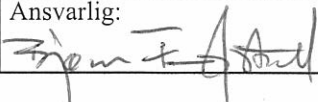


NGU Rapport 2008.006

Hydrogeologiske undersøkelser i forbindelse
med energilagring ved Akkerhaugen Gartneri,
Akkerhaugen, Sauherad kommune

Rapport nr.: 2008.006		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Hydrogeologiske undersøkelser ifm energilagring ved Akkerhaugen Gartneri, Akkerhaugen, Sauherad kommune			
Forfatter: Hans de Beer, Randi Kalskin Ramstad		Oppdragsgiver: Akkerhaugen Eiendom	
Fylke: Telemark		Kommune: Sauherad	
Kartblad (M=1:250.000) Skien		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1713 IV Nordagutu	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 36 Bilag: 9	Pris: kr. 185,-
Feltarbeid utført: 23-25. august 2007	Rapportdato: 23.01.2008	Prosjektnr.: 277110	Ansvarlig: 
<p>Sammendrag:</p> <p>Akkerhaugen Gartneri i Sauherad kommune har i dag tradisjonell oppvarming av veksthusene med kombinasjon av fyringsolje og elektrisitet. Hydrogeologiske undersøkelser er utført for å vurdere muligheten til å bruke undergrunnen som energikilde og energilagring, der en ved bruk av varmpumpe lagrer overskuddsvarme fra sommerhalvåret for gjenvinning og bruk i vinterhalvåret. Utførte sonderboringer har avdekket et vannførende gruslag (akvifer) mellom jernbanelinjen og Norsjøen som har de rette hydrogeologiske egenskaper for energilagring. Akviferen består av et gruslag overdekket av en finsandig elveavsetning mellom jernbanelinjen og Norsjøen. Avsetningen har god hydraulisk permeabilitet, men forholdsvis begrenset horisontal utstrekning og mektighet. Utførte undersøkelser og modellering antyder at akviferen ut fra et hydraulisk og termodynamisk synspunkt er egnet til lagring av varme og kulde, men at kapasiteten er begrenset på grunn av at akviferen er forholdsvis liten. Modellberegninger av grunnvannsuttak større enn 45 m³/time fra akviferen viser at avsenkning av grunnvannsnivået i uttaksområdet vil føre til at brønnene blir tørrlagt. Naturlig tilførsel av grunnvann til akviferen er begrenset som følge av liten hydraulisk kommunikasjon med Norsjø og et begrenset nedbørsfelt. Det er ut fra modellberegninger forventet at en realistisk permanent netto uttaksmengde vil være i størrelsesorden 30 m³/time. Ut fra et hydraulisk og termodynamisk synspunkt vil det trolig være gode muligheter for å kunne etablere et ATES-system (Aquifer thermal energy storage) med både lagring av kaldt og varmt vann i denne akviferen. Mulighetene for optimal plassering av brønnene er derimot begrenset grunnet lokal utstrekning. Dermed vil uttak- og infiltrasjonsmengdene også være begrenset. Det forutsettes bruk av varmpumpe til både oppvarming og kjøling av drivhusene, slik at temperaturen til infiltrasjonsvannet kan økes til cirka 30 °C i begynnelsen av fyringssesongen (slutten av kjøleperioden) og senkes til cirka 4 °C mot slutten av fyringssesongen (begynnelsen av kjøleperioden). Oppumpet grunnvann kan trolig dekke 25-50 % av effektbehovet i perioden med størst behov for oppvarming i vintertid. Tilsvarende tall for driftsperioden etter sommeren er inntil 95 %. For å redusere usikkerhetene i de utførte simuleringene og beregningene, anbefales det å etablere grunnvannsbrønner for å gjennomføre langtids prøvepumping og infiltrasjonstester samt kjemiske analyser av grunnvannet. Resultatene av prøvepumpingen og analysene brukes til videre vurdering av prosjektets gjennomførbarhet og eventuell videre teknisk prosjektering av VVS systemet. Det anbefales å gjennomføre detaljerte modellberegninger på timebasis med data fra prøvepumping for å vurdere systemets evne til å håndtere raske endringer i uttak- og infiltrasjonsmengder.</p>			
Emneord: grunnvann	grunnvarme	energilagring	
hydrogeologi			

INNHold

1. INNLEDNING	4
2. BAKGRUNNSINFORMASJON	4
3. HYDROGEOLOGI	5
3.1 Kwartærgeologi	5
3.2 Hydrogeologiske forhold	5
3.3 Eksisterende uttak	6
4. VURDERING AV ENERGILAGRINGS- og SPOTENSIAL	7
4.1 Introduksjon	7
4.2 Hydrogeologisk og geotermisk modellering	8
4.2.1 Modelloppbygging	9
4.2.2 Grensebetingelser	10
4.2.3 Modellresultater	10
5. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER	15
REFERANSER	16

FIGURER

Figur 1 Relasjon effekt, uttak og ΔT	8
Figur 2 Modell gridnett	9
Figur 3 Simulert temperaturforløp i brønnene og effektmengder fra grunnvann til oppvarming og kjøling	12
Figur 4 Simulert temperaturforløp i brønnene og effektmengder fra oppumpet grunnvann. ..	14

TABELLER

Tabell 1 Estimert hydraulisk konduktivitet (m/sek.)	6
Tabell 2 Oversikt lagdeling, hydrauliske og termiske parametrene	10
Tabell 3 Fordeling av oppvarmings- (rød) og kjølebehovet (blå)	11
Tabell 4 ATES-simulering, uttak- og infiltrasjonsmengder (m^3 /time, infiltrasjonsmengder negativ)	11
Tabell 5 ATES med kun varmelagring, uttak- og infiltrasjonsmengder (m^3 /time, infiltrasjon negativ)	13

VEDLEGG

Vedlegg 1.	Beliggenhet og bilde Akkerhaugen Gartneri
Vedlegg 2.	Daglige effektbehov 2005
Vedlegg 3.	Oversiktskart sonderboringer og seismiske data
Vedlegg 4.	Oversiktskart kvartærgeologi, geologiske profiler
Vedlegg 5.	Borelogger sonderboringer
Vedlegg 6.	Hydraulisk konduktivitet fra kornfordelingsanalyser, analyserapport
Vedlegg 7.	Oversikt nåværende grunnvannsforhold
Vedlegg 8.	Modellsimulering temperaturforløp ATES system, kulde og varmelagring
Vedlegg 9.	Modellsimulering temperaturforløp ATES system, kun varmelagring

1. INNLEDNING

Akkerhaugen Gartneri i Sauherad kommune, Telemark, har i dag tradisjonell oppvarming av veksthusene med kombinasjon av fyringsolje og elektrisitet. På grunn av økt fokus på miljøaspektene ved drivhusproduksjon av grønnsaker, samt økte energipriser, har Akkerhaugen Eiendom AS v/ Louis Stiekema bedt NGU utrede muligheten for bruk av grunnvann og varmepumpe der en lagrer overskuddsvarmen fra drivhuskjøling i sommerhalvåret i undergrunnen for gjenvinning og bruk i vinterhalvåret (Aquifer Thermal Energy Storage, ATES).

Mulighetene for energilagring i undergrunnen er sterkt avhengig av de lokale grunnforhold, hydrogeologiske forhold, energibehov og eventuelle nødvendige tillatelser. Følgende arbeidsoppgaver har blitt gjennomført for å vurdere mulighetene, kapasitet og økonomisk gjennomførbarhet av et ATES system i nærheten av Akkerhaugen Gartneri:

- Innhenting og tolkning av eksisterende opplysninger angående geologi, hydrogeologi, hydrologi og vannverksdata ved Sauherad kommune og NGU.
- Befaring på gartneriet og kartlegging av hydrogeologiske forhold ved nedsetting av sonderboringer i det potensielle området for energilagring, samt prøvetaking av massene.
- Kornfordelingsanalyser av uttatte løsmasseprøver for å estimere hydraulisk ledningsevne.
- Dynamisk grunnvanns- og varmestrømningsmodellering for å beregne kapasitet og effekter av brønnetablering på både grunnvannsnivå og akvifer temperatur.
- Tolkning og rapportering.

2. BAKGRUNNSINFORMASJON

Akkerhaugen Gartneri ligger cirka 1 km sørvest fra Akkerhaugen sentrum, i et svakt skrånende terreng mot Sauarelva. Veksthusene, som har en overflate på cirka 18.000 m², er lokalisert vest for jernbanen ved den tidligere jernbanestasjonen. Terrenghøyde ved gartneriet er cirka 37 m over referansenivå NN1954. Vedlegg 1 viser beliggenheten og bilder av det aktuelle området.

Akkerhaugen Gartneri har normalt aktiv drift av tomatdyrking i perioden fra cirka 1. februar til slutten av oktober. Strømforbruket varierer betydelig gjennom driftsperioden og er sterk avhengig av skiftende lys- og temperaturforhold. Temperaturen i veksthusene blir regulert ved oppvarming i kalde perioder med vannbåren varme fra oljefyring og elektrisitet. Kjøling om sommeren skjer ved hjelp av lufting. Et system for energiforsyning til både oppvarming og kjøling ved bruk av varmepumpe er et realistisk alternativ, særlig hvis man lagrer overskuddsvarmen fra den varme perioden i grunnen for gjenbruk om vinteren. Effektbehovet til temperaturregulering varierer sterkt både over døgnet og mellom årstidene gjennom. For 2005 varierte effektbehovet i gjennomsnitt fra 100 kW til 1800 kW, med særlig høyt forbruk fra februar til mai (over 1500 kW). Det opptrer kortvarige daglige variasjoner opp til maksimalt 3000 kW. Det registrerte gjennomsnittlige daglige effektbehovet for 2005 er framstilt i vedlegg 2. Det kumulerte energiforbruket over 2005 er cirka 7,2 GWh.

3. HYDROGEOLOGI

3.1 Kvartærgeologi

Kvartærgeologisk beskrivelse er basert på kvartærgeologisk kart (Nordagutu, kartblad 1713 IV, 1:50.000, Norges geologiske undersøkelse), hydrogeologisk kart Sauherad kommune, Telemark (Institutt for naturanalyse, Bø, 1:50 000), utførte sonderboringer, opplysninger fra Sauherad kommune v/ Joar Sættem og diverse rapporter fra området (Klempe, 1991, 1992; Egravslia, 1981, Styringsutvalget for jordforskning, 1982; Hillestad, 1991; Sættem, 2005a og 2005b og Østmo, 1978). En oversikt over seismiske profiler, eksisterende uttak og utførte sonderboringer er fremstilt i vedlegg 3.

Akkerhaugen Gartneri befinner seg på sørsiden av en nordvest - sørøst orienterte grus-avsetning (israndavsetning) som går tvers over dalen ved Akkerhaugen. Avsetningen er på nord- og sørsiden overdekket og avgrenset av finsand, silt og marin leire. Akkerhaugen Gartneri ligger på framsiden (distale) av israndavsetningen, på overgangen mellom finkornig marin leire og de grovere israndavsetningene.

Israndavsetningen er dannet i fronten av den nedsmeltende innlandsisen i en periode der denne ble stående i dalmunningen mot Norsjø. Dette var et naturlig sted for isfronten å stabilisere seg en periode, trolig på grunn av en fjellterskel i dalbunnen og fjellnabber både ved Ryntveit og på motsatt side av dalgangen. Smeltevann under og langs sidene av isen førte med seg store mengder løsmasser som la seg opp ved iskanten i det som den gang var en 150 m dyp fjord. I midten av dalen der Sauarelva senere har gravd sin løp, har israndavsetningen i dag en høyde på cirka 65 m over havet.

Da isfronten trakk seg videre bakover mot Sundsmoen ble området nordøst for Akkerhaugen en brakkvannsfjord som ble fylt opp med flere titalls meter lagdelt finsand, silt og marin leire. Seismiske undersøkelser utført av NGU i 1980 på nordre sida av israndavsetningen, og geologiske data fra etterfølgende etablering av grunnvannsbrønner nord for jernbanen, viser lagdelte skråstilte sand og gruslag i dette området. Disse undersøkelsene tyder også på en mer finkornig tettere kjerne midt under grusryggen, noe som kan være morenemateriale avsatt på støtsiden av den underliggende fjellryggen. Utførte sonderboringer like nord for jernbanen viser også morenematerial under finsand, sand og gruslag.

