

Aproveitamento da Energia Geotérmica

Elaborado por:

Vitor Rodrigues de Freitas RA: 971758

Tiago Rodrigues de Freitas RA: 971723

Introdução

Energia geotérmica apresenta um espectro de pesquisa e métodos de usos em diferentes fases de desenvolvimento na engenharia e na economia. Amplamente, os recursos acontecem naturalmente nas formas de vapor, água quente (aquíferos) e pedras quentes e a fase de desenvolvimento é ditada pela disponibilidade natural e o custo de extração. A temperatura da água quente pode ser maior que 200 C.

Todos os recursos geotérmicos são estritamente não renováveis porque o fluxo de calor comum do centro da terra é tão pequeno (0.04 a 0.06 W/m²) comparado com a taxa de extração requerida vai operação econômica. Até mesmo em áreas excepcionais onde o fluxo de calor pode ser centenas de vezes este valor, a taxa de extração exigida para suportar a usina de algumas centenas de quilowatts levará a um gradual esgotamento do campo. O tempo de vida de um campo geotérmico é algumas décadas enquanto que a recuperação pode levar séculos. Porém, campos geotérmico podem ser extensos e podem prover trabalho fixo por muitos anos. Em geral, custos capitais são importantes e custos correntes são tão pequenos que a energia que é usada vai para aplicações de carga básicas.

Nos últimos trinta anos, a ciência da geofísica avançou rapidamente e o nosso conhecimento da estrutura do planeta tem crescido enormemente . Em particular, a teoria das placas tectônicas permitiu uma compreensão do porque de certas regiões têm maior atividade vulcânica e sísmica do que outras. Técnicas também melhoraram. Embora as minas mais fundas estão só a alguns quilômetros de profundidade e os buracos são

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

geralmente perfurados à profundidade de até 10Km (e geralmente muito menos), técnicas sismológicas , junto com evidências indiretas permitiram um conhecimento maior da forma da estrutura da terra.

Os gradientes de temperatura variam amplamente em cima da superfície da terra. Isto é o resultado do derretimento local devido a pressão e fricção e aos movimentos de placas vizinhas uma contra a outra. Sendo assim, um fluxo de magma debaixo pode acontecer. A localização das placas vizinhas também corresponde a regiões onde atividades vulcânicas são encontradas.

O calor medido perto da superfície surge do magma mas outros fatores também podem afetar o fluxo de calor e gradiente térmico. Em alguns casos, convecção de fonte de água natural perturba o padrão de fluxo de calor e em outros casos é pensado que o lançamento de gases quentes de pedra funda pode aumentar o fluxo. Outro mecanismo importante é geração de calor de isótopos radioativos de elementos tal como urânio, tório e potássio. Este mecanismo não é completamente compreendido, mas certas áreas da crosta sofreram derretimento sucessivo e recristalização com o tempo e isso conduziu à concentração destes elementos a certos níveis da crosta. Em uma menor extensão, reações químicas exotérmicas também podem contribuir para o aquecimento local.

Áreas classificadas como hipertérmicas exibem gradientes muito altos (muitas vezes tão grande quanto as áreas não térmicas) e estão normalmente perto das placas vizinhas. Áreas semi-térmicas com gradientes de 40-70 C/km podem ter anomalias na grossura da crosta em caso contrário regiões estáveis ou devido a efeitos locais como radioatividade.

ENERGIA GEOTÉRMICA DOS AQUÍFEROS

A palavra aquifero tem sido utilizada para indicar algumas fontes de água do solo, um sistema profundo de água quente ou campo de vapor ou como um geyser ou fumarole que quebra a superfície .Depois de discutir

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

em alguns detalhes as tecnologias que tem sido desenvolvidas, uma breve descrição será feita para as técnicas que já estão sendo feitas.

