



Grunnvarme et miljøvennlig energialternativ

Forelesning i faget
SIG0506 Georessurser
våren 2002

av
Kirsti Midttømme,
Norges geologiske undersøkelse (NGU)



Innholdsfortegnelse

1	GRUNNVARME ET MILJØVENNLIG ENERGIALTERNATIV.....	3
1.1	HVA ER GRUNNVARME?	3
1.2	VARMEPUMPE	3
1.3	FORDELING AV ENERGIBEHOV HOS EN GJENNOMSNITTSFAMILIE	4
1.4	OPPVARMINGSBEHOV FOR EN BOLIG GJENNOM ÅRET	4
1.5	BOREHULL I FJELL (LUKKET SYSTEM).....	5
1.6	TEMPERATUREN I ET BOREHULL	6
1.7	TEMPERATUREN I EN ENERGIBRØNN.....	7
1.8	JORDVARME MED HORIZONTAL SLANGER	7
1.9	BRUK AV GRUNNVANN – ÅPEN LØSNING	8
1.10	ENERGILAGER = KJØLING + OPPVARMING.....	9
1.11	UNIVERSITETSSYKEHUSET I AKERSHUS.....	9
1.12	WWW.NGU.NO.....	10
1.13	BRØNNDATABASEN	11
1.13.1	Søk i brønndatabasen	11
1.13.2	Temakart for berggrunnsgeologi eller kvartærgeologi som bakgrunn.....	11
2	REFERANSER.....	12

1 Grunnvarme et miljøvennlig energialternativ

1.1 Hva er grunnvarme?

Grunnvarme er energi lagret i berggrunn, grunnvann og sedimentære avsetninger. Energien kan utnyttes direkte eller benyttes sammen med en varmepumpe. Uttak av grunnvarme kan skje fra nedgravde kollektorer (0,6-1,5 meters dyp), fra kollektorer i borebrønner (100-200 meters dyp) eller ved uttak av opp-pumpet grunnvann (åpen løsning). Energien i grunnen kommer fra magasinert solvarme og fra spalting av radioaktive elementer i berggrunnen. De forskjellige anleggstypene for grunnvarmeuttak er beskrevet nærmere nedenfor. Temperaturen øker (den geotermiske gradienten) med 10-30°C for hver kilometer nedover i jordskorpa (Hilmo et al., 2000).



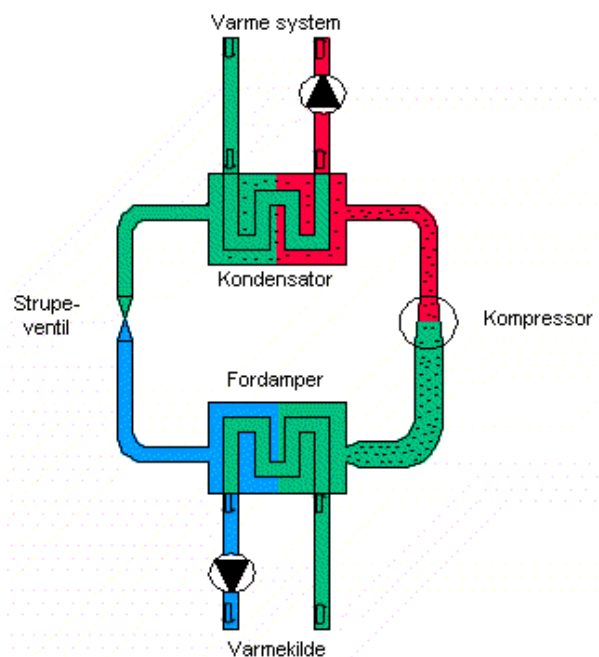
Figur 1. Solinnstråling har betydning for hvor mye varme som finnes i den øverste delen av jordskorpa.



Figur 2. Vulkanutbrudd på Island (Foto: T. Grenne, NGU). I områder med høy geotermisk gradient er varmen i hovedsak ren termisk energi dannet ved spalting av radioaktive mineraler.

1.2 Varmepumpe

I de fleste energianlegg er det nødvendig å bruke en varmepumpe som løfter energikildens temperatur til radiator- eller gulvvarmetemperaturnivå. En varmepumpe er en maskin som består av en fordamer, kompressor, kondensator og en ekspansjons- eller strupeventil. En varmepumpe krever tilgang på energi og en varmekilde, og er svært forenklet sagt en maskin som benyttes til å bringe varme fra et lavere til et høyere temperaturnivå under forbruk av mer høyverdig energi, vanligvis elektrisitet. For å kunne transportere varme fra et lavere til et høyere temperaturnivå benyttes et arbeidsmedium (ammoniakk, propan, CO₂, R12 osv.) som er valgt slik at det fordamer og kondenserer ved ulike temperaturer, avhengig av trykket.



Figur 3. Prinsippskisse av en varmepumpe (Normann Energiteknikk, 2002).

