DEPARTEMENT AARD- & OMGEVINGSWETENSCHAPPEN
**GEODYNAMICS RESEARCH GROUP**
CELESTIJNENLAAN 200E
3001 LEUVEN, BELGIË

AAN Staatstoezicht op de Mijnen
VAN Manuel Sintubin
LEUVEN 27 mei 2022
C.C.

AANTAL BLZ. 8

# NOTA

**'Review aanvullend onderzoek NAM ROW-2' – registratienummer INK014913**
***Subsurface Scenarios for ROW-2 Casing Shear – Report EP20211120430***

*Deze review heeft in de eerste plaats betrekking tot het, door de NAM opgestelde, rapport met de titel* ***Subsurface Scenarios for ROW-2 Casing Shear – Report EP202111204310, d.d. 31-3-2022****. Daarnaast zijn volgende document ook meegenomen in deze review:*

- *het initiële, door de NAM opgestelde, rapport met de titel* ***Location Rossum-Weerselo-2. Well integrity investigation of well ROW-2 – Report EP 202104200659*** *(mei 2021)*
- *het review rapport met de titel* ***Review of ROW-2 Well Integrity Investigation May 2021 – EP 202104200659*** *(30 juni 2021)*
- *het schrijven van het SodM aan de NAM (INS-7466 / 21153770) betreffende de* ***reactie op het onderzoek toedracht scheur put ROW-2*** *(21 juni 2021).*

*In deze review tracht ik een antwoord te formuleren op de volgende vragen gesteld door het SodM:*

*<u>Geologische & geomechanische modellen</u>*

1. *Zijn de geomechanische modellen geschikt om de vragen die uit het eerste rapport voortkwamen te beantwoorden?*
2. *Zijn de randvoorwaarden en inputparameters voor deze modellen realistisch en voldoende beschreven?*
3. *Is de gebruikte database compleet en kwalitatief goed genoeg om de gekozen input te onderbouwen?*

*<u>Scenario's</u>*

1. *Zijn de mogelijke scenario's voor de 'casing shear' van ROW-2 voldoende uitgewerkt, compleet, voldoende beschreven en wetenschappelijk te verantwoorden?*
2. *Is de keuze voor het meest waarschijnlijke scenario en het uitsluiten van bepaalde scenario's correct onderbouwd en navolgbaar?*
3. *Wat is uw mening over het eindoordeel?*

*<u>Beheersmaatregelen</u>*

1. *Is het, aan de hand van bovengenoemde studie en aanwezige monitoring en data, mogelijk om te bepalen waar 'casing shear' een risico is?*
2. *Zijn er omissies die aangepast moeten worden om tot goede mitigerende maatregelen te kunnen komen?*

*Alvorens ik concreet op deze, door het SodM gestelde, vragen inga, wens ik eerst enkele persoonlijke reflecties over de 'casing shear' in ROW-2 te ontwikkelen, die mijn antwoorden op de gestelde vragen verder onderbouwen. Deze persoonlijke reflecties vertrekken vanuit mijn expertise binnen de (structurele) geologie. Boortechnische aspecten alsook programmatorische aspecten van de geomechanische modellen liggen buiten mijn expertise. Hierover zal ik dan ook geen uitspraken doen.*

