

N O T I T I E

DATUM	13 januari 2016	EP201701215156
VAN	[REDACTED]	Geomechanica
AAN	[REDACTED]	PT
	[REDACTED]	WE
	[REDACTED]	Geoloog
BEOORDEELD	[REDACTED]	TA2 Geomechanica
ONDERWERP	MAXIMUM STIKSTOF-INJECTIEDRUK VOOR DE WIJK FASE 2	

Samenvatting

De Ieper kleisteen is de afsluitende laag voor het Tuffite reservoir dat ontwikkeld wordt met het “De Wijk Fase 2” project. Om lekkage van gas uit het Tuffite reservoir te voorkomen, moet de druk in het Tuffite reservoir beperkt blijven tot een druk die deze Ieper formatie kan weerstaan. Een “extended leak-off test” geeft een veilige waarde voor de minimale horizontale spanning in de Ieper formatie. Deze notitie beschrijft de metingen die aantonen dat de sterkte van de Ieper formatie een druk van 74 bar kan weerstaan. Tijdens injectie zal 74 bar daarom als bovengrens voor de injectiedruk in de injectieputten gebruikt moeten worden.

Analyse

Het NAM Geomechanica team is gevraagd de lower bound fracture gradient (oftewel de minimale horizontale spanning) voor de casing schoen in de Ieper formatie opnieuw te beoordelen met behulp van de recentelijk ondernomen “Leak-Off tests (LOT)”, “Limit tests (LT)” en “extended leak-off tests (XLOT)” in de nieuwe putten. De LOT en LT resultaten zijn op kwaliteit gecontroleerd en samengevat in Tabel 1. Kwaliteits-indicatoren zijn als volgt vastgesteld:

- A: Volume –druk grafiek is aanwezig; duidelijke interpretatie.
- B: Volume –druk grafiek is aanwezig; lastige interpretatie.
- C: Enkel het rapport is aanwezig, maar uit de tekst kan opgemaakt worden of het om een limit of leak-off test gaat.
- D: Geen rapport aanwezig.

De ruwe test data is bijgevoegd in Appendix A. De data en test resultaten van de XLOT worden in een apart hoofdstuk behandeld.

Tabel 1 Samenvatting van recente leak-off en limit tests in de Ieper in de nieuwe De Wijk putten.

Put	Test type	Test diepte, m TVD SS	Put-inclinatie @schoen deg	Put-azimuth @schoen deg	Leak-off/limit gradiënt (bar/10m)	Kwaliteits-indicator
WYK-43	LOT	443	34.74	109.84	2.04	A
WYK-44	LT	432	35.70	212.30	1.83	A
WYK-36	LT	411	35.54	183.56	1.84	B*
WYK-41	LT	428	34.59	337.53	1.87	B*
WYK-37	LOT	409	38.19	319.57	1.80	A
WYK-201	LT	410	35.6	61.4	1.83	A

*Lastige interpretatie

De *lower bound fracture gradient* voor de Ieper welke voortkwam uit voorgaand onderzoek, en opgenomen was in het put ontwerp van de *De Wijk Phase 2* putten, is 1,43 bar/10m. Deze conservatieve waarde is gebaseerd op de toen beschikbare data uit omliggende putten in De Wijk en Wanneperveen accumulaties (welke dicht bij De Wijk liggen). Deze lage waarde is waarschijnlijk het gevolg van een gemengde lithologie op de relatief ondiepe punten waar deze metingen waren genomen. De nieuwe putten daarentegen, hebben hun casing schoen dieper in de Ieper kleisteen geplaatst waar deze puurder is in samenstelling. Dit zou de hogere formatie sterkte metingen kunnen verklaren die in de nieuwe putten zijn gemeten. De nieuwe testen zijn daarom een betere indicatie van de “sterkte” van de afsluitende laag over de Tertiaire De Wijk accumulatie.

