeologiske forundersøkelser danner grunnlaget for vellykket prosjektering av grunnvarmeanlegg basert på oppumpet grunnvann. Resultatene brukes til å vurdere om området er egnet til grunnvannsuttak med tanke på tilgjengelig vannmengde, vannkvalitet og temperatur, og til å finne best plassering og dimensjonering av brønnene (Brassington 1998). I Norge er det imidlertid vanlig at utbygger kontakter brønnborer og rørlegger direkte, uten at en hydrogeolog involveres i prosessen. Dette kan i noen tilfeller gå bra, men ofte resulterer det i at anlegget ikke fungerer optimalt, og i verste fall må stenges. Ved etablering av et anlegg er det derfor viktig at en hydrogeolog involveres i prosessen sammen med VVS-prosjekterende, brønnborer, rørlegger, automatiseringsingeniør, driftsansvarlig og utbygger. Samarbeidet mellom de ulike fagpersonene bør fortsette i driftsfasen (Ramstad 2014).

I de neste avsnittene presenteres et forslag til fremgangsmetode for forundersøkelser, basert på anbefalinger fra Brassington (1998) og Asplan Viak (Ramstad 2013). Forundersøkelsene deles inn i flere faser, og det tar minimum et halvt år fra de første undersøkelsene begynner til anlegget kan bygges. Rekkefølgen og arbeidsmengden som brukes på hver fase varierer fra prosjekt til prosjekt. Undersøkelsene er i hovedsak lik forundersøkelser som gjennomføres i forbindelse med drikkevannsanlegg. Hovedforskjellene er at grunnvarmeanlegg ikke har noen offisielle krav til vannkvalitet, og temperaturen på grunnvannet er i fokus.

2.8.1 Kart- og rapportstudier

Ved planlegging av et anlegg er det et godt utgangspunkt å begynne undersøkelsene av området fra kontorpulten. Aktuelle informasjonskilder er flyfoto og ulike kartgrunnlag, som for eksempel berggrunnskart, kvartærgeologiske kart og topografiske kart. Dersom det finnes, kan også mye nyttig informasjon hentes fra rapporter fra tidligere geologiske undersøkelser i området (Brassington 1998). I 2004 ble den nasjonale grunnvannsdatenbanken GRANADA åpnet som en internettbasert karttjeneste i Norge. Tjenesten driftes av NGU. Dersom det er boret brønner i området fra før vil det finnes informasjon om disse her. Vanligvis står det hva brønnene brukes til, boredyp, boredato og andre utdrag fra boreloggen (NGU 2015b).

2.8.2 Innledende kartlegging og overvåking

Neste steg i prosessen er å gjøre en innledende kartlegging av studieområdet. Dette går ut på å undersøke hele eller deler av området til fots for å få et overordnet bilde av geologi og sannsynlig grunnvannsstrømning. Dersom det finnes oppkommer der vannet strømmer ut naturlig, merkes de av på kartet, og grunnvannets temperatur og elektriske ledningsevne (konduktivitet) måles. I noen områder kan det hende at det finnes brønner fra før av, og da måles totalt brøndyp og grunnvannsnivå i disse. Området bør overvåkes over lengre tid for å få en data om blant annet naturlig grunnvannstemperatur og grunnvannsnivå gjennom ulike årstider (Brassington 1998).

2.8.3 Overslagsberegninger

For å finne nødvendig grunnvannsmengde og temperatursenkning som trengs for å tilfredsstille ønsket effektbehov, utføres overslagsberegninger ved hjelp av ligning 2.2 (side 11). Beregningene danner grunnlaget for å vurdere hvor realistisk uttaket er med hensyn på de hydrogeologiske forholdene på det aktuelle stedet og maksimal varmeeffekt som kan leveres fra varmepumpa (Ramstad 2013).

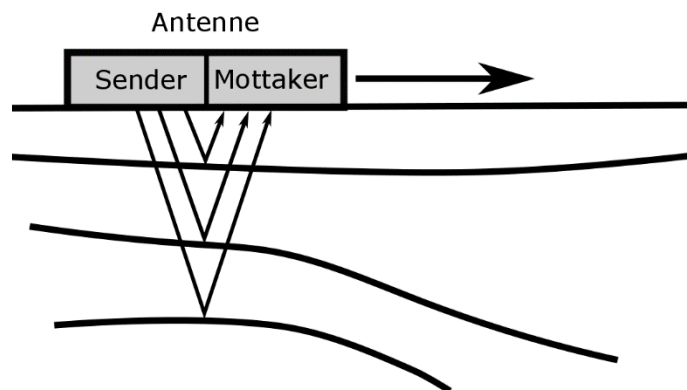
2.8.4 Geofysiske undersøkelsesmetoder

Geofysiske undersøkelser brukes til å undersøke store områder til en relativt lav kostnad, og gir et bilde av hvordan det kan se ut under terrengoverflaten. De har til felles at de samler inn informasjon om det som finnes under bakken uten å ta ut en fysisk prøve. Undersøkelsene gir viktig informasjon om dybden fra terrengoverflaten ned til grunnvannsspeilet og berggrunnen, og en indikasjon på løsmassetypenes utbredelse horisontalt og vertikalt. For at de geofysiske undersøkelsene skal bli vellykket, må egenskapene i løsmassene og berggrunnen ha målbare forskjeller som kan detekteres av instrumentene (Ensby 1990). Reynolds (2011) har sammenstilt informasjon om geofysiske metoder og deres bruksområder, og funnet følgende metoder som primært brukes innen hydrogeologiske undersøkelser: georadar, magnetisk resonans, resistivitetsmetoden og selvpotensialmetoden. Seismikk vil også bli beskrevet nærmere. Hvilken metode som bør brukes avhenger av de geologiske forholdene på stedet, men det vil ofte være en fordel å kombinere flere forskjellige undersøkelser ettersom de har ulike fordeler og ulemper. Av de seks nevnte metodene er det georadar som er mest utbredt innen hydrogeologiske forundersøkelser.

Georadar (elektromagnetisk metode)

Georadar (Ground Penetrating Radar, GPR) er en elektromagnetisk metode, og grunnprinsippet går ut på at forskjellige materialer slipper gjennom elektromagnetiske radiobølger i ulik grad. I noen materialer går radiobølgene rett gjennom (for eksempel i polar is), mens i andre materialer absorberes eller reflekteres de. Bølgenes oppførsel styres av de dielektriske egenskapene til de ulike lagene i bakken. Disse egenskapene avhenger av materialets vanninnhold og geologiske sammensetning. Stor kontrast i den dielektriske konstanten fører til at flere radiobølger reflekteres enn ved liten kontrast. Et georadarsystem består av en signalgenerator, en eller flere sender- og mottakerantenner, og en kontrollkonsoll som styrer signalgenerering og registrering av data. Fra senderantennen sendes elektromagnetiske bølgepulser ned i jorda, og når energien treffer en grense som representerer en endring i materialets dielektriske egenskaper, sendes deler av bølgeenergien tilbake til mottakerantennen. Resten av energien fortsetter nedover i bakken helt til den reflekteres fra andre grenseflater nedover i grunnen. Prinsippet er illustrert i figur 2.9. Etter at målingene er utført i felt, må dataene prosesseres ved å sortere datafiler og eventuelt fjerne dårlige data. Dette arbeidet gir et radargram som analyseres, og resultatene brukes til å lage en tolkning av det som finnes under terrengoverflaten. Måledybden avhenger av både antennefrekvensen og bakkens elektriske ledningsevne. Høy frekvens gir grunne, detaljerte målinger, mens lav frekvens gir dypere, men mindre detaljerte målinger. Dersom

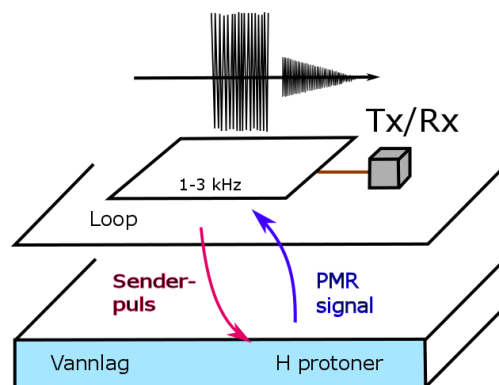
materialene i bakken har høy elektrisk ledningsevne (eks. våt leire) vil signalene dempes raskt, og dermed blir penetrasjonsdybden kortere. I materialer med dårlig elektrisk ledningsevne (eks. tørr sand) kan derimot dybderekkevidden være stor (Reynolds 2011).



Figur 2.9 Prinsipiell skisse for utførelse av målinger med georadar. Radiobølger sendes ut fra en senderantenne, reflekteres ved lag med ulike dielektriske egenskaper, og registreres i mottakerantennen. Modifisert etter Reynolds (2011).

Magnetisk resonans (elektromagnetisk metode)

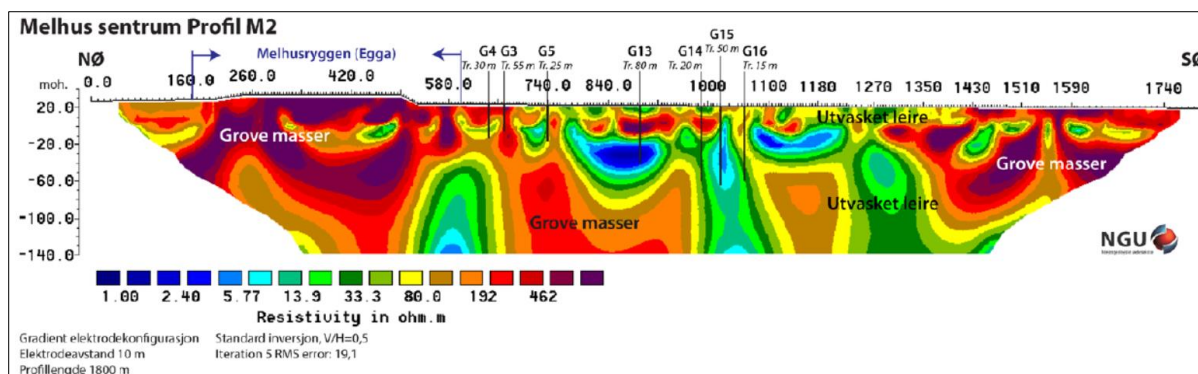
Magnetisk resonans er en elektromagnetisk metode, og den eneste geofysiske metoden som gir en direkte indikasjon på om det finnes vann i grunnen eller ikke. Metoden brukes til å estimere total vannmengde ved en gitt lokalitet, dybde til vannet og den hydrauliske permeabiliteten i formasjonen. Prinsippet for undersøkelsene er vist i figur 2.10. En stor ledning legges i en ring som fungerer som både sender og mottaker. Ringens dimensjoner er i samme størrelsesorden som ønsket dybderekkevidde for undersøkelsen. Ut fra ringen sendes pulser med vekselstrøm, og dette fører til at hydrogenprotoner i grunnvannet stilles i samme retning som netto magnetisk felt. Når energipulsene slås av faller protonene tilbake til sin opprinnelige plass, og i løpet av denne avspenningsprosessen dannes et sekundært magnetisk felt som måles. En fullstendig undersøkelse består av en serie målinger med ulike strømpulser. Resultatene vises på en amplitude-puls graf, og kurveformen gir informasjon om relativ plassering og tykkelse til en eller flere akviferer. Undersøkelsen må foregå i et område uten forstyrrelser fra annen elektromagnetisk stråling, og bør derfor brukes i god avstand fra kraftlinjer, metallgjerder eller andre objekter som kan sende ut slik stråling (Reynolds 2011). Siden grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg stort sett bygges i allerede godt etablerte områder, begrenser de sistnevnte faktorene bruken av denne metoden.



Figur 2.10 Prinsipiell skisse for utførelse av målinger av magnetisk resonans. Ut fra ringen sendes det vekselstrøm som får hydrogenprotonene i grunnvannet til å stilles i samme retning som netto magnetisk felt. Når energipulsen slås av faller hydrogenprotonene tilbake på plass, og det dannes et sekundært magnetisk felt som måles. Ringen fungerer som både sender og mottaker. Modifisert etter Bernard & Legchenko, publisert hos Reynolds (2011).

Resistivitetmetoden

Resistivitet (ρ) er det samme som motstand, og dermed invers av elektrisk ledningsevne. Resistivitetmetoden er en elektrisk metode som utnytter de ulike geologiske materialenes resistivitet til å kartlegge hva slags type berggrunn og løsmasser som finnes i et område. Prinsippet går ut på at strøm sendes ned i bakken ved hjelp av to strømelektroder, og den elektriske spenningen som oppstår måles av to potensialelektroder som står på terrengoverflaten. Ut fra målt potensialforskjell, målt strømstyrke og en geometrisk faktor bestemt av elektrodeplasseringen, beregnes en tilsynelatende resistivitet (ρ_a). Begrepet tilsynelatende benyttes fordi det som måles representerer et gjennomsnitt av resistivitetsverdien mellom de to elektrodene. Resistiviteten kartlegges lateralt ved å flytte elektrodeplasseringene rundt på studieområdet. Dersom avstanden mellom elektrodeplasseringene økes, trenger strømmen lengre ned i bakken, slik at resistiviteten kartlegges mot dypet. Til sammen gir dette et todimensjonalt bilde av resistiviteten i bakken. Tolkning til en fysisk modell foregår ved først å generere en teoretisk, syntetisk sonderingskurve, og så sammenlignes denne med felldataene. Deretter følger en inversjonsprosess der den teoretiske kurven beregnes på nytt i flere iterasjoner for å oppnå en best mulig tilpassing til felldataene. Når man er fornøyd med den fysiske modellen, tolkes denne til en geologisk modell ved hjelp av kjente resistivitetsverdier for berggrunn og løsmasser. Et eksempel på en slik tolkning er vist i figur 2.11 (NGU 2008; Reynolds 2011).



Figur 2.11 Resistivetsprofil fra Melhus sentrum (går gjennom sentrum og følger gamle E6 mot sør). Resistivetsverdiene er tolket til grove masser og utvasket leire. Hentet fra Solberg et al. (2014).

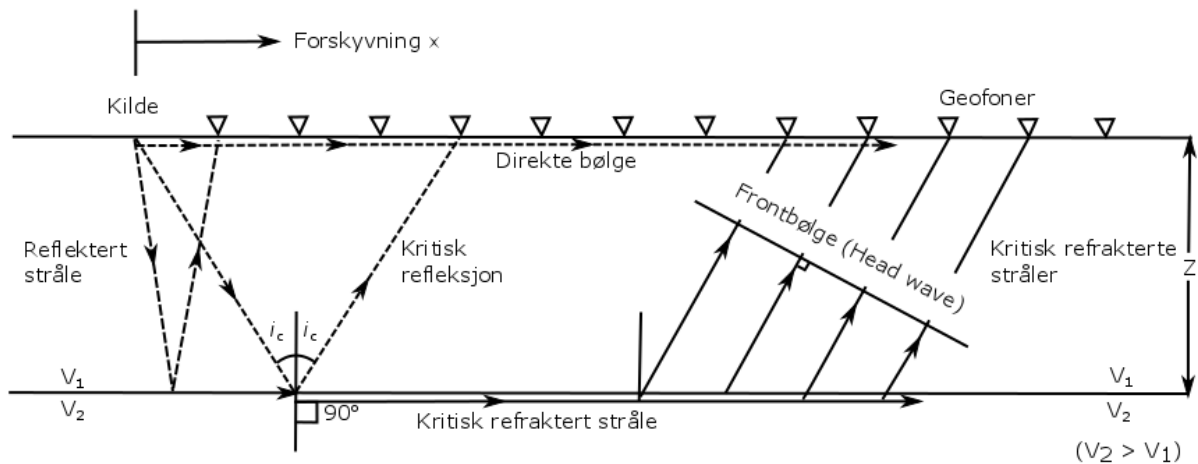
Selvpotensialmetoden (SP)

Selvpotensialmetoden regnes som den rimeligste innen geofysikk, og er en av de enkleste å utføre. Prinsippet går ut på å utnytte de naturlige elektriske potensialforskjellene i bakken. Disse kan være et resultat av en elektrolytt som strømmer gjennom et porøst medium (elektrokinetisk potensial), ulik konsentrasjon i elektrolytten (elektrokjemisk potensial) eller ulike mineraltyper (mineral potensial). Vann fungerer som en elektrolytt og et løsemiddel for mineraler, slik at grunnvannsbevegelse dermed er en naturlig årsak til selvpotensial. Selvpotensialet måles ved å forbinde to ikke-polariserte elektroder til et nøyaktig voltmeter. Avstanden mellom de to elektrodene kan være konstant (gradientmetoden), eventuelt kan den ene elektroden stå på et fast sted mens den andre elektroden flyttes rundt på studieområdet (amplitudemetoden) (Reynolds 2011). Metoden ble opprinnelig utviklet for mineralprospektering, men brukes også til en viss grad innen geotermiske og ingeniørgeologiske undersøkelser. Den brukes blant annet til å skaffe informasjon om grunnvannsstrømning eller til å undersøke grunnvannskjemi (Corwin 1984).

Seismikk

Seismikk går ut på å bruke kunstige lydskilder til å generere seismiske bølger som forplanter seg gjennom de ulike lagene i bakken før de reflekteres eller refrakteres ved en grenseflate, se figur 2.12. Nøyaktig tidspunkt for utsendelse og mottak av bølgene brukes til å finne informasjon om de ulike lagenes dybde, struktur og fysiske egenskaper. Lydkilden kan for eksempel være en hammer som slås mot en tung plate, dynamitt eller vibrasjon. En geofon (sensor) fanger opp lydbølgene når de returnerer, og konverterer den seismiske energien til en målbar elektrisk spenning. Resultatene fra hver geofon registreres på en seismograf, og tilhørende gangtid måles og plottes på en gangtidskurve. Seismiske undersøkelser deles inn i to hovedkategorier,

refraksjonsseismikk og *refleksjonsseismikk*. Innen hydrogeologi er det refraksjonsseismikk som brukes mest, både av praktiske og økonomiske årsaker. Prinsippet bak refraksjonsseismikk er at en bølge bøyes av og endrer retning når den treffer en grense mellom to lag med ulik hastighet. Metoden avhenger av at hastigheten øker med dybden, og det antas at hvert lag er like tykt som eller tykkere enn laget ovenfor (Reynolds 2011).



Figur 2.12 Prinsipiell skisse av direkte, reflekterte og refrakterte bølger. Modifisert etter Geomatrix Earth Science Ltd., publisert hos Reynolds (2011).

2.8.5 Sonderboring og undersøkelsesbrønner

Sonderboringer letter tolkningen av de geofysiske undersøkelsene, og gir en sikrere tolkning av løsmassetypen. Metoden går ut på å drive ned stenger med 25 mm diameter i løsmassene ved hjelp av slagkraft fra en manuell borerigg eller en beltegående rigg. Hver stang er enten 1 eller 2 m, og på spissen sitter en 4-kantet sonde. Ved hvert stangskifte dreies stengene rundt for å registrere friksjonslyden mellom løsmassene og sonden. Ulike materialer gir forskjellig lyd, og lyden kan dermed brukes til å si noe om løsmassetype. For eksempel gir leire nesten ingen lyd, mens grus gir en karakteristisk knasende lyd. Under driving av stengene registreres også synkehastigheten, og sammen med informasjon om løsmassetype gir dette en indikasjon på mektigheten av vannførende og ikke-vannførende masser. Resultatene brukes til å karakterisere akviferens vanngiverevne. Stengene trekkes opp igjen ved hjelp av en manuell eller automatisk jekk (Ensby 1990).

Dersom resultatene fra sonderboringene viser masser med god vanngiverevne, settes det ned undersøkelsesbrønner. Disse brukes til å ta vann- og masseprøver og for kapasitetstesting. Brønnene bores der det allerede er sonderboret, og med samme teknikk. 2 m lange stålrør med 3-5 cm diameter drives ned til ønsket dybde ved å skjøte på rørlengder. I tuppen settes en 1 m

lang oppslisset sandspiss der grunnvann og løsmasser kan trenge inn i brønnen. Ved hjelp av en sugepumpe med slangetilkobling som monteres til rørtoppen pumpes grunnvannet ut. Ved pumping vil det i begynnelsen følge med en del sedimenter, og sedimentblandingen pumpes over i et prøvekar der massene sedimenteres. Derfra tas det ut masseprøver som sendes til et laboratorium for analyse av korngraderingen. Prøvene tas mest mulig kontinuerlig, helst hver meter til annen hver meter. Det kreves derfor at hele hendelsesforløpet av pumpingen registreres nøyaktig. Etter hvert avtar sedimentmengden, og etter minst 30 minutters pumping kan vannprøvetakingen begynne. Vannprøvene tas alltid fra topp, midt og bunn, og helst fra hver andre til hver fjerde meter. Disse sendes inn til et laboratorium og analyseres for fysisk-kjemiske og eventuelt bakteriologiske parametere (Ensby 1990).

2.8.6 Fullskala brønnboring

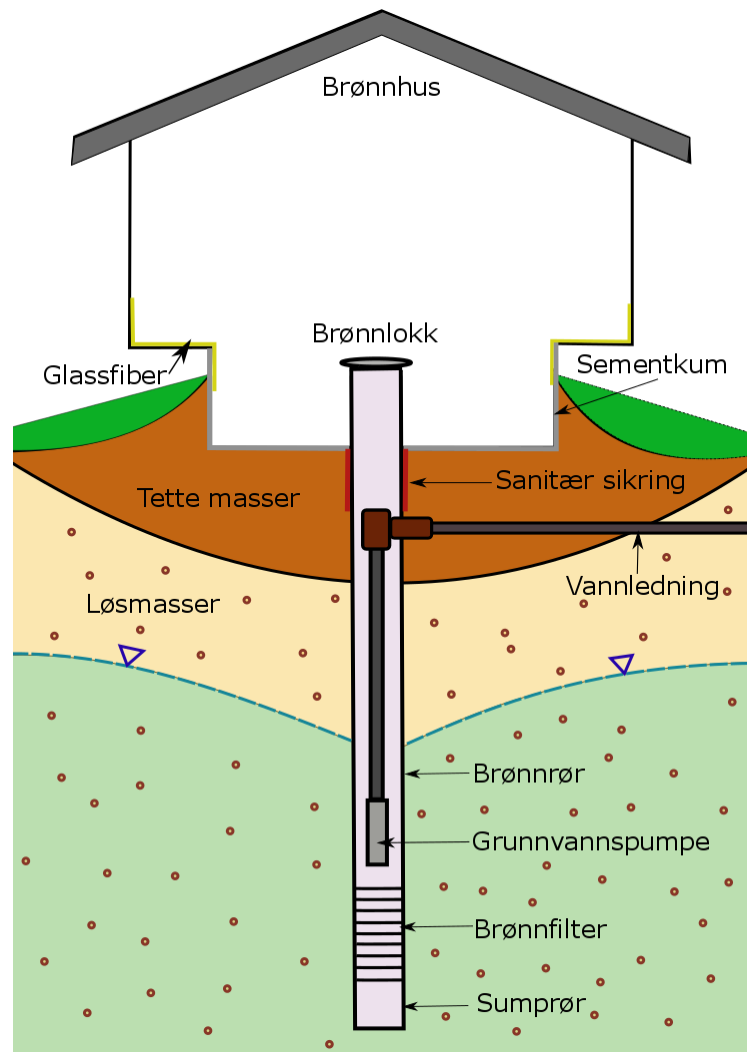
Fullskala brønnboring utgjør en stor kostnad, og plassering og dimensjonering av brønnene gjøres på bakgrunn av resultatene fra de ovennevnte utførte undersøkelsene. En godt dimensjonert brønn har best mulig yteevne og levetid til lavest mulig pris. Ifølge Driscoll (1986, s. 413) skal enhver brønn designes slik at følgende punkter oppnås:

- *Størst mulig uttakspotensiale med minst mulig senkningstrakt*
- *Grunnvann med god kvalitet godt beskyttet fra forurensningskilder*
- *Vann som er sandfritt (fritt for suspenderte partikler)*
- *Lang levetid (>25 år)*
- *Fornuftige korttids og langtids kostnader*

En brønn består av to hoveddeler, *brønnrøret* og *inntaksdelen*. Brønner i fast fjell bores som åpne hull med et kort fôringsrør nærmest terrengoverflaten, mens løsmassebrønner må ha brønnrør for ikke å kollapse. Den nedre delen av en løsmassebrønn består av et filterrør som er slisset opp for å slippe inn vann. Se figur 2.13 for et eksempel på en typisk løsmassebrønn til drikkevannsforsyning. Løsmassebrønner gir som regel betydelig mer vann enn fjellbrønner.

Brønndesign går ut på å velge brønnrørets og filterrørets diameter, material og lengde, samt slissediameter. Valg av brønnens diameter styres av størrelsen på pumpa, siden brønnen må være stor nok til å romme grunnvannspumpa med tilhørende kabler og stigeledning (Clark 1988). Utover dette vil ikke diameteren påvirke brønnens kapasitet i stor grad, siden en dobling av diameteren bare øker kapasiteten med ca. 10 % (Kruseman 1990). Valg av brønnrørmateriale baseres på vannkvalitet, brønnens dybde, kostnad, diameter og boremetode. Det vanligste er rustfritt stål. Brønndybden bestemmes med utgangspunkt i boreloggen, og bør gå helt ned til

bunnen av akviferen. Dette gir en større inntaksdeler og mer tilgjengelig senkning, og dermed større uttakspotensiale. Filterrøret plasseres i sonen med høyest hydraulisk konduktivitet, og lengden baseres på akviferens tykkelse og tilgjengelig senkning. Diameteren på selve slissene avhenger av kornstørrelsesfordelingen rundt filterrøret. Videre er det viktig at brønnen utformes slik at den er lett å rense (Driscoll 1986).



Figur 2.13 Prinsipiell skisse av typisk løsmassebrønn for drikkevannsanlegg. Modifisert etter Gaut (2015).

2.8.7 Prøvepumping

Etter at en fullskala brønn er boret må den testes for å undersøke akviferens hydrauliske egenskaper og brønnens kapasitet. Dette gjøres ved å pumpe ut en konstant vannmengde og underveis måle senkningen i brønnen og eventuelt nærliggende peilebrønner. Testing av brønner har vanligvis tre faser (Banks 2012; Misstear et al. 2006):

1. **Trinnvis testing:** Hovedprinsippet for trinnvise tester er at det pumpes ut en gitt vannmengde i løpet av en kort periode (typisk to timer), for deretter å øke uttaksmengden. Vanligvis repeteres prosessen i fire trinn. Vannivået synker raskt i begynnelsen av pumpeperioden, men etter en stund tar det lenger tid å observere senkningen. De første minuttene av en slik test måles derfor grunnvannsnivået ofte (for eksempel hvert 30. sekund), etter noen minutter kan det gå lenger tid mellom hver måling. Testen kan utføres kontinuerlig eller ikke-kontinuerlig. I en ikke-kontinuerlig test er det en pause mellom hvert trinn slik at grunnvannsnivået kommer tilbake til opprinnelig nivå før økning til neste trinn, mens i en kontinuerlig test økes uttaksmengden direkte uten pause. Ved direkte økning gjennomføres testen på kortere tid, men resultatene kan være vanskeligere å tolke.
2. **Konstant rate-testing:** I denne testen pumpes brønnen med en konstant uttaksmengde samtidig som senkningen måles kontinuerlig i pumpebrønnen. Uttaksmengden settes vanligvis til den mengden som forventes å tas ut når anlegget settes i drift. Testen brukes til å undersøke om uttaksmengden kan opprettholdes over lengre tid uten at det fører til store senkninger i akviferen eller store vannstandsendringer i andre vannkilder i nærheten. Testens varighet avhenger av størrelsen og viktigheten av brønnfeltet, men er minimum på en dag, og ofte opp mot ti dager.
3. **Langtids prøvepumping:** Denne testen går over en lengre periode, fra uker til flere måneder avhengig av anleggets størrelse og viktighet. Dersom det skal være både produksjonsbrønner og returbrønner i feltet, infiltreres vannet i denne fasen slik at forholdene blir mest mulig likt driftsforholdene. Testen brukes for å undersøke om uttaksmengden kan opprettholdes over lengre tid, og om det er fare for termisk brudd mellom returbrønnen og produksjonsbrønnen.

2.8.8 Vannprøver – undersøkelse av grunnvannets kvalitet

I løpet av testpumpingsprogrammet tas det vannprøver for å undersøke om grunnvannet har egenskaper som kan føre til problemer, se avsnitt 2.10. Vanligvis tas det en ufiltrert prøve på en stor prøveflaske (typisk 500 ml) som analyseres for fysiske og eventuelt mikrobiologiske parametere, og en filtrert prøve på en mindre flaske (typisk 100 ml) som analyseres for kjemiske parametere. Vannet må renne i noen minutter før prøven tas, og prøveflaskene merkes med dato og sted. Den store prøveflasken skylles med oppumpet grunnvann, før den fylles helt opp. Deretter fylles en sprøyte (typisk 50 ml) med grunnvannet, før det filtreres gjennom et filter (typisk 45 μm) og ned i den lille flasken. Flasken fylles helt opp slik at luft ikke kommer til.

Hensikten med å filtrere den lille prøven er å hindre at partikulært materiale blir med i analysen, siden dette kan mistolkes som løste metallioner. Etter filtrering, og før analyse av kjemiske parametere, tilsettes syre for å løse opp eventuelle ioner som har felt ut i tiden mellom prøvetakingen og analysen (Ramstad & Forbord 2014).

Typiske parametere som undersøkes for grunnvann som skal brukes i grunnvarmeanlegg er listet opp i tabell 2.2, og anses av Banks (2012) som minimum for å kunne si noe om grunnvannskvaliteten. Miljømyndighetene kan kreve at andre parametere analyseres i tillegg, særlig hvis restvannet sendes i avløp til en sensitiv resipient. I praksis blir sjeldent alle disse parametere undersøkt i Norge, det er for eksempel ikke vanlig å undersøke mikrobiologiske parametere for grunnvarmeanlegg. I Norge finnes det ingen offisielle grenseverdier for de ulike parametere, og det nærmeste sammenligningsgrunnlaget er grenseverdier og anbefalinger i Drikkevannsforskriften som er satt i forhold til bruksmessige problemer.

Tabell 2.2 Parametere som burde undersøkes ved analyse av grunnvannskvaliteten, fra Banks (2012). Grenseverdiene er hentet fra Drikkevannsforskriften (2001).

	Parametere som burde undersøkes	Grenseverdier i Drikkevannsforskriften
Fysiske	Alkalitet	
	Fargetall	20 mg/l Pt
	Elektrisk ledningsevne (konduktivitet)	2500 µS/cm
	pH	6,5-9,5
	Temperatur	
	TDS (total mengde løst faststoff)	
	Turbiditet	
Kationer	Aluminium	0,2 mg/l Al
	Ammonium	0,5 mg/l N
	Barium	
	Jern	0,2 mg/l Fe
	Kalium	
	Kalsium	Anbefalt 15-25 mg/l Ca (Ellingsen 1992)
	Magnesium	Anbefalt <10 mg/l Mg (Ellingsen 1992)
	Mangan	0,05 mg/l Mn
	Natrium	200 mg/l Na
Anioner	Klorid	200 mg/l Cl
	Nitrat	10 mg/l N = 44 mg/l NO ₃
	Sulfat	100 mg/l SO ₄ ²⁻
Mikrobiologi	Fekale koliforme bakterier	
	Totale heterotrofe bakterier	
Gasser	H ₂ S	
	Oppløst karbondioksid	
	Oppløst oksygen	

2.8.9 Hydrauliske beregninger

Resultatene fra prøvepumpingen danner grunnlag for å beregne viktige hydrauliske parametere som transmissivitet, magasinkoeffisient og hydraulisk konduktivitet. Det er utviklet flere

forskjellige metoder for dette, og hvilken metode som brukes avhenger av om akviferen er åpen eller lukket, og om måledataene er fra en stasjonær eller transient (ikke-stasjonær) situasjon. Stasjonær tilstand vil si at senkningstrakten er stabil, mens transient tilstand betyr at senkningstrakten fortsatt er under utvikling (Brattli 2009). En brønn kan ha vært utsatt for skineffekt, noe som vil påvirke resultatene fra pumpetestene og dermed de hydrauliske beregningene. Skineffekt kan oppstå når boret roteres ved brønninnstallasjonen, og fører til at et lag av leire og silt «smøres» på borehullsveggen. Leire og silt har lavere hydraulisk konduktivitet enn materialet ellers i akviferen, og ved pumping vil det dannes en tilleggssenkning inn mot brønnhullet. I slike tilfeller vil resultatene fra pumpetesten gi lavere hydraulisk konduktivitet enn det som er tilfellet for resten av akviferen (Driscoll 1986).

Under følger en kort gjennomgang av ulike metoder som benyttes for å beregne hydrauliske parametere for lukkede akviferer. Alle formlene oppgis i tabell 2.3.

Stasjonære forhold

Ligninger for stasjonære forhold forutsetter at grunnvannsstrømningen rundt brønnen er konstant. Det antas at det er likevekt mellom vannmengdene som pumpes ut av brønnen og tilstrømmende vannmengde til akviferen. Dette gjør at tiden ikke må tas hensyn til, og matematikken blir dermed relativt enkel. Thiem (1906, sitert av Brattli 2009) utviklet ligninger for å beregne transmissivitet i både lukkede og åpne akviferer ved stasjonær tilstand. I virkeligheten er det sjeldent at fullstendig stasjonære tilstander oppnås, men dersom endringene i grunnvannsmagasinet er små vil det være forsvarlig å bruke disse formlene likevel. For lukkede akviferer gjelder ligning 2.3.

Transiente (ikke-stasjonære) forhold

For transiente forhold i lukkede akviferer er en av de vanligste metodene for å beregne transmissivitet og magasinkoeffisient gitt av Theis (1935, sitert av Brattli 2009). Metoden er grafisk og basert på kurvetilpasning. Feltdata av pumpetid og senkning plottes på et dobbeltlogaritmisk diagram, og legges mot en teoretisk beregnet typekurve med samme målestokk. Der hvor kurvene faller best sammen velges et «matchpunkt». Fra dette punktet leser man av samhørende verdier for $1/u$ og t (tid) på x-aksen, og $W(u)$ og s (senkning) på y-aksen. Deretter beregnes transmissiviteten og magasinkoeffisienten ved hjelp av henholdsvis ligning 2.4 og 2.5.

Cooper & Jacobs metode (1946, sitert av Brattli 2009) er basert på en forenkling av brønnfunksjonen $W(u)$, og gjelder også for lukkede akviferer ved ikke-stasjonær tilstand. Dersom senkning plottes mot pumpetid på et halvlogaritmisk diagram, vil det etter en viss tid forekomme en lineær sammenheng mellom *senkning s* og *pumpetid $\log(t)$* . Herfra leses differansen i senkning (Δs) over en tierpotens av, og dette settes inn i ligning 2.6 for å finne transmissiviteten (T). Videre kan magasinkoeffisienten beregnes ved hjelp av ligning 2.7.

Hydraulisk konduktivitet, gjennomsnittlig strømningshastighet og spesifikk kapasitet

Uavhengig av hvilken metode som er brukt til å finne transmissiviteten, kan akviferens hydrauliske konduktivitet beregnes via ligning 2.8 dersom akviferens mektighet er kjent. Videre kan grunnvannets gjennomsnittlige strømningshastighet beregnes ved ligning 2.9 (Brattli 2009). Det er også vanlig å beregne brønnens spesifikke kapasitet (ligning 2.10). Dette er en parameter som definerer forholdet mellom utpumpet vann og senkning, og krever informasjon om uttaksmengde og senkning for hvert trinn i en trinnvis pumpetest. Ved økende uttaksmengde vil innstrømningsmotstanden mot filteret (filtermotstanden) øke, slik at den spesifikke kapasiteten avtar for hvert økende trinn (Brassington 1998).

Tabell 2.3 Oversikt over ligninger for ulike hydrauliske beregninger

Formelnummer og navn	Formel	Forklaring av parametre
2.3 Thiem: Transmissivitet for lukket akvifer ved stasjonær tilstand	$T = \frac{Q}{2\pi(s_1 - s_2)} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$	T: transmissivitet (m ² /s) Q: uttaksmengde (m ³ /s) s ₁ : senkning i avstand r ₁ fra produksjonsbrønn (m) s ₂ : senkning i avstand r ₂ fra produksjonsbrønn (m) r ₁ : avstand fra peilebrønn 1 til produksjonsbrønn (m) r ₂ : avstand fra peilebrønn 2 til produksjonsbrønn (m)
2.4 Theis: Transmissivitet for lukket akvifer ved transient tilstand	$T = \frac{Q}{4\pi s} * W(u)$	T: transmissivitet (m ² /s) Q: uttaksmengde (m ³ /s) s: senkning (m) W(u): brønnpumpefunksjonen
2.5 Theis: Magasinkoeffisient for lukket akvifer ved transient tilstand	$S = \frac{4Tut}{r^2}$	S: magasinkoeffisient T: transmissivitet (m ² /s) u: argument i brønnpumpefunksjonen t: tid siden pumpingen begynte (s) r: avstand fra peilebrønn til produksjonsbrønn (m)
2.6 Cooper-Jacob: Transmissivitet for lukket akvifer ved transient tilstand	$T = 0,183 \frac{Q}{\Delta s}$	T: transmissivitet (m ² /s) Q: uttaksmengde (m ³ /s) Δs: senkning over en tierpotens (m)
2.7 Cooper-Jacob: Magasinkoeffisient for lukket akvifer ved transient tilstand	$S = \frac{2,25Tt_{0,sek}}{r^2}$	S: magasinkoeffisient T: transmissivitet (m ² /s) t _{0,sek} : tidspunktet når den lineære sammenhengen mellom s og log(t) forlenges til skjæring med x-aksen (s) r: avstand fra peilebrønn til produksjonsbrønn (m)
2.8 Hydraulisk konduktivitet	$K = \frac{T}{b}$	K: hydraulisk konduktivitet (m/s) T: transmissivitet (m ² /s) b: akviferens mektighet (m)
2.9 Gjennomsnittlig strømningshastighet	$v = \frac{K}{n_{eff}} \frac{dh}{dl}$	v: strømningshastighet (m/s) K: hydraulisk konduktivitet (m/s) n _{eff} : effektiv porøsitet dh/dl: hydraulisk gradient
2.10 Spesifikk kapasitet	$Q_{spes.} = \frac{Q}{s}$	Q _{spes.} : spesifikk kapasitet (l/s/m) Q: uttaksmengde ved trinn n (l/s) s: senkning ved trinn n (m)

2.9 ETABLERING, DRIFT OG OPPFØLGING

Før anlegget kan bygges må det undersøkes om uttak og infiltrasjon av grunnvannet er konsesjonspliktig. Dersom det er tilfellet må det søkes om konsesjon for uttaket hos NVE (Vannressursloven 2000). I henhold til §4-1 og §4-2 i TEK10 har prosjekterende og utførende ansvar for å legge frem til søker all nødvendig dokumentasjon som gir grunnlag for hvordan et anlegg skal igangsettes, forvaltes, driftes og vedlikeholdes når bygget står ferdig. Dette kalles FDV-dokumentasjon (forvaltning, drift og vedlikehold), og skal ligge klar ved ferdigattest av bygget. Dokumentasjon for selve driftsfasen skal overleveres til og oppbevares av byggverkets eier (TEK10 2010).

2.10 UTFORDRINGER OG LØSNINGER

Under presenteres de vanligste utfordringene som kan oppstå i forbindelse med de hydrogeologiske forholdene i et grunnvannsbasert grunnvarmeanlegg, og det foreslås løsninger til disse.

2.10.1 Setninger og hiv

Uttak av grunnvann forårsaker senkning av grunnvannsnivået rundt produksjonsbrønnen. I sjeldne tilfeller kan dette føre til setninger i området. Setninger skyldes delvis sedimentenes elastiske respons på redusert porevannstrykk, og delvis uttørking av leirerik eller organisk rik jord. Rundt returbrønnen kan det motsatte skje. Infiltrasjonsvannet fører til økt grunnvannsnivå, og svært sjeldent kan dette lede til hiv i området og for eksempel oversvømmelse av kjellere. For å unngå setninger og hiv må grunnvannsnivået i området overvåkes slik at uttaksmengden kan reguleres dersom tegn til disse problemene oppstår (Banks 2012).

2.10.2 Termisk brudd

Termisk brudd (*thermal feedback*) vil si at det skjer en kobling mellom infiltrasjonsvannet og grunnvann som pumpes opp i produksjonsbrønnen. I oppvarmingsmodus betyr dette at avkjølt infiltrasjonsvann strømmer mot produksjonsbrønnen, mens i avkjølingsmodus strømmer oppvarmet infiltrasjonsvann mot produksjonsbrønnen. Forekomsten av termisk brudd avhenger av avstanden mellom brønnene, temperaturforskjellen mellom grunnvannet og infiltrasjonsvannet, uttaksmengden og grunnvannets strømningshastighet. Kombinasjonen av disse faktorene styrer hvor lang tid det tar før et eventuelt termisk brudd oppstår. Ofte må det være veldig stor avstand mellom brønnene for å forhindre et termisk brudd, noe som ikke alltid er praktisk mulig. Selv om risikoen for termisk brudd er til stede, betyr ikke det at systemet vil

svikte med en gang. For det første vil det kun være en liten del av grunnvannet som pumpes opp i produksjonsbrønnen som består av varmevekslet infiltrasjonsvann fra returbrønnen. For det andre kan det ta svært lang tid før den termiske koblingen oppstår, og i noen tilfeller flere år. Det viktigste tiltaket for å unngå termisk brudd er å sørge for stor nok avstand mellom brønnene, og at produksjonsbrønnen står oppstrøms for returbrønnen (Banks 2012).

I forbindelse med et studie utført av Haehnlein et al. (2010) ble det laget en oversikt over dagens internasjonale status for lovgivning som omfatter grunnvarmeanlegg. Kun seks av de 39 undersøkte landene har offisielle krav til avstanden mellom brønnene i et anlegg. Anbefalt minimumsavstand varierer mellom 5-30 m, og det gjøres forskjell på om dette gjelder mellom brønninstallasjoner, andre anlegg, nærmeste eiendomsgrense eller nærmeste drikkevannsbrønn. Åtte land har grenseverdier for temperaturen på infiltrasjonsvannet og/eller maksimum tillatt temperaturforskjell mellom grunnvannet og infiltrasjonsvannet. Anbefalt eller tillatt minimumstemperatur på infiltrasjonsvannet varierer fra 2-5 °C, maksimumstemperaturen varierer fra 20-25 °C, og maksimum temperaturforskjell varierer fra 1,5-10 °C. I Norge er det ingen offisielle krav eller anbefalinger til verken avstanden mellom brønnene eller temperaturen på infiltrasjonsvannet. Granneloven er den eneste loven som i en viss grad tar hensyn til denne problemstillingen. Hovedbudskapet i denne loven er at ingen skal gjøre noe som fører til unødvendig skade eller besvær for sine granner (naboer) (Grannelova 1961).

2.10.3 Gjentetting av brønner

Både grunnvannsbrønnene og varmeveksleren kan over tid tettes igjen dersom anlegget ikke driftes riktig etter forholdene. Returbrønner er generelt mer utsatt for gjentettingsproblematikk enn produksjonsbrønner. Dette skyldes at i produksjonsbrønner pumpes vannet ut slik at det blir en slags selv-rensingseffekt, mens i returbrønner tvinges vannet ned igjen i akviferen (Banks 2012). Gjentettingsproblemer fører vanligvis til at grunnvannsnivået i produksjonsbrønnen synker, og dermed kan mindre vannmengder tas ut. I tillegg minker effekten av varmpumper og varmevekslere, og trykket i returbrønnen øker (Lindblad-Påsse 1986).

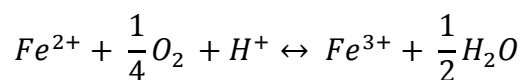
De vanligste årsakene til gjentetting er kjemisk utfelling, mikrobiologisk aktivitet, suspendert materiale og oppløste gasser. Disse årsakene omtales punktvis nedenfor.

1. *Kjemisk utfelling*: Høyt innhold av kalsium, jern og mangan er de vanligste årsakene til kjemisk utfelling. Løseligheten til kalsiumkarbonat er særlig avhengig av konsentrasjon og temperatur, og gjentettingsfaren øker hvis temperaturen er høy (Gustafson 1983).

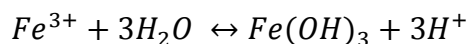
Kalkinnholdet og gjentettingsfaren kan vurderes etter Ryznar Stability Index (RSI). Dersom $RSI < 7$ er vannet kalkfellende, og dersom $RSI > 7$ er vannet kalkoppløsende. RSI brukes også til å vurdere vannets korrosivitet. Det henvises til Andersson et al. (1984) og Driscoll (1986) for fremgangsmåte for beregning av RSI.

Løseligheten til jern og mangan avhenger hovedsakelig av konsentrasjonen av stoffene, vannets pH, oksidasjonsstadiumet og redokspotensialet (Eh). I den mettede sonen er det reduserende forhold, og jern forekommer som Fe^{2+} mens mangan forekommer som Mn^{2+} . Dersom grunnvannet kommer i kontakt med luft vil jern og mangan i vannet oksideres og deretter felles ut. Følgende ligninger illustrerer hvordan dette foregår for jern, fra Andersson et al. (1984, s. 5.28):

2.11 Oksidasjon av jern



2.12 Utfelling av jern



For å unngå gjentetting på grunn av kjemisk utfelling er det derfor svært viktig at hele grunnvarmeanlegget, fra produksjonsbrønnen til returbrønnen, holdes oksygenfritt. Returbrønnen bør ha så langt filterrør som mulig. Det gir en lavere belastning på filterrøret, og dermed mindre risiko for gjentetting (Gustafson 1983). Det er for øvrig ikke hensiktsmessig med strenge grenseverdier for jern, siden vannkvaliteten ofte endres når grunnvannet pumpes ut (Lindblad-Påsse 1986).

