

Aanvulling op Startvergunning naar aanleiding van DEL-GT-02-S1 sidetrack

Datum: 1 november 2023

Inleiding

De geplande injector DEL-GT-02 is niet succesvol afgerond en het gat is noodgedwongen verlaten. Aangezien een deel van de boor apparatuur in het gat vast is komen te zitten was het niet mogelijk een cementplug te zetten over het reservoir en de afsluitende laag. Momenteel wordt een sidetrack geboord waarvan het plan is om de top van de Delft zandsteen op ~100 m ten zuidoosten van het originele gat te penetreren. Dit document is een aanvulling op de documentatie die GTD gedurende het afgelopen jaar heeft aangeleverd ten behoeve van het Winningsplan/Startvergunning. Het doel van deze aanvulling is om de gevolgen te beschrijven van (1) de gewijzigde locatie van de injectieput en (2) van het niet kunnen dicht cementeren van de afsluitende laag op de voorgenomen productie van aardwarmte via het GTD doublet.

1) Effect van gewijzigde locatie op aangevraagde Startvergunning

GTD heeft ervoor gekozen om met de sidetrack het reservoir ~100 m naar het zuidoosten aan te boren t.o.v. het originele plan zoals omschreven in het ingediende Winningsplan. Honderd meter is meer dan gebruikelijk bij een sidetrack. De argumenten om de sidetrack op een afstand van ~100 m te willen boren zijn:

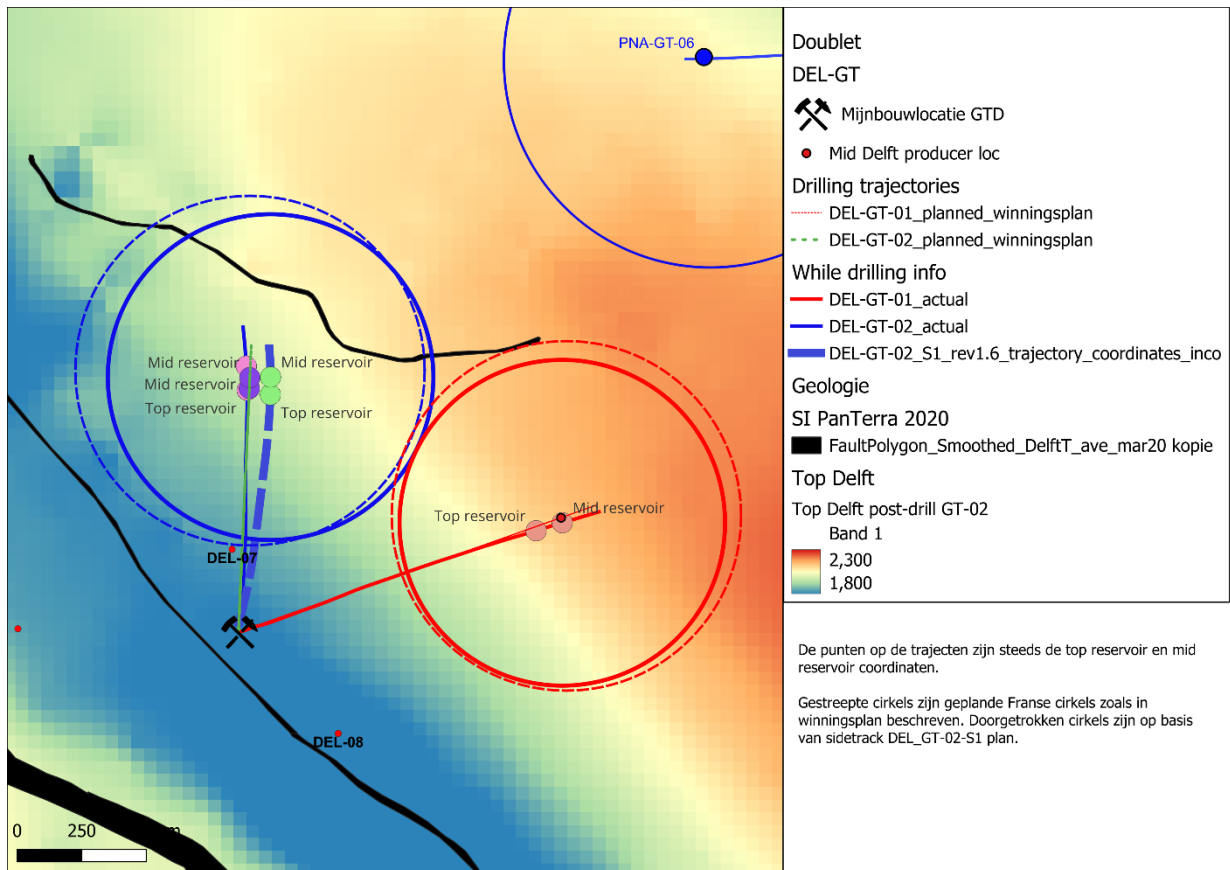
- Het originele gat was erg instabiel en om herhaling te voorkomen is het beter om voldoende afstand te houden van het originele gat.
- Tijdens toekomstige injectie beoogd GTD om drukopbouw rondom het originele boorgat zoveel mogelijk te beperken, dus is gekozen voor een grotere afstand dan anders gebruikelijk.