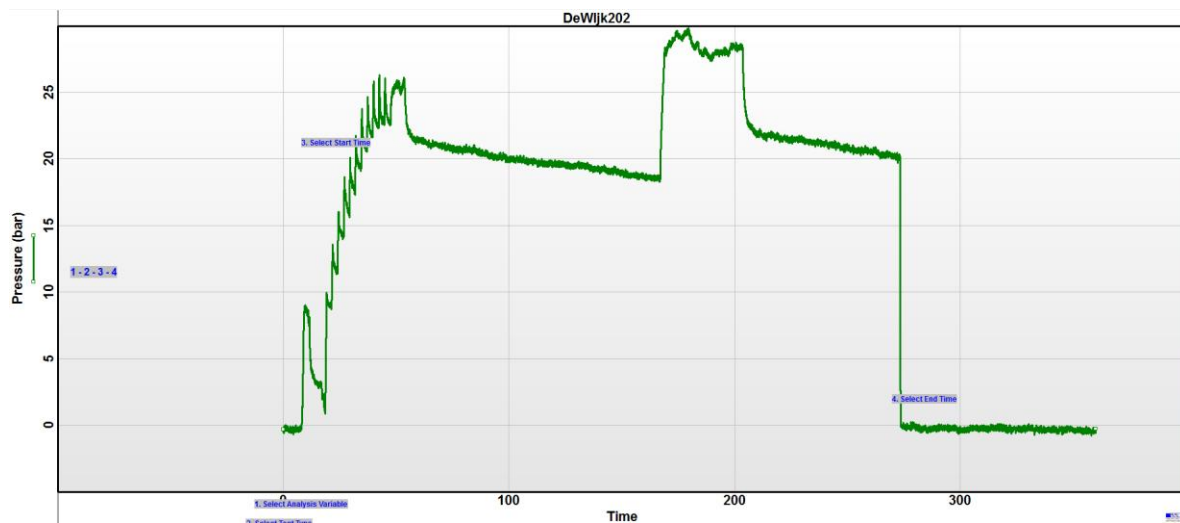
Gezien het specifieke doel van deze evaluatie om de minimale horizontale spanning vast te stellen (om vervolgens limieten aan stikstof injectie te kunnen stellen) zijn de metingen in de nieuwe putten een betere representatie van het lokale spanningsveld en moet de nadruk juist op deze metingen liggen. Desalniettemin geeft een LT of LOT nog geen directe waarde voor de minimale spanning. Daarvoor moet een “extended Leak-off test (XLOT)” gedaan worden. Dit zou ook meer inzicht kunnen geven in de vraag of de lage gemeten waarde in de oude putten al dan niet veroorzaakt wordt door een gemengde lithologie of dat dit toeval is vanwege de beperkte hoeveelheid datapunten.

In het kader van het bovenstaande is een XLOT uitgevoerd (2 cycli) in de 7” casing schoen in WYK-202. Tabel 2 vat de resultaten van de interpretatie samen.

Tabel 2 WYK-202 “extended leak-off test” interpretatie resultaten. Drukgradiënt is t.o.v. het maaiveld. Diepte van de schoen is 417.2 m TVD t.o.v. het maaiveld.

Cyclus	Waarneming	Druk gradiënt (bar/10m)
1	Leak-off	1.86
	Fracture propagation	1.88
	ISIP	1.80
	Fracture closure	1.77
2	Fracture propagation	1.96
	ISIP	1.81