2. Mikrobiologisk aktivitet: Utfelling av jern henger tett sammen med mikrobiologisk aktivitet i form av jernbakterier. Jernbakterier er en samlebetegnelse på en svært heterogen gruppe bakterier som påvirker likevekter med jern i grunnvann. Jernbakteriene lever ved de forholdene som råder i overgangssonen mellom jern(II) og jern(III), og er med på å katalysere oksidering. Utfelt jern setter seg ofte på og rundt jernbakteriene. Den vanligste jernbakterien i grunnvann er *Gallionella ferruginea* (Lindblad-Påsse 1986). Andre mikroorganismer kan være årsak til gjentetting i form av slamdannelse. Nitrat og sulfat vil i kombinasjon med oksiderbare organiske stoffer føre til bakterievekst (Gustafson 1983).

3. Suspendert materiale: Barkman og Davidson (1972) har sett på sammenhengen mellom vannkvalitet og gjentetting av returbrønner forårsaket av suspendert materiale. Studiet ble gjennomført med tanke på petroleumsindustrien, der infiltrert vann brukes til å drive frem olje til produksjonsbrønnene. Teorien er likevel anvendelig innenfor annen brønnteologi. Forfatterne laget en oversikt over ulike gjentettingsmekanismer som skyldes suspendert materiale i vannet som tilføres returbrønnen:
- Innsnevring av borehullet ved at materiale setter seg på utsiden av borehullsveggen
 - Inntrengning av materiale i poresystemet i akviferen
 - Gjentetting av slissene (perforasjonen)
 - Oppfylling av brønnen ved at suspendert materiale synker til bunns og dermed minker den totale brønndybden

For å unngå denne typen gjentetting er det viktigste tiltaket å dimensjonere produksjonsbrønnen slik at den ikke gir sand eller annet suspendert materiale. Dette inkluderer gruskasting eller filtervasking slik at finstoff fjernes fra området nærmest brønnen (Rueslåttén & Veslegard 1991). Et filter foran varmeveksleren og returbrønnen vil også ha en god effekt, så lenge det ikke fører til at luft kommer inn i systemet (Gustafson 1983).

4. Oppløste gasser: En siste årsak til gjentetting av returbrønner er gasser som frigjøres i infiltrasjonsvannet. De vanligste gassene i grunnvann er N_2 , O_2 , CO_2 , CH_4 , H_2S og N_2O . Gassene tilføres grunnvannet delvis gjennom kontakt med atmosfæren, delvis gjennom kontakt med luft i umettet sone, og delvis gjennom tilførsel av gasser fra biologisk nedbryting under grunnvannsspeilet. Gassene kan avsettes i porerom i formasjonen akkurat som partikler, og reduserer dermed permeabiliteten. Vann som infiltreres bør derfor ikke inneholde gassbobler eller så store konsentrasjoner av gass at det er fare for gjentetting. CO_2 er trolig den mest betydningsfulle gassen siden den i tillegg påvirker pH og dermed løseligheten av de ulike mineralene (Lindblad-Påsse 1986). For å unngå at gasser løses i vannet må det være et overtrykk i systemet. Banks (2012) foreslår ca. 0,5 bar over atmosfærisk trykk.

Dersom et anlegg opplever problemer med gjentetting, må det renses. Det er vanlig å bruke en kombinasjon av kjemisk og mekanisk rensing. Organiske materialer løses best av oksidasjonsmidler, mens utfelte metaller løses best av syrer. Dersom det er bakterier i systemet

kan disse sjokk-kloreres (Lindblad-Påsse 1986). For å vil forhindre vekst av biofilm på brønnveggene, kan infiltrasjonsvannet desinfiseres med UV-stråler før det sendes til returbrønnen (Banks 2012).

2.10.4 Korrosjon

Korrosjon er en fellesbetegnelse for kjemiske reaksjoner som tærer på og bryter ned materialer. Den drivende mekanismen bak metallkorrosjon i vann er forskjell i energinivå mellom metallet selv og dets korrosjonsprodukter. Dersom korrosjonsproduktene har lavere energinivå enn metallet, kan korrosjon forekomme. Oppløst oksygen i vannet er den vanligste korrosjonsproduserende faktoren, og det er derfor viktig at systemet holdes lufttett. Høy temperatur og innhold av oppløst CO₂ øker korrosjonshastigheten, mens reduserende miljø og salter er med på å øke korrosjonspotensialet. Dette gjelder særlig sulfat og klorid (Andersson 1992). Dersom saltinnholdet i grunnvannet stammer fra lommer med saltvann, kan vedvarende pumping bedre vannkvaliteten. Hvis kilden derimot er sig fra marin leire, vil sannsynligvis ikke vedvarende pumping hjelpe (Ellingsen 1992).

I mange tilfeller følger korrosjonsproblemer og gjentettingsproblemer hverandre. Når et metallrør korroderes løses ionene i vannet, og senere kan disse felles ut på nye steder og føre til gjentetting. Omvendt kan utfelling være en indirekte årsak til korrosjon ved at miljøet blir fordelaktig for anaerobe mikroorganismer. Et eksempel på dette er sulfatreduserende bakterier som produserer korrosive stoffer (Lindblad-Påsse 1986).

2.11 HVA ER GJORT I ANDRE STUDIER?

I Sverige har grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg vært i bruk lenge, og på 1980-tallet ble det gjennomført en rekke studier av slike anlegg i regi av det svenske Byggeforskningsrådet (Statens råd för byggnadsforskning). Norge og Sverige har ganske like geologiske forhold, og derfor er det i denne oppgaven hentet erfaringer fra disse rapportene. Erfaringer er også i stor grad hentet fra den britiske forfatteren David Banks, som i mer enn ti år har jobbet med grunnvarme, både i Norge og Storbritannia.

Norge hang lenge etter i forskningen av grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg i forhold til andre land. Dette skyldes at Norge har hatt tilgang til rimelig og miljøvennlig vannkraft i lang tid, og dermed har interessen for alternative energikilder vært lav. Mellom 1996-1998 var det imidlertid et kraftunderskudd, der energi måtte importeres fra utlandet. Dette førte til økt interesse for alternative oppvarmingskilder, og siden slutten av 1990-tallet har antallet

grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg økt (Kalskin & Hilmo 1999). På forskningssiden i Norge skjedde det også et oppsving i løpet av 1990-tallet, og i 2004 ble Randi Kalskin Ramstad uteksaminert ved NTNU med den første doktorgraden om grunnvarme i Norge. Åtte år senere ble den andre doktorgraden om grunnvarme levert av Heiko T. Liebel. Etter dette har det blitt gjennomført flere prosjekt- og masteroppgaver innen grunnvarme ved NTNU, med Bjørge Brattli og Randi Kalskin Ramstad som veiledere.

I nasjonal sammenheng er Melhus og Elverum de to kommunene med størst satsning på grunnvannsbasert oppvarming og kjøling. Allerede i 1999 samarbeidet NGU og NVE om å lage et kart over grunnvarmepotensialet i løsmasser i Elverum. Dette kartet var det første i sitt slag i Norge, og arbeidet som ble lagt ned i dette prosjektet var med på å utvikle arbeidsmetoder for slik kartlegging (Kalskin & Hilmo 1999).

3 OMRÅDEBESKRIVELSE

3.1 GEOGRAFISK Plassering

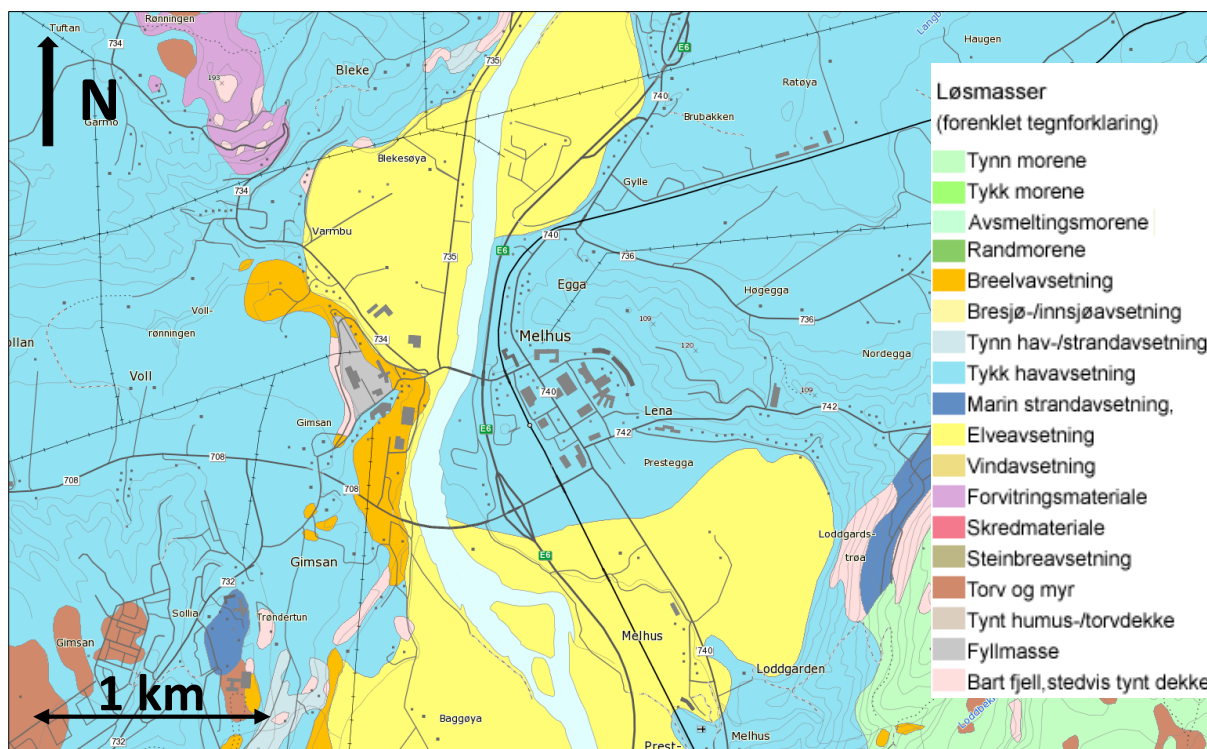
Studieområdet ligger i Melhus sentrum i Sør-Trøndelag fylke, kun 2 mil sør for Trondheim. Nærheten til storbyen gjør Melhus til et attraktivt boområde med stadig økende befolkningstall. Det første grunnvarmeanlegget basert på oppumpet grunnvann ble etablert i 1999, og i dag har området åtte anlegg.

3.2 KVARTÆRGEOLOGI OG BERGGRUNNSGEOLOGI

På det kvartærgeologiske kartet i figur 3.1 er løsmassenes fordeling i Melhus sentrum og omegn illustrert. Det øvre løsmassedekket i sentrum består av havavsetninger avsatt på slutten av siste istid. Den dominerende kornstørrelsen på slike avsetninger er leire og silt (Reite 1990). Under havavsetningen er det andre typer løsmasser, og tidligere undersøkelser i studieområdet tyder på at løsmassedekket er over 200 m tykt (Sindre 1980). Nordøst for Melhus sentrum ligger israndavsetningen Melhusryggen (Egga). Denne antas å ha blitt dannet for ca. 10 000 - 11 000 år siden i Yngre Dryas. På denne tiden vekslet brefronten periodisk mellom fremstøt og tilbaketrekninger, og avsatte store mengder løsmasser i front. Melhusryggen domineres derfor av glasifluvialt materiale, men øvre del er som resten av området dekket av marin silt og leire (Dahl 1989). Akviferen i Melhus sentrum består av et gruslag som skrår nedover i dypet, og Førde (2015, in prep.) antar at den er en del av Melhusryggen. Akviferens mektighet er ikke kjent, men Førde har i sine modelleringer tatt utgangspunkt i en mektighet på ca. 30 m. Dette er en konservativ antagelse, og akviferen kan være betydelig mektigere. Ifølge Solberg et al. (2014) domineres akviferen av grove avsetninger i dypet som er tilknyttet israndavsetninger og elveavsetninger fra Gaula. Isbreens veksling mellom fremstøt og tilbaketrekning har sannsynligvis overkjørt og skjøvet løsmassene sammen, slik at lagdelingen er komplisert med store variasjoner over små avstander. Hansen et al. (2007) beskriver i tillegg forekomsten av leirskredmasser i sentrum, som sannsynligvis stammer fra flere store skred som gikk i Middelalderen.

Grunnvannets strømningsretning er sannsynligvis todelt, med en øvre lokal del og en nedre regional del. I den øvre delen mates grunnvann fra Melhusryggen mot det flate landskapet i sentrum, og gir en lokal strømningsretning fra nord mot sør (Storrø 2000). I nedre del følger grunnvannet den regionale strømningsretningen mot havet, det vil si fra sør mot nord. Grensen

mellom øvre og nedre del er ikke kjent, og denne er sannsynligvis forstyrret av pumpingen fra anleggene (Førde 2015, in prep.).



Figur 3.1 Løsmassekart over Melhus, fra NGU (2015c).

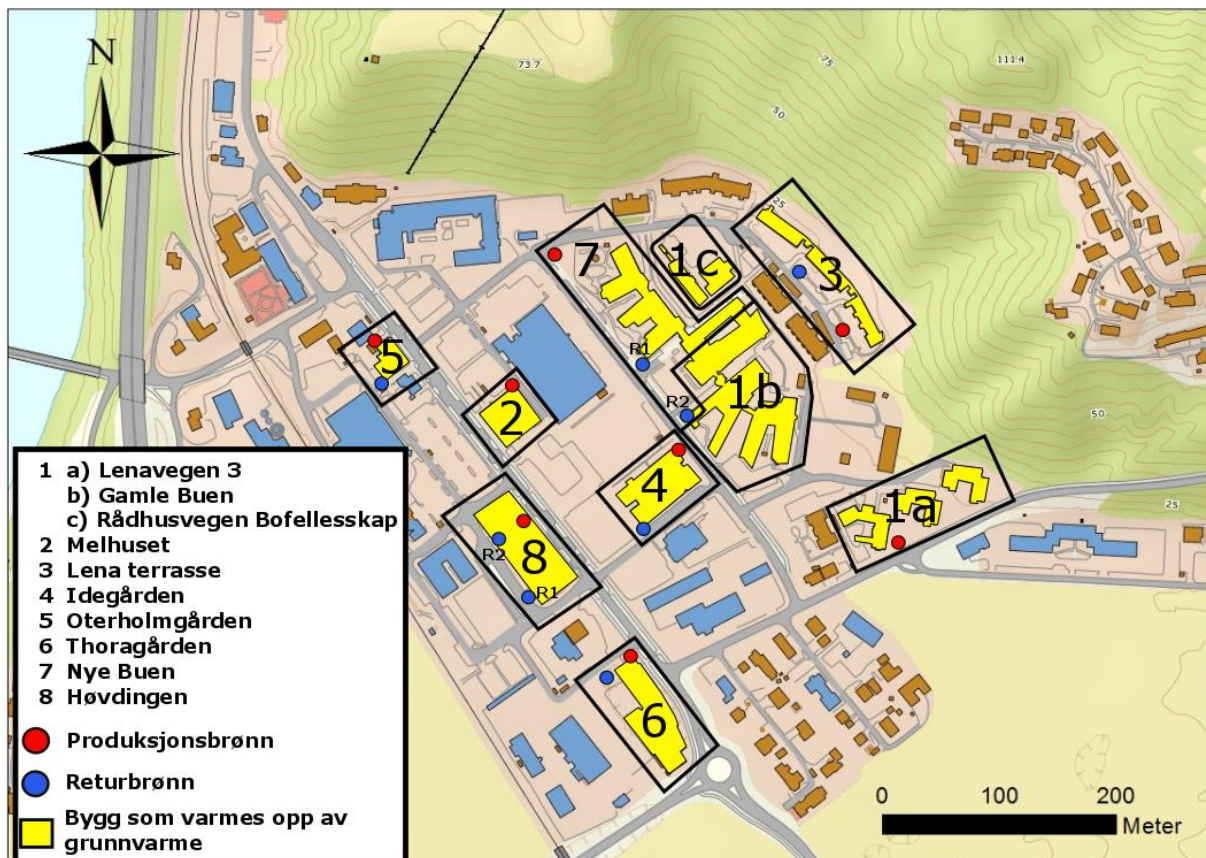
På grunn av det mektige løsmassedekket er berggrunnen i Melhus sentrum kartlagt som morene, grus, sand, leire og torv. Berggrunnen rundt sentrum består hovedsakelig av grønnstein og grønnskifer med intrusjoner av diabas og gabbro (NGU).

3.3 GRUNNVARMEANLEGGENE

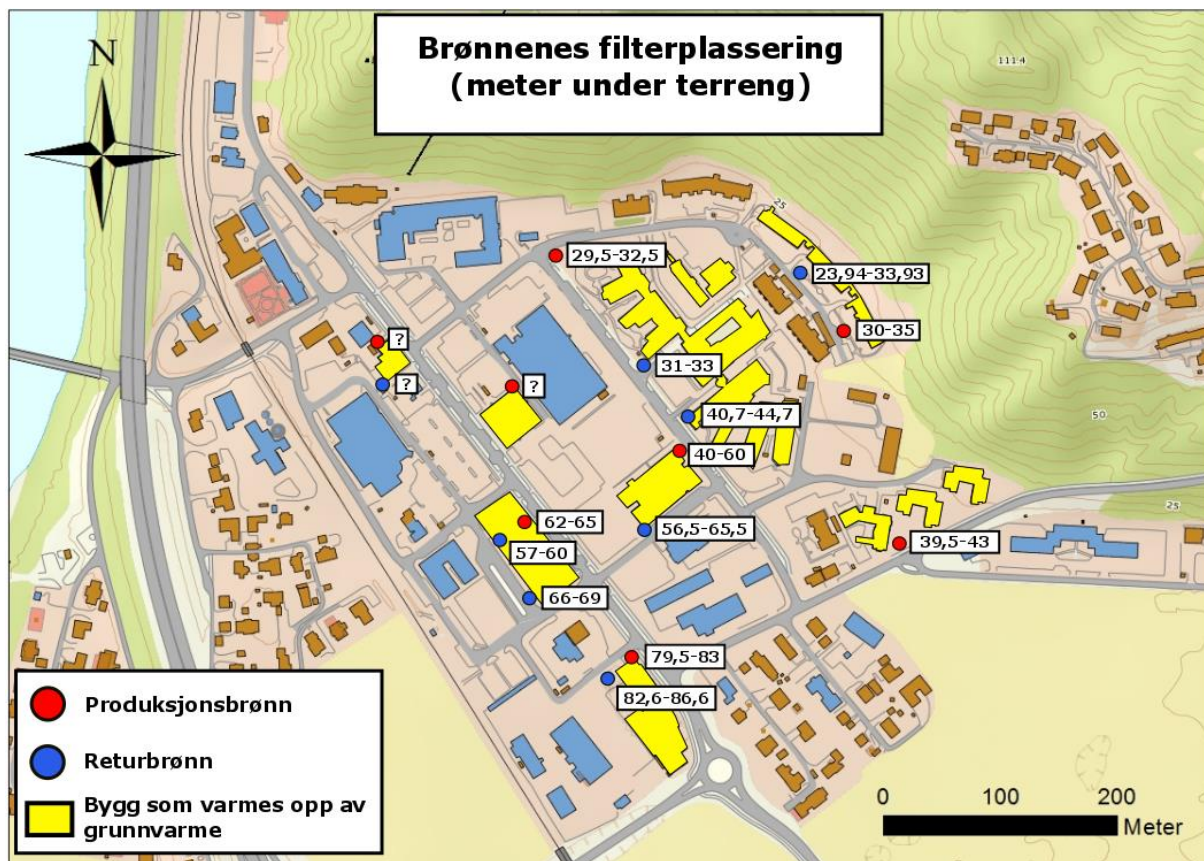
Per dags dato er det åtte grunnvarmeanlegg basert på oppumping av grunnvann i Melhus sentrum. To av disse er kommunale, de resterende er private. Alle brønnene er løsmassebrønner, og i tabell 3.1 gis en oversikt over disse. På kartene i figur 3.2 og i figur 3.3 er brønnplasseringen angitt sammen med anleggene. Alle bygningene som varmes opp med grunnvarme er markert med gult, og disse utgjør til sammen ca. 60 000 m² (inkludert alle etasjene). Anleggene styres gjennom SD-anlegg (Sentral Driftsovervåking), og endringer i driftsparametere gjøres herfra. Anleggene brukes primært til oppvarming av byggene, men noen av anleggene utnytter i tillegg grunnvannet til kjøling.

Tabell 3.1 Brønnoversikt Melhus sentrum. Brønnene er målt inn med GPS og koordinatene er oppgitt i WGS84 UTM sone 32. Brønner med ca. foran koordinatnummer er ikke målt inn med GPS. P står for produksjonsbrønn og R for returbrønn.

Brønn	X koordinat	Y koordinat	Moh. (målt fra terrengoverflaten)	Brønn nr. i GRANADA	Filter-plassering (m under brønntopp)
P Lenavegen 3	564436.5	7017989.997	17.82	80480	39,5-43
P Melhuset	564105.9	7018123.209	18.18	6813	-
P Lena terrasse	564388.9	7018171.0	25.40	-	30-35
R Lena terrasse	564351.1	7018221.2	22.89	8340	23,94-33,93
P Idegården	564249.1	7018069.0	18.46	51516	40-60
R Idegården	564218.8	7018001.2	18.41	51517	56,5-65,5
P Oterholmgården	563990.0	7018162.3	18.45	64111	-
R Oterholmgården	563994.2	7018124.7	18.53	64110	-
P Thoragården	564208.6	7017893.2	18.15	72455	79,5-83
R Thoragården	Ca. 564188	Ca. 7017875	-	74261	82,6-86,6
P Buen	564143.8	7018236.1	18.12	74249	29,85-32,5
R1 Buen	Ca. 564214	Ca. 7018147	-	74250	31-33
R2 Buen	Ca. 564250	Ca. 7018099	-	74251	40,7-44,7
P Høvdingen	Ca. 564122	Ca. 7018005	-	-	62-65
R1 Høvdingen	Ca. 564121	Ca. 7017947	-	-	66-69
R2 Høvdingen	Ca. 564099	Ca. 7017989	-	82705	57-60



Figur 3.2 Oversiktskart over alle grunnvarmeanleggene i Melhus sentrum med tilhørende brønner. Hvert anlegg og brønnene er streket rundt med sort firkant. Legg merke til at anlegg nr. 1 består av tre deler: Lenavegen 3, Gamle Buen Helse- og Omsorgssenter og Rådhusvegen Bofellesskap. Kart fra NGU (2015a), modifisert i ArcMap 10.2 og InkScape 0.91.



Figur 3.3 Brønnenes filterplassering angitt som meter under terrengoverflaten. Kart fra NGU (2015a), modifisert i ArcMap 10.2 og InkScape 0.91.

3.3.1 Lenavegen 3 (1999)



Figur 3.4 Lenavegen 3

I 1999 ble det første grunnvarmeanlegget i Melhus sentrum bygd. Dette anlegget tilhører kommunen, og gir varme til en rehabiliteringsinstitusjon i Lenavegen 3, den gamle delen av Buen Helse- og Omsorgssenter, og Rådhusvegen Bofellesskap. For enkelhets skyld kalles dette anlegget for Lenavegen 3 i dette studiet, siden produksjonsbrønnen står utenfor dette bygget. Anlegget har en produksjonsbrønn, men ingen returbrønn, så returvannet sendes til Gaula. Anlegget fungerte godt helt frem til påsken 2013. På dette tidspunktet begynte grunnvannspumpa å ta inn skittent vann med rustrød farge som ødela varmeveksleren. Hendelsen omtales som en brønncollaps der brønnen gikk tom for vann. Høsten samme år ble det boret en ny brønn noen meter unna for å erstatte den gamle, og anlegget ble satt i drift igjen i februar 2014. Anlegget brukes kun til oppvarming, og en oljekjel og en el-kjel hjelper til med oppvarmingen når varmepumpa ikke klarer å levere nok varme (Lian, R., pers. kom. 2015).

3.3.2 Melhuset (1999)



Figur 3.5 Melhuset

Grunnvarmeanlegget tilknyttet forretningsbygget Melhuset er et privat anlegg som ble etablert i 1999. Anlegget har kun en produksjonsbrønn, og returvannet sendes via kommunens avløpssystem i overløp til Gaula. Ifølge byggets vaktmester har ikke dette anlegget opplevd noen alvorlige driftsproblemer i løpet av tiden det har vært i bruk. Ved rensing av varmeveksleren høsten 2014 ble det oppdaget et tykt lag med rustutfellinger på ca. 1 cm i returrøret rett etter varmeveksleren. Det ser imidlertid ikke ut til at dette har påvirket driften i særlig grad (Aune, R.J., pers. kom. 2014-2015).

3.3.3 Lena Terrasse (2003)

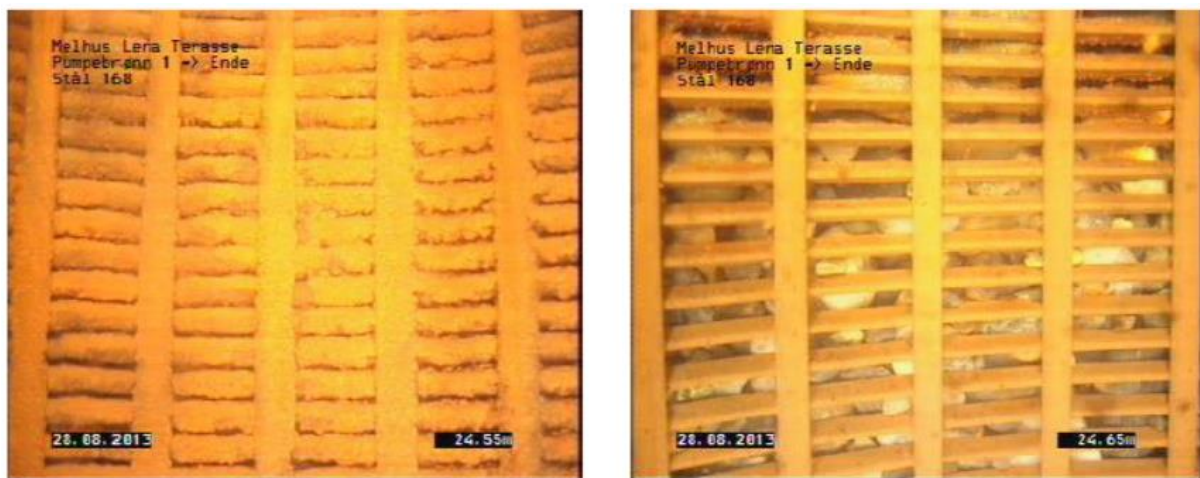


Figur 3.6 Lena terrasse

Våren 2000 utførte NGU grunnvannsundersøkelser ved Lena-området i Melhus sentrum for å undersøke potensialet for utnyttelse av grunnvannsbasert grunnvarme til oppvarming av det planlagte nye boligfeltet Lena Terrasse. I undersøkelsene ble det konkludert med at det høyst sannsynlig var mulig å dekke det oppgitte vannbehovet på $50 \text{ m}^3/\text{time}$ (ca. 14 l/s) (Storrø 2000). Med bakgrunn i de gode resultatene ble det besluttet å bygge anlegget, og det var ferdigstilt i løpet av 2003. Anlegget bestod av en produksjonsbrønn og en returbrønn, og varmet opp 85 leiligheter på Lena terrasse, samt 32 leiligheter i et bofellesskap på andre siden av veien. Etter ca. tre års drift oppstod det problemer med gjentetting av pumper, varmevekslere og brønnene. Returbrønnen klarte ikke å ta unna alt vannet, og brønnkummen flommet over flere ganger. Begge brønnene ble rensset med syre gjentatte ganger, og filteret foran varmeveksleren ble byttet ut. Til tross for dette ble problemet så omfattende at det til slutt ble bestemt å stenge anlegget i 2009. Siden den gang har bofellesskapet fått varme fra oljefyr (Godager, S., pers. kom. 2014).

I 2013 tok styret i Sameiet Lena Terrasse kontakt med hydrogeologer i Asplan Viak for å få en vurdering av aktuelle tiltak for å sette i stand igjen grunnvarmeanlegget. For å opprettholde grunnvannsnivået i området ble det anbefalt å fortsette med infiltrasjon av varmevekslet grunnvann. Det var imidlertid usikkerhet rundt brønnenes tilstand, og det ble derfor utført videoinspeksjon av begge brønnene. I produksjonsbrønnen viste videoinspeksjonen betydelig rustutfelling i nedre del av brønnrøret og øvre del av brønnfilteret (se figur 3.7). Dette skyldes trolig at grunnvannspumpa har stått nede i filteret, slik at grunnvannsnivået til tider har vært senket under øvre filterkant og dermed gitt tilgang til oksygen. Dette har videre ført til

oksidasjon og utfelling av jern i filteret. Denne brønnen har kontinuerlig slissefilter på 10 m, og det ble ansett som sannsynlig at brønnen vil fungere godt etter rehabilitering. Videoinspeksjonen i returbrønnen viste sort slamdannelse fra 23 m dyp. Returbrønnen har ikke kontinuerlig slissefilter, og det ble derfor vurdert som sannsynlig at problemene med gjentetting vil komme tilbake selv om brønnen rehabiliteres. Ut fra disse resultatene ble det besluttet å fortsette å bruke den gamle produksjonsbrønnen, og bore en ny brønn som erstatning for den gamle returbrønnen. Videre ble det bestemt å gjennomført trinnvis testpumping og lengre tids prøvepumping av disse for å bestemme hvilken som skal være produksjonsbrønn, og hvilken som skal være returbrønn når anlegget startes opp igjen (Asplan Viak 2013).



Figur 3.7 Videoinspeksjon av den gamle produksjonsbrønnen. I bildet til venstre ses det tydelig at utfellinger har tettet slissene i brønnfilteret. Bildet til høyre er fra en dypere del av brønnfilteret, der det er lite utfellinger. Hentet fra Asplan Viak (2013).

3.3.4 Idegården (2008)



Figur 3.8 Idegården

Idegården er et bygg med forretningslokaler, kontorer og en boligenhet med over 20 leiligheter. Grunnvarmeanlegget har en produksjonsbrønn og en returbrønn, og ble satt i drift i 2008. Den første tiden ble grunnvannspumpa kjørt på maksimal kapasitet, men etter kun en måneds drift gikk motoren i stykker. Denne ble byttet ut, og anlegget fungerte fint i et år, helt til det samme skjedde på nytt. Motoren ble skiftet ut igjen, og det ble satt inn en frekvensomformer slik at pumpe nå styres etter varmebehovet. Grunnvannspumpa går nå på 80 % av maksimalt uttak, og anlegget fungerer bra. Dersom utetemperaturen faller under $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$, stopper varmepumpa og en fyrkjel tar over oppvarmingen. I utgangspunktet er det meningen at fyrkjelen kun skal fungere som spisslast, men tekniske problemer har ført til at dette ikke er mulig. Kaldt grunnvann brukes direkte til avkjøling av kjølebatteriet tilhørende byggets ventilasjonsanlegg, og som kjølevann til kompressorene i en matbutikk. Det oppvarmede vannet kommer tilbake til varmeveksleren der varmen tas ut og kommer det øvrige huset til gode (Aune, R.J., pers. kom. 2014-2015).

3.3.5 Oterholmgården (2010)



Figur 3.9 Oterholmgården

Oterholmgården er et forretningsbygg med blant annet tannlege, en sportsbutikk og boenheter. Grunnvarmeanlegget tilhørende bygget har en produksjonsbrønn og en returbrønn, og ble satt i drift i 2010. I begynnelsen opplevde anlegget problemer med å ta unna alt vannet i returbrønnen. Dette ble løst ved å styre grunnvannspumpa etter behovet til varmepumpa, det vil si at grunnvannspumpa kun går når det er behov for oppvarming. Etter at dette tiltaket ble innført har anlegget fungert godt. I tillegg til oppvarming av bygget brukes kaldt grunnvann direkte til avkjøling av kjølebatteriene tilhørende byggets ventilasjonsanlegg (Aune, R.J., pers. kom. 2014-2015).

3.3.6 Thoragården (2013)



Figur 3.10 Thoragården

Thoragården inneholder kontorlokaler, et treningssenter, butikker og leiligheter. Anlegget har en produksjonsbrønn og en returbrønn som begge ble boret i 2012, og ble satt i drift våren 2013. Av den produserte varmen går ca. 70 % til næring, mens de resterende 30 % går til leilighetene. På de kaldeste dagene når varmpumpa ikke klarer å levere nok varme, bidrar en elkjel med oppvarmingen. Noe av det kalde grunnvannet brukes direkte til avkjøling av kjølebatteriet tilhørende byggets ventilasjonsanlegg. Avkjølt grunnvann kjøler også ned kompressorene til butikkdriften, og det oppvarmede kjølevannet føres tilbake gjennom varmeveksleren der varmen tas ut. Foran varmeveksleren er det et filter som forhindrer at sedimenter kommer inn og tetter den igjen. Filteret spyles gjennom ved å åpne en kran, og trykket fra grunnvannspumpa renser filteret (Aune, R.J., pers. kom. 2014-2015).

Etter ca. ett års drift var det en strømstans som førte til at anlegget ble stående stille i ca. 10 timer. Etter dette har det vært problemer med at returbrønnen ikke klarer å ta unna alt vannet, og brønnkummen har blitt oversvømt flere ganger. Prosjektert uttak fra produksjonsbrønnen er ca. 13,7 l/s, men i desember 2014 ble det funnet at returbrønnen ikke klarer å ta unna mer enn 2,8 l/s, og uttaket ble derfor justert ned i henhold til dette (Helgetun, J. O.).

3.3.7 Buen (2013)



Figur 3.11 Den nye delen av Buen Helse- og omsorgssenter («Buen»).

Kommunens andre anlegg er tilknyttet den nye delen av Buen Helse- og Omsorgssenter, og ble satt i drift i 2013. I dette studiet kalles anlegget kun for Buen. Anlegget har en produksjonsbrønn og to returbrønner, og har til nå fungert svært godt. Anlegget brukes kun til oppvarming, og en el-kjel fungerer som spisslast når varmepumpa ikke klarer å levere nok varme. Grunnvannspumpa er frekvensregulert og styres etter varmepumpas behov for å spare pumpearbeid når varmebehovet er lite (Havdal, F., pers. kom. 2015).

3.3.8 Høvdingen (2015)



Figur 3.12 Høvdingen

Høvdingen er et nytt boligkompleks som ble ferdigstilt våren 2015. Ved etablering av grunnvarmeanlegget tilhørende bygget ble det hentet erfaringer fra Thoragården, der de har hatt problemer med å ta unna alt returvannet. Det ble derfor besluttet å bore to returbrønner ved dette anlegget. Foran inngangen til varmeveksleren er det installert et filter som tar unna suspenderte partikler i vannet (Helgetun, J.O., pers. kom. 2015).

4 METODE

I dette kapittelet gjennomgås de ulike metodene som er brukt for å innhente informasjon om anleggene i Melhus sentrum. Dette innebærer innhenting av informasjon og ulike data i begynnelsen av studiet, vannprøver, feltarbeid og laboratoriearbeid.

4.1 INFORMASJONSINNHEITING

Innledningsvis i studiet ble det hentet informasjon fra følgende kilder:

- *Grunnvannsdatabasen GRANADA*: Brønnenes plassering og borelogger
- *NGUs litteraturlatabase*: Informasjon om tidligere studier i området
- *Intervju*: Det er gjennomført flere intervjuer med anleggenes vaktmestere
- *Nedtegninger av historiske driftsdata*: Alle anleggene følges opp digitalt med SD-anlegg, men registrerte data lagres kun i få dager før de går tapt. Ved Melhuset, Idegården og Thoragården har imidlertid vaktmesteren ved disse anleggene notert ned noen av driftsdataene for hånd. Disse er digitalisert.
- *eKlima (www.eklima.met.no)*: Nedbør- og klimadata er hentet inn fra Leinstrand 67150, Skjetlein 67140, og Voll 68860 målestasjoner.
- *NVE*: Vannføringsdata fra Gaulfoss er hentet ved mailkorrespondanse med NVE.

Når alle anleggene med tilhørende brønner var lokalisert, ble brønnene målt inn nøyaktig GPS av typen Tesla Topcon (se figur 4.1). Seks av brønnene er ikke målt inn med GPS av følgende grunner:

1. De tre brønnene på Høvdingen står under tak og dermed utenfor satellitttilgang.
2. Opprinnelig ble det opplyst om at det ikke fantes returbrønner ved Buen, og ved innmåling med GPS ble derfor ikke disse tatt med. Senere ble det oppdaget at dette anlegget har to returbrønner.
3. Ved GPS-innmåling av returbrønnen på Thoragården ble feil kumlokk pekt ut som returbrønn. Dette ble oppdaget senere

Ved angivelse av koordinater for disse seks brønnene er det forsøkt å finne riktig plassering ved hjelp av befaringer og kart.



Figur 4.1 Nærbilde og oversiktsbilde av Tesla Topcon GPS. a) foto hentet fra Topcon Tesla RTK 2015), og b) foto av Marit J. Førde.

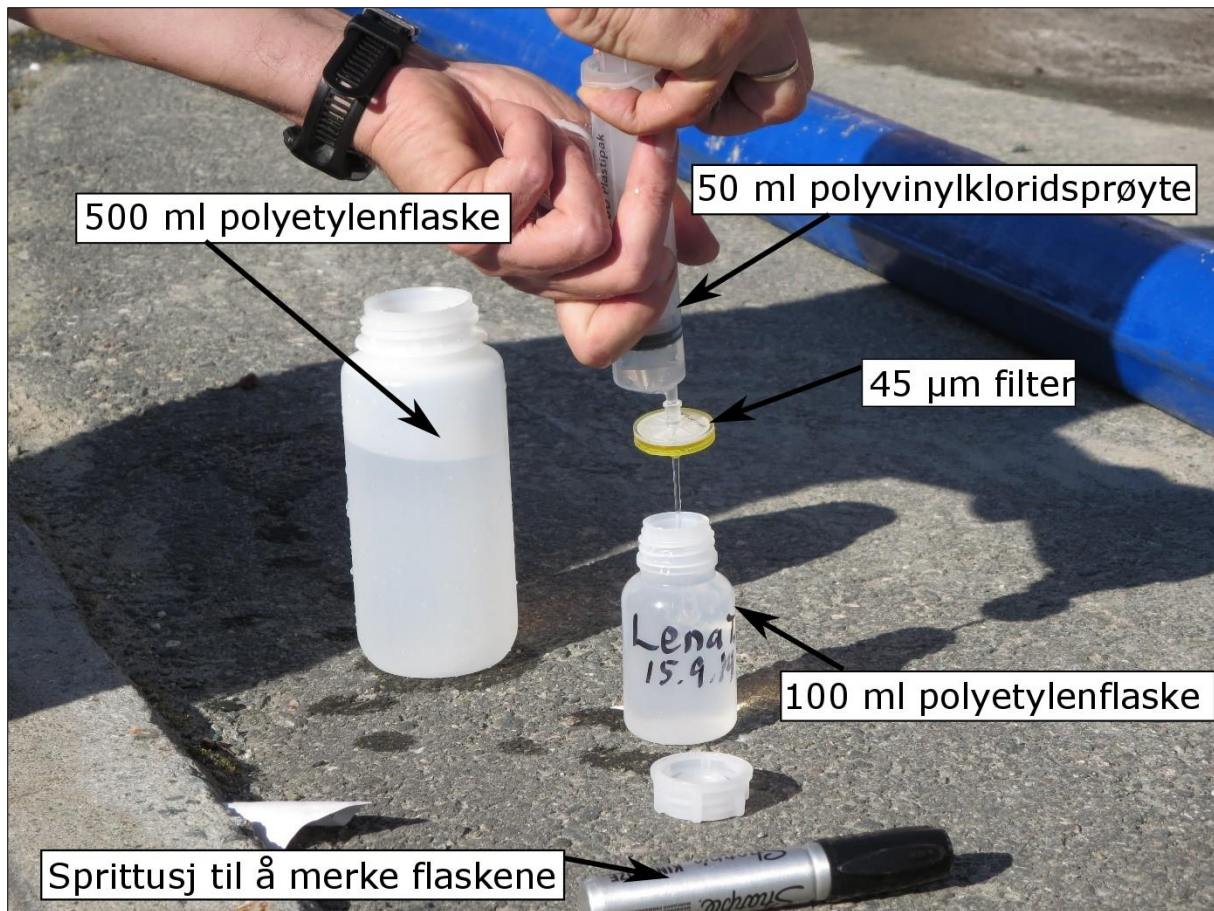
4.2 VANNPRØVETAKING

I løpet av høsten 2014 ble det tatt vannprøver fra seks av grunnvarmeanleggene: Melhuset, Lena terrasse, Idegården, Oterholmgården, Thoragården og Buen. Prøvetakingen foregikk som beskrevet i kapittel 2.8.8. Alle prøvene ble tatt ved ventiler eller kraner ved et punkt rett etter produksjonsbrønnen, med unntak av prøvene fra Oterholmgården som ble tatt ved et punkt rett før vannet ble sendt i returbrønnen.

Prøvetakingsutstyret bestod av følgende (se figur 4.2):

- 500 ml polyetylenflasker
- 100 ml polyetylenflasker
- 50 ml polyvinylklorid sprøyter
- 45 μm filter
- Tusj til å merke flaskene

Fra hvert anlegg ble det tatt minst en prøve på 500 ml flaske, og prøve på 100 ml flaske. Prøvene ble tatt som dubletter med ulike varianter av filtrering og surgjøring i felt og på laboratorium. Ideelt sett burde alle prøvene blitt filtrert i felt, men på grunn av praktiske årsaker ble dette kun gjort for halvparten av prøvene. De resterende prøvene ble filtrert på laboratorium.



Figur 4.2 Prøvetakingsutstyr til vannprøvetaking. Modifisert etter foto av Randi K. Ramstad.

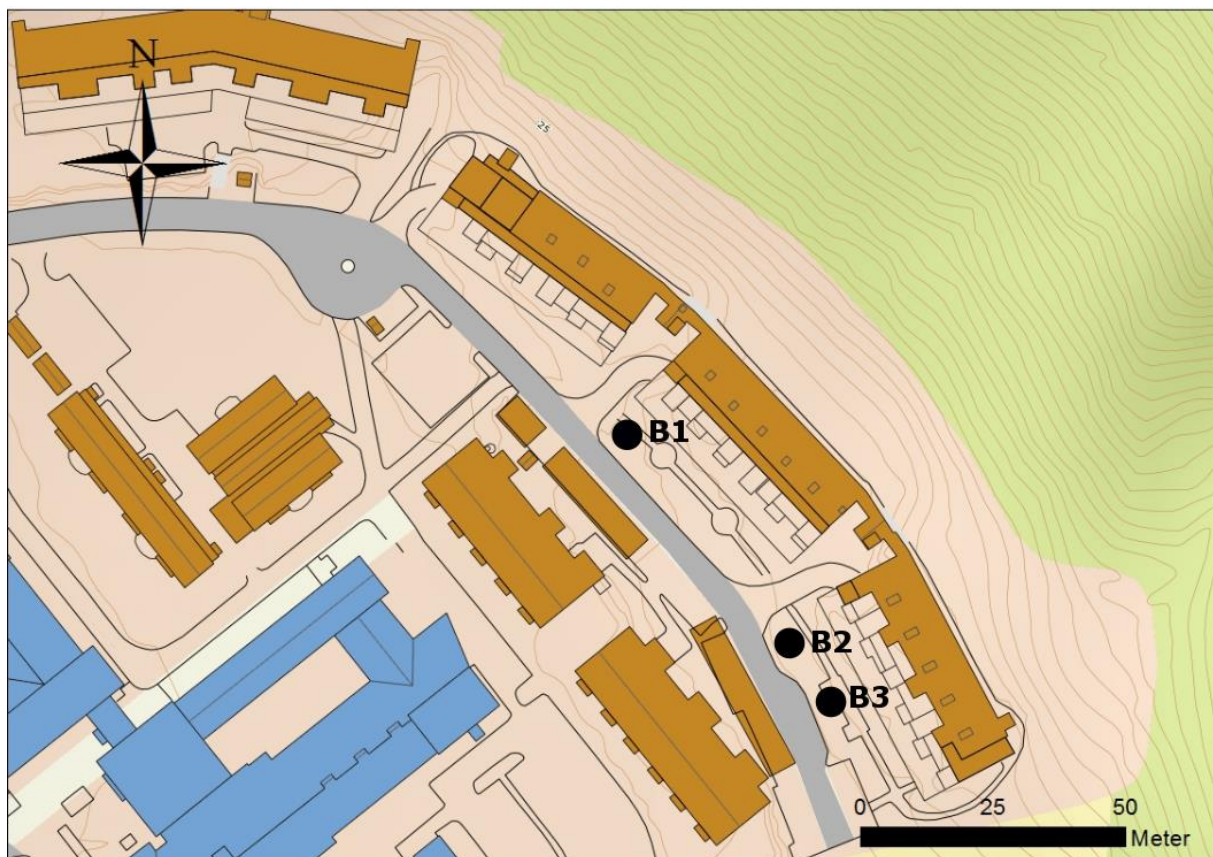
Vannprøver tatt på 500 ml flaske er analysert for fysiske parametere (pH, alkalitet og elektrisk ledningsevne) ved Analysesenteret til Trondheim kommune, mens vannprøver tatt på 100 ml flaske er analysert for kjemiske parametere (anioner og kationer) på NGUs laboratorium. Prøven fra den nye brønnen på Lena terrasse er analysert for både fysiske og kjemiske parametere ved Analysesenteret til Trondheim kommune.

