

Rapport nr.: 2000.109		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Kartlegging av potensialet for grunnvarmeuttak fra løsmasser i Voss			
Forfatter: Atle Dagestad og Birger Heidenstrøm (NVE)		Oppdragsgiver: Voss kommune, NGU og NVE	
Fylke: Hordaland		Kommune: Voss	
Kartblad (M=1:250.000) ODDA		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1316 III Voss	
Forekomstens navn og koordinater: Tvildemoen 32V 3599 67247 Vossevangen 32V 3591 67235		Sidetall: 33 Kartbilag:	Pris: 115,-
Feltarbeid utført: 1999	Rapportdato: November 2000	Prosjektnr.: 277105	Ansvarlig:
Sammendrag: <p>Gjennom et samarbeidsprosjekt mellom Voss kommune, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Norges geologiske undersøkelse (NGU) er det foretatt en kartlegging av grunnvarmepotensialet i løsmasser ved kommunesenteret Vossevangen med tilstøtende områder. Kartlegging av grunnvarmepotensialet i løsmassene er gjort på grunnlag av resultat fra georadarmålinger, undersøkelsesboringer, temperaturmålinger samt vann- og sedimentanalyser. Kartleggingen avdekket stor variasjon i løsmassesammensetningen innenfor undersøkelsesområdet, der en israndavsetning på tvers av dalgangen ved Vossevangen har hatt avgjørende betydning på avsetningsmønsteret og løsmassefordelingen i området. På vestsiden (distalt) av israndavsetningen er det avsatt et delta med til dels mektige sand- og grusavsetninger med god vanngiverevne som gir grunnlag for større grunnvarmeuttak. Områdene på østsiden (proksimalt) av israndavsetning domineres av finkornige lavpermeable avsetninger med liten vanngiverevne og følgelig lite potensiale for grunnvarmeuttak.</p> <p>Målinger av grunnvannstemperaturen under prøvepumping av observasjonsbrønner etablert på Vossevangen viste temperaturer på mellom 6-10 °C. Langtidsserier av grunnvannstemperaturen i produksjonsbrønnene ved Prestegardsmoen grunnvannsanlegg viste at temperaturen i grunnvannsmagasinet var jevnt høy (> 5 °C) selv i perioder med meget lav vanntemperatur i nærliggende vassdrag (< 1 °C). Kombinasjonen av god vanngiverevne og høy grunnvannstemperatur i de vestlige deler av det undersøkte området gir her et betydelig potensiale for grunnvarmeuttak.</p> <p>På grunnlag av grunnundersøkelser og temperaturmålinger utførte av NGU, har NVE laget en grunnvannsmoell og utarbeidet et grunnvarmepotensialkart for akviferen ved Vossevangen.</p>			
Emneord: grunnvarme	energikartlegging	geofysiske undersøkelser	
temperaturmålinger	løsmasser		
grunnvann	georadar	fagrapport	

1.	INNLEDNING	4
2.	SAMARBEID MED VOSS KOMMUNE	4
3.	BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSESOMRÅDET	5
4.	TIDLIGERE UTFØRTE HYDROGEOLOGISKE OG HYDROLOGISKE UNDERSØKELSER	5
4.1	Hydrogeologiske undersøkelser	5
4.2	Hydrologiske undersøkelser	6
4.2.1	Elvemålinger	6
4.2.2	Vangsvatnet	7
5.	UNDERSØKELSER UTFØRTE I DETTE PROSJEKTET	9
6.	RESULTATER	10
6.1	Kvartærgeologi	10
6.2	Grunnboringer og prøvepumping	10
6.3	Temperaturmålinger og vannkjemi	11
7.	GRUNNVARMEPOTENSIALET	12
8.	KONKLUSJON	14
9.	REFERANSER	14

DATABILAG

1 – 11	Borelogger
12	Vannanalyser
13-14	Kornfordelingsanalyser

TEKSTBILAG

1-3	Simuleringsverktøyet og modellkjøringen
-----	---

1. INNLEDNING

En forventet fremtidig energiknapphet og Norges forpliktelser i forbindelse med Kyotoavtalen har gitt et økende behov for alternative og fornybare energikilder i Norge. For å imøtekomme fremtidens energisituasjon satses det fra offentlig hold betydelig på å øke energifleksibilitet i energiforsyningen, med vannbåren varme basert på bioenergi, varmepumper og spillvarme som viktige satsningsområder.

Grunnvarme er en fornybar energikilde med betydelig potensiale, og som er velegnet som alternativ energigiver til varmepumper. Grunnvarme er betegnelsen på energi lagret i grunnen, enten i berggrunnen, løsmassene eller grunnvannet. Denne energien kommer fra soloppvarming og/eller geotermisk energi (energi fra jordas indre). I tillegg til rene oppvarmingsformål som romoppvarming og vannvarming, kan grunnvarme også benyttes til kjøleformål og forvarming/avkjøling av luft i ventilasjonsanlegg.

For å stimulere til økt bruk av grunnvarme har myndighetene etablert økonomiske støtteordninger for private og offentlige utbyggingsprosjekter som ønsker å bygge ut grunnvarmeanlegg. Som en konsekvens av dette har myndighetene støttet flere FoU-prosjekter for å øke kunnskapen om grunnvarmeuttak samt kartlegging av grunnvarmepotensialet i ulike deler av landet. Et av disse prosjektene er prosjektet "Effektiv bruk av grunnvarme" som er et samarbeidsprosjekt mellom Norges geologiske undersøkelse (NGU) og Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Målet med dette prosjektet har vært å danne et grunnlag for å estimere grunnvarmepotensialet i Norge, gjennom å kartlegge grunnvarmepotensialet i noen utvalgte områder med forskjellig klimatiske og geologiske forhold. Det er ved siden av de utførte grunnvarmeundersøkelsene på Voss også gjennomført liknende undersøkelser i Elverum og Alvdal kommuner.

2. SAMARBEID MED VOSS KOMMUNE

Kartleggingen av grunnvarmepotensialet fra løsmasser i Voss har ikke hatt som formål å kartlegge hele kommunen, men undersøke mulighetene til å benytte grunnvarme til oppvarming i utvalgte områder med eksisterende bygg eller planlagte byggeprosjekter med vannbåren varme. Områder som inngikk i disse undersøkelsene ble valgt ut i samråd med teknisk etat i Voss kommune. Kontaktpersoner i kommunen har under utvelgelse av undersøkelsesområdene og tilrettelegging av undersøkelsene vært Olav Bjørke og Zlatko Chemalovic.

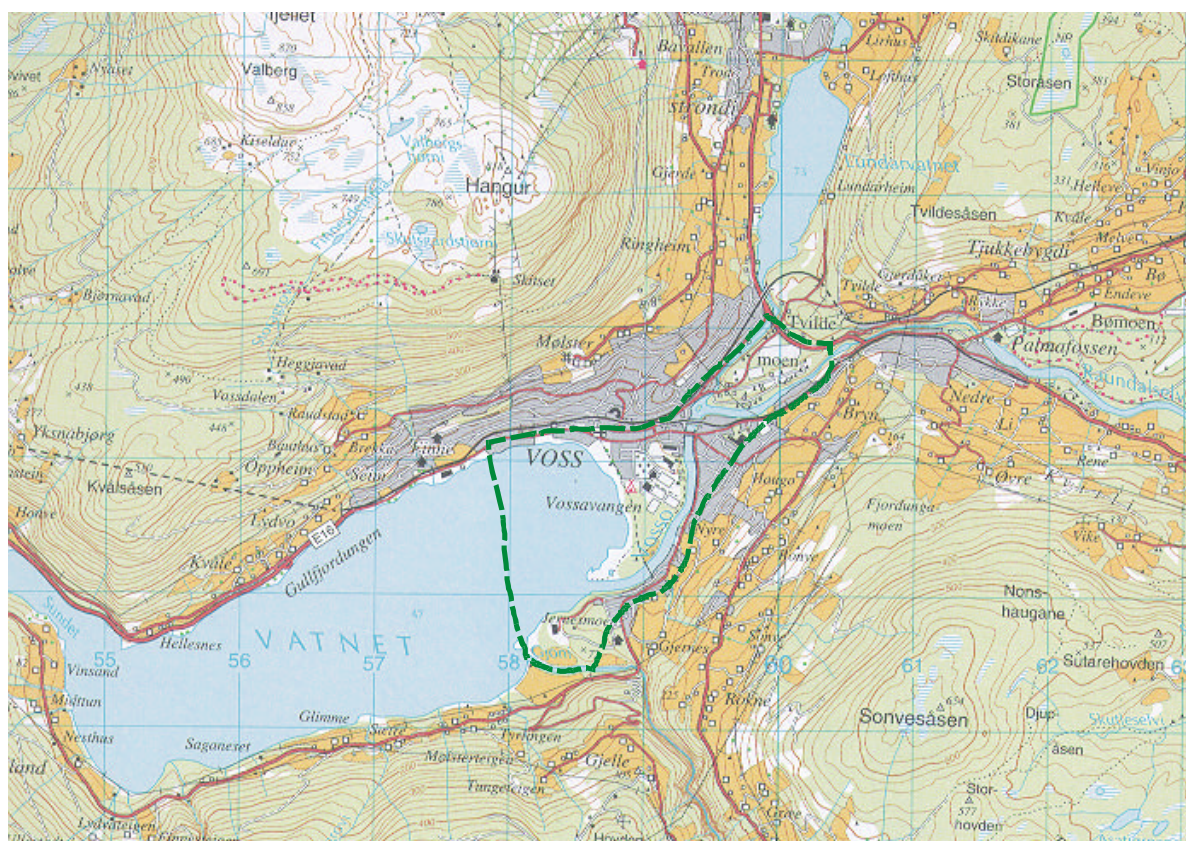
Utvalgte områder i Voss kommune:

- Vetleflaten; planlagt bygging av et stort eldre senter.
- Tvildemoen; store utbyggingsplaner for teknologisk industri samt nye boligområder.
- Vossevangen; eksisterende kommunale bygninger samt flere større hoteller med vannbåren varme.

Det ble imidlertid utført undersøkelser ut over disse lokalitetene for å få et mer heldekkende kartleggingsgrunnlag for Vossevangen med tilstøtende nærområder.

