

Bijlage 4. Model puttestrapportage

Het model puttestrapportage, vermeld in artikel 4 van het ministerieel besluit van 11 oktober 2018 houdende vaststelling van de richtlijnen en modellen in het kader van de waarborgregeling voor het opsporen en winnen van aardwarmte in de diepe ondergrond, wordt vastgesteld als volgt:

Het gerealiseerd vermogen wordt vastgesteld aan de hand van (een) puttest(en). De uitvoering en interpretatie van de test(en) is (zijn) bijgevolg cruciaal om de vaststelling te evalueren.

In deze bijlage vindt u de belangrijkste minimale vereisten voor de puttestrapportage en enkele richtlijnen in verband met het organiseren van adequate puttesten. Een uitgebreidere tekst met richtlijnen (Richtlijnen voor het uitvoeren en interpreteren van een puttest) vindt u op <https://www.lne.be/waarborgregeling-voor-aardwarmteprojecten>. Voorafgaand aan de boring dient u zich reeds te verdiepen in de eisen die aan een boring en testprogramma gesteld worden.

U dient een puttest te voorzien na het afronden van **elke** boring waarvoor de waarborg wordt aangevraagd. De puttest moet worden uitgevoerd door een ISO 9001 gecertificeerde instelling en moet strikt voldoen aan de gestelde voorwaarden.

Ongeacht het resultaat van de puttest dienen de resultaten en interpretatie ten laatste 8 weken na het afronden van de puttest gerapporteerd te worden bij het departement Omgeving. U ontvangt een ontvangstbevestiging, maar de puttest wordt pas getoetst bij de vaststellingsaanvraag, dus na het rapporteren van eventuele latere puttesten van vervolgboringen en / of verbeterwerkzaamheden. Voor deze testen gelden dezelfde vereisten als voor de puttesten na boring.

Naast de verplichte puttest na boren kunt u ook een doublettest en / of interferentietest uitvoeren om een beter inzicht te verwerven in de eigenschappen en gedrag van het ondergrondse reservoir. De resultaten en interpretatie van die testen dient u eveneens te rapporteren bij het departement Omgeving.

De resultaten van de puttesten en de onderzoeken die u heeft gedaan als onderdeel van de voor steun in aanmerking komende projectkosten en de door de Vlaamse Overheid geformuleerde adviezen over de puttesten dienen 4 weken na vaststelling van het aardwarmteproject openbaar gemaakt worden door publicatie op de website van het departement.

Technische eisen aan boring en puttest

1. Inleiding

In onderstaande paragrafen wordt een reeks voorwaarden gepresenteerd waaraan de put en de puttest moeten voldoen om een adequate set meetgegevens op te leveren die gebruikt kunnen worden om het testresultaat te kunnen interpreteren, vervolgens te beoordelen en af te zetten tegen de verwachtingswaarde (i.e. verwacht P90-vermogen zoals eerder berekend en opgegeven in de aanvraag) voordat de boring was geplaatst.

2. Eisen Boring

U moet ervoor zorgen dat de boring zo goed als mogelijk uitgevoerd wordt rekening houdend met de gesteente-eigenschappen die op voorhand ingeschat werden. Een technisch minder zorgvuldig uitgevoerde boring kan immers de aquifer in de omgeving van de put beschadigen waardoor de doorlatendheid vermindert. Technisch gesproken zorgt u voor een zo laag mogelijke mechanische skin (skin=0).

3. Puttest

Algemeen:

Het interval dat getest wordt dient gecompleteerd te zijn over de beoogde aquifer. Dit dient eenduidig vastgesteld te kunnen worden aan de hand van boorgatmetingen zoals een *Gamma-Ray* of met behulp van gesteentemonsters. De puttest dient zodanig te worden uitgevoerd dat uit de resultaten/meetreeksen de transmissiviteit, de skin, de productiviteitsindex en de temperatuur betrouwbaar kunnen worden bepaald. Het testontwerp moet zodanig zijn dat:

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

U moet zorgen dat het opgelegde drukverschil niet resulteert in permanente schade aan de aquifer door bijvoorbeeld "*finest migration*". U moet voorzieningen treffen om eventuele zandproductie tegen te gaan zoals het plaatsen van een filter.

Voor de test:

Er dient een '*clean-up*' te worden gedaan totdat er geen afname meer is van de meegeproduceerde boorspoeling / *finest*, en het debiet bij gelijkblijvende opgelegde drukval niet meer toeneemt.

