



Norges Miljøvernforbund
Postboks 593
5806 BERGEN

Bergen, 20.01.2022

Olje- og energidepartementet
v/Statsråd Marte Mjøs Persen
Postboks 8148 Dep 0033 Oslo
Kopi: ENOVA

Anmodning om oppstart av dyp geotermisk energi «5000meter+ elektrisitet og varme»

Norges Miljøvernforbund foreslår at regjeringen v/OED snarest bevilger opp til 5 milliarder kroner til fullskala dypgeotermisk prosjekt «5000 meter + elektrisitet og varme».

5000 meter dype geotermiske brønner er nok til å kunne produsere elektrisitet fra damp på 120-150 grader C. Norge innehar verdensledende ekspertise på boring og varmeteknikk for å kunne produsere elektrisitet og nærvarme fra et geotermisk kraftverk. Equinor innehar konkret erfaring i dyp geotermisk boring for elproduksjon i pågående prosjekter.

En bevilgning på omlag 5 milliarder kroner vil kunne finansiere opp til 5 fullskala geotermiske kraftverk i Norge, lokalisert i 4 store byer, samt ett anlegg i Finnmark.

Her kan anleggene plasseres: Oslo, Bergen, Trondheim, Mo i Rana og Finnmark.

Ren energi

Geotermiske kraftverk legger minimalt beslag på natur, og kan plasseres der folk bor. Elektrisitet og nærvarme blir kortreist, stabil, robust med forutsigbare kostnader, uten klimagassutslipp eller forurensning til det ytre miljø. **Geotermisk elektrisitet har potensiale til å kunne fase ut vind, vann, kull/fossil og atomkraft, og er den reneste energiproduksjonen som finnes.**

En ny industriepoke

Norge begynte å bore etter olje og gass for 70 år siden, og kompetanse og teknologi utviklet seg til å bli verdensledende. **Vi kan gjøre det igjen, denne gang på geotermisk elektrisitet og varme.**

Det har vært en rivende utvikling innenfor geotermi, og teknologien er mer enn moden.

Geotermi den raskest voksende energiproduksjonen i verden.

Norge har nok erfaring og nok teknologi til å sette i gang. Vi trenger ikke forskning for å starte opp.

Store geotermiske prosjekter på land vil gi en videreføring av kompetanse fra offshorevirksomheten, i tillegg til å skape et nytt internasjonalt marked for ny teknologi på dypgeotermisk energi. Dette er Norges beste kort til grønn omstilling og stabil energi for fremtiden.

5000 meter+ dype brønner er nok til å lage elektrisitet ved dagens teknologi. I dag er det mulig å veksle en temperatur på 80-90 grader C opp til å kunne drive en dampturbin for å lage elektrisitet. (ref: ORC Organic Rankine Cycle).

Norges geologiske undersøkelser (NGU) har allerede kartlagt deler av Norge og beregnet temperaturer

Norges Miljøvernforbund

Hovedkontor:

Postboks 593

5806 BERGEN

Skuteviksboder 24

Bank: 9521.05.71982

Internett: www.nmf.no

Tlf: 55 30 67 00

Faks: 55 30 67 01

Org.nr. 871 351 082 MVA

Epost: nmf@nmf.no

Region Sør / Øst

Postboks 9261

Grønland

0134 OSLO

Tlf: 55 30 67 00

Epost: oslo@nmf.no

Region Nord-Norge

Postboks 446

9255 TROMSØ

Tlf: 913 57 125

Epost: nord@nmf.no



på 5000 meters dyp. (ref: 2010) Regjeringen bør ta inn over seg at der regjeringsplattformen ble laget, Hurdal er det varmeste punktet i Norge på 5000 meters dyp.

Forkastning/gammelt vulkansk område som Oslo ligger på og på begge sider av Oslofjorden ned til Porsgrunn i Telemark har hovedsakelig granitt, som har en høyere egentemperatur enn annet grunnfjell, opp mot 30 grader pr. 1000 meter i dybden.

Energiberedskap med stabile energikilder i nord er viktig, og Finnmark må få prioritet på et dypgeotermisk kraftverk. Et slikt anlegg vil f.eks. ikke komme i konflikt med reindriften, i motsetning til nye planlagte vindkraftanlegg (eks. Davvi Vindpark).

Energiforsyning på Svalbard

Norge må også snarest sette igang boring for å kunne omskolere varmekraftverket i Longyearbyen fra kullkraft til dyp geotermisk elektrisitet og varme, uten behov for drivstoff utenfra.

Kullkraftverket som blir nullutslippskraftverk er et prosjekt som er gjennomførbart med langt lavere kostnader enn 5000+ kraftverkene. *Svalbard har enkelte steder samme temperaturgradienter som på Island(Reykjanes), det er funnet temperaturer på 112 grader ved 1000 meters dybde på vestkysten av Svalbard.*

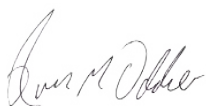
Norsk industri kan nyte godt av et teknologisk samarbeid med Tyskland på dypgeotermi. Eks. Siemens som har utviklet dampturbiner for elektrisk produksjon.

Vi har nå muligheten til å sette oss i førersetet for ren og stabil energiproduksjon.

Vi ønsker at OED snarest mulig finansierer 5 dypgeotermiske prosjekter i Norge. Planer om nye bevilgninger til havvind og andre ustabile energiproduksjonsformer må stoppes, og midler omdisponeres for å iverksette dyp geotermisk energiproduksjon.

«Geotermisk er energi for fremtiden»

Vennlig hilsen



Ruben M. Oddekalv
Leder Norges Miljøvernforbund



Anders Løberg
Saksbehandler

Kontaktinformasjon: Ruben M. Oddekalv ruben@nmf.no 416 74 922
Anders Løberg anders@nmf.no 911 74 175

<https://www.nmf.no/geotermisk-energi>

Vedlegg: Energi 21, Innsatsgruppe Fornybar termisk energi, Arbeidsgruppe Geotermisk energi.pdf
Ref: NGU <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGastandard/WGC/2010/1194.pdf>

Norges Miljøvernforbund

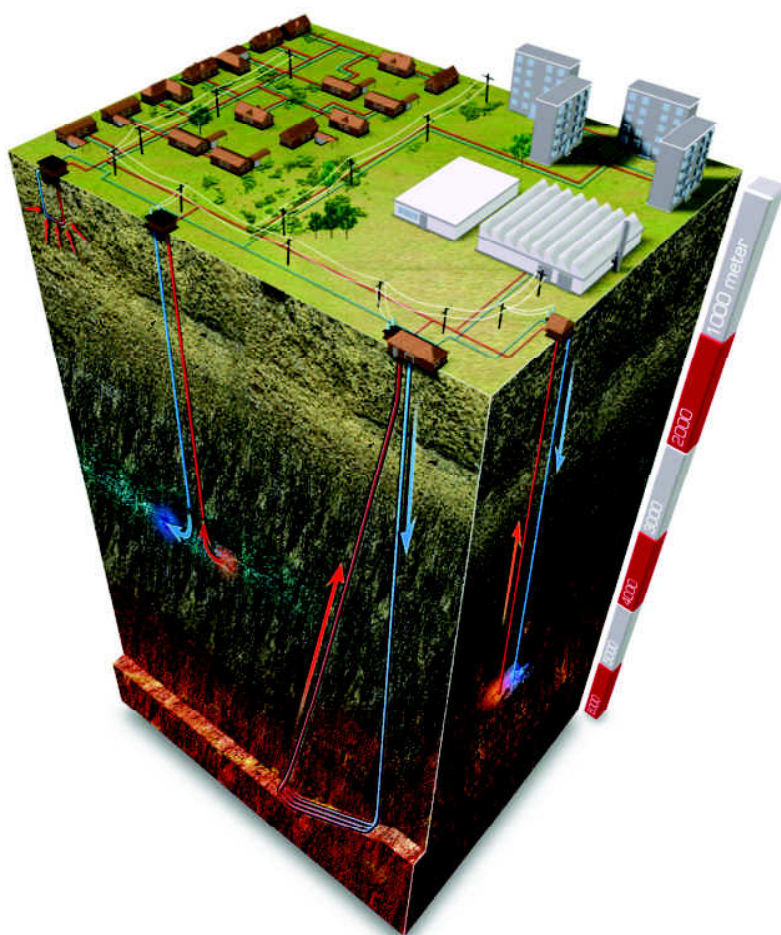
Hovedkontor: Postboks 593 5806 BERGEN Skuteviksboder 24 Bank: 9521.05.71982 Internett: www.nmf.no	Tlf: 55 30 67 00 Faks: 55 30 67 01 Org.nr. 871 351 082 MVA Epost: nmf@nmf.no	Region Sør / Øst Postboks 9261 Grønland 0134 OSLO Tlf: 55 30 67 00 Epost: oslo@nmf.no	Region Nord-Norge Postboks 446 9255 TROMSØ Tlf: 913 57 125 Epost: nord@nmf.no
---	---	---	--



Energi 21

Innsatsgruppe Fornybar termisk energi

Arbeidsgruppe Geotermisk energi



Illustrasjon: Rock Energy

Innhold

1	Konklusjon og begrunnelse.....	3
2	Innledning	4
2.1	Arbeidsgruppe for geotermisk energi.....	5
2.2	Arbeidsprosessen.....	5
2.3	Definisjoner og avgrensninger.....	5
2.4	Nasjonalt og globalt energipotensial	7
2.4.1	Ressursgrunnlag i Norge	8
3	Tilstandsbeskrivelse.....	12
3.1	Grunne geotermiske systemer (GGS)	12
3.1.1	Systemtyper	13
3.1.2	Energiutnyttelse	14
3.1.3	Boring	15
3.1.4	Miljøaspekter	15
3.2	Naturlige hydrotermiske systemer (NHS)	15
3.3	Konstruerte geotermiske systemer (KGS).....	16
3.3.1	Systemtyper	16
3.3.2	Energiutnyttelse	17
3.3.3	Boring	20
3.3.4	Miljøaspekter	21
3.4	Geotermiske aktører i Norge.....	22
4	Industriens mål og ambisjoner.....	22
4.1	Hovedmål og ambisjoner	23
4.2	Delmål og aksjoner	23
4.2.1	Forskning og utvikling.....	23
4.2.2	Utdanning	23
4.2.3	Industribygging	24
4.2.4	Kommunikasjon	24
5	Dagens FoU-plattform	25
6	FoU-D mål, -utfordringer og -prioriteringer.....	25
6.1	Bore- og brønnteknologi	25
6.2	Ressurs	26
6.3	Reservoar	27
6.4	Energiutnyttelse	27
6.5	Miljø	28
7	Nødvendige tiltak for å nå mål.....	28
7.1	Generelle tiltak	28
7.2	Offentlige rammevilkår	29
8	Grenseflater mot andre aktiviteter	30
9	Forutsetninger for implementering av anbefalinger og mål	30
10	Bibliografi	31
	Vedlegg A – Norske aktører innen geotermi	33
	Vedlegg B – Oversikt over boreutfordringer	36

1 Konklusjon og begrunnelse

Geotermisk energi bør defineres som et satsingsområde på nasjonalt plan.

Ny kunnskap og ny teknologi er i ferd med å muliggjøre effektivt uttak av ren energi fra den enorme ressurskilden som befinner seg inne i jordkloden – geotermisk energi – som gir stabil energiproduksjon uavhengig av ytre forhold.

Den geotermiske virksomheten har potensial til å generere verdiskaping og kompetansebaserte arbeidsplasser i Norge på et nivå som på sikt kan kompensere for den reduksjon som forventes innen olje og gass.

Geotermisk energi har mange fordeler. Den kan benyttes til oppvarming, kjøling og produksjon av elektrisk kraft. Ressursen er tilgjengelig overalt og den er spesielt godt egnet til å dekke fremtidens energibehov da den utgjør en fornybar energikilde som gir jevn energiproduksjon uavhengig av sol, vind eller regn. Et geotermisk anlegg i drift har ingen eller minimale utslipp av CO₂ og andre stoffer til luft, vann eller grunn. Samtidig krever et slikt anlegg lite areal på bakkenivå og svært begrensede naturinngrep.

Norge har mulighet til å ta en sentral rolle i internasjonal geotermisk virksomhet, innen både forskning og næring. Den kompetansen som er opparbeidet innen olje- og gassvirksomheten og innen vannkraft, gir en framtidig norsk geotermisk industri et konkurransefortrinn.

Norge kan bidra til å løse verdens energi- og miljøutfordringer ved å forsyne det internasjonale markedet med effektive, miljøvennlige løsninger for utnyttelse av dyp geotermisk energi.

Den geotermiske industrien befinner seg på enkelte områder i en oppstartsfasen. Potensialet og de øvrige fordelene gjør at mange politikere, forskere og industrifolk i en rekke land forbereder større satsinger. Norges mulighet til å sikre en ledende posisjon eksisterer nå. En realisering av mulighetene krever omforente og koordinerte aksjoner innen forholdsvis kort tid.

Industriens mål og ambisjoner er å få nærmere kartlagt det geotermiske ressurspotensialet i Norge, utvikle kostnadseffektive løsninger for dyp geotermisk energi til kraftproduksjon, øke bruken av grunne geotermiske systemer til oppvarming (varmepumper), samt å utvikle norsk leverandørindustri mot nasjonale og internasjonale markeder.

FoU-D områder som bør prioriteres, er tiltak for mer kostnadseffektiv boring av dype brønner i hardt fjell, og utvikling av bedre metoder for å framstille pålitelige temperatur- og reservoarmodeller. Det foreslås å etablere et testsenter for utvikling og utprøving av geotermiske løsninger, samt etablering av et nasjonalt geotermisk kartleggingsprogram. For å sikre en koordinert nasjonal forsknings- og utviklingsinnsats, anbefales opprettelse av et FME (Forskningssenter for Miljøvennlig Energi) for geotermisk energi.

2 Innledning

Geotermisk energi er varme som ligger lagret i jordskorpen.

Varmen som er lagret nær overflaten i jord, fjell og grunnvann, kan hovedsakelig betraktes som magasinert solenergi og utnyttes i dag kommersielt ved hjelp av grunne brønner og varmepumper til oppvarming av hus og næringseiendommer.

