

**Review van het integriteitsonderzoek van de put
ROW2 mei 2021**

EP202104200659

**Eindrapport
30 juni 2021**

Doel

Dit rapport is een review op de meet-gegevens en op het rapport (van de NAM) dat de gebeurtenissen analyseert die hebben geleid tot het sluiten van de injectieput ROW-2 als een Twentse afvalwater-injectieput. De review is bedoeld om Staatstoezicht op de Mijnen, adviesorgaan van het Nederlandse Ministerie van Economische Zaken en Klimaatbeleid, bij te staan bij de beoordeling van dit rapport (van de NAM), en om inzicht en richtlijnen te verschaffen voor zijn aanbevelingen aan de exploitant (de NAM). Deze review geeft antwoord op een reeks vragen die door het ministerie (SodM?) zijn gesteld bij de aanvraag van deze review.

Een samenvatting met antwoorden op de drie hoofdvragen wordt gevolgd door een bespreking van de gevolgen en geeft verdere overwegingen voor de interpretatie en analyse van de meetresultaten. Dit hoofdstuk wordt gevolgd door een reeks Bijlagen met (a) een lijst van onderzochte documenten, (b) een reeks antwoorden op de belangrijkste vragen in de vorm van een voorlopig verslag voor discussie, en (c) antwoorden op specifieke vragen die werden gesteld op basis van de evaluatie van het Ministerie en commentaar op het voorlopige verslag.

Een Appendix toont de ROW-2 put opbouw, en de plaatsen van buisvervormingen van de tubing en de lagen van de formatie rond het kritieke interval van de ROW2 put.

Samenvatting

De belangrijkste doelstellingen van het rapport dat in deze studie wordt geëvalueerd, zijn het verklaren van het verlies van ROW-2 als injectieput, en het bespreken van de implicaties voor de andere injectieputten in het gebied op vergelijkbare plaatsen. De te beantwoorden (overkoepelende) vragen die aan de orde komen zijn de volgende:

1. Wat is er gebeurd? Gedurende de levensduur van de ROW2 put zijn er in het ZEZ3C (bovenste gasveld) deformaties van de tubing vastgesteld. Een afschuiving (breuk) van de casing ter hoogte van de ondiepste tubing-vernauwing maakte een lekkage tussen de ZEZ3C met de annulus mogelijk. Daardoor zou injectie in de ZEZ3C mogelijk zijn geweest zodra de deformatie een scheur ook in de tubing veroorzaakt zou hebben. De beschadiging van de tubing werd vrijwel zeker veroorzaakt werd door de vervorming van de casing.

Er werden monitoringgegevens verstrekt van de annulusdruk en het vloeistofpeil in de buis en achteraf gezien had deze situatie veel eerder kunnen worden opgemerkt, wanneer deze gegevens vaker waren verzameld en indien er meer aandacht aan was besteed. Uit het verslag blijkt echter niet dat geïnjecteerd water terechtgekomen is in het ZEZ2/ZEZ3*- injectie-veld. Dit is een gelukkig gevolg van het ontwerp van de injectieput. (* dit is een onduidelijke uitspraak – waarschijnlijk wordt ZEZ3C – het bovenste gasveld bedoeld)

2. Wat is de onderliggende oorzaak van dit incident? De hoofdoorzaak van tubing vervorming is laterale (zijdellingse) vervorming van de casing die druk uitoefent op de tubing. Het is mogelijk dat ook axiale verkorting (indrukken) tot het falen heeft bijgedragen (buizen (tubular – ?pup joint?) zijn zwakker onder deze complexe belastingsomstandigheden zoals het in de lengte samendrukken van buizen); met andere woorden, knikken door axiaal samendrukken kan een rol hebben gespeeld. Deze incidenten deden zich voor in minder sterke delen; ongetwijfeld heeft dit ook bijgedragen tot de ernst van de vervorming. Men zou verwachten dat dergelijke zwakke delen het eerst zouden bezwijken, zelfs indien de belastingen over langere tijds-intervallen werden uitgeoefend.

Formatie belasting was de oorzaak van de laterale vervorming van de casing, ofwel door afschuiving langs ondiep hellende grensvlakken ofwel deformatie door kruip met een lage afschuifsnelheid van plastische lagen; Deze vervorming belastte de casing en de kritieke breuk trad op nabij het grensvlak van zachter en stijver materiaal. Het is onduidelijk of additionele vervorming, bijvoorbeeld door axiale belasting uitgeoefend over de ZEZ3H veld als gevolg van (zout) oplossing heeft bijgedragen, of dat mineralogische fase-overgang van anhydriet naar gips een rol kan hebben gespeeld. Er zijn geen definitieve aanwijzingen om te bepalen of de onderzochte delen van de ondergrond blootgesteld waren aan geïnjecteerde (chemisch onverenigbare) vloeistoffen.

Het is mogelijk dat het plotselinge verlies van druk in de pijpleidingen in de herfst van 2017 door dit incident (lees: de breuk) werd veroorzaakt; het is ook mogelijk dat deze drukval werd veroorzaakt door iets anders, hetzij een verlies van integriteit van de packer of een lek aan de oppervlakte; maar zelfs als dat het geval is, zou de breuk uiteindelijk hebben plaatsgevonden.

Hoewel het waarschijnlijker is dat de gemeten afschuiving van de behuizing dateert van vóór de werkzaamheden aan de tubing, kan het zijn dat de tubing als steun diende voor de casing, en dat de casing verder scheurde na weghalen van de tubing. Als dat zo is geeft de breuk geen enkele informatie over de grootte van de afschuiving van de casing. Het is opmerkelijk dat de plaatselijke seismometers gevoelig genoeg waren en geen seismische gebeurtenis hebben gedetecteerd van een voldoende grote omvang om de volledige verplaatsing te verklaren.

