

Date : 18/01/2019 Ref. 2019/RMA/1810173/001  
From : Broothaers Matsen Annexe(s): Zie achteraan  
To : Anthuenis M., Vandeneede J.  
Copy (CC) : /

---

Subject : Aanvullende nota bij de geologische rapportage voor het dossier van Janssen Pharmaceutica voor de Waarborgregeling

## Inleiding

Op 8 januari 2019 hebben VPO en TNO tijdens een overleg toelichting gegeven bij hun vragen en opmerking wat betreft de geologische onderbouwing voor de aanvraag van Janssen Pharmaceutica voor de Waarborgregeling. De vragen en opmerkingen zijn vervolgens gebundeld in een verslag. Er werden tijdens het overleg (en in het verslag) vragen gesteld over verscheidene aspecten van het geologisch dossier. Ze kunnen echter gegroepeerd worden onder de volgende vijf onderdelen:

1. Een te hoge maximale waarde en een te grote spreiding voor de netto dikte en transmissiviteit van het reservoir
2. Onduidelijkheid over de kwaliteit van de data uit Merksplas en Loenhout, en de selectie van de gebruikte putdata
3. De rangorde wat betreft betrouwbaarheid van de data voor de permeabiliteit
4. De wijze waarop de impact van de breukzone (in de productieput) is opgenomen
5. De gekozen spreiding voor de saliniteit

Na discussie tijdens het overleg, aangevuld met bijkomende studie, is besloten om een aanvullende nota op te stellen waarin verscheidene waarden zijn bijgesteld, en waarin bijkomende toelichting is opgenomen ter onderbouwing van de gemaakte keuzes. De onderbouwing vertrekt vanuit een herevaluatie van de permeabiliteitsdata en leidt tot herziene waarden voor de permeabiliteit en netto/bruto verhouding. Hiermee wordt beantwoord aan punten 1 t/m 3. Punten 4 en 5 worden afzonderlijk besproken.

## Onderbouwing

### Kwaliteit en selectie van data

In het geologische rapport zijn meerdere permeabiliteitswaarden opgesomd (tabel 10, p. 42). Niet alle boringen zijn echter representatief voor de locatie in beerse, niet alle waarden kunnen dus zomaar in rekening gebracht worden. De volgende paragrafen beschrijven welke boringen en permeabiliteitswaarden al dan niet representatief zijn. Tenslotte wordt aan de hand van een gewogen gemiddelde een minimum, gemiddelde en maximum waarde bepaald voor gebruik in de berekeningen (DoubletCalc).

### Selectie van representatieve boringen

De data uit Mol (niet opgenomen in de tabel) zijn niet representatief, aangezien het reservoir op deze locatie een stuk dieper ligt (> 3000 m) en er niet zomaar eenzelfde karst scenario aanwezig is. Ook voor Halen kan geargumenteed worden dat de sedimentatiegeschiedenis in dat deel van het bekken anders was (dikteverschillen). Voor Loenhout tenslotte zijn er weinig tot geen publieke data om de permeabiliteit in detail in te schatten. In de literatuur worden soms waarden vermeld, maar er zijn geen ruwe data of analyses om dat aan te toetsen. Dat maakt dat enkel de data uit Merksplas, Turnhout en Poederlee bruikbaar zijn.

### Evaluatie van data uit de geselecteerde boringen

Voor Poederlee hebben de putttesten aangetoond dat er vlakbij de put een lage permeabiliteit heerst (3-4 mD rekening houdende met een productief interval van 167 m), maar dat er op enkele tientallen meter afstand meer permeabele zones zijn. De kortere injectietest (1 uur) wijst op een permeabiliteit van 85 mD, de langere (11 uur) op een waarde van 375 mD.

Omerekend naar een netto dikte van 50 m komt dit neer op 13 mD vlakbij de put, en 284 tot 1253 mD verderaf.

Voor Turnhout zijn zeer weinig data beschikbaar (Gulinck, 1956) en de waarden van 635-1568-2500 mD (voor een interval van 46 m) lijken enkel indicatief. Herrekend naar een permeabele dikte van 50 m geeft dit volgende spreiding: 584-1443-2300 mD.

