

Auteurs

ir. Rob Kleinlugtenbelt - Senior Adviseur duurzame energie – IF Technology;
ir. Guus Willemsen – Business developer – IF Technology (gepensioneerd);
Alwin ten Hove MSc. – Adviseur bodemenergie en geothermie – KWA Bedrijfsadviseurs B.V. (Co-auteur)

Geothermie in de gebouwde omgeving

De ontwikkelingen op het gebied van verduurzaming van onze energievoorziening gaan op dit moment razendsnel. Een van de klimaatdoelen is om in 2050 geen aardgas meer te gebruiken voor verwarming van gebouwen [1]. Voor het aardgasloos maken van bestaande bouw wordt veel verwacht van nieuwe warmtenetten [2].

Een alternatief voor verwarming met aardgas is verwarming met geothermie. Uit het masterplan geothermie [3] blijkt dat de ontwikkeling van geothermie sterk afhankelijk zal zijn van de ontwikkeling van die nieuwe warmtenetten. Dit artikel is gebaseerd op een onderzoek in opdracht van TVVL [4].

Achtergrond

Geothermie, of aardwarmte, is de warmte die aanwezig is in de aardlagen onder onze voeten. In Nederland maken we daarbij een onderscheid tussen geothermie en bodemenergie. Bij bodemenergie gaat het om opslag van warmte en koude in lagen tot een diepte van maximaal 500 m. In de praktijk zitten bodemenergiesystemen vrijwel altijd boven de 250 m-mv. De grens tussen bodemenergie en geothermie ligt bij 500 m-mv, omdat vanaf die diepte de Mijnbouwwet van toepassing is voor aardwarmtewinning. Bodemenergie valt onder de waterwet en de AMvB bodemenergie. Technisch gezien lijkt een geothermie systeem veel op een recirculatie-bodemenergiesysteem dat maar één kant oppompt: van de warme (productie) naar de koude put (injectie), en waarbij alleen warmte wordt onttrokken aan de ondergrond. Schematisch is dit weergegeven in Figuur 1.

Een puttenpaar van productieput en injectieput wordt een doublet genoemd. De temperatuur in de Nederlandse ondergrond neemt toe met ongeveer 30 K/km. Aan het maaiveld is temperatuur ca 10 °C. Op twee km diepte is de temperatuur circa 70 °C en op een diepte van drie km circa 100 °C. De gradiënt is het gevolg van een warmteflux vanuit de diepere aarde, die in Nederland ca 0,07 W/m² bedraagt, bij een gemiddelde warmtegeleidingscoëfficiënt van het aanwezige gesteente van ca 2,4 W/mK ($0,07/2,4 = 0,03$ K/m). Temperaturen van 70 °C en meer lenen zich uitstekend voor allerlei verwarmingsdoeleinden in de glastuinbouw en gebouwde omgeving, zonder tussenkomst van een warmtepomp.

Huidige situatie

Momenteel zijn er meer dan 20 geothermie projecten gerealiseerd in Nederland, bijna allemaal in glastuinbouw. Een actueel overzicht is te vinden op de website van het platform geothermie [5].

De locaties van de projecten zijn een gevolg van de combinatie van twee factoren: de aanwezigheid van grote warmtevraag op laag temperatuurniveau (onder 65 °C) - tot op heden vooral in kassen - en de aanwezigheid van een geschikt geothermie reservoir in de ondergrond.

Voor geothermie wordt vooral gebruik gemaakt van doorlatende zand- en kalksteenlagen die bekend zijn door olie en gaswinning uit diezelfde lagen. De dikte en doorlatendheid van de laag bepalen hoeveel water er verpompt kan worden. De huidige geothermieprojecten maken gebruik van vier verschillende typen reservoirs (van jong naar oud: Onderkrijt zandsteen, Trias zandsteen, Rotliegend zandsteen en Carboon kalksteen). Deze projecten bevinden zich tussen de 1.500 en 3.000 m diepte en produceren tussen de 150 en 300 m³/uur per doublet. Afhankelijk van de onttrokken temperatuur en de mogelijkheid om deze zover mogelijk te benutten tot en zo laag mogelijke injectietemperatuur wordt daarmee een thermisch vermogen

