

# NYE FJERDINGBY SKOLE – RÅDHUSET – RÆLINGEN VGS RÆLINGEN KOMMUNE

## TERMISK RESPONSTEST VURDERING AV GEOENERGIANLEGG

### FORPROSJEKT



Oppdragsgiver	Rælingen kommune	Nils Øyvind Bø
Oppdragstaker	Futurum Energi AS	Bjørn Gleditsch Borgnes
Sted / Dato	Asker, 15.05.19	<i>Bjørn G. Borgnes</i>

**Futurum Energi AS**

Adresse: Granbakken 4, 1386 Asker – Telefon: +47 97 47 25 78 – Epost: bgb@futurum-energi.no  
Org.nr: 993 365 211MVA – Bankkonto: 1503.08.11892

[www.futurum-energi.no](http://www.futurum-energi.no)

## Sammendrag

I forbindelse med planleggingen av nye Fjerdingby skole i Rælingen kommune vurderes det å etablere et geoenergianlegg for energi- og miljøeffektiv oppvarming og kjøling av den nye skolen, samt eksisterende nærliggende bygg (Rådhuset, Rælingen videregående skole og Bjørnholthagan 2). For å estimere omfanget av geoenergianlegget er det bla. utført en *termisk responstest* på en testbrønn på eiendommen.

Den termiske responstesten ga følgende resultater:

Total dybde, testbrønn/kollektor	255/251 meter	
Dybde til fjell	5 meter	Kan variere i området
Grunnvannsnivå	1 meter	Tilnærmet hele brønndybden er aktiv
Starttemperatur i fjellgrunnen	7,1 °C	Innenfor forventet nivå
Termisk varmeledningsevne, fjell/grunnvann	3,05 W/m,K	Middels godt resultat sammenlignet med resultater fra andre tester
Kollektorens borehullsmotstand (varmeopptak)	0,1 K/(W/m)	Normalt resultat for denne typen kollektor/energibrønn.

For eksisterende bygg, som alle forsynes fra energisentralen plassert i Rælingen videregående skole, er det innhentet historiske forbruksdata for elkjel og oljekjel. Forbrukene er korrigert for normalår og for fremtidige økte luftmengder i ventilasjon. For nye Fjerdingby skole inkl. flerbrukshall er det benyttet foreløpige anslag for energibehov til oppvarming og kjøling.

Totalt årlig varmebehov er estimert til ca. 2,4 GWh, og det er antatt at varmepumpe vil kunne dekke ca. 90 % av totalbehovet. Med en estimert årsvarmefaktor på 3,5 betyr dette at brønnparken skal levere ca. 1,55 GWh fornybar energi pr. år. Det kalkulerede kjølebehovet på ca. 270.000 kWh forutsettes dekket av gratis frikjøling fra brønnparken. Samlet energibesparelse, sammenlignet med tradisjonell oppvarming/kjøling, er beregnet til ca. 1,62 GWh/år. Det er videre estimert at samlet varmepumpeytelse, med de gitte forutsetningene, bør være på ca. 800 kW.

Det er utført simuleringer basert på ovennevnte for å grovdimensjonere en nødvendig energibrønnpark. Flere konfigurasjoner (antall, dybder, innbyrdes plassering, etc.) vil kunne være aktuelle. Foreløpig anbefaling er at det bores totalt 80 brønner á 300 meter aktiv dybde. Brønnene må ha en innbyrdes avstand på minimum 20 meter slik at det totale omfavnede fjellvolumet blir tilstrekkelig stort. Den anbefalte brønnparken vil kreve at det meste av oppgitt tilgjengelig areal innenfor eiendommen benyttes. Skråboringer kan benyttes for å redusere brønnparkens «fotavtrykk».

Det er foreløpig anbefalt at produksjon av varme og kjøling gjøres fra en felles energisentral (eksisterende teknisk rom i videregående skole). Alternativt kan produksjonen splittes i to separate anlegg.

Våre anbefalinger er basert på estimater og foreløpige anslag. Betydelige endringer i forutsetningene vil også kunne endre våre konklusjoner. Avslutningsvis i rapporten er det pekt på viktige forhold som må ivaretas for å sikre et godt sluttresultat.

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>Sammendrag .....</b>	<b>2</b>
<b>1 Bakgrunn .....</b>	<b>4</b>
1.1 Om prosjektet .....	4
1.2 Grunnen som energikilde .....	4
<b>2 Lokale forutsetninger .....</b>	<b>5</b>
2.1 Testbrønnen .....	5
2.2 Bergart .....	5
2.3 Løsmassemektighet .....	5
2.4 Grunnvannsbevegelse, permeabilitet, osv. ....	6
<b>3 Målinger på testbrønn .....</b>	<b>7</b>
3.1 Grunnvannsnivå .....	7
3.2 Temperaturgradient og gjennomsnittlig temperatur i brønner .....	7
<b>4 Termisk responstest .....</b>	<b>8</b>
4.1 Hva er en termisk responstest? .....	8
4.2 Loggede data .....	8
4.3 Analyse av måledata .....	9
<b>5 Resultater sett i sammenheng .....</b>	<b>10</b>
<b>6 Energibehov til oppvarming og kjøling .....</b>	<b>11</b>
6.1 Bygninger som kan tilknyttes geoenergianlegget .....	11
6.2 Anslåtte energibehov, varme .....	11
6.3 Anslåtte energibehov, kjøling .....	12
<b>7 Resulterende belastning mot brønnpark .....</b>	<b>13</b>
7.1 Dimensjonering av total varmpumpeytelse .....	13
7.2 Energi- og effektbelastning for energibrønnpark .....	13
<b>8 Simuleringer – dimensjonering av energibrønnpark .....</b>	<b>14</b>
8.1 Generelt .....	14
8.2 Forutsetninger for simuleringer .....	14
8.3 Anbefalt brønnpark og simulert temperaturutvikling i kollektorvæske .....	15
<b>9 Systemløsning – prinsipper for varme-/kjøleproduksjon .....</b>	<b>17</b>
<b>10 Årlige energibesparelser og estimert lønnsom investering .....</b>	<b>18</b>
<b>11 Miljøbesparelser .....</b>	<b>19</b>
11.1 Forutsetninger - klimagassutslipp .....	19
11.2 Resulterende klimagassutslipp, varme- og kjøleproduksjon .....	19
<b>12 Presiseringer og anbefalt videre fremdrift .....</b>	<b>20</b>
<b>13 Kravspesifikasjon - geoenergianlegg .....</b>	<b>21</b>
13.1 Varmeproduksjon .....	21
13.2 Kjøleproduksjon .....	21
13.3 Brønnpark .....	21
13.4 Automatikk .....	21

Vedlegg A: Brønnrapport

## 1 Bakgrunn

### 1.1 Om prosjektet

I forbindelse med planlegging av nye Fjerdingsby skole i Rælingen kommune vurderes det et geoenergianlegg med varmepumpe og energibrønner for energi- og miljøeffektiv oppvarming og kjøling. Det vurderes også om det skal etableres en felles varmepumpesentral som i tillegg til den nye skolen skal dekke eksisterende rådhus, Rælingen VGS samt Bjørnholthagan 2.

*Futurum Energi AS* er av Rælingen kommune engasjert for å utføre målinger inklusive en termisk responstest på en testbrønn som er boret i området. Basert på resultatene herfra og foreløpige anslåtte energi- og effektbehov til oppvarming og kjøling skal omfanget av et geoenergianlegg skisseres. I tillegg skal det vurderes fordeler og ulemper med sentralisert/desentralisert varme- og kjøleproduksjon, pekes på viktige forhold i det videre arbeidet med prosjektet, m.m.

Testbrønnen er boret av Båsum Boring AS, på oppdrag fra kommunen.

Energi- og effektberegninger er basert på innhentede historiske data, relevante nøkkeltall, erfaringstall og en forutsatt planlagt ny bygningsmasse.

