

## Reactie op het advies van TNO over de SEI aanvraag voor het project De Lier

August 2013

## Authors

Andrew van de Weerd  
Pieter van den Heuvel  
Laura van Leeuwen  
Hamidreza Salimi

PanTerra Geoconsultants B.V.  
Weversbaan 1-3  
2352 BZ Leiderdorp  
The Netherlands  
T +31 (0)71 581 35 05  
F +31 (0)71 301 08 02  
info@panterra.nl

This report contains analysis opinions or interpretations which are based on observations and materials supplied by the client to whom, and for whose exclusive and confidential use, this report is made. The interpretations or opinions expressed represent the best judgement of PanTerra Geoconsultants B.V. (all errors and omissions excepted). PanTerra Geoconsultants B.V. and its officers and employees, assume no responsibility and make no warranty or representations, as to the productivity, proper operations, or profitableness of any oil, gas, water or other mineral well or sand in connection which such report is used or relied upon.

# 1 Introductie

In de toelichting op het advies van TNO voor de SEI aanvraag voor het project De Lier wordt per geologische parameter besproken of en waarom er verschil van inzicht is tussen de opvatting van TNO en van PanTerra. In deze notitie geeft PanTerra commentaar op de parameters die door TNO zijn gebruikt, waar deze afwijken van de inschattingen van PanTerra.

PanTerra is graag bereid om de verschillen van inzicht ook in een meeting met TNO toe te lichten en te bespreken.

## 2 Commentaar

### 2.1 Permeabiliteit

TNO heeft zijn waarden voor lage en verwachte permeabiliteit gebaseerd op een eigen analyse van 14 boringen in het Westland. PanTerra heeft geen inzicht in de door TNO gebruikte methodieken, en kan daar ook geen commentaar op leveren. Wel wil PanTerra aantekenen dat de gemiddelde permeabiliteit in een put het beste berekend kan worden door over de lengte van het reservoir een permeabiliteitscurve te berekenen (gebruik makend van de por-perm relatie uit kerngegevens), en deze permeabiliteitscurve te middelen over het net reservoir. In de tekst op pagina vier lijkt TNO aan te geven dat de permeabiliteit werd bepaald door een gemiddelde porositeit in de por-perm relatie in te voeren, wat ons inziens niet correct zou zijn.

De verwachte waarde van 700 mD zoals door PanTerra gebruikt is, zoals TNO vermoedt, inderdaad gebaseerd op de middeling van de lage waarde, gebaseerd op kerngegevens, met de hoge waarde gebaseerd op de put test. PanTerra hecht grote waarde aan de uitkomst van de put test, omdat het een onafhankelijke meeting betreft van de gemiddelde “in situ” permeabiliteit van het reservoir in kwestie. De permeabiliteit berekend uit kerngegevens is indirect, en brengt een groter aantal onzekerheden met zich mee, zoals representativiteit van de dataset, onzekerheden over schoonmaken van de pluggen, correctiefactoren voor de compactie van de pluggen en aanwezigheid van klei, en de juistheid van de relatie tussen porositeit en permeabiliteit. Vandaar dat PanTerra voor de verwachte permeabiliteit heeft gekozen voor een middeling van de verwachte permeabiliteit afgeleid uit de kerngegevens met de permeabiliteit uit de put test.

TNO geeft twee mogelijke hypothesen waarmee de hoge permeabiliteit uit de put test kan worden verklaard. Met betrekking tot de eerste hypothese wil PanTerra aantekenen dat vorming van breukjes tijdens het boorproces geen waarschijnlijke verklaring is voor de hoge permeabiliteit: aangezien deze zich slechts in de nabijheid van de put zullen vormen zouden dergelijke breukjes wel de skin kunnen verlagen, maar niet de gemiddelde reservoir permeabiliteit geanalyseerd uit de put test.

### 2.2 Saliniteit

TNO gebruikt gedetailleerde wateranalyses uit HON-GT-01, HON-GT-02 en HAG-GT-01 voor de berekening van de saliniteit. PanTerra heeft de rapporten van BWG Geochemische Beratung “Geochemical investigations of water and solid samples at Honselersdijk GT 1 during the hydraulic test on 07-08 March 2012” en “Geochemical investigations of water and solid samples at Honselersdijk GT 2 during the hydraulic test on 02 May 2012” gebruikt. Gezien de onzekerheden en uitgebreidere dataset gebruikt door TNO heeft PanTerra geen bezwaar tegen door TNO gebruikte waarden.

## 2.3 Kh-Kv ratio

Aangezien de reservoir engineer bij PanTerra niet Nederlands is, het dit onderdeel in het engels.

With regard to the  $k_h/k_v$  value suggested by TNO, two aspects are addressed, viz., reservoir geology and well configuration.