De enorme energimengdene i form av varme i de dypere deler av jordskorpen stammer dels fra jordens indre og dels fra en kontinuerlig nedbrytning av radioaktive isotoper i jordskorpen. I de fleste områdene stiger temperaturen gjennomsnittlig med 20 – 30 °C pr km dybde. Den formen for geotermisk energi er geografisk ulikt fordelt, siden temperaturen stiger raskere med dybden i områder på grensen mellom jordskorpeplatene (for eksempel på Island). Frem til i dag har dyp geotermisk energi først og fremst vært utnyttet i slike naturgitte varme områder der varmt vann og/eller damp kan produseres fra varme grunnvannskilder.

I de senere år har det for forskningsformål blitt boret brønner ned til flere kilometers dyp for å ta ut energi i områder med lite naturlig tilstedeværelse av vann. Varmeuttaket kan her skje ved å sirkulere vann som varmes opp i undergrunnen i naturlige eller konstruerte systemer. Lykkes en med dette har en frigjort et enormt potensial for fornybar, miljøvennlig energi som er tilgjengelig på varierende dybde rundt hele jordkloden. Geotermisk energi utgjør derfor i dag en relativt ny, men meget viktig del av satsingen innen fornybar energi der bl.a. USA, EU og Australia har bevilget betydelige midler for å fremme utviklingen innen dette området.

På verdensbasis er det i dag en økende forståelse for det enorme potensialet som geotermisk energi utgjør, både på bakgrunn av de miljø- og klimautfordringer vi står overfor, sterkt økende energipriser, og det faktum at fossil energi ikke er en fornybar ressurs. Samtidig har eksempelvis teknologien på norsk kontinentalsokkel for boring av brønner, inkludert retningsboring og grenboring, hatt en rivende utvikling som muliggjør presisjonsboring på store dyp. Flere oljeselskaper og leverandører til oljevirkksomheten har satt geotermisk energi på dagsorden og ser denne ressursen som et mulig bidrag i den framtidige energiporteføljen.

Innen området geotermisk energi har Norge og norsk industri med sin historiske bakgrunn i gruvedrift, vannkraft, tunnelarbeid og oljevirkksomhet flere komparative fortrinn som bør utnyttes. Ved å bygge på kompetanse fra oljeindustrien innen geofysisk kartlegging av berggrunnen, avansert boring og reservoarteologi, har Norge en mulighet til å ta en sentral internasjonal posisjon innen teknologiutvikling og forskning på fremtidige geotermiske systemer på et avgjørende tidspunkt. Norske forsknings- og industriaktører har mulighet til å levere innovativ teknologi for geotermisk industri internasjonalt, og skape muligheter ikke bare for nyetableringer, men også for etablerte energileverandører og petroleumsindustri på leting etter nye markeder. Norge har dessuten større behov for innendørs oppvarming enn de fleste andre land.

2.1 Arbeidsgruppe for geotermisk energi

Arbeidsgruppen har bestått av følgende deltagere:

1. **Jan E Evensen**, Rock Energy (Gruppeleder)
2. **Jane Nilsen Aalhus**, Statoil
3. **Inga Berre**, Christian Michelsen Research / UIB
4. **Håkon Bergan**, TTS Energy
5. **Per Håvard Kleven**, Kongsberg Innovasjon / Devotek
6. **Erling Næss**, NTNU
7. **Odleiv Olesen**, Norges geologiske undersøkelse (NGU)
8. **Einar Østhassel**, Maskinentreprenørenes forbund (MEF)

2.2 Arbeidsprosessen

Arbeidet med rapporten er utført i tidsrommet mai – november 2010. Arbeidsgruppen har hatt jevnlig møter i perioden. Det enkelte medlem har medvirket både med vesentlige bidrag til rapporten innenfor sine spesifikke fagfelt og gjennom de mange diskusjoner og gruppearbeider som har funnet sted i og utenfor den ordinære møtevirksomheten.

2.3 Definisjoner og avgrensninger

Geotermisk energi er varme lagret i jordskorpen. Den er en fornybar energikilde siden den varmen som utvinnes fra et reservoar kontinuerlig blir gjenopprettet ved varmeproduksjon i jordskorpen (nedbrytning av radioaktive isotoper), varmetransport fra omkringliggende varmere områder, solinnstråling (grunne systemer) og varmetilførsel fra jordens indre.

Et geotermisk system er et sirkulasjonssystem der en varmbærer (ofte vann) kan strømme og bli varmet opp av den varmere, omkringliggende berggrunnen. Systemet kan være naturlig eller menneskeskapt, eller en kombinasjon.

Denne rapporten vil i hovedsak omhandle tre typer geotermiske ressurser, klassifisert etter det geotermiske systemet som muliggjør uthenting av ressursen:

Grunne geotermiske systemer (GGS) [Engelsk: Groundsource heat pumps (GHP)]. GGS er i hovedsak enten lukkede energibrønner i løsmasser eller fast fjell, eller naturlige sirkulasjonssystemer basert på grunnvannskilder. GGS benyttes til uthenting av grunn geotermisk energi og anvendes hovedsakelig med varmepumper til oppvarmings- og kjølingsformål. Dybde for systemene er i dag ned til 250 m, men økning i dybde til 500 – 1000 m (mellomdype geotermiske systemer) er aktuelt, spesielt i urbane områder med plassbegrensninger for anleggene. Ressurstypen betegnes også som grunnvarme, jordvarme og geovarme.

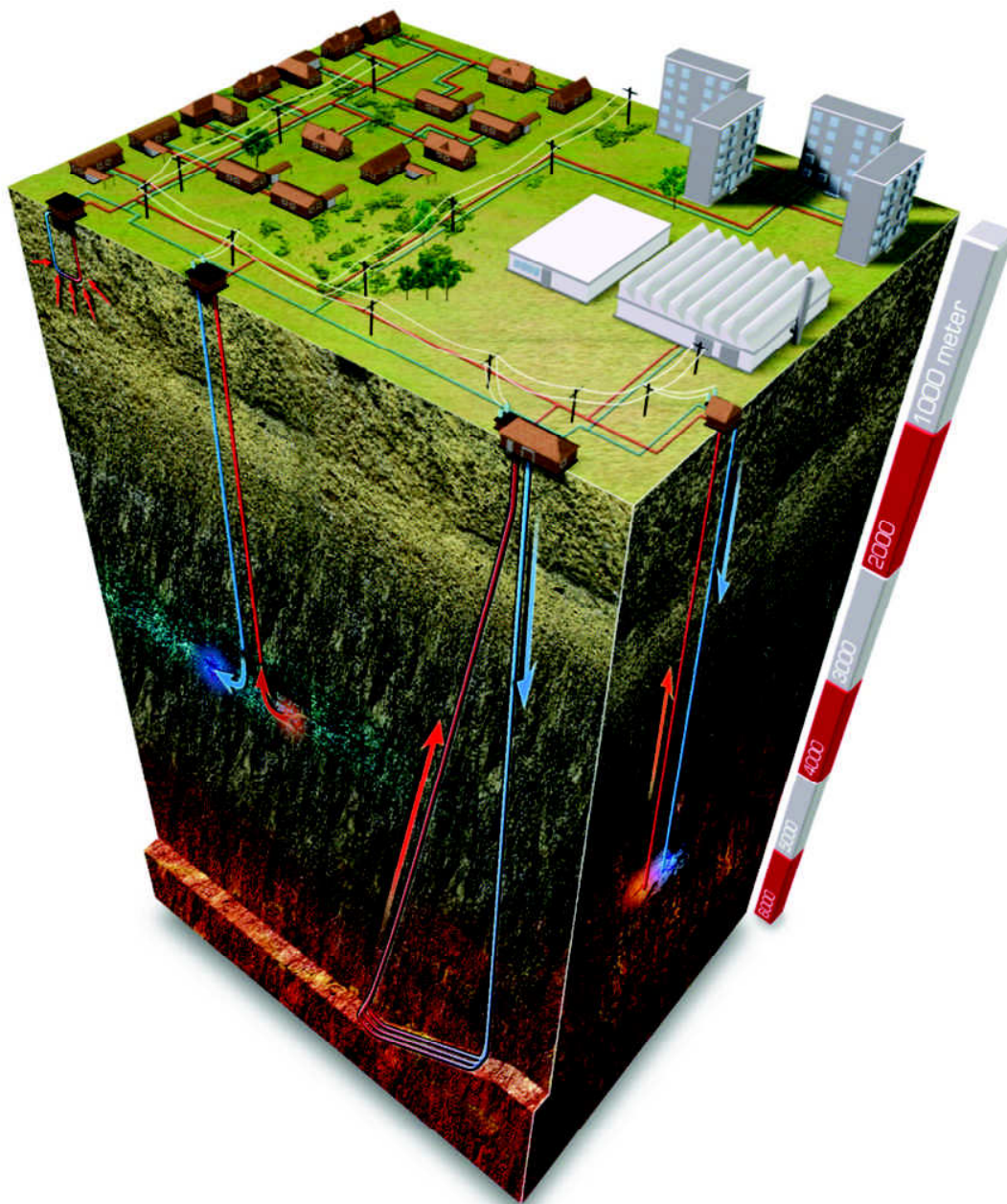
Naturlige hydrotermiske systemer (NHS) [Engelsk: Hydrothermal systems (HS)]. Naturlige hydrotermiske systemer er varme grunnvannskilder til 3000 m dyp. NHS benyttes i dag direkte til oppvarmingsformål, og, der temperaturene er høye nok, til kraftproduksjon. Ressursen

inkluderer også superkritisk vann nær magmaforekomster, grunnvannskilder som holder svært høye trykk, og varme grunnvannskilder offshore.

Konstruerte geotermiske systemer (KGS) [Engelsk: Enhanced geothermal systems (EGS)].
Konstruerte geotermiske systemer er geotermiske systemer som må bearbeides for å kunne utnytte geotermisk energi i dype, krystallinske bergarter som ikke har naturlige strømningsveier. Denne form for geotermisk energiutnyttelse er i dag på eksperiment-/demonstrasjonsstadiet. For å oppnå tilstrekkelig temperatur til storskala oppvarmingsformål må en dypere enn ca 3000 m, mens geotermisk energi til elektrisk kraftproduksjon ofte krever dyp på 5000 m eller mer.

Åpne og lukkede systemer: I de tilfeller der den varmbærende væsken som henter ut energien fra kilden, sirkuleres gjennom sprekker og porer i den geologiske formasjonen, snakker en gjerne om åpne systemer, i motsetning til lukkede systemer der den energibærende væsken sirkulerer gjennom rør og/eller borede brønner i hardt grunnfjell. Det skilles også mellom systemer basert på enkeltbrønner, flere brønner, grenbrønner og brønnslyfer i undergrunnen.

Overflatesystemer: Overflatesystemer for konvertering av energi fra varme til varme eller fra varme til elektrisitet vil ikke være begrenset til geotermiske anvendelser. Denne rapporten er derfor avgrenset til å omhandle utfordringer for overflatesystemer særlig knyttet til, eller viktige for, geotermiske anvendelser.



Figur 2.1 Illustrasjon av fire typer geotermiske energisystemer. Fra venstre: Grunt Geotermisk System (GGS), Naturlig Hydrotermisk System (NHS), Konstruert Geotermisk System (KGS) basert på borede brønner og "rundt hjørnet" et KGS basert på oppsprekking (Kilde: Rock Energy AS)

2.4 Nasjonalt og globalt energipotensial

Potensialet for geotermisk energi regnes i dag for å være nærmest uendelig på global basis og geotermisk energi utgjør av den grunn en meget sterk kandidat til å erstatte fossil energi på lang

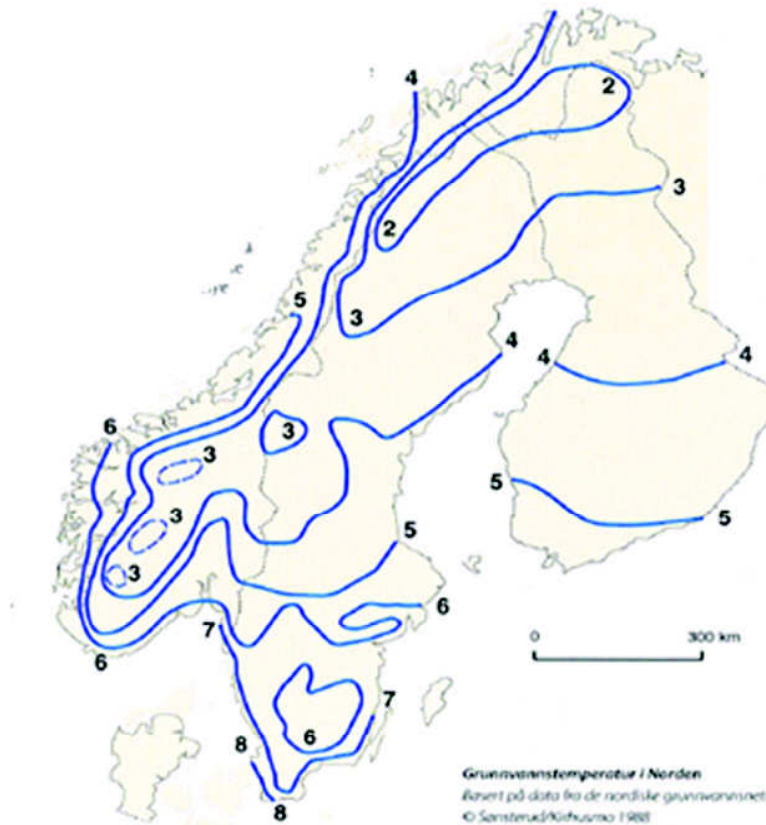
sikt. Det teoretiske potensialet for geotermisk energi er estimert til $1,5 \cdot 10^{12}$ TWh (Armstead, 1983), som utgjør mer enn 15 millioner ganger verdens årlige totale energiforbruk på om lag 96 000 TWh (IEA, 2009). Det tekniske potensialet for geotermisk elektrisitetsproduksjon er definert som mengden elektrisitet det er mulig å produsere basert på full implementering av eksisterende og nærliggende teknologi. Globalt er dette beregnet til ca 290 000 TWh pr år fra dyp ned til 10 km (Stefansson, 2005). I tillegg vil det være muligheter for å utnytte store mengder energi direkte i form av varme.