In het rapport van de NAM worden de mogelijke oorzaken adequaat behandeld (met uitzondering misschien van de evaluatie van de axiale (in de lengterichting) belasting van de buis en het is onduidelijk of de mogelijkheid van een lek aan de buitenkant is geanalyseerd). De conclusie van

deze review is dat er geen duidelijk bewijs is om een van de voorgestelde verklaringen uit het rapport van de NAM te verwerpen

3. Wat zijn de gevolgen hiervan voor toekomstige waterinjectie activiteiten in soortgelijke gevallen? De ZEZ3C (bovenste gasveld) zal, net als de andere injectievelden, vervormen in de loop van de tijd, en deze vervormingen zullen puntschuifbelastingen uitoefenen op elke verbuizing; vervormingen zijn aanemelijk, ook binnen de niet-ondersteunde (?) delen van deze formatie waarin injectie plaatsvindt, zelfs waar sterk vervormingen niet eerder zijn waargenomen;

Zoutoplossing en omzetting van anhydriet in gips zullen meer voorkomen in velden waar geïnjecteerd wordt, omdat deze stoffen in de poriën blootgesteld zullen zijn aan incompatible vloeistoffen (lees . Zoet onverzadigd water). Dus, terwijl de omstandigheden bij ROW-2 ervoor zorgden dat deze als eerste faalde, komen dergelijke vervormingen ongetwijfeld voor bij de kwetsbare delen van andere injectoren. Monitoring van deze putten is essentieel om te bepalen wanneer en waar dit gebeurt. Ook andere metingen om de integriteit van de put te bepalen moeten frequenter worden uitgevoerd dan thans het geval is. Dit omvat het meten van:

(a) de vorm van de leidingen (buigradius en vorm van de dwarsdoorsnede),

(b) het verzekeren van de integriteit en de isolatie (lees: geen lekkage) van elk deel van de verbuizing (dit kan bijvoorbeeld door op geregelde tijdstippen druktasten van de leidingen en de annulus uit te voeren of door het volgen van de vloeistofniveaus en -drukken om continue drukprofielen ten opzichte van de diepte in de annulus te bepalen in de injectie zones), en

(c) om veranderingen te detecteren in de reservoir condities, om problemen vast te stellen, die maatregelen vereisen, bv. door de injectiviteit te meten.

Van primair belang voor de toekomst is dat veel (maar niet alle) geologische omstandigheden die tot het ROW-2 incident hebben bijgedragen, ook bij andere putten aanwezig zijn. Verschillen in de geologische structuur, het type verbuizing en de exacte geologische ligging, betekenen dat de specifieke symptomen en gevolgen verschillend zullen zijn en dat de voortgang van de vervorming misschien trager kan zijn.

De verbuizingen zijn ontworpen om de gevolgen van dergelijke incidenten tot een minimum te beperken. Het is een geluk dat de cruciale elementen die de integriteit van de buizen in de andere putten waarborgen, niet grenzen aan de intervallen waar de kans op dergelijke incidenten het grootst is (de schrijver doelt hier waarschijnlijk op de ligging van ROW2 op de top van het reservoir).

Het doel moet zijn frequentere en met zorgvuldiger rapportage dan nu het geval is toezicht te houden op de dreiging van dergelijke incidenten en de integriteit van de putten te waarborgen, met andere woorden ervoor te zorgen dat de putten in staat zijn te functioneren waarvoor ze ontworpen zijn; misschien om vloeistoffen te 'merken', zodat zij kunnen worden gevolgd door bemonstering om na te gaan of lekkage over barrières in de put of het reservoir heeft plaatsgevonden (lees cementering en anhydrietlagen bijvoorbeeld); en om iets te doen om toekomstige problemen te minimaliseren, bijvoorbeeld om de geochemische risico's van zoutoplossing te verminderen door de chemie van geïnjekteerde vloeistof te veranderen.

Wat betreft het lek waardoor de vloeistofdruk aan de oppervlakte tot nul daalde, dat zich in de herfst van 2017 voordeed, is er geen informatie op basis waarvan kan worden bepaald of het lek zich op diepte of aan de oppervlakte voordeed. Om dat vast te stellen is een voortdurende controle van de vloeistofhoogte nodig en een druksensor die vacuümniveaus kan detecteren. Als het drukverlies aan de oppervlakte is opgetreden en de vloeistof in de annulus al tot op het ontwerpniveau was gedaald, kan het drukverschil over de leiding veel groter zijn geweest dan geanalyseerd, en de differtiële drukverandering kan abrupt zijn geweest.

De besprekingen over het reservoir en de geomechanische modellen in dit rapport zijn de zwakste punten. Er moet een verklaring komen voor het grote verschil tussen de werkelijke drukmetingen en de voorspellingen van de injectie-modellen, dat in een begeleidend document werd vermeld.

Het is duur en bewerkelijk om een goed reservoir-model te ontwerpen en te kalibreren van deze reservoirs met breuken, waarin de stroming langs voorkeursroutes wordt geleid en waarin de permeabiliteit sterk afhankelijk is van plaatselijke spanningen en veranderingen daarin. Men moet in het model rekening houden met compactie van het poriënvolume, dat misschien aanzienlijk is (afname porositeit), waarmee de afname in de opslagcapaciteit significant kan zijn. Beperkte modellering, vervat in de juiste metingen, kan echter helpen om een risico-evaluatie te maken van de toekomstige problemen, bijvoorbeeld als de invoerdruk sneller zou stijgen dan voorzien. Er moeten ook betere tests met boorputten worden uitgevoerd, waarbij de sensoren onder het vloeistofniveau worden geplaatst. Details en suggesties voor toekomstige monitoring worden hieronder gegeven.

Discussie en verdere gedachten

Het belangrijkste resultaat van de evaluatie is dat de scenario's die in het rapport worden voorgesteld beide redelijk zijn om de breuk in de casing en vervorming van de tubing te verklaren. Daarmee krijgt men zicht op het met de breuk gepaard gaande verlies van schijnbare integriteit van de A-annulus naar de ZEZ3C, en daarmee de lekkage tijdens de werkzaamheden van water uit de ZEZ2C injectiezone (onderste gasveld) van deze put naar het bovenste gasveld.

Maar gezien de beschikbare gegevens is het onmogelijk tussen beide scenario's te kiezen. Dit komt omdat men niet kan weten of eerst de packer lekte (of dat een lek aan de oppervlakte (van de tubing?) tot de onbekende drukval op diepte leidde), of dat eerst de put/buis scheurde waardoor de drukval ontstond.

De specifieke omstandigheden buiten de put die deze gebeurtenis te veroorzaken blijven ook grotendeels onbekend, aangezien er bijvoorbeeld geen metingen zijn van plaatselijke drukken / temperaturen / spanningen in het gesteente rond de put, of van de aanwezigheid van vloeistof die de eigenschappen van de afschuiflaag (kleilaagje) zouden kunnen hebben veranderd.

Het is ook onbekend wanneer de afschuiving (breuk) precies is opgetreden; dat kan plotseling hebben plaatsgevonden toen de druk in de A-annulus plotseling tot nul daalde, of geleidelijk (aseismisch) in de loop van de tijd, ofwel voorafgaand aan, ofwel volgend op die drukdaling. Het zou aantrekkelijk zijn om aan te nemen dat de drukdaling samenviel met een afschuiving (breuk), maar dat is misschien onaannemelijk omdat (a) er geen gebeurtenis als zodanig is geregistreerd op seismische controleapparatuur, en (b) er geen onmiddellijke tubing vervorming was op de diepte waar de gebeurtenis plaatsvond, waarbij de overige verplaatsingen van de casing in de loop van de tijd zouden moeten hebben plaatsgevonden (lees: het verloop van de vervormingen in de tijd past niet in dit beeld).