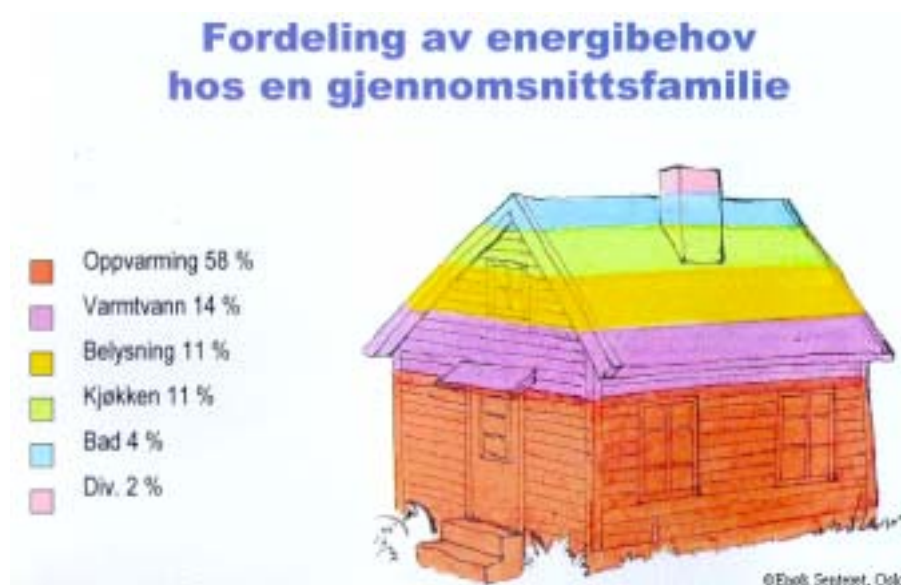
Arbeidsmediet sirkulerer i en lukket krets og gjennomløper kontinuerlig en serie tilstandsforandringer (sirkelprosess). Varmekilder for en varmepumpe er foruten grunnvarme (bergvarme, grunnvann og jordvarme), luft, sjøvann, spillvarme, kloakk osv. Det geniale med en varmepumpe er at den bruker ca. én del høyverdig energi på å produsere to til tre deler varme- eller kuldeenergi. På denne måten kan strømgjeningen reduseres betraktelig.



Figur 4. Eksempel på forskjellige varmepumper (Normann Energiteknikk, 2002).

1.3 Fordeling av energibehov hos en gjennomsnittsfamilie

Figur 5 viser at oppvarming av rom og varmtvann utgjør hele 58+14=72% av energibehovet for en gjennomsnittsfamilie. En overgang fra fyring med elektrisitet til grunnvarme og varmepumpe kan redusere denne prosentandelen med 2/3-deler. Samtidig frigjøres samme mengde elektrisitet.



Figur 5. Hele 72% av energibehovet for en gjennomsnittsfamilie går med til oppvarming av rom og varmtvann.

1.4 Oppvarmingsbehov for en bolig gjennom året

Forklaring til figur 6:

Varmepumpen dekker ca. 60% av total oppvarmingseffekt, som tilsvarer ca. 90 % av totalt oppvarmingsbehov for hele året (felt under streken). Da får varmepumpen en god driftstid, og unødige start og stopp som sliter på varmepumpen unngås. Resten av oppvarmingseffekten, som tilsvarer 10% av totalt oppvarmingsbehov må dekket av tilleggsoppvarming. Tilleggsoppvarming kan være elektrisitet, bioenergi, vedfyring eller oljefyring.



Figur 6. Fordeling av oppvarmingsbehov for en bolig gjennom året (Oslo Energi Enøk, 2002).

1.5 Borehull i fjell (lukket system)

Energibrønner i fjell med kollektorslanger er populære og enerådende på eneboligmarkedet. En kollektorslange av plast føres ned i et 100-200 meter dypt borehull i fjell. Kollektorslangen fylles med en frostvæskeblanding som sirkulerer rundt og henter varme fra omgivende berggrunn og grunnvann. Det er denne varmen som nyttegjøres i varmepumpen. Løsningen krever lite areal, og det eneste som synes på overflaten er et vanlig kumlokk. Selve borehullet har en diameter på cirka 15 centimeter. Bilde fra boring av energibrønn og nedsetting av kollektorslange er vist i henholdsvis figur 8 og 9.

Energipotensialet til en energibrønn i fjell med lukket kollektor er avhengig av berggrunnens varmeledningsevne, fjellets og grunnvannets temperatur og mengden bevegelig grunnvann. Når det gjelder varmeledningsevne, er hovedregelen at kvartsrike- og grovkornede bergarter som sandstein og kvartsitter har høy varmeledningsevne, mens for eksempel kalk- og leirsteiner har lav varmeledningsevne. Den store variasjonen i varmeledningsevne betyr, for eksempel, at et anlegg i kvartsitt trenger mindre enn halvparten så mange brønner for å levere samme energimengde som anlegg i leirstein eller kalkstein (Hilmo et. al, 2000).

Grunnvannsbevegelsen i brønnen har i enkelte tilfeller stor betydning for energiuttaket. Dette gjelder særlig brønner i hellende terreng hvor berggrunnen er oppsprukket og permeabel.