4.3 UTTESTING OG OPPFØLGING AV BRØNNER PÅ LENA TERRASSE

Den nye brønnen ved Lena terrasse ble boret våren 2014. Høsten samme år ble det gjennomført trinnvis kontinuerlig testpumping etterfulgt av lengre tids prøvepumping av denne brønnen og den gamle produksjonsbrønnen. Den gamle produksjonsbrønnen omtales fra nå av som B1, den gamle returbrønnen som B2, og den nye brønnen som B3, se oversiktsbilde i figur 4.3 og brønnplassering i figur 4.4. I den første pumpeperioden ble grunnvann pumpet fra B3 og infiltrert i B1, og tre uker senere ble systemet reversert slik at vann ble pumpet fra B1 og infiltrert i B3. B2 ble brukt som peilebrønn.



Figur 4.3 Oversiktsbilde fra Lena terrasse fra den første prøvepumpingsperioden. Grunnvann ble pumpet opp fra B3 og infiltrert i B1, B2 ble brukt som peilebrønn. Bildet er tatt mot nordvest. Modifisert etter foto av Randi K. Ramstad.



Figur 4.4 Oversiktskart over brønnplasseringen på Lena terrasse. B1 er den gamle produksjonsbrønnen, B2 er den gamle returbrønnen, og B3 er den nye brønnen. Kart fra NGU (2015a), modifisert i ArcMap 10.2.

4.3.1 Gjennomføring av korttids testpumping og lengre tids prøvepumping

Kontinuerlig trinnvis testpumping pågikk i drøyt to timer hver gang, mens prøvepumpingene pågikk i litt over en uke hver. De trinnvise testene ble utført med tre trinn med lav, middels og høy uttaksmengde, og hvert trinn hadde en varighet på minst 30 minutter. Uttaksmengden ble kontrollert ved å ta tiden det tok å fylle en 100-liter dunk med vann. Økning av uttaksmengden fra et trinn til det neste ble gjort ved å regulere en kuleventil. Før oppstart ble grunnvannsnivået målt i både pumpebrønnen og returbrønnen ved hjelp av et målebånd med en sensor som pep i kontakt med vann. I tillegg ble grunnvannsnivået i pumpebrønnen målt underveis for å få informasjon om senkningsforløpet. Det ble også gjort målinger av grunnvannets temperatur og elektriske ledningsevne ved hjelp av håndholdt feltutstyr (WTW Cond 330i TetraCon® 325). Mot slutten ble det tatt vannprøver for analyse på laboratoriet. Etter avsluttet testpumping, ble langtids prøvepumpingen satt i gang med en uttaksmengde omtrent tilsvarende uttaket på trinn 2.

Opprinnelig var det meningen at grunnvannsnivået i returbrønnen også skulle registreres kontinuerlig, men siden vannsprut førte til at sensoren pep før den nådde grunnvannsspeilet, ble ikke dette gjennomførbart. Grunnvannsnivå i B2 ble imidlertid registrert ved hjelp av en automatisk målesonde av typen Aqua Troll 200 som ble plassert i brønnen dagen etter oppstart av den første prøvepumpingsperioden (pumping fra B3 med infiltrasjon i B1), og ble tatt ut ved avslutning av den andre prøvepumpingsperioden.

4.3.2 Beregning av magasinparametere fra testpumping og prøvepumping

Resultatene fra testpumpingen og prøvepumpingen er benyttet til å beregne viktige hydrauliske parametere.

Uttaksmengde og spesifikk kapasitet

I den andre prøvepumpingsperioden (pumping av B1 med infiltrasjon i B3) ble uttaksmengden på både trinn 1 og trinn 2 målt ved å ta tiden det tok å fylle en 100-liters dunk med vann. Ved å anta et lineært forhold mellom uttaksmengden og senkningen, er disse to målingene brukt til å estimere uttaket for trinn 3 via lineær regresjon. I den første prøvepumpingsperioden (pumping av B3 med infiltrasjon i B1) ble uttaksmengden kun målt for trinn 1. Siden det ble brukt samme pumpe i begge prøvepumpingsperiodene og pumpa stod på maks på trinn 3, antas det at uttaksmengden på trinn 3 var lik i begge periodene. Ved igjen å anta et lineært forhold mellom senkning og uttak, er disse to målingene brukt til å estimere uttaksmengden for trinn 2. Beregningene er vist i vedlegg C1.

Forholdet mellom uttak og senkning er så brukt til å finne brønnenes spesifikke kapasitet ved hvert pumpetrinn etter ligning 2.10. Resultatene presenteres i avsnitt 5.5.1 - 5.5.2.

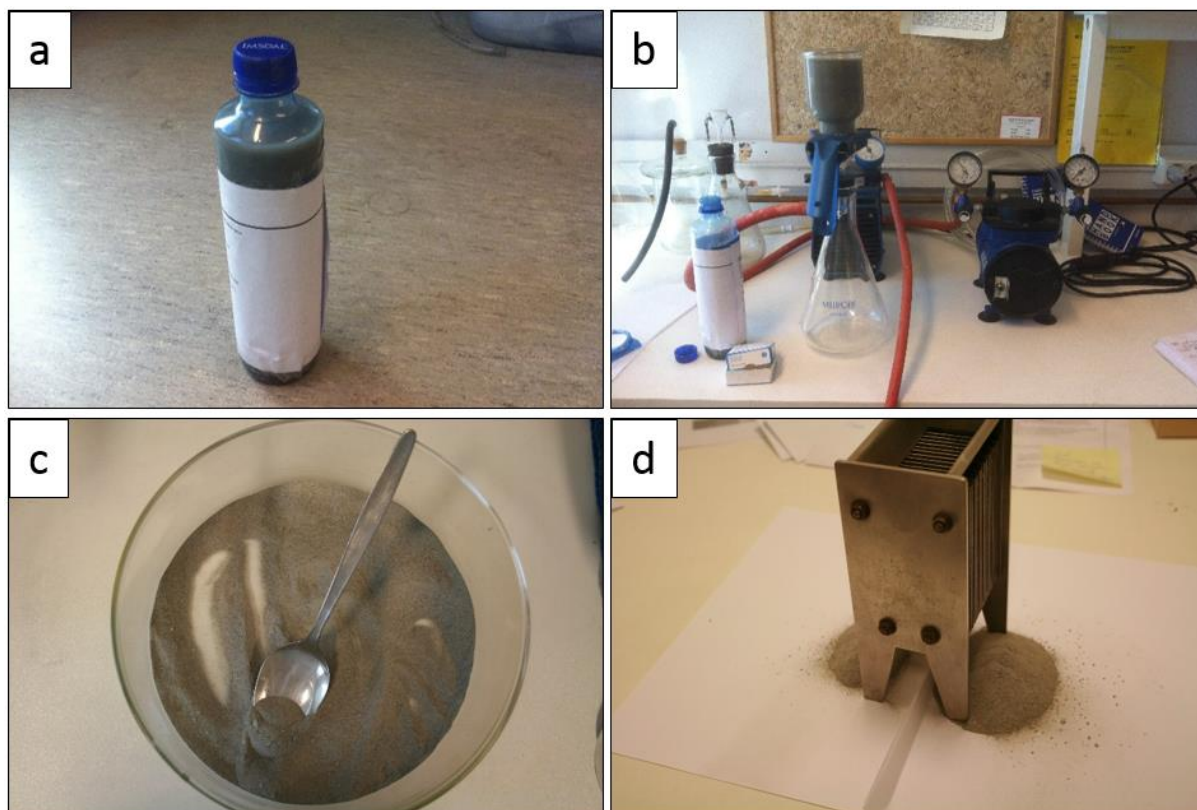
Transmissivitet, magasinkoeffisient og hydraulisk konduktivitet

Som beskrevet i kapittel 2.8.9 finnes det flere metoder for å finne en akvifers hydrauliske konduktivitet, transmissivitet og magasinkoeffisient. Akviferen i Melhus sentrum er overlagret av leire, og det er derfor valgt å bruke Theim, Theis og Cooper-Jacobs ligninger for lukkede akviferer. Beregninger for stasjonær tilstand er basert på data fra langtids pumping av B3 på trinn 2 (ligning 2.3), mens beregninger for transient tilstand er basert på data fra korttids pumping av B3 på trinn 1 (ligning 2.4 - 2.7). Gjennomsnittlig transmissivitet er så brukt til å beregne akviferens hydrauliske konduktivitet med ligning 2.8. Resultatene presenteres i avsnitt 5.5.5, og beregningene vises i vedlegg D.

4.4 UNDERSØKELSER AV RETURBRØNNEN PÅ THORAGÅRDEN

Returbrønnen ved Thoragården har siden en strømstans i 2014 hatt problemer med å ta unna infiltrasjonsvannet. I januar 2015 gjorde Båsum Boring Trøndelag AS et forsøk på å rense brønnen ved hjelp av spyling. Masser fulgte med spylevannet og ble avsatt i brønnkummen, og på grunn av mistanke om gjentetting av brønnfilteret ble det tatt en prøve av massene. Prøven bestod av en vannfase og en fast del med kornstørrelse silt-finsand (se figur 4.5a). Den faste delen ble analysert ved NTNUs laboratorium for å undersøke om den inneholdt unormalt høye konsentrasjoner av organisk materiale, jern, mangan og/eller kalsium som kan ha tettet igjen brønnfilteret.

Innholdet av organisk materiale er analysert med glødetap, og innholdet av jern, mangan og kalsium er analysert med XRF-analyse av hovedelementer. Før gjennomføring av disse analysene måtte masseprøven prepareres, og første del av prøveprepareringen var lik for begge analysemetodene. Prøven ble først filtrert gjennom et Whatman papirfilter, og deretter satt til lufttørring. Etter lufttørring ble prøven splittet i mindre deler. Denne prosessen er dokumentert gjennom bilder i figur 4.5b-c.



Figur 4.5 Fremgangsmåte for prøvepreparering. a) Masseprøven ble oppbevart på flaske, og bestod av en fast del som sank til bunns, og en grumsete væske med suspendert materiale. b) Filtrering av prøven gjennom et Whatman papirfilter ved hjelp av trykk. c) Ferdig filtrert og lufttørket prøve. d) Splitting av prøven i mindre deler for analyse av organisk materiale (glødetap) og hovedelementer (XRF).

Den delen av prøven som skulle analyseres for organisk materiale ble satt i eksikator over natta. Dagen etter ble den veid nøyaktig med en Mettler Toledo AG285 vekt. Deretter ble den satt i ovnen på 480 °C for gløding i 4 timer. Etter avkjøling ble prøven på nytt satt i eksikator i noen timer, før den ble veid for å finne glødetapet ved 480 °C. Prosessen ble gjentatt for gløding på 550 °C.

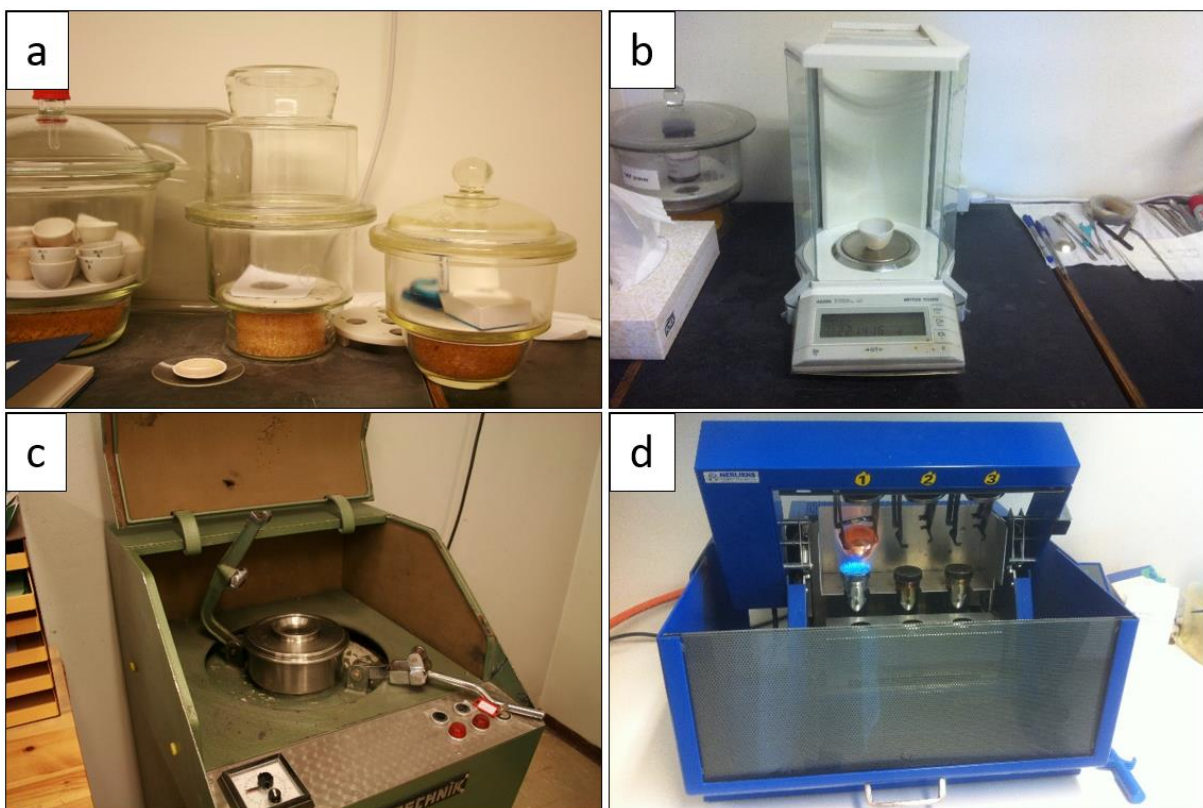
Glødetapet er beregnet etter følgende ligning, fra Skøien (2000, s. 32):

4.1 Glødetap

$$\text{Glødetap (\%)} = \frac{\text{nettovekt etter tørking} - \text{nettovekt etter gløding}}{\text{nettovekt etter tørking}} * 100$$

Prøven som skulle analyseres med XRF ble etter splitting knust med en agatmølle i en skivesvingmølle. Deretter ble den tørket i et tørkeskap på 105 °C, satt i eksikator, og veid inn nøyaktig med Mettler Toledo AG285 vekt. Videre ble den glødet på 1000 °C i 1,5 time i glødeovn. Etter gløding ble den satt i eksikator over natta, og veid på nytt for å finne glødetapet ved 1000 °C. Det ble så laget en blanding av 5 gram prøve, 0,5 gram flux (bestående av 66 % litiumtetraborat og 34 % litiummetaborat) og 60 µL litiumiodid. Blandingen ble smeltet til en glasspille i en ny glødeovn, og denne ble analysert for hovedelementer i XRF (Bruker S8 Tiger 4 kW X-ray spectrometer).

I figur 4.6 vises bilder av noen av instrumentene.



Figur 4.6 Instrumenter for analyse av glødetap og XRF. : a) Eksikator, b) veiing av prøven med Mettler Toledo AG285 vekt, c) knusing av prøven i agatmølle i skivesvingmølle, og d) smelting av prøven til glasspille.

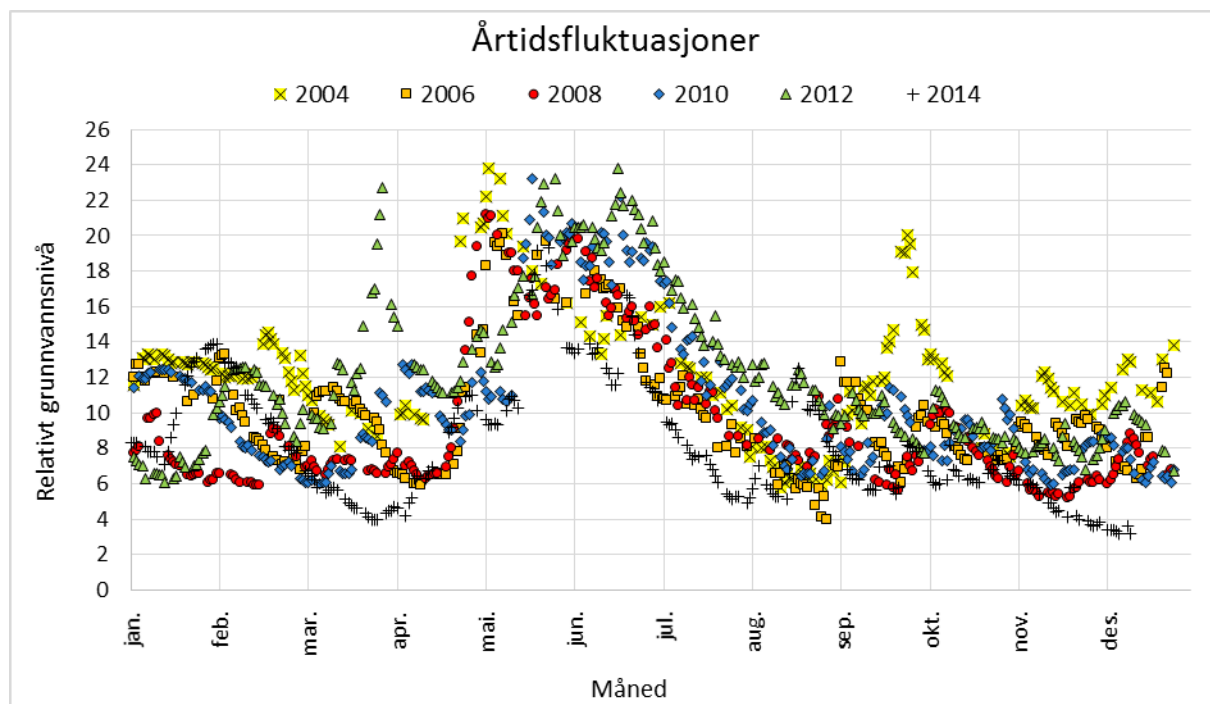
5 RESULTATER

I dette kapittelet presenteres først resultatene fra analysen av de historiske driftsdataene som er mest sentrale for dette studiet. Dette gjelder målinger av grunnvannsnivået og grunnvannstemperauren. Deretter presenteres en evaluering av grunnvannsuttaget, resultatene fra vannanalysene og feltarbeidet som er gjort på Lena terrasse og Thoragården.

5.1 GRUNNVANNSNIVÅET VED MELHUSET

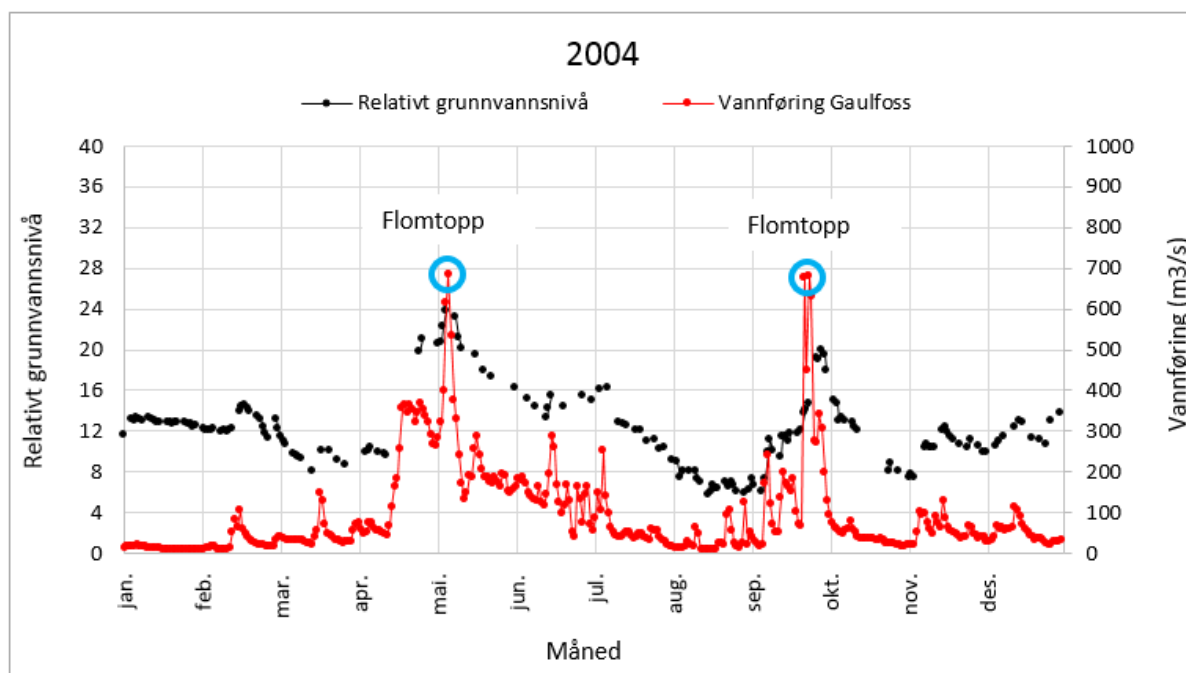
I produksjonsbrønnen på Melhuset er det installert en nivåsensor som registrerer trykket i vannsøylen over sensoren, og som konverterer dette over til meter vannsøyde. Nøyaktig plassering av sensoren er ukjent, så disse målingene representerer relativt grunnvannsnivå i brønnen. Etter å ha undersøkt resultatene, er det grunn til å tro at benevningen ikke er meter, selv om dette oppgis på avlesningsinstrumentet. Det er derfor valgt å ikke oppgi benevning for grunnvannsnivået verken i tekst eller figurer. Dette diskuteres nærmere i kapittel 6.1. De første målingene er fra slutten av desember 2002, og siden den gang er relativt grunnvannsnivå registrert flere dager i uken helt frem til dags dato. Dette gir mulighet til å undersøke variasjoner i grunnvannsnivået gjennom hvert år, samt om vannuttaket over tid har ført til lavere grunnvannsnivå i området.

I figur 5.1 er grunnvannsnivået illustrert som årtidsfluktuasjoner for partallsår mellom 2004-2014. Figuren viser at grunnvannsnivået følger en trend som går igjen hvert år. På senvinteren forekommer det i de fleste tilfeller en senkning i grunnvannsnivået, før det øker i perioden april-mai. Etter at maksimums grunnvannsnivå er nådd, synker det frem til slutten av sommeren. Gjennom høsten og tidlig vinter varierer grunnvannsnivået uten et tydelig mønster. Avvik fra denne trenden forklares i tilknytning til figur 5.2.



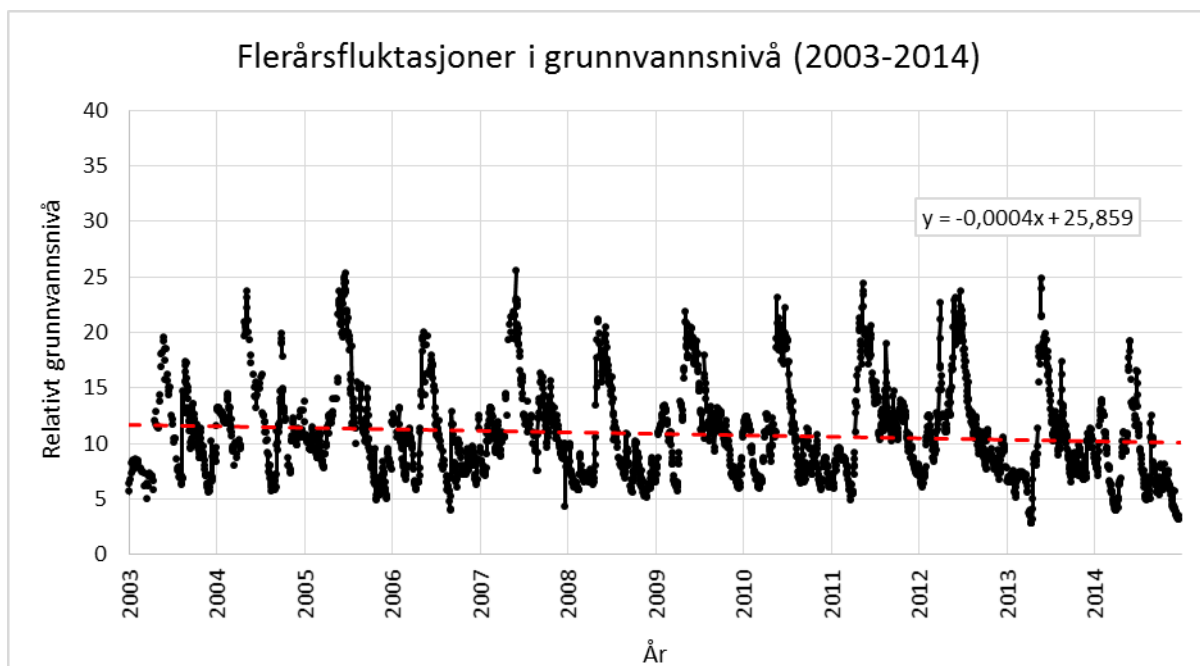
Figur 5.1 Årtidsfluktuasjoner for grunnvannsnivået i produksjonsbrønnen på Melhuset. For å øke figurens lesbarhet er det valgt å presentere data for partallsårene de ti siste årene. Grunnvannsnivået følger et mønster hvert år, med nedgang på sen vinteren, maksimum på våren og deretter nedgang fram til tidlig høst.

For å undersøke en mulig kobling mellom akviferen og Gaula, er relativt grunnvannsnivå ved Melhuset plottet mot vannføringen ved Gaulfoss. Gaulfoss ligger 2 mil oppstrøms for Melhuset målt i luftlinje, og er den nærmeste målestasjonen som registrerer vannføringen i elva. I figur 5.2. presenteres data for 2004. Dette året var det to markante flomhendelser ved Gaulfoss, og disse gjenspeiles i de høyeste registrerte grunnvannsnivåene i produksjonsbrønnen i Melhuset. Maksimum grunnvannsnivå forekommer tre til fem dager etter flomhendelsen. Tilsvarende figurer i vedlegg A viser tydelig at grunnvannsnivået følger kurven for vannføringen.



Figur 5.2 Relativt grunnvannsnivå i produksjonsbrønnen i Melhuset plottet mot vannføringen ved Gaulfoss, for 2004. Grunnvannsnivået følger kurven for vannføringen. Flomhendelsene i Gaula i mai og september gjenspeiles i de høyeste målingen av grunnvannsnivået.

I figur 5.3 er relativt grunnvannsnivå ved Melhuset plottet for hele måleperioden (2003-2014). Den røde trendlinjen i figuren viser at grunnvannsnivået totalt sett har holdt seg tilnærmet stabil i løpet av disse årene. Grunnvannsnivå påvirkes av nedbørsforholdene, og i tabell 5.1 presenteres derfor årsnedbøren for hele måleperioden. Dataene er hentet fra Leinstrand værstasjon, som ligger ca. 4,5 km nord for Melhus sentrum. De to laveste målingene av grunnvannsnivået er fra de to siste årene, og begge disse årene var årsnedbøren lavere enn gjennomsnittet for alle årene.



Figur 5.3 Flerårsfluktasjoner for grunnvannsnivået i produksjonsbrønnen på Melhuset i perioden 2003-2014. Den røde trendlinjen viser at grunnvannsnivået totalt sett har holdt seg relativt stabilt i løpet av disse årene.

Tabell 5.1 Årsnedbør fra målestasjonen ved Leinstrand (DNMI 2015). Alle målingene oppgis i mm.

2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Snitt
851	953	798	626	959	682	818	683	1012	794	697	597	789

5.2 GRUNNVANNSTEMPERATUR

5.2.1 Enkeltmålinger av grunnvannstemperaturen

Det er ved forskjellige anledninger i løpet av studiet foretatt enkeltmålinger av grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønnen til de ulike anleggene. Resultatene er presentert i tabell 5.2.

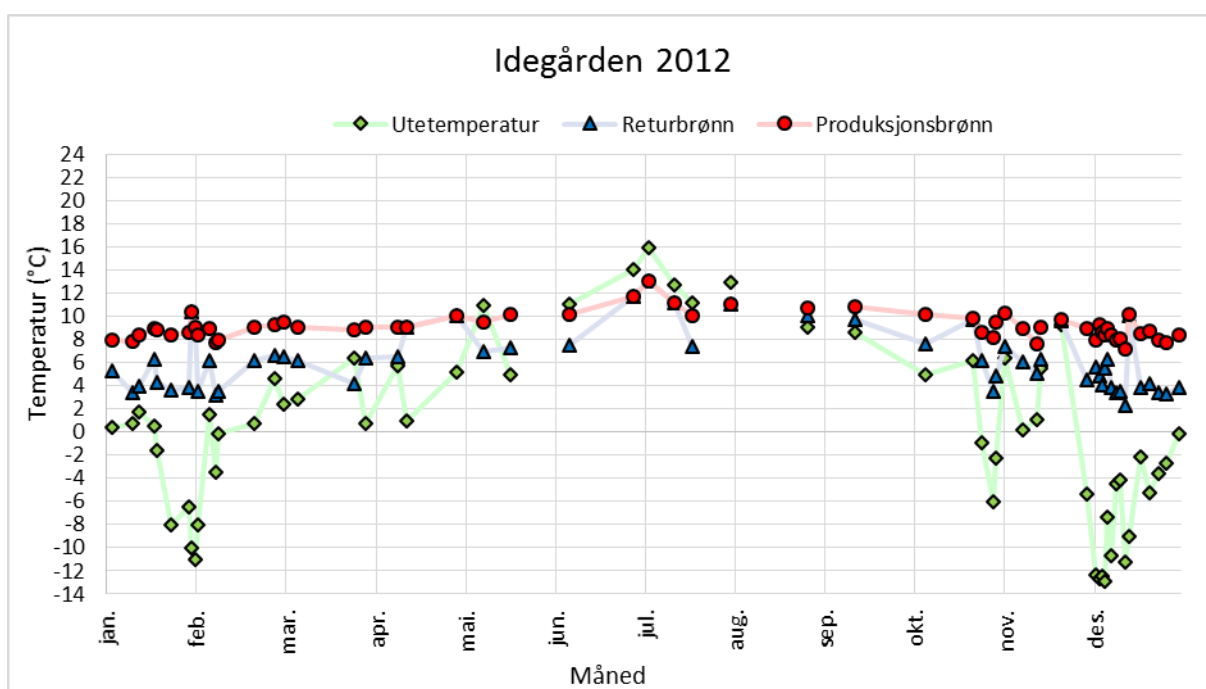
Tabell 5.2 Enkeltmålinger av grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønnen til de ulike anleggene

Dato	Lenavegen 3	Melhuset	Lena terrasse B3	Lena terrasse B1	Ide-gården	Buen	Thora-gården	Høvdingen
04.03.2014	8,2 °C					8 °C		
15.09.2014			8,1 °C					
16.09.2014			8,5 °C					
18.09.2014			8,0 °C					
24.09.2014		9,2 °C	7,7 °C		9,8 °C		10,4 °C	
07.10.2014				7,9 °C				
05.03.2015								ca. 10 °C

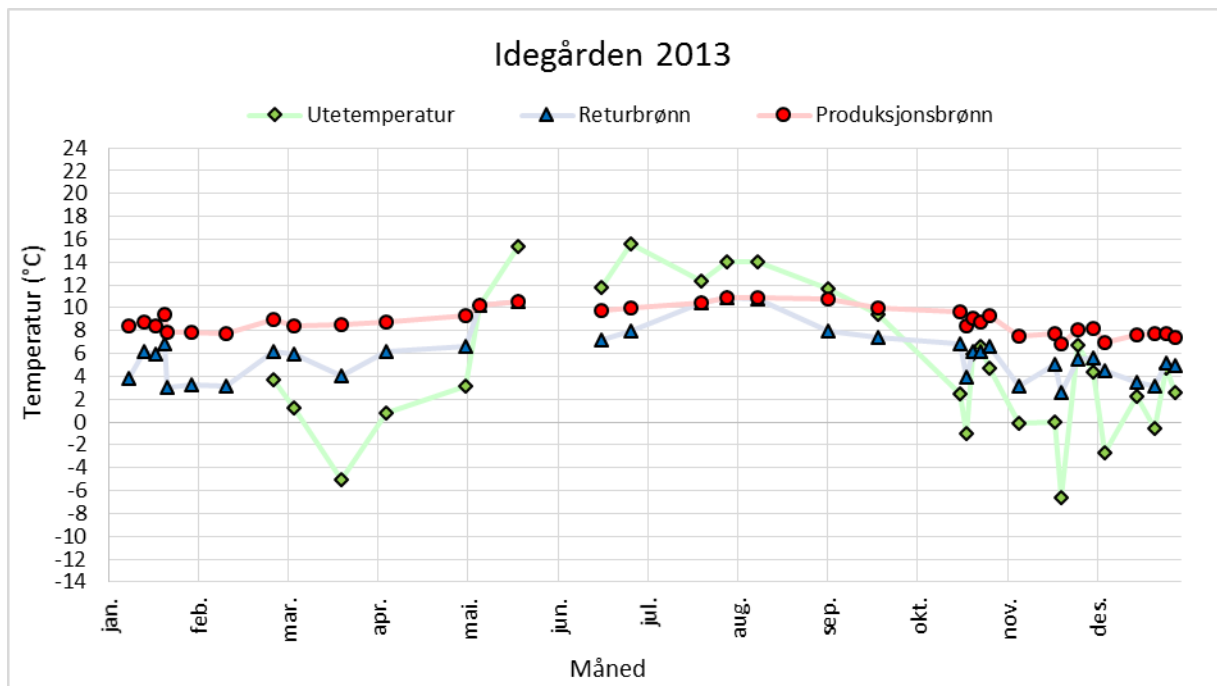
5.2.2 Brønntemperatur ved Idegården

Ved Idegården er det installert to temperaturfølere som måler henholdsvis temperaturen på oppumpet grunnvann og infiltrasjonsvann. Målinger fra 2012 til 2014 er digitalisert og vises i figur 5.4-figur 5.6 sammen med lufttemperaturdata hentet fra Skjetlein og Voll målestasjon. Skjetlein målestasjon ligger ca. 6 km. nord for Melhus sentrum, og er den nærmeste værstasjonen som registrerer lufttemperatur. Målingene ved denne stasjonen begynte ikke før 2013, og derfor er lufttemperaturdata for 2012 hentet fra Voll målestasjon. Voll ligger 16 km kilometer nordøst for Melhus sentrum, og er den nærmeste målestasjonen med lufttemperaturdata for dette året.

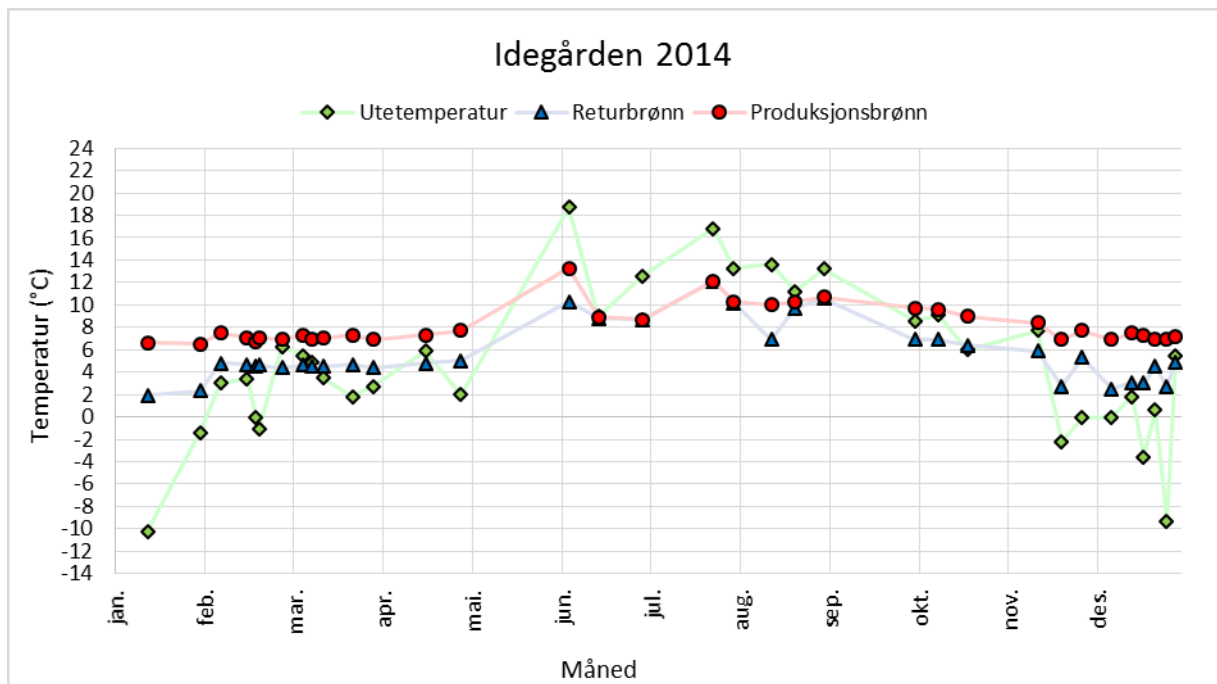
Gjennomsnittstemperaturen på oppumpet grunnvann i løpet av 2012-2014 er ca. 8,8 °C, mens infiltrasjonsvannet har en gjennomsnittlig temperatur på ca. 6,0 °C. Dette gir en gjennomsnittlig temperatursenkning på 2,8 °C. Oppvarmingsbehovet er størst om vinteren, og på det meste har temperatursenkningen vært 4,9 °C. På varme dager når det ikke er behov for oppvarming, eller på dager der utetemperaturen er kaldere enn -9 °C, står varmepumpa.



Figur 5.4 Grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønnen og returbrønnen på Idegården i 2012. Figuren er utarbeidet ved digitalisering av data nedskrevet av R.J. Aune. Data om utetemperaturen er hentet fra Voll værstasjon (DNMI 2015).



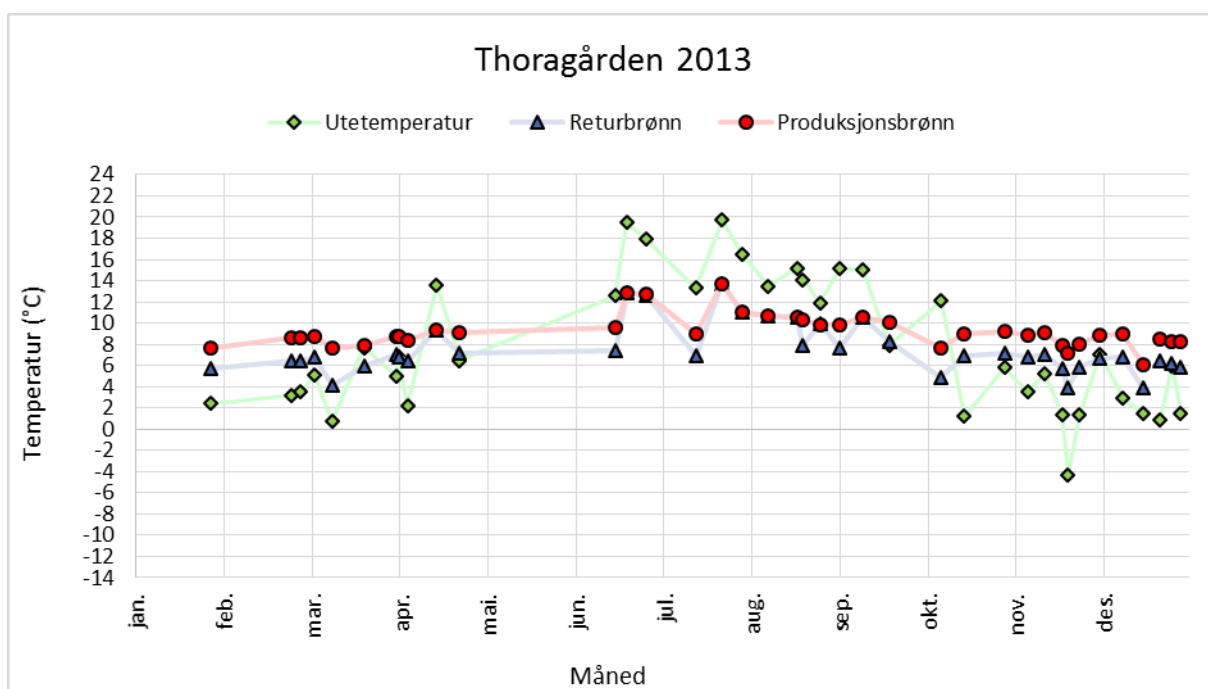
Figur 5.5 Grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønnen og returbrønnen på Idegården i 2013. Figuren er utarbeidet ved digitalisering av data nedskrevet av R.J. Aune. Data om utetemperaturen er hentet fra Skjetlein værstasjon (DNMI 2015).



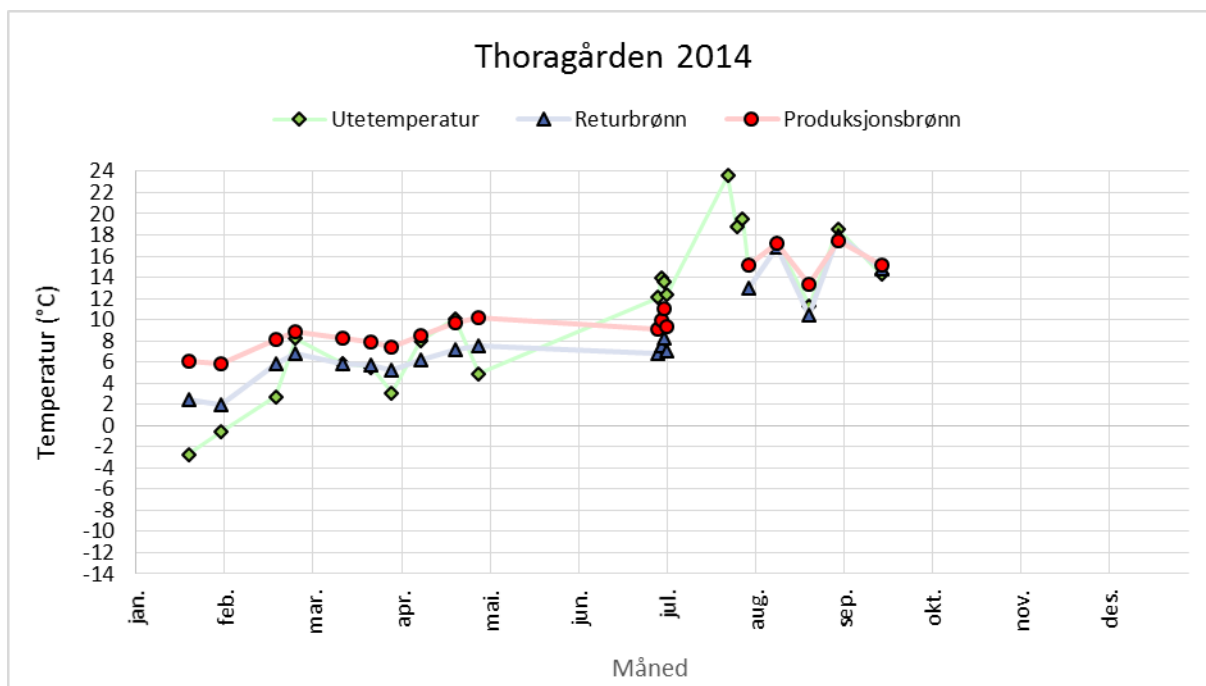
Figur 5.6 Grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønnen og returbrønnen på Idegården i 2014. Figuren er utarbeidet ved digitalisering av data nedskrevet av R.J. Aune. Utetemperatur er hentet fra Skjetlein målestasjon (DNMI 2015).

5.2.3 Brønntemperatur ved Thoragården

På Thoragården er det i likhet med Idegården notert ned informasjon om grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønnen og returbrønnen, samt utetemperaturen. Temperaturutviklingen i 2013 og 2014 er illustrert i figur 5.7 og figur 5.8. Gjennomsnittlig grunnvannstemperatur i produksjonsbrønnen i løpet av disse to årene er 9,6 °C, mens infiltrert vann har en gjennomsnittlig temperatur på 7,7 °C. Dette tilsvarer en temperatursenkning på 1,9 °C. Oppvarmingsbehovet er størst på de kaldeste dagene, og på det meste har temperatursenkningen vært 3,8 °C. Dager det ikke er behov for oppvarming står varmepumpa.



Figur 5.7 Grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønnen og returbrønnen på Thoragården i 2013. Figuren er utarbeidet ved digitalisering av data nedskrevet av R.J. Aune.



Figur 5.8 Grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønn og returbrønn på Thoragården i 2014. Figuren er utarbeidet ved digitalisering av data nedskrevet av R.J. Aune og vaktmestre fra TOBB Eiendomsservice AS.

5.3 UTTAKSMENGDE FRA AKVIFEREN OG LEVERT EFFEKT FRA VARMEPUMPENE

Det er kun installert mengdemålere ved kommunens anlegg. Siden størrelsen på varmepumpa er kjent for de resterende anleggene, er uttaksmengden ved disse beregnet ved hjelp av ligning 2.2. På bakgrunn av registrerte brønntemperaturer ved Idegården og Thoragården er ΔT (temperatursenkningen) satt til 3K, med unntak av Lena terrasse og Høvdingen der prosjektert ΔT er 4K. Videre er årsvarmefaktoren (SPF) satt til 3,4 for alle anleggene, det vil si en effektivitet på ca. 70 %. I tabell 5.3 er resultatene fra disse beregningene samt målingene fra kommunens anlegg presentert. Når alle de åtte anleggene er i drift, er grunnvannsuttaget ca. 80 l/s, og av dette vannet infiltreres omkring 56 l/s (70 %) tilbake til akviferen.