3. BESKRIVELSE AV UNDERSØKELSESOMRÅDET

Det undersøkte området dekker et ca. 3 km² stort området avgrenset til de flatereliggende områdene i dalgangen mellom Tvildemoen i nordøst til Vangsvatnet i sørvest (figur 1). Dette området utgjør en liten del av kommunens totale areal, men dekker de tettest befolkede områder i kommunen med bla. kommunesenteret Vossevangen. Bebyggelsen i området består av en blanding av private boliger, kommunale bygg og institusjoner samt en del mekanisk- og næringsmiddelindustri. De hydrologiske forholdene i det undersøkte området domineres av Vangsvatnet samt elvene Vosso, Strondaelva, Bordalselva og Raundalselva.



Figur 1: Avgrensning av undersøkelsesområdet

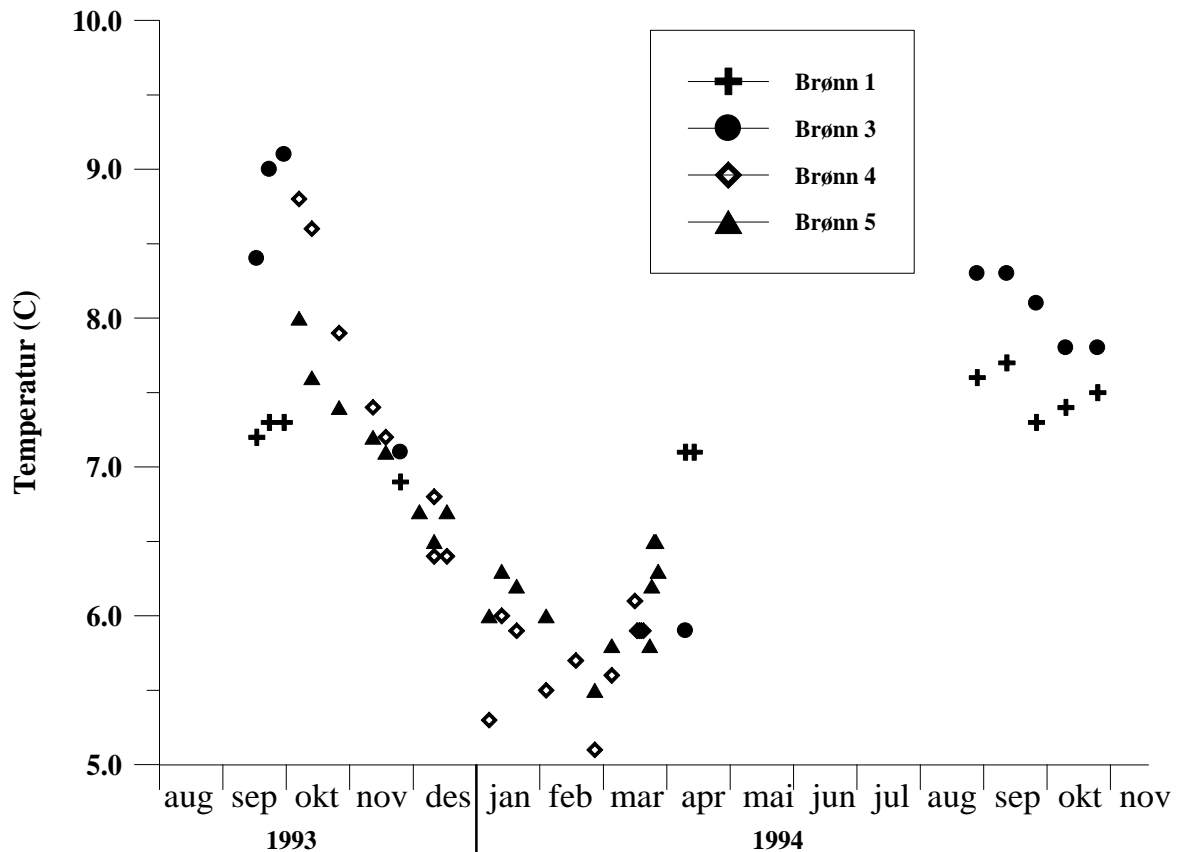
4. TIDLIGERE UTFØRTE HYDROGEOLOGISKE OG HYDROLOGISKE UNDERSØKELSER

4.1 Hydrogeologiske undersøkelser

I det aktuelle området er det tidligere gjennomført detaljerte hydrogeologiske undersøkelser på nordsiden av Vossos utløp i Vangsvatnet i forbindelse med etablering og sikring av kommunens grunnvannsanlegg ved Prestegardsmoen (Klemetsrud 1964, Veslegaard 1998). Disse undersøkelsene viste betydelige løsmassemektheter av sand og grus med god vanngiverevne i dette området. Det ble i perioden august 1993 til november 1994 også utført sporadiske målinger av grunnvannstemperaturen i de 4 produksjonsbrønnen ved

Prestegardsmoen (figur 2). Målingene viste at grunnvannstemperaturen i måleperioden ikke var under 5 °C selv med et grunnvannsuttak på 70 l/s fra grunnvannsanlegget.

Ut over disse undersøkelsene ved grunnvannsanlegget er det sparsomt med relevante grunnundersøkelser i det aktuelle området. Det er utført noen geotekniske undersøkelser i forbindelse med planlagte og gjennomførte veianlegg og byggeprosjekter (Statens vegvesen, Noteby). Formålet med de geotekniske undersøkelser har vært å dokumentere fundamenteringsforholdene slik at resultatene fra disse undersøkelsene har vært av begrenset nytte i dette kartleggingsarbeidet.

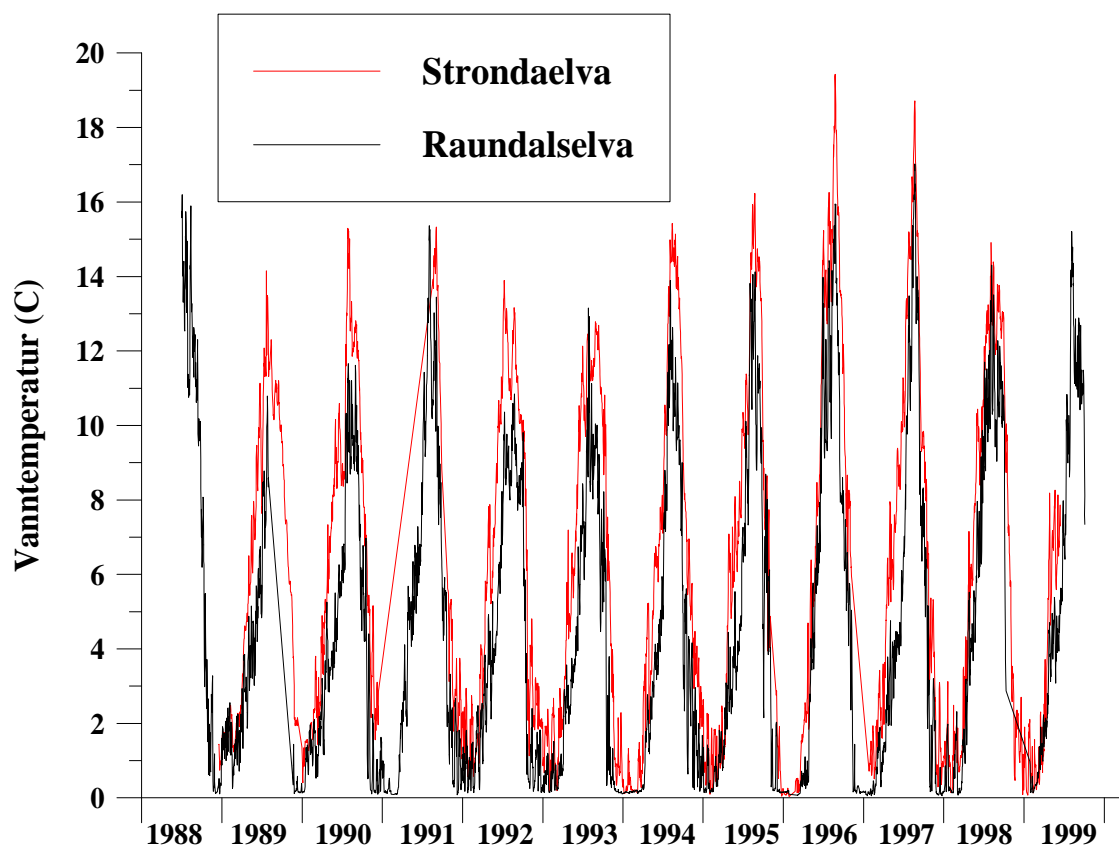


Figur 2: Temperaturmålinger i produksjonsbrønner ved Prestegardsmoen grunnvannsanlegg 1993-94.