At small scales (e.g., in one layer), permeability fields are approximately isotropic (i.e.,  $k_h/k_v \approx 1$ ). As the scale becomes larger and includes more layers, the permeability fields would become anisotropic (i.e.,  $k_h/k_v \neq 1$ ). When a reservoir is homogeneous, the  $k_h/k_v = 1$ , whereas when there are less permeable layers (e.g., shale layers), this ratio becomes larger than one (i.e.,  $k_h/k_v > 1$ ). The extent to which this ratio becomes larger depends on geology of the reservoir.

Well configuration:

For vertical wells, the vertical permeability ( $k_v$ ) does not play a role in well inflow. However, for inclined wells, the  $k_v$  contribute to well inflow. If the vertical permeability would be lower than the horizontal permeability (i.e.,  $k_h/k_v > 1$ ), the low  $k_v$  reduces well inflow, but at the same time, the perforation length becomes larger because of the inclined length of the well (larger contact with the reservoir). This increase in the perforation length compensates the negative effect of a low  $k_v$ .

When the entire height of the reservoir is open to flow, the anisotropy becomes irrelevant. This is because firstly, each individual layer separately contributes to well inflow and as long as the horizontal permeability would be high enough, cross flow between layers is not needed. Secondly, the ratio between the horizontal permeability and the vertical permeability in each layer is close to one (i.e.,  $k_h/k_v \approx 1$ ).

In summary, a  $k_h/k_v$  value between 1 and 2 ( $1 \leq k_h/k_v \leq 2$ ) is suggested.

## 2.4 Geothermische gradiënt

Zoals TNO stelt, had PanTerra inderdaad geen toegang tot de petrophysische evaluatie van de HON-GT-01 en HON-GT-02 putten, en PanTerra heeft zelf geen evaluatie uitgevoerd. De waarde van gebruikte waarde van 0.033 °C/m voor de geothermische gradiënt kwam uit de quick look van T&A survey.

Naar aanleiding van het TNO advies heeft PanTerra nadere studie gedaan naar de gradiënt. Aanleiding was ook het gegeven dat het door Greenwell Westland geproduceerde water een temperatuur heeft van 86 °C bij de warmtewisselaars, waarbij al afkoeling heeft plaatsgevonden (geïsoleerde wellhead en filterinstallatie en verlies over de ontgassertank). De aquifer temperatuur moet dus hoger zijn dan de 86 graden gebruikt door TNO.

Teruggaand naar de ruwe data van de put test van HON-GT-02 blijkt dat de sensor op 1750 m tijdens de flow test een temperatuur heeft geregistreerd van 90.44 °C. Deze waarde kan als een minimale aquifer temperatuur worden beschouwd. Verschillende scenarios zijn gebruikt voor de TVD diepte.

De screen bevindt zich over zowel de Rijswijk als een deel van de Delft Zandsteen in deze put. Als er wordt aangenomen dat het testwater uit de Rijswijk Zandsteen komt (mid Rijswijk = 2307.5 m TVD) is de geothermische gradiënt 0.0349 °C/m, bij een gemiddelde temperatuur van 10 °C aan het aardoppervlak. Wanneer het water uit de Delft Zandsteen komt (mid Delft = 2475.5 m TVD) is de geothermische gradiënt 0.0325 °C/m. Als mid screen wordt gebruikt om de geothermische gradiënt te berekenen is dit 0.0339 °C/m. Omdat de Rijswijk Zandsteen erg dun is in vergelijking met de Delft Zandsteen verwachten we dat het meeste water uit de Delft Zandsteen komt, daardoor verwacht PanTerra dat de geothermische gradiënt ongeveer 0.033 °C/m is.

## 2.5 Put architectuur

De putontwerpen zijn aangepast nadat het geologische rapport van PanTerra ingediend is. Dit nieuwe putontwerp is dus niet in de DoubletCalc berekeningen meegenomen.

# Geotechnical input

## A) Aquifer properties

Property	min	median	max
aquifer permeability (mD)	250	700	1200
aquifer net to gross (-)	0.7	0.78	0.8
aquifer gross thickness (m)	55	95	140
aquifer top at producer (m TVD)	2102.0	2336	2570.0
aquifer top at injector (m TVD)	2085.0	2317	2549.0
aquifer water salinity (ppm)	102000	113000	125000

Property	value
aquifer kh/kv ratio (-)	2
surface temperature (°C)	10.0
geothermal gradient (°C/m)	0.033
[ mid aquifer temperature producer (°C) ]	0.0
[ aquifer pressure at producer (bar) ]	0.0
[ aquifer pressure at injector (bar) ]	0.0

