

# Leirfjord barne- og ungdomsskole - Dimensjoneringsrapport

Båsum Boring Trøndelag AS



## Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver:	Båsum Boring Trøndelag AS
Tittel på rapport:	Leirfjord barne- og ungdomsskole - Dimensjoneringsrapport
Oppdragsnavn:	Leirfjord barne- og ungdomsskole
Oppdragsnummer:	635110-01
Utarbeidet av:	Tor Eggebø
Oppdragsleder:	Tor Eggebø
Tilgjengelighet:	Åpen

## Sammendrag

Basert på den termiske responstesten i testbrønnen på Leirfjord barne- og ungdomsskole er det beregnet at det trengs 31 supplerende energibrønner for å dekke den forventede varme- og kjøleleveransen til skolen. De supplerende brønnene anbefales boret til 300 m dybde, og grunnvannsnivået ligger ca. 2 m under terreng. Dette gir en aktiv boreddybde på 297 m for hver av de supplerende brønnene (300 m fratrukket 1 m for bunnlodd og 2 m for grunnvannsnivå). Total aktiv boreddybde blir da 9454 (inkludert testbrønn som har aktiv boreddybde på 247 m).

Dimensjonering av brønnparken viser at grunnvarmeanlegget kan levere den forventede varmeleveransen på ca. 911 000 kWh/ år. Etter 25 års drift vil den laveste gjennomsnittlige temperaturen ved dellast være ca. -0,8 °C, og ved maks varmeeffekt -2,4 °C ved en varmeleveranse på 190 kW fra varmepumpen.

Geoteknisk rapport viser at ett borepunkt i den nordlige delen av eiendommen har påvist et tynt lag med kvikkleire. Ved endelig plasseringen av energibrønnene må geotekniske forhold ivaretas. **Endelig plassering av energibrønnene innenfor områder sensitive løsmasser må vurderes av fagansvarlig geoteknikk i prosjektet. Hensikten er å avklare setningspotensialet og risikoreduserende tiltak.** Dette arbeidet gjøres i samråd med rådgiver for energibrønner (Asplan Viak). Dersom fagansvarlig geoteknikk mener at energibrønner ikke kan etableres og driftes innenfor område med kvikkleire, kan det være en løsning å forsøke å etablere brønnene utenfor dette området. **Det anbefales derfor å unngå å bore de nordligste brønnene, hvor mektigheten av løsmasser øker. For eksempel kan brønndybden økes til 350 m dersom mulig slik at det**

**totale brønnantallet reduseres. Videre anbefales det å bruke det ledige arealet på parkeringsplassen vest for skolen som et godt alternativ for plassering av energibrønnene.** Rett sør for parkeringsplassen er det observert fjell i dagen. På denne måten kan man unngå å bore de nordligste brønnene i sin helhet.

**Det ligger innenfor fagansvarlig geoteknikk sitt ansvarsområde å vurdere forhold knyttet til stabilitet og setninger ved etablering og drift av energibrønnene. Det presiseres at Asplan Viak ikke har vurdert forhold knyttet til stabilitet og setninger i denne rapporten utover det som er beskrevet.**

Ved drift av energibrønner i sensitive løsmasser er det viktig at det gjøres tiltak for å sikre at brønnene ikke fryser, da dette kan forårsake setningsskader radielt ut fra brønnene når løsmassene tiner. Det anbefales å overvåke utvikling av brønntemperaturen med tanke på mulig frysing av grunnvannet rundt kollektorslangene når anlegget er i drift. Det bør legges inn en alarmfunksjon for laveste tillatte kollektorvæsketemperatur ut fra varmpumpens fordampere (både momentant og over et timesintervall) på

-4 °C for å unngå frysing. Det anbefales også å overvåke og følge nøye med på energileveransen fra grunnvarmeanlegget over tid. Dersom energileveransen fra varmeanlegget er høyere enn forventet vil etter hvert temperaturen i brønnene synke og bli lavere enn angitt. Dersom energibehovet er større enn beregnet, må det bores flere energibrønner. Alternativt må energiuttaket begrenses eller brønnene lades om sommeren.

For å minimalisere energiforbruket til sirkulasjon av kollektorvæsken anbefales det å frekvensstyre sirkulasjonspumpen. Sirkulasjonshastigheten på kollektorvæsken kan da reguleres etter kollektorvæskens temperaturdifferanse ( $\Delta T$ ) til og fra energibrønnene. Det bør også vurderes å benytte 45 mm kollektor i de supplerende energibrønnene (fremfor 40 mm som er benyttet i testbrønnen) for å redusere trykktapet i brønnskretsen.

## Forord

Asplan Viak har vært engasjert av Båsum Boring AS for å dimensjonere energibrønnparken ved Leirfjord barne- og ungdomsskole i Nordland fylke. Hilde Anita Grandetrø har vært Båsum Boring sin kontaktperson for oppdraget.

Tor Eggebø har vært oppdragsleder for Asplan Viak og har foretatt dimensjoneringen med EED samt utarbeidet rapporten. Henrik Holmberg og Randi Kalskin Ramstad har kvalitetssikret arbeidet.

Stavanger, 22.12.2021

Tor Eggebø  
Ramstad

Oppdragsleder

Henrik Holmberg og Randi K.

Kvalitetssikrer

# Innholdsfortegnelse

1. Innledning	1
1.1. Bakgrunn	1
1.2. Formål	1
2. Dimensjonering av energibrønnene i Earth Energy Designer (EED)	2
2.1. Energi (kWh) og effekt (kW) relevant for grunnvarme	2
2.2. Om EED - temperaturen på varmekilden, levert energi og effekt fra varmepumpen	2
2.3. Effektbehov (kW) og energibehov (kWh) til oppvarming	7
2.4. Forutsetninger for beregning med EED	8
2.5. Resultater fra EED-beregninger	10
2.6. Kommentarer og usikkerheter i EED-beregningen.	11
3. Geotekniske forhold	12
4. Oppsummering og anbefalinger	14
5. Oppfølging og målinger i driftsperioden	16
<b>KILDER</b>	17
Vedlegg 1. EED-beregning	18
Vedlegg 2. RAPPORT TERMISK RESPONSTEST Leirfjord barne- og ungdomsskole 2021	21

# 1. Innledning

## 1.1. Bakgrunn

Asplan Viak har på oppdrag fra Båsum Boring AS dimensjonert energibrønnparken til Leirfjord barne- og ungdomsskole i Leirfjord kommune.

Dimensjoneringen er utført i Earth Energy Designer (EED) og baseres på resultater fra en termisk responstest utført på stedet.

Grunnlagsdata for energi- og effektbehov til oppvarming er basert på informasjon mottatt fra Båsum Boring og Norconsult AS.

## 1.2. Formål

Formålet med arbeidene har vært:

- Dimensjonere grunnvarmeanlegget ved bruk av beregningsprogrammet for grunnvarme, Earth Energy Designer (EED).

Resultatene fra den termiske responstesten utført i juli 2021 er brukt for å dimensjonere brønnparken ved hjelp av programvaren Earth Energy Designer (EED).

Rapporten beskriver hvilke undersøkelser og beregninger som er gjort, og resultatene fra disse.

## 2. Dimensjonering av energibrønnene i Earth Energy Designer (EED)

### 2.1. Energi (kWh) og effekt (kW) relevant for grunnvarme

Energi og effekt er to sentrale begrep i grunnvarme. Energi kan beskrives som evnen til å utføre et mekanisk arbeid eller å avgi varme. Ifølge termodynamikkens første hovedsetning, "kan energi verken oppstå eller forsvinne, kun overføres fra en energiform til en annen". For grunnvarme dreier det seg om energiformen varme. Varme strømmer fra et område med høy temperatur til et område med lavere temperatur enten ved varmeledning, konveksjon eller stråling. Vanlige måleenheter for energi er joule, kalorier og kilowattimer (kWh). I grunnvarmesammenheng brukes enheten kWh.

Effekt defineres som utført arbeid per tidsenhet og måles i watt (W) eller kilowatt (kW).  $1 \text{ W} = 1 \text{ Joule per sekund}$ . Effekt er en momentanverdi for energi, mens energi uttrykker forbruket, behovet eller produksjonen over en tidsperiode (Olje- og energidepartementet 2012, avsnitt 5.1.1 side 53).

### 2.2. Om EED - temperaturen på varmekilden, levert energi og effekt fra varmepumpen

#### 2.2.1. Generelt om EED

Earth Energy Designer (EED) er en av de vanligste programvarene for dimensjonering av energibrønner i et grunnvarmeanlegg. Programvaren er nærmere beskrevet i de to manualene (Hellstöm og Sanner 2000, og Blomberg med flere 2008) som har fulgt de to versjonene av programmet som er utgitt til nå. Den svenskutviklede programvaren er også brukt i beregningene i dette prosjekt.

Kjernen ved all dimensjonering av grunnvarmeanlegg er å komme fram til et harmonert forhold mellom antall brønner, total aktiv borelengde og brønnmønster på den ene siden, og varmekildens temperatur på den andre siden. For energibrønner er det temperaturen i kollektorvæsken som representerer varmekildens temperatur. Kollektorvæsken sirkulerer mellom energibrønnene og varmepumpens fordampere.

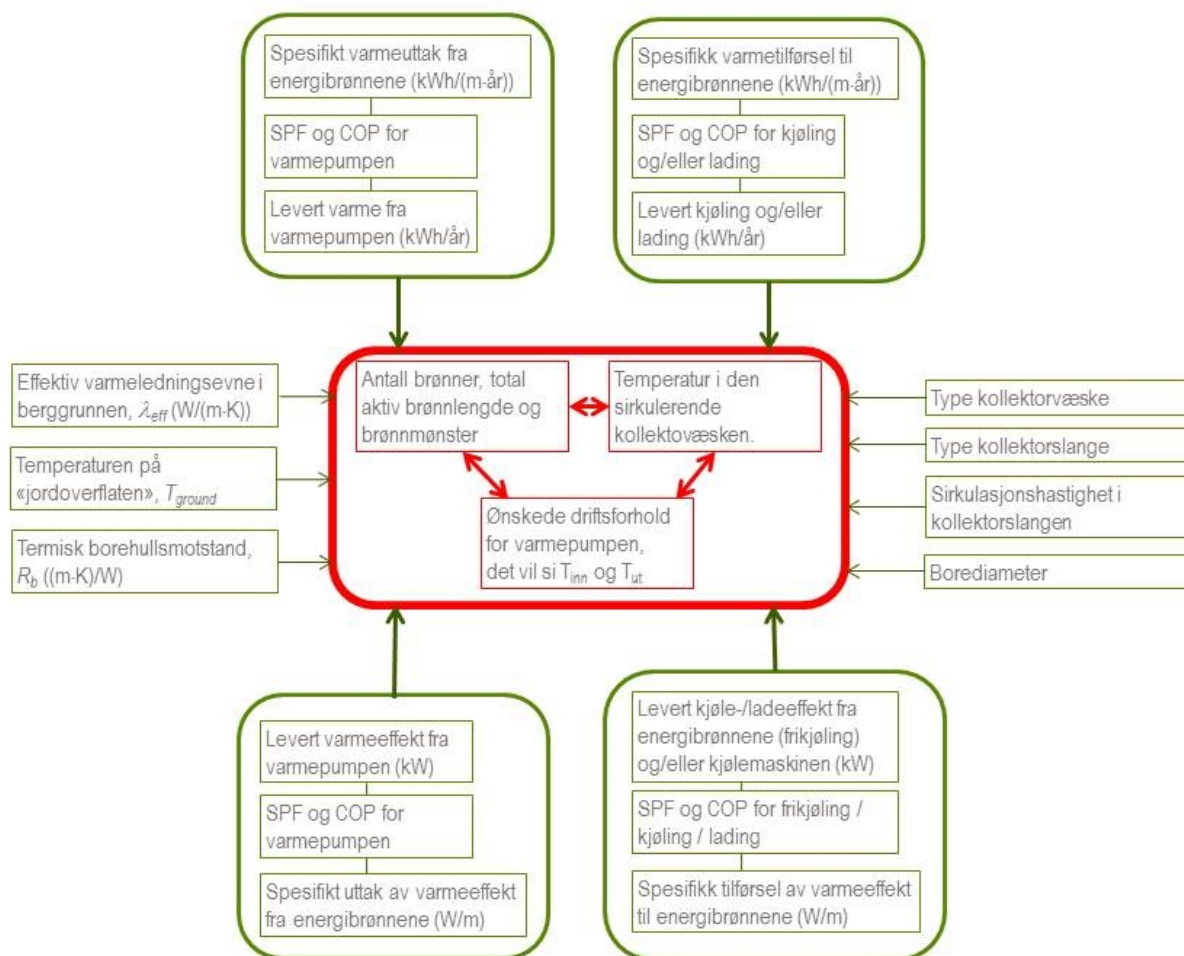
Temperaturen i **kollektorvæsken må harmonere med varmepumpens ytelser og karakteristika** slik at varmepumpen får gode driftsforhold. Det må legges vekt på å oppnå så høy virkningsgrad som mulig, eller den virkningsgraden man ønsker for hele anlegget. Hvis temperaturen på kollektorvæsken fra energibrønnene avviker fra varmepumpens foretrukne temperaturarbeidsområde, vil det føre til dårligere drift og i

verste fall raskere havari. Dårligere drift vil i denne sammenhengen være lavere virkningsgrad og muligens maskintekniske problemer.

