



Drammen Eiendom KF

Sluttrappport Fjell2020 konseptutredning miljøløsninger

Utgave: 2

Dato: 17.10.2017

DOKUMENTINFORMASJON

Oppdragsgiver:	Drammen Eiendom KF
Rapporttittel:	Sluttrapport Fjell2020 konseptutredning miljøløsninger
Utgave/dato:	2/ 17.10.2017
Filnavn:	Sluttrapport Fjell2020 konseptutredning miljøløsninger.docx
Arkiv ID	
Oppdrag:	614487-01–Bistand grunnvarme - energilagring
Oppdragsleder:	Randi Kalskin Ramstad
Avdeling:	Vann og miljø
Fag	Miljø og hydrogeologi
Skrevet av:	Randi Kalskin Ramstad, Henrik Holmberg, Lars Bugge og Mari Helen Riise
Kvalitetskontroll:	Lars Bugge
Asplan Viak AS	www.asplanviak.no

FORORD

Asplan Viak har vært engasjert av Drammen Eiendom KF for å bistå med en konseptutredning om lagring av høytemperatur termisk varme i borehull. Geir Andersen har vært Drammen Eiendom sin kontaktperson. Monika Pedersen, Rune Simensen og Trond Ragnar Haugan har også deltatt i arbeidet for Drammen Eiendom.

Henrik Holmberg, Lars Bugge, og Mari Helen Riise har i tillegg til oppdragsleder Randi Kalskin Ramstad arbeidet i oppdraget på vegne av Asplan Viak.

Stjørdal, 17.10.2017

Randi Kalskin Ramstad

Oppdragsleder

Lars Bugge

Kvalitetssikrer

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Sammendrag.....	4
2	Innledning.....	5
3	Innovasjon - kompetanseutvikling	5
3.1	Innovasjon.....	5
3.2	Kompetanseutvikling.....	6
4	Områdebeskrivelse og geologi.....	6
5	Generelt om varmelagring i borehull	8
5.1	Planlagt høytemperatur lager i Linköping	9
5.2	Erfaringer fra energilageret i Emmaboda i Sverige	9
6	Beskrivelse av foreslått løsning.....	12
6.1	Geotermos og lading.....	12
6.2	Termisk energibehov ved Fjell skole.....	16
6.3	Energibruk til sirkulasjon av kollektorvæske i brønnparken	16
6.4	Isolering av Geotermos (overflate) og kulvert	16
6.5	Vindmøller.....	17
7	Tilgjengelig energi	17
7.1	Solenergi – potensial for solvarme og solstrøm.....	17
7.2	CO ₂ -varmepumpe	19
7.3	Oppsummering av varmeproduksjon	19
8	Beregninger av energilageret med EED (Earth Energy Designer).....	20
8.1	Forutsetninger for beregningen med EED	20
8.2	Resultater fra beregning med EED	21
9	Kostnadsestimat Geotermos.....	23
10	Oppsummering og anbefalinger	24
11	Referanser.....	26

1 SAMMENDRAG

Denne konseptutredningen anbefaler videre utviklingsarbeid med energiløsningene beskrevet i Fjell 2020, fortrinnsvis i form av en detaljprosjektering. Konseptet er innovativt og kan få stor betydning for nasjonal kunnskapsbygging om termisk energilagring i borehull i fjell. Vi mener at potensialet for lønnsom varmeproduksjon er tilstede, og for å skaffe bedre grunnlag for vurdering av energi- og effektkostnader, er det viktig å bygge noen prøveanlegg.

Hovedkonseptet i Fjell 2020 er termisk lagring av varme (solvarme og annen overskuddsvarme) i borehull i fjell for direkte bruk i lavtemperatur varmedistribusjonsanlegg (gulvvarme). Varmebehovet til oppvarming ved Fjell skole planlegges dekket med varme levert direkte fra energibrønnene uten bruk av varmepumpe. Drammen Eiendom har gitt energilageret ved Fjell skole navnet Geotermos.

Varme til forsyning (lading) av Geotermosen vil komme dels fra solfangere og dels fra varmepumpe. El-forsyningen til varmepumpen vil komme dels fra solceller og dels fra nettet. Gitt en effektfaktor på 3-4, vil de variable enhetskostnadene for forsyning til Geotermosen være om lag 10-15 øre/kWh. I dette ligger bruk av el i perioder når nettleien (effektledet) er lav.

I investeringen vil det være merkostnader på solceller, solfangere og opplading av Geotermosen. Investeringen i energibrønner er lavere fordi brønnene utnyttes bedre per meter sammenlignet med vanlige energibrønner. Varmepumpen blir også mindre på grunn av lengre brukstid sammenlignet med opprinnelig prosjektert varmepumpe i tradisjonell energibrønn-løsning. Men totalt sett i en slik innovativ løsning må det legges inn ekstra tiltak som gir en merkostnad på investeringen.

Geotermos har potensial til å utnytte solenergi i fyringssesongen til konkurransedyktige enhetskostnader. I fremtiden kan denne lønnsomheten være knyttet til times- og sesongvariasjoner i el-pris, blant annet fordi man nettopp kan la være å etterspørre el i høyprisperioder. I tillegg vil Geotermosen representere en termisk effektreserve som også har verdi, kanskje hovedsakelig på systemnivå i el-nettet. Denne verdien er ikke forsøkt kvantifisert her, men bør undersøkes videre.

Nøye effekt- og energistyring og oppfølging i Drammen Eiendom sitt SD-anlegg og EOS-system er derfor et viktig suksesskriterium for Geotermos og Fjell2020. I tillegg anbefales det å installere fiberoptiske kabler i to tverrsnitt av energilageret for å måle detaljerte temperaturprofilmålinger over tid, dvs. 4D-temperatur for ytterligere dokumentasjon og forskning på borehullsbaserte termiske energilagere i fjell.

Maksimaltemperaturer ved ladingen defineres av energikilden, materialer (kollektor), samt kollektorvæsken (vann). For at konseptet med energilagring skal ha størst mulig kommersielt potensial, anbefales det i første omgang å bruke kommersielt tilgjengelige produkter. For å levere ønsket varmemengde trengs ca. 52 energibrønner á 50 meters dybde. Brønnene plasseres i et sirkulært mønster med 4 meters mellomrom. Siden varmetapet vil være i energilagerets randsoner, legges det vekt på at forholdet mellom volum og overflateareal skal være så stort som praktisk mulig.

For å øke det generelle temperaturnivået fra naturlig nivå på ca. 6-7 °C til opp mot 60 °C i midten av det store bergvolumet kreves det at energibrønnene i energilageret de første årene tilføres betydelig mer varme for å få opp temperaturen før den er i balanse. Avhengig av mengdene tilført og avgitt vil det kunne ta noen år. Også når anlegget er i ordinær drift, kreves det overlading (tilførsel av mer varme enn det tas ut) for å kompensere for varmetapet i energilagerets randsoner. Hvor stort varmetapet vil være er usikkert, men det vil være

betydelig. Det må derfor vurderes mengde og løsning på dette videre. Hvis hoveddelen av varmetapet kan "blokkeres" med lavtemperaturrenergi som «gratis varme» fra uteluft mellom 15 – 20°C, så kan det være et viktig element for å få ned kostnader som har tilknytning til varmetapet. Isolering på overflaten over brønnene, kontroll med eventuell grunnvannsbevegelse, og styring av temperaturene i det ytterste skallet i Geotermosen vil være viktig for å minimalisere varmetapet i randsonene. For å lykkes med konseptet, forutsettes tilgang til billig varme og lave driftskostnader ved flytting av varmen (dvs. lave pumpekostnader). De første årene anbefales det at man bruker varmepumpen tilknyttet de 15 ordinære frikjølingsbrønnene (280 m dype) for å supplere varmeproduksjonen til bygget og som beredskap. Varmepumpen kan enten hente varme fra frikjølingsbrønnene og/eller fra brønnene i Geotermosen. Bruken av varmepumpen vil reduseres med tiden ettersom temperaturen i energilageret øker nok til at brønnene kan brukes direkte i oppvarmingen.

Ved Fjell skole legges det opp til bruk av solfangere for direkte bruk og lading av energibrønnene, samt solceller som et betydelig tilskudd for drift av en CO₂-varmepumpe (200 kW) for produksjon av varme. Energi vil også tas ut av byggene (kjøling) og varmepumpen vil benytte uteluft i energiproduksjonen for lading brønner. Det skal installeres en elkjel for å dekke et eventuelt spisslastbehov, men primært for beredskap.

2 INNLEDNING

Denne rapporten er utarbeidet av Asplan Viak på oppdrag fra, og i tett samarbeid med Drammen Eiendom KF, og er sluttrapporten for Fjell 2020 konseptutredning miljøløsninger. Prosjektet Fjell 2020 fikk støtte av Enova til en konseptutredning for bygg i januar 2017. Prosjektets saksnummer hos Enova er **16/8056**. Det vises til beskrivelsen av prosjektet datert 14.11.2016 av Geir Andersen i Drammen Eiendom KF vedlagt søknaden *Konseptutredninger*.

Målet med prosjektet er å sette sammen kjente løsninger på en ny måte og integrere disse godt sammen. Drammen Eiendom har god kompetanse og erfaring med styring og drift av sine mange og innovative energiløsninger i sine bygg. Prosjektet Fjell 2020 bygger videre på denne kompetansen.

Hovedkonseptet i Fjell 2020 er termisk lagring av varme (solvarme og annen overskuddsvarme) i borehull i fjell (Geotermosen) for direkte bruk i lavtemperatur varmedistribusjonsanlegg. Denne konseptutredningen dokumenterer det gjennomførte utredningsarbeidet med tilhørende konklusjoner og anbefalinger. Arbeidet gjennomgår teknologien, oppnådd innovasjon, enkle kostnadsestimater, kompetanseutvikling, og mulig potensial til miljøvennlig energiproduksjon, energibesparelse og/eller klimagassreduksjon nasjonalt og internasjonalt.

3 INNOVASJON - KOMPETANSEUTVIKLING

3.1 Innovasjon

I dette prosjektet kombineres kjente teknologielementer som hver for seg er vel utprøvd. Utover demonstrasjonsanlegget ved NMBU på Ås som er i oppstartsfasen (Heyerdal 2017), er det ikke kjent at det finnes eksisterende systemer for å levere varme direkte fra energibrønnene (Geotermosen) til lavtemperatur varmesystemet (gulvvarme) i Norge.

Å høste solvarme på sommerdager er forholdsvis enkelt og rimelig. Hovedutfordringen med solvarme er å skape systemer slik at den kan nyttiggjøres. Her er sesonglagring et sentralt stikkord.

Det å utnytte sesonglagret varme inngår også i prosjektet, i første rekke ved at man legger til grunn såpass lave temperaturer som 25 grader C i gulvvarmeanlegg. Dette innebærer også at varmesløyfer i de rehabiliterte gulvene legges langt tettere enn vanlig for å oppnå tilstrekkelig varmetransport/effekt.

Høye temperaturer i varmelageret byr på utfordringer for kollektorløsningen. Tradisjonelt lages U-kollektorer i PE-rør, hylleware for de fleste geoenergi- og VA-formål. Forskjellen oppstår nå man beveger seg opp i temperaturer på 60 grader C. Da trengs det det mest sannsynlig plastmaterialer av høyere kvalitet.

Sesongvarmelagre er i og for seg kjent teknologi, men likevel lite brukt. Hovedforklaringen henger mest sannsynlig sammen med anleggskostnadene, og uvisshet omkring yteevne. Som det fremgår senere i denne rapporten, er varmetapet fra Geotermosen usikkert. Men dersom kostnadene kan holdes tilstrekkelig lave er det likevel interessant,- nettopp fordi solenergi i seg selv nesten er gratis, samt at ekstra energi til varmepumpen kan hentes når effektledet og energiprisen er minimal.