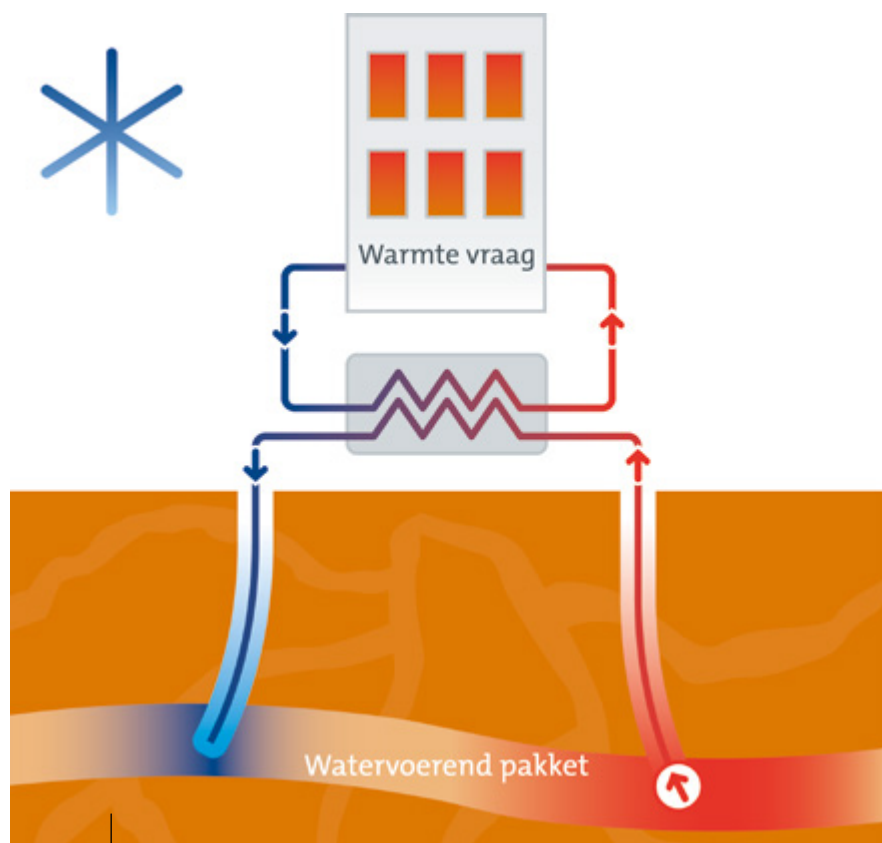
opgewekt tussen de 5 en 20 MWth per doublet. Recent is ThermoGIS v2.1 verschenen (maart 2019) [6]. Deze website, met mapviewer, bevat een schat aan informatie over geothermie en de toepasbaarheid op verschillende locaties in Nederland.

Randvoorwaarden geothermie

Een doorsnee geothermieproject in Nederland kan gekenschetst worden aan de hand van de belangrijkste parameters van het project. In Tabel 1 zijn deze weergegeven met parameters en de range die nu veelal voorkomt.

De haalbaarheid van een project wordt voor een behoorlijk deel bepaald door de SDE++ subsidie die de projecteigenaar ontvangt (zie Tabel 1). De kostprijs van de duurzame warmte (basisbedrag) wordt voorafgaand aan de openstelling van de SDE+ vastgesteld door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) en de marktprijs (correctiebedrag) wordt jaarlijks vastgesteld door het PBL op basis van de werkelijke prijs van gas. De berekende kostprijs is te vinden op de website van ECN/PBL [7]. De marktprijsbepaling (het zogenaamde correctiebedrag) is voor 2018 vastgesteld op 0,9 * TTF (Title Transfer Facility) prijs van gas. De getallen in de tabel hiernaast sluiten redelijk aan bij de door ECN in het "onrendabele top (OT) model" gehanteerde getallen. Uiteindelijk levert een "gemiddeld" geothermie project een financieel rendement op van 14,5% op het eigen vermogen deel, uitgaande van 30% eigen vermogen.