### 1.2 Grunnen som energikilde

Grunnen som energikilde (geoenergi) kan i prinsippet utnyttes på følgende to måter:

#### 1) Lukket system (kollektorer).

Boring av x antall energibrønner, hvor det monteres plastkollektorer med sirkulerende vann-/etanol blanding. Kollektorene fungerer som varmevekslere mot omkringliggende fjellvolum. Energien som trekkes ut av fjellvolumet på et lavtemperaturnivå løftes vha. en varmepumpe opp til et tilstrekkelig temperaturnivå for bruk i et vannbårent varmesystem.

#### 2) Åpent system (oppumpet grunnvann).

Boring av x antall energibrønner (langt færre enn for et lukket system), hvor det monteres pumper for oppumping av grunnvann. Grunnvannet infiltreres normalt tilbake mot grunnen, etter utveksling av energi mot varmepumpen.

#### Kjøling og sesonglagring

For både lukkede og åpne systemer kan et geoenergianlegg i tillegg til varme, også produsere kjøling. Når temperaturen i energibrønnene er tilstrekkelig lav kan bygget forsynes med frikjøling, ved direkte veksling mot brønnene. Om frikjøling ikke er tilstrekkelig kan varmepumpen kjøres som kjølemaskin, og overskuddsvarme kan dumpes mot energibrønnene. Dette gjør at man i mange tilfeller kan oppnå effektiv sesonglagring av energi. Alternativt kan overskuddsvarme fra kjølemaskinen dumpes andre steder (tørrkjøler, avkastluft, etc.) slik at brønnene gjennom hele sesongen kan utnyttes til frikjøling.

#### Valg av system

Lukkede systemer med kollektor er det mest vanlige i Norge. Enkelte steder kan man imidlertid treffe på betydelige vannmengder i grunnen, som gjør at et åpent system er mer aktuelt. Kvaliteten på grunnvannet er også av betydning for hvordan et åpent system bygges.

For dette prosjektet er det et lukket system med energibrønner og kollektorer som er aktuelt.

## 2 Lokale forutsetninger

### 2.1 Testbrønnen

Testbrønnen, boret 22. mars 2019, har ifølge mottatt brønnsrapport følgende karakteristika:

Tabell 1 Data for testbrønnen

Dybde, energibrønn	255 meter
Diameter, energibrønn	115 mm
Foringsrør, lengde/diameter	6 meter / 139,7 mm
Brønn boret i lodd/vinkel	Loddrett
Dybde til fjell	5 meter
Vanninnslag	Ingen betydelige registreringer
Kollektortype	Enkel U, 40 mm – Standard glatt
Kollektordybde	251 meter

For ytterligere detaljer fra boringen, se vedlegg A.

Plassering av testbrønnen er, iht. koordinater fra brønnsrapporten, som vist i figuren under.



Figur 1 Plassering av testbrønn

### 2.2 Bergart

Fjellgrunnens evne til å transportere energi varierer fra bergart til bergart, og også innenfor én og samme bergart. Jo høyere varmeledningsevne, dess bedre egnet er fjellgrunnen for etablering av et geoenergianlegg. Området har iht. NGUs geologiske kartdatabase følgende bergartsbeskrivelse: *Granat-biotittgneis, biotitt-muskovittgneis, stedvis amphibolitt og kalksilikatlinser, stedvis migmatittisk.*

### 2.3 Løsmassemektighet

Dybde til fast fjell påvirker investeringskostnadene, da meterprisen for boring gjennom løsmasser er ca. 4 ganger så høy som for fjellboring. I tillegg har løsmasser normalt langt dårligere varmeledningsevne enn fjell. Det ideelle for etablering av et geoenergianlegg er 1-2 meter overdekning, mao. tilstrekkelig løsmasser for graving av grøfter til rørføring mellom brønntopper og samlelum/energisentral.

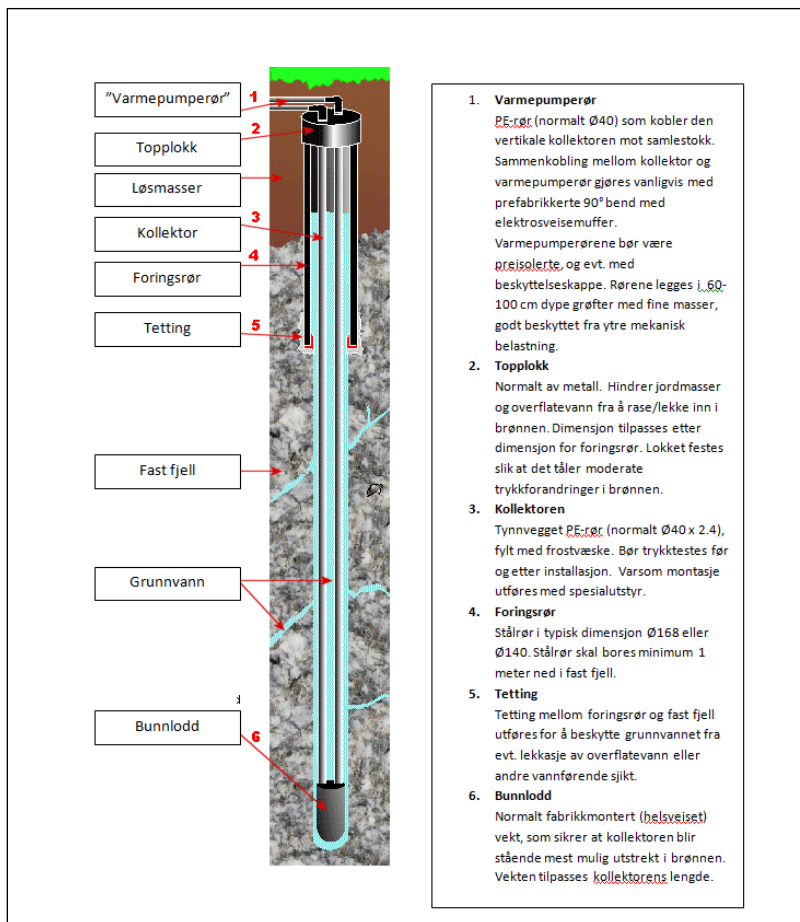
Ved boring av testbrønnen ble fjell avdekket på 5 meter dyp. Det antas at dette er relativt representativt for området, men variasjoner kan forekomme. Løsmasser er av brønnborer oppgitt å være «jord og grus».

## 2.4 Grunnvannsbevegelse, permeabilitet, osv.

Enkelte steder kan det under boring påtreffes vannførende sprekker i fjellet. Dette kan medføre en varierende grunnvannsbevegelse i brønnen som ikke nødvendigvis varer over tid, og som kan opphøre helt når det bores flere brønner i området og trykkforskjeller utjevnes. Med egnet topografi og oppsprukket fjell kan man enkelte steder også oppleve at brønnparken «gjennomskylls» av grunnvann i bevegelse, noe som normalt er positivt for en brønnpark. Vanligvis kan det imidlertid antas at grunnvannet er relativt stillestående ved de aktuelle dyp.

Det ble ikke påtruffet nevneverdige vannførende sprekker ifm boringen av testbrønnen.

Brønnen ga relativt lite vann («grått fjell/tørt»), noe som underbygger at fjellet er relativt homogent og kompakt.



Figur 2 Prinsipiell oppbygging av en energibrønn

### 3 Målinger på testbrønn

Foruten den termiske responstesten er følgende målinger utført på testbrønnen: Grunnvannsnivå, temperaturgradient før responstest og temperaturgradient umiddelbart etter responstest.

#### 3.1 Grunnvannsnivå

Grunnvannsnivået er en viktig faktor ifm dimensjonering av et lukket geoenergianlegg, da varmeoverføringen mellom kollektoren og berget kun skjer i den vannfylte delen av energibrønnen. Over grunnvannsstanden er det luft som har høy termisk motstand, slik at varmeoverføringen her er ubetydelig i denne sammenheng. Ved lavt grunnvannsnivå kan det være aktuelt å injisere en termisk masse i den tørre delen av brønnen, slik at hele kollektoren får god termisk kontakt med fjellvolumet rundt brønnen. Dette er ofte et rimeligere tiltak enn å kompensere med flere borede brønnmeter.