Forenkling av systemer er også et tema i dette prosjektet. Dersom varmelageret kan bygges tilstrekkelig billig, vil man kunne tilpasse størrelsen slik at lageret vil kunne tilføre varme som dekker alle aktuelle temperaturnivå gjennom fyringssesongen,- uten assistanse fra en varmepumpe. På Fjell skole vil man uansett installere varmepumpe, men likevel vil prosjektet kunne gi verdifulle erfaringer på hvordan man i fremtidene vil kunne prosjektere anlegg uten varmepumpe.

3.2 Kompetanseutvikling

Interessen for sesonglagring av varme øker, både når det gjelder mindre og større anleggstyper. Bakgrunnen er utnyttelse av solenergi, men også andre energiressurser som avfall og bioenergi. I Linköping i Sverige arbeides det med et anlegg på ca. 1500 brønner knyttet til byens fjernvarmesystem. Fortum Oslo Varme (tidligere Hafslund) har signalisert interesse for sesonglager, dels for å utnytte bedre varme fra avfallsforbrenning om sommeren, og dels som et tiltak for å skaffe effektreserve i fjernvarmenettet i Oslo. Sesonglagring av solvarme for eneboliger og oppover er under utvikling på NMBU, der man blant annet jobber med et demonstrasjonsanlegg på universitetsområdet.

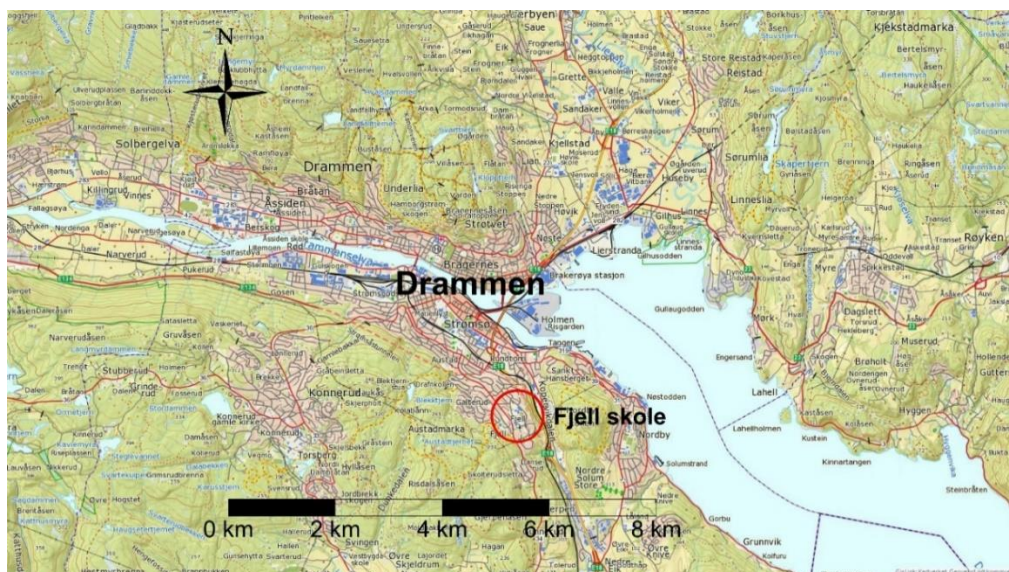
Gitt interessen vi ser for denne teknologien, vil prosjektet på Fjell kunne bidra med viktig kunnskap og erfaring for videre utvikling. I dette ligger også videreutvikling av dimensjonering av energilager med ulike simuleringsverktøy, f.eks. Earth Energy Designer (EED).

4 OMRÅDEBESKRIVELSE OG GEOLOGI

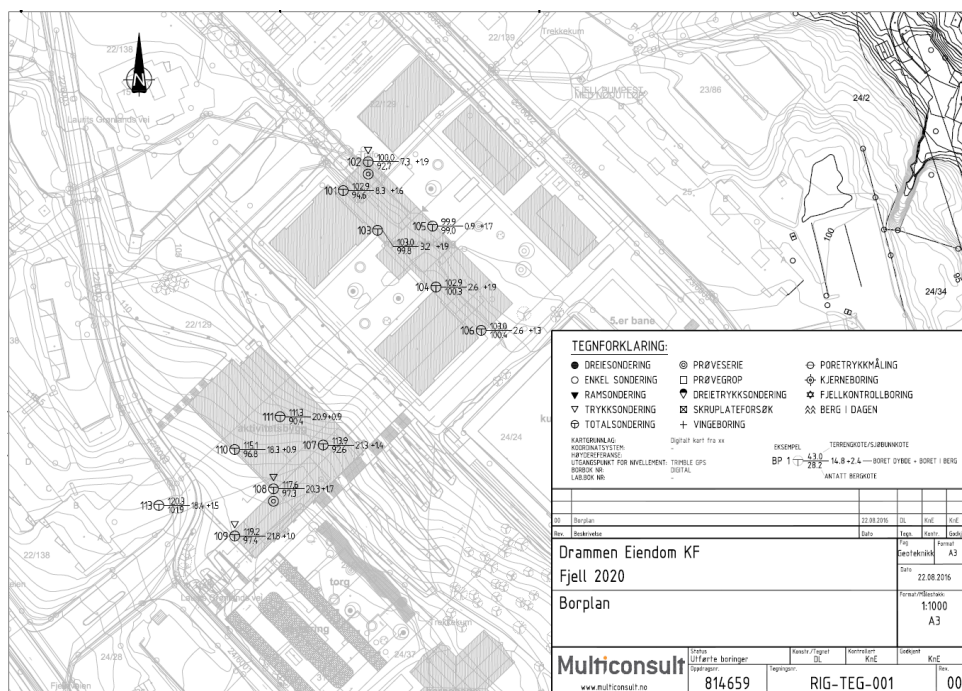
Fjell skole er lokalisert i Drammen kommune i Buskerud fylke, se plassering på kartet i figur 1. Berggrunnen er av Norges geologiske undersøkelse (NGU) kartlagt til å være granitt (drammensgranitt), mens kvartærgeologisk kart viser at det øverste løsmasselaget er fyllmasser. Geotekniske boringer foretatt av Rambøll (2011) og Multiconsult (2016) viser at de øverste 2-3 m av løsmassene består av fyllmasser eller tørrskorpeleire, og deretter middels faste og middels sensitive siltige leirmasser ned til fjell. I noen borpunkter er det registrert et fastere morenelag nær berg/fjell. Dybde til fjell varierer mellom ca. kote +102 til +90, dvs. fra 0,5 til ca. 23 m tykkelse av løsmasser over fjell. Se kart i figur 2 for nærmere

detaljer om dybde til fjell. Ingen av prøvene eller sonderboringene tatt av Rambøll og Multiconsult viser kvikkleire. Ifølge Multiconsult vil de mest kritiske massene være de middels sensitive, og middels faste siltige leirmassene.

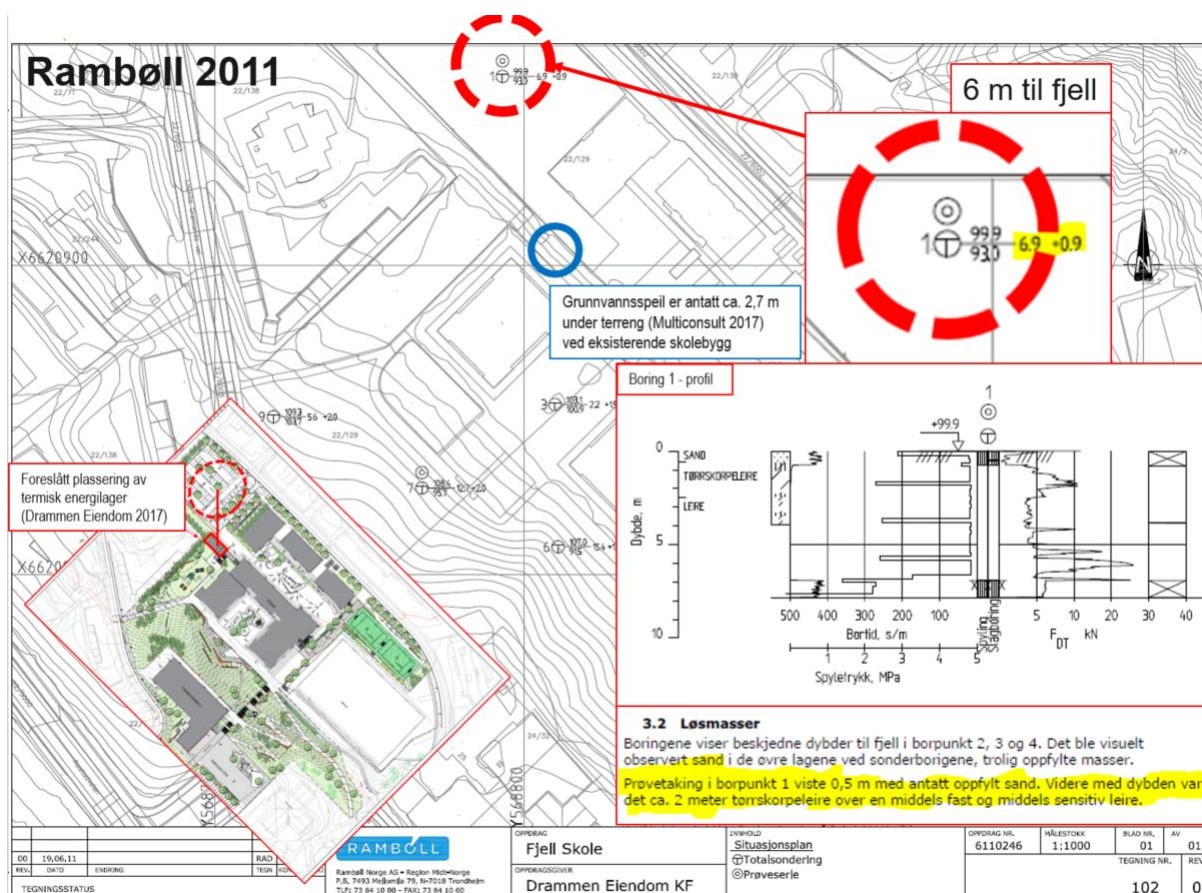
Figur 3 viser foreslått plassering av det borehullsbaserte termiske energilageret (Drammen Eiendom 2017) sammen med geoteknisk informasjon fra Rambøll (2011) og Multiconsult (2017). Den geotekniske boringen (totalsonderboring nr. 1 i Rambøll 2011) som er gjort på parkeringsplassen der det borehullsbaserte termiske energilageret foreslås plassert, viser at det er ca. 6 meter til fjell. Massene består av sand øverst, og 2 m tørrskorpeleire over en middels fast og middels sensitiv leire. Grunnvannsstanden er antatt utfra observasjon fra boreformannen til å være 2,7 m under terreng ved eksisterende skolebygg (Multiconsult 2017).



Figur 1. Fjell skole i Drammen kommune.



Figur 2. Boringer foretatt av Multiconsult i 2016. Teksten til høyre for hvert borpunkt viser boret dybde + boret dybde i berg.