4.2 Hydrologiske undersøkelser

4.2.1 Elvemålinger

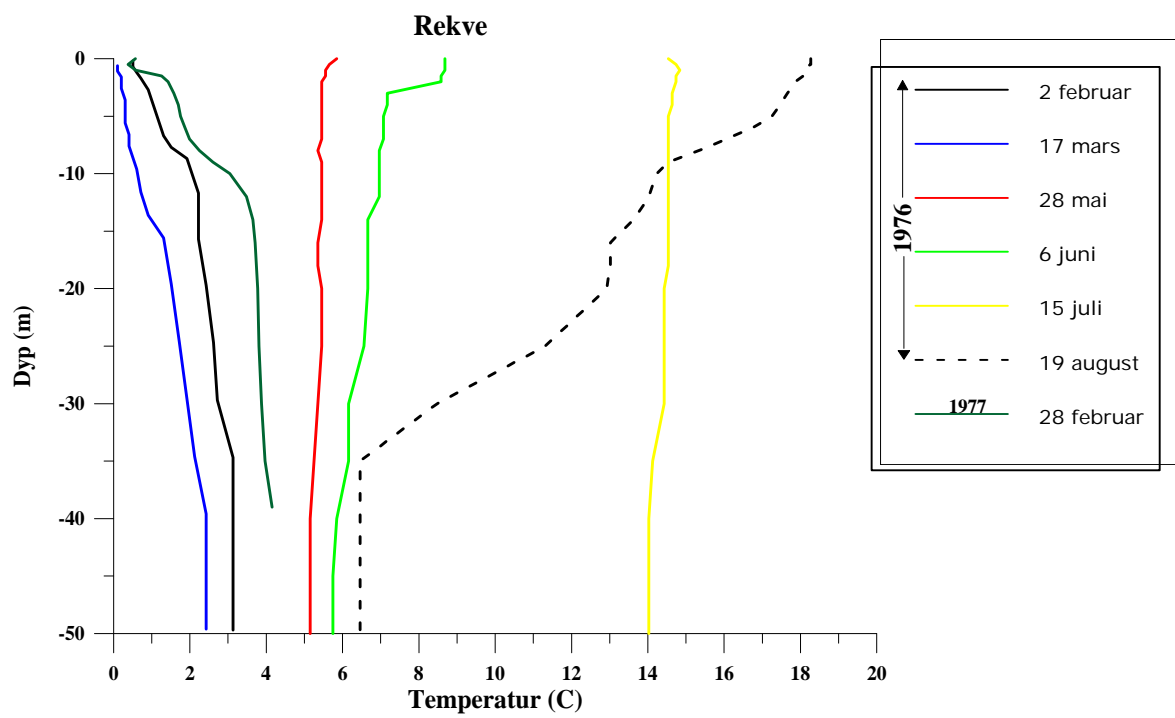
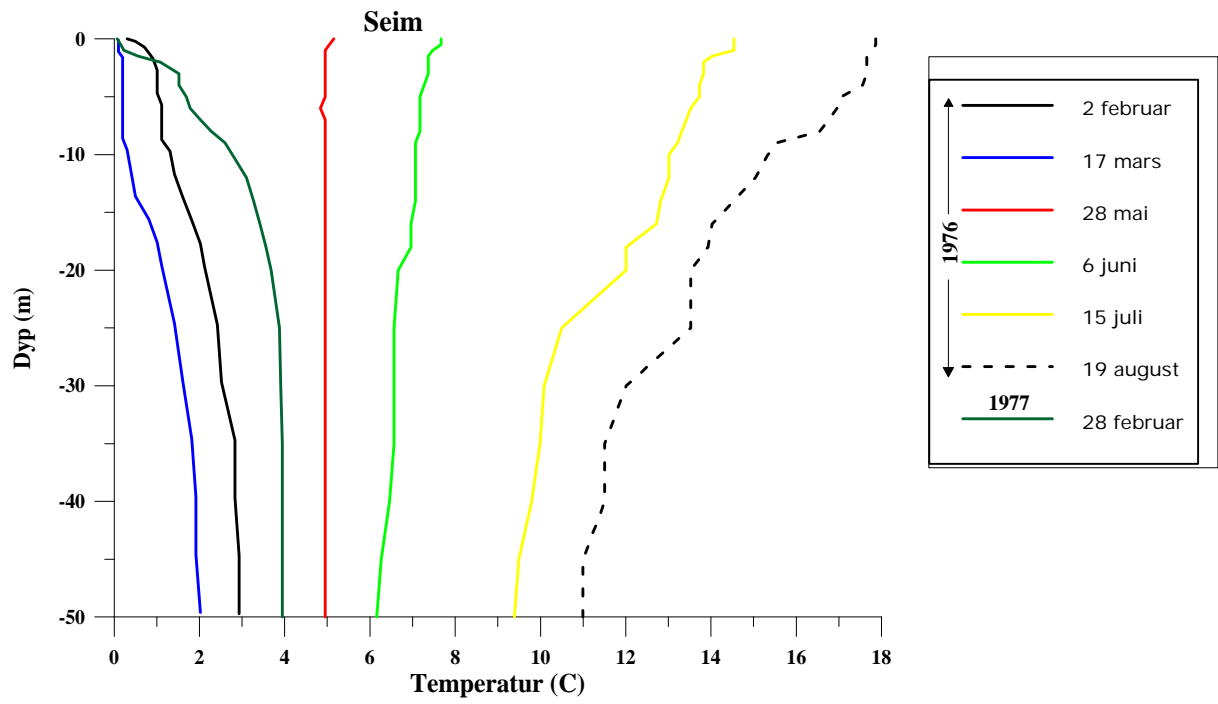
Norges vassdrag og energidirektorat (NVE) gjennomfører daglige målinger av temperatur i Strandaelva og Raundalselva ved Tvildemoen. Disse målingene viser at temperaturen i disse vassdragene varierer betydelig gjennom året og ligger i lengre perioder vinterstid ned mot 0 °C (figur 3). Varmeuttak direkte fra ellevannet vinterstid vil derfor være uaktuelt i dette området. Den høye temperaturen i elvene sommerstid gir imidlertid gode muligheter for høy grunnvannstemperatur i høst og vintermånedene i de deler av grunnvannsmagasinet som mates fra disse elvene.



Figur 3: Vanntemperatur i Strondaelva og Raundalselva i perioden 1988 til 1999 (målinger NVE).

4.2.2 Vangsvatnet

NVE har i forbindelse med vassdragsregulering i nedslagsfeltet til Vosso gjennomført temperaturmålinger i Vangsvatnet ved Seim og Rekve i perioden 1976-77. Disse temperaturmålinger viste at vanntemperaturen i de øvre 40-50 meter av Vangsvatnet ligger under 2 °C på senvinteren (figur 4). Selv om disse målingene ligger en del år tilbake i tid er det forventet at temperaturforholdene i Vangsvatnet er tilnærmet det samme i dag, og på grunnlag av dette synes det derfor lite aktuelt å varmeveksle med vann fra Vangsvatnet. Høy temperatur sommerstid i de øvre vannlagene gir imidlertid gode muligheter for høy grunnvannstemperatur i høst og vintermånedene i de deler av grunnvannsmagasinet som står i hydraulisk kontakt med Vangsvatnet.

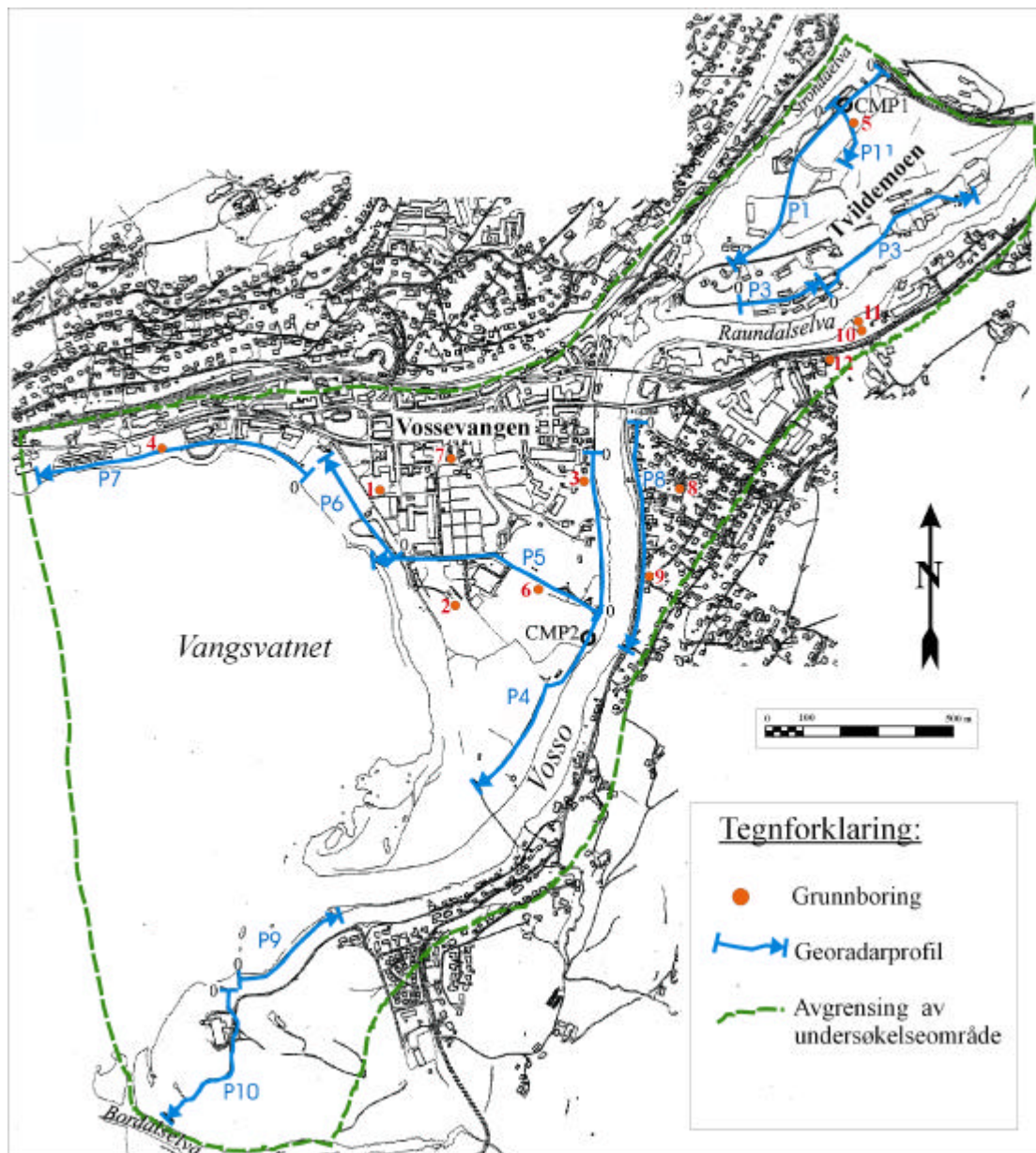


Figur 4: Temperaturmålinger i Vangsvatnet ved Rekve og Seim i perioden februar 1976 til februar 1977 (målinger utført av NVE).

5. UNDERSØKELSER UTFØRTE I DETTE PROSJEKTET

Det ble i perioden juni – oktober 1999 gjennomført feltbefaring, georadarmålinger (5200 meter) samt sonderboringer ved 12 utvalgte lokaliteter innen undersøkelsesområdet (Figur 5). Utskrift av georadarmålingene samt tolkning av løsmassesammensetningen mot dypet langs profilene er gjengitt i egen rapport (Tønnesen 2000). I vedlegg 1-12 er resultatene fra samtlige boringene vist.

Ved 4 av de 12 borelokalitetene viste sonderboringene grovkornede sedimenter med god permeabilitet. På grunnlag av resultatene fra sonderboringene ble det satt ned 5/4 ” sandspiss ved disse 4 borelokalitetene for prøvepumping og uttak av vann- og løsmasseprøver.



Figur 5: Undersøkelsesområdet ved Vossevangen med plassering av georadarprofiler og borelokaliteter.