Tabell 5.3 Beregnet effekt og uttaksmengde fra hvert anlegg

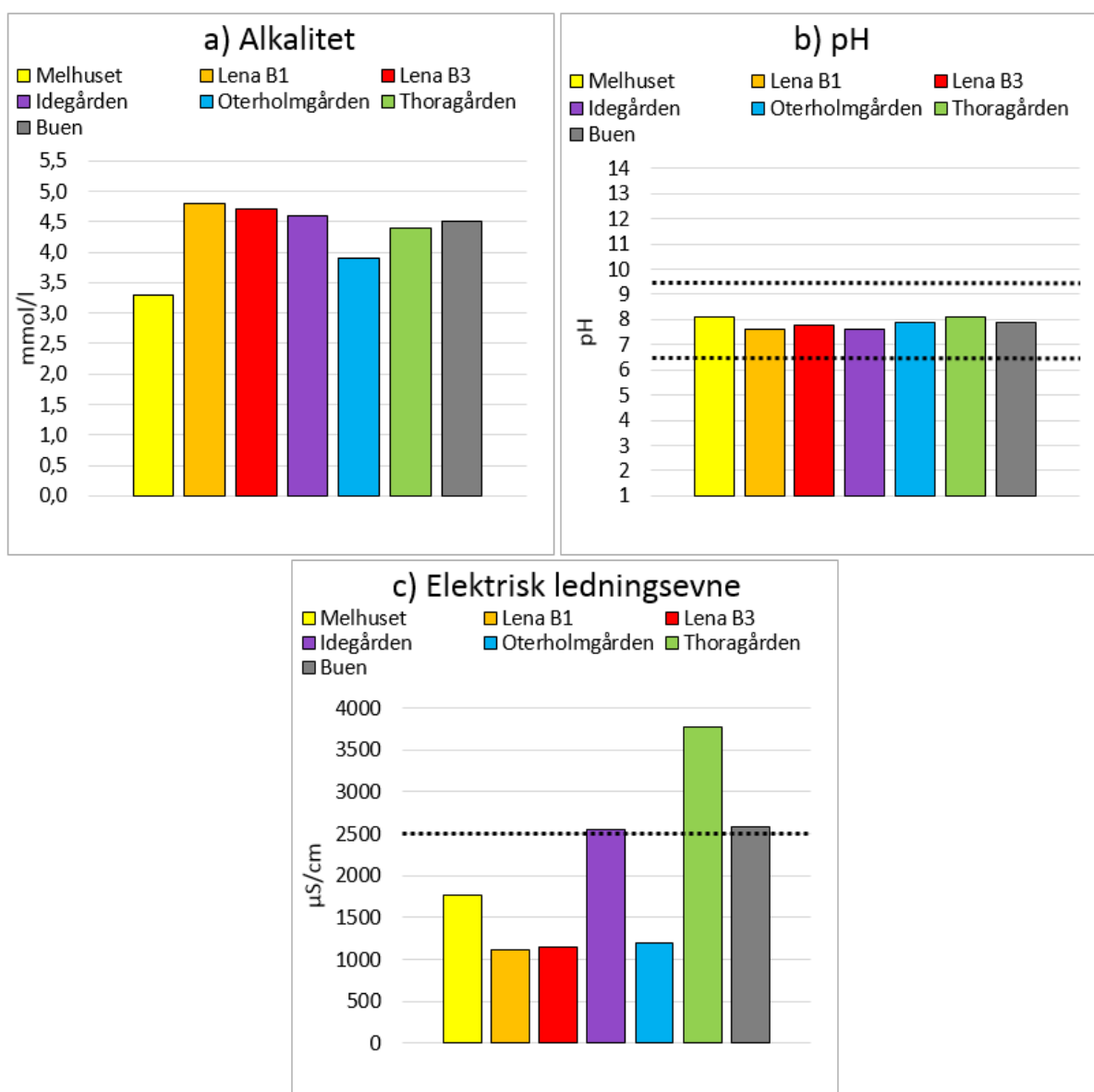
Anlegg	Effekt fra varmepumpa (J/s)	Effekt fra varmepumpa (kW)	Q (l/s)	Q (m ³ /time)	Infiltrasjon
Lenavegen 3	296 000	296	16,7	60	Nei
Melhuset	126 000	126	7,1	25,5	Nei
Lena terrasse	340 000	340	15	54	Ja
Idegården	170 000	170	9,6	34,4	Ja
Oterholmgården	100 500	100,5	5,7	20,4	Ja
Thoragården	210 000	210	11,8	42,6	Ja
Buen	126 000	126	7,1	25,6	Ja
Høvdingen	175 000	175	7,4	26,6	Ja
Sum	1 543 500	1 543,5	80,3	289,0	Ja

5.4 VANNKVALITETSANALYSE

Resultatene fra vannkvalitetsanalysene presenteres i de to neste delavsnittene. Parameterne er vurdert mot krav og anbefalinger i Drikkevannsforskriften (se tabell 2.2).

5.4.1 Fysiske parametere

Resultatene fra de fysiske vannanalysene er presentert i figur 5.9. Alkaliteten er høy for alle vannprøvene, og varierer mellom 3,3-4,8 mmol/l. pH-målingene viser at vannet er svakt basisk, og innenfor normale verdier for grunnvann. Grunnvannets elektriske ledningsevne er relativt høy, særlig ved Thoragården.



Figur 5.9 Resultater fra fysisk analyse. a) Alkalitet, b) pH, og c) elektrisk ledningsevne. Stiplet sort linje angir grenseverdi i Drikkevannsforskriften. To stiplede linjer i figur b betyr at grenseverdien for pH er i intervallet mellom pH 6,5-9,5. Begge prøvene fra Lena terrasse ble tatt ved avslutning av langtids prøvepumping.

Den elektriske ledningsevnen er også målt i felt med håndholdt feltutstyr, se tabell 5.4. Målingene stemmer overens med analyseresultatene fra laboratoriet.

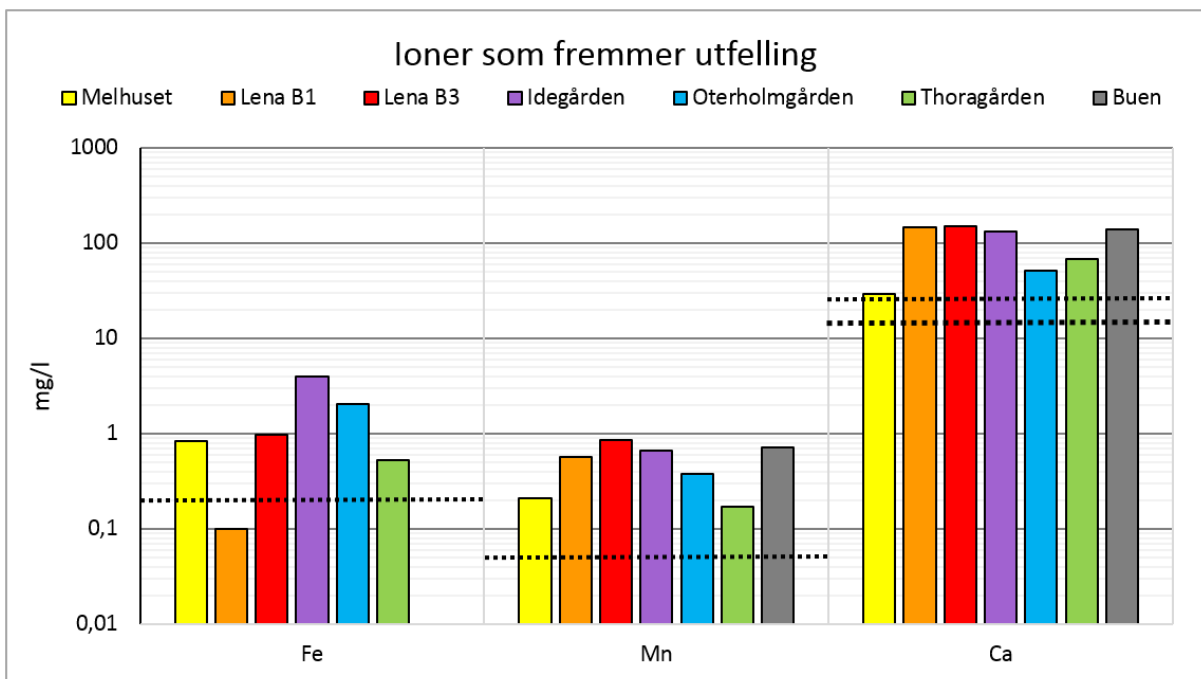
Tabell 5.4 Elektrisk ledningsevne målt i felt

Dato	Melhuset	Lena B1	Lena B3	Idegården	Oterholmgården	Thoragården
15.9.14		1160				
24.9.14	1775		1135	2560	1154	3750
7.10.14		1189				

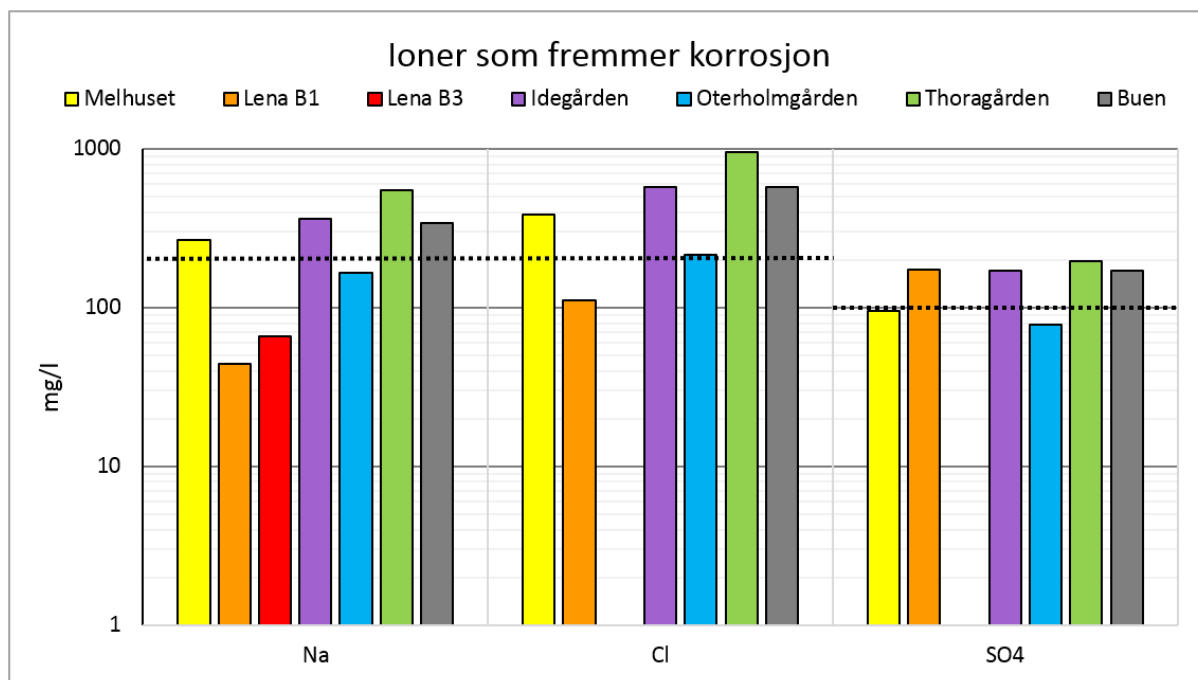
5.4.2 Kjemiske parametere

Innholdet av ioner som fremmer faren for utfelling og korrosjon presenteres i stolpediagram i henholdsvis figur 5.10 og figur 5.11. Det er kun prøver som ble filtrert i felt som er med i denne fremstillingen, siden disse er mest representative for de faktiske forholdene i akviferen (mer om dette i avsnitt 6.3.1). En fullstendig oversikt over alle analyserte kjemiske parametere og de respektive resultatene er oppgitt i vedlegg B. Her oppgis også resultatene fra prøver som ble filtrert og surgjort på laboratorium.

I forhold til krav og anbefalinger i Drikkevannsforskriften har alle anleggene høye verdier av en eller flere av følgende ioner: jern (Fe), mangan (Mn), kalsium (Ca), natrium (Na), klorid (Cl) og sulfat (SO₄).



Figur 5.10 Ioner som fremmer utfelling. Sort stiplede linje angir anbefalte grenseverdier fra tabell 2.2. Prøven fra B1 på Lena terrasse ble tatt ved avslutning av prøvepumpingsperioden, mens prøven fra B3 ble tatt ved oppstart av prøvepumpingsperioden.



Figur 5.11 Ioner som fremmer korrosjon. Sort stiplet linje angir grenseverdier fra tabell 2.2. Prøven fra B1 ved Lena terrasse ble tatt ved avslutning av prøvepumpingsperioden, mens prøven fra B3 ble tatt ved oppstart av prøvepumpingsperioden. Denne prøven er ikke analysert for anioner.

Korrodert jern er det samme som rust, og dette er oppdaget ved flere av anleggene (figur 5.12). Ved Lenavegen 3 er gulvet i driftsrommet rustfarget etter at produksjonsbrønnen ble ødelagt påsken 2013. Rustfarget vann kom inn i varmeveksleren og noe av dette havnet på gulvet og avsatte farge. I Melhuset er det oppdaget et rustlag på ca. 1 cm i returrøret etter varmeveksleren. Ved både Oterholmgården og Thoragården er brønnkummen tilhørende returbrønnen rustfarget.



Figur 5.12 Rustutfelling i fire anlegg. a) Rustutfelling på gulvet i driftsrommet på Lenavegen 3, b) rustutfelling i returrøret på Melhuset, c) rustfarget brønnkum tilhørende returbrønnen på Oterholmgården, og d) rustfarget brønnkum tilhørende returbrønnen på Thoragården.

5.5 FELTUNDERSØKELSER VED LENA TERRASSE

I forbindelse med arbeidet med å rehabilitere anlegget på Lena terrasse er det gjennomført korttids og langtids pumping av to brønner (B1 og B3) for å undersøke hvilken av disse som skal være produksjonsbrønn og returbrønn. I de neste avsnittene oppsummeres resultatene fra disse undersøkelsene.

5.5.1 Spesifikk kapasitet og målinger av grunnvannsnivået i B3

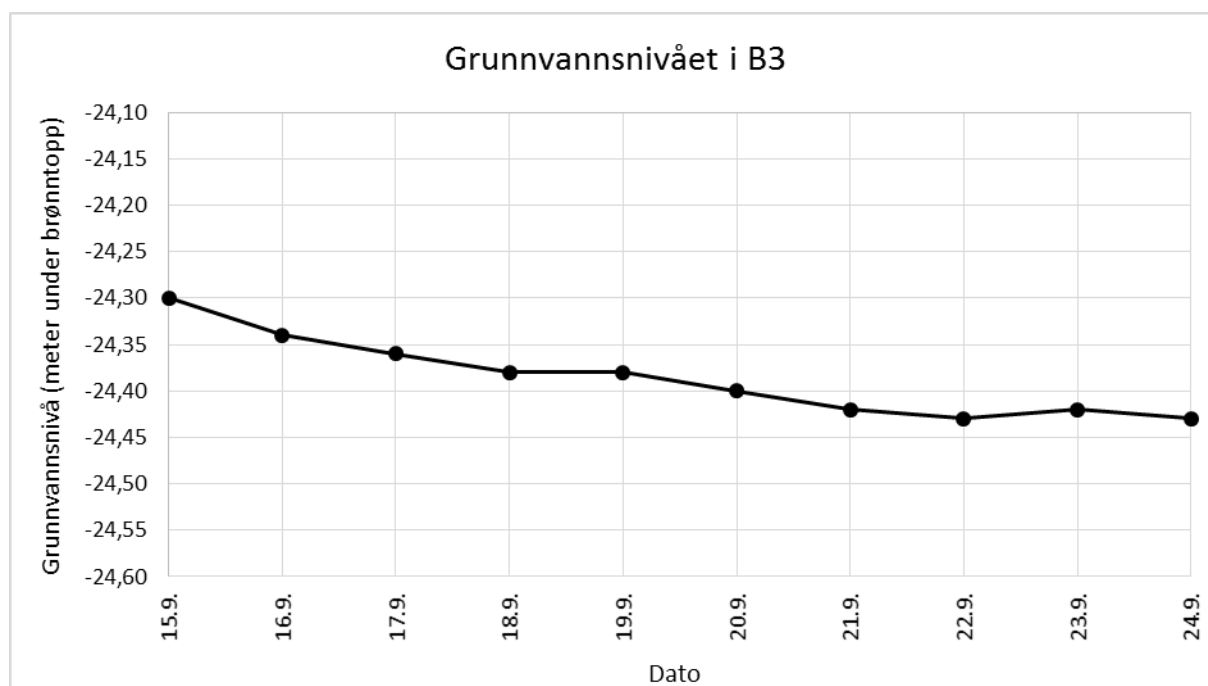
I tabell 5.5 presenteres data fra korttids testpumping av B3 med infiltrasjon i B1. Brønnens spesifikke kapasitet for de ulike trinnene i testpumpingen er beregnet ved hjelp av uttaksmengde og vertikal senkning (ligning 2.10). Den spesifikke kapasiteten synker med økende uttak, og dette skyldes økt filtermotstand ved høyere pumpe-rate samt tilleggssenkning fra foregående trinn. Brønnens spesifikke kapasitet er ca. 30 l/s per meter senkning.

Tabell 5.5 Resultater fra testpumping del 1

Trinn	Uttak (l/s)	Grunnvannsnivå i B3 * (m under brønntopp)	Senkning (m)	Spesifikk kapasitet B3 (l/s/m)
0	0	23,84	0	-
1	9,0	24,09	0,25	36,7
2	13,5	24,26	0,41	32,5
3	22,2	24,60	0,76	29,2

* Grunnvannsnivå målt etter 30 minutters pumping på hvert trinn

Etter avsluttet testpumping ble prøvepumpingen satt i gang. Grunnvannsnivåets utvikling i B3 er illustrert i figur 5.13. Grunnvannsnivået ved oppstart av prøvepumpingen var 24,30 meter under brønntoppen. Nivået sank jevnt gjennom hele perioden, og stabiliserte seg på ca. 24,43 meter under brønntoppen. Dette tilsvarer en total senkning på 13 cm.



Figur 5.13 Grunnvannsnivåets utvikling i B3 ved langtids prøvepumping av brønnen

5.5.2 Spesifikk kapasitet og målinger av grunnvannsnivået i B1

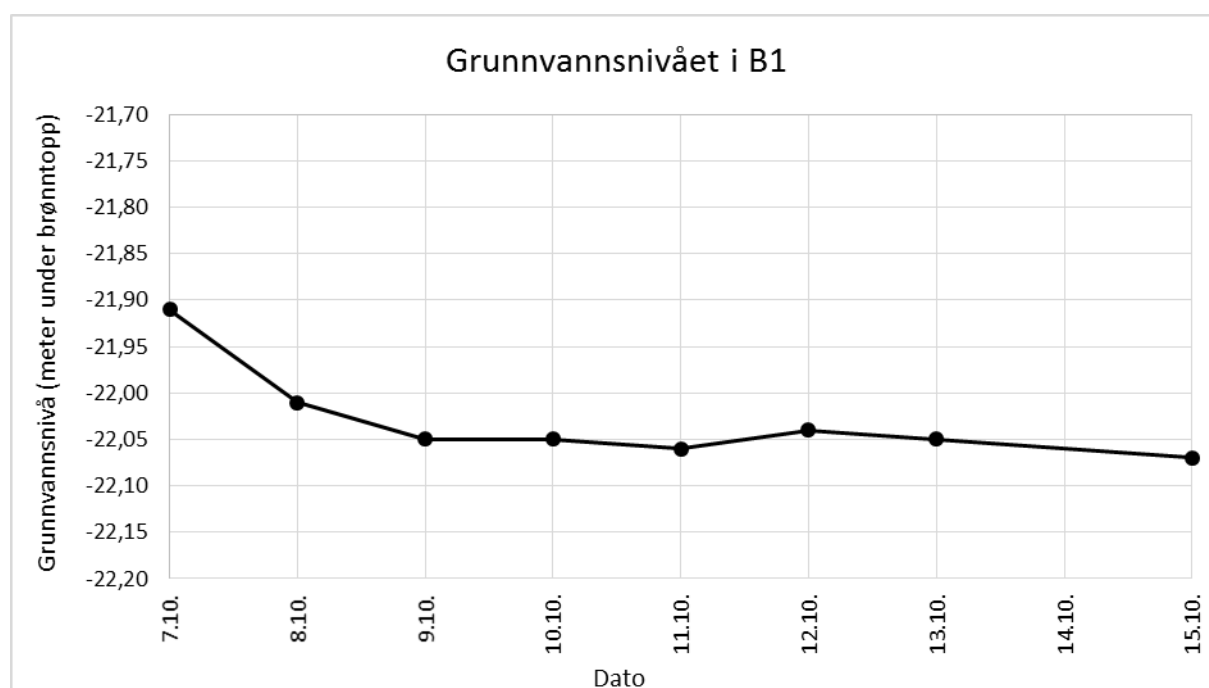
I tabell 5.6 presenteres dataene fra korttids testpumping av B1 med infiltrasjon i B3. Også i denne brønnen synker den spesifikke kapasiteten med økende uttak, og reel verdi er ca. 12 l/s per meter senkning.

Tabell 5.6 Resultater fra testpumping del 2

Trinn	Uttak (l/s)	Grunnvannsnivå i B1 * (m under brønntopp)	Senkning (m)	Spesifikk kapasitet B1 (l/s/m)
0	0	20,75	0	-
1	10	21,51	0,75	13,2
2	14,5	21,91	1,16	12,5
3	22,2	22,60	1,85	12,0

* Grunnvannsnivå målt etter 30 minutters pumping på hvert trinn

Etter avsluttet testpumping ble det satt i gang prøvepumping som varte i ni dager. I figur 5.14 er grunnvannsnivåets utvikling i B1 illustrert. Ved oppstart av prøvepumpingen var grunnvannsnivået 21,91 meter under brønntoppen. Total senkning i løpet av perioden var 16 cm.

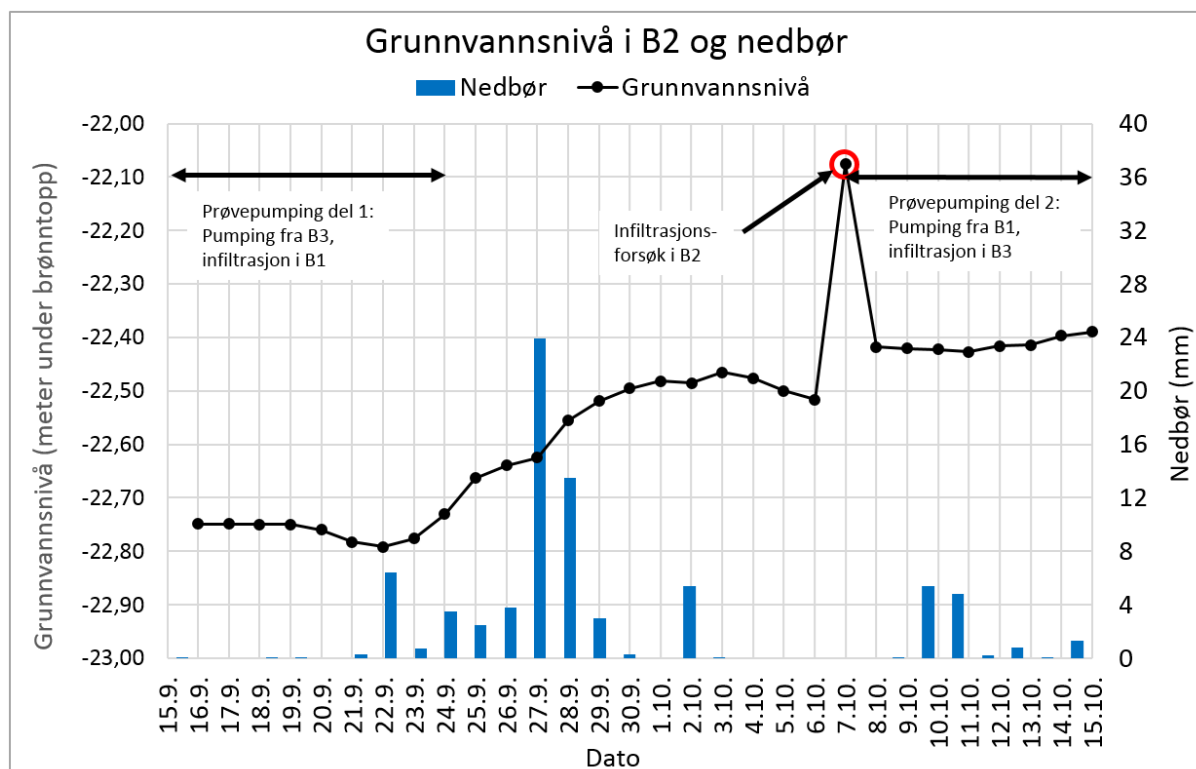


Figur 5.14 Grunnvannsnivåets utvikling i B1 ved langtids prøvepumping av brønnen

5.5.3 Målinger av grunnvannsnivået i B2

Dagen etter oppstart av den første prøvepumpingsperioden ble det plassert en automatisk målesonde i B2 for å registrere utviklingen i grunnvannsnivået i brønnen. Målesonden ble tatt opp ved avslutning av den andre prøvepumpingsperioden. I figur 5.15 er grunnvannsnivået i brønnen plottet som døgnmiddel sammen med nedbørsdata fra nærmeste målestasjon (Leinstrand) gjennom begge prøvepumpingsperiodene. I begynnelsen av den første prøvepumpingsperioden (pumping fra B3 med infiltrasjon i B1) var grunnvannsnivået i B2 stabilt. Deretter sank det før det forekom en heving mot slutten av perioden. Videre fulgte en

toukers periode uten pumpeaktivitet, der grunnvannsnivået i B2 økte. Ved oppstart av den andre prøvepumpingsperioden (pumping fra B1 med infiltrasjon i B3) ble det først gjort et infiltrasjonsforsøk i B2 som ga en brå økning i grunnvannsnivået. Deretter stabiliserte grunnvannet seg på et lavere nivå, og holdt seg relativt stabilt de første dagene, før det økte mot slutten av pumpeperioden.



Figur 5.15 Grunnvannsnivået i B2 plottet mot nedbør i løpet av de to prøvepumpingsperiodene. Nedbørsdataen er hentet fra Leinstrand målestasjon (DNMI 2015).

5.5.4 Vannkvalitet

Resultatene fra den kjemiske analysen av vannprøvene fra Lena terrasse ble presentert kort i avsnitt 5.4. I tabell 5.7 er analyseresultatene fra alle prøvene som er tatt fra disse to brønnene listet opp. Det vil si en kombinasjon av prøver som ble filtrert i felt og på laboratorium, og prøver som ble tatt ved oppstart og avslutning av hver prøvepumpingsperiode.

Brønnene har tilnærmet lik vannkvalitet for alle analyserte parametere, med unntak av jern. Ved oppstart av prøvepumpingen hadde B3 hele 374 ganger mer jern enn B1. Jerninnholdet økte i løpet av prøvepumpingsperioden, mens de andre parameterne minket (se tabell 5.8).

Tabell 5.7 Resultater fra vannkvalitetsanalyse av B3 og B1 ved Lena terrasse.

Parameter	B3 15.sep (oppstart pumping) F felt/S lab	B3 24.sep (avslutning pumping) F/S lab	B1 7.okt (oppstart pumping) F felt/S lab	B1 7.okt (oppstart pumping) F/S lab	B1 15.okt (avslutning pumping) F/S felt	B1 15.okt (avslutning pumping) F/S lab
Alkalitet	-	4,7	4,7	-	4,8	-
pH	7,3	7,8	7,7	-	7,6	-
Elektrisk ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1210	1140	1190	-	1120	-
Fe (mg/l)	0,974	<0,002	0,0026	<0,002	0,100	<0,002
Mn (mg/l)	0,85	0,597	0,794	0,775	0,570	0,527
Ca (mg/l)	151	139	159	162	147	145
Mg (mg/l)	20,3	18,4	21,2	21,5	19,2	18,5
K (mg/l)	-	7,64	10,8	11,2	8,99	8,72
Na (mg/l)	66,2	48,9	55,2	56,1	44,6	41,9
Cl ⁻ (mg/l)	160	131	-	128	-	112
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	200	160	-	195	-	175
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,021	0,282	-	<0,25	-	0,321

* F = filtrering, S = surgjøring

Tabell 5.8 Økning og minking i de ulike parameterne i B1 fra oppstart (7.okt) til avslutning (15.okt) av prøvepumpingsperioden.

	Filtrert i felt	Filtrert på laboratorium
Fe	3746 % økning	
Mn	28 % nedgang	32 % nedgang
Ca	8 % nedgang	10 % nedgang
Mg	9 % nedgang	14 % nedgang
K	17 % nedgang	22 % nedgang
Na	19 % nedgang	25 % nedgang
Cl		13 % nedgang
SO ₄ ²⁻		10 % nedgang
NO ₃ ²⁻		

5.5.5 Hydrauliske beregninger

Ved hjelp av Thiems-, Theis- og Cooper & Jacobs-metode er data fra pumpetestene ved Lena terrasse brukt til å finne akviferens transmissivitet (T). Pumpeforholdene er illustrert i vedlegg D.1 sammen med utregningene. I tabell 5.9 er resultatene sammenstilt.

Tabell 5.9 Oversikt over beregninger av transmissivitet og magasinkoeffisient

Metode	Transmissivitet (m ² /s)	Magasinkoeffisient
Theim	0,029	-
Theis	0,024	0,041
Cooper & Jacob	0,041	0,016

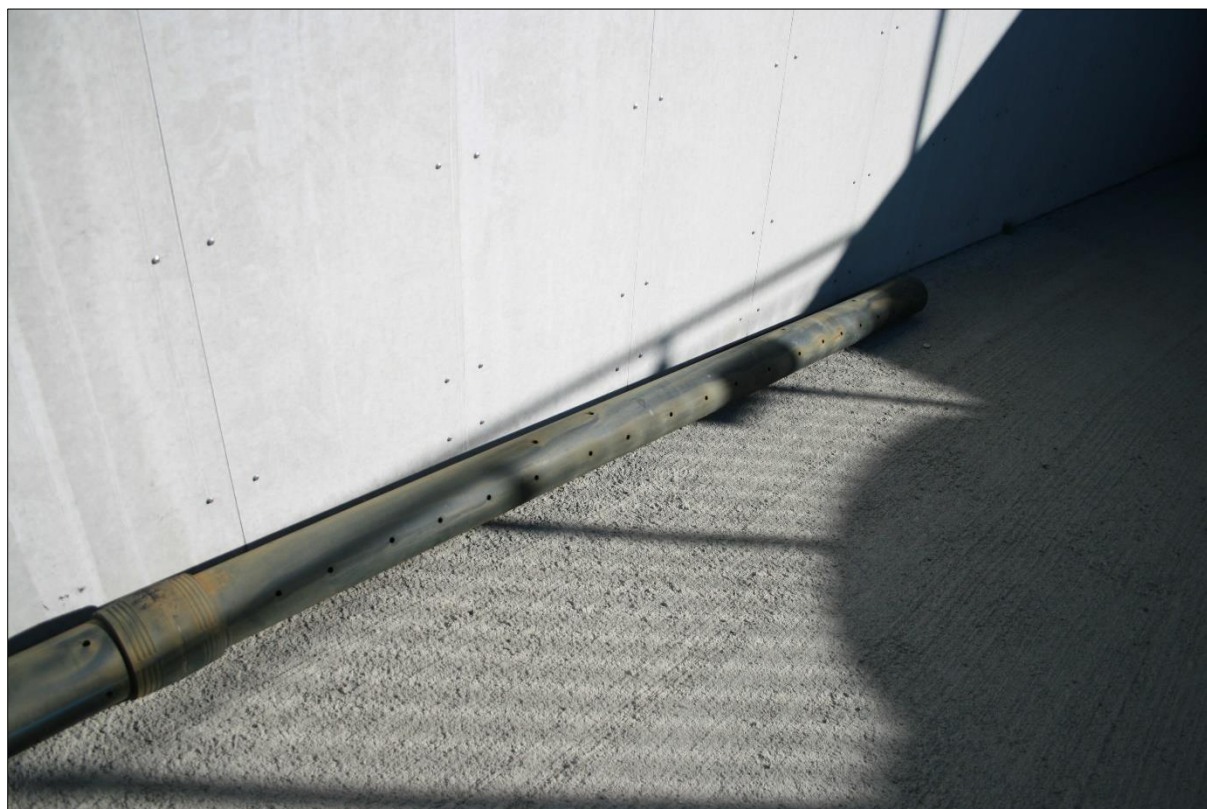
Ved hjelp av ligning 2.8. og et gjennomsnitt av transmissivitetsverdiene, er akviferens hydrauliske konduktivitet beregnet å være ca. 0,001 m/s.

5.6 FELTUNDERSØKELSER VED THORAGÅRDEN

Ved befaring av returbrønnen på Thoragården i mars 2015 ble det gjort følgende målinger:

- Totalt brønndyp: 85,34 meter
- Grunnvannspeilet: 15,90 meter under brønntoppen
- Returrøret: ca. 15 meter langt. Nedre del av røret har flere hull, se figur 5.16

Målingene ble gjennomført ca. to måneder etter spyling av brønnen.



Figur 5.16 Returrøret i returbrønnen ved Thoragården ble tatt ut i forbindelse med spyling av brønnen. Røret er ca. 15 meter langt, og i nedre del er det flere små hull.

5.6.1 Glødetap

Vekt før og etter gløding samt beregnet glødetap er oppgitt i tabell 5.10. Glødetapet var 0,15 % ved gløding på 480 °C og 0,3 % ved gløding på 550 °C.

Tabell 5.10 Glødetap for masseprøven fra returbrønnen på Thoragården. Glødetapet er beregnet etter ligning 4.1.

	Vekt porselensdigel	Vekt digel + masseprøve	Vekt masseprøve	Glødetap
Før gløding	16,7409 gram	19,9598 gram	3,2189 gram	
Etter gløding 480 °C	16,7409 gram	19,9551 gram	3,2142 gram	0,15 %
Etter gløding 550 °C	16,7409 gram	19,9502 gram	3,2093 gram	0,3 %

5.6.2 XRF

Resultatene fra XRF-analysen er vist i tabell 5.11, og refererer til konsentrasjonen i total prøve. Analyseprogrammet som prøven ble kjørt på analyserer kun for de ti elementene som er oppført i tabellen. Siden totalsummen er mindre enn 100 %, betyr det at prøven inneholder en eller flere elementer som ikke er med i analyseprogrammet. Det er ikke gått videre med en fullstendig analyse, siden de resterende elementene ikke er av interesse i forbindelse med gjentettingsproblematikken.

Tabell 5.11 Resultater fra XRF analyse angitt som prosent av total konsentrasjon.

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

6 DISKUSJON

I dette kapittelet diskuteres resultatene fra undersøkelsene. Sammen med litteraturstudiet danner dette grunnlaget for guiden som presenteres i kapittel 7.

6.1 GRUNNVANNSNIVÅET

Ifølge Kirkhusmo og Sønsterud (1988) varierer grunnvannsnivået mest i moreneområder, og en variasjon på 1-3 meter i løpet av et år er vanlig i morenejord. Grunnvannsnivået i Melhus sentrum måles per dags dato kun ved Melhuset. Målingene registreres i meter, men dette er sannsynligvis ikke korrekt, siden det gir en svært stor forskjell (over 20 meter) mellom laveste og høyeste grunnvannsnivå i løpet av ett år. Ved omtale av disse målingene er det derfor valgt å utelate enheten.

Målingene av grunnvannsnivået er presentert i figur 5.1-figur 5.3, samt i vedlegg A. Melhus ligger i innlandet, og ved sammenligning av grunnvannsnivået med figur 2.7 er det kurven for lavlandsområder som passer best til situasjonen i Melhus sentrum. Grunnvannsnivået synker på senvinteren, noe som sannsynligvis henger sammen med tle i bakken og lite nedbør. I perioden april-mai forekommer grunnvannsnivåets maksimum. Dette korresponderer med snøsmeltingsperioden, samt tining av telen. Utover sommeren synker grunnvannsnivået igjen grunnet høye lufttemperaturer (økt evapotranspirasjon) og lite nedbør. Fra august og frem mot slutten av året varierer grunnvannsnivået uten et tydelig mønster. Noen år øker grunnvannsnivået utover høsten, og dette settes i sammenheng med høstnedbøren.

Utviklingen i grunnvannsnivået følger i stor grad kurven for vannføringen ved Gaulfoss, og det er tydelig at flomhendelser i elva korresponderer med økt grunnvannsnivå i akviferen. Dette tyder på at det er kontakt mellom Gaula og akviferen. Om kontakten er direkte eller skyldes trykkpåvirkning ved økt vannføring er usikkert. Dette diskuteres mer omfattende i kapittel 6.6 og av Førde (2015, in prep.).

Figur 5.3 med flerårsfluktuasjoner viser at grunnvannsnivået svinger fra år til år slik som forklart tidligere, men totalt sett er det ingen signifikante endringer i grunnvannsnivået når hele måleperioden ses i ett. Trendlinjen viser en svak nedgang, men dette skyldes trolig lite nedbør de to siste årene, og ikke selve pumpeaktiviteten. Alle anleggene som er etablert etter 1999 infiltrerer vannet tilbake til akviferen. Selv om pumpeaktiviteten har økt, har dermed ikke det totale uttaket fra akviferen økt. Ideelt sett burde målingene av grunnvannsnivået sammenlignes

med målinger fra før pumpeaktiviteten i området begynte, men slike data finnes ikke. Det trengs også en lengre måleserie for å si noe sikkert om pumpeaktivitetens påvirkning på naturlig grunnvannsnivå. Dette betyr at målingene bør fortsette, og så lenge akviferens kapasitet er ukjent, bør eventuelle nye anlegg infiltrere varmevekslet grunnvann.

6.2 GRUNNVANNSTEMPERATUR OG TERMISK BRUDD

Enkeltmålinger av grunnvannstemperaturen i Melhus sentrum viser en variasjon mellom 7,7-10,4 °C. Dersom målingene ses i sammenheng med anleggenes plassering og filterdybde, er det tydelig at temperaturen øker mot sør og med økende filterdybde. Dette er som forventet siden den geotermale gradienten fører til at temperaturen i bakken øker med økende dybde. Ifølge figur 2.8 er gjennomsnittlig grunnvannstemperatur i Melhus-området mellom 5-6 °C, noe som er flere grader lavere enn enkeltmålingene. Forskjellen skyldes trolig en eller flere av følgende faktorer:

1. Lokale variasjoner
2. Skalaforskjell mellom Norgeskartet og Melhus
3. Målingene som presenteres i figur 2.8 er fra 5-15 m dyp, mens filterplasseringen til grunnvannsbrønnene i Melhus sentrum er dypere (varierer mellom ca. 24-86 m dyp)
4. Figur 2.8 viser gjennomsnittlig temperatur, mens målingene foretatt i dette studiet er enkeltmålinger.

Det er uansett ingen tvil om at temperaturen er høy nok til at grunnvannet kan brukes til oppvarmingsformål.

Temperaturen på grunnvannet og infiltrasjonsvannet ved Idegården og Thoragården er registrert over lengre tid ved hjelp av temperaturfølere på brønnrørene (se figur 5.4-figur 5.8). Gjennomsnittlig grunnvannstemperatur i produksjonsbrønnene er henholdsvis 8,8 °C og 9,6 °C. Årsaken til denne temperaturforskjellen kan være naturlig på grunn av ulik dybde på filterplasseringen. Andre potensielle forklaringer er manglende kalibrering av temperaturfølerne, vann som har blitt varmet opp av romtemperaturen når det har stått stille i røret etter flere dager uten pumping, eller ulik grad av påvirkning fra varmt infiltrasjonsvann i sommermånedene. En annen faktor er at disse målingene er enkeltmålinger, og det ene anlegget kan derfor ha flere målinger fra varme dager enn det andre. De siste registrerte målingene fra Thoragården (august-september 2014) viser uvanlig høy temperatur på grunnvannet. Dette skyldes trolig at grunnvannet har blitt varmet opp mens det har stått stille i brønnrøret i en

periode uten pumping. Dette er også med på å øke dette anleggets gjennomsnittlige grunnvannstemperatur.

Ifølge Kirkhusmo og Sønsterud (1988) er grunnvannstemperaturen relativt stabil fra 10-15 m dyp, og tilnærmet lik luftmiddeltemperaturen i området. Brønnfiltrene ved Idegården og Thoragården står fra 40 m dyp, og grunnvannstemperaturen skal i teorien ikke variere i forhold til daglige endringer i lufttemperaturen. Likevel observeres det flere tilfeller der grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønnene varierer fra dag til dag. Med bakgrunn i den dype filterplasseringen, tolkes disse variasjonene som små termiske brudd. I flere tilfeller ser det ut til at svingningene følger utetemperaturen, men dette tolkes som en indirekte sammenheng. Varmeuttaket fra grunnvannet øker når det er kaldt ute, og dermed blir temperaturen på infiltrasjonsvannet lavere. Den termiske koblingen mellom brønnene fører så til at grunnvannet som pumpes opp i produksjonsbrønnen også blir kaldere.

Forekomsten av termisk brudd avhenger av flere parametere, der de viktigste er temperaturforskjellen mellom grunnvannet og infiltrasjonsvannet, brønnavstanden, uttaksmengden og grunnvannets strømningshastighet (Banks 2012). I noen land finnes det grenseverdier for temperaturen på infiltrasjonsvannet og brønnavstanden, men i Norge er det ingen slike krav (Haehnlein et al. 2010). Siden forekomsten av termisk brudd avhenger av så mange ulike faktorer, er det vanskelig å sette grenseverdier for temperaturen på infiltrasjonsvannet og brønnavstanden. Grenseverdiene for disse bør derfor baseres på resultatene fra forundersøkelsene, siden noe annet ikke er oppgitt i lovverket. Når det gjelder temperaturen på infiltrasjonsvannet for anlegg i oppvarmingsmodus, er i praksis det viktigste at vannet ikke avkjøles så mye at det fryser i returbrønnen. Dette betyr at temperaturen kan være ned mot 0 °C uten at det skaper problemer. For å legge inn en sikkerhetsmargin vurderes det som fornuftig at temperaturen ikke er lavere enn 0,5-1 °C. Ved både Idegården og Thoragården er gjennomsnittlig temperatur på infiltrasjonsvannet over 6 °C, og lavest målte temperatur i måleperioden er henholdsvis 1,9 °C og 1,4 °C. Begge anleggene har dermed potensiale til å ta ut mer varme fra grunnvannet. Avstanden fra produksjonsbrønnen til nærmeste returbrønn er ca. 30 meter ved begge anleggene. Siden anleggene opplever tegn til termisk brudd, bør det innføres tiltak for å forhindre videre utvikling av dette. Å bore nye brønner for å øke brønnavstanden er dyrt og tidkrevende, mens justering av temperatursenkningen og uttaksmengden kan gjøres enkelt. For å opprettholde dekningen av effektbehovet må reduksjon av den ene parameteren kompenseres med økning av den andre. Økt temperatursenkning vil gi større temperaturforskjell på infiltrasjonsvannet og grunnvannet,

men med redusert uttaksmengde, vil senkningstrakten bli mindre. Mindre senkningstrakt vil føre til mindre influensradius for produksjonsbrønnen, og dermed reduseres faren for at produksjonsbrønnene trekker på infiltrasjonsvann. Siden begge anleggene har potensiale til å øke temperatursenkningen, kan dette være et aktuelt tiltak. Det er imidlertid ikke sikkert at dette vil fungere, ettersom Førde (2015, in. prep.) sine modelleringer av akviferen viser at det er små senkningstrakter ved anleggene.

For å unngå termisk brudd er det viktig at returbrønnen plasseres nedstrøms for produksjonsbrønnen. I Melhus sentrum er det nå åtte produksjonsbrønner og åtte returbrønner, og disse er fordelt på et lite område (ca. 0,13 km²). I tillegg har grunnvannet både en lokal og en regional strømningsretning som avhenger av dybde. Denne situasjonen gjør at noen av returbrønnene står oppstrøms for nærmeste produksjonsbrønn. Dette kunne vært unngått med en offentlig styring av plasseringen av brønnene. Dette diskuteres nærmere i avsnitt 6.7.

6.3 VANNKVALITET

6.3.1 Prøvetakingsprosedyre for vannprøver

Vannprøver som analyseres for kjemiske parametere skal alltid filtreres i felt for å fjerne finstoff og suspendert materiale som ellers kan føre til mistolking av resultatene (Ramstad & Forbord 2014). De første vannprøvene som ble tatt i forbindelse med dette studiet ble filtrert ved laboratoriet. Følgelig har ioner som ble felt ut i flasken i perioden mellom prøvetakingen og analysen blitt filtrert bort på laboratoriet. Resultatene fra prøvene som ble filtrert på laboratoriet er dermed mindre troverdige enn prøvene som ble filtrert i felt. Det er derfor valgt å kun presentere de sistnevnte prøvene grafisk.

Vannprøver som analyseres for fysiske parametere skal verken filtreres eller surgjøres. Prøver som ble tatt samtidig med de representative kjemiske prøvene er presentert grafisk. Prøvene ble stående i kjøleskap i over en måned før analyse av fysiske parametere, noe som kan ha påvirket resultatene. Alle prøvene har imidlertid høy alkalinitet, og dermed stor evne til å motstå endringer i pH (stor bufferkapasitet) (Brattli 2009). Det antas derfor at den lange oppbevaringstiden sannsynligvis ikke har ført til nevneverdige utslag i analysen. pH-verdiene var innenfor normale verdier for grunnvann. Konduktiviteten var høy, og dette settes i sammenheng med det høye innholdet av ioner.

Ifølge Banks (2012) er det vanlig å utføre mikrobiologisk analyse av grunnvann som skal brukes i grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg for å undersøke potensialet for slamdannelse i anlegget.

I Norge er ikke dette vanlig praksis, og vannprøvene fra Melhus sentrum er derfor ikke analysert for dette. Videoinspeksjonen av den gamle returbrønnen (B2) på Lena terrasse viste store mengder sort slam i brønnfilteret. I tilfeller der det er grunn til å tro at det er høy biologisk aktivitet i grunnvannet, foreslås det derfor å analysere for mikrobiologiske parametere.

