

MEMO

Van: Nedmag B.V.

Aan:

5.1.2.e

5.1.2.e

5.1.2.e

5.1.2.e

Kopie:

5.1.2.e

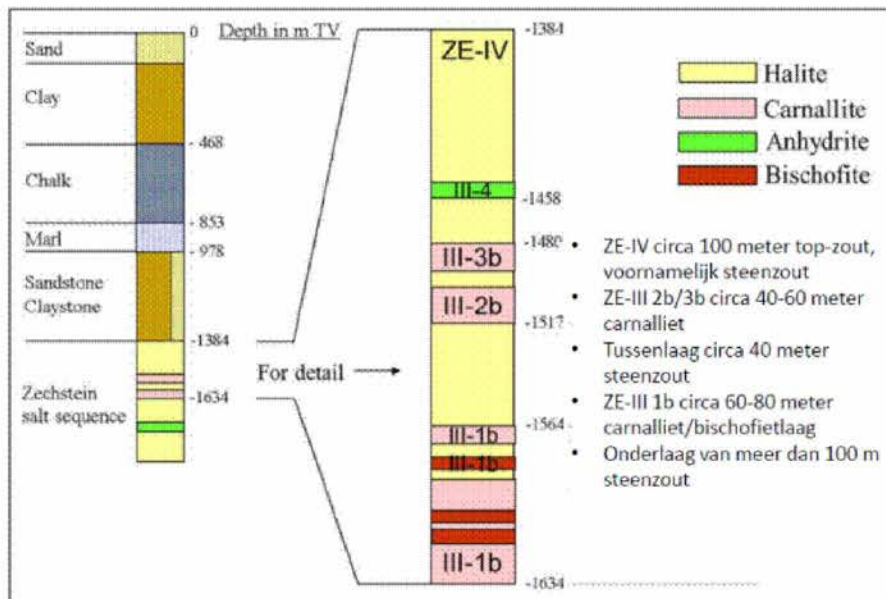
Datum: 19 augustus 2020

Onderwerp: Toelichting Nedmag plan TR-7



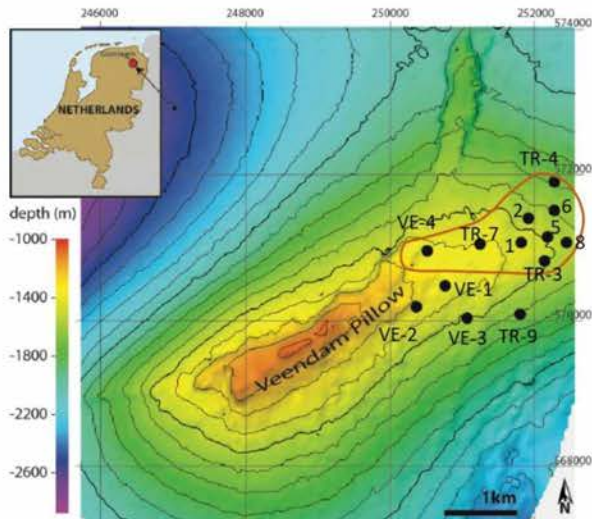
Introductie

Winningsput TR-7 is in 1992 in gebruik genomen en de caveerne is initieel ontwikkeld volgens het winningsplan (destijds: ontginningsplan) dat gold in de begin jaren 90. Daarbij werd zout in snedes en met behulp van een oliedak gewonnen. Hierbij is eerst bischofietzout opgelost in de ZE-III-1b en daarna carnallietzout in de ZE-III-2b/3b lagen. Het productiepunt is altijd in de onderste (1b) sectie gebleven, waardoor in de 2b/3b sectie gevormde carnallitische pekkel zich in de 1b sectie omzette in bischofietpekkel. Vanaf eind jaren 90 is de caveerne gebruikt voor het injecteren van carnallitische pekkel uit andere putten, gips en water. Dit gebeurde deels via een huff 'n' puff methode, waarbij afwisselend geïnjecteerd en pekkel gewonnen werd.