Flere brønner gir i utgangspunktet høyere temperatur i kollektorvæsken og bedre driftsforhold for varmepumpen. Sammenhengen mellom antall brønner, brønnmønster, total aktiv brønnlengde og temperatur i kollektorvæsken og tilhørende påvirkningsfaktorer av størst betydning er skjematisk fremstilt i figur 1. Blant de viktigste faktorene er det årlige varmeuttaket fra energibrønnene og/eller varmetilførselen til energibrønnene i form av lading, frikjøling eller kjøling. Det årlige varmeuttaket fra energibrønnene kan enten uttrykkes for alle energibrønnene som kWh/år eller som spesifikt varmeuttak per meter aktiv brønnlengde, det vil si kWh/(m·år). Spesifikt varmeuttak per meter aktiv brønnlengde er hensiktsmessig å bruke for å sammenligne ytelsene og belastningene mellom forskjellige grunnvarmeanlegg. Spesifikk varmetilførsel brukes på tilsvarende måte som spesifikt varmeuttak.

Med uttrykket "aktiv brønnlengde eller aktiv boreddybde" menes den delen av energibrønnene som utveksler energi med omgivelsene, det vil si med grunnvannet og berggrunnen rundt energibrønnen. Av geologiske, klimatiske og borehullsvarmevekslerens tekniske egenskaper, er det henholdsvis effektiv varmeledningsevne  $\lambda_{eff}$  (W/(m·K)), temperaturen på jordoverflaten  $T_{ground}$ , og termisk borehullsmotstand  $R_b$  ((m·K)/W) som er av betydning.





Figur 1. Kjernen i all dimensjonering av grunnvarmeanlegg er å komme frem til et antall brønner med en total aktiv brønnlengde og et brønnmønster som gir den temperaturen man ønsker og trenger i kollektorvæsken for å oppnå de driftsforholdene som ønskes for varmepumpen. Skjemaet viser de viktigste faktorene som påvirker temperaturen i kollektorvæsken ved et bestemt antall energibrønner, total aktiv brønnlengde og brønnmønster.

Det er uttatt og tilbakeført varmemengde (kWh) som er den viktigste dimensjonerende faktoren som påvirker total aktiv brønnlengde og temperaturen i kollektorvæsken. For å unngå feildimensjonering av grunnvarmeanlegget er det svært viktig at uttatt og tilbakeført varmemengde (kWh) samsvarer med spesifikt uttak og tilførsel av varmeeffekt i form av watt per meter aktiv brønnlengde (W/m). Spesifikt uttak og tilførsel av varmeeffekt (W/m) påvirker også temperaturen i den sirkulerende kollektorvæsken i kortere eller lengre perioder avhengig av varigheten på effektbelastningen.

Eksempelvis dersom det spesifikke effektuttaket/-tilførselen blir for høy i forhold til leverte energimengder og temperaturen i kollektorvæsken blir slik at varmepumpen, kjølemaskinen eller frikjølingen får for dårlige driftsforhold til å ivareta ønsket funksjon, må den totale aktive brønnlengden økes. I disse tilfellene blir effekt dimensjonerende for anlegget, noe som ikke er optimalt siden den økonomiske gevinsten av grunnvarmeanlegg er sparte utgifter til varme og kjøling (kWh/år). Nøkkelen til

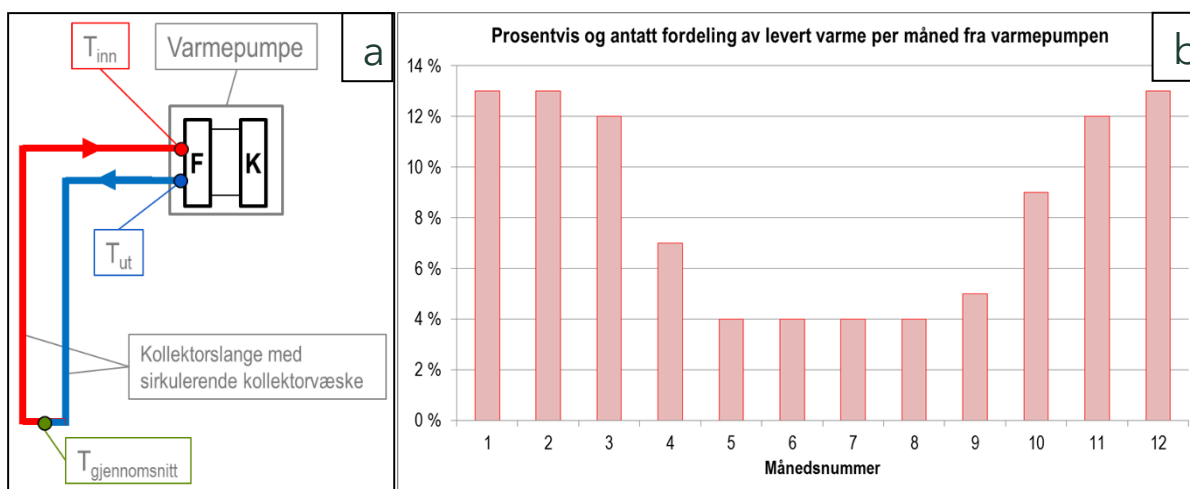
lønnsomhet ligger i mest mulig kWh per meter energibrønn. Det vil i praksis si drift av energibrønnene med et relativt lavt spesifikt effektuttak og effekttilførsel, og så lang driftstid for varmepumpen som mulig.

Type kollektorvæske, kollektorslange, sirkulasjonshastighet og borediameter påvirker anleggets ytelser, men i mindre grad enn faktorene omtalt ovenfor.

## 2.2.2. Hvordan forstå resultatene i EED?

EED beregner den gjennomsnittlige temperaturen i den sirkulerende kollektorvæsken,  $T_{\text{gjennomsnitt}}$ , ved ulike driftssituasjoner og for ulike perioder. Resultatene brukes til å vurdere grunnvarmeanleggets ytelser og endelig utforming.

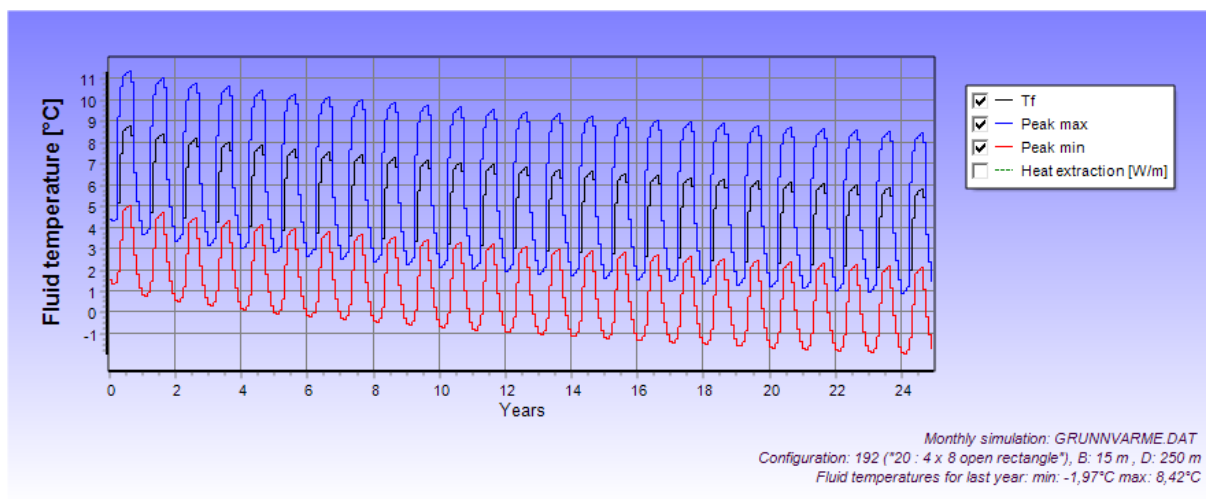
Prinsippskissen i figur 2a viser  $T_{\text{gjennomsnitt}}$ , samt kollektorvæsketemperaturene  $T_{\text{inn}}$  og  $T_{\text{ut}}$  henholdsvis til og fra fordampere (F) i varmepumpen.  $T_{\text{gjennomsnitt}} = (T_{\text{inn}} + T_{\text{ut}}) / 2$ . Bokstaven "K" symboliserer varmepumpens kondensator, som er den delen av varmepumpen som avgir varme til byggets varmesystem. Figur 2b viser et fiktivt eksempel på den antatte fordelingen i prosent av levert varme fra varmepumpen per måned. Fordelingen av levert varme per måned påvirker kollektorvæsketemperaturen på samme måte som uttatt og tilbakeført varmemengde fra energibrønnene (figur 1).



Figur 2 a) Er en prinsippskisse som viser sirkulasjon av kollektorvæsken, mens b) viser antatt fordeling av levert varme fra varmepumpen per måned i prosent.

Vanligvis fremstilles temperaturutviklingen for kollektorvæsken for de driftsårene EED-beregningene omfatter, for eksempel for driftsårene 1-25 (figur 3). Alle kurvene i figuren viser gjennomsnittlig kollektorvæsketemperatur,  $T_{\text{gjennomsnitt}}$ . Det betyr at dersom  $\Delta T$  er 3 grader, er temperaturen opp fra og ned til energibrønnene henholdsvis 1,5 grader høyere og lavere enn det kurvene i figur 3 viser.

Kurvene i figur 3 representerer de ulike driftssituasjonene på forskjellige tider av året. Den røde kurven (Peak min) viser kollektorvæskens minimumstemperatur i løpet av fyringssesongen ved kontinuerlig og maksimal effektleveranse fra varmepumpen, og den blå kurven (Peak max) viser tilsvarende maksimumstemperaturer ved maksimal leveranse av kjøleeffekt. Den svarte kurven ( $T_f$ ) viser  $T_{\text{gjennomsnitt}}$  når varmepumpen og kjølingen går på lavest mulig dellast. Dellastverdien er teoretisk siden den beregnes fra månedens oppgitte energileveranse (figur 2b) delt på månedens timer (720 og 744 ved henholdsvis 30 og 31 dager i måneden).



Figur 3. Fiktivt eksempel på resultatene i EED vist som gjennomsnittlig kollektorvæsketemperatur ( $(T_{\text{inn}} + T_{\text{ut}}) / 2$ ) for driftsår 1-25.

### 2.2.3. Frysing av grunnvannet rundt kollektorslangen

I områder uten sensitive masser / kvikkleire er frysing av grunnvannet i energibrønnen ikke uvanlig. Dette kan også være vanlig driftsstrategi i noen grunnvarmeanlegg, særlig i områder med kaldere klima slik som høyereliggende strøk i innlandet, i Nord-Norge og Nord-Sverige. Fordelen med dette er forbedret termisk kontakt mellom kollektorvæske og fjell, det vil si lavere verdi for termisk borehullsmotstand ( $R_b$ ).

Frysing av grunnvannet rundt kollektorslangen gir en volumøkning som i sjeldne tilfeller kan føre til at kollektoren ødelegges ved sammenpressing og lekkasje av kollektorvæske. Ødelagt kollektor merkes med trykkfall i kollektorvæsketretsen, og aktuell kollektor bør stenges av og skiftes hvis mulig. Siden sannsynligheten for, og konsekvensen av ødelagt kollektor, er svært liten, vurderes det som greit å drifte grunnvarmeanlegg med lavere temperaturer i perioder slik at full innfrysing av grunnvannet forekommer i områder uten sensitive masser / kvikkleire. Hvis grunnvarmeanlegg skal driftes med innfrysing av grunnvannet anbefales det å legge inn alarmer slik at eventuelle trykkfall i kollektorslangen (på fordampersiden) oppdages umiddelbart.

Geotekniske forhold knyttet til energibrønnene er omtalt i avsnitt 3.

### 2.3. Effektbehov (kW) og energibehov (kWh) til oppvarming

Et energinotat i forbindelse med forprosjektet til Leirfjord barne- og ungdomsskole er oversendt fra Norconsult AS. Forventet varmeleveranse fra grunnvarmeanlegget er 9110 000 kWh/år, tilsvarende 80 % av det totale varmebehovet. Årlig kjøleleveranse er ca. 5 000 kWh, og er i dette tilfellet ansett som neglisjerbart og er ikke tatt med i beregningen. Det er oppgitt at det skal benyttes en varmepumpe med en varmeeffekt på 165 kW, men ifølge innledende beregninger viste det seg at denne er utilstrekkelig og det er heller foreslått en varmepumpe med 275 kW.