Voor Merksplas zijn resultaten gepubliceerd door Vandenberghe et al. (2000). Zij hebben acht waarden berekend, waarbij telkens een andere testfase is geanalyseerd en er ook twee datasets gebruikt zijn. Er waren immers verschillende druksensoren geïnstalleerd. De resultaten uit Vandenberghe et al. (2000) zijn in onderstaande tabel herhaald.

q	tp	m	Pwf	Plh	k	S	D Pa
113 m <sup>3</sup> /h = 17056 bbl / day	8 min	26,1 psi	---	---	0,3345 D	---	---
113 m <sup>3</sup> /h = 17056 bbl / day	8 min	8,7 psi	---	---	1,003 D	---	---
73 m <sup>3</sup> /h = 11020 bbl / day	1915 min	2,9 psi	148,6 bar = 2154,7 psi	160,8 bar = 23331,16 psi	1,945 D	63,37	11,03 bar
73 m <sup>3</sup> /h = 11020 bbl / day	1915 min	7,25 psi	148,6 bar = 2154,8 psi	2330,15 psi	0,778 D	25,1	10,92 bar
73 m <sup>3</sup> /h = 11020 bbl / day	1915 min	7,25 psi	2139 psi	2330 psi	0,778 D	24,11	10,49 bar
173 m <sup>3</sup> /h = 20681 bbl / day	5 min	46,4 psi	---	---	0,288 D	---	---
173 m <sup>3</sup> /h = 20681 bbl / day	5 min	20,3 psi	---	---	0,521 D	---	---
72 m <sup>3</sup> /h = 10869 bbl / day	720 min	2,9 psi	2156 psi	162 bar = 2349 psi	1,918 D	69,9	12,2 bar

Van de acht waarden zijn er echter vier bepaald op basis van een korte test, waarbij 5 tot 8 minuten is geproduceerd. De test werd afgebroken omdat de pomp afsloeg na het uitvallen van de stroom of omwille van een te laag waterniveau (Harito et al., 1983). Tijdens de korte productietijd was er echter nog geen stabiele situatie bereikt. Deze berekende waarden zijn dan ook weinig betrouwbaar en niet representatief. De andere vier waarden zijn berekend op basis van het herstel van het waterniveau (*recovery*) na een langere productietijd, van 12 en 32 uur. Enkel deze waarden zijn betrouwbaar.

Indien enkel de vier betrouwbare waarden van Vandenberghe et al. (2000) worden geselecteerd, dan variëren deze tussen 778 en 1945 mD, met een gemiddelde van 1355 mD. Hierbij houden Vandenberghe et al. (2000) steeds rekening met een productieve zone van 52 m. Herrekend naar 50 m geeft dit volgende spreiding: 809-1409-2023 mD.

Debiet (m³/h)	Duur test (min)	Berekende waarde (mD)	Betrouwbaar
113	8	335	neen
113	8	1003	neen
73	1915	1945	ja
73	1915	778	ja
73	1915	778	ja
173	5	288	neen
173	5	521	neen
72	720	1918	ja

### Gewogen gemiddelde

De putten van Turnhout en vooral van Merksplas worden als het meest representatief gezien voor de situatie in Beerse. Ze wijzen op een goede ontwikkeling van de verkarste zone in deze regio. Zeker wat betreft de put in Merksplas wordt een gelijkaardige geologische opbouw en geschiedenis verwacht. De locatie in Poederlee ligt al iets verderaf. In grote lijnen is ook daar de geologische geschiedenis hetzelfde, maar in detail kunnen er verschillen zijn. Vandaar dat besloten is om de data uit Merksplas een groter gewicht toe te kennen, en die uit Poederlee een kleiner gewicht.

De gewichten worden toegekend op basis van de afstand tussen de boring en de locatie in Beerse (*Inverse Distance Weighting*). Hierbij is het gewicht omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand. Voor de berekening van het gewogen gemiddelde wordt rekening gehouden met een zoekstraal van 20 km (*modified Shepard's method*). De afstand van 20 km rondom Beerse omvat het grootste deel van de Antwerpse Kempen (en het voorkomingsgebied van het reservoir daar). Naar het oosten en zuidoosten toe vallen datapunten in Mol en verderaf weg, maar het reservoir ligt daar dieper en de geologische situatie is dus verschillend.