O primeiro esforço para gerar eletricidade de fontes geotérmicas ocorreu em 1904 em Lardarello na Toscana. Contudo, esforços para produzir uma máquina para aproveitar tais fontes foram mal sucedidos por causa dos ataques químicos que as máquinas sofriam.

Em 1913 uma estação de 250 kW foi produzida com sucesso e por volta da Segunda Guerra Mundial 100 MW estavam sendo produzidos, porém foram destruídos na guerra.

Na Nova Zelândia o campo de gases de Wairakei nas ilhas do Norte foram desenvolvidos por volta de 1950 e em 1964, 192 MW estavam sendo produzidos. Este campo está agora acabando.

O campo de geysers na Califórnia estavam produzindo 500 MW de eletricidade em 1970. A exploração desse campo foi dramática, pois em 1960 somente 12 MW eram produzidos e em 1963 somente 25 MW.

México, Japão, Filipinas, Quênia e Islândia são alguns países que tem expandido a produção de eletricidade por meio geotérmico.

ESTRUTURA TÍPICA DE UM AQUÍFERO

A existência de um grande gradiente de temperatura não é o único critério para julgar a utilidade de uma área geotérmica. A presença de fontes de água quente ou gases é também exigida e a associação da água com um alto gradiente depende de condições geotérmicas. A existência de campos dominados por água ou por gases tem um importante papel na escolha da fábrica utilizada. Em geral campos semitérmicos contêm água a mais de 100 C e nenhum vapor, mas campos hipertérmicos variam na proporção de água ou gás.

Campos hipertérmicos molhados contêm água pressurizada por volta de 100 C, e quando na superfície ocorre uma despressurização ocorre uma

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

mistura de gases e água fervendo. Campos hipertérmicos secos contêm gás saturado ou superaquecido.

Se o campo é seco ou molhado depende de algumas propriedades e formatos dos aquíferos.

TRABALHO DE EXTRAÇÃO DO FLUIDO

É interessante notar em que condições um aquífero irá fluir espontaneamente se conectado com a superfície natural ou artificialmente por meio de uma perfuração.

Se um buraco geotérmico ou uma fissura natural conectando o campo com a superfície e cheio de água é idealizado na forma de um longo tubo com paredes isolantes, aquecido por água fervente no fundo, é possível ver porque campos hipertérmicos algumas vezes fluem espontaneamente com a emissão de vapores.

Se na parte mais baixa do tubo a água está fervendo, um pouco de vapor irá subir e encontrar um nível de coluna d'água mais fria. Por condensação o calor latente produzido irá aumentar a temperatura da água nesse nível, mas por causa da pressão hidrostática da água nesse nível ser um pouco menor, a água irá ferver a uma temperatura menor. Em princípio esse processo ocorreria progressivamente. Se o vapor no topo da coluna de líquido pode ser somente ejetada através de uma superfície estreita, o vapor deve expelir para a atmosfera com alguma força.

Em situações reais, convecção ocorreria na coluna, existiria transferência de calor nas paredes e o aquecimento no fundo da coluna não se manteria.

Campos geotérmicos secos fluiriam geralmente sem estímulos por causa da pressão do vapor adicionada com a pressão da água. Isso tem sido observado tanto nos geysers da Califórnia quanto em Lardarello que o vapor emitido é superaquecido (de 10 C nos geysers e muito mais de 70 C em Lardarello).

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

A taxa de extração de um campo geotérmico influencia na sua vida útil. Os campos são geralmente explorados cautelosamente no início.

Um método que em princípio assegura que água no campo não irá esgotar rapidamente é a re-injeção de água dentro do aquífero. Esse método é caro e pode levar a uma diminuição da temperatura dentro do aquífero. Por outro lado tem a vantagem de minimizar o efeito ambiental.

Ainda há dúvidas técnicas a respeito da possibilidade de re-injeção, particularmente em aquíferos pressurizados. Os problemas dependem muito das condições locais mas está crescendo a evidência de que a re-injeção pode ser realizada pelos efeitos da gravidade. Re-injeções bem sucedidas foram realizadas na Califórnia, França, Japão e em El Salvador.