Månedlig fordeling av varmeleveransen og antatt fordeling av varmepumpedrift per døgn vises i tabell 1.

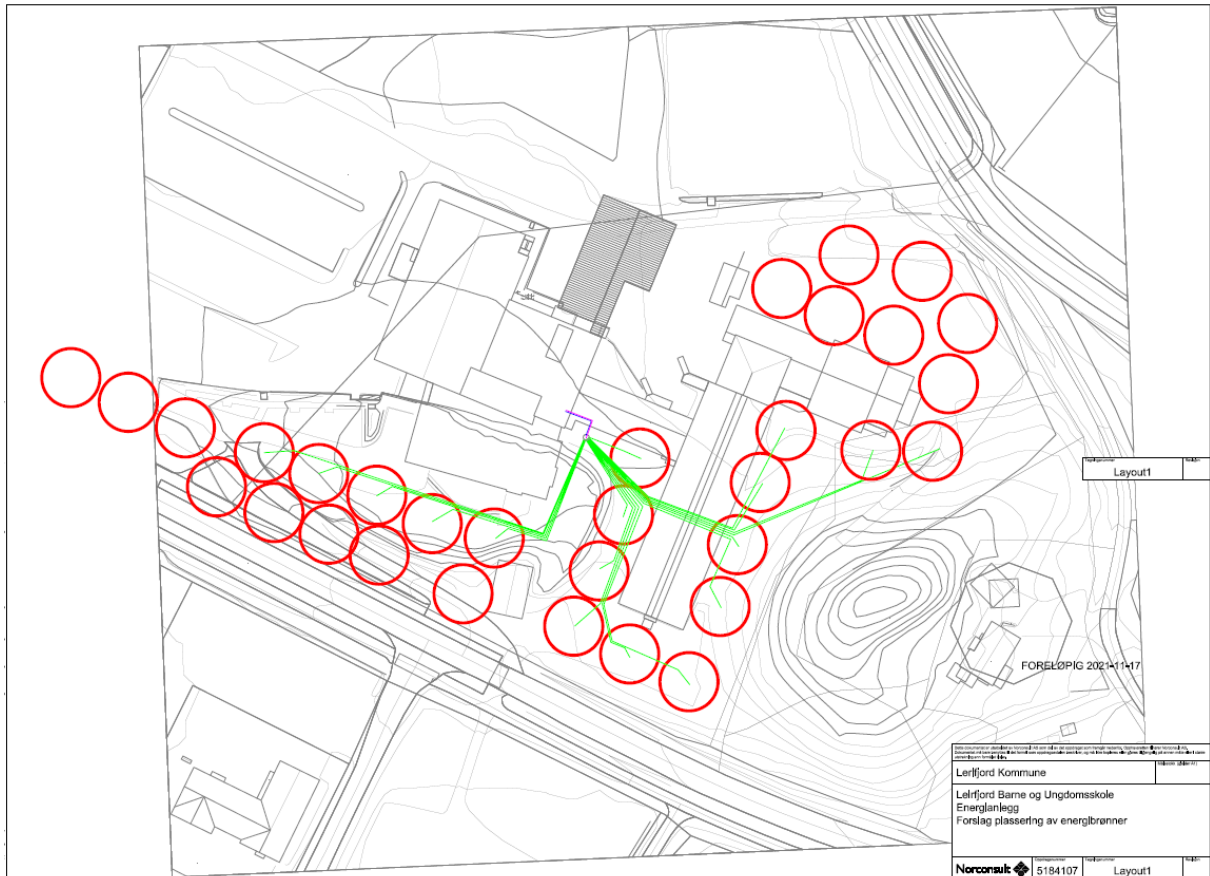
Tabell 1. Fordeling av antatt varmeløse og antatt fordeling av varmepumpefor drift per døgn.

	<b>Fordeling varmebehov (%)</b>	<b>Fordeling varmepumpefor drift (t/døgn)</b>
Januar	14,5	24
Februar	13,5	24
Mars	11,0	18
April	7,0	12
Mai	6,0	8
Juni	5,0	8
Juli	0,0	8
August	0,0	8
September	6,0	12
Oktober	9,0	18
November	13,5	24
Desember	14,5	24
<b>SUM</b>	<b>100</b>	

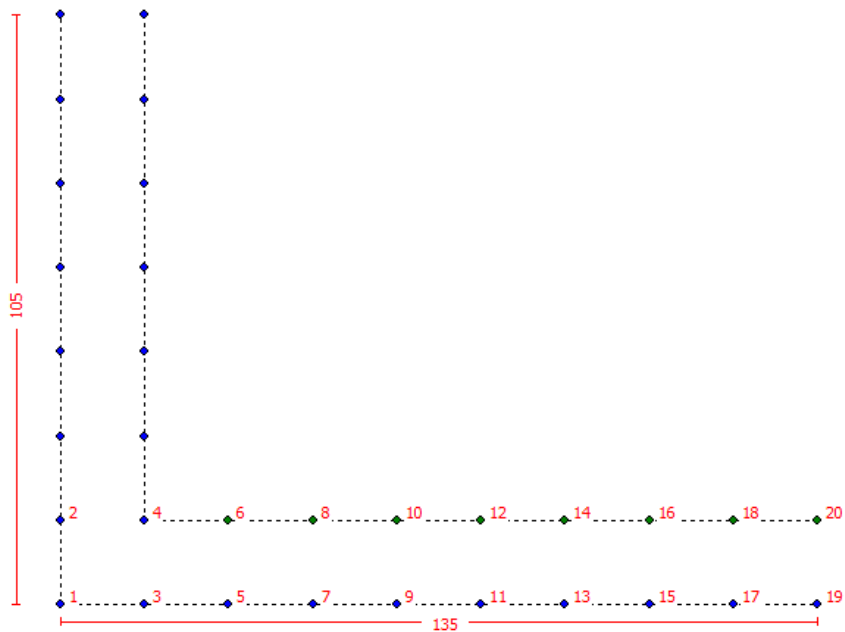
## 2.4. Forutsetninger for beregning med EED

EED-beregningen forutsetter drift av testbrønnen (247 m aktivt brønndyp) og 31 supplerende brønner med aktiv boredybde 297 m hver, dvs. total aktiv boredybde 9454 m. Levert varmepumpeeffekt er antatt til å være 275 kW og COP ved varmeløse er oppgitt å være ca. 3,5. Fordeling av varmebehov og varmepumpefor drift er vist i tabell 1. Anlegget skal levere både varme og kjøling, men kjølebehovet vurderes som neglisjerbart (5 000 kWh/år) og er derfor ikke med i beregningen.

Den foreslåtte brønnplasseringen ved Leirfjord barne og ungdomsskole vises i figur 4 (brønnplasseringen er mottatt fra Norconsult AS). Brønnene bør plasseres med ca. 15 m (gjennomsnittlig) avstand mellom hver brønn i en dobbel L-konfigurasjon. Tilnærmet brønnplassering brukt i dimensjoneringen med EED er vist i figur 5.



Figur 4. Foreslått plassering av brønner ved Leirfjord barne- og ungdomsskole.



Figur 5. Brønnplassering brukt i EED beregning. 32 brønner plassert langs en dobbel L-konfigurasjon og 15 m mellom brønnene.

Faste inngangsverdier benyttet i EED-beregningen vises i tabell 2.

Tabell 2. Faste inngangsverdier benyttet i EED-beregningene.

Parameter	Verdier
Effektiv varmeledningsevne (W/m·K)	3,2
Termisk borehullsmotstand (m·K)/W – energiuttak	0,10
Termisk borehullsmotstand (m·K)/W – frikjøling	0,08
Testborehullets uforstyrrete temperatur – basert på måling (°C)	7,5 (ekstrapolert)
SPF for varmepumpen i beregningene	3,5
Gjennomsnittlig dybde energibrønner – aktiv boreddybde (m)	300 m, (296 m aktiv dybde)
Sirkulasjonshastighet kollektorvæske (liter/sekund)	0,55
Diameter kollektor, enkel U-rør, (mm) SDR 17, PN 10 (mm)	40
Diameter energibrønn (mm).	115
Kollektorvæske	Etanol (HX35)
Simuleringstid (år)	25
Innbyrdes avstand mellom energibrønnene for kun uttak av varme (m)	15

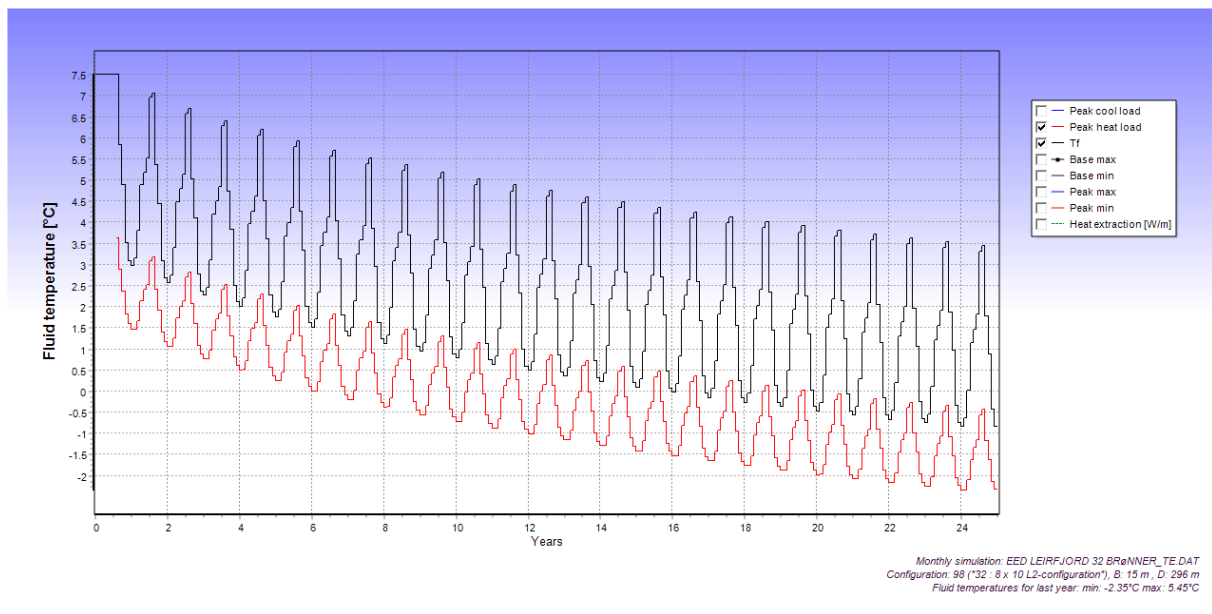
## 2.5. Resultater fra EED-beregninger

Resultatene fra EED-beregningene er presentert i figur 6. Øvrige detaljer fra EED-beregningen kan ses i sin helhet i vedlegg 2. Alle resultatene vises som gjennomsnittlige kollektorvæsketemperaturer  $(T_{inn}+T_{ut})/2$  for ulike driftssituasjoner for år 1-25.

Ved bruk av 32 brønner a 296 m (gjennomsnittlig) aktiv boreddybde og forutsetninger oppgitt i kap. 2.4 kan brønnene levere 911 000 kWh/ år til varme. Temperaturnivåene ved denne varmeleveransen kan beskrives slik:

- Dellast, vist som « $T_f$ » i figur 6. Anlegget driftes med så lav dellast som mulig (svart kurve). Her er energiuttaket jevnt fordelt over hele måneden. Den laveste temperaturen opptrer i slutten av desember - februar og er ca. -0,84 °C etter 25 års drift.
- Maks varmeeffekt, vist som «Peak min» i figur 6 inntreffer når anlegget driftes med maksimal effektleveranse fra varmepumpen (rød kurve nederst). Etter 25 års drift vil minimumstemperaturen i desember, januar og februar være ca. -2,35 °C ved en varmeleveranse på 190 kW fra varmepumpen.

Ved maksimal varmeeffekt fra varmepumpen på 275 kW kommer temperaturen til og fra energibrønnene til å være henholdsvis ca. 1,45 grader høyere og lavere enn den gjennomsnittlige temperaturen ( $\Delta T$  2,9 grader). Dette betyr at den laveste kollektorvæsketemperaturer til og fra varmepumpens fordampere i vintermånedene år 25 vil være henholdsvis 0,9 °C og -3,8°C.



Figur 6. Nivåer for gjennomsnittlig kollektorvæsketemperaturer, varmeuttak, for driftsår 1-25.

