

ONGERUBRICEERD

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht**TNO-rapport**

www.tno.nl

TNO 2015 R10943 | EindrapportT +31 88 866 42 56
F +31 88 866 44 75

Actualisatie

Richtlijnen puttest en doublettest

Datum	8 juli 2015
Auteur(s)	H.F. Mijnlieff en J.G. Veldkamp
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	17 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Rijksdienst voor Onderemend Nederland (RVO)
Projectnaam	E: Adviezen Aardwarmte
Projectnummer	060.14108/01.06

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2015 TNO

ONGERUBRICEERD

Samenvatting

Dit rapport is een leidraad die aangeeft waaraan de put- en doublettest van de aanvraag voor de Garantierегeling voor het boren naar aardwarmte minimaal moet voldoen.

Tenminste de skin en de permeabiliteit worden uit de test(s) berekend. Deze parameters worden gebruikt bij de berekening van het 'gerealiseerde' geothermisch vermogen in DoubletCalc. Hierbij wordt rekening gehouden met technische en installatiespecificaties die ten grondslag liggen aan het scenario bij de acceptatie in het Garantiefonds. Berekening van het geothermisch vermogen met een reservoirmodelleerpakket is een mogelijk alternatief indien berekening met DoubletCalc niet mogelijk blijkt, bijvoorbeeld omdat de aquifer-eigenschappen in beide putten significant verschillen. Bij de berekening van het vermogen mag de skin maximaal 0 zijn.

Alle putten van het aardwarmteproject, waarop RNES Aardwarmte van toepassing is worden getest door middel van een puttest: hierbij wordt per keer één put getest. De hieruit berekende permeabiliteit en skin zijn representatief voor de put en het reservoir in de omgeving van de put.

Als er reeds twee putten zijn gerealiseerd is het mogelijk ter *verificatie* van de resultaten van de puttests een test uit te voeren die gebruik maakt van beide putten. Dit kan een interferentietest of een doublettest zijn:

- Bij een interferentietest wordt een gemiddelde permeabiliteit van het reservoir tussen beide putten berekend door een drukpuls van de ene naar de andere put te sturen.
- Bij een doublettest wordt gedurende een bepaalde periode water rondgepompt van producer naar injector. Nadat gestopt is met pompen worden tijd en drukopbouw in beide putten afzonderlijk van elkaar geregistreerd. Uit de meetreeksen worden skin en permeabiliteit voor beide putten, en het reservoir in de omgeving van beide putten berekend.

Deze test kan eventueel gebruikt worden als terugvaloptie indien de puttest, ondanks zorgvuldige voorbereiding en uitvoering, geen bruikbare gegevensreeks heeft opgeleverd.

Het is de bedoeling dat de uitgevoerde test(s) de beschrijving in dit rapport zo dicht mogelijk volgen, behalve waar de in dit rapport genoemde beschrijvingen niet relevant zijn voor het uitgevoerde onderzoek.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
2	Technische eisen aan boring en puttest	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Eisen aan de boring.....	5
2.3	Completering van de boring	6
2.4	Puttest.....	7
2.5	Doublettest.....	9
2.6	Speciale putconfiguraties	11
2.7	Puttest na verbeteroptie	12
2.8	Beoordeling van de vaststellingsaanvraag	13
2.9	Data-aanlevering	13
	Bijlage(n)	
	A Resultaten van de puttest	
	B Voorbeeld van de systematiek.	

1 Inleiding

Dit rapport maakt deel uit van een serie van drie die gezamenlijk ondersteunend zijn aan de Garantieregeling voor het boren naar aardwarmte. De andere twee zijn de 'Handleiding DoubletCalc' en de 'Specificaties geologisch onderzoek voor geothermieprojecten'. Deze documenten, evenals de DoubletCalc1.4 software zijn beschikbaar op de door het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie geïnitieerde website www.nlog.nl.

Het onderliggende rapport is een leidraad die aangeeft waar de puttests van een aardwarmteproject minimaal aan moeten voldoen. Het is de bedoeling dat uit de puttest(s) tenminste de (mechanische) skin en de permeabiliteit worden berekend. De aanvrager is verplicht de (enkele) puttest op beide putten uit te voeren. Deze is leidend in de beoordeling van een eventuele vaststellingsaanvraag.

Indien beide putten van een aardwarmte doublet zijn gerealiseerd kan het doublet tevens op twee alternatieve manieren getest worden, ook met het oogmerk de skin en de permeabiliteit (of transmissiviteit) te berekenen. Dit zijn de interferentietest en de doublettest. Deze tests kunnen *aanvullend* zijn aan de verplichte enkelvoudige puttests, ter verificatie van de interpretatie van de puttest(s). Bij een vervolgpunt geldt ook dat de enkelvoudige puttest verplicht is.

De drie in dit rapport besproken tests zijn de (enkelvoudige) puttest, de interferentietest en de doublettest. Voor de beide laatste methoden worden zowel producer als injector gebruikt.