I mer enn 100 år har geotermisk energi blitt utnyttet til kommersiell elektrisitetsproduksjon i nærheten av naturgitte varme områder med vulkansk aktivitet som eksempelvis Italia og Island (naturlige hydrotermiske systemer). I de siste tiår er grunn geotermisk energi blitt mer og mer tatt i bruk som et godt og kommersielt supplement til boligoppvarming, der en utnytter små temperaturforskjeller ved å bore relativt grunne brønner og ta i bruk varmepumpesystemer (grunne geotermiske systemer). Utnyttelse av dyp geotermisk energi ved hjelp av konstruerte systemer i mer normalt tempererte områder er fortsatt på eksperimentstadiet, men får i dag stadig økt oppmerksomhet og beveger seg raskt mot bedre kommersialitet og dermed økt utnyttelse.

Innen Europa har EU investert over EUR 50 millioner i geotermisk energi så langt, og betydelige beløp og støtteordninger er lansert for å fremme videre utvikling av konstruerte geotermiske system. European Geothermal Energy Council (EGEC) har som målsetting å installere mer enn 6000 MW geotermisk basert elektrisk kraftkapasitet innen år 2020. I USA har Massachusetts Institute of Technology (Tester, et al., 2006) estimert et potensial for installert produksjonskapasitet på over 100 000 MW fra konstruerte geotermiske system på kommersiell basis i løpet av de neste 50 år. Også her er betydelige midler satt av til videreutvikling og realisering av ny teknologi. Tilsvarende fokus og støttetiltak finner en i Australia som i dag har flere operative anlegg med en total installert varmeeffekt på over 40 MW. Også andre nasjoner i Midt-Østen og fjerne Østen har begynt å interessere seg for dyp geotermisk energi, ikke minst Kina med sin raske økonomiske utvikling og ekstremt økende energibehov.

2.4.1 Ressursgrunnlag i Norge

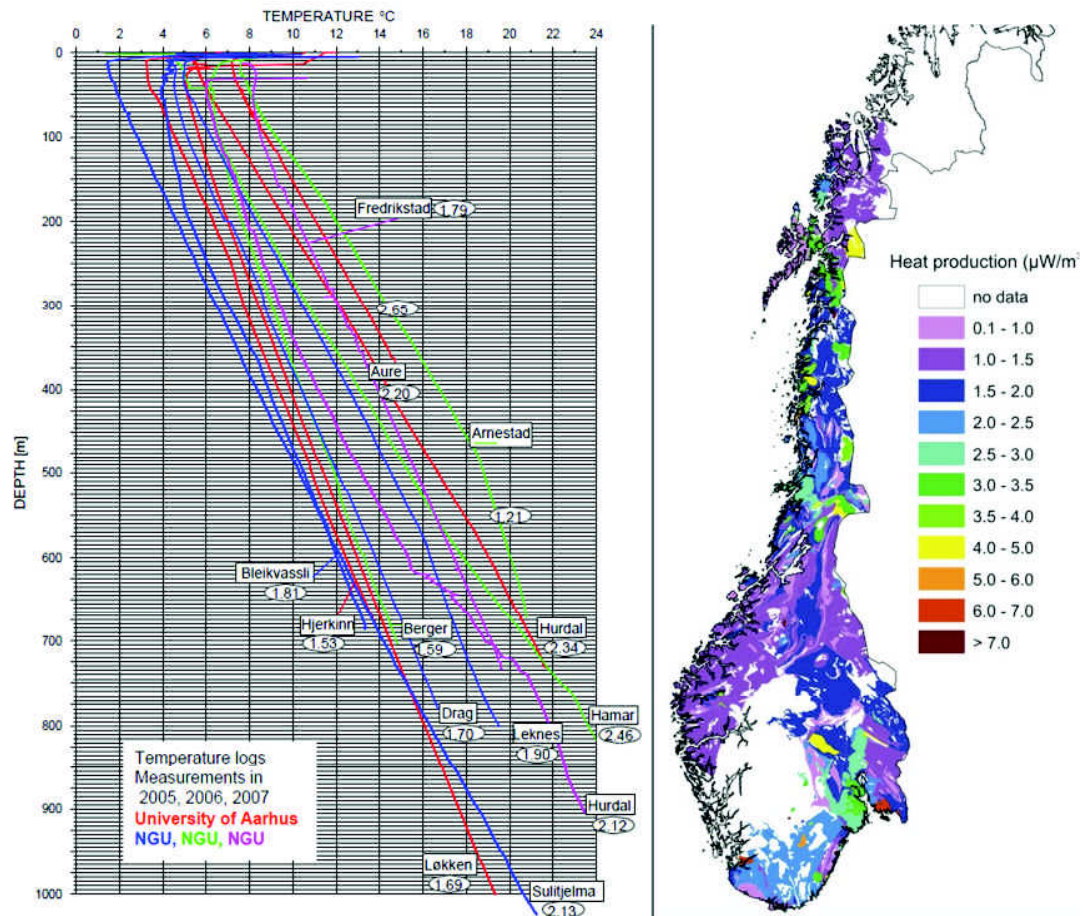
Grunnvann representerer i Norge en varmekilde med en temperatur som vil ligge i området 4–8 °C, se Figur 2.2. I Norge hentes det årlig ut 3,5 TWh varme og kjøling fra grunne geotermiske systemer (Midttømme, Berre, Hauge, Musaus, & Kristijànsson, 2010). Sett i forhold til folketall er dette høyt i internasjonal sammenheng, men det er fortsatt et stort uutnyttet potensial. Sverige produserer til sammenligning 12 TWh fra grunne geotermiske systemer.



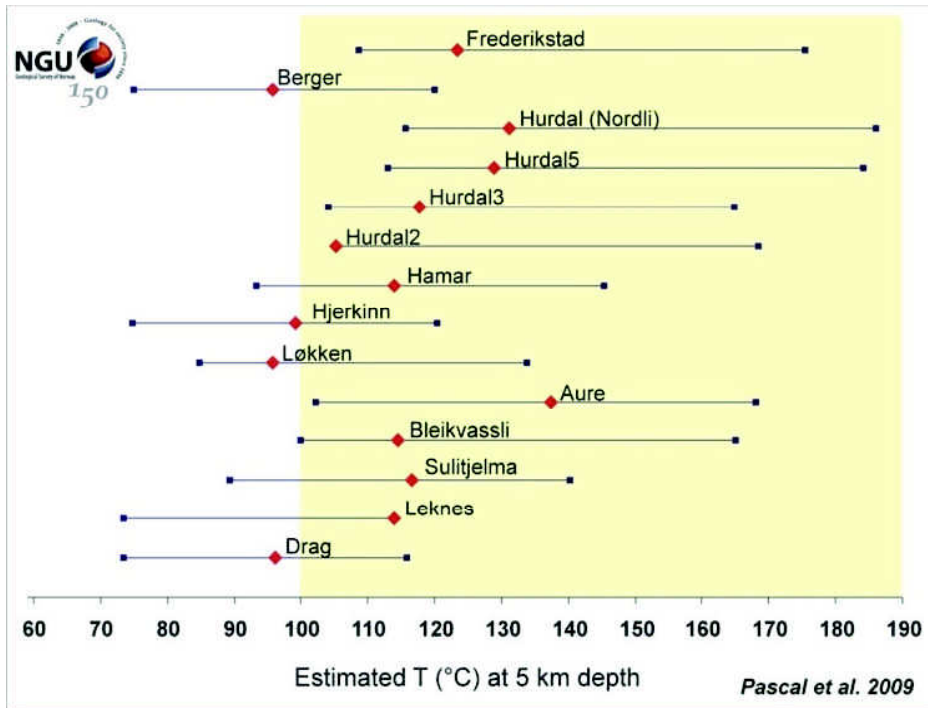
Figur 2.2 Temperaturkart basert på målinger annenhver uke over flere år (Sønsterud & Kirkhusmo, 1988)

De geotermiske ressursene i Norge er lite kartlagt. I de siste årene er det imidlertid gjennomført prosjekter der temperaturen er målt på én kilometers dyp og deretter beregnet ned til fem kilometer, se Figur 2.3 og Figur 2.4. Undersøkelsene viser at beregnet varmestrøm er ca. 25 % høyere enn vist på dagens kart for Europa, se Figur 2.5. Resultatene viser også at det er langt fra likegyldig hvor energibrønnene bores. Temperaturestimatene på fem kilometers dyp kan variere med femti til hundre grader, se Figur 2.4. Plasseringen av borehullene kan dermed gi store utslag for prisen på energien som blir produsert.

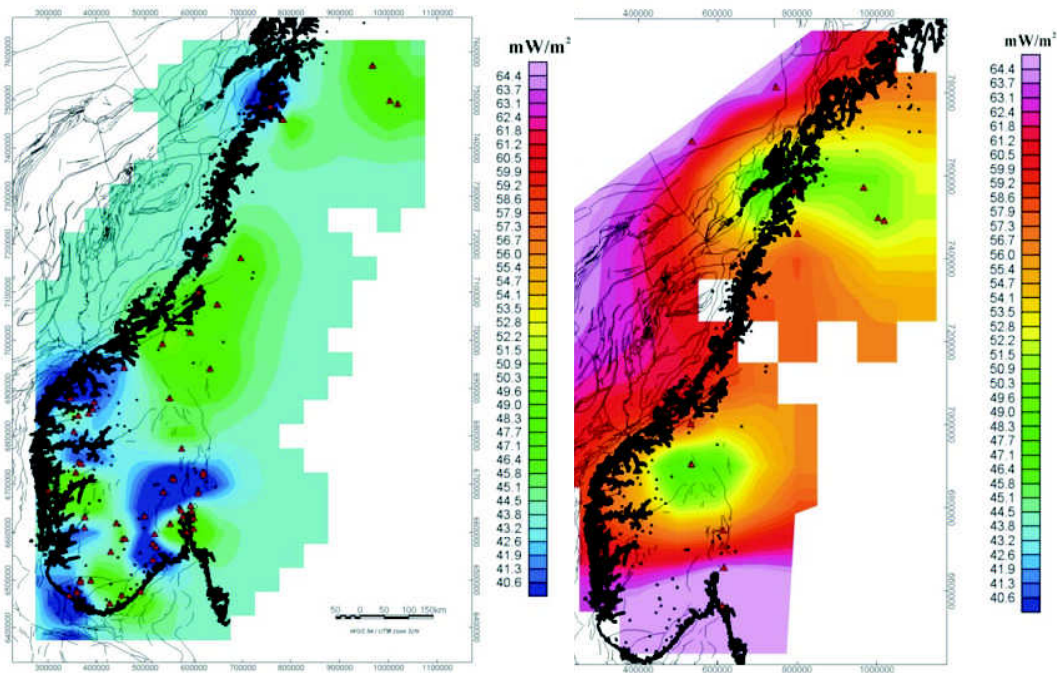
Det er derfor behov for å finne områder med høye temperaturer i nærheten av store befolkningsskentrasjoner som for eksempel Oslofjordområdet, Hamar og Bergen. Disse områdene har utbygd fjernvarmeanlegg og kan evt. ta imot varmt vann fra dype brønner direkte inn i eksisterende anlegg. Alternativt kan en ved hjelp av dagens boreteknologi nå dypere og dermed realisere høye nok temperaturer for konvertering av varme til elektrisk kraft også i Norge. Ressursgrunnlaget og teknologien er der, men det vil kreves betydelige kostnadsreduksjoner og muligens også utvikling av alternativt ny teknologi for å realisere en robust konkurransedyktig kommersiell produksjon av elektrisk kraft i fremtiden. Et større gjennombrudd her vil kunne realisere bygging av flere konstruerte geotermiske systemer rundt om i landet og minke behovet for transport av energi over store avstander.



Figur 2.3 Til venstre: Observert temperatur i borehull i Norge (Olesen, Balling, Barrère, Breiner, Davidsen, & Ebbing, 2007) (Elvebakk, 2007). På 800 meters dyp varierer den med 8 grader. Til høyre: Beregnet radiogen varmeproduksjon i berggrunnen i Norge (Slagstad, et al., 2009). Den varierer med en faktor på 10.



Figur 2.4 Beregnet sannsynlig temperatur (rød firkant) på 5 km dyp med usikkerhet avhengig av varmelednings-
evnen i bergarten (Pascal, Elvebakk, & Olesen, 2009). Den sannsynlige temperaturen varierer fra 95 °C ved Berger
nord for Oslo til ca. 130 °C i Hurdal og 138 °C på Aure på Nordvestlandet.



Figur 2.5 Sammenligning av beregnet varmestrøm i 1970-årene med resultatene fra Kontiki-prosjektet (Olesen, Balling, Barrère, Breiner, Davidsen, & Ebbing, 2007) (Pascal, Elvebakk, & Olesen, 2009). Moderne temperaturlogger i dype brønner (Figur 2.3), med korreksjoner for klimaeffekt, viser at beregnet varmestrøm i Norge er ca. 25 % høyere enn tidligere antatt.

3 Tilstandsbeskrivelse

Et geotermisk system kan, fra et energiutnyttelsesperspektiv, betraktes som en varmekilde som kan utnyttes til oppvarmingsformål, kjøling og/eller konverteres til elektrisk energi. På grunn av den stabile tilgangen på varme, egner geotermiske anlegg seg også svært godt som grunnlastforsyning i anlegg med store variasjoner i lastbehovet.

I verden i dag produseres det omlag 67 TWh elektrisitet fra geotermiske anlegg, og den installerte kapasiteten er på 11 000 MW fordelt på 24 land (Bertani, 2010). Innrapportert bruk av geotermisk varme til oppvarming og kjøling i 78 land er på nærmere 122 TWh (med en installert kapasitet på omlag 51 000 MW) der geotermiske varmepumper bidrar til omlag halvparten (Lund, Freeston, & Boyd, 2010).

