

# MEMO

Van:



**Datum:** 21 november 2019

**Onderwerp:** Procedure M14: Well integrity management system

---

## Samenvatting

Van groot belang voor de veiligheid van mens en milieu en de continuïteit van Nedmag's operaties, is dat voorkomen wordt dat de vloeistof in Nedmag's cavernes en winningsputten (magnesiumchloridepekels en een zekere hoeveelheid dakolie) ongewenst en ongecontroleerd uitstroomt: ongewenste en ongecontroleerde uitstroming, ook wel loss of containment genoemd, dient voorkomen te worden.

Deze memo beschrijft het well integrity management systeem (WIMS) van Nedmag, bedoeld om de well integrity te borgen en een loss of integrity te voorkomen. Bij het opstellen van het WIMS is het uitgangspunt geweest dat het voldoet aan NEN-EN-ISO 16530-1 Aardolie- en aardgasindustrie – Putintegriteit – Deel 1: Levenscyclus governance (ISO 165301:2017, IDT). Dit is de norm waartegen Staatstoezicht op de Mijnen Nedmag's WIMS beoordeelt.

Achtereenvolgens worden behandeld:

- De elementen (barrières) die bij Nedmag ongewenste uitstroming moeten voorkomen
- Nedmag's beleid t.a.v. well integrity
- De risico's in geval zich bij Nedmag een loss of containment voordoet
- De wijze waarop Nedmag de well integrity borgt, gedurende de levenscyclus van een caverne en/of winningsput
- De drukrange waarbinnen winningsputten en cavernes bedreven mogen worden
- Operationele activiteiten in het kader van het WIMS
- Het onderhoudsplan voor winningsputten (incl. de wellheads en Xmas-trees)
- Hoe te handelen bij een ongewenste uitstroming
- De manier waarop het WIMS geaudit wordt
- De manier waarop het WIMS up to date gehouden wordt.

Dit WIMS is opgenomen in Nedmag's management systeem als procedure M14.

## Inhoudsopgave

Samenvatting

Inhoudsopgave

Afkortingen en begrippen

- 1 Inleiding
- 2 Wat is well integrity en wat is well integrity management?
- 3 Well integrity management en barrières
- 4 Nedmag well integrity beleid
- 5 Risico's bij Nedmag bij het defect raken van de eerste barrière van een caverne of winningsput
- 6 Borging van de integriteit van Nedmag's bronnen
- 7 Uitwerking van maatregelen voor de borging van de integriteit van Nedmag's bronnen
  - 7.1 Maximale wellhead pressures
  - 7.2 Operationele activiteiten t.b.v. de borging van de integriteit van Nedmag's bronnen
  - 7.3 Onderhoudsprogramma winningsputten
- 8 Hoe te handelen in geval van verlies van well integrity
- 9 Audits van Nedmag's WIMS
- 10 Het updaten van Nedmag's well integrity management systeem
- 11 Referenties

## Afkortingen en begrippen

Annulus	Een ringvormige ruimte tussen 2 casings/tubings of een casing en een tubing
Barrière	Een systeem of element dat ongewenste uitstroom van vloeistof uit een caveerne of winningsput verhindert
Bron	De samenstelling van een caveerne en alle (1 of meerdere) daarmee verbonden winningsputten
Caprock	De eerste formatie die zich boven een caveerne bevindt. Voor cavernes in de Zechstein ZE-III-2b/3b formatie, betreft het de lagen haliet (NaCl) van de Zechstein ZE-III-4 en ZE-IV formaties. Voor cavernes in alleen de ZE-III-1b formatie betreft het de ZE-III-2a t/m ZE-IV formaties. De caprock wordt ook wel “cavernedak” genoemd
Casing	Een deel van de winningsput dat vastzit in de aarde. Meerdere concentrische casings, van buiten naar binnen steeds dieper stekend, vormen samen de verbuizing van een winningsput
Caverne	Met pekelen en vaste stof gevulde ruimte in de Zechstein ZE-III formatie
Cavernedak	Zie caprock
Eerste barrière	Het primaire systeem of element dat er voor zorgt dat in een caveerne of winningsput aanwezige vloeistof niet ongecontroleerd kan uitstromen
Isotroop	Een begrip dat betekent dat de eigenschappen van een stof niet richtingsafhankelijk zijn
Last cemented casing	1 <sup>e</sup> casing, van binnen naar buiten gezien. Loopt vanaf het maaiveld tot in de zoutlaag boven een caveerne en is in principe vanaf de schoen tot in de omliggende casing gecementeerd. Wordt ook wel productiecasing genoemd
Neck	De verbinding tussen een caveerne en de last cemented casing annulus van een winningsput
Norm	NEN-EN-ISO 16530-1 2017 “Aardolie- en aardgasindustrie – Putintegriteit – Deel 1: Levenscyclus governance”
Opvoerserie	Zie tubing
Overburden	De formaties die zich boven de caprock bevinden
Productiecasing	Zie last cemented casing
Tubing	Een in een wellhead afgehangen buis die los in de last cemented casing, neck en caveerne hangt en gebruikt wordt voor transport van water naar of pekelen uit een caveerne. Alle tubings van een winningsput vormen samen de zogenaamde opvoerserie
Subsurface safety valve	Een ondergronds geplaatste afsluiter die in geval van nood een ongewenste uitstroom uit een winningsput kan beëindigen
Surface casing	2 <sup>e</sup> casing, van binnen naar buiten gezien
Verbuizing	Zie casing
Well	Aanduiding voor bron of winningsput
Wellhead	De onderdelen van een winningsput waarin de last cemented casing en de tubings zijn afgehangen
WIMS	Well integrity management system. Zie hoofdstuk 2
Winningsput	De samenstelling van Xmas-tree, wellhead, casings en tubings, bedoeld voor de injectie van water in en productie van magnesiumchloridepekelen uit één van Nedmag’s cavernes
Xmas-tree	Het systeem van afsluiters dat zich op de wellhead bevindt. Ook wel “spuitkruis” genoemd
Workover	De vervanging, reparatie of wijziging van tubings in een winningsput
Zoutdak	Zie caprock