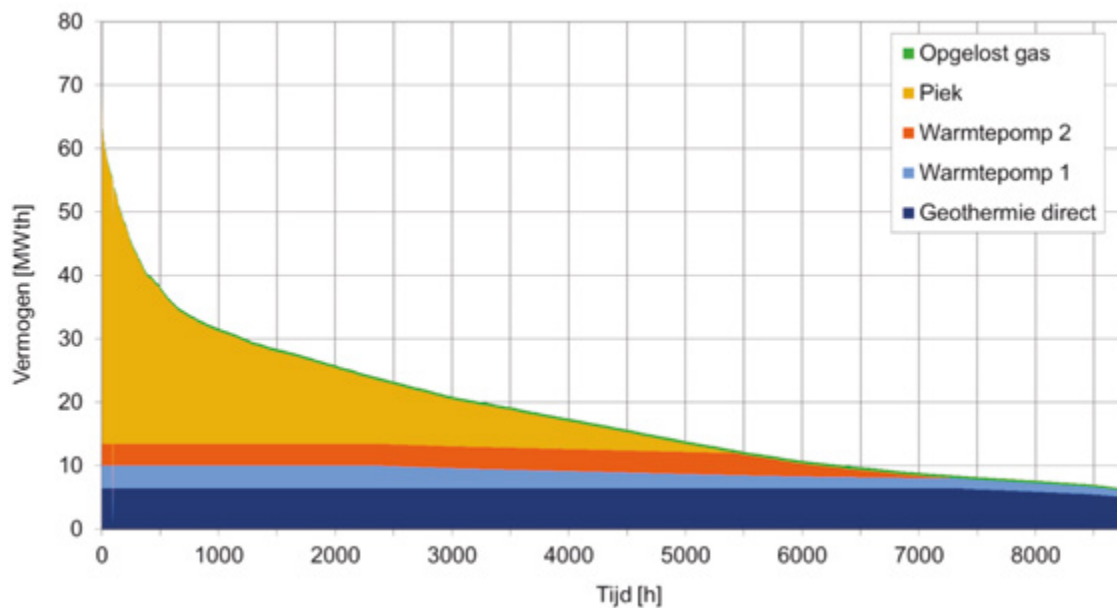
Maar gemiddelde projecten bestaan in de praktijk niet, ieder project is anders, en geothermie is tot op heden vrijwel uitsluitend toegepast in de glastuinbouw. Voor toepassing van geothermie in de gebouwde omgeving moet rekening gehouden worden met



Figuur 1: Principeschema geothermie.

	Minimale waarde	Gemiddelde waarde	Maximale waarde
Diepte	1.500	2.200	3.000
Productietemperatuur (°C)	55	75	100
Injectietemperatuur (°C)	25	35	45
Debiet (m³/uur)	150	225	300
Thermisch vermogen (MW_t)	5	10	20
Geleverde warmte/jaar (TJ/jaar)	100	200	400
Equivalentte vollasturen (h/jaar)	5.000	6.000	7.000
Investerings doublet & brijnwatersysteem t/m TSA (M€)	10	20	40
Warmteprijs (€/GJ)	3	5	10
SDE+ subsidie (€/GJ in 2018, max 6.000 eq. vollasturen)		10	
COP ontwerp situatie (MWh_t/MWh_e)	10	15	30
Kosten onderhoud en beheer (% van investeringen)	4	6	8

Tabel 1: De bandbreedte van parameters van een "gangbaar" geothermieproject in Nederland.



Figuur 2: Jaarbelasting duerkromme van een warmtenet met een piekvraag van 60 MWt en een geothermie project met een debiet van 215 m³/uur bij een productie temperatuur van 80°C. Nettemperatuur is 100°C aanvoer en 50°C retour.

andere uitgangspunten. De belangrijkste kenmerken van glastuinbouw ten opzichte gebouwde omgeving zijn de volgende:

- De retourtemperatuur in de glastuinbouw is zeer laag, en kan zelfs 25 °C bedragen, zonder toepassing van een warmtepomp.
- De gevraagde aanvoertemperatuur is voor veel kassen relatief laag.
- De warmtevraag per tuinder is in de regel veel hoger en heeft meer draaiuren per jaar dan gebouwen in de gebouwde omgeving. Voor de gebouwde omgeving is uiteindelijk vooral de warmtedichtheid (GJ/m²) en het aantal vollasturen van belang.
- Daar staat tegenover dat de tuinders (veel) minder energiebelasting betalen.

