

Lek in cavernecluster TR-1 t/m -8 plus VE-4, **VERTROUWELIJK**

Den Haag, SodM, 21-6-2018



- Voorstelronde
- Agenda
 1. Intro en update huidige situatie op hoofdlijnen ()
 2. Oorzaak incident ()
 3. Gedrag cavernecluster, volumebalans en bodemdaling ()
 4. Monitoring mogelijke gevolgen ()
 5. Modelling Fracture Propagation Study en resultaten base case ()
 6. Korte termijn vervolgstappen n.a.v. incident ()
- Doel van de meeting
 - Het verstrekken van een zo volledig mogelijk inzicht in de situatie
 - Bespreken van de situatie
 - Wanneer nodig wijzigen of aanvullen van Nedmag's korte termijn actieplan

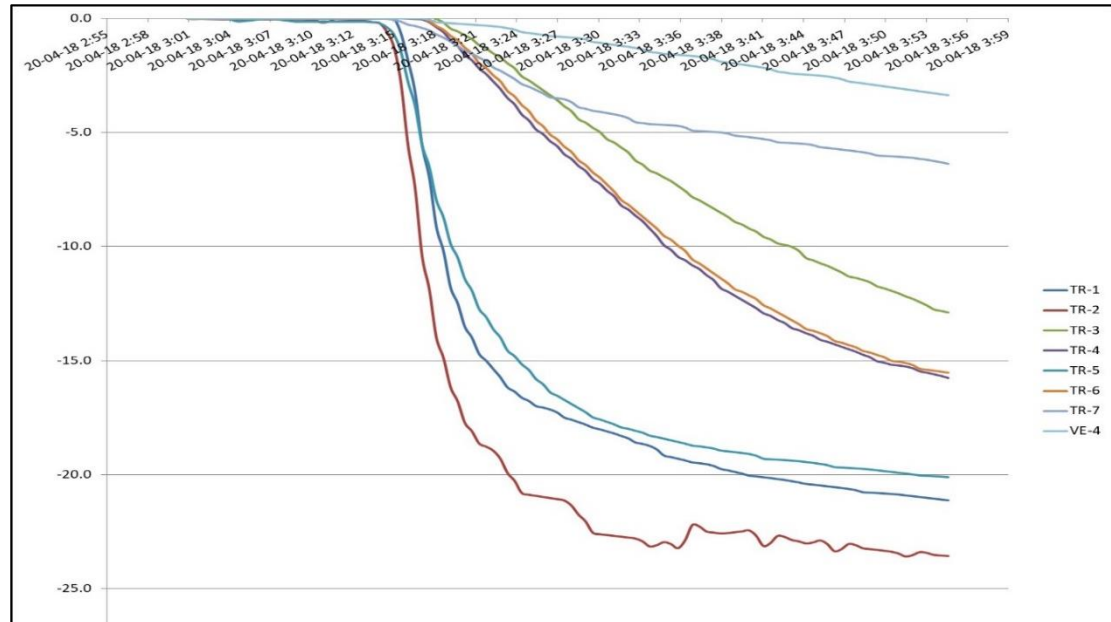
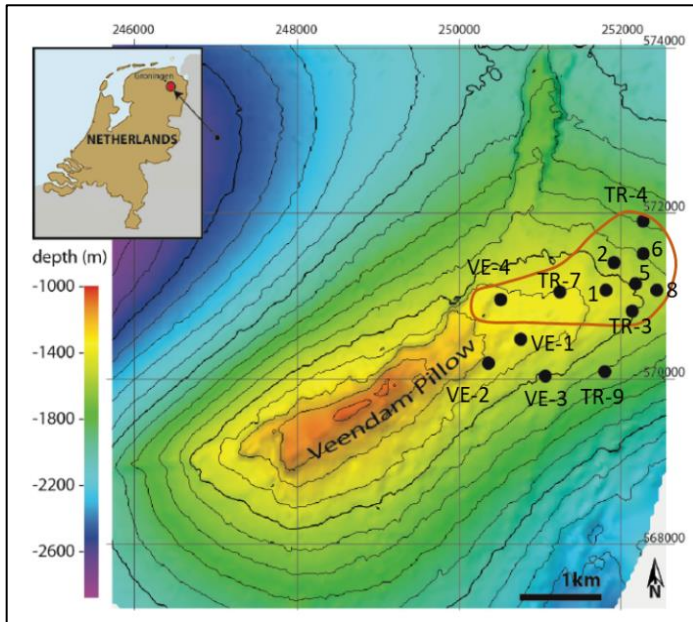
- Maximale productie, minimale injectie
 - Naast captive use en verkoop van pekels ook afvoer naar zee via de veenkoloniale afvalwaterleiding (VKA)
 - Injectie alleen in de vorm van gipsinjectie en tubings spoelen
 - Regen- & proceswater werden v/h geïnjecteerd maar gaan nu via de VKA naar zee
- Over all trend clusterdruk dalend. Trend bij alle bronnen gelijk
- Belangrijke vraag: hoe groot is de clusterconvergentie?
 - Hoeveel pekels moeten we produceren om ondergrondse lekkage te voorkomen?
- Aanvullende acties om de pekelsproductie nog verder op te kunnen voeren:
 - Afvoer van pekels naar zee via de zout afvalwater zuiveringsinstallatie (ZAWZI) in Delfzijl
 - Realisatie van pekelsbassins in Veendam
 - Eventueel: huur van pekelsbassin in de buurt van Veendam
- Tot nu geen schade aan tubings & casings waargenomen
- Diverse acties op het gebied van de monitoring van mogelijke gevolgen