Tijdens het ontwerpen van het GTD doublet zijn de locaties van de injectie- en productieput zodanig gekozen dat het afgekoelde water niet de breuk ten zuidwesten van het doublet (zie Figuur 1) zou kunnen bereiken. Om geen nieuwe risico's te introduceren is bij het selecteren van het injectiepunt van de sidetrack een locatie gekozen die zich op grotere afstand bevindt van deze breuk.

Tijdens de beoordeling van het ingediende GTD Winningsplan is veel aandacht besteed aan de kleine breuk ten noorden van het doublet (zie Figuur 1). Het nieuwe injectiepunt is zodanig gekozen tenminste dezelfde minimale afstand wordt behouden tot deze breuk. Doordat de afstand tussen de injectieput en de productieput kleiner is geworden, zal het gebied dat afgekoeld wordt door het geïnjecteerde water kleiner zijn en zal het breukoppervlak dat afgekoeld wordt een fractie kleiner zijn en als gevolg daarvan zal de maximale magnitude kleiner zijn dan in het originele plan. De blauwe cirkels in Figuur 1 illustreren dit. De

gestippelde blauwe cirkel was het originele theoretische invloed gebied en de kleinere doorgetrokken blauwe cirkel geeft aan wat het nieuwe theoretische invloed gebied is.

Een nadelig (commercieel) gevolg van het nieuwe geplande injectiepunt is de kortere productieperiode voordat het afgekoelde water de productieput bereikt. De origineel geplande laterale afstand tussen de putten (midden reservoir) was 1335 m en zal nu 1250 m worden.



Figuur 1 Situatie zoals in Winningsplan beschreven en status zoals na geplande DEL-GT-02-S1 zal ontstaan.