6. RESULTATER

6.1 Kwartærgeologi

De utførte grunnundersøkelsene viste at mektighet og sammensetningen på løsmassene varierte betydelig innen undersøkelsesområdet. Det ble registret til dels store forskjeller i løsmassesammensetning og vanngiverevne over korte avstander (f.eks. mellom borepunktene 3 og 6). For bedre å kunne forstå disse variasjonene er det på bakgrunn av feltbefaring, grunnboring og georadarmålinger fremstilt et forenklet kvartærgeologisk kart over undersøkelsesområdet (figur 6). Av spesiell betydning for forståelsen av løsmassefordelingen i det undersøkte området er moreneryggen/israndavsetningen på Vossevangen. Denne avsetningen ble avsatt for 9000-10000 år siden under siste fase av nedsmelting av den store innlandisen som dekket størstedelen av Skandinavia. Løsmassene ble avsatt i fronten av en brearm som strakk seg oppover i dalen mot kildeområdet øst. Det som vises av avsetningen i dag er trolig bare rester av en større sammenhengende rygg som strakk seg over hele dalgangens bredde, men som i ettertid er blitt delvis erodert bort av store smeltevannselver som drenerte ut gjennom dalen. Under nedsmeltingen av brearmen i dalen og den innenforliggende innlandisen ble store mengder løsmasser spylt ut med smeltevanns-elvene, og mektige grovkornede avsetninger ble avsatt på framsiden av israndavsetningen (ref. boring 1,2,6,7). Etter hvert som breen smeltet tilbake østover ble det formet et basseng mellom brefronten i øst og israndavsetningen i vest. I dette bassenget ble det i en kort periode dannet en bresjø hvor det ble avsatt store mengder finkornige sedimenter fra breelvene. Etter hvert eroderte overløpet fra denne bresjøen seg gjennom israndavsetningen slik at bresjøen forsvant og områdene med bresjøsedimenter ble eksponert for elveerosjon. De finkornige bresjøsedimentene er derfor i dag hovedsakelig overlagret av grovere elvededimenter (ref. boring 3 og 8 til 12).

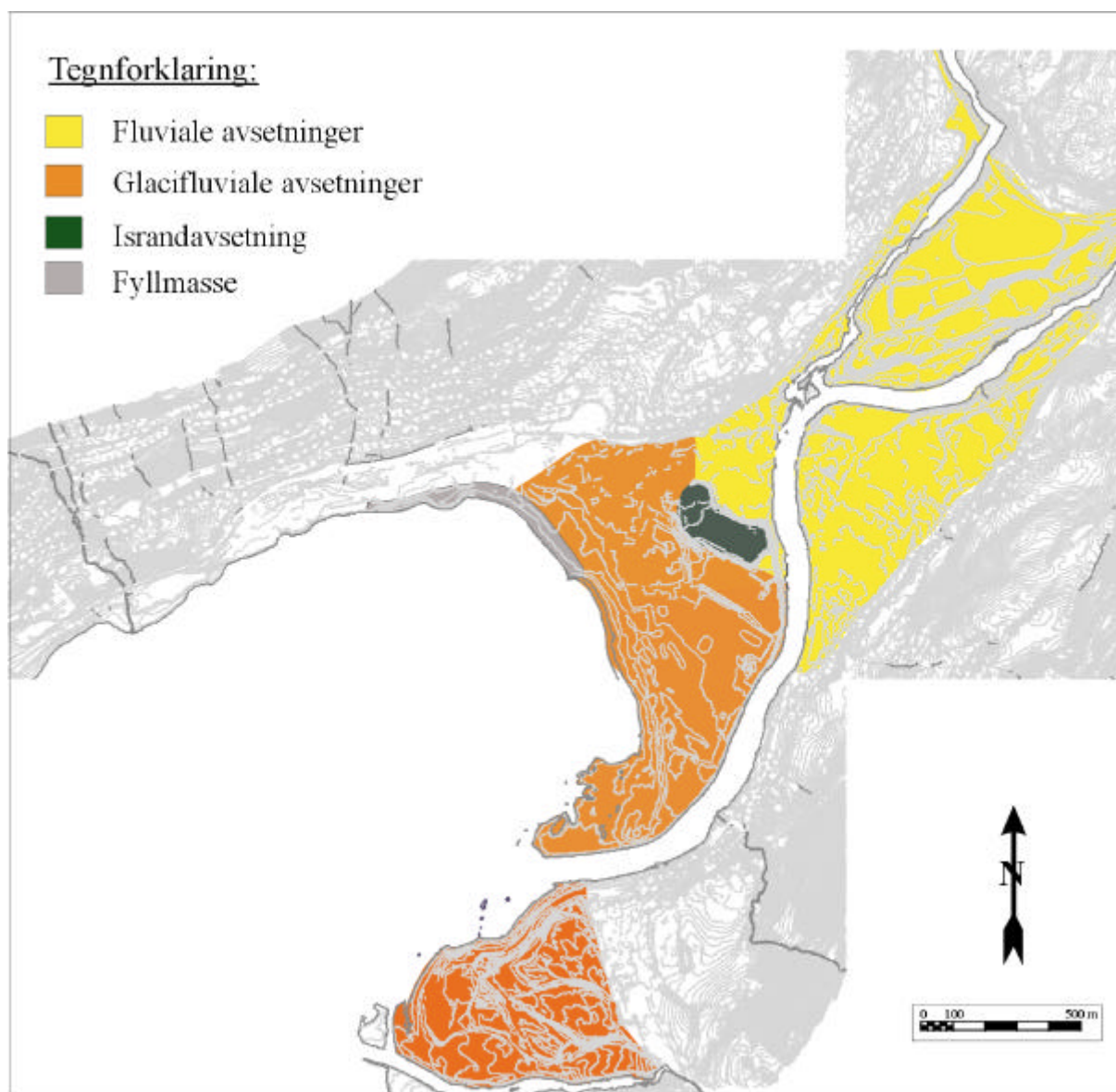
På grunn av disse avsetningsforholdene er områder med grovkornede avsetninger med god vanngiverevne avgrenset til breelvvavsetningene på vestsiden av israndavsetningen ved Vossevangen.

I tillegg til dette området er det ut fra feltkartlegging og georadarundersøkelser antatt at det ved utløpet av Bordalselva i Vangsvatnet finnes mektige grovkornede avsetninger. Det er ikke gjennomført boringer i området for å verifisere georadartolkningene eller fastlegge løsmassenes vanngiverevne.

6.2 Grunnboringer og prøvepumping

Ved borelokalitetene 1, 2 og 6, 7 ved Vossevangen ble forholdene utfra georadarundersøkelsene og sonderboringene ansett å være så gode at det ble satt ned sandpiss for å kartlegge løsmassesammensetning, vanngiverevne, grunnvannstemperatur og grunnvannskjemi mot dypet i avsetningen. Boringene ved borelokalitetene 1, 2 og 6 viste alle mektige sand- og grus-avsetninger med god til meget god vanngiverevne (vedlegg 1-6).

Ved borelokalitet 7 (Hestavangen) lå grunnvannsspeilet ca. 9 meter under bakkenivå, noe som gjorde det umulig å benytte sugepumpe til prøvepumping. Sedimentenes vanngjennomgang i dette området er derfor basert på infiltrasjonskapasitet under vannspyling i borerøret. Infiltrasjonsforsøkene og masseuttak under boring viste grusig sand med god til moderat permeabilitet fra 9-20 meters dyp, mens det under dette nivå ble registret lavpermeabel sand/finsand. Da det ikke var mulig å utføre prøvepumping er det imidlertid vanskelig å sammenlikne resultatene fra lokalitet 7 med de andre boringene i området. Det er imidlertid forventet at løsmassenes samlede vanngiveren er noe lavere i dette området sammenliknet med lokalitetene 1,2 og 6, dels på grunn av lengre avstand til Vangsvatnet, men også på grunn av gjennomgående noe lavere permeabilitet på løsmassene.



Figur 6: Forenklet kvartærgeologisk kart over undersøkelsesområdet.

6.3 Temperaturmålinger og vannkjemi

Det ble under prøvepumpingen utført temperaturmålinger både på utpumpet vann og i selve undersøkelsesbrønnene etter testpumping. Temperaturen på utpumpet grunnvann varierte noe mellom de tre borelokalitetene, der de høyeste temperaturene ble målt ved borepunkt 1 (8,7-10,2 °C). Ved borepunktene 2 og 6 lå temperaturen på utpumpet grunnvann 2-3 °C lavere sammenliknet med borepunkt 1. Det ble også målt noe lavere grunnvannstemperatur ved måling i selve undersøkelsesbrønnen sammenliknet med utpumpet grunnvann ved borepunkt 1 (< 1 °C), noe som kan ha sammenheng med at grunnvannet ble varmet noe opp ved gjennomgang i grunnvannspumpen. Det er utført for få målinger til å kvantifisere dette avviket, men avviket mellom målt og reel grunnvannstemperatur vil forventningsvis være størst ved lave pumperater og lengre oppholdstid i pumpen.

Av større betydning for estimering av grunnvarmepotensialet i området er temperaturforskjellen mellom borepunkt 1 og borepunktene 2 og 6. Denne forskjellen er trolig

gitt av ulike strømningsforhold i grunnen i borelokalitetene. Lokalitetene 2 og 6 ligger nærmere Vosso, noe som gir mulighet for større innmating av kaldt elvevann i grunnvannsmagasinet i dette området sammenliknet med området ved borelokalitet 1. Infiltrasjon av kaldt elvevann i området ved lokalitetene 2 og 6 blir trolig også forsterket av grunnvannsuttaget ved Prestegardsmoen.

Kjemiske målinger av grunnvannet ved borelokalitet 1 viste gjennomgående lav pH og alkalitet (databilag 12). Ved en eventuelle bruk av grunnvannet i varmevekslere må det derfor ved utvelgelse av utrustning tas hensyn til at vannet er noe aggressivt. Konsentrasjonen av jern og mangan i grunnvannet var også gjennomgående lav. Det ble imidlertid registrert noe løst jern i grunnvannsprøven fra 18,7-19,7 m dyp (0,3 mg/l), men det er ikke forventet at denne konsentrasjonen vil gi problemer med utfellinger i varmevekslere. Det må påpekes at det ikke var mulig å ta ut grunnvannsprøver fra boring 7 ved Hestavangen slik at det ikke er mulig å si noe om vannkvaliteten i dette området.

7. GRUNNVARMEPOTENSIALET

På grunnlag av de utførte undersøkelsene er områdene med største potensialet for uttak av grunnvarme funnet i området vest for randavsetningen ved Vossevangen samt området ved utløpet av Bordalselva i Vangsvatnet. Områdene øst for randavsetningen opp til og med Tvildemoen har lavt grunnvarmepotensiale på grunn av liten mektighet på løsmasser med god vanngiverevne.