## 2.6. Kommentarer og usikkerheter i EED-beregningen.

Det er flere usikkerheter i EED-beregningene som gjør at anlegget kan få både bedre og dårligere driftsforhold enn det resultatene fra EED-beregningene tilsier. Disse er:

- Bygningens energi- og effektforbruk
- Fordeling og samtidighet av varmebehovet
- Effektiv varmeledningsevne for berggrunnen er basert på en termisk responstest utført i én brønn
- Samsvar mellom beregnet og reell plassering av energibrønnene.

Poenget med denne opplistingen av usikkerheter knyttet til forutsetningene som ligger til grunn for beregningene i EED er å illustrere **viktigheten av en detaljert oppfølging av energibrønnenes og varmepumpens ytelser i hele driftsperioden**. Hvis en eller flere av forutsetningene som ligger til grunn for beregningene avviker, vil det påvirke anleggets ytelser enten i positiv eller negativ retning. Eneste måten å oppdage avvik og etterfølgende tiltak for å korrigere avvikene, er god oppfølging, innjustering, optimalisert og lønnsom drift.



### 3. Geotekniske forhold

Multiconsult er engasjert som geoteknisk rådgiver i byggeprosjektet med tilbygget til skolen. En sammenstilling av tidligere og utførte grunnundersøkelser er vist i kartutsnittet i figur 7 området der tilbygget skal bygges er det påvist et tynt lag med kvikkleire (Skjæran 2021). Det er ikke gjort borer i området der de nordligste energibrønnene er foreslått plassert (øst for tilbygget / de geotekniske boringene i sør). Her er det er trolig dypt til fjell og marin leire, og det kan ikke utelukkes at det kan være kvikkleire.

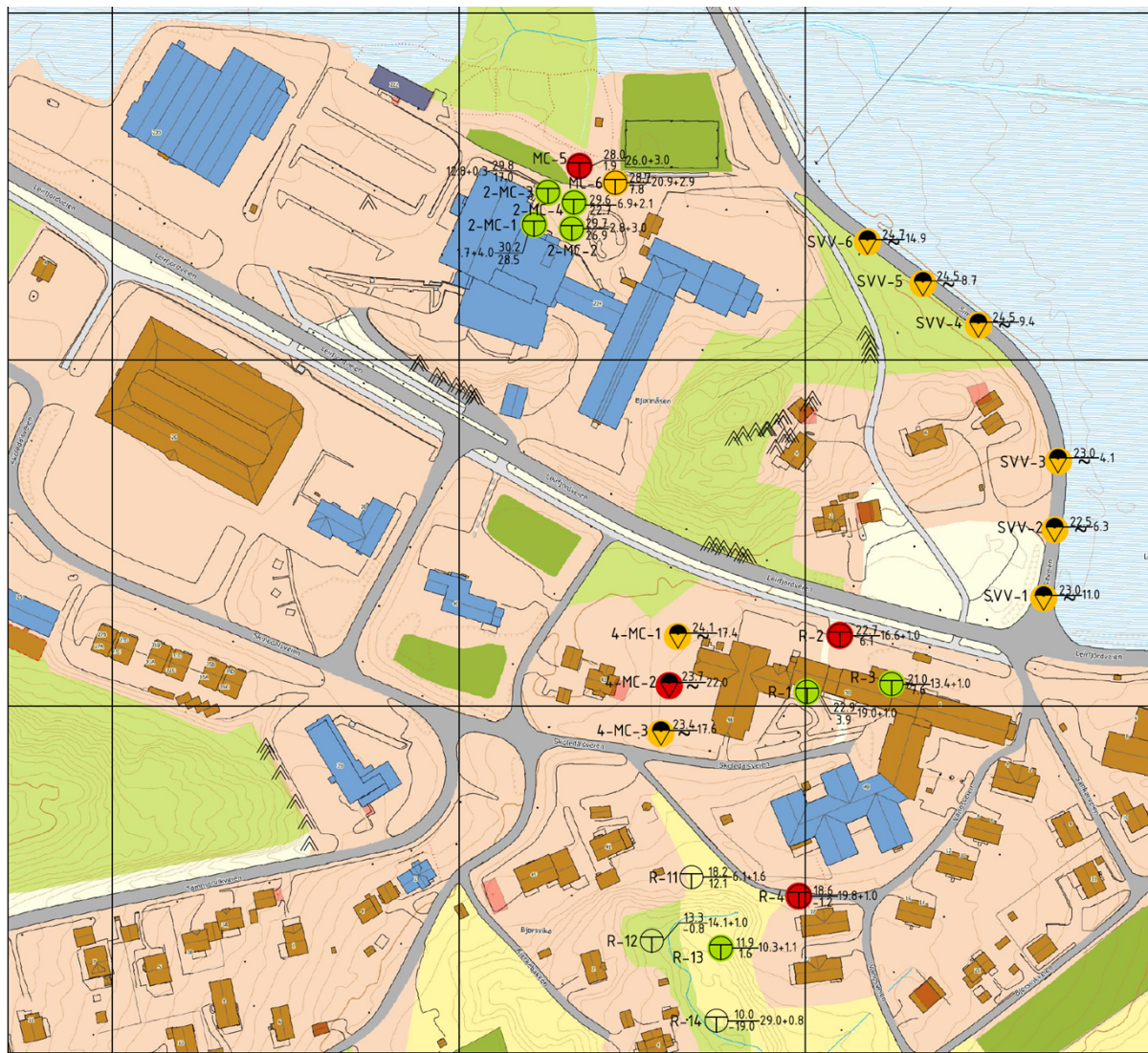
Ettersom løsmassene består delvis av marin leire, og mektigheten er stor, er det risiko for setningsskader dersom leire rundt brønnene fryser (Gabrielsson mfl. 1997). Når leire fryser, og deretter tiner, oppstår det lokale setningsskader radielt rundt brønnen. Frysing av leire kan oppstå dersom brønnparken driftes med for lave negative temperaturer. Det er derfor kritisk at grunnvarmeanlegget driftes slik at temperaturene i leira rundt energibrønnene alltid er høyere enn 0 °C. Dette må håndteres ved å legge inn alarmsystemer i anlegget. Her bør det også vurderes å redusere effektuttaket fra energibrønnene (mindre varmepumpe) samt å lade brønnene om sommeren.

Energibrønner kan også forårsake setningsskader som følge av endret grunnvannsnivå / porevanntrykk. Årsakene for setningsskader er kompliserte og det trengs mer kunnskap på dette temaet, men vi har erfart at et fellestrekk er grunnforhold bestående av marin leire (eller kvikkleire) som overligger et drenerende lag over fjell. Når en energibrønn bores kan grunnvannsnivået i brønnen og poretrykket i løsmassene endres som følge av at det kan etableres nye strømningsveier for grunnvannet. Dette kan for eksempel være drenering av grunnvann i løsmassene langs og utenfor føringsrøret, kortslutning av vannførende sprekkesoner med ulikt vanntrykk eller innlekkasje av grunnvann til brønnen dersom denne ikke er tett mellom løsmasser og fjell. Grunnvannsbevegelsen lager en endring i poretrykk, som resulterer i setningsskader. Selv om en energibrønn er et lite terrenginngrep, kan den påvirke grunnvannsbevegelsen i et større område. I Sverige er det i tilfeller der det er risiko for negativ påvirkning av et grunnvannsmagasin (SGU 2016) praksis at energibrønnene støpes eller tettes for å kontrollere at grunnvannsnivået og poretrykket ikke endrer seg på grunn av en slik grunnvannsbevegelse.

Ved endelig plasseringen av energibrønnene må geotekniske forhold ivaretas. **Endelig plassering av energibrønnene innenfor områder sensitive løsmasser må vurderes av fagansvarlig geoteknikk i prosjektet. Hensikten er å avklare setningspotensialet og risikoreducerende tiltak.** Dette arbeidet gjøres i samråd med rådgiver for energibrønner (Asplan Viak). Dersom fagansvarlig geoteknikk mener at energibrønner ikke kan etableres og driftes innenfor området med mulig kvikkleire, kan det være en løsning å forsøke å etablere brønnene utenfor dette området. **Det anbefales derfor å unngå å bore de nordligste brønnene, hvor mektigheten av løsmasser øker. For eksempel kan brønndybden økes til 350 m dersom mulig slik at det totale brønnantallet reduseres.**

**Videre anbefales det å bruke det ledige arealet på parkeringsplassen vest for skolen som et godt alternativ for plassering av energibrønnene.** Rett sør for parkeringsplassen er det observert fjell i dagen (figur 7). På denne måten kan man unngå å bore de nordligste brønnene i sin helhet.

Det presiseres at Asplan Viak ikke har vurdert forhold knyttet til stabilitet og setninger i denne rapporten utover det som er beskrevet.



Figur 7. Utsnitt fra situasjonsplan som viser geotekniske boringer og observasjoner av fjell i dagen i området (Skjærven 2021b). I nord der tilbygget til skolen skal bygges er det påvist et tynt lag med kvikkleire (rødt punkt, boring 5 i Skjærven 2021a).

## 4. Oppsummering og anbefalinger

Basert på den termiske responstesten i testbrønnen på Leirfjord barne og ungdomsskole er det beregnet at det trengs 31 supplerende energibrønner for å dekke den forventede varme- og kjøleleveransen til skolen. De supplerende brønnene anbefales boret til 300 m dybde, og grunnvannsnivået ligger 2 m under terreng. Dette gir en aktiv boreddybde på 297 m for hver av de supplerende brønnene (300 m fratrukket 1 m for bunnlodd og 2 m for grunnvannsnivå). Total aktiv boreddybde blir da 9423 (inkludert testbrønn som har aktiv boreddybde på 247 m).

Dimensjonering av brønnparken viser at grunnvarmeanlegget kan levere den forventede varmeleveransen på ca. 911 000 kWh/ år. Etter 25 års drift vil den laveste gjennomsnittlige temperaturen ved dellast være ca. -0,8 °C, og ved maks varmeeffekt -2,4 °C ved en varmeleveranse på 190 kW fra varmepumpen.

Geoteknisk rapport viser at ett borepunkt i den nordlige delen av eiendommen har påvist et tynt lag med kvikkleire. Ved endelig plasseringen av energibrønnene må geotekniske forhold ivaretas. **Endelig plassering av energibrønnene innenfor områder sensitive løsmasser må vurderes av fagansvarlig geoteknikk i prosjektet. Hensikten er å avklare setningspotensialet og risikoreducerende tiltak.** Dette arbeidet gjøres i samråd med rådgiver for energibrønner (Asplan Viak). Dersom fagansvarlig geoteknikk mener at energibrønner ikke kan etableres og driftes innenfor område med kvikkleire, kan det være en løsning å forsøke å etablere brønnene utenfor dette området. **Det anbefales derfor å unngå å bore de nordligste brønnene, hvor mektigheten av løsmasser øker. For eksempel kan brønndybden økes til 350 m (dersom mulig) slik at det totale brønnantallet reduseres. Videre anbefales det å bruke det ledige arealet på parkeringsplassen vest for skolen som et godt alternativ for plassering av energibrønnene.** Rett sør for parkeringsplassen er det observert fjell i dagen. På denne måten kan man unngå å bore de nordligste brønnene i sin helhet.

**Det ligger innenfor fagansvarlig geoteknikk sitt ansvarsområde å vurdere forhold knyttet til stabilitet og setninger ved etablering og drift av energibrønnene. Det presiseres at Asplan Viak ikke har vurdert forhold knyttet til stabilitet og setninger i denne rapporten utover det som er beskrevet ovenfor.**

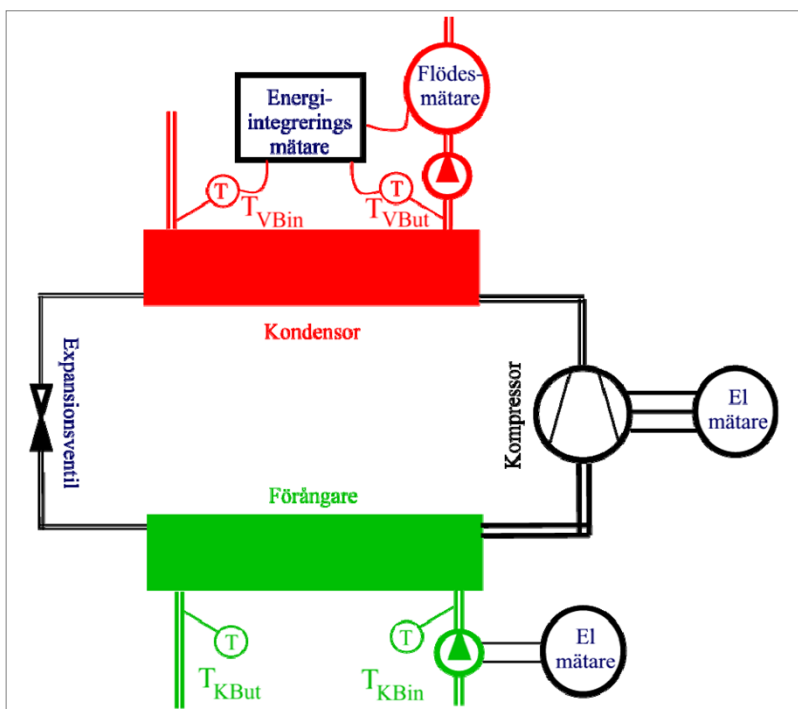
Ved drift av energibrønner i sensitive løsmasser er det viktig at det gjøres tiltak for å sikre at brønnene ikke fryser, da dette kan forårsake setningsskader radielt ut fra brønnene når løsmassene tiner. Det anbefales å overvåke utvikling av brønntemperaturen med tanke på mulig frysing av grunnvannet rundt kollektorslangene når anlegget er i drift. Det bør legges inn en alarmfunksjon for laveste tillatte kollektorvæsketemperatur ut fra varmepumpens fordampner (både momentant og over et tidsintervall) på -4 °C for å unngå frysing. Det

anbefales også å overvåke og følge nøye med på energileveransen fra grunnvarmeanlegget over tid. Dersom energileveransen fra varmeanlegget er høyere enn forventet vil etter hvert temperaturen i brønnene synke og bli lavere enn angitt. Dersom energibehovet er større enn beregnet, må det bores flere energibrønner. Alternativt må energiuttaket begrenses.