De bewering dat er geen algemeen verlies van integriteit van de put heeft plaatsgevonden is waarschijnlijk correct, hoewel er geen gegevens over integriteitstests van de put na de gebeurtenis zijn verstrekt; in feite is door de breuk de A-annulus verbonden met de ZEZ3C zone op de plaats van de breuk van de casing. Er is dus geen garantie, zoals in het rapport zelf staat, dat de ROW-2 put na deze breuk niet in ZEZ3C heeft geïnjecteerd. Dit had aan het licht kunnen komen door injectiviteitstesten of registratie van de druk met in de boorput gelegen druksensoren. Dit integriteitsverlies is echter niet van belang, aangezien andere putten juist wel actief in dit veld (ZEZ3C injecteren. Het rapport stelt dat de twee geïnjecteerde velden (ZEZ2C en ZEZ3C) met elkaar verbonden zijn (druk-communicatie), maar daar worden geen ondersteunende gegevens voor verstrekt.

Er is geen bewijs van een breuk van de annulaire isolatie (lek in de verbuizing) naar de bovenliggende formaties (en de inspectie logs van de casing bevestigen de fysieke integriteit van de casing). De risico's van injectie aan de bovenzijde van ROW-2, in het ZEZ3C-veld, waarvoor het injectie put niet is ontworpen, zijn niet geëvalueerd.

Wat betreft het voorspellen van de waarschijnlijkheid dit soort gebeurtenissen (extreme vervorming van de casing leidend tot casing breuk en/of leidend tot verbinding van de A-annulus met het injectie-veld) voor de andere putten van dit veld moet een aanzienlijke hoeveelheid aanvullende geomechanische gegevens verzameld worden. Bovendien ligt de isolatie packer waar de tubing door gecementeerde casing gaat, en daarmee de plaats van de A-annulus boven de ZEZ3C in de andere putten. De relevantere vraag is echter of (1) het dreigende optreden van een dreigende breuk kan worden gedetecteerd voordat het problemen veroorzaakt, en (2) de gevolgen kunnen worden voorspeld en een plan voor het ondervangen van die gevolgen kan worden ontwikkeld.

Afsluiving (scheuren) van de buis is altijd mogelijk, vooral wanneer grote drukveranderingen ten gevolge van drukdaling door de gaswinning, gevolgd worden door latere drukverhogingen ten gevolge van injectie. Het naast elkaar voorkomen van harde, brosse lagen naast zachtere, vervormbare of visceuze lagen, veroorzaakt spanningen door belasting aan de grensvlakken, die versterkt worden als kleihoudende, potentieel glijdende lagen aanwezig zijn. De plaatsen waar deze gebeurtenissen zich het meest waarschijnlijk kunnen voordoen, zijn dus voorspelbaar.

Het risico van een identieke gebeurtenis die een breuk in de verbuizing veroorzaakt zoals in ROW-2 is klein in de andere huidige putten in dit veld, om alle redenen die in het rapport zijn vermeld. Dat betekent niet dat het risico van een soortgelijke voorval van formatie-vervorming moet worden genegeerd - in feite zijn dergelijke voorvallen aannemelijk, hoewel zij niet zullen leiden tot eenzelfde breuk boven de isolatie-packer, omdat geen van de putten een casing met tubing heeft die zich uitstrekt over het meest waarschijnlijke geologische interval waarin het voorval zich voordoet.* Dit was echter een gebeurtenis die zich voordeed als gevolg van een onverwacht samengaan van een relatief zwakkere verbuizing in een geologische zone, waarin de kans op een grotere belasting van de verbuizing waarschijnlijker is, in een zone aan de top van het veld, waar kleine drukveranderingen door het vervangen van gas door zoet water een grotere impact heeft dan aan de flanken van het veld. Er kunnen zich echter ook andere, niet herkende situaties voordoen; In feite is het minder waarschijnlijk, maar wel mogelijk, dat de bovenliggende horizonten voldoende vervormen dat de casingbelasting op de tubing boven de isolatie packer te veroorzaken. Het is dus belangrijk om deze (formatie-)vervormingen te monitoren en op te sporen (meer dan in ROW-2 het geval was) en (werkprocedures?) te ontwerpen om de gevolgen van dergelijke gebeurtenissen de ondervangen. Dat is beter dan het proberen te voorspellen en voorkomen van deze gebeurtenissen.

(* Blijkbaar realiseert de reviewer zich niet dat er in het zoutveld over een grote lengte van 100 tot 150 meter boven de plaats van injecteren geen annulus aanwezig is, en dat dus op een andere manier de integriteit van de casing moet worden gemonitord. Met die afstand tussen injectieveld en packer verwacht je niet snel schade aan de packer)

In de bijlagen staan verdere overwegingen bij de algemene vragen, en de antwoorden op de specifieke vragen, die voor deze review gesteld zijn. In de bijlagen staat ook een put-diagram van ROW2 over de betreffende formatie-lagen met een aantal details over de verbuizing en daarin aangegeven de plaatsen, waar de tubing is vervormd/vernauwd op in de loop van de tijd op steeds minder diepgelegen plaatsen. Deze progressie is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat de meetapparatuur niet door de vernauwing kan (en er dus dieper niet meer gemeten kan worden), maar wanneer de opgaande lijn het werkelijk is, kan dit ook verband houden met het proces waardoor de vervorming is opgetreden.

Bijlagen

Bijlage I. - Lijst van beoordeelde documenten

Bijlage II. - Voorlopige antwoorden op vragen 14 juni 2021

Bijlage III. - Gedetailleerde antwoorden op specifieke vragen

Bijlage IV. - Figuur met locaties van gedetecteerde buisdeformaties gedurende de levensduur van de ROW-2 injector

Bijlage I. Lijst van beoordeelde documenten

Ontvangen zoals gevraagd voor aanvullend onderzoek 2021-06-02

1. bijlage-1-beantwoording-vragen-over-weergave-gegevens-eindrapport-herevaluatie-verwerking-productiewater-schoonebeek.pdf - 06-dec-2016 brief met rapport waarnaar wordt verwezen in de ROW-2 integriteitsbeoordeling met betrekking tot reservoir / geomechanica modellering

Ontvangen als e-mail bijlagen 2021-06-01

2. ROW-2 InTex CBL interpretation.pdf - Baker Hughes InTex casing bond log, verworven 22-feb-2021

3. ROW-2 LIB photo's.pdf - rig-site foto's van afgesneden pijpen en LIB geborgen uit ROW-2

4. ROW-2 Shear 7inch Prod. Casing.pdf - beelden gemaakt op 20-feb-2021 met een camera in het boorgat na het afsnijden tubing in ROW-2