Figur 3. Sammensatt informasjon fra Rambøll (2011), Multiconsult (2017) og Drammen Eiendom (2017) som viser foreslått plassering av det borehullsbaserte energilageret i fjell, geotekniske borer i området og antatt grunnvannspeil. Den geotekniske boringen (totalsonderboring 1 i Rambøll 2011) som er gjort på parkeringsplassen der det borehullsbaserte termiske energilageret foreslås plassert, viser at det er ca. 6 meter til fjell. Massene består av sand øverst, og 2 m tørrskorpeleire over en middels fast og middels sensitiv leire.

5 GENERELT OM VARMELAGRING I BOREHULL

Et borehullsbasert energilager (BTES–Borehole Thermal Energy Storage) lages ved å plassere borehullene relativt nære hverandre og typisk ca. 4 til 7 m. Størrelsen på energilageret og temperaturnivået avgjør hvor stort varmetapet til omgivelsene blir. Varmetapet vil være minst i energilagre der:

- Volumet er størst mulig sammenlignet med energilagerets overflateareal.
- Temperaturforskjellen mellom omgivelsene og energilageret er liten.

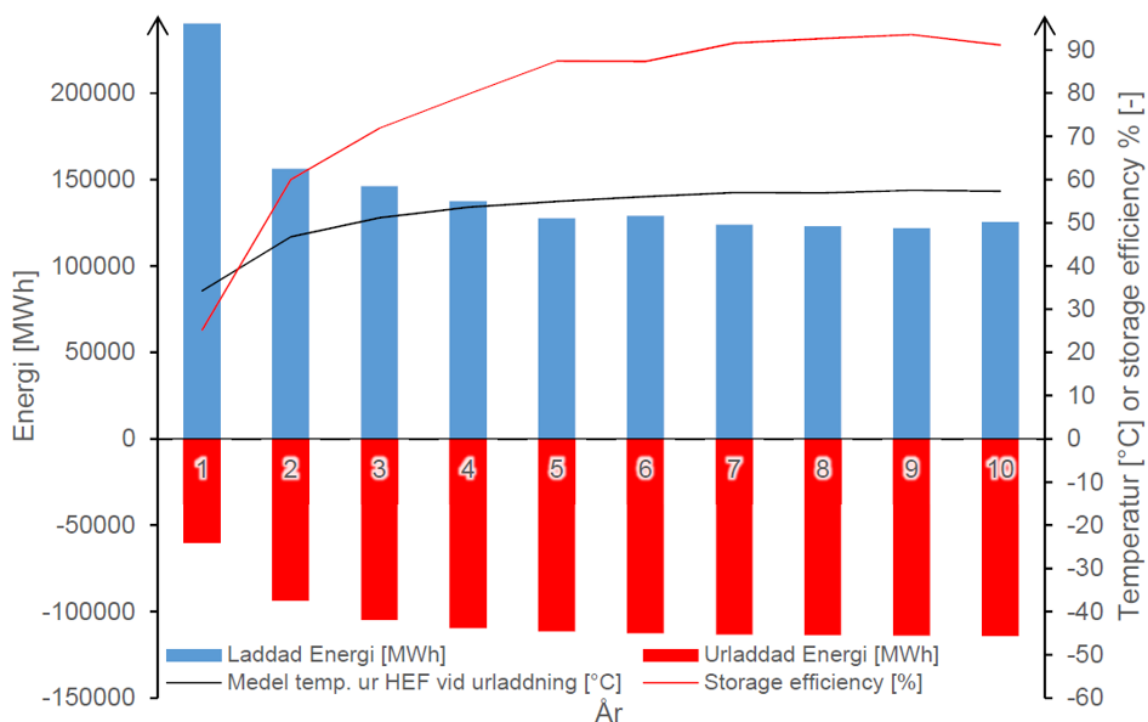
Temperaturen er lavest og varmetapet er størst i de ytterste borehullene i energilageret. Borehullene i midten av energilageret vil ha høyest temperatur og minst varmetap. For å lage energilageret mest mulig effektivt kan flere relativt grunne brønner kobles sammen i serie fra midten og ut. Varmen tilføres da i midten og kollektorvæsken kjøles av når den sirkulerer gjennom flere seriekoblede brønner mot utkanten av brønnparken. Når varme skal hentes ut fra lagret, sirkulerer kollektorvæsken andre veien, og varmes opp mot midten av lagret. Borehullslagerene ved Drake landing i Canada og Crailsheim i Tyskland er eksempel på energilager med seriekoblede brønner (IEA 2015).

Energilageret kan også deles opp i flere soner eller skall slik at de ulike temperaturnivåene kan brukes til ulike formål (eksempelvis gulvvarme og ventilasjonsvarme). Innenfor de ulike sonene kan brønnene seriekobles. Fordelen med å koble flere brønner sammen i serie er

også at det reduserer antall rør fram til brønnparken samt reduserer mengden kollektorvæske som må sirkulere gjennom systemet.

5.1 Planlagt høytemperatur lager i Linköping

Figur 4 fra Lindståhl (2017) viser nøkkeltall for en simulering for de 10 første driftsårene av et høytemperatur energilager ved Tekniska Verken i Linköping i Sverige hvor det for tiden pågår forundersøkelser. Anlegget er ikke bygget ennå. Simuleringen av det planlagte energilageret legger til grunn 1500 energibrønner á 300 meters dybde og 3 brønner i serie. Avstanden mellom borehullene er 5 meter. For å øke temperaturen i berget til ønsket nivå (ca. 58 °C), må brønnene lades med til dels betydelig mer varme enn det tas ut de første årene. Det første driftsåret lades borehullene med ca. 4 ganger så mye energi som det tas ut, og denne energimengden tilsvarer over dobbelt så mye energi som ved normalt uttak fra ca. 5 år og utover. I løpet av de første 4 årene er energilageret tilført nesten dobbelt så mye energi som det tas ut. Etter 5 år er det balanse mellom varmeuttaket fra og varmetilførselen til borehullene (hhv. røde og blå stolper) og gjennomsnittstemperaturen i lageret er mellom 50-60 °C (svart linje). Lagringseffektiviteten (rød linje) er beregnet til å være 80-90% etter 4-7 år, det vil si at varmetapet fra energilageret er 10-20 % og at dette avtar med årene.



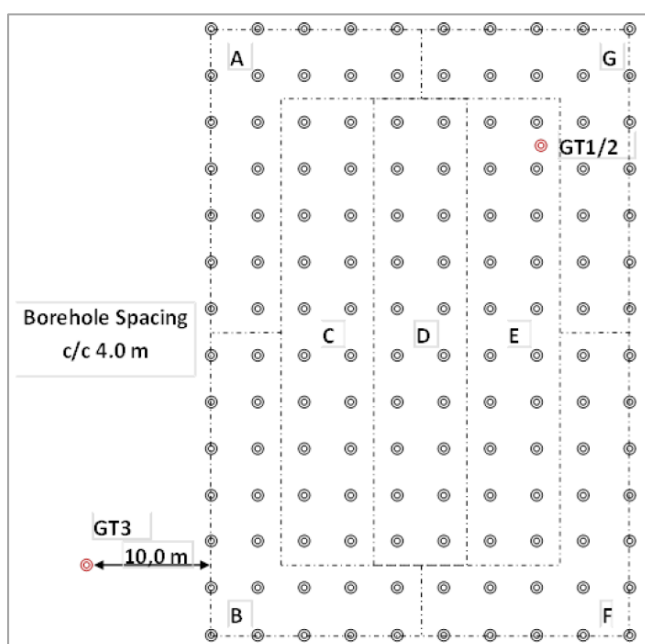
Figur 4. Figuren er hentet fra Lindståhl (2017) og viser nøkkeltall for en simulering for de 10 første driftsårene av et høytemperatur energilager ved Tekniska Verken i Linköping i Sverige. De første årene lades borehullene med til dels betydelig mer varme enn det tas ut. Etter 5 år er det balanse mellom varmeuttaket fra og varmetilførselen til borehullene (hhv. røde og blå stolper) og gjennomsnittstemperaturen i lageret er mellom 50-60 °C (svart linje). Lagringseffektiviteten (rød linje) er beregnet til å være 80-90% etter 4-7 år, det vil si at varmetapet fra energilageret er 10-20 % og at dette avtar med årene.

5.2 Erfaringer fra energilageret i Emmaboda i Sverige

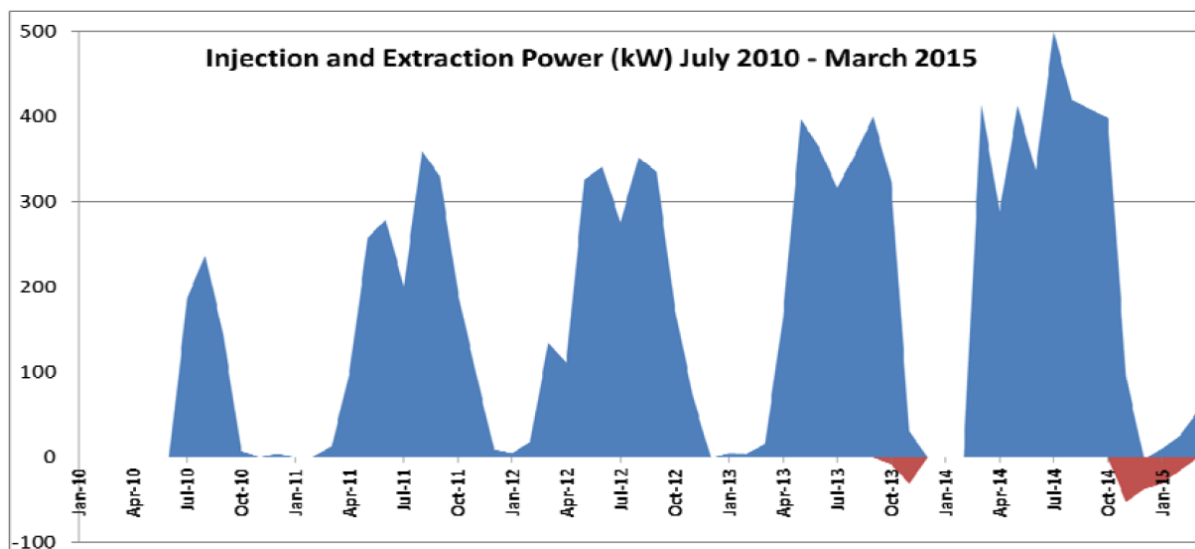
Avsnittet er basert på Nordell m.fl. (2015 og 2014), samt Andersson m.fl. (2009).

Energilageret i Emmaboda i Sverige ble etablert i 2010 og består av 140 brønner som er 150 meter dype. Avstanden mellom brønnene er 4 meter, og brønnene er plassert i et rektangelmønster med 10×14 brønner (figur 5). Borehullslagerets volum er $40 \times 56 \times 144 = 322\,560 \text{ m}^3$ (Nordell m.fl. 2014). Energilageret er en integrert del av energisystemet ved Xylem Water Solutions AB i Emmaboda. Xylem produserer senkepumper og hele produksjonsprosessen har mye overskuddsvarme fra forskjellige kilder. Energilageret er designet for korttids- og sesonglagring av overskuddsvarme tilsvarende 3800 MWh/år ved en temperatur på 60-65 °C. Temperaturene ved uttak fra energilageret forventes å være 40 °C (Andersson m.fl. 2009). Varmetapet i energilageret er beregnet til 1200 MWh/år, og gjenvunnet og nyttiggjort varme blir derfor 2600 MWh/år. De geologiske forholdene ved Emmaboda er tilnærmet like forholdene på Fjell skole i Drammen. Ved Emmaboda består berggrunnen av granodioritt, og et 5-10 m tykt løsmassedekke av morene. Effektiv varmeledningsevne i to testborehull til 150 m var henholdsvis 2,8 og 3,2 W/m,K, og naturlig/uforstyrret temperatur i berggrunnen er 8 °C.