Området sør for israndavsetningen ble også fylt opp med lagdelt finsand, silt og marin leire. I senere tid har Sauarelva avsatt lagdelt grus og finsand over disse avsetningene i dette området. Området mellom jernbanen og Sauarelva/Norsjø bør betraktes som elveavsetning. Klempe (1986) betegner avsetningen som forgreina elveavsetning. Disse elveavsetningen er avgrenset av påvist (kvikk)leire sør fra den tidligere jernbanestasjonen.

Kvartærgeologisk kart (1:50.000) og to geologiske profiler basert på utførte sonderboringer og eksisterende data over området er fremstilt i vedlegg 4.

3.2 Hydrogeologiske forhold

Ut fra de geologiske forholdene vil den regionale grunnvannstrømning domineres av en naturlig drenering mot Norsjøen. Gradienten og strømningshastighet vil være avhengig av hydraulisk ledningsevne (permeabilitet) av massene, infiltrasjonsmulighetene for nedbør og strømningsmotstand i elvebunn/bekker (bunntetting). På grunn av høy permeabilitet i de

grovere sand- og grusmassene vil gradienten under naturlige forhold trolig være svært liten, mens områder med tettere masser som leire, silt og finsand vil ha en høy gradient som vil gjenspeile topografien.

Utførte sonderboringer i perioden 23-25. august 2007 nordvest for Akkerhaugen Gartneri har avdekket et vannførende gruslag (akvifer) mellom jernbanelinjen og Norsjøen som har de rette hydrogeologiske egenskaper for energilagring. Boreloggene fra sonderboringene er fremstilt i vedlegg 5. Akviferen består av et gruslag dekket av finsandige elveavsetninger sør for jernbanelinjen. Klempe (1986) beskriver den type avsetningen som forgreina elveavsetning, bestående av grus og stein med linser av sand, stedvis dekt av finsand/silt på toppen. Akviferen har liten arealdekning og liten mektighet, men gjennomgående god vannledningsevne. Avsetningen kjennetegnes ofte av problemer med jern og mangan på grunn av høy grunnvannstand). Vedlegg 4 viser 2 tverrprofiler over avsetningen, samt en vurdering av den romlige utstrekning av akviferen basert på utførte sonderboringer.

Akviferen er på sørsiden begrenset av (kvikk)leireavsetninger, på vestsiden av fjellgrunn, på østsiden av Norsjøen og på nordsida av en morenerygg som er påvist under breelavsetningen på tvers av dalen. Sistnevnte begrensnings er mer usikker direkte nord for jernbanelinjen, siden det ikke var mulig å sette ned sonderboringer på grunn av eiendomsforhold og installasjoner i grunnen.

Med unntak av enkelte peilerør i nærheten av Nedre Sauherad vannverk, finnes det ingen peilerør i det aktuelle området. Det ble i forbindelsen med denne undersøkelsen satt ned to peilerør ved sonderboring 7 og 9 (se vedlegg 5). Disse rør ble brukt til prøvetaking av løsmasser, testing av vanngiversevne gjennom blåsetest og vanninfiltrasjon, men er ikke nivellert i forhold til en referansenivå. Grunnvannstand ble observert på cirka 13 m under terrengnivå ved borehull 7, og på 10 m ved borehull 9. Ut fra karthøydene (1:5.000) på topografisk kart stemmer dette med en grunnvannstand på cirka 16 m over N1954. Vannstand i Norsjøen er regulert og har en gjennomsnittsnivå på cirka 15 m over NN1954.

Prøvene ved sonderboring 7 og 9 (2x) har blitt analysert på kornfordeling (Coulter). Resultatene er framstilt i vedlegg 6. Hydraulisk konduktivitet er estimert på grunnlag av kornfordelingskurver. Basert på en komparativ studie av de mest brukte empiriske ligninger (Odong, 2007) er konduktiviteten beregnet ifølge metodene Hazen, Kozeny-Carman og Breyer, i tillegg til Gustafson (1982), som er mest brukt i Skandinavia. Resultater vises i tabell 1. Utførte blåse- og infiltrasjonstest i peilerørene ved sonderboring 7 og 9 tyder på bra til meget god vannledningsevne i akviferen.

Prøve	Gustafson	Hazen	Kozeny-Carman	Breyer
BH7 18.0-19.5 m	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$	$8,9 \cdot 10^{-5}$
BH9 21.0-23.5 m	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
BH9 23.5-25.0 m	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$

Tabell 1 Estimert hydraulisk konduktivitet (m/sek.)

3.3 Eksisterende uttak

Nedre Sauherad Vannverk har 2 grunnvannsbrønner nordøst for israndavsetningen, ved Kåsaøyra. Brønnene ligger like ved Sauarelva og henter grunnvann fra en skrånstilt grusavsetning som ligger under et cirka 10 m tykt lag med finkornige marine sedimenter (inntaksdybder kote 2 til -2 m og kote 4 til 0 m). På grunn av for høyt kalsiuminnhold i disse brønnene, har Sauherad kommune i 2006 etablert en ny brønn lengre sør for de eksisterende brønnene, ved elva like nord for jernbanen. Denne brønnen produserer grunnvann fra

skråstilte gruslag i randavsetningen på cirka 25 m dyp under terreng (kote -5 til -11 m). Totalt uttak fra begge brønnområdene er cirka 120 m³/time. Eksisterende brønner og 4 beskyttelsessoner for Nedre Sauherad Vannverk er fremstilt i vedlegg 1. Beskyttelsessoner med restriksjoner på aktiviteter i sonene er godkjent av Mattilsynet den 6. juni 2006.

Asplan Viak as rapporterer at prøvepumpingen av 2 brønner ved Nedre Sauherad vannverk (1992-1994) viser meget lav senkningen av grunnvannsnivået i forhold til uttaket. Det er tidligere gjennomført beregninger av hydrauliske parametrene i brønnområdet på grunnlag av kornfordelingskurver med gjennomsnittlige konduktivitetsverdier på $0,66 \cdot 10^{-3}$ m/sek og en transmissivitet av $7,9 \cdot 10^{-3}$ m²/sek.

4. VURDERING AV ENERGILAGRINGSPOTENSIAL

4.1 Introduksjon

Potensialet for å benytte energilagring i undergrunnen er meget avhengig av lokale forhold som geologien, hydrogeologiske forhold, energibehovet men også av eventuelle tillatelser fra vannforvaltningsmyndigheter. Det aktuelle området for energilagring ved Akkerhaugen er framstilt i vedlegg 4 og består av et gruslag overdekket av en finsandig elveavsetning sør for jernbanelinjen (se kapittel 3.2).

Vannbehovet vil variere sterkt over året og over døgnet på grunn av det variable effektbehovet til oppvarming/kjøling av drivhusene. Det daglige gjennomsnittlige effektbehovet i 2005 er brukt som utgangspunkt for beregninger av muligheter for energilagring i området rundt Akkerhaugen Gartneri. Effektbehovet er framstilt i vedlegg 2. Effektbehovet er relativt lavt om sommeren på grunn av tradisjonell kjøling ved lufting.

Energibehovet for både oppvarming og kjøling i drivhusene kan i stor grad dekkes ved en kombinert oppvarmings- og kjøleløsning med bruk av varmepumpe. Om vinteren, pumpes grunnvann fra varmelagringsbrønner som varmekilde til varmepumpen, og som etter energiuttak og nedkjøling blir infiltrert i kaldtvannsbrønner. Om sommeren snus prosessen og grunnvann pumpes fra kaldtvannsbrønner og brukes til kjøling i drivhusene før vannet blir infiltrert i de varmelagringsbrønnene. Kjøling kan enten foregå ved såkalt frikjøling (der kaldt vann sirkulerer i kjølesystemet ved hjelp av en sirkulasjonspumpe) eller ved at varmepumpen benyttes som kjølemaskin.

Vanligvis vil en dimensjonere varmepumpen for 60 % av maksimalt effektbehov, mens kortvarig høyere forbruk blir tatt hånd om med tradisjonell oljefyring eller elektrisitet. På denne måten kan vanligvis 90-95% av energibehovet gjennom året dekkes.

Effekten som kan tas fra grunnvann ved bruk av en varmepumpe er avhengig av temperatur på grunnvannet og tilgjengelig uttaksmengde. Likning 1 og Figur 1 viser relasjonen mellom disse variabler.

$$\text{Effekt} = C_{\text{H}_2\text{O}} \times \text{pumperate} \times \Delta T$$

Likning 1

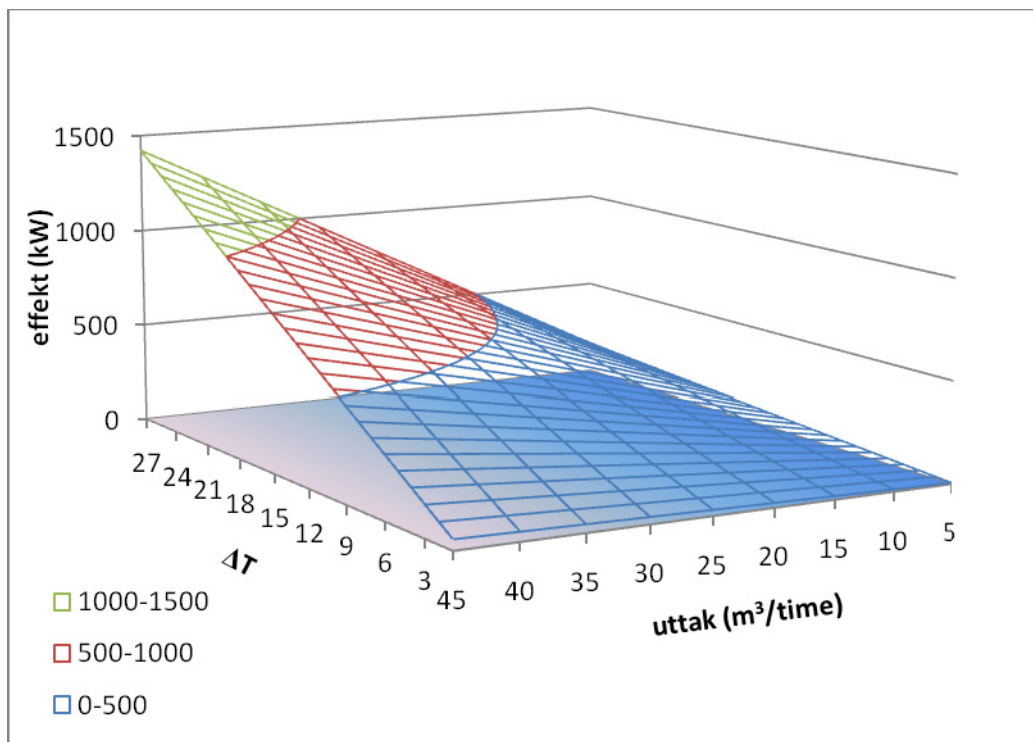
hvor effekt er gitt i (kW). $C_{\text{H}_2\text{O}}$ er vannets spesifikke varmekapasitet (kWh/m³·°C). Ved 6°C er varmekapasiteten for vann 1.17 kWh/m³·°C (4,20 kJ/kg·K). Pumperate er uttatt mengde vann per tidsenhet (m³/time). $\Delta T = T_{\text{inn}} - T_{\text{ut}}$, temperaturdifferansen mellom grunnvannet inn og ut fra varmepumpen.

I tillegg til effektmengdene fra oppumpet grunnvann, kommer tilført effekt (elektrisitet) til varmepumpen. Den totale effekten (Q_k) til drivhusets varmesystem vil derfor være effekt fra oppumpet grunnvann ($Q_{\text{grunnvann}}$) og tilført effekt i form av elektrisitet for å drive varmepumpen (kompressorarbeid $\sim W$). Varmepumpens effektfaktor COP_{VP} (Coefficient of performance) er gitt av forholdet mellom avgitt effekt og tilført effekt (likning 2).

$$COP = Q_k / W = (Q_{\text{grunnvann}} + W) / W$$

Likning 2

Effektfaktoren avhenger av temperaturen på varmekilden (grunnvannet) og temperaturen ut på varmfordelingssystemet. Jo lavere temperaturforskjell mellom temperatur inn og ut fra varmepumpen, jo bedre driftsbetingelser og høyere effektfaktor oppnås for varmepumpen. Tilsvarende prinsipp gjelder når anlegget benyttes til kjøling ($COP_{\text{kjøling}}$). Dimensjonering av varmepumpen er en VVS-teknisk oppgave, som ikke er del av denne hydrogeologiske studie. Denne rapporten vil kun fokusere på mulig effektuttak fra grunnvannet som kan oppnås ved å bruke akviferen som lagringsenhet for varme og kulde.