For å estimere grunnvarmepotensialet i området mellom randavsetningen og Vangsvatnet har NVE utarbeidet en digital grunnvannsmoell over grunnvannsmagasinet i dette området. Utformingen av grunnvannsmoellen er hovedsakelig basert på tolkete georadarprofiler, grunnboringer med pumpeprøver samt topografiske kart. For nærmere beskrivelse av grunnvannsmoellen og utførte simuleringer henvises til tekstbilag 1.

I figur 7 er grunnvarmepotensialkart over det aktuelle området vist. Kartet er fremstilt ved å kombinere estimert pumpekapasitet i enkeltbrønner ut fra simulerte uttaksscenarioer med en forventet grunnvannstemperatursenkning på 4 °C gjennom varmepumpen.

Ut fra de utførte uttakssimuleringene viser kartet at det i de beste områdene kan tas ut opp mot 200 kW fra enkeltbrønner. Det må her påpekes at dette er simulerte verdier ut fra et begrenset datagrunnlag og at reelt grunnvarmeuttak først kan fastlegges etter at det er etablert grunnvannsbrønner og gjennomført langtidsprøvepumping. Grunnvarmepotensialkartet viser også simulert grunnvannskapasitet ved etablering av kun en brønn i grunnvannsmagasinet. Potensialkartet vil følgelig ikke kunne benyttes til å estimere energiuttak fra hver enkelt brønn i et brønnfelt etablert innenfor et begrenset område av grunnvannsmagasinet. I slike tilfeller må influensområdet rundt de enkelte brønner fastlegges før brønnfeltets samlede energiuttak kan beregnes.











Som det fremgår av potensialkartet er deler av området ned mot Prestegardsmoen skravert, noe som har sammenheng med at større uttak av grunnvann til energiformål i dette området ikke er tilrådelig da det kan påvirke kapasitet og kvalitet ved eksisterende grunnvannsanlegg.

Grunnvarmepotensialet på Vossevangen



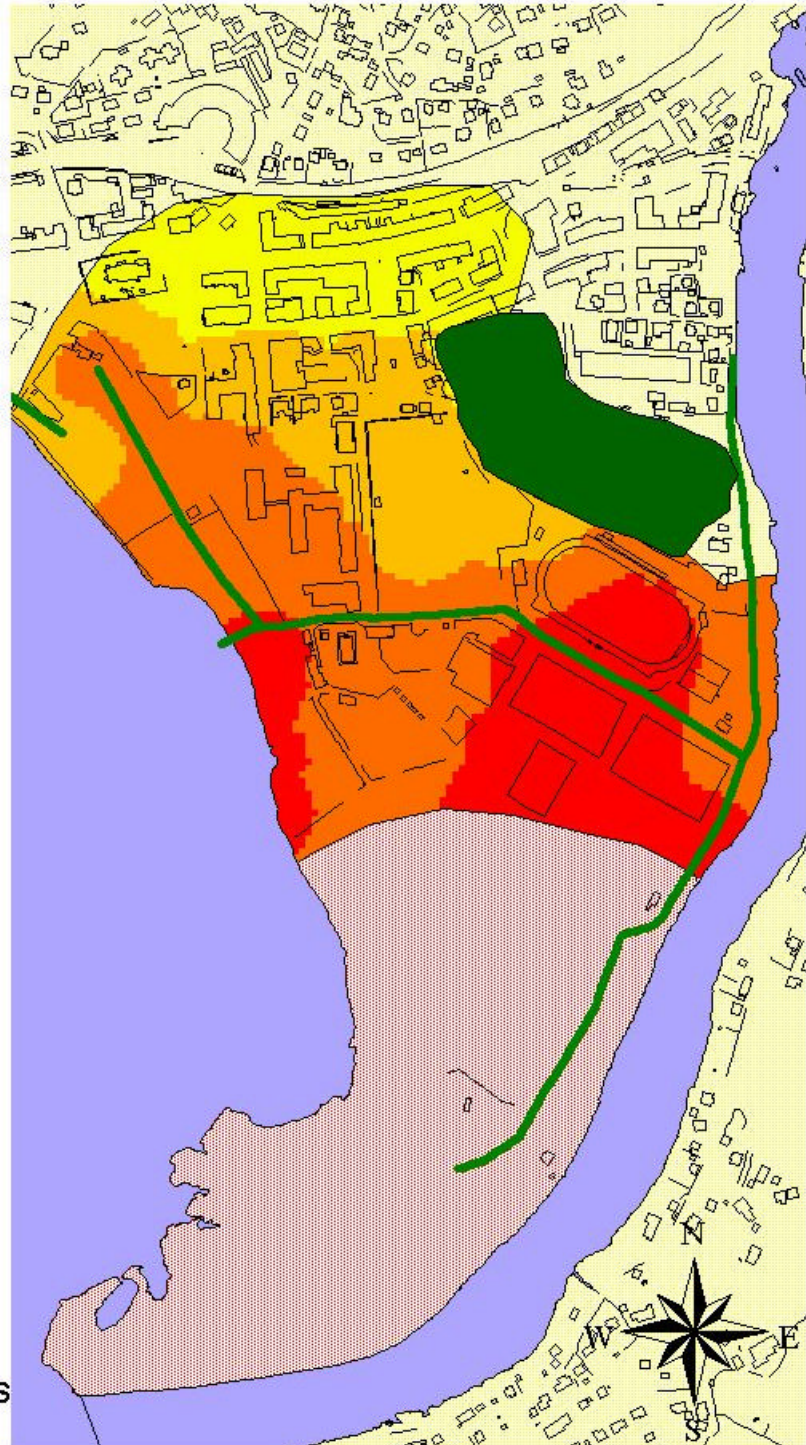
NGU

Geologi for samfunnet siden 1858

-  Morenerygg
-  Georadarprofiler
-  Vann
-  Bygninger
-  Ikke egnet
-  Ikke anbefalt
- Effekt i kilowatt
-  0 - 70
-  70 - 130
-  130 - 190
-  >190

Figuren viser simulert grunnvarme-effekt angitt i kilowatt. Verdiene bygger på en temperatursenkning på 4 grader celsius samt utvinnbar vannmengde på stedet. Dataene er fremkommet ved å simulere brønncapasitet i en og en brønn av gangen. Pga. vannverket på Prestegårdsmoen er de omkringliggende områdene ikke anbefalt utbygd for grunnvarme

0 100 200 Meters



Figur 7: Grunnvarmepotensialkart over Vossevangen basert på uttak av grunnvann fra løsmasser.

8. KONKLUSJON

De utførte undersøkelser viser at området med det største grunnvarmepotensialet er lokalisert til deltaavsetningene på sør og vestsiden av randavsetningen på Vossevangen. Nedsetting av undersøkelsesbrønner med uttak av masseprøver og prøvepumping i 4 lokaliteter i dette området viste mektige avsetninger med sand og grus med god til meget god vanngiverevne. Temperaturmålinger viste også gjennomgående høy grunnvannstemperatur med de høyeste målingene registrert lengst vekk fra grunnvannsanlegget og Vosso. Tidligere registreringer av vanntemperaturen ved grunnvannsanlegget ved Prestegardsmoen og i tilstøtende vassdrag viser gjennomgående høy grunnvannstemperatur selv i perioder med meget lav overflatevanntemperatur og høyt grunnvannsuttak. Disse registreringene viser sammen med utførte beregninger av forventet grunnvarmeuttak at dette området har et betydelig ubenyttet grunnvarmepotensiale.

I området øst for randavsetningen opp til og med Tvildemoen er grunnvarmepotensialet fra løsmasser lavt på grunn av liten mektighet på løsmasser med god vanngiverevne. Uttak av grunnvarme fra løsmassene i dette området gjennom tradisjonell kollektorslange uten utpumping av grunnvann kan dekke varmebehovet til enkelthusholdninger, men vil ikke kunne utgjøre en alternativ energikilde til større bygninger. Dersom et slikt grunnvarmeuttak kombineres med kjøling og/eller infiltrasjon av varmt overflatevann sommerstid, kan energi lagres i grunnen og gi økt potensiale for grunnvarmeuttak vinterstid. Erfaringene med å benytte mektige finkornige avsetninger til varmelager er imidlertid begrenset, men den teknologiske utviklingen innen grunnvarme/varmelagring vil forventningsvis også gjøre slike avsetninger interessante som alternative energikilder/lagre.

9. REFERANSER

Klemetsrud, Tidemann 1964. Vedr. vannforsyning Voss. NGU-rapport HY-00403

Tønnesen, Jan Fredrik 2000. Georadarmålinger i forbindelse med kartlegging av grunnvarmepotensialet i løsmasser ved Voss. NGU Rapport 2000.025

Veslegard, Geir 1998. Hydrogeologiske undersøkelser og forslag til sikring av brønnenanlegget i Prestegardsmoen Vossevangen vassverk, Voss. Hallingdal Bergboring A/S

Databilag

Tabell 1: Resultater fra undersøkelsesbrønn 1 (ved Tinghuset)

Dyp (m)	Materialtype	Testpump. (l/min)	Temp (°C)	Ledn.evne (uS/cm)	pH	Jern (mg/l)	Merknad
0-1,7	Stein, sand						
1,7-2,7	Sand og grus						
2,7-3,7	Stein, sand, grus						
3,7-4,7	Sand og grus						
4,7-5,7							Grunnvannst. ca. 5,0 m
5,7- 6,7	Grus						
6,7-7,7	Sand og grus	50	10,2	177,6	6,50		
7,7-8,7	-----"-----						
8,7-9,7	-----"-----	90	8,8	135,0	5,33		
9,7-10,7	-----"-----						
10,7-11,7	-----"-----	90	8,7	143,3	5,40	< det.gr.	Sedimentprøve tatt ut
11,7-12,7	-----"-----						
12,7-13,7	-----"-----	40	9,4	136,4	5,49	< det.gr.	
13,7-14,7	-----"-----						
14,7-15,7	-----"-----, noe grovere	40	9,4	134,5	5,38	< det.gr.	8,6 °C målt i brønnen
15,7-16,7	-----"-----						
16,7-17,7	-----"-----	15	9,9	137,5	5,46	0,02	
17,7-18,7	-----"-----, vekslende grovt						
18,7-19,7	-----"-----	30	9,3	136,5	5,44	0,49	Vannprøve til lab.analyse
19,7-20,7	-----"-----						
20,7-21,7	-----"-----	30	9,4	133,2	5,27	< det.gr.	
21,7-22,7	Morene (?) fra ca. 22 m						
22,7-23,7	Morene (?)	Ingen					Tette harde masser
23,7-24,7	Sand, noe grus						-----"-----
24,7-25,7	Morene (?)						-----"-----
25,7-26,7	Morene (?)						-----"-----
26,7-27,7	Morene (?)						-----"-----
27,7-28,7	Morene (?)						-----"-----
28,7-29,7	Morene (?)						-----"-----