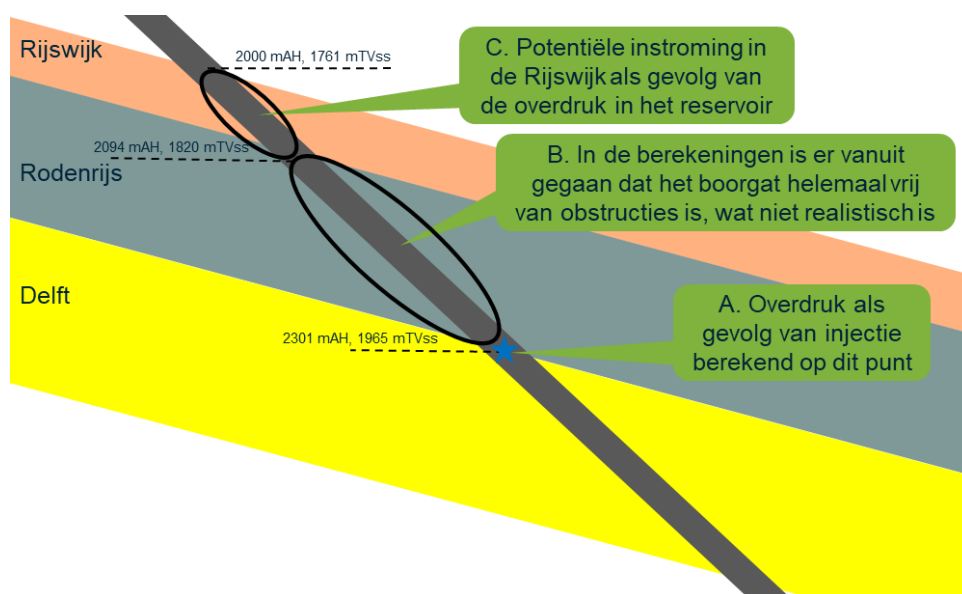
2) Gevolgen voor caprock integriteit

Put DEL-GT-02 is met cement opgevuld van 1408 tot 1358 m AH en van 1051 tot in de 13-3/8" casing shoe op 838 m AH, zie Figuur 3 en Figuur 4. Het boorgat daaronder is gevuld met de boorvloeistof die een dichtheid heeft van 1.2 sg en die een slecht doorlatende filtercake ter hoogte van de permeabele lagen heeft aangebracht. Het is niet bekend wat de status is van het gat onder plug #1. De bijna 400 m TV dikke Vlieland Kleisteen heeft bewezen dat een boorgat het zich een paar dagen na het boren afsluit. Van het diepere gedeelte, het reservoir en de afsluitende laag, is het mogelijk dat het gat gedeeltelijk ingestort is of opgevuld met boorgruis, wat stroming tussen de formaties zal belemmeren. Verder is het waarschijnlijk dat het boorgat in de afsluitende laag, de Rodenrijs Kleisteen, zich vanzelf sluit in de 2 jaar voordat de productie/injectie opgestart zal worden aangezien er geen casing in het gat aangebracht is en kleistenen vaak dit gedrag vertonen.

Aangezien stroming langs de Vlieland formatie niet mogelijk vanwege de cementplug en doordat het boorgat zichzelf natuurlijk afsluit, is de Rijswijk formatie het enige permeabele interval waar eventueel water vanuit de Delft formatie naartoe zou kunnen stromen. Om die reden is de focus van de onderstaande tekst op stroming tussen de Delft en Rijswijk formatie.

Om de effecten van het gat op de toekomstige injectie en productie van geowater in te schatten zullen de volgende aspecten besproken worden:

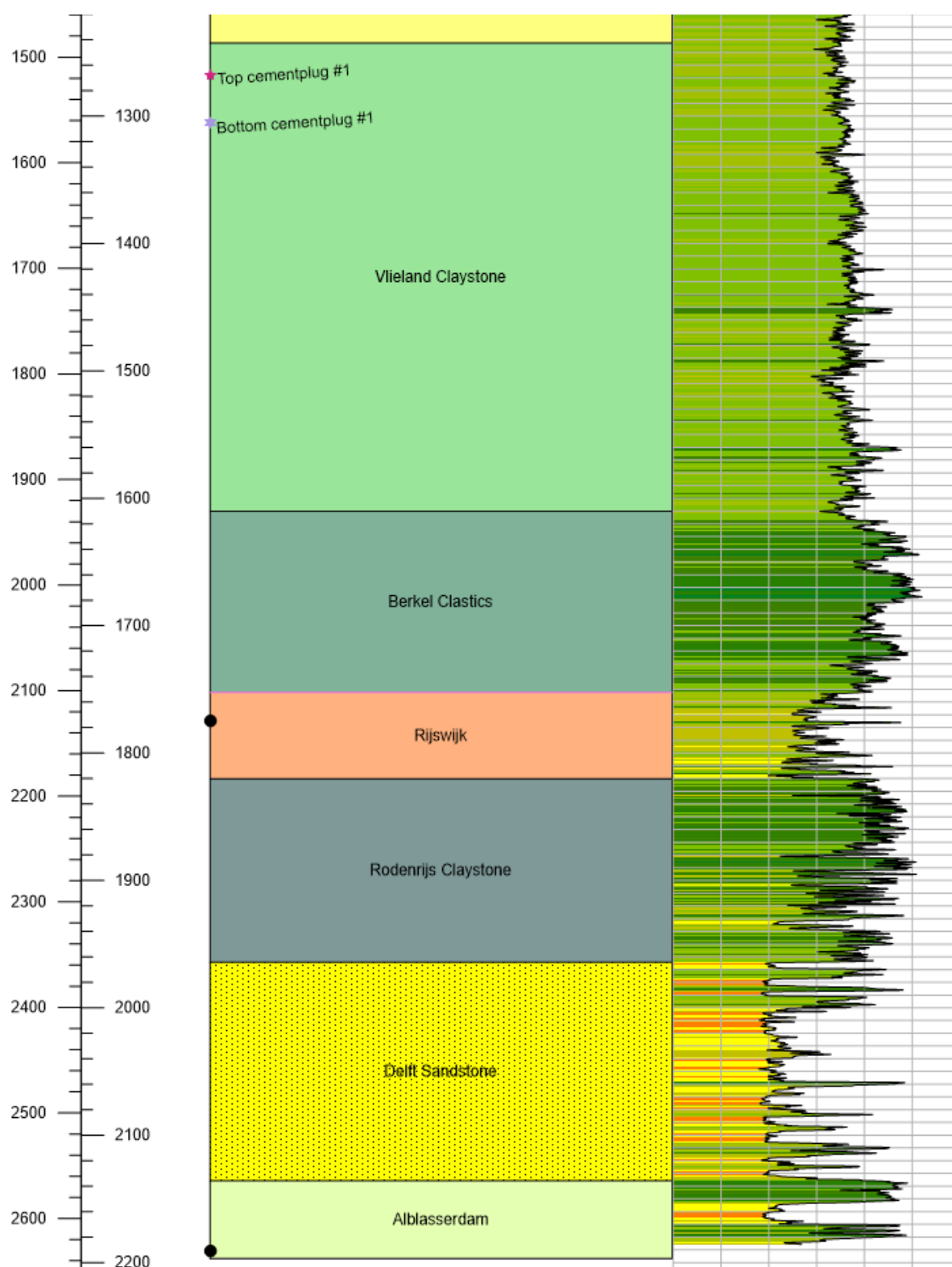
- A. De drukopbouw rondom het injectiepunt en het verlaten DEL-GT-02 boorgat.
- B. De status van het verlaten boorgat dat de Delft zandsteen en de Rijswijk formatie met elkaar verbindt en hoeveel weerstand er is tegen stroming door het boorgat.
- C. Hoeveel druk er moet worden gezet op de Rijswijk formatie om er water in te injecteren.