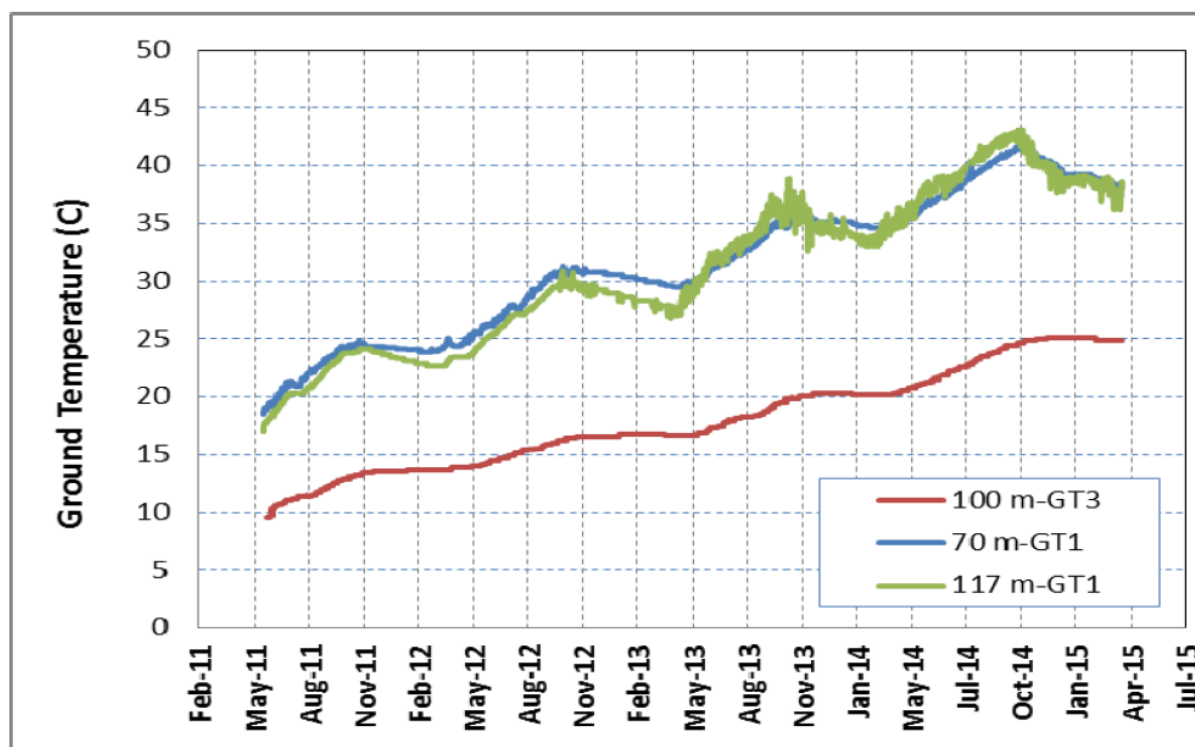
Siden 2010 er det totalt tilført ca. 10 GWh i borehullene og kun en liten varmemengde er hentet ut fra energilageret (174 MWh). Figur 6 viser at den årlige varmelagringsmengden har økt fra 581 MWh (2010), 1845 MWh (2011), 2149 MWh (2012), 2377 MWh (2013), 3271 MWh (2014) og 91 MWh fram til i mars 2015. I 2015 forventes det at man klarer å tilføre lageret designet varmelagringsmengde på 3800 MWh. Lagerets temperatur nådde i 2015 40-45 °C (se figur 7). Plasseringen av temperaturmålepunktet GT1 i energilageret, henholdsvis ved 70 og 117 meters dybde er vist i figur 5. Temperaturmålepunktet GT3 er plassert 10 m utenfor energilageret, og her er temperaturen ca. 12-16 grader lavere enn ved GT1 inne i lageret. Driftserfaringen viser også at simulert og målt temperatur avviker der målt temperatur er 4 grader høyere enn simulert. Eneste logiske forklaringen på dette er at man har et borehullsavvik der temperatursensoren i virkeligheten er plassert nærmere energilageret enn i simuleringen. Videre har det de første 2 årene vært noen driftsproblemer hovedsakelig knyttet til gass i kollektorvæsken (vann). Det er montert en koaksialkollektor (rør-i-rør) i energibrønnene. Denne kollektoren har lite varmetap i varmeutvekslingen mellom kollektorvæsken og borehullsvæggen, men er også åpen slik at grunnvannet kan blande seg med vannet i kollektoren/energibrønnene. Av denne grunn forventes noe problemer med utfelling av både jern- og karbonatforbindelser.



Figur 5. Plassering av energibrønnene ved Emmaboda i et rektangulært mønster bestående av 10×14 energibrønner á 150 m (Nordell m.fl. 2015). Avstanden mellom brønnene er 4 m slik at rektangelet blir 36×52 m. Dersom man tar med 2 m på hver side, blir rektangelet 40×56 m tilsvarende et areal på 2240 m².



Figur 6. Månedlig tilførsel av varmeeffekt (blå) og uttak av varmeeffekt (rød) ved Emmaboda energilager fra starten i juli 2010 til mars 2015 (Nordell m.fl. 2015).



Figur 7. Målt temperatur i energilageret i borehullet GT1 (figur 5) ved henholdsvis 70 (blå kurve) og 117 m (grønn kurve), og i borehullet GT3 på 100 m dyp (rød kurve). GT3 er 10 m utenfor energilageret (Nordell m.fl. 2015).

6 BESKRIVELSE AV FORESLÅTT LØSNING

6.1 Geotermos og lading

Hovedelementene i den foreslåtte energiløsningen for Fjell 2020 er:

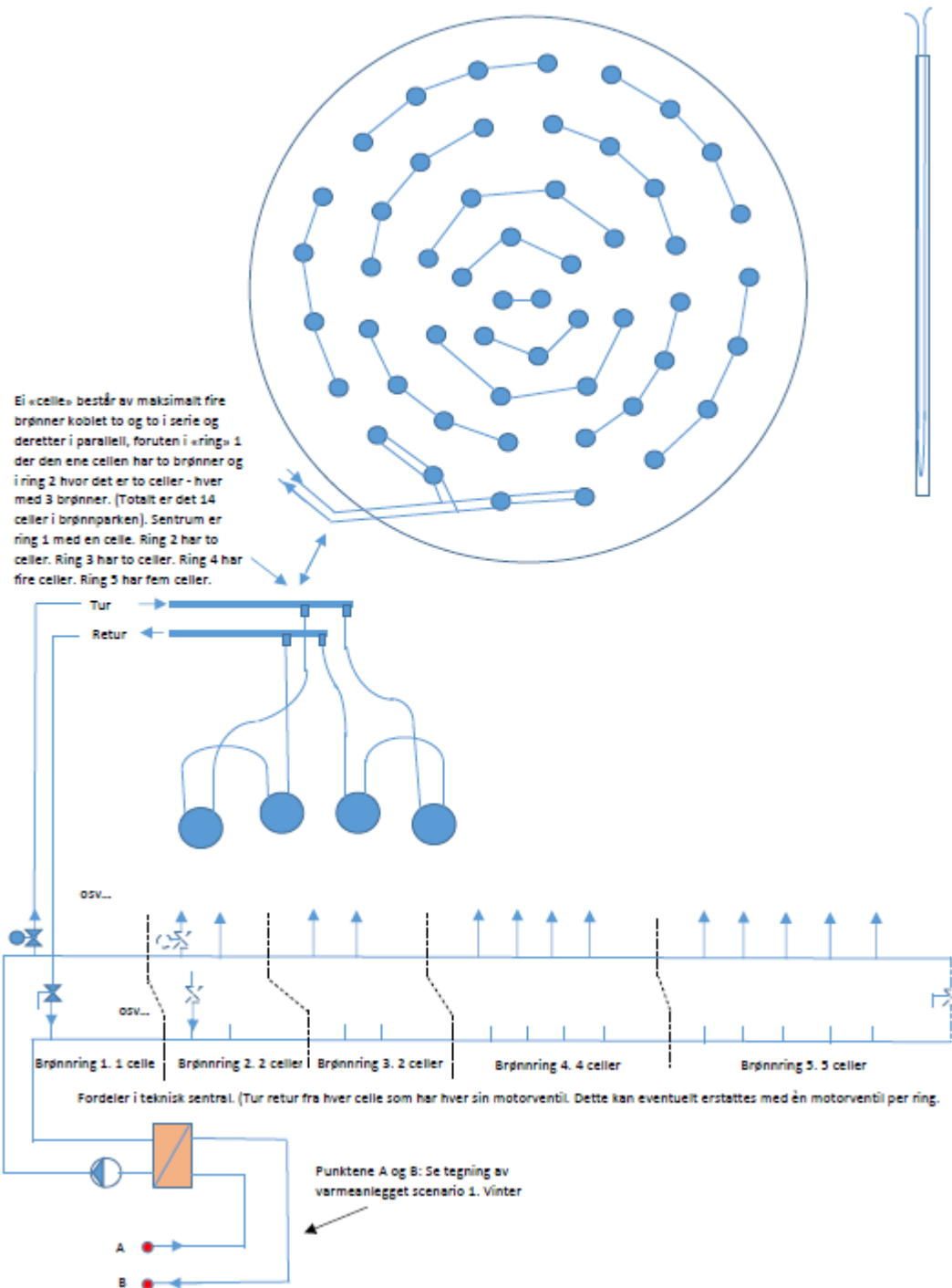
- Borehullsbasert energilager i fjell for sesonglagring av varme med temperatur opp mot 50-60 °C. Borehullslageret skal levere varme til lavtemperatur varmedistribusjon (gulvvarme og ventilasjon) i all hovedsak uten bruk av varmpumpe. Foreløpig er det estimert ca. 52 relativt grunne energibrønner (ca. 50 m). Det termiske lageret skal ha størst mulig volum og minst mulig overflateareal for å minimalisere varmetapet i randsonene. Figur 8 viser en prinsippskisse av borehullslageret kalt Geotermos som Drammen Eiendom har utarbeidet. Energibrønnene fordeles som skall utover fra midten og i hvert skall er 4 brønner koblet i serie. Hensikten med skallene er å drifte energilageret slik at de innerste brønnene brukes direkte til gulvvarme og eventuelt ventilasjonsvarme. De to ytterste skallene vil ha en lavere temperatur og kan brukes indirekte via varmpumpe. Plasseringen av brønnene på området ved Fjell skole går frem av skissen i figur 3.
- Det termiske lagret lades med solvarme fra solfangere og annen overskuddsvarme som for eksempel varme produsert med CO₂-varmpumpen fra uteluft eller fra kjøling av aktivitetsbyggene. CO₂-varmpumpen driftes på tilgjengelig solcellestrøm. Når lageret lades med varme vil den høyeste temperaturen tilføres brønnene i midten av energilageret. Deretter kan de ytterste brønnene lades. Dersom Geotermosen lades med CO₂-varmpumpen brukes de ytterste brønnene for å kjøle ned returtemperaturen til varmpumpen.
- En elkjel dekker spisslastbehovet / beredskap. Den kan også lade Geotermos hvis energiprisen er tilstrekkelig lav (fulle vannmagasiner og mye vindkraft).

Energibrønnene i energilageret utformes med en standard kollektorløsning (U-kollektor), og det er en viktig forutsetning at plasten i kollektoren (PE-RT materiale) tåler en driftstemperatur på 60 °C. For å sikre at temperaturen på kollektorvæsken ikke overstiger 60 °C, anbefales det bruke en akkumulatortank for å utjevne temperaturene fra solfangerne. Alternativt kan kollektorer med høyere driftstemperaturer og/eller bedre varmeoverføringsegenskaper (koaksial-/rør-i-rør kollektor) vurderes.