De som van de gewogen waarden wordt vervolgens gedeeld door de som van de gewichten. De afstanden zijn opgenomen in km, de permeabiliteitswaarden zijn uitgerekend in mD rekening houdend met een productief interval van 50 m.

Het resultaat is een minimum waarde van 681 mD, een gemiddelde van 1344 mD en een maximum van 2062 mD. Deze waarden worden sterk bepaald door de gunstige waarden uit de meest nabijgelegen put (Merksplas) en ook de boring in Turnhout, die wijzen op het voorkomen van een goed ontwikkelde verkarste zone met hoge permeabiliteit.

	Merksplas	Turnhout	Poederlee	Gewogen gemiddelde
Afstand	4,8	6,0	9,7	
Gewicht	0.025069	0.013611	0,002819	
Minimum	809	584	13	681
Gemiddelde	1409	1443	284	1344
Maximum	2023	2300	1253	2062

### Impact breukzone

Om de positieve bijdrage van de breukzone in de productieput mee te rekenen in de inschatting van het thermisch vermogen is in het rapport een skin factor gebruikt. De breukzone heeft enkel effect in de productieput, niet in de injectieput. De impact ervan kan dan ook niet opgenomen worden door middel van een hogere permeabiliteit. De skin factor is een parameter die aangeeft of de doorstroming rondom de put (op korte afstand rond het contactvlak tussen put en reservoir) beter

of slechter is. In het geval van een breukzone zou lokaal een betere toestroom verwacht kunnen worden, wat zich vertaalt in een negatieve skin factor.

De skin factor is een eigenschap van de put, niet van het reservoir en wordt mede bepaald door de uitvoering van de boring. De skin factor wordt gezien als een technische, niet-geologische parameter en kan als dusdanig niet beschouwd worden als een geologisch risico dat mee kan verzekerd worden. Vandaar is besloten om geen skin factor in te roepen om het effect van de breukzone mee te rekenen. De oorspronkelijke waarde van -0,34 wordt vervangen door de standaard waarde van 0. Dit betekent dat enige bijdrage van de breukzone aan een betere toestrooming naar de put (en dus hogere productiviteit) niet opgenomen is in het voorgestelde scenario.

## Saliniteit

De gekozen spreiding voor de saliniteit werd als te breed gezien (100.000-165.000 ppm). Een hogere gemiddelde waarde zou ook vooropgesteld kunnen worden.

In Merksplas zijn meerdere analyses uitgevoerd op het water (Vandenberghie et al., 2000). De resultaten variëren tussen 120 g/l en 148 g/l, met een gemiddelde tussen 134 en 135 g/l. Dit gemiddelde komt overeen met de waarde gepubliceerd voor Turnhout (Gulinck, 1956). Op basis hiervan was oorspronkelijk een vrij ruime spreiding genomen, die omwille van afronding licht asymmetrisch is naar beneden toe.

Indien we de spreiding beter laten aansluiten bij de reële meetwaarden uit Merksplas, dan lijkt een minimum van 120 g/l en een maximum van 150 g/l beter. Enkele van de analyses in Merksplas zijn uitgevoerd op monsters genomen in de put ("downhole"), en deze waarden liggen iets hoger. In situ metingen zijn doorgaans betrouwbaarder: het water heeft nog maar een beperkte weg afgelegd vanuit de formatie en heeft dus nog weinig veranderingen ondergaan wat betreft chemische samenstelling (in tegenstelling tot stalen genomen aan het oppervlak, waarbij bijvoorbeeld reeds ontgassing heeft plaatsgevonden). Om het hogere zoutgehalte van deze analyses iets meer te laten doorwegen, stellen we voor om de gemiddelde waarde iets hoger in te schatten, namelijk op 140 g/l.

## Geactualiseerde invoertabel

Gewijzigde parameters zijn in geel gemarkeerd en de oorspronkelijke waarden zijn doorstreept weergegeven.