For å minimalisere energiforbruket til sirkulasjon av kollektorvæsken anbefales det å frekvensstyre sirkulasjonspumpen. Sirkulasjonshastigheten på kollektorvæsken kan da reguleres etter kollektorvæskens temperaturdifferanse ( $\Delta T$ ) til og fra energibrønnene. Det bør også vurderes å benytte 45 mm kollektor i de supplerende energibrønnene (fremfor 40 mm som er benyttet i testbrønnen) for å redusere trykktapet i brønnskretsen.

## 5. Oppfølging og målinger i driftsperioden

Generelt for grunnvarmebaserte varmepumpeanlegg anbefales det å følge nøye med på utvalgte driftsdata. Prinsippskissen i figur 8 viser et minimumsoppsett for instrumentering for måling av temperaturer inn og ut fra varmepumpens fordamper og kondensator, strømmålere på henholdsvis sirkulasjonspumpen for kollektorvæsken og varmepumpens kompressor, samt mengdemåler på utstrømmende vann fra kondensatoren. Fra disse dataene kan varmepumpens virkningsgrad beregnes. Historiske driftsdata må lagres og gjøres lett tilgjengelig. God instrumentering, tilrettelegging av data og oppfølging gjør det lettere å optimalisere driften.



Figur 8. Prinsippskisse av et minimumsoppsett for instrumentering av et grunnvarmebasert varmepumpeanlegg. Instrumenteringen omfatter inn- og uttemperaturer på fordamper og kondensatorsiden, strømmåler på sirkulasjonspumpen for kollektorvæsken og varmepumpens kompressor, samt mengdemåler på utstrømmende væske fra kondensatoren. Kilde: Jan Erik Nowacki (2010).

# KILDER



Blomberg, T., Claesson, J., Eskilson, P., Hellström, G. og Sanner, B. (2015): EED v3.2 Earth Energy Designer. Blocon.

Hellström, G. og Sanner, B. (2000): EED Earth Energy Designer. User manual Version 2.0.

Rapport Termisk responstest Leirfjord barne- og ungdomsskole 2021. Grunnlagsrapport utarbeidet av Asplan Viak AS for Båsum boring Trøndelag AS. Datert 18.08.2021.

Skjæran H.M. (2021a): Tilbygg Leirfjord skole. Geotekniske grunnundersøkelser. Rapport fra Multiconsult AS, 42 sider.

Skjæran H.M. (2021b): Utredning av områdestabilitet. Notat fra Multiconsult AS, 12 sider.

# Vedlegg 1. EED-beregning

EED 4.20 - www.buildingphysics.com - license  
for RandiK.Ramstad@asplanviak.no  
Input  
file:\\asplanviak.sharepoint.com@ssl\davwwwr  
oot\sites\635110-01\delte  
dokumenter\General\EED LEIRFJORD 32  
brønner\_TE.dat  
This output file: EED LEIRFJORD 32  
BRØNNER\_TE.OUT Date: 06.12.2021 Time:  
12:52:02

## MEMORY NOTES FOR PROJECT

□

## QUICK FACTS

Cost	-
Number of boreholes	32
Borehole depth	296 m
Total borehole length	9472 m

## DESIGN DATA

=====

### GROUND

Ground thermal conductivity W/(m·K)	3.2
Ground heat capacity MJ/(m <sup>3</sup> ·K)	2.16
Ground surface temperature °C	4.73
Geothermal heat flux	0.06 W/m <sup>2</sup>

### BOREHOLE

Configuration: 10 L2-configuration")	98 ("32 : 8 x
Borehole depth	296 m
Borehole spacing	15 m
Borehole installation	Single-U
Borehole diameter	114 mm
U-pipe diameter	40 mm

U-pipe thickness	2.4 mm
U-pipe thermal conductivity W/(m·K)	0.42
U-pipe shank spacing	68 mm
Filling thermal conductivity W/(m·K)	0.6
Contact resistance pipe/filling (m·K)/W	0

## THERMAL RESISTANCES

Borehole therm. res. fluid/ground (m·K)/W	0.088
Borehole therm. res. internal (m·K)/W	0.5

Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.

## HEAT CARRIER FLUID

Thermal conductivity W/(m·K)	0.38
Specific heat capacity J/(Kg·K)	4061
Density	955 Kg/m <sup>3</sup>
Viscosity Kg/(m·s)	0.0053
Freezing point	-25 °C
Flow rate per borehole	0.55 l/s

## BASE LOAD

Annual DHW load	0 MWh
Annual heating load (DHW excluded)	911 MWh
Annual cooling load	5 MWh
Seasonal performance factor (DHW)	3
Seasonal performance factor (heating)	3.5
Seasonal performance factor (cooling)	1E5
Monthly energy profile [MWh]	

Month	Factor	Heat load	Factor	Cool
JAN	0.145	132	0	0
FEB	0.135	123	0	0
MAR	0.11	100	0	0
APR	0.07	63.8	0	0
MAY	0.06	54.7	0	0
JUN	0.05	45.5	0.2	1
JUL	0	0	0.3	1.5
AUG	0	0	0.4	2
SEP	0.06	54.7	0.1	0.5
OCT	0.09	82	0	0
NOV	0.135	123	0	0
DEC	0.145	132	0	0
Total	1	911	1	5

PEAK LOAD

Month	Peak heat	Duration	Peak
JAN	275	24	0
FEB	275	24	0
MAR	275	18	0
APR	275	12	0
MAY	275	8	100
JUN	275	8	100
JUL	275	8	100
AUG	275	8	100
SEP	275	12	0
OCT	275	18	0
NOV	275	24	0
DEC	275	24	0

Number of simulation years 25  
 First month of operation SEP

CALCULATED VALUES

=====

\* Monthly calculation \*

Total borehole length	9472 m		
THERMAL RESISTANCES			
Effective borehole thermal res. (m·K)/W	0.1008		
SPECIFIC HEAT EXTRACTION RATE [W/m]			
Month	Base load	Peak heat	Peak cool
JAN	13.6	20.7	0
FEB	12.7	20.7	0
MAR	10.4	20.7	0
APR	6.59	20.7	0
MAY	5.65	20.7	-10.6
JUN	4.56	20.7	-10.6
JUL	-0.22	20.7	-10.6
AUG	-0.29	20.7	-10.6
SEP	5.57	20.7	0
OCT	8.47	20.7	0
NOV	12.7	20.7	0
DEC	13.6	20.7	0

BASE LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]

Year	1	2	5	10	25
JAN	7.51	2.97	2.01	0.95	-0.84
FEB	7.51	3.16	2.21	1.15	-0.63
MAR	7.51	3.8	2.86	1.8	0.024
APR	7.51	4.89	3.96	2.9	1.14
MAY	7.51	5.19	4.27	3.22	
JUN	7.51	5.52	4.61	3.58	1.83
JUL	7.51	6.96	6.07	5.05	3.31
AUG	7.51	7.06	6.19	5.18	
SEP	5.84	5.37	4.51	3.52	1.79
OCT	4.89	4.44	3.6	2.61	0.89
NOV	3.52	3.09	2.27	1.28	-
DEC	3.09	2.68	1.86	0.89	-

BASE LOAD: YEAR 25



Minimum mean fluid temperature -0.84 °C at end of JAN

Maximum mean fluid temperature 3.45 °C at end of AUG

PEAK HEAT LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]

Year	1	2	5	10	25
JAN	7.51	1.47	0.5	-0.56	-2.35
FEB	7.51	1.46	0.51	-0.56	-
MAR	7.51	1.67	0.73	-0.33	-
APR	7.51	2.13	1.2	0.15	-1.62
MAY	7.51	2.4	1.48	0.43	-1.32
JUN	7.51	2.53	1.62	0.59	-1.16
JUL	7.51	3.09	2.19	1.17	-0.56
AUG	7.51	3.18	2.3	1.3	-0.44
SEP	2.89	2.41	1.56	0.56	-
OCT	2.37	1.92	1.08	0.096	-
NOV	1.81	1.39	0.56	-0.42	-
DEC	1.59	1.17	0.35	-0.62	-

PEAK HEAT LOAD: YEAR 25

Minimum mean fluid temperature -2.35 °C at end of JAN

Maximum mean fluid temperature -0.44 °C at end of AUG

PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]

Year	1	2	5	10	25
JAN	7.51	2.97	2.01	0.95	-0.84
FEB	7.51	3.16	2.21	1.15	-0.63
MAR	7.51	3.8	2.86	1.8	0.024
APR	7.51	4.89	3.96	2.9	1.14
MAY	7.51	8.35	7.43	6.38	
JUN	7.51	8.47	7.56	6.53	4.78
JUL	7.51	8.97	8.08	7.06	5.33
AUG	7.51	9.07	8.19	7.18	
SEP	5.84	5.37	4.51	3.52	1.79
OCT	4.89	4.44	3.6	2.61	0.89
NOV	3.52	3.09	2.27	1.28	-
DEC	3.09	2.68	1.86	0.89	-

PEAK COOL LOAD: YEAR 25

Minimum mean fluid temperature -0.84 °C at end of JAN

Maximum mean fluid temperature 5.45 °C at end of AUG

## Vedlegg 2. RAPPORT TERMISK RESPONSTEST Leirfjord barne- og ungdomsskole 2021



asplan viak

# Termisk responstest - Leirfjord

BÅSUM BORING TRØNDELAG AS



## Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver:	Båsum Boring Trøndelag AS
Tittel på rapport:	Termisk responstest - Leirfjord
Oppdragsnavn:	Termisk responstest - Leirfjord barne og ungdomsskole
Oppdragsnummer:	601531-90
Utarbeidet av:	Tor Eggebø
Oppdragsleder:	Tor Eggebø
Tilgjengelighet:	Åpen

## Kort sammendrag

Asplan Viak har på oppdrag for Båsum Boring Trøndelag AS utført analyse av en termisk responstest i et 250 m dypt testborehull på Leirfjord barne- og ungdomsskole i Leirfjord kommune, Nordland fylke. Resultatene fra den termiske responstesten er som følger:

- **Effektiv varmeledningsevne: 3,2 W/m·K**
- **Termisk borehullsmotstand: 0,08 m·K/W**
- **Uforstyrret temperatur: 7,2°C**

Effektiv varmeledningsevne er målt til 3,2 W/m·K. Dette er innenfor variasjonsområdet for berggrunnen på stedet. Berggrunnen er av Norges geologiske undersøkelse kartlagt som glimmerskifer som grenser mot marmor like ved.

Termisk borehullsmotstand på 0,08 m·K/W er innenfor det som forventes av en U-kollektor i en brønn av denne dybden. Borehullsmotstanden er avhengig av uforstyrret temperatur i testborehullet, sirkulert mengde gjennom kollektoren, type kollektor samt om det er uttak av energi eller tilførsel av energi. Erfaring viser at termisk borehullsmotstand er høyere for uttak av energi sammenlignet med tilførsel av energi som er tilfellet ved termisk responstest. I den videre dimensjoneringen anbefales det derfor å benytte en høyere verdi på borehullsmotstand på 0,10 m·K/W for varmeuttak.

For å dimensjonere grunnvarmeanlegget med utgangspunkt i resultatene fra testen må det brukes egnet programvare, f. eks. EED (Earth Energy Designer), som ivaretar varmetransporten i berggrunnen og interaksjonen mellom energibrønnene.