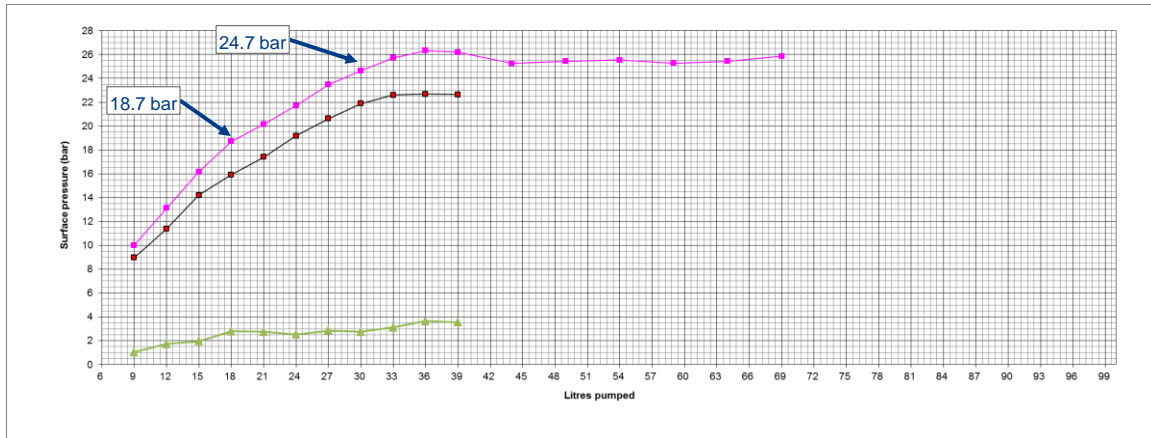
Het eerste deel van de test volgt de procedure voor een standaard leak-off test (met 2 minuut observatie intervallen zoals de leak-off tests in de originele putten). Op het moment dat leak-off (aflatende druk naar de formatie) werd geobserveerd, werd op constante snelheid 5 liter per minuut geïnjecteerd totdat *fracture propagation* (scheurverbreiding) werd geobserveerd. Op dat moment werd injectie stop gezet, en druk afname geobserveerd. De scheur die in de ondergrond ontstaat zal beperkt zijn tot enkele vierkante meters in oppervlakte. Op het moment dat *fracture closure* (scheursluiting) was waargenomen begon men de tweede cyclus van injectie ook met 5 liter per minuut. Opnieuw werd, na waarneming van *fracture propagation*, injectie stopgezet en druk afname geobserveerd. Figuur 1 laat een druk tegen tijd grafiek van de gehele test zien.



Figuur 1 Druk - Tijd plot voor WYK-202 extended leak-off test.

Cyclus 1

De eerste stap in cyclus 1 was een leak-off test met tussenpozen van 2 minuten om druk verschillen te vergelijken. Dit is bijzonder bruikbaar voor formaties waar plastische vervorming een significante factor kan zijn. Een verandering in de druk (na het stoppen van injectie, gedurende de 2 minuten observatie) duidt op drukaflating naar de formatie. Figuur 2 geeft de waargenomen drukken weer voor de leak-off test en de druk verschillen. Men kan twee significante verbuigingspunten zien, één op een lagere druk van 18,7 barg en een ander op een hogere druk van 24,7 barg, beide met een spoelingsgewicht van 1,3 sg. Het eerste punt op 18,7 barg kan duiden op de creatie van een klein volume, gezien de druk daarna wederom lineair toeneemt. Het tweede punt op hogere druk is indicatief van het openen van een scheur. Daarom wordt deze hogere druk aangenomen als het *leak-off point*.

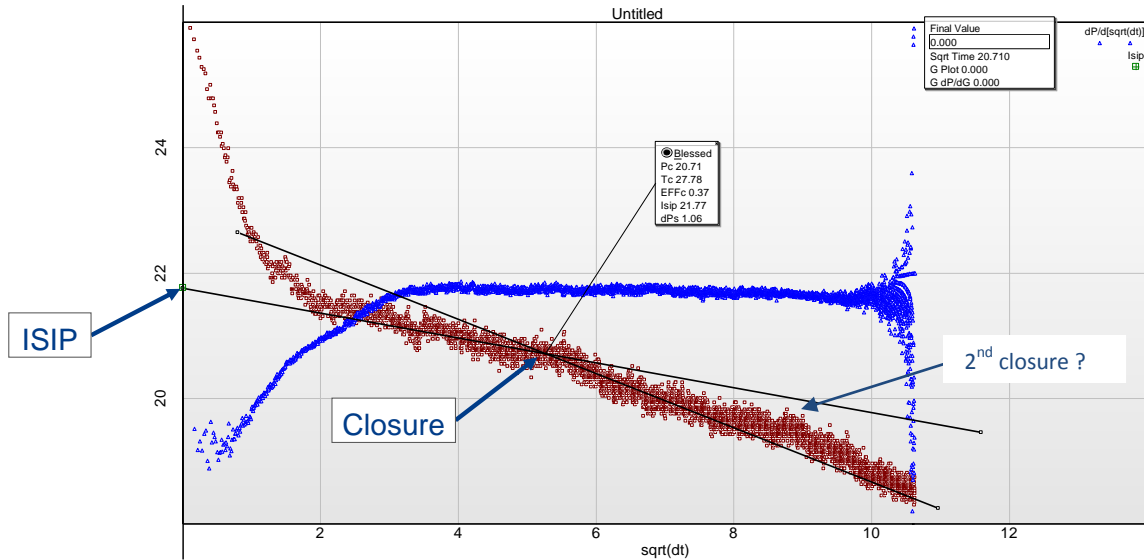


Figuur 2 Cyclus 1 –leak-off test. De groene lijn geeft de verandering in druk weer na de 2 minuten observatie gedurende welke de pompen zijn gestopt. Twee waarneembare inflectie punten zijn te zien op de paarse lijn, één op 18.7 bar en een ander op 24.7 bar.