Figuur 1 - Detail zoutlagen, voorbeeld

In 1999 is de caveerne verbonden geraakt met het toen bestaande cluster van cavernes, doordat er loging van bischofiet plaatsvond vanuit het cluster. Vervolgens is in 2009 caveerne TR-7 met caveerne VE-4 in verbinding geraakt, waardoor TR-7 nu op (minstens) twee plekken verbinding maakt met andere cavernes/putten. Loging (door zoet water of onverzadigde lagere dichtheid pekkel) gaat altijd in opwaartse richting. Daardoor is een verbinding via het weglopen van zout altijd in opwaartse richting of hoogstens in een horizontale richting van de zoutlagen die op een kussenstructuur liggen. Van het TR-cluster is VE-4 de ondiepste winningsput. Alle andere TR-winningsputten liggen dieper dan TR-7.



Figuur 2 - Overzicht Nedmag winningsputten

In juli 2020 is op TR-7 een workover uitgevoerd. Het plan voor de workover was om de oude completion (2 stuks 3 ½" tubings) te verwijderen en een productie en gipsinjectiestring (dual completion) te gaan plaatsen. Tijdens deze workover is een inspectie uitgevoerd op de 9 5/8" (last cemented) casing, nadat de oude tubings verwijderd waren. De inspectie toonde kleine deformaties aan tussen 1500 en 1650 m diepte AH. De minimale ID bevindt zich rond de overgang van lower buntsandsteen naar het haliet zoutdak (1643 m) en is tussen 7,7 – 8,0" (nominale ID is 8,68"). De deformatie levert geen direct gevaar op voor mens en milieu. Er is geen lekkage geconstateerd en geen zichtbare corrosie of scaling waargenomen. De cementatie van de casing ter hoogte van de eerste sluitlaag (het zoutdak) is in goede staat.

Naar aanleiding van de gevonden deformaties is besloten de put niet te hercompleteren. De overgebleven ID maakte de dual completion volgens work program onmogelijk. In deze memo wordt geëvalueerd wat te doen met TR-7. Hierbij wordt gekeken naar de nabije toekomst, waarin de vrije pekkel in het TR-cluster nog niet volledig is afgelaten.

De opties voor TR-7 zijn:

1. De casing open houden t.b.v. directe toegang tot de caverne.
2. De put partiel abandonneren met een plug.

Door middel van bow-tie-analyses wordt inzichtelijk gemaakt wat de risico's van beide opties zijn en welke maatregelen genomen kunnen worden om ongewenste gevolgen niet te laten plaatsvinden of de gevolgen te beperken.

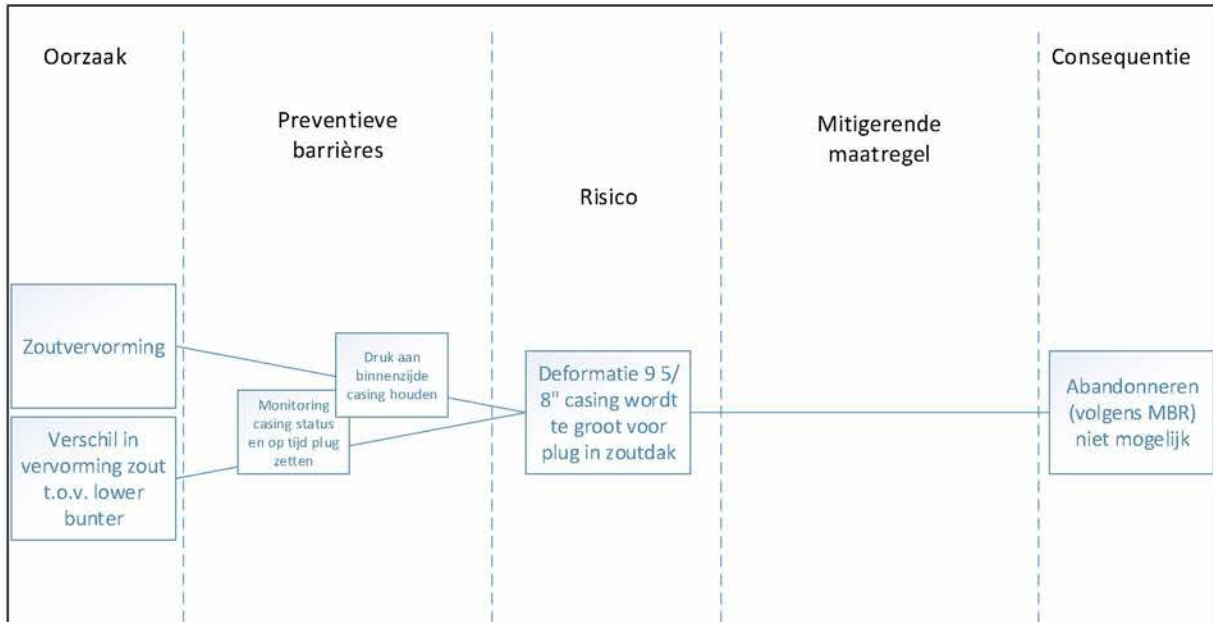
Toegang tot TR-7 caverne via casing open houden