Fordeler med denne anleggstypen:

- + Driftsikkert
- + Lang levetid
- + Stabil temperatur (5-10°C)

Ulempen med denne anleggstypen:

- Høy investeringskostnad.



Figur 7. Prinsippskisse av grunnvarme fra borehull i fjell (lukket system) (Normann Energiteknikk, 2002).



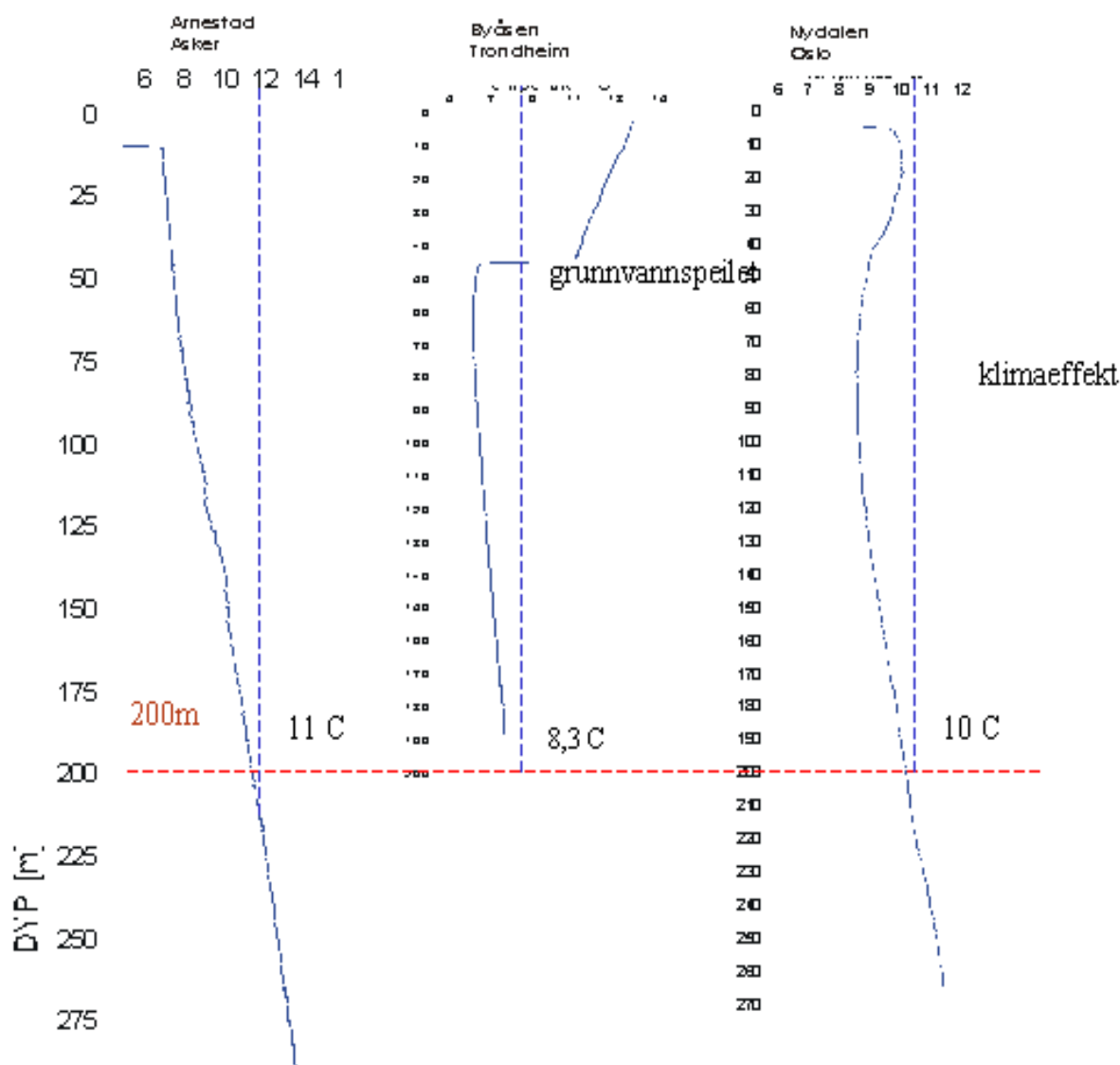
Figur 8. Boring av energibrønn.



Figur 9. Nedsetting av kollektorslange i energibrønn.