Temperatuurniveaus

De beste situatie, zowel energetisch als financieel, ontstaat als geothermie zo veel mogelijk directe warmte kan leveren, zonder tussenkomst van een warmtepomp. Dat betekent dat de aanvoertemperatuur naar de warmtevragers bij voorkeur lager moet zijn dan circa 70 °C. Op die plaatsen waar (toevallig) een hogere temperatuur aanwezig is in een geothermisch reservoir kan soms een hogere aanvoertemperatuur worden gehanteerd. Anderzijds zijn er grote gebieden waar er alleen reservoirs zijn met lagere temperaturen. Daar dient ofwel gebruik

gemaakt te worden van een warmtepomp (zie onder) ofwel van een lage temperatuur warmteafgifte systeem. Dit betekent dat veel bestaande warmtenetten, met temperaturen van 90 °C aanvoer of meer, in de meeste gevallen een warmtepomp vereisen voor het aansluiten van een geothermie doublet. De geothermie warmte kan wel deels rechtevree worden benut door het verwarmen van de retour van het warmtenet. Dat is echter niet altijd gewenst.

De uitkoeling van het water dat naar boven wordt gepompt dient zo groot mogelijk te zijn. Uiteindelijk zitten de kosten in het systeem dat het water omhoog pompt en weer injecteert, en zitten de opbrengsten in de warmte die uit dat water wordt gewonnen. Iedere graad die het water verder wordt afgekoeld levert in die zin geld op (als de warmte nuttig wordt ingezet), zeker omdat die warmte ook SDE+ subsidie oplevert. Er zit wel een grens aan de mate van afkoeling die technisch realiseerbaar is. Geothermisch water is veelal zeer zout en bevat veel opgeloste mineralen. Een deel van die zouten kunnen gaan neerslaan bij een te grote afkoeling. Tot op heden lijkt een afkoeling van 50 K (dus bijvoorbeeld van 80 naar 30 °C) in veel gevallen haalbaar. Bij sommige projecten is de afkoeling zelfs al groter dan die 50 K, maar bij extreem zout water, en/of bij bijzondere samenstellingen, zou een grote afkoeling tot chemische neerslag kunnen leiden, en zal een geochemisch onderzoek noodzakelijk zijn.

Om de gebouwde omgeving gasloos te maken zullen er nieuwe warmtenetten aangelegd gaan worden. Voor deze nieuwe netten is het cruciaal dat de temperatuurniveaus aansluiten bij