5. ROW-2_A-Annulus_Pressure_History.pdf - figuur met A-annulus drukgegevens die sinds oktober 2016 in ROW-2 zijn verkregen

6. ROW-2_FORMATION TOP DATA.pdf - tabel met formatie dieptes van formatie toppen, sommige met dip en dip direction (14dip; 41azi), voor ROW-2

7. ROW-2_Well Status Diagrams.pdf - met formatie tops, verbuizing diagram, en locaties van de verschillende gebeurtenissen

8. Casing_Caliper_Analysis_Report_ROSSUM_WEERSELO_2.pdf - ROW-02 7" casing SCMT-PMIT interpretatie

9. Ondersteunende e-mail van de NAM (meestal in het Engels)

10. ROW paneel top 3C.pdf - Rossum-Weerselo paneel (logs) geëgaliseerd aan top Zechstein 3C.

11. ROW-2_SCMT-PMIT_evalua=on_Oct-2013_EP201310209305.pdf - Multi-finger Caliper Analysis Report van 17 februari 2021

12. ROW-2 4inch tubing fish (1).pdf - Diverse foto's van de onderkant van teruggewonnen tubing

13. Winningsplan Rossum-Weerselo - veldontwikkelingsplan.pdf - 19 december 2003 plandocument

Ontvangen als e-mail attachments 2021-05-28

14. DOMUS-21104157-v4-Input_reviewer_ROW-02.pptx - additionele gedetailleerde vragen die zijn gesteld

15. Technisch evaluatierapport Waterinjectie Twente - kenmerk EP201701214429 - april 2017.pdf - het vereiste 6-jaarlijkse evaluatie-rapport van de exploitant voor de Twentse injectieputten inclusief ROW-2

16. 2017 Twente waterinjectie - EP201801202157 - FINAL.pdf (in het Nederlands) - injectie well report data

17. ROW-2 Well integrity investigation mei2021 EP202104200659.pdf - verslag over de integriteit van de putten van ROW-2, dat in dit project moet worden beoordeeld

Ook bekeken

18. 6-dr-ellsworth-review-of-twente-threat-assessment.pdf - microseismic monitoring plan review

Bijlage II. - Voorlopige antwoorden op vragen 14 juni 2021

Wat is er gebeurd (voorlopige conclusies)?

◦ Eind 2017 was er een totaal en onverklaard verlies van (2-4 bar) annulaire druk in ROW-2, gevolgd door een langzaam herstel. Als dit te wijten was aan een verlies van integriteit van de packer en de put aan de oppervlakte was afgedicht, zou dit een vacuüm hebben kunnen creëren - maar de gegevens tonen alleen aan dat de druk naar nul ging, niet de locatie van het lek.

◦ Op verschillende plaatsen tegenover de ZEZ3C was vóór en na dit drukverlies buisovalisatie (in de tubing) vastgesteld; de locaties werden geleidelijk ondieper naarmate de tijd verstreek

◦ De scheur/afschuiving van de verbuizing heeft eind 2019 waarschijnlijk geleid tot het ovaal worden van de injectiebuis op ongeveer 1116 m diepte, waardoor het niet mogelijk was om gereedschap in de put te brengen

◦ A-annulus vloeistofniveau gemeten begin 2020 tijdens onderhoud aan oppervlakteapparatuur was lager dan verwacht

◦ Er werden herstelwerkzaamheden aan de put voorbereid, waarbij details van de vervorming en schade gezien werden

◦ Er lijken geen andere nadelige gevolgen te zijn aangetoond dan het verlies van deze put, die een zeer doeltreffende injectieput was – deze conclusie wordt deels getrokken, omdat de breuk plaatsvond in een ondieper gelegen injectiezone waar vloeistofverlies geen risico vormde

Wat is de onderliggende oorzaak van deze gebeurtenis (voorlopige conclusies)?

◦ De gebeurtenis werd veroorzaakt door formatiebelastingen die de vervorming concentreerden in een laag nabij de top van de ZEZ3C.

◦ Alternatieve verklaringen, bijv. axiale belasting die knikken veroorzaakt, zijn onwaarschijnlijk maar mogelijk.

◦ Afschuiving en vervorming van de formatie overschreden de grenzen van de vervormingsbelasting van de verbuizing.

◦ Er is niet genoeg informatie om de oorzaak van de formatieafschuiving ondubbelzinnig te verklaren; deze is waarschijnlijk niet onmiddellijk opgetreden, maar heeft zich eerder in de loop van de tijd ontwikkeld.

◦ Overige bijdragen omvatten het verlies van interne annulaire druk die de verbuizing anders tegen de afschuiving/breuk had kunnen beschermen; een relatief zwakkere verbuizing; in het interval waar de tubing het begaf, van het tubingsysteem zelf.

◦ Er waren dieper gelegen locaties van tubing ovalization, waarvan de oorzaken niet volledig zijn verklaard, die niet in verband werden gebracht met een zachtere schuiflaag (kleilaag).

Wat zijn de gevolgen hiervan voor toekomstige water-injecties in soortgelijke gevallen (voorlopige conclusies)?

◦ Passende isolatie moet worden gehandhaafd zodat een soortgelijke gebeurtenis geen effect heeft op:

- putintegriteit
- putprestatie

◦ Dit houdt onder meer in dat kritieke verbuizings-elementen beschermd moeten worden tegen buitensporige vervorming, bijvoorbeeld door ze zo te plaatsen dat delen, die door risicovolle zones van de formatie lopen afgeschermd zijn van de rest van de put, zelfs als zich een gebeurtenis zou voordoen

◦ Het toezicht moet worden verbeterd door (a)te letten op en (b)passend te reageren op de voorspelde tekenen van een dreigend of zich voordoend van soortgelijke storingen

◦ Voorspellen zal moeilijk zijn - het is beter om de effecten van dergelijke gebeurtenissen te meten en de gevolgen ervan te ondervangen.

Bijlage III. Gedetailleerde antwoorden op specifieke vragen

Gegevens:

• Zijn de bekende gegevens toereikend om het geomechanische proces dat tot de afschuiving (breuk) heeft geleid, te begrijpen

A – In principe, nee. De oorzaak zou kunnen liggen in afschuiving op een breuk, of in een glijdend vlak op een bijna horizontale laag, of in een verschil in deformatiesnelheid tussen de 3C/3H. Er zouden modellen kunnen worden gemaakt om na te gaan of een of meer van deze factoren zich hebben voorgedaan, maar de resultaten zouden moeilijk te valideren zijn omdat de vereiste gegevens wellicht niet beschikbaar zijn.