Figuur 2 Dwarsdoorsnede parallel aan DEL-GT-02 met de relevante gesteentelagen en de punten waar in de volgende paragrafen meer op ingegaan zal worden. De diktes van de lagen, de stratigrafische dip en de hoek van de put zijn hier versimpeld, maar wel in verhouding weergegeven.

Casing items	Hole ID	Pipe OD	Collar OD	Pipe ID	Pipe ID	Depth RT (actual)		DEL-GT-02 Depth ref.: LOC3 Huisman	Lithology
	in	in	in	in	in	m	m		top (mAHd)
RT - GL = 8,0m GL - NAP = -0,54m RT - Top conductor flange = 9,75m RT - 13 3/8" HOP = 9,90m, ID = 18,2"			(nom)		(drift)	ah	tvd		
22" Conductor	22.000		welded	20.400		80.5	80.5		Maassluis 100
									Oosterhout 229
									Breda 375
									Ommelanden 425
									Texel marlstone 515
									Texel greensand 565
									U. Holland Marl 587.5
KOP (2.1°/30m)						567	567		
						601	601		
						622	621.9		
13-3/8" 68# L80 VAM TOP, Shoe track	17.5	13.375	14.080	12.390		841.3	838		M. Holland Claystone 812.5
12-1/4" Kick Off point						846			
Top of cement KO plug #3						846		Plug #4 2,00 SG	
Top of cement KO plug #3						858		Plug #3 2,00 SG	Holland Greensand 874
Top of cement plug #2						930		Plug #2 1,90 SG	
Bottom of cement plug #2						1051			L. Holland Marl 1004
Cement support tool						1054			1070
Top of Fish						1241			De Lier Sandstone 1188
Stuck point						1242			1240
Top of DC's						1260			
8" Intensifier						1282			
8" Jar						1308			
Wiper dart						1358			Vlieland Claystone 1325
12-1/4" Bit						1358			1325
Top of cement squeeze plug						1358		Plug #1 1,90 SG	1430
Bottom of cement squeeze plug						1408			Berkel Clastics 1858
									Rijswijk Sandstone 2000
									2150
									Rodenrijs 2094
									2240
									Delft Sandstone 2301
TD	12.25					2638	2205		Alblasserdam 2553

Figuur 3 Overzicht van de cement pluggen in de verlaten DEL-GT-02 put.