PERFURAÇÃO

Apesar das informações geológicas, medições de fluxo de calor, e uso de ferramentas geofísicas como estimações geoquímicas são importantes na exploração de áreas com potencial geotérmico. Buracos devem ser muitas vezes perfurados para confirmar evidências indiretas para começar a produção.

A profundidade de perfuração do buraco depende da natureza do campo geotérmico. Em campos hipertérmicos, é geralmente necessário perfurar a uma profundidade de 500 a 2000m e nos campos semitérmicos um pouco além desse valor. O custo da perfuração é um dos fatores determinantes na construção das usinas geotérmicas. A medida ótima é difícil de ser encontrada, pois se for muito estreito irá diminuir o fluxo, se for muito largo o custo aumenta muito. Os buracos se estreitam com a profundidade, desta forma o diâmetro da superfície depende da profundidade do campo.

As técnicas empregadas são geralmente aquelas usadas na extração de óleos e gases. Altas temperaturas e processos corrosivos requerem componentes especiais.

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

O espaço entre os buracos na superfície depende de muitos fatores. Separações pequenas reduzem a quantidade de conexões. Por outro lado se são muito pertos pode haver interferências entre eles. A relação exata da separação depende do sistema de fissuras do aquífero, mas separações de 100 a 500m e de 300 a 2000m são assumidas.

O sucesso da perfuração depende de alguns fatores como: boa temperatura e pressão como função da taxa de calor; entalpia do fluido ; composição química.

SUPERFÍCIE DA USINA

Nesta seção, nenhuma menção será feita com detalhes de engenharia como conexões de tubos, silenciadores, separadores e outras partes típicas de usina geotérmica.

Antes, podemos considerar como o rendimento de um aquífero pode ser otimizado para fornecer o máximo de potência elétrica. Usando aquíferos para aquecimento direto implica no uso da pressão da nascente de água onde o máximo calor pode ser obtido. Gerando eletricidade, entretanto, leva a diferentes pressões de otimização. O máximo reflete o fato que o aumento da pressão reduz a quantidade de vapor útil mas que claramente aumenta o calor útil numa massa de vapor dada.

A pressão que otimiza a potência do buraco não é necessariamente a pressão mais econômica que pode ser usada. Entretanto a produção da potência máxima reduzirá o número de cavidades requerida, outros fatores também são importantes. Por exemplo, baixas pressões tendem a exigir tubos volumosos para o transporte do vapor e altas pressões exigem encaixes mais caros como válvulas, isolações mais espessas e tendem a levar construções químicas na folha de planta da turbina.

O desenho de um sistema de potência depende de muitos fatores. Certamente a pressão e a temperatura do aquífero são as mais importantes, mas corrosão do fluido de trabalho e os materiais do meio ambiente interessam tanto quanto os dispositivos de rejeição de calor.

EFICIÊNCIA E TAMANHO DA FÁBRICA.

A energia útil de um reservatório depende da taxa do fluxo, temperatura, e calor latente específico do fluido.

Foi mostrado que a eficiência termodinâmica ideal para um ciclo recebendo calor a uma temperatura T_2 , rejeitando calor a uma temperatura T_1 e operando a uma temperatura de condensação T_0 é dada por:

$$\eta_i = 1 - \frac{T_0}{T_2 - T_1} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Na prática, no entanto, para temperaturas na casa de 150-200 C eficiência de 60% de η_i são obtidas. Esse valor não leva em conta a energia requerida para fazer funcionar aparelhos auxiliares.

O tamanho da fábrica é então limitado pela saída termal e pela eficiência.

O USO DO CALOR

Vamos restringir nossa atenção na produção de energia elétrica, mas é interessante perguntar em que condições o calor geotérmico deve ser usado para geração direta ou melhoria na eficiência de algumas estações pelo pré aquecimento da água. Não se tem resposta certa ainda.