Tabell 2: Resultater fra undersøkelsesbrønn 2 (ved behandlingsanlegget)

Dyp (m)	Materialtype	Testpump. (l/min)	Temp (°C)	Ledn.evne (uS/cm)	pH	Jern (mg/l)	Merknad
0-1,7	Jord, sand						
1,7-2,7	Sand og grus						
2,7-3,7	Stein, sand, grus						Grunnvannst. ca. 3,36 m
3,7-4,7	Sand						
4,7-5,7	Sand, noe grus						
5,7- 6,7	Sand						
6,7-7,7	Sand og grus	200	6,8	63,3	Def.		
7,7-8,7	-----"-----						
8,7-9,7	Sand	40	7,0	60,6			Sedimentprøve tatt ut
9,7-10,7	Sand og grus						
10,7-11,7	-----"-----	45	7,2	69,1		0,05	
11,7-12,7	Sand						
12,7-13,7	Sand og grus	60	6,7	69,9		< det.gr	Temp. målt i brønn: 6,7°C / Sedimentprøve tatt ut
13,7-14,7	Sand						
14,7-15,7	Sand	90	6,9	73,4			
15,7-16,7	Sand og grus						
16,7-17,7	-----"-----, noe hardt	55	7,1	85,0			
17,7-18,7	-----"-----, vekslende hardt						
18,7-19,7	Finsand, silt	Dårlig vanngj.					
19,7-20,7	-----"-----						
20,7-21,7	-----"-----						
21,7-22,7	-----"-----						

Tabell 3: Resultater fra sonderboring 3 (ved Vossabygg)

Dyp (m)	Materialtype	Testpump. (l/min)	Temp (°C)	Ledn.evne (uS/cm)	pH	Jern (mg/l)	Merknad
0-1,7	Sand						
1,7-2,7	Sand og grus						
2,7-3,7	Sand						
3,7-4,7	--"--						
4,7-5,7	--"--						
5,7- 6,7	Sand, finsand						
6,7-7,7	-----"						
7,7-8,7	-----"						
8,7-9,7	-----"						
9,7-10,7	-----"						
10,7-11,7	-----"						
11,7-12,7	Finsand, silt						
12,7-13,7	-----"						
13,7-14,7	-----"						
14,7-15,7	-----"						
15,7-16,7	-----"						
16,7-17,7	-----"						
17,7-18,7	-----", vekslende hardt						
18,7-19,7	Finsand, silt						Finsand, silt helt ned til 35,7 m
19,7-20,7	-----"						
20,7-21,7	-----"						
21,7-22,7	-----"						
v							
34,7-35,7	-----"						

Tabell 4: Resultater fra sonderboring 4 (ved hotell Fleicher)

Dyp (m)	Materialtype	Boreslamfarge	Vanntrykk (kg)	Merknad
0-1,7	Stein, sand	Grå/brun		
1,7-2,7	Stein, sang,grus	-----"-----		
2,7-3,7	Stein, sand, grus	-----"-----		
3,7-4,7	Sand med noe grovt matr.	-----"-----		
4,7-5,7	-----"-----	-----"-----	4	
5,7- 6,7	-----"-----	-----"-----	4	
6,7-7,7	-----"-----	-----"-----	1	
7,7-8,7	-----"-----	-----"-----	1	
8,7-9,7	-----"-----	-----"-----	1	Spylt; dårlig vanngjennomgang
9,7-10,7	Fjell fra 10,2 meter			

Tabell 5: Resultater fra sonderboring 5 (ved Tvildemoen)

Dyp (m)	Materialtype	Boreslamfarge	Vanntrykk (kg)	Merknad
0-1,7	Stein, sand	Grå		
1,7-2,7	Stein, sang,grus	Borte		
2,7-3,7	Stein, sand, grus	-----"-----	4	
3,7-4,7	Sand med noe grovt matr.	-----"-----	4	
4,7-5,7	-----"-----	-----"-----	5-8	
5,7- 6,7	-----"-----	-----"-----	4	
6,7-7,7	-----"-----	-----"-----	4-6	
7,7-8,7	Sand	-----"-----	4-6	
8,7-9,7	Sand med noe grovt matr.	-----"-----	4-6	
9,7-10,7	Sand / finsand	Grå	3	Harde tette masser
10,7-11,7	-----"-----	-----"-----	3	
11,7-12,7	-----"-----	-----"-----	3	
12,7-13,7	-----"-----, noe grovt	-----"-----	3	
13,7-14,7	-----"-----	-----"-----	2	
14,7-15,7	Fjell fra 15.5 meter	-----"-----		

Tabell 6: Resultater fra undersøkelsesbrønn 6 (ved Idrettsplassen)

Dyp (m)	Materialtype	Testpump. (l/min)	Temp (oC)	Ledn.evne (uS/cm)	pH	Jern (mg/l)	Merknad
0-1,7	Stein, sand						
1,7-2,7	Sand						
2,7-3,7	Sand, noe grovt						
3,7-4,7	Sand						Grunnvannst. ca. 4,31 m
4,7-5,7	Grusig sand						
5,7- 6,7	-----"-----						
6,7-7,7	-----"-----	60	7,7	212			Sedimentprøve tatt ut
7,7-8,7	-----"-----						
8,7-9,7	-----"-----						
9,7-10,7	-----"-----						
10,7-11,7	-----"-----	40	7,7	109			Sedimentprøve tatt ut
11,7-12,7	-----"-----						
12,7-13,7	-----"-----						
13,7-14,7	-----"-----						
14,7-15,7	-----"-----, hardt	75	7,2	92			
15,7-16,7	-----"-----, ---"---						
16,7-17,7	-----"-----, ---"---	70	6,6	92			
17,7-18,7	-----"-----, løsere						
18,7-19,7	-----"-----, ---"---	120	6,3	101			Sedimentprøve tatt ut
19,7-20,7	-----"-----, hardt						
20,7-21,7	-----"-----	135	6,0	96		< det.gr.	
21,7-22,7	-----"-----						
22,7-23,7	-----"-----	120	6,2	90			
23,7-24,7	-----"-----						
24,7-25,7	Sand	5-10					

Tabell 7: Resultater fra undersøkelsesbrønn 7 (ved Hestavangen), 12 meter står igjen som peilerør.

Dyp (m)	Materialtype	Boreslamfarge	Vanndrykk (kg)	Merknad
0-1,7	Stein, sand,grus			
1,7-2,7	-----"-----			
2,7-3,7	Sand,			
3,7-4,7	Grusig sand			
4,7-5,7	-----"-----			
5,7- 6,7	-----"-----		3	
6,7-7,7	-----"-----, hardt		3	
7,7-8,7	-----"-----,"-----			
8,7-9,7	-----"-----,"-----			Grunnvannst. 8,99 m dvs. ingen sugepumping
9,7-10,7	-----"-----			
10,7-11,7	-----"-----			
11,7-12,7	-----"-----			
12,7-13,7	-----"-----			God vanngjennomgang ved spyling
13,7-14,7	-----"-----			
14,7-15,7	-----"-----			Noe vanngjennomgang ved spyling
15,7-16,7	-----"-----, noe stein			
16,7-17,7	-----"-----			Noe vanngjennomgang ved spyling, Sedimentprøve tatt ut
17,7-18,7	-----"-----		2	
18,7-19,7	Sand		2	Noe vanngjennomgang ved spyling, Sedimentprøve tatt ut
	---"---			
	---"---			
	---"---			
28,7-29,7	---"---		Økende vanndrykk mot dypet	Blåsing med kompressor gav bare finsand

Tabell 8: Resultater fra sonderboring 8 (Tverrvegen 10)

Dyp (m)	Materialtype	Boreslamfarge	Vanntrykk (kg)	Merknad
0-1,7	Stein, sand,grus	Brunt		
1,7-2,7	-----"-----	Brunt/grått		
2,7-3,7	Sand,	Grått		
3,7-4,7	---"---	---"---	0-4	
4,7-5,7	---"---	---"---	2-4	
5,7- 6,7	---"---	---"---	2-4	
6,7-7,7	---"---, noe grovt	---"---	2-4	
7,7-8,7	Sand, finsand	---"---	2	
8,7-9,7	---"---,---"---	---"---	2	
9,7-10,7	---"---,---"---	---"---	2-6	
10,7-11,7	---"---,---"--- noe grovt	---"---	2-6	
11,7-12,7	---"---,---"---	---"---	0-4	
12,7-13,7	-----"-----	Brunt/grått	0-4	
13,7-14,7	-----"-----	-----"-----	8-10	
14,7-15,7	-----"-----	-----"-----	8-10	
15,7-16,7	Morene (?)	Grått	8	
16,7-17,7	-----"-----	-----"-----	8	
17,7-18,7	-----"-----	-----"-----	6	
18,7-19,7	-----"-----	-----"-----	6	

Tabell 9: Resultater fra sonderboring 9 (Krysset Moveien/ Gjernesveien)

Dyp (m)	Materialtype	Boreslamfarge	Vanntrykk (kg)	Merknad
0-1,7	Stein, sand, grus			
1,7-2,7	-----"-----			
2,7-3,7	-----"-----			
3,7-4,7	Sand, noe grovt materiale	Brunt		
4,7-5,7	---"---, -----"-----	----"---		
5,7- 6,7	Sand			
6,7-7,7	---"---			
7,7-8,7	---"---			
8,7-9,7	---"---		4-6	
9,7-10,7	---"---, finsand		4-6	
10,7-11,7	---"---,----"---		4-6	
11,7-12,7	Finsand, siltig, hardt		4-6	
12,7-13,7	---"---,----"---, ----"---		4-6	

Tabell 10: Resultater fra sonderboring 10 (Utstillingsplassen ved Raundalselvi)

Dyp (m)	Materialtype	Boreslamfarge	Vanntrykk (kg)	Merknad
0-1,7	Jord og stein			
1,7-2,7	Stein, grus, sand			
2,7-3,7	Sand, grus			
3,7-4,7	Fjell fra ca. 4 meter			
4,7-5,7	Fjell			

