

Hoofdstuk 9 – Diepe geothermie

9.1. Principe

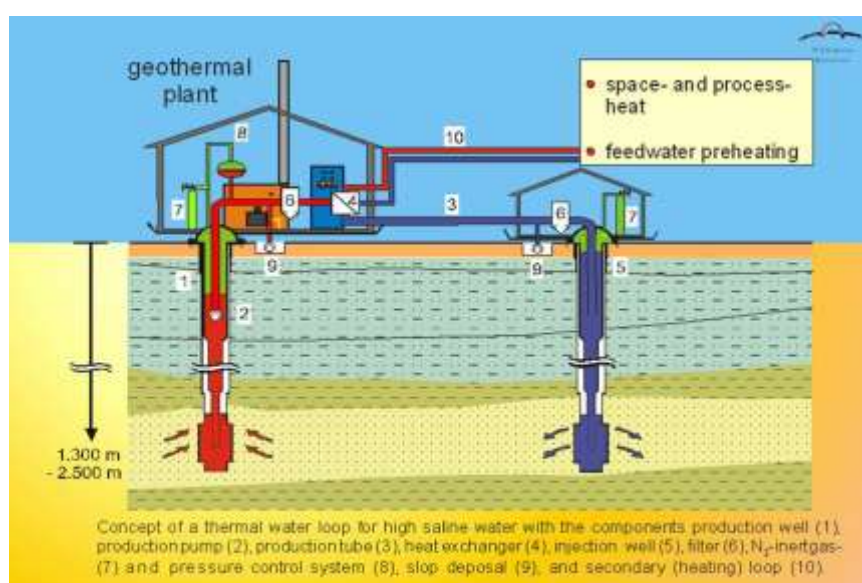
9.1.1. Inleiding

Diepe geothermie is het gebruiken van aardwarmte uit diepe bronnen om bv. woonwijken, bedrijventerreinen of serres te verwarmen, of om elektriciteit mee te produceren. Geothermische warmte wordt gewonnen op dieptes van 1500 tot 3000 meter, waar temperaturen heersen van 55 à 100°C (Buitenhuis, 2008). Op dieptes vanaf 3000m is de temperatuur hoog genoeg om ook het opwekken van elektriciteit mogelijk te maken.

Net zoals bij ondiepe systemen onderscheidt men bij diepe geothermie verschillende systemen.

Bij open systemen (hydrothermale systemen) circuleert warm water in een aquifer tussen twee bronnen. Twee putten worden geboord tot de watervoerende laag: één voor onttrekking (productie) en de ander voor injectie van water. In de meeste systemen wordt warm water uit één bron gepompt en het afgekoelde water wordt in een andere bron teruggepompt (doubletsysteem). Het verschil tussen dit systeem en KWO is dat bij KWO geen temperatuuroverdracht plaats mag vinden tussen de twee bronnen. Bij een hydrothermaal systeem is het juist de temperatuuroverdracht die er voor zorgt dat warmte kan worden geëxploiteerd en het ingepompte afgekoelde water opgewarmd de extractiebron bereikt. Hydrothermale systemen kunnen worden toegepast om woonwijken, bedrijventerreinen of serres (kassen) te verwarmen. Volgens Van Melderden (2011) herstelt de uitgeputte warmte in een aquifer zich zeer snel: het kan grosso modo worden gesteld dat een uitgeputte aquifer ongeveer een even lange herstelperiode nodig heeft als de duur van de productieperiode. Door de gedeveerd (schuinweg) te boren, komen bovendien de onttrekking en injectie ondergronds op een aanzienlijke afstand van elkaar te liggen. Zo wordt voorkomen dat het geïnjecteerde, afgekoelde water te snel de productieput bereikt en de onttrekkingstemperatuur te laag wordt. Volgens Buitenhuis (2008) wordt een doublet zo ontworpen dat het tenminste 30 jaar duurt voor de onttrekkingstemperatuur merkbaar gaat dalen.

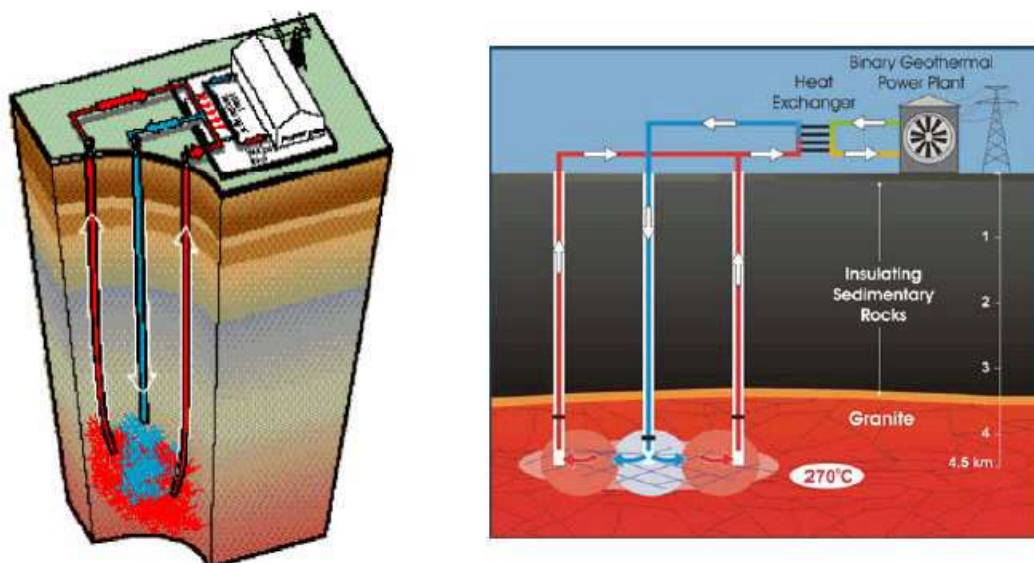
Bij open systemen is een watervoerende laag nodig waaruit warm water wordt opgepompt en later weer geïnjecteerd. De dikte en doorlatendheid van de watervoerende laag (kD = transmissiviteit) bepalen de benodigde pompenergie.