## 1. Inleiding

Bij oplosmijnbouw van zout is behoud van de integriteit van de daarbij gebruikte winningsputten en gevormde cavernes van groot belang, om mens, milieu en de continuïteit van de operatie niet in gevaar te brengen. Hoe deze integriteit bij Nedmag geborgd wordt, staat beschreven in dit document "Well integrity management system Nedmag" (WIMS). Dit WIMS voldoet aan NEN-EN-ISO 16530-1 2017 "Aardolie- en aardgasindustrie – Putintegriteit – Deel 1: Levenscyclus governance", hierna "de norm" genoemd. Waarbij in acht moet worden genomen dat deze norm geschreven is voor de aardolie- en aardgasindustrie, die een ander risicoprofiel kent dan de zoutwinning.

## 2. Wat is well integrity en wat is well integrity management?

Er is sprake van well integrity als er geen ongewenste en ongecontroleerde uitstroom van vloeistoffen uit Nedmag's winningsputten en cavernes plaatsvindt. Well integrity management is het totaalpakket aan technische, operationele en organisatorische maatregelen om de well integrity te borgen.

## 3. Well integrity management en barrières

De zogenaamde "eerste barrière" (first barrier) van Nedmag's cavernes en winningsputten zorgt ervoor dat vloeistof in Nedmag's cavernes en winningsputten deze niet ongecontroleerd kan verlaten. Het borgen van "well integrity" betekent in feite het borgen dat deze eerste barrière intact blijft, of zorgen dat er, in het geval van werkzaamheden aan een winningsput, vervangende barrières zijn.

Bij Nedmag bestaat de eerste barrière uit

- a) bodem, wanden en dak van de cavernes plus de wanden van de caverne necks
- b) het cement tussen het cavernedak en de last cemented casing
- c) de last cemented casing van de winningsputten (ook wel productiecasing genoemd)
- d) alle onderdelen van de wellhead en Xmas-tree waarop de vloeistof in de winningsputten kracht uitoefent.

Bij Nedmag is de last cemented casing niet drukloos en in de winningsputten zijn geen subsurface safety valves geïnstalleerd. Hiervoor is ontheffing verleend o.b.v. art. 8.4.1 van de mijnbouwregeling, 5<sup>e</sup> lid en art. 8.4.8, 3<sup>e</sup> lid. Zie [1] voor de ontheffing aangaande de geplande winningsputten VE-5 en -6. Dit houdt onder meer in dat is aangetoond dat het niveau van veiligheid dat zonder subsurface safety valve bereikt wordt, tenminste gelijk is aan dat wat bereikt zou kunnen worden door het installeren van een subsurface safety valve.

Achter sommige, maar niet alle componenten van de eerste barrière, bevindt zich ook nog een tweede barrière. Zo omvat de verbuizing van alle putten een surface casing tot op minimaal ca. 400 m diepte.

#### 4. Nedmag well integrity beleid

Nedmag's well integrity beleid is als volgt.

- Nedmag zal tot en met de abandonnering van haar cavernes en winningsputten datgene doen wat binnen haar mogelijkheden ligt om de eerste barrière intact te houden of in voorkomende gevallen (tijdens workovers bijvoorbeeld) tijdelijk te vervangen door 2 of meer vervangende barrières, waarvan minimaal 1 mechanisch
- Na abandonnering van alle met een caveerne verbonden winningsputten, zal de in de caveerne achtergebleven vloeistof de caveerne gaan verlaten. Hetzij geleidelijk, door langzame permeatie van vloeistof door het cavernedak, hetzij door een opening, die in het dak van de caveerne zou kunnen ontstaan als, na abandonnering, door caveerneconvergentie (squeeze) de druk in de caveerne is opgelopen. Voorafgaand aan het abandonneren van de laatste winningsput waarmee een caveerne in verbinding staat, laat Nedmag de pekkel in de betreffende caveerne, voor zover niet opgesloten in de in de caveerne aanwezige vaste stof, zoveel mogelijk af, opdat de hoeveelheid vloeistof die in de caveerne achterblijft dusdanig gering is, dat deze de caveerne kan verlaten zonder daarbij een gevaar te vormen voor mens of milieu [2], [3].