3.1 Grunne geotermiske systemer (GGS)

I dag bidrar grunne geotermiske systemer med 60 TWh på verdensbasis, og geotermiske varmepumper er en av de raskest voksende anvendelsene av fornybar energi internasjonalt (Rybach, 2005) (Lund, Freeston, & Boyd, 2010)). I Norge hentes det årlig ut 3,5 TWh varme og kjøling fra brønner på inntil 270 m dybde, mens total installert kapasitet er 3,5 GW. Den raske

Økningen i geotermiske varmepumper i Norge har gjort at Norge er et av de fem land i verden som har størst økning i direkte bruk av geotermisk energi ((Lund, Freeston, & Boyd, 2010)).

Tabell 3.1 Noen utvalgte borebrønner i Norge; for fullstendig liste, se http://www.ngu.no/upload/Georessurser/Grunnvarme/Grunnvarmeanlegg_i_Norge.pdf

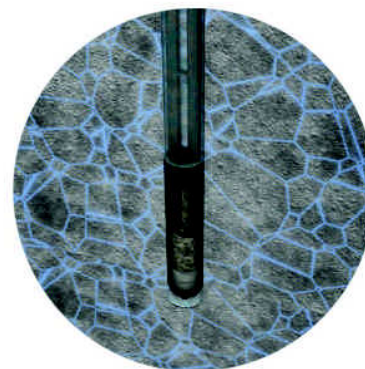
	Kapasitet	Antall borehull	Ferdigstilt
Oslo flyplass Gardermoen	8 MW	18*	1998
Akershus Universitetssykehus	8 MW	228**	2007
Nydalen Energipark	6 MW	180	2004
Ullevål Stadion	4 MW	120	2009
Postterminalbygningen	4 MW	90	2010
IKEA, Slependen	1,2 MW	86	2009

*Grunnvannsbrønner **Planlagt utvidelse til 450 brønner

Helt enkelt kan man forklare grunn geotermisk energi med sollagret energi i jord, fjell og grunnvann. Ved å utnytte naturens egen treghet i forhold til temperaturveksling kan denne naturlig lagrede energien benyttes i mange sammenhenger ved installasjon av grunne geotermiske systemer. Den viktigste anvendelsen vil i vårt nordiske klima være til oppvarmingsformål, f.eks av boliger. Foruten til oppvarming gir den samme naturlige treghet mulighet til reversering av prosessen gjennom lagring av varme (typisk ventilasjonsvarme) for å dekke et kjølebehov. Senere kan man igjen nyttiggjøre seg av den lagrede energi til nye oppvarmingsformål, altså en slags form for naturlig "energigjenvinning". Dette omtales ofte som berggrunnslagring av energi (lukket system der vann i lukkede rør varmeveksles mot fjell og grunnvann) eller akviferlagring (åpent system med lagring av energi i grunnvann).

3.1.1 Systemtyper

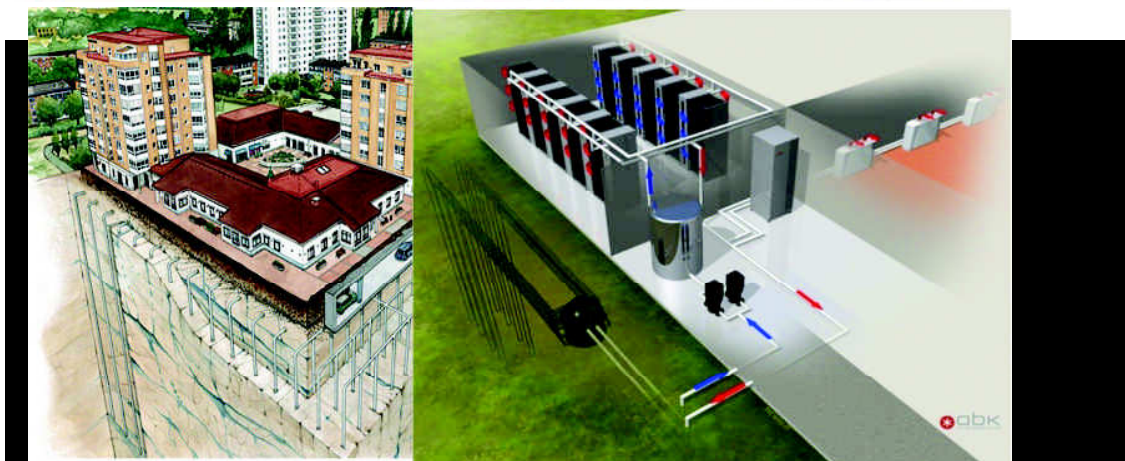
I grunne geotermiske systemer er det mest vanlig å benytte lukkede systemer. Varmeoverføringen fra berggrunnen eller grunnvann skjer via et lukket slangesystem. Et varmebærende fluid (f. eks. glykoler, etanoler, kaliumkarbonat eller kaliumformiat) sirkuleres i en tur- og returslange som føres ned i borehullet, og som er sammenkoblet i bunnen via en U-bøy. Alternativet er et koaksialt system, der vann sirkuleres ned på utsiden av et sentralrør i brønnen som vannet strømmer opp gjennom, eller at det legges slangesystemer direkte i løsmasser. Et korrekt utført anlegg av denne typen forventes å ha opp mot 100 års levetid. Det som kunne



Figur 3.1 Detalj av energikollektor
(Kilde: ABK Klima)

virke strukturelt nedbrytende på plastslangene i kollektoren – ultrafiolett lys fra solen – er eliminert i en slik energibrønn.

I områder der hydrogeologiske forhold tillater det, kan grunnvann produseres og injiseres gjennom produksjons- og injeksjonsbrønner i naturlige akviferer. Dette gir potensielt stor kontaktflate mellom vann og berggrunn, i tillegg til at tilsig av grunnvann fra området rundt vil kunne bidra til energitilførselen.



Figur 3.2 Illustrasjon av ulike typer grunne geotermiske systemer til både varme og kjøling av bygg. Illustrasjonene viser a) jordvarme, b) bergvarme, c) akviferlager, d) og e): borehullslager. Bergvarme er et lukket system med sirkulerende kjølevæske og er tilnærmet vedlikeholdsfritt. (Kilder: Geotec, Sverige, ABK, Norge)

3.1.2 Energiutnyttelse

Grunne geotermiske systemer representerer en varmekilde med en temperatur som i Norge vil ligge i området 4 – 8 °C. For å kunne utnytte denne varmen benyttes en varmepumpe som løfter temperaturnivået til et akseptabelt nivå for f.eks. boligoppvarming. Slike varmepumper har en effektfaktor på 3 – 4, dvs. et forbruk der 1 kWh elektrisk kraft tilført varmepumpen gir en effekt på 3 – 4 kWh varme- eller kjøleenergi.

Temperaturområdet 4 - 8 °C stemmer bra overens med bygg hvor man tidligere installerte kostbare isvannsmaskiner for å kjøle rom og dataanlegg. Bygg som anvender teknologier innenfor grunne geotermiske systemer til både varme om vinteren og kjøling om sommeren blir økonomisk svært attraktive, og nedbetalingstiden for anlegget kort.

3.1.3 Boring

Dagens grunne energiboringer utføres oftest med trykkluftdrevet boreutstyr med senkeborhammere begrenset til dybder på inntil 300 m gitt vanlig tilgjengelig luftkompressor- teknologi. Bruk av såkalte "boosterkompressorer" gjør det mulig å nå dypere, ned til 800 – 1000 m. Problemet med denne teknologien er at det kreves større maskinnsats (1200 – 1500 HK) som igjen gir høyere kostnader til både mobilisering og drift.

Det finnes også vandrevet boreutstyr som kan bore dypere.



Figur 3.3 Trykkluftdrevet boreutrustning for grunne geotermiske systemer ned til ca 250 meter. (Kilde: ABK Norge)

3.1.4 Miljøaspekter

Grunne geosystemer utnytter lagret solenergi i fjell og grunnvann. Temperaturen på de aktuelle dyp er tilnærmet konstant året rundt. Energiuttak under slike omstendigheter er særdeles miljøvennlig og uten påvirkning av det ytre miljø i form av forurensning eller andre former for utslipp.

3.2 Naturlige hydrotermiske systemer (NHS)

Naturgitte hydrotermiske systemer, eller varme grunnvannskilder, opptrer i sedimentære porøse formasjoner typisk ned til 3000 m dyp. Denne ressursen inkluderer også superkritisk vann nær magmaforekomster, grunnvannskilder som holder svært høye trykk, og varme grunnvannskilder offshore. Det norske fastlandet med sitt grunnfjell og krystallinske bergarter har svært lite potensial for denne typen geotermisk energi. På norsk kontinentalsokkel er det sedimentære avsetninger, og en har påvist mange varme, vannførende reservoar. Også Svalbard har sedimentære avsetninger med varme kilder, noen av dem helt på overflaten. I dag er Island et godt eksempel på et land med naturgitte forutsetninger for naturlige hydrotermiske systemer, og islendingene er også kommet langt i sin utnyttelse av denne ressursen. Italia var det første landet i Europa som tok i bruk naturlige hydrotermiske systemer til generering av elektrisk kraft i fra relativt grunne varme kilder i nærheten av vulkanske områder, en aktivitet som går tilbake til 1904.

Som nevnt innledningsvis produseres det omlag 67 TWh elektrisitet fra geotermiske anlegg på global basis i dag, og den installerte kapasiteten er på 11 000 MW fordelt på 24 land (Bertani,

2010). Denne elektriske kraftproduksjonen kommer i all hovedsak fra naturlige hydrotermiske systemer, og teknologien for kraftproduksjon fra slike systemer er moden, bærekraftig og pålitelig. Gjennomsnittlig kapasitetsfaktor (forhold mellom teoretisk maksimal produksjon fra anlegget og faktisk produksjon) er 71 %, mens nyere installasjoner har en kapasitetsfaktor på over 90 % (IPCC, 2011).

For naturlige hydrotermiske systemer vil det vanligvis eksistere en god kontaktflate mellom fluid og berggrunn siden fluidet kan strømme i sprekker og poresystemer. I dette tilfellet kan produksjons- og eventuelt injeksjonsbrønner bores ned i det hydrotermiske reservoaret og vann eller damp pumpes opp og eventuelt nedkjølt vann reinjiseres i reservoaret.

Gitt det lave potensialet for fastlands-Norge, vil denne rapporten ikke beskrive naturlige hydrotermiske systemer nærmere. Mye av beskrivelsen og teknologien rundt konstruerte geotermiske system (kapittel 3.3) har også relevans for naturlige hydrotermiske systemer og er i prinsippet dekkende for begge typer geotermisk energi.

3.3 Konstruerte geotermiske systemer (KGS)

Konstruerte geotermiske system er som tidligere beskrevet (kapittel 3.3) geotermiske systemer som ikke er naturlige, men som må bearbeides for å utnytte dyp geotermisk energi. For direkte bruk av dyp geotermisk energi til varme- eller kjøleformål vil det være et spenn av ulike bruksområder avhengig av produksjonstemperatur og produksjonsrate. I Norge vil det i første omgang være mest naturlig å utnytte energien en får opp til oppvarmingsformål i fjernvarmeanlegg. Kommersiell elektrisitetsproduksjon vil med dagens teknologi ofte kreve en distribuert kontaktflate på mer enn 1 km², en formasjonstemperatur på over 150 °C og en produksjonsrate på om lag 80kg/s (Tester, et al., 2006).

De avgjørende faktorene for energiuttaket er fluidets kontaktflate med berggrunnen og bergartens temperatur. I anlegg internasjonalt som produserer elektrisk kraft basert på et geotermisk system, er i dag kontaktflaten enten basert på en porøs geologisk formasjon og/eller et etablert sprekkenettverk i berggrunnen, i tillegg til borede brønner ned til varmereservoaret. I Norge planlegges også boring av hele nettverk av brønner på store dyp for å utnytte energien i dype, tørre bergarter (for eksempel av norske Rock Energy AS). I denne type lukkede anlegg vil man ikke ha behov for oppsprekking, og kontaktflaten mellom sirkulasjonsfluidet og den varme bergarten vil være definert av lengden og størrelsen på det varmevekslende borehullet.

Internasjonalt eksisterer også hybridanlegg, der geotermisk energi benyttes til forvarming, mens bioenergi benyttes til å øke væsketemperaturen tilstrekkelig for kraftproduksjon.

3.3.1 Systemtyper

Når naturlige strømningsveier mangler, kreves mer avansert teknologi i form av konstruerte geotermiske systemer for å oppnå tilstrekkelig kontaktflate mellom berggrunn og fluid. Et utprøvd konsept for konstruerte geotermiske system bygger på etterligning av naturlige hydrotermiske systemer ved at vann sirkuleres i sprekker dypt nede i berggrunn (Tester, et al., 2006). Berggrunnen har ofte lavt væskeinnhold og dårlige egenskaper for sirkulasjon av vann i

utgangspunktet, men ved å pumpe vann ned i en brønn med høyt trykk kan eksisterende sprekkenettverk åpnes og sammenhengende strømningsveier dannes. Seismiske målinger viser hvor berggrunnen har endret seg som følge av vanntrykket, og i ytterkant av dette området bores det en produksjonsbrønn. Varmt vann eller damp kan nå produseres ved at vann pumpes ned i injeksjonsbrønnen og varmes opp når det strømmes gjennom sprekker i berggrunnen og opp i produksjonsbrønnen. Man kan også tenke seg systemer med flere injeksjons- og produksjonsbrønner.

På overflaten konverteres varmen til elektrisk kraft via en dampturbinsyklus, før det nedkjølte produksjonsvannet reinjiseres i reservoaret. Skillet mellom naturlige hydrotermiske systemer og konstruerte geotermiske system er ikke absolutt, og teknologi for konstruerte geotermiske system i form av reinjeksjon av vann og oppsprekking benyttes også for å øke effekten av naturlige hydrotermiske systemer.

Hovedutfordringen ved konstruerte geotermiske systemer og etablering av systemer basert på sprekker har vært å skape en vannstrøm fra injeksjonsbrønn til produksjonsbrønn som gir kommersiell energiproduksjon (elektrisitet og/eller varme). Et alternativt konsept er etablering av brønnsøyfer og/eller grenbrønner der fluidet sirkulerer. Disse systemene baserer seg på å bore ut flere parallelle brønner mellom injeksjons- og produksjonsbrønn, for via disse åpne brønnene å sørge for at vann som injiseres, varmes opp i de parallelle brønnene for så å bli transportert oppvarmet til overflaten gjennom produksjonsbrønnen. Denne type system har til nå kun vært benyttet eller planlagt benyttet til oppvarmingsformål.