1.6 Temperaturen i et borehull

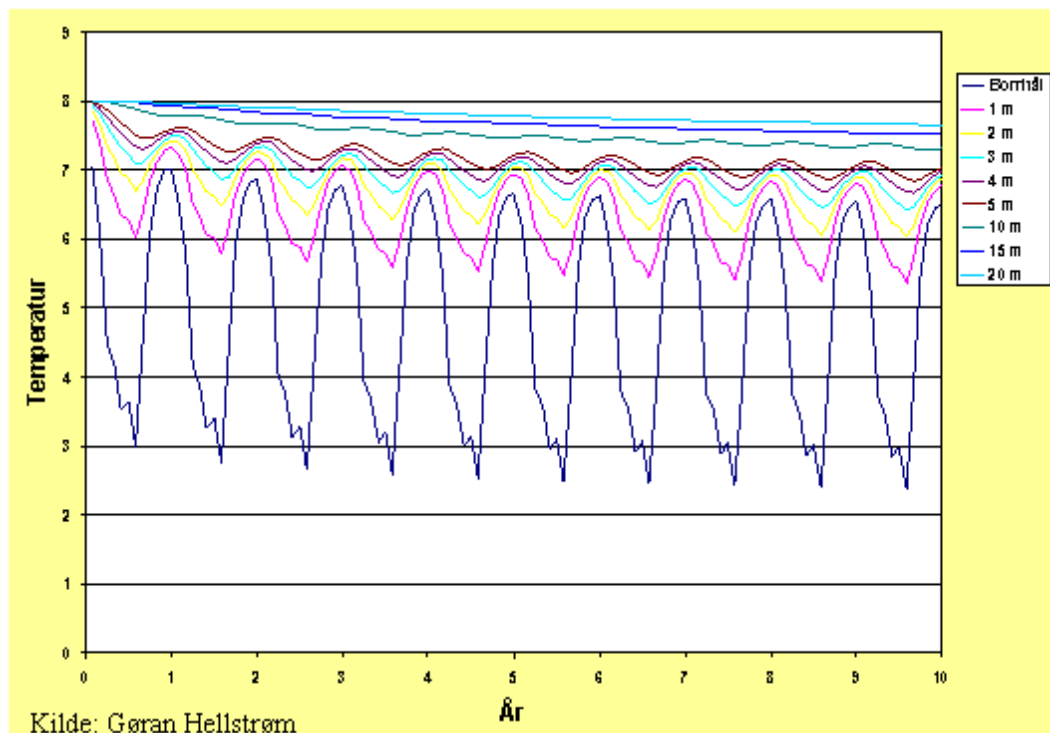
Utgangstemperaturen og temperaturfordelingen i et borehull er viktig for energiuttaket fra en energibrønn. Figur 10 viser temperaturforløp for tre forskjellige energibrønner. Brønnene er logget med utstyr fra NGU. Ved Arnestad i Asker stiger temperaturen forholdsvis jevnt og raskt fra overflaten og ned til 300 meter. I Byåsentilfellet (Trondheim) får temperaturen et jevnt forløp fra grunnvannspeilet og videre nedover. Det er lufttemperaturen som måles over grunnvannspeilet, og den er avhengig av årstiden. Vann regnes for å være en dårlig varmeleder, men sammenlignet med luft leder vann varme over 20 ganger bedre. Dette betyr i praksis at energiuttaket fra berggrunnen kun skjer i den vannfylte delen av brønnen. Luft er isolerende, og det er ingen eller veldig lite energi å hente fra den delen av brønnen som består av luft. Med andre ord, grunnvannsnivået i borebrønner har betydning for hvor dyp brønnen må være for å dekke et gitt effektbehov. I Nydalen i Oslo synker temperaturen ned til cirka 80 meters dyp, for deretter å øke mot dypet. Flere brønner viser tilsvarende temperaturforløp som energibrønnen i Nydalen. Reduksjonen av temperaturen kan sannsynligvis forklares med klimaendringer, og at årsmiddeltemperaturen har økt med noen grader de siste 100 årene.



Figur 10. Eksempel på temperaturforløpet i tre energibrønner i fjell.

1.7 Temperaturen i en energibrønn

Figur 11 viser temperaturutviklingen i og omkring en energibrønn i fjell med lukket kollektor over en periode på 10 år. Temperaturen i berggrunnen rundt en energibrønn varierer over året og med avstanden fra borehullet. For en riktig dimensjonert energibrønn vil temperaturen rundt borehullet synke med opptil flere grader det første året, noen desigrader de neste 10-15 årene, før temperaturen stabiliserer seg etter cirka 15 år.



Figur 11. Temperaturutvikling i og omkring en energibrønn i fjell med lukket kollektor over en periode på 10 år. Den blå kurven representerer temperaturen i selve borehullet, mens de andre kurvene måler temperaturforholdene i radiell avstand fra brønnen (Hellstrøm, 2001).

1.8 Jordvarme med horisontale slanger

Systemløsninger der 40 millimeters kollektorslanger graves ned i 60-150 cm dype grøfter i løsmasser (myr, leire, sand, silt) med ca. 1,5 meters mellomrom kalles jordvarme, og varmen hentes ut fra bakken. Denne type anlegg medfører lange grøfter, og er arealkrevende. En normal enebolig krever 500-1000 m² tomt. Tilsvarende som for borebrønner i fjell, er det en fordel at kollektorslangen omgis av/har direkte kontakt med varmeledende materialer. Jordas fuktighet er av avgjørende betydning for varmekapasiteten, og fuktig myr- eller leirjord vil kunne oppta og avgi vesentlig større varmemengder enn for eksempel drenert grusjord (Stene, 1997). Bruk av jordvarme gir fare for ujevnheter og «forsinket vår» på plenen.