Aquifer laagpakketnaam		Kolenkalk Groep		
Geologische parameters met spreiding	Minimum	Verwacht	Maximum	Eenheid
Permeabiliteit	681 ( <del>300</del> )	1344 ( <del>1000</del> )	2062 ( <del>2300</del> )	mD
Bruto dikte watervoerendepakket met spreiding	450	500	550	m
Netto/bruto percentage watervoerende pakket met spreiding	9,9 ( <del>14</del> )	10,0 ( <del>15</del> )	10,1 ( <del>16</del> )	%
Zoutgehalte (Total Dissolved Solids)	120.000 ( <del>100.000</del> )	140.000 ( <del>134.000</del> )	150.000 ( <del>165.000</del> )	ppm
Diepte top aquifer injectieput	1439	1599	1759	m
Diepte top aquifer productieput	1466	1629	1792	m
Geologische parameters zonder spreiding				
Geothermische gradiënt	35,5			°C/m
Gemiddelde oppervlaktetemperatuur	10			°C
k <sub>v</sub> /k <sub>h</sub> ratio van de aquifer	1			-

Niet-geologische parameters: Putspecificatie		
Verbuizingsschema productieput; dieptes van de segmenten in m AH en TVD	500 (500) – 1169 (1153) – 1742 (1629)	m
Binnendiameter opvoerbuis per segment	7,724 – 12,516 – 8,681	Inch
Ruwheid opvoerbuis per segment	1,8 – 1,8 – 1,8	Milli-inch
Diameter boorgat productieput op aquiferniveau	8 ½	Inch
Skin (weerstand rond putmond) productieput *	0 (-0,34)	-
Inclinatorie put-aquifer traject productieput	54	°
Verbuizingsschema injectieput; dieptes van de segmenten in m AH en TVD	100 (100) – 1150 (1055) – 1832 (1599)	m
Binnendiameter opvoerbuis per segment	9,5 – 12,516 – 8,681	Inch
Ruwheid opvoerbuis per segment	1,8 – 1,8 – 1,8	Milli-inch
Diameter boorgat injectieput op aquiferniveau	8 ½	Inch
Skin (weerstand rond putmond) injectieput *	0	-
Inclinatorie put-aquifer traject injectieput	37	°

Niet-geologische parameters: pomp en doubletspecificatie		
Injectietemperatuur	55	°C
Afstand tussen productie- en injectieput op aquiferniveau	1720	m
Pompefficiëntie	0,7	Frac
Afhangdiepte pomp in productieput	500	m
Opgelegd drukverschil pomp	60	bar

## Beknopte toelichting bij de gewijzigde parameters

### Permeabiliteit

Voor de permeabiliteit zijn zowel de minimum, mediaan als maximum waarde gewijzigd. De gekozen waarden zijn een gewogen gemiddelde (op basis van afstand, *Inverse Distance Weighting*) van de waarden uit Merksplas, Turnhout en Poederlee. Hierbij is het gewicht omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand.

Voor Merksplas zijn enkel de meest betrouwbare data behouden (op basis van de duur van de test).

	Minimum	Gemiddeld	Maximum
Oorspronkelijk	300	1000	2300
Actueel	681	1344	2062

### Netto/bruto percentage

Het netto/bruto percentage is naar beneden bijgesteld. Oorspronkelijk waren waarden opgenomen tussen 14% en 16% (mediaan van 15%), aangezien er argumenten waren voor het voorkomen van bijkomende permeabele zones in het reservoir. In de huidige inschatting zijn de gemiddelde transmissiviteitswaarden uit Merksplas en Turnhout in lijn met de waarden afgeleid uit de temperatuursmodellen. De gekozen waarden zijn naar beneden aangepast (9,9-10-10,1%). In combinatie met de bruto dikte (450-500-550 m) leidt dit tot een netto dikte tussen 44,5 en 55,5 m.

	Minimum	Gemiddeld	Maximum
Oorspronkelijk	0,14	0,15	0,16
Actueel	0,099	0,100	0,101

## Zoutgehalte

Voor het zoutgehalte is de spreiding beperkt, zodat de waarden meer in overeenstemming zijn met de in de realiteit gemeten waarden. Het minimum is gelegd op 120.000 ppm (120 g/l is de minimale waarde uit Merksplas). De maximale waarde van 150.000 ppm ligt iets boven het maximum uit Merksplas (148 g/l). Voor het gemiddelde is een waarde van 140.000 ppm gekozen, om de “downhole” waarden uit Merksplas iets meer te laten doorwegen.

	Minimum	Gemiddeld	Maximum
Oorspronkelijk	100.000	134.000	165.000
Actueel	120.000	140.000	150.000

## Skin productieput

Voor de productieput is de oorspronkelijke skin factor van -0,34 vervangen door een neutrale waarde van 0 (standaard waarde). Er wordt dus geen positief effect of bijdrage van een breukzone (op de doorstroming in het reservoir) opgenomen in de berekening.