## B) Doublet and pump properties

Property	value
exit temperature heat exchanger (°C)	35
distance wells at aquifer level (m)	1500
pump system efficiency (-)	0.61
production pump depth (m)	500.0
pump pressure difference (bar)	50

## C) Well properties

segment length (m)

Producer				
outer diameter producer (inch)		8.5		
skin producer (-)		0		
penetration angle producer (deg)		40		
skin due to penetration angle p (-)		-0.37		
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	8.5	1.8
2	1013	1013	12.25	1.8
3	2567	2286	8.5	1.8
4	2617	2336	5.625	1.8
5				

Injector				
outer diameter injector (inch)		8.5		
skin injector (-)		0		
penetration angle injector (deg)		40		
skin due to penetration angle i (-)		-0.37		
Segment	tubing segment sections i (m AH)	tubing segment depth i (m TVD)	tubing inner diameter i (inch)	tubing roughness i (milli-inch)
1	1013	1013	12.25	1.8
2	2542	2267	8.5	1.8
3	2592	2317	5.625	1.8
4				
5				

Figure 1 Input parameters PanTerra

## Geotechnics (Input)

Property	min	median	max
aquifer permeability (mD)	250.0	700.0	1200.0
aquifer net to gross (-)	0.7	0.78	0.8
aquifer gross thickness (m)	55.0	95.0	140.0
aquifer top at producer (m TVD)	2102.0	2336.0	2570.0
aquifer top at injector (m TVD)	2085.0	2317.0	2549.0
aquifer water salinity (ppm)	102000.0	113000.0	125000.0

Property	value
number of simulation runs (-)	1000.0
aquifer kh/kv ratio (-)	2.0
surface temperature (°C)	10.0
geothermal gradient (°C/m)	0.033
[ mid aquifer temperature producer (°C) ]	0.0
[ aquifer pressure at producer (bar) ]	0.0
[ aquifer pressure at injector (bar) ]	0.0
exit temperature heat exchanger (°C)	35.0
distance wells at aquifer level (m)	1500.0
pump system efficiency (-)	0.61
production pump depth (m)	500.0
pump pressure difference (bar)	50.0
outer diameter producer (inch)	8.5
skin producer (-)	0.0
skin due to penetration angle p (-)	-0.37
tubing segment sections p (m AH)	500.0,1013.0,2567.0,2617.0
tubing segment depth p (m TVD)	500.0,1013.0,2286.0,2336.0
tubing inner diameter p (inch)	8.5,12.25,8.5,5.63
tubing roughness p (milli-inch)	1.8,1.8,1.8,1.8
outer diameter injector (inch)	8.5
skin injector (-)	0.0
skin due to penetration angle i (-)	-0.37
tubing segment sections i (m AH)	1013.0,2542.0,2592.0
tubing segment depth i (m TVD)	1013.0,2267.0,2317.0
tubing inner diameter i (inch)	12.25,8.5,5.63
tubing roughness i (milli-inch)	1.8,1.8,1.8

## Geotechnics (Output)

Monte Carlo cases (stochastic inputs)	P90	P50	P10
aquifer kH net (Dm)	31.51	50.09	74.94
mass flow (kg/s)	78.14	108.01	135.26
pump volume flow (m³/h)	267.9	369.6	463.5
required pump power (kW)	609.9	841.6	1055.3
geothermal power (MW)	14.6	20.83	27.04
COP (kW/kW)	22.9	24.9	26.8

base case (median value inputs)	value
aquifer kH net (Dm)	51.87
mass flow (kg/s)	110.28
pump volume flow (m³/h)	377.7
required pump power (kW)	859.9
geothermal power (MW)	21.41
COP (kW/kW)	24.9

Aquifer Pressure at producer (bar)	237.33
Aquifer Pressure at Injector (bar)	235.45
Pressure difference at producer (bar)	14.74
Pressure difference at Injector (bar)	27.67
Aquifer temperature at producer (°C) *	88.66
Temperature at heat exchanger (°C)	87.58