De maatregelen die Nedmag hiervoor neemt staan in dit document beschreven.

#### 5. Risico's bij Nedmag bij het defect raken van de eerste barrière van een caveerne of winningsput

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat de risico's zijn als een element van de "first barrier" (zie hoofdstuk 3) faalt.

- a) Een caveerne kan lek raken. Bijv. doordat er een scheur in het cavernedak ontstaat of doordat een deel van het dak van de caveerne naar beneden valt of wordt opgelost. De vloeistofdruk in de caveerne is vrijwel altijd dusdanig hoog, dat een deel van de vloeistof in de caveerne deze zal verlaten. De kans is groot dat daarbij scheuren ontstaan in de overburden, waar de vloeistof uit de caveerne in binnendringt. De vloeistof zal vervolgens via de wanden van de scheuren aflekken in de overburden. Het betreft vooral magnesiumchloridepekkel, maar het kan ook dakolie betreffen, die als afdekmedium gebruikt is bij de zoutwinning. Zolang de magnesiumchloridepekkel en dakolie de formaties waarin zich zoet water bevindt niet bereiken, is er geen risico voor mens of milieu. De kans dat dit gebeurt is zeer gering. Zelfs in een bijzondere situatie, zoals zich voordeed op 20 april 2018, toen het zogenaamde TR-cluster (een groot cavernesysteem met 9 winningsputten) lek raakte, is dit niet gebeurd.
- b) Als de cementatie van de productiecasing in het zoutdak boven de caveerne niet lekdicht is, kan er via die route vloeistof uit een caveerne lekken. Wederom gaat het om pekkel of dakolie. Vanwege zijn grote dichtheid lekt pekkel vervolgens af in de diepe overburden, waardoor hij geen gevaar kan vormen voor mens of milieu. Dakolie kan eveneens in de overburden aflekken. Zij zou vanwege haar lage dichtheid echter ook omhoog kunnen stromen, door het oorspronkelijke boorgat van de last cemented casing. In dat geval belandt zij in de annulaire ruimte tussen de last cemented casing en de eerstvolgende casing, en vormt zij wederom geen gevaar voor mens of milieu. Deze annulaire ruimte zou volledig gevuld kunnen raken

met dakolie. In dat geval zou de dakolie via de schoen van de buitenste casing in de omliggende formatie kunnen afleken. Deze schoen bevindt zich echter op een dusdanig grote diepte, dat er in deze situatie geen gevaar is voor mens of milieu. Overigens bleek in alle gevallen waarin deze is gecontroleerd, de cementatie van de productiecasing in het zoutdak goed. Dit als gevolg van de kruip van het zout. Een lekkage van cavernevloeistof via de cementatie van de productiecasing is dus zeer onwaarschijnlijk

- c) De last cemented casing kan lek raken. Daarbij kan pekkel of eventueel dakolie uit de winningsput stromen. Als het lek zich beneden de schoen van de surface casing bevindt, gebeurt hetzelfde als wanneer de cementatie tussen productiecasing en zout lekt. Zie risico b. Bevindt het lek zich boven de schoen van de surface casing, dan loopt de lekkende vloeistof de annulaire ruimte tussen de productiecasing en de surface casing in. Pekkel stroomt vervolgens omlaag en naar onder de surface casing schoen gelegen formaties. In deze formaties bevindt zich geen bruikbaar water maar lichte pekkel. Er ontstaat dus geen gevaar voor mens of milieu. Dakolie stroomt vervolgens omhoog en vult de annulaire ruimte van boven naar beneden op. In het onwaarschijnlijke geval dat de gehele annulaire ruimte vol zou raken met dakolie, zou deze via de schoen van de buitenste casing weglekken, de omliggende formaties in. Deze schoen bevindt zich echter op een dusdanig grote diepte, dat er in deze situatie geen gevaar is voor mens of milieu. Tevens dient vermeld te worden dat sinds medio jaren 1990 de last cemented casing annulus alleen gevuld is met dakolie tijdens de periode dat cavernes ontwikkeld worden. Daarna is hij gevuld met licht onderverzadigde magnesiumchloride-pekkel of met water.
- d) Er kan een lek ontstaan in een wellhead of Xmas-tree. De lekkage kan allerlei gedaantes hebben, van een enkele drup water of pekkel tot een volledige blow out. Hierbij is er lokaal kans op verzilting van de bodem en van grond- en/of oppervlaktewater, en op verontreiniging met dakolie van de bodem, het oppervlaktewater en/of ondiep grondwater.