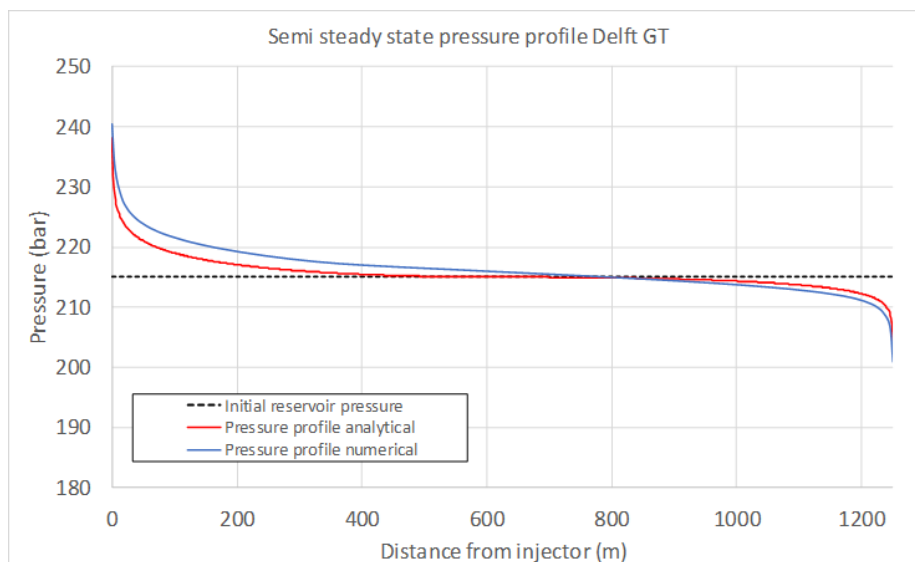


Figuur 4 Overzicht van de formaties onder cementplug #1 in combinatie met de MWD GR log in DEL-GT-02.

A. Drukopbouw rondom injectiepunt

Injectie van het afgekoelde geothermie water in DEL-GT-02-S1 zal voor een drukverhoging in het reservoir zorgen die maximaal is rondom injectieput DEL-GT-02-S1 en direct exponentieel afneemt naarmate de afstand tot deze put groter wordt. Bij het plannen van de locatie van de sidetrack is rekening gehouden met het toekomstige drukprofiel in het reservoir en is een laterale afstand van minimaal 100 m gekozen.

In Figuur 5 zijn twee drukprofielen als functie van de afstand vanaf het injectiepunt in de richting van de productieput weergegeven. Hieruit is af te lezen dat op 100 m afstand van de injectieput de druk in het reservoir rond de 5 tot 6 bar boven de initiële reservoirdruk uit zal komen.



Figuur 5 Resultaten van een analytische en een numerieke methode om de druk tussen de injectie- en productieput als functie van tijd te bepalen. De situatie na 35 jaar (het moment dat de hoogste drukken rondom de injectie put zullen ontstaan) productie op 416 m³/uur (hoger dan het verwachte gewogen gemiddelde van 360 m³/uur) is weergegeven in deze grafiek. Op 100 m afstand van de injectieput blijkt uit deze grafieken dat de druk 4 tot 6 bar hoger is. Om deze resultaten te verkrijgen is er uitgegaan van een homogeen reservoir met een netto TST dikte van 80 m en een permeabiliteit van 1000 mD. Ter referentie is er in de productieput DEL-GT-01 een puttest uitgevoerd op basis waarvan een netto zand TST van 100 m en een permeabiliteit van 1600 mD is bepaald. De gebruikte input waarden voor deze grafieken zijn dus conservatief.

B. Status van het verlaten boorgat van Delft tot Rijswijk formaties

Aangezien er geen casing is geïnstalleerd over de diepere lagen in DEL-GT-02 is het boorgat niet zoals gebruikelijk beschermd tegen vertering en instorten. Het verlaten boorgat door de afdichtende laag van het GTD reservoir, de Rodenrijs Kleisteen, heeft een lengte van 207 m AH.