De deelnemer aan het Garantiefonds is gehouden aan het:

- aanleveren van de meetreeksen van de verschillende tests in digitaal format;
- overleggen van de resultaten van de interpretatie van de puttest inclusief de onderbouwende en begeleidende rapportages;
- meeleveren van gegevens en analyses gebruikt bij de evaluatie van de puttest, zoals bijvoorbeeld analyses van het formatiewater.

Dit rapport is een adviesrapport aan het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. Hoe dit rapport wordt gebruikt in de implementatie van de regels en procedures van de Garantiefaciliteit valt buiten de competentie van TNO.

2 Technische eisen aan boring en puttest

2.1 Inleiding

Indien een aanvraag tot uitkering uit de Garantiefaciliteit wordt ingediend bij de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) moet het niet gerealiseerde 'verwacht (P90) vermogen' eenduidig gerelateerd kunnen worden aan tegenvallende aquifer-eigenschappen, te weten dikte, netto/bruto, permeabiliteit, temperatuur en/of saliniteit.

De aquiferparameters worden eenduidig afgeleid uit de gegevens en metingen die in de put zijn opgenomen en uitgevoerd. De metingen van de puttest en de daarop volgende interpretatie resulteren in de bepaling van de transmissiviteit van de aquifer (kH), de daaruit af te leiden permeabiliteit en de (mechanische) skin. De skin is een dimensieloos getal dat een maat is voor de productie-efficiëntie van een put onder de feitelijke condities ten opzichte van de theoretische of ideale efficiëntie. Een positieve skin duidt op schade aan de put, of andere omstandigheden die de productiviteit van de put hinderen. Skin treedt op rond de put-aquifer interface ten gevolge van het aanboren van de aquifer en het plaatsen en in gebruik nemen van de installatie. Positieve skin kan bijvoorbeeld het resultaat zijn van verstopping van het reservoir met boorvloeistof. Een negatieve skin duidt op verbeterde productie, in het algemeen het resultaat van stimuleren van de put.

Het Garantiefonds gaat uit van een mechanische skin van nul. Indien uit de test blijkt dat de put een positieve skin heeft, is de conclusie dat het te lage vermogen in ieder geval deels te wijten is aan een te laag debiet ten gevolge van deze positieve skin. Bij de bepaling van het 'gerealiseerde vermogen' wordt de aquiferpermeabiliteit gebruikt die bepaald is uit de puttest. De mechanische skin, bepaald in dezelfde test, wordt bij de berekening van het gerealiseerde vermogen genegeerd.

Alternatieve putconfiguraties worden in het algemeen vertaald naar een negatieve skin. Deze factor wordt voor het boren vastgesteld, en in de verwerking van de resultaten van de puttest in het algemeen onveranderd meegenomen (zie ook paragraaf 2.6).

De mogelijkheid de aquifer-eigenschappen zoals bepaald uit de enkele puttests te verifiëren middels een 'doublettest' bestaat indien beide putten van het doublet zijn gerealiseerd. Bij deze test worden tijdens de data-acquisitie beide putten gebruikt om de permeabiliteit en zo mogelijk de skin te bepalen.

De onderstaande paragrafen presenteren een aantal voorwaarden en richtlijnen waaraan de put, de puttest en eventueel de doublettest moeten voldoen. De verkregen gegevens moeten voldoende zijn om het testresultaat te kunnen interpreteren, beoordelen en vergelijken met de verwachtingswaarde die was berekend voordat de boring was uitgevoerd.

2.2 Eisen aan de boring

Men draagt zorg dat de aquifer bij het boren en het plaatsen van de benodigde installatie zo min mogelijk beschadigt en de doorlatendheid dus niet vermindert. Technisch gesproken wordt gezorgd voor een zo laag mogelijke mechanische skin (skin = 0).

2.3 Completering van de boring

Algemeen:

Het geteste interval wordt gecompleteerd over de beoogde aquifer. Dit kan eenduidig vastgesteld worden aan de hand van boorgatmetingen zoals bijvoorbeeld een gamma-ray, of aan de hand van gesteentemonsters.

Om eenduidig vast te kunnen stellen dat het geteste interval de aquifer betreft (en of het filter of de perforatie goed voor de aquifer is geplaatst) worden de diepte van de top en de basis van de aquifer zo goed mogelijk bepaald. Dit gebeurt bij voorkeur op basis van een LWD gamma-ray log (Logging While Drilling) of eventueel een 'open-hole log'. Het kan voorkomen dat het niet mogelijk of voorzien is een LWD gamma-ray of 'open hole' log tijdens of na het boren van het gat op te nemen. In dit geval wordt tijdens het boren bij het naderen van de aquifer het interval waarop monsters genomen worden verkleind naar om de één tot twee meter. Deze intensivering van bemonstering zou voortgezet moeten worden tot eenduidig blijkt dat de basis van de aquifer is gepasseerd of tot de aquifer tot voldoende diepte is doorboord. Ondanks de intensievere monsternamen kunnen in veel gevallen de grenzen niet nauwkeurig bepaald worden als gevolg van na-val van cuttings. Het gevolg is dat niet aan de vereisten voldaan wordt. Dit geldt met name bij slecht geconsolideerde aquifers. Het voorbeeld in Figuur 1 illustreert dit.