Test:

Er dient vervolgens zodanig getest te worden dat het opgelegde debiet (als gevolg van een opgelegd drukverschil) tussen put en aquifer in stappen wordt verhoogd (*drawdown* test). Er dienen minimaal drie stappen (perioden) te worden uitgevoerd, bij verschillend debiet. Het opgelegde debiet bij één van de stappen dient het verwachte debiet te benaderen. Tijdens de volledige testperiode, ook gedurende *build-ups*, moeten het debiet, het drukverloop en de temperatuur gemeten worden. De metingen moeten een voldoende hoge frequentie hebben, zodat de test correct geïnterpreteerd kan worden. Bovendien moet het debiet tijdens de *drawdown* periodes zo goed mogelijk constant worden gehouden. De

testperiode dient zo lang te duren dat de transmissiviteit, productiviteitsindex (PI) en skin betrouwbaar berekend kunnen worden. Dit kan bijvoorbeeld door te testen totdat bij opgelegd debiet de druk stabiel blijft (*flow in semi-steady state*). Tussen de stappen en na de laatste stap, wanneer er geen opgelegd debiet over put en aquifer is, dient het drukverloop ook gemeten te worden tot het moment dat de druk niet meer verandert.

Het maximaal opgelegde drukverschil moet binnen de geldende veiligheidsnormen blijven.

4. Interpretatie puttest

Uit de testresultaten moet door de aanvrager de skin en transmissiviteit worden bepaald. De uitkomsten van de puttesten (transmissiviteit, skin en temperatuur naast putgegevens dikte aquifer, diepte aquifer etc.) worden gebruikt om het gerealiseerde vermogen van het doublet te berekenen.

De gegevens uit de puttest (het verloop van het debiet, drukverloop, en temperatuurverloop) worden samen met de gegevens van de put- en pompspecificaties geïnterpreteerd middels een puttestanalyse. Minimaal dient de 'Hornerplot' evaluatie te zijn uitgevoerd en zo nodig evaluatie met type-curve fitting.

Informatie over de uitvoering van puttestinterpretaties vindt u onder meer in:

- Bourdorot, G., 1996. Welltesting. Interpretation methods. ISBN 2-7108-0738-6
- Kappa (2012). Dynamic Data Analysis. The theory and practice of pressure transient, production analysis, well performance analysis, production logging and the use of permanent downhole gauge data. 537pp.
- 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, J., Rollins, J.B., Spivey, J.P., 2003. Pressure Transient Testing. SPE Text books Series Vol. 9, 356p.

Uitkomsten van de puttestanalyse dienen tenminste de k_H , de skin en de temperatuur te zijn. Uit de k_H kan de permeabiliteit bepaald worden met behulp van de aangetroffen aquiferdikte waarbij duidelijk moet zijn of de brutodikte van de gehele aquifer wordt genomen, de nettodikte of slechts de bruto- of nettodikte van het gecompleteerde interval.

5. Skin

Indien uit de puttestanalyse blijkt dat de skin groter dan nul is, wordt de stroming van water naar de put gehinderd, resulterend in een verlaagd debiet en dus verlaagd vermogen.

Uitkering in de waarborgregeling vindt altijd plaats op basis van een berekening met een maximale skin van 0 (en met een negatieve skin als dit van toepassing is).

6. Vermogensberekening

Met de gegevens uit de put en de resultaten van de puttetestinterpretatie wordt het gerealiseerde vermogen van het doublet of het half doublet berekend in overeenstemming met de specificaties in de handleiding van DoubletCalc. Alle gerealiseerde geologische parameters moeten worden ingevoerd als *median* waarde. Het gerealiseerde vermogen is dan ook de "*Base case median value*" output. De boringen en puttesten moeten overeenkomstig de vooraf opgegeven niet-geologische parameters (bijvoorbeeld de diameter van het boorgat en productie-*tubing*) waarden worden uitgevoerd. **Bij de berekening van het gerealiseerde vermogen (op basis van de puttesten) 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 afreken scenario worden gebruikt.**

Er zijn resultaten denkbaar die met zich meebrengen dat het gerealiseerde vermogen niet met DoubletCalc berekend kan worden. Bijvoorbeeld indien de geologische parameters voortvloeiend uit de interpretatie van de put- of doublettest significant verschillen tussen beide putten. Het vermogen dient dan berekend te worden met behulp van een reservoirsimulator. Voor het bovengenoemde geval moet u er hierbij voor zorgen dat de niet-geologische parameters identiek zijn aan die in het waarborgscenario en dat er een geleidelijke afname of toename is van de aquifereigenschappen van de ene naar de andere put.