## 6. Borging van de integriteit van Nedmag's bronnen

Gedurende de life cycle van Nedmag's bronnen wordt de integriteit ervan als volgt geborgd:

- a) Bij het ontwerp van winningsputten wordt rekening gehouden met alle denkbare belastingen van de winningsputten en worden adequate veiligheidsfactoren toegepast. Het ontwerpproces wordt uitbesteed aan een gekwalificeerde engineering contractor, die over een managementsysteem beschikt dat het ontwerpproces van putten beschrijft. Het ontwerp wordt door Nedmag goedgekeurd en ter beoordeling voorgelegd aan SodM
- b) Ten tijde van de realisatie van winningsputten:
- Het opstellen van het boorprogramma wordt uitbesteed aan een gekwalificeerde engineering contractor, die over een managementsysteem beschikt dat het opstellen van het boorprogramma beschrijft. Onderdeel van het opstellen van het boorprogramma is het uitvoeren van een risico-analyse, op basis waarvan passende veiligheidsmaatregelen worden gedefinieerd, die opgenomen worden in het boorprogramma. Het boorprogramma wordt door Nedmag goedgekeurd en voorafgaand aan het boren ingediend bij SodM

- Winningsputten worden gerealiseerd cf. ontwerp, op de manier zoals beschreven in het boorprogramma en met inzet van gekwalificeerde contractors. Het toezicht op de realisatie wordt uitbesteed aan een gekwalificeerde engineering contractor. Wanneer van het ontwerp moet worden afgeweken, wordt de management of change procedure gevolgd die opgenomen is in het boorprogramma en die voldoet aan hetgeen gesteld is in § 8.7.1 van de norm. De werking van barrières die worden geïnstalleerd wordt gecontroleerd, de uitkomsten van de controles worden vastgelegd
- Tijdens de realisatie worden metingen gedaan om inzicht te krijgen in de sterkte van de formaties waarin de winningsputten zich bevinden
- Om de kans op fouten te minimaliseren wordt het boorprogramma in opdracht van Nedmag beoordeeld door een independent well examiner, die ook tijdens de realisatie van een winningsput bewaakt of alles volgens plan verloopt
- Aan het einde van de realisatie van een winningsput wordt deze aan Nedmag overgedragen incl. een EOWR (End Of Well Report), de resultaten van alle tijdens de realisatie verrichte metingen, controles en testen, as built documentatie, en alle overige voor de latere fases benodigde documentatie

c) Tijdens de operationele fase:

- Er wordt binnen een bepaalde wellhead pressure range geopereerd. De onder- en bovengrens daarvan zijn afhankelijk van het medium dat zich in de annulus van de productie casing bevindt en worden bepaald op basis van
  - de uitkomsten van gesteentemechanische berekeningen
  - de meest recente gegevens over de conditie van de productie casing
  - de toestand van de wellhead en Xmas-tree.

De well head pressure metingen worden voorzien van alarmen, die in de controlekamer hoorbaar zijn wanneer de druk buiten de gedefinieerde range komt

- Bij interventies (workovers) wordt binnen de mogelijkheden met het in hoofdstuk 4 beschreven aantal barrières gewerkt. Op welke momenten welke barrières aanwezig zijn, wordt beschreven in het programma van de workover. Indien het aantal aanwezige barrières dat de regelgeving standaard voorschrijft niet realiseerbaar is, wordt een ontheffing aangevraagd bij SodM. Het opstellen van het workover programma wordt door Nedmag uitbesteed aan een gekwalificeerde engineering contractor, die over een managementsysteem beschikt dat het opstellen van werkprogramma's voor workovers beschrijft. Onderdeel van het opstellen van een workover programma is het uitvoeren van een risico-analyse, op basis waarvan passende veiligheidsmaatregelen worden gedefinieerd die vervolgens in het programma worden opgenomen. Voorafgaand aan uitvoering van de workover wordt het programma goedgekeurd door Nedmag en ingediend bij SodM. Voor uitvoering van een workover wordt met gekwalificeerde contractors gewerkt. Het toezicht op de uitvoering van een workover wordt uitbesteed aan een gekwalificeerde engineering contractor. Mocht er tijdens een workover afgeweken moeten worden van het programma, dan verloopt dat via de management of change procedure die in het workoverprogramma staat beschreven. Om de kans op fouten te verkleinen wordt bij de voorbereiding en uitvoering van een workover door

Nedmag een independent well examiner ingeschakeld, voor een controle van het werkprogramma en controle of de workover wordt uitgevoerd zoals bedoeld