Grunnvannsnivået i testbrønnen ble før og etter termisk responstest målt til 1,0 meter under brønntopp, noe som betyr at tilnærmet hele brønnnybden kan regnes som effektiv. Grunnvannsnivået kan variere i området, så det anbefales å gjennomføre kontrollmålinger når resten av brønnparken skal realiseres.

#### 3.2 Temperaturgradient og gjennomsnittlig temperatur i brønner

Temperaturen i fjellvolumet og grunnvannet som omslutter energibrønnene varierer noe fra sted til sted, og er ofte direkte koblet mot stedets uteluft årsmiddeltemperatur. I lavlandet i Sør-Norge er gjennomsnittlig temperatur i de øvre 200-300 meter som regel mellom 6 og 10 °C, mens i kaldere klima kan utgangstemperaturen ligge helt ned mot 3-5 °C. For et geoenergianlegg som primært skal benyttes til oppvarming er det bedre jo høyere utgangstemperaturen er.



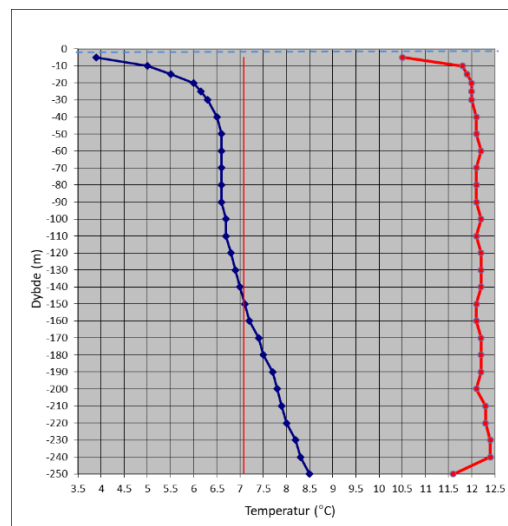
Figur 3 Måling av temperaturgradient

Det er foretatt målinger i hele testbrønnens profil, både før (blå) og etter (rød) utført termisk responstest (se figur 4).

Gradienten før test viser et rimelig normalt forløp, med økende temperatur mot dypet, og fallende temperatur de øverste 20-25 meterne (påvirket av utetemperaturen månedene i forkant av testen). Gradienten viser et flatt forløp fra ca. 50 til ca. 110 meter, som er vanskelig å forklare ut fra målingene.

Gjennomsnittlig «urørt» temperatur for testbrønnen ble målt til 7,1 °C og den termiske gradienten (140 – 250 m) er på ca. 13,6 K pr. km.

Målt gradient etter testen underbygger erfaringer fra boring av testbrønnen om at det ikke er betydelige grunnvannspåvirkninger i eller rundt brønnen. Ved større vannførende sprekker i fjellet ville dette gitt synlige utslag på kurven.



Figur 4 Målt temperaturgradient, før og etter TRT

## 4 Termisk responstest

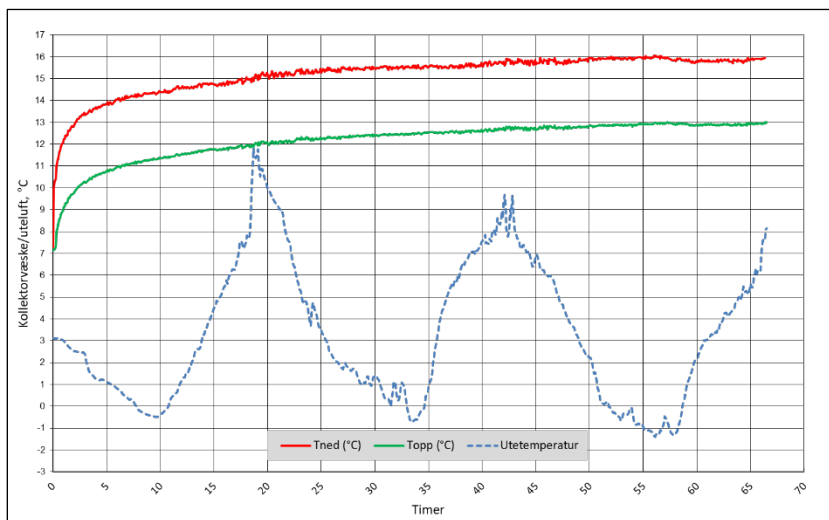
### 4.1 Hva er en termisk responstest?

En termisk responstest utføres ved at man kobler en testtrigg mot kollektorene i en ferdig boret energibrønn. Kollektorvæsken sirkuleres vha en pumpe i testtriggen, typisk 0,4 – 0,8 l/s. Etter en periode med kun sirkulasjon slås elektriske varmeelementer på, og oppvarmet væske sirkulerer i kollektoren.

Temperaturstigningen i kollektorvæsken logges sammen med andre parametre gjennom hele testperioden, som typisk varer i minimum 60-70 timer. Jo flatere temperaturkurve, dess bedre evne har brønnen og omliggende fjell/grunnvann til å «svelge» tilført energi.

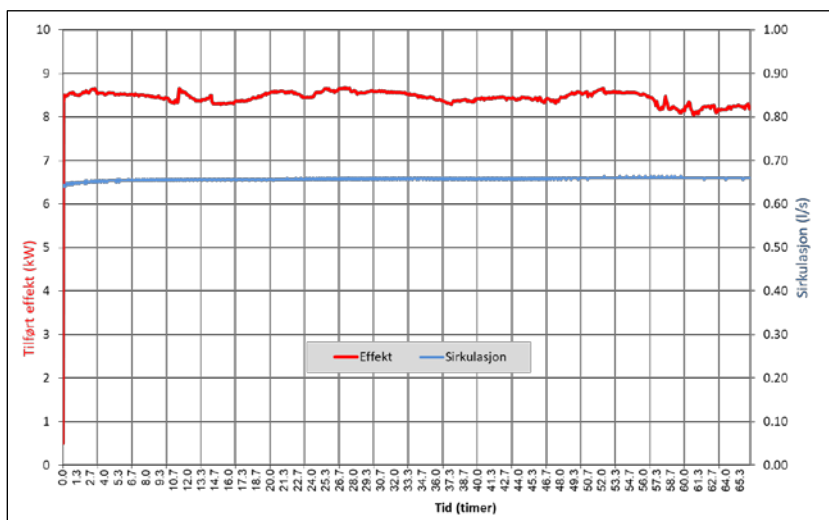
### 4.2 Loggede data

Termisk responstest ble gjennomført i perioden 5. - 8. april. Etter noen timer med sirkulasjon ble det satt på varmeelementer med 9 kW påstemplet effekt. Loggede temperaturer er vist i figuren under.



Figur 5 Loggede data, testbrønn

Figuren under viser tilført effekt til varmeelementene (+pumpe) og sirkulert mengde gjennom testen.