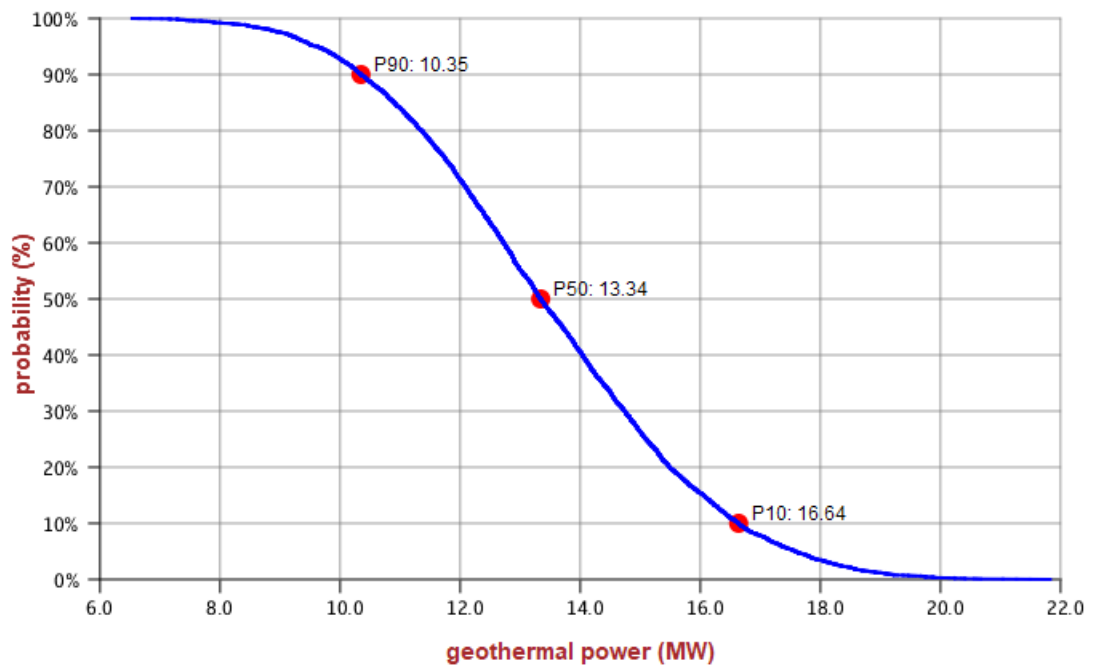
De standaard berekende skin factor als gevolg van de deviatie van de put blijft uiteraard behouden.