Utstyret på overflaten for konvertering av varmt vann til elektrisitet eller for utnyttelse til fjernvarme er det samme for begge typer system. Slikt utstyr kan pr dags dato utnytte vanntemperaturer ned mot 100 °C til kommersiell produksjon av elektrisitet.

Et geotermisk system som det kan være interessant å se på for Norge, baserer seg på utvinning av olje og gass i Nordsjøen. For å øke utvinningsgraden injiseres det vann i reservoaret. Vannet som produseres tilbake til overflaten sammen med f.eks. olje kan holde høye temperaturer. I USA er det igangsatt arbeid (blant annet i regi av Department of Energy) for å kartlegge potensialet for kraftproduksjon fra produsert vann, med leveranse til elektrisitetsnettet og/eller til egen olje- og gassproduksjon for å forlenge det produserende feltets levetid. På norsk sokkel er det idag modne felt med brønner som produserer 70 – 90% vann med temperaturer på over 150 °C.

3.3.2 Energiutnyttelse

I dype geotermiske anlegg er temperaturnivået så høyt at energien kan utnyttes til oppvarmingsformål uten bruk av varmpumper enten i lokale varmesentraler eller fjernvarmesystemer, samt til produksjon av elektrisk kraft.

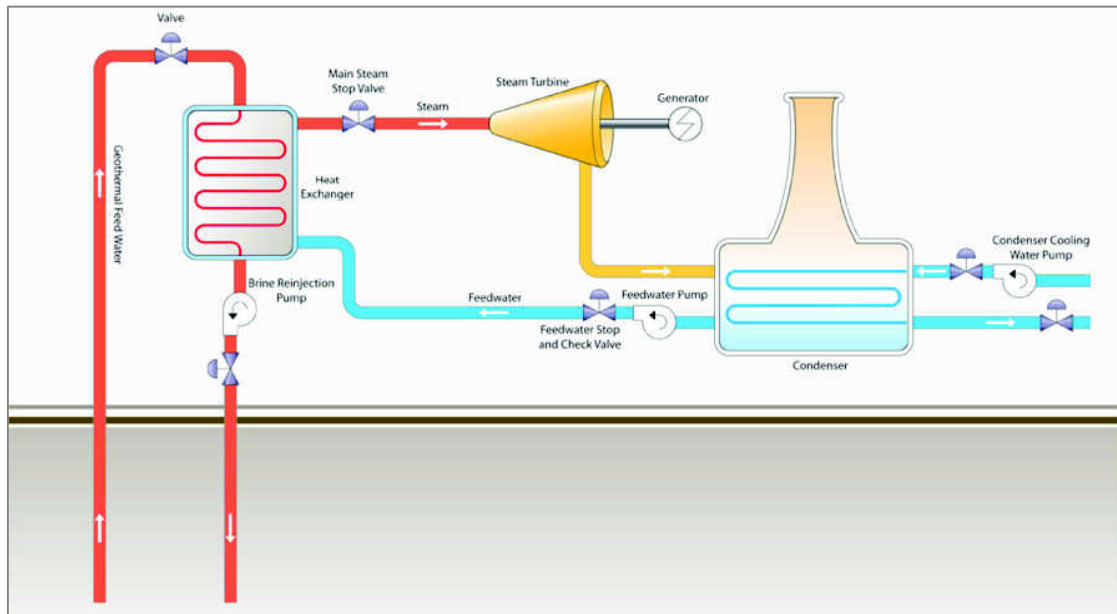
Utnyttelse til oppvarmingsformål

Det varme fluidet fra de geotermiske brønnene kjøles i varmevekslere hvor varmen overføres til arbeidsmediet i et prosessanlegg. Vanlige anvendelser kan være fjernvarme/varmesentraler, gartneri- eller havbruksformål, lavtemperatur industrielle prosesser som tørking eller avsalting av sjøvann. Temperaturnivået på energien fra de geotermiske systemene egner seg godt til anvendelse i fjernvarme hvor driftstemperaturen er i området 40 (returtemperatur) – 90 °C (leveransetemperatur). Varmen fra geotermianlegg kan også benyttes til drift av absorpsjonsvarmepumper, hvor termisk energi erstatter den elektriske energien som benyttes til drift av kompressordelen, eller til andre oppvarmingsformål.

Kraftproduksjon

Varmen fra geotermiske anlegg kan konverteres til elektrisk energi. I hydrotermale systemer kan dette skje ved flashing (avdamping ved trykkavlasting) av brønnstrømmen ved typisk 5 – 8 bar trykk (150 – 170 °C) med påfølgende ekspansjon av dampen gjennom en turbin som driver en strømgenerator. Den resterende vannmengden kan evt. gjennomgå en ny flashprosess ved et lavere trykk (typisk 2-2.5 bar, 120 – 130 °C) og hvor dampdelen ekspanderes gjennom en lavtrykksturbin. Etter turbinen kondenseres dampen ved et lavt trykk (typisk 0,1 – 0,2 bar, 46 – 60 °C) og reinjiseres tilbake til brønnen sammen med væskefraksjonen fra flash-trinnet. Den overveiende andelen av kraftproduksjon fra hydrotermale systemer skjer i dag på denne måten. Ulempene ved flashbaserte systemer knyttes i hovedsak til urenheter i brønnstrømmen, eksempelvis salter og silisiumforbindelser som kan forårsake beleggdannelse i flashtanker, rørssystem og turbin. For systemer med svært høyt trykk og temperatur (superkritiske systemer, dvs. trykk over 221 bar og temperatur høyere enn 374 °C) er det foreslått liknende løsninger, men med flere flashtrinn ved høyere trykk.

I konstruerte geotermiske systemer kan arbeidskretsen (normalt bestående av trykksatt vann) være en lukket sløyfe, og varmeuttaket skjer ved varmeveksling med kraftproduksjonskretsen. Avhengig av temperaturnivå er flere teknologier tilgjengelige; for temperaturer over ca. 200 °C kan dampturbinprosesser basert på vandamp benyttes, mens ved lavere temperaturer benyttes gjerne turbinprosesser basert på andre fluider (med lavere kokepunkt enn vann). Den vanligste av disse er ORC-prosessen (OrganicRankineCycle) som gjerne benytter hydrokarboner eller fluor-hydrokarboner som arbeidsmedie. Prinsippet for en slik prosess er vist i Figur 3.4.



Figur 3.4 Kraftproduksjonssyklus (Flowserve)

På grunn av det relativt lave temperaturnivået på den geotermiske energien fra middels dype nivåer blir netto konverteringseffektivitet (netto produsert elektrisk kraft relativt til inngående varmestrøm) relativt lav; typisk i området 5 % (ved ca. 100 °C) – 15 % (ved ca. 180 °C) (Tester, et al., 2006). En alternativ teknologi til ORC-prosessen er den patenterte Kalina-syklusen som benytter en binær blanding av vann og ammoniakk som arbeidsmedium. Denne prosessen er noe mer komplisert og kostbar enn ORC-prosessen. Kalina-syklusen har i teorien en høyere konverteringseffektivitet enn ORC-prosessen, men har i praksis vist seg å gi tilnærmet samme virkningsgrad.

For de lavere temperaturene, dvs. under ca. 120 °C, kan eksempelvis transkritiske CO₂-baserte sykluser gi en høyere ytelse enn ORC-systemer, men disse er ennå ikke kommersielt tilgjengelige.

En måte å øke konverteringseffektiviteten til elektrisitet på er å kombinere det geotermiske systemet med en høytemperatur varmekilde, eksempelvis et bio- eller avfallsforbrenningsanlegg. Ved større anlegg basert på overhettet damp ved 400 °C/60 bar er netto virkningsgrader opp mot ca. 23 % mulig. Slike anlegg kan realiseres ved enten å benytte den geotermiske energien til forvarming av vann i en dampsyklus, eller ved å benytte en dampsyklus i kombinasjon med en ORC-syklus, hvor dampsyklusen benytter en mottrykksturbin der vanddampkondensatoren utgjør fordampere i ORC-syklusen og den geotermiske varmen benyttes til forvarming av fluidet i ORC-prosessen. Det er så langt vi kjenner til ingen slike anlegg i drift i dag.

Kombinert kraft/varmeproduksjon

Ved større anlegg vil det være mulig å utnytte deler av varmen fra det geotermiske anlegget til kraftproduksjon ved hjelp av en ORC-syklus (alternativt i kombinasjon med en høytemperatur

varmekilde, jfr. avsnittet over), og den resterende andelen til oppvarmingsformål. På denne måten kan utnyttelsesgraden ytterligere optimaliseres i anvendelser hvor behovet for oppvarming er variabelt (f.eks. i fjernvarmesystem).

3.3.3 Boring

Den største utfordringen og kostnaden i forbindelse med utnyttelse av dyp geotermisk energi både for naturlige hydrotermiske og konstruerte geotermiske systemer ligger i borefasen. Basert på dagens teknologi, kostnader og markedsforhold vil brønn- og borekostnader kunne utgjøre opp til 70 – 80 % av de

totale investeringskostnadene avhengig av type anlegg en velger, og hvor dypt en må bore for å oppnå de ønskede temperaturer. Åpne systemer som baserer seg på oppsprekking, vil ha lavere borekostnader, men vil måtte bruke en del midler for generering og vedlikehold av kunstig oppsprekking av reservoaret. Lukkede systemer vil kreve høyere borekostnader



Figur 3.5 Landrigg på 250 tonn til venstre og 150 tonn til høyre (TSS Energy AS)

både som følge av kravet til presis retningsboring og den totale utborede lengde.

De tyngste kostnadselementene relaterer seg til valg av type borerigg og behovet for utstyr i hullet. For å bore dypt kreves en tung landrigg med solid trekraft på 250 tonn eller mer, avhengig av lokale geologiske forhold og brønndesign. Boring gjennom sedimentær overdekning med mulige olje- og gassforekomster som for eksempel i Frankrike eller Tyskland vil kreve ekstra behandling av borevæske, sikkerhetsutstyr mot utblåsning (Blow Out Preventer) og en brønndesign som ivaretar både sikkerhet og beskyttelse av eventuelle grunnvannskilder. Boring i norsk grunnfjell på land vil være betydelig enklere uten de samme krav til sikkerhetsutstyr på grunn av lav risiko for tilstedeværelse av olje og gass. Også her vil det kunne være behov for å sette fóringrør for den øverste delen av brønnen for å beskytte eventuelle grunnvannskilder og sikre hullet mot utrasing. Det er behov for å utvikle spesialiserte geotermiske rigger som har utstyrspakker for å håndtere disse utfordringene mer rasjonelt. Noen av verdens mest avanserte og automatiserte borerigger for oljeindustrien bygges i dag i Kristiansand/Stavanger for levering i et globalt marked. Norge har derfor en mulighet til å ta en sentral rolle innen design og produksjon av geotermiske borerigger i et nytt og voksende geotermisk energimarked.

Den andre store kostnadsfaktoren er kravet til avansert nedihullsutstyr, særlig innen retningsboring, og borekroner for fast fjell. For lukkede systemer kreves presis

retningsboringsutstyr som allerede er fullt utviklet for Nordsjøen. Ved boring av produksjons- og injeksjonsbrønner, samt varmevekslende grenbrønner som forbinder de to på flere kilometers dyp, kreves det absolutt presisjon på brønnbaner og lokasjon gjennom hele boreprosessen. Retningsboringsutstyr er i dag spesielt godt utviklet for hulldimensjoner ned til 8½". Geotermiske varmevekslere krever ikke så store hulldiameterer og her ligger en mulighet for videreutvikling og rasjonalisering for denne type formål.

Utvalget av borekroner som er mer effektive i fast fjell er også en utfordring. På store dyp er det helt avgjørende å ha borekroner som kombinerer høy penetrasjonsevne og bestandighet slik at de står lengst mulig distanse, for å redusere behovet for den tidkrevende prosessen det er å skifte borekrone. Oljeindustrien har gjort betydelige fremskritt i løpet av de siste 10 – 15 årene. Boring av bl.a. oljereservoar i granitt i Vietnam viser penetrasjonsrater på hele 18 – 19 m/time og borede distanser på opp mot 600 m for visse borekroner.



Figur 3.6 Borekrone. (TSS Energy AS)

Videreutvikling innen tradisjonelle borekroner pågår løpende, samtidig med at flere selskaper tester ut nye borekonsepter som vil kunne revolusjonere dette bildet.

Totalt sett har utviklingen gjennom det siste tiår gjort det mulig å forestille seg konstruerte geotermiske systemer også i Norge og som nærmer seg kommersiell konkurransedyktighet i forhold til andre energibærere. En grundig planleggingsfase og optimalisert brønndesign med valg av riktig utstyr vil bli avgjørende for å lykkes med et første pilotanlegg. Viktige leverandørselskaper har erklært stor vilje til å bidra til prosessen, da de ser et betydelig potensial for åpning av nye, store markeder. Norsk industri- og FoU-kompetanse med sin bakgrunn i vannkraft, tunnelbygging, gruvedrift og oljevirkosomhet har særlig gode forutsetninger for å bidra i en helt ledende rolle innen dette området.

Målsettingen vil være å utnytte den teknologiske basis som oljevirkosomheten og norsk industri har etablert, samt å videreutvikle denne teknologien tilpasset konstruerte geotermiske systemer slik at kostnadene ved å bore ned til og i dype geotermiske varmereservoarer blir betydelig redusert.

3.3.4 Miljøaspekter

For geotermiske anlegg er det observert indusert seismisitet knyttet til endringer/rystelser i berggrunnen som følge av hydraulisk oppsprekking av reservoaret og/eller nedkjøling som følge av uttak av varmeenergi. Endringene i grunnen vil i all hovedsak være for små til å kunne merkes på overflaten, men kan monitoreres for å bestemme utbredelsen av sammenhengende sprekkenettverk i grunnen. Den største seismiske hendelsen knyttet til geotermiske anlegg fant sted i Basel, Sveits, der hydraulisk oppsprekking av reservoaret utløste et jordskjelv som kunne merkes på overflaten, målt til styrke 3,4 på Richters skala.