- Bij wijziging van winningsputten wordt de wijzigingsprocedure van Nedmag gevolgd die is opgenomen in Nedmag's managementsysteem
- d) Voor iedere abandonnering wordt een ontwerp gemaakt en een programma opgesteld. In het ontwerp wordt de geschiktheid van de toe te passen permanente barrières aangetoond. Onderdeel van opstellen van het programma is het uitvoeren van een risico-analyse, op basis waarvan passende veiligheidsmaatregelen worden gedefinieerd die vervolgens opgenomen worden in het programma. Tijdens het abandonneren wordt toezicht gehouden op een correcte uitvoering van de werkzaamheden. Al deze werkzaamheden worden door Nedmag aan een gekwalificeerde engineering contractor uitbesteed, die over een managementsysteem beschikt dat het ontwerp van abandonneringen, het opstellen van abandonneringsprogramma's en het toezien op de uitvoering van abandonneringen beschrijft. Het ontwerp en het programma worden goedgekeurd door Nedmag en ingediend bij SodM. Om de kans op fouten te verkleinen wordt bij de voorbereiding en uitvoering van een abandonnering een independent well examiner ingeschakeld, voor een controle van het werkprogramma en controle of de abandonnering volgens plan wordt uitgevoerd. Mocht tijdens het abandonneren een wijziging in ontwerp of programma nodig zijn, dan wordt daarbij de management of change procedure gevolgd die in het abandonneringsprogramma is opgenomen.

Verwacht wordt dat na het afsluiten van de laatste winningsput die met een caveerne verbonden is, a.g.v. convergentie van de caveerne de druk erin oploopt. Daardoor zal vroeger of later vloeistof uit de caveerne gaan lekken. Hetzij via permeatie van vloeistof door het cavernekak, hetzij via een opening in het zoutdak, die kan ontstaan als na abandonnering de druk in een caveerne te hoog wordt t.o.v. de (door de zoutwinning verlaagde) spanningen in het zoutdak. Behoud van integriteit c.q. intact blijven van de first barrier is na abandonnering niet te garanderen of bewerkstelligen. Door voorafgaand aan abandonnering de pekkel in een caveerne, voor zover niet opgesloten in de vaste stof in de caveerne, zo veel als praktisch mogelijk af te laten (waarbij de caveerne kleiner wordt door convergentie), wordt er voor gezorgd dat ook na abandonnering geen onacceptabele risico's voor mens en milieu ontstaan [3].

Uit bovenstaande blijkt dat Nedmag het ontwerp en de realisatie van putten, workovers en abandonneringen, grotendeels uitbesteedt aan een gekwalificeerde engineering contractor. De aansturing en begeleiding van de engineering contractor en de operationele fase, vereisen de aanwezigheid van voldoende kennis en/of ervaring binnen Nedmag. Daarom heeft Nedmag in haar organisatie minimaal 3 medewerkers met voldoende kennis en/of ervaring op het gebied van oplosmijnbouw, om

- de zoutwinning te opereren
- de gekwalificeerde engineering contractor en eventuele andere ingehuurde specialisten te kunnen aansturen en begeleiden.

Bij dit alles wordt als uitgangspunt gehanteerd dat te allen tijde aan de geldende wet- en regelgeving dient te worden voldaan.

## 7. Uitwerking van maatregelen voor de borging van de integriteit van Nedmag's bronnen

In dit hoofdstuk worden beschreven:

- De maximale wellhead pressures
- De operationele activiteiten voor de borging van de integriteit van de bronnen
- Het onderhoudsprogramma van Nedmag's winningsputten, zoals vastgelegd in Nedmag's onderhoudsmanagementsysteem.

### 7.1. Maximale wellhead pressures

Er zijn gesteentemechanische berekeningen uitgevoerd voor het berekenen van de maximale druk waarop cavernes bedreven kunnen worden, zonder dat het cavernedak faalt. Deze drukken hangen af van de historische cavernedrukken. De grondregel is dat de druk in de caveerne niet hoger mag zijn dan 15 bar boven de jaargemiddelde druk van alle voorafgaande jaren. Zie de referenties [2] en [3]. Voor VE-3 en TR-9 staan de betreffende waarden in onderstaande tabel. In bijzondere situaties kan o.b.v. specifieke berekeningen afgeweken worden van de grondregel.

In afwijking van de grondregel wordt voor het zogenaamde TR-cavernecluster, bestaande uit de met elkaar verbonden cavernes van de winningsputten TR-1 t/m TR-8 en VE-4, als maximum een cavernedruk gehanteerd van 6 bar onder de verwachte reopening pressure van de fracture, die op 20-4-2018 in de caprock van het cluster is ontstaan. Dit maximum komt overeen met een well head pressure van 97 bar van een met water gevulde last cemented casing van TR-2. De in tabel 1 genoemde WHP's voor de winningsputten TR-1 t/m TR-7 en VE-4, komen met deze maximum TR-2 WHP overeen. In de toekomst zal de druk in het TR-cluster verder verlaagd worden, om voorafgaande aan abandonnering zo veel pekel als praktisch mogelijk uit het cluster af te laten naar surface. Als gedurende dat proces de laagste jaargemiddelde druk van de TR-2 WHP plus 15 bar kleiner is dan 97 bar, zullen de maximum WHP's van de clusterputten verlaagd worden.

Voor VE-1, VE-2 en TR-8 gelden om diverse redenen geen maximale wellheadpressures t.b.v. behoud van caveerne-integriteit. Deze redenen staan in tabel 1 toegelicht.

