

Notitie TNO VERTROUWELIJK

Aan  
[REDACTED]Van  
[REDACTED]**Onderwerp**Effect van perforatie skin op injectiedruk berekening geothermisch systeem  
Oostvoorne**Vraagstelling**

EZK heeft TNO-AGE gevraagd (uw e-mail d.d. 2 augustus 2021) uitspraak te doen over het verzoek van Hydreco GeoMEC B.V. (hierna: Hydreco), de operator van het geothermisch systeem Oostvoorne, om een hogere injectiedruk toe te kennen in het instemmingsbesluit op het ingediende winningsplan dan de door TNO-AGE en SodM geadviseerde maximale injectiedruk. Dit vanwege het skin effect dat op zou treden door de perforaties in de reservoirsectie van de injectieput. Hydreco heeft dit toegelicht tijdens een presentatie (d.d. 20 april 2021) en heeft op 2 augustus 2021 een rapportage aangeleverd van de puttest [1] waaruit dit skin effect is afgeleid. TNO-AGE heeft deze rapportage beoordeeld en meegenomen bij het beantwoorden van deze vraag van EZK.

**Conclusie**

TNO-AGE kan zich vinden in de onderbouwing van Hydreco m.b.t. het skin effect van de perforaties op de injectiedruk aan de putmond (THP). Dat houdt in dat de THP injectiedruk die nodig is om het maximale debiet van 300 m<sup>3</sup>/uur op te leggen en waarbij het drukverschil op het reservoir maximaal 40 bar is, hoger is dan vermeld in het advies [2] en door TNO-AGE in deze notitie is bepaald op **43,1 bar**. Hierin is het skin effect door de perforaties meegenomen, zoals bepaald in de puttest evaluatie [1] en toegelicht door Hydreco in hun presentatie [3]. Voor de maximale THP injectiedruk voor lagere debieten is in deze notitie een tabel opgesteld. TNO-AGE geeft ter overweging mee om in te stemmen met de in deze notitie bepaalde maximale THP injectiedruk. Deze waarden wijken af van de tabel die door Hydreco is voorgesteld in [3].

**Wat is skin?**

De term "skin" zoals die wordt gebruikt als eigenschap van een put is een dimensieloos getal die de mate van weerstand tegen de stroming van een bepaalde stof door de put in het reservoir (of andersom) representeert, in dit geval water. De skin kan een positieve of negatieve waarde hebben.

Als de skin negatief is, zijn er factoren aanwezig die ervoor zorgen dat de stroming van water makkelijker gaat t.o.v. de onverstoorde situatie. Een voorbeeld hiervan zijn scheurtjes in het reservoirgesteente die ervoor zorgen dat water makkelijker het gesteente in stroomt dan wanneer die scheurtjes niet aanwezig zijn en het gesteente nog in maagdelijke conditie verkeert. Deze scheurtjes zorgen er dus

Princetonlaan 6  
3584 CB Utrecht  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56  
F +31 88 866 44 75**Datum**

13 augustus 2021

**Onze referentie**

AGE 21-10.063

**Contactpersoon**  
[REDACTED]**E-mail**

[REDACTED]@tno.nl

**Datum**  
13 augustus 2021**Onze referentie**  
AGE 21-10.063**Blad**  
2/4

voor dat er een kleiner drukverschil nodig is om een bepaald debiet op te leggen t.o.v. de onverstoorde situatie.

Als de skin positief is, zijn er factoren aanwezig die ervoor zorgen dat de stroming van water moeilijker gaat t.o.v. de onverstoorde situatie. In dat geval zorgen deze factoren er dus voor dat een hoger drukverschil nodig is om een bepaald debiet op te leggen t.o.v. de onverstoorde situatie. Voorbeelden hiervan zijn: verstopping van de poreuze ruimte in het reservoirgesteente rondom de put, slechts gedeeltelijk contact van de put met het reservoir, wrijving langs de verbuizing van de put en turbulente stroming in de perforaties van de reservoirsectie.

### **Skin effect door perforaties**

Het laatste voorbeeld, turbulente stroming in de perforaties van de reservoirsectie, kan optreden in het geval de reservoirsectie van een put is afgewerkt met een gecementeerde liner waarin gaten (perforaties) zijn geschoten. Het water kan, in geval van een injectieput, door deze perforaties het reservoir in worden gepompt. Perforaties zijn dunne, langgerekte gaten. De hoeveelheid en afmeting van de perforaties die worden aangebracht dient groot genoeg te zijn om het geplande debiet goed te accommoderen. Indien dit niet het geval is kan turbulente stroming ontstaan in deze langgerekte gaten. Turbulente stroming zorgt voor een belemmering van de toestroom van water in het reservoir. Een goede analogo voor dit effect is een volle bioscoopzaal die leegstroomt als een film afgelopen is. Als er slechts één deur open is zal dit erg moeizaam gaan met veel getrek en geduw, maar als er meerdere deuren open zijn zullen de mensen rustiger en ook sneller de zaal kunnen verlaten. En hoe hoger het debiet, dus hoe meer mensen in de zaal, hoe groter het weerstandseffect.