Figuur 1: Principe van een geothermische centrale met z.g. doubletsysteem (Van Melderden, 2011)

Bij gesloten systemen (diepe aardwarmtesondes) circuleert een warmtedragend medium in een boring van 2 tot 3 km diep. Doordat het warmte-uitwisselingsoppervlak met het omliggende gesteente zeer klein is, zijn capaciteit en rentabiliteit van een gesloten systeem vele malen kleiner dan die van een open systeem. De capaciteit van een gesloten systeem is beperkt door de ondergrondse warmtestroom. Dergelijke systemen leveren typisch slechts enkele honderden kilowatt aan warmte. De voordelen zijn dat er geen filtersystemen en ondergronds reservoir nodig zijn en dat weinig pompenergie wordt gebruikt (Van Melderens, 2011). De gesloten systemen lijken heel weinig gebruikt te zijn en zullen niet verder besproken worden.

EGS (Enhanced Geothermal Systems) is een techniek waarbij met hydraulische stimulatiemaatregelen spleten en kloven worden gemaakt in een gesteente waarin hoge temperaturen heersen, maar dat te weinig poreus is om water te onttrekken. Er wordt een kunstmatig spletenstelsel gecreëerd waarin het water kan circuleren tussen twee bronnen. Initieel wordt water met hoge druk in het gesteente gepompt (hydraulische stimulatie). Hierdoor ontstaan stroompaden of worden al bestaande paden verbreed. Zo wordt de doorlaatbaarheid van het gesteente artificieel vergroot. Deze handeling is noodzakelijk omdat anders het warmte-uitwisselingsoppervlak en de doorstroombaarheid te gering zouden zijn. Het zo geïnduceerde stelsel van natuurlijke en kunstmatige spleten vormt een onderaardse geothermische warmtewisselaar. Door de injectieboring wordt water in het klovenstelsel geperst, waar dit circuleert en opwarmt. Het opgewarmde water wordt via de tweede boring, de productieboring, weer naar de oppervlakte gepompt. Het hete water kan dienen voor industriestoom, voor de voorziening van lokale en stadsverwarmingnetwerken en voor het opwekken van elektriciteit.



Figuur 2: Principe van een z.g. “HDR heat mining system”: water circuleert in een gesloten leiding met de bedoeling thermische energie te onttrekken aan een z.g. “engineered” geothermisch reservoir en vervolgens af te leveren aan een krachtcentrale aan de oppervlakte. Een hoge druk injectiepomp levert de enige aandrijfkracht (Van Melderens, 2011).

9.1.2. Kosten en rendement

Volgens Buitenhuis (2008) is verwarmen met geothermie (open systemen) vanaf circa 80 TJ warmtevraag levensvatbaar. De kosten zijn gerelateerd aan de investeringen voor de bronnen (7 à 15 miljoen euro) en aan de aanleg van het distributienet in een stadswijk (15 à 25 miljoen voor 3000 woningen). Daarnaast is er alleen pompenergie nodig om geothermisch water uit de bodem op te pompen. Volgens Buitenhuis (2008) levert geothermie (met name met open systemen) duurzame warmte waarmee 60 à 70 procent energiebesparing en CO₂-reductie kan worden bereikt.

- Volgens Buitenhuis (2008) geldt als vuistregel dat de COP van een geothermisch systeem gelijk is aan het temperatuurverschil tussen onttrekking en injectie. Bijvoorbeeld, stel dat 150 m³/u

water van 71°C wordt gewonnen op een diepte van 2.200m. Onderweg koelt het water enkele graden af. Het is bijvoorbeeld 70°C warm wanneer het boven komt. Vervolgens geeft het water warmte af aan een warmtewisselaar waardoor de temperatuur tot 40°C daalt. Het geothermische water levert een nuttig verwarmingsvermogen van 5000kW. Om 150m³/u op te pompen is een pomp nodig van ongeveer 170kW. De COP = 5000/170 = 30.