Nadat *fracture propagation* was waargenomen door middel van een druk plateau (42 liter t/m 69 liter in Figuur 2) werd injectie stopgezet en de druk afname geobserveerd. Figuur 3 laat een *square root of time* grafiek zien, waarmee de *instantaneous shut-in pressure (ISIP)* (onmiddellijke insluitings-druk) ingeschat kan worden op 21.9 barg en mogelijke scheursluiting op 20.7 barg druk aan oppervlakte. Aangezien de Ieper een laag permeabele klei formatie is, verwacht men niet het normale *matrix leak-off* gedrag zoals men dat in zandsteen waar zou nemen.

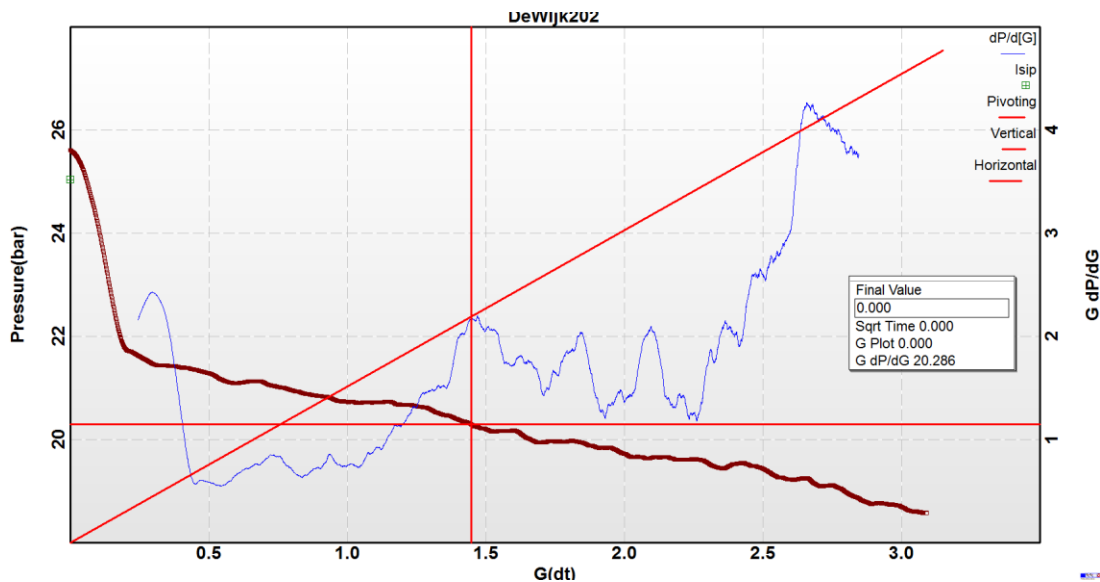
Gezien de bovenstaande analyse is het stromingsgedrag gedomineerd door druk die ondersteund wordt door de gecreëerde scheur zelf, en niet zozeer door het toegenomen contactoppervlakte voor drukaflating zoals vaak het geval is in hoger permeabel reservoir. Dit verklaart de in eerste instantie lage snelheid waarmee druk afneemt als de scheur nog in open positie staat (de scheur oefent hierbij druk uit op het openstaande volume), terwijl de snelheid van druk afname hoger is wanneer de scheur volledig dicht is en er geen drukondersteuning meer is.