De diepte waarop het filter is afgehangen, dan wel de perforatie is geschoten moet eenduidig bepaald kunnen worden op basis van de aangeleverde operationele en opgenomen gegevens (in hetzelfde diepte-referentiesysteem als voor de opname van top en basis van de aquifer). Een 'cased-hole log' (door de filter en verbuizing heen, met minimaal een gamma-ray) wordt opgenomen over het aquifer-interval en een voldoende groot deel (minimaal 100 m) van de bovenliggende en eventueel onderliggende gesteentelagen wanneer het niet mogelijk is om aan deze eisen te voldoen, Dit geldt uiteraard alleen wanneer technisch en operationeel mogelijk.

- transmissiviteit (KH, het product van permeabiliteit en (netto) dikte)
- (mechanische) skin
- productiviteitsindex
- temperatuur.

Dit betekent onder meer dat het testontwerp zodanig is dat:

- er voldoende voorzieningen zijn getroffen om het geproduceerde water op te vangen, af te voeren en/of te bufferen;
- de put voorafgaand aan de test schoon is geproduceerd;
- effecten van ongewenste drukgolfinterferentie door bijvoorbeeld 'wellbore storage' of beweging van de pomp op de testgegevens is geminimaliseerd.

Er is aangenomen dat er voorzieningen zijn getroffen om zandproductie tegen te gaan, zoals het plaatsen van een scherm of filter. Er wordt voorkomen dat het opgelegde drukverschil resulteert in permanente schade aan de aquifer door bijvoorbeeld 'fines migration'.

2.4.1 *Voorafgaand aan de test:*

Er wordt een 'clean-up' gedaan waarbij er zeker gesteld wordt dat de put schoon is. Dit kan onder meer bepaald worden door te constateren dat er (vrijwel) geen afname meer is van de meegeproduceerde boorspoeling en/of fines, er bij gelijkblijvend debiet er geen afname is van de druk, en of het debiet bij gelijkblijvende opgelegde drukval niet meer toeneemt.

2.4.2 *Tijdens de test:*

Er wordt zodanig getest dat het opgelegde debiet (als gevolg van een opgelegd drukverschil) tussen put en aquifer in stappen wordt verhoogd (drawdown test). Er worden minimaal drie stappen (perioden) van verschillend debiet uitgevoerd. Voor de eerste stap, tussen de verschillende stappen en na de laatste stap wordt het debiet teruggebracht naar nul (buildup). Indien mogelijk benadert het opgelegde debiet bij één van de stappen het verwachte (P90) debiet. Tijdens de volledige testperiode, ook gedurende de buildups, worden tijd, debiet, druk en temperatuur gemeten. De meetfrequentie en -nauwkeurigheid, zijn zodanig de test correct geïnterpreteerd kan worden. Het is bovendien belangrijk dat het debiet tijdens de drawdown-periodes zo goed mogelijk constant wordt gehouden.

De duur van de afzonderlijke periodes van alle verschillende stappen is zo lang dat de transmissiviteit, de skin en de productiviteitsindex (PI) betrouwbaar berekend kunnen worden. Dit kan bijvoorbeeld gerealiseerd worden door zo lang testen totdat bij het opgelegde constante debiet de druk stabiel blijft (flow in semi-steady state). Dit betekent dat ook de periodes waarin niet gepompt wordt voldoende lang duren om de druk terug op niveau te laten komen.

Er wordt zorg voor gedragen dat de druksensor zich op een diepte bevindt die adequaat is om de relevante drukken te registreren. Ongewenste effecten op de drukmeting zoals die van wellbore storage worden zoveel mogelijk vermeden, bijvoorbeeld door het aanbrengen van een packer boven de druksensor en nabij de top van de aquifer.

Het maximaal opgelegde drukverschil moet binnen de geldende veiligheidsnormen blijven.

2.4.3 *Interpretatie van de test*

De gegevens uit de puttest (het verloop van debiet, druk en temperatuur) worden samen met de gegevens van de put- en pompspecificaties geïnterpreteerd middels

een puttestanalyse. Er wordt tenminste een 'Hornerplot' evaluatie uitgevoerd, en zo nodig een evaluatie met type-curve fitting.

De interpretaties van de puttest(s) worden uitgevoerd zoals bijvoorbeeld beschreven in:

- Bourdarot, G., 1996. Welltesting. Interpretation methods. ISBN 2-7108-0738-6
- Kruseman, G.P. and de Ridder, N.A., 1994, Analysis and Evaluation of Pumping Test Data: International Institute for Land Reclamation and Improvement, The Netherlands, Publication 47, 377 p.
- Lee, J., 1982, Well testing SPE textbook series. ISBN-13: 978-0895203175
- Lee, John, Rollins, John B., Spivey, John P., 2003 Pressure Transient Testing. SPE Textbooks Series Vol. 9, 356p.

De gemeten en berekende gegevens die gebruikt zijn voor de interpretatie en beoordeling van de puttest worden opgesomd in de tabel in Bijlage A. De opsomming bevat tevens een vermelding van de gevolgde methode, programmatuur en eventuele parameters, alsmede een onderbouwing van de keuze hiervoor.