### **Argumentatie Hydreco**

Hydreco beargumenteerde in de presentatie van 20 april 2021 [3] dat dit effect optreedt in de injectieput van het geothermisch systeem Oostvoorne en dat de THP injectiedruk die nodig is om het beoogde debiet te injecteren hoger is dan geadviseerd door TNO-AGE [2]. Deze perforatie skin is niet in de adviezen meegenomen omdat dit niet helder is verwoord in het ingediende winningsplan. Pas tijdens de presentatie op 20 april [3] kwam dit duidelijk naar voren. Op slide 6 van deze presentatie [3] wordt een tabel gegeven met een maximale THP variërend met debiet. Aan het maximale debiet van 300 m<sup>3</sup>/uur is door Hydreco een maximale THP gekoppeld van 67,5 bar. Deze THP waarde is gebaseerd op het injectieprotocol [4].

### **Beoordeling door TNO-AGE**

Zoals hierboven vermeld is het skin effect van de perforaties niet meegenomen in de adviezen van TNO-AGE [2] en SodM omdat dit niet helder verwoord is in het winningsplan. Ook uit de puttest rapportage die tijdens de beoordelingsprocedure van het winningsplan is meegestuurd was dit niet op te maken omdat daarin alleen de ESP data was geëvalueerd. Daaruit is dit effect niet af te leiden. Op 2 augustus 2021 heeft Hydreco ter onderbouwing van de presentatie van 20 april nog een puttest rapportage [1] opgestuurd. In deze rapportage is de data geëvalueerd van de druksensor die op reservoirdiepte was geplaatst. Deze data is nauwkeuriger en hieruit kan dit skin effect wel worden afgeleid.

TNO VERTROUWELIJK

Omdat TNO-AGE op het moment van schrijven niet beschikt over de ruwe data van de diepe sensor kan slechts een kwalitatieve beoordeling worden uitgevoerd van de aangeleverde rapportage en bevindingen van Hydreco.

TNO-AGE kan zich vinden in de interpretaties zoals beschreven in de rapportage. De kwaliteit van de data is goed, net zoals de match tussen het model en de data. Uit het model volgt de debietsafhankelijke skin die gerelateerd is aan de perforaties. Deze is door Hydreco bepaald op  $0,009 \text{ (m}^3/\text{uur)}^{-1}$ . Bij een debiet van  $300 \text{ m}^3/\text{uur}$  resulteert dit in een skin van 2,7, wat gelijk is aan een drukverlies van BHP naar het reservoir van 10,6 bar. Ofwel, door het effect van de perforaties is 10,6 bar meer THP injectiedruk nodig om een debiet van  $300 \text{ m}^3/\text{uur}$  geïnjecteerd te krijgen t.o.v. een onverstoorde situatie. Dit rechtvaardigt dus een hogere THP injectiedruk dan die berekend in de adviezen.

De maximale THP injectiedruk die Hydreco opgeeft in de presentatie [3] is 67,5 bar bij een debiet van  $300 \text{ m}^3/\text{uur}$ . Hydreco gaat uit van een maximale injectie verschilddruk op reservoirdiepte van 40 bar. Dit betekent dat het drukverschil ten gevolge van skin 35 bar bedraagt (slide 6 in [3]). Het skin effect van de perforaties is echter door Hydreco vastgesteld op 10,6 bar bij  $300 \text{ m}^3/\text{uur}$ . Dit bleek uit de bepaling van de Instantaneous Shut-In Pressure (ISIP), die later ook door Fenix Consulting Delft is bevestigd. Dit is aanzienlijk lager dan de 35 bar verschilddruk t.g.v. skin, die wordt gebruikt bij de bepaling van de maximale THP injectiedruk. Het resterende drukverschil ( $35 - 10,6 = 24,4 \text{ bar}$ ) zou in dat geval ten gevolge zijn van eventueel toekomstige mechanische skin door bijvoorbeeld vervuiling van het boorgat. Op dit moment is deze skin niet aanwezig, zo blijkt uit de puttest evaluatie. TNO-AGE is van mening dat met deze potentiële skin geen rekening gehouden kan worden bij het bepalen van de operationele limieten. Mechanische skin t.g.v. vervuiling van de put zal namelijk wel leiden tot een verhoogde injectie verschilddruk op reservoirdiepte. Bij een THP injectiedruk van 67,5 bar zal de injectie verschilddruk op reservoirdiepte daarom ruim worden overschreden. Het is de verantwoordelijkheid van de operator om ervoor te zorgen dat de put en het reservoir in goede staat blijft tijdens het productieproces.