Figur 6 Tilført effekt og sirkulert mengde



### 4.3 Analyse av måledata

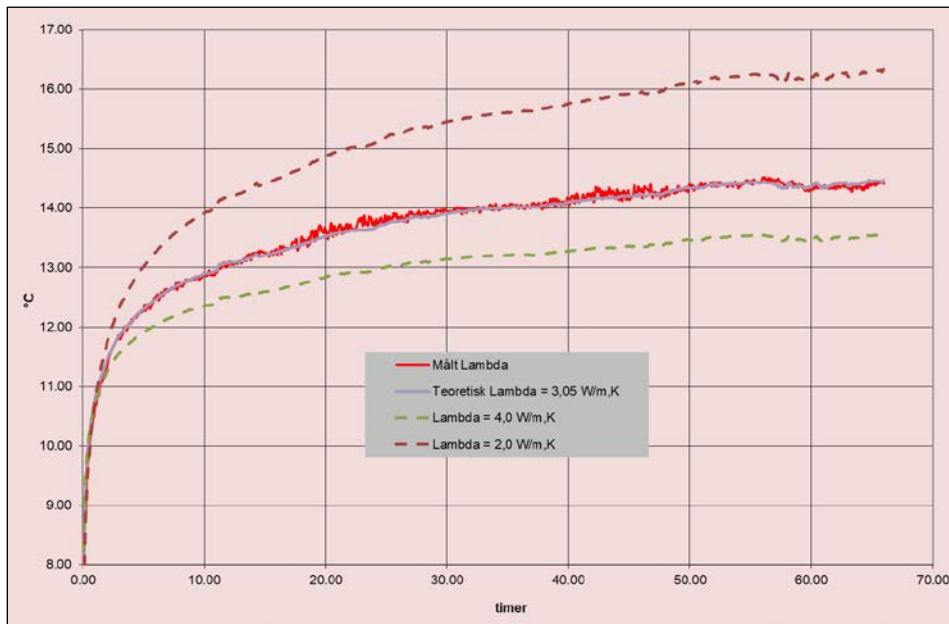
Temperaturutviklingen i kollektorvæsken er, sammen med øvrige data for brønnen, lagt inn i et simuleringsprogram, og følgende representative verdier er målt og beregnet:

Tabell 2 Resultater fra termisk responstest

	Testbrønn
Fjellgrunnens effektive varmeledningsevne:	3,05 W/m,K
Borehullets termiske motstand, varmeuttak:	0,1 K/(W/m)
Borehullets termiske motstand, varmedump:	0,08 K/(W/m)

Målt effektiv varmeledningsevne er middels god, sammenlignet med verdier fra andre tester i landet (se kap. 5). Målt borehullsmotstand er i tråd med hva som kan forventes for denne typen installasjon.

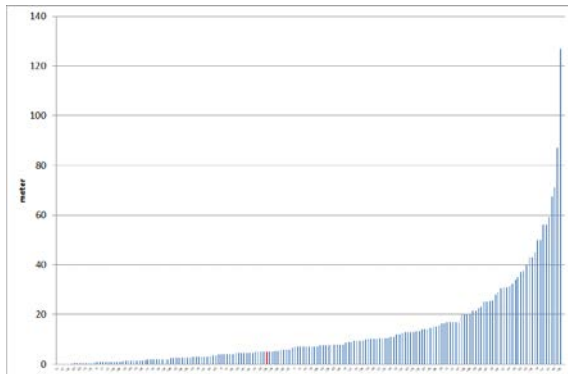
I figuren under er vist målt gjennomsnittlig temperaturutvikling (T/R) i kollektorvæsken (rød) gjennom testen, samt teoretisk beregnet kurve (blå) basert på verdiene over. Det er også vist hvordan temperaturutviklingen gjennom testen hadde vært dersom varmeledningsevnen (Lambda) hadde vært hhv. 2,0 og 4,0 W/m,K.



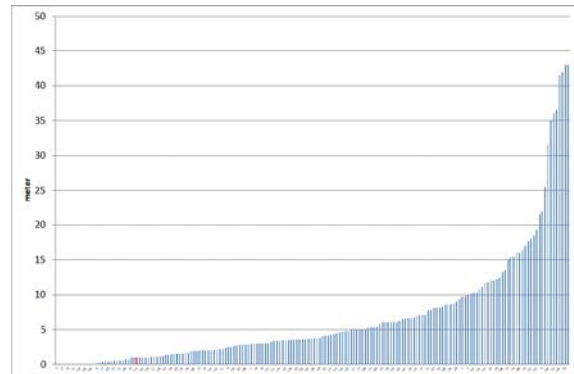
Figur 7 Tilpasningskurve, testbrønn

## 5 Resultater sett i sammenheng

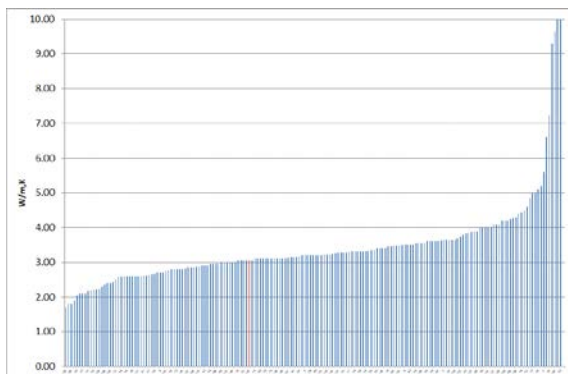
I figurene under vises resultatene for dette prosjektet (merket rødt) sammenlignet med øvrige ca. 180 termiske responstester utført av Futurum Energi AS i perioden 2009 – 2019.



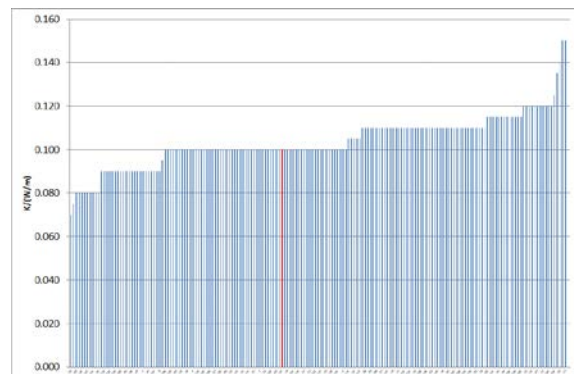
Figur 8 Dybde til fjell



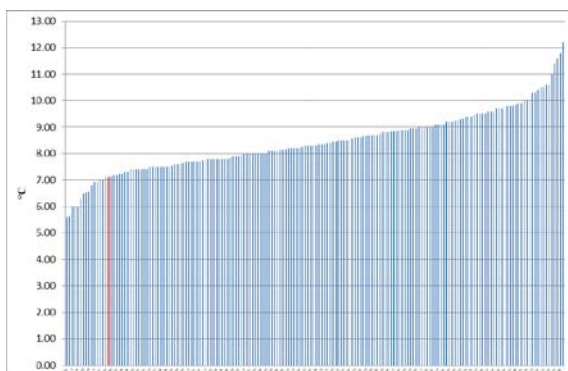
Figur 9 Grunnvannsnivå



Figur 10 Termisk varmeledning\*



Figur 11 Borehullsmotstand



Figur 12 Starttemperatur i fjellgrunnen

\* For de fleste testene som har gitt svært høye varmeledningstall (over 5 W/m,K) har det vært helt spesielle forhold med betydelig påvirkning av grunnvannsbevegelse i og rundt testbrønnen.

## 6 Energibehov til oppvarming og kjøling

### 6.1 Bygninger som kan tilknyttes geoenergianlegget

Et geoenergianlegg kan produsere energi- og miljøeffektiv oppvarming og kjøling til de fleste formål hvor temperaturkravene er moderate. For et fremtidig geoenergianlegg er følgende nye og eksisterende bygg antatt å kunne tilknyttes:

Tabell 3 Bygg som kan tilknyttes geoenergianlegget

Bygg/anlegg	Varme	Kjøling
Nye Fjerdingby skole + flerbrukshall	X	X
Eksisterende rådhus og videregående skole	X	X
Bjørnholthagan 2 (BH2)	X	

### 6.2 Anslåtte energibehov, varme

#### Historiske forbruksdata for eksisterende varmesentral

Eksisterende varmesentral forsyner rådhuset, den videregående skolen og Bjørnholthagan 2. Forbruksdata for årene 2014-2018 er innhentet fra kommunens energioppfølgingssystem. Dette gir følgende oppsett for varme produsert fra elkjel og oljekjel, samt den normaliserte årsproduksjonen:

Tabell 4 Historiske forbruk, eksisterende energisentral

	2014 kWh/år	2015 kWh/år	2016 kWh/år	2017 kWh/år	2018 kWh/år	Gj.snitt, 2014-18 kWh/år
Elkjel	1 085 669	1 084 164	1 130 418	1 210 025	1 104 307	
Oljekjel	10 625	48 049	67 175	14 574	170 384	
Sum	1 096 294	1 132 213	1 197 593	1 224 599	1 274 691	1 185 078
Graddagstall	3 712	3 876	4 005	3 989	4 050	
Graddagskorrigert forbruk*	1 281 825	1 272 600	1 306 587	1 340 919	1 376 666	1 315 720

\* Normalt graddagstall for Rælingen kommune er 4410 (1981-2010) / Enova  
Det er antatt at ca. 90 % av varmeproduksjonen er temperaturavhengig

Det er oppgitt at videregående skole og rådhus skal oppgradere ventilasjonsanlegg, med økte luftmengder. Sannsynligvis vil dette også innebære høyere varmegjenvinning enn man har i dag. Vi har i det videre tatt høyde for en liten økning i varmebehovet, og benytter 1.400.000 kWh som grunnlag for årlig varmeproduksjonsbehov fra eksisterende varmesentral.