- geomechanische metingen (micro-frac testen om S3 (maat voor scheurvorming van gesteente) te meten; langdurige shut-in om de poriëndruk te bepalen) zouden informatie opleveren over het spanningstraject van het reservoir. Dit zou kunnen worden gedaan via perforaties in verbuizing. Misschien kan het spanningsverloop in het veld worden vastgesteld, of de breukoriëntatie als die op één lijn ligt, of de beddingdiepte als die steil genoeg is, met behulp van 'Azimuthal shear-wave anisotropy measurement' (manier om genoemde eigenschappen te meten); dit is mogelijk in een put met verbuizing, hoewel de put dan wellicht onder druk moet worden gezet om een goede verbinding tussen de verbuizing en de formatie te krijgen. Samen zouden deze methoden de grenzen opleveren waarbinnen het glijden van lagen onderling kan (heeft) plaats(ge)vonden, gegeven de oriëntatie van het scheurvlak, als die kan worden bepaald.

- Een verticaal profiel van spanningsmetingen zou zeer informatief zijn voor het modelleren van differentiële vervorming met de diepte en bij grensvlakken.

- Laboratoriumonderzoek naar kruip en mechanische eigenschappen van monsters uit de aangetaste zones kan informatie opleveren over modellen van tijdsafhankelijke vervorming. Compactie-studies zouden ramingen kunnen opleveren van de veranderingen in het spanningstraject tussen depletie en injectie, en van de mate van onomkeerbare verdichting die het gevolg was van productiegerelateerde drukverlagingen.

- Vloeistofcompatibiliteitstesten kunnen helpen bepalen in welke mate incompatibele vloeistoffen die met de aangetaste intervallen in contact zijn gekomen, hun eigenschappen kunnen hebben gewijzigd en wellicht tot het voorval kunnen hebben bijgedragen.

- Directe vloeistofbemonstering van zones op geschikte locaties en meting van bijvoorbeeld zuurstof-isotopen kunnen geïnjecteerde vloeistoffen identificeren, zelfs als die niet eerder zijn gemerkt, en zo helpen bij het in kaart brengen van de stroming van het geïnjecteerde water.

B – Wat betreft de differentiële verplaatsing over de 3C/3H gebied, het lokaliseren van krachten, die leiden tot parallelle verschuivingen binnen de laag, blijft er zoveel onduidelijkheid bestaan dat het moeilijk zou zijn om hierin een oplossing te vinden, zelfs met meer "geomechanische" gegevens

- Het installeren van vezels om vervorming te meten zou een manier zijn om te controleren en te anticiperen op soortgelijke gebeurtenissen

- gebruik van laboratoriummetingen van kruipsnelheden onder realistische (in situ) omstandigheden van de verschillende materialen om modellen te construeren voor de wijze waarop het systeem wordt belast; de resultaten verwerken in FEA (Finite Element Modelling) van de putten bij die belastingen van zoutkruip.

- het gebruik van real-time of semi-continue metingen van het vloeistofniveau, bijvoorbeeld via echometingen of andere vloeistofniveaubewaking van de annulus, samen met oppervlaktedrukbewaking, kan essentiële informatie opleveren voor de integriteit van de put / annulaire ruimte

- rechtstreekse vloeistofdrukcontrole en bemonstering van de annulus zouden op periodieke basis kunnen worden uitgevoerd indien capillaire buizen of andere bemonsteringssystemen zouden worden gebruikt.

C – Als de breuk te wijten is aan "afschuiving langs een breuk" van een laag, zijn er een aantal mogelijke oorzaken: verhoogde poriedruk, hydrologische verzwakking van de laag, differentiële vervorming van het reservoir ten gevolge van onttrekking en injectie in de loop van de tijd, natuurlijke groei van de zoutstructuur zonder rekening te houden met de activiteiten; al deze factoren kunnen een bijdrage leveren en er zouden uitgebreide modellen, monitoring en gegevensvergaring nodig zijn om plausibele scenario's op te stellen die de gebeurtenis kunnen verklaren.

- **Welke gegevens kunnen nuttig zijn om het geo-mechanische proces beter te begrijpen**

- Reservoirgerelateerde gegevens worden in dit verslag niet uitvoerig besproken. Het gaat hier om reservoirs met breuken, en de resultaten van modellen die gebruik maken van equivalente poro-elastische media zijn in het beste geval benaderingen (ik maak mij zorgen over de veel lagere voorspelde injectiedrukken, dan de waargenomen drukken, die worden verklaard door verschillen in de mobiliteit van water versus gas), hoewel dergelijke modellen kunnen worden verbeterd met calibratie-metingen

- kennis van de variatie in de druk van het reservoir in de tijd en op de plaats, vanaf de eerste productie tot op heden - ik stel vast dat de druk vóór productie en de uiteindelijke druk na de gasproductie (depletie) worden vermeld, maar de bespreking van de wijze waarop deze zich hebben ontwikkeld en de gevolgen van veranderingen voor spanningen en stabiliteit van structuren is minimaal

- kennis van de druk-ontwikkeling tijdens depletie en injectie

- poro-elastische / poro-plastische parameters van het reservoirmateriaal

- interferentie of andere tests om stromingstrajecten/verbindingen tussen locaties en tussen de verschillende geologische niveau's vast te stellen

- bevochtichbaarheid (watability) van de formatie - water-nat? olie-nat? kan kritisch zijn - welke vloeistof, indien gedeeltelijk verzadigd, draagt de drukgradiënt? Kan hydrolytische verzwakking bijdragen tot falen?

- spanningsoriëntaties en -grootte / veranderingen met de druk - er is van uitgegaan dat de horizontale spanningen gelijk zijn, en er wordt geen informatie verstrekt over de spanningsoriëntatie

- oriëntatie van slipvlakken / mogelijke verplaatsingsvlakken (dip-meter?)

• **Zouden de richtingsgegevens van de huidige spanning en/of vervorming van de buizen bijdragen tot het begrip en de mogelijke modellering**

◦ ja, maar niet op zichzelf

◦ dit gebied is opmerkelijk seismisch rustig; dit is jammer omdat microseismische monitoring en bepaling van het focale mechanisme (epicentrum?, breuklijn?) informatie zou kunnen opleveren over de plaatselijke spannings-tensor en zones zouden kunnen identificeren waar de omstandigheden de seismische stabiliteitsgrenzen van reeds bestaande breuken of scheuren naderen

◦ rechtstreekse drukmetingen tussen injectoren, en zo mogelijk interferentietests, zouden het mogelijk maken fronten te volgen, anisotropie van de permeabiliteit in combinatie met breuken en breuklijnen te bepalen, en te helpen bij het voorspellen van reservoirvulling/vloeistofverdeling om een vergelijking met microseismische activiteit mogelijk te maken;

◦ zie boven; *Azimuthal shear-wave anisotropy* measurement zou de oriëntatie van de maximale spanning kunnen blootleggen, als het materiaal voldoende spanningsgevoelig is en indien het spanningsverschil groot genoeg is.