## Rapport *Subsurface Scenarios for ROW-2 Casing Shear*

Het rapport geeft een gedetailleerde beschrijving van de mogelijke ondergrondse mechanismen die kunnen hebben geleid tot het ontstaan van de **breuk**[1] in de buitenste buis – ***'casing shear'*** – van de injectieput ROW-2 (op een diepte van ongeveer 1100 m). De besproken ondergrondse mechanismen gaan uit van een "geobserveerde" (p. 6)[2] verschuiving van de gesteentelagen, en worden in relatie gebracht met de (historische) activiteiten in de Twentse gasvelden, zoals de gasproductie en de productiewaterinjectie. Er wordt geconcludeerd dat het niet mogelijk is om het optreden van bepaalde mechanismen volledig uit te sluiten. Verder wordt er gesuggereerd dat de breuk veroorzaakt zou kunnen zijn door een combinatie van verschillende mechanismen die zich gelijktijdig zouden hebben voorgedaan. Uit de geomechanische modellering wordt afgeleid dat het effect van koeling door het geïnjecteerde productiewater (in injectieput ROW-7A) mogelijk heeft geleid tot de grootste spanningsveranderingen. Verder wordt in het rapport benadrukt dat de breuk niet geleid heeft tot schade aan de binnenbuis (*'tubing'*), zodat er geen productiewater is gelekt. Hierdoor is er nooit een bedreiging geweest voor mens en milieu. Tenslotte wordt er geconcludeerd dat de kans dat een vergelijkbare breuk in de andere injectieputten in Rossum-Weerselo kleiner is dan voor ROW-2 vanwege de afwezigheid van grote breuken in de nabijheid van de putten en een andere constructie van deze injectieputten. Dit bijkomende onderzoek is ook vertaald in een update van het Twente Waterinjectie Management Plan.

In dit rapport wordt dus door de NAM afstand genomen van het voorkeursscenario uit het initiële rapport (*Report EP 202104200659 – mei 2021*). Dit voorkeursscenario (scenario A) ging ervan uit dat natuurlijke (opwaartse) zoutbewegingen aan de basis lagen van een koepelvorming, die aanleiding gaf tot het over elkaar verschuiven van gesteentelagen door het proces van *'flexural slip folding'*. De aanwezigheid van een zwakke kleilaag, mogelijk nog verzwakt door *'wetting'* vanuit injectieput ROW-7A, ter hoogte van de injectieput ROW-2, zou dan de *'casing shear'* veroorzaakt hebben. Gezien deze zwakke kleilaag enkel zou voorkomen ter hoogte van de injectieput ROW-2, wordt het *'event'* gezien als eigen aan de context van ROW-2, en wordt dus de kans klein geacht dat een dergelijk *'event'* zich ook kan voordoen in de andere injectieputten. Dit scenario wordt dus door de NAM niet langer als realistisch beschouwd.

## Brosse vervorming

De breuk in de buitenbuis (*'casing shear'*) van ROW-2 is een uitdrukking van een **brosse vervorming**. Brosse vervorming in de diepe ondergrond doet zich voor volgens twee verschillende principes: (1) **nieuwvorming** van *'fractures'* in een intact gesteentelichaam, of (2) de reactivering van bestaande discontinuïteiten (bv. laagvlakken, breukvlakken), samengevat onder de noemer ***'reshear'***. De nieuwvorming van *'fractures'* wordt in de eerste plaats bepaald door de spanningstoestand die in het gesteentelichaam heerst. Het breken van het gesteente (*'failure'*) gebeurt wanneer de (differentieel)spanning in het gesteentelichaam de sterkte (*'strength'*) van het gesteente overschrijdt. Afhankelijk van de spanningstoestand in het gesteentelichaam kan deze brosse vervorming zich vertalen in **reksplet**en (*'tensile failure'*) of **schuifspleten** (*'shear failure'*). Schuifspleten ontwikkelen zich vervolgens tot **breuken**. Reksplet**en** ontstaan volgens een vlak dat parallel is aan de grootste hoofdspanningsrichting ($\sigma_1$), en dus loodrecht op de kleinste hoofdspanningsrichting ($\sigma_3$), terwijl schuifspleten ontstaan volgens vlakken op 30° van de grootste hoofdspanningsrichting ($\sigma_1$). In een geodynamische context, zoals in Twente, staat deze hoofdspanningsrichting ($\sigma_1$) verticaal (*'extensional regime'*), wat maakt dat reksplet**en** zo goed als verticaal zouden staan, en schuifspleten ongeveer 60° zouden hellen. In het geval van de reactivering van bestaande discontinuïteiten speelt

[1] In het rapport wordt gesproken over een 'scheur'; vanuit een structureel geologische perspectief is het correcter om te spreken over een 'breuk'; een **breuk** (*fault*) wordt immers gedefinieerd als een vlak waarlangs een zichtbare verschuiving is gebeurd langsheen het vlak; de *'casing shear'* in ROW-2 beantwoordt aan deze laatste definitie.
[2] Verwijzingen naar pagina's en/of figuren hebben betrekking tot het rapport, waarop deze *review* betrekking heeft (*Report EP202111204310 – 31 maart 2022)*.