Figur 1 Relasjon effekt, uttak og ΔT .

Som nevnt har akviferen som kan brukes til energilagring ved Akkerhaugen begrenset volum, og uttaket vil dermed være begrenset. For å oppnå et større effektbehov med lavere uttaksmengder er det nødvendig med en betydelig temperaturøkning på grunnvannet som brukes til oppvarming av drivhusene.

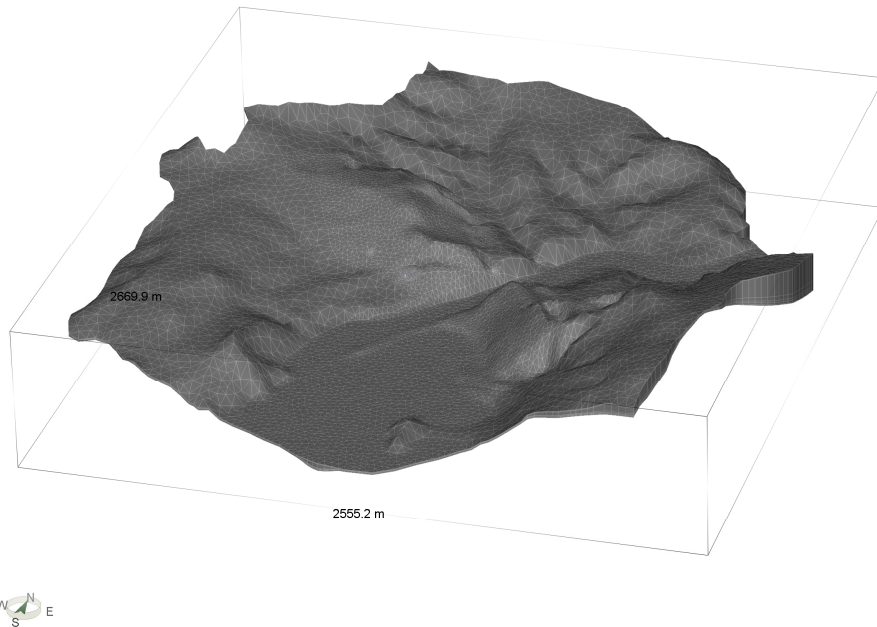
4.2 Hydrogeologisk og geotermisk modellering

Det er gjennomført hydrogeologisk og geotermisk modellering for å vurdere den hydrauliske kapasiteten av akviferen, geotermiske egenskaper for energilagring og mulige løsninger for lagring av både varme og kulde i akviferen. Til modelleringen har NGU benyttet programvaren FeFlow[®] 5.3 (WASY, 1979-2007). FeFlow[®] bruker endelig element metoden for å beregne grunnvannsstrømning og varmestrømning. Denne metoden er karakterisert ved at modellområdet er gjengitt som et gridnett bygd opp av fleksible triangulære celler, som

benyttes i varierende tetthet gjennom modellen. I modellberegningene bestemmer modellen blant annet grunnvannsnivå og vann- og varmestrømning for hver celle.

4.2.1 Modelloppbygging

Ved oppbygging av modellen er informasjon om geologi, hydrogeologi og meteorologi forenklet og omsatt i en digital form som er egnet til modellering. Forenkling er helt nødvendig fordi det ikke er mulig å simulere i detalj et komplekst naturlig system. Modellen må imidlertid tilnærme seg den hydrogeologiske kompleksiteten slik at modellen kan reprodusere systemets oppførsel.



FEFLOW (R)

Figur 2 Modell gridnett

Modellen er bygd opp av 79648 triangulære celler, hver med 6 noder og 137466 elementer som kobler noder med hverandre. Størrelsen på cellene i modellen er på størrelsesorden 10 m i det aktuelle området for energilagring, mens i det ytre området er størrelsen cirka 40 m. Rundt eksisterende og prosjekterte brønner er cellene mindre enn 1 m. Gridnettet og modelltopografien er fremstilt i **Error! Reference source not found.**

En digital terrengmodell basert på høydekoter 1:5000 er brukt til å modellere terrenget. Modellen er bygd opp av 7 lag som representerer ulike hydrogeologiske og termiske egenskaper i området. Lagdeling er basert på tidligere utførte seismiske undersøkelser, beskrivelser av kvartærgeologien og modelltekniske aspekter. De hydrogeologiske parametrene som er brukt i modellen er basert på litteraturverdier, prøvepumping ved Nedre Sauherad vannverk og resultater fra kornfordelingsanalyse og estimering av hydraulisk konduktivitet av prøver ved sonderboring 7 og 9, innenfor det gruslaget som antas kan være aktuelt for energilagring. Termiske parametrene er basert på litteraturverdier. Termiske parametrene bør derfor betraktes som indikative.

Tabell 2 viser en oversikt over geologisk lagdeling og hydrogeologiske og termiske parametrene benyttet i modellen. Tabellen bør sees i sammenheng med det hydrogeologiske tverrsnittet som er framstilt i vedlegg 4. Spesifikk varmekapasitet til grunnvannet er 4,2 kJ/kgK, og termisk konduktivitet er likt 0,6 W/mK.

Lag	Beskrivelse	Mektighet (m)	Hydraulisk ledningsevne K (m/sek)	Spesifikk varmekapasitet (kJ/kgK)	Termisk konduktivitet (W/mK)
1	finsand/leire	0 – 10	$1 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-5}$	1,38	0,9
2	finsand/leire	0 – 10	$1 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-5}$	1,38	0,9
3	bunn finsand/leire	0.1	$1 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-5}$	1,38	0,9
4	gruslag*/skråstilt breelvavsetning	0 – 12	$3 \cdot 10^{-4} / 0,7 \cdot 10^{-3}$	0,83	2,7
5	bunn gruslag	0.1	$3 \cdot 10^{-4}$	0,83	2,7
6	topp morene/fjell	0.1	$1 \cdot 10^{-8}$	0,79	2,8
7	morene/fjell (gneis)	>10	$1 \cdot 10^{-8}$	0,79	2,8

Tabell 2 Oversikt lagdeling, hydrauliske og termiske parametre.

4.2.2 Grensebetingelser

For å kunne beregne grunnvannstrømning og varmestrømning er det nødvendig å bestemme grensebetingelser i ytterkant av modellen og på steder hvor grunnvannstand eller temperatur er bestemt. Grensebetingelser kan være "faste" nivåer av grunnvannstand (og temperatur) ved for eksempel en innsjø, elv eller kjente grunnvannsskiller, men også nedbørsmengde, kjente vannuttak eller vannstrøm over modellgrensen kan betraktes som grensebetingelser.

På østsiden av modellen utgjør Norsjøen en "fast" grensebetingelse i modellag 1 og 2. Her er grunnvannstand antatt å være nesten like det gjennomsnittlige vannspeil i Norsjøen. Det er lagt inn noe hydraulisk motstand på grunn av antatt bunntetting i elveløpet og liten infiltrasjon.

Grunnvannsuttaget i de to brønnene ved Nedre Sauherad vannverk er inkludert i modellen med et gjennomsnittlig uttak på $60 \text{ m}^3/\text{time}$ per brønn, i modellag 4.

Infiltrasjonen fra overflaten til grunnvannet utgjør $0,9 \text{ mm/dag}$ per m^2 på sand- og gruslagene, mens infiltrasjon er satt til minimalt $0,1 \text{ mm/dag}$ per m^2 i områder med leire eller berggrunn i overflaten. I sistnevnte "tette" områder antas det at overflateavrenning til det naturlige eller etablerte avløpsystemet er av overordnet betydning i forhold til infiltrasjon til grunnvannsmagasinet.

Temperaturen på grunnvannet bestemmes hovedsakelig av luftens gjennomsnittstemperatur over året, med et lite tillegg for antall dager med snødekke. Basert på overvåking ved Nedre Sauherad vannverk er grunnvannets temperatur meget stabil rundt cirka $7,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Variasjonen er stort sett mindre en $1 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.2.3 Modellresultater

Verdien og nytten av resultatene fra simuleringer utført med en grunnvannsmodell er avhengig av om grunnvannsmodellen beskriver de hydrogeologiske og termiske prosessene på en god måte. I denne situasjonen er det på grunn av manglende historiske data om grunnvanns- eller temperaturvariasjoner ikke mulig å kalibrere grunnvannsmodellen mot målte grunnvannstander eller temperaturer. Modellen bør derfor betraktes som begrepsmessig og retningsgivende.

Modellberegninger med effektbehov er basert på et gjennomsnittlig driftsår ved Akkerhaugen Gartneri i sin nåværende form. Som utgangspunkt for beregningene er energibehovet gjennom året fordelt på følgende måte:

- Fra 1. februar til 1. mai (3 måneder) antas det behov for oppvarming.
- Fra 1. mai til 31. august (4 måneder) antas det behov for kjøling og mulighet for lagring av varme i grunnen.
- Fra 1. september til 31. oktober (2 måneder) antas det behov for oppvarming.
- Fra 1. november til 31. januar (3 måneder) er det ingen aktivitet på bedriften, og dermed ingen behov for oppvarming eller kjøling.

<i>jan</i>	<i>feb</i>	<i>mar</i>	<i>apr</i>	<i>mai</i>	<i>Jun</i>	<i>jul</i>	<i>aug</i>	<i>Sep</i>	<i>okt</i>	<i>nov</i>	<i>des</i>

Tabell 3 Fordeling av oppvarmings- (rød) og kjølebehovet (blå)

Følgende simuleringer har blitt gjennomført for å vurdere mulighetene til å oppnå det nevnte energibehovet:

1. Simuleringer for å vurdere hydraulisk kapasitet til akviferen.
2. Simulering av fullskala ATES-system, med brønner for infiltrasjon og uttak av varmt og kaldt vann.
3. Simulering av begrenset ATES-system, med infiltrasjon og uttak av kun varmt vann.

Modellsimuleringer er utført med utgangspunkt i at faktiske grunnvannsforhold er slik som beregnet i grunnvannsmodellen. Disse forholdene er fremstilt i vedlegg 7 og er basert på tolkningen av de hydrogeologiske forholdene og grensebetingelser som beskrevet.

1) Simulering for å vurdere hydraulisk kapasitet av akviferen.

Modellresultatene viser at et uttak større enn 45 m³/time fra gruslaget vil føre til en så stor avsenkning av grunnvannsnivået i uttaksområdet at brønnene blir tørrlagt. Naturlig tilførsel av grunnvann til akviferen er begrenset. Ut fra simuleringene er det forventet at en realistisk permanent uttaksmengde vil være i størrelsesorden 30 m³/time. Denne mengden vil trolig kunne økes noe ved samtidig å infiltrere vann i akviferen, slik at vannbalansen opprettholdes. Dette vil derimot medføre en større gjennomstrømning og sirkulasjon av infiltrasjonsvannet i akviferen på grunn av at infiltrasjon og uttaksbrønner må plasseres relativt nært hverandre. En større gjennomstrømning vil medføre en raskere nedkjøling av området rundt varmtvannsbrønnen og en raskere oppvarming av området rundt kaldtvannsbrønnen. Bruk av akviferen til energilagring vil derfor være avhengig av en optimalisering av mengde og temperatur på utpumpet og infiltrert vann.

2) Simulering av ATES-system med lagring og uttak av varmt og kaldt vann.

For å vurdere akviferens potensial for uttak av varme- og kjøling, er det gjennomført en simulering med spesifikasjoner som fremstilt i Tabell 4.