\* @ mid aquifer depth

Figure 2 DoubetCalc resultaten PanTerra

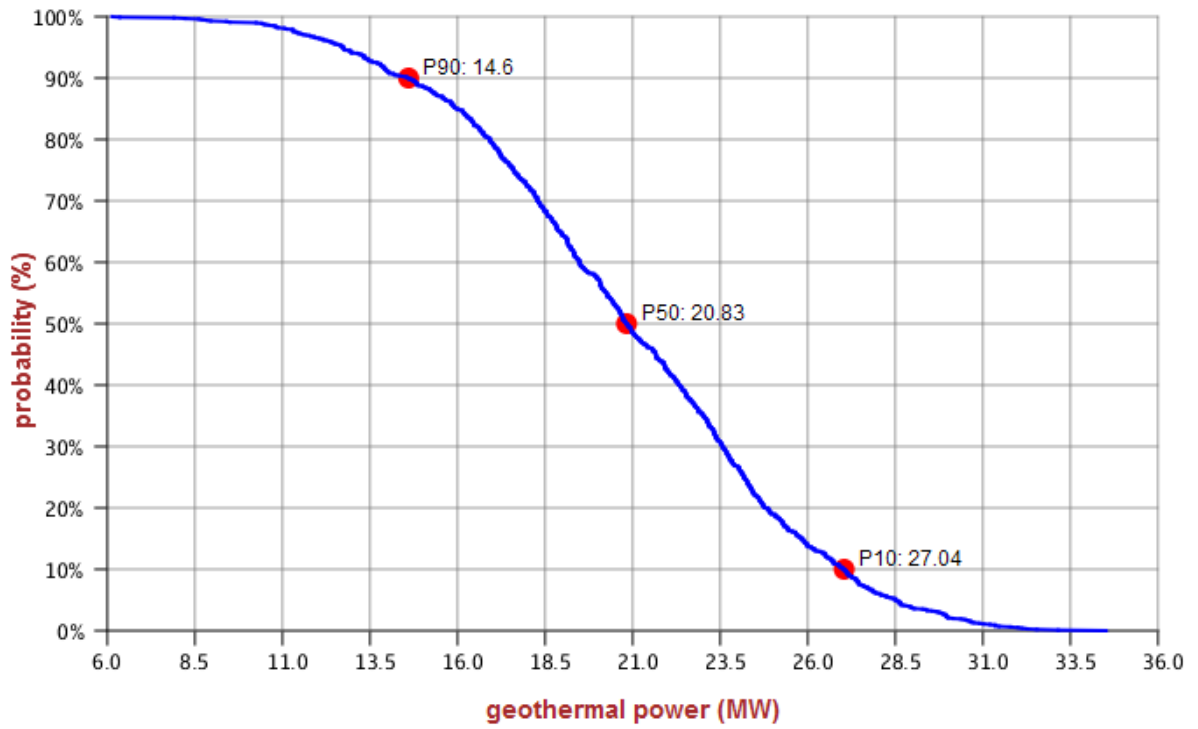


Figure 3 Overschrijdingskans grafiek van het verwachte vermogen PanTerra

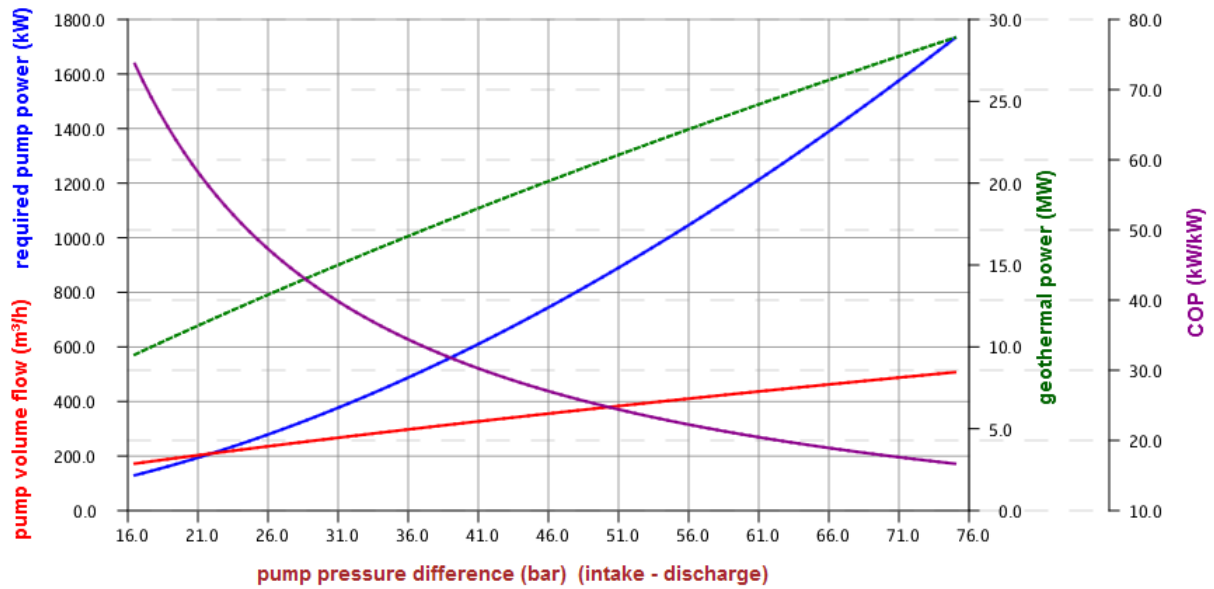


Figure 4 Fingerprinting graph PanTerra