ECONOMIA DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE DE FONTES HIDROTERMAIS

Geralmente falando em países desenvolvidos as fontes mais importantes economicamente já foram desenvolvidas. Nesses casos por causa da alta temperatura e da taxa de fluxo e da proximidade da superfície (baixo custo de perfuração) a energia gerada deve custar pouco.

A economia da exploração de um particular campo depende de vários fatores incluindo custo de exploração, desenvolvimento de reservatórios,

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

pureza e temperatura da água, taxa de fluxo, o tipo da fábrica, o grau de proteção ambiental exigida.

CONSIDERAÇÕES AMBIENTAIS

Devido a natureza, a energia geotérmica é uma das mais benígnas fontes de eletricidade. Por causa dos altos índices de desperdícios que ocorrem quando o fluido geotérmico é transmitido a longas distâncias através de dutos, a energia deve ser posta em uso no, ou próximo do campo geotérmico. Dessa maneira o impacto ambiental é sentido somente nos arredores da fonte de energia.

Há, entretanto, certos problemas que devem ser enfrentados em geral, e outros que são específicos da natureza do sítio que dependem das características do geofluido e da aplicabilidade do local quanto as regulamentações e regras de proteção ambiental.

Poluição do ar

Aproximadamente todos os fluxos geotérmicos contém gases dissolvidos, estes gases são liberados junto com o vapor de água. De um jeito ou de outro estes gases acabam indo para a atmosfera . A descarga de ambos vapor de água e CO₂ não são de séria significância na escala apropriada das usinas geotérmicas. Por outro lado, o odor desagradável, a natureza corrosiva, e as propriedades nocivas do H₂S são causas que preocupam. Nos casos onde a concentração de H₂S é relativamente baixa, o cheiro de ovo podre do gás causa náuseas; em concentrações mais altas pode causar sérios problemas de saúde. Um ser humano pode detectar concentrações de H₂S em minutos, 0,030 ppm é o limiar normal. À 667 ppm, H₂S pode causar a morte rapidamente por paralisia respiratória. Em alguns casos a concentração de H₂S no local da usina geotérmica pode ser da ordem de 1 ppm. Na maioria dos casos, tais usinas são construídas perto de áreas de fontes quentes que naturalmente são caracterizadas por odores sulfurosos.

Na Califórnia há uma lei que exige para que a concentração de H₂S seja inferior ou igual a 0,030 ppm. Para tanto foram instalados sistemas de

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

abatimento para tratar os gases não condensados antes de serem descartados para a atmosfera. Além disso o vapor condensado deve ser tratado se for encontrado quantidades significativas de H₂S no condensador.

Poluição da Água

Devido a natureza mineralizada dos fluidos geotérmicos e à exigência de disposição de fluidos gastos, há a possibilidade da contaminação da água nas proximidades da usina. Não é incomum encontrarem arsênio, mercúrio ou boro em pequenas, mas ambientalmente quantidades significantes de tais fluidos. A descarga livre dos resíduos líquidos para a superfície pode resultar na contaminação de rios, lagos, etc.

Aluimento da terra

Quando uma grande quantidade de fluido é retirada da terra, sempre há a chance de ocorrer um abalo. Nestes lugares deve ser injetado água. O mais drástico exemplo de aluimento numa usina geotérmica está em Wairakei, Nova Zelândia. A fenda máxima está em 7.6 m e está crescendo a uma taxa de 0.4 m por ano. Acredita-se que o problema pode ser atenuado com reinjeção. É interessante notar que desde 1958, quando a primeira unidade começou a operar em Wairakei, nenhuma reinjeção ocorreu. Finalmente aluimentos não deveriam ser um problema naqueles campos caracterizados pelas formações fraturadas quanto ao mais em rochas duras com basalto.