## Forord

Asplan Viak er engasjert av Båsum boring Trøndelag AS for å analysere resultatene fra en termisk responstest i et testborehull ved Leirfjord barne- og ungdomsskole i Nordland fylke. Hilde Anita Grandetrø har vært Båsum boring Trøndelag AS sin kontaktperson for oppdraget.

Tor Eggebø har vært oppdragsleder for Asplan Viak og har utført analysen av responstesten, mens Henrik Holmberg har hatt ansvaret for kvalitetssikring av arbeidet og rapporten.

Stavanger, 18.08.2021

Tor Eggebø

Oppdragsleder

Henrik Holmberg

Kvalitetssikrer

---

---

---

---

---

---

---

---

01	18. aug. 2021	Nytt dokument	TE	HH
Ver	Dato	Beskrivelse	Utarb. av	KS

# Innholdsfortegnelse

1. Innledning	6
2. Undersøkellesmetoder	7
2.1. Uforstyrret temperatur	7
2.2. Termisk responstest	7
3. Områdebeskrivelse	9
4. Resultater fra undersøkelser	11
4.1. Opplysninger om testborehullet og øvrige testdata	11
4.2. Uforstyrret temperatur i testborehullet	11
4.3. Termisk responstest	13
4.4. Oppsummering og vurdering av resultater	15
Kilder	16
Vedlegg 1 - Brønnskjema	17

# 1. Innledning

Asplan Viak har på oppdrag for Båsum Boring Trøndelag AS analysert og rapportert resultatene fra en termisk responstest. Responstesten er utført i et 250 m dypt borehull ved Leirfjord barne- og ungdomsskole i Leirfjord kommune. Formålet med den termiske responstesten er å finne stedsspesifikke parametere som grunnlag for riktig dimensjonering av et grunnvarmeanlegg.

For å dimensjonere grunnvarmeanlegget med utgangspunkt i resultatene fra testen må det brukes egnet programvare, f. eks. EED (Earth Energy Designer), som ivaretar varmetransporten i berggrunnen og interaksjonen mellom energibrønnene.

Rapporten beskriver hvilke undersøkelser og beregninger som er gjort, og resultatene fra disse.



## 2. Undersøkellesmetoder

### 2.1. Uforstyrret temperatur

Testborehullets naturlige temperatur, eller berggrunnens uforstyrrede temperatur (figur 2), er nødvendig for å analysere resultatene fra termisk responstest for å finne parameteren termisk borehullsmotstand. Uforstyrret temperatur er også en viktig parameter ved dimensjoneringen av brønnene i EED. Den uforstyrrede temperaturen er gjennomsnittstemperaturen i borehullet fra grunnvannsnivået og ned, i den vannfylte delen av borehullet (aktiv boreddybe, se figur 1).

Temperaturmålingen gjøres ved å føre en temperatursonde ned i kollektorslangen som måler temperaturen i borehullet. Dette gjøres vanligvis minst 3-4 dager etter boring, det vil si etter at fjellet har "hvilt" en stund og temperaturen nær borehullet er utlignet til sin normaltemperatur. Gjennomsnittsverdien av alle målingene i vannfylt del av borehullet utgjør verdien for berggrunnens uforstyrrede temperatur (Gehlin 2002).

### 2.2. Termisk responstest

En termisk responstest av en energibrønn (figur 1) gir svar på to viktige dimensjoneringsfaktorer for større grunnvarmeanlegg. Dette er:

- Effektiv varmeledningsevne ( $\lambda_{\text{eff}}$ )
- Termisk borehullsmotstand ( $R_b$ )

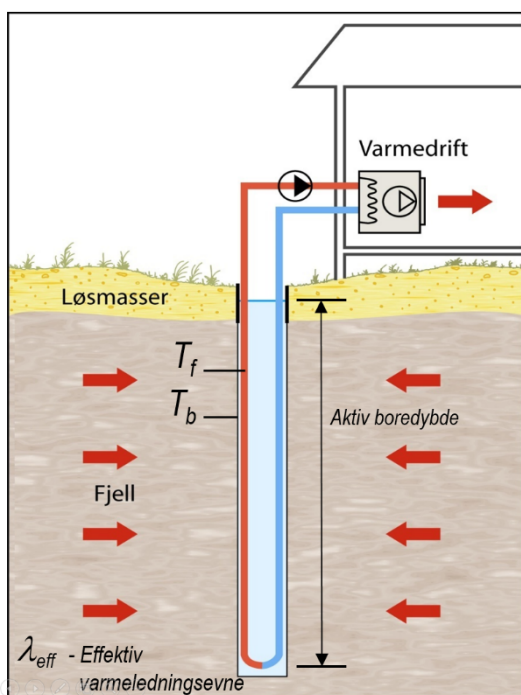
Effektiv varmeledningsevne for energibrønnen er summen av berggrunnens varmeledningsevne og eventuelt bidrag fra grunnvann i bevegelse. Av de tre mekanismene for varmeoverføring, representerer dette henholdsvis varmeledning (varmeledning i fast stoff) og konveksjon (væskestrømmer som transporterer energi).

Borehullsmotstand beskriver varmeoverføringen i borehullet, og hvor effektivt kollektoren fungerer som borehullsvarmeveksler. Lav borehullsmotstand betyr god varmeoverføring og lav temperaturforskjell mellom borehullsveggen og kollektorvæsken. Formel 1 beskriver sammenhengen for temperaturforskjellen mellom temperaturen i kollektorvæsken ( $T_f$ ) og borehullsveggen ( $T_b$ ) og den termiske borehullsmotstanden ( $R_b$ ) ved en gitt spesifikk varmeeffekt  $q$  (W/m). Se også figur 1 og en mer detaljert beskrivelse av termisk borehullsmotstand i Gehlin (1998 og 2002).

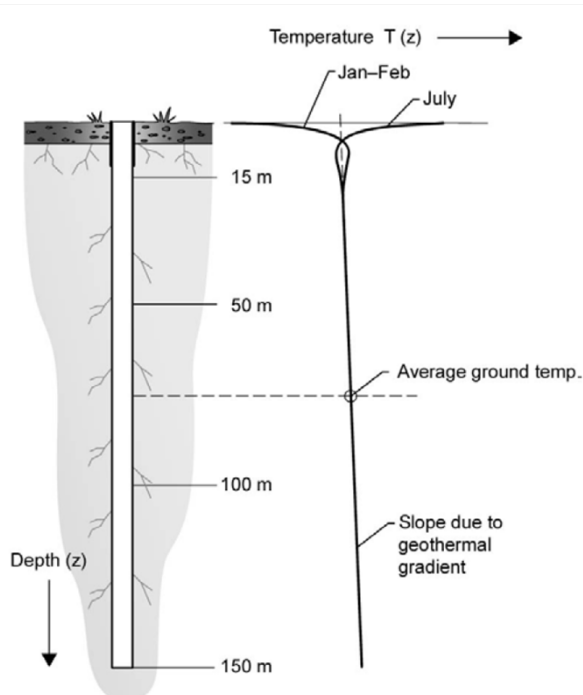
$$T_f - T_b = R_b \cdot q \quad \text{Formel 1}$$

Termisk responstest gjøres ved kontinuerlig og jevn tilførsel av varme til borehullet via oppvarmet kollektorvæske som sirkulerer i borehullets kollektorslange. Målinger av kollektorvæskens temperatur gir et svar på hvordan borehullets omgivende berggrunn responderer på varmetilførselen. Analyse av data fra termisk responstest gjøres vanligvis etter Gehlin (2002) og Signorelli (2004 og 2007).

Den praktiske delen av den termiske responstesten ved Leirfjord barne- og ungdomsskole er utført av Båsum boring Trøndelag AS.



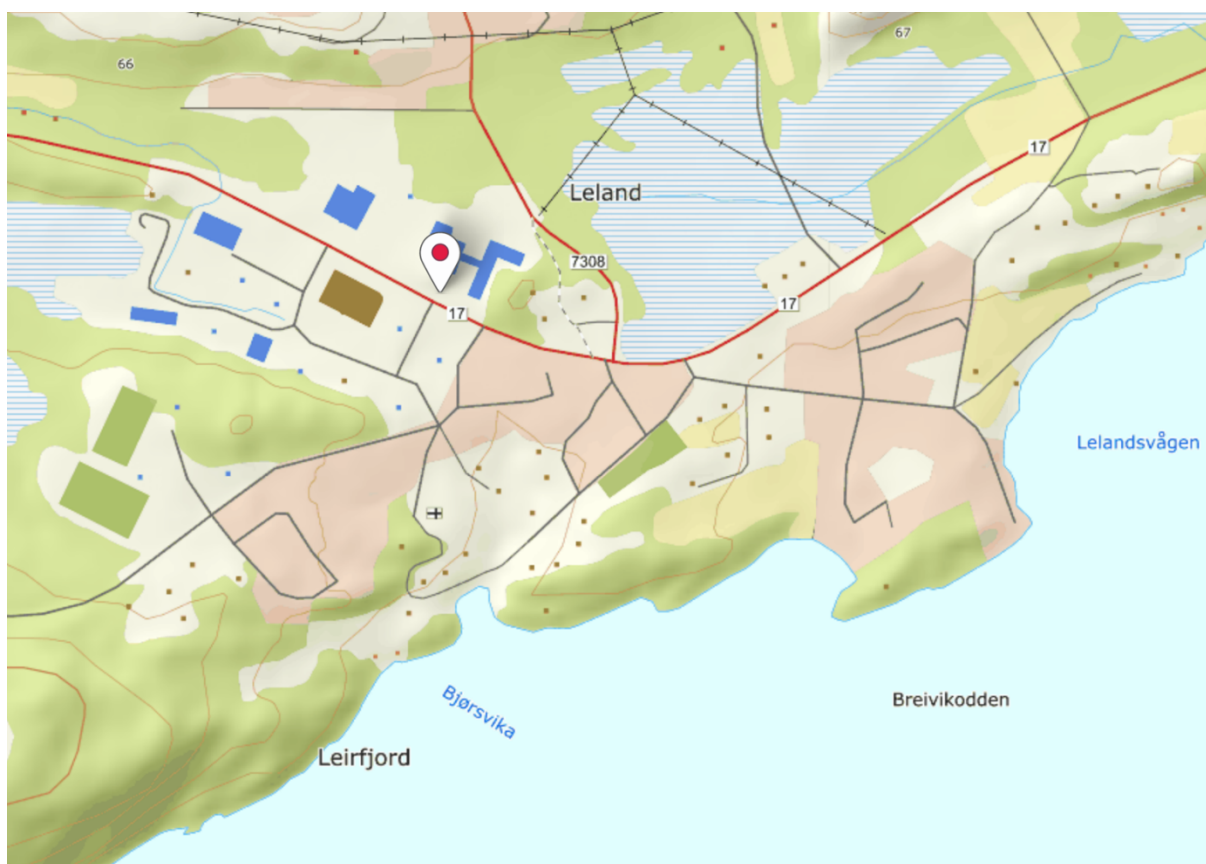
Figur 1. Prinsippkisse av en energibrønn i fjell med lukket kollektorslange. Angivelse av aktiv boreddybde, effektiv varmeledningsevne ( $\lambda_{eff}$ ), temperatur i henholdsvis kollektorvæsken ( $T_f$ ) og borehullsveggen ( $T_b$ ). Modifisert etter NGU ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)).