Tabell 1 viser et anslag av varmelagringspotensialet i det borehullsbaserte energilageret. Anslagene er utført av Drammen Eiendom KF og viser at disponibel energi er ca. 360 000 kWh/år. Dette forutsetter at brønnene i midten er ca. 60 °C og at temperaturen i den ytterste ringen/skallet holdes på 23 °C. Energilageret består av brønner som hver er 50 m dype. Eksempel på aktuelle varmekilder, tilhørende dimensjoner og energimengder fremgår nederst til høyre i tabellen. Ring1-senter til ring 4 tilsvarer alle brønnene i figur 8.

Figur 9 viser et foreløpig systemskjema for varmeanlegget ved Fjell skole (Fjell2020) utarbeidet av Drammen Eiendom. Systemskjemaet viser vintermodus med varme fra solpanelene, geotermosen/energilageret, og varmpumpe (200 kW) med energibrønner. De 15 energibrønnene á 280 meters dybde vil være tilknyttet energisentralen for produksjon av frikjøling. Disse brønnene vil også supplere varmeproduksjonen med ordinær varmpumpedrift.

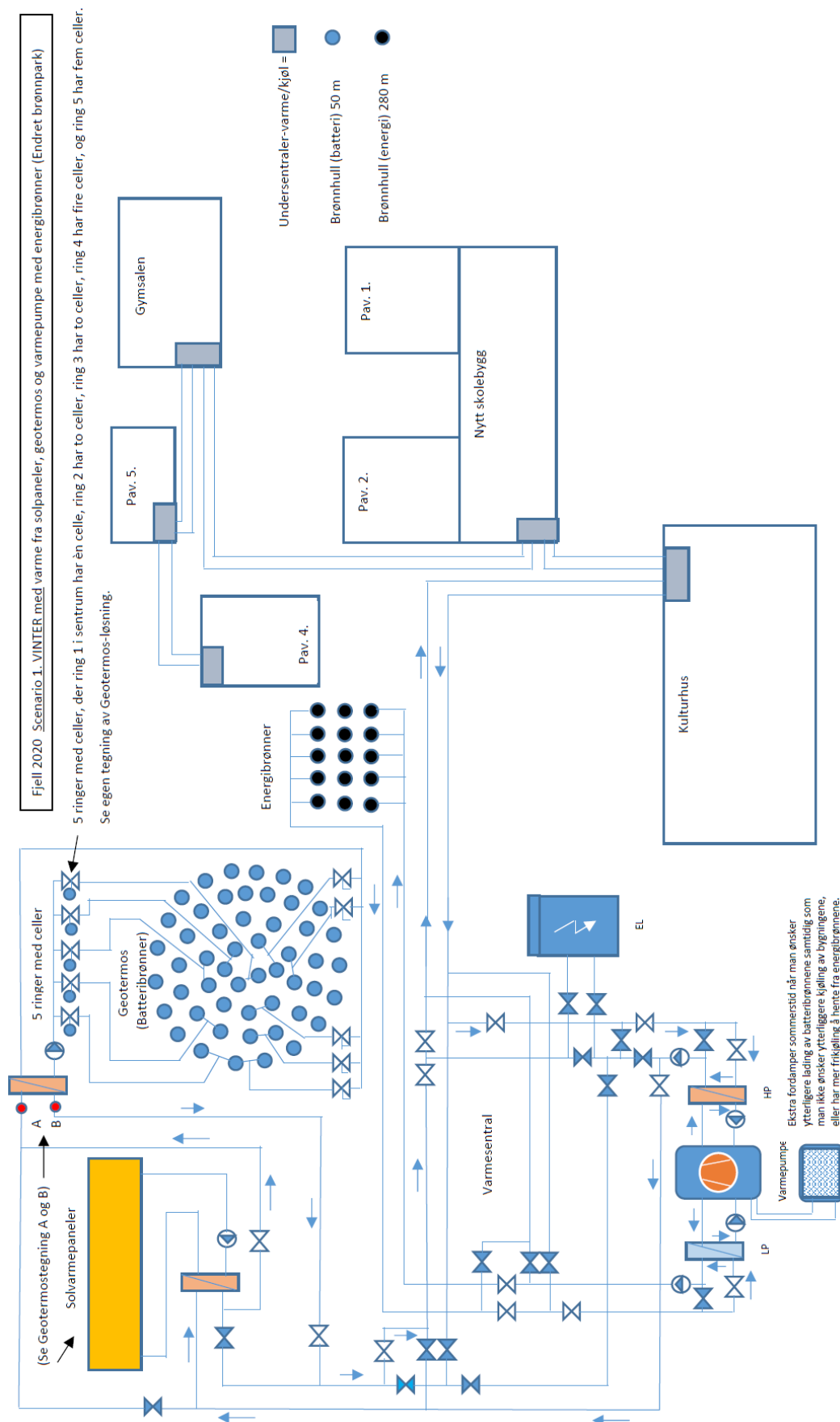
«Geotermos» med 52 brønner - hver på 50 meter, fordelt på 14 separat styrte celler



Figur 8. Prinsippskisse av det borehullsbaserte energilageret kalt Geotermos der 4 brønner er koblet i serie. Forslaget er utarbeidet av Drammen Eiendom.

Tabell 1. Anslag av varmelagringspotensialet i det borehullsbaserte energilageret utført av Drammen Eiendom KF. I anslaget er disponibel energi ca. 360 000 kWh/år. Eksempel på aktuelle varmekilder, tilhørende dimensjoner og energimengder fremgår nederst til høyre i tabellen. Ring1-senter til ring4 tilsvarer brønnene i figur 8.

Radius	Avstand	Radius	Overflate	Omkrets	Avstand borehull	Stk BH	M2	Volum m3 50 m dype	Delta T fra 23	T Høy	Delta T *0,6KWh * m3
Ring 1 - senter	4	4	50	25	4.5	6.6	50	2 512	37	60	55 766
Ring 2	4	8	201	50	4.8	10.5	151	7 536	27	50	122 083
Ring 3	4	12	452	75	5.0	15.1	251	12 560	17	40	128 112
Ring 4	4	16	804	100	5.0	20.1	352	17 584	5	28	52 752
	16					52.2	804	40 192			358 714
Lading fra 7 til 23 C. I tillegg beregnes 50 % overlading se rapport						52.2	804	40 192	15		361 728
Tilføres i energilager for lading og tap											750 000
Disponibel energi											358 714
Påfyll lading ref. s 23											350 000
Energiuttak fra Geotermos											300 000
Rest for tap løpende											100 000
Tilført til energilager											
350 m Solpaneler optimalisert 430 kWh / m2											150 000
600 m Solceller tak 500/vegg 100- 140 kWh/m2											85 000
Energi fra solceller (85*) til VP - COP 3,5											215 000
Tilført ny fornybar energi											450 000
Varmeoverskudd bygg "Kjøling bygg"											100 000
Varme fra uteluft											200 000
Totalt tilført energi løftet via VP											300 000
Sum tilført											750 000
Ved behov for tilført 500.000 - 1.000.000											lades 2 til 4 år



Figur 9. Foreløpig systemskjema som viser vintermodus for varmeanlegget ved Fjell2020 utarbeidet av Drammen Eiendom.

6.2 Termisk energibehov ved Fjell skole

Det totale varmebehovet ved Fjell skole er beregnet til å være ca. 350 000 kWh/år, og det forutsettes at ca. 90 % (315000 kWh/år) av dette skal leveres direkte fra brønnparken ved en temperatur på minimum 25 °C. Varmebehovet er beregnet ut ifra nøkkeltall og sammenlignet med Marienlyst skole hvor det er målte tall på energiposter, samt korrigert med hensyn til både bygningsstandard (lavenergi/passivhus), formfaktor og drift.

Det er forutsatt at den maksimale effekten ved varmeleveransen er 60 kW. Dette vil gi tilnærmet konstant varmeuttak fra energilageret de kaldeste månedene.

Tabell 2. Prosentvis fordeling av varmebehovet brukt i EED (se avsnitt 8).

Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember
15 %	15 %	12 %	8 %	0 %	0 %	0 %	0 %	8 %	12 %	15 %	15 %

6.3 Energibruk til sirkulasjon av kollektorvæske i brønnparken

I energilageret er det forutsatt at det skal brukes vann som kollektorvæske. Det er flere fordeler med å bruke vann sammenlignet med en glykolbasert kollektorvæske, deriblant lavere viskositet, bedre termiske egenskaper, bedre økonomi og bedre for miljø. En etanolbasert kollektorvæske er uaktuell på grunn av brannfaren.

Trykktapet (kPa/m) i en standard 40 mm PE U-kollektor med vann er omtrent halvparten av trykktapet i samme kollektor med en etanol- eller glykolbasert kollektorvæske. Dette er viktig for driftsøkonomien siden et energilager med lading og uttak forutsettes å ha lange driftstider og tilsvarende behov for pumpearbeid.

Dersom det forutsettes at hver brønn trenger en sirkulasjon på maksimalt 0,5 l/s vil det være et trykktap på ca. 10 kPa i en 50 m brønn. For en brønnpark med 52 brønner vil pumpeeffektbehov for brønnene være ca. 0,39 kW (forutsatt en virkningsgrad på 66 % for sirkulasjonspumpen). Den lavere viskositeten til vannet medfører også at sirkulasjonen kan reduseres noe. Her er hensikten å opprettholde turbulent strømming i kollektoren fordi da er varmeoverføringen mest effektiv. Ved en sirkulasjon på 0,4/ s vil pumpeeffektbehovet for en brønnpark med 52 brønner være ca. 0,21 kW. For god driftsøkonomi vil det være viktig å sikre at det lave trykktapet opprettholdes gjennom de ulike systemkomponentene i brønnparken (rørstrekk, ventiler, filter, varmevekslere). Frekvensregulerte sirkulasjonspumper og en aktiv strategi med oppfølging av styringen av pumpene vil også være viktig for å sikre at det brukes minst mulig energi til sirkulasjon av kollektorvæske.

6.4 Isolering av Geotermos (overflate) og kulvert

Gitt en brønnpark på 52 brønner, med avstand 4 meter mellom hver, utgjør overflatearealet ca. 3200 m². Denne overflaten bør isoleres enten med isolasjonsmateriale eller ved at man dekker til med jordmasser el. Uansett oppstår en kostnad som er grovt anslått til 100 kr/m², eller 6200 kr/brønn. Etablering av en kulvert over energibrønnene i Geotermosen for enkel inspeksjon og sammenkobling av rør og brønner vil også gi ekstrakostnader sammenlignet med tradisjonelle brønner.

6.5 Vindmøller

Bruk av vindmøller for strømproduksjon i Fjell2020 anbefales ikke på grunn av arkitektoniske forhold og dårlige vindforhold. Vindmøller frarådes også av sikkerhetsmessige hensyn på skoleområdet.

7 TILGJENGELIG ENERGI

7.1 Solenergi – potensial for solvarme og solstrøm

Solvarme skal produseres for sesonglagring i fjell. Da er det sentralt å vurdere hvor stor energiproduksjon man kan få til fra ulike typer solkollektorer, fortrinnsvis plassert på tak og i fasader. I den grad det finnes muligheter for bakkesolfangere, f.eks. fra fotballbaner og parkeringsplass, bør det også vurderes.