In Figuur 3 kan men naast de eerste sluitings-druk van 20.7 bar ook een tweede wat subtielere verbuiging waarnemen op 19.5 bar (equivalent aan 1.74 bar/10m t.o.v. het maaiveld). Dit komt ongeveer overeen met de eerste drukaflating zoals waargenomen in Figuur 2, en kan duiden op de sluiting van dit kleine volume. De sluitingsdruk van 20.7 bar is indicatief van sluiting van de voornaamste scheur. Dit staat gelijk aan een gradiënt van **1.77 bar/10m (1.80 sg)**.



Figuur 3 Cyclus 1 – *Square root of time plot*. Mogelijke sluiting op 20.7 bar en ISIP op 21.9 bar (by Alexei Savitski, SME Fracture Mechanics for Unconventionals). Een tweede subtiële verbuiging op 19.5 bar.

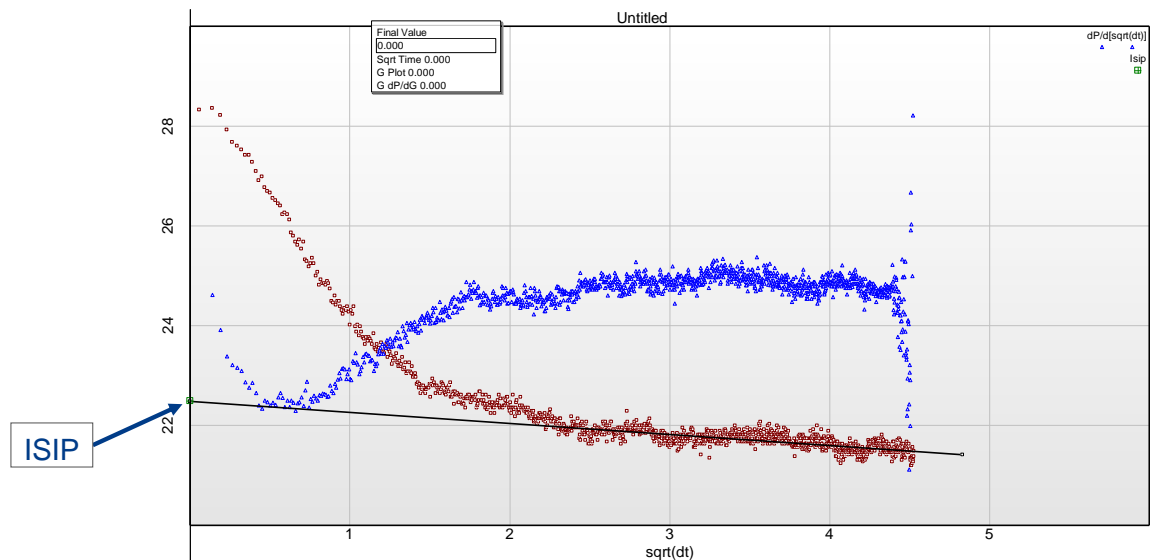
De *G-function* plot biedt een alternatieve manier om “fracture closure” te bepalen om de sluitings-druk vast te stellen. Vereffening van de meetgegevens (*data smoothing*) is toegepast om ruis in de data te verminderen en te kijken of een betere interpretatie mogelijk was. Figuur 4 geeft de *G-function* plot weer en twee pieken kunnen waargenomen worden op ongeveer 20.29 bar druk, en nog een op een lagere druk van 19.5 bar. Dit komen overeen met de waarnemingen uit de *square root of time plot* (Figuur 3).



Figuur 4 *G-function* plot voor Cyclus 1 na toepassing van vereffening van de meetgegevens (*Data Smoothing*).

Cyclus 2

Nadat in de eerste cyclus sluiting van de scheur was waargenomen begon de tweede cyclus van injectie met een constante snelheid van 5 liter per minuut totdat wederom *fracture propagation* (scheurverbreiding) werd geconstateerd. Wederom werd op dat moment injectie stopgezet en de drukafname geobserveerd. Een ISIP van 22.5 bar kan worden afgeleid uit de *square of time plot*. Een fracture closure kan niet meer worden op een betrouwbare manier worden bepaald omdat het druk en spanningsveld is beïnvloed door de scheur die in de eerste cyclus gevormd is.



Figuur 5 Cyclus 2 – Square root of time plot.