7. Beoordeling van de vaststellingsaanvraag

De vooraf opgegeven niet-geologische parameters hebben invloed op het uiteindelijke vermogen dat uit de puttetest(en) blijkt. Daarom dienen de boringen en puttesten (minimaal) overeenkomstig deze waarden uitgevoerd te worden. Indien feitelijk ongunstigere waarden worden toegepast, zal bij de berekening van het gerealiseerde vermogen (o.b.v. de puttesten) gerekend worden met de vooraf opgegeven parameters.

Indien het vermogen dat gerealiseerd is lager is dan het in het ministerieel besluit vermelde verwachte vermogen en er aanspraak op steun gedaan wordt, dient uitgesloten te worden dat het lagere vermogen aan niet-geologische oorzaken te wijten is, te weten:

- Foutieve plaatsing productie/injectie interval (perforatie) of filter;
- Afwijking van de bij aanmelding opgegeven niet-geologische parameters;
- Mechanische skin;
- Andere problemen met de put.

Om een eventuele *second opinion* mogelijk te maken dienen de meetreeksen (druk, temperatuur en debiet) van de test inclusief alle relevante parameters voor de interpretatie van de test (bijvoorbeeld locatie pomp en meetsonde, diameter verbuizing etc.) digitaal aangeleverd te worden aan het departement Omgeving.

Resultaten van de puttest

De resultaattabel van de puttest (Tabel 1) moet op de hierbij beschreven manier ingevuld worden met inbegrip van de vereiste onderbouwing.

De volgende onderbouwing van de resultaattabel puttest is minimaal vereist:

1. Boorgatmetingen, die onderbouwen dat het geteste interval is gecompleteerd over de beoogde aquifer (bij voorkeur *Gamma-ray*).
2. Meetreeks putdeviatie (diepte langs boorgat – m AH; werkelijke diepte – m TVD; inclinatie; azimuth; dX, dY). De diepte wordt uitgedrukt ten opzichte van maaiveld en ten opzichte van TAW.
3. Schema boorgat met verbuizing en pomplocatie, sondelocatie en gegevens op welke diepte het filter is afgehangen of de perforatie is geschoten.
4. Beschrijving van de *clean-up*.
5. Totale meetreeksen van de test(en) (druk, temperatuur, debiet, tijd).
6. Onderbouwing van de parameters uit de resultaattabel, dat is rapportage van de interpretatie van de puttesten en rapportage van de petrofysica (bepaling porositeit) inclusief een toelichting van de gebruikte methodiek.
7. Indien van toepassing, motivatie voor de gekozen verbeterwerkzaamheden en een korte bespreking van het verloop van deze werkzaamheden.
8. Een presentatie van het "realisatiescenario", bij voorkeur als in- en uitvoerscherm van DoubletCalc, of op vergelijkbare wijze.

Hierbij moeten de geologische gegevens zijn ingevoerd conform de interpretatie van de puttest en data uit het boorgat. De installatieparameters dienen zoveel mogelijk de realisatie te volgen tenzij zij aantoonbaar ongunstiger zijn dan parameters opgegeven bij de goedkeuring van de waarborgaanvraag.

Als bepaalde onderdelen al bij het departement in bezit zijn, kunt u daarnaar verwijzen. Meetreeksen moeten ook digitaal worden toegezonden.

Tabel 1: resultaattabel puttest

Gegevens voor testinterpretatie	Waarde	Dimensie
Naam van de put		
Coördinaten van de put (X, Y)		(Lambert 72)
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 = <i>total dissolved solids</i>)		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 permeabiliteit /weerstand		Darcy of bar
Locatie pomp		m (langs boorgat) en m (TVD)
Locatie meetsonde voor druk		m (langs boorgat) en m (TVD)

¹Deze temperatuur wordt als gemiddelde aquifertemperatuur beschouwd.