Drammen Eiendom har 2-3 års driftserfaring med solvarmeanlegget på Frydenhaug skole. Her finnes et anlegg på 150 m² solfangere (Pro C 250 H levert av SGP Varmeteknikk), arrangert i tre rader a 25 meter, 40 grader helning, ca. 10 meter avstand mellom radene (figur 10). Anlegget gir en årsproduksjon (siste 52 uker) på 64 000 kWh, dvs. 426 kWh/m², 853 kWh/løpemeter.



Figur 10. Frydenhaug skole.

Fjell skole har langt på vei de samme forutsetningene når det gjelder solinnstråling som man har på Frydenhaug skole. På møte i Drammen (30/8) ble man derfor enige om å legge til grunn anlegget på Frydenhaug for å anslå solvarmeproduksjon på Fjell. På Fjell vil takarealet på rehabiliterte og nybygg kunne utnyttes, og også det nye bygget for kultur og flerbrukshall, se figur 11.



Figur 11. Forslag til plassering av solfangere.

Gitt utformingen som illustrert på figur 11, vil solfangerne på Fjell skole ha en noe mindre gunstig orientering sammenlignet med Frydenhaug, ca. 225 grader versus ca. 210 grader. Dette betyr noe lavere produksjon her, anslagsvis 5%. Solfangerne kan naturligvis orienteres mer ideelt rett mot sør, men det er uvisst om hvor mange løpemeter solfangerer dette vil gi, og om det er akseptabelt rent visuelt. I denne sammenheng er det verd å minne om at høyblokkene nordøst for skolen i Lauritz Hervigs vei vil få utsikt mot solfangernes «bakside», og disse bør derfor vies oppmerksomhet.

Tabell 3. Oversikt over antall løpemeter og varmeleveranse fra solfangere.

	Antall løpemeter	Varmeleveranse [kWh / år]
Ny skole	325	277 000
Kulturhall	200	170 000
SUM:	525	447 800

Tabell 3 viser at man kan plassere 525 løpemeter solfangerer på de aktuelle takene. Rundt regnet blir dette et samlet solfangerareal på 1050 m². Nedjustert med 5% blir den totale forventede solvarmeproduksjonen på **425 000 kWh/år**.

Ny solfangerløsning:

Plane solfangerer, slik som er skissert over, overfører varme til et flyende medium som sirkulerer i solfangeren. Men en god del varme overføres til luften omkring solfangeren, og ledes ved hjelp av konveksjonskrefter oppover langs baksiden av solfangeren. Denne oppvarmede luften kan «fanges» og utnyttes med varmepumpe. Slike løsninger finnes etablert i solmarkedet internasjonalt, men så langt er det usikkert om noen har forsøkt disse i Norge.

Solceller:

Skolebyggene B og C, og nytt kulturbygg/hall har følgende takareal tilgjengelig for solenergiproduksjon (grovt sett, se tabell 4):

Tabell 4. Takareal for solceller.

	Takareal brutto (m ²)	Takareal netto (m ²) (0,8)
Skolebygg C (25x80)	2000	1600
Skolebygg A (25x50)	1250	1000
Kulturhall (20x2x40)	1600	1280
SUM:	4850	3880

Tabell 4 over viser det samme takarealet som ble utrustet med ca. 1050 m² solfangerareal. Dersom man litt konservativt sier at det samme (flate) takarealet alternativt kan utrustes med 3500 m² solceller, lagt i en 10 grader øst/vest konfigurasjon, ville det kunne gi om lag 525 000 kWh/år med elektrisitet (enhetsproduksjon 150 kWh/år). Sannsynligvis er tilgjengelig takareal mindre enn dette, bl.a. fordi man må ta hensyn til ventilasjonsutstyr, luftekanaler, takvinduer mm. Men eksemplet viser at solceller kan gi om lag samme energiproduksjon i form av el som det solfangere kan make i form av varme på ulike temperaturer.

Siden solceller også produserer i overskyet vær, er effektfordelingen jevnere enn det den er for solfangere. Dette betyr også at solcellene er «aktive» i et langt større tidsrom årlig, særlig tidlig og sent i fyringssesongen. Solfangere derimot «høster» mer intenst i sommermånedene. Solstrømmen kan drive en varmepumpe og med det levere 2-4 ganger mer energi i form av varme.

Oppsummert er potensialet for varmeproduksjon fra solfangerne eller strømproduksjon fra solceller henholdsvis ca. 425 000 og 525 000 kWh/år.

7.2 CO₂-varmepumpe

I tillegg til solenergi fra solfangerer, finnes muligheten til å levere varme til Geotermosen fra en CO₂ varmepumpe med en varmeeffekt på 200 kW. Varmen hentes da enten fra overskuddsvarme i byggene (frikjøling fra de 15 dype brønnene á 280 m) eller fra uteluften. Ytelsen til CO₂ varmepumpen henger nært sammen med temperaturløftet (temperaturløft for eksempel fra ca. 8 °C til 70 °C). Dersom CO₂-varmepumpen brukes til å varme opp Geotermosen vil det være viktig av kollektorvæsken blir godt avkjølt gjennom de ytterste brønnene, noe som tilsier at det vil være en fordel med flere seriekoblede brønner, alternativt seriekoblede skall med brønner.

Det er stipulert at ca. 300 000 kWh/år kan leveres fra CO₂-varmepumpen til Geotermosen. CO₂-varmepumpen driftes med solcellestrøm tilsvarende ca. 85 000 kWh/år.

7.3 Oppsummering av varmeproduksjon

Et realistisk utgangspunkt for solfanger- og solcelleareal er henholdsvis 350 m² og 600 m² (500 på tak og 100 m² på vegg).

Fra overskuddsvarme fra byggene og uteluft vil en varmepumpe kunne hente om lag 300 000 kWh/år. I sum vil disse bidragene kunne gi om lag 750 000 kWh/år. Varmeproduksjonen kan også økes f.eks. ved å øke solfangerarealet, eller øke varmepumpeproduksjonen.

Oversikt tilgang/produksjon av overskuddsvarme for lagring, eksempel på arealfordeling solfangere og solceller, som utgangspunkt for videre beregninger:

- Solfangere: $430 \text{ kWh/m}^2 \cdot 350 \text{ m}^2 = 150\,000 \text{ kWh/år}$
 - Solceller:
 - På tak (10% helning): $150 \text{ kWh/m}^2 \cdot 500 \text{ m}^2 = 75\,000 \text{ kWh/år}$
 - På vegg, bygningsintegrert: $100 \text{ kWh/m}^2 \cdot 100 \text{ m}^2 = 10\,000 \text{ kWh/år}$
 - Varmeproduksjon fra CO₂-varmepumpe basert på solcellestøm og uteluft/ventilasjonsluft, effektfaktor 3,5: $85\,000 \cdot 3,5 = 300\,000 \text{ kWh/år}$
- ⇒ **Sum varme for lagring med angitte solfanger og solcelleareal: 450 000 kWh/år**

8 BEREGNINGER AV ENERGILAGERET MED EED (EARTH ENERGY DESIGNER)

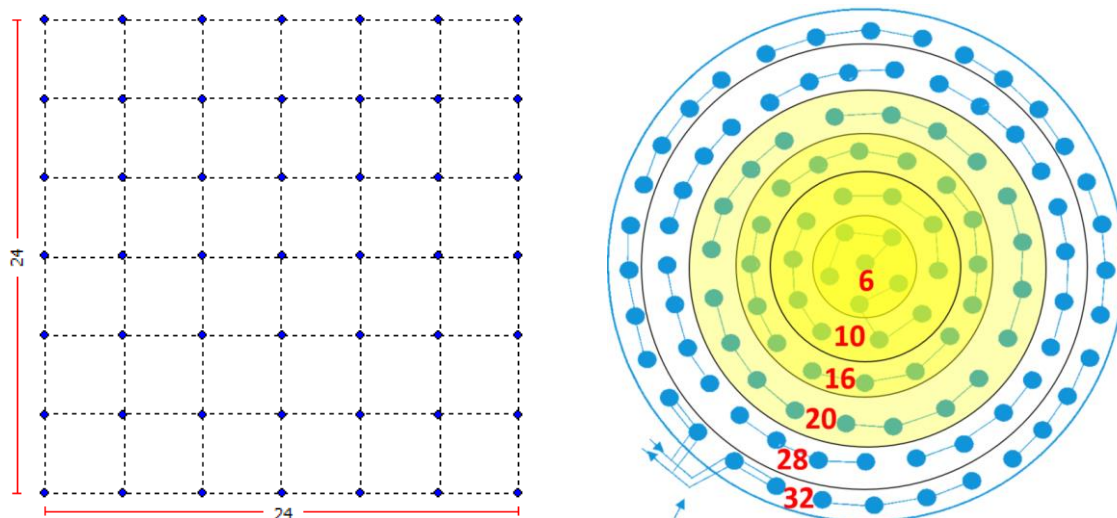
For å vurdere mulighetene til å lage et energilager er det utført beregninger med Earth Energy Designer (EED). EED er et beregningsprogram egnet for energibrønner og energilager basert på energibrønner. Programmet baseres på forhåndsdefinerte brønnkonfigurasjoner, og brønnene forutsettes å være sammenkoblet i parallell med lik temperaturfordeling i alle brønnene og uten isolering på overflaten mot luft. Sammenlignet med et energilager basert på seriekoblede brønner fordelt på flere soner, gir beregningen i EED et konservativt svar.

8.1 Forutsetninger for beregningen med EED

I beregningen med EED er det forutsatt at energilageret skal levere 90 % av skolens varmebehov til oppvarming, dvs. 315 000 kWh/år. Siden brønnmønstrene i EED er forhåndsdefinerte, plasseres brønnene i et rutenett med 4 m avstand og hver brønn er 50 m dyp (figur 12). I EED-beregningen er det totalt 49 brønner der brønnedybden er 53 meter slik at total brønnlengde er optimalisert til nesten 2600 meter tilsvarende 52 brønner á 50 meters dybde. I beregningene er det antatt at berggrunnens effektive varmeledningsevne er 3,4 W/m·K basert på Ramstad et al. (2014) der medianverdien for drammensgranittens varmeledningsevne målt i laboratoriet er ca. 3,1 W/m·K. Siden laboratoriemålingene foregår på tørre bergartsprøver økes verdien med 10% for å kompensere for forholdene i felt der berggrunnen er vannmettet. Inngangsverdiene brukt i beregningen er vist i tabell 5.