Poluição sonora

Os testes de perfuração das fontes são operações inerentemente barulhentas. Se estas operações puderem ser ouvidas pela população de uma cidade, então métodos de abatimento devem ser empregados. Silenciadores e abafadores de vapor são simples e fáceis de serem instalados. Pelo estudo cuidadoso da topografia natural, em muitos casos o caminho do som pode ser bloqueado. Sons associados a construção de estradas e a da casa das máquinas são de duração deliberadamente curtas, mas a perfuração das fontes e seu ruído geralmente continua,

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

pois novas unidades são adicionadas e novos poços são perfurados. Geralmente ocorre que as áreas geotérmicas são distantes das áreas urbanas.

Poluição Térmica

Embora seja verdade que usinas geotérmicas rejeitam várias vezes mais calor perdido por unidade de uso que outras usinas como a fóssil ou a nuclear, esta quantidade é insignificante em escala absoluta. Além disso, a perda de calor é para a atmosfera, desde que as torres de resfriamento sejam meios de rejeição de calor gasto da usina.

Eventos catastróficos

Os mais severos danos ambientais seriam aqueles associados a ruptura de pneumático, rupturas de tubulações, e falhas maiores de equipamentos, ou indutância sísmica resultante da falta de prática com os equipamentos. Rupturas do pneumático ocorreram em vários lugares, incluindo Os Geiseres, Wairakei, e Momotombo (Nicarágua), mas como apareceu em experiências de perfuração, precauções mais seguras seriam o desenvolvimento de equipamentos de prevenção. A chance de ruptura do pneumático é muito maior nos estágios iniciais do desenvolvimento do campo, pois menor é o conhecimento sobre a estrutura do reservatório e das propriedades do geofluido. Tirando o caso da indutância sísmica, alguns acreditam que a reinjeção sob pressão pode resultar numa lubrificação das falhas sísmicas induzindo a um deslizamento ou terremoto. Entretanto, alguns reservatórios geotérmicos estão subpressurizados, e o geofluido pode retornar para o reservatório sem a necessidade de bombas. Porém, pressões para reinjeção nos outros casos são moderadas, a 525 Kpa. Além disso, não há casos onde terremotos encadearam uma reinjeção de fluido geotérmico.

TECNOLOGIA DA PEDRA SECA QUENTE (HDR)

A produção geotérmica convencional acredita na existência de rochas permeáveis na quais existe fontes de água que podem ser extraídas. No

entanto, muitas partes da superfície da terra está coberta por rochas impermeáveis.

As fontes de energia geotérmica poderiam crescer muito se o calor de tais rochas pudesse ser utilizado. Eletricidade poderia ser gerada diretamente de 'minas de calor'. Há algumas formações de origem magmáticas que exibem altos gradientes térmicos que poderiam ser explorados. Isso poderia ser feito perfurando profundos buracos, e potência poderia ser produzida dessas rochas profundas. A principal barreira que dever ser vencida antes da obtenção de tais tecnologias é estabelecer métodos reprodutivos de fraturamento de rochas que proporcionariam caminhos para a circulação de água re-injetada .

O desenvolvimento da energia geotérmica HDR é de vital importância para o futuro da energia geotérmica em UK.

COMPORTAMENTO TEÓRICO DE UM SISTEMA HDR

Se pressão hidráulica é aplicada a 70-100 bar numa coluna d'água numa rocha impermeável a uma profundidade de 3 KM , é esperada a criação de uma fissura de formato vertical e circular. O sistema rachado formado por hidro-fraturamento pode ter vários centenas de metros de diâmetro. Se um segundo furo é feito para interceptar o disco fraturado, água injetada poder circular para a extração de calor. Um sistema bem sucedido necessitaria alcançar vários objetivos.