niet alleen de spanningstoestand een bepalende rol, maar ook de geomechanische karakteristieken (bv. wrijving) van de bestaande discontinuïteit, alsook de oriëntatie van de discontinuïteit ten opzichte van de hoofdspanningsrichtingen. Een bestaande discontinuïteit die slecht georiënteerd is in het heersende spanningsveld kan niet gereactiveerd worden (*'severely misoriented faults'*). Het is dan ook van het grootste belang om de oriëntatie van zowel de aanwezige discontinuïteiten als het heersende spanningsveld te kennen alvorens zinvolle uitspraken te kunnen doen over het al of niet reactiveren van bestaande discontinuïteiten.

De **spanningstoestand** (*'stress state'*) in de diepe ondergrond wordt doorgaans gevisualiseerd aan de hand van de spanningsellipsoïde met drie **hoofdspanningsrichtingen**, die onderling loodrecht op elkaar staan: de grootste hoofdspanningsrichting ($\sigma_1$), de intermediaire hoofdspanningsrichting ($\sigma_2$) en de kleinste hoofdspanningsrichting ($\sigma_3$). Het verschil tussen de grootste en de kleinste hoofdspanningsrichting noemen we de **differentieelspanning** ($\Delta\sigma$). Kleine differentieelspanningen kunnen aanleiding geven tot rekspleten; grote differentieelspanningen leiden doorgaans tot schuifspleten en/of breuken. Beschouwen we een bestaande discontinuïteit in een zo'n spanningsveld, dan vertaalt de spanningstoestand zich in een **normaalspanning** ($\sigma_n$) (*'normal stress'*) en een **schuifspanning** ($\sigma_s$) (*'shear stress'*) op die discontinuïteit met een bepaalde oriëntatie (*'stress on a plane'*). De grootte van de normaal- en schuifspanning hangt af van enerzijds de differentieelspanning (dus spanningstoestand) en anderzijds de oriëntatie van de discontinuïteit ten opzichte van de hoofdspanningsrichtingen. De onderlinge verhouding tussen normaal- en schuifspanning op een discontinuïteit gaat bepalen of er al of niet breukwerking optreedt. De specifieke verhouding tussen normaal- en schuifspanning bepaalt trouwens ook dat nieuwvorming van schuifspleten, en vervolgens breuken, zich voordoet op 30° van de grootste hoofdspanningsrichting ($\sigma_1$). Een discontinuïteit wordt doorgaans niet noodzakelijkerwijs gereactiveerd als breuk door de toename van de schuifspanning ($\sigma_s$) op die discontinuïteit, eerder door de afname van de normaalspanning ($\sigma_n$) (bv. door toename van de vloeistofdruk) die de discontinuïteit samenhoudt.

Deze eerder theoretische beschouwingen met betrekking tot de algemene principes rond brosse vervorming geven aanleiding tot een aantal kritische bedenkingen met betrekking tot het uitgevoerde onderzoek, waarvan we de weerslag terugvinden in het rapport:

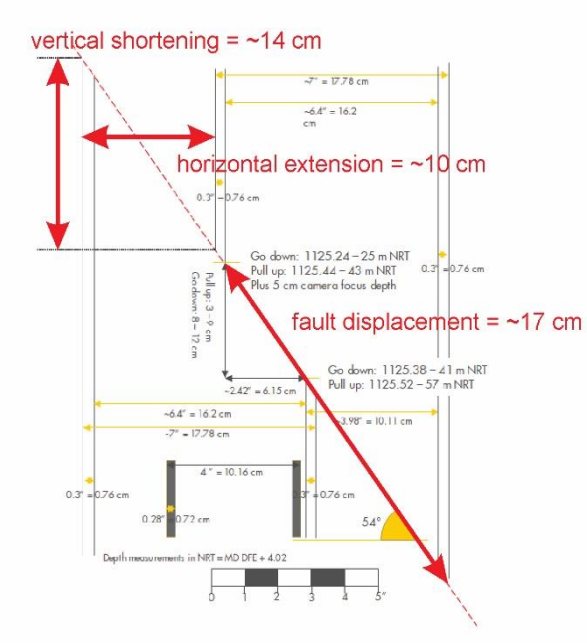
- het uitgangspunt van het uitgevoerde onderzoek is de *'reshear'* van bestaande discontinuïteiten (cf. §3.2), ofwel de reactivering van een laagcontact ('*interbed slip'* – cf. figuur 3.10 – p. 22), ofwel de reactivering van een bestaande breuk (cf. figuur 3.11 – p. 23); in §1 (p. 6) van het rapport spreekt men zelfs over *"de geobserveerde verschuiving van gesteentelagen die de scheur in de buitenbuis van waterinjectieput ROW-2 heeft veroorzaakt"*, terwijl alle interpretaties met betrekking tot het omliggende gesteentemassief uitermate speculatief zijn en niet gebaseerd zijn op directe waarnemingen; de enige directe waarneming is een breuk doorheen de buitenbuis (*'casing shear'*); dit *'reshear'* uitgangspunt heeft dan ook tot gevolg dat de oorzaak van de *'casing shear'* extern in het omliggende gesteentemassief gezocht wordt; ook de geomechanische modellen, en de Bow-Tie analyse vertrekken vanuit die **externe oorzaak**.
- in het rapport wordt steeds gesproken over veranderingen in de schuifspanning ($\sigma_s$), vaak zonder te verwijzen naar een specifieke discontinuïteit met een bepaalde oriëntatie, zoals bijvoorbeeld
    - *"compaction introduces shear stress in the overburden"* (p. 52)
    - *"significant shear stress increase is visible in the reservoir making normal faults more prone for reactivation"* (p. 64)
    - *"pressure increase load to a change of shear stress in and around the reservoir"* (p. 66)

  Veranderingen in de schuifspanning ($\sigma_s$) op een bestaande discontinuïteit kan enerzijds veroorzaakt worden door veranderingen in de (effectieve) spanningstoestand (o.a. afhankelijk van de vloeistofdruk) of door veranderingen in de oriëntatie van de discontinuïteit ten opzichte van de hoofdspanningsrichtingen; veranderingen in vloeistofdrukken hebben op zich geen effect op de schuifspanning (eerder op de normaalspanning); veranderingen in de normaalspanning ($\sigma_n$) hebben dan ook veelal meer impact op het al of niet reactiveren van discontinuïteiten als breuken.

- opmerkelijk in dit kader is de vaststelling dat de spanningstoestand in de Zechstein kalkgesteenten *"near isotropic"* zou zijn (p. 40); het is me totaal onduidelijk of met deze vaststelling verder iets gedaan wordt in de geomechanische modellen; een isotrope spanningstoestand, waarbij de horizontale spanning ongeveer gelijk is aan de verticale spanning (door *overburden*) zou immers impliceren dat de betrokken gesteenten als onsamendrukbaar moeten beschouwd worden (Poisson's ratio = ~0.5); op p.41 verwijst men inderdaad naar een Poission's ratio van 0.4999 voor *'flowing salt'*.

## Breuk in de buitenbuis – *'casing shear'*

De enige directe waarneming (cf. §3.1) is de **breuk in de buitenbuis** (*'casing shear'*). Nieuw in dit rapport is de informatie over de hoek van de breuk. Deze wordt geschat tussen 29° en 66°; een **hoek van 54°** wordt als meest waarschijnlijk aangenomen. Daarnaast leren we in dit rapport dat de hellingshoek van de gesteentelagen ter hoogte van de injectieput ROW-2 ongeveer 22° is, dus niet horizontaal. Terwijl we nu een zicht krijgen op de helling van de breuk in de buitenbuis, blijft de hellingsrichting, en dus de volledige oriëntatie, van de breuk een grote onbekende.




Beschouwen we nu de breuk in de buitenbuis zuiver vanuit een geometrisch standpunt (zie bijgevoegde figuur 3.7 (p. 19) met enkele persoonlijke aanvullingen), dan kunnen we vaststellen dat dit een **afschuivingsbreuk** (*'normal fault'*) is. De breukverplaatsing (*'fault displacement'*) is ongeveer 17 cm; er treedt ter hoogte van de breuk een verticale verkorting (*'vertical shortening'*) op van ongeveer 14 cm en een horizontale verlenging (*'horizontal extension'*) van ongeveer 10 cm. Elk van deze verplaatsingen dient een verklaring te krijgen.