#### Nye Fjerdingby skole inkl. flerbrukshall

Det er pr. dd ikke utført detaljerte energiberegninger for nybyggene. Vi har foreløpig lagt til grunn 75 og 100 kWh/m<sup>2</sup>, år for totalt varmebehov (romoppvarming, ventilasjonsvarme og varmtvann) til skole og flerbrukshall. Foreløpige arealer er oppgitt av kommunen. Dette gir følgende estimerte varmebehov:

Tabell 5 Estimerte varmebehov (energi), nybygg

Bygg	Oppvarmet areal, m <sup>2</sup>	Varmebehov, kWh/m <sup>2</sup> ,år	SUM VARME, kWh/år
Nye Fjerdingby skole	9 500	75	<b>712 500</b>
Flerbrukshall	3 000	100	<b>300 000</b>
<b>TOTALT</b>	<b>12 500</b>		<b>1 012 500</b>

### Totalt varmebehov, eksisterende bygg og nybygg

I tabellen under er vist antatt totalt varmebehov som er tenkt tilknyttet geoenergianlegget, fordelt pr. måned.

**Tabell 6 Antatt månedsfordeling, totalt varmebehov**

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Totalt
Varmebehov, kWh	410 100	361 900	241 300	193 000	96 500	48 300	24 100	48 300	120 600	193 000	289 500	386 000	<b>2 412 500</b>

### **6.3 Anslåtte energibehov, kjøling**

#### Eksisterende bygg

Det er oppgitt at både videregående skole og rådhuset i nær fremtid skal rehabilitere ventilasjons-/klimaanlegg. Dette vil høyst sannsynlig medføre et økt kjøleproduksjonsbehov. I det videre er det antatt et kjøleproduksjonsbehov på 10 kWh/m<sup>2</sup>, år for rådhuset og videregående skole. Med oppgitt areal på ca. 16.000 m<sup>2</sup> betyr dette et kjøleproduksjonsbehov på 160.000 kWh/år.

#### Nye Fjerdingby skole inkl. flerbrukshall

Det er pr. dd ikke utført detaljerte energiberegninger for nybyggene. Vi har foreløpig lagt til grunn 10 og 5 kWh/m<sup>2</sup>, år for totalt kjølebehov til skole og flerbrukshall. Oppgitte foreløpige arealer er oppgitt av kommunen. Dette gir følgende estimerte kjølebehov:

**Tabell 7 Estimerte kjølebehov (energi), nybygg**

Bygg	Oppvarmet areal, m <sup>2</sup>	SUM KJØLING, kWh/m <sup>2</sup> ,år	SUM KJØLING kWh/år
Nye Fjerdingby skole	9 500	10	95 000
Flerbrukshall	3 000	5	15 000
<b>TOTALT</b>	<b>12 500</b>		<b>110 000</b>

### Totalt kjølebehov, eksisterende bygg og nybygg

I tabellen under er vist antatt totalt kjølebehov som er tenkt tilknyttet geoenergianlegget, fordelt pr. måned.

**Tabell 8 Antatt månedsfordeling, totalt kjølebehov**

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Totalt
Kjølebehov, kWh	-	-	-	-	27 000	67 500	67 500	94 500	13 500	-	-	-	<b>270 000</b>

## 7 Resulterende belastning mot brønnpark

### 7.1 Dimensjonering av total varmepumpeytelse

Total varmepumpeytelse dimensjoneres tradisjonelt til 40-60 % av netto effektbehov til oppvarming, ved dimensjonerende forhold. Bruk av elkjeler som spisslast/backup og høyere prising av elektrisk effektuttak tilsier at det ofte kan være god lønnsomhet i å dimensjonere varmepumper med høyere effektdekning enn man gjorde tidligere. I tabellen under er vist anslåtte varmepumpeytelser for nye Fjerdingby skole, flerbrukshall og eksisterende energisentral, basert på utførte beregninger for energibehov, samt en antatt fornuftig ekvivalent driftstid og antatt energidekningsgrad for varmepumpe.

Tabell 9 Foreløpig beregning av varmepumpekapasitet

Bygg	SUM, VARME, kWh/år	Varmepumpens energidekningsgrad, %	Varme fra varmepumpe, kWh/år	Antatt ekv. driftstid, t/år	Varmepumpens ytelse, kW
Nye Fjerdingby skole	712 500	90 %	641 250	2800	229
Flerbrukshall	300 000	90 %	270 000	2800	96
Rådhus + VGS + BH2	1 400 000	90 %	1 260 000	2800	450
<b>TOTALT</b>	<b>2 412 500</b>		<b>2 171 300</b>		<b>775</b>

Ut fra tabellen over kan det antas at prosjektet bør ha en total varmepumpeytelse på ca. 750 - 800 kW. I det videre er det foreløpig benyttet varmepumpe(r) med ca. 800 kW total ytelse.

### 7.2 Energi- og effektbelastning for energibrønnpark

Når en brønnpark skal simuleres og dimensjoneres bør energioptak og –tilbakeføring beregnes på månedsnivå. I tabellen under er dette gjort, basert på antatt energidekning for varmepumpe pr. måned. Det er videre antatt en flat COP for varmepumpe på ca. 3,5. Kjølebehovet er i beregningene antatt dekket 100 % av frikjøling fra energibrønnene.

Tabell 10 Beregning av opptatt og tilbakeført energi fra/til brønnpark

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Totalt
Varmebehov, kWh	410 100	361 900	241 300	193 000	96 500	48 300	24 100	48 300	120 600	193 000	289 500	386 000	2 412 500
Fra varmepumpe, kWh	340 400	325 700	229 200	183 400	91 700	45 900	22 900	45 900	114 600	183 400	260 600	328 100	2 172 000
Fra energibrønner, kWh	243 100	232 600	163 700	131 000	65 500	32 800	16 400	32 800	81 900	131 000	186 100	234 400	1 550 000
Kjølebehov, kWh	-	-	-	-	27 000	67 500	67 500	94 500	13 500	-	-	-	270 000
Til energibrønner, kWh	-	-	-	-	27 000	67 500	67 500	94 500	13 500	-	-	-	270 000

Ved dimensjonerende vinterforhold (varmepumpe med full ytelse 24 t/døgn) er det antatt en COP på 3,2. Den foreslåtte varmepumpeytelsen vil da belaste brønnparken med ca. 550 kW.

Effektbehov til komfortkjøling er foreløpig anslått til ca. 675 kW, basert på en antatt ekvivalent driftstid på 400 timer/år.

Tabell 11 Estimert for dimensjonerende kjøleeffekt

Bygg	SUM KJØLING kWh/år	Ekv. driftstid, t/år	Estimert kjøleeffekt, kW
Nye Fjerdingby skole	95 000	400	238
Flerbrukshall	15 000	400	38
Rådhus + VGS + BH2	160 000	400	400
<b>TOTALT</b>	<b>270 000</b>		<b>675</b>

## 8 Simuleringer – dimensjonering av energibrønnpark

### 8.1 Generelt

En energibrønnpark må dimensjoneres både for maksimal *effekt*belastning og for årlig *energi*belastning.

*Effekt*belastningen er hva brønnene utsettes for ved dimensjonerende vinterforhold, dvs. når varmepumpen går for fullt 24 timer/døgn, eller evt. ved dimensjonerende sommerforhold, når det skal frikjøles eller dumpes overskuddsenergi fra kjølemaskiner. Effektbelastningen er normalt relativt kortvarig, og påvirker derfor primært hvor mange *brønner* som må bores.