1. A área de contato entre a água e a rocha deveria ser maximizada para alcançar altas transferências de calor .
2. O tempo de vida de um sistema deveria ser suficientemente longo para ser econômico. O tempo de vida poderia ser limitado pelo resfriamento local das rochas e pelo fechamento das fissuras. Reperfuração ou estimulação por alta pressão de água deve ser usada para alcançar um tempo de vida suficiente.
3. Desperdício de água do sistema poderia ser menor.

Estudos teóricos tem mostrado que a fratura térmica é muito complexa. Algumas análises tem sugerido que uma segunda fratura térmica deve

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

crescer perto da primeira . Por causa disso grandes fraturas permitirão maior circulação de fluido. Tem sido sugerido que a taxa de extração de calor dever crescer a medida que a fratura se desenvolve.

EXPERIMENTO DE LOS ALAMOS

O laboratório Científico de Los Alamos fica perto dos vales de Caldera, uma intrusão magmática resultante de atividade vulcânica que ocorreu por volta de um milhão de anos atrás. Em 1971 perfurações (por volta de 30 m de profundidade) mostraram altas temperaturas , e uma medida de fluxo de calor a 200- 300 m de profundidade indicou um fluxo de 5 hfu. Uma perfuração preliminar de 150 m em rocha de granito alcançou uma temperatura de 100 C e verificou que a rocha tinha uma permeabilidade muito baixa. Esses resultados encorajaram os testes que foram feitos no sítio Fenton Hill em 1973. Um buraco de exploração foi primeiramente perfurado a 2000m e apesar das dificuldades de perfuração, experimentos hidrológicos foram realizados incluindo testes de hidrofraturamento da rocha. Foi encontrado um grande fratura (estimada em 50m metro de diâmetro) que foi criada verticalmente por hidrofraturamento.

Uma segunda perfuração foi feita em 1975 e alcançou uma profundidade de 3000 m onde a temperatura atingiu 206 C . Perfuração direcionada foi realizada com o intuito de interceptar a zona fraturada no fundo desse buraco e fluxo entre esses dois buracos foi alcançado. No entanto, a conexão não foi um sucesso completo.

Em 1978 um segundo experimento (fase 2) foi iniciado e se esperava alcançar 20 –50 MW . Dois buracos foram perfurados, separados verticalmente por uma profundidade de 360m e lateralmente por 35m. O primeiro foi perfurado a uma profundidade de 3000m .A temperatura nesse buraco foi estimada em 260 C . O segundo buraco foi completado em 1981 paralelamente ao primeiro. Por volta de catorze fraturas produzidas por hidro-fraturamento e técnicas de explosivos são planejadas para unir os dois buracos. O sistema é uma fábrica piloto e é esperada ter um tempo de vida de 10 anos.

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

O projeto de Los Alamos teve uma grande significância em demonstrar a praticabilidade do sistema HDR. Pressões injetadas a mais de 7200 N/m² tem sido usadas para gerar fraturas e informações sobre sua forma. Ainda há evidências se o método de fracionamento deve ser usado.

FÁBRICA DA PEDRA QUENTE SECA (HDR)

A tecnologia associada com a perfuração e geração de eletricidade é similar aquela desenvolvida para explorar os aquíferos.

Há menos experiências em perfuração de granito, mas em alguns casos isso tem sido mais lento e mais caro do que perfurar em rochas permeáveis por causa da dureza das rochas. No entanto, melhores ferramentas estão sendo construídas e, por exemplo, em Camborne perfurações muito maiores foram atingidas.

Geração de energia precisará ser alcançada usando fábrica de ciclo fechado e o sistema precisará ser desenvolvido comercialmente para uma série de condições se a energia geotérmica do HDR for utilizada para a geração de eletricidade.

CONSEQUENCIAS AMBIENTAIS

Os mesmos efeitos ambientais seriam provocados pela desenvolvimento de fábricas de HDR tais como nos aquíferos exceto pelo uso de ciclo fechado que evita a emissão de gases tóxicos. Os mesmos problemas da rejeição de calor discutido para os aquíferos são aplicados aqui.