De eerste mogelijkheid die bekeken is, is het open houden van de casing zonder een completion te plaatsen. Het voordeel hiervan is dat de druk van de bovcaverne gemonitord kan worden en zo ook de verbinding met het TR-cluster. De risico's die er zijn, zijn enerzijds het lek raken van de casing en anderzijds het zodanig vervormen van de casing dat een plug zetten over het zoutdak niet meer mogelijk is. Dit kan tegelijkertijd, maar ook sequentieel plaatsvinden. In figuur 3 en 4 zijn de bow-tie-diagrammen van beide situaties weergegeven.

Het vervormen en lek raken van de casing hebben dezelfde oorzaken, namelijk het vervormen (kruipen) van zout en van de lower buntsandsteen. De verwachting is dat deze beide effecten blijven optreden in de toekomst. De belangrijkste maatregel om te voorkomen dat dit leidt tot één van beide

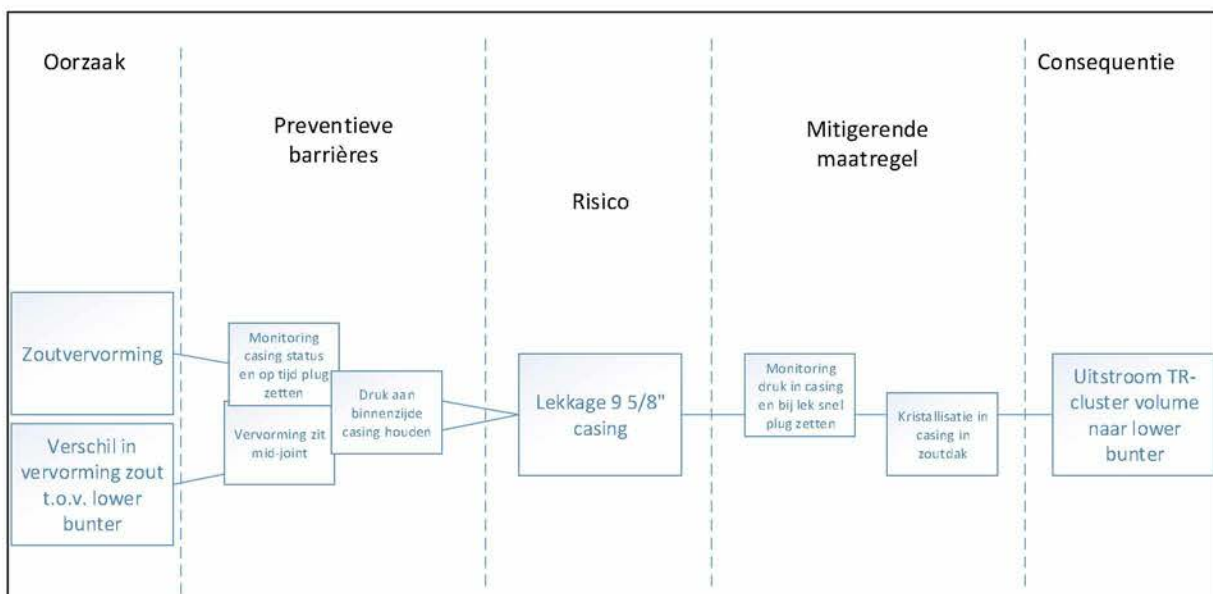
risico's, is het nauwkeurig monitoren van de casing en een plug plaatsen op een moment dat het nog mogelijk is. Monitoring zal bestaan uit periodieke inclinatiemetingen en ID metingen.