Tabell 11: Resultater fra sonderboring 11 (Utstillingsplassen ved Raundalselvi)

Dyp (m)	Materialtype	Boreslamfarge	Vanntrykk (kg)	Merknad
0-1,7	Sand med blokk			
1,7-2,7	Sand, stein			
2,7-3,7	Sand med noe grus			
3,7-4,7	Fjell fra ca. 3,5 meter			
4,7-5,7	Fjell			

Tabell 12: Resultater fra sonderboring 12 (ved Utstillingsplassen)

Dyp (m)	Materialtype	Boreslamfarge	Vanntrykk (kg)	Merknad
0-1,7	Stein og blokk			
1,7-2,7	Sand			
2,7-3,7	Sand med noe grovt matr.			
3,7-4,7	-----"-----			
4,7-5,7	-----"-----			
5,7- 6,7	-----"-----			
6,7-7,7	-----"-----			
7,7-8,7	Finsand			
8,7-9,7	----"---			
9,7-10,7	Sand og finsand			
10,7-11,7	-----"-----			
11,7-12,7	-----"-----			Tette masser, mye finstoff
12,7-13,7	-----"-----			-----"-----
13,7-14,7	-----"-----			-----"-----
14,7-15,7	-----"-----			-----"-----
15,7-16,7	-----"-----			-----"-----
16,7-17,7	-----"-----			-----"-----
17,7-18,7	Antatt fjell på 18,2 meter			

VANNANALYSER
FYLKE: Hordaland

KART (M711): 1316 III Voss

KOMMUNE: Voss

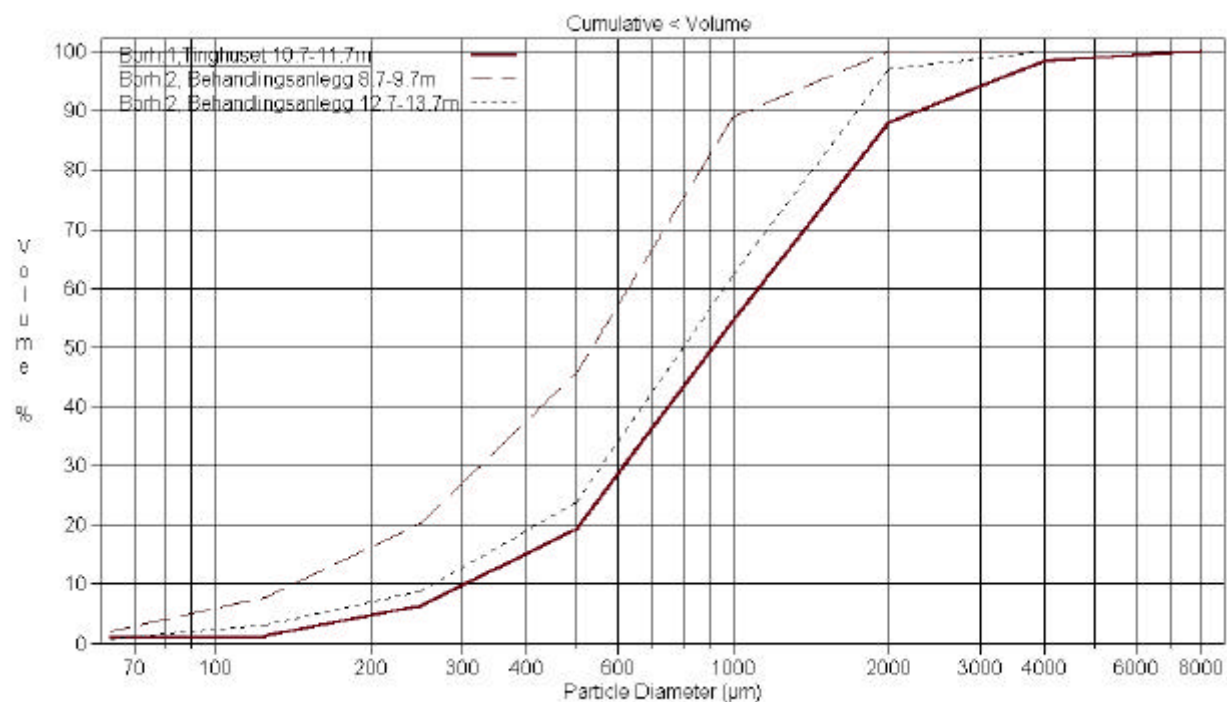
PRØVESTED: Vossevangen/Tinghuset

OPPDRAGSNUMMER: 277105

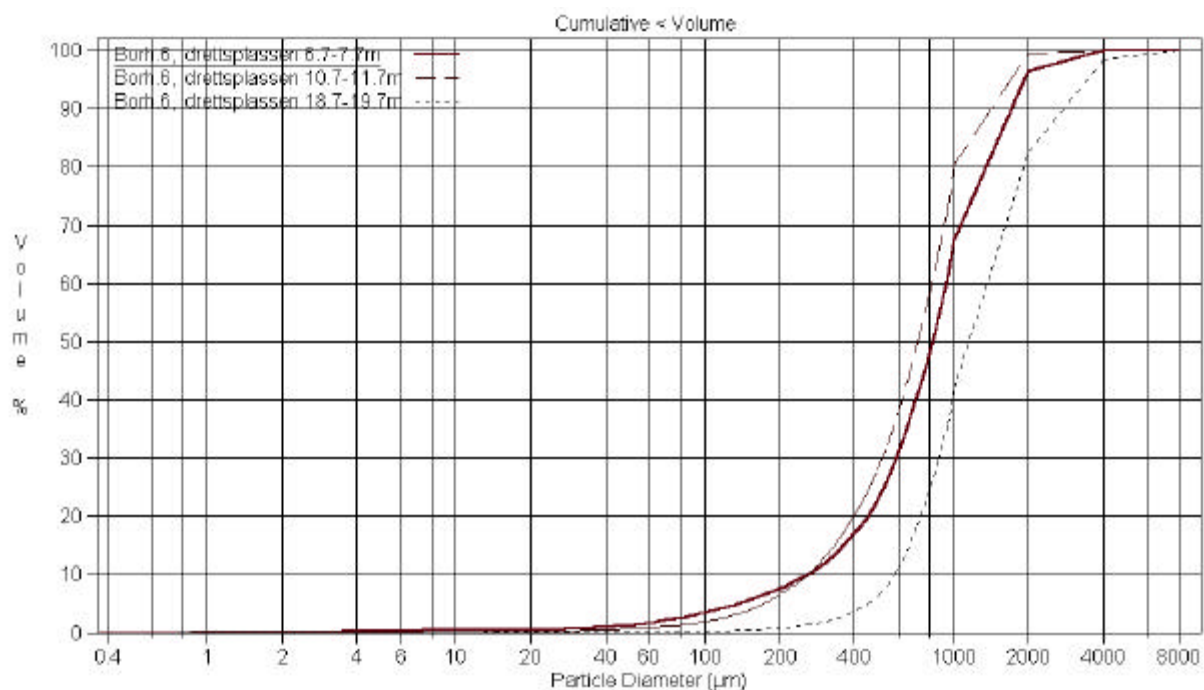
ANALYSERT VED: Norges geologiske undersøkelse

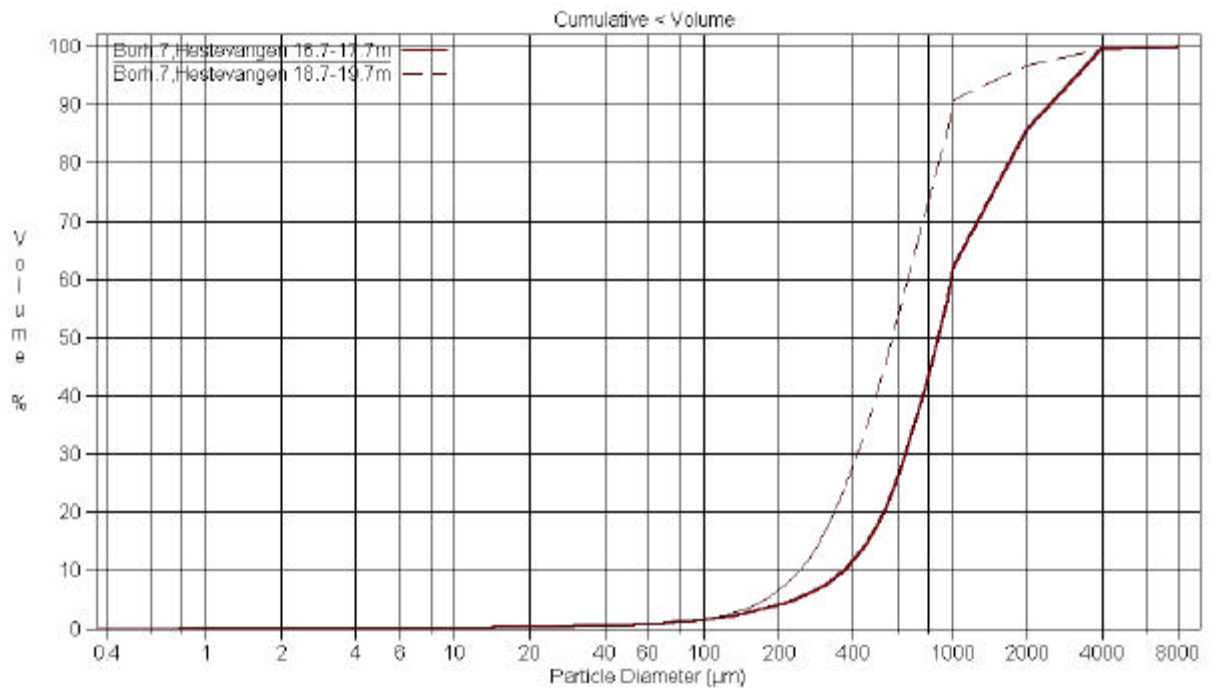
Brønn-nr/sted		1 Tinghuset																		
Dato		05.06.99																		
Brønntype		Obs.brønn																		
Prøvedyp	m	18,7-19,7																		
Brønndimensjon	mm	32 mm																		
X-koordinat	Sone: 32	358775																		
Y-koordinat	Sone: 32	6724018																		
Fysisk/kjemisk																Veiledende verdi	Største tillatte konsentrasjon			
Surhetsgrad, felt/lab	nH	5.44	6.48																	
Ledningsevne, felt/lab	µS/cm	137	124																	
Temperatur	°C	9,3																		
Alkalitet	mmol/l	0,32																		
Fargetall	mg Pt/l																			
Turbiditet	F.T.U																			
Oppløst oksygen	mg O ₂ /l																			
Fritt karbondioksid	mg CO ₂ /l																			
Redoks.potensial, E _h	mV																			
Anioner																				
Fluorid	mg F/l	<0,05																		
Klorid	mg Cl/l	12,66																		
Nitritt	mg NO ₂ /l	<0,05																		
Brom	mg Br/l	<0,1																		
Nitrat	mg NO ₃ /l	14,03																		
Fosfat	mg PO ₄ /l	<0,2																		
Sulfat	mg SO ₄ /l	13,02																		
Sum anioner+alkalitet	meq/l	1,19																		
Kationer																				
Silisium	mg Si/l	3,57																		
Aluminium	mg Al/l	0,0472																		
Jern	mg Fe/l	0,302																		<1,0
Magnesium	mg Mg/l	1,4																		
Kalsium	mg Ca/l	13,1																		
Natrium	mg Na/l	6,18																		
Kalium	mg K/l	3,17																		
Mangan	mg Mn/l	0,0164																		
Kobber	mg Cu/l	<0,005																		
Sink	mg Zn/l	0,0122																		
Bly	mg Pb/l	<0,05																		
Nikkel	mg Ni/l	<0,02																		
Kadmium	mg Cd/l	<0,005																		
Krom	mg Cr/l	<0,01																		
Sølv	mg Ag/l	<0,01																		
Sum kationer ³	meq/l	1,12																		
Ionebalanseavvik ⁴	%	-3																		