RIQUEZAS

É difícil estimar todas as fontes de HDR, mas tentativas tem sido feitas para avaliar as fontes nos EUA e em Cornish.

Foi estimado que 5% da área total de UK deve possuir rochas com gradientes de 40 C/Km e que $1.4 \cdot 10^{22}$ J são potencialmente avaliados

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

em temperaturas de 150 C a uma profundidade de 10 Km. Claro que somente uma pequena fração seria tecnicamente aproveitada.

Foi mostrado que o potencial total de calor avaliado, Q_0 , formada de uma área de granito de 1 Km² entre uma profundidade máxima Z e uma profundidade Z_0 em que uma temperatura mínima é encontrada por:

$$Q_0 = 1.1 \times 10^{15} G (Z - Z_0)^2 \quad \text{onde } G \text{ é o gradiente em C/Km.}$$

Acredita-se que o granito de Cornish se estenda por uma área 6000 Km² e o granito de Durham a um quarto desse valor. Usando a fórmula dada, o grosso da riqueza do granito de Cornish a temperaturas de 200 C seria 6×10^{22} J. Sendo realista, se por volta de 100 MW pudesse ser extraída do granito a cada quilometro quadrado da fonte total de Cornish durante 20 anos, assumindo uma eficiência de 10 %, seria de 8000 TWh (ou 300 TWh p.a.). Para dar uma idéia da escala, a demanda total de eletricidade em UK é por volta de 220 TWh p.a..

ECONOMIA DA ELETICIDADE DO HDR

Desde que a tecnologia está em sua infância e o princípio não foi ainda estabelecido em uma escala piloto, a economia do sistema HDR deve permanecer especulada. No entanto várias tentativas tem sido feitas para examinar a economia.

Ainda não está claro qual densidade de extração pode ser realizada e isso deve variar de lugar para lugar.

O maior estudo da economia de produção de eletricidade para HDR foi feita na Universidade do Nova México. A análise foi complexa assumindo cenários detalhados. O estudo considerou uma fratura múltipla de um sistema HDR com produção de eletricidade de um ciclo binário. Eletricidade custava 4.3 c/kWh e foi obtida de uma referencia que assumia um gradiente térmico de 40 C/Km, uma taxa de fluxo de 75 Kg/s, uma área de transferência de calor entre pares de buracos de 1.7×10^6 m² e uma temperatura de 160 C.

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

Análises de gradientes, tamanhos de reservatórios , custos de perfuração e taxas de retorno sugeriram que o custo deve ser esperado entre -40% e +75% para o caso estimado. Os resultados não podem ser simplesmente transferidos para UK por causa dos parâmetros econômicos diferentes tal como desconto de taxas.

Um estudo mais recente do custo da energia geotérmica por área do HDR que foi realizado no Imperial Valley, Califórnia, mostrou que os custos foram mais altos por causa dos gradientes mais baixos assumidos. Os resultados, no entanto, serviram para abastecer de alguns cuidados da base otimista acerca da comercialização futura do sistema HDR no Imperial Valley uma vez provada a tecnologia .

PROBLEMAS RESTANTES DA ENERGIA GEOTÉRMICA HDR

Técnicas do HDR oferecem possibilidades excitantes, mas há ainda muitos problemas que devem ser considerados. Alguns já foram mostrados, mas será útil mostra um sumário de alguns relativos ao UK:

1. Ainda tem que ser provado que uma superfície adequada pode ser formada e reproduzida na profundidade.
2. Variações reais de temperatura com a profundidade nas melhores áreas de UK tem ainda que ser estabelecidas.
3. Técnicas de perfuração e instrumentação a grandes profundidades em rocha quentes tem ainda que ser desenvolvidas.
4. Interceptação de uma fratura por um segundo buraco é difícil de ser realizado.
5. A natureza do sistema de fratura deve variar de área para área . Circulação suficiente dever ser difícil de se atingir ou, no outro extremo, circulação pequena pode ocorrer.
6. Em algumas formações perda de água dever ocorrer. Isto diminui com o aumento da profundidade
7. Problemas ambientais tais como o visual, rejeição de desperdício de calor pode limitar o uso da energia geotérmica de HDR.