De uitkomsten van de puttestanalyse omvatten tenminste de transmissiviteit (kH), skin en temperatuur. Uit de transmissiviteit en de gegevens van de data-acquisitie uit de put (bruto en/of netto dikte van de aquifer) kan de permeabiliteit (k) bepaald worden. Hierbij wordt duidelijk gemaakt of de dikte van de gehele aquifer is gebruikt, of slechts de dikte van het gecompleteerde interval, en waarom.

2.4.4 *Vermogensberekening in DoubletCalc*

Met de gegevens van de put en de resultaten van de puttestinterpretatie wordt het gerealiseerde vermogen van het doublet berekend volgens de specificaties in de handleiding van DoubletCalc. Indien alle gerealiseerde geologische parameters ingevoerd worden als mediane waarden kan het 'Garantiefonds' gerealiseerde vermogen afgelezen worden op het uitvoerscherm 'Geotechnics'- kolom (Output) - vak 'base case (median value inputs)'.

2.4.5 *Skin*

De stroming van water naar de put kan gehinderd worden door verslechtering van de primaire aquiferparameters (met name de permeabiliteit in de nabijheid van de putmond). Dit is het gevolg van de booractiviteit en/of de plaatsing van de installatie. Dit resulteert in een verlaagd debiet en dus verlaagd vermogen. In dit geval is de skin groter dan nul. Deze skin moet uit de analyse van de puttest blijken.

Een indicatie van het verloren vermogen door de putschade kan berekend worden met behulp van de formules in de handleiding van DoubletCalc. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden door in DoubletCalc twee keer het vermogen te berekenen:

- met een skin gelijk aan nul
- met de skin die volgt uit de analyse van de puttest.

Uitkering in de Garantieregeling vindt altijd plaats op basis van een berekening met een maximale skin van 0 – *dus met een negatieve skin als die van toepassing is.*

2.5 **Doublettest**

Het doublet kan op twee verschillende manieren getest worden indien beide putten van een aardwarmte doublet zijn gerealiseerd. Het oogmerk is dan eveneens om de skin en de permeabiliteit (of transmissiviteit) te berekenen. De resultaten van deze tests kunnen als verificatie van de interpretatie van de puttest worden gebruikt,

maar vervangen deze niet. Het is mogelijk de permeabiliteit en skin die uit de doublettest worden afgeleid te gebruiken in het realisatie-scenario voor de vaststelling. Dit kan bijvoorbeeld als de (enkele) puttest door onvoorziene omstandigheden niet tot meetresultaten heeft geleid waaruit de aquiferparameters niet betrouwbaar kunnen worden afgeleid. Er zijn hier twee opties mogelijk:

- Interferentietest
- Operationele test.

2.5.1 *Interferentietest*

In deze test wordt uit één van de putten (de actieve put) relatief kortstondig geproduceerd onder een opgelegd debiet. Hierbij worden de drukken in de stilgelegde andere put (de observatieput) gemeten. Het geproduceerde water wordt afgevangen en gebufferd. De productiepuls genereert een drukgolf in de aquifer. In de observatieput wordt met een sonde de druk geregistreerd, minimaal vanaf de start van de opwekking van de puls tot het moment dat de drukgolf is aangekomen in de observatieput. Uit het opgelegde debiet in de actieve put en de gemeten drukverandering in de observatieput (de aankomsttijd van de drukgolf en de hoogte van de drukgolf) is onder meer de gemiddelde permeabiliteit van het aquifer tussen beide putten te bepalen. Dit is de minimale permeabiliteit omdat het signaal beïnvloed kan zijn door beschadiging (positieve skin) aan met name aan de kant van de actieve put. De test kan omgedraaid worden om een kwalitatieve indruk te krijgen van de eventuele skin in de putten. Beschrijvingen van de opzet en interpretatie van interferentietests zijn beschikbaar in het publieke domein, bijvoorbeeld in Lee et al. (2003).

2.5.2 *Operationele test*

In deze test wordt in het doublet water rondgepompt op de wijze zoals beoogd in de operationele fase van het doublet.

De opzet van de test is zodanig dat gedurende het rondpompen van water zowel in de productie- als in de injectieput voortdurend de druk, het debiet en de temperatuur van het rondgepompte water gemeten worden. De uitvoering van de test is grotendeels gelijk aan die van een enkele puttest, met dien verstande dat in één put geproduceerd wordt en in de andere geïnjecteerd. Er wordt zodanig getest dat het opgelegde debiet tussen putten en aquifer in stappen (perioden) wordt verhoogd (drawdown test). Er worden minimaal drie stappen (van verschillend debiet) uitgevoerd. Bovendien wordt tussen de stappen en na de laatste stap het debiet teruggebracht naar nul (buildup test). Op dat moment worden de waterkolommen in beide putten van elkaar gescheiden door een afsluitklep. Hierdoor wordt voorkomen dat beide drukresponsen van de aquifer (bij de injectie- en productieput) bovengronds met elkaar interfereren. Ook bij deze test is het bovendien belangrijk dat het debiet tijdens de drawdown-periodes zo goed mogelijk constant wordt gehouden.