	<i>jan</i>	<i>feb</i>	<i>mar</i>	<i>apr</i>	<i>mai</i>	<i>jun</i>	<i>jul</i>	<i>aug</i>	<i>sep</i>	<i>okt</i>	<i>nov</i>	<i>des</i>
varm	0	30	30	30	-45	-45	-45	-45	30	30	0	0
kald	0	-30	-30	-30	45	45	45	45	-30	-30	0	0

Tabell 4 ATES-simulering, uttak- og infiltrasjonsmengder (m³/time, infiltrasjonsmengder negative)

Uttak- og infiltrasjonsmengder vist i Tabell 4 er modellert som én infiltrasjonsbrønn for varmt vann, én uttaksbrønn for varmt grunnvann og én brønn til både uttak og infiltrasjon av kaldt vann. Følgende utgangspunkt gjelder for simulering av temperatur over varmeveksleren:

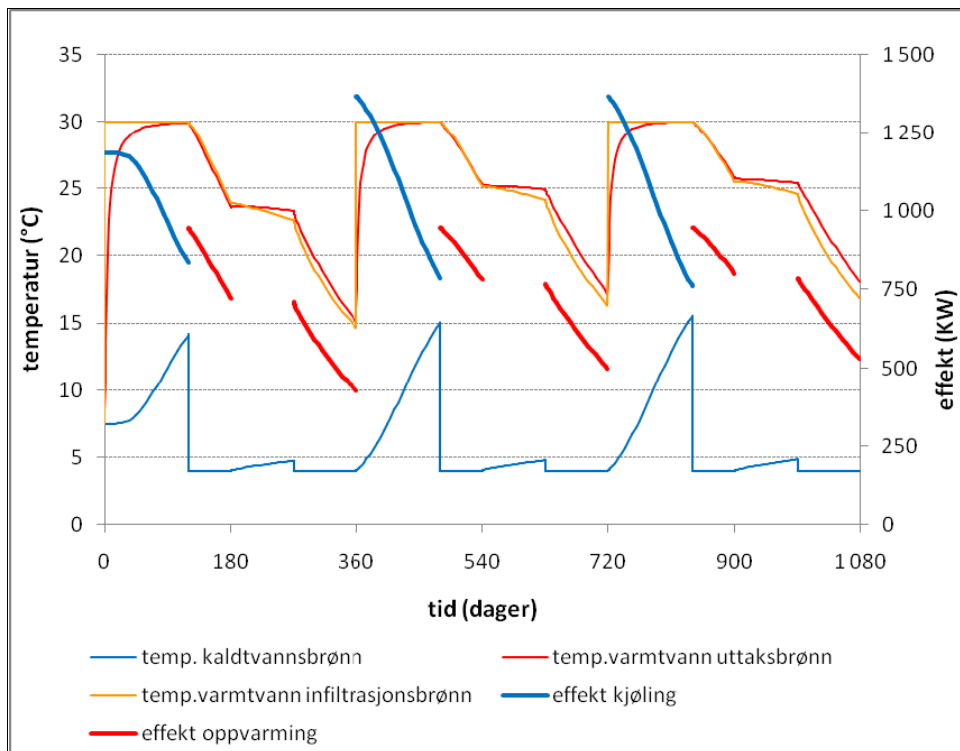
Oppvarmingsbehov (høst, vinter): T_{inn} = variabel fra varme brønner, $T_{ut} = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$, som infiltreres i kalde brønner.

Kjølebehov (sommer): T_{inn} = variabel fra kalde brønner, $T_{ut} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$, som infiltreres i varme brønner.

For å unngå et for stort tap av varme i perioden november - januar er simuleringen utført med å infiltrere et overskudd av varmt vann i perioden mai – august. I perioder med oppvarmingsbehov er uttakmengden av lagret varmt grunnvann lik infiltrasjonsmengden av kaldt vann.

Resultatene av simuleringen er fremstilt i vedlegg 8 og 9 og Figur 3. Vedlegg 9 omfatter 6 figurer som viser grunnvannets temperatur og strømningslinjer på flere tidspunkt i driftsfasen. Fremstilte tidspunkt er avsluttede perioder med oppvarmingsbehov, kjølebehov eller perioder uten driftsaktivitet på gartneriet.

Figur 3 viser simulert temperaturforløp i de 3 brønnene (se vedlegg 9) samt effektmengder fra grunnvann til oppvarming og kjøling. Effekten er beregnet ut fra uttaksmengdene som presentert i Tabell 4.



Figur 3: Simulert temperaturforløp i brønnene og effektmengder fra grunnvann til oppvarming og kjøling.

Vedlegg 9 viser at det oppstår en strømning mellom brønnene som medfører henholdsvis nedkjøling av den varme brønnen i perioden september – april og oppvarming av den kalde brønnen fortrinnsvis i perioden mai – august og november – januar. På grunn av infiltrasjon av kaldt vann viser modellert temperaturfordelingen i akviferen på slutten av perioden med oppvarmingsbehov (30. april) en klar nedkjøling av området for lagring av varmt grunnvann. Ved siden av at de varmtvanns- og kaldtvannsbrønnene påvirker hverandre når det gjelder vannstrøm og temperatur, forårsaker den naturlige grunnvannstrømningen i retning Norsjøen et tap av grunnvann og temperatur mot overflatevannet. Både akviferens form og varierende tykkelse medfører en asymmetrisk fordeling av den lagrede varmen og kulden i akviferen.

Figur 3 viser at temperaturen på grunnvann tilgjengelig til oppvarming varierer i månedene september – oktober fra cirka 30 °C til 24 °C og som tilsvarer et effekttap fra 950 kW til 750 kW. Temperaturen på utpumpet grunnvann i perioden februar – april varierer fra cirka 23 °C til 15 °C, som tilsvarer et effekttap fra 700 kW til 425 kW. Det daglige effektbehovet i den mest kritiske perioden fra 1. februar til slutten av april er i gjennomsnitt cirka 1500 kW (60 % av maksimalt forbruk). Grunnvannet kan dermed forsyne 25-50 % av effektbehovet for oppvarming av drivhuset i perioden med størst behov for oppvarming. I perioden fra 1. september til slutten av oktober kan grunnvannet forsyne 75 % til 95 % av effektbehovet til oppvarming.

Siden nåværende kjøling av gartneriet om sommeren skjer ved lufting, er det på dette tidspunktet ikke mulig å estimere nødvendig effektbehov for kjøling ved hjelp av et kjølesystem i drivhusene. Det forventes derimot at grunnvannet kan forsyne en betydelig del av energi- og effektbehovet til kjøling.

Det konkluderes med at modellberegninger antyder at en kombinasjon av lagring av kaldt og varmt vann i samme akviferen har et betydelig energibesparingspotensial hvis temperaturen på infiltrert varmtvann kan økes til 30 °C. Det er derimot meget begrensede muligheter for plassering av brønnene og det beregnede uttaks- og infiltrasjonspotensialet kan i praksis sterkt avvike fra faktiske forhold grunnet ukjente hydrauliske, geologiske (for eksempel anisotropi) og ikke minst geokjemiske faktorer. For å kunne redusere usikkerhetene i beregningene er det derfor nødvendig å etablere prøvepumpings- og infiltrasjonsbrønner og gjennomføre langtids prøvepumping og infiltrasjonsforsøk samt kjemiske analyse av grunnvannet. Det anbefales at eventuell videre VVS-tekniske prosjektering først påbegynnes etter at simuleringene er verifisert med prøvepumping.

3. Simulering av ATES med kun lagring av varmt vann.

I nåværende situasjon kjøles drivhuset på tradisjonelt vis med hjelp av lufting. Etablering av et kjøleanlegg i gartneriet er kostbart og på kort sikt muligens ikke gjennomførbart. Som påvist i simulering av ATES med både uttak og infiltrasjon av varmt og kaldt vann, påvirker de varme og kalde brønnene hverandre på grunn av kort avstand mellom brønnene.

Som alternativ er det gjennomført en simulering med kun varmelagring, spesifisert i Tabell 5. Infiltrasjon av varmt vann er simulert med 3 brønner som infiltrerer 30 m³/time hver i sommerperioden (mai - august). Uttak av lagret varmt grunnvann er simulert med 1 brønn med en total uttak på 45 m³/time. Simuleringen viser at det ikke er mulig å ta ut mer enn 45 m³/time over en lengre periode uten at brønnen tørrelegges.

	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des
varm	0	45	45	45	-90	-90	-90	-90	45	45	0	0

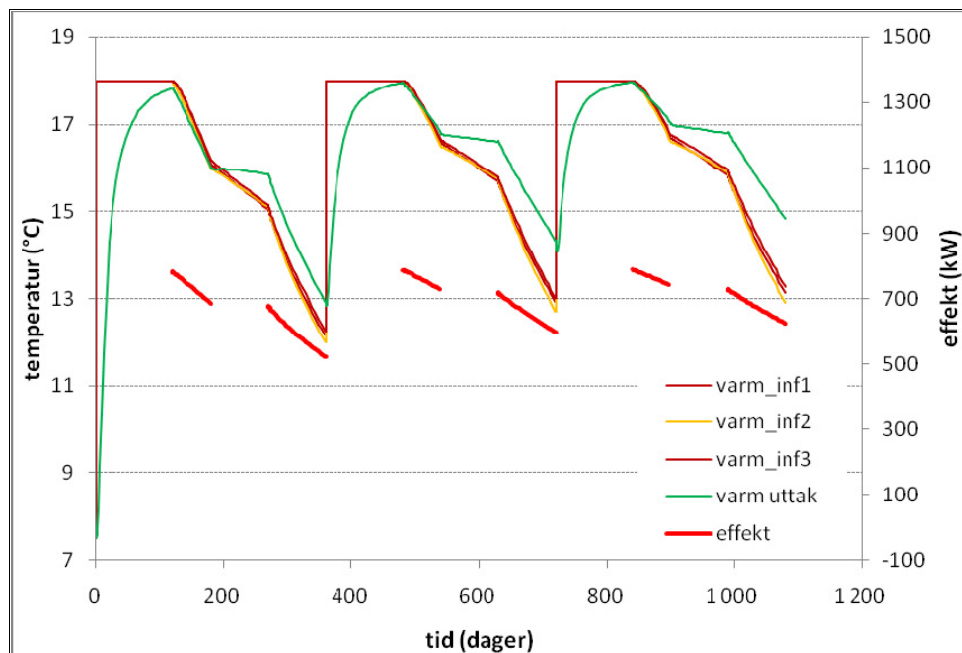
Tabell 5: ATES med kun varmelagring, uttak- og infiltrasjonsmengder (m³/time, infiltrasjon negative)

Tabell 5 viser at vann- og dermed også temperaturbalansen mellom brønnene ikke er lik null. Det simuleres en større andel infiltrasjon enn uttak grunnet en "tap" av grunnvann gjennom naturlig utstrømning til overflatevannsystemet. Hvordan denne balansen blir i praksis, kan kun avgjøres gjennom overvåking av grunnvannstand og temperatur under driftsfasen.

I simuleringen er det tatt som utgangspunkt at infiltrasjonsvannet har en temperatur på 18 °C. Det er nødvendig å bruke en uavhengig vannkilde for infiltrasjon av varmt vann. En mulighet

kan være å bruke overflatevann fra Norsjøen som har en temperatur opp mot 22 °C om sommeren.

Vedlegg 9 fremstiller temperaturforholdene i grunnvannet på forskjellige tidspunkter i simuleringen. Figur 4 viser beregnede gjennomsnittstemperaturer på vannet i både infiltrasjons- og uttaksbrønnene, samt den totale effekten som forventes kan oppnås med dette begrensede ATES-systemet, ut fra en uttaksmengde på 45 m³/time og nedkjøling av vannet til 3 °C i varmeveksleren.



Figur 4: Simulert temperaturforløp i brønnene og effektmengder fra oppumpet grunnvann.

Ved å infiltrere mer varmt vann i perioden med kjølebehov (sommer) enn det tas ut i perioder med oppvarmingsbehov (høst, vinter, vår) oppstår det en relativt stabil grunnvannstemperatur i akviferen som vil medføre en temperatur i uttaksbrønnen som varierer fra 18 °C til 15 °C (se Figur 4). Effekten som kan hentes ut fra oppumpet grunnvann varierer dermed fra om lag 600 kW til 850 kW. Dette er cirka 50 % av effektbehovet for gartneriet (60 % av maksimalforbruket) i den mest kritiske oppvarmingsperiode, fra 1. februar til slutten av april.

Det konkluderes med at modellberegningene antyder at et ATES-system bestående av kun varmelagring ut fra hydraulisk og termodynamisk synspunkt har et godt energibesparingspotensial. På grunn av at det i utgangspunktet ikke benyttes varmepumpe til å øke temperaturen til infiltrasjonsvannet, er det oppnådde effektuttaket fra oppumpet grunnvann fra akviferen begrenset. Denne varianten betraktes som mer usikker i forhold til et "tradisjonelt" ATES system med både infiltrasjon og uttak av varmt og kaldt grunnvann. Denne usikkerheten er basert på at infiltrasjon av overflatevann vil kreve en del forbehandling og miljøkjemisk overvåking før infiltrasjon kan finne sted for å unngå tetting av infiltrasjonsbrønnen. Denne behandlingen kan bestå av en enkel sandfiltrering til mer avansert behandling som for eksempel lufting og utfelling av jern og mangan. Bruk av varmepumpe for å øke temperaturen av overflatevannet før infiltrasjon kan være en økonomisk gunstig alternativ for å øke effektbehovet, forutsett at vannkvaliteten egner seg til en slik løsning.

5. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER

Den hydrogeologiske undersøkelsen antyder at den aktuelle akviferen på Akkerhaugen ut fra et hydraulisk og termodynamisk synspunkt er egnet til lagring av varme og kulde, men at kapasiteten er begrenset på grunn av at akviferen er forholdsvis liten.

Modellberegninger antyder at det vil være gode muligheter for å etablere et ATES-system (Aquifer thermal energy storage) med både lagring av kaldt og varmt vann i samme akvifer. Mulighetene for optimal plassering av brønnene er derimot meget begrenset som følge av akviferens størrelse, og uttak- og infiltrasjonsmengder vil dermed også være begrenset. Det forutsettes bruk av varmepumpe til både oppvarming og kjøling av drivhusene, slik at temperaturen til infiltrasjonsvannet kan økes til cirka 30 °C i begynnelsen av fyringssesongen (slutten av kjøleperioden) og senkes til cirka 4 °C mot slutten av fyringssesongen (begynnelsen av kjøleperioden). Oppumpet grunnvann kan trolig forsyne 25-50 % av effektbehovet for oppvarming i perioden med størst behov for oppvarming, fra 1. februar til slutten av april. I perioden fra 1. september til slutten av oktober kan grunnvannet trolig dekke 75 % til 95 % av effektbehovet til oppvarmingen.

Modellberegningene antyder at et ATES-system bestående av kun varmelagring også har potensial for betydelig energibesparelse. Oppumpet grunnvann kan trolig forsyne cirka 50 % av effektbehovet for gartneriet i den mest kritiske oppvarmingsperiode. I perioden fra 1. september til slutten av oktober kan grunnvannet forsyne 60 % til 70 % av effektbehovet til oppvarmingen. Bruk av overflatevann utgjør imidlertid en større usikkerhet med hensyn til kvaliteten av infiltrasjonsvannet. Akvifertypen ved Akkerhaugen er kjent for stedvis å ha høyt jern og manganinnhold, noe som kan føre til tetting av filtre, redusert kapasitet og høye vedlikeholdskostnader. Blanding av oksygenrikt overflatevann med oksygenfattig og jern- og manganrikt grunnvann kan lett føre til problemer med utfellinger (jern- og manganoksider). Dette må i så fall kompenseres for i form av mer robust utstyr og hensiktsmessig vannbehandling.

De foretatte simuleringene er basert på resultater fra sonderboringer, enkel testing av akviferens hydrauliske egenskaper og generell hydrogeologisk kunnskap om området. Den virkelige uttaks- og infiltrasjonskapasiteten av akviferen bør evalueres ved å etablere grunnvannsbrønner å gjennomføre prøvepumping, med nøyaktig overvåking av grunnvannsnivå, grunnvannstemperatur og vannkvalitet.

Det daglige energiforbruket ved Akkerhaugen Gartneri er sterkt avhengig av klimatiske forhold og varierer dermed vesentlig mellom dag og natt og mellom årstidene. En solrik dag om vinteren vil føre til sterk reduksjon av oppvarming. Modellberegningene er imidlertid basert på det gjennomsnittlige effektbehovet over flere måneder, og tar ikke hensyn til daglige svingninger i effektbehovet, og dermed infiltrasjons- og uttaksmengdene. Kortvarige variasjoner vil kunne fanges opp ved buffertanker, men konsekvensene av raske endringer i uttak- og infiltrasjonsmengder er ikke vurdert i denne første vurderingen av mulighetene for energilagring.

For å redusere usikkerhetene i beregningene anbefales det å etablere grunnvannsbrønner å gjennomføre langtids prøvepumping og infiltrasjon samt kjemiske analyser av grunnvannet. Resultatene av prøvepumpingen og analyser brukes til videre vurdering av prosjektets gjennomførbarhet og eventuell videre teknisk prosjektering av VVS systemet. Det anbefales å gjennomføre detaljerte modellberegninger på timebasis med data fra prøvepumping for å vurdere systemet evne til håndtere raske endringer i uttak- og infiltrasjonsmengder.

REFERANSER

- Mills, A.F. 1995: Heat and Mass Transfer. *Richard D. Irwin Inc.*
- Klempe, H. 1986: Hydrogeologisk kart Sauherad kommune, Telemark. 1:50.000. *Institutt for naturanalyse, Bø.*
- Klempe, H. 1991: Grunnvann i Sauherad kommune. *NGU rapport 91.084.*
- Klempe, H. 1986: Kommunebruksplan for Sauherad kommune, del 1: vannforsyningskilder og jordresipienter. *Rapport 17-86, Institutt for naturanalyse.*
- Engravslia, L og Klempe, H. 1986: Undersøkelsesboring på Akkerhaugen, august 1986. *Telemark distriktshøyskole.*
- Bergstrøm, B. 1981: Nordagutu, kvartærgeologisk kart 1714 IV. 1:50.000. *Norges geologiske undersøkelse.*
- Dahlgren, S. 1978: Nordagutu, berggrunnsgeologisk kart 1713 IV. 1:50.000. *Norges geologiske undersøkelse.*
- Styringsutvalget for jordforskning, 1982: Hydrogeologiske undersøkelser ved Akkerhaugen, Sauherad kommune. *Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd.*
- Tvedten, S. 1995: Nedre Sauherad Vannverk – Langtidsprøvepumping av grunnvannskilden ved Kåsaøyra – Forslag til beskyttelse av vannkilden. *Asplan Viak AS, Kongsberg.*
- Hillestad, G. 1991: Seismisk grunnundersøkelse Akkerhaugen, Ottersnes og Eidanger. *NGU rapport 1814.*
- Sættem, J. 2005: Noen vurderinger angående hydrogeologiske forhold ved israndavsetningen på Akkerhaugen. *Intern notat Sauherad kommune.*
- Sættem, J. 2005: Drikkevannet i Sauherad kommune. *Pressemelding Sauherad kommune.*
- Odong, J. 2007: Evaluation of empirical formulae for determination of hydraulic conductivity based on grain-size analysis. *Journal of American Science 3(3), 54-60.*
- Østmo, S.R. 1978: Nordagutu. Vannressurskart "Grunnvann i løsavsetninger"; Nordagutu, 1713 IV. 1:50.000. *Norges geologiske undersøkelse.*
- Aasland, T. 1993. Akkerhaugen vannverk. Vurderinger/resultater og anbefaling vedrørende grunnvannsuttak ved Kaasa-øyra. *Brev til Sauherad kommune, Asplan Østlandet, Kongsberg.*
- Wieslawa, K. 2007: Analyserapport 2007.0324. *NGU analyserapport kornfordeling – Coulter laser.*

Vedlegg 1

Beliggenhet og bilde Akkerhaugen Gartneri

Vedlegg 1



Oversiktskart



Tegnforklaring

Sikringssoner vannverk



0



1



2



3



Brønnområde
vannverk



Bildevinkel

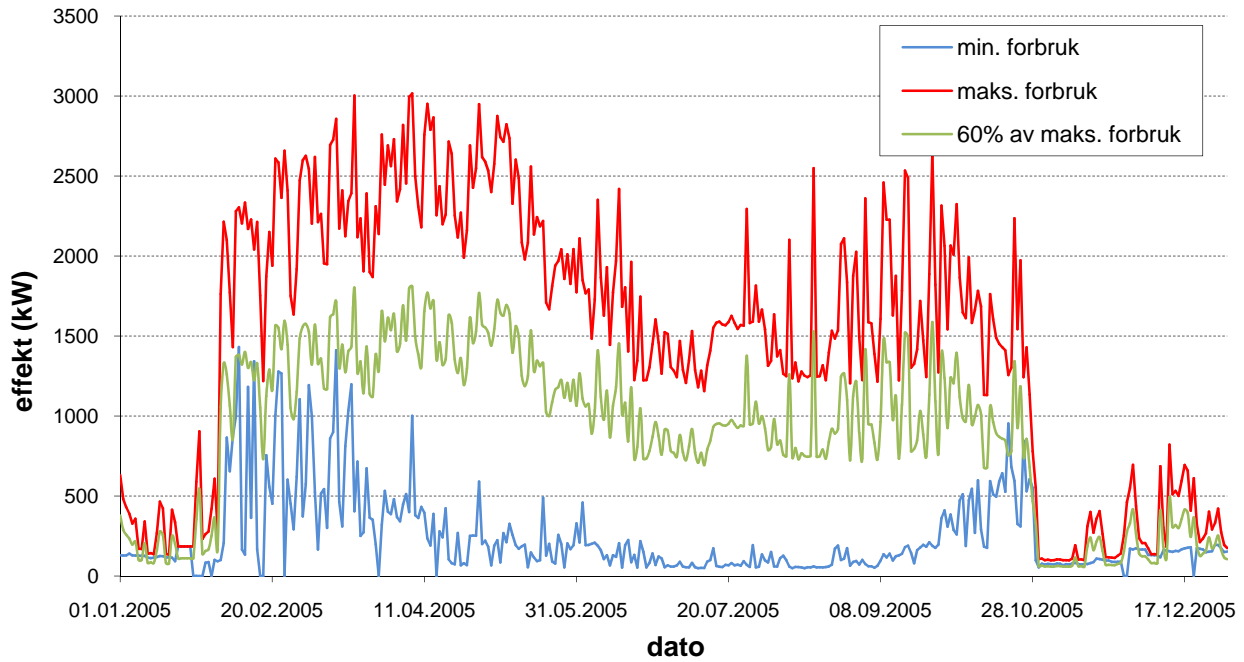
0 100 200 300 400 500 m

Flybilde: www.norgebilder.no



Vedlegg 2
Daglige effektbehov 2005

Daglig effektbehov 2005

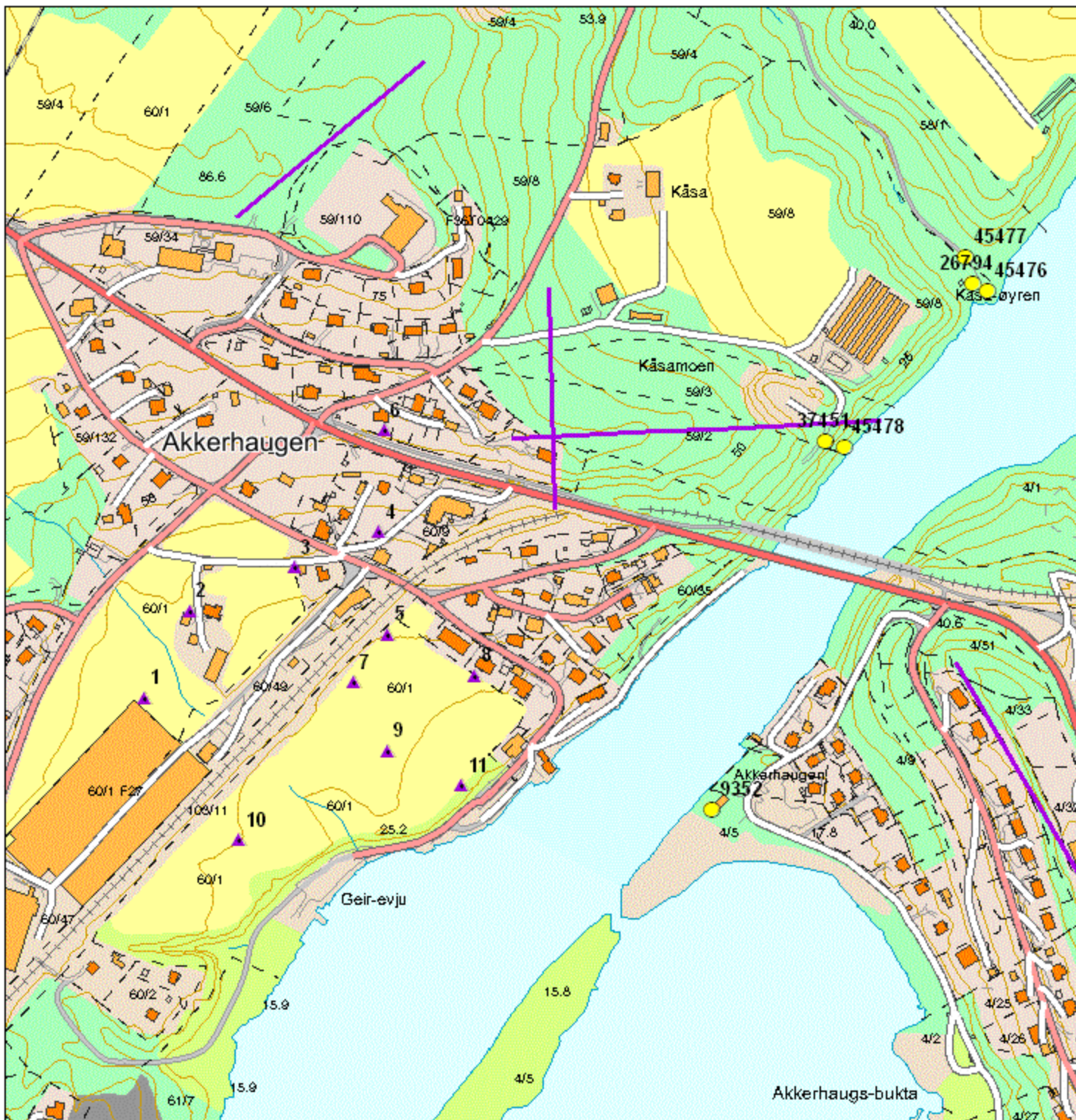


Vedlegg 3

Oversiktskart sonderboringer og seismiske data

Oversiktskart

Sonderboringer og seismiske data



HD EBEER_08012008, P.RO SJEKT 277 110.