Well Engineering Partners

OORZAAK INCIDENT

Drukdaling 20 april 2018

- Drukdaling TR-1/2/5: 10 bar in 3 minuten
- Hele complex:
 - 10 bar in 30 minuten
 - 30 bar in 2 dagen



Meest waarschijnlijke scenario

- Fracture gradient in zoutdak gedaald door spanningsrelaxatie en arching (verlaging verticale spanning overburden)
- Breuk (frac) vanuit bovenzakken TR-1/TR-2/TR-5 naar Bunter
- Stroming rest via boorgaten van TR-1/2/5 naar bovenzak (10 - 20" doorgang): vertraagde respons door stromingsweerstand

- Pekelvolumen bovenzakken TR-1/2/5 ca 400.000 m³
- Pekelvolumen rest (verbonden) zakken ca 7.100.000 m³
- Uit historische gegevens: systeemstijfheid 1.500-3.200 m³/bar
 - Redelijke bovenverwachting (P60) 2.500 m³/bar
 - lekkage 30 bar drukdaling 75.000 m³
 - lekkage door kruip (P50) 25.000 m³ in eerste weken

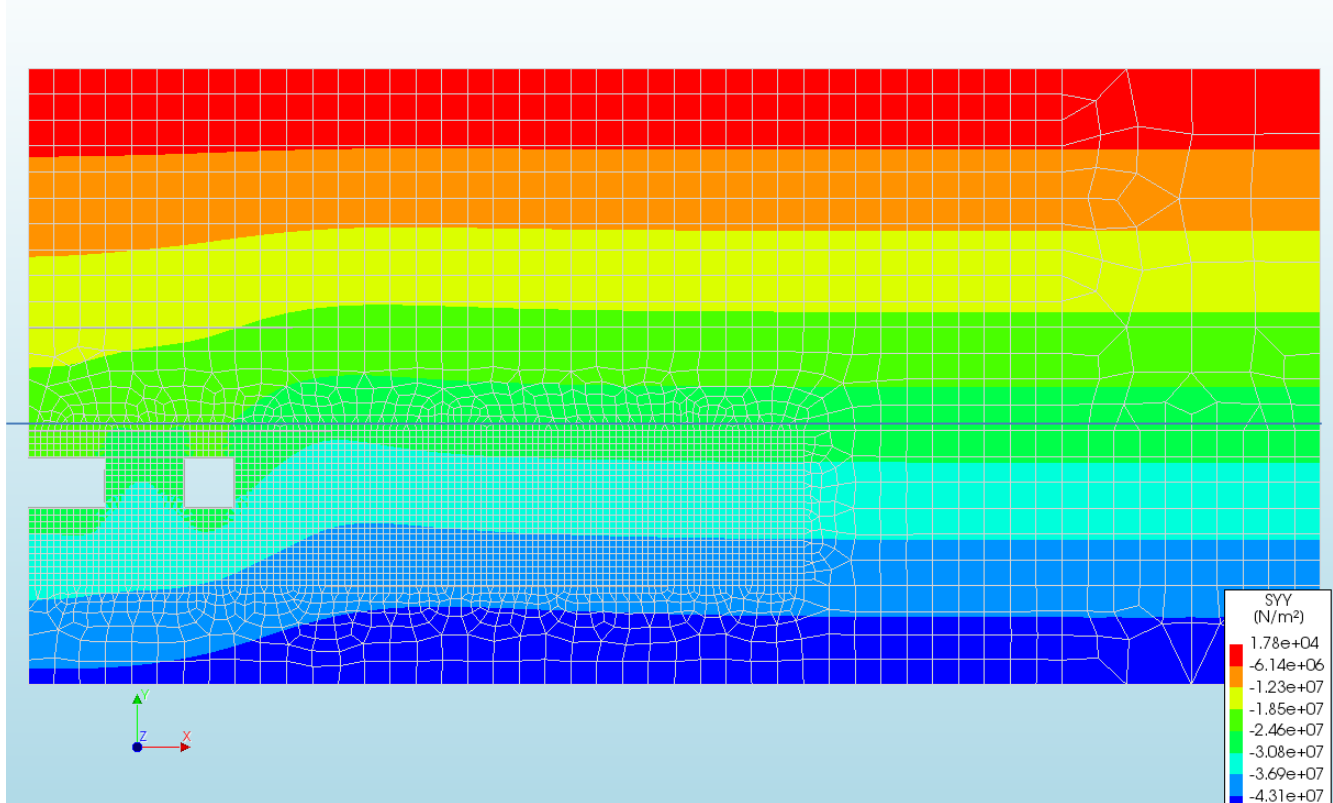
- Door lange periode van pekelonderdruk en arching effecten veranderen verticale en horizontale spanningen in overburden en zoutdak
- Additioneel effect van zoutkruip in spanningsrelaxatie
 - Overdracht van horizontale spanningen in zoutdak naar Bunter
 - Fracturegradient in zoutdak daalt in de tijd, met name in het midden van het veld
- Maximum druk voor caverneveld met wisselende drukken zout zou tijdsafhankelijk moeten zijn
 - Mede gebaseerd op modellering

- Axisymmetrische modellering
 - Relatief snel te modelleren, berekenen en te analyseren
 - Redelijke benadering van verbonden caverne met uitlopers
 - Centrale caverne van 600 m diameter (300 m radius): TR1/2/3/5
 - Andere cavernes gerepresenteerd door ring caverne (radii 600-800 m randcavernes: VE-4, TR-4, TR-6, TR-7, TR-8)
- Realistische druk reductie (50-100 bar) voor 1995-2018
- Realistische bodemdaling (ca. 45 cm)
- Invloed squeeze mining op verticale en horizontale spanningsveranderingen in het zoutdak en Bunter

Vertikale spanningen 2018 (axi-symmetrisch)

Lagere vertikale spanningen door arching-effecten

nedmag3
Time-step 520, Time 0.86950E+09
Cauchy Total Stresses SYY
min: -4.93e+07N/m² max: 1.78e+04N/m²