6.3.2 Utfellinger

Høy konsentrasjon av jern-, mangan- og kalsiumioner i grunnvannet øker faren for utfelling og gjentetting. For å unngå slike problemer må systemet være lufttett, slik at ionene forblir løst i vannet (Andersson et al. 1984). Analyse av vannprøvene fra Melhus sentrum har påvist relativt høye konsentrasjoner av minst to av disse ionene i alle anleggene. Dette har påvirket driften av anleggene i ulik grad. De største utfellingsproblemene er oppdaget ved det gamle anlegget på Lena terrasse. Her ble både brønnene og varmeveksleren ødelagt etter mange år utfellinger grunnet luft som kom inn i systemet. Det høyeste jerninnholdet er funnet i vannprøven fra Idegården, men ved dette anlegget er det ikke rapportert om utfellingsproblemer. Dette viser at det er mulig drifte et velfungerende anlegg til tross for dårlig vannkvalitet.

For å unngå at luft kommer inn i systemet er det flere forhåndsregler som kan tas. Erfaringene fra det gamle anlegget på Lena terrasse har vist at grunnvannspumpa bør plasseres over øvre filterkant i anlegg der grunnvannsspeilet står i fare for å senkes ned i brønnfilteret. Ideelt sett burde vannsøylen over filteret og grunnvannspumpa være høy. Det er også viktig at returvannet alltid infiltreres under grunnvannsspeilet for å unngå at oksygen blandes inn i vannet før det treffer grunnvannsspeilet. Ellers må kraner, ventiler og lignende holdes lufttett. Filter foran varmeveksleren som skal ta unna suspenderte partikler kan være en kilde til at luft kommer inn i systemet, og det bør derfor gjøres en vurdering på om slike filtre er nødvendig for et anlegg.

Det er ikke gjennomført undersøkelser av innholdet av jernbakterier i grunnvannet, men den høye jernkonsentrasjonen kan tyde på at det er slike bakterier er tilstede. Dersom dette er tilfelle kan anleggene kloreres for å fjerne eksisterende bakterier (Lindblad-Påsse 1986). Ifølge Banks (2012) bør grunnvann med høyt innhold av bakterier desinfisere med UV-stråler før det sendes i returbrønnen. Slike tiltak er ikke vanlige i Norge, men kan vurderes i tilfeller der jernbakterier og slamdannelse er et stort problem.

6.3.3 Korrosjon

Det er registret høyt innhold av natrium, klorid og sulfat i flere av vannprøvene, særlig ved Thoragården. Dette stammer trolig fra utlekking av salt fra marin leire og/eller lommer med marint vann som ble avsatt da området lå under havnivået. Kloridinnholdet er lavest i nord og

øker mot sør. Dette kan skyldes at de sørligste anleggene har dypere brønnfilter og mer tilgjengelig marin leire over seg. Det er også mulig at grunnvannet pumpes fra to ulike lag med ulikt saltinnhold. En annen medvirkende faktor kan være at grunnvannet som mates fra Melhusryggen har vasket ut mye av saltinnholdet i nord. Dette er bare en reel mulighet dersom saltet kommer fra lommer med marint vann. Hvis saltinnholdet tilføres via sig fra marin leire, er det lite sannsynlig at det har blitt vasket ut i løpet av noen få års pumping. Saltet er med på å skape et korrosivt miljø, og dette kan over lengre tid tære ned sentrale deler av anlegget.

6.4 REETABLERING AV ANLEGGET VED LENA TERRASSE

Det er gjennomført korttids testpumping med etterfølgende prøvepumping av B1 og B3 (se kart i figur 4.4) for å finne ut hvilken brønn som skal være produksjonsbrønn og returbrønn når anlegget startes opp igjen. Korttids testpumping av brønnene viste at B3 har mye høyere spesifikk kapasitet enn B1, henholdsvis 30 l/s/m versus 12 l/s/m. Prøvepumping av brønnene med et uttak på ca. 14 l/s i litt over en uke ga en senkning av grunnvannsnivået på 13 cm i B3 og 16 cm i B1. Som det fremgår av figur 5.15 skyldes variasjonen i grunnvannsnivået i løpet av prøvepumpingsperioden en kombinasjon av nedbørsforhold og pumpingen. I avsnitt 6.1 ble det funnet at vannføringen i Gaula også påvirker grunnvannsnivået. Senkningen er imidlertid svært liten i begge brønnene, og begge har høy nok kapasitet til å fungere som produksjonsbrønn og dekke oppgitt effektbehov på 360 kW.

B2 ble brukt som peilebrønn i hele perioden, og viste som forventet en svak respons på uttak og infiltrasjon i de to andre brønnene. Det er ca. 50 meter mellom B1 og B2, og kun 13 meter mellom B2 og B3. Ved pumping fra B3 med infiltrasjon i B1 sank derfor grunnvannsnivået i B2, mens ved pumping fra B1 med infiltrasjon i B3 økte grunnvannsnivået i B2. Den største påvirkningen på grunnvannsnivået i denne brønnen ser imidlertid ut til å skyldes nedbørsforholdene. Det ble gjennomført et infiltrasjonsforsøk i brønnen for å undersøke om den kan fungere som en sekundær infiltrasjonsbrønn. Brønnen ble raskt fylt opp, og hadde dermed svært liten infiltrasjonskapasitet. Det er derfor ikke aktuelt å bruke den til dette formålet, men den kan benyttes som peilebrønn.

Vannkvaliteten i de to brønnene er tilnærmet lik, men B3 har et noe høyere innhold av jern. Asplan Viak (2014) har besluttet at B3 skal benyttes som produksjonsbrønn og B1 som returbrønn. Dette begrunnes med at B3 har større spesifikk kapasitet og dypere plassering av filteret. Høy vannsøyle over filteret reduserer faren for at grunnvannsspeilet senkes ned i filteret og faren for at grunnvannspumpa tar inn luft. Et annet argument er at B1 har dobbelt så langt

brønnfilter (10 meter mot 5 meter), noe som vil gi en lavere belastning på filteret slik at denne brønnen egner seg bedre som returbrønn.

Resultatene fra testpumpingen av B3 er brukt til å beregne akviferens transmissivitet, magasinkoeffisient og hydrauliske konduktivitet. Slike beregninger skal ideelt sett baseres på data fra to peilebrønner, men siden dette ikke finnes ved Lena terrasse ble det brukt senkningsdata fra B2 og B3. Det er også en usikkerhet knyttet til at uttaksmengden ikke er målt direkte for alle trinnene. Beregningene er derfor ikke helt presise, men fungerer som veiledende verdier. Den hydrauliske konduktiviteten er beregnet til å være ca. 0,001 m/s, som tilsvarer en løsmasstype i grensesjiktet mellom sand og grus (se figur 2.6). Dette stemmer overens med borelogger og tidligere beskrivelser av akviferen.

6.5 EVALUERING AV RETURBRØNNEN PÅ THORAGÅRDEN

Ved en befaring på Thoragården ble det funnet at grunnvannsspeilet ligger på ca. samme nivå som enden på returrøret i returbrønnen. Det betyr trolig at infiltrasjonsvannet i perioder blandes med oksygen før det treffer vannspeilet. Dette kan føre til utfellinger og gjentetting av brønnfilteret, og er en mulig årsak til brønnens reduserte kapasitet. For å undersøke dette nærmere er det gjennomført en analyse av masser som ble avsatt i brønnkummen ved spyling av brønnen. Formålet med analysen var å undersøke om masseprøven hadde unormalt høy konsentrasjon av organisk materiale, jern, mangan og/eller kalsium som kan ha tettet igjen brønnfilteret. Resultatene viste at prøven inneholdt mindre enn 1 % av både organisk materiale og manganoksid (MnO), og litt under 4 % av både jernoksid (Fe_2O_3) og kalsiumoksid (CaO). Dersom brønnen hadde vært utsatt for betydelig utfelling, ville det trolig vært høyere konsentrasjoner av disse stoffene. Dette tyder på at resultatene representerer løsmassenes bakgrunnsverdier, og at det er lite eller ingen bidrag fra utfellinger. Det er imidlertid flere svakheter med denne prøvemethoden. Masseprøven var kun et biprodukt av spylingen, og den ble i utgangspunktet ikke tatt med hensyn på en slik analyse. Dersom det er utfellinger i brønnfilteret, er det heller ikke sikkert at de ble fanget opp i masseprøven. Analysen kan derfor ikke utelukke at den reduserte kapasiteten skyldes utfellinger.

Totalt brønndyp ble i felt målt å være 85,34 meter, det vil si 1,26 meter kortere enn det som står oppført i brønnskissen (86,6 meter). Dette kan bety at brønnskissen angir feil dybde, eller at den nedre delen av brønnen er fylt opp med suspenderte partikler slik som det beskrives av Barkman og Davidson (1972). Dersom dette stemmer, må det undersøkes hvordan materialet kommer inn i brønnen. En potensiell forklaring er dårlig utforming av produksjonsbrønnen, slik

at sand tilføres fra denne. Dette anses som usannsynlig, siden det er et filter foran varmeveksleren. Hadde det vært betydelig tilførsel av suspendert materiale som ikke fjernes av filteret ville det oppstått problemer med varmeveksleren, men det er ikke rapportert om dette. En annen mulig årsak er at dårlig filtervasking og/eller for stor lysåpning i filteret har ført til at partikler har strømmet inn i brønnen ved undertrykk. Ideelt sett skal det aldri forekomme undertrykk i returbrønnen, men dette kan ha skjedd da det var strømstans og anlegget ble stående stille i flere timer. Problemene med kapasiteten oppsto etter denne episoden. Lysåpningen i brønnfilteret er 1 mm, mens kornstørrelsen til masseprøven er silt-finsand (visuell vurdering). Det er dermed mulig at disse massene har kommet inn fra utsiden av brønnen. En annen mulighet er for dårlig tetting mellom brønnrøret og filteret.

6.6 AKVIFERENS UTBREDELSE OG KAPASITET

Løsmassenes oppbygning i Melhus sentrum er ikke fullstendig kartlagt. Både isbreens bevegelser med skyvning av løsmassene fram og tilbake og skredhendelsene i Middelalderen, har ført til en komplisert oppbygning som varierer over små avstander (Hansen et al. 2007; Solberg et al. 2014). Borelogger og filterplasseringen viser at et gruslag skrår nedover i grunnen fra nordøst mot sørvest, men det er usikkert om dette gruslaget er sammenhengende, eller om det er delt i to eller flere deler. I Førde (2015, in. prep.) sin modellering er det tatt utgangspunkt i at gruslaget danner én akvifer, men dette kan være en forenkling av de faktiske forholdene. I både Førdes modelleringer og de hydrauliske beregningene i dette studiet antas det at akviferen er lukket. Dette begrunnes med det tykke leirlaget som ligger over sentrum, og den høye andelen av løste ioner i grunnvannet. Ved sammenligning av grunnvannsnivået (data fra Melhuset) og vannføringen ved Gaulfoss ble det funnet en tydelig sammenheng mellom disse to parameterne. Målingene av grunnvannsnivået i B2 i løpet av prøvepumpingsperioden på Lena terrasse viste at det også er en sammenheng mellom grunnvannsnivået og nedbøren. Samspillet mellom grunnvannsnivået, vannføringen i Gaula og nedbøren peker mot at akviferen kan være åpen eller lekkende. En annen forklaring er at det er trykkpåvirkning mellom Gaula og akviferen, noe som er mulig for en lukket akvifer. For å få et sikkert svar på dette må det gjennomføres flere undersøkelser i sentrum og mellom sentrum og Gaula.

Det finnes heller ingen sikker informasjon om hvor mektig akviferen er. Antagelsen om en mektighet på 30 meter som ble gjort ved beregningen av hydraulisk konduktivitet ved hjelp av data fra B3 på Lena terrasse er konservativ.

Det er flere faktorer som peker mot at akviferen har høy kapasitet:

- Den hydrauliske konduktiviteten og transmissiviteten beregnet ved hjelp av data fra Lena terrasse er høy
- Senkningen som oppstod i løpet av prøvepumpingsperioden på Lena terrasse var svært liten for begge brønnene (13 cm og 16 cm)
- Det er ikke registrert betydelig nedgang i grunnvannsnivået fra 2003 til 2014
- Det er ikke registrert setningsskader ved noen av byggene i Melhus sentrum

Akviferens utbredelse og kapasitet diskuteres mer omfattende av Førde (2015, in prep.).

6.7 FORSLAG TIL OPTIMALISERING AV DRIFTEN AV ANLEGGENE

Av de åtte anleggene i Melhus sentrum er det noen som har fungert veldig bra, mens andre har hatt problemer av varierende grad. Utover undersøkelsene som ble gjort av NGU ved Lena terrasse i 2000, er det ingen hydrogeologer som har vært involvert i prosjekteringen av anleggene. Etableringen av brønn delen av anleggene har derfor vært relativt tilfeldig med tanke på de hydrogeologiske forholdene. Ifølge Ramstad (2014) er det vanlig at hydrogeologer kontaktes etter at et anlegg er bygd og problemer har oppstått. Dette stemmer overens med erfaringene fra Melhus, der hydrogeologer er kontaktet i forbindelse med problemene som har oppstått med anleggene på Lena terrasse og Thoragården.

Flere av grunnvarmeanleggene i Melhus sentrum har et stort potensial for optimalisering av driften. Problemer har oppstått både i forbindelse med grunnvannskvaliteten og uheldig utforming av anleggene. Etter hvert som antall anlegg har økt, har også faren for at anleggene ødelegger for hverandre økt. Dette gjelder med hensyn til akviferens tålegrense og faren for termisk brudd. Et eksempel på dette er Idegården og Buen. Avstanden mellom Idegårdens produksjonsbrønn og den ene returbrønnen på Buen er bare 30 meter. Dette tyder på at det ikke ble tatt hensyn til naboanlegget ved etablering av returbrønnen på Buen.

Ideelt sett burde det vært en form for offentlig styring for etablering av grunnvarmeanlegg i Melhus sentrum. I stedet for mange anlegg med egne brønner, kunne det blitt etablert et eller to store brønnfelt med hvert sitt par av produksjonsbrønner og returbrønner. Varmen kunne så blitt fordelt ut til byggene fra en felles driftssentral. En slik løsning ville vært mer oversiktlig og lettere å håndtere, og i tillegg redusert faren for termisk brudd. Dagens situasjon er imidlertid mer komplisert, med åtte anlegg som styres hver for seg uten å ta hensyn til naboanleggene og

deres brønnplassering. I det neste delavsnittet gis generelle forslag til optimalisering av driften som gjelder alle anleggene. Videre gis det konkrete forslag til hvert enkelt anlegg.

6.7.1 Generelle råd

Grunnet høyt innhold av ioner som fremmer både utfelling og korrosjon, må alle anleggene holdes lufttette. I delkapittel 6.3.2 ble det presentert forslag til hvordan dette kan oppnås.

Hvert anlegg bør ha måleinstrumenter som registrerer uttaksmengden, grunnvannsnivået, temperaturen på grunnvannet og infiltrasjonsvannet, trykknivået i systemet, og levert effekt fra grunnvannet. Dette er de viktigste parameterne som sier noe om anleggets driftstilstand i forhold til de hydrogeologiske forholdene. Dersom et anlegg ikke har alle disse måleinstrumentene, anbefales det å installere de som mangler. For å få en bedre oversikt over grunnvannsnivået i området bør det etableres flere peilebrønner med automatisk avlesning (nivåmåler) jevnt fordelt i sentrum. Ved gjentetting av brønnfilteret i produksjonsbrønner og returbrønner vil forskjellen mellom grunnvannsnivået i produksjons-/returbrønnen og peilebrønnene øke utover normalen. Med flere peilebrønner blir det dermed lettere å oppdage dersom en produksjonsbrønn eller returbrønn utsettes for gjentetting.

Instrumentene kobles til SD-anlegget der målingene leses av og lagres automatisk. Hyppigheten av avlesningen varierer for hver parameter. Uttaksmengde, temperatursenkning og levert effekt svinger i henhold til oppvarmings/avkjølingsbehovet, og bør derfor leses av ofte, minst en gang i timen. Grunnvannsnivået og trykket i systemet er mer stabilt, og trenger kun å leses av noen ganger i løpet av døgnet, f.eks. hver fjerde time. Ved hjelp av en algoritme kan dataene presenteres automatisk i tabeller og som grafer. Grafisk fremstilling gjør det enklere å legge merke til eventuelle avvik fra normalen, og potensielle problemer oppdages tidligere.

Alle anleggene bør også ha en tappekran der det kan tas ut vannprøver for analyse. Det anbefales at det tas vannprøver minst en gang i året, helst hvert kvartal. Dette vil gi en god oversikt over grunnvannskvalitetens utvikling over tid.

6.7.2 Lenavegen 3

- Det anbefales å gjennomføre en videoinspeksjon av den gamle produksjonsbrønnen for undersøke om brønnen faktisk har kollapset, eller om det er mulig å rehabilitere den. Dersom den rehabiliteres vil den fungere som en reservebrønn hvis det oppstår problemer med dagens produksjonsbrønn, og som peilebrønn.

6.7.3 Melhuset

- Melhuset er det eneste anlegget i Melhus sentrum som har en nivåsensor som registrer grunnvannsnivået i produksjonsbrønnen. For å forbedre disse målingene må sensorens plasseringen i brønnen lokaliseres nøyaktig, og det må undersøkes hva som er riktig enhet for målingene.
- Det er oppdaget et 1 cm-tykt lag med rust i returrøret rett etter varmeveksleren (se figur 5.12b). Dersom mye jern felles ut i selve varmevekslern vil den etter hvert ødelegges. For å unngå videre jernutfellinger må stedet der luft kommer inn lokaliseres og tettes.

6.7.4 Lena terrasse

- Driftsstansen i 2009 skyldes at både brønner og varmevekslere var tettet igjen av utfelt jern og sort slam. Det er derfor svært viktig at anlegget holdes lufttett når det startes opp igjen.
- Det anbefales å rense B2 og bruke den som peilebrønn

6.7.5 Idegården

- Grunnvarmeanlegget ved Idegården viser tegn til termisk brudd. For å redusere dette kan et mulig tiltak være å redusere uttaksmengden, og øke temperatursenkningen. Med minket uttaksmengde vil senkningstrakten bli mindre, slik at sannsynligheten for termisk brudd reduseres.

6.7.6 Oterholmgården

- I løpet av det første driftsåret ved Oterholmgården hadde returbrønnen problemer med å ta unna alt infiltrasjonsvannet. For å imøtekomme dette problemet ble det installert en frekvensomformer for å styre grunnvannspumpa etter varmepumpas behov. Dette har på den ene siden vært vellykket, men på den annen side fører det til at grunnvannspumpa stopper og starter ofte. Dette øker sjansen for at luft kommer inn i systemet. Det anbefales derfor å aldri stoppe pumpingen helt, men i stedet å justere uttaket til et minimum når varmebehovet er lavt.

6.7.7 Thoragården

- Det er gjennomført innledende undersøkelser for å finne årsaken til returbrønnens reduserte kapasitet. Det anses som mulig at silt-finsand har fylt opp den nedre delen av brønnen. Muligheten for utfellinger i brønnfilteret er imidlertid ikke utelukket. Det anbefales å undersøke brønnen med videoinspeksjon for å få et endelig svar på hvorfor

kapasiteten er redusert. Når årsaken er funnet, må det vurderes hvordan denne brønnen kan rehabiliteres på best mulig måte.

- Grunnvannspeilet ligger ca. 15,90 meter under brønntoppen, mens returrøret er ca. 15 meter langt. I perioder med lavt grunnvannsnivå vil vannet falle fritt før det når vannspeilet. I tillegg er det funnet små hull i returrøret. En slik utforming fører til at oksygen blandes inn i infiltrasjonsvannet. Ved rehabilitering av brønnen må derfor returrøret byttes ut med et lengre rør uten hull (minst 20 meter).
- Det er også mulig at luft kommer inn i systemet ved spyling av brønnfilteret. Dersom det viser seg at returbrønnens reduserte kapasitet skyldes utfelling, må det gjøres en vurdering av om filteret bør fjernes.
- Ved Thoragården er det i likhet med Idegården tegn til termisk brudd. For å redusere dette kan et mulig tiltak være å redusere uttaksmengden, og øke temperatursenkningen. Med minnet uttaksmengde vil senkningstrakten bli mindre, slik at sannsynligheten for termisk brudd reduseres.

6.7.8 Buen

- Det er ikke rapportert om problemer med grunnvarmeanlegget ved Buen. Det henvises derfor til avsnitt 6.7.1 for generelle råd for optimalisering av driften.

6.7.9 Høvdingen

- I mars 2015 ble det gjennomført prøvestart av anlegget ved Høvdingen. Vannet ble først sendt direkte gjennom systemet, men dette førte til at filteret foran varmeveksleren ble tettet igjen i løpet av noen få minutter. For å unngå dette burde vannet blitt sendt direkte til returbrønnen eller i avløp i løpet av de første timene.
- Henviser til avsnitt 6.6.9 for generelle råd.

7 GUIDE FOR ETABLERING AV GRUNNVANNSBASERTE GRUNNVARMEANLEGG

Grunnvannsbaserte grunnvarmeanlegg utnytter den stabile temperaturen i grunnvann, som sammen med en væske-til-vann varmpumpe brukes til oppvarmings- og avkjølingsformål i bygninger. Slike anlegg er lønnsomme både med hensyn på miljø og økonomi, og har siden slutten av 90-tallet fått økende popularitet i Norge. Denne guiden er en kortfattet oppsummering av anbefalt fremgangsmetode når man ønsker å etablere slike anlegg. Hovedfokuset er rettet mot de hydrogeologiske forholdene.

7.1 FORUNDERSØKELSER

Forundersøkelser danner grunnlaget for vellykket prosjektering av et anlegg, og ledes av hydrogeolog. Undersøkelsene brukes blant annet til å finne best mulig plassering og dimensjonering av brønnene, maksimal uttaksmengde og tilgjengelig temperatursenkning. Under gis en kortfattet og punktvis oppsummering av anbefalt fremgangsmetode for forundersøkelser:

- *Kart- og rapportstudier, og innledende kartlegging:* Forundersøkelsene innledes med arbeid fra kontoret, der tilgjengelige kart og rapporter gjennomgås for å undersøke om området har geologiske forhold som tilsier at grunnvann i betydelige mengder og høy nok temperatur kan være tilgjengelig. Deretter gjøres en innledende kartlegging av hele eller deler av området for å få en oversikt over geologiske- og hydrogeologiske forhold.
- *Overslagsberegninger:* Videre gjøres det overslagsberegninger for uttaksmengde grunnvann (Q) og temperatursenkning (ΔT) som er nødvendig for å imøtekomme byggets effektbehov etter følgende ligning: $G = Q \times \Delta T \times S_{VCvann}$
- *Geofysiske undersøkelser:* Geofysiske undersøkelser samler inn informasjon om det som finnes under terrengoverflaten uten å ta ut en fysisk prøve. Dette gjør at store områder kan undersøkes raskt til en relativt lav kostnad. Vanligst for grunnvannsundersøkelser er georadar, men også andre metoder som for eksempel resistivitetsmetoden og seismikk kan brukes.
- *Sonderboring og undersøkelsesbrønner:* Sonderboringer letter tolkningen av de geofysiske undersøkelsene, og gir en sikrere tolkning av løsmassetypen. Dersom

resultatene er tilfredsstillende settes det ned undersøkelsesbrønner. Fra disse tas det vannprøver og masseprøver, og det gjennomføres korttids kapasitetstest.

- *Fullskala brønnboring, korttids- og langtids testing av kapasitet, og vannprøvetaking:* Resultatene fra undersøkelsene som er gjort hittil brukes til å finne den beste plasseringen og dimensjoneringen av brønnene. Når de endelige brønnene er boret må det gjennomføres korttids testpumping og lengre tids prøvepumping for å undersøke korttids- og langtidskapasitet. Prøvepumpingen bør omfatte en tørr periode slik at data for lavt grunnvannsnivået blir med i måleserien. I løpet av pumpeperioden tas det vannprøver for å undersøke vannkvaliteten og dens utvikling over tid. I Norge undersøkes hovedsakelig fysiske og kjemiske parametere, men også mikrobiologiske parametere kan være aktuelt å undersøke dersom det er grunn til mistanke om høy mikrobiologisk aktivitet i området. Valg av materialer i brønner og varmevekslere gjøres med hensyn på vannkvaliteten.

7.2 ETABLERING

Før et anlegg kan startes opp må det undersøkes om det er konsesjonspliktig. Ved tvil kan det sendes en melding til vassdragsmyndigheten (NVE) for vurdering av konsesjonspliktigheten. Hvis uttaket viser seg å være konsesjonspliktig må det sendes en fullstendig konsesjonsøknad til NVE. Det er ulovlig og straffbart å iverksette konsesjonspliktige tiltak uten konsesjon.

Alle større bygg i Norge har krav til at FDV-dokumentasjon skal foreligge ved ferdigattest av et bygg. Dokumentasjonen er knyttet til ulike aktiviteter som skal sørge for å opprettholde god kvalitet i bygget. For et grunnvannsbasert grunnvarmeanlegg er det viktig at brønndelen av anlegget er godt dokumentert. Under følger et forslag til oversiktlig oppsett for dette, og i vedlegg E vises det eksempler på de ulike delene hentet fra ulike anlegg i Melhus sentrum.

1. Sammendrag av resultatene fra forundersøkelsene
2. Borerapport/borelogg
3. Skjema med brønnsesifikasjoner og prinsipiell skisse av produksjonsbrønnen og returbrønnen.
4. Produktdatablad for grunnvannspumpa (inkl. prosjektert uttaksmengde)
5. Produktdatablad for varmepumpa (inkl. prosjektert temperatursenkning)

I tillegg til de fem ovennevnte punktene bør alle relevante rapporter fra forundersøkelsesperioden legges med til slutt. Informasjonen bør være tilgjengelig både digitalt

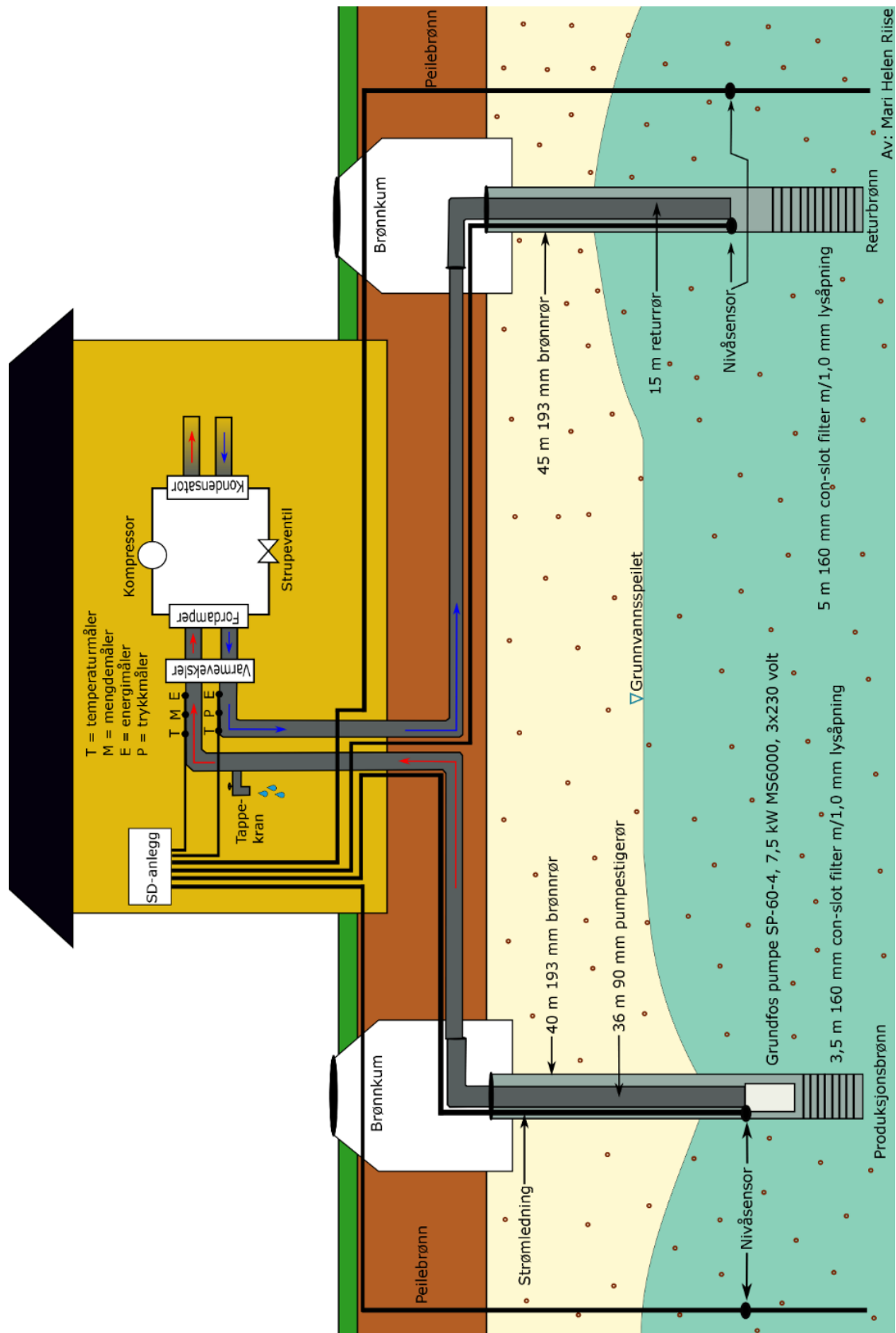
og i en perm. Når alt ligger på ett sted blir det enklere å gå gjennom og undersøke årsaken til eventuelle problemer som oppstår i driftsperioden.

7.3 OPPFØLGING I DRIFTSFASEN

Når anlegget er i drift er det svært viktig at det overvåkes kontinuerlig og følges opp på en god måte. I tabell 7.1 listes det opp anbefalte måleinstrumenter, hvor de bør plasseres, hva de brukes til, og hvor ofte de bør leses av. Avlesningen foregår automatisk gjennom et SD-anlegg. I figur 7.1 vises et eksempel på en fiktiv brønnskisse med plassering av de ulike måleinstrumentene.

Tabell 7.1 Overvåkingsinstrumenter.

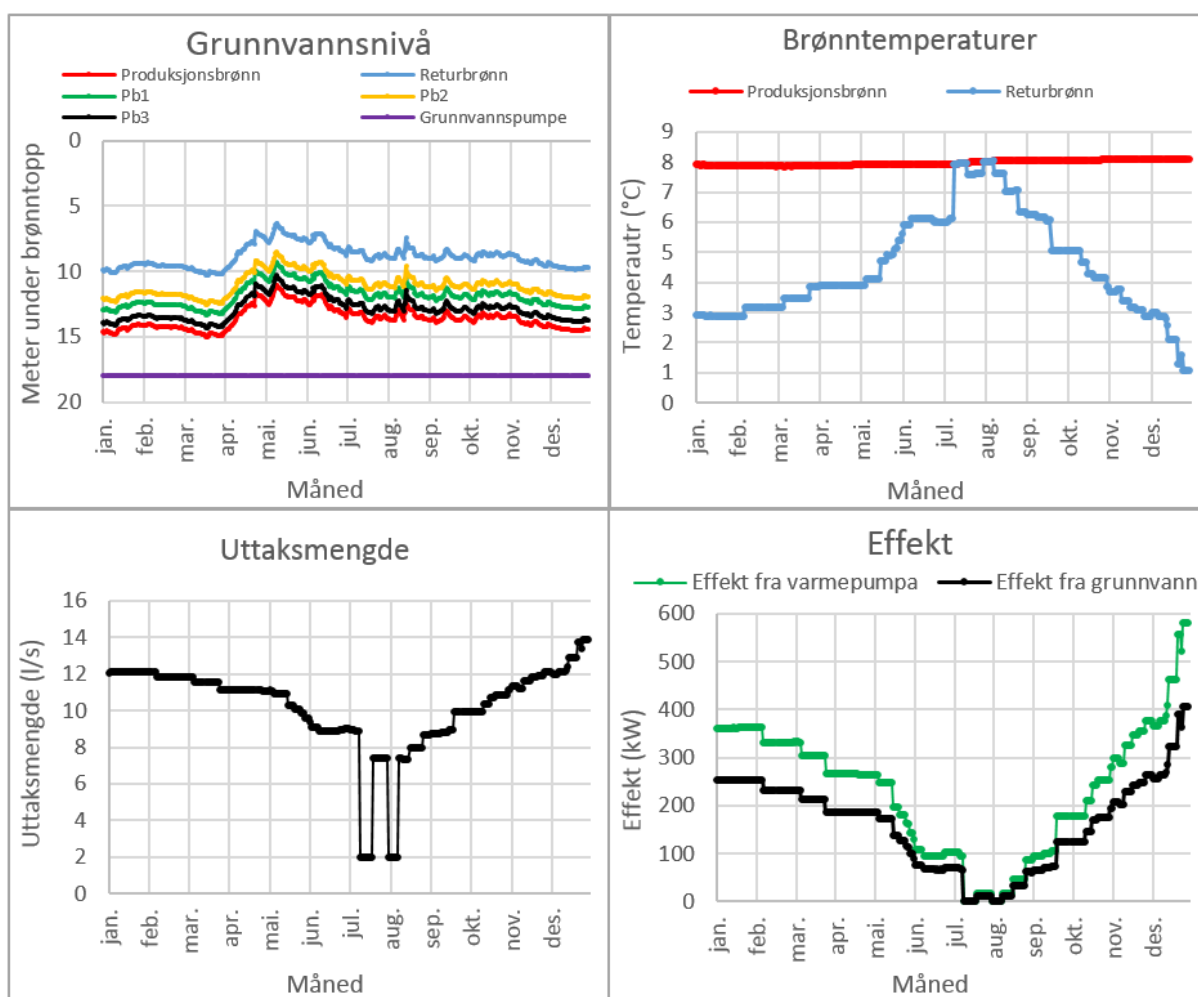
Type instrument	Plassering	Bruk	Avlesning
Mengdemåler	Produksjonsbrønnrøret	Kontrollerer hvor mye vann som pumpes ut av akviferen	Minst 1 gang/time
Nivåsensor/ Trykktransmitter	I produksjonsbrønnen, returbrønnen og eventuelle peilebrønner	Registrerer grunnvannsnivået. Differansen mellom grunnvannsnivået i produksjonsbrønnen/returbrønnen og peilebrønnene bør være tilnærmet konstant. Dersom differansen øker over tid, må brønnene undersøkes for mulig gjentetting	4-8 ganger/døgn
Temperaturføler	Produksjonsbrønnrøret og returbrønnrøret foran varmeveksleren	Måler temperaturen på oppumpet grunnvann og infiltrasjonsvann. Spesielt viktig å måle temperaturen på infiltrasjonsvannet slik at det aldri infiltreres for kaldt eller for varmt vann. For å unngå at vannet fryser i returbrønnen, anbefales det at temperaturen aldri faller under 0,5-1 °C	Minst 1 gang/time
Energimåler	Produksjonsbrønnrøret og returbrønnrøret foran varmeveksleren	Kontrollerer hvor mye energi som hentes ut fra grunnvannet	Minst hvert 10. minutt
Trykkmåler	På returbrønnrøret foran varmeveksleren	Kontrollerer trykkforholdene i systemet. Trykket må være jevnt helst et lite overtrykk for å holde gasser løst i vannet. Ved dårlig filtervasking vil overtrykk hindre at partikler strømmer fra akviferen og inn i brønnfilteret.	Minst 1-2 ganger/døgn
Tappekran	Produksjonsbrønnrøret	For å ta vannprøver	Anlegg som fungerer godt: 1 vannprøve/år. Anlegg med problemer: 1 vannprøve hvert kvartal.



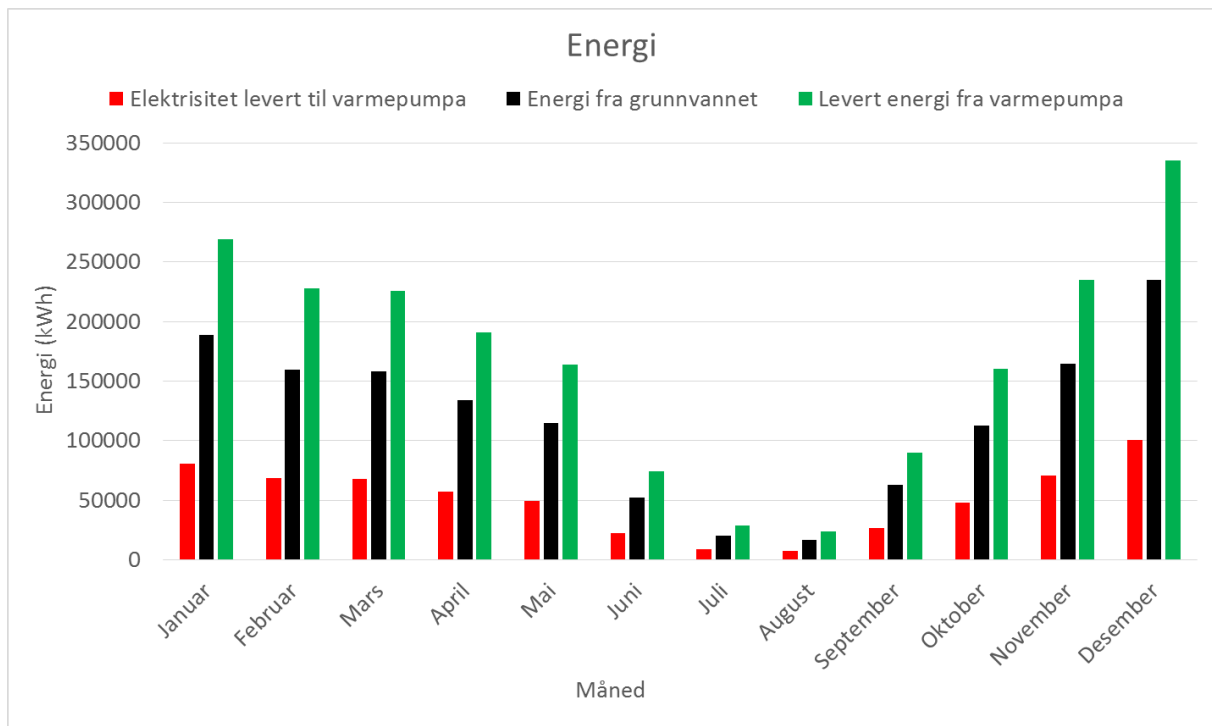
Figur 7.1 Fiktivt eksempel på prinsipiell skisse av brønn delen til et grunnvannsbasert grunnvarmeanlegg.

Instrumentene kobles til et SD-anlegg der målingene leses av automatisk og lagres. Dataene presenteres som momentane verdier både i tabeller og grafisk, slik at utviklingen over tid kommer tydelig frem. Lengden på en tidsserie justeres manuelt. Et slikt oppsett gjør det enkelt for vaktmesteren å oppdage om noen av parameterne avviker fra normalen. Avvik representerer potensielle problemer, og bør undersøkes umiddelbart. Prosjekterende hydrogeolog og varmepumpeprosjekterende bør ha tilgang til SD-anlegget for tilleggsoppfølging.

I figur 7.2 og figur 7.3 vises et eksempel fra et fiktivt SD-anlegg der de viktigste parameterne er fremstilt grafisk. SD-anlegget bør i tillegg ta inn data om nedbør og utetemperatur fra nærmeste værstasjon.



Figur 7.2 Fiktivt eksempel på hvordan grafer kan presenteres i SD-anlegget.



Figur 7.3 Fiktivt eksempel på hvordan oversikt over energifordelingen kan presenteres i SD-anlegget.

Resultatene fra vannkvalitetsanalysen plottes fortløpende i et diagram etter hver prøvetaking. Ioner som fremmer utfelling (jern, mangan og kalsium) plottes ved siden av hverandre, det samme gjør ioner som fremmer korrosjon (natrium, klorid og sulfat). I tillegg bør grenseverdier legges inn som en indikator for hvor store konsentrasjoner som kan tolereres for hver parameter. Et fiktivt eksempel er vist i figur 7.4, med grenseverdier hentet fra Drikkevannsforskriften. Grunnvann til grunnvarmeanlegg omfattes ikke av kravene i Drikkevannsforskriften, men grenseverdier som er satt på grunn av bruksmessige problemer kan fungere som veiledende verdier for slike anlegg.



Figur 7.4 Eksempel på presentasjon av vannanalyser. Jern, mangan og kalsium fremmer utfellinger, mens natrium, klorid og sulfat fremmer korrosjon.

7.4 UTFORDRINGER OG LØSNINGER

Under følger en punktvis liste over potensielle utfordringer og hvordan disse kan løses.

- Vannkvalitet:** Jern-, mangan- og kalsiumioner som er løst i grunnvannet vil i kontakt med luft oksidere og felle ut. Dette kan over tid føre til gjentetting av brønner, varmeveksler og varmepumpe. Salter som klorid og sulfat øker grunnvannets korrosjonspotensial, og oppløst oksygen fremmer korrosjon. Av hensyn til både gjentettingsfare og korrosjon er det derfor svært viktig at hele systemet holdes lufttett. For å hindre lufttilgang må det sikres at alle kraner, ventiler og lignende er lufttette. Grunnvannsnivået må aldri senkes ned i filteret i produksjonsbrønnen. I grunne brønner med lav vannsøyhle over brønnfilteret er det viktig at grunnvannspumpa plasseres over øvre filterkant. Returrøret i returbrønnen må være så langt at vannet alltid infiltreres under grunnvannsnivået. Filter som skal fjerne suspenderte partikler før varmeveksler

kan være årsak til at luft kommer inn i systemet. Dersom grunnvannet har egenskaper som øker faren for gjentetting eller korrosjon må det derfor gjøres en vurdering på om et slikt filter er nødvendig, eller om anlegget totalt sett vil fungere bedre uten.

- *Brønnutforming:* Både produksjonsbrønnen og returbrønnen må filtervaskes og utformes slik at de ikke tar inn partikulært materiale. Det er viktig at det alltid er et overtrykk i returbrønnen, slik at gasser holdes løst i vannet. I tilfeller der filtervaskingen er for dårlig og/eller lysåpningen for stor, vil overtrykk forhindre partikulært materiale i å komme inn gjennom brønnfilteret fra akviferen.
- *Termisk brudd:* Termisk brudd vil si at det skjer en kobling mellom varmevekslet infiltrasjonsvann og grunnvannet som pumpes opp i produksjonsbrønnen. Dette vil redusere anleggets levetid. Forekomsten av termisk brudd avhenger av faktorer som avstanden mellom brønnene, temperaturforskjellen mellom grunnvannet og infiltrasjonsvannet, uttaksmengden, og grunnvannets strømningshastighet. I Norge er det ingen krav til grenseverdier for disse parameterne, og dette må derfor vurderes for hvert enkelt anlegg basert på resultatene fra forundersøkelsene. Returbrønnen må alltid etableres nedstrøms for produksjonsbrønnen.
- *Setninger og hiv:* I sjeldne tilfeller kan grunnvannsuttak føre til setninger i området rundt produksjonsbrønnen og hiv i området rundt returbrønnen. For å unngå dette må grunnvannsnivået overvåkes kontinuerlig, slik at pumpingen kan reguleres hvis grunnvannsnivået blir unormalt lavt eller høyt.

Guiden er basert på litteraturstudiet i kapittel 2 og erfaringer fra Melhus sentrum. Referanser oppgis i kapittel 10.

8 KONKLUSJON

Hovedpunktene fra undersøkelsene i Melhus sentrum og guiden er følgende:

- *Forundersøkelser:* Ved etablering av et grunnvannsbasert grunnvarmeanlegg bør det gjennomføres hydrogeologiske forundersøkelser. I Melhus sentrum er det kun gjennomført forundersøkelser ved Lena terrasse, og hydrogeolog var ikke involvert i selve prosjekteringen av verken dette eller noen av de andre anleggene. Manglende hydrogeologisk fagkompetanse har ført til at flere av anleggene ikke driftes optimalt. Ved både Lena terrasse og Thoragården har det oppstått så store problemer at anleggene har vært ute av drift i en periode. Ved Lena terrasse skyldes dette utfellinger, mens ved Thoragården er sannsynligvis årsaken utfellinger og/eller oppfylling av silt-finsand i returbrønnen (dårlig brønnutforming).
- *Etablering:* Konesjonspliktige anlegg må sende konsesjonssøknad til NVE og få denne innvilget før et anlegg kan settes i drift. I Melhus sentrum er det ikke søkt om konsesjon for uttak og infiltrasjon av grunnvann ved noen av anleggene.
Når anlegget er ferdigstilt må det foreligge FDV-dokumentasjon som inneholder informasjon om brønnen delen av anlegget. Innholdet i FDV-dokumentasjonen for anleggene i Melhus er varierende, og det var ved flere anlegg vanskelig å få tak i ønsket informasjon. Det er derfor laget et forslag til et oppsett av FDV-dokumentasjonen for brønnen delen av et anlegg. Dette inkluderer sammendrag fra forundersøkelsene, borelogg, brønnspeifikasjoner, prinsipiell skisse av brønnen delen av anlegget, og produktdatablad for grunnvannspumpa og varmpumpa. Til slutt bør alle relevante rapporter fra forundersøkelsene legges ved. Hele FDV-dokumentet bør være lett tilgjengelig i perm og digitalt.
- *Oppfølging:* I driftsfasen må anlegget følges opp kontinuerlig av vaktmester. Det anbefales å installere måleinstrumenter som registrerer grunnvannsnivå, uttaksmengde, grunnvannstemperatur, energiuttak på grunnvannssiden, og trykknivå i systemet. Det bør også være tappekraner med mulighet for å ta vannprøver. Alle anleggene i Melhus sentrum følges opp av vaktmester, men ingen av anleggene har alle de anbefalte måleinstrumentene. Per dags dato registreres dataene fra de ulike måleinstrumentene i et SD-anlegg i noen få dager, før informasjonen går tapt. Det anbefales å registrere all data automatisk og lagre disse permanent, slik at det blir mulig å gå tilbake i tid for å undersøke utviklingen i de ulike parameterne.