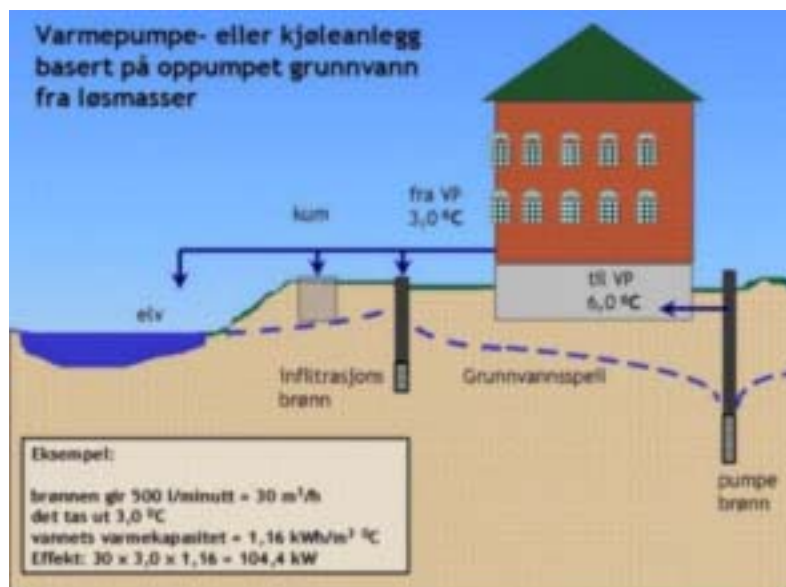
Fordel med denne anleggstypen:
+ Lave investeringskostnader.



Figur 12. Prinsippskisse av jordvarmeanlegg (Normann Energiteknikk, 2002).

1.9 Bruk av grunnvann – åpen løsning

Metoden går ut på å pumpe grunnvann fra brønn i løsmasser eller fjell. Varmepumpen nyttegjør seg energien i grunnvannet og løfter temperaturen til ønsket distribusjonsnivå tilsvarende som for lukket system. Store energimengder kan hentes ut fra grunnvannsbrønner



Figur 13. Eksempel på varmepumpe- eller kjøleanlegg som bruker opp-pumpet grunnvann fra løsmasser som energikilde. Varmervekslet grunnvann blir enten infiltrert i en nærliggende brønn, grøft, basseng, eller pumpet til et vassdrag.

løsmasser kan man finne i breelv-, elve-, og i enkelte tilfeller, moreneavsetninger. Enkelte borebrønner i fjell kan også gi mye vann, særlig hvis man treffer på store vannførende sprekker eller hvis brønnen er boret i en porøs og permeabel bergart som rombeporfyr. Grunnvannskvaliteten har betydning for driften av grunnvarmeanlegg basert på opp-pumpet grunnvann. Dette gjelder spesielt stoffer som kan gi bakterievekst, igjenslamming og utfellinger (humus, jern, mangan og karbonater) og stoffer som kan gi korrosjon.

Fakta om grunnvarmeanlegg basert på opp-pumpet grunnvann:

- Brønddyp 10-40 meter
- Brønddiameter 15-20 centimeter
- Vannkapasitet: 5-25 liter/sekund

Fordeler med denne anleggstypen:

- + Effektivt energiuttak
- + Middels stor investering

Ulemper med denne anleggstypen:

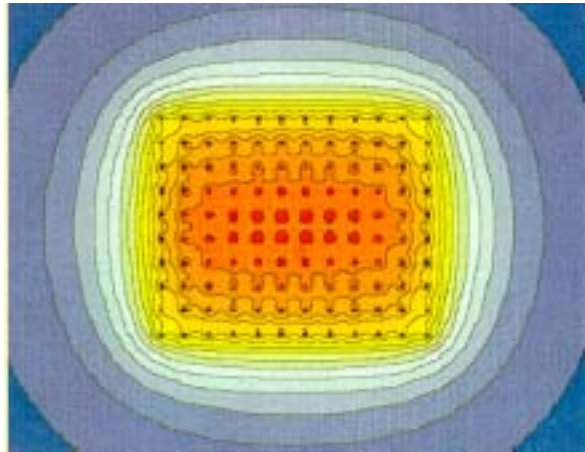
- Krever god vannkvalitet
- Forundersøkelser er nødvendig
- Problem ved frost



Figur 14. Grunnvannstemperatur i Norden.

1.10 Energilager = kjøling + oppvarming

Kjøling + oppvarming = sant! Grunnvarme kan benyttes enkeltvis til både oppvarming og kjøling, men det aller beste er en kombinasjon. På denne måten virker grunnen som et batteri som lades opp igjen med varme når anlegget er i kjølemodus, og kulde når anlegget er i oppvarmingsmodus (sesonglager). Et energilager kan også brukes kontinuerlig til både oppvarming og kjøling. I sum for begge energilagertypene er effektuttaket høyere enn om anlegget ble benyttet til kun oppvarming eller kjøling. Prinsippene for fire forskjellige typer energilagere er beskrevet nedenfor.



Figur 15. Energilager, BTES (Hellström, 1991).