*Energi*belastningen er summen av årlig energiuttak og evt. aktiv tilbakeføring av energi (lading).

Energibelastningen påvirker normalt hvor stort *volum* brønnparken skal favne om, dvs. antall/dybde, innbyrdes avstand mellom brønner og brønnparkens formasjon. Volumet må være tilstrekkelig stort til at temperaturen i fjellet holder seg tilstrekkelig høy for god varmepumpedrift om vinteren, og evt. at temperaturen ikke blir for høy om sommeren – i hele anleggets levetid.

Først når ovennevnte er beregnet og simulert sammen med resultater fra den termiske responstesten, kan den endelige brønnparken dimensjoneres.

### 8.2 Forutsetninger for simuleringer

For dimensjonering av energibrønner benyttes gjerne kriterier for temperaturer ved dimensjonerende forhold og for den generelle temperaturutviklingen i energibrønnene over tid. Dette gjøres for å sikre gode driftsforhold når varmepumpen går med full ytelse døgnet rundt og at brønnparken får en lang levetid.

Dimensjoneringskriteriene kan variere noe fra prosjekt til prosjekt. Det finnes ingen Norsk Standard eller lignende absolutte «sannheter» som angir hvordan en energibrønnpark skal dimensjoneres. Det finnes imidlertid noen «bransjenormer» som man bør forholde seg til:

- Brønnparken må dimensjoneres slik at temperaturene i kollektorvæsken får en utvikling som sikrer gode driftsbetingelser gjennom hele anleggets levetid
- Brønnparken må dimensjoneres slik at varmepumpe har gode driftsbetingelser ved dimensjonerende vinterforhold. Ofte settes det krav til at gjennomsnittlig temperatur i kollektorvæsken ( $t/r$ ) etter for eksempel 20 års drift ikke bør være lavere enn ca.  $-2$  til  $0$  °C
- Brønnparken må dimensjoneres slik at evt. oppgitte temperaturkrav for frikjøling, eller evt. dumping av kondensatorvarme tilfredsstilles

De følgende simuleringene er basert på beregninger av energi- og effektbelastninger mot brønnpark, resultater fra den termiske responstesten, temperaturer, etc. fra foregående kapitler, samt opplysninger om tilgjengelige arealer for boring. Simuleringer er gjort med programmet Earth Energy Designer (EED). Det er gjort flere simuleringer hvor antall, dybde, formasjon og innbyrdes avstand mellom brønnene er variert.

*Som dimensjoneringskrav har vi antatt at gjennomsnittlig kollektorvæsketemperatur ( $T/R$ ) ved dimensjonerende varmepumpedrift ikke skal være lavere enn ca.  $-2,0$  °C etter 20 års drift, og at kollektorvæsketemperaturen ikke skal være høyere enn ca.  $12$  °C ved dimensjonerende frikjøling.*

### 8.3 Anbefalt brønnpark og simulert temperaturutvikling i kollektorvæske

En av flere aktuelle brønnparker som tilfredsstiller de gitte kravene er som følger:

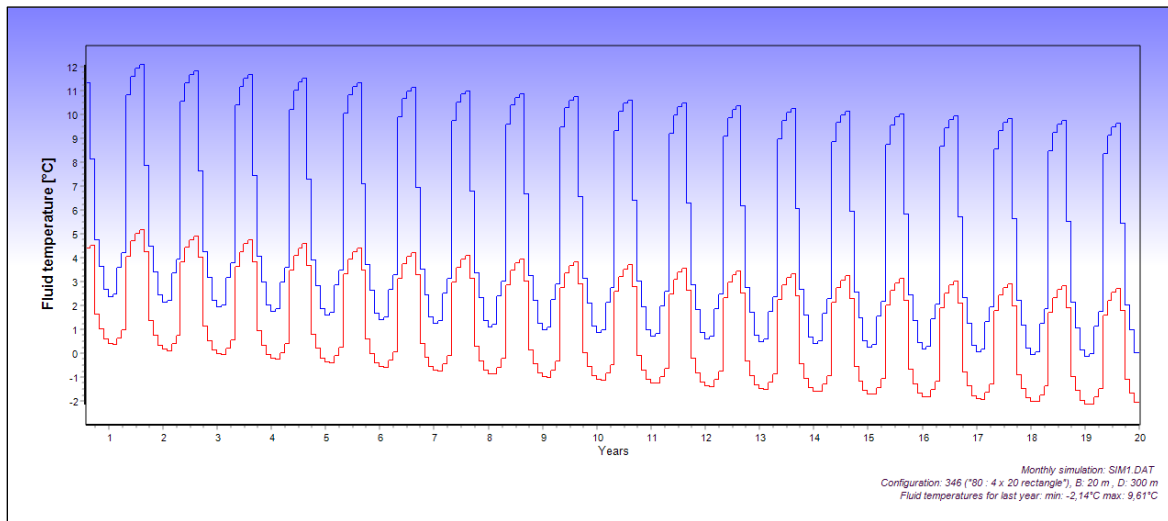
Antall brønner:	80
Dybde pr. brønn:	300 meter (aktiv dybde)
Innbyrdes avstand:	20 meter (kan reduseres med tilpassede skråboringer i ytterkanter)
Simulert formasjon:	4 x 20

I figuren under er vist foreløpige tilgjengelige arealer for boring av brønner, angitt av kommunen. Omtrentlige fotavtrykk for eksisterende (blå) og ny bygningsmasse (grønn) er også tegnet inn. Det er sjekket ut at den anbefalte brønnparken vil kreve at tilnærmet hele areal 1, 2, 4 og 5 benyttes til brønner.



Figur 13 Aktuelle arealer for boring av brønner

Temperaturutviklingen i kollektorvæsken (gjennomsnitt t/r) vil med den foreslåtte brønnparken bli omtrent som vist i figuren under, for driftsår 1-20.



Figur 14 Simulert temperaturutvikling i kollektorvæsken, driftsår 1-20.

- Rød kurve viser gjennomsnittlig temperatur (t/r) i kollektoren ved varmepumpedrift (maks. opptak fra brønner ca. 550 kW)
- Blå kurve viser gjennomsnittlig temperatur (t/r) i kollektoren dersom hele kjøleeffekten skal leveres fra frikjøling (maks ca. 675 kW)

Simuleringene viser at kollektortemperaturen gir varmepumpen gode driftsbetingelser i hele anleggets levetid. I tillegg viser simuleringene at brønnparken har kapasitet til å dekke den estimerte komfortkjøleeffekten via frikjøling (ingen maskinkjøling), forutsatt at isvannssystemet/kjølebatterier dimensjoneres for høyest mulig temperaturkrav (f.eks. T/R = 12/17 °C) og at kjøleveksler dimensjoneres for minst mulig temperaturtap.



## 9 Systemløsning – prinsipper for varme-/kjøleproduksjon

Selve varme- og kjøleproduksjonen for dette prosjektet kan prinsipielt tenkes utført enten med A) én felles energisentral, eller med B) en ny energisentral for ny skole/flerbrukshall samt beholde/bygge om eksisterende energisentral i videregående skole (forsyner rådhus + videregående skole + BH2)

- A. Én felles energisentral (varmepumpe + spisslast) som distribuerer varme og kjøling ut til det enkelte bygg/forbrugssted i et tradisjonelt nærvarme /-kjøleanlegg. Det mest naturlige ville da vært å bygge om eksisterende energisentral i videregående skole, dersom arealet er stort nok; varmepumpe på ca. 800 kW, ny større elkjel, diverse pumper, tanker, etc. Fjerning av oljekjel.
- B. Eksisterende energisentral i videregående skole bygges om til varmepumpedrift, dvs. varmepumpe med ca. 460 kW og elkjel som spisslast/backup. Eksisterende oljekjel fjernes. Varmepumpe tilknyttes brønnpark med ca. 46 brønner. Det etableres i tillegg en ny energisentral ifm den nye skolen/flerbrukshallen. Denne har en varmepumpe på ca. 340 kW, elkjel som spisslast/backup og en brønnpark med ca. 34 brønner.