Dit is een opmerkelijk verschil ten opzichte van het initiële rapport (*Report EP 202104200659 – mei 2021*), waarin elke informatie over de hoek van de breuk ontbrak. In het initiële rapport werd de breuk in de buitenbuis als horizontaal voorgesteld, met een horizontale schuifcomponent (cf. figuren 15 & 18 in het initiële rapport). De breukverplaatsing werd in het initiële rapport dan ook op 'maar' ongeveer 6 cm ingeschat.

Deze nieuwe informatie over de helling van de breuk in de buitenbuis heeft volgens mij uiteindelijk belangrijke gevolgen voor de kinematische interpretatie, die dan weer de basis zou moeten vormen van de geomechanische modellen die het proces dat de breuk veroorzaakt heeft, zouden moeten verklaren.

Een afschuivingsbreuk met een hellingshoek van ongeveer 54° past in de hierboven geschetste principes van brosse vervorming. In deze context waarin de grootste hoofdspanningrichting ($\sigma_1$) verticaal georiënteerd is, zou een nieuwgevormde schuifspleet/breuk idealiter 60° hellen. Anderzijds zou een bestaand breukvlak met een helling van ~54° goed georiënteerd (*'favorably oriented fault'*) zijn om in deze spanningscontext gereactiveerd te worden. De waargenomen afschuivingsbreuk laat volgens mij dan ook nog niet toe eenduidig voor een van de twee opties, nieuwvorming of *'reshear'*, te kiezen.

In de nabijheid van injectieput ROW-2 zijn een aantal breuken waargenomen (cf. figuur 4.4 – p. 28). De twee breuken, die als *'major fault'* worden omschreven (cf. figuur 4.5 – p. 29) lijken geometrisch opschuivingsbreuken (*'reverse fault'*) te zijn. De veronderstelde antithetische breuk, omschreven als

*'possible fault feature'* (cf. figuur 4.5 – p. 29), lijkt een afschuivingsbreuk te zijn. Opvallend is dat de twee WNW-ESE georiënteerde *'major faults*' een gelijkaardige oriëntatie hebben als een belangrijke breukstructuur in het onderliggende DC reservoir (cf. figuur 4.6 – p. 30). Het geomechanische model gaat ervan uit dat de veronderstelde antithetische afschuivingsbreuk de injectieput ROW-2 doorsnijdt ter hoogte van de breuk in de buitenbuis. Hierdoor wordt verondersteld dat een mogelijke breukwerking op deze veronderstelde antithetische afschuivingsbreuk aan de oorsprong zou kunnen liggen van de breuk in de buitenbuis.

Vertrekkende van een breukverplaatsing van ~17 cm kan echter volgende gedachteoefening gemaakt worden. Stel dat de breukverplaatsing zich inderdaad heeft voorgedaan op een bestaande breuk, en stel zelfs dat de waargenomen breukverplaatsing van ~17 cm de maximale verplaatsing is die zich heeft voorgedaan bij dit *'event'*. Vertalen we deze maximale breukverplaatsing dan naar een momentmagnitude, dan zou dit een momentmagnitude impliceren in de grootteorde van $M_w$4 à $M_w$5. Het verschoven breukoppervlak zou ongeveer een oppervlakte hebben van 1 km$^2$ (1 km x 1 km) à 10 km$^2$ (3 km x 3 km). Rekening houdend met de diepte van de breuk in de buitenbuis lijkt dit allemaal zeer onrealistisch. Dit is bovendien in tegenspraak met de vaststelling dat dit *'event'* op generlei manier geregistreerd is door het dense seismische netwerk (p. 8), en dat het *'event'* als aseismisch moet aanzien worden. Een aseismisch *'event'* met een dergelijke breukverplaatsing van de buitenbuis lijkt mij dan ook te suggereren dat de brosse vervorming zich beperkt heeft tot de buitenbuis. Het scenario van de nieuwvorming van een breuk in de buitenbuis door *'axial loading'*, waarbij er een zekere ontkoppeling plaatsvindt tussen buitenbuis en omliggend gesteente (ook ter verklaring van de verticale verkorting van ~14cm), lijkt me dan ook een scenario dat waard is onderzocht te worden. Een dergelijk scenario wordt echter in het rapport als *'unlikely'* gekwalificeerd (p. 103), niettegenstaande de kwaliteit van de cementvulling ter hoogte van de breuk in de buitenbuis als *'poor'* wordt omschreven (p. 102).