Indusert seismisitet er også kjent fra petroleumsvirksomhet og annen aktivitet der grunnforhold endres, for eksempel i geologisk lagring av CO₂. Overvåking og kunnskap om indusert seismisitet er av stor betydning for å minimere risiko for merkbare jordskjelv som følge av geotermiske anlegg. EU-prosjekter med norske partnere arbeider med denne type spørsmål, og Norge har sterk kompetanse på området.

Ved utboring av brønnbaner i fast fjell vil det komme borekaks til overflaten. Borekaks (knust stein) utgjør normalt sett ingen forurensningsfare og vil, i likhet med steinmasser fra tunneldrift, kunne deponeres som fyllmasse til veibygging. For boring i fast fjell vil det være mest vanlig å benytte vann kun tilsatt et minimum av miljøvennlige kjemiske tilsetninger. I den grad slike tilsetninger kreves og/eller vann benyttet under borefasen skulle bli kontaminert i undergrunnen (salter, annet...), må det sørges for forsvarlig håndtering og rensing av både vann og borekaks før det eventuelt deponeres på overflaten eller i kloakkanlegg.

Vann som sirkuleres i lukkede systemer under energiproduksjon fra KGS-anlegg vil normalt ikke forurense. Her vil det kunne være nødvendig å monitorere den kjemiske sammensetning av vannet over tid, slik at utskifting av sirkulasjonsvann ved behov kan foretas på forsvarlig måte.

3.4 Geotermiske aktører i Norge

Norge har i dag betydelige aktører og sysselsetting som er knyttet til grunne geotermiske systemer. I tillegg kommer større og mindre leverandører til oljeindustrien både nasjonalt og internasjonalt, som ser på det dype geotermiske energiområdet (både NHS og KGS) som en naturlig forlengelse av den kompetanse og teknologi de har utviklet frem til i dag og dermed nye store markedsmuligheter. Den tredje kategori aktører vil være de som kan planlegge, bygge og drive større dype geotermiske anlegg for energiproduksjon.

I Vedlegg A – Norske aktører innen geotermi gis en kort oversikt over de viktigste aktive og potensielle fremtidige aktørene i Norge. Flere av aktørene er i dag medlemmer av Center for Geothermal Energy Research (CGER) ved Christian Michelsen Research i Bergen. CGER ble stiftet i 2009 med partnere fra universiteter, høyskoler, forskningsinstitusjoner og industri, med mål om å bidra til planlegging og koordinering av norsk FoU-virksomhet knyttet til geotermisk energi og å legge forholdene til rette for kommersiell utnyttelse av denne energiformen på verdensbasis.

4 Industriens mål og ambisjoner

Som nevnt innledningsvis, har norsk industri og forskning etablert et kompetansenivå som gir vårt næringsliv en god mulighet til å ta en ledende rolle internasjonalt mht dyp geotermisk energi (konstruerte geotermiske systemer). Politiske og industrielle beslutninger bør imidlertid fattes i nær framtid for at mulighetene skal kunne utnyttes til landets beste.

Mht grunn geotermisk energi er det naturlig å fokusere på hjemmemarkedet, for optimal utnyttelse av de naturgitte ressurser og på tilknyttet virksomhet.

4.1 Hovedmål og ambisjoner

- Bygge opp en geotermisk kompetanseindustri i Norge som med basis i kompetansen i den eksisterende olje- og gassnæringen skal bli ledende internasjonalt, med leveranser av systemer for utnyttelse av dyp geotermisk energi
- Antall arbeidsplasser og eksport av produkter og tjenester fra en samlet bransje, inklusiv energiprodusenter og leverandørindustri, skal nå et volum som er minst like stort som de øvrige største bransjene innen fornybar energi
- Geotermisk energi i Norge skal kunne utnyttes kommersielt til lønnsom varme- og strømproduksjon
- Innenlandsk produksjon av elektrisk kraft og varme skal, såfremt kommersiell utnyttelse av geotermisk energi blir tilfredsstillende, utgjøre en tellende andel av totalt energiforbruk

4.2 Delmål og aksjoner

For at ovenstående skal kunne realiseres, må det skje en utvikling på flere områder:

4.2.1 Forskning og utvikling

Det er behov for å følge den forskningsstrategi og de anbefalte tiltak som er beskrevet i kapittel 5,6 og 7. Det innebærer blant annet å vurdere opprettelse av et FME (Senter for miljøvennlig energi) innen geotermisk energi, gjerne med basis i CGER (Center for Geothermal Energy Research), samt at forskning for effektivisering av dyp geotermisk boring får prioritet og finansiering.

Målet er at bransjen gjennom sin kompetanse, samspillet med olje- og gassnæringen og gjennom samarbeidet med myndighetene om forsknings- og utviklingsaktiviteter, etablerer konkurransefortrinn.

4.2.2 Utdanning

Utdanningsapparatet må ha spesifikk teknologisk kunnskap om geotermisk energi samt utforming og dimensjonering av geotermiske anlegg. Gjennom forskning og utdanning må det etableres relevant viten på de berørte fagområdene.

Det er behov for ingeniører og realfagsspesialister med bred og dyp kompetanse innen geotermisk energi. Det bør derfor tilrettelegges for å styrke og utvide utdanningsmulighetene i Norge på bachelor, master- og doktorgradsnivå innen fornybar geotermisk energi.

På initiativ fra norsk brønnborerbransje (MEF) er det satt i gang arbeid for å etablere utdanningsprogram på det videregående nivå for opplæring og kompetanseheving av nye borerigg-operatører. Som viktig samarbeidspartner i tilrettelegging av slike skoletilbud står fylkeskommunen som skoleeier.

4.2.3 Industribygging

Det må utvikles nye og mer effektive løsninger på en rekke områder, blant annet innen boring, reservoarutvikling, energi- og reservoarmodellering og -simulering, strømningsanalyser, geokjemi, instrumentering, samt optimalisering av kraftproduksjon. Internasjonalt ledende kunnskap og erfaring fra olje- og gassnæringen innen en rekke fagområder er verdifull, og erfaringer fra denne næringen vil være nyttige i arbeidet med videreutvikling av geotermisk energi.

Det må utarbeides forretningsplaner og tas konkrete beslutninger om å satse på teknisk utvikling og industrialisering. Nettverksarbeid og samordning i industrien er sentralt. Innen dyp geotermisk energi kan det være hensiktsmessig at bransjen samles i én organisasjon, gjerne med basis i CGER og at det i tillegg etableres et prosjektorientert nettverksarbeid for utveksling av kunnskap og kontakter.

Innen grunn geotermisk energi kan det være hensiktsmessig at bransjen samler seg i en organisasjon med basis i f.eks. Maskinentreprenørenes Forbund og NHOs Energi Norge, og at det i tillegg støttes av et prosjektorientert nettverksarbeid for utveksling av tilsvarende kunnskap og kontakter.

Det er behov for vesentlig produktutvikling, og målet er at minst ett testanlegg for uttak av dyp geotermisk varme er besluttet innen to år og i drift innen fire år, og at minst fem kommersielle anlegg er i drift innen 10 år, under forutsetning av at ressursgrunnet er nærmere kartlagt og funnet tilfredsstillende.

Hver enkelt bedrift som har aktiviteter innen geotermisk energi, utfordres til å utarbeide måltall og rapportere årlige resultater knyttet til området, slik at det kan etableres tilsvarende realistiske måltall for bransjen.

Norske bedrifter oppfordres til å se nærmere på mulighetene for å etablere seg som sentrale partnere innen utnyttelse av hydrotermiske forekomster som for eksempel på Island og Svalbard.

4.2.4 Kommunikasjon

Geotermisk energi representerer en relativt ny bransje i norsk sammenheng. Det er derfor behov for at publikum, presse, politikere, byråkratiet og industrien blir kjent med sektoren og de mulighetene som geotermisk energi representerer.

Kommunikasjon er viktig for å sikre at ressurser gjøres tilgjengelig for både utdanning, forskning, teknisk utvikling og industribygging/industrialisering av nye produkter og løsninger.

Media er sentrale i arbeidet med å spre informasjon om geotermiske muligheter nasjonalt og internasjonalt, og nyheter og redaksjonelt stoff bør distribueres i ulike informasjonskanaler. Aktuelle geotermi-organisasjoner, for eksempel CGER, anmodes om å utarbeide konkrete kommunikasjonsplaner og informasjonsaktiviteter mot spesifiserte målgrupper.

5 Dagens FoU-plattform

FoU- aktiviteter som er spesielt knyttet til utfordringer innen geotermisk energiutvinning finansieres i dag hovedsakelig av Forskningsrådets RENERGI-program, av EUs 7. rammeprogram FP7 og av industriaktører, der industrisiden står for det største bidraget. Det foregår i tillegg noe aktivitet knyttet til kartlegging av geotermiske energiresurser nasjonalt. Norske universiteter utdanner kandidater på master- og doktorgradsnivå på ulike områder knyttet til geotermisk energi, og flere høyskoler tilbyr også oppgaver på bachelornivå.

Med basis i petroleumsindustrien og flere forskningsprosjekter knyttet mot geotermisk energi er flere norske FoU-miljøer i ferd med å innta en sterk internasjonal posisjon. I april 2010 ble Norge medlem av IEA-GIA (International Energy Agency – Geothermal Implementing Agreement), som ett av 14 medlemsland. Avtalen gir en viktig ramme for et bredt internasjonalt samarbeid innen geotermisk FoU. Virksomheten i dag dekker fem ulike forskningsområder:

- avansert boreteknologi
- miljøvirkninger av geotermiske utvinning
- konstruerte geotermiske systemer
- dype geotermiske ressurser
- direkte bruk av geotermisk energi

For å koordinere og planlegge forskning og utvikling innen geotermisk energi i Norge ble Norwegian Center for GeothermalEnergyResearch (CGER) etablert 2.februar 2009.

6 FoU-D mål, -utfordringer og -prioriteringer

For geotermisk FoU-D virksomhet er hovedmålsettingene:

- Økt dyp geotermisk energiutvinning nasjonalt og internasjonalt som grunnlag for kommersiell energiproduksjon
- Økt utnyttelse av grunn geotermisk energi nasjonalt
- Styrket kunnskap til nytte for norsk industri, som leverandør av systemer, tjenester og utstyr i det internasjonale markedet

Nedenfor er FoU-D virksomheten delt inn i fem områder, med beskrivelse av mål, utfordringer og prioriteringer.

6.1 Bore- og brønnteknologi

Overordnet hovedmål:

- Utvikling av metoder for kostnadseffektiv boring av dype brønner i hardt fjell
- Redusert borekostnad/effektivisering av boreprosessen for geotermiske prosjekter
- Utvikling av robust brønnteknologi

Forsknings- og utviklingsutfordringer / -temaer:

- Spesialtilpassede borerigger/riggkonsepter for geotermiske prosjekter (som ikke opptar for stor plass)
- Mer kostnadseffektiv brytning av hardt fjell (rotasjonsboring, borekroner, slaghammer, retningsboringsutstyr, nye borekonsepter etc.)
- Boring på store dyp med høy temperatur
- Tilpasning av konvensjonell boreteknologi til geotermiske formål
- Metoder for å håndtere svært oppsprukne bergarter
- Metoder for å håndtere tap av borevæske
- Høytemperatur nedihullsutstyr for datainnsamling
- Høytemperatur nedsenkbare pumper
- Høytemperatur nedihullsutstyr/boremaskiner (motorer, turbiner, borekroner, etc)
- Høytemperaturbestandige materialer for bruk i korrosjonsaggressive miljøer
- Borekonsepter og retningsboringsutstyr nedskalert til mindre borediametre
- Metoder for eliminering av rystelser i borestreng ved boring i hardt fjell
- Kontinuerlig boring og sirkulasjon (unngå at høytemperaturs-påvirkning av boreslam stopper sirkulasjon)

Videreutvikling av bore- og brønnteknologi ansees å være førsteprioritert, spesielt for konstruerte geotermiske systemer.

En mer detaljert oversikt over boreutfordringer for grunne og dype geotermiske systemer er vist i **vedlegg B**.

6.2 Ressurs

Overordnet hovedmål:

- Kartlegging av varmestrøm (temperaturgradient og varmeledningsevne) i berggrunnen i Norge for å dokumentere landets geotermiske ressurspotensial
- Identifisering av områder som er godt egnet til lokalisering av geotermiske anlegg

Forsknings- og utviklingsutfordringer / -temaer:

- Karakterisering av berggrunn mht. varmeproduksjon, varmeledningsevne, oppsprekking og bergspenning
- Forbedring av metoder for geofysisk kartlegging av undergrunnen (seismikk, EM, radiometri, gravimetri og magnetometri)
- Utvikling av bedre programvare for å lage skorpe- og temperatur-modeller (2D og 3D)
- Optimalisering av lokalisering av geotermiske anlegg
- Kartlegging av temperatur og varmestrøm (geotermisk ressurspotensial) for Norge gjennom et nasjonalt kartleggingsprogram

Dette området bør gis klar annenprioritet etter bore- og brønnteknologi.

6.3 Reservoar

Overordnet hovedmål:

- Utvikling av metoder for etablering av strømningsveier med tilstrekkelig konnektivitet og overflate for optimalt varmeuttak
- Videreutvikle metoder for å oppnå tilstrekkelig strømningsrate og begrense vanntap.
- Optimalisering av varmeuttak fra undergrunnen

Forsknings- og utviklingsutfordringer / -temaer:

- Modeller for pålitelig simulering av hydrauliske, termiske, kjemiske og mekaniske prosesser ved etablering av reservoaret og ved langtidsoperasjon.
- Modeller og metoder for optimalisering av energiuttak
- Sprekkdannelse i reservoaret som følge av orientering av bergspenninger, hydraulisk oppsprekking og temperaturfall
- Smarte (og miljøvennlige) sporstoffer for deteksjon av kontaktflateareal og utbredelse av reservoaret
- Korrosjonseffekter på casing i brønner og beleggutvikling på varmeoverførende flater. Metoder for å detektere og begrense denne type effekter
- Effektive og miljøvennlige korrosjons- og utfellingsinhibitorer

Forskning er nødvendig for å finne fram til bedre forståelse av og løsninger for reservoarer som del av komplekse totalsystemer. Dette gjelder både grunne geotermiske systemer og konstruerte geotermiske systemer.