I tabellen under er det vurdert kvalitative fordeler (+) og ulemper (-) for de to alternativene.

**Tabell 12 Fordeler og ulemper med sentralisert/desentralisert løsning**

Parameter	Alt. A. Sentralisert	Alt. B. Desentralisert
Teknisk utførelse	- Krever distribusjonssystem for varme, varmtvann og kjøling bort til nybyggene. - Vanskeligere å få til en god løsning for distribuert varmtvannsproduksjon	- Krever flere tekniske rom
Energibesparelse	- Ikke optimal energibesparelse, da varmepumpe må tilpasses den «verste kunden» mht. temperaturkrav - Høyere distribusjonstap + Dersom skole/flerbrukshall bygges med lavtemperatur distribusjon kan CO <sub>2</sub> -varmepumpe være spesielt aktuelt	+ Varmepumper kan tilpasses behov, temperaturnivå, etc. i det enkelte bygg
Investeringskostnad	+ Lavere total investeringskostnad med én felles varmepumpesentral sammenlignet med to separate anlegg	
Fleksibilitet	+ Mer fleksibel utnyttelse av installert effekt mht. samtidighetsfaktor for effektbehov	
Annet	+ Enklere drift og vedlikehold med én felles energisentral	- Noe høyere totale servicekostnader

En desentralisert løsning er spesielt aktuelt i prosjekter

- hvor det er en viss/betydelig avstand mellom byggene som skal forsynes
- hvor kundene har betydelige forskjeller i temperaturkrav for sine varmeanlegg

Ved å kombinere høytemperatur-anlegget i eksisterende energisentral med lavtemperatur distribusjon i nybyggene vil bruk av CO<sub>2</sub>-varmepumpe kunne gi svært god energibesparelse. En CO<sub>2</sub>-varmepumpe er kjennetegnet ved at den kan produsere varme ved høy temperatur, men at den er avhengig av relativt lave returtemperaturer for å gi høy COP.

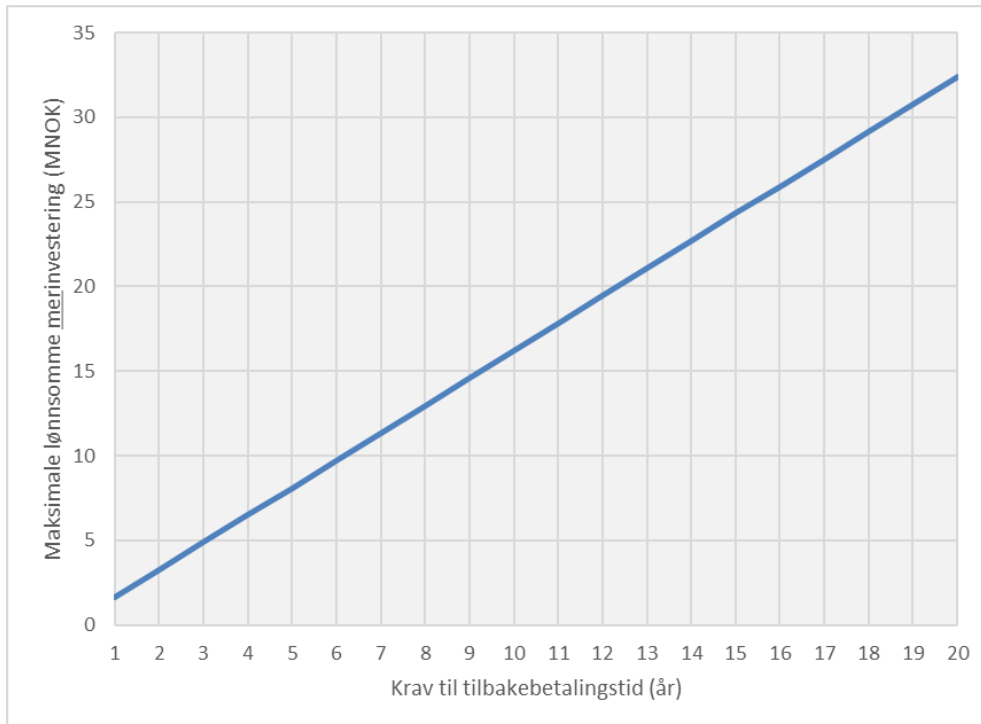
Vi vil anta at alternativ A med én felles energisentral vil være det mest fordelaktige, evt. med CO<sub>2</sub>-varmepumpe og utnyttelse av høy  $\Delta T$  i anlegget. Dette bør analyseres nærmere i det videre i arbeidet med prosjektet.

## 10 Årlige energibesparelser og estimert lønnsom investering

Det er beregnet at den foreslåtte brønnparken, med de gitte foreløpige forutsetningene, vil levere ca. 1.550.000 kWh/år i varmedrift. I tillegg er det beregnet at energibrønnparken vil levere ca. 270.000 kWh frikjøling, som gir en årlig besparelse på ca. 70.000 kWh/år sammenlignet med tradisjonell kjøling.

Samlet gir dette en energibesparelse på ca. 1.620.000 kWh/år.

Med en anslått energipris de kommende 10-20 årene på 1 kr/kWh (eks. mva) gir dette følgende forenklede oppsett for *maksimal lønnsom merinvestering* opp mot krav til tilbakebetalingstid:



Figur 15 Maksimal *merinvestering* som funksjon av krav til inntjeningstid

## 11 Miljøbesparelser

### 11.1 Forutsetninger - klimagassutslipp

Det er i energibransjen ulike oppfatninger rundt hvordan klimagassutslippet skal beregnes for ulike energikilder. Det finnes ingen offentlige standarder, eller lignende som beskriver hvilke verdier som skal legges til grunn. Man finner snarere at forutsatte verdier varierer betydelig i utvalgte offentlige publikasjoner. Forutsetninger gjort under er derfor ingen fasit, og vil kunne være gjenstand for diskusjon.

For elektrisitet vil mange hevde at det ikke skal regnes klimagassutslipp, da

*«CO<sub>2</sub>-utslippene fra kraftsektoren i Europa, inklusive Norge, er regulert gjennom EUs kvotehandelssystem – EU emissions trading system (ETS). Det innebærer at økt bruk av elektrisitet ikke fører til økte utslipp av CO<sub>2</sub>, bare økte priser på CO<sub>2</sub> og derigjennom økte priser på elektrisitet, slik at det blir lønnsomt å gjennomføre tiltak som reduserer utslippene av CO<sub>2</sub>.*

*«Dette innebærer at når en bedrift eller enkeltperson skal ta en beslutning om valg av energiløsning, så er det konsekvensene for energisystemet som er viktig mht. utslipp av klimagasser. Når man velger elektrisitet så vil ikke det medføre økte utslipp av CO<sub>2</sub> – fordi utslippene er regulert på produsentleddet gjennom ETS»* ([www.energinorge.no](http://www.energinorge.no)).

Andre mener at det skal legges til grunn en norsk, nordisk eller europeisk miks for bruk av elektrisitet. Det er svært sannsynlig at de ulike el.miksene vil endre seg i årene som kommer, i takt med innføring av stadig større grad av fornybar kraftproduksjon.