De meetreeksen van druk, debiet en temperatuur tegen de tijd kunnen op dezelfde wijze worden geïnterpreteerd als een enkelvoudige puttest. Met deze testopzet kunnen de transmissiviteit en de skin voor de productie- en de injectieput afzonderlijk worden bepaald. Het is belangrijk dat er zeker gesteld wordt dat er tijdens de doublettest geen interferentie is. Dit kan met behulp van de interferentieformules (zie bijvoorbeeld Lee et al. 2003). Interferentie treedt op als het tijdsinterval te lang gekozen wordt. De maximale tijd kan worden bepaald met behulp van de responstijd die in de interferentietest wordt bepaald.

Voor de rapportage van de interferentie- en/of doublettest kan, voor zover relevant, hetzelfde formulier gebruikt worden als voor de puttest (Bijlage A). De rapportage geschiedt conform de richtlijnen gesteld in Bijlage B van de regeling 'Model Puttestrapportage' Bijlage b bij het vaststellingsformulier Subsidieregeling energie en innovatie Risico's dekken voor aardwarmte.

2.6 Speciale putconfiguraties

Speciale putconfiguraties zijn beschreven in het rapport "Specificaties Geologisch onderzoek Garantiefaciliteit 2015" paragraaf "8.2 Putarchitectuur". De definitie van "speciale putconfiguraties" voor deze regeling is: alle putconfiguraties die afwijken van een verticale, ongestimuleerde put.

Speciale putconfiguraties zijn bijvoorbeeld:

- scheve put (tot ca 80 graden)
- horizontale put
- hydraulisch gestimuleerde put
- put met radials
- multi-lateral put

Voor scheve en horizontale putten geldt dat de pre-drill bepaalde skin ook in het afreken scenario geldt. Deze skin wordt namelijk als een niet-geologische parameter beschouwd, die niet onder de garantiefaciliteit valt.

Voor hydraulisch gestimuleerde putten en putten met radials geldt dat de pre-drill bepaalde skin ook voor het afreken scenario geldt. Voor deze putconfiguraties is de pre-hydraulische stimulatie / radial puttest leidend voor het afreken scenario. Alleen deze kan eenduidig uitsluitel geven over de ongestimuleerde aquifer-eigenschappen die onder de garantiefaciliteit vallen.

Een post- hydraulische stimulatie / post-radial drilling test laat, naar verwachting een, productiviteitsverbetering zien die omgerekend kan worden naar een negatieve skin. Er valt echter niet eenduidig te achterhalen of het eventuele verschil tussen pre-drill verwachte skin en slechtere "gerealiseerde skin" te wijten is aan een geologische of stimulatie-uitvoeringsoorzaak. Daarom blijft de pre-drill skin leidend in het afreken scenario. Wanneer een post-hydraulische stimulatie / post-radial puttest of productietest wordt uitgevoerd dan dient deze informatie ook te worden aangeleverd eerder als de pre-hydraulische stimulatie / pre-radial puttest conform format gegeven in Bijlage A.

Voor de multi-lateral put gelden andere principes voor het afreken scenario. Dit is omdat bij een lateral de formatie op een andere plek wordt aangeboord dan het moedergat, wat een bepaalde geologische onzekerheid met zich meebrengt¹ en omdat in principe een lateral eenduidig getest kan worden.

Omdat een multi-lateral put een niet standaard doubletconfiguratie betreft moet er rekening mee gehouden worden dat de standaard specificaties voor een doublet ook niet helemaal toereikend zijn. Echter, uitgangspunt blijft dat voor **alle** putten (het hoofdgat van de put en de laterals) de puttest zodanig ontworpen en

¹ In enge zin wordt bij hydraulisch stimuleren en radial drilling de formatie op een andere plaats aangeboord. Voor deze regeling wordt deze informatie niet meegenomen. Dit is omdat uit de vergelijking van pre-en post-stimulatie productiviteit niet eenduidig kan worden afgeleid of de eventuele teleurstellende productiviteitsverbetering alleen door geologische parameters wordt veroorzaakt, of deels dan wel geheel zijn oorzaak heeft in een andere oorzaken, zoals slechtere realisatie van de fracture of de radials dan beoogd (en waarop de pre-drill skin waarde is bepaald)

uitgevoerd dient te worden dat 'uit de resultaten/meetreeksen de transmissiviteit, de skin, de productiviteitsindex en de temperatuur betrouwbaar kunnen worden bepaald'.