Tabel 1 wordt in beginsel eens per kwartaal geactualiseerd, alsmede bij wijziging van het type annulusvloeistof.

<b>Caverne</b>	<b>Max. WHP gesteentemechanisch pekkel/water</b>	<b>Toelichting</b>
VE-1	n.v.t.	Caverne ingesloten in afwachting van mogelijke pre-abandonment bleed off. Drukgedrag wordt gemonitord
VE-2	n.v.t.	Caverne afgesloten met cementplug
VE-3	122 bar (pekkel)	Laagste jaargemiddelde druk 107 bar (pekkel) (nov 2018-nov 2019)
VE-4	52 bar (pekkel)	6 bar onder verwachte reopening pressure van fracture d.d. 20-4-2018
TR-1	54 bar (pekkel)	6 bar onder verwachte reopening pressure van fracture d.d. 20-4-2018
TR-2	97 bar (water)	6 bar onder verwachte reopening pressure van fracture d.d. 20-4-2018
TR-3	54 bar (pekkel)	6 bar onder verwachte reopening pressure van fracture d.d. 20-4-2018
TR-4	54 bar (pekkel)	6 bar onder verwachte reopening pressure van fracture d.d. 20-4-2018
TR-5	99 bar (water)	6 bar onder verwachte reopening pressure van fracture d.d. 20-4-2018
TR-6	58 bar (pekkel)	6 bar onder verwachte reopening pressure van fracture d.d. 20-4-2018
TR-7	93 bar (water)	6 bar onder verwachte reopening pressure van fracture d.d. 20-4-2018
TR-8	n.v.t.	Annulus verstopt en niet in verbinding met caverne
TR-9	98 bar (pekkel)	Laagste jaargemiddelde druk 83 bar (pekkel) (nov 2018-nov 2019)

*Tabel 1. Maximum productiecasing annulus wellhead pressures winningsputten Nedmag o.b.v. gesteentemechanische overwegingen*

Tevens zijn er mechanische berekeningen uitgevoerd aan de casings, voor het berekenen van de maximale druk waarop de winningsputten kunnen worden bedreven zonder dat de casings falen. De resultaten daarvan staan in onderstaande tabel 2.

Winningsput	Max. WHP mechanisch pekel/water	Toelichting
VE-1	190 bar (pekel)	O.b.v. aanname 0,074 mm corrosie/j
VE-2	n.v.t.	Last cemented casing lek en in verbinding met de surface casing annulus
VE-3	102 bar (pekel)	O.b.v. aanname 0,074 mm corrosie/j
VE-4	137 bar (pekel)	O.b.v. meting plus aanname van 0,074 mm corrosie/j na meting
TR-1	204 bar (pekel)	O.b.v. aanname 0,074 mm corrosie/j
TR-2	228 bar (water)	O.b.v. meting plus aanname van 0,074 mm corrosie/j na meting
TR-3	191 bar (pekel)	O.b.v. meting plus aanname van 0,074 mm corrosie/j na meting
TR-4	190 bar (pekel)	O.b.v. meting plus aanname van 0,074 mm corrosie/j na meting
TR-5	260 bar (water)	O.b.v. meting plus aanname van 0,074 mm corrosie/j na meting
TR-6	187 bar (pekel)	O.b.v. meting plus aanname van 0,074 mm corrosie/j na meting
TR-7	391 bar (water)	O.b.v. aanname 0,074 mm corrosie/j
TR-8	354 bar (pekel)	O.b.v. aanname 0,074 mm corrosie/j
TR-9	411 bar (pekel)	O.b.v. aanname 0,074 mm corrosie/j

*Tabel 2. Maximum productiecasing annulus wellhead pressures winningsputten Nedmag o.b.v. mechanische berekeningen. Een corrosiesnelheid van 0,074 mm/j is het gemiddelde dat berekend is o.b.v. alle verrichte wanddiktemetingen aan last cemented casings*

De wellheads en Xmas-trees hebben een rating van 345 bar (5000 psi).

Voor iedere winningsput geldt dat de annulusdruk niet hoger mag zijn dan de laagste van de 2 maximum drukken in de tabellen 1 resp. 2. Dit leidt tot de volgende tabel 3 met maxima voor de annulusdruk van de winningsputten van Nedmag.