POSSÍVEIS DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

Duas possibilidades interessantes, uma para aumentar as bases da riqueza da energia geotérmica e outras para reduzir os custos de perfuração deve encarecer as perspectivas e isso será considerado nesta última seção.

Algumas técnicas sugeridas para serem desenvolvidas para explorar o sistema HDR e sistema de alta permeabilidade devem ser trazidos juntos para explorar um grande número de sistemas que devem somente moderar a permeabilidade onde custos muito altos de bombeamento ou baixas taxas de fluxos fariam da produção de eletricidade um negócio desfavorável. O método sugerido envolve pelo menos duas fraturas verticais e paralelas no fundo dos buracos. A análise teórica sugere que um sistema duplo neste caso, seria capaz de produzir de três a muitas centenas de vezes a produção térmica de nascentes não fraturadas nos aquíferos na mesma área geotérmica. Foi verificado que a re-injeção de pressão necessitaria de ser aumentada com o tempo por causa da mudança da viscosidade do fluido com a temperatura. Para um sistema com uma temperatura de 100 C e uma re-injeção de temperatura de 30 C foi estimado que , para uma saída constante, um aumento deve ser considerado. Se alcançada na prática , a técnica poderia ser usada para reduzir o número de sistemas geotérmicos em um dado lugar para uma dada saída.

A economia da energia geotérmica depende, a um largo grau, do custo de fabricação, particularmente para o sistema HDR onde os buracos devem geralmente ser de alguns quilômetros de profundidade e onde o custo de perfuração representa 60% do custo total do projeto. Uma sugestão feita a algum tempo atrás mas que é tecnicamente muito difícil é a de se empregar a perfuração por derretimento. Algumas rochas derretem abaixo de 1500- 2000 C e se um penetrador aquecido pudesse ser feito, isso evitaria trazer grandes anéis para a superfície. A taxa de penetração em granito e outras rochas cristalinas deve ser muito mais alta do que é freqüentemente realizada usando técnicas convencionais . Aparelhos de aquecimento elétrico foram projetados, mas foi sugerido que aparelhos nucleares poderiam ser usados. A dificuldade maior em perfuração derretida é o do granito, pois o volume da rocha derretida é maior do que da sólida e a baixa porosidade do material tende a ser

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

bloqueada. Outras idéias para derretimento e vaporização incluem perfurações que utilizam lasers, elétrons e plasma. Perfuradores químicos foram tentados, mas o custo químico foi muito alto.

Se alguns desses métodos de perfuração pudessem levar a uma maior redução nos custos, eles levariam a um encarecimento das perspectivas da energia geotérmica e da tecnologia HDR em particular.

CONCLUSÃO

A energia geotérmica é uma fonte de energia alternativa que é encontrada em regiões especiais da superfície da terra, que necessita de muita pesquisa para melhor ser aproveitada, pois mesmo com os 94 anos que se passaram da primeira tentativa de exploração, ocorrida em 1904 em Lardarello na Toscana, o rendimento que se consegue é ainda muito baixo. O alto custo de construção das usinas, principalmente o da perfuração inviabiliza muitos projetos.

BIBLIOGRAFIA

Taylor, R.H. *Alternative Energy sources for the centralised generation of electricity* , Adam Hilger Ltd, Techno House, Redcliffe Way, Bristol.

Meyers, A. Robert *Handbook of Energy Technology and Economics* , A Wiley-Interscience publication.

Fonte: FEM – Unicamp (<http://www.fem.unicamp.br>)