Daarom is het belangrijk voor de efficiëntie van het systeem dat de temperatuur in de retourleiding van het warmtenet zo laag mogelijk wordt (of m.a.w. dat de warmte van het geothermische water zo goed mogelijk wordt afgegeven):

- Voor woningen met vloerverwarming moet een retourtemperatuur van 37 à 38°C haalbaar zijn; met een temperatuursprong van enkele graden over de warmtewisselaar wordt aan de bronzijde 40°C bereikt;
- In de glastuinbouw is een retour van ongeveer 30°C haalbaar.
- Een verdere afkoeling van het geothermische water is ook mogelijk in combinatie met een warmtepomp.

9.3. Dimensioneren

Volgens Buitenhuis (2008) kan één geo-doublet op jaarbasis 70% van de warmte leveren voor 3600 woningen. Een dergelijk aanpak geeft een optimum tussen energiebesparing en economie.

De warmteproductie (thermisch vermogen: W_{th}) van een doublet is afhankelijk van:

- De hoeveelheid water per uur (q , in m³ per uur)
- De hoeveelheid warmte die het formatiewater kan bevatten (afhankelijk van soortelijk gewicht en samenstelling) (in kg water per m³ x capaciteit Joule per kilo en graad afkoeling; J/m³K)
- De afkoeling van het water in de warmtewisselaar (ΔT in °K)

$$W_{th} = q \cdot p \cdot [\rho C_p]_{water} \cdot (T_{reservoir} - T_{out})$$

Met

- q de waterstroming [m³/s],
- p de dichtheid formatiewater [m],
- $T_{reservoir}$ de temperatuur van het geproduceerde grondwater [K],
- $[\rho C_p]_{water}$ de warmtecapaciteit van het geproduceerde water [J/m³K], en
- T_{out} de temperatuur waarmee het water het geothermisch systeem verlaat [K] (Van Melderden 2011).

Volgens Afanasyev (2010) wordt bij steeds meer projecten in Europa naast warmte ook elektriciteit geproduceerd. Het elektrisch vermogen P_{el} dat kan worden opgewekt met een geothermiecentrale is:

$$P_{el} = Q \cdot [\rho C_p]_{water} \cdot (T_{reservoir} - T_{out}) \cdot \eta$$

Met

- Q het debiet [m³/s],
- $T_{reservoir}$ de temperatuur van het geproduceerde grondwater [K],
- $[\rho C_p]_{water}$ de warmtecapaciteit van het geproduceerde water [J/m³K],
- T_{out} de temperatuur waarmee het water de centrale verlaat [K] en

- η de conversie-efficiëntiefactor [-] (Afanasyev, 2010).

9.4. Case histories

Volgens Afanasyev (2010) zijn sinds de jaren 80 de eerste commerciële geothermische elektriciteitscentrales gebouwd op plekken waar zeer heet water of hete stoom kan worden geproduceerd (IJsland, Italië, Californië en Indonesië). In West-Europa is de boven-Rijnlandslenk op de grens van Frankrijk met Duitsland een bekend gebied met hoge temperatuur. Volgens Afanasyev (2010) is onder grote delen van Nederland op diepten groter dan 3km de temperatuur hoger dan 100°C, hoog genoeg voor de productie van elektriciteit.

EGS wordt onder andere toegepast in Soulz-sous-Forêts (Frankrijk, www.geothermie-perspectives.fr), Landau (Duitsland, Kreuter 2011) en Basel (Switzerland). De installatie in Basel is niet meer actief aangezien er zich aardbevingen voordeden die voelbaar waren in de stad. Meer informatie over diepe geothermie in Duitsland en de gerelateerde risicoanalyses zijn te vinden in Kreuter (2011).

Volgens Buitenhuis (2008) zijn aanzienlijke delen van Nederland geschikt om geothermische warmte te winnen met **open systemen** (Buitenhuis, 2008). Voor het stadsgewest Haaglanden, dat onder meer Westland, Den Haag, Wassenaar, Zoetermeer en Delft omvat, is een quickscan uitgevoerd naar het potentieel van geothermie. Zowel de Rijswijkzanden op een diepte van 1.600-2.800 m, als het dieper gelegen Trias (3.000 - 4.400 m) bieden de mogelijkheid om aardwarmte te winnen. Voorzichtige inschattingen komen uit op ongeveer 700.000 woningen (of woonequivalenten) die gedurende 40 jaar met aardwarmte van verwarming kunnen worden voorzien. Buitenhuis (2008) bespreekt verder voorbeelden van het gebruik van diepe geothermie in Nederland:

- Een geothermieproject in bedrijf bij glastuinder Van den Bosch in Bleiswijk. Deze tuinder verwarmt 7 ha kas met vleestomaten met geothermische warmte van 60°C afkomstig van een diepte van 1650m.
- Een geothermie-net In Den Haag Zuidwest voor 4000 woningen en 20000m² utiliteitsbouw

In België is enkel in de omgeving van Mons nog steeds een geothermisch systeem actief dat een aantal huizen, scholen, een sportcomplex en serres voorziet van warmte (zie www.vito.be). Het geothermische potentieel rond Mons wordt nu verder aangeboord.

Andere case studies werden gepubliceerd door o.a. Cuenot et al. (2010) en Daldrup et al. (2009).