Winningsput	Max. WHP pekkel/water	Opmerking/toelichting
VE-1	190 bar (pekkel)	Deze druk correspondeert met een cavernedruk @ casing shoe van ca. 70 bar boven lithostatisch, die niet zal worden bereikt
VE-2	n.v.t.	Last cemented casing lek en in verbinding met de surface casing annulus
VE-3	102 bar (pekkel)	Mechanisch bepaald, o.b.v. aanname 0,074 mm corrosie/j
VE-4	52 bar (pekkel)	O.b.v. gesteentemechanische overwegingen
TR-1	54 bar (pekkel)	O.b.v. gesteentemechanische overwegingen
TR-2	97 bar (water)	O.b.v. gesteentemechanische overwegingen
TR-3	54 bar (pekkel)	O.b.v. gesteentemechanische overwegingen
TR-4	54 bar (pekkel)	O.b.v. gesteentemechanische overwegingen
TR-5	99 bar (water)	O.b.v. gesteentemechanische overwegingen
TR-6	58 bar (pekkel)	O.b.v. gesteentemechanische overwegingen
TR-7	93 bar (water)	O.b.v. gesteentemechanische overwegingen
TR-8	354 bar (pekkel)	Mechanisch bepaald, o.b.v. aanname 0,074 mm corrosie/j
TR-9	98 bar (pekkel)	O.b.v. gesteentemechanische overwegingen

*Tabel 3. Maximum productiecasing annulus well head pressures winningsputten Nedmag*

De annulusdrukmetingen van de winningsputten worden voorzien van een drukalarm, dat alarmeert wanneer de druk te hoog wordt. Als het alarm een gesteentemechanische achtergrond heeft, dient de druk in de caveerne verlaagd te worden. Dit kan door het verlagen van de injectie in de caveerne en/of het verhogen van de productie uit de caveerne. Wanneer het alarm een mechanische achtergrond heeft, zijn de volgende corrigerende maatregelen denkbaar:

- De cavernedruk kan verlaagd worden
- Als de betreffende annulus niet meer verbonden is met de caveerne, kan de druk verlaagd worden door de winningsput te koelen (via spoelen met water) of door de druk in de annulus af te laten, via één van de aansluitingen op de annulus.

## 7.2. Operationele activiteiten t.b.v. de borging van de integriteit van Nedmag's bronnen

De operationele activiteiten in het kader van de borging van de integriteit van Nedmag's winningsputten zijn als volgt:

- a) Na iedere ca. 1.000 m<sup>3</sup> waterinjectie in een winningsput (ongeacht in welke tubing) wordt gecontroleerd of de buitenste tubing van een opvoerserie nog intact is. Dit gebeurt door het statische verschil in WHP tussen een watergevulde buitenste tubing en de bijbehorende annulus te meten en registreren. Een sterke daling van dit drukverschil duidt op een lek of breuk van de buitenste tubing. Met deze activiteit wordt bewaakt dat water op de gewenste diepte wordt geïnjecteerd en pas na voldoende opmenging met cavernepkel het cavernedak bereikt, waardoor ongewenst oplossen van het dak wordt voorkomen

- b) Het deel van de wellhead en Xmas-tree dat zich boven maaiveld bevindt wordt minstens 1 keer per week visueel gecontroleerd
- c) De druk in de annuli van de 16" en 13 3/8" surface casings worden iedere wacht (TR-1 t/m TR-9) en iedere week (VE-1 t/m VE-4) opgenomen en geregistreerd. Een lek in een productie casing kan de druk in de bijbehorende surface casing beïnvloeden. Zo'n lek kan op deze manier worden geconstateerd.

Controles a) en c) worden aan de hand van lijsten door operators van Nedmag uitgevoerd. De registratie en beoordeling van de statische drukverschillen en surface casing annulusdrukken geschiedt door het Hoofd Productie Mining, of bij diens afwezigheid door de Field Engineer. Als er bij controles b) afwijkingen worden geconstateerd, wordt de Field Engineer hiervan op de hoogte gebracht.

Verder leiden relevante veranderingen in de conditie van cavernes of winningsputten in vrijwel alle gevallen tot afwijkende procescondities. Een beschadiging van een caveerne leidt bijv. tot een plotselinge drukval in de caveerne, een kortsluiting tussen een dilutietubing en een productietubing leidt tot een wijziging van het betreffende drukverschil op de wellhead en tot kristallatieverschijnselen in de winningsput, enz. Ervaren operators herkennen deze afwijkende procescondities vrijwel onmiddellijk en rapporteren deze in hun wachtverslagen naar de Installatiebeheerder, de Field Engineer en het Hoofd Productie Mining.

### 7.3. Onderhoudsprogramma winningsputten

Het preventief onderhoudsprogramma van Nedmag's winningsputten incl. de wellheads en Xmas-trees is als volgt:

- Jaarlijks worden de bewegende delen van de wellheads en Xmas-trees gesmeerd, in combinatie met een uitgebreide visuele controle van zowel de wellhead als de Xmas-tree
- Halfjaarlijks worden alle drukmetingen van de winningsputten gecontroleerd met een nauwkeurige meter die jaarlijks gekalibreerd wordt
- Halfjaarlijks wordt met wirelinemetingen gecontroleerd of tubings verbogen zijn. Hierbij moet opgemerkt worden dat inspectie van de tubings onder een eerdere verbuiging niet mogelijk is, tenzij het een lichte verbuiging betreft
- Iedere keer als middels een workover de tubings uit een winningsput verwijderd zijn, worden m.b.v. US-metingen de wanddikte en cementatie van de productie casing in kaart gebracht.