Tabell 5. Faste inngangsverdier benyttet i EED-beregningen

Parameter	Verdi
Effektiv varmeledningsevne (W/m·K)	3,4
Termisk borehullsmotstand (m·K)/W – energiuttak	0,05
Uforstyrret temperatur (°C)	7,0
Dybde energibrønner – aktiv boredybde (m)	53 m
Sirkulasjonshastighet kollektorvæske (liter/sekund)	0,5
Diameter kollektor, enkel U-rør (turbo), (mm) SDR 17, PN 10 (mm)	40
Diameter energibrønn (mm).	140
Kollektorvæske	vann
Simuleringstid (år)	50
Innbyrdes avstand mellom energibrønnene for kun uttak av varme (m)	4



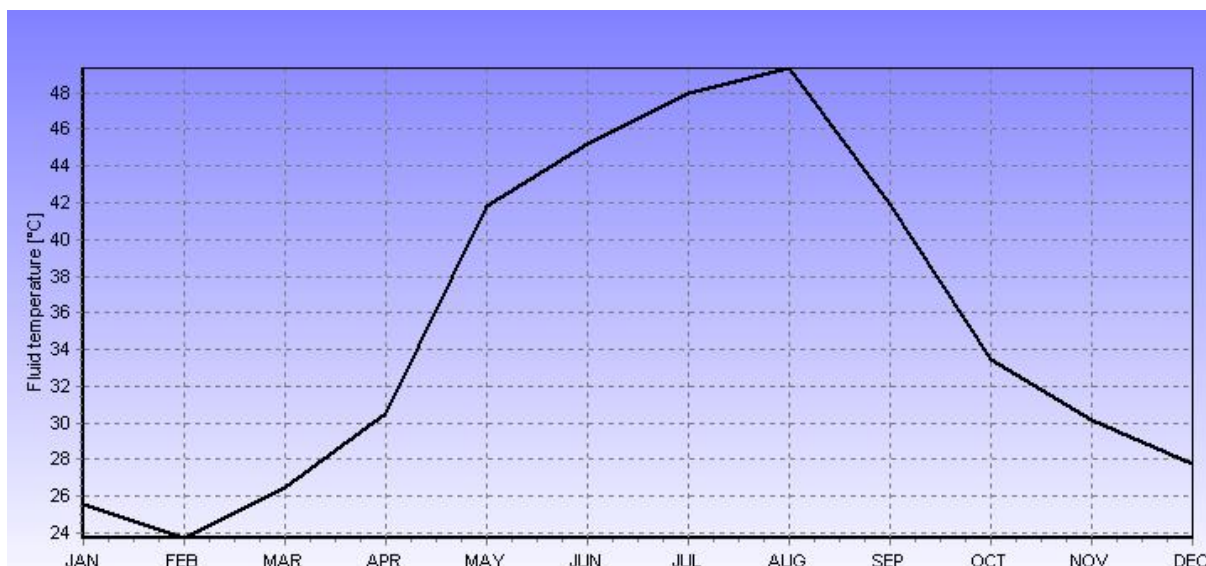
Figur 12. Brønnermønster brukt i EED-beregningen til venstre. Brønnene er plassert med 4 m avstand. I EED er det kun mulig å bruke forhåndsdefinerte brønnermønstre. Dette rutenettmønsteret likner mest Geotermos (til høyre) med 3 skall i tillegg til sentrum, dvs. 52 brønner (6+10+16+20).

8.2 Resultater fra beregning med EED

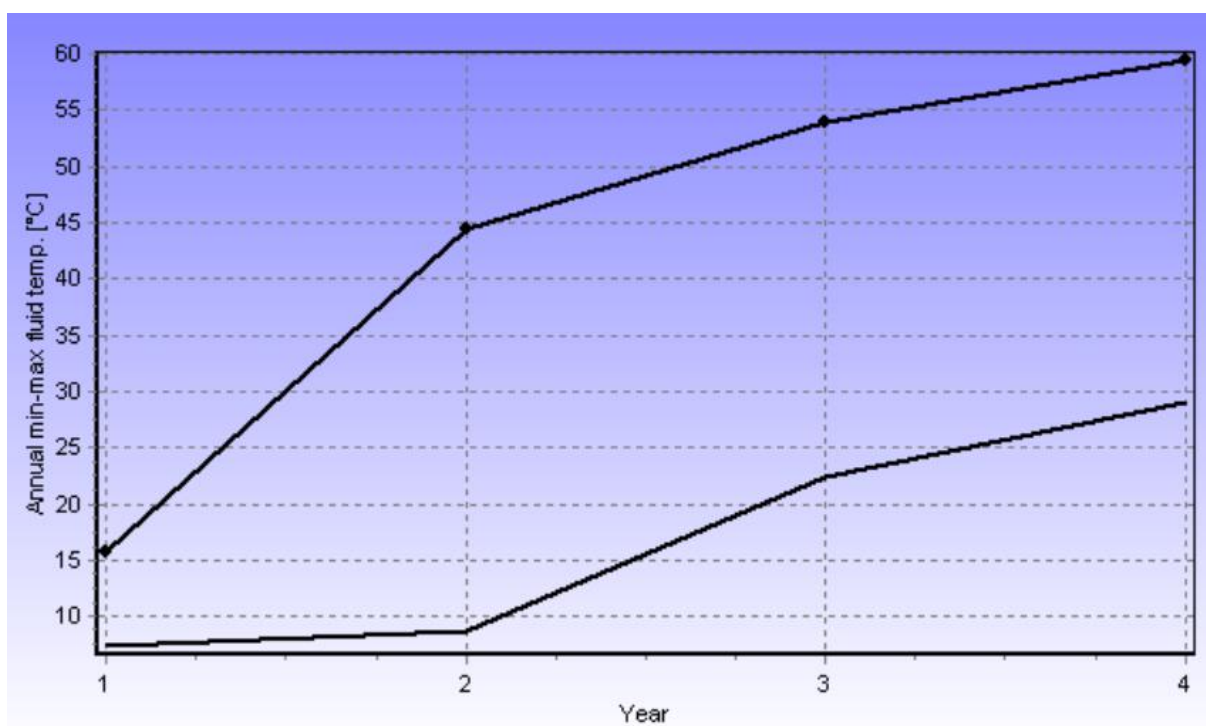
Resultatene fra beregningen er vist i figur 13 og figur 14. Det presiseres at resultatene er å betrakte som overslagsberegninger, og at resultatene er konservative siden EED-programmet forutsetter at brønnene er koblet i parallell, plassert i et kvadratisk rutenett og uten isolering på overflaten. Dersom brønnene sammenkobles slik det er vist i til høyre i figur 12 vil temperaturfordelingen (høyest innerst og laves ytterst) både øke temperaturnivået og utnyttelsesgraden i lagret. I EED-beregningen utgjør også varmetapet på overflaten en betydelig andel.

Beregningene viser at det er mulig å lage et energilager som klarer å levere 315 000 kWh/år ved en temperatur på 25 °C basert på 49 energibrønner (eller tilsvarende 52 brønner å 50 m ref. de gule skallene i figur 12). For å øke temperaturen i brønnene til 25 °C og opp mot 60 °C i midten av det store bergvolumet, forutsettes det en betydelig «overlading» de første årene, se temperaturutviklingen de første 3-4 årene i figur 14 der Geotermosen tilføres en varmemengde tilsvarende 750 000 kWh/år. Også vår, sommer og høst når anlegget er i ordinær drift må «overlading» erstatte varmetapet. Hvor mye varmetapet vil være etter at ønsket temperatur i Geotermosen er oppnådd er usikkert, men beregnes til å være i størrelsesorden 50% av varmen som tilføres lageret. Hvis hoveddelen av varmetapet kan "blokkeres" med lavtemperaturrennergi som «gratis varme» fra uteluft mellom 15 – 20°C, så kan det være et viktig element for å få ned kostnader som har tilknytning til varmetapet.

I «oppvarmingsperioden» vil Geotermosen brukes sammen med varmepumpen. Etter hvert som temperaturen øker i Geotermosen reduseres bruken av varmepumpen som også brukes når effekt- og energitilførselen er optimal. Siden temperaturnivået er høyest i starten av vinteren, vil lageret dekke en større del av varmebehovet i november – januar, enn i februar.



Figur 13. Resultatene fra beregning i EED vist som gjennomsnittlig kollektorvæsketemperatur $(T_{inn}+T_{ut})/2$ per måned. Ved kontinuerlig drift og maksimal effektleveranse på 60 kW fra brønnene er gjennomsnittlig kollektorvæsketemperatur minimum ca. 24 °C i februar. Når brønnene lades med en maksimal overført effekt på ca. 200 kW er gjennomsnittlig kollektorvæsketemperatur ca. 50 °C på det høyeste. Temperaturnivåene forutsetter at Geotermosen oppnår ønsket lagertemperatur de første driftsårene, f.eks. slik som vist i figur 14.



Figur 14. Resultatene fra beregning i EED vist som gjennomsnittlig kollektorvæsketemperatur $(T_{inn}+T_{ut})/2$ de første 3-4 driftsårene hvor energilageret må lades opp med overskuddsvarme tilsvarende 750 000 kWh/år. Kurvene viser laveste og høyeste temperatur henholdsvis om vinteren og sommeren.

9 KOSTNADSESTIMAT GEOTERMOS

Fjell skole - anleggskostnader						
			kr/m	kr/brønn	m	kr
Geotermos	Borekostnader		150	7500		7500
50 meter	Komplettering			1000		1000
Løsmasse 3 m	Boring i løsmase		550	1650		1650
	Kollektor		50	2000		2000
	Bortkjøring boreslam			1300		1300
	Bunnlodd			900		900
	Boredybde				50	
	Kostnadpr brønn					14350
	Kostnad brønner(50)					717500
	Manifold			100000		100000
	Rigg og drift	10000				10000
	Isolering overflate			6200		322400
	Sum					1149900

Tabellen over viser et grovestimat av kostnadene for å anlegge varmelageret, «Geotermos». Inkluderer usikkerhet på 15% øker kostnaden til ca. 1,3 MNOK.

Tar man utgangspunkt i en levetid på 20 år og en kalkulasjonsrente på 4%, (annuitetsfaktor 0,0736) betyr det en årskostnad på 70 000 kr. (I virkeligheten vil varmelageret ha en lengre levetid og dermed en noe lavere årskostnad enn dette). Men en årlig varmeleveranse på 315 000 kWh, betyr dette en enhetskostnad (kapital) på om lag 30 øre/kWh. Dette er altså å vurdere som kostnaden for å «flytte» solvarme fra sommer og inn i fyringssesongen. Driftskostnaden knyttet til Geotermosen vil være beskjeden.

Etter at «Geotermos» er ferdig boret og komplettert, vil det kreves en periode på 3-5 år med oppbygging av nødvendig temperaturnivå. I denne perioden må man «fille på» med anslagsvis 300 000 – 400 000 kWh/år varme. Dette representerer en kostnad som noe forenklet kan kalles del av investeringen. Om man tar utgangspunkt i at varmen tilføres ved hjelp av varmepumpe betyr det en årlig el-kostnad på grovt sett kr 50 000 pr år. Legger man til grunn 4 år, blir det om lag 200 000 kr som kan legges til selve investeringen på 1,3 MNOK, altså til sammen 1,5 MNOK. Dette betyr igjen at lagerkostnaden øker fra 30 øre/kWh, som forklart i avsnittet over, til om lag 35 øre/kWh. Vi minner om at dette er grove anslag, og at det nettopp er manglende erfaringer forbundet med denne «varmeoppbyggingen» som skaper behov for å prøve ut «Geotermos» i praksis.

Varmekostnaden vil naturligvis være høyere enn dette fordi man også må ta med kostnader på bygging av solvarmeanlegg, rør- og annen infrastruktur, el til drift av varmepumpe mm, en andel av varmepumpekostnaden og driftskostnader. Foreløpig er disse ikke anslått i detalj. Men dersom man legger til grunn at kostnaden bør ligge under 1 kr/kWh for levert varme, ser det så langt ut til at varmelageret også rent lønnsomhetsmessig kan ha noe for seg.

Som eier av solvarmeanlegget på Frydenhaug skole har Drammen Eiendom selv god kunnskap om kostnader for bygging og drift av solvarmeanlegg. Men bare for å få en pekepinn på størrelsesorden, kan tall fra NVE rapporten «Kostnader i energisektoren 2015» benyttes. I denne oppgiss varmekostnader for et 300 m² stort solvarmeanlegg montert på

næringsbygg å være 55 øre/kWh. Anlegget det refereres til har en samlet kostnad på 990 000 kr, hvorav varmelagringstanken står for 175 000 kr, altså 17-18% av investeringen. Det betyr at solvarme for prosjektet på Fjell, der en slik tank i utgangspunktet ikke er nødvendig, vil ligge på omkring 45 øre/kWh.