Kornfordelingsanalyser av sedimentprøver fra borehull 1 og 2



Kornfordelingsanalyser av sedimentprøver fra borehull 6



Kornfordelingsanalyser av sedimentprøver fra borehull 7

Tekstbilag

Simuleringsverktøyet og modellkjøringen.

Hensikten og fremgangsmåten fra modellering til kartfremstilling.

Hensikten med modelleringen er på en rask og enkel måte å estimere den utvinnbare vannmengden fra akviferen. Dette gjøres ved enkeltvis å pumpe fiktive brønner nedsatt i akviferen og estimere vannuttak fra hver av disse. Strømningsmodellen beregner kun utvinnbar vannmengde, og tar ikke med i betraktning endringer i grunnvannstemperaturen. Ut fra modellresultatene beregnes vannmengde, sammen med vannets temperatursenkning på 4°C, om til energiuttak for hver enkelt produksjonsbrønn. Slikt sett er strømningsmodellen et hjelpemiddel i analysen frem til det ferdige energikartet. Energiuttak fra en brønn beregnes på følgende måte:

Brønncapasitet (f.eks.): 10 l/s = 600 l/min = 36 m³/h

Vannets varmekapasitet: 1,16 kWh/m³°C

Antar at det tas ut 4 °C fra vannet.

Effekt = 36 x 4 x 1,16 = 167 kW

På samme måte er effekten beregnet i 26 jevnt fordelte simuleringspunkter på deltaflaten ved Vossevangen. Resultatet presenteres med programmet **ArcView**, som er et geografisk informasjonssystem (GIS). Energiuttaket mellom de fiktive brønnene er interpoleringsresultater beregnet i samme program.

Modellverktøy.

Ved bruk av datamodellen **Visual MODFLOW** (McDonald og Harbaugh, 1988) er det bygget opp en simuleringsmodell over det aktuelle området på Vossevangen. Programmet er en 3D strømnings- og transportmodell for den mettede sone, og er det mest brukte programmet verden over innen grunnvannsmodellering.

Modelloppbygging.

Input-data.

I modellen er Vangsvatnet satt til 45 m o.h. (målt 20.03.98) og Vosso er antatt å ha et fall på 2 meter fra jernbanebrua ned til Vangsvatnet. Pumperaten i strømningsmodellen tilsvarer aktuell pumperate ved vannverket på denne tiden (5000 m³/dag). Årsnedbøren i Voss er 1280 mm/år (DNMI, muntlig kom.) og best overensstemmelse mellom målte og modellerte head-verdier fikk en ved en infiltrasjon på 500 mm/år. De viktigste input-parametrene til modellen er K-verdier, head-verdier, infiltrasjon fra nedbør, akvifer-mektighet og utstrekning, samt elvegradienten.

Gridding.

I en numerisk modell er interesse-området presentert som celler oppdelt i et grid (nett). For hver celle bestemmer modellen blant annet grunnvannshøyde og vannfluks. Størrelsen på cellene bestemmes av oppløsningen på modellresultatet og resultatets nøyaktighet. Gridet settes tilstrekkelig fint for å oppnå de ønskede effektene, men ikke for fint, da dette går ut over beregningskapasiteten og minnet til dataprogrammet. En numerisk strømningsmodellering krever et meget fint gridd rundt selve brønnområdet grunnet problemene dette ellers kan skape pga. den numeriske løsningsmetoden. En numerisk modellen vil alltid underestimere vannivået i brønnen i forhold til virkeligheten. Jo finere griddet er, dess mindre blir avviket mellom modell

og virkelighet. Ved et meget tett gridd vil disse verdien være tilnærmet lik hverandre. Nett-tilpasningen i modellen er bygget opp slik at den numeriske dispersjonen ble neglisjerbar.

I ytterkanten av modellområdet har cellene en størrelse på 13 x 13 m, med økende finhet inn mot brønnområdet på Prestegårdsmoen, hvor størrelsen er på 1,6 x 1,6 m. X-koordinatene går fra 19705 – 20724 og Y-koordinatene går fra 291572 – 293062.

Modell-lagdeling.

Løsmasseavstigningene på Vossevangen består av flere forskjellige geologiske lag med varierende utbredelse og tykkelse. Virkeligheten er imidlertid så komplisert at strømningsmodellen kun er bygget opp med ett lag som representerer alle de reelle lagene til sammen. Årsaken ligger i at det er vanskelig å angi en korrekt hydraulisk konduktivitet for lagene, samt å tolke grensene til disse lagene ut i fra georadarprofilene. Naturen er samtidig alltid for kompleks til å bli fullt representert matematisk. Forenklinger må derfor alltid ved en oppbygging av en strømningsmodell.

Geografiske data fra Voss kommune er gjort om til en terrengoverflate-fil som representerer bakkenivået i strømningsmodellen. Fra NGUs georadartolkninger er det bestemt dybde fra terrengoverflaten ned til de lavpermeable lagene. Dataene foreligger også digitalt. I **SURFER** er de to lagene subtrahert slik at akvifer-bunnen foreligger som en egen fil med verdier i høyde over havet, som er det eneste formatet **Visual MODFLOW** godtar. Til sammen utgjør disse to filene selve skallet til modellen (akviferoverflate og -bunn).

Grensebetingelser.

En grensebetingelse er en matematisk spesifisering av enten head eller fluks på grensene av interesse-området. Korrekt bestemmelse av randbetingelsene er en meget viktig del av oppbygningen av en simuleringsmodell, og er i følge Frank *et al.* (1987) den viktigste årsaken til alvorlige feil i en strømningsmodell. I dette tilfelle er de viktigste hydrauliske grensene Vosso og Vangsvatnet. Grensene er satt som en konstant head, som vil si at vannoverflaten er konstant over tid og uavhengig av hendelser i modellforløpet. I virkeligheten vil elve- og innsjønivået variere med 1 – 2 m over året, men simuleringen er stasjonær (steady-state) og slik sett en gjennomsnittsbetraktning. Konstant head-grensen er den viktigste randbetingelsen for vannstrømningen i interesse-området. Bakkeskråningene nord for Vossevangen bidrar i liten grad til mating av akviferen og representerer derfor en null-fluksgrense (Kirkhusmo, 2000, NGU, muntlig kom.).

Kalibrering.

Kalibrering av en strømningsmodell betyr å reprodusere et sett med akvifer-parametre ved å tilpasse simulerte og observerte head- eller fluksverdier. Denne prosessen er også kjent som invers simulering. Kalibreringsparametre er i dette tilfelle hydraulisk konduktivitet (K) og infiltrasjon (nedbør). Som kalibreringsverdier er det brukt grunnvannshøyder i 13 peilerør nedsatt på Vossevangen i forbindelse med etableringen av sikringssoner rundt Prestegårdsmoen vannverk (Veslegard, 98). Den optimale tilpasning (beste kalibreringssett) av den hydrauliske konduktiviteten og infiltrasjonen gir et avvik mellom målte og modellerte grunnvannshøyder på 0,29 meter i gjennomsnittlig absoluttverdi. Under analysen ble det antatt at det kunne være dårlig hydraulisk kontakt mellom selve akviferen og dens infiltrasjonsflater representert ved Vosso og Vangsvatnet. Dette ville i så fall bety at et betydelig

vannbidrag til vannverket mates fra Vangen-området, og i mindre grad fra Vangsvatnet og Vosso. Modellanalysen avkrefter imidlertid dette, og absolutt den beste kalibreringen fikk man ved en full hydraulisk kontakt mellom grunnvannsmagasinet og elven/innsjøen.

Validering.

En strømningsmodellen skal alltid valideres (verifiseres) opp mot et uavhengig sett med head-verdier for å bekrefte at kalibreringsresultatet er riktig. Vanligvis gjøres dette svært sjelden pga. mangel på felldata, så også i dette tilfelle.

Simulering.

Vannuttaket simulert i forskjellige punkter på Vossevangen er en funksjon av sedimentmektigheten og den hydrauliske konduktiviteten i de omkringliggende løsmassene. For en pumpebrønn er det vanligvis slik at brønnfilteret har en lengde på en tredjedel av den uforstyrrede vannmettede mektigheten. Under normale forhold pumpes brønnen slik at vannivået i brønnen ligger godt over øverste filternivå. I strømningsmodellen beregnes vannuttaket når denne lengden er satt til én meter, og kun én og én brønn simuleres av gangen.

Referanser:

Franke, O. L., Reilly, T. E., og Bennett, G. D., 1987: Definition of boundary and initial conditions in the analysis of saturated ground-water flow systems; an introduction, USGS, Techniques of Water-Resources Investigations 03-B5, 15 sider.

McDonald, M. G og Harbaugh, A. W., 1988: A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S Geol. Surv., Techniques of Water-Resources Investigations 06-A1.

Veslegard, G., 1998: Hydrogeologiske undersøkelser og forslag til sikring av brønnenlegget i Prestegardsmoen Vossevangen vassverk, Voss. Hallingdal Bergboring A/S