Door de casing open te houden, is de druk in het onderste deel ervan iets lager dan de cavernedruk (maar wel in de buurt). Boven het zout is de druk in de casing hoger dan de druk erbuiten, en staat de casing op overdruk. Dit is gunstig, aangezien vervormingen van de casing de weerstand tegen samendrukken negatief beïnvloeden. Daarnaast wordt de kans op lekkages verkleind, door het feit dat de gevonden deformaties in het midden van casing joints zitten en niet bij de connecties.



Figuur 3 - Bow tie diagram deformatie casing in situatie met toegang tot caveerne

In het geval van grote vervorming van de casing kan er geen plug geplaatst worden in het zoutdak en is abandonnering volgens de mijnbouwregeling niet meer mogelijk. Uiteindelijk zal er dan bij lek raken een open verbinding zijn tussen de caveerne en de overburden, en zal de caveerne kunnen uitstromen naar de lower buntsandsteen formatie.



Figuur 4 - Bow tie diagram lek raken casing in situatie met toegang tot caveerne

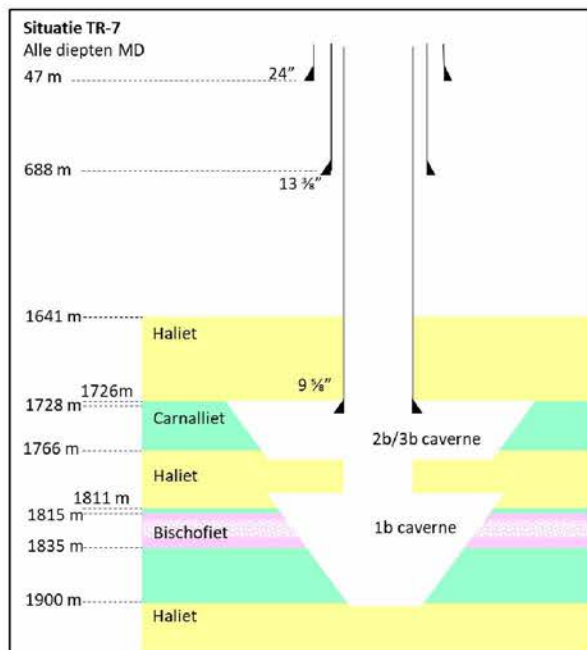
Het lek raken van de casing boven het zoutdak heeft tot gevolg dat de lower buntsandstein in verbinding staat met de caverne van TR-7. Hierdoor zal in beginsel uitstroom vanuit het gehele TR-cluster kunnen plaatsvinden. Het vrije pekelvolume in het cluster (oftewel het volume dat kan uitstromen) is in augustus 2020 nog ca. 1,3 mln. m³ in de 1b-laag en ca. 1,1 mln m³ in de minder snel squeezezende 2b/3b-laag. Een lek kan geconstateerd worden door drukverandering in de casing en uitstroom kan gestopt worden door dan zo snel mogelijk een plug te plaatsen in het zoutdak. Daarnaast zal ook op een gegeven moment op natuurlijke wijze een plug gevormd worden door kristallisatie van de pekel.

Op dit moment is niet te voorzien hoe snel bovenstaande gevolgen gaan optreden. Er is nu enkel data over de casing beschikbaar van de boring van de put (inclinatiemetingen uit 1991) en de workover van juli jl. Wel dient te worden vermeld dat de casing op de punten van deformatie de ronde vorm, en daarmee zijn weerstand tegen indrukken, kwijt is. Hierdoor is snellere deformatie dan in het verleden waarschijnlijk. Daarnaast gaat ook de zoutkruip op dit moment sneller dan voor april 2018, doordat bij de afbouw van het cluster de druk erin lager is en de convergentie ervan sneller.

Partieel abandonneren TR-7

Het partieel abandonneren van de put is, naast het open laten van de casing, het andere scenario dat is bekeken. In dit scenario wordt de put ter hoogte van het zoutdak afgesloten met een mechanische plug en daarbovenop een cement plug (zie *MOC #7 NedMag TR-7_partial abandonment v1*). Door dit te doen, wordt de kans zeer gering dat het volume van het TR-cluster in verbinding komt met formaties boven het zout. Het grootste risico dat er is, is het ontstaan van een scheur in het zoutdak. In het bow tie diagram (fig. 6) is verder uitgewerkt wat de oorzaken en gevolgen hiervan zijn.