Naast een *'reshear'* van een bestaande breuk, onder een hoek van 54° (cf. figuur 3.11 – p. 23), wordt de reactivering van een laagvlak, onder een hoek van 22° (cf. figuur 3.10 – p. 22) nog steeds als een mogelijk scenario in beschouwing genomen. In tegenstelling tot het initiële rapport (*Report EP 202104200659 – mei 2021*) wordt het bestaan van de schalielaag in de directe omgeving van ROW-2 niet langer als een zekerheid beschouwd (cf. §4.3). Enkel de *'cuttings'* en boorbeschrijvingen wijzen nog op de aanwezigheid van 'klei'. Toch wordt een laag van *'soft clay'* op de diepte waar de breuk in de buitenbuis zich heeft voorgedaan, nog steeds verondersteld. Vooreerst vind ik het persoonlijk verwarrend dat er enerzijds over *'shale'*[3] gesproken wordt, dan weer over *'clay'*[4]. Beide termen, met toch wel een totaal andere betekenis, worden door elkaar gebruikt. De aanwezigheid van klei, al of niet in de context van een breukklei (*'fault gouge'*), heeft een totaal andere betekenis dan de aanwezigheid van een schalie voor wat betreft een mogelijke interpretatie van de *'casing shear'*. De aanwezigheid van de schalielaag werd in het initiële rapport (*Report EP 202104200659 – mei 2021*) aangewend om de geologisch context van ROW-2 als uniek te beschouwen, om zo te argumenteren dat de kans op een gelijkaardig *'event'* in de andere injectiepunten veel kleiner moet zijn. Niettegenstaande in het huidige rapport de bewijslast voor de aanwezigheid van een schalielaag zelf gerelativeerd wordt, blijft men vasthouden aan de stelling dat *"the shale observed in ROW-2 is not extending over the entire field and is of limited lateral extend"* (p. 35). Rekening houdend met de flinterdunne bewijslast, dreigt men hier in de val te lopen van een redenering waarbij de afwezigheid van bewijs als bewijs voor afwezigheid gezien wordt. Bovendien blijft het onvoldoende aangetoond dat de aanwezigheid van een schalielaag ter hoogte van ROW-2 een betekenisvolle rol heeft gespeeld in het breken van de buitenbuis (*'casing shear'*).

[3] Een **schalie** (*'shale'*) is een fijnkorrelig, fijn gelaagd sedimentair gesteente dat gevormd werd door de lithificatie van kleirijke sedimenten; een schalie vertoont een uitgesproken laagparallelle gesteentesplijting.
[4] Een **klei** (*'clay'*) is een fijnkorrelig ongeconsolideerd gesteente dat voornamelijk is opgebouwd uit kleimineralen; een klei kan een sedimentaire oorsprong hebben; een **breukklei** (*'fault gouge'*) is het resultaat van vermalen van gesteente ten gevolge van breukwerking.

*Deze algemene beschouwingen vormen nu de basis voor het beantwoorden van de vragen die gesteld zijn door het SodM. In het volgende deel van deze review tracht ik nu een antwoord te formuleren op deze vragen.*

## Vragen – Geologische & geomechanische modellen

1. ***Zijn de geomechanische modellen geschikt om de vragen die uit het eerste rapport voortkwamen te beantwoorden?***