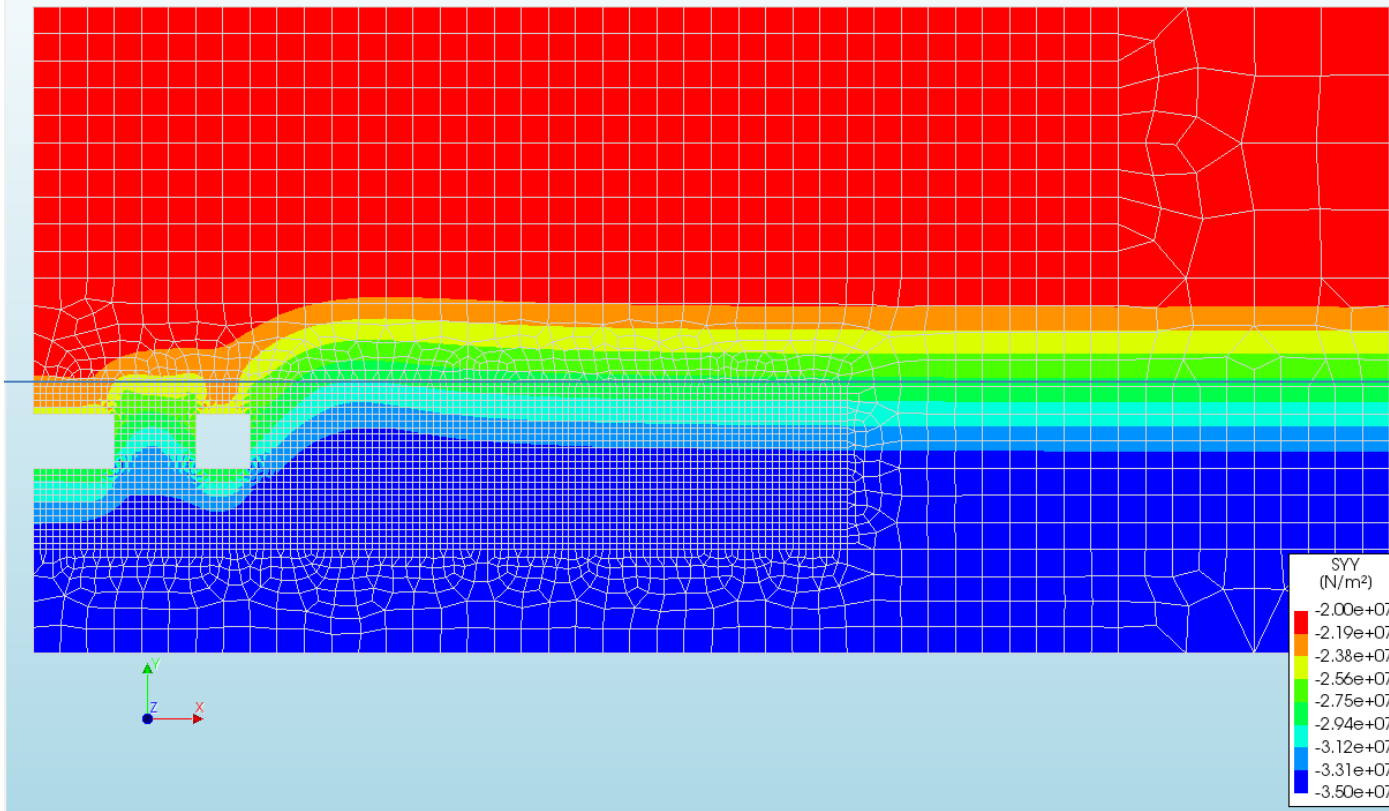


Range:
0-430 bar

Vertikale spanningen 2018 (axi-symmetrisch)