TR-7 heeft een caverne in de 2b/3b laag en in de 1b laag, deze cavernes staan in verbinding met elkaar (zie fig. 5). De cavernes staan via de 1b laag in verbinding met het TR-cluster (VE-4 plus TR-1 t/m 8). Drukopbouw in de bovencaverne kan er voor zorgen dat er een scheur ontstaat in het zoutdak erboven. Dit kan plaatsvinden als de verbinding tussen boven- en ondercaverne verdwijnt of als de ondercaverne zich afscheidt van het TR-cluster.



Figuur 5 - Caverne situatie TR-7

Op het moment dat de boven- of ondercaverne afgesloten raakt, zal deze zich op enig moment door drukopbouw heropenen. Cavernes kunnen niet alleen door een oplosproces onderling verbinding

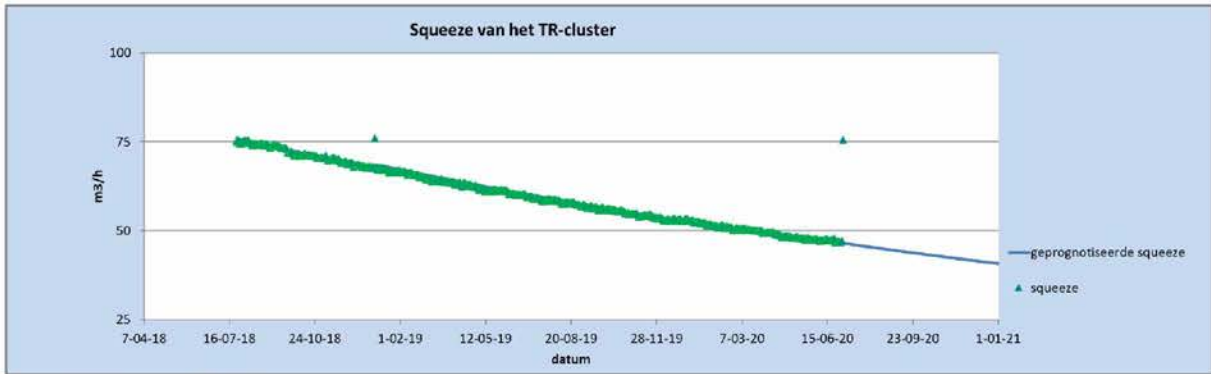
maken, maar ook via een scheur in het zout. Dat gebeurt in principe via de zwakste schakel: de carnalliet- of bischofietlagen, doordat deze een verwaarloosbare treksterkte hebben. Dit is bijv. medio 1994 gebeurd tussen cavernes TR-4 en TR-6. Als de druk van TR-4 door pekelaflaten teveel onder die van TR-6 kwam, daalde de druk in TR-6 en steeg de druk in TR-4. Er werd destijds alleen pekelaflaten en niet geloofd, er loste dus geen zout op in de verbinding tussen de cavernes. De verbinding bleek dynamisch; de hydraulische verbinding verdween bij gering drukverschil, vermoedelijk door het sluiten van een scheur. Nadat de putten van nieuwe waterinjectiestrings waren voorzien, is in 1998 de verbinding permanent geopend. Dit komt door oplossing van magnesiumzout in het stromingspad.

Indien langdurig pekelaflaten wordt afgelaten zonder injectie van water, zoals momenteel (sinds 2018) bij het TR-cluster, bestaat de kans dat een hydraulische verbinding weer verbroken wordt. Dit komt doordat de verbinding dicht vloeit met zout, voornamelijk bischofiet in de ondercaverne. Tot nu toe is dit niet gebeurd. Indien dit gebeurt, zal dit vermoedelijk eerst gebeuren in de verbindingen waar het minste zout uit geloofd is. Dat wil zeggen de cavernes die het kortst verbinding hebben in de tijd of waarin na de verbinding weinig water in is geïnjecteerd. De verbinding tussen TR-7 en VE-4 is hiervoor kandidaat. TR-7 is via TR-1 al lang met het cluster verbonden en er is veel water in geïnjecteerd, dat vervolgens uit andere putten als pekelaflaten is gewonnen. Hierdoor zal TR-7 vermoedelijk zeer lang (tot het moment dat zoutkruip nauwelijks nog bijdraagt aan de pekelaflatenproductie) verbonden blijven met de rest van het TR-cluster.