Tegnforklaring

- ▲ sonderboringer (NGU, 2007)
- seismiske profiler (NGU, 1991)
- løsmassebrønner (Granada)

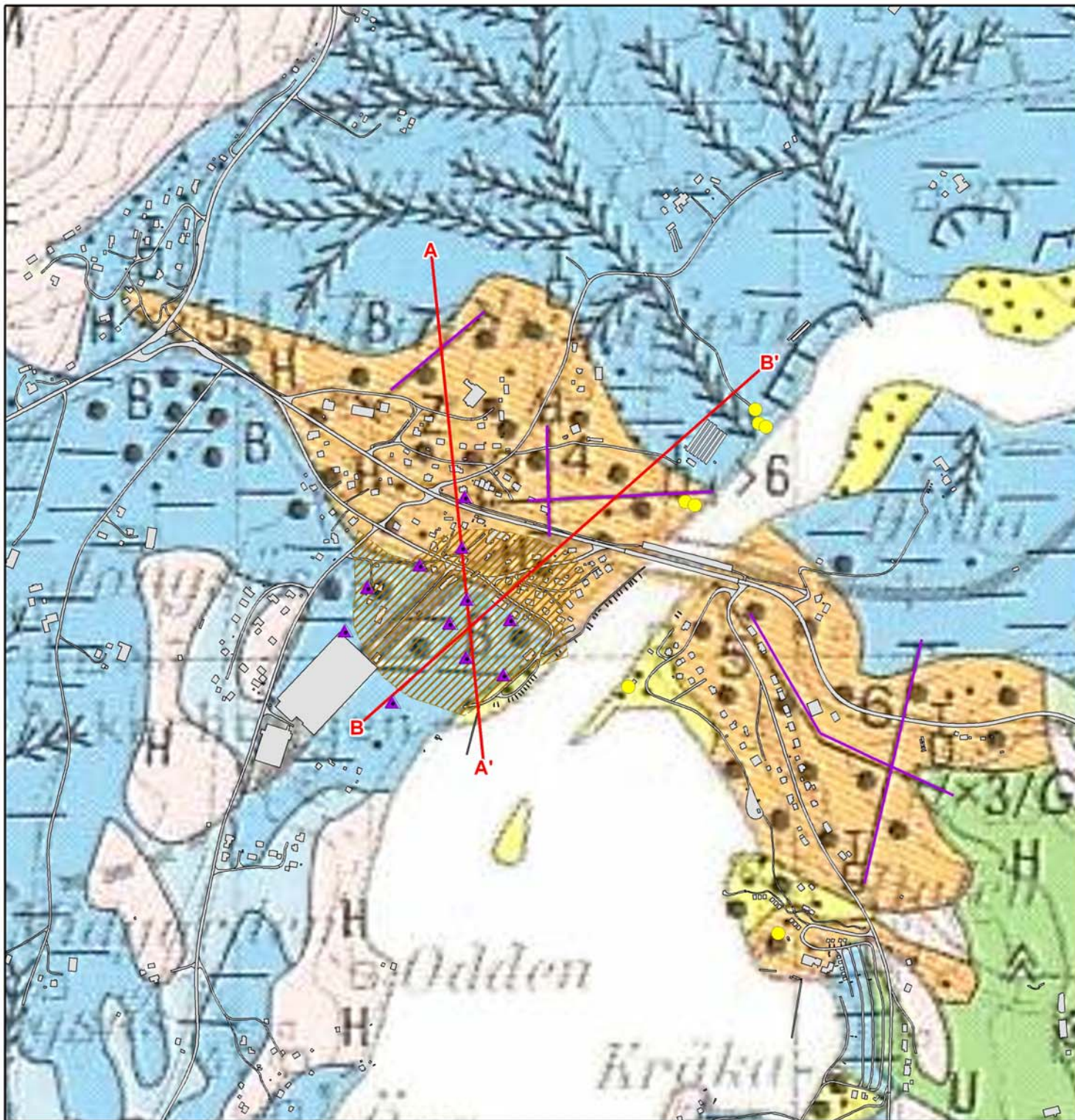
1:5 000



Vedlegg 4
Oversiktskart kvartærgeologi
Geologiske profiler

Oversiktskart

Kvartærgeologi (1:50.000)

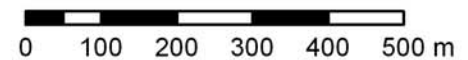


HDEBEER, 08012008, PROSJEKT 277110.

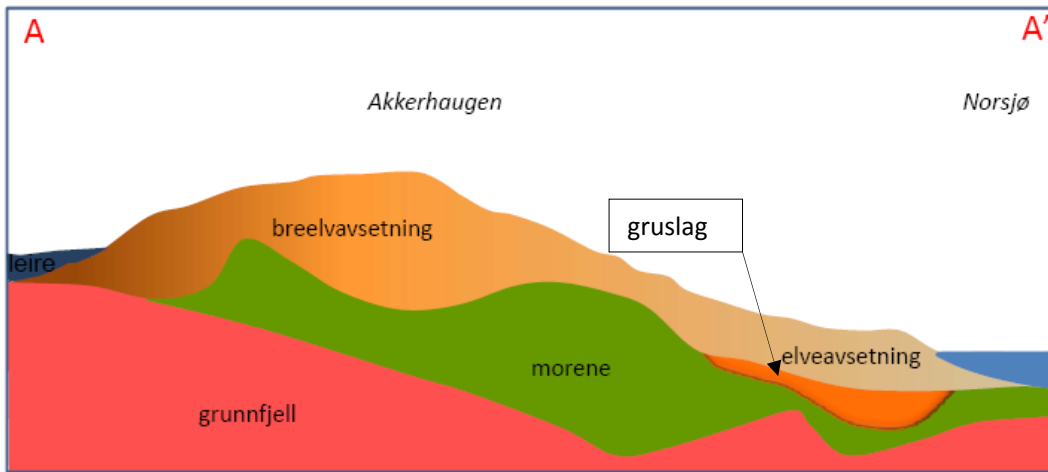
Tegnforklaring

- ▲ sonderboringer (NGU, 2007)
- seismiske profiler (NGU, 1991)
- løsmassebrønner (Granada)
- ▨ gruslag dekket av finsand
- geologisk tverrsnitt

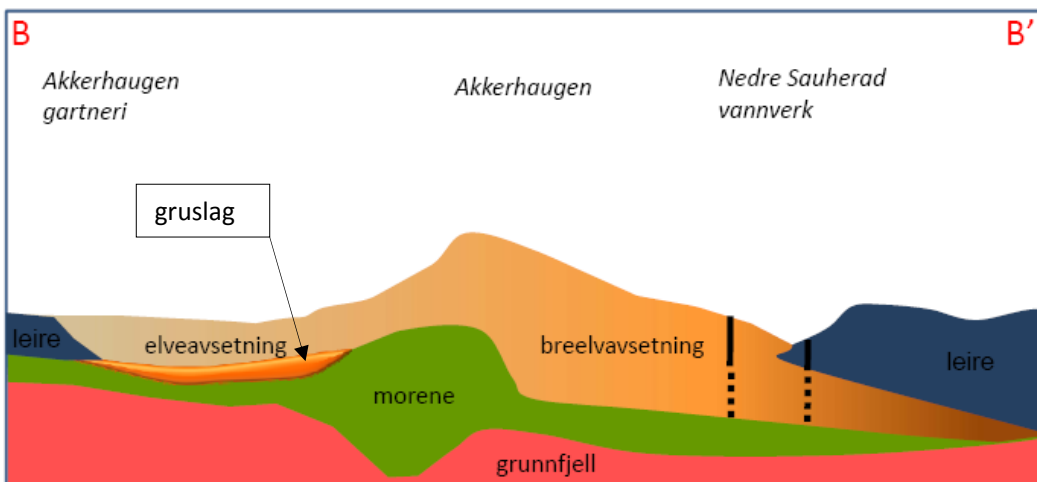
1:10 000



Vedlegg 4 forts.



Forenklet geologisk profil A-A'



Forenklet geologisk profil B-B'

Vedlegg 5
Borelogger sonderboringer

Vedlegg 5

<i>Sonderboring</i>	<i>Dybde(m)</i> <i>(m)</i>	<i>Vanntrykk</i> <i>(kg/bar)</i>	<i>Slag</i>	<i>Boreslam</i> <i>(farge)</i>	<i>Massebeskrivelse</i>
BH1	0,9-1,0	0	nei	grått	finsand /silt
	1,0-3,5	2	nei	grått	finsand /silt
	3,5-7,0	2	nei	grått	finsand /silt
	7,0-10,0	0	ja	grått	fjell
BH2	0,0-2,0	0	nei	brunt	sand
	2,0-9,0	0	nei	gråbrunt	finsand
	9,0-10,5	0	nei	grått	leire
	10,5-11,5	5	delvis	-	grusige/steinholdige masser (inneholder finsand)
	11,5-12,5	12	ja	-	grusige/steinholdige masser
	12,5-13,5	1	ja	-	grusige/steinholdige masser
	13,5-14,0	14	ja	-	grusige/steinholdige masser
	14,0-16,0	8	-	-	fjell
BH3	0,0-2,0	0-1	nei	brunt	sand
	2,0-6,5	2	nei	grått	finsand
	6,5-7,5	2	ja	grått	grus
	7,5-8,0	2	ja	grått	sand
	8,0-10,0	8	ja	-	grusig og steinholdig
	10,0-12,0	6	delvis	-	finsand
	12,0-14,0	5	ja	-	finsand
	14,0-16,0	3	ja	-	finsand
	16,0-20,0	7	ja	-	finsand
	20,0-21,5	1	ja	-	grus
	21,5-22,3	12	ja	-	tett finkornig lag
	22,3-23,8	7	ja	-	fjell
BH4	0,0-1,5	1	nei	brunt	sand
	1,5-4,0	3	nei	gråbrunt	finsand
	4,0-7,5	7	ja	-	grus
	7,5-9,5	3	ja	-	grus
	9,5-10,5	5	ja	-	grus
	10,5-11,5	15	ja	-	fast lagret finsand / silt
	11,5-14,0	16	ja	-	grus m/ enkelte tette finsand lag
	14,0-19,8	16	ja	-	morene
BH5	0,0-2,0	1	nei	brunt	sand
	2,0-5,0	2	nei	gråbrunt	finsand
	5,0-5,5	2	nei	delvis borte	grus
	5,5-8,0	4	nei	gråbrunt	finsand
	8,0-9,5	2	ja	gråbrunt	steinholdig masse
	9,5-11,0	2	ja	-	sand
	11,0-13,0	7	ja	-	finsand/silt
	13,0-14,0	2	ja	-	sand
	14,0-15,0	9	ja	-	finsand/silt
	15,0-16,0	2	ja	-	steinholdig masse, fast (antar en del finsand.)
	16,0-17,0	11	ja	-	steinholdig masse, fast
	17,0-18,0	3	ja	-	steinholdig masse, fast
	18,0-19,0	12	ja	-	steinholdig masse, fast
	19,0-19,5	7	ja	-	finsand
	19,5-23,0	4	nei	-	steinholdig masse
	23,0-26,0	7	ja	-	steinholdig masse
	26,0-29,7	6	ja	-	steinholdig masse
29,7-30,0	6	ja	-	fjell	