Beschreven onderliggende oorzaak zoals gegeven door NAM

• Zijn er meer, realistische, scenario's mogelijk dan die (2) voorgesteld

◦ Nee, hoewel de opeenvolging van gebeurtenissen anders kan zijn geweest, of andere belastingen kunnen hebben bijgedragen tot de vervorming en het falen van de buis.

◦ Het is eventueel mogelijk en waarschijnlijk niet te achterhalen dat de drukval aan de oppervlakte en niet in het boorgat is opgetreden - het feit dat de druk tot nul daalde, en niet tot onder nul of dicht bij maar niet tot nul, is vanuit dit oogpunt interessant. Om een onderscheid te kunnen maken tussen een breuk aan de oppervlakte en een breuk op reservoir-niveau, zou het vloeistofniveau continu moeten worden gevolgd, vooral bij plotselinge drukveranderingen, en/of zou een druksensor moeten worden geïnstalleerd die vacuümniveaus kan meten.

◦ Een mogelijkheid is dat een deel van de breuk van de casing heeft plaatsgevonden op het moment dat de tubing werd verwijderd; in dat geval is het mogelijk dat de casing intact was (hoewel vervormd). Maar er was een verlies van de isolatie van de A-annulus met het reservoir op een eerder tijdstip is verbroken, die niet door een lek in de tubing is veroorzaakt - wat voor scenario B zou spreken. Dit is een onwaarschijnlijk scenario op grond van de bestaande gegevens.

◦ Een andere mogelijkheid is dat knikken heeft bijgedragen tot de breuk van de verbuizing, als gevolg van de verticale belastingen die door de vervorming worden opgelegd - de schijnbare verandering in de ovaliteitsassen tussen de afschuiving van de verbuizing en de bovenkant van de tubing, en de draaiing in de schijnbare ovaliteit van de verbuizing in de caliper-gegevens, doen die mogelijkheid vermoeden. Dussault bespreekt deze mislukkingen in een artikel uit 2001 in SPE Drilling & Completion, getiteld "Casing Shear: Causes, Cases, Cures."

◦ Ik merk op dat er een grote en misschien plotselinge (?) ontlasting van de hangers was toen de buizen werden verwijderd, wat tot een plotselinge toename van de belasting op de buizen zou hebben geleid, en een spanningsgolf teweeg zou hebben kunnen brengen die tot extra schade zou hebben geleid, maar ik vermoed dat dit op zodanige wijze is aangepakt dat het risico van hoge compressie waardoor de buizen zouden knikken, werd vermeden.

• Zijn de beschreven scenario's correct en fysiek mogelijk?

◦ ja

• Is de evaluatie van de keuze van het meest waarschijnlijke scenario goed uitgevoerd?

◦ tot op zekere hoogte, ja (zie hierboven met betrekking tot geomechanica en drukmonitoring van de boorput en het (de) reservoir(s))

◦ Een uitzondering is de al te vereenvoudigde modellering van de vulling van het reservoir - omvang van vloeistof-, druk- en warmtefronten weg van de injectoren. Dit is gedaan met gebruikmaking van de oorspronkelijke porositeit, een verondersteld Darcy-poreus materiaal, en volledige opvulling

▪ als het eenvoudige model correct is, kan het falen van ROW-2 niet rechtstreeks ten gevolge van de injectie zijn veroorzaakt, zodat andere mogelijkheden overblijven (normale zoutbeweging; secundaire effecten van de injectie; lekkage van vloeistoffen uit de injectiezone van ROW-2 naar de bovenliggende zone door wat wordt verondersteld een stroombarrière te zijn).

◦ Hier tegenover staat...

▪ Dit is een systeem met breuken; de vloeistofstroming zal bij voorkeur de lijn volgen van breuken of zwakke plekken.

▪ de porositeit zal zich niet volledig herstellen tot de toestand van vóór de gaswinning, maar de betrokken volumes zijn klein (het geïnjecteerde volume bedraagt minder dan 10% van het oorspronkelijke veronderstelde poriënvolume; het is onwaarschijnlijk dat de verdichting het poriënvolume met meer dan 90% zal doen afnemen).

• **Kan een eventuele afschuiving van putten in het ROW-veld worden voorspeld met de huidige dataset, monitoring en kennis**

◦ het risico kan worden geraamd indien de monitoring wordt verbeterd (zie hierboven en hieronder), maar voorspelling is vrijwel onmogelijk gezien de onzekerheden

◦ plaatsen waar afschuiving kan optreden, kunnen echter worden voorspeld op grenzen tussen materialen met verschillende eigenschappen en over vloeistofstromingsbarrières heen; ook bij verbindingen waar de eigenschappen van de voltooiing abrupt veranderen

◦ derhalve moeten potentieel zwakke gedeelten van de verbuizingen worden geïdentificeerd

• **Is het creëren van oplossingsgrotten door het injecteren van zoet water in de evaporietomgeving van het ROW haalbaar? Kunnen deze bijdragen tot casing-shear gebeurtenissen?**

◦ differentiële verdichting als gevolg van het ontstaan en instorten van holtes zou kunnen leiden tot afschuiving van de verbuizing, maar voor een oplossing die groot genoeg is om grote spanningen te veroorzaken, zouden meerdere vloeistofvolumes van het reservoir door de zone moeten stromen.

◦ er zijn geen grote holtes geïdentificeerd achter de behuizing in de bond en andere logs...

◦ dit risico zal toenemen naarmate meer water uit stoomcondensaat bestaat

◦ hoe dan ook zou dit risico kunnen worden verkleind door de oplosmiddelen in het geïnjecteerde water zodanig aan te passen dat zij chemisch verenigbaar zijn met de pekels en mineralen van de formatie

• **Ondersteunen de aangehaalde en andere academische werken de stellingen van de Operator? Dit is met name het geval voor het punt dat de Anhydriet-Gips overgang ten gevolge van nabije (zoet) waterinjectie kan worden uitgesloten als oorzaak van of bijdragende factor tot de afschuiving.**

◦ Ik ben niet gekwalificeerd om commentaar te geven op de geochemische processen

◦ het kan zijn dat "diepte" niet de limiet is, maar de temperatuur op diepte...

Monitoring

• **Wordt er een verklaring gegeven waarom de casing-shear gebeurtenis niet eerder werd opgemerkt?**

◦ Vervorming van de tubing werd vrij vroeg in de tijdlijn vastgesteld; dit werd duidelijk niet als belangrijk beschouwd; aangezien erkend wordt dat dit te wijten kan zijn aan beschadiging van de tubing door de casing, zal hier in de toekomst ongetwijfeld meer aandacht aan worden besteed.