Als een verbinding dicht kruipt en de druk in een geïsoleerd geraakte caverne niet wordt afgelaten door pekelaflatenproductie, is de kans groot dat de caverne een drukverschil opbouwt met andere cavernes. Indien de caverne nog hydraulisch contact heeft met een put, zal dit aan het maaiveld te zien zijn. Indien een plug wordt gezet, zoals in 2020 gebeurd is in TR-5, kan dit niet meer direct gemeten worden. Indirect zal het zich afzonderen van een caverne te zien zijn als een afwijking van de relatie tussen cavernedruk en de pekelaflatenproductie.

Afsluiting van de 1b sectie van TR-7 betekent dat er geen verbinding meer zal zijn tussen VE-4 en de rest van het cluster, daar de verbinding via TR-7 loopt. Indien VE-4 een verminderde hydraulische connectie zou krijgen (te merken aan drukschommelingen van 2-10 bar ten opzichte van het cluster), zal actie ondernomen worden om de connectie in stand te houden. Dit is mogelijk door licht onderverzadigde pekelaflaten in VE-4 te pompen en deze via andere clusterputten weer te winnen. Bij VE-4 is dit in 2015 al eens uitgevoerd en is de verbinding met het TR-cluster op deze wijze hersteld.

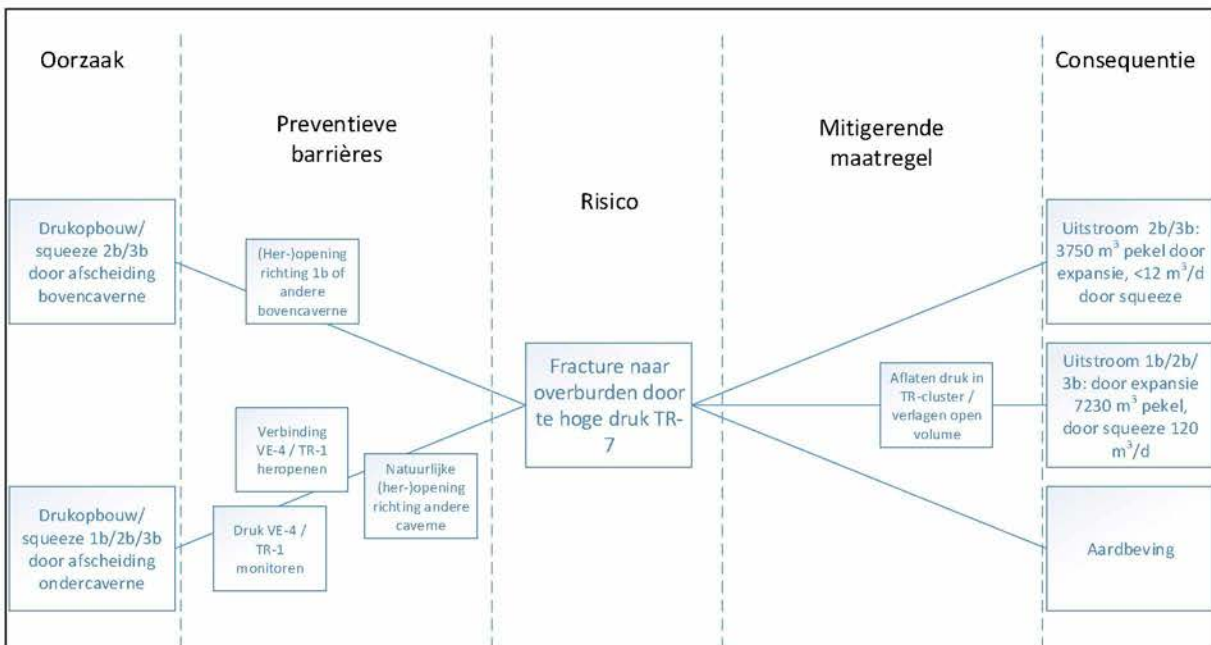
Als VE-4 niet meer verbonden is met het TR-cluster, mag niet direct geconcludeerd worden dat dit ook voor TR-7 geldt. Dit kan echter indirect worden vastgesteld, via een afwijking van de bestaande relatie tussen de pekelaflatenproductie en de squeeze volumes van het TR-cluster. Tot op heden bestaat een duidelijke correlatie tussen de squeeze snelheden en het overblijvende volume vrije pekelaflaten in de 1b sectie. Bij een constante pekelaflatenproductie, is de werkelijke squeeze snelheid de afgelopen 2 jaar gelijk aan de verwachting. De gemeten afname hangt samen met het volume vrije bischofiet pekelaflaten, dat van juni 2018 tot juli 2020 met ca. 40% is afgenomen. De vrije pekelaflaten in het TR-cluster wordt in de komende jaren verder afgelaten, waardoor er steeds minder uitstroom van pekelaflaten mogelijk is.