- Underground Thermal Energy Storage (UTES)
UTES eller lagring av termisk energi i undergrunnen er den generelle benevnelsen på et energilager i grunnen. BTES, ATES og CTES er alle UTES.
- Borehole Thermal Energy Storage (BTES)
BTES er lagring av termisk energi i borehull i fjell eller løsmasser. Lav grunnvannsbevegelse, høy varmekapasitet og middels varmeledningsevne i omgivende medium er gunstig for BTES.
- Aquifer Thermal Energy Storage (ATES)
I ATES eller lagring av termisk energi i grunnvann, benyttes grunnvann som energibærer. Metoden krever et permeabelt lagermedium, enten løsmasser eller oppsprukket fjell. Anleggene består av et sett med kalde og varme brønner, og det sirkulerende grunnvannet henter energi i grunnvannsmagasinet.
- Cavern Thermal Energy Storage (CTES)
CTES innebærer lagring av energi i et tett berggrom. Energien nyttegjøres når det er behov for den.

1.11 Universitetssykehuset i Akershus

Avsnittet er i hovedsak basert på Høst et al. (2000).

Det nye Universitetssykehuset i Akershus (UiA) skal stå klart for innflytting i 2007, og et nybygg på 160 000 m³ i Lørenskog trenger energi. Bygget vil ha et årlig oppvarmingsbehov på 30 GWh, noe som

tilsvarer energiforbruket til oppvarming av 1500-2000 eneboliger. Sykehuset har også behov for kjøling. NGU fikk oppgaven med å utrede muligheter for bruk av grunnvarme. Etter omfattende grunnundersøkelser ble det anbefalt utbyggerne å anlegge et borehullslager



Figur 16. Utbyggingsområdet for det nye Universitetssykehuset i Akershus.

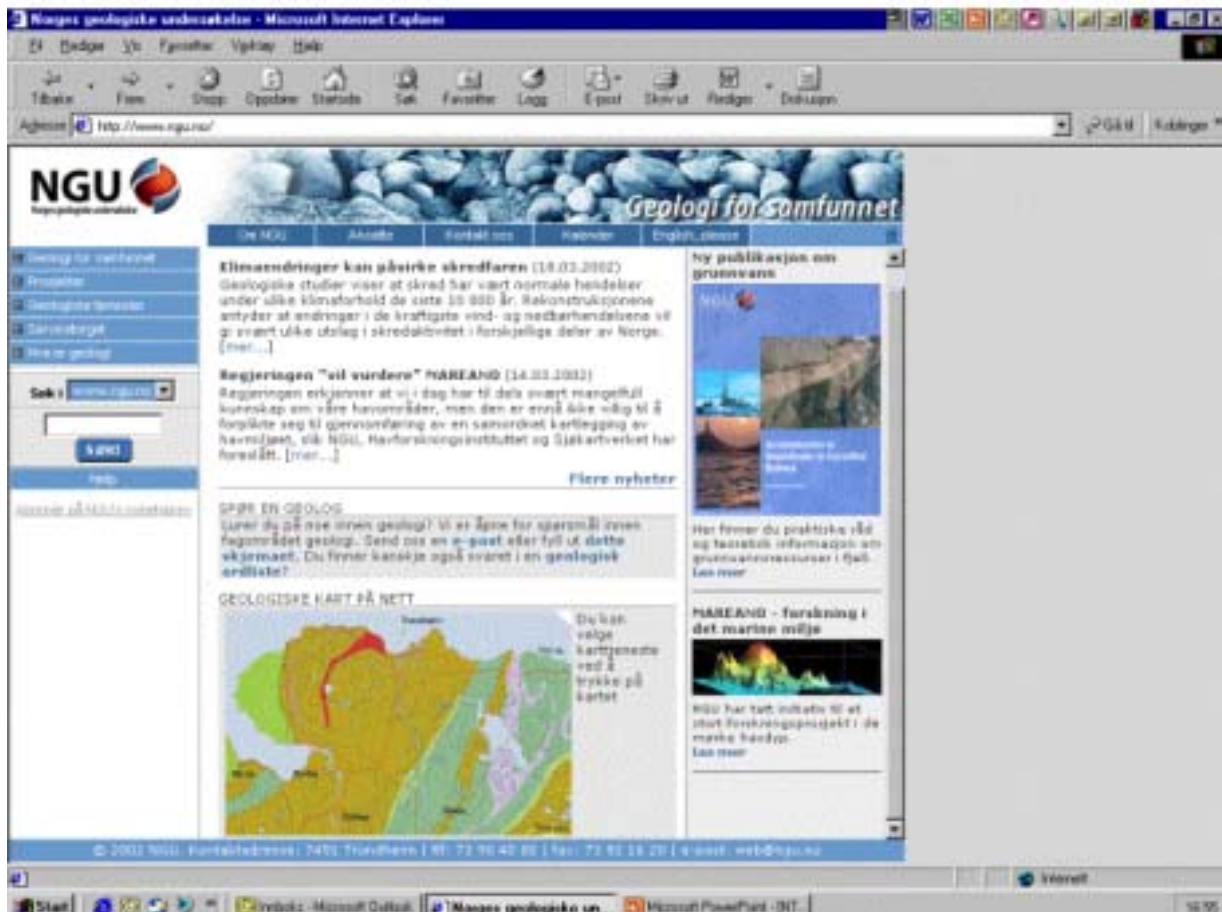
basert på varmpumper. Borehullslageret vil være en "brønnpark" med anslagsvis 200-300 borehull ned til 160-200 meters dyp. Investering i blant annet borehull og varmpumper vil være cirka 30 millioner kroner. Det varmpumpebaserte grunnvarmeanlegget vil da kunne dekke cirka 80 prosent av sykehusets totale oppvarmingsbehov. Samtidig vil utgiftene til kjøling reduseres. Totalt vil anlegget gi en forventet årlig energibesparelse på noe over 7 millioner kroner, og anlegget vil være nedbetalt i løpet av 5 år.