Dette området bør gis klar annenprioritet på linje med ressurs, men etter bore- og brønnteknologi.

6.4 Energiutnyttelse

Overordnet hovedmål:

- Uttak av termisk energi gjennom optimale løsninger og metoder for effektiv utnyttelse av geotermisk energi til oppvarming, kjøling og/eller konvertering til elektrisk kraft

Forsknings- og utviklingsutfordringer / -temaer:

- Optimalisering av uttak av termisk energi for oppvarming og kjøling av bygg (via varmepumper)
- Optimalisering av uttak av geotermisk energi for prosessvarme og for produksjon av elektrisk kraft (dype konstruerte geotermiske systemer)
- Optimalisering av energikonverteringen generelt

På dette området er kompetansen høy både nasjonalt og internasjonalt. Det er arbeidsgruppens oppfatning at vi bør begrense norsk offentlig støttet forskningsinnsats til tilpasning av løsninger og metoder for anvendelse innen konvertering av den geotermiske energien til elektrisk kraft.

Dette området bør gis tredjeprioritet.

6.5 Miljø

Overordnet hovedmål:

- Proaktivt unngå eller minimere negative miljømessige konsekvenser av geotermiske anlegg

Forsknings- og utviklingsutfordringer / -temaer:

- Metoder for å overvåke seismisk aktivitet i områder med etablerte geotermiske anlegg
- Konsekvenser av boreaktivitet, testing, inkludert behandling av boreslam, borekaks og reservoarfluider
- Beskyttelse av grunnvannsforkomster
- Metoder for rensing og vedlikehold av sirkulasjonsvann

Geotermisk energi er en fornybar og ren energikilde som, med unntak av anleggsfasen, ikke har vesentlig utslipp til omgivelsene i produksjonsfasen. Punktene ovenfor må likevel gis høy prioritet.

7 Nødvendige tiltak for å nå mål

Geotermisk energi bør defineres som et forskningsmessig satsingsområde på nasjonalt plan, med følgende begrunnelser:

- Norge har kompetanse i fremste rekke innen boring, geofysisk kartlegging og reservoaretablering/ -kontroll/ -overvåking, kompetanse som er relevant for geotermisk virksomhet, men som må videreutvikles
- Geotermisk virksomhet kan bidra til betydelig verdiskaping og et stort antall kompetansebaserte arbeidsplasser nasjonalt og internasjonalt
- Basert på sin energikompetanse har Norge en mulighet til å ta en sentral posisjon innen internasjonal geotermisk virksomhet
- Geotermisk energi er en bærekraftig energikilde med stort potensial til å bidra til å løse verdens energiutfordringer
- Økt anvendelse av geotermisk energi som erstatning for fossil energi kan bidra til å redusere menneskeskapte klimaendringer

7.1 Generelle tiltak

FoU-D områder som bør prioriteres, er tiltak for mer kostnadseffektiv boring av dype brønner i hardt fjell, og utvikling av bedre metoder for å framstille pålitelige temperatur- og reservoarmodeller. I tillegg er det viktig å få kartlagt varmestrøm og temperatur i berggrunnen i Norge for å dokumentere ressurspotensialet.

Det foreslås følgende tiltak:

- Etablering av et testsenter for utvikling og utprøving av geotermiske løsninger

- Etablering av et nasjonalt geotermisk kartleggingsprogram

For å sikre en koordinert nasjonal forsknings- og utviklingsinnsats innen geotermisk energi, anbefales:

- Opprettelse av FME (Forskningssenter for Miljøvennlig Energi) for geotermisk energi, gjerne med utgangspunkt i Norsk senter for dyp geotermisk energi (CGER) i Bergen
- Støtte til flere KMB (kompetanseprosjekter med brukermedvirkning) og BIP (brukerstyrte innovasjonsprosjekter) prosjekter årlig

Generelle tiltak innen grunn geotermiske energi:

- Styrket utdanning og opplæring innen grunne geotermiske systemer (varmepumper, etc) for å sikre en mer profesjonell installasjonsvirksomhet og tilrettelegge for vekst i bransjen
- Støtte til økt bruk av grunne geotermiske systemer, slik at ca en kvart millioner husstander innen få år benytter grunne geotermiske systemer for oppvarming
- Koordinering av erfaringsutveksling med utenlandske aktører, bl.a. svenske forskningsinstitusjoner og myndigheter

Generelle tiltak innen dyp geotermisk energi:

- Styrket forskning og utdanning på de områder som er kritiske for å gjøre dyp geotermisk energi til en praktisk, sikker og økonomisk anvendbar energikilde for produksjon av store mengder varme og elektrisk kraft
- Etablering/prioritering av virkemidler for å støtte etableringen/videreutviklingen av en norsk leverandørindustri, med mål om å realisere potensialet for å ta en ledende rolle internasjonalt
- Parallelt med oppbyggingen av den industrielle virksomheten skal det bygges konstruerte geotermiske anlegg (KGS-anlegg) med varmeleveranse og med elektrisk kraftproduksjon. OFU (Offentlig Forskning og Utvikling) og IFU (Industriell Forskning og Utvikling) anbefales for å finansiere et mulig pilotanlegg innen konstruerte geotermiske systemer, med oppstart innen et par år
- Norske forskningsinstitusjoner og industri skal innhente erfaringer og delta i nettverk med utenlandske forskere og næringsliv. Medlemskapet i IEA-GIA bør videreføres

7.2 Offentlige rammevilkår

Geotermisk energi bør stå sentralt i Energi21s arbeid med fornybar energi.

Under den geotermiske bransjens oppbyggingsfase bør energipolitikken inneholde konkrete tiltak for å lette etableringen av industriell virksomhet, deriblant:

- Økonomisk kompensasjon/"Forsikring" mot boring av "kalde dype" brønner

- Aktiv koordinering mot olje- og gassnæringen og støtte til videreutdanning
- Prisgarantier som trykker muligheten for koordinering med eksisterende eller nye fjernvarmeanlegg
- En spesifikk forskningspolitikk for minst fem år framover
- Et betryggende budsjettvolum hos de ulike deler av virkemiddelapparatet
- Adekvate ressurser for arbeid med hensiktsmessige, dekkende og ikke prohibitivt strenge lovreguleringer og andre myndighetskrav, slik at disse kan utvikles og modnes innen det blir behov for dem, spesielt på områdene;
 - utslipp/masser fra dypet
 - sikring/sikkerhetskrav
 - barrierer ved boring og drift
 - regler mht seismiske effekter (risikovurdering, monitorering, grenser)
 - eierskap til ressursene
 - konsesjoner

8 Grenseflater mot andre aktiviteter

Geotermisk energi står forholdsvis klart definert som en egen kategori fornybar energiresurs og er derfor avgrenset i forhold til andre aktiviteter. Unntaket her gjelder mye av det utstyret og systemene på overflaten som benyttes for utnyttelse av energien som kommer opp til varme, kjøling og/eller konvertering til elektrisk kraft og som ofte er uavhengig av energikilde. Arbeidsgruppen har derfor ikke gått inn på denne type systemer, men konferert med arbeidsgrupper som har hatt dette som sitt arbeidsfelt.

9 Forutsetninger for implementering av anbefalinger og mål

Kompetansen fra vår olje- og gassvirksomhet gir oss et konkurransefortrinn for en geotermisk satsing under forutsetning av at kompetansen videreutvikles på kontinuerlig basis. Et samspill mellom olje og gass og geotermisk virksomhet har et potensial for å bli gjensidig nyttig.

En anbefaling er å satse videre på FoU innen olje og gass, og at den verdensledende kompetansen som Norge besitter, videreutvikles inn i mot en anvendelse innen geotermisk energi. Ved å videreutvikle bore- og reservoarkompetansen kan norsk næringsliv ta en ledende posisjon internasjonalt og utvikle en geotermisk næring som er komplementær til dagens olje- og gassindustri. Økt kompetanse innen geotermiske fagområder kan også være nyttig i arbeidet med økt utnyttelsen av eksisterende og nye olje- og gassfelt.

Den mest sentrale forutsetning for vellykket deltakelse fra myndighetene er at ledelsen i OED og i virkemiddelapparatet, så vel som våre politikere, reelt velger å prioritere en satsing på geotermisk energi.

Det anbefales at departementet overvåker at følgende punkter er innfridd på varig basis, som forutsetning for videreføring av ovennevnte tiltak, siden disse punktene virkelig er forutsetninger for langsiktig suksess:

- Det gode samarbeidet mellom forskningsinstitusjonene og næringslivet må videreføres
- Innen forskning og industriutvikling er det nødvendig at det etableres og videreføres nær kontakt med kompetansemiljøet innen olje og gass
- Når utviklingen kommer dit at industrialisering og kommersialisering skal gjennomføres: bidra til at de økonomiske rammevilkårene er tilstrekkelige for slik satsing

10 Bibliografi

ABK Klima. (u.d.).

Armstead, H. (1983). *Geothermal Energy*. London: E. & F. Spon.

Bertani, R. (2010). Geothermal Power Generation in the World 2005-2010 Update Report. *Proceedings World Geothermal Congress 2010*. Bali.

Elvebakk, H. (2007). NGU well logging 2006-2007. I O. o.a., *Kontiki Final Report Continental Crust and Heat Generation In 3D* (ss. 43-62). NGU.

Flowserve. (u.d.). http://www.flowserve.com/files/Files/Images/Industries/static/020-I-Binary_Cycle_Geothermal_large.png. Hentet 10.20.2010 fra Binary Cycle Geothermal Process Diagram: http://www.flowserve.com/files/Files/Images/Industries/static/020-I-Binary_Cycle_Geothermal_large.png

IEA. (2009). *Key World Energy Statistics*. International Energy Agency.

IPCC. (2011). *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*.

Lund, J., Freeston, H., & Boyd, T. (2010). Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide review. *World Geothermal Congress*. Bali.

Maskinentreprenørenes Forbund. (u.d.).

Midttømme, K., Berre, I., Hauge, A., Musaus, T., & Kristijànsson, B. (2010). Geothermal Energy – Country Update for Norway. *World Geothermal Congress, 25-29 April*. Bali, Indonesia.

Olesen, O., Balling, N., Barrère, C., Breiner, N., Davidsen, B., & Ebbing, J. (2007). *Kontiki Final Report Continental Crust and Heat Generation in 3D*. NGU. NGU.

Pascal, C., Elvebakk, H., & Olesen, O. (2009). An Assessment of Deep Geothermal Resources in Norway. *Abstracts and Proceedings of the Geological Society of Norway 1*, (s. 28).

Rybach, L. (2005). The advance of geothermal heat pumps world-wide, 13-18. IEA Heat Pump Centre Newsletter 23.

Slagstad, T., Balling, N., Elvebakk, H., Midttømme, K., Olesen, O., Olsen, O., et al. (2009). Heat-flow Measurements in Late Palaeoproterozoic to Permian Geological Provinces in South and Central Norway and a Heat-Flow Map of Fennoscandia and the Norwegian-Greenland Sea. *Tectonophysics*, ss. 341-361.

Stefansson, A. (2005). World geothermal assessment. *Proceedings World Geothermal Congress, 2005, April 24-29*. Antalya, Turkey.

Sønsterud , R., & Kirkhusmo, L. (1988). Studies on Groundwater Recharge in Finland, Norway and Sweden. NHP.

Tester, J., Anderson, B., Batchelor, A., Blackwell, D., DiPippo, R., Drake, E., et al. (2006). *The Future of Geothermal Energy*. MIT.

TSS Energy AS. (u.d.).

Vedlegg A – Norske aktører innen geotermi

Nordisk Brønnboreforeningers Forbund (NBF)

Stiftet 1988 som sammenslutning av alle de nordiske lands brønnboreorganisasjoner. Foreningens medlemmer utfører årlig det meste av hva som årlig bores i Norden av grunne geotermiske systemer. Teknologisk står de nordiske land svært likt, men forskjellig hva geotermisk anvendelse angår. Kompetanseoverføringen er god slik at det er dekkende å hevde at den geotermiske bransjen er nordisk anlagt og ikke nasjonalt preget.

Maskinentreprenørenes Forbund (MEF), avd. Brønn- og spesialboring

Frittstående bransje- arbeidsgiverorganisasjon for små, mellomstore entreprenører. Rundt 2000 tilsluttede entreprenører sysselsetter ca 28000 innen BAE-næringen og omsetter for rundt 52mrd/år. Forbundet har en egen fagavdeling for brønn- og spesialboring som i sum utfører de fleste av landets årlige 4-5000 energi- og grunnvannsboringer.

Norsk Pumpeservice as

Totalleverandør til brønnborebransjen av boreutstyr og pumper.

Qmatec Drilling as (NEMEK)

Leverandør av borerigger- og utstyr til brønnborebransjen.

Ruukki as

Ledende leverandør av alt innen stål- og foringsrør til montering av geotermiske anlegg.

Norsk institutt for vannforskning (NIVA)

NIVA er en nasjonal stiftelse som leverer forskningsbaserte tjenester og produkter innenfor miljø, naturressurser og teknologi knyttet til vann. Instituttet er involvert i FoU knyttet til nye teknologiske løsninger for utnyttelse og lagring av termisk energi ned til 1000 m, og arbeider med simuleringverktøyet TRNSYS for optimalisering av slike systemløsninger. Ved geotermisk el-produksjon er lav kjølevannstemperatur et viktig moment der NIVA vil dra nytte av sin kompetanse på de norske vannressursene (medlem CGER).

Bergenhalvøens Kommunale Kraftselskap AS (BKK)

Vestlandets største energiselskap med vel 1100 ansatte og en omsetning på om lag 4,2 milliarder kroner. BKK engasjerer seg i utviklingen innen geotermisk energi (medlem CGER).

Christian Michelsen Research AS

CMRs engasjement innen geotermisk energi bygger blant annet på ekspertise innen instrumentering/overvåking, energikonvertering, rørstrømning, mekanisk konstruksjon, prosessengineering, teknisk sikkerhet, avansert visualisering av undergrunnsmålinger, modeller og utvikling av beslutningsstøtteverktøy (medlem CGER).