◦ Het feit dat de vervorming van de verbuizing niet werd opgemerkt, was zeker een gevolg van het feit dat niet met korte tussenpozen de nodige metingen werden verricht, bijvoorbeeld door tubing-metingen/annulus druklekken/meten van de isolatie door drukmetingen. Het feit was ook dat de beschikbare gegevens, hoofdzakelijk het drukverlies van de verbuizing, niet werden gebruikt om verder onderzoek in te stellen. Herhaalde inspecties van de leidingen, hoofdzakelijk interne schuifmaatmetingen, zijn om voor de hand liggende redenen de meest eenvoudige manier om de vervorming van de leidingen te controleren, maar vereisen periodieke operationele afsluitingen.

◦ Het risico had kunnen worden voorzien met behulp van a posteriori informatie over de plaats van de gebeurtenis, met inbegrip van de zwakkere buizen (tubulars pup joints). De reeks druk- en andere out of spec-voorvallen had kunnen leiden tot een voorzien van het risico, waardoor het mogelijk zou zijn geweest de put eerder af te sluiten en de omstandigheden te testen; door de juiste corrigerende maatregelen te nemen, had verlies van de put kunnen worden voorkomen.

◦ De volgende incidenten hadden kunnen worden onderzocht, hetgeen had kunnen leiden tot een vroegtijdige werkovername waardoor het incident had kunnen worden voorkomen:

- meerdere buisvervormingen - waarom???
- 2015 laag vloeistofniveau - waarom???
- 2017 en volgende - buisvormige vervorming - waarom???
- Augustus 2017 - plotseling drukverlies - waarom???, als vloeistofniveaus en oppervlakte- en interne leidingdrukken waren gecontroleerd

◦ In EP201701214429 staat (in een bijlage EP201605213540) dat "Voor alle waterinjectieputten in Twente jaarlijks integriteitstesten (WIT's en SIT's²⁵) zijn uitgevoerd", maar de resultaten worden in het rapport niet besproken. Is uit deze testen gebleken dat er geen lekkage is tussen of uit de A-annulus van alle putten? Of zijn deze in 2017 opgeschort?

◦ EP201605213540 stelt verder "Putten ROW2, ROW4 en ROW5 hebben een hoge injectiviteit. In die putten bereikte het vloeistofniveau niet de diepte van de geïnstalleerde BHP-meter of bleef de BHPi min of meer constant bij toenemende injectiesnelheid."

• **Zijn de voorgestelde wijzigingen in het monitoringprotocol voldoende om gevallen van casing-shear in een vroeger stadium op te sporen**

◦ verdere en meer herhaalde monitoring is nodig; zie hierboven.

◦ toezicht op de spanning in de boorbuis (casing) zou de beste manier zijn om deze voorvallen op voorhand te identificeren voordat zij vervorming van de buizen veroorzaken.

◦ dagelijkse druktets en andere tests van de boorputten kunnen worden gebruikt om vast te stellen wanneer de integriteit in het gedrang is gekomen, maar het voorspellen van de afschuiving van de verbuizing is, net als het voorspellen van aardbevingen, onmogelijk anders dan op statistische wijze met gebruikmaking van modellen voor de wijze waarop dergelijke gebeurtenissen worden veroorzaakt; zie ook de antwoorden hierboven en hieronder

• **Kunnen er andere verbeteringen in het controleprotocol worden aangebracht?**

◦ De exploitant moet verschillende risico's van gebeurtenissen voorstellen en een controleprotocol ontwikkelen om na te gaan wanneer elk van deze gebeurtenissen waarschijnlijk is.

◦ Putten moeten worden gecontroleerd op vloeistofniveaus in de annulus en op oppervlakedrukken (echometer akoestische methoden kunnen geschikt zijn voor het laatste), en periodiek op integriteit worden getest (ik leid af dat dit in het protocol stond, maar ik heb geen systematische analyse van de resultaten gezien)

◦ Druktetsen tussen de annulus en de binnenkant van de buis moeten worden ingesteld

◦ De reservoirdruk zou op verschillende afstanden van de injectoren kunnen worden gemeten om modellen voor het drukgedrag van het reservoir te valideren en vloeistoffen te traceren; er zouden periodieke drukvaltests kunnen worden uitgevoerd en geanalyseerd met behulp van transducers bij het reservoir

◦ vloeistoffen kunnen voor bemonsteringsdoeleinden van een label worden voorzien om de stromingstrajecten te bepalen en de bron van de bemonsterde vloeistoffen te identificeren; dit levert harde gegevens op voor het geval de integriteit verloren gaat

◦ De manometers moeten onder de vloeistofniveaus worden geplaatst (ik verwijst naar de opmerking "het vloeistofniveau bleef zelfs onder de diepte waarop de drukmeter in het boorgat was geïnstalleerd" in het verslag

◦ Injectiviteitstests zijn alleen nuttig indien zij naar behoren worden uitgevoerd - en moeten, gezien de onzekerheden en het meerfasige karakter en de onzekere bevochtigingsgraad van de betrokken formaties, worden vervangen door interferentietests of monitoring van de druk weg van de injectoren of tussen de injectoren onderling. monitoring van de snelheid en de oppervlakedruk om te voorkomen dat de druk te hoog wordt in de nabijheid van de put, zou, indien dit wordt gedaan, passend en veilig lijken.

◦ Ik juich de aanbeveling voor dagelijkse controle van de annulusdruk toe

◦ Onder verwijzing naar EP201605213540 moet de temperatuurregistratie van injectoren om de intredepunten van vloeistoffen (of lekken) te identificeren, verscheidene keren na het afsluiten worden uitgevoerd, en niet slechts één keer, om de thermische terugwinning als functie van de tijd te controleren.

◦ De inwendige diameter van de buizen kan worden gecontroleerd met een caliper, om zoutkruip vast te stellen, en door een stijf "varken" door de buis te laten zakken, om te controleren of de buizen zijn gebogen.