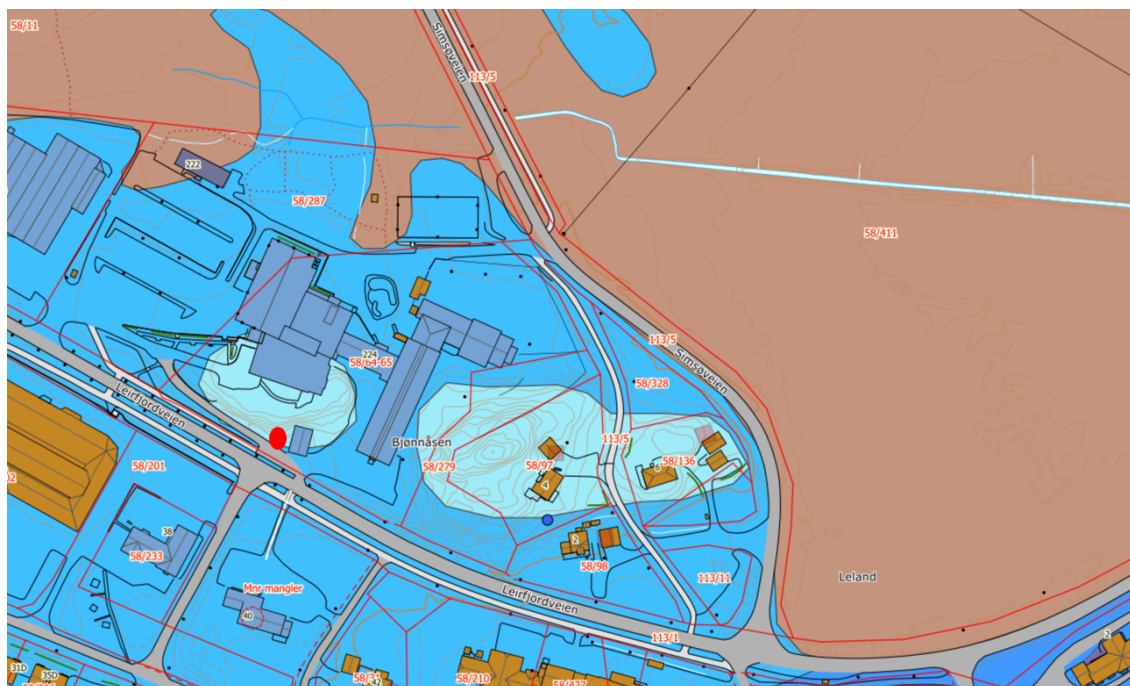
Figur 2. Prinsippkisse av et teoretisk temperaturprofil i grunnen. Årstidsvariasjonene når ned til ca. 15 meters dybde (etter Ericsson 1985 i Gehlin 2002). Uforstyrret temperatur i grunnen er gjennomsnittstemperaturen i borehullet fra grunnvannsnivået og ned, i den vannfylte delen av borehullet (aktiv boreddybe).

### 3. Områdebeskrivelse

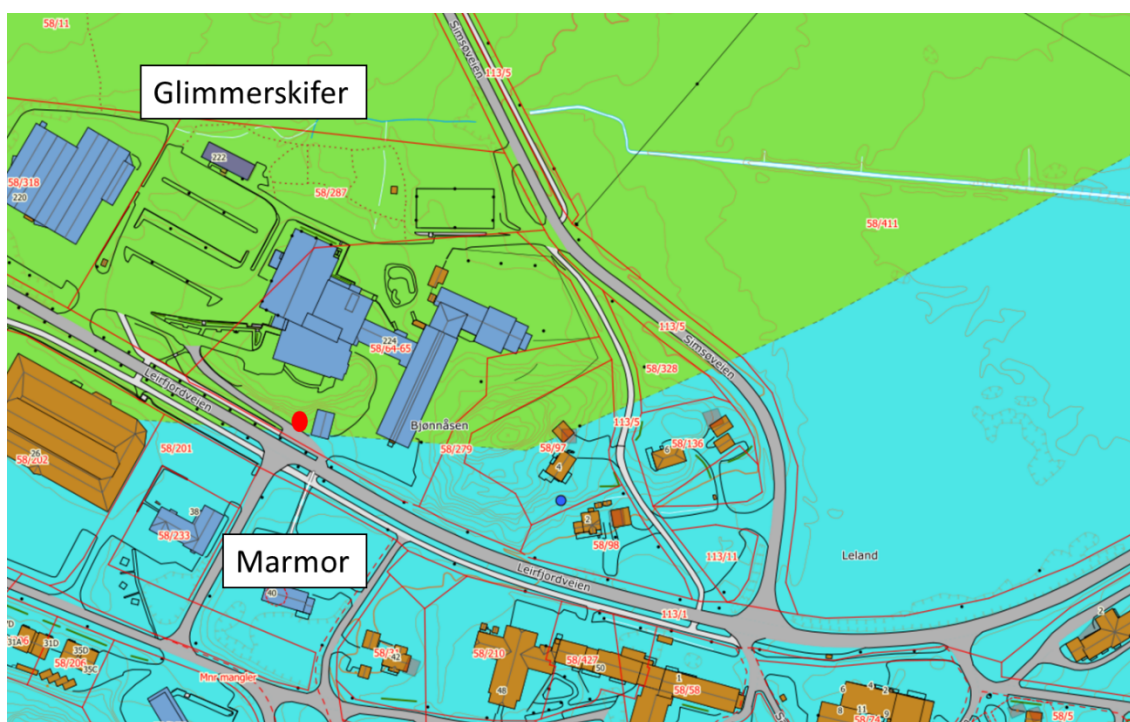
Lokaliseringen av testbrønnen ved Leirfjord barne- og ungdomsskole er angitt av brønnborer og vises med rød markør i figur 3. Løsmassekartet (figur 4) viser hav- og fjordavsetning og strandavsetning. Berggrunnen på stedet er av Norges geologiske undersøkelse kartlagt som glimmerskifer som grenser mot marmor like ved (figur 5).



Figur 3. Plassering av Leirfjord barne- og ungdomsskole. Testbrønnen er angitt med rød markør basert på koordinater oppgitt av brønnborer. Kilde: <https://finnposisjon.test.geonorge.no/>



Figur 4. Kart over løsmassegeologien i området. Testbrønnen er markert med rød markør. Løsmassene ved Leirfjord barne- og ungdomsskole er kartlagt som «hav- og fjordavsetning og strandavsetning, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen». Kilde: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>



Figur 5. Berggrunnskart over området ved, og omkring Leirfjord barne- og ungdomsskole. Testbrønnen er markert med rød markør. Berggrunnen er kartlagt som glimmerskifer, som grenser mot marmor like sør for brønnen. Kilde: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>

## 4. Resultater fra undersøkelser

### 4.1. Opplysninger om testborehullet og øvrige testdata

Brønnskjema med informasjon om testborehullet er tatt med som vedlegg 1. De to tabellene under viser opplysninger om henholdsvis testborehullet og den termiske responstesten.

Tabell 1. Detaljer for testborehullet ved Leirfjord barne- og ungdomsskole hvor det er utført en termisk responstest.

Beskrivelse	
Boredato	08.07.2021
Boredybde (m)	250
Lengde kollektorslange eks bunnlodd (m)	249
Dyp til fjell (m)	0.5
Føringsrørlengde (m)	3
Diameter borehull (mm)	115
Diameter føringsrør (mm)	139
Vanngiveevne (liter/time)	-
Registrert sleppe/vanninnslag (meter under terreng)	0 – 120 m: lite 120 – 250 m: 50 – 500 l/time
Grunnvannsnivå (meter under terreng)	2.1
Boreretning	Loddrett
Kollektor	Enkel U-kollektor, 40 mm glatt
Vannfylt borehull, effektiv kollektorlengde (m)	246.9
Type kollektorvæske	HX35i

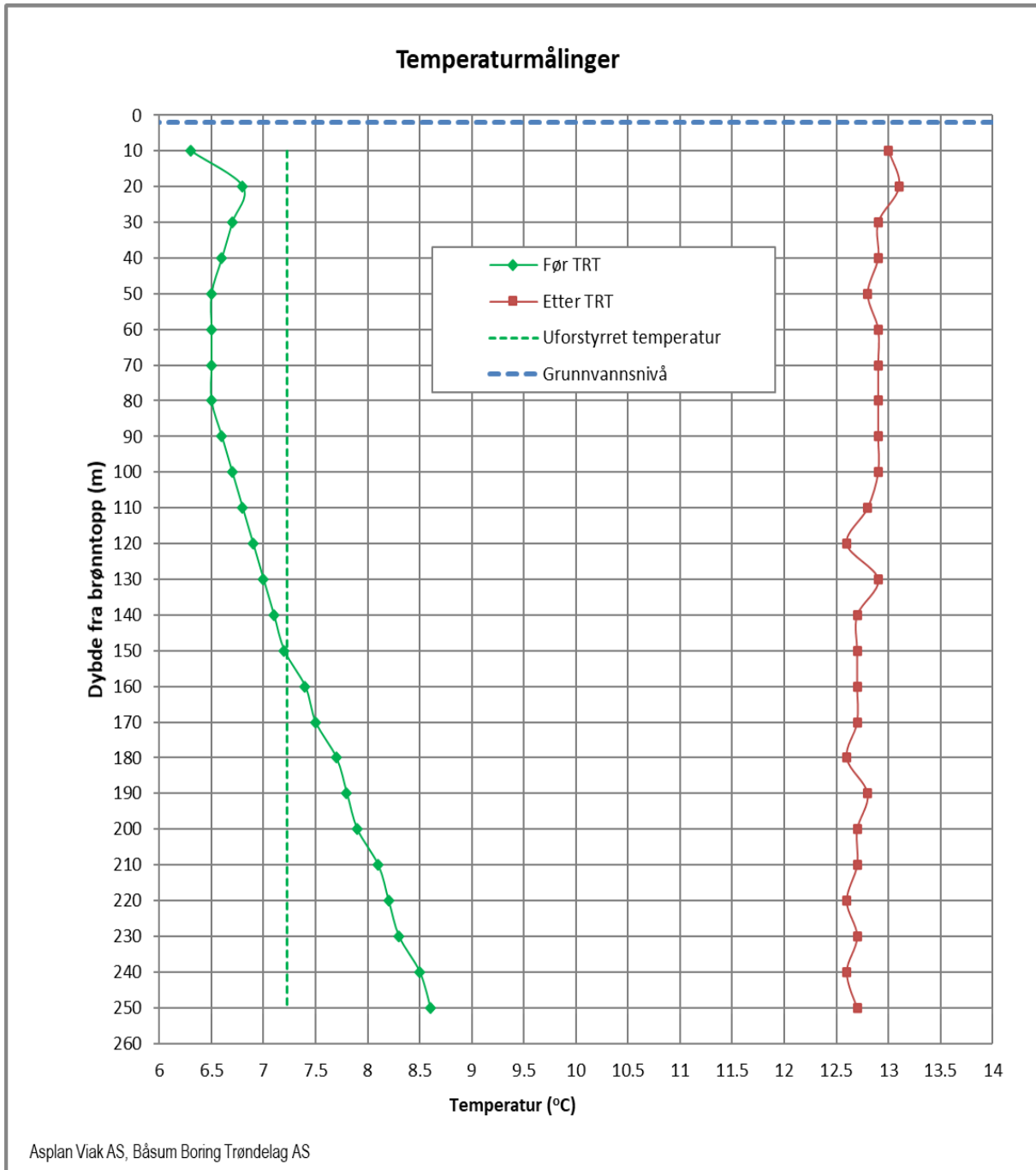
Tabell 2. Detaljer for den termiske responstesten ved Stokmarknes skole.

Beskrivelse	
Måleperiode	15 - 20.07.2021
Midlere effekt (kW)	9
Spesifikk tilført effekt (W/m)	36.5
Strømningshastighet kollektorvæske (liter/sekund)	0,65

### 4.2. Uforstyrret temperatur i testborehullet

Uforstyrret temperatur i testborehullet er målt før oppstart av termisk responstest og vises i figur 6. Gjennomsnittsverdi vises som lysegrønn stiplet linje i figuren og er 7,2 °C.

Gjennomsnittsverdien ligger til grunn for beregning av termisk borehullsmotstand (avsnitt 2.2). Det er også foretatt en måling av temperaturen etter termisk responstest. Dette vises som rød profil i figuren. Hensikten med temperaturmålingen etter responstesten er å avdekke nivåer i borehullet med grunnvann i bevegelse som kan påvirke responstesten og brønnens ytelse. Temperaturprofilen målt etter den termiske responstesten viser ingen tydelige tegn til at det er nivåer med grunnvannsbevegelse i borehullet.



Figur 6. Temperaturprofilmålinger i testbrønnen, før termisk responstest.

### 4.3. Termisk responstest

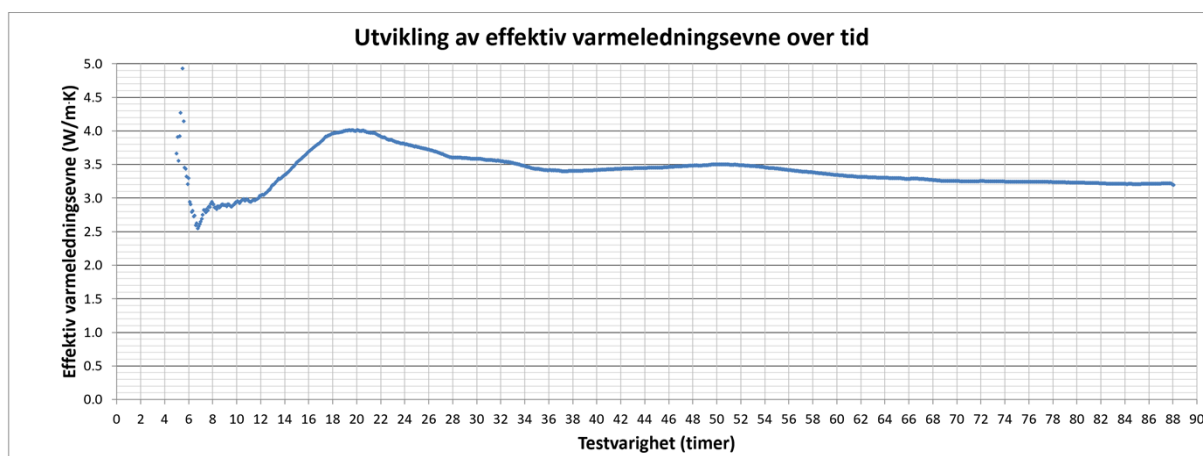
Resultater fra termisk responstest utført i testbrønnen vises i figur 7 til figur 10.