Det Norske Veritas

(medlem CGER)

GeoRigg AS

GeoRigg er et teknologiselskap som har søkt patent på et borekonsept for boring av geotermiske brønner med formål å redusere borekostnader vesentlig. GeoRigg har fått støtte fra Innovasjon Norge og Norges forskningsråd (medlem CGER).

Høgskolen i Bergen

(medlem CGER)

International Research Institute of Stavanger (IRIS)

IRIS ønsker å bli en ledende aktør innen forskning og utvikling av teknologi innen leting og utvinning av dyp geotermisk energi (medlem CGER).

Institutt for energiteknikk

IFE ønsker å utnytte sin ekspertise innen fagfeltene korrosjon, scale (utfelling) og sporstoffteknologi innenfor det geotermiske fagområdet. IFE har deltatt i Soultz og ENGINE prosjektene, finansiert av EU med sin ekspertise på korrosjon og scale (medlem CGER).

Kongsberg Innovasjon AS

Kongsberg Innovasjon, som eies av de store teknologibedriftene på Kongsberg samt energiselskapene Statoil og Vardar, har ambisjon om å skape ny industri innen fornybar energi og energieffektive systemer, der geotermisk energi konkret vurderes som et aktuelt satsingsområde (medlem CGER).

Norges geologiske undersøkelse

NGU er den nasjonale institusjonen for kunnskap om berggrunn, mineralressurser, løsmasser og grunnvann. NGU er ansvarlig for innsamling av data om berggrunnsegenskaper, inkludert termiske og hydrauliske egenskaper, og vedlikehold av geologiske og geofysiske databaser. Har siden 2004 bygget opp solid ekspertise i varmestrøm gjennom jordskorpen og geotermiske studier både på land og på sokkelen (CGER medlem).

Norges Geotekniske Institutt (NGI)

NGI er en privat stiftelse og et internasjonalt senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Geotermisk energi er et nytt fagområde som bygges opp ved instituttet. NGI deltar i internasjonale nettverk gjennom International Energy Agency og International Geothermal Association (medlem CGER).

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, (NTNU)

(medlem CGER)

NORSAR

NORSAR er et geovitenskapelig forskningsinstitutt der geotermi inngår som en naturlig og ønsket nåværende og framtidig virksomhet. Fra 2001 har NORSAR utviklet en egen kompetanse på mikroseismisk monitorering, og denne kompetansen vil bli videreutviklet og utvidet for anvendelser ved planlegging, etablering og drift av geotermiske anlegg (medlem CGER).

Norsk Hydro ASA

(medlem CGER)

Norwegian Piping AS

Norwegian Piping AS er leverandør av rør og rør-materiell til olje- og gassindustrien nasjonalt og internasjonalt, og som ønsker å kunne bruke sin kompetanse til å finne gode løsninger for fremtidens geotermiske prosjekter (medlem CGER).

Novatech AS

Leverandør til oljeindustrien innen brønnplanlegging og boring (medlem CGER).

Odfjell Drilling AS

Boreselskap som leverer boretjenester til oljeindustrien, og som har stor interesse i utviklingen innen det geotermiske området (medlem CGER).

Resonator A/S

Teknologiselskap som anvender en patentbeskyttet løsning for bygging av elektriske motorer/generatorer/hammere for en rekke anvendelser, deriblant brønnboring der en ønsker å kunne øke borehastigheten vesentlig i hardt fjell (medlem CGER).

Rock Energy AS

Rock Energy er et ledende geotermisk energiselskap som spesialisere seg på utnyttelse av dyp geotermisk energi for produksjon av varme, kjøling og elektrisk kraft. Selskapets forretningside er å bygge, eie og drive dype geotermiske energianlegg i samarbeid med lokale kraftselskaper på nasjonal og internasjonal basis. Selskapet planlegger sitt første pilotanlegg i Oslo med energileveranse til Hafslund AS i 2012. Rock Energy er medlem av European Geothermal Energy Council (EGEC), American Council of Renewable Energy (ACORE) og CGER.

Single-Phase Power AS

Single-Phase Power AS (SPP) leverer løsninger for lønnsom utnyttelse av overskuddsenergi. SPPs hovedprodukt er kraftproduksjon fra energikilder ved lave temperaturer (70°C til 300°C). Kraftverkene er veldig godt egnet til å produsere kraft fra geotermisk energi. SPP leverer komplette løsninger for energihåndtering, fra energianalyser, via prosjektering og lønnsomhetsanalyser til installasjon av komplette kraftvarmeverk (medlem CGER).

Statoil ASA

Statoil følger utviklingen innen geotermisk energi. Ambisjonen er langsiktig posisjonering i et marked som kan bli stort. Dette er en sektor hvor Statoil kan benytte sin kjernekompetanse fra olje og gass til å videreutvikle teknologier for effektiv utnyttelse av geotermisk energi (medlem CGER).

TTS Energy AS

Ledende leverandør av boreutstyr og borerigger til oljeindustrien på global basis. Stor interesse for geotermisk energi og utvikling av spesialiserte geotermiske borerigger.

Unifob AS

(medlem CGER)

Universitetet i Bergen

Geotermisk energi er et satsningsområde for Universitetet i Bergen (UiB), som bygges på sterk ekspertise innen geovitenskap, fysikk og anvendt og beregningsorientert matematikk. UiB deltar i forskningsprosjekter på geotermisk energi, og flere PhD- og masterstudenter ved universitetet gjør oppgaver knyttet til temaet (medlem CGER).

Vedlegg B – Oversikt over boreutfordringer

Tabell B.1 Behov for forskning innen boreteknologi (kryss angir prioriterte områder).

#	Utfordring	Grunn Geotermisk Energi	Naturgitte Hydrotermiske Ressurser	Konstruerte Geotermiske Systemer
1	Borerigger		X	X
2	Boreutstyr – borekrone for hardt fjell	X	X	X
3	Boreutstyr – TopDrive for hardt fjell	X	X	X
4	Boreteknologi – Alternativ boreteknologi for hardt fjell		X	X
5	Retningsboring i hardt fjell; små diametre			X
6	Håndtering av borekaks.			X
7	Rørhåndtering for høy temperatur > 150 °C			X
8	Høytemperatur datainnsamling > 150 °C			X
9	Kontinuerlig boring og sirkulasjon		X	X
10	Nedihullsutstyr for høye temperaturer			X
11	Nedihullsutstyr for aggressive miljøer			x
12	Isolerings-systemer for brønner		X	X
13	Kompetanse hos borepersonell	X	X	X
14	Håndtering av borevæske. 'Grønn' borevæske		X	X
15	Boremetodikk og utstyr for boring av U-brønner for lukket sløyfe sirkulasjon	X	X	X

*) Kommentarer til noen av punktene:

2: Flere alternative løsninger er mulig; Pen-Rock, ReelWell med flere. Fullskala testing av disse alternativene gjenstår.

3: Store rystelser i borestrengen er et problem med dagens boreteknikk i hardt fjell. Denne rystelsen må elimineres/kompenseres for å unngå ødeleggelser i riggen.

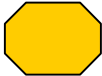
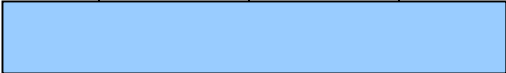

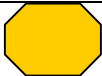




6: Avhengig av borested. I boring gjennom sedimentære bergarter med mulighet for hydrokarboner (for eksempel i Tyskland) vil boreslam og borekaks behandles som forurenset, farlig avfall og må håndteres. For boring på land i Norge vil det stort sett bli vann som benyttes og det som kommer opp av borekaks(vanlig knust fjellmasse som bl.a. kan benyttes til veibygging).

9: Høy temperatur og innvirkning på boreslammet og dets evne til å stoppe sirkulasjon må kartlegges. Man jobber i dag med kontinuerlig sirkulasjons-systemer på rigger (ref. Welldrive og CMR -Continuous Motion Rig).

Geotermisk FoU-innsats 1.




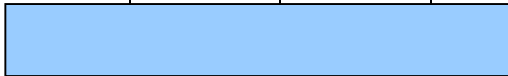

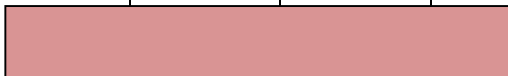


Ressurs: Kartlegging av varmemestrøm og temperatur i berggrunnen i Norge

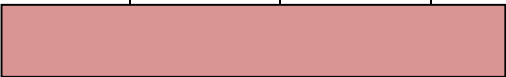
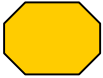

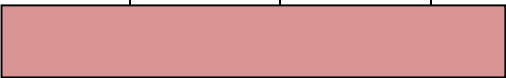
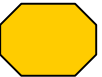


	Tidsperiode:1				Tidsperiode:2				Tidsperiode:3			
Tidsperiode	2010-2015				2015-2020				2020-			
1. Industriens ambisjoner og mål												
Bygge opp en internasjonalt ledende geotermisk kompetanseindustri i Norge												
FoU mål (1a)												
Metodeutvikling												
FoU utfordringer (1a)												
Metodeutvikling og videreutvikling av kartleggings- og modelleringsverktøy (2D og 3D)												
Tiltak (1a)												
Etablere KMB-prosjekt												
FoU Mål (1b)												
Karakterisering av berggrunnen med												

hensyn til oppsprekking, permeabilitet, varmeledningsevne, varmeproduksjon og bergspenning												
FoU utfordringer (1b)												
Kartlegging av temperatur og varmestrøm (geotermisk ressurspotensial) for Norge												
Tiltak (1b)												
Etablere nasjonalt kartleggingsprogram												
FoU Mål (1c)												
Optimalisering av lokalisering av anlegg												
FoU utfordringer (1c)												
Optimalisering av lokasjon av geotermiske anlegg												
Lokal karakteristikk av berggrunnsdata												
Tiltak (1c)												
Eablering av KMB for metodeutvikling												
Eablering av KMB for lokal kartlegging												

Geotermisk FoU-innsatsområde 2. Bore- og brønnteknologi

	Tidsperiode:1			Tidsperiode:2			Tidsperiode:3		
Tidsperiode	2010-2015			2015-2020			2020-		
2. Industriens ambisjoner og mål									
Redusert borekostnad/effektivisering av boreprosessen for geotermiske prosjekter									
FoU mål (2a)									
Utvikling av spesialbygde geotermiske borerigger/riggkonsepter									
FoU utfordringer (2a)									
Bygging av testrigg									
Tiltak (2a)									
Etablere KMB-prosjekt for bygging og utprøving av pilotrigg									
FoU Mål (2b)									
Videreutvikling av ny									

teknologi for brytning av hardt fjell											
FoU utfordringer (2b)											
Utvikling av bedre borekroner og/eller nye borekonsept											
Metode for boring på større dyp med høy temperatur											
Utvikling av materialer for høytemperatur/korrosjonsaggressive miljøer											
Utvikle høytemperatur nedihullsutstyr for datainnsamling og boring											
Tiltak (2b)											
Etablere KMB-program											
FoU Mål (2c)											
Utvikle metode for å håndtere svært oppsprukne bergarter											
FoU utfordringer (2c)											
Utvikling av bedre kartleggingsmetoder og-verktøy											
Tiltak (2c)											

Etablering av KMB											
FoU Mål (2d)											
Utvikling av borekonsepter/retning sboringsutstyr med tanke på nedskalering til mindre dimensjoner											
FoU utfordring (2d)											
Minatyrising av retningsboringsutstyr											
Tiltak (2d)											
Etablering av KMB											
FoU Mål (2e)											
Eliminasjon av rystelser i borestreng ved boring i hardt fjell											
FoU utfordring (2e)											
Redusere vibrasjon og støy ved boreaktivitet											
Tiltak (2e)											
Etablering av KMB											

Geotermisk FoU-innsatsområde 3. Reservoar

	Tidsperiode:1				Tidsperiode:2				Tidsperiode:3			
Tidsperiode	2010-2015				2015-2020				2020-			
3. Industriens ambisjoner og mål												
Utvikling av metoder og forståelse for optimalisering av varmeuttak fra undergrunnen samt energikonvertering												
FoU mål (3a)												
Utvikle metoder for etablering av strømningsveier som har tilstrekkelig konnektivitet og overflate for optimalt varmeuttak												
FoU utfordringer (3a)												
Utvikling av modeller for pålitelig simulering av hydrauliske, termiske, kjemiske og mekaniske prosesser												
Utvikling av modeller og metoder for												

optimalisering av energiuttak											
Forstå sprekkedannelser i reservoaret som følge av bergspenninger, hydraulisk oppsprekking og temperaturfall											
Utvikling av smarte og miljøvennlige sporstoffer for deteksjon av kontaktflateareal og utbredelse av reservoaret											
Forstå korrosjonseffekter i brønner og utvikle effektive og miljøvennlige korrosjons- og utfellingsinhibitorer											
Tiltak (3a)											
Etablering av et eller flere pilotprosjekt											
Etablere KMB											

Geotermisk FoU-innsatsområde 4. Energikonvertering

	Tidsperiode:1			Tidsperiode:2				Tidsperiode:3			
Tidsperiode	2010-2015			2015-2020				2020-			
4. Industriens ambisjoner og mål											
Uttak av geotermisk energi til elektrisk kraft og varmeproduksjon											
FoU mål (4a)											
Optimalisering av uttak av termisk energi for oppvarming av bygg via varmepumper											
Optimalisering av uttak av termisk energi for produksjon av elektrisk kraft (dype konstruerte geotermiske systemer)											
Optimalisering av uttak av termisk energi for prosessvarme											
FoU utfordringer (4a)											
Optimalisering av eksisterende teknologi for både grunne og											

dype geotermiske ressurser												
Tilpasning av tilgjengelige løsninger og metoder for konvertering av geotermisk energi til elektrisk kraft												
Tiltak (4a)												
Etablering av KMB												

Geotermisk FoU-innsatsområde 5. Miljø

	Tidsperiode:1				Tidsperiode:2				Tidsperiode:3			
Tidsperiode	2010-2015				2015-2020				2020-			
5. Industriens ambisjoner og mål												
Minimere miljømessige konsekvenser av geotermiske anlegg												
FoU mål (5a)												
Minimere miljømessige konsekvenser av geotermiske anlegg												
FoU utfordringer (5a)												