Figur 17. Det nye Universitetssykehuset i Akershus kan dekke det meste av oppvarmingsbehovet ved hjelp av varmpumper som henter energien fra mange brønner i fjellet.

1.12 www.ngu.no

Informasjon om NGUs virksomhet finnes på hjemmesiden www.ngu.no. Mer informasjon om grunnvarme finnes i menyen til venstre under *Prosjekter* og deretter *Grunnvarme*.



Figur 18. Startsidene for NGUs hjemmeside: www.ngu.no.

1.13 Brønndatabasen

Søk i NGUs interaktive brønndatabase kan være til god hjelp ved vurdering av grunnvarme som energikilde.

Brønndatabasen inneholder detaljerte opplysninger om mer enn 20 000 brønner i fjell og løsmasser. En interaktiv versjon av databasen er tilgjengelig på NGUs websider, www.ngu.no, hvor man kan zoome inn til ønsket område. Per i dag gir databasen informasjon om fjell-, løsmasse- og energibrønner, LGN-data (landsomfattende grunnvannsnett) og brønnboringsfirma. For å komme inn på brønndatabasen fra NGUs internettsider velger man i menyen til venstre på hovedsiden: *geologiske tjenester* → *databaser* → *grunnvann og brønndatabasen*.

1.13.1 Søk i brønndatabasen

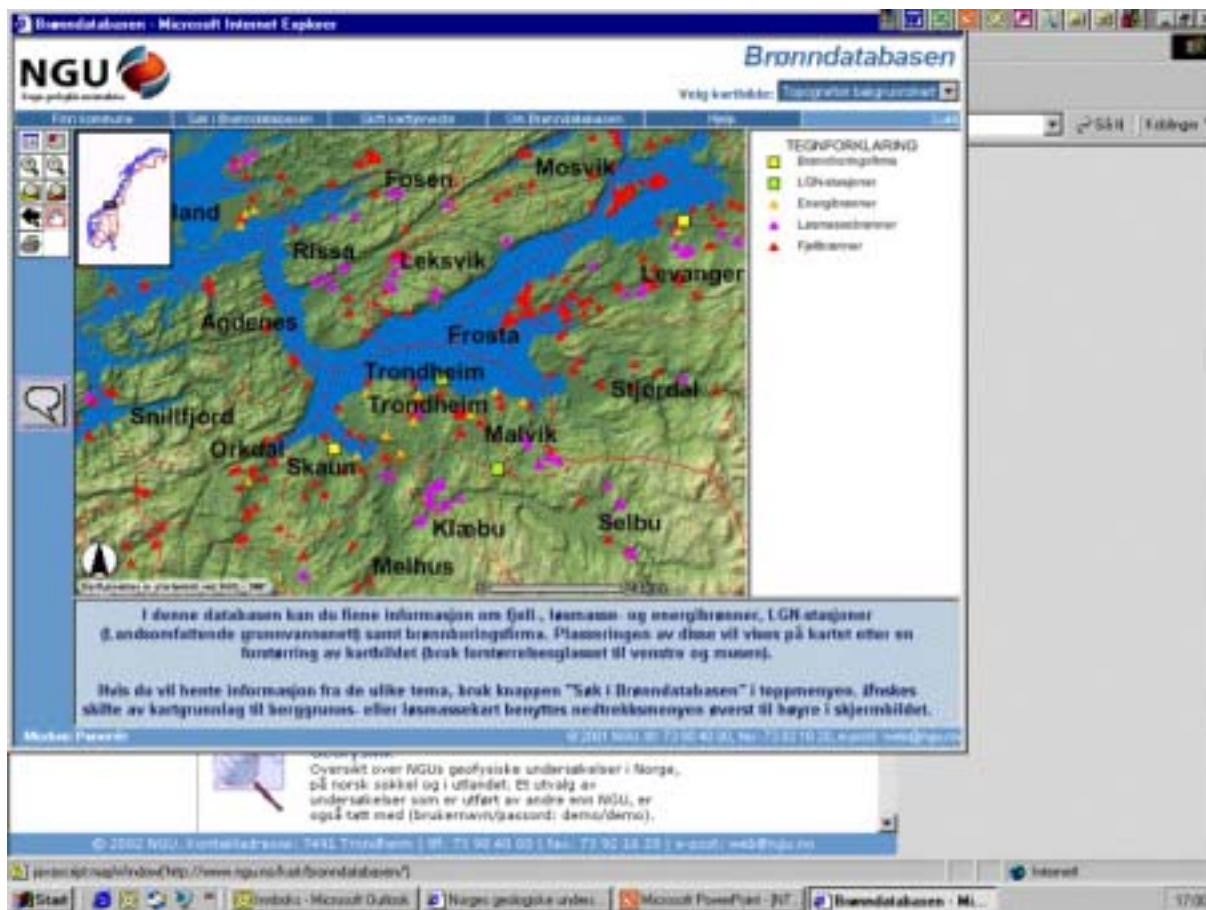
Ved å velge *søk i brønndatabasen* i den øverste menylinjen (figur 19), kan man ved å klikke på ønsket symbol (brønntype eller brønnboringsfirma) få detaljopplysninger. Informasjonen som kan hentes ut ved et søk på fjell-, løsmasse- eller energibrønner er blant annet: *lokalisering (koordinater), fylke, kommune, boredato, borediameter, brønnens bruk, borefirma, totalt dyp av brønn, vannføring, forings-/brønnrørmateriale, boredato, gårds- og bruksnummer, dyp til fjell, forings-/brønnlengde, rapporter/referanser, merknader, andre opplysninger, adresser og telefonnummer, lag, sprengning/trykking, dyp og konsulenter*. Av denne informasjonen er det først og fremst *dyp til fjell* og *vannføring* som er av betydning for grunnvarmeanlegg. Siden det er dyrt å bore i løsmasser (nedsetting av foringsrør koster 600-900 kr/m) ved boring av brønner i fjell, vil det av økonomiske grunner være interessant å vite løsmassetykkelsen/dyp til fjell på borelokaliteten. *Vannføring* angis i liter/time og gir informasjon om hvorvidt lokaliteten er egnet for uttak av store mengder grunnvann. I tillegg kan brønnens *vannføring* sammen med områdets topografi, gi en indikasjon på grunnvannsbevegelsen i brønnen. Eventuelle *Rapporter/referanser* utarbeidet i forbindelse med boringen vil gi ytterligere informasjon om det aktuelle området.