Vedlegg 5

Sonderboring	Dybde(m) (m)	Vanntrykk (kg/bar)	Slag	Boreslam (farge)	Massebeskrivelse
BH6	0,0-0,5	1	delvis	brunt	grus
	0,5-2,0	2	delvis	brunt	sand
	2,0-5,0	2	nei	gråbrunt	finsand
	5,0-6,5	2	delvis	-	grus
	6,5-12,0	10	ja	-	steinholdig tett masse (morene)?
	12,0-14,5	10	ja	-	steinholdig tett masse (morene)?
	14,5-15,5	7	ja	-	steinholdig tett masse (morene)?
	15,5-18,5	10	ja	-	steinholdig tett masse (morene)?
	18,5-22,0	14	ja	-	steinholdig tett masse (morene)?
	22,0-23,9	16	ja	-	steinholdig tett masse (morene)?
BH7 (filter fra 18,7 til 20,2 m)	0,0-2,0	0-2	nei	brunt	sand
	2,0-8,0	2	nei	gråbrunt	finsand (noe faster lagret)
	8,0-13,5	3	nei	gråbrunt	finsand (noe faster lagret)
	13,5-16,5	4	nei	gråbrunt	finsand (noe faster lagret)
	16,5-21,5	2	ja	-	grus, steinholdig
	21,5-24,0	5	ja	-	grus, steinholdig (tettere)
	24,0-24,2	5	ja	-	fjell
BH8	0,0-2,0	1	nei	brunt	sand
	2,0-6,5	2	nei	gråbrunt	finsand
	6,5-8,0	3	nei	grått	finsand
	8,0-11,0	4	nei	grått	finsand
	11,0-12,5	2	ja	-	grus
	12,5-14,0	8	delvis	-	silt.finsand
	14,0-15,0	10	ja	-	grov, tett masse
	15,0-16,0	2	ja	-	gruslag
	16,0-17,0	12	ja	-	tett steinholdig lag
	17,0-20,0	3	ja	-	grus
	20,0-21,5	8	-	-	finsand
	21,5-24,5	2	ja	-	grus
	24,5-26,0	7	ja	-	grus m/finsand
26,0-31,5	10	ja	-	finsand, fast lagret.	
31,5-32,0	7	ja	-	finsand, noe løsere.	
32,0-46,0	10	ja	-	fast lagret finsand/silt, kanskje leire	
BH9 (filter fra 21,0 til 23,5 m)	0,0-2,0	1	nei	gråbrunt	sand
	2,0-7,5	2	nei	gråbrunt	finsand
	7,5-10,0	3	nei	gråbrunt	finsand
	10,0-15,5	4	nei	gråbrunt	finsand
	15,5-20,0	5	nei	gråbrunt	finsand, siltig
	20,0-27,5	4	ja	-	grus
	27,5-28,5	6	ja	-	grus m/ finstoff
	28,5-34,5	7	ja	-	grus m/ finstoff
	34,5-38,0	11	ja	-	fast silt/leire
BH10	0,0-2,5	1	nei	brunt	sand
	2,5-5,0	2	nei	gråbrunt	finsand
	5,0-9,5	5	nei	grått	silt/leire
	9,5-14,2	6	nei	grått	silt/leire
	14,2-14,4	6	ja	grått	fjell
BH11	0,0-2,0	2	nei	brunt	sand
	2,0-2,5	2	nei	brunt	gruslag
	2,5-7,0	2	nei	gråbrunt	finsand
	7,0-14,0	4	nei	-	finsand
	14,0-21,5	6	nei	-	finsand
	21,5-23,0	11	nei	-	finsand, silt
	23,0-24,5	5	nei	-	grus
	24,5-26,5	14	ja	-	fast lagret finsand/silt
	26,5-27,0	6	ja	-	gruslag
	27,0-27,5	12	ja	-	finsand
	27,5-31,0	4	ja	-	grus
31,0-34,0	10	ja	-	fast lagret finsand/silt.	

- = boreslam forsvinner i massene

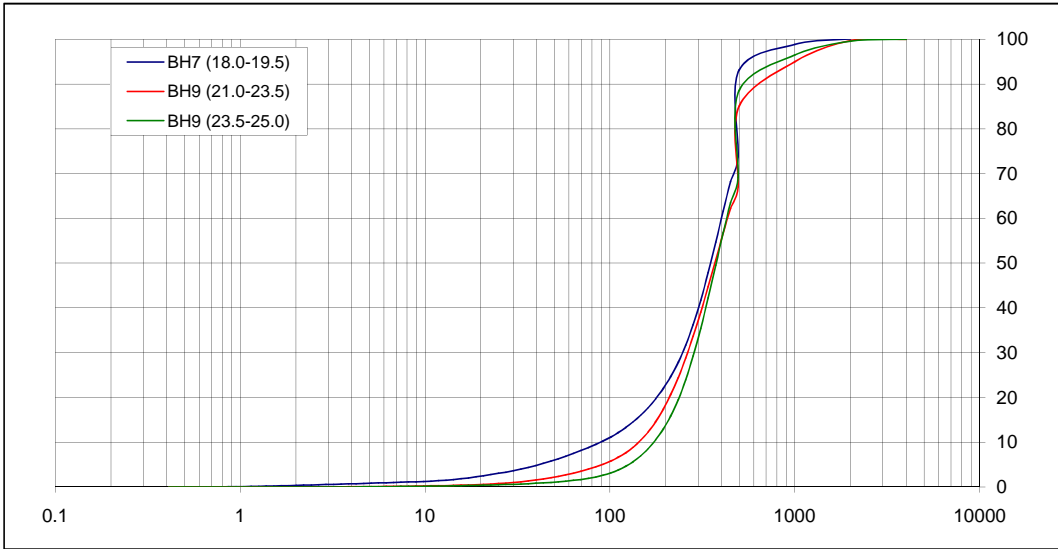
Vedlegg 6

Hydraulisk konduktivitet fra
kornfordelingsanalyser, analyserapport

Hydraulisk konduktivitet fra kornfordelingsanalyser

Dato: 23.08 - 25.08.2007

Prosjekt: 277110, Hydrogeologiske undersøkelser ved Akkerhaugen Gartneri, Akkerhaugen



Prøve		47060 BH7 (18.0-19.5)	
D10	9.74E-05 m	ln(U)	1.44
D60	4.10E-04 m	U ²	17.68
U	4.21	log(U)	0.62
e	0.23054	D60/D10	4.21
g(U)	2.62047	estimert n:	0.37 (Vukovic and Soro, 1992)
E(U)	14 771.33	v	1.31E-06 (kinematisk viskositet vann ved 10 C, m2/s)
Gustafson (1982):		Sammenligning andre metoder:	
K ₅₀	1.40E-04 m/s 12.1 m/d	Hazen (1911):	1.10E-04 m/s 9.5 m/d
K ₈₀	6.87E-05 m/s 5.9 m/d	Kozeny-Carman:	7.67E-05 m/s 6.6 m/d
K ₉₀	4.48E-05 m/s 3.9 m/d	Breyer:	8.87E-05 m/s 7.7 m/d

Prøve		47061 BH9 (21.0-23.5)	
D10	1.57E-04 m	ln(U)	1.00
D60	4.25E-04 m	U ²	7.32
U	2.71	log(U)	0.43
e	0.27532	D60/D10	2.71
g(U)	3.16870	estimert n:	0.41 (Vukovic and Soro, 1992)
E(U)	16 602.44	v	1.31E-06 (kinematisk viskositet vann ved 10 C, m2/s)
Gustafson (1982):		Sammenligning andre metoder:	
K ₅₀	4.10E-04 m/s 35.4 m/d	Hazen (1911):	2.86E-04 m/s 24.7 m/d
K ₈₀	2.01E-04 m/s 17.3 m/d	Kozeny-Carman:	3.01E-04 m/s 26.0 m/d
K ₉₀	1.31E-04 m/s 11.3 m/d	Breyer:	2.52E-04 m/s 21.8 m/d

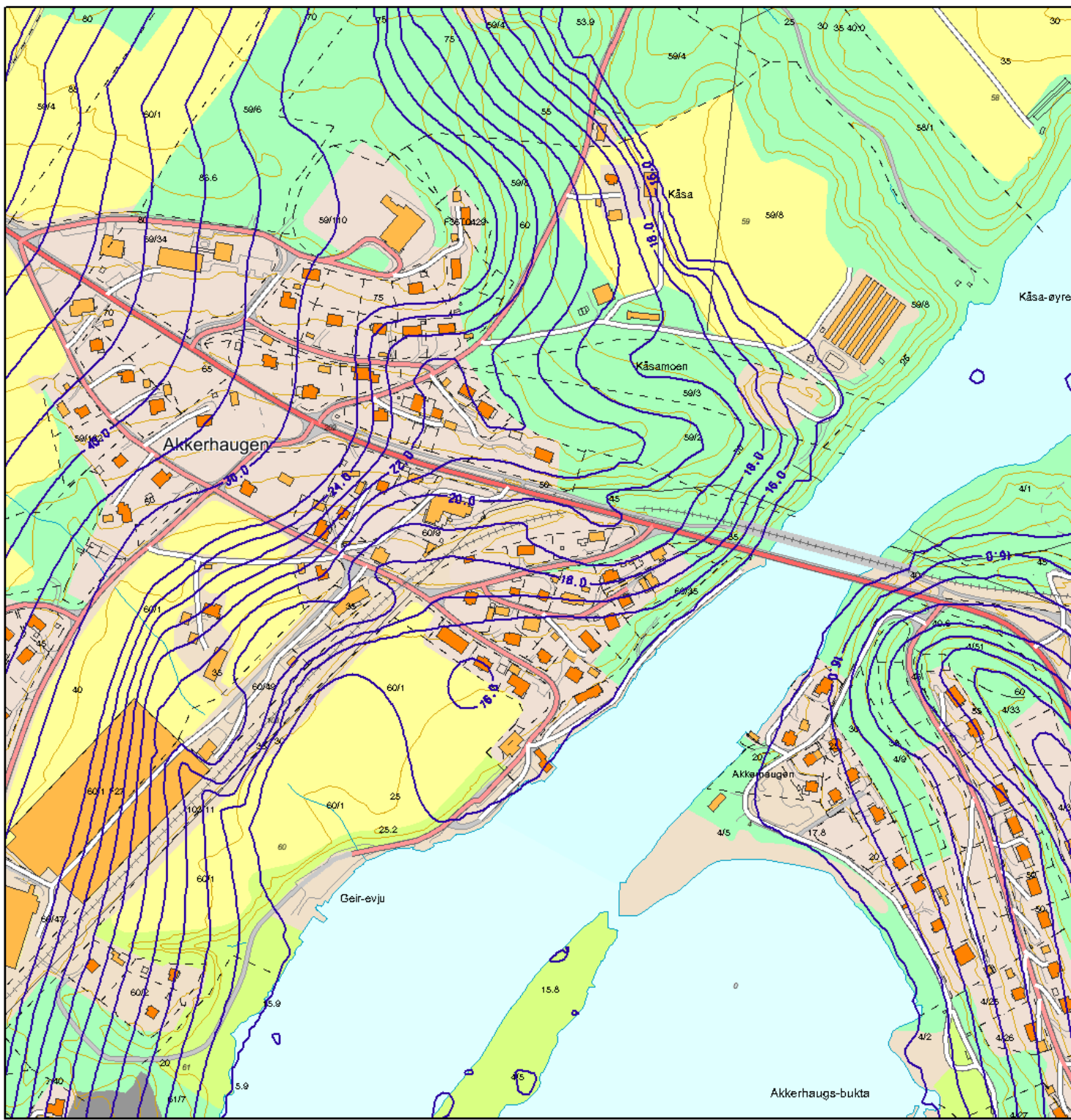
Prøve		47062 BH9 (23.5-25.0)	
D10	1.89E-04 m	ln(U)	0.81
D60	4.25E-04 m	U ²	5.04
U	2.24	log(U)	0.35
e	0.29666	D60/D10	2.24
g(U)	3.48880	estimert n:	0.42 (Vukovic and Soro, 1992)
E(U)	16 851.54	v	1.31E-06 (kinematisk viskositet vann ved 10 C, m2/s)
Gustafson (1982):		Sammenligning andre metoder:	
K ₅₀	6.05E-04 m/s 52.2 m/d	Hazen (1911):	4.15E-04 m/s 35.9 m/d
K ₈₀	2.96E-04 m/s 25.6 m/d	Kozeny-Carman:	5.07E-04 m/s 43.8 m/d
K ₉₀	1.93E-04 m/s 16.7 m/d	Breyer:	3.79E-04 m/s 32.8 m/d

Vedlegg 7

Oversikt nåværende grunnvannsforhold

Modellsimulering

Nåværende grunnvannsforhold

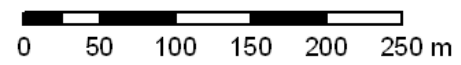


HDBEER_08012008, PROSJEKT 277110.