De verlaten put zit vanaf de onderkant van cementplug #1 (op 1054 m AH en 1024 TVDss) vol met zware boorspoeling, cuttings en LCM pills ("lost circulation material") dat gebruikt is om de boorvloeistof verliezen tijdens het boorproces te stoppen. Er staat dus een kolom van 1972-1024=948 mTV in het boorgat aan de top van de Delft formatie. Met een boorspoeling

van 1.2 sg en een formatiewater van 1.05 sg geeft dit een overdruk van $(1.2 - 1.05) \cdot 948 / 10 = 14.2$ bar. De impact van deze overdruk is dat voordat er stroming kan optreden, de overdruk rondom het verlaten boorgat deze druk moet overstijgen. In combinatie met de grafieken in Figuur 5 kan er in deze situatie dus geen stroming plaatsvinden naar de Rijswijk formatie.

Voordat de bovengrondse installaties gereed zijn om in productie te gaan zal ongeveer 2 jaar verstrijken. Voordat er druk gezet gaat worden op het verlaten boorgat heeft de Rodenrijs kleisteen dus 2 jaar de tijd om te sluiten of in te storten en de doorstroming moeilijk of onmogelijk te maken. Verschillende typen kleistenen reageren anders op geomechanische krachten en contact met nieuwe vloeistoffen. In het boorprogramma zijn een aantal testen, zoals uitgebreide well logging en sidewall cores, opgenomen die meer informatie over de eigenschappen van de Rodenrijs kleisteen zouden kunnen verschaffen.

Voordat productie plaats gaat vinden heeft de boorvloeistof ongeveer twee jaar de tijd gehad om de poriën in het gebied rondom het boorgat ernstig te verstoppert en zal de doorlatendheid van het gesteente direct rondom het boorgat significant verslechterd (skin) zijn, zowel op reservoir niveau als ter hoogte van de Rijswijk formatie. Dit zal zowel de instroom in het verlaten boorgat ter hoogte van de Delft formatie sterk bemoeilijken, maar ook zeker de instroom in de Rijswijk formatie. Figuur 7 illustreert het effect van een Skin op de Rijswijk.

De beschreven situaties in de twee voorgaande paragrafen, de Rodenrijs kleisteen die zichzelf sluit en het boorgat vol met zware boorvloeistof, zijn hoogstwaarschijnlijk situaties waarvan één de werkelijkheid gaat zijn. De zware boorspoeling blijft in het boorgat staan of het gat sluit. Dit betekent dat hoogstwaarschijnlijk een van deze barrières voor stroming naar de Rijswijk formatie in plaats zal zijn.

Als de chemische samenstelling van het formatiewater in de Delft Formatie verschilt van die in de Rijswijk Formatie zou bijvoorbeeld scaling kunnen optreden. Hier moet nog verder onderzoek naar gedaan moeten worden.

C. Benodigde druk om water in de Rijswijk formatie te injecteren

Rijswijk Zandsteen heeft een dikte langs het boorgat van 94 m, wat zich vertaalt in een TST (werkelijke stratigrafische dikte) van 51 m. Momenteel is er alleen een MWD gamma ray log beschikbaar waarop een permeabiliteit geschat kan worden (zie Figuur 4). Het was niet mogelijk om het uitgebreide open hole log programma dat gepland stond uit te voeren in DEL-GT-02, maar dit programma staat wel weer gepland in de sidetrack. Volgens ThermoGIS is de P10-P50-P90 permeabiliteit inschatting rondom de DEL-GT-02 put 10 tot 50 mD. De net-to-gross wordt tussen de 65 en 70% ingeschat. In het ongunstige geval (om stroming in de Rijswijk te beperken) is de netto TST dikte van de Rijswijk $51 \cdot 70\% = 36$ m met een kH van $36 \cdot 50 = 1.8$ Dm.

Met Darcy's wet voor radiale stroming kan het debiet als functie van druk in de put worden uitgerekend bij verschillende permeabiliteit waardes:

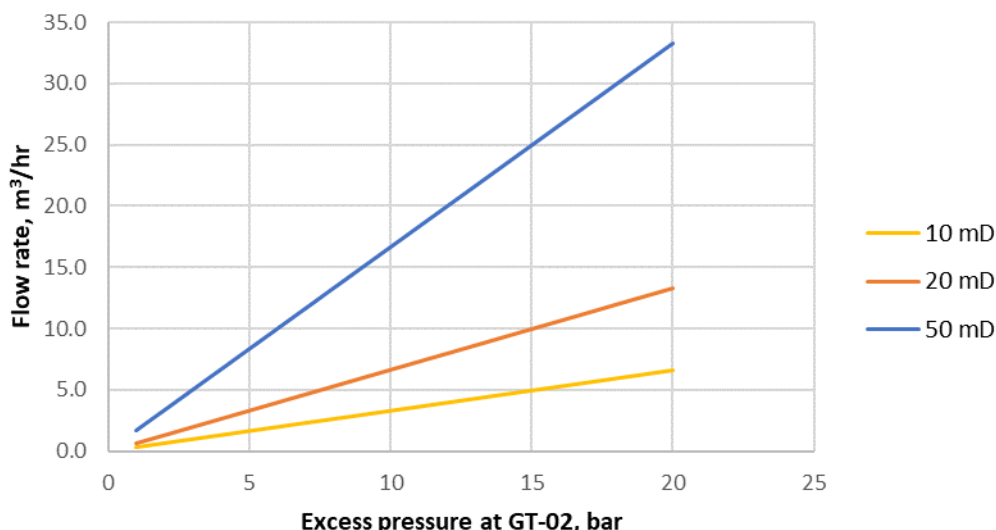
$$q = \frac{2\pi kh(p_e - p_w)}{\mu B (\ln r_e/r_w + S)} \quad \text{Vergelijking 1}$$

Met q het debiet in m^3/s , k de permeabiliteit in m^2 , h de netto zand lengte (langs de Rijswijk formatie) in meter, p_e de druk in de Rijswijk formatie in Pascal, p_w de druk in het boorgat in Pascal, μ de dichtheid van water op 50° Celsius (0.000547) in $\text{Pa}\cdot\text{s}$, B de formatie volume factor, r_e de radius van het reservoir in meters, r_w de radius van de put in meter en S de Skin factor.

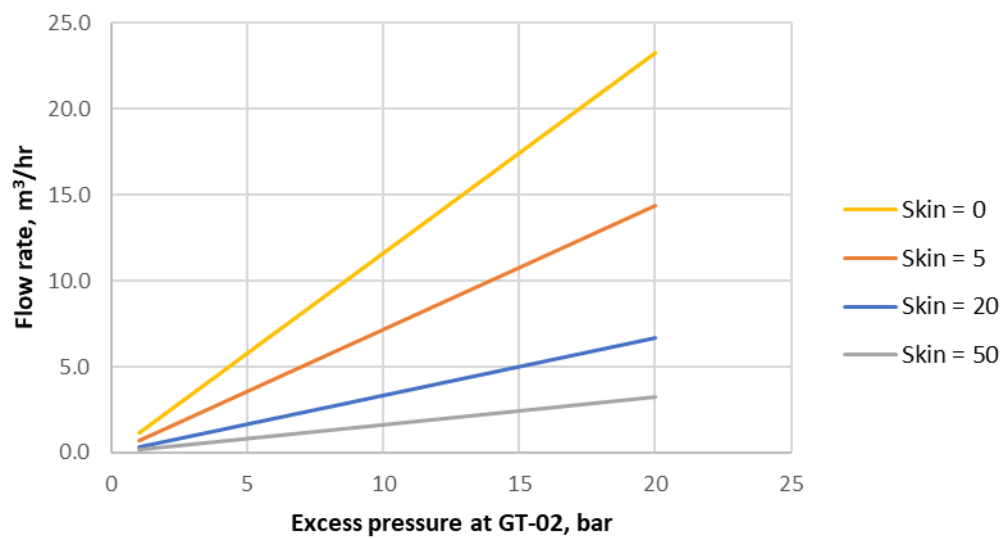
Figuur 6 geeft een overzicht van debiet als functie van overdruk voor een aantal permeabiliteit waardes die door *ThermoGIS* worden gegeven. Dit zijn maximale debieten, want hier worden meerdere in werkelijkheid aanwezige limiterende factoren niet meegenomen.

Een van de limiterende factoren is de Skin die een grote impact gaat hebben zoals in de vorige paragraaf uitgelegd. In Figuur 7 is voor een permeabiliteit van 35 mD het effect van de Skin geïllustreerd. Hieruit blijkt dat het debiet gehalveerd kan worden en bij hoge Skin zelfs een factor 10 lager kan zijn.

Op het moment dat er water geïnjecteerd wordt in de Rijswijk formatie zal de druk daar oplopen en zal het drukverschil tussen het boorgat (zie Vergelijking 1) en het reservoir kleiner worden en dus het debiet afnemen.