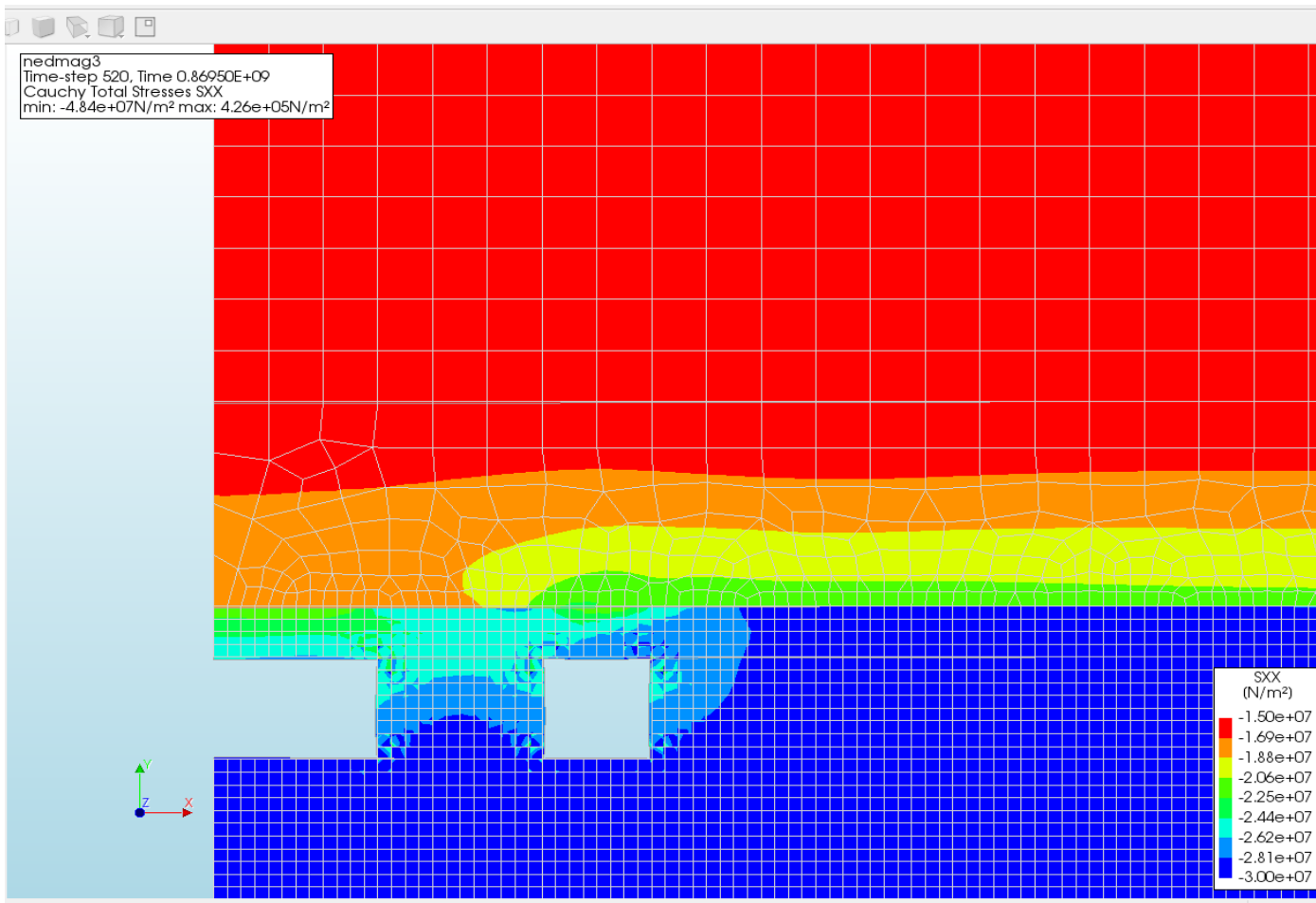
Daling circa 50 bar rond centrale caverne

Time-step 520. Time 0.86950E+09
Cauchy Total Stresses SYY
min: -4.93e+07N/m² max: 1.78e+04N/m²