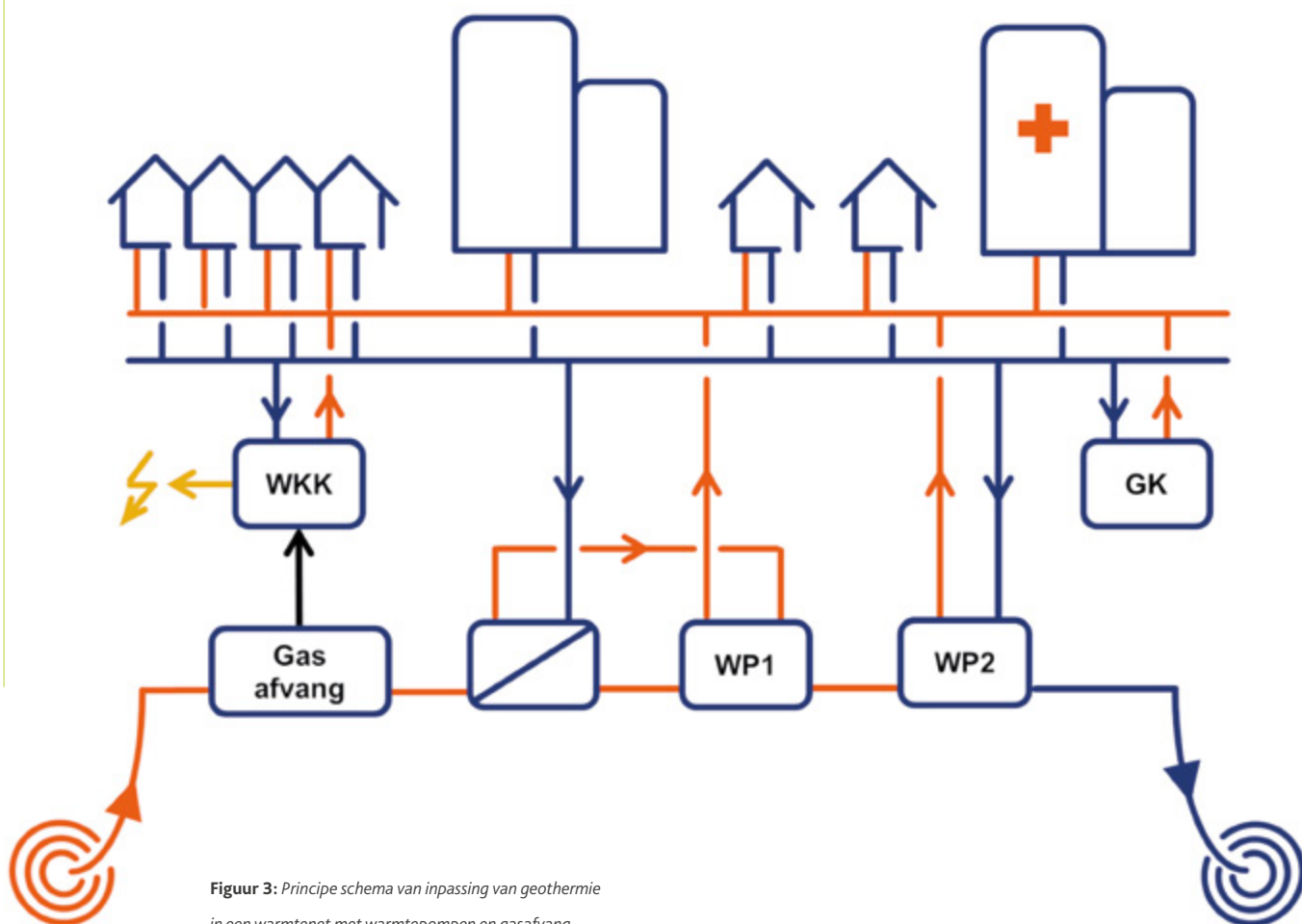
de beschikbaarheid van duurzame bronnen, waaronder geothermie. Temperaturen van nieuwe netten dienen daarom bij voorkeur niet hoger te zijn dan circa 70 °C aanvoer, en lager dan 40 °C retour. Maar de nettemperatuur wordt natuurlijk ook bepaald door de wensen en mogelijkheden aan afzetkant.

Vermogen en draaiuren

Het vermogen van een gemiddeld geothermiesysteem is relatief hoog voor de gebouwde omgeving (> 5 MWth). Ter illustratie, hiermee kan ongeveer 100.000 m² kantooroppervlak verwarmd worden. Geothermie moet daarnaast in de basislast van een warmtevraag kunnen voorzien. Om rendabel te kunnen worden toegepast, moeten er veel uren mee gemaakt worden, hetgeen voor gebouwverwarming betekent dat de pieklast van de warmtevraag meestal veel groter zal zijn

dan de 5 MWth aanbod van het geothermiesysteem, hetgeen betekent dat veel meer dan 100.000 m² kantoor-equivalenten aangesloten moet zijn op een warmtenet dat gevoed wordt door geothermie. In Figuur 2 is een typisch verloop van een jaarbelastingduurkromme opgenomen van een warmtenet in Nederland.