Om te monitoren of de injectie verschilddruk op reservoirdiepte de 40 bar niet overschrijdt, dient de skin ten gevolge van de perforaties gemonitord te worden. TNO-AGE vraagt zich af of de individuele skins ten gevolge van vervuiling, perforaties en wrijving tijdens productie eenduidig te bepalen zijn. Waarschijnlijk is de drukdata van de sensor die op diepte van de ESP hangt daar kwalitatief niet goed genoeg voor. Het is lastig om met die data een eenduidige ISIP te bepalen op basis waarvan het skin effect bepaald kan worden. Dat betekent dat naar verwachting de waarde van de individuele skins, en dus de werkelijke maximale verschilddruk die op het reservoir wordt opgelegd, niet middels monitoring kan worden bepaald, maar dat daarvoor een puttest moet worden uitgevoerd. Het is niet realistisch om dit met grote regelmaat te herhalen omdat daarvoor telkens de productie moet worden stilgelegd en de putten omgebouwd.

Op basis van bovenstaande beoordeling geeft TNO-AGE EZK ter overweging mee om een maximale THP injectiedruk toe te kennen van **43,1 bar** bij een maximaal debiet van  $300 \text{ m}^3/\text{uur}$  en een injectietemperatuur van  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Deze druk is

**Datum**

13 augustus 2021

**Onze referentie**

AGE 21-10.063

**Blad**

3/4

TNO VERTROUWELIJK

berekend conform de methodiek van Hydreco in [3], waar TNO-AGE zich in kan vinden:

$$\begin{aligned} \text{NWRP} &= \text{RP} + \Delta\text{P} && \rightarrow && 268 = 228 + 40 \\ \text{BHP} &= \text{NWRP} + \Delta\text{P}_{\text{skin-perf}} && \rightarrow && 278,6 = 268 + 10,6 \\ \text{THP}_{\text{static}} &= \text{BHP} - \text{P}_{\text{hs-column}} && \rightarrow && 38,6 = 278,6 - 240 \\ \text{THP}_{\text{dynamic}} &= \text{THP}_{\text{static}} + \Delta\text{P}_{\text{friction}} && \rightarrow && 43,1 = 38,6 + 4,5 \end{aligned}$$

**Datum**  
13 augustus 2021

**Onze referentie**  
AGE 21-10.063

**Blad**  
4/4

Indien Hydreco toch een hogere THP injectiedruk wenst, dient daarvoor een wijziging van het winningsplan te worden ingediend waarin ook een hogere BHP injectiedruk wordt aangevraagd vergezeld met een studie naar het effect van druk en injectietemperatuur op de integriteit van de afsluitende lagen.

Uitgaande van een maximale THP injectiedruk van 43,1 bar bij 300 m<sup>3</sup>/uur en 30 °C injectietemperatuur, geldt voor lagere debieten onderstaande tabel met bijbehorende maximale THP injectiedrukken:

Debiet (m <sup>3</sup> /uur)	Max. THP (bar)
50	38,6
100	39,0
150	39,7
200	40,6
250	41,7
300	43,1

Tabel 1: Maximale THP injectiedruk per debietstap, bepaald door TNO-AGE o.b.v. de methodiek van Hydreco [3] en een maximale injectie verschuldruk op reservoirdiepte van 40 bar als uitgangspunt.

Een gevoeligheidsanalyse van de circulatietest toont wel aan dat mogelijk maar een deel van het reservoir bijdraagt aan de productie/injectie. Dat zou betekenen dat maar een deel van het reservoir productief is en dat de permeabiliteit van dat deel mogelijk aanzienlijk hoger is dan nu uit de test komt. In dat geval is de skin ook hoger, en naar verwachting dus ook de debietsafhankelijke skin, omdat er nog meer debiet door minder perforaties moet en het turbulentie effect nog groter wordt (analoog: hetzelfde aantal mensen door minder bioscoopdeuren wordt meer dringen en een tragere uitstroom). Als dit het geval is, zal het risico op scheurvorming juist verminderen omdat de verschuldruk die op het reservoir wordt uitgeoefend bij een bepaalde THP injectiedruk juist lager zal zijn omdat door het effect van de skin meer druk wordt tegengehouden.

## Referenties

- [1] Hydreco GeoMEC, 7 januari 2021. Well Test Analysis Production test & Circulation test TNT-GT-01P & TNT-GT-02I.
- [2] TNO-AGE, 16 december 2020. Advies instemming pre-drill winningsplan geothermie Oostvoorne, AGE 20-10.112.
- [3] Duurzaam Voorne & Hydreco GeoMEC, 20 april 2021. Voorne Injectie druk.
- [4] SodM, 2013. Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning, Versie 2.