Horizontale spanningen 2018

Lagere (50 bar) fracture spanning in zoutdak, met name in middenstuk



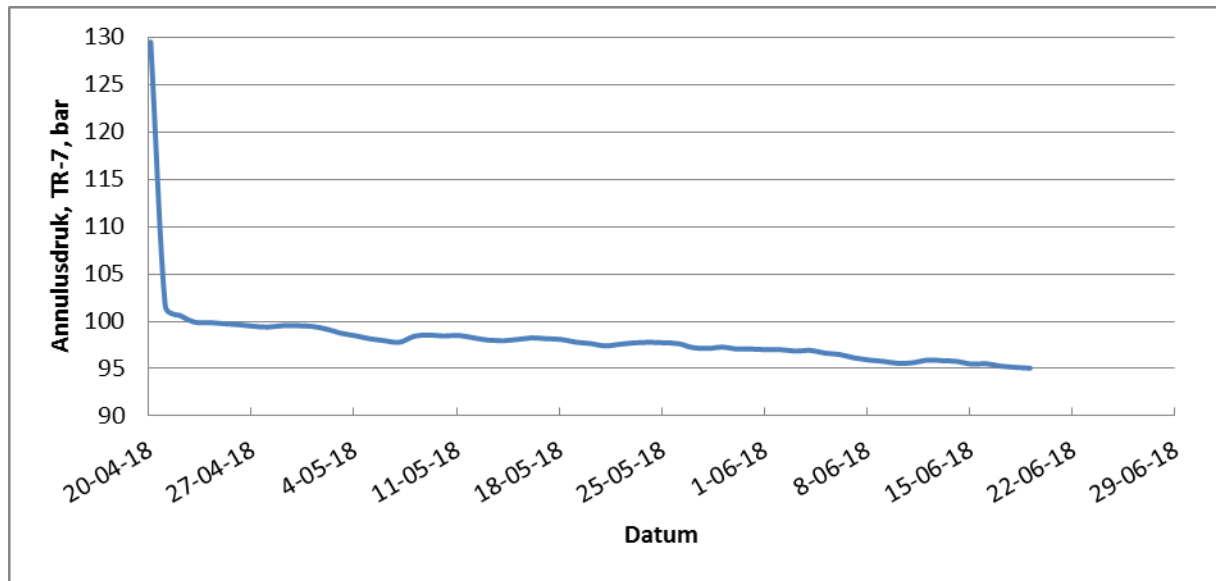
Range:
150-300 bar

- Nauwkeuriger onderscheid tussen haliet and Mg-zouten
- Verfijning overburden
- Doorkijk naar drukverloop met verdergaande convergentie (2021-2040)
- Effecten van cluster op nieuwe cavernes (VE-5/-6 en VE-7/-8)
- 3D modellering in overweging
- Modellering van VE-5/-6 voor bepaling drukregime in de tijd

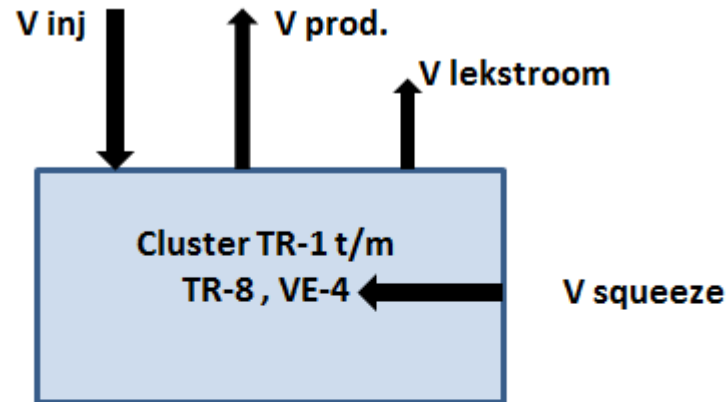
GEDRAG CAVERNECLUSTER, VOLUMEBALANS EN BODEMDALING



- Grote cluster: TR-1 t/m TR-8 en VE-4
- Kleine cluster: VE-2 en VE-3
- Enkelvoudige cavernes: TR-9 en VE-1