Tegnforklaring

— isolinjer grunnvannet (freatisk)

1:5 000



Vedlegg 8

Modellsimulering temperaturforløp ATES system, kulde og varmelagring

Modellsimulering

Temperaturforløp ATES system



Tegnforklaring

brønner ATES

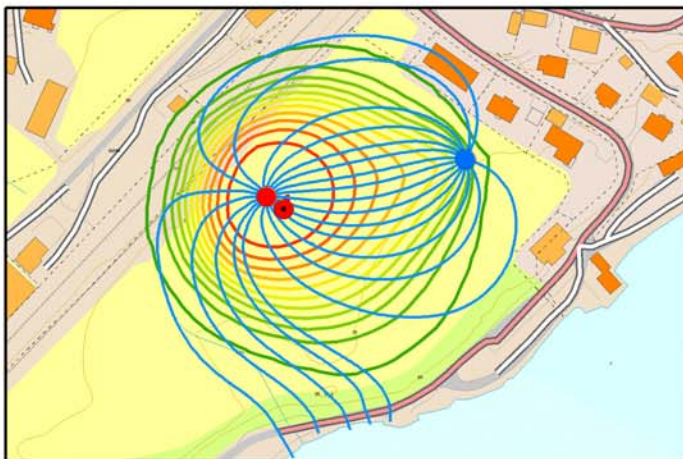
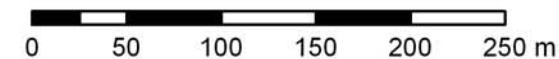
- kald brønn (infiltrasjon/uttak)
- varm brønn (infiltrasjon)
- varm brønn (uttak)

grunnvannstemperatur (Celcius)

- 6
- 8
- 10
- 12
- 14
- 16
- 18
- 20
- 22
- 24
- 26
- 28
- 30

— strømningslinje grunnvannet

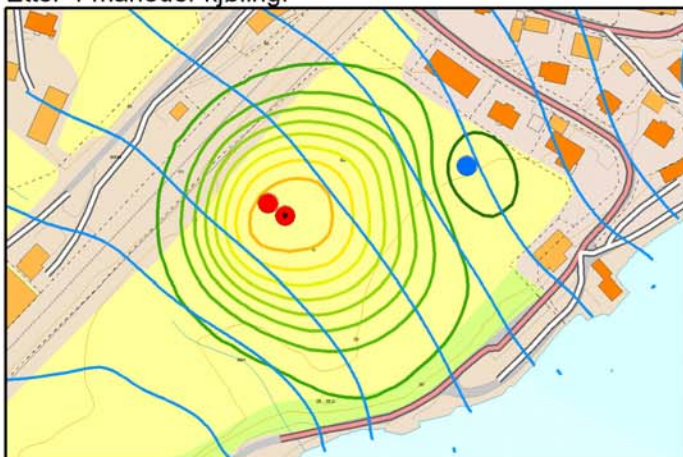
1:4 000



1. september (4 måneder etter oppstart)
Etter 4 måneder kjøling.



1. november (6 måneder etter oppstart).
Etter 2 måneder oppvarming.



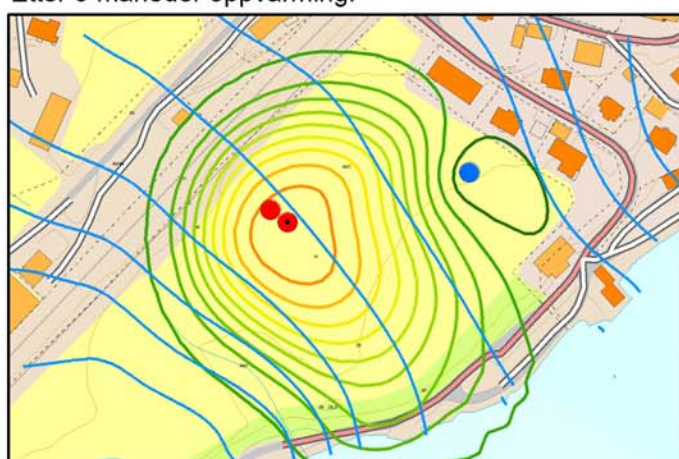
1. februar (9 måneder etter oppstart).
Etter 3 måneder uten drift.



30. april (1 år etter oppstart).
Etter 3 måneder oppvarming.



30. april (2 år etter oppstart).
Etter 3 måneder oppvarming.



1. februar (2 år og 9 måneder etter oppstart).
Etter 3 måneder uten drift.

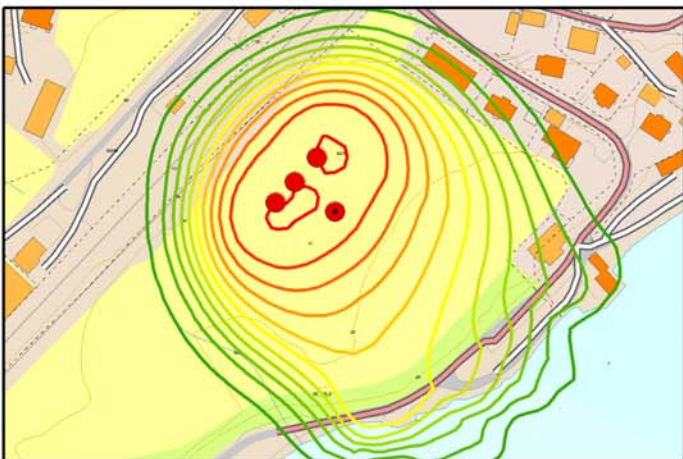
HDEBEER, 17012008, PROSJEKT 277110.

Vedlegg 9

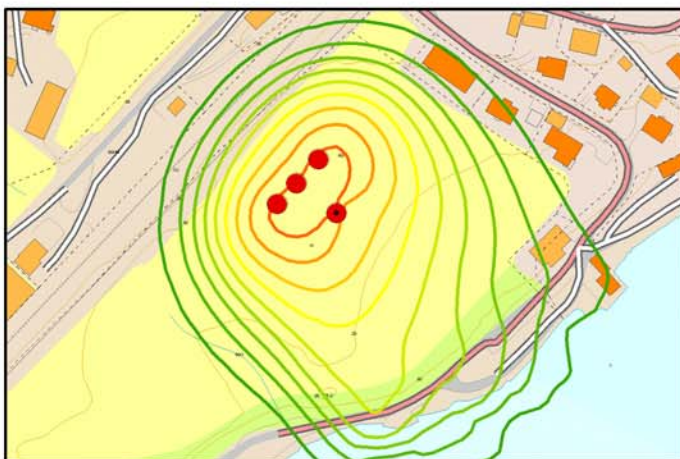
Modellsimulering temperaturforløp ATES
system, kun varmelagring

Modellsimulering

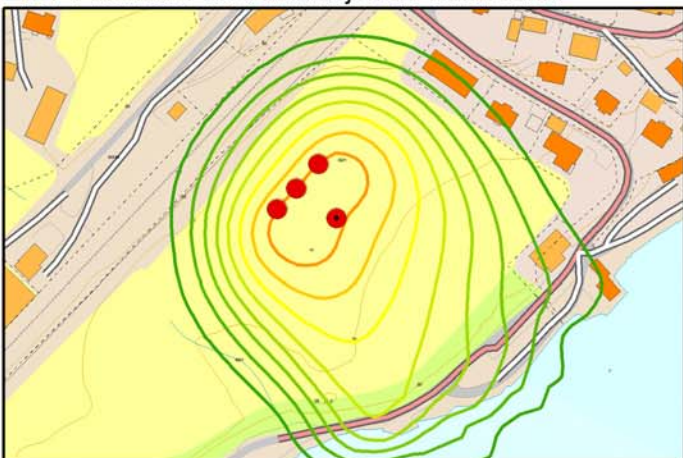
Temperaturforløp ATES system



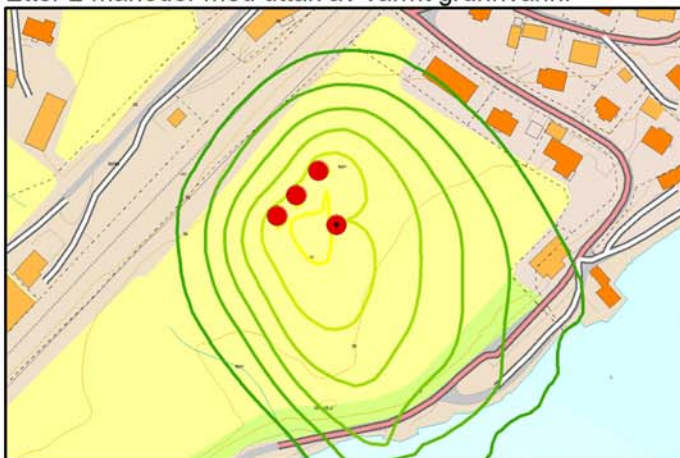
t = 1. september (1. mai = t = 0)
Etter 4 måneder med infiltrasjon av varmt vann.



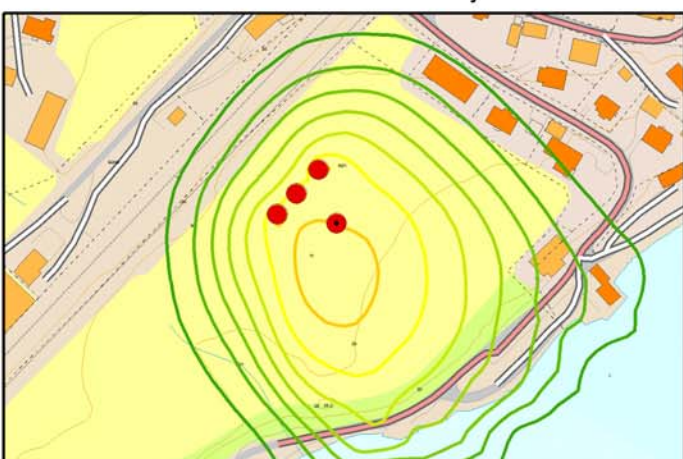
t = 1. november
Etter 2 måneder med uttak av varmt grunnvann.



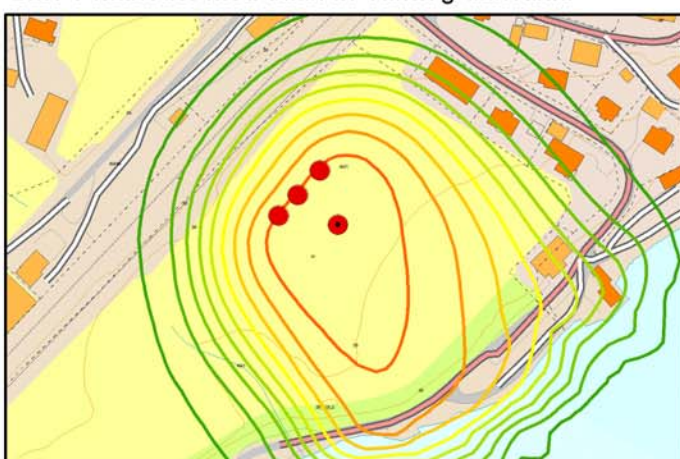
t = 1. februar
Etter 3 måneder uten uttak eller infiltrasjon.



t = 30. april, 1 år etter oppstart.
Etter 3 måneder med uttak av varmt grunnvann.



t = 30. april, 2 år etter oppstart.



t = 1. februar, nesten 3 år etter oppstart.

Tegnforklaring

brønner

- varm infiltrasjon
- varm uttak

grunnvannstemperatur (Celcius)

- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18

1:4 000