Een multi-lateral put is een speciale putconfiguratie waarbij er vanuit het moederboorgat één of meerdere boorgaten (laterals) gemaakt worden die de aquifer aantappen. In eerste instantie wordt het moederboorgat geboord tot en met de doelloccatie, de aquifer. Voor de garantiefaciliteit moet in dit moedergat allereerst de aquifer getest worden voordat het boren van de 'laterals' aanvangt. De 'lateral' wordt gemaakt door hoger in het moedergat een "kick-off point" te definiëren. Op dit punt wordt een gat in de casing of liner gemaakt waarna de lateral geboord wordt als extra drainage- of injectiepunt in de aquifer. Voor het maken van het gat in de casing of liner wordt een "whipstock" geplaatst. Bij het plaatsen van de "whipstock" moet ervoor gezorgd worden dat de aquifer in het hoofdgat niet beschadigd of verstopt raakt. Dit is te realiseren door de aquifer in het hoofdgat te isoleren van de booractiviteiten van de lateral alvorens de 'whipstock' geplaatst wordt. Ook in de lateral moet een puttest uitgevoerd te worden die enkel de aquifer in de lateral test. Dit moet dus gebeuren voordat de plug uit het moedergat gehaald wordt.

Als het hoofdgat tijdelijk is geplugd tijdens het boren en testen van de lateral dan gelden de beschreven voorwaarden. Indien bij de test van de lateral meerdere gaten openstaan dan dienen zo mogelijk voorzieningen getroffen worden teneinde skin en transmissiviteit van het nog niet geteste gat (lateral) eenduidig te kunnen bepalen.

De geologische parameters die resulteren uit de interpretatie van de puttests verschillen mogelijk significant tussen het hoofdgat en de lateral. In dat geval kan het vermogen met DoubletCalc berekend worden door per geologische parameter het (rekenkundige) gemiddelde te nemen van de uit de put en puttest bepaalde waarden. Voor permeabiliteit is dit het gemiddelde transmissiviteit bepaald uit de test gedeeld door de gemiddelde dikte. De "multi-lateral negatieve skin" t.o.v. de verticale put zoals gebruikt in het pre-drill garantiescenario blijft in het afrekeningscenario ongewijzigd.

Als er geen voorzieningen zijn getroffen om in een lateral de skin en transmissiviteit (kH) eenduidig en onafhankelijk van het hoofdboorgat of andere laterals te bepalen moeten de "bulk skin" en "bulk permeabiliteit" worden bepaald als ware het een "superput" (in het hoofdboorgat moet zoals eerder gemeld in ieder geval een puttest worden uitgevoerd). Uit de uitkomsten van de test van het hoofd-/moedergat en de "superput" puttest interpretatie wordt de **hoogste** permeabiliteitswaarde gekozen als representatief voor de aquifer. Immers, de lage waarde in de "superput" kan het gevolg zijn van een niet nader en eenduidig te bepalen positive skin in het moedergat of de lateral(s). De "hoge" permeabiliteitswaarde moet dan in het DoubletCalc afrekeningscenario worden gebruikt. Ook hier blijft de "multi-lateral negatieve skin" t.o.v. de verticale put zoals gebruikt in het pre-drill garantiescenario in het afrekeningscenario ongewijzigd.

2.7 Puttest na verbeteroptie

Als een verbeteroptie wordt gerealiseerd dient de put of dienen de putten opnieuw getest te worden. Dit moet gebeuren volgens de specificatie zoals beschreven in paragraaf 2.4 of 2.5.

2.8 Beoordeling van de vaststellingsaanvraag

De vooraf opgegeven niet-geologische parameters (bijvoorbeeld de diameter van het boorgat) hebben invloed op het uiteindelijke vermogen dat uit de puttest(en) blijkt. Daarom moeten de boringen en puttests overeenkomstig deze waarden worden uitgevoerd. Bij de berekening van het gerealiseerde vermogen (op basis van de puttests) zal gerekend worden met de vooraf opgegeven (installatie / niet geologische) parameters indien **ongunstigere** waarden worden toegepast of gerealiseerd. Indien er gunstigere waarden zijn gerealiseerd zullen die wel in het afrekeningscenario worden gebruikt.

De keuze welke van de twee putten beschouwd wordt als injectieput c.q. productieput wordt bepaald door de configuratie die het meeste vermogen oplevert.

Het gerealiseerde vermogen kan niet met DoubletCalc berekend worden wanneer de geologische parameters voortvloeiend uit de interpretatie van de put- of doublettest significant verschillen tussen beide putten. Het vermogen moet dan berekend te worden met behulp van een reservoirsimulator. Hierbij wordt zeker gesteld dat de niet-geologische parameters identiek zijn aan die in het verzekeringsscenario, en dat er een geleidelijke afname of toename is van de aquifer-eigenschappen van de ene naar de andere put.

Indien het gerealiseerde vermogen lager is dan het in de beschikking vermelde verwachte (P90) vermogen, en er aanspraak op de subsidie gemaakt wordt, moet uitgesloten worden dat het lagere vermogen aan niet-geologische bronnen te wijten is, te weten:

- foutieve plaatsing van de perforatie of het filter ten opzichte van het beoogde productie- of injectie-interval;
- afwijking van de bij aanmelding opgegeven niet-geologische parameters;
- mechanische skin;
- andere problemen met de put.

Skin van speciale putconfiguraties in het afrekeningscenario

Bij alle speciale putconfiguraties wordt de pre-drill bepaalde 'negatieve skin' beschouwd als een installatie-parameter. Dit betekent dat voor het afrekeningscenario dezelfde skin gehanteerd zal worden als pre-drill bepaald.