Conclusie

Uit de resultaten van de “extended Leak-off test (XLOT)” en alle formatie sterkte testen die zijn uitgevoerd in de recent geboorde De Wijk fase 2 putten (die limieten dan wel leak-off drukken hoger dan 1.8bar/10m laten zien) kan de conclusie getrokken worden dat de beste inschatting van de minimale horizontale stress gradiënt **1,77 bar/10m oftewel 1,8sg** t.o.v het maaiveld is. Een conservatieve redenering, gebaseerd op een minimum diepte van 420 meter TVD van het top reservoir, geeft een maximale reservoirdruk bij de Ieper formatie van 74 bar. Om een veiligheidsmarge in te bouwen, zou deze druk ook in de put niet moeten worden overschreden. Dit leidt tot een maximum “bottom-hole pressure” (BHP) van 74 bar.

Appendix A – Formation strength test plots for new De Wijk wells.

De Wijk-43:

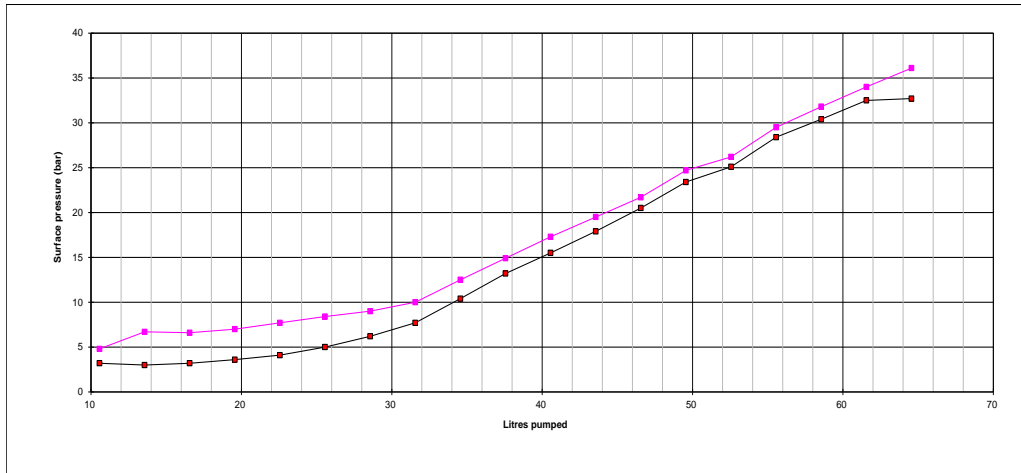
Test depth: 443 m TVDSS

Mud weight: 1.3 sg

Leak-off point: 34 bar surface pressure

Leak-off gradient (ref: TVDSS): 2.04 bar/10m

Quality: 'A'



De Wijk-44:

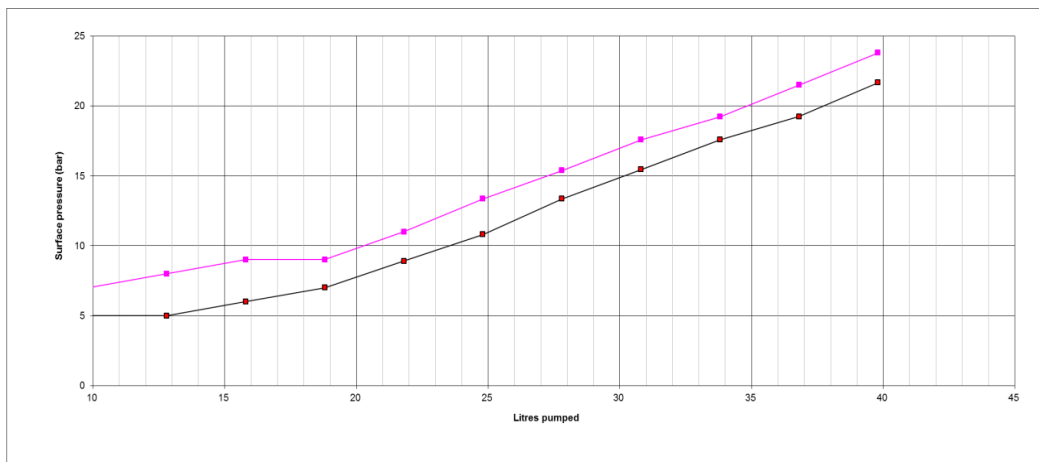
Test depth: 432 m TVDSS

Mud weight: 1.3 sg

Limit pressure: 23.8 bar surface pressure

Limit gradient (ref: TVDSS): 1.83 bar/10m

Quality: 'A'