Voor een redelijke business case zullen in de regel tenminste 5.000 equivalente vollasturen nodig zijn. De SDE+ is uitgelegd op 6.000 uren, en onder gunstige condities kan daar wat op toegelegd worden, maar bij minder dan 5.000 vollasturen wordt al gauw meer dan 20% ingeleverd op de inkomsten ten opzichte van de SDE+ uitgangspunten. Veel projecten zijn dan niet meer financieel haalbaar. Een factor 3 tussen basislast en piekvermogen is niet irreëel, hetgeen betekent dat voor de inpassing van een 5 MWth geothermie project een warmtevraag van ca 15 MWth nodig kan zijn. Bij een gemiddelde vraag van 6 kWth per woning zijn ten minste 2.500 woningen nodig aan een warmtenet bij een broncapaciteit van 5 MWth. Veelal is een grotere capaciteit aanwezig uit de ondergrond (>10 MWth), en zijn ook meer



Figuur 3: Principe schema van inpassing van geothermie in een warmtenet met warmtepompen en gasafvang

woningen nodig (>5.000). Er is in Nederland slechts een beperkt aantal warmtevragers in de gebouwde omgeving dat een dergelijk groot vermogen heeft staan aan opwek vermogen. Ook het huidige aandeel van warmtenetten in de warmtelevering in Nederland is zeer beperkt. Dat betekent dat voor het leeuwendeel van de warmtevraag in de gebouwde omgeving, waar de warmtevraag per afnemer lager is dan 15 MWth en er geen bestaand net is, een nieuw warmtenet aangelegd zal moeten worden, voordat een geothermie project ingepast zou kunnen worden. De grootste bestaande marktvraag voor geothermie in de gebouwde omgeving zit dan in ziekenhuizen, universiteitsterreinen, sommige bedrijventerreinen zoals een bloemenveiling en in de bestaande warmtenetten.

Gebruik van een warmtepomp?

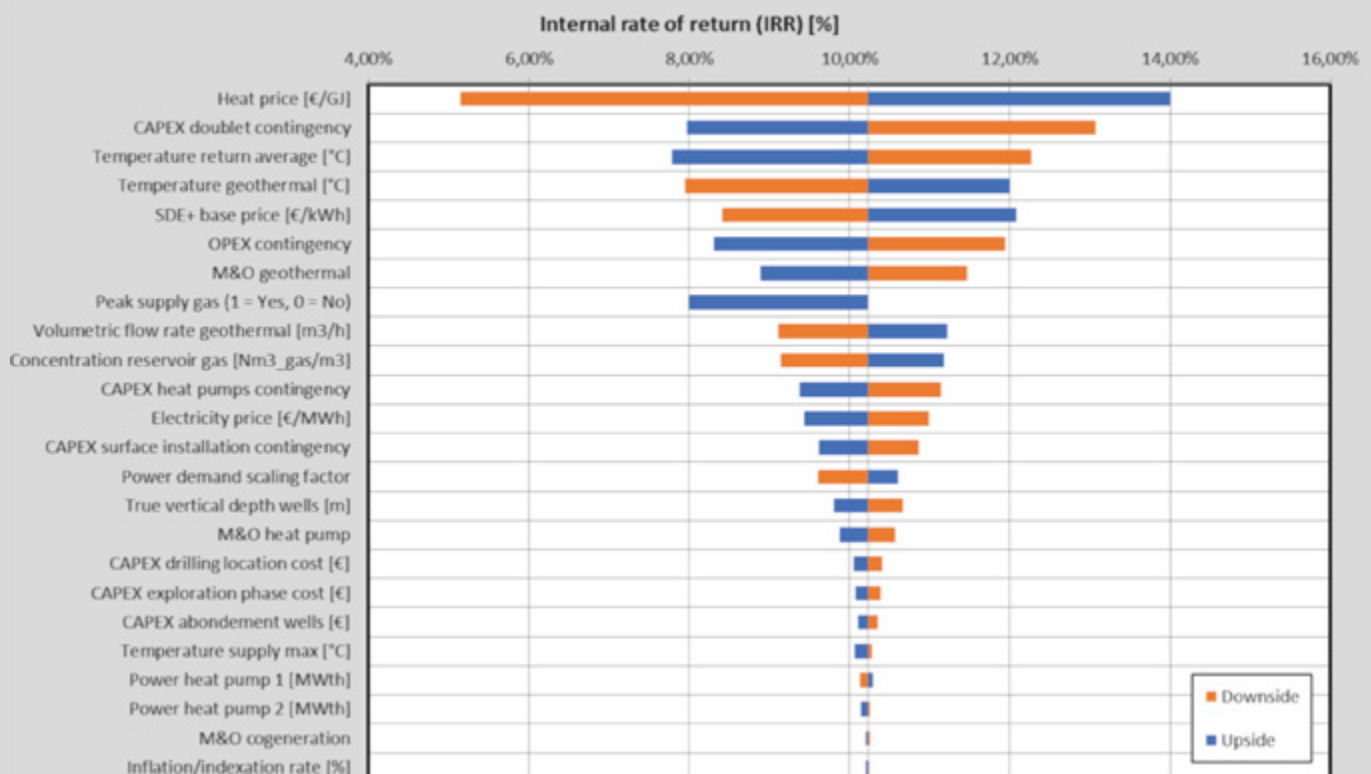
Met behulp van een warmtepomp kan geothermische warmte op de gevraagde temperatuurbehoefte worden gebracht en/of kan de geothermiebron verder worden uitgekocht.