2.9 Data-aanlevering

Resultaten en interpretaties van de puttesten worden aan RVO aangeleverd.

Om een eventuele second opinion mogelijk te maken worden de meetreeksen (druk, temperatuur en debiet) van de test, inclusief alle parameters die relevant zijn voor de interpretatie van de test (bijvoorbeeld de locatie van de pomp en de meetsonde, de diameter van de verbuizing, de deviatiesurvey, etc.), digitaal aangeleverd aan RVO.

Specificaties van de aan te leveren gegevens inclusief een format is gegeven in Bijlage A.

A Resultaten van de puttest

Gegevens voor test interpretatie	Waarde	Dimensie
Naam van de put		
Coördinaten van de put (X, Y)		RD
Top aquifer		m (langs boorgat) en m (TVD)
Basis aquifer		m (langs boorgat) en m (TVD)
Dikte aquifer		m (TVD)
Netto/bruto aquifer		%
Gemiddelde porositeit aquifer		%
Zoutgehalte formatiewater (TDS = total dissolved solids)		ppm
Gestabiliseerde temperatuur geproduceerde water ¹		°C
Diameter boorgat bij aquifer		inch
Top productie-interval/filter		m (langs boorgat) en m (TVD)
Basis productie-interval/filter		m (langs boorgat) en m (TVD)
Filter permeability /weerstand		Darcy of bar
Locatie pomp		m (langs boorgat) en m (TVD)
Locatie meetsonde voor druk		m (langs boorgat) en m (TVD)

¹ Deze temperatuur wordt als gemiddelde aquifertemperatuur beschouwd

Meetreeks Put Deviatie ²	Diepte (mAH), diepte (m TVD), inclinatie, azimuth, dX , dY				
Schema verbuizing ³	Sectie	Einddiepte sectie (mAH)	Uitstap einddiepte sectie (m)	Binnen diameter buis (inch)	Ruwheid buis (milli inch)
	1: 2: 3: Etc: Filterbuis				

² In een apart document of bijlage

³ Inclusief een schema van het boorgat met verbuizing en pomp-locatie als bijlage

Clean up gegevens		
Pompdruk		bar
Debiet vs. tijd		m ³ /uur
Duur		uur
Indicatie hoeveelheid meegeproduceerde 'fines'		Eindwaarde, Semi-kwantitatief

Meetreeksen Puttest ⁴		
Stap	Eind/stabiele Pompdruk (Bar)	Eind/stabiele Debiet (m ³ /uur)
1		
2		
3		

⁴ In deze tabel kunnen het debiet en druk verschil worden opgegeven van de verschillende stappen. De totale meetreeksen van de test (druk, temperatuur en debiet) dienen in een aparte bijlage (lieft digitaal) te worden aangeleverd

Uitkomsten test interpretatie en analyses		
Skin		-
kH		Dm (darcy-meter)
Aangenomen H		m (AH)
k		mD
Productiviteitsindex (PI)		m ³ /uur/bar

Conclusie gerealiseerd vermogen op basis van DoubletCalc invoer ⁵		
Injectietemperatuur conform verzekerings-scenario		°C
Opgelegde pompdruk conform verzekerings-scenario		bar
Debiet Q		(m ³ /s)
Gerealiseerd vermogen P		MW

⁵ zie uitvoerscherm DoubletCalc - Geotechnics – base case. Het uitvoerscherm van de realisatiecase in DoubletCalc dient bijgevoegd te worden.

Als bijlage wordt de onderbouwing van bovengenoemde parameters aangeleverd. Deze bestaat uit de rapportage van de interpretatie van de puttests en/of de doublettest en eventueel de rapportage van de petrofysica (bepaling porositeit / permeabiliteit) overeenkomstig de richtlijnen die in 'Specificaties geologisch onderzoek voor geothermie-projecten' zijn omschreven.

Daarnaast worden de gerealiseerde geologische parameters als invoer gebruikt in een 'realisatiescenario' van DoubletCalc. Hierbij zijn de geologische gegevens ingevoerd conform de interpretaties van de puttest en van de boorgatdata. De installatieparameters volgen hierbij zoveel mogelijk die van de werkelijke situatie, tenzij deze aantoonbaar ongunstiger zijn dan die zijn opgegeven bij de acceptatie van de Garantiefaciliteit.

B Voorbeeld van de systematiek.