De Wijk-36:

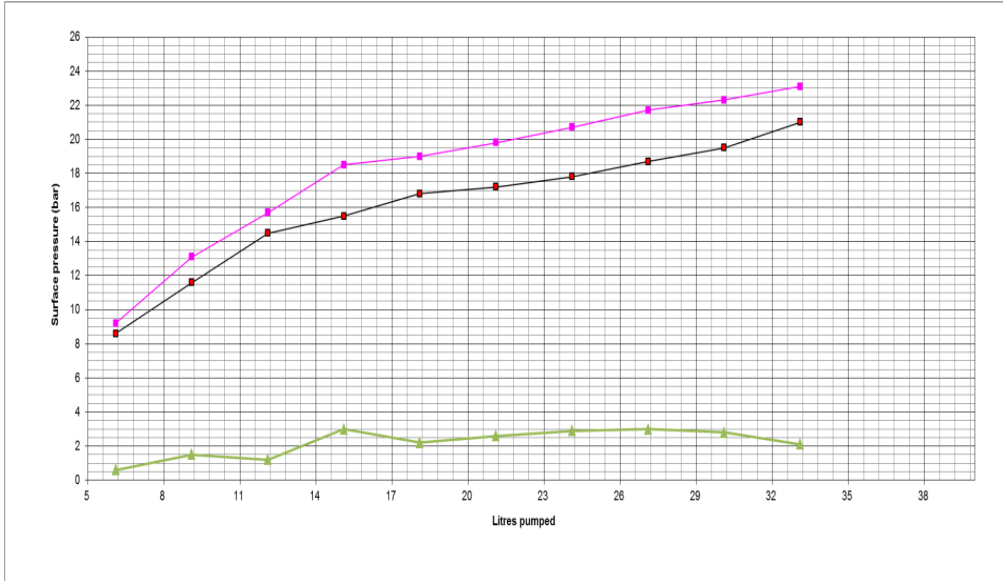
Test depth: 411 m TVDSS

Mud weight: 1.3 sg

Possible leak-off point: 15.7 bar surface pressure but pressure kept increasing to limit value of 23 bar.

Limit gradient (ref: TVDSS): 1.84 bar/10m

Quality: 'B'



*Green curve is the pressure difference (magenta and black curves). Leak-off point is picked as the change in the pressure difference.

De Wijk-41:

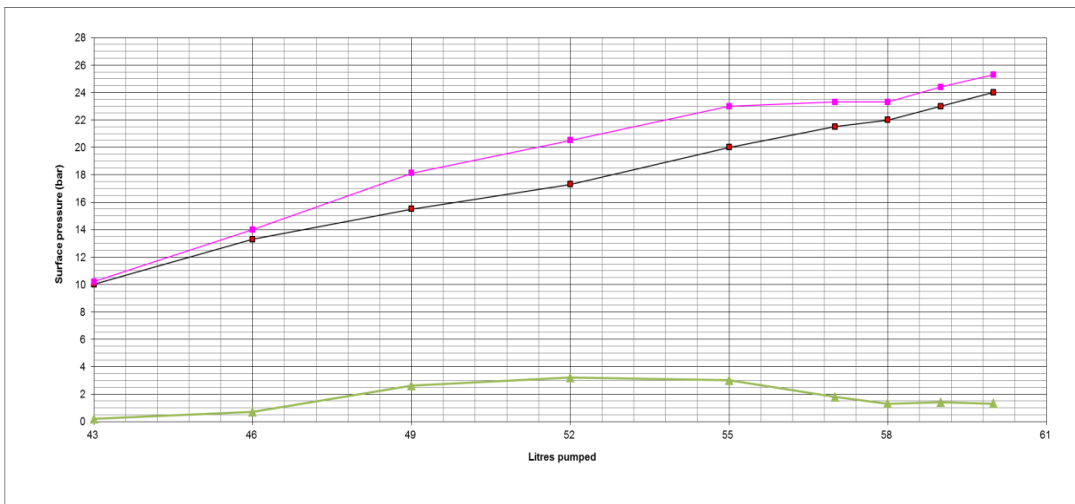
Test depth: 428 m TVDSS

Mud weight: 1.3 sg

Possible leak-off pressure at 14 bar surface pressure but pressure kept on increasing to limit pressure of 25.5 bar

Limit (ref: TVDSS): 1.87 bar/10m

Quality: 'B'



*Green curve is the pressure difference (magenta and black curves). Leak-off point is picked as the change in the pressure difference.