- *Utfordringer:* Det er i dette studiet funnet flere potensielle kilder til problemer som kan oppstå for et anlegg:
 - *Grunnvannskvalitet:* Det mest fremtredende problemet i Melhus sentrum er dårlig grunnvannskvalitet. Grunnvannet har relativt høy konsentrasjon av jern, mangan, kalsium, natrium, klorid og sulfat. Ved kontakt med luft kan disse ionene føre til problemer med utfellinger og korrosjon, og dermed redusere et anleggs kapasitet. For å unngå dette må anlegget holdes lufttett, og brønnmaterialene velges i henhold til vannkvaliteten.
 - *Uheldig brønnutforming:* Brønner kan også tettes igjen av suspendert materiale, og det er sannsynlig at dette har skjedd i returbrønnen på Thoragården. Dette skyldes trolig en kombinasjon av undertrykk i brønnen, dårlig filtervasking og feil dimensjon på brønnfilteret.
 - *Termisk brudd:* Termisk brudd vil si at det oppstår hydraulisk og termisk kontakt mellom infiltrasjonsvannet og grunnvannet som pumpes opp i produksjonsbrønnen. For å unngå termisk brudd må produksjonsbrønnen og returbrønnen plasseres langt nok unna hverandre. Hva som er «langt nok» varierer fra sted til sted, og må vurderes ut ifra forundersøkelsene. For å unngå at infiltrasjonsvannet fryser i returbrønnen vurderes det som fornuftig at temperaturen ikke er mindre enn 0,5-1 °C. I Melhus sentrum er det registrert langvarige måleserier av grunnvannstemperatur ved Idegården og Thoragården, og analyse av disse dataene viser tegn til termisk brudd ved begge anleggene. Resterende anlegg i Melhus sentrum er ikke undersøkt med hensyn på dette, men det er sannsynlig at også disse kan oppleve termisk brudd i større eller mindre grad.
 - *Setninger og hiv:* I svært sjeldne tilfeller kan det oppstå setninger eller hiv i forbindelse med henholdsvis senkning av grunnvannsspeilet ved produksjonsbrønnen og heving av grunnvannsspeilet ved returbrønnen. I Melhus sentrum er det ikke rapportert om slike problemer.

Til tross for enkelte problemer, har grunnvarmeanleggene i Melhus sentrum stor lønnsomhetsgrad i forhold til andre energikilder. Flere av anleggene har potensiale for å optimalisere driften, noe som vil forbedre lønnsomhetsgraden ytterligere. Ved bygging av nye anlegg er det viktig at hydrogeologisk kompetanse benyttes, slik at anleggene prosjekteres best mulig i henhold til de lokale geologiske og hydrogeologiske forholdene.

9 VIDERE ARBEID

I denne masteroppgaven er de grunnvannsbaserte grunnvarmeanleggene i Melhus sentrum kartlagt, og det er laget forslag til en guide for etablering av slike anlegg. Sammen med Førde (2015, in prep.) sin masteroppgave tas deler av dette arbeidet med videre til forskningsprosjektet ORMEL (Optimal ressursutnyttelse av grunnvann til oppvarming og kjøling i Melhus og Elverum). Prosjektet er et samarbeid mellom Melhus kommune (prosjekteier), Elverum kommune, NGU, NTNU og Asplan Viak AS avdeling Trondheim. Hovedformålet med FoU-aktivitetene i ORMEL er:

«[...] å framskaffe et faglig solid og bærekraftig grunnlag for en optimal utnyttelse og forvaltning av grunnvannsressursene til varme og kjølebehov i to referansekommuner med overføringsverdi til andre kommuner» (Prosjektbeskrivelse ORMEL 2014, s. 4).

Akviferen under Melhus sentrum er per dags dato ikke godt nok kartlagt, og arbeidet med forskningsprosjektet vil blant annet innebære en detaljert kartlegging av både geologiske og hydrogeologiske forhold for å finne akviferens tålegrense for energiuttak. Problemer i forbindelse med grunnvannskvaliteten vil bli undersøkt nærmere, særlig med hensyn på jern- og manganutfellinger.

10 REFERANSELISTE

- Andersson, A.-C., Andersson, O. & Gustafson, G. (1984) *Brunnar: undersökning, dimensionering, borring, drift. Rapport R42:1984*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning, 262 s.
- Andersson, O. (1992) *Scaling and corrosion. Annex VI - Environmental and Chemical Aspects of Thermal Energy Storage in Aquifers. Document D12:1992*. Stockholm: Swedish Council for Building Research, 102 s.
- Asplan Viak (2013) *Notat: Energibrønner ved Lena terrasse - tilstand og tiltak*. Trondheim: Asplan Viak, 7 s.
- Asplan Viak (2014) *Notat: Lena terrasse - stausrapport testpumping*. Trondheim: Asplan Viak, 12 s.
- Banks, D. (2012) *An introduction to thermogeology: ground source heating and cooling*. 2. utg. Chichester: Wiley-Blackwell, 526 s.
- Barkman, J. H. & Davidson, D. H. (1972) 'Measuring Water Quality and Predicting Well Impairment', *Journal of Petroleum Technology*, 24, s. 865-873.
- Brassington, R. (1998) *Field hydrogeology*. 2. utg. Chichester: Wiley, 248 s.
- Brattli, B. (2009) *Fysisk og kjemisk hydrogeologi*. 3. utg. Trondheim: NTNU - Institutt for geologi og bergteknikk, 233 s.
- Brattli, B. (2013). *Egenskaper ved akviferer - kapittel 2*. Forelesningsnotat distribuert i TGB4205 Hydrogeologi. Trondheim: Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet, hentet 14.05.2015.
- Carlsson, L. & Gustafson, G. (1984) *Provpumpning som geohydrologisk undersøkningsmetodik. Rapport R41:1984*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning, 124 s.
- Clark, L. (1988) *The field guide to water wells and boreholes*. Milton Keynes: Open University Press, 155 s.
- Corwin, R. F. (1984) 'The self-potential method and its engineering applications; an overview'. *Society of Exploration Geophysicists, 54th annual meeting, Atlanta, United States*, s. 152-154
- Cruickshanks, F., Mirza, C. & Chant, V. (1993) 'Economic and environmental aspects of seasonal thermal energy storage'. *Proceedings of the 28th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, August 8th - August 13th 1993*. Washington DC, United States: American Chemical Society, s. 161-166
- Dahl, R. (1989) *Kvartærtiden og dens avsetninger i Norge: kompendium i emne TBA4100 Geoteknikk-geologi*. Revidert i 1995 og 2005 av B. Brattli. 3. utg. Trondheim: NTNU - Institutt for geologi og bergteknikk, 16 s.
- DNMI (2015) *eKlima*. Det Norske Meteorologiske Institutt. Tilgjengelig fra: www.eklima.met.no (hentet 09.02.2015).
- Drikkevannsforskriften (2001) *FOR-2001-12-04-1372: Forskrift om vannforsyning og drikkevann*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2001-12-04-1372> (hentet 26.11.2014).
- Driscoll, F. G. (1986) *Groundwater and wells*. 2. utg. St. Paul, Minnesota: Johnson Division, 1089 s.
- Ellingsen, K. (1992) *GiN-veileder nr. 12: Grunnvannskvalitet, problemer og tiltak*. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse, Miljøverndepartementet, 29 s.
- Ensby, S. (1990) *GiN-veileder nr. 3: Grunnvannsundersøkelser i løsmasser*. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse, Miljøverndepartementet, 16 s.
- Fetter, C. W. (2001) *Applied hydrogeology*. 4th. Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall, XVII, 598 s.
- Førde, M. J. (2015) *Numerisk 3D-modellering av kvartærgeologi og hydrogeologi i Melhus sentrum – En vurdering av uttakskapitet, optimal utnyttelse og forvaltning til energiformål*. Masteroppgave, in. prep. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for geologi og bergteknikk, 118 s.
- Gaut, S. (2015) *Brønner i løsmasser*. Norges Geologiske Undersøkelse. Tilgjengelig fra: http://www.grunnvann.no/images/bronn_i_losmasser_stor.jpg (hentet 16.04.2015).

- Grannelova (1961) *LOV-2009-06-19-100: Lov om rettshøve mellom grannar*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1961-06-16-15> (hentet 16.03.2015).
- Gustafson, G. (1983) *Brunnsystem för värmelagring och värmeutvinning i akviferer. Rapport R39:1983*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning, 154 s.
- Haehnlein, S., Bayer, P. & Blum, P. (2010). 'International legal status of the use of shallow geothermal energy'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (9): s. 2611-2625. Tilgjengelig fra: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.069>.
- 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 (4), s. 710-729.
- Hilmo, B. O., Skarphagen, H. & Morland, G. (1998) *Årsrapport 1998: Grunnvarme - en energikilde for fremtiden*. Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: <http://www.ngu.no/FileArchive/aarsrapp98/rappnor.98/grunnv.htm> (hentet 23.04.2015).
- IPCC. (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press, 1535 s.
- Kalskin, R. & Hilmo, B. O. (1999) *Kartlegging av potensialet for grunnvarmeuttak fra løsmasser i Elverum. Rapport nr. 99.008*. Trondheim: Norges Geologiske Undersøkelse, 63 s.
- Kirkhusmo, L. A. & Sønsterud, R. (1988) *Overvåking av grunnvann. Landsomfattende grunnvannsnett (LGN). Rapport nr. 88.046* Trondheim: Norges Geologiske Undersøkelse, 17 s.
- Konsekvensutredningsforskriften (2015) *FOR-2014-12-19-1758: Forskrift om konsekvensutredninger for tiltak etter sektorlover*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-12-19-1758?q=forskrift+om+konsekvensutredning> (hentet 18.02.2015).
- Kruseman, G. P., Ridder, N. A. de., Verweij, J. M. (1990) *Analysis and evaluation of pumping test data*. 2. utg. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 377 s.
- Kårstein, H., Gangås, G. & Norum, D. (2005) *Grunnvann i vannressursloven. Konesjonsplikt og konesjonsbehandling. KTV-notat nr. 72/2005*. Oslo: Norges Vassdrags- og Energidirektorat, 10 s.
- Lindblad-Påsse, A. (1986) *Järnutfällningsproblem i grundvattenvärmsystem. Rapport R109:1986*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning, 75 s.
- Midttømme, K., Berre, I., Hauge, A., Musæus, T. E. & Kristjansson, B. R. (2010). *Geothermal Energy - Country Update for Norway*. Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali Indonesia, 25-29 April 2010
- Misstear, B. D. R., Banks, D. & Clark, L. (2006) *Water wells and boreholes*. Chichester, England: John Wiley & Sons, 498 s.
- NGU *Berggrunn - Nasjonal Berggrunnsdatabase*. Norges geologiske undersøkelse Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/> (hentet 10.05.2015).
- NGU (2008) *Metodebeskrivelse 2D resistivitetsmålinger*. Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: <http://www.ngu.no/upload/Norges%20geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/Elektriske%20metoder/2D-RES-Metodebeskrivelse.pdf> (hentet 31.10.2014).
- NGU (2015a) *Arealinformasjon - Norge og Svalbard med havområder*. Norges geologiske undersøkelse Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/arealisNGU/?Box=219593:6998674:333527:7068510> (hentet 05. mars 2015).
- NGU (2015b) *GRANADA - Nasjonal grunnvannsdatabas*. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/granada/> (hentet 19.04.2015).
- NGU (2015c) *Løsmasser. Nasjonal løsmassedatabas*. Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/> (hentet 08.04.2015).
- NGU (2015d) *Åpen løsning - direkte bruk av oppumpet grunnvann*. Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: <http://www.ngu.no/fagomrade/grunnvarme> (hentet 25.02.2015).

- Pedersen, T. S., Kirkhusmo, L. A. & Kannick, H. (2003) *Overvåking av grunnvann - landsomfattende grunnvannsnnett (LGN). Rapport nr 1/2003*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat, 164 s.
- Prosjektbeskrivelse ORMEL* (2014), 10 s.
- Ramstad, R. K. (2011) *Grunnvarme i Norge: kartlegging av økonomisk potensial. Rapport nr. 5/2011*. Oslo: Norges Vassdrags- og Energidirektorat, 81 s.
- Ramstad, R. K. (2013) *Grunnvarme - fremtidens energiforsyning til norske bygg. KVARTALET - et nyhetsmagasin fra Asplan Viak. 4. kvartal 2013. Tema: vann s. 38-41*.
- Ramstad, R. K. (2014) 'Grunnvannsbasert oppvarming og avkjøling. Hvor langt har Norge kommet og hvilke utfordringer og muligheter står vi overfor?'. *Det 23. NGU-seminar om hydrogeologi og miljø, 11.-12. mars 2014. "Grunnvann i min kommune". Rapport nr. 2014.012*, Trondheim: Norges geologiske undersøkelse, s. 12-13
- Ramstad, R. K. & Forbord, R. E. (2014) *Prosedyre vannprøvetaking: Asplan Viak*, 1 s.
- Reite, A. J. (1990) *Sør-Trøndelag fylke: kvartærgeologisk kart M 1:250.000 : veiledning til kartet*. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse, 39 s.
- Reynolds, J. M. (2011) *An introduction to applied and environmental geophysics*. 2. utg. Chichester: Wiley-Blackwell, 696 s.
- Rueslåtten, H. & Veslegard, G. (1991). Grunnvannsbrønner i løsmasser - dimensjonering og utforming. Forelesning i Ingeniørgeologi - Løsmasser, Grunnkurs, 1991. I: Brattli, B. (red.) *Kompendium. TGB4205 Hydrogeologi. Anvendelse og metodikk*. Trondheim: Institutt for geologi og bergteknikk (NTNU).
- Rønning, J. S., Dalsegg, E., Elvebakk, H., Ganerød, G. V., Lutro, O., Maystrenko, Y. & Olesen, O. (2013) *Evaluation of the deep geothermal potential in Moss area, Østfold County. NGU Report 2013.008*. Trondheim: Geological Survey of Norway, 160 s.
- Sindre, A. (1980) *Seismiske målinger i Gauldalen 1972-1979. Rapport nr: 1641*. Trondheim: Norges Geologiske Undersøkelse, 26 s.
- Skøien, S. (2000) *Jordlære. Teknisk fagskole, linje for naturbruk. Fordypningsområde plantedyrking*. 1. utg. Oslo: GAN Forlag AS.
- Solberg, I.-L., Dagestad, A. & Dalsegg, E. (2014) *2D resistivitetsmålinger ved Brubakken, Melhus sentrum og Skjerdingsstad i Melhus kommune, Sør-Trøndelag. Data og tolkninger. Rapport nr. 2014.022*. Trondheim: Norges Geologiske Undersøkelse (NGU), 44 s.
- Stene, J. (2000) *Varmepumper for oppvarming og kjøling av bygninger*: SINTEF Energiforskning AS, Avdeling Energiprosesser, 19 s.
- Storrø, G. (2000) *Grunnvannsundersøkelser i tilknytning til planlagte energibrønner i Lena-området, Melhus sentrum. Rapport nr: 2000.069*. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse, 18 s.
- TEK10 (2010) *FOR-2010-03-26-489: Forskrift om tekniske krav til byggverk*. Oslo: Kommunal- og moderniseringsdepartementet Tilgjengelig fra: <http://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-489> (hentet 06.10.2014).
- Topcon Tesla RTK*. (2015) Tilgjengelig fra: <http://www.archiproducts.com/de/produkte/75656/gerat-fur-fernerkundung-uber-satellit-topcon-tesla-rtk-topcon.html> (hentet 01.03.2015).
- Vannressursloven (2000) *LOV-2000-11-24-82: Lov om vassdrag og grunnvann*. Tilgjengelig fra: <http://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82> (hentet 07.11.2014).

Personlig kommunikasjon

Aune, R.J. (vaktmester ved Melhuset, Idegården, Oterholmgården og Thoragården), 2014-2015

Godager, S. (styremedlem i Sameiet Lena terrasse), høst 2014

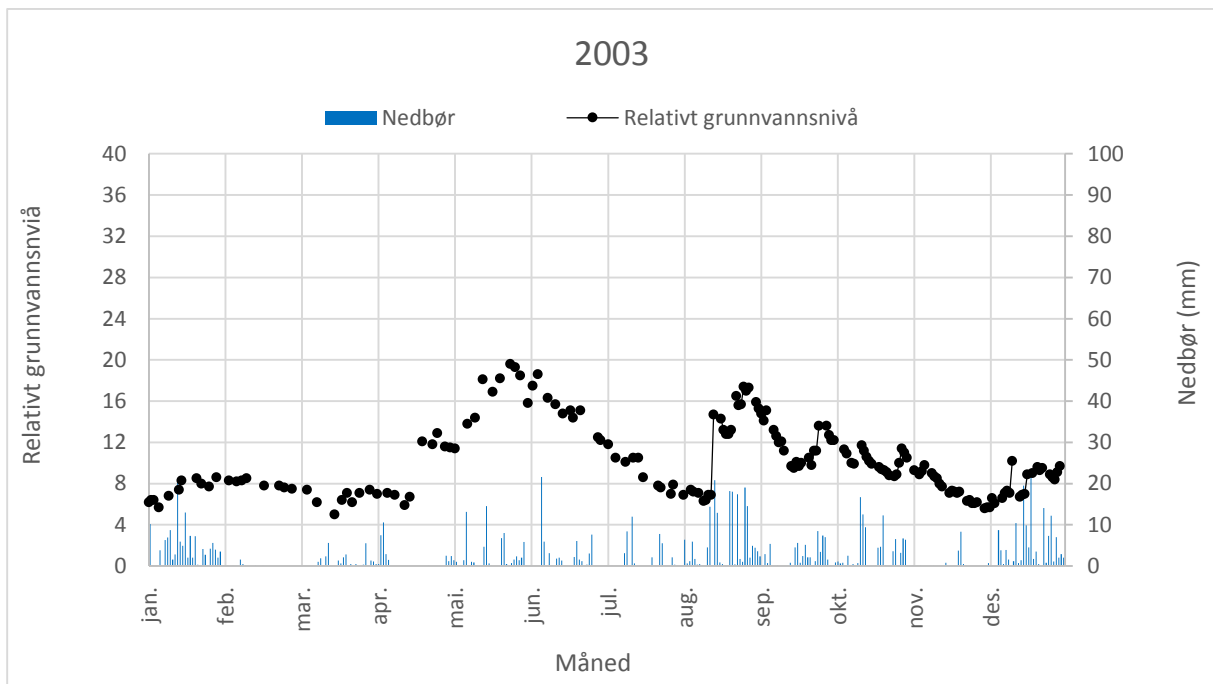
Havdal, F. (prosjektleder i Melhus kommune), vår 2015

Helgetun, J.O. (prosjektutvikler Oras AS), vår 2015

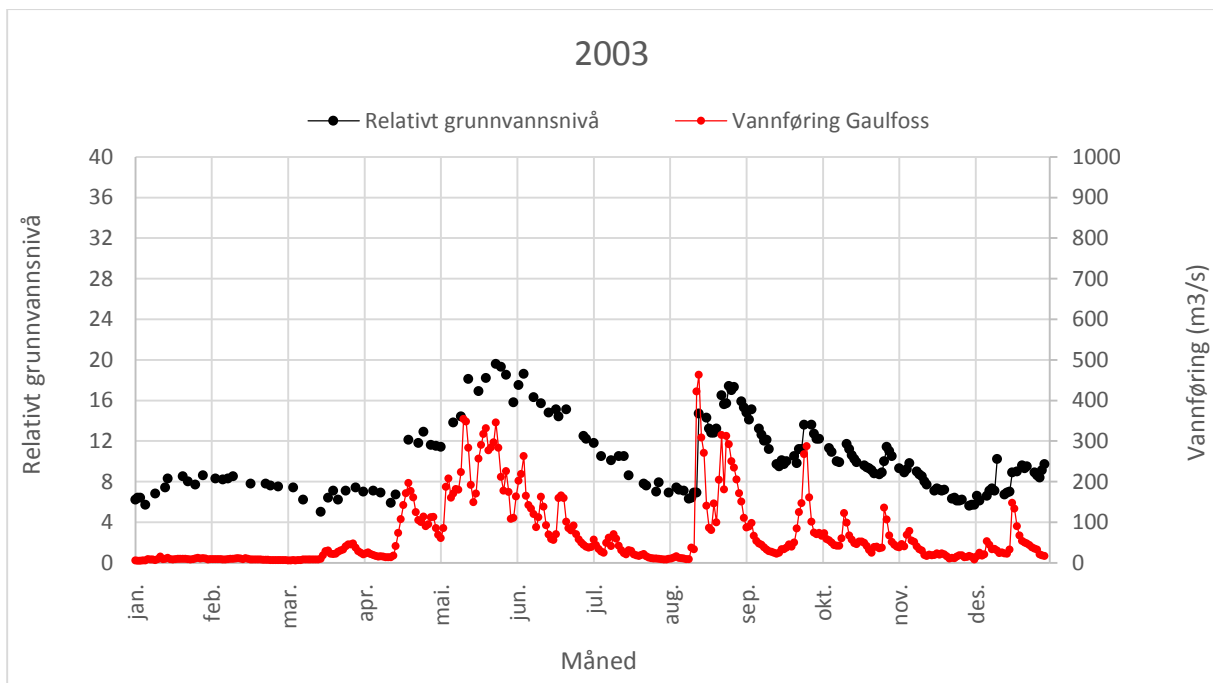
Lian, R. (leder FDV i Melhus kommune), vår 2015

VEDLEGG

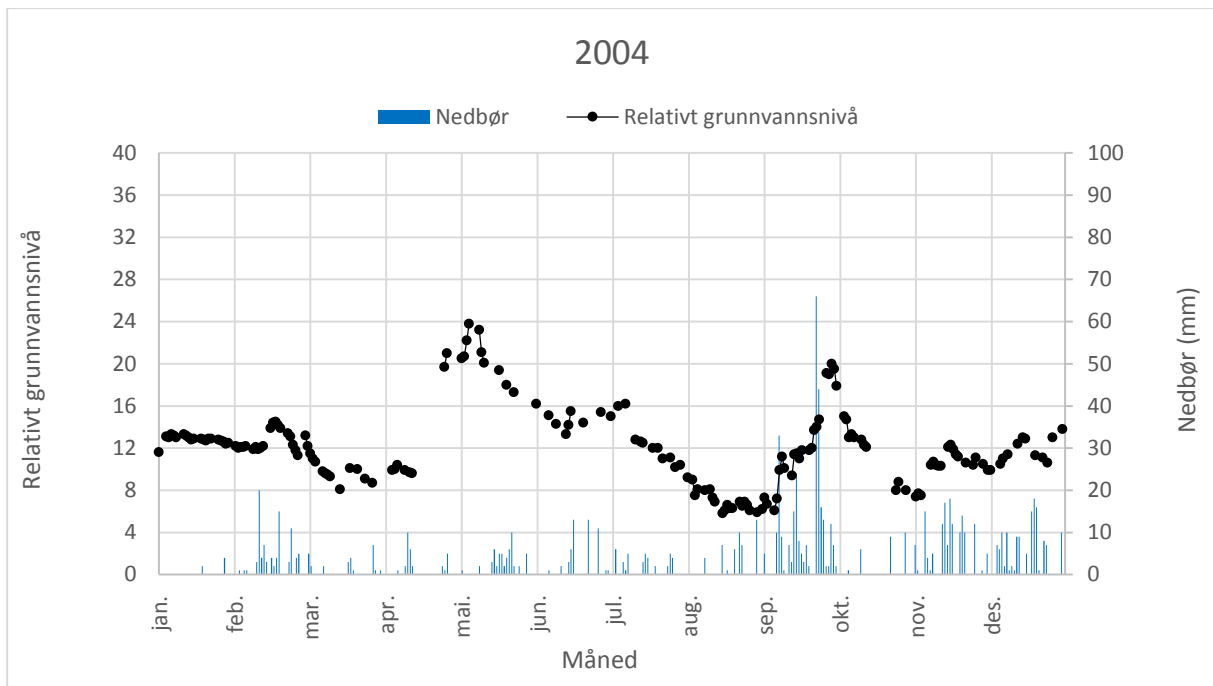
A RELATIVT GRUNNVANNSNIVÅ



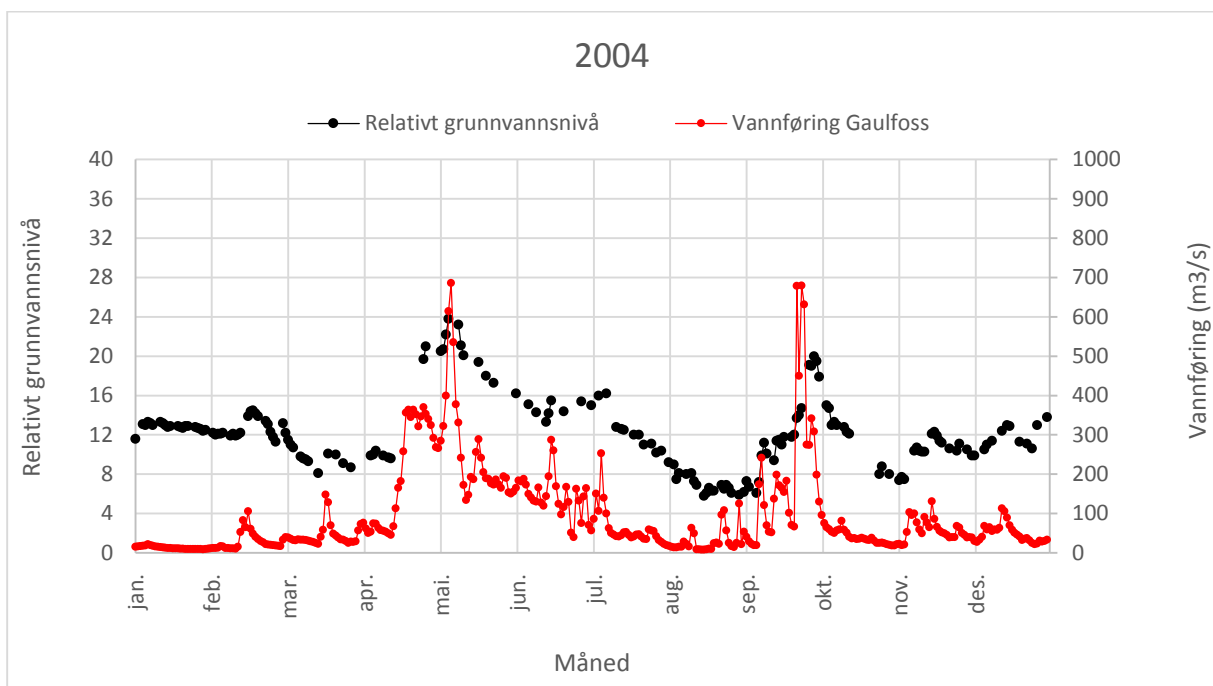
Figur A.1 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2003



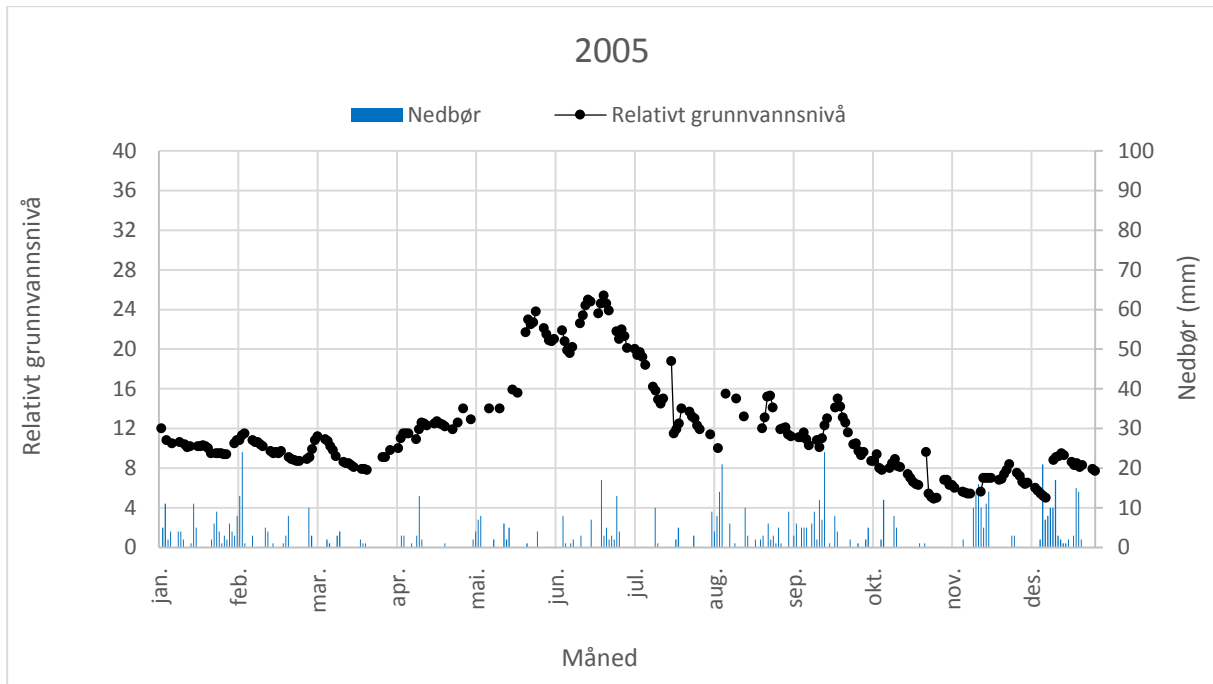
Figur A.2 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2003



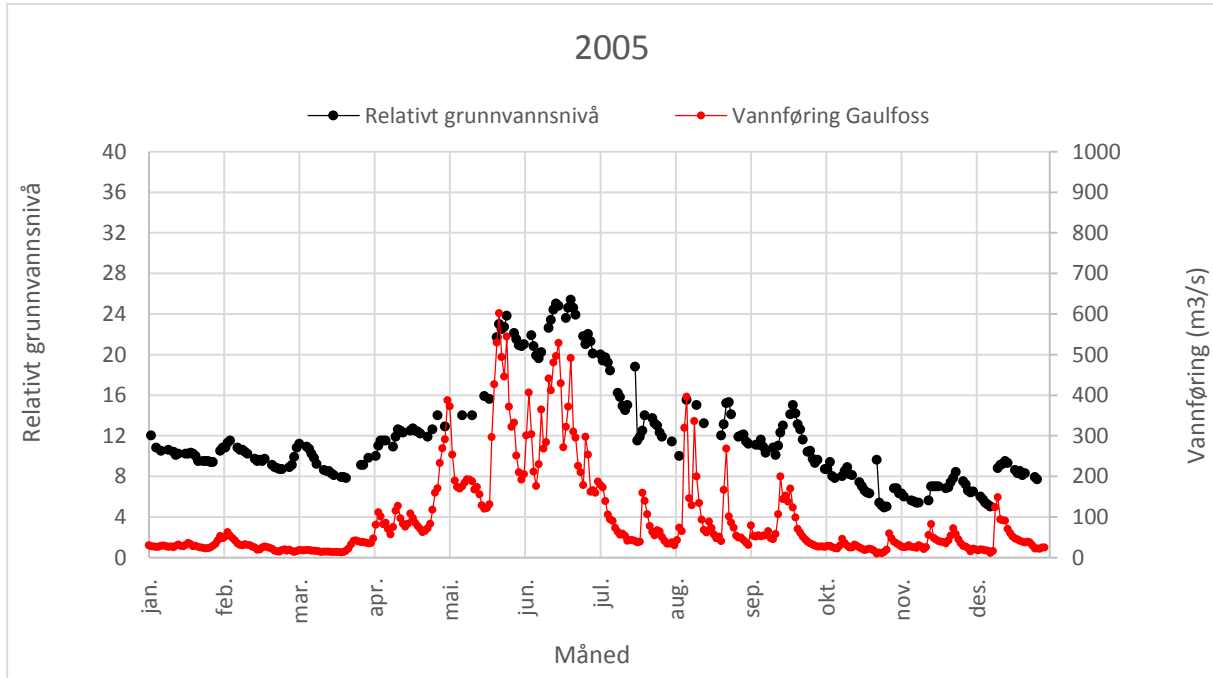
Figur A.3 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2004



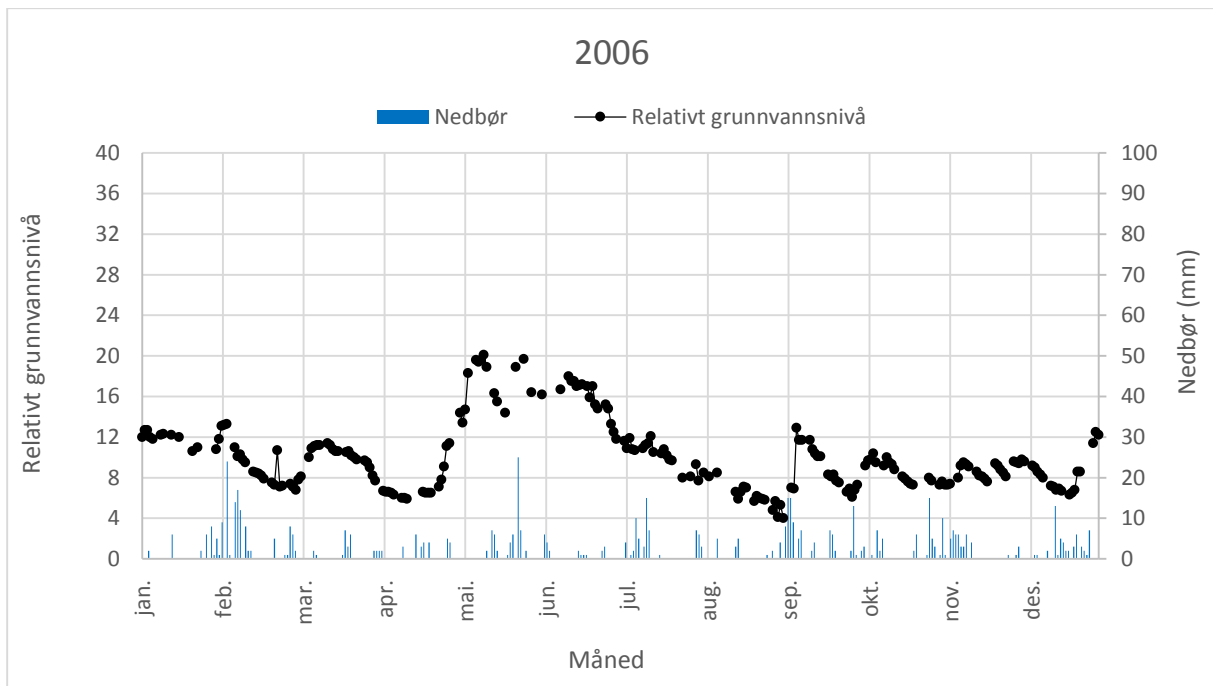
Figur A.4 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2004



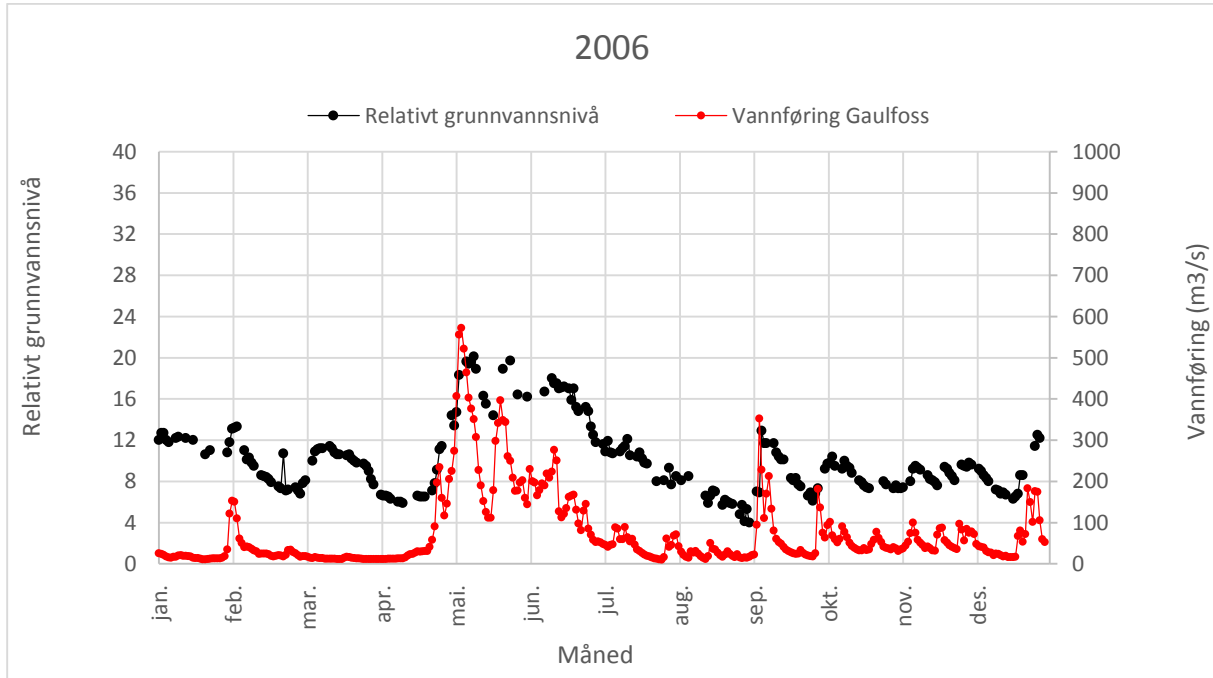
Figur A.5 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2005



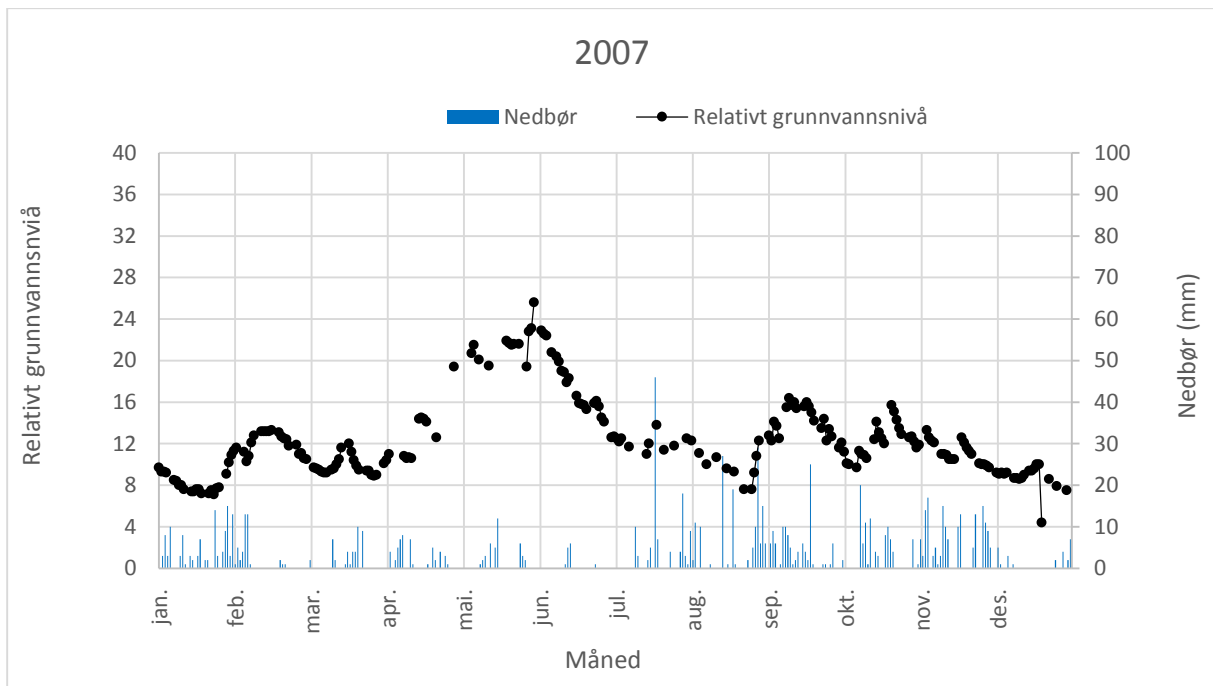
Figur A.6 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2005



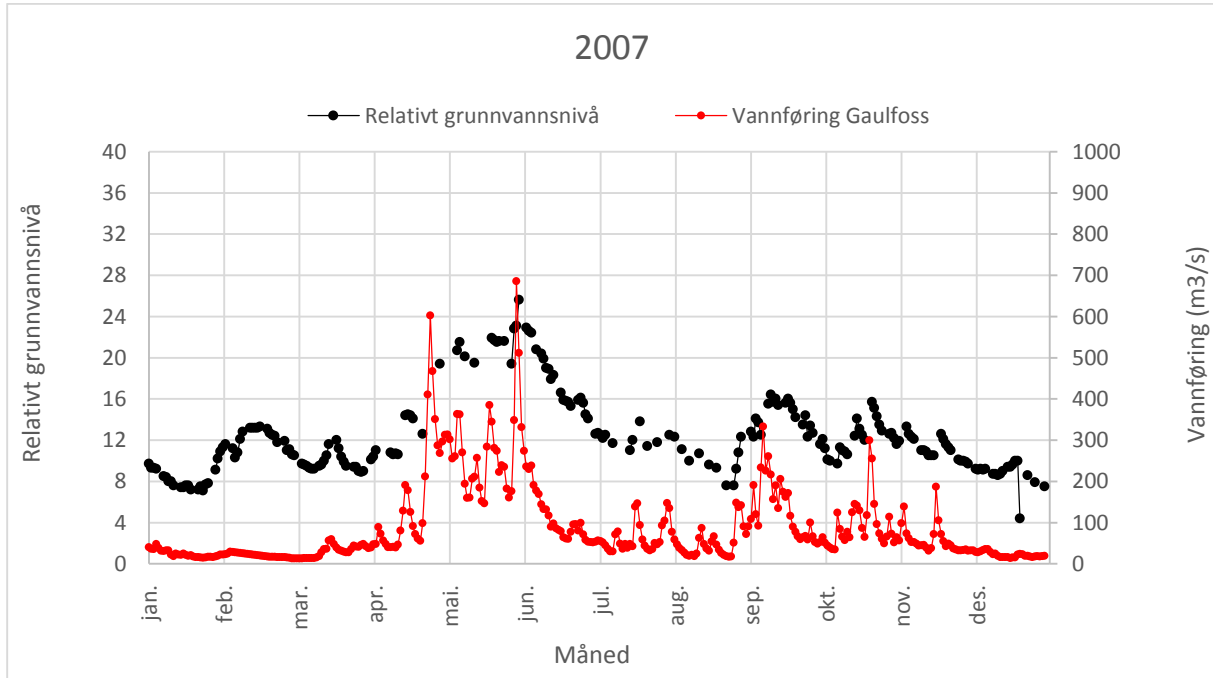
Figur A.7 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2006



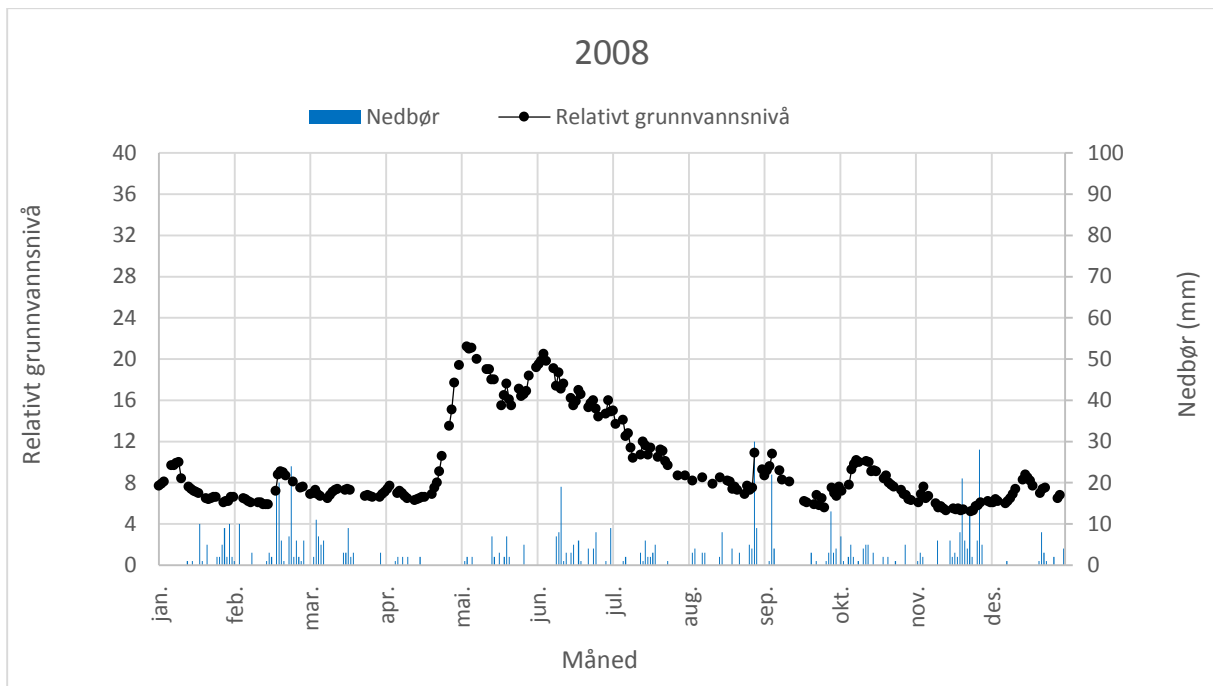
Figur A.8 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2006