	Waarde
Oorspronkelijk	-0,34
Actueel	0

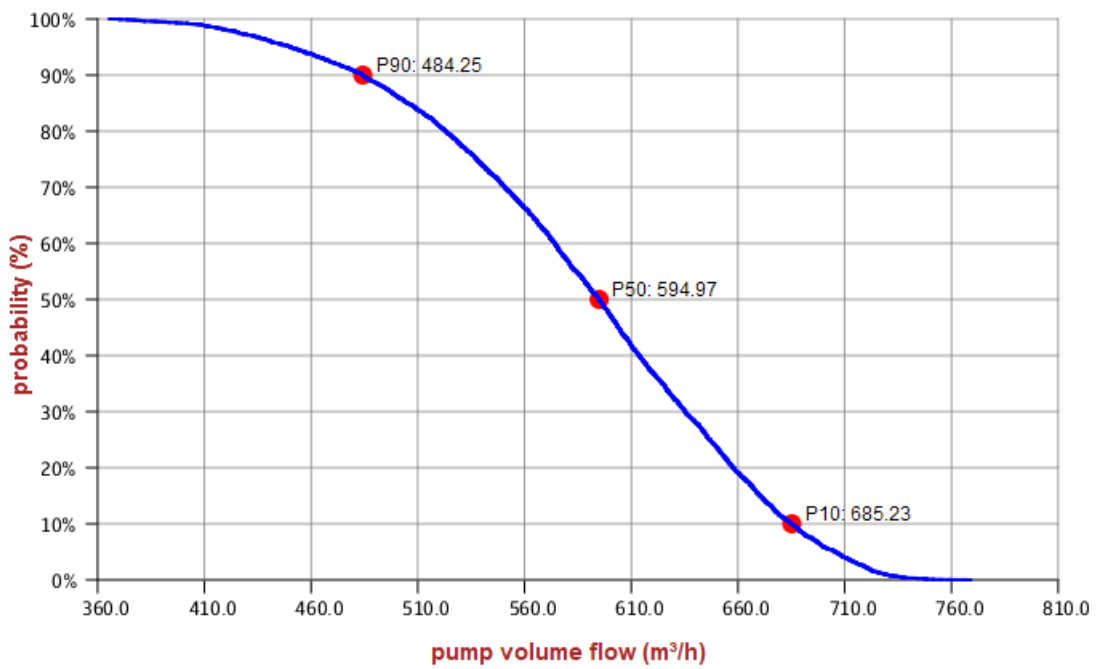
## Geactualiseerde resultaten

Geactualiseerde P<sub>90</sub> waarde van 10,4 MW voor het thermisch vermogen en 484 m<sup>3</sup>/h voor het debiet.

Property	min	median	max	Monte Carlo cases (stochastic inputs)	P90	P50	P10
aquifer permeability (mD)	681.0	1344.0	2062.0	aquifer kH net (Dm)	48.8	67.16	87.36
aquifer net to gross (-)	0.1	0.1	0.1	mass flow (kg/s)	144.73	177.94	204.68
aquifer gross thickness (m)	450.0	500.0	550.0	pump volume flow (m³/h)	484.3	595.0	685.2
aquifer top at producer (m TVD)	1466.0	1629.0	1792.0	required pump power (kW)	1153.0	1416.6	1631.5
aquifer top at injector (m TVD)	1439.0	1599.0	1759.0	geothermal power (MW)	10.35	13.34	16.64
aquifer water salinity (ppm)	120000.0	140000.0	150000.0	COP (kW/kW)	8.2	9.6	11.0
Property	value			aquifer pressure at producer (bar)	157.77	167.68	177.79
number of simulation runs (-)	5000.0			aquifer pressure at injector (bar)	155.07	164.46	173.95
aquifer kh/kv ratio (-)	1.0			pressure difference at producer (bar)	16.0	18.09	20.28
surface temperature (°C)	10.0			pressure difference at injector (bar)	24.38	27.57	30.85
geothermal gradient (°C/m)	0.0355			aquifer temperature at producer * (°C)	73.51	76.7	79.95
[ mid aquifer temperature producer (°C) ]	0.0			temperature at heat exchanger (°C)	73.07	76.25	79.47
inital aquifer pressure at producer (bar) ]	0.0						
[ initial aquifer pressure at injector (bar) ]	0.0						
exit temperature heat exchanger (°C)	55.0						
distance wells at aquifer level (m)	1720.0						
pump system efficiency (-)	0.7						
production pump depth (m)	500.0						
pump pressure difference (bar)	60.0						
outer diameter producer (inch)	8.5						
skin producer (-)	0.0						
skin due to penetration angle p (-)	-2.58						
pipe segment sections p (m AH)	500.0,1169.0,1742.0						
pipe segment depth p (m TVD)	500.0,1153.0,1629.0						
pipe inner diameter p (inch)	7.72,12.52,8.68						
pipe roughness p (milli-inch)	1.8,1.8,1.8						
outer diameter injector (inch)	8.5						
skin injector (-)	0.0						
skin due to penetration angle i (-)	-0.45						
pipe segment sections i (m AH)	100.0,1150.0,1832.0						
pipe segment depth i (m TVD)	100.0,1055.0,1599.0						
pipe inner diameter i (inch)	9.5,12.52,8.68						
pipe roughness i (milli-inch)	1.8,1.8,1.8						