De Wijk-37:

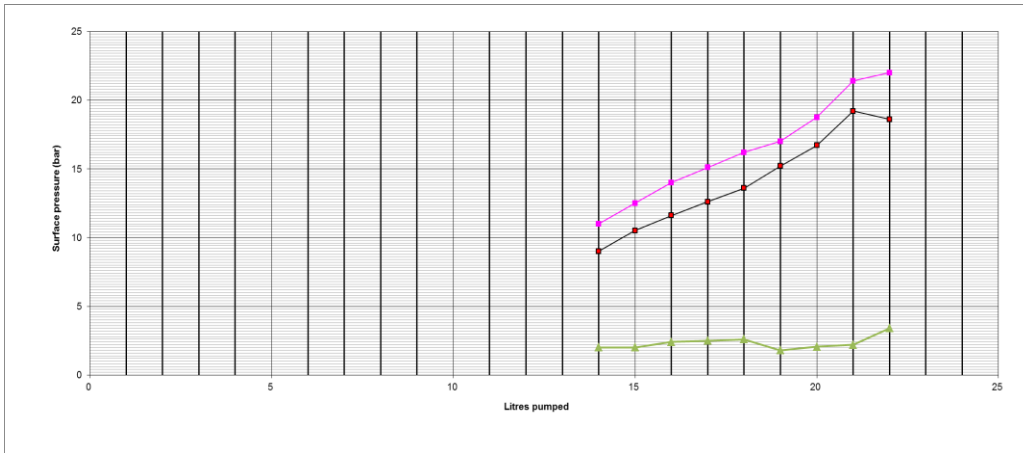
Test depth: 409 m TVDSS

Mud weight: 1.3 sg

Leak-off pressure: 21.4 bar surface pressure

Leak-off gradient (ref: TVDSS): 1.798 bar/10m

Quality: 'A'



De Wijk-201:

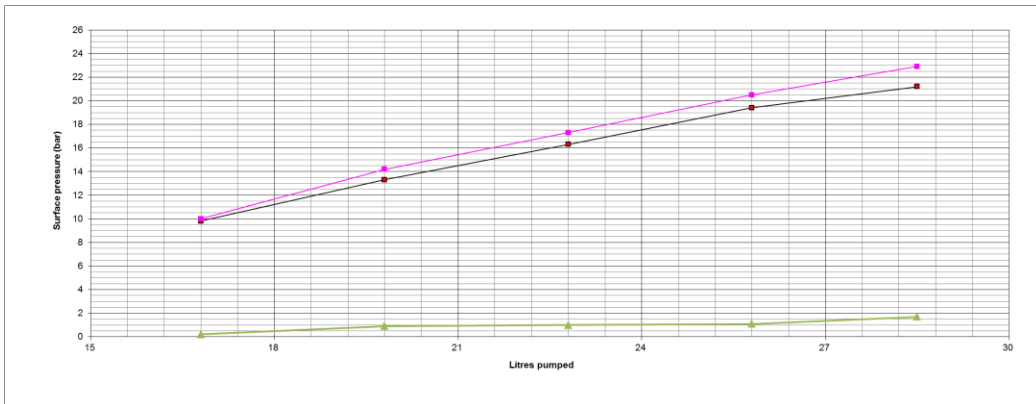
Test depth: 410 m TVDSS

Mud weight: 1.3 sg

Leak-off pressure: 22.9 bar surface pressure

Leak-off gradient (ref: TVDSS): 1.83 bar/10m

Quality: 'A'



De Wijk-202:

Test depth: 425.53 m TVDSS

Mud weight: 1.3 sg

Leak-off pressure: 24.63 bar surface pressure

Leak-off gradient (ref: TVDSS): 1.85 bar/10m

Quality: 'A'