Figuur 6 De maximale stroming vanuit het DEL-GT-02 boorgat in de Rijswijk als een functie van overdruk aan de top van het Delft reservoir op de locatie van boorgat bij verschillende permeabiliteitwaarden van de Rijswijk formatie. Het zijn erg conservatieve getallen, want er zijn een aantal processen die de stroming zullen hinderen die hier niet meegenomen zijn. Bijvoorbeeld de skin die instroom zal beperken en de oplopende druk in de Rijswijk formatie die het drukverschil kleiner zal maken.



Figuur 7 De maximale stroming vanuit het DEL-GT-02 boorgat in de Rijswijk formatie als functie van Skin bij de P50 permeabiliteit van 35 mD.

Conclusie

De gewijzigde locatie van de sidetrack heeft een positief effect op de kans op en impact van eventuele seismiciteit aangezien het injectiepunt verder van de kleine breuk dat voor de Startvergunning geanalyseerd is vandaan ligt. Een grotere afstand betekend in dit geval een kleine deel van het breukoppervlak dat afgekoeld wordt en dus een kleine maximale trilling.

In de bovenstaande paragrafen worden een aantal methoden uitgewerkt waarmee de theoretische maximale stroming berekend wordt. Ieder van die berekeningen staat op zichzelf en als we in een later stadium deze berekeningen combineren in een dynamische simulatie zullen ze elkaars effect kleiner maken. Zeker als de status van het reservoir en het stuk boorgat tussen de Delft en Rijswijk formatie wordt meegenomen zal het werkelijke maximale debiet nog verder omlaaggaan en mogelijk nul zijn.

De kans op potentiële stroming van de Delft formatie naar de Rijswijk formatie kan als volgt worden samengevat. Momenteel bevat het boorgat een boorspoeling die een overdruk creëert van 14 bar en de berekende overdruk rondom het verlaten boorgat als gevolg van injectie is <6 bar. Onder deze condities kan er geen stroming plaatsvinden. Als er toch stroming zou optreden dan moet de vloeistof een slecht permeabele formatie instromen die een hoge skin zal heeft (en ook de uitstroom van de Delft formatie naar het boorgat zal een hoge skin hebben) en dus zal die stroming sterk beperkt worden. Daarnaast heeft zich een mud-cake op de wand van het boorgat opgebouwd die instroom/uitstroom verhindert en kan het boorgat sluiten waardoor stroming nog meer beperkt zal worden of volledig onmogelijk worden.

Op dit punt in het project kunnen er geen nauwkeurigere uitspraken gedaan worden, maar significante stroming van de Delft naar de Rijswijk formatie is onwaarschijnlijk. Mocht er toch sprake zijn van stroming naar de Rijswijk formatie dan ligt er een pakket van bijna 400 m TV aan Rodenrijs kleistenen boven de Rijswijk formatie. Die formatie heeft wel een cementplug gekregen en we hebben bewijs dat een boorgat in deze formatie zichzelf binnen een paar dagen afsluit en dat de kleien sterk chemisch reageren met water waardoor het boorgat volledig wordt afgesloten. Er is dus geen enkel risico dat formatiewater ondieper in of voorbij de Rodenrijs formatie zal kunnen komen. Hierdoor zijn de risico's van het niet geplugde boorgat nihil.

Toekomstige acties

Een aantal acties zullen in de toekomst worden ondernomen om extra vertrouwen te krijgen in de argumenten die hierboven genoemd worden:

- Een uitgebreid open hole log programma is gepland vanaf het sidetrack kick-off punt tot aan het diepste punt van de put. Op basis daarvan is een goede inschatting te maken van de reservoir eigenschappen van de Rijswijk en Delft formaties. De (volledige) uitvoerbaarheid van het log programma is wel afhankelijk van de stabiliteit van het boorgat.
- Als druk vermindering in het Delft reservoir wordt geconstateerd tijdens de operationele productiefase zal hier verder onderzoek naar gedaan worden.

- Een dynamisch model zal worden gemaakt om beter te begrijpen of en hoeveel stroming er zal plaatsvinden van de Delft naar de Rijswijk formatie.
- We proberen een (injectie)puttest te ontwerpen die kan aantonen dat er geen verbinding met de Rijswijk zandsteen is.