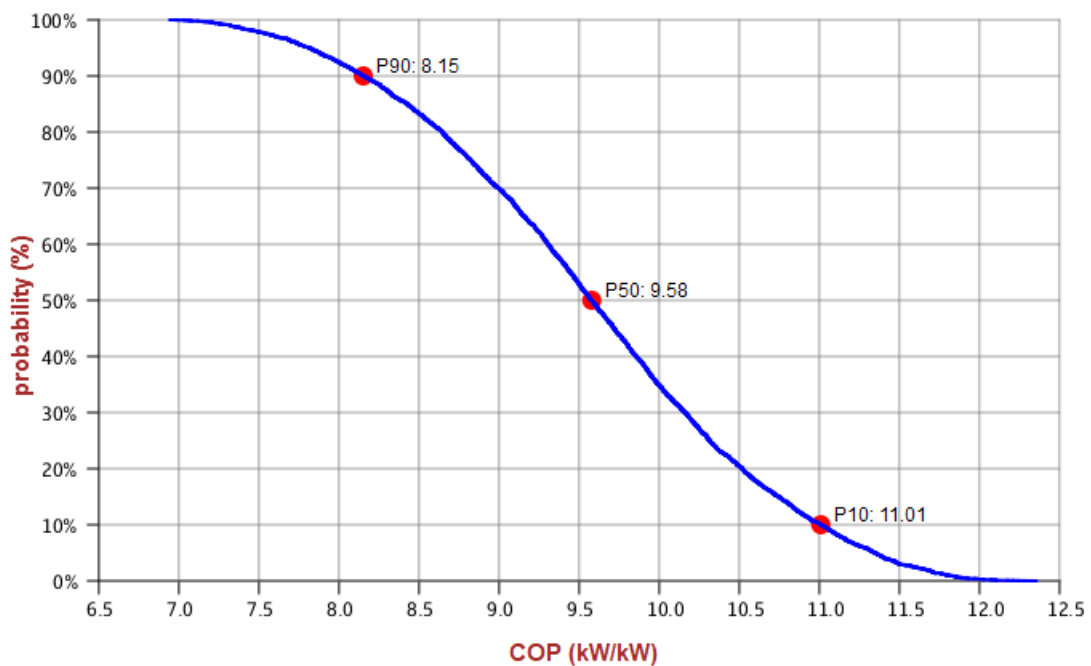


Overschrijdingskansgrafiek voor het thermisch vermogen.



Overschrijdingskansgrafiek voor het debiet.





*Overschrijdingskansgrafiek voor de COP.*

## Referenties

Gulinck M., 1956. Caracteristiques hydrogeologiques du sondage de Turnhout. Communication de l'Observatoire Royal de Belgique, n° 108, serie Geophysique, n° 37, p. 1-6.

Harito J., Grappe J. & Noé J.M., 1983. Sondage de reconnaissance géothermique de Merksplas. Rapport d'interprétation de l'essai de production d'eau de longue durée. Rapport Géostock GK/DT/84/026, 19p.

Laenen B., van Tongeren P., Dreesen R., De Koninck R. & Hildenbrand A., 2005. Re-evaluation of the gas storage potential of the Poederlee structure. VITO rapport 2005/MAT/R/214, 87p.

Vandenbergh N., Dusar M., Boonen P., Lie S.F., Voets R. & Bouckaert J., 2000. The Merksplas-Beerse geothermal well (17W265) and the Dinantian reservoir. Geologica Belgica 3, 349-367.

## Bijlagen

1. Janssen\_AanvullendeNota\_Bijlage1\_BerekeningGewogenGemiddelde: excel bestand met berekening van de gewichten en het gewogen gemiddelde voor de permeabiliteit
2. Janssen\_AanvullendeNota\_Bijlage2\_BaseCase: csv bestand met uitvoer uit DoubletCalc van de base case details
3. Janssen\_AanvullendeNota\_Bijlage3\_ProbabilisticPlots: csv bestand met uitvoer uit DoubletCalc van de verschillende runs waaruit de overschrijdingskansgrafieken zijn gemaakt

4. Janssen\_AanvullendeNota\_Bijlage4\_Fingerprinting: csv bestand met uitvoer uit DoubletCalc i.v.m. fingerprinting
5. Janssen\_AanvullendeNota\_Bijlage5\_Gulinck1956: pdf bestand met de publicatie van Guinck (1956) over Turnhout
6. Janssen\_AanvullendeNota\_Bijlage6\_Haritoetal1983: pdf bestand van het verslag van Harito et al. (1983) over de productietesten in Merksplas
7. Janssen\_AanvullendeNota\_Bijlage7\_Vandenbergheetal2000: pdf bestand van de publicatie van Vandenberghe et al. (2000) over Merksplas