Tijdens uitvoering van het preventief onderhoud kunnen afwijkingen geconstateerd worden. Sommige vergen opvolging. Als er bijv. sprake is van een afname van de wanddikte van de productie casing, wordt geëvalueerd of de maximaal acceptabele annulus wellheaddruk aangepast moet worden. Zo ja, dan wordt dat gedaan. Er is echter niet in alle gevallen actie vereist. Een enigszins verbogen tubing is bijvoorbeeld geen probleem, noch voor de operaties, nog voor de integriteit van de winningsputten.

Naast het beschreven preventieve onderhoud wordt correctief onderhoud uitgevoerd, op basis van bevindingen van operationeel of technisch personeel van Nedmag of van door Nedmag ingeschakelde partijen. Afhandeling van het correctieve onderhoud vindt plaats met gebruikmaking van Nedmag's onderhoudsmanagementsysteem.

## 8. Hoe te handelen in geval van verlies van well integrity

Zie voor hoe te handelen bij een blow out de in het managementsysteem van Nedmag opgenomen blow out contingency plannen voor de wellheadcenters 1 en 2.

Als een caverne lek raakt, bijvoorbeeld door het ontstaan van een fracture in het zoutdak van de caverne, zal de cavernedruk plotseling sterk dalen en daarna stabiel worden. In dat geval dient als volgt gehandeld te worden:

- a) Stop de injectie in de caverne en/of verhoog de productie, om de cavernedruk ca. 5 bar te laten dalen. Zorg dat de cavernedruk daarna niet meer stijgt. Zodoende zal een ontstane frac (grotendeels) sluiten. In aanvulling hierop is er een kans dat het lekpad zich sluit door het afkoelen en uitkristalliseren van lekkende verzadigde cavernepekkel
- b) Onderzoek waar de uit de caverne gelekte vloeistof naar toe gestroomd kan zijn
- c) Onderzoek en monitor of de lekkage gevolgen heeft voor het milieu en neem indien nodig passende maatregelen.

Als een productie casing lek raakt, zijn de gevolgen sterk afhankelijk van de grootte van het lek. Dat kan variëren van een kleine lekkage uit de casing naar het omliggende boorgat en gesteente, tot een volledige casingbreuk met als gevolg daarvan een frac in de overburden

Bij een lek in de casing dat niet tot een frac in de overburden heeft geleid, dient onderzocht te worden of en hoe de casing gerepareerd kan worden. Indien nodig kan overgegaan worden tot suspenderen en abandonneren van de betreffende winningsput.

Wanneer het defect in de casing tot een frac in de overburden heeft geleid, zal de cavernedruk plotseling snel dalen en vervolgens stabiel worden. Handel in dat geval als volgt:

- a) Stop de injectie in de caverne en/of verhoog de productie, om de cavernedruk ca. 5 bar te laten dalen. Zorg dat de cavernedruk daarna niet meer stijgt. Zodoende zal een ontstane frac (grotendeels) sluiten. In aanvulling hierop is er een kans dat het lekpad zich sluit door het afkoelen en uitkristalliseren van lekkende verzadigde cavernepekkel
- b) Onderzoek waar de uit de caverne gelekte vloeistof naar toe gestroomd kan zijn
- c) Onderzoek en monitor of de lekkage gevolgen heeft voor het milieu en neem indien nodig passende maatregelen
- d) Onderzoek of en hoe de casing gerepareerd kan worden. Wanneer reparatie niet mogelijk is, dient de betreffende winningsput gesuspenseerd en vervolgens geabandonneerd te worden.

## 9. Audits van Nedmag's WIMS

Jaarlijks vindt een audit plaats van het well integrity management systeem, met de norm (ISO 16530-1:2017) als referentie.

## 10. Het updaten van Nedmag's well integrity management systeem

In de volgende gevallen wordt overgegaan tot actualisatie van dit WIMS:

- Ieder kwartaal worden de maximale cavernedrukken gesteentemechanisch opnieuw beoordeeld en indien nodig wordt het WIMS geactualiseerd
- Na iedere US meting van de wanddikte en cementatie van een productiecasing, wordt de maximale druk op de wellhead van de betreffende winningsput opnieuw berekend en wordt het WIMS geactualiseerd
- Wanneer de resultaten van metingen aan of inspectie van een wellhead en/of Xmas-tree daar aanleiding toe geven, wordt het WIMS geactualiseerd
- Indien bij de jaarlijkse audit tekortkomingen geconstateerd worden, of relevante verbetermogelijkheden gesignaleerd worden.

## 11. Referenties

- [1] SodM - Besluit, houdende ontheffing van artikel 8.4.1, lid 1 en artikel 8.4.8, lid 1 van de Mijnbouwregeling, SodM kenmerk 17074279, 25 juli 2017
- [2] Nedmag - Winningsplan 2018, 28 november 2018
- [3] Fokker, P.A., Well Engineering Partners - Managing pressures in Nedmag caverns to prevent brine leakage during the mining and bleed off phase and an evaluation of post abandonment cavern behaviour, 23 november 2018