   Over de waarde van de geomechanische modellen zelf heb ik onvoldoende expertise om daarover een oordeel te vellen. De geschiktheid van dergelijke modellen hangt natuurlijk in belangrijke mate af van de initiële aannamen en de gebruikte inputparameters. Ook blijft een model nog steeds een vereenvoudiging van de werkelijkheid.
   Zoals hierboven al geschetst, zijn er twee belangrijke aannamen die de geomechanische modellen sterk gaan sturen. In de eerste plaats gaat men uit van een externe oorzaak, de *'reshear'* van een bestaande discontinuïteit (breuk of schalielaag). De tweede aanname is de aanwezigheid van de dunne schalielaag ter hoogte van ROW-2.
   Daarnaast hebben de inputparameters die aangewend worden, niet allemaal direct betrekking tot de specifieke context van ROW-2. Zo zijn er inputparameters afkomstig uit andere contexten (bv. Collendoorn, Barradeel) of uit de literatuur. Hiertoe is men inderdaad vaak verplicht gezien de onvolledigheid van het eigen gegevensbestand, maar dit houdt altijd risico's in met betrekking tot de betekenis van de uiteindelijke resultaten van het geomechanische model.
   Tenslotte spelen vereenvoudigingen ook steeds een rol, zoals bijvoorbeeld de *'frictionless fault'* in het geval van het aangewende geomechanische model.

2. ***Zijn de randvoorwaarden en inputparameters voor deze modellen realistisch en voldoende beschreven?***

   Rekening houdend met de bedenkingen gemaakt in het antwoord op vraag 1, heb ik alvast de indruk dat de randvoorwaarden en inputparameters realistisch en voldoende beschreven zijn.
   Hierbij dient natuurlijk de kanttekening gemaakt te worden dat de gekozen randvoorwaarden (aannamen) in belangrijke mate de uitkomst van de geomechanische modellen sturen. Het in vraag stellen van bepaalde aannamen leidt dan ook automatisch tot het in vraag stellen van de relevantie van de uiteindelijke uitkomst van de geomechanische modellen.
   Bovendien zou een gevoeligheidsanalyse van de inputparameters kunnen helpen om te kunnen inschatten wat de invloed is van elk van de inputparameters op het uiteindelijke resultaat. Voor inputparameters met beperkte invloed kan het dan bijvoorbeeld geen kwaad dat deze uit de algemene literatuur afkomstig zijn. Inputparameters waarvoor de geomechanische modellen uiterst gevoelig zijn, worden dan ook best bepaald in de specifieke context van ROW-2.

3. ***Is de gebruikte database compleet en kwalitatief goed genoeg om de gekozen input te onderbouwen?***

   Gezien we hier te maken hebben met grotendeels indirecte waarnemingen, worden we sowieso geconfronteerd met een onvolledige database. Een belangrijke meerwaarde in dit rapport is de nauwkeurige geometrische beschrijving van de breuk in de buitenbuis. Zoals hierboven beschreven, heeft de vaststelling van de hoek van de breuk in de buitenbuis volgens mij belangrijke gevolgen voor de interpretatie. Misschien is met deze nieuwe waarneming onvoldoende rekening gehouden in de verder ontwikkeling van de geomechanische modellen.

## Vragen – Scenario's

1. ***Zijn de mogelijke scenario's voor de 'casing shear' van ROW-2 voldoende uitgewerkt, compleet, voldoende beschreven en wetenschappelijk te verantwoorden?***

   De scenario's, die uitgaan van een externe oorzaak (*'reshear'*), zijn volgens mij voldoende uitgewerkt en beschreven. Deze scenario's zijn elk op zich wetenschappelijk te verantwoorden, altijd rekening houdend met de bedenkingen gemaakt met betrekking tot de initiële aannamen (*'reshear'*, aanwezigheid schalielaag).

2. ***Is de keuze voor het meest waarschijnlijke scenario en het uitsluiten van bepaalde scenario's correct onderbouwd en navolgbaar?***

   Eigenlijk is er geen 'meest waarschijnlijke scenario' meer, dit in tegenstelling tot het initiële rapport (*Report EP 202104200659 – mei 2021*) met het voorkeursscenario van *'flexural slip folding'* (scenario A). Verschillende externe oorzaken worden gemodelleerd, waarbij tot de vaststelling wordt gekomen dat elk van de gemodelleerde oorzaken op zich onvoldoende zijn om de breuk in de buitenbuis volledig te verklaren. Hieruit wordt afgeleid dat mogelijk een samenspel van externe oorzaken verantwoordelijk zouden kunnen zijn voor de breuk in de buitenbuis. Hiermee wordt eigenlijk toegegeven dat de ware oorzaak van de breuk in de buitenbuis nog steeds niet gekend is. Elke verdere gevolgtrekking naar beheersmaatregelen dient dan ook volgens mij vanuit deze vaststelling te vertrekken.