Resultatene er analysert for måleperioden 5-88 timer for testborehullet og er som følger:

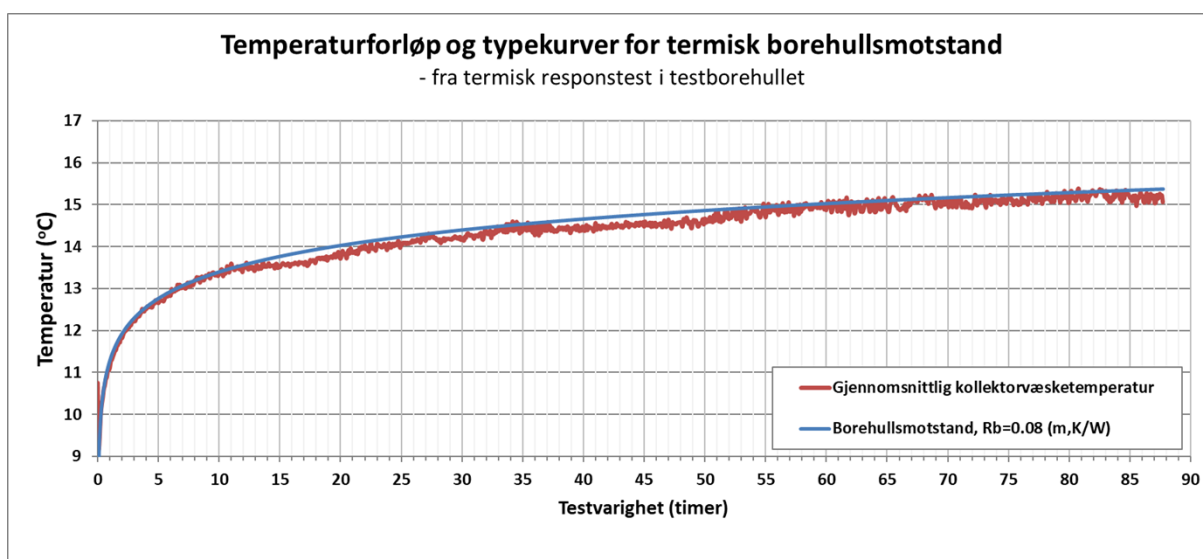
- Effektiv varmeledningsevne: 3,2 W/m·K (figur 7)
- Borehullsmotstand  $R_b$ : 0,08 m·K/W (figur 8)

Den vanlige ustabiliteten som alltid er i starten av termisk responstestmålinger reduseres noe etter ca. 20 timer. Etter ca. 70 timer stabiliserer verdien for effektiv varmeledningsevne seg mot ca. 3,2 W/m·K.

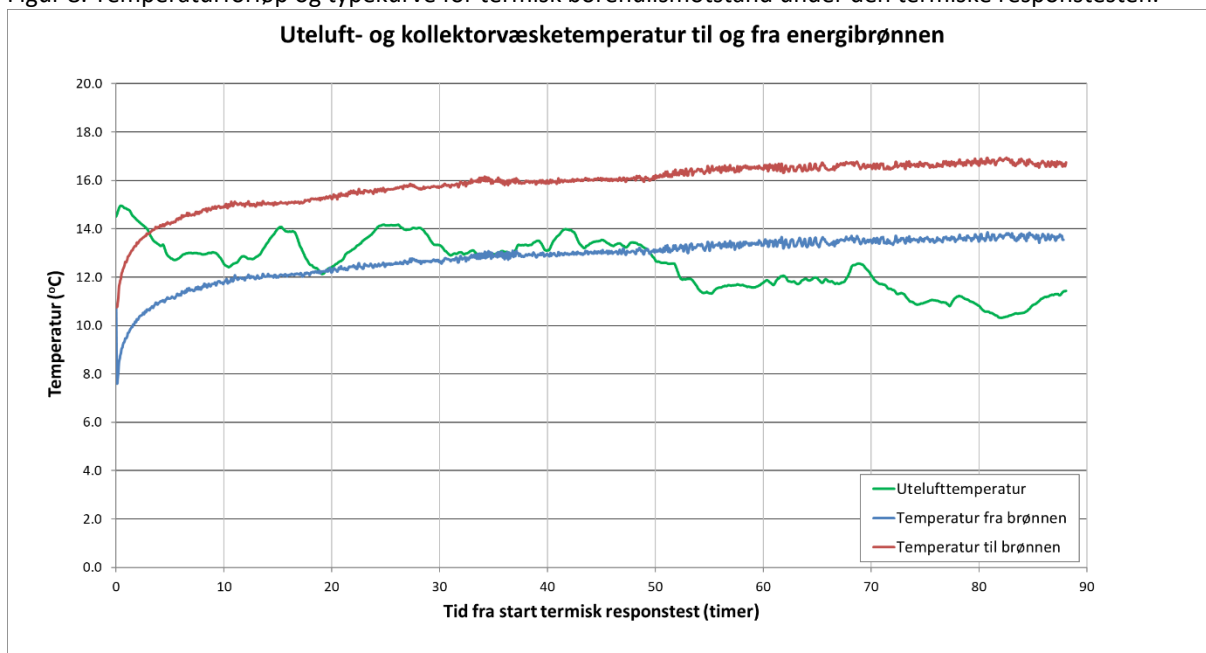
Verdi for effektiv varmeledningsevne er analysert slik som beskrevet i Gehlin (1998) og Signorelli (2004 og 2007).



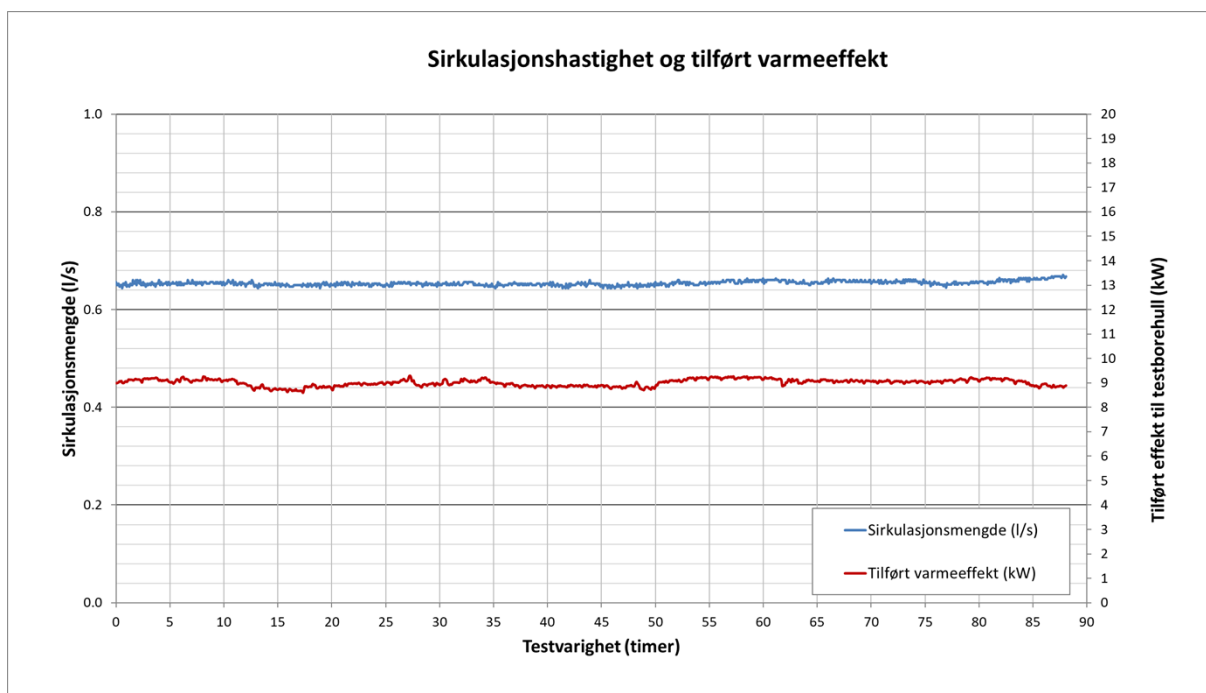
Figur 7. Utvikling av effektiv varmeledningsevne over tid under den termiske responstesten.



Figur 8. Temperaturforløp og typekurve for termisk borehullsmotstand under den termiske responstesten.



Figur 9. Temperatur i riggen og kollektorvæsketemperaturene til og fra energibrønnen under den termiske responstesten.



Figur 10. Sirkulasjonshastighet og tilført effekt under den termiske responstesten.



#### 4.4. Oppsummering og vurdering av resultater

Effektiv varmeledningsevne er målt til 3,2 W/m·K. Dette er innenfor variasjonsområdet for berggrunnen på stedet. Berggrunnen er av Norges geologiske undersøkelse kartlagt som glimmerskifer som grenser mot marmor like ved.

Den termiske borehullsmotstanden som ble målt til 0,08 m·K/W er innenfor variasjonsområdet for en U-kollektor i en brønn av denne dybden. Borehullsmotstanden avhenger av verdi for tilført effekt, samt verdien for uforstyrret temperatur som i testbrønnen er målt til å være 7,2 °C. I tillegg viser erfaring at termisk borehullsmotstand generelt er høyere for uttak av energi sammenlignet med tilførsel av energi som er tilfellet ved termisk responstest. I den videre dimensjoneringen av grunnvarmeanlegget anbefales det derfor å benytte en høyere borehullsmotstand på 0,10 m·K/W for varmeuttak.

## Kilder

---


Gehlin, S. (2002): Thermal response test - Method development and evaluation. Doctoral thesis, Luleå University of Technology, 2002:39, 191 sider.

Signorelli, S., Bassetti, S., Pahud, D. og Kohl, T. (2007): Numerical evaluation of thermal response tests. Geothermics, Volume 36, Issue 2, side 141-166.

Signorelli, S. (2004): Geoscientific investigations for the use of shallow low-enthalpy systems. Dissertation ETH No. 15519, 175 sider.

# Vedlegg 1

PDF generert: 2021-08-11



**GRUNNVANNSDATABASEN**

**Fjellbrønn nr. 127075**  
NB: Informasjon om nøyaktighet og tolkning av dataene

---

**LOKALISERING**

Fylke	: Nordland
Kommune	: Leirfjord (1822)
Kartblad (1:50 000)	: Nesna (1827-2)
UTM sone	: 33 V
ØV-koordinater	: 408662
NS-koordinater	: 7328683
Stedfestningsmetode	: Digitalisert på skjerm fra andre digitale rasterdata
Stedfestingsnøyaktighet	: Ukjent

---

**BRØNNPARAMETERE**

Totalt dyp av brønn	: 250.00 m
Dyp til fjell	: 0.50 m
Vannføring (før trykking / sprengning)	:
Vannstand (etter boring målt fra overflaten)	:
Boredato	: 08.07.2021
Kollektorvæske	:
Kollektorstype	:
Brukstype	: Energi
Bruk	: Større anlegg
Borediameter	: 115 mm
Forings- / brønnrørmateriale	: Stål
Forings- / brønnrørlengde	: 3.00 m
Boring	: Loddrett
Skråboringsavvik (0-90°)	: 0°
Skråboringsretning (gon)	: 0 N°

---

**ANNEN INFORMASJON**

Borefirma	: Båsum Boring Trøndelag AS
Konsulentfirma	:
Egen brønn-ID	:

---

**KOMMENTAR**

Testbrønn

---

**BRØNNLAG (FJELLBRØNN)**

Dyp fra overflaten (meter)

FRA	TIL	EVT. VANNINNSLAG	SLAMFARGE	BERGART	ANDRE OPPLYSNINGER
0.00	0.50	Tørr l/time			
0.50	50.00	Tørr l/time	Grå	Fjell	
50.00	120.00	Tørr l/time	Grå	Fjell	Slepper / lettboet fjell på 112 meter.
120.00	180.00	50-500 l/time	Grå	Fjell	
180.00	250.00	50-500 l/time	Grå	Fjell	Slepper / lettboet fjell.

---

**SPRENGNING / TRYKKING**

Ingen

---

**MÅLINGER**

Ingen

---

**GRUNNVANNSRAPPORTER**

Ingen

---

**VEDLEGG**

Ingen

---

© 2021 | NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE | TLF: +47 73 90 40 00 | WWW.NGU.NO



asplan viak