◦ Belemmeren vernauwingen in de leidingen de doorstroming? - Stapsnelheidstesten kunnen veranderingen in de stroomkarakteristieken van de buizen aan het licht brengen... ernstige beperkingen kunnen kleine drukverlagingen veroorzaken

◦ Volg het door Ellsworth aanbevolen stoplichtproces voor risicobeperking

Risico's

- **Is afschuiving onder de productiepacker inderdaad van weinig belang voor een voortdurende, veilige werking**

- afschuiving tussen de packer en de onderkant van de casing kan een vervorming veroorzaken die voldoende is om een verlies van integriteit bij de packer teweeg te brengen; verlies van integriteit van de packer is één van de mogelijke oorzaken van de breuk

- er moet worden gezorgd voor een passende afstand tussen het isolatiepunt en een mogelijk risico van vervorming van de behuizing

- **De lichte behuizingsspecificaties in ROW-02 worden gezien als een faciliterende factor. Is dit waar of zou elke mantelbuis onder deze spanningen worden afgeschoven**

- Kan afschuiving optreden als casing 7" 32lb/ft c75 of 9 5/8" 53,5 lb/ft c75 wordt gebruikt

- Ik kan dit niet beoordelen, maar ik kan wel zeggen dat verlies van drukintegriteit/werking buiten de ontwerpgrenzen moet worden vermeden; en uit de gegevens blijkt dat deze put dicht bij het overschrijden van dergelijke ontwerpgrenzen kwam.

- de risicobeoordeling moet worden uitgevoerd door een deskundige op het gebied van het ontwerp en de specificatie van buizen; er moet worden uitgegaan van verlies van steun aan de verbuizing (cementintegriteit), alsook van multi-mode vervormingen (torsie, verticale belasting en afschuiving)

- **Maakt het ontbreken van een kleilaag in de andere ROW-putten het afschuiven van de casing in deze putten zeer onwaarschijnlijk?**

- Niet erg onwaarschijnlijk, maar misschien minder waarschijnlijk - de nevenschikking van taaie over brosse lagen leidt tot afschuiving aan de grens, ongeacht de aanwezigheid van een "zwakkere" laag. De zwakkere laag verhoogt alleen het risico.

- Ik merk op dat er buisvormige vervormingen waren onder de falingsdiepte die niet geassocieerd waren met geïdentificeerde kleilagen

- Eén andere put (ROW-8) had een licht verhoogd GR net onder de top van de 3C...

- Een ander verschil tussen ROW-2 en de andere putten is dat ROW-2 zich aan de top van de structuur bevindt. ROW-7A is dichtbij; de andere bevinden zich op de flanken; in feite kunnen zij zelfs doordringen in het oorspronkelijke watergedeelte van de vloeistofkolom van het reservoir. Als er een gaskolom is, bevindt ROW-2 zich op het meest risicovolle punt in de structuur voor een breuk in de afdichting of een geomechanische slip of hydrofracturering.

Bijlage IV. - Figuur met de locaties van de vervormingen van de buizen die tijdens de levensduur van de ROW-2-injector zijn vastgesteld

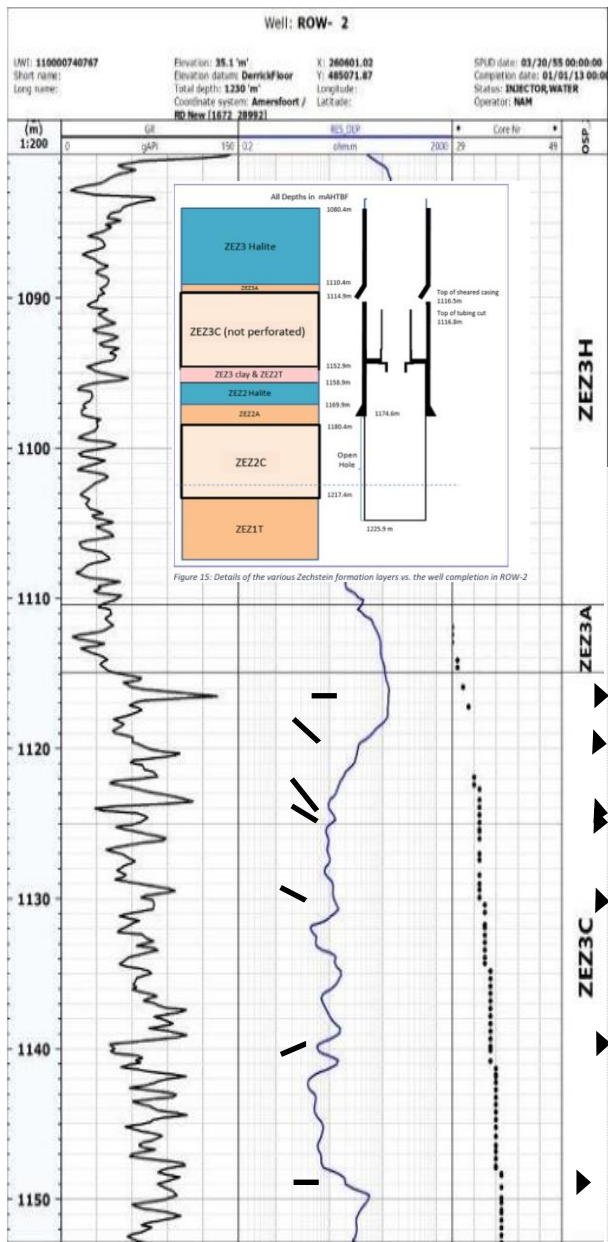


Figure 17: Left: Log display of ROW-2 showing Gamma Ray

820 - 980	820 - 980	1	Fluid level (injection water)
			Tubing, 5" 15.0#, VAM, L8
1110.19	1109	2	X/O, 5", 15.0#, VAM, L8
1114.64	1114	2	SLSD, 3.313" OTIS XA,
1115.84	1115	2	1x Pup 16ft joint 4", 10.0"
1116.50	1116	2	Top unknown restriction
1118.00	1117	2	Top unknown restriction
1120.07	1119	2	SPMA, 4.0", 10.9#, KBM,
1122.00	1121	2	Top unknown restriction
1124.00	1123	2	Top unknown restriction
1126.35	1126	2	2x Pup 16ft joint 4", 10.0"
1128.50	1128	2	Top unknown restriction
1130.54	1130	2	SPMA, 4.0", 10.9#, KBM,
1132.52	1132	2	1x Pup 16ft joint 4", 10.0"
1136.94	1136	2	X-LN, 3.313", 4.0" VAM,
1137.29	1137	2	1x Pup 16ft joint 4", 10.0"
1140.00	1139	2	Top unknown restriction
1141.60	1141	2	X/O, 4", 10.9#, VAM, L8
1141.92	1141	2	Baker anchor seal assembly
1142.50	1142	2	Baker 7" packer 84DA-4
1143.93	1144	2	5" pup joint, 15#, VAM, C
1146.15	1146	2	X/O 5", 15#, VAM, C75 L
1146.36	1146	2	1x Pup 16ft joint 4", 10.0"
1149.20	1148	2	Top unknown restriction
1150.99	1150	2	Flowcoupling and X-LN,
1152.07	1151	2	Entry Guide, 2.75", 3-1/2"
1175.37	1175	2	7" Production Casing, 20.0"
1192.90	1192	2	8-1/2" Rathole