3. ***Wat is uw mening over het eindoordeel?***

   Zoals hierboven geschetst vrees ik dat we moeten concluderen dat de ware oorzaak van de breuk in de buitenbuis nog steeds niet gekend is. Dit heeft natuurlijk in belangrijke mate te maken met de uitermate moeilijke context waarin enkel kan gewerkt worden met grotendeels indirecte waarnemingen.
   Toch kan hier de bedenking gemaakt worden dat de zoektocht naar de oorzaak van de breuk in de buitenbuis te weinig vertrekt vanuit de enige feitelijke directe waarneming, met name de breuk in de buitenbuis, en te veel gestuurd wordt door geomechanische modellen (*'subsurface analysis'*).
   Gezien de ware oorzaak van de breuk in de buitenbuis eigenlijk nog niet gekend is, heeft elke inschatting van de kans op een gelijkaardig *'event'* in de andere Rossum-Weerselo injectieputten (tabel 11.1 – p. 108) eigenlijk weinig betekenis.

   In dit kader valt nog een bedenking te maken met betrekking tot het rechtse deel van het Bow-Tie diagramma (*'barriers'*). Over de integriteit van de *'cap rock'* valt inderdaad weinig te twijfelen. Alleen wordt in de analyse toch wel veel nadruk gelegd op het feit dat de binnenbuis (*'tubing'*) niet is gescheurd zodat er geen productiewater kon lekken. Persoonlijk zou ik toch opletten met dit argument te gebruiken omdat volgens mij niet kan uitgesloten worden dat dit een 'geluk bij een ongeluk' is. Een verder doorschuiven van de breuk in de buitenbuis had evengoed de binnenbuis kunnen hebben gescheurd, met alle gevolgen van dien.

## Vragen – Beheersmaatregelen

***1. Is het, aan de hand van bovengenoemde studie en aanwezige monitoring en data, mogelijk om te bepalen waar 'casing shear' een risico is?***

Neen. Zoals hierboven al geschetst, moeten we concluderen dat de ware oorzaak nog steeds niet gekend is. Kent de breuk in de buitenbuis één enkele, interne of externe, oorzaak? Of is het een toevallige samenloop van verschillende oorzaken die tot de breuk geleid heeft? Op deze vragen moeten we eigenlijk nog steeds het antwoord schuldig blijven. Een gefundeerde risico-inschatting lijkt me dan ook in dit stadium van het onderzoek weinig zinvol en vooral gebaseerd op een aantal aannamen, die ter discussie kunnen worden gesteld.

***2. Zijn er omissies die aangepast moeten worden om tot goede mitigerende maatregelen te kunnen komen?***

Zoals gesteld in het rapport is de integriteit van de *'cap rock'* van cruciaal belang voor het beschermen van mens en milieu. Het vermijden van een *'casing shear'* lijkt me dan ook vooral een probleem voor de operator van de productiewaterinjectie.
Met de kennis die nu voorhanden is, lijkt het mij ontzettend moeilijk om de juiste maatregelen te nemen om een *'casing shear'* te vermijden. Ik vrees dat intense monitoring van de injectieputten enkel de voortekenen zal kunnen registreren (bv. verlies van annulaire druk) van een op dat moment niet meer te vermijden *'casing shear'*.
Met betrekking tot mitigerende maatregelen, lijkt het me het veiligst om uit te gaan van de veronderstelling dat een *'casing shear'* zich kan voordoen in elk van de injectieputten. Vanuit dit *'better safe than sorry'* uitgangspunt kan dan nagegaan worden over de vereiste mitigerende maatregelen om het risico op een *'casing shear'* voor elk van de injectieputten te minimaliseren.

Prof. Dr. Manuel Sintubin
*Leuven, 27 mei 2022*