Er zijn twee mogelijkheden om een warmtepomp nuttig in te passen bij geothermie:

1. de retourtemperatuur van het geothermisch water verder uitkoelen voordat het weer geïnjecteerd wordt, en hiermee extra thermisch vermogen creëren. Dit leidt tot een warmtepomp die vooral in de piek wordt ingezet. In de uren dat er minder vraag is kan volstaan worden met de rechtstreekse levering.
2. de aanvoertemperatuur verhogen als de warmtevrager daar behoefte aan heeft. Als het gevraagde temperatuurniveau hoger is dan uit de bron geleverd kan worden, is een dergelijke warmtepomp noodzakelijk.

In gevallen waar aardwarmte geleverd wordt aan bestaande stadswarmtenetten zijn beide warmtepompen vaak nodig/gewenst. Voor een fictieve case is e.e.a. globaal uitgewerkt. In Figuur 3 is een schema weergegeven hoe de twee warmtepompen in het energiesysteem kunnen worden opgenomen. Hierin is ook de mogelijke afvang en benutting van gas meegenomen. Dit gas zit opgelost in het geothermische water en komt vrij bij oppompen van het water. De piek in de warmtevraag (geel in Figuur 2) wordt geleverd door gasketels. Het groene gekleurde deel

Figuur 4: Tornado diagram van de gevoeligheid van het intern rendement van een geothermieproject.



wordt geleverd uit een WKK die draait op reservoir gas. In veel projecten wordt opgelost gas mee geproduceerd. De range aan opgelost gas ligt tussen de 0 en 2 Nm³/m³ water, met een gemiddelde van ca 1 Nm³/m³. Bij een debiet van 150 m³/uur, 1 Nm³/m³ gas en een afkoeling van het water van 30 K is het vermogen dat uit het gas gehaald kan worden ongeveer 1,3 MW (rendement omzetting 90%) op een thermisch vermogen van ca 5 MW (dus ongeveer 25%).

Toepassing van een warmtepomp verhoogt de benutting van de geothermiebron. Daar staat tegenover dat door gebruik van warmtepompen het elektriciteitsverbruik toeneemt en de energieprestatie (gemeten als PER, EOR of COP) van het project als geheel afneemt. In veel gevallen komt het de business case en het toepassingsgebied wel ten goede.

In Figuur 4 is in een tornado diagram aangegeven hoe de resultaten van bovenstaande berekening gevoelig zijn voor wijzigingen in de uitgangspunten.