Tabel 2: putdeviatie

Meetreeks Put Deviatie ²	Diepte (m AH), diepte (m TVD), inclinatie, azimuth, dX, dY				
Schema verbuizing ³	Sectie	Einddiepte sectie (m AH)	Einddiepte sectie (m TVD)	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 pomplocatie als bijlage

Tabel 3: beschrijving van de clean-up

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

Tabel 4: opbouw van de puttest

Meetreeksen Puttest ⁴		
Stap	Eind/stabiele pompdruk (bar)	Eind/stabiel debiet (m ³ /uur)
1		
2		
3		

⁴ In deze tabel kunnen het debiet en drukverschil 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

Tabel 5: geïnterpreteerde resultaten van de puttest

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

Tabel 6: gerealiseerd vermogen volgens de opgelegde berekening

Conclusie gerealiseerd vermogen op basis van DoubletCalc-invoer ⁵		
Injectietemperatuur conform waarborgscenario		°C
Opgelegde pompdruk conform waarborgscenario		bar
Debiet Q		(m ³ /s)
Gerealiseerd vermogen P ⁶		MW

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

⁶ Dit is de "median value", het vermogen dat op het uitvoerscherm is te vinden onder de hoofding "base case (median input values)"

Als de geologische parameters significant verschillen tussen beide putten moet u het doubletvermogen apart bepalen en invullen, zie paragraaf 6.

Als bijlage wordt de onderbouwing van bovengenoemde parameters aangeleverd. Deze bestaat uit de rapportage van de interpretatie van de puttesten en/of de doublettest en eventueel de rapportage van de petrofysica (bepaling porositeit / permeabiliteit) overeenkomstig de richtlijnen die in 'Richtlijnen voor het opstellen van het Geologisch Onderzoek' 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 goedkeuring van de waarborgaanvraag.

Conclusie gerealiseerd vermogen doublet (indien van toepassing)		
Gerealiseerd vermogen doublet		MW

Voorbeeld van systematiek

number of simulation runs (-) 1000 Calculate! Open Scenario Save Scenario Exit Program

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

Geotechnical input

A) Aquifer properties

Property	min	median	max
aquifer permeability (mD)	240	290	340
aquifer net to gross (-)	0.61	0.62	0.63
aquifer gross thickness (m)	164	165	166
aquifer top at producer (m TVD)	2077.0	2308	2539.0
aquifer top at injector (m TVD)	2048.0	2275	2503.0
aquifer water salinity (ppm)	114000	115000	116000

Property	value
aquifer kh/kv ratio (-)	10
surface temperature (°C)	10
geothermal gradient (°C/m)	0.030
[mid aquifer temperature producer (°C)]	0
[mid aquifer pressure at producer (bar)]	0.0
[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) 50

Producer	
outer diameter producer (inch)	6.125
skin producer (-)	0
penetration angle producer (deg)	45
skin due to penetration angle p (-)	-0.34

Injector	
outer diameter injector (inch)	6.125
skin injector (-)	0
penetration angle injector (deg)	45
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)
1	500	500	5	1.2
2	1054	1054	8.5	1.2
3	1930	1833	6.3	1.2
4	2482	2308	4.1	1.2
5				
6				
7				
8				

Segment	tubing segment sections i (m AH)	tubing segment depth i (m TVD)	tubing inner diameter i (inch)	tubing roughness i (milli-inch)
1	50	50	5	1.2
2	1054	1054	8.7	1.2
3	1930	1833	6.3	1.2
4	2454	2275	4.1	1.2
5				
6				
7				
8				

[] optional

Figuur 1: Invoerscherm van DoubletCalc waarbij de **gerealiseerde geologische parameters** zijn ingevuld. De **installatieparameters** zijn identiek aan de voorgestelde installatiespecificaties. Het gerealiseerde vermogen is in het outputscher hieronder af te lezen in de kolom 'base case (median value inputs)' (10.89 MW).



Figuur 2: Uitvoerscherm van DoubletCalc met de niet-geologische parameters van het waarborgscenario bij de goedkeuring van de waarborgaanvraag.

Gezien om gevoegd te worden bij het ministerieel besluit van 11 oktober 2018 houdende vaststelling van de richtlijnen en modellen in het kader van de waarborgregeling voor het opsporen en winnen van aardwarmte in de diepe ondergrond.

Brussel, 11 oktober 2018

De Vlaamse minister van Begroting, Financiën en Energie,

Bart TOMMELEIN

De Vlaamse minister van Omgeving, Natuur en Landbouw,

Joke SCHAUVLIEGE