TNO Doublet Calculator 1.4-Beta

number of simulation runs (-) Calculate! Open Scenario Save Scenario Exit Program

file: D:\program files\DoubletCalc14\example_realisatie.xml

Geotechnical input

A) Aquifer properties

Property	min	median	max	Property	value
aquifer permeability (mD)	240	290	340	aquifer kh/kv ratio (-)	10
aquifer net to gross (-)	0.61	0.62	0.63	surface temperature (°C)	10
aquifer gross thickness (m)	164	165	166	geothermal gradient (°C/m)	0.030
aquifer top at producer (m TVD)	2077.0	2308	2539.0	[mid aquifer temperature producer (°C)]	0
aquifer top at injector (m TVD)	2048.0	2275	2503.0	[mid aquifer pressure at producer (bar)]	0.0
aquifer water salinity (ppm)	114000	115000	116000	[mid aquifer pressure at injector (bar)]	0.0

B) Doublet and pump properties

Property	value
exit temperature heat exchanger (°C)	30
distance wells at aquifer level (m)	1460
pump system efficiency (-)	0.7
production pump depth (m)	500
pump pressure difference (bar)	110

C) Well properties

segment length (m)

Producer					Injector				
outer diameter producer (inch)	6.125				outer diameter injector (inch)	6.125			
skin producer (-)	0				skin injector (-)	0			
penetration angle producer (deg)	45				penetration angle injector (deg)	45			
skin due to penetration angle p (-)	-0.34				skin due to penetration angle i (-)	-0.34			
Segment	tubing segment sections p (m AH)	tubing segment depth p (m TVD)	tubing inner diameter p (inch)	tubing roughness p (milli-inch)	Segment	tubing segment sections i (m AH)	tubing segment depth i (m TVD)	tubing inner diameter i (inch)	tubing roughness i (milli-inch)
1	500	500	5	1.2	1	50	50	5	1.2
2	1054	1054	8.5	1.2	2	1054	1054	8.7	1.2
3	1930	1833	6.3	1.2	3	1930	1833	6.3	1.2
4	2482	2308	4.1	1.2	4	2454	2275	4.1	1.2
5					5				
6					6				
7					7				
8					8				

[] optional

Invoerscherm van DoubletCalc waarbij de **gerealiseerde geologische parameters** zijn ingevuld. De installatieparameters zijn identiek aan de voorgestelde installatiespecificaties. Het gerealiseerde Garantiefondsvermogen is in het outputscherf hieronder af te lezen in de kolom 'base case (median value inputs)' (10.89).

TNO Doublet Calculator 1.4 Result Table							
probabilistic plots				fingerprinting			
				export base case details			
Geotechnics (Input)				Geotechnics (Output)			
Property	min	median	max	Monte Carlo cases (stochastic inputs)	P90	P50	P10
aquifer permeability (mD)	240.0	290.0	340.0	aquifer KH net (Dm)	26.89	29.66	32.52
aquifer net to gross (-)	0.61	0.62	0.63	mass flow (kg/s)	56.88	59.16	61.43
aquifer gross thickness (m)	164.0	165.0	166.0	pump volume flow (m ³ /h)	193.9	201.6	209.0
aquifer top at producer (m TVD)	2077.0	2308.0	2539.0	required pump power (kW)	846.5	879.8	912.1
aquifer top at injector (m TVD)	2048.0	2275.0	2503.0	geothermal power (MW)	10.23	10.9	11.53
aquifer water salinity (ppm)	114000.0	115000.0	116000.0	COP (kW/kW)	11.5	12.4	13.3
Property	value			base case (median value inputs)	value		
number of simulation runs (-)	1000.0			aquifer KH net (Dm)	29.67		
aquifer kh/kv ratio (-)	10.0			mass flow (kg/s)	59.1		
surface temperature (°C)	10.0			pump volume flow (m ³ /h)	201.3		
geothermal gradient (°C/m)	0.03			required pump power (kW)	878.5		
[mid aquifer temperature producer (°C)]	0.0			geothermal power (MW)	10.89		
[mid aquifer pressure at producer (bar)]	0.0			COP (kW/kW)	12.4		
[mid aquifer pressure at injector (bar)]	0.0						
exit temperature heat exchanger (°C)	30.0			Aquifer Pressure at producer (bar) *	261.7		
distance wells at aquifer level (m)	1460.0			Aquifer Pressure at Injector (bar) *	261.64		
pump system efficiency (-)	0.7			Pressure difference at producer (bar) *	15.55		
production pump depth (m)	500.0			Pressure difference at injector (bar) *	28.76		
pump pressure difference (bar)	110.0			Aquifer temperature at producer (°C) *	81.71		
outer diameter producer (inch)	6.13			Temperature at heat exchanger (°C)	80.09		
skin producer (-)	0.0						
skin due to penetration angle p (-)	-0.34			* @ mid aquifer depth			
tubing segment sections p (m AH)	500.0,1054.0,1930.0,2482.0						
tubing segment depth p (m TVD)	500.0,1054.0,1833.0,2308.0						
tubing inner diameter p (inch)	5.0,8.5,6.3,4.1						
tubing roughness p (milli-inch)	1.2,1.2,1.2,1.2						
outer diameter injector (inch)	6.13						
skin injector (-)	0.0						
skin due to penetration angle i (-)	-0.34						
tubing segment sections i (m AH)	50.0,1054.0,1930.0,2454.0						
tubing segment depth i (m TVD)	50.0,1054.0,1833.0,2275.0						
tubing inner diameter i (inch)	5.0,8.7,6.3,4.1						
tubing roughness i (milli-inch)	1.2,1.2,1.2,1.2						

Uitvoerscherm van DoubletCalc met de parameters van de **verzekeringscase** bij de acceptatie **Garantiefaciliteit**.