Figuur 6 - Squeeze TR-cluster

In theorie kan ook de 2b/3b sectie zich afzonderen van de 1b sectie, doordat de verbinding ertussen slechts een geërodeerd boorgat betreft in de 2a halietbank van circa 40 meter dikte. Haliëet zal niet snel het boorgat doen dicht kruipen, maar precipitaat op de bodem van de 2b/3b deelcaverne kan in principe de doorgang verstoppen. Daarnaast kan een mengstroom van carnallietpekels en bischofietpekels, die door het boorgat sijpelt, voor kristallisatie van carnalliet en daarmee voor afdichting zorgen. Dit is tot nu toe niet gebeurd. Er zijn wel kleine tijdelijke drukschommelingen gezien in sommige putten die een losse verbinding hebben tussen beide cavernedelen. Vermoedelijk wordt een barrière eenvoudig weer weggedrukt bij een gering drukverschil.

Indien een 2b/3b sectie zich zou afsluiten van de 1b sectie en de met de bovencaverne verbonden put niet langer toegankelijk zou zijn, dan zou de druk in de 2b/3b sectie kunnen oplopen zonder dat dit gemerkt wordt in de andere putten. Als er een scheur zou ontstaan door deze drukopbouw, dan zal die richting een caverne met lagere druk gaan via een carnallietlaag (a.g.v. de geringe treksterkte van carnalliet) of via de 2a halietbank. Dus naar de ondercaverne of naar de 2b/3b sectie van een naburige caverne. Hiermee zorgt de natuur voor een goede barrière tegen uitstroom naar de lower buntsandsteen formatie, indien de bovencaverne zich afscheidt.



Figuur 7 – Bow tie diagram voor scheur in zoutdak in situatie met plug onderin casing TR-7

Indien bovenstaande barrières onvoldoende zijn en er dus toch een scheur in het zoutdak ontstaat, zijn er meerdere consequenties mogelijk. De belangrijkste daarvan is het uitstromen van pekels uit de caverne naar lagen boven het zoutdak. De hoeveelheden die bij afsluiting van TR-7 kunnen uitstromen,

zijn bepaald aan de hand van de actueel aanwezige pekervolumes in TR-7, berekend m.b.v. *massabalans v.2*, en de methode in het onderzoek van Fokker (2018, zie ref.) naar het gedrag van cavernes na abandonnering. In eerste instantie zal een bepaalde hoeveelheid pekkel uitstromen totdat de scheur weer gesloten is. Dit zal gebeuren in de eerste 48 uur en zorgt voor ca. 30 bar drukdaling. Daarna zal periodiek een bepaald volume uitstromen door hernieuwde drukopbouw als gevolg van squeeze.

Het pekervolume van de bovencaverne van TR-7 is op dit moment 0,36 mln m³ en van de ondercaverne 0,47 mln m³. Met inachtnaam van de verdeling in gebonden en vrije pekkel zorgt dit voor een compressibiliteit van (conservatief berekend) respectievelijk 125 m³/bar en 116 m³/bar. Bij een afgesloten bovencaverne zal dit bij een scheur zorgen voor 3750 m³ uitstroom. In het geval de ondercaverne is afgesloten komt daar nog zo'n 3480 m³ bij. Dit is 5 resp. 10 % van de uitstroom bij het incident van 2018. Het is zeer onwaarschijnlijk dat deze pekkel via een scheur de zoetwaterlagen zou kunnen bereiken. Na de gebeurtenis in april 2018 is bij de monitoring van grondwater tot op 400 m diepte nooit cavernevloeistof aangetroffen.