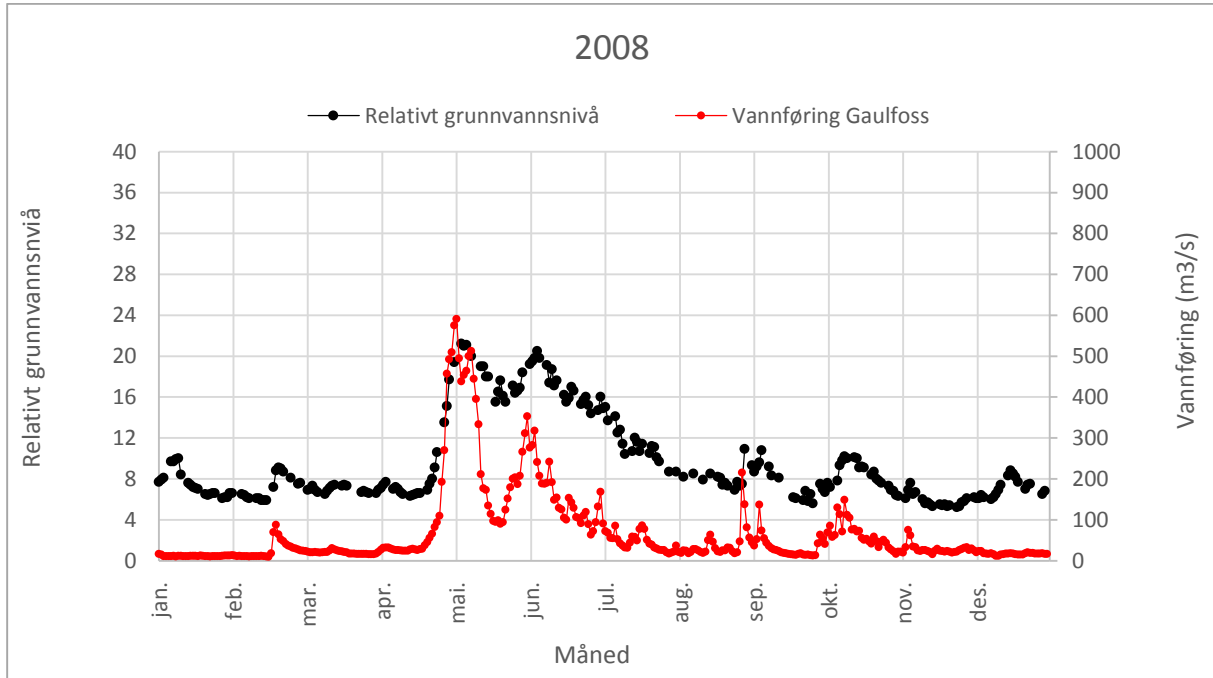
Figur A.9 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2007



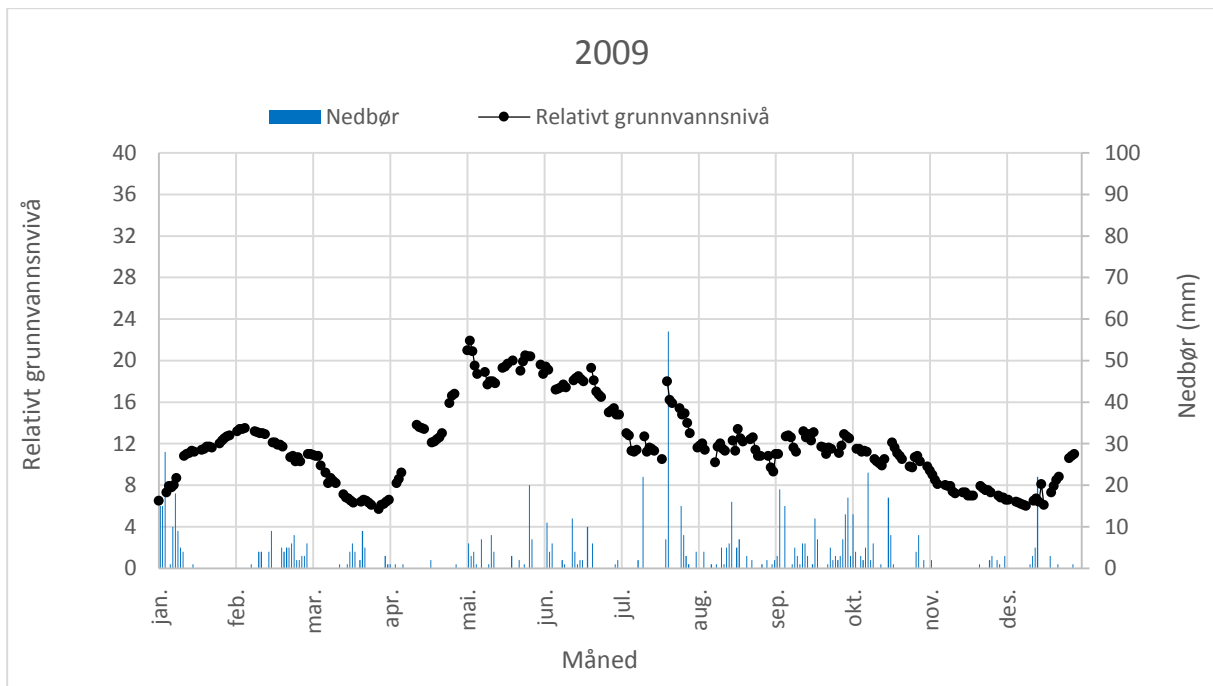
Figur A.10 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2007



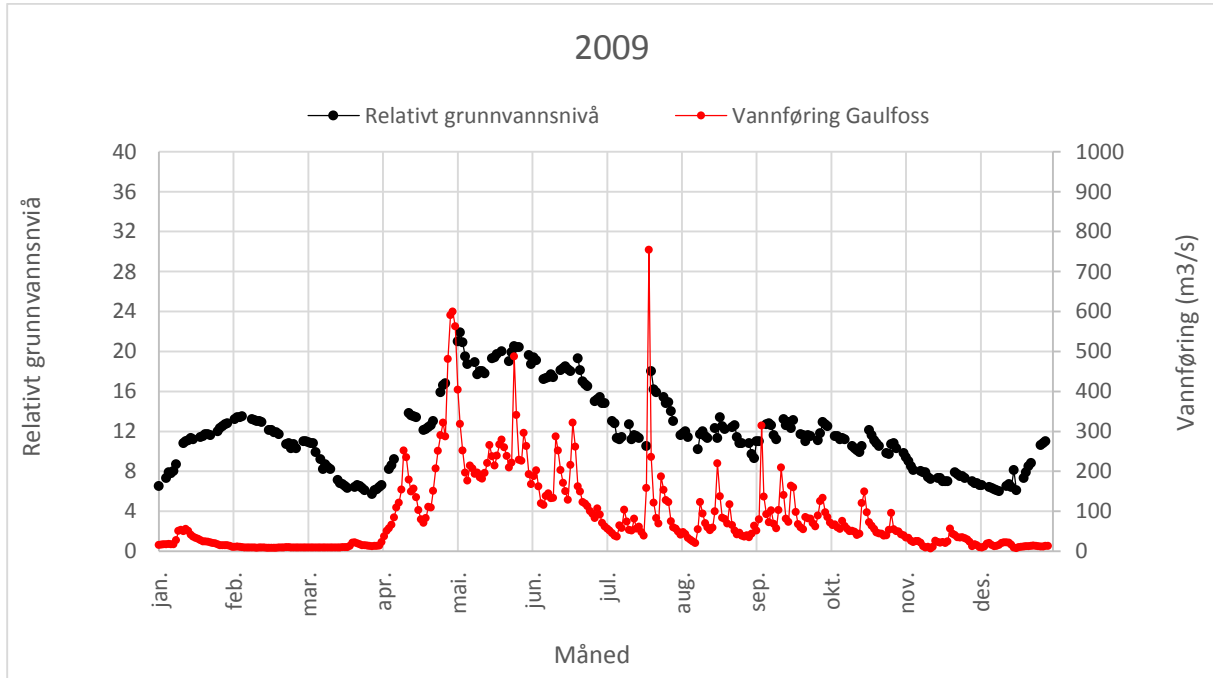
Figur A.11 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2008



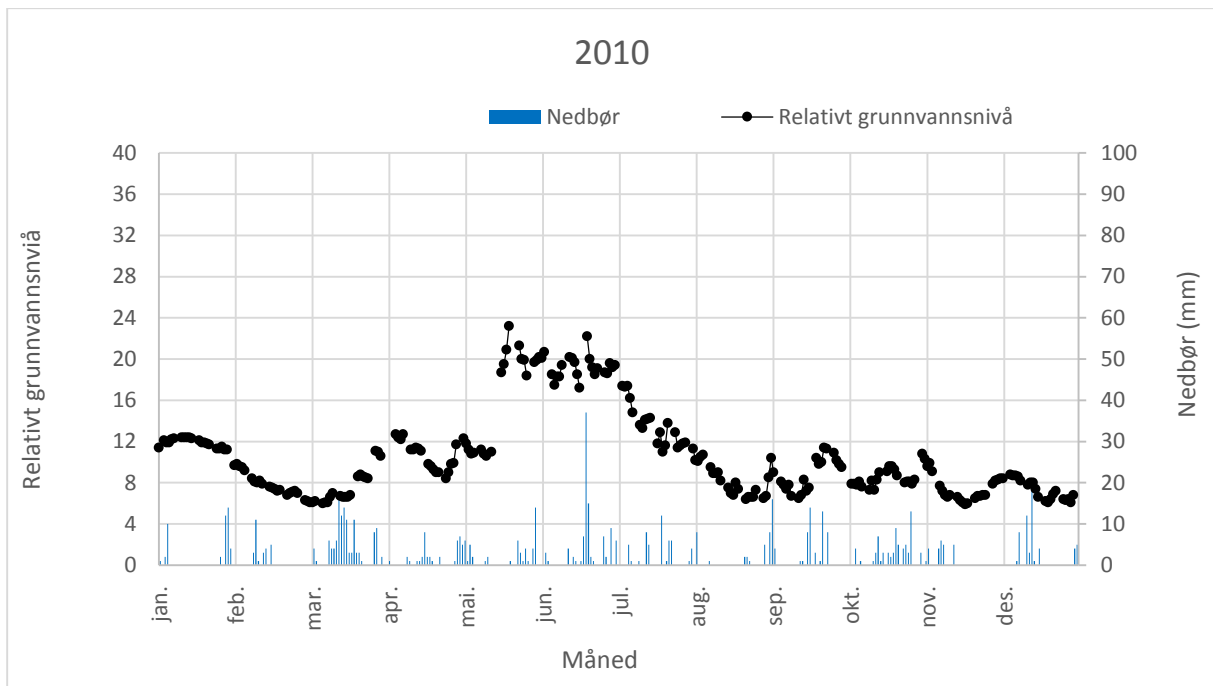
Figur A.12 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2008



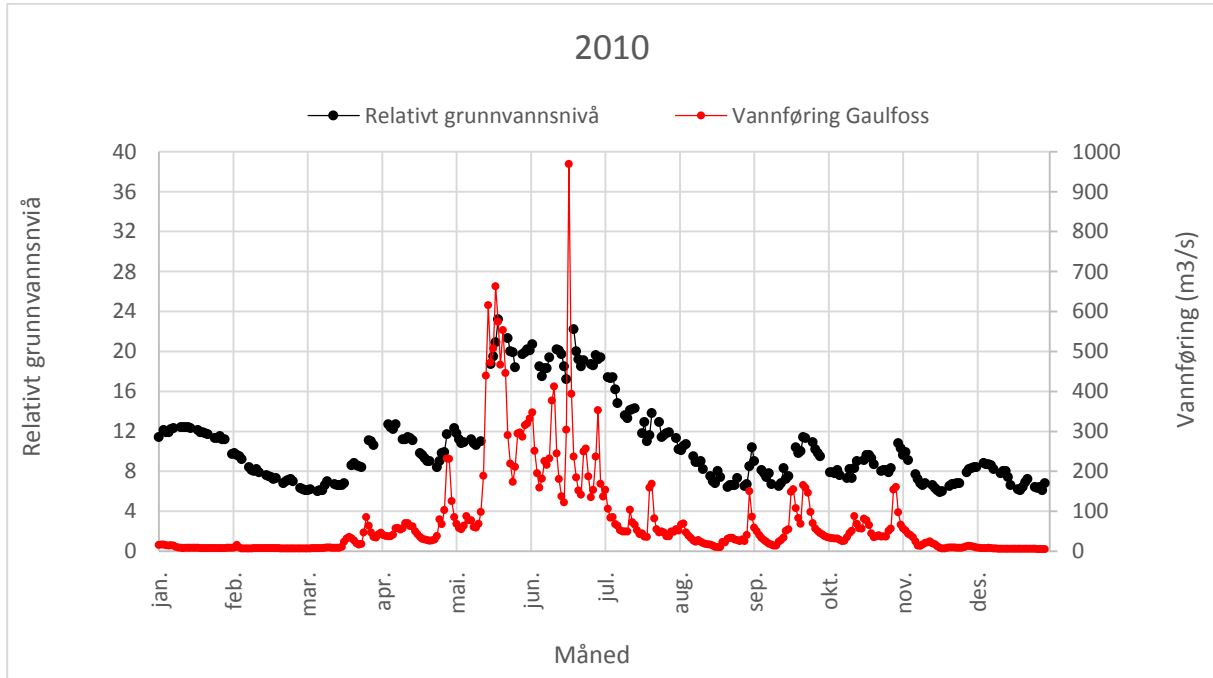
Figur A.13 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2009



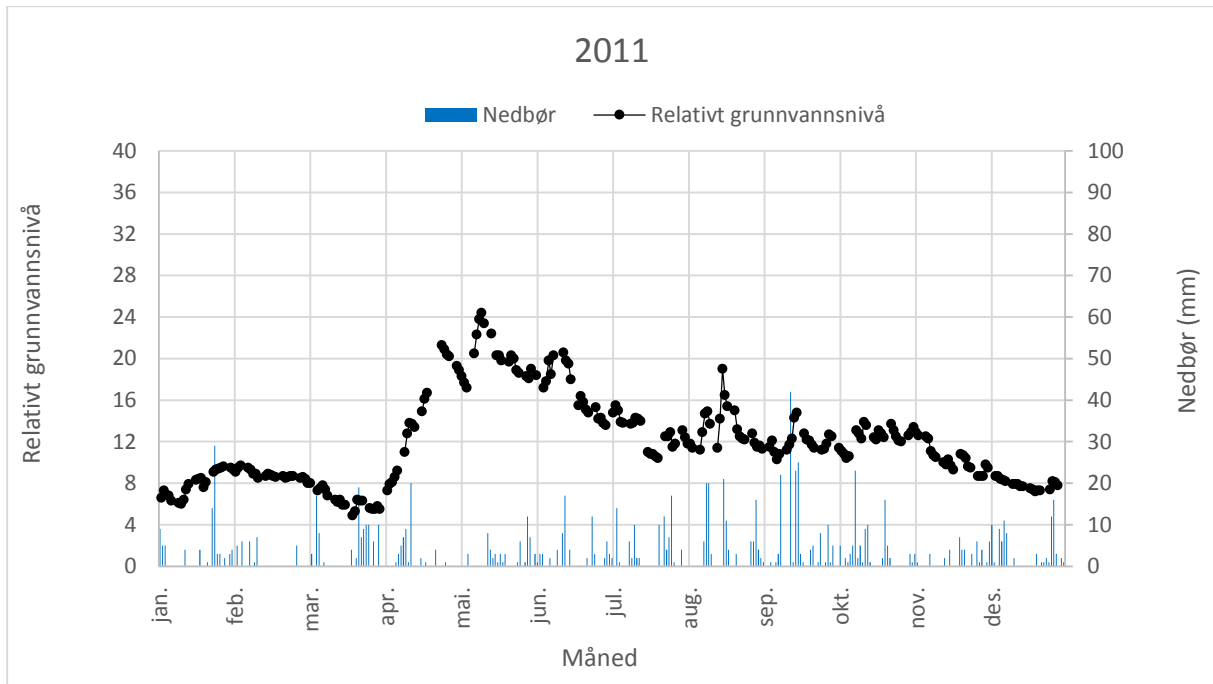
Figur A.14 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2009



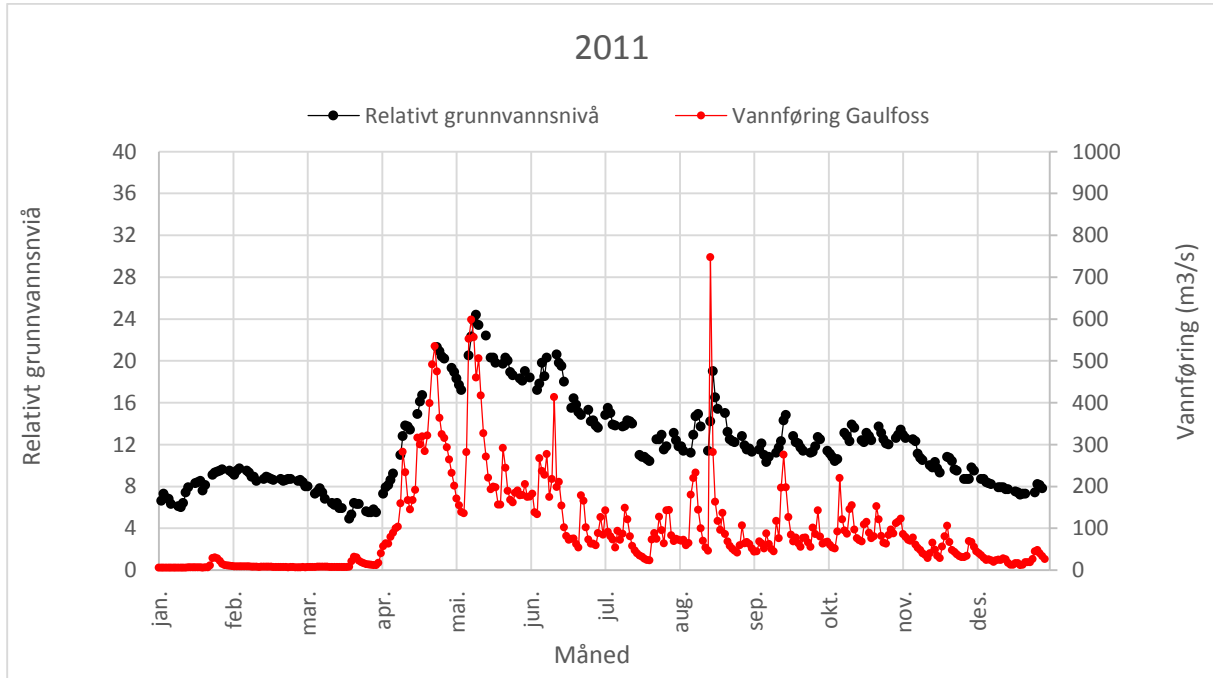
Figur A.15 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2010



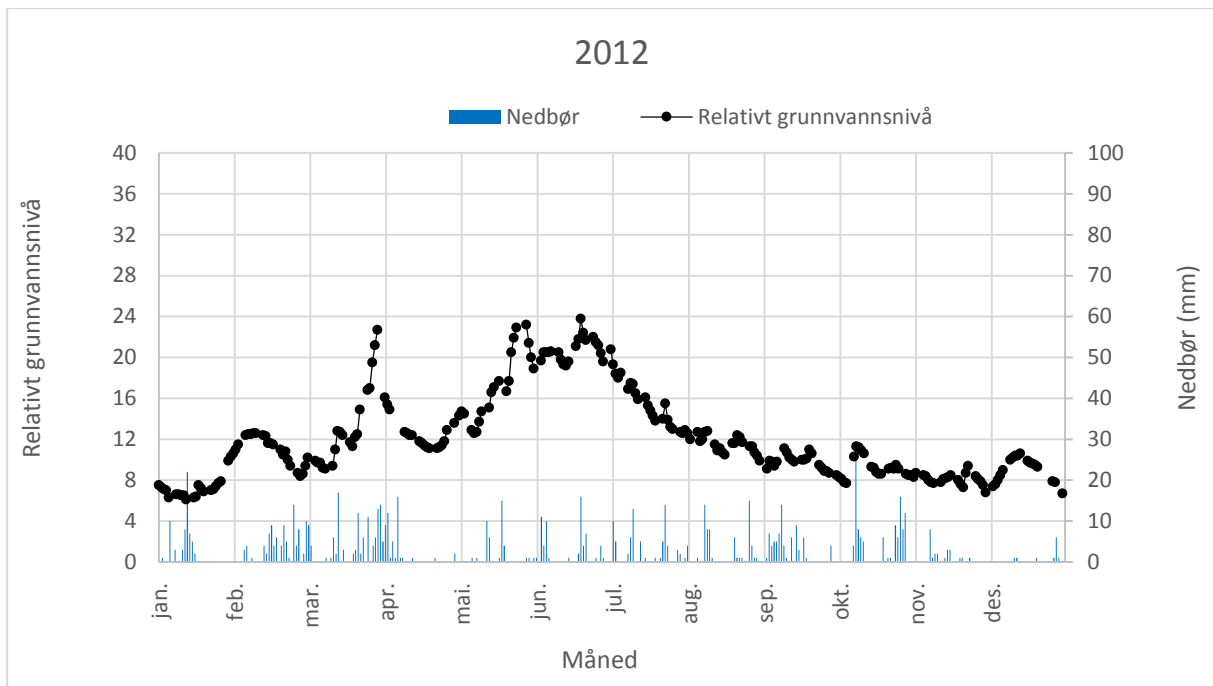
Figur A.16 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2010



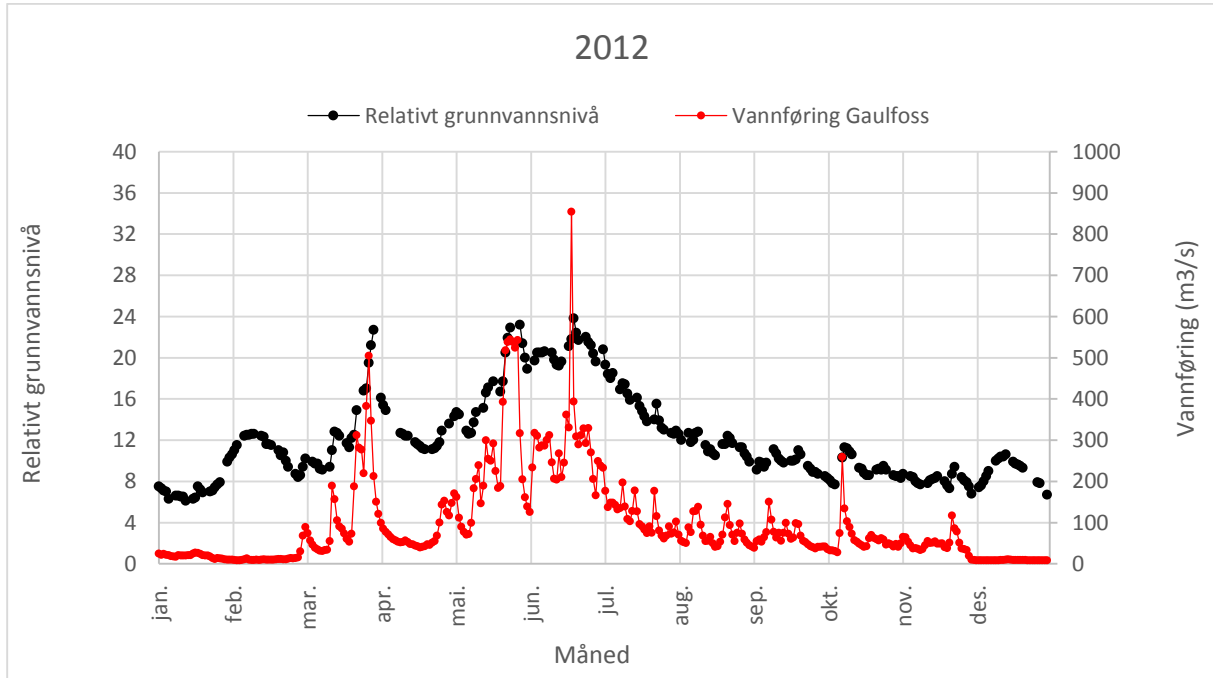
Figur A.17 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2011



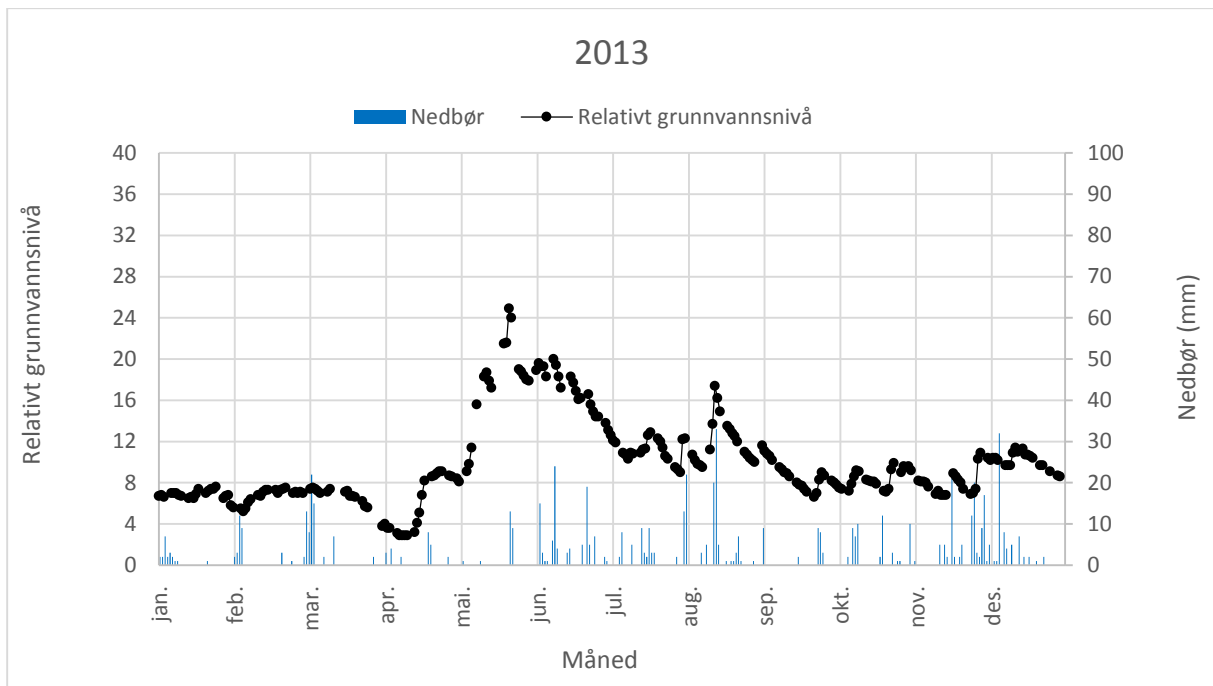
Figur A.18 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2011



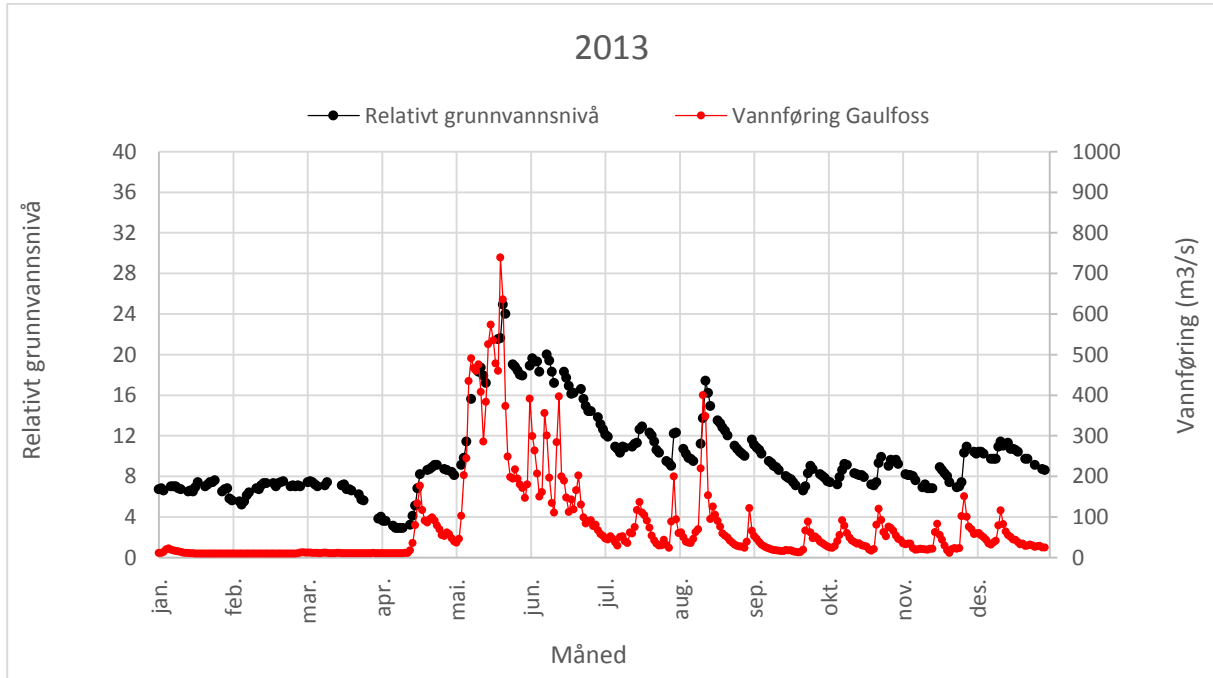
Figur A.19 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2012



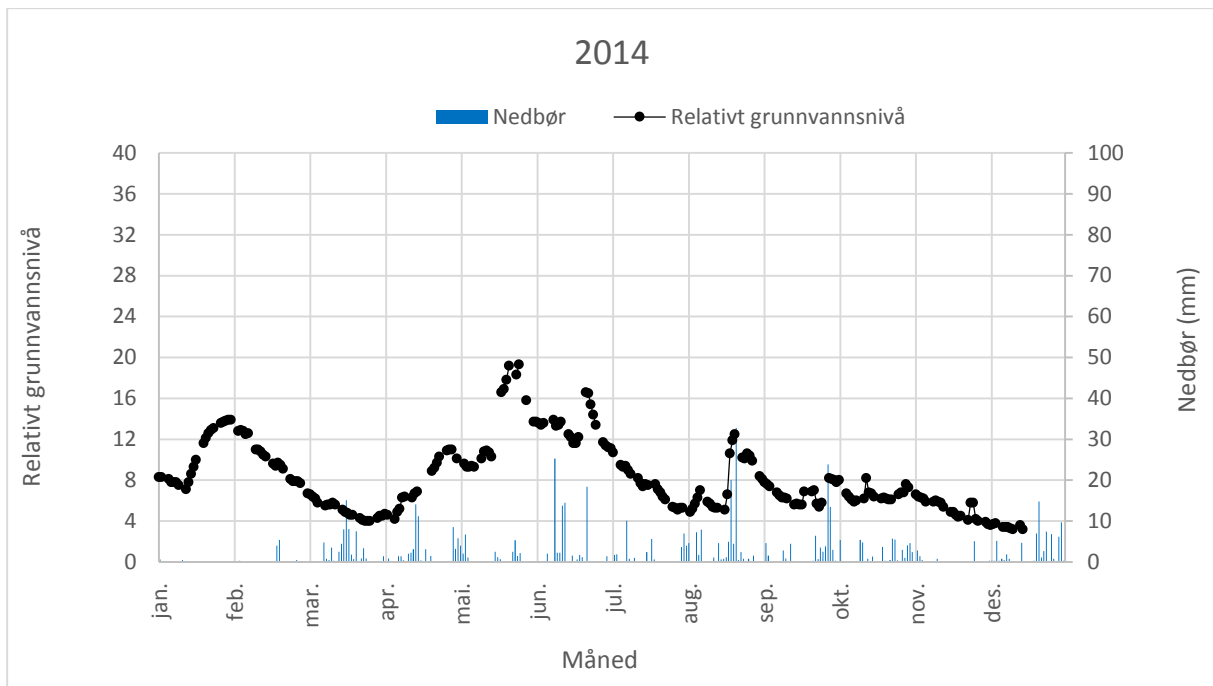
Figur A.20 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2012



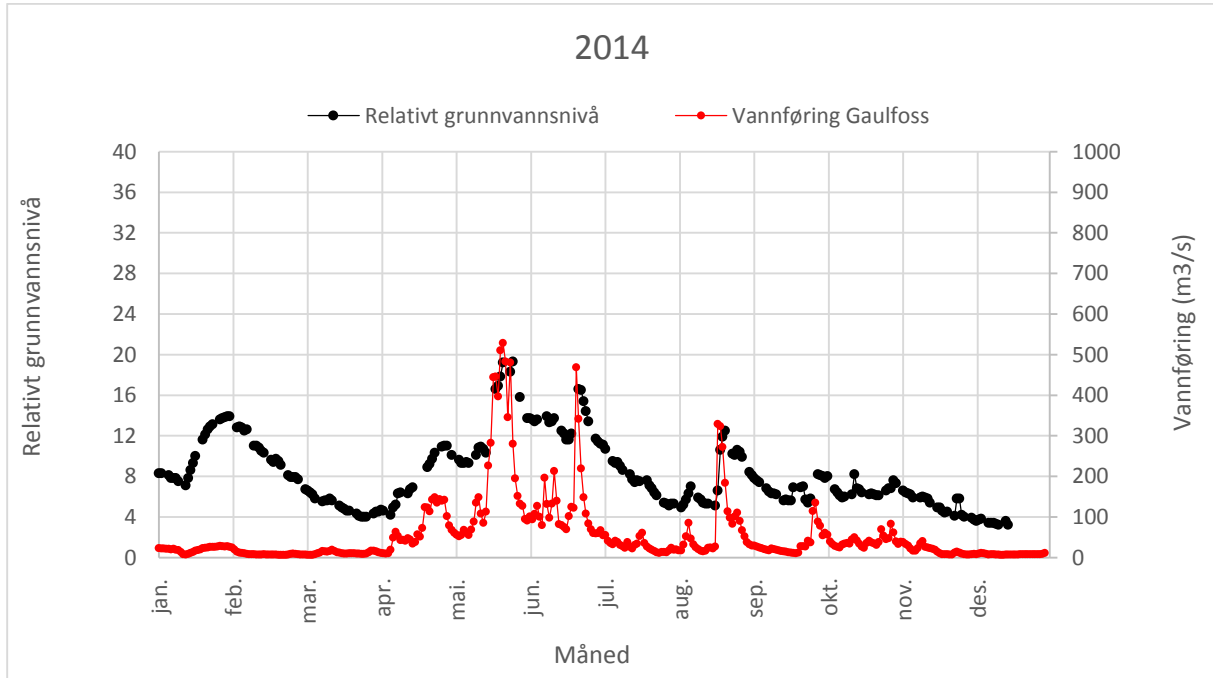
Figur A.21 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2013



Figur A.22 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2013



Figur A.23 Nedbør og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2014



Figur A.24 Vannføring ved Gaulfoss og relativt grunnvannsnivå ved Melhuset, 2014

B VANNANALYSER

B.1 PRØVELISTE



Prøveliste for analyser og preparater

ANALYSEKONTRAKT:

Prosjektnr.:
Prosjektleder:
Innlevert av:
Dato:

Løpnr.	NGU prøvenr.	Prøve-ID	UTM-koordinater		
			EUREF89 (WGS 84)		
			Sone+N/S	Øst (m)	Nord (m)
1	79315	Lena Terrasse 22.09.14			
2	79316	Thoragaarden 22.09.14			
3	79317	Idegården 22.09.14			
4	79318	Melhuset 22.09.14			
5	79319	Oterholmgrd. 22.09.14			
6	79320	B1 - Lena 15.10.14			
7	79321	Oterholmgrd. Returbrenn 15.10.14			
8	79322	Idegården 15.10.14			
9	79323	Melhuset 15.10.14			
10	79324	Thoragaarden 17.10.14			
11	79325	Lena Terrasse gml. Brønn 07.10.14			
12	79326	Buen Omsorgssenter 07.10.14			
13	91011	Prøve som ble "hengst på" analyseoppdraget, har ikke med Mellus i gjenn			
* Det er kjøpt dupletter av prøvene med "varianter" av filtrering og surgjøring (korte F/S). Disse bør ikke kjøpes til "kodingen" på disse.					
** Allbitet, pH og ledningsevne kjøpes på Analysekontroll (tidligere Næringsmiddelkontrollen). Har ikke fått disse analysene enda.					
Mvh. Gaute					

Det kan være fordelaktig å fr dele oppdraget over flere kontrakter dersom analyse-prosedurene avviker fra p

B.2 KJEMISK ANALYSE



Postboks: 3401 Trondheim
Besøksadresse:
Leiv Eiriksson vei 3D
Tlf: 73 90 40 00
Telefax: 73 92 16 20

ANALYSERAPPORT

ANALYSEKONTRAKT NR.: 2014.0216
NGU PROSJEKT NR.: 357200

OPPDRAAGSGIVER: NGU, Melhus grunnvarme

ADRESSE:

TLF:

KONTAKTPERSON: Gaute Storøy

PRØVETYPE: VANN

ANTALL PRØVER: 25

IDENTIFIKASJON AV PRØVER: I følge liste fra oppdragsgiver

PRØVER MOTTATT: 06.10.2014

ANMERKNINGER: Ingen

SPESIFIKASJON AV OPPDRAGET I HENHOLD TIL ANALYSEKONTRAKT:

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

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

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

Trondheim, 30. oktober 2014


Ana Banica

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



7401 TRONDHEIM
 TF: 73 90 40 00
 Telefaks: 73 90 16 20

ICP-AES ANALYSER
 VANN
 ANALYSEKONTRAKTNR. 2014.0216

INSTRUMENT:
METODE:

ICP-AES type Perkin Elmer Optima 4300 Dual View
 Metodoppsettet er beskrevet i NGU-SD 3.1: ICP-AES -analyse av vann
NEDRE BESTEMMELSESGRENSER (LLQ) OG HØYESTE MÅLEOMRÅDE VED VANNANALYSER
 (For vannprøver som fortynnes blir deteksjonsgrensene automatisk utregnet) (1 mg/l = 1 ppm)

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

ANALYSEUSIKKERHET:

LL: Nedre måleområde (LLQ - 5*LLQ):

± 50 rel. %: As, Sb (Se, Sn) ± 37,5 rel. %: K, Pb

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

LL: Øvre måleområde (> 5*LLQ):

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

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

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

NEI / omfattet LLQ - 2*LLQ kan sammenstilt overstige 30% var.

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

ANTALL PRØVER:

25

ANMERKNINGER:

Prøvetypen (Graverte-vann) omfattes ikke av akkreditering, derfor rapporteres oppdraget usikkrødian.
 Noen prøver har Na konsentrasjoner høyere enn høyest målegrense (250 ppm).
 Type prøvetilberedning: amerikansk med S, for surgjøring og F, for filtrering, mens sulfidene "fukt" eller "lab" angir hvor ble det prøvene behandlet.

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

Ferdig analysert	28. okt. 14	Runeik Xiao/Haaga Apasister Kristian
	Dato	OPERATØR

\\fil11_penn\Lab\ICP_AES\Data\20140216_ICP_AES

F:\606_ICP-AES (Rieppormal var. 7.4 av 04.03.2014)

Clarepp ICP-AES-1



7491 TRONDHEIM
TEL: 73 90 40 00
Telefax: 73 92 16 20

ICP-AES ANALYSER

VANN

ANALYSEKONTRAKTNR. 2014.0216

Prove ID	Si [mg/L]	Al [mg/L]	Fe [mg/L]	Ti [mg/L]	Mg [mg/L]	Ca [mg/L]	Na [mg/L]	K [mg/L]	Mn [mg/L]	P [mg/L]	Cu [mg/L]	Zn [mg/L]	Pb [mg/L]	Ni [mg/L]	Co [mg/L]	V [mg/L]
79315_S lab	4.40	<0.02	2.00	<0.001	19.2	144	51.7	8.06	0.620	<0.05	<0.005	0.0221	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79316_S lab	4.20	<0.02	0.329	<0.001	48.9	62.8	479	15.6	0.190	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79317_S lab	4.20	<0.02	2.81	<0.001	53.2	103	271	10.4	0.500	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79318_S lab	3.08	<0.02	0.746	<0.001	16.2	24.4	213	7.05	0.191	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79319_S lab	3.87	<0.02	1.45	0.0013	18.1	35.0	135	7.85	0.241	<0.05	<0.005	0.0156	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79320_S lab	4.05	<0.02	<0.002	<0.001	18.4	159	48.9	7.64	0.597	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79316_F/S lab	4.06	<0.02	<0.002	<0.001	48.9	63.1	489	15.4	0.195	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79317_F/S lab	4.30	<0.02	<0.002	<0.001	25.1	112	265	11.1	0.523	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79318_F/S lab	3.66	<0.02	<0.002	<0.001	19.7	29.6	201	8.43	0.206	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79319_F/S lab	3.69	<0.02	<0.002	<0.001	19.1	38.1	139	7.82	0.240	<0.05	<0.005	0.0098	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79320_F-S lab	4.24	<0.02	0.100	0.0012	19.2	147	44.6	8.99	0.370	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	0.0253	0.0284	<0.005
79321_F-S lab	4.90	<0.02	2.02	<0.001	26.0	51.8	195	9.46	0.375	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79322_F-S lab	5.65	<0.02	3.97	0.0011	30.1	131	326	12.4	0.658	<0.05	0.0090	<0.002	<0.005	0.0282	<0.001	<0.005
79323_F-S lab	3.56	<0.02	0.691	<0.001	19.3	29.3	268	8.56	0.212	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79324_F-S lab	4.76	<0.02	0.528	<0.001	52.6	68.3	590	17.6	0.171	<0.05	<0.005	0.0328	<0.005	0.0163	<0.001	<0.005
79325_F/S lab	4.14	<0.02	<0.002	<0.001	18.5	145	41.9	8.72	0.527	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	0.0227	0.0218	<0.005
79321_F/S lab	4.40	<0.02	<0.002	<0.001	24.3	49.0	147	8.81	0.344	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79322_F/S lab	4.96	<0.02	<0.002	<0.001	27.5	122	324	12.2	0.626	<0.05	<0.005	0.0339	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79323_F/S lab	3.88	<0.02	<0.002	<0.001	19.9	29.6	263	8.58	0.210	<0.05	<0.005	0.0092	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79324_F/S lab	4.61	<0.02	<0.002	<0.001	54.9	71.8	553	18.1	0.173	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	0.0166	<0.001	<0.005
79325_F/S lab	4.29	<0.02	0.0028	0.0011	21.2	169	55.2	10.6	0.794	<0.05	<0.005	0.0564	<0.005	0.0183	0.0212	<0.005
79325_F/S lab	5.03	<0.02	<0.002	<0.001	28.4	136	341	12.5	0.722	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
79325_F/S lab	4.36	<0.02	<0.002	0.0011	21.6	162	56.1	11.2	0.775	<0.05	<0.005	0.0929	<0.005	0.0190	0.0214	<0.005
79325_F/S lab	4.65	<0.02	<0.002	<0.001	24.3	126	316	11.4	0.672	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
91011_F/S lab	2.42	0.0771	0.0238	<0.001	1.04	8.87	2.89	1.59	<0.001	<0.05	<0.005	<0.002	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005



7491 TRONCHEIM
 TL: 73 90 40 00
 Telefax: 73 90 16 20

ICP-AES ANALYSE
 VANN

ANALYSEKONTRAKTNR. 2014.0216

Prove ID	Mo [mg/L]	Cd [mg/L]	Cr [mg/L]	Ba [mg/L]	Sr [mg/L]	Zn [mg/L]	Ag [mg/L]	B [mg/L]	Be [mg/L]	Li [mg/L]	Sc [mg/L]	Ce [mg/L]	La [mg/L]	Y [mg/L]	As [mg/L]	Sb [mg/L]
79016_S lab	<0.005	<0.0005	0.0032	0.0035	0.447	<0.002	<0.205	0.0227	<0.001	<0.002	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79016_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0438	0.552	<0.002	<0.205	0.246	<0.001	0.0133	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79017_S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.126	0.395	<0.002	<0.205	0.124	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79018_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0570	0.147	<0.002	<0.205	0.177	<0.001	0.0064	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79019_S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.119	0.208	<0.002	<0.205	0.151	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79015_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0733	0.421	<0.002	<0.205	0.028	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79016_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0397	0.642	<0.002	<0.205	0.257	<0.001	0.0127	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79017_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.126	0.420	<0.002	<0.205	0.133	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79018_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0655	0.176	<0.002	<0.205	0.195	<0.001	0.0055	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79019_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.114	0.213	<0.002	<0.205	0.158	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79020_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0937	0.459	<0.002	<0.205	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79021_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0390	0.266	<0.002	<0.205	0.169	<0.001	0.0088	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79022_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0748	0.509	<0.002	<0.205	0.155	<0.001	0.0084	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79023_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0689	0.179	<0.002	<0.205	0.192	<0.001	0.0058	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79024_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0493	0.615	<0.002	<0.205	0.284	<0.001	0.0150	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79025_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.101	0.446	<0.002	<0.205	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79022_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.151	0.273	<0.002	<0.205	0.155	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79023_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.142	0.470	<0.002	<0.205	0.145	<0.001	0.0059	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79024_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0481	0.182	<0.002	<0.205	0.191	<0.001	0.0059	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79025_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.101	0.637	<0.002	<0.205	0.271	<0.001	0.0059	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79026_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.219	0.509	<0.002	<0.205	0.031	<0.001	0.0152	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79027_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.109	0.482	<0.002	<0.205	0.139	<0.001	0.0067	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79028_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.199	0.512	<0.002	<0.205	0.027	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79029_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.199	0.420	<0.002	<0.205	0.125	<0.001	0.0051	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
79011_F/S lab	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0035	0.0371	<0.002	<0.205	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005

\\FRIYU_perrm\lab\ICP_AES\Data\20140216_ICP_AES

ICP-AES

Delrapport ICP_AES_3



7481 TRONDHEIM
TEL: 73 90 40 00
T elefax: 73 92 16 20

IC-analyse av anioner
VANN
Analysekontrakt nr. 2014.0216

INSTRUMENT:
METODE:

Dionex Ionkromatograf ICS-1100

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

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

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

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

*) NGU-lab er ikke akkreditert for NO₂⁻

PREISJON :

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

ANTALL PRØVER:

13

ANMERKNINGER:

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

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

Ferdig analysert

24. okt. 2014

Marit Sigrid Halle

Dato

OPERATØR

\\fil11_p\perm\lab\Vann\IC\Data\20140016_IC

Ferside IC (Rapportnr. ver. 6.0 av 01.10.2013)

Delrapp-IC-1



7461 TRONDHEIM
 TF: 73 90 40 00
 Telefaks: 73 92 16 20

IC-analyser av anioner

VANN

Analysekontrakt nr. 2014.0216

Prøve ID	F ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Br ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	PO ₄ ³⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l
79315	0,0751	131	<0,1	0,456	0,282	<0,4	180
79316	<0,05	844	<0,1	3,28	<0,25	<0,4	190
79317	<0,05	576	<0,1	1,98	0,274	<0,4	169
79318	0,736	386	<0,1	1,39	0,253	<0,4	95,5
79319	0,713	191	<0,1	0,647	0,359	<0,4	70,5
79320	0,0681	112	<0,1	0,389	0,321	<0,4	175
79321	0,599	214	<0,1	0,752	0,311	<0,4	78,3
79322	0,193	576	<0,1	1,98	0,278	<0,4	172
79323	0,712	389	<0,1	1,33	<0,25	<0,4	96
79324	<0,05	961	<0,1	3,34	0,256	<0,4	196
79325	0,0630	128	<0,1	0,432	<0,25	<0,4	195
79326	<0,05	576	<0,1	1,95	<0,25	<0,4	171
91011	<0,05	2,30	<0,1	<0,1	0,328	<0,4	8,15

B.3 FYSISK ANALYSE

Fysisk analyse (Trondheim kommune Analyseresultater)								
Prøve ID - lab	Prøvetatt Dato	Mottak lab - dato	Analyse dato	Prøvetype	Merking -NGU	Alkalitet mmol/l	KOND mS/m	pH
2014-04732-12	2014-10-07	2014-11-19	2014-11-19	Vann,generelt	79326, Buen Omsorgssenter	4,5	258	7,9
2014-04732-11	2014-10-07	2014-11-19	2014-11-19	Vann,generelt	79325, Lena Terrasse gml. brønn	4,7	119	7,7
2014-04732-10	2014-10-17	2014-11-19	2014-11-19	Vann,generelt	79324, Thoragaarden	4,4	377	8,1
2014-04732-9	2014-10-15	2014-11-19	2014-11-19	Vann,generelt	79323, Melhuset	3,3	177	8,1
2014-04732-8	2014-10-15	2014-11-19	2014-11-19	Vann,generelt	79322, Idegården	4,6	255	7,6
2014-04732-7	2014-10-15	2014-11-19	2014-11-19	Vann,generelt	79321, Oterholgrd. Returbønn	3,9	120	7,9
2014-04732-6	2014-10-15	2014-11-19	2014-11-19	Vann,generelt	79320, B1 - Lena	4,8	112	7,6
2014-04732-5	2014-09-22	2014-11-19	2014-11-19	Vann,generelt	79319, Oterholmgrd.	3,7	113	8,1
2014-04732-4	2014-09-22	2014-11-19	2014-11-19	Vann,generelt	79318, Melhuset	3,3	177	8,2
2014-04732-3	2014-09-22	2014-11-19	2014-11-19	Vann,generelt	79317, Idegården	4,6	255	7,9
2014-04732-2	2014-09-22	2014-11-19	2014-11-19	Vann,generelt	79316, Thoragaarden	4,4	373	8,2
2014-04732-1	2014-09-22	2014-11-19	2014-11-19	Vann,generelt	79315, Lena Terrasse	4,7	114	7,8

Figur B.1 Resultater fra fysisk analyse

B.4 FYSISK OG KJEMISK ANALYSE FOR LENA TERRASSE B3

Eksport fra Online								
Prøve ID	2014-03763-1							
Uttaksdato	41897							
Prøvemottaksdato	41898							
Analysedato	41898,41458							
Prøvetype	Drikkevann							
Gjelder								
Sted								
Merkning	Lena Terrasse B3							
Prosjekt								
Analyse	A	Resultat	Enhet	Metode	±	Mingrense	Maksgrense	Analysekode
KALSIUM ICP	1	151	mg Ca/L	NS-EN ISO 17294				CA-ICP
Klorid - Ionekrom.	1		mg Cl/L	NS-EN ISO 10304				CH-IC FILT
FARGE TALL	1	<1		ISO 7887:2011				FARGE-410
JERN-ICP-L	1	974	µg Fe/L	NS-EN ISO 17294 >			200	FE-ICP-L
ICP-5	1	ok		ICP-MS				ICP-5
KOND	1	121	mS/m	NS ISO 7888				KONDUKTIV
MAGNES-ICP-L	1	20,3	mg Mg/L	NS-EN ISO 17294				MG-ICP
MANGAN-L	1	850	µg Mn/L	NS-EN ISO 17294				MN-ICP
NATRIUM ICP-MS	1	66,2	mg Na/L	NS-EN ISO 17294				NA-ICP-MS
NITRAT	1		µg N/L	NS-EN ISO 13395				NO3-L
pH	1	7,3		NS-EN 15933				PH
Sulfat - Ionekrom.	1		mg SO4/L	NS-EN ISO 10304				SO4-IC FILT
TURB	1	10	NTU	NS-EN ISO 7027 >			4	TURBIDITET

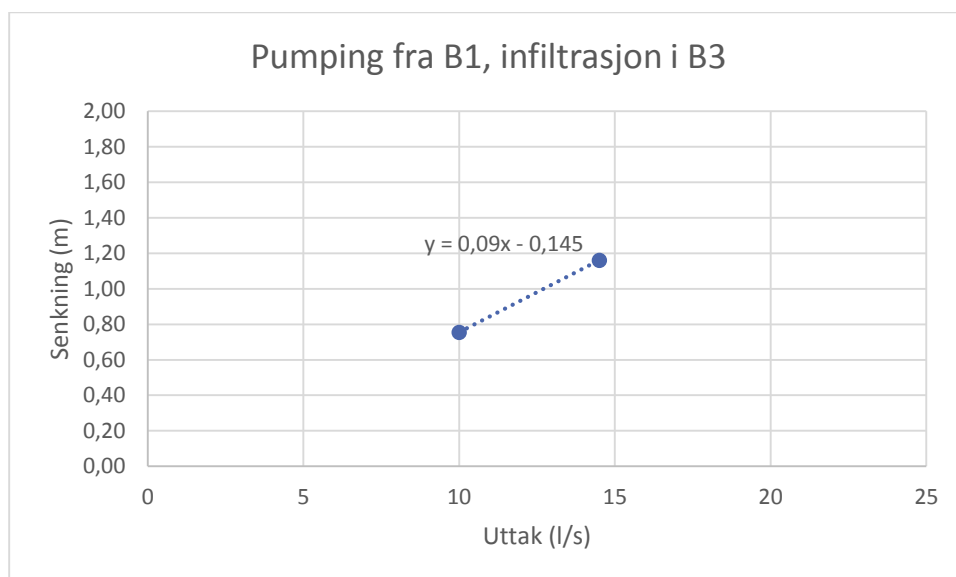
Figur B.2 Fysisk og kjemisk analyse av vannprøven fra B3 på Lena terrasse , prøvedato 15.09.2014

C FELTMÅLINGER FRA LENA TERRASSE

C.1 BEREGNING AV UTTAKSMENGDE FOR HVERT TRINN

Ved korttids testpumping i den andre pumpeperioden (pumping fra B1 med infiltrasjon i B3), ble uttaksmengden ved trinn 1 og trinn 2 målt ved å ta tiden det tok å fylle en 100-liters dunk med vann. For trinn 1 ga dette et uttak på 10 l/s, og for trinn 2 et uttak på 14,5 l/s. Disse verdiene er så plottet mot tilsvarende senkning etter 30 minutters pumping i figur c.1. Ligningen for den resulterende grafen er $y = 0,09x - 0,145$. Siden senkningen etter 30 minutters pumping på trinn 3 er kjent ($y = 1,85$), har det gjort det mulig å finne uttaksmengden (x) på trinn 3:

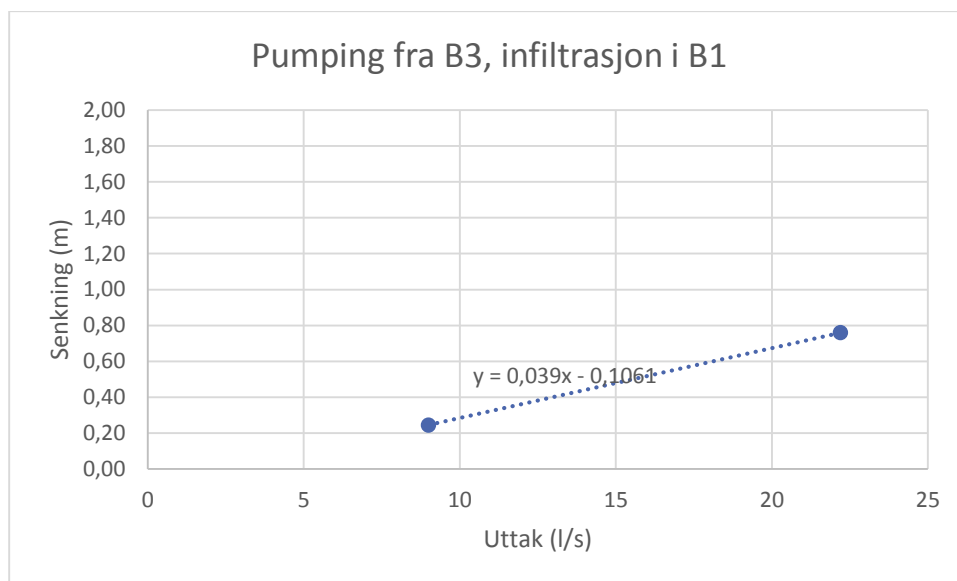
$$x = \frac{1,85 + 0,145}{0,09} = 22,2 \text{ l/s}$$



Figur C.1 Beregning av uttaksmengde for trinn 3 i den andre pumpeperioden (pumping fra B1 med infiltrasjon i B3).

I den første pumpeperioden (pumping fra B3 med infiltrasjon i B1) ble uttaksmengden kun målt for trinn 1. Det ble brukt samme pumpe ved pumping av både B1 og B3, og pumpe stod på maks ved pumping på trinn 3 i begge pumpeperiodene. Det antas derfor at uttaksmengden var den samme på trinn 3 i begge pumpeperiodene. Verdiene for uttaket på trinn 1 og trinn 3 er plottet sammen med tilsvarende senkning etter 30 minutters pumping i figur c.2. Ligningen for den resulterende grafen er $y = 0,039x - 0,1061$. Siden senkningen etter 30 minutters pumping på trinn 2 er kjent ($y=0,42$), har det derfor vært mulig å beregne uttaksmengden (x) på trinn 2:

$$x = \frac{0,42+0,1061}{0,039} = 13,5 \text{ l/s}$$



Figur C.2 Beregning av uttaksmengde for trinn 2 i den første pumpeperioden (pumping fra B3 med infiltrasjon i B1).

C.2 DEL 1 PUMPING FRA B3 MED INFILTRASJON I B1 (SEPTEMBER 2014)

Tabell C.1 Feltnmålinger fra prøvepumping del 1

Dato	Klokkeslett	Grunnvannsnivå B1 (m*)	Grunnvannsnivå B2 (m*)	Grunnvannsnivå B3 (m*)	Temp. (°C)	Elektrisk ledningsevne (µS/cm)
15.09	09.00 (før korttidspumping)	20,85	22,65	23,84	8,1	1160
15.09	15.00 (oppstart langtidspumping)			24,30		
16.09	13.15		22,75	24,34	8,5	1239
17.09	12.45			24,36		
18.09	09.30			24,38	8,0	1225
19.09	13.10			24,38		
20.09	12.45			24,40		
21.09	12.45			24,42		
22.09	12.45			24,43		
23.09	12.40			24,42		
24.09	11.00		22,87	24,43	7,7	1135

* Meter under brønntopp

C.2 DEL 2 PUMPING FRA B1 MED INFILTRASJON I B3 (OKTOBER 2014)

Tabell C.2 Feltmålinger fra prøvepumping del 2

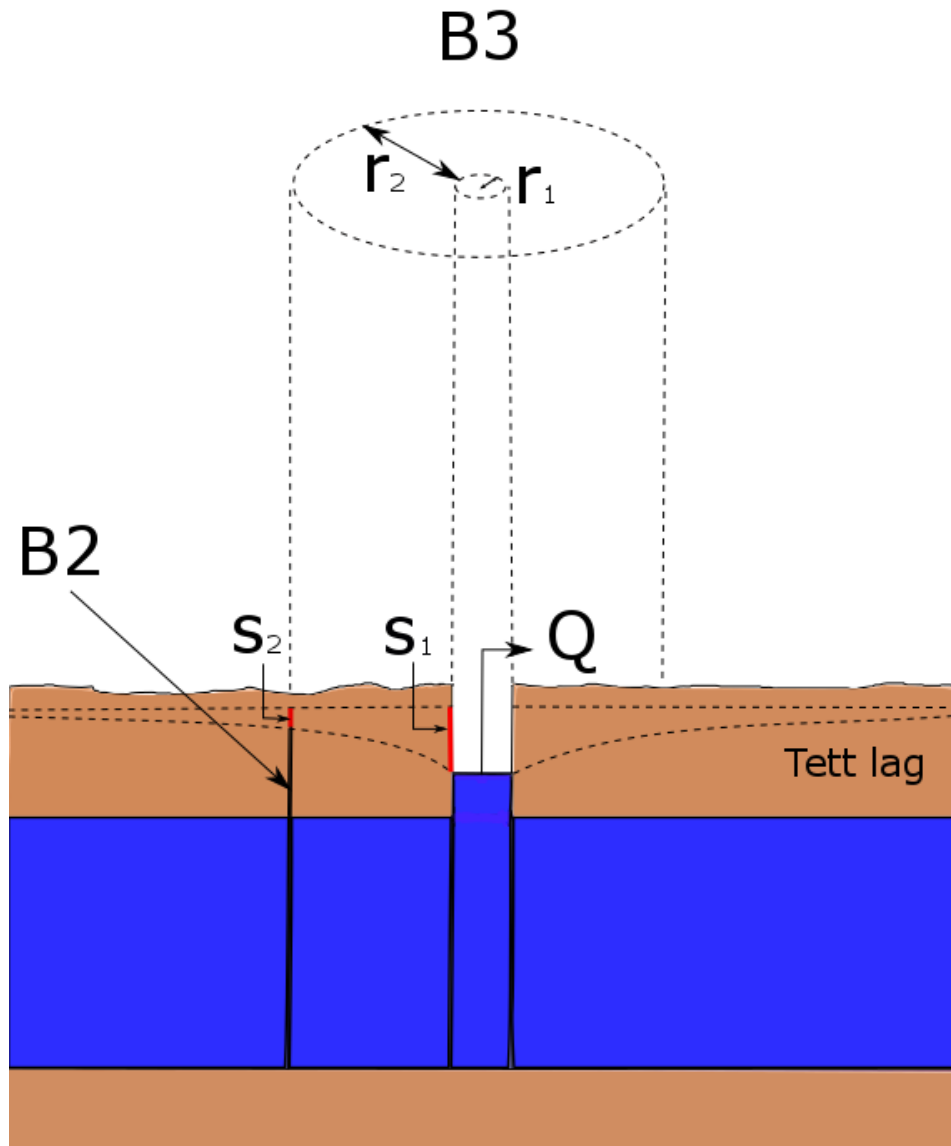
Dato	Klokkeslett	Grunnvannsnivå B1 (m*)	Grunnvannsnivå B2 (m*)	Grunnvannsnivå B3 (m*)	Temp. (°C)	Elektrisk ledningsevne (µS/cm)
7.10	09.00 (før korttidspumping)	20,75	22,61	23,82	7,9	1189
7.10	14.00 (oppstart langtidspumping)	21,91	22,64			
8.10	14.45	22,01				
9.10	13.15	22,05				
10.10	13.05	22,05				
11.10	12.35	22,06				
12.10	12.00	22,04				
13.10	11.00	22,05				
15.10	10.50	22,07		23,75		

* Meter under brønntopp

D BEREGNING AV HYDRAULISKE PARAMETERE

D.1 THIEMS METODE FOR LUKKEDE AKVIFERER (STASJONÆR TILSTAND)

Forholdene ved langtids prøvepumping av B3 med B2 som peilebrønn er vist i figuren under.



Figur D.1 Prinsipiell skisse av forholdene ved langtids prøvepumping av B3 med infiltrasjon i B1 og B2 som peilebrønn. Uttaksmengden tilsvarer uttaket ved trinn 2 i korttids trinntest.

$$Q = 0,013 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s_1 = 24,43 \text{ m} - 23,84 \text{ m} = 0,59 \text{ m}$$

$$s_2 = 22,78 \text{ m} - 22,65 \text{ m} = 0,13 \text{ m}$$

$$r_1 = 0,084 \text{ m}$$

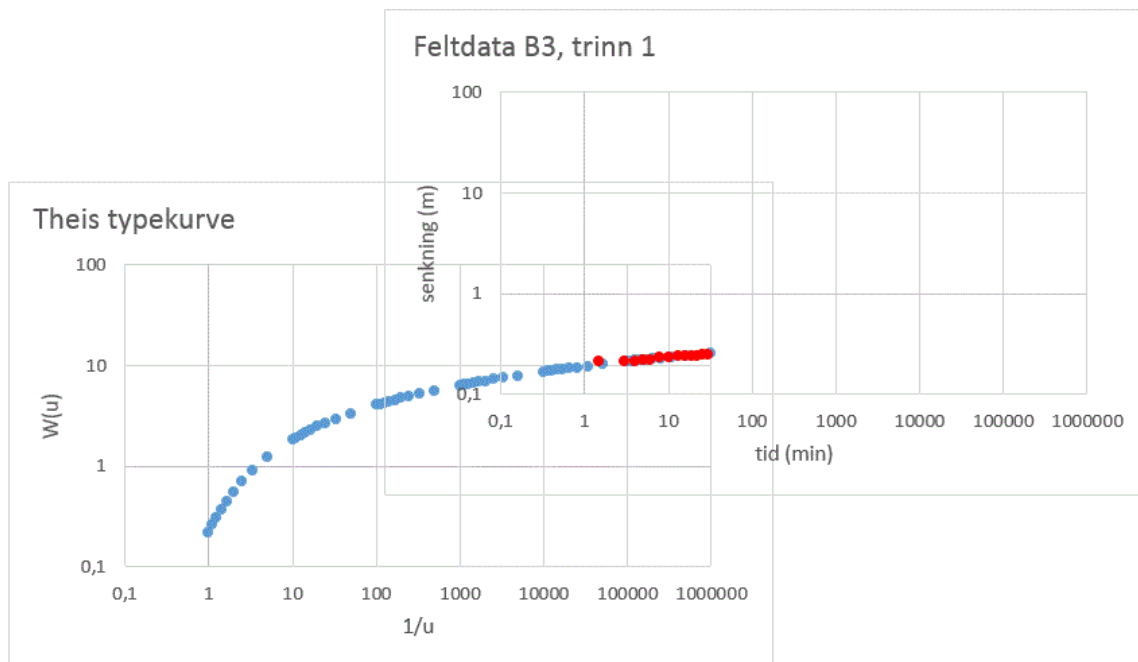
$$r_2 = 12,89 \text{ m}$$

Innsatt i ligning 2.3 for transmissivitet blir dette:

$$T = \frac{0,013 \text{ m}^3/\text{s}}{2\pi(0,59 \text{ m} - 0,22 \text{ m})} \ln\left(\frac{12,89 \text{ m}}{0,084 \text{ m}}\right) = 0,029 \text{ m}^2/\text{s}$$

D.2 THEIS METODE FOR LUKKEDE AKVIFERER (TRANSIENT TILSTAND)

Pumping av B3 på trinn 1 (uttaksmengde 9 l/s) gir følgende feltkurve som sammenlignes med Theis typekurve:



Figur D.2 Feltdata og Theis typekurve ved prøvepumping av B3 med infiltrasjon i B1, trinn 1

$$1/u = 100\,000$$

$$W(u) = 10$$

$$t = 5 \text{ min} = 300 \text{ sek}$$

$$s = 0,3 \text{ m}$$

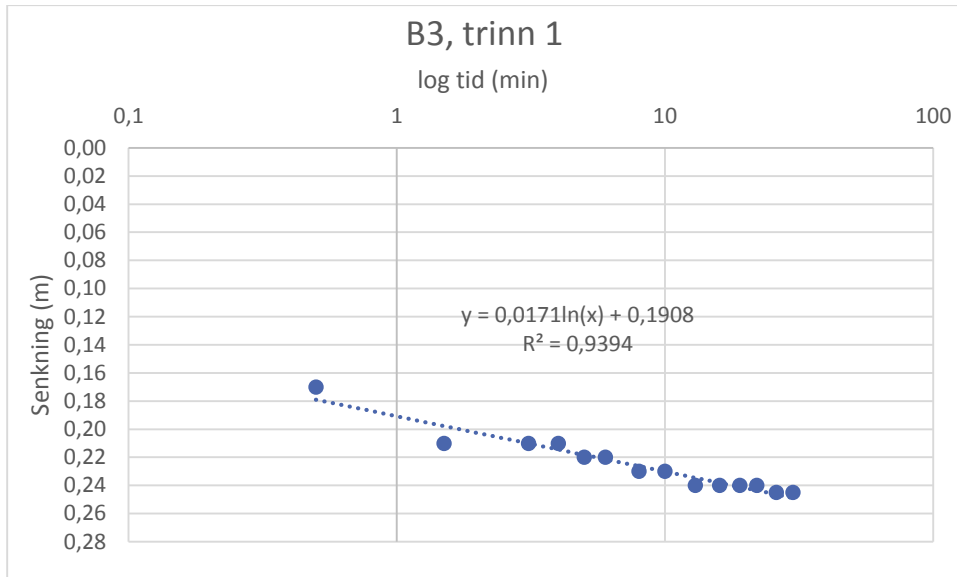
Innsatt i ligning 2.4 for transmissivitet (T) og ligning 2.5 for magasinkoeffisient (S) gir dette:

$$T = \frac{0,009 \text{ m}^3/\text{s}}{4\pi * 0,3 \text{ m}} * 10 = 0,024 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = \frac{4 * 0,024 \text{ m}^2/\text{s} * \left(\frac{1}{100000}\right) * 300 \text{ s}}{(0,084 \text{ m})^2} = 0,041$$

D.3 COOPER-JACOB METODE FOR LUKKEDE AKVIFERER (TRANSIENT TILSTAND)

Pumping av B3 på trinn 1 (uttaksmengde 9 l/s) gir følgende kurve ved bruk av Cooper-Jacobs metode:



Figur D.3 Cooper-Jacob kurve ved pumping av B3 med infiltrasjon i B1 , trinn 1

Innsatt i ligning 2.6 for transmissivitet (T) og ligning 2.7 for magasinkoeffisient (S) gir dette:

$$T = 0,183 \frac{0,009 \text{ m}^3/\text{s}}{0,04 \text{ m}} = 0,041 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = \frac{2,25 * 0,041 \text{ m}^2/\text{s} * 0,0012 \text{ s}}{(0,084 \text{ m})^2} = 0,016$$

D.4 HYDRAULISK KONDUKTIVITET

For å finne hydraulisk konduktivitet er det bruk et gjennomsnitt av de beregnede transmissivitetsverdiene, og en antatt tykkelse på akviferen på 30 meter.

$$T_{\text{gjennomsnitt}} = \frac{(0,029 + 0,024 + 0,041) \text{ m}^2/\text{s}}{3} = 0,031 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = \frac{0,031 \text{ m}^2/\text{s}}{30 \text{ m}} = 0,001 \text{ m/s}$$

E EKSEMPEL PÅ FDV-DOKUMENTASJON

E.1 SAMMENDRAG FRA FORUNDERSØKELSENE



Norges geologiske undersøkelse
7491 TRONDHEIM
Tlf. 73 90 40 00
Telefaks 73 92 16 20

RAPPORT

Rapport nr.: 2000.069		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Grunnvannsundersøkelser i tilknytning til planlagte energibrønner i Lena-området, Melhus sentrum. <input type="checkbox"/>			
Forfatter: Gaute Storrø		Oppdragsgiver: Statoil/NGU	
Fylke: Sør - Trøndelag		Kommune: Melhus	
Kartblad (M=1:250.000) Trondheim		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1621 - 3, Støren	
Forekomstens navn og koordinater: Lena, 32V 701840 - 56450		Sidetall: 18 Kartbilag: 0	Pris: kr 60,-
Feltarbeid utført: Mai 2000	Rapportdato: 01.06.2000	Prosjektnr.: 2771.00	Ansvarlig: <i>Bent O. Helms</i>
Sammendrag:			
<p>I mars 2000 ble NGU forespurt av firmaene E-Tek AS og Statoil om å gjennomføre grunnvannsundersøkelser i Lena-området i Melhus sentrum. Bakgrunnen for undersøkelsene var planer om utnyttelse av grunnvarme i forbindelse med et boligfelt som etableres i regi av Selmer Bolig AS.</p> <p>Prosjektets målsetting var å fremlegge dokumentasjon med hensyn til mulighetene for å ta ut grunnvann fra løsmassebrønn(er) innenfor det aktuelle utbyggingsområdet. Etterspurt vannmengde er av størrelsesorden 50 m³/time (14 l/s). I tillegg skulle strømningsforhold, grunnvannskvalitet og muligheter for reinfiltrasjon av grunnvann kartlegges.</p> <p>Det konkluderes det med at det høyst sannsynlig vil være mulig å dekke det oppgitte vannbehov (50 m³/time) ved etablering av en fullskala produksjonsbrønn innenfor utbyggingsområdet.</p> <p>Grunnvannsstrømningen i Lena-området går fra nord mot sør. Grunnvannsspeilet er forholdsvis flatt med en gradient på 0.1 – 0.2 % (1 - 2 mm/m).</p> <p>Mulighetene for reinfiltrasjon av oppumpet vann synes å være gode. Forholdene bør kartlegges nærmere ved enkle infiltrasjonsforsøk.</p> <p>Alle de innsamlede grunnvannsprøvene overskrider grenseverdiene anført i drikkevannsforskriften når det gjelder alkalitet, sulfat, kalsium, kalium og mangan. Prøvene fra Obs2 og fra den "kommunale brønnen" overskrider i tillegg grensene for klorid og natrium. Dette indikerer at uønskede utfellinger både av kalk og mangan kan finne sted. Høyt innhold av sjøsalter (klorid og natrium) kan også ha en korrosiv virkning. Utfra beregning av Ryznars Stabilitetsindeks (RSI) fremgår det at prøvene fra Obs1 og Obs2 ligger i grenseområdet mellom "problemfritt vann" og "korrosivt vann", mens vannet fra den kommunale brønnen må betegnes som meget korrosivt.</p> <p>Ifølge opplysninger fra driftspersonellet har det ikke vært registrert problemer med utfellinger eller korrosjon i varmevekslere eller rønett ved Melhus Bo- og Servisesenteret, hvor et grunnvarmeanlegg har vært i drift i ca 3 år. Dette bør klarlegges nærmere idet det her kan være truffet spesielle tiltak, for eksempel ved valg av materialer i rønett og varmevekslere, for å forhindre korrosjon og/eller utfellinger.</p>			
Emneord: Hydrogeologi		Grunnvarme	Løsmasse
Boring		Kjemiske analyser	Fagrapport

Figur E.1 Sammendrag av forundersøkelsesrapport fra Lena Terrasse

E.2 BORERAPPORT

Fakt.nr. 11929

Nordenfjeldske brønn- og spesialboringer a.s
 SOLØR 90 15 88 88 LEVANGER 74 08 92 05

BORERAPPORT 5906 / 2013
Ar

Energibrønn
 Anlegg: Lenaveien 2
Brønnen skal benyttes til

Melhus Kommune
Oppdragsgiver

Tirond Erik Berg
Adresser

Rødhusveien 2
 7224 Melhus
Adresse

991 22 303
Tif. p.c.t.c.

916 68 172
Tif. arb.

Rumarhian
Kommune

Melhus

27.11.13 814TS KOF
Dato Maskin Operatør

32.V 0564436 7017994
Sone ØV-koordinater NS-koordinater

" i fjell m/ _____ ° helling mot _____	N v ⊕ Ø	Høyde over havet _____ m
" filterbrønn _____ m 0-2m kvabb		← 15 m
_____ mm _____ 2-10m grus	<small>Jordart</small>	Ned til vannstand _____ m t/fjell
43 m 193 mm stålrør 10-20m leire	<small>Fjelllets beskaffenhet/farge</small>	Vanninnslag:
_____ mm plastrør 20-43m grus		_____ m l/t
3.5 m 160 mm filter m/1mm åpning		_____ m l/t
0.5 m 156x3 mm stigerør m/filterskottetning		_____ m l/t
_____ mm presisjonsboring m/rør		_____ m l/t
_____ mm presisjonsboring i fjell		_____ m l/t
t maskin inkl. _____ mann		43 m
t transport _____		Total dybde 160 mm
		Diameter

Mont. _____ m _____ mm kollektorslange Avtalt maks. dybde _____ m

Trykkprøvd: _____ Total vannmengde _____ l/t

1.5 time filter til hekking

BESTILLING AV MATERIELL OG VIDERE ARBEIDE:

- _____ m foring m/ _____ mm PE-80/100 rør PN _____
- Aqua-tett _____ mm Sprenging Hydraulisk trykking
- _____

Godkjent/bestilt av: _____ den _____ 20 _____

MEDLEM AV MEF'S BRØNNBORINGSKAVD. - VÅR ERFARING ER DIN SIKKERHET

Figur E.2 Borerapporten til produksjonsbrønnen på Lenavegen 3

E.3 BRØNNSPESIFIKASJONER OG BRØNNSKISSE

Brønnsesifikasjoner	Produksjonsbrønn	Returbrønn
Boredato	dd.mm.åå	dd.mm.åå
Datum og koordinater	WGS84 UTM sone 32 X: Y:	WGS84 UTM sone 32 X: Y:
Totalt brønndyp	... m	... m
Brønnrør: lengde og diameter	... m, ... mm	... m, ... mm
Pumpestigerør: lengde og diameter	... m, ... mm	
Returrør: lengde og diameter		... m, ... mm
Brønnfilter: lengde, diameter og lysåpning	... m, ... mm, ... mm	... m, ... mm, ... mm
Sumprør: lengde og diameter	... m, ... mm	... m, ... mm
Spesifikk kapasitet	... l/s/m	... l/s/m
Langtids kapasitet	... l/s	... l/s
Transmissivitet	... m ² /s	... m ² /s
Senkning	... cm ila ... dagers pumping med uttaksmengde ... l/s	
Brønnekum: høyde og diameter	Ø ... m og h ... m	Ø ... m og h ... m

Grunnvannspumpe	
Plassering	... m under terrengoverflaten
Modell	...
Prosjektert uttaksmengde	... l/s

Varmepumpe	
Modell	...
Prosjektert temperatursenkning (ΔT)	... °C

Figur E.3 Eksempel på oversikt over brønnsesifikasjoner

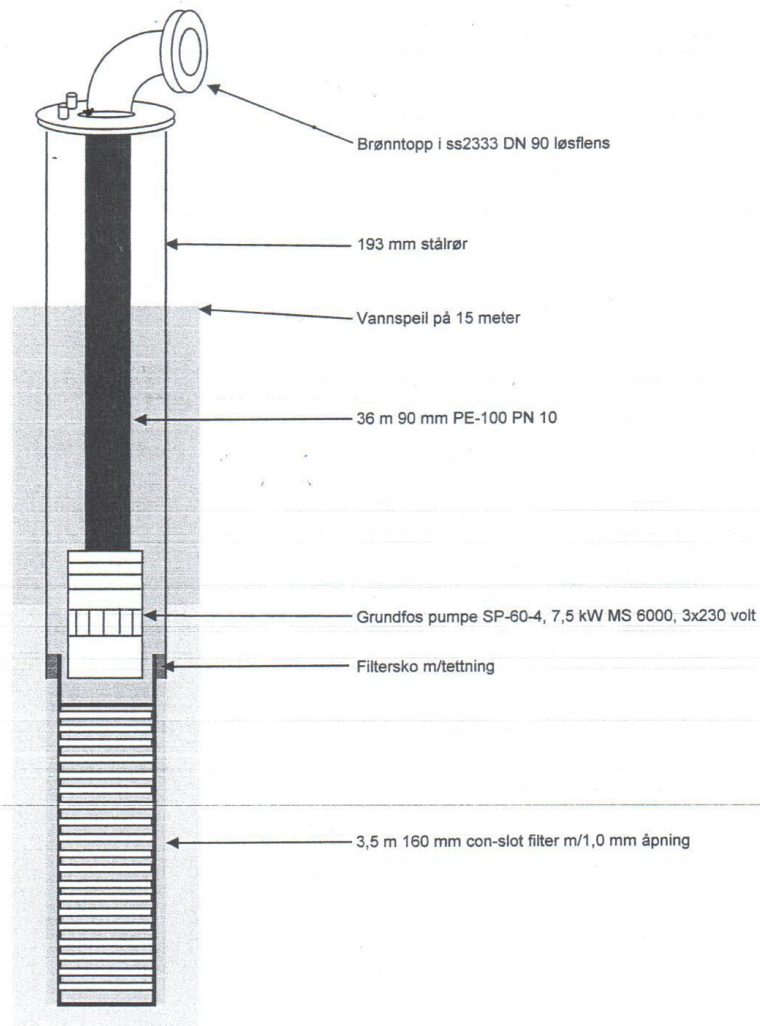
Asnes Finnskog 12.12.13



Nordenfjeldske brønn- og spesialboringer as

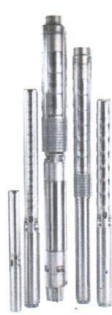
Melhus kommune Lenaveien 2,

Energibrønn for VP-anlegg, Rap. 5906 / 2013



Figur E.4 Skisse av produksjonsbrønnen på Lenavegen 3

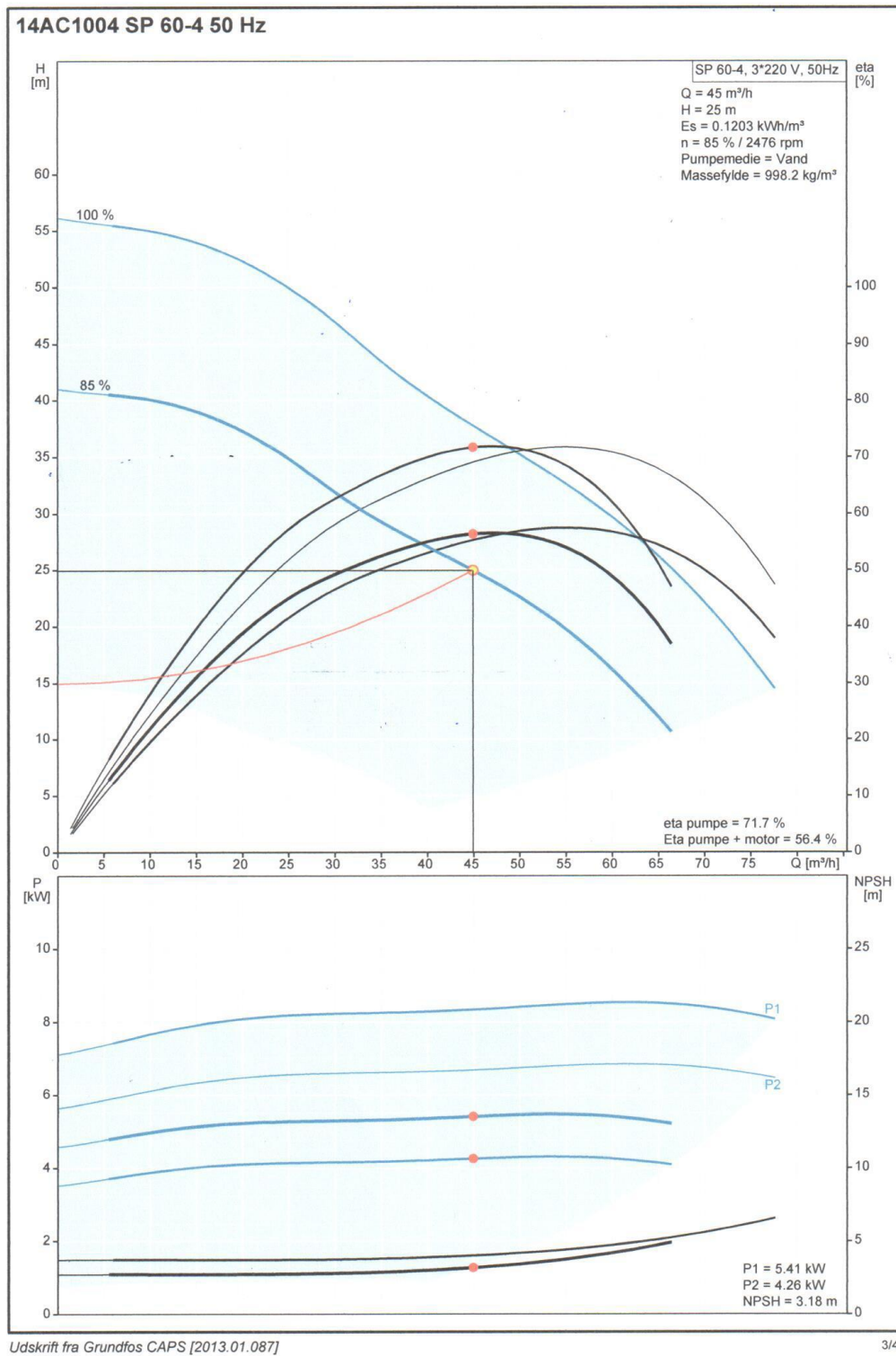
E.4 PRODUKTDATABLAD FOR GRUNNVANNSPUMPE

Positionsnr.	Antal	Beskrivelse	Stykpris
	1	<p>SP 60-4</p>  <p>OBS: Produktbilledet kan avvige fra det faktiske produkt</p> <p>Produktnr.: 14AC1004</p> <p>Flertrins-dykpumpe til råvandsforsyning, grundvands-sænkning og trykføring. Pumpen er egnet til applikationer, der indebærer pumpning af aggressive væsker.</p> <p>Alle primære pumpedele er lavet af Rustfrit stål DIN W.-Nr. DIN W.-Nr. 1.4301 og egnet til horisontal såvel som vertikal installation. Pumpen er forsynet med spædesnegl og har indbygget kontraventil.</p> <p>Motoren er en 3-faset motor med sandfang, væskesmurte lejer og trykkudlignende membran.</p> <p>Medie: Pumpemedie: Vand Max. væsketemperatur ved 0,15 m/s: 30 °C Medietemp.: 20 °C Massefylde: 1000 kg/m³ Kinematisk viskositet: 1 mm²/s</p> <p>Teknisk: Hastighed for pumpedata: 2900 omdr/min Nominelt flow: 60 m³/h Nominel løftehøjde: 31 m Akseltætning for motor: CER/CARBON Kurv tolerance: ISO 9906:2012 Grade 3B</p> <p>Materialer: Pumpe: Rustfrit stål DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304 Løber: Rustfrit stål DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304 Motor: Rustfrit stål DIN W.-Nr. 1.4301 AISI 304</p> <p>Installation: Pumpeudløb: Rp 3 Motordiameter: 6 inch</p> <p>Elektriske data: Motortype: MS6000 Mærkeeffekt - P2: 7.5 kW Netfrekvens: 50 Hz Mærkespænding: 3 x 220-230 V Startform: direkte</p>	

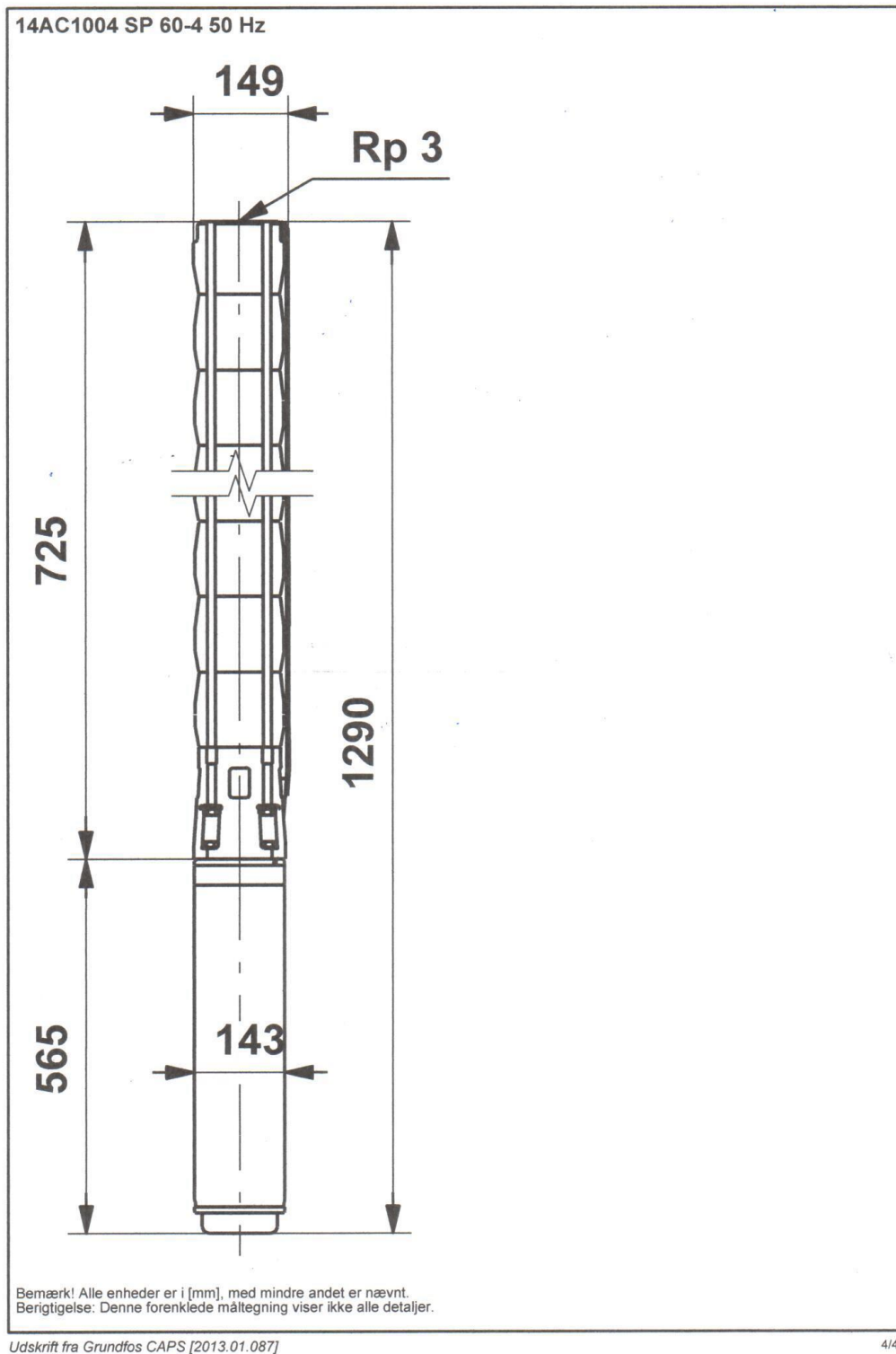
Udskrift fra Grundfos CAPS [2013.01.087]

1/4

Figur E.5 Produktdatablad (side 1) for grunnvannspumpa på Lenavegen 3




Figur E.6 Produktdatablad (side 2) for grunnvannspumpa på Lenavegen 3



Figur E.7 Produktdatablad (side 3) for grunnvannspumpa på Lenavegen 3

E.5 PRODUKTDATABLAD FOR VARMEPUMPE

		Technical data	23.1.2012
Selection author		Meelis Kolmkant Chiller Oy	
Unit quantity		1 pce.	
Selected unit		CHT-G- 44-4D -X -P1 -W2 -BP3 -P6 -TCV +desup. heat. Refriger. R410a	
Customer: Reftec AS		W.-to-w. heat pump	
Reference: Nedre Melhus Omsorgcenter			
Performance values*		Heating	
Cooling		110,93	kW
Flow		9,64	l/s
Pressure drop		36,89	kPa
Temperatures		3,0 / 0,0	°C
Liquid	Ethylene Glycol	30	%
Heating		147,70	kW
Flow		4,46	l/s
Pressure drop		26,49	kPa
Temperatures		33,5 / 41,5	°C
Liquid	Water	0	%
Capacity steps		0/25/50/75/100	%
Desuperheating capacity, percentage of condensing heat**		22	%
		32,7	kW
Electrical data for compressors at dimensioning condition			
Power supply		400-50-3	V/Hz/Ph
Power input		36,8	kW
Running current		65,5	A
Electrical connections			
Power supply		400-50-3	V/Hz/Ph
Power input		63,1	kW
Running current		106,0	A
Dimensional data			
Freight weight		1455	kg
Runnin weight		1510	kg
Amount of refrigerant		18	kg
Length		3500	mm
Width		900	mm
Height		1950	mm
Drycooler			
Model			
Capacity			kW
Air flow			m ³ /s
Air temperature (Inlet/Outlet)			°C
Liquid temperature (Inlet/Outlet)			°C
Liquid flow			l/s
Pressure drop			kPa
Sound level db(A) from 10 m distance			dB(A)
* All capacity calculations based on clean heat exchangers.			
** Desuperheater calculation is a trend-setting estimation if the outlet water is 15 K warmer than condenser outlet water. Only, when desuperheaters are selected.			
Oversized evaporator!			

Technical selection

Figur E.8 Produktdatablad for varmepumpa på Buen