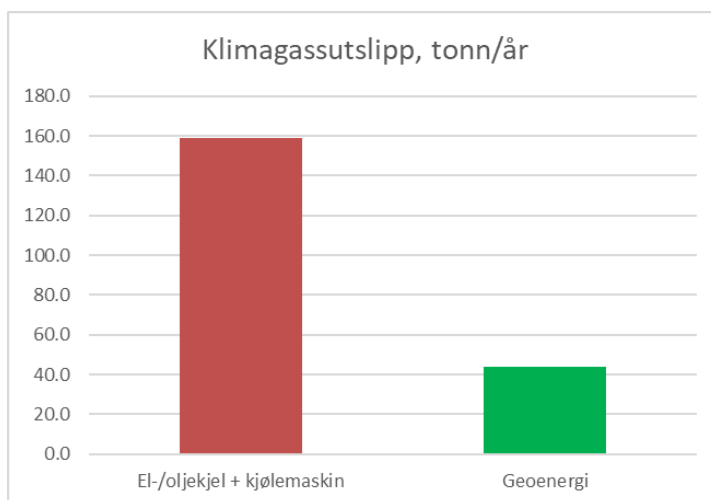
I denne rapporten er det for elektrisitet lagt til grunn et klimagassutslipp på 50 g/kWh (CO<sub>2</sub>-ekvivalenter), som omtrent tilsvarer norsk miks. For oljekjel er det regnet 330 g/kWh. For eksisterende energisentral er det antatt at oljekjelen benyttes lite, og at ca. 5 % av det totale varmebehovet for prosjektet dekkes av oljekjel.

### 11.2 Resulterende klimagassutslipp, varme- og kjøleproduksjon

Ovennevnte gir følgende forenklete beregning av klimagassutslippet knyttet til varme- og kjøleproduksjon:

Tabell 13 Beregning av klimagassutslipp fra varme- og kjøleproduksjon

Oppvarming + kjøling	Kjøpt energi, kWh/år	CO <sub>2</sub> -ekvivalent, g/kWh	Klimagassutslipp, tonn/år
Elkjel (95%) + oljekjel (5%) + kjølemaskin	2 502 500	50+330+50	158.9
Geoenergi	882 500	50	44.1



Figur 16 Klimagassutslipp, varme- og kjøleproduksjon

Referanse (rød søyle):

Eksisterende bygningsmasse med el-/oljefyring som i dag. Ny skole og flerbrukshall oppvarmet elektrisk.

Geoenergi (grønn søyle):

Som foreslått i denne rapporten

Årlig reduksjon av klimagassutslipp med geoenergi tilsvarer utslippet fra ca. 100 gjennomsnittlige norske personbiler (75-80 g/km).

## 12 Presiseringer og anbefalt videre fremdrift

Beregninger, konklusjoner og anbefalinger i denne rapporten er i stor grad basert på antakelser og foreløpig kunnskap om prosjektet, antatt energi-/effektbehov, osv. Betydelige endringer i disse forutsetningene vil også kunne endre våre konklusjoner og anbefalinger.

I det videre arbeidet med prosjektet må det gjøres en grundigere gjennomgang av reelle energi-/effektbehov, hvilke temperaturkrav, osv. som skal legges til grunn for dimensjonering av geoenergianlegget.

For valg av én eller to energisentraler bør det gjøres en mer detaljert vurdering rundt kost/nytte, arealbehov, etc., hvor også muligheter for bruk av CO<sub>2</sub>-varmepumpe ses nærmere på. Foreløpig tror vi at en løsning med én felles energisentral vil være å foretrekke.

For optimalisering og endelig dimensjonering av energibrønnparken bør følgende utføres:

- Revidere/kvalitetssikre energi-/effektbehov til oppvarming og kjøling, optimal varmepumpeytelse, resulterende energi-/effektbelastning, etc. når flere opplysninger om hele prosjektet er kjent
- Vurdere mulige kilder for aktiv lading av brønnparken, f.eks. gjennom etablering av arealer for kombinert snøsmelt/solfanger (felt 3 nevnes av kommunen som et areal hvor dette kunne vært aktuelt), lavtemperatur energifangere på tak av nybygg, etc.

Dersom eksisterende energisentral i videregående skole viser seg å være for liten, må det evt. ses på muligheter for en frittstående energisentral.

Ved konvertering fra elkjel/oljekjel til varmepumpe/elkjel øker behovet for tilført effekt betydelig. Dersom dette viser seg spesielt utfordrende og kostbart i dette prosjektet, kan det vurderes å benytte en kjel basert på bioolje som spisslast/backup for varmepumpe.

Det bør også vurderes om det over anleggets levetid vil være lønnsomt å vurdere en høyere effektdekning for installert varmepumpe (reduserer kostbare effekttopper).

## 13 Kravspesifikasjon - geoenergianlegg

Under er listet noen hovedpunkter som typisk bør inngå i en kravspesifikasjon for et geoenergianlegg.

### 13.1 Varmeproduksjon

For varmeproduksjon skal følgende krav være oppfylt og dokumentert:

- Endelige varmebehovsberegninger (behov for produsert energi/effekt fra energisentral) skal utføres av entreprenør.
- Varmepumpe skal dekke minimum 90 % av det totale årlige beregnede varmebehovet.
- Varmepumpe/kjølemaskin skal ha kuldemedium med  $GWP < 150$
- Varmepumpe skal ha en årsvarmefaktor på minimum 3,5. Dette skal i drift kunne dokumenteres ved bruk av energimålere for totalt levert varme fra varmpumpe og totalt tilført strøm til varmpumpe.
- Som spisslastkjel/backup skal benyttes *elektrokjel*. Kjelen skal dekke 100 % av dimensjonerende brutto effektbehov til oppvarming, for oppdekking dersom varmpumpe midlertidig skulle være ute av drift ved dimensjonerende forhold.

### 13.2 Kjøleproduksjon

For kjøleproduksjon skal følgende krav være oppfylt og dokumentert:

- Endelige kjølebehovsberegninger (behov for produsert energi/effekt fra energisentral) skal utføres av entreprenør.
- Kjøling skal i størst mulig grad produseres via frikjøling fra brønner. Dette skal bla. sikres ved at distribusjonssystemet dimensjoneres for høyest praktisk mulig temperaturnivå, f.eks. T/R= 12/17 °C.
- Dersom frikjøling iht. reviderte energi-/effektberegninger skulle vise seg å ikke være tilstrekkelig ved dimensjonerende forhold, skal kjølebehovet (når frikjøling ikke rekker) dekkes fra varmpumpe/kjølemaskin. Dette kan gjøres basert på følgende alternative prinsipper:
  1. Dumping av overskuddsvarme fra kondensator via dumpeveksler som er koblet mot brønnpark. Varmepumpe/kjølemaskin dimensjoneres for hele kjølebehovet.
  2. Frikjøling benyttes som grunnlast. Varmepumpe/kjølemaskin dimensjoneres for topplast. Dumping av overskuddsvarme fra kondensator gjøres mot f.eks. tørrkjølere.

### 13.3 Brønnpark

Brønnparken skal dimensjoneres basert på resultater fra utført termisk responstest og ut fra følgende forutsetninger:

- Gjennomsnittlig temperatur (T/R) i kollektorer skal etter 20 års drift ikke være lavere enn *ca. minus 2 °C* ved dimensjonerende varmpumpedrift.
- Ved evt. dumping av kondensatorvarme mot brønner (alt. 1 over) skal gjennomsnittlig temperatur (T/R) i kollektor ikke overstige 30 °C ved dimensjonerende sommerforhold.
- Energibrønnpark (plassering av samlekommer, valg av dimensjoner, etc.) skal designes slik at trykkfall (pumpeenergi) optimaliseres (kost/nytte).
- 45 mm kollektorer skal alltid vurderes ved dype brønner og lange strekk mellom brønntopper og samlekom.
- Det anbefales generelt å benytte HX124 (med inhibitor) som frostvæske i kollektorsystemet for brønner < ca. 350 meter dybde

Ovennevnte skal dokumenteres vha. simuleringer, for eksempel ved bruk av programmet Earth Energy Designer (EED), program for trykkfallsberegninger, etc.

### 13.4 Automatikk

Styring av varmpumpe/kjølemaskin, spisslastkjel, etc. er en kritisk faktor for å oppnå et vellykket geoenergianlegg. Det anbefales at leverandør av varmpumpe/kjølemaskin også leverer, eller legger premisene for automatikkanlegget for varme- og kjøleproduksjon, da dette normalt gir det beste sluttresultatet. Produksjonsanlegget må instrumenteres tilstrekkelig til at COP/årsvarmefaktorer, energidekningsgrader, etc. kan logges og dokumenteres.