1.13.2 Temakart for berggrunnsgeologi eller kvartærgeologi som bakgrunn

I tillegg til å utføre *søk i brønndatabasen* er det mulig å legge enten berggrunnsgeologisk kart eller kvartærgeologisk kart i bakgrunnen av det området man jobber i. Bakgrunnskartet for berggrunnsgeologi er i målestokk 1: 250 000, mens det kvartærgeologiske kartet er i målestokk 1: 1000 000.

Ved å legge berggrunnskartet som bakgrunn får man en oversikt over hvilke bergarter som finnes i området. Bergartstype er viktig i forhold til parameteren varmeledningsevne og mulig effektuttak fra grunnvarmeanlegg basert på lukkede kolletoreser i borebrønner i fjell.

Ved å legge kvartærgeologisk kart som bakgrunn i brønndatabasen får man en grov oversikt over løsmasseforholdene i området. Siden kartet er i målestokk 1: 1000 000, er det bare egnet til å gi et svar på om det aktuelle området er dekket av løsmasser eller består av bart fjell eller tynt morenedekke. Dette er nyttig informasjon i forhold til behov for nedsetting av foringsrør i løsmasser ved boring av brønner i fjell. For å få et bedre bilde av løsmassefordelingen, må man benytte analoge (trykte) kart i mindre målestokk, som beskrevet ovenfor, hvis slike er tilgjengelige.



Figur 19. En titt på NGUs interaktive brønn database kan være lurt hvis du vurderer grunnvarme som energikilde.

2 Referanser

1. Enøksenteret i Oslo (2002): *Hjemmesidene for Enøksenteret i Oslo, E-CO Smart*. <http://www.e-cosmart.no>.
2. Hellström, G. (1991): *Ground heat storage. Thermal analyses of duct storage systems. I. Theory*. Dep. of Mathematical Physics, University of Lund, Sweden.
3. Hellström, G. (2001): *Borrhålsvarmeväxlare och termisk energilagring*. Foredrag ved det 10. seminar om hydrogeologi og miljøgeokjemi, Norges geologiske undersøkelse, 8.-9. februar.
4. Hilmo, B.O., Kalskin, R. og Midttømme, K. (2000): *Grunnvarme som energikilde. Innspill til fylkesdelplan for Hedmark med tema energi*. Norges geologiske undersøkelse, NGU rapport 2000.093, 6 sider.
5. Høst, J., Midttømme, K. og Skarphagen, H. (2000): *Nytt sentralsykehus med grønn oppvarming i Lørenskog*. Norges geologiske undersøkelse, NGUs årsrapport 2000, s. 12-13.
6. Normann Energiteknikk (2002): *Hjemmesidene for Normann Energiteknikk*. <http://www.normann-energi.no>.
7. Stene, J. (1997): *Varmepumper – Grunnleggende varmepumpeteknikk. Kap. 4 – Varmekilder og varmeopptakssystemer, side 4-21*. STF84 A97302. SINTEF Energi, Klima- og kuldeteknikk.