Duidelijk is dat de warmteprijs en investeringen de gevoeligste parameters zijn. Daarna is de retourtemperatuur van de warmtevragers de belangrijkste parameter, aangevend dat de uitkoeling van het opgepompte water cruciaal is. Extra uitkoeling met een warmtepomp (warmtepomp 2) is in veel gevallen zinvol.

De verwachting is dat de warmteprijs in de toekomst omhoog zal gaan, als de gasprijs gaat stijgen door verhoging van de energiebelasting (klimaatakkoord) en de ODE. Daarmee kan de benodigde SDE+ subsidie om projecten rendabel te maken naar beneden toe. Op de langere termijn zal de gasprijs niet meer bepalend zijn voor de warmteprijs (als gas niet meer de referentie is). Dan nog is niet te verwachten dat de warmteprijs tegen die tijd zal gaan dalen, gezien de grote kosten die gemaakt moeten worden voor het verduurzamen van de warmtevoorziening.

Veranderend beleid

Er zijn dus een flink aantal criteria waar een succesvol geothermieproject aan moet voldoen en dat succes staat voor

de aanvang van de eerste boring zeker nog niet 100% vast. Door deze onzekerheden en de hoge investeringskosten is het begrijpelijk dat er op dit moment nog niet honderden geothermie doubletten gerealiseerd zijn. De overheid, en met hen vele andere organisaties, zien echter een grote rol voor geothermie binnen de warmtetransitie.

De Nederlandse overheid wil sterk inzetten op de groei van de geothermische sector. Geothermie neemt dan ook een prominente plaats in in het klimaatakkoord. Door middel van het kennis en innovatieprogramma zal geothermie zich, samen met de sector, blijvend ontwikkelen om o.a. kosten te reduceren en risico's te minimaliseren. Om geothermie te stimuleren handhaaft de rijksoverheid de RNES garantieregeling en SDE+ regeling voor geothermie. Daarnaast wil de rijksoverheid knelpunten in wet- en regelgeving wegnemen. De huidige mijnbouwwet is vooral toegespitst op olie- en gasvelden, waarbinnen geothermieprojecten lastiger in te passen zijn. Op dit moment wordt er gewerkt aan een aanpassing van het vergunningstelsel voor het opsporen en winnen van aardwarmte waardoor het vergunningstraject voor geothermieprojecten efficiënter wordt.

Conclusies

Samenvattend kan het volgende geconcludeerd worden voor geothermie in de gebouwde omgeving.

- Er is een aanzienlijke warmtevraag nodig, en er zal een warmtenet moeten zijn, of aangelegd moeten worden voordat geothermie kan worden toegepast.
- Bestaande warmtenetten hebben veelal een vrij hoog temperatuurniveau (>90 °C) en voor de meeste locaties zullen warmtepompen nodig zijn om dit temperatuur niveau met geothermie te kunnen leveren. Vervolgens is dat bestaande netten veelal een vrij hoge retourtemperatuur hebben (>50 °C). Dit betekent dat ook warmtepompen nodig zijn om de retourtemperatuur van het geothermie water af te koelen. In de toekomst is het verstandiger de nettemperaturen te verlagen door aanpassingen aan de netten en de gebouwinstallaties.
- Ondanks de complexiteit van een geothermieproject is er wel degelijk potentie voor de gebouwde omgeving. Wanneer de overheid, bedrijven en de geothermiesector met elkaar blijven samenwerken is er een aanzienlijke rol voor geothermie weggelegd binnen de warmtetransitie.

Referenties

1. <https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord>
2. <https://www.klimaatakkoord.nl/gebouwde-omgeving/documenten/publicaties/2018/07/10/hoofdpijnen-gebouwde-omgeving>
3. <https://geothermie.nl/index.php/nl/actueel/nieuws/290-masterplan-aardwarmte-nederland>

4. referentie naar het originele rapport voor de TVVL: Technisch rapport KT-38; geothermie in gebouwde omgeving
5. <https://geothermie.nl/index.php/nl/geothermie-aardwarmte/geothermie-in-nederland/projectoverzicht>
6. <https://www.thermogis.nl/>
7. <https://www.ecn.nl/nl/samenwerking/sde/sde2018/>