En viktig forutsetning for NVEs kostnadstall er imidlertid at all produsert solvarme nyttiggjøres. I et anlegg med sesonglager er denne forutsetningen litt spesiell å ta hensyn til fordi man på en måte nyttiggjør all produsert varme til å få varmelageret til å fungere. På den annen side har lageret en god del tap.

Uansett tyder disse forholdsvis grove økonomioverslagene på at en løsning med forholdsvis stort solvarme/grunnvarmelager anlegg har potensial til å være lønnsomt. I dette bildet er det viktig å minne om at Geotermos også har en betydelig effektkapasitet med tilhørende økonomisk verdi.

10 OPPSUMMERING OG ANBEFALINGER

Resultatene fra EED beregningen viser at det er mulig å lage et energilager som kan dekke mesteparten av varmebehovet til gulvvarme ved Fjell skole uten å bruke varmepumpe.

Systemvirkningsgraden for anlegget vil være avhengig av energien som blir brukt for å lade brønnene (med solenergi og med CO₂-varmepumpe basert på uteluft og kjøling av bygg) og for å hente ut varmen.

Eksisterende energilager (Dalenbäck og Hellström, 2000) har vist at det er mulig å øke effektiviteten til energilageret. Her vil oppdeling av brønnene i forskjellige ringer/skall med ulike temperaturnivåer (slik som vist i figur 8) være sentralt.

Varmetapet fra energilageret er usikker, og avhenger i hovedsak av:

- Antall brønner og design, det vil si størrelsesforholdet mellom energilagerets overflateareal og volum.
- Temperaturnivået som skal opprettholdes i energilageret.
- Eventuell grunnvannsbevegelse gjennom energilageret.

For å øke det generelle temperaturnivået fra naturlig nivå på ca. 6-7 °C til opp mot 60 °C i midten av det store bergvolumet kreves det at energibrønnene i energilageret de første årene tilføres betydelig mer varme for å få opp temperaturen før den er i balanse. Avhengig av mengdene tilført og avgitt vil det kunne ta noen år. Også når anlegget er i ordinær drift, kreves det overlading (tilførsel av mer varme enn det tas ut) for å kompensere for varmetapet i energilagerets randsoner. Hvor stort varmetapet vil være er usikkert, men det vil være betydelig. Det må derfor vurderes mengde og løsning på dette videre. Hvis hoveddelen av varmetapet kan "blokkeres" med lavtemperaturrenergi som «gratis varme» fra uteluft mellom 15 – 20°C, så kan det være et viktig element for å få ned kostnader som har tilknytning til varmetapet.

Som nevnt er løsninger med sesonglagring av varme lite utviklet for norske forhold. Kostnader og lønnsomhet er nært knyttet til stedlige egenskaper, bl.a. når det gjelder overdekning av løsmasser, bergkvalitet og grunnvannsforhold. Vi mener at potensialet for lønnsom varmeproduksjon er tilstede, og for å skaffe bedre grunnlag for vurdering av energikostnader, er det viktig å bygge noen prøveanlegg.

Det er forventet at effekt fra el-nettet vil øke i kostnad i tiden som kommer. En viktig tilleggsgevinst er at slike anlegg også tilbyr en effektkapasitet som både er nyttig for eier/bruker, men også for energisystemet mer generelt. Verdien av denne kapasiteten har vi

ikke forsøkt å kvantifisere, men den vil trolig kunne få et betydelig positivt bidrag når lønnsomhet på sikt skal vurderes.

For at grunnvannsbevegelse skal påvirke energilagringen må det være en gjennomgående grunnvannsbevegelse inn til og ut fra energilageret. Grunnvannsbevegelsen må i så fall påvirke en betydelig andel av energilagerets volum. For å avdekke en eventuell stor og gjennomgående grunnvannsbevegelse på tomta for energibrønnene på Fjell anbefales det å **gjøre termiske responstester i 3 testbrønner á ca. 50 meters dybde**. I en termisk responstest tilføres varme til energibrønnen i ca. 3 døgn (72 timer), Ut fra måling av temperatur på inn og utgående kollektorvæske og sirkulasjonsmengde, beregnes varmetekniske egenskaper som effektiv varmeledningsevne og varmeoverføringsmotstand i kollektoren. I tillegg måles energibrønnens temperaturprofil før (uforstyrret/naturlig temperatur) og etter testen.

Effektiv varmeledningsevne er summen av berggrunnens varmeledningsevne basert på mineralogisk sammensetning og lagdeling av bergarten samt eventuelt konveksjonsbidrag fra grunnvann i bevegelse langs kollektoren i brønnen. De 3 responstestene vil avdekke om energiuttaket og tilbakeføring av varme til brønnene påvirkes av grunnvannsbevegelse. En termisk responstest påviser grunnvannsbevegelse ved at den effektive varmeledningsevnen som måles er betydelig høyere enn hva berggrunnens varmeledningsevne rent mineralogisk skulle tilsi. Grunnvannsbevegelse verifiseres ytterligere av temperaturprofilmålingene som viser eventuelt hvilke soner i brønnen som avkjøles raskere enn de andre sonene.

Dersom det påvises en betydelig grunnvannsbevegelse anbefales det at denne enten utnyttes eller stenges. Ved å tette påviste vannførende sprekker vil grunnvannsbevegelsen opphøre. En intern grunnvannsbevegelse i energilageret kan bidra til raskere energiutveksling og derav høyere energiopptak og energiuttak i lageret. Dette forutsetter imidlertid at man har kontroll med grunnvannsbevegelsens omfang og karakter i form av overvåking og eventuelt kontrollert pumping av grunnvann.

Det er tidligere gjort 1 geoteknisk boring på den aktuelle tomta for energibrønnene. Denne viser at det er ca. 6 meter til fjell. Løsmassene består av sand øverst, og 2 m tørrskorpeleire over en middels fast og middels sensitiv leire. Dersom testboringene viser større mektigheter med leire på tomta, bør det gjøres en geoteknisk vurdering av konsekvensen av å øke temperaturen i leire til ca. 60 °C. Grunnvannsstanden er antatt utfra observasjon i felt til å være 2,7 m under terreng ved eksisterende skolebygg (Multiconsult 2017).

Maksimaltemperaturer ved lading defineres av energikilden, materialer (kollektor) samt kollektorvæsken (vann). For at konseptet med energilagring skal ha størst mulig kommersielt potensial, anbefales det i første omgang å bruke kommersielt tilgjengelige produkter som standard enkel U-kollektor i brønnene. Siden PE-materialet utvider seg med temperatur, må kollektoren monteres ned til ca. 1 m over bunnen i brønnene for å redusere risikoen for brudd som følge av at kollektoren presses mot bunnen. Et alternativ er å vurdere en koaksialkollektor (rør-i-rør) som har bedre varmeoverføringsegenskaper, men dette vil gi en usikkerhet inn i prosjektet.

Solfangerne kan ha en vesentlig peak effekt, og størrelsen på energilageret må harmonere med overført effekt fra solfangerne slik at temperaturen i lageret ikke overstiger 60 °C. Dette må også passe sammen med driften av varmepumpen for lading av brønnene. Her må systemet kunne operere med ulike temperaturnivåer i ulike soner av lageret ved lading fra henholdsvis solfanger og varmepumpe. Eksempelvis vil temperaturen fra solfangerne kunne være høyere enn temperaturen fra varmepumpen.

Minimumstemperaturene ved energiuttak defineres av energibehovet og behovet for varmeeffekt. For å hindre at brønntemperaturen blir for lav, anbefales det at energilageret har døgndrift. Dette forutsetter akkumulering trolig både i bygningsmassen og eventuelle

lagringstanker. Det må utredes nøyere om uttaket av varmeeffekt fra brønnene er tilstrekkelig for å dekke behovet for varmeeffekt i byggene.

I tillegg til nøye styring og oppfølging i Drammen Eiendom sitt SD-anlegg og EOS-system, anbefales det å installere fiberoptiske kabler i to tverrsnitt av energilageret for å måle detaljerte temperaturprofilmålinger over tid, dvs. 4D-temperaturmålinger. Disse målingene vil inngå i det eventuelle forskningsprosjektet RockStore (2017) som forhåpentligvis starter opp i april 2018 dersom prosjektet får midler fra Forskningsrådet. Drammen Eiendom er blant partnerne i RockStore sammen med blant annet Christian Michelsen Research (CMR), NTNU, KTH, NMBU, Fortum Oslo Varme, Statkraft Varme, Rock Energy, Enova, Anergy AS, Asker kommune, Mouvitech, Hallingplast, Asplan Viak med flere.

Det anbefales mer detaljerte beregninger av energilagerets dynamikk og kapasitet for eksempel med bruk av programvaren TRNSYS.

11 REFERANSER

Andersson O., Rydell L. og Algotsson T. (2009): Efficient usage of waste heat by applying a seasonal energy storage (BTES) at ITT Water & Wastewater AB, Emmaboda, Sweden. Artikkel (8 sider) på Effstock-konferansen i 2009.

http://intraweb.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/effstock09/Session_11_1_Case%20studies_Overviews/101.pdf

Dalenbäck, J.-O., G. Hellström og S. K (2000). "Evaluation of the Borehole Heat Store at InfraCity, Sweden " TERRASTOCK 2000, 8th International Conference on Thermal Energy Storage, Proceedings, Volume 1.

Heyerdal P.H. (2017) Energibrønner i samspill med solenergi. Seminaret *Nye løsninger for utnyttelse av geoenergi* 24. mars i regi av Asker kommune.

<https://www.asker.kommune.no/globalassets/plan-bygg-og-eiendom/miljo/heyerdahl---energibrønner-i-samspill-med-solenergi.pdf>

IEA 2015 – Seasonal thermal energy storage. Report on the state of the art and necessary further R+D. <http://task45.iea-shc.org/fact-sheets>

Lanahan, M. og T.-V. P.C. (2017). "Seasonal Thermal-Energy Storage: A Critical Review on BTES Systems, Modeling, and System Design for Higher System Efficiency." *Energies*.

Linståhl H. (2017): Høytemperatur energi fra overskuddsvarme i fjernvarmenett. Seminaret *Nye løsninger for utnyttelse av geoenergi* 24. mars i regi av Asker kommune.

<https://www.asker.kommune.no/globalassets/plan-bygg-og-eiendom/miljo/lindstahl---hoytemperatur-energi-fra-overskuddsvrme-i-fjernvarmenett.pdf>

Multiconsult (2017). Fjell 2020, Drammen. Geoteknisk rapport. Datert 4.5.2017, revisjon 2., 43 sider.

Nordell B., Andersson O., Rydell L. og Linuzzo-Scorpo A. (2015): Long-term Performance of the HT-BTES in Emmaboda, Sweden. Artikkel, 8 sider.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1005848/FULLTEXT01.pdf>

Nordell B., Linuzzo-Scorpo A., Andersson O. og Rydell L. (2014): The HT BTES plan in Emmaboda – Report from the first three years of operation 2010-2013. Rapport, 36 sider.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:997525/FULLTEXT01.pdf>

NVE (2015): «Kostnader i energisektoren» NVE Rapport 2/2015

Rambøll (2011): Datarapport fra grunnundersøkelse. Oppdrag nr: 6110246, rapport nr.1 datert 28.6.2011, 18 sider.

Ramstad RK, Midttømme K, Liebel HT, Frøngstad BS og Wissing BW (2014): Thermal conductivity map of the Oslo region based on thermal diffusivity measurements of rock core samples. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 12 sider, Springer.

RockStore (2017): Søknad til Norges Forskningsråd datert 6.9.2017.