De scheur zal zich daarna sluiten, maar wordt periodiek geopend door kruip van het zout. De hoeveelheid pekkel die door die squeeze vrij zal komen, is <12 m³/d voor de boven- en <=120 m³/d voor de ondercaverne.

De hoeveelheden zijn gebaseerd op het huidige volume van de TR-7 cavernes, die door het aflaten van het cluster alleen maar verder afnemen. Daarmee is dit een *worst case* benadering. Bij het uitstromen van de pekkel kunnen ook sporen van diesel meekomen

De gevolgen van het vrijkomen van deze hoeveelheden pekkel zijn goed te vergelijken met de *post abandonment fracture* berekeningen voor VE-2/3 en VE-5/6 (ref. Fokker, 2018). De VE-2/3 *post abandonment fracture* berekeningen zijn gebaseerd op een compressibiliteit van 245 m³/bar. Dit is nagenoeg gelijk aan de compressibiliteit van de TR-7 boven- en ondercaverne samen. Figuur 40 van genoemd rapport laat zien dat de scheur ca. 50% van de lower buntsandstein formatie doorkruist en dan stopt.

De VE-5/6 *post abandonment fracture* berekeningen zijn gebaseerd op een compressibiliteit van 152 m³/bar. Dit is iets meer dan de compressibiliteit van de TR-7 bovencaverne. VE-5/6 hebben geen bovencavernes. In zout lekt echter geen vloeistof af. Daarom zijn de VE-5/6 berekeningen toch representatief voor een scheur in het dak van een geïsoleerde TR-7 bovencaverne. Een dergelijke scheur doorkruist naar verwachting ongeveer 30% van de lower buntsandstein laag (zie fig. 39 in genoemd rapport).

Bovenstaande toont aan dat pekkelverontreiniging in zoetwater zeer onwaarschijnlijk is bij insluiting van de TR-7 caverne. Via peilbuizen tot 120 m en de surface casing van TR-2 tot op 400 m diepte wordt de waterkwaliteit gemonitord om te controleren dat hier inderdaad geen pekkel komt. In het geval dat dat toch zou gebeuren, zal verdere verspreiding voorkomen moeten worden en zou indien mogelijk reiniging van grond en water moeten plaatsvinden. Tevens zou het via een sidetrack creëren van hernieuwde toegang tot de TR-7 caverne overwogen kunnen worden.

De kans op een aardbeving door uitstroom van pekkel via een fracture in het zoutdak van TR-7 is ook zeer gering, is geconcludeerd in een onderzoek na de gebeurtenis in april 2018 (ref. Urai, 2018). Er is in april 2018 (vrijwel) geen seismische activiteit geweest en de verwachting is dat dit in de toekomst hetzelfde zal zijn bij vergelijkbare, maar (veel) kleinere, gebeurtenissen.

Conclusie Nedmag

Het binnen afzienbare tijd partieel abandonneren van TR-7 heeft geen nadelige consequenties voor mens en milieu. De vrijkomende volumes bij een onwaarschijnlijke scheur in het halietaak van de bovencaverne zijn beperkt en zullen niet doordringen tot de zoetwater lagen. De uiteindelijke consequentie van het open laten van de casing, vrije uitstroom van pekkel uit het TR-cluster, wordt gezien als de meest ongewenste situatie voor de toekomst. Er is dan open verbinding tussen het lower buntsandstein en het gehele cluster volume van op dit moment ca. 2,4 mln m³ vrije pekkel, waarvan ca. 1,3 mln m³ in de 1b laag. Nedmag wil het TR-cluster op een goede manier abandonneren en ziet daarvoor het partieel abandonneren van TR-7 als beste optie van de onderzochte mogelijkheden.

Referenties

Nedmag Workprogram TR-7 Well Intervention_v4, d.d. 16-6-2020

MOC #7 NedMag TR-7_partial abandonment v1, d.d. 5-8-2020

Massabalans v2, d.d. 24-2-2017

Managing pressures in Nedmag caverns to prevent brine leakage during the mining and bleed-off phase and an evaluation of post abandonment cavern behaviour, d.d. 23-11-2018. Ref. 11 bij het winningsplan, P.A. Fokker, d.d. 28-11-2018

Squeeze mining-induced stress changes in the faulted overburden of the Veendam salt Pillow, d.d. 10-11-2018. Ref. 19 bij winningsplan, J.L. Urai, d.d. 28-11-2018