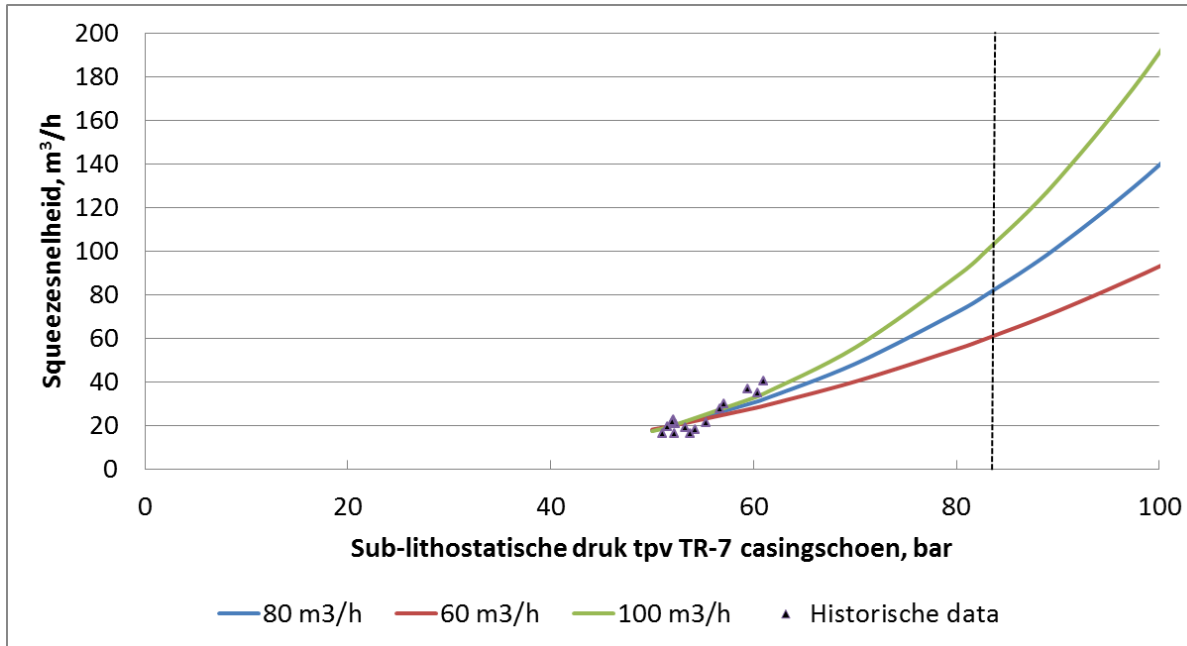


- Operationele acties na snelle decompressie van 20 april om lekstroom te minimaliseren
 - Maximale productie mbv alle bestaande mogelijkheden voor captive use/verkoop/externe opslag
 - Injectie geminimaliseerd en regenwater/restwater naar zee via VKA
 - Verhogen pekelproductie door realisatie pekel afvoer via VKA



$$\Delta P = \frac{V_{inj} - V_{prod.} - V_{lekstroom} + V_{squeeze}}{\text{Cluster elasticiteit}}$$

- V_{inj} en $V_{prod.}$: gemeten waarden
- $V_{lekstroom}$ en $V_{squeeze}$: berekende waarden
- Cluster elasticiteit aangenomen van 2500 m³/bar afgeleid uit historische gegevens
- Wanneer ΔP en V_{inj} beide nul: lekstroom = squeeze – productie
- Eventuele expansie effecten van oplossen en opwarming verwaarloosd

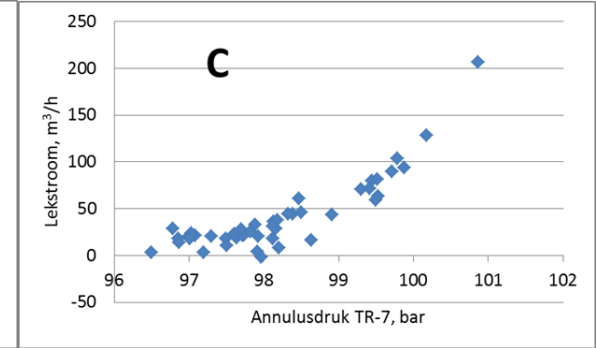
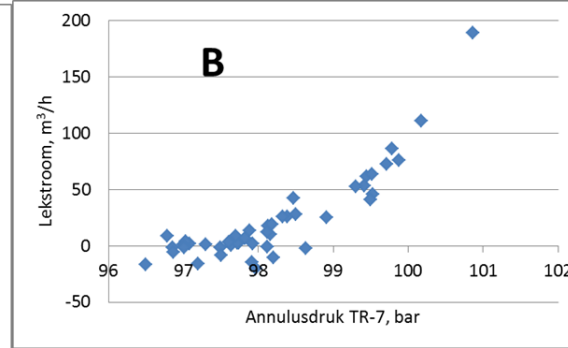
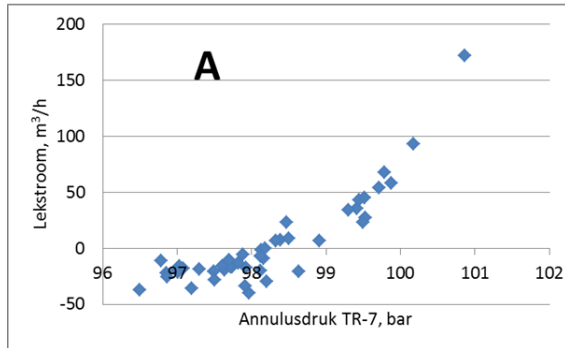


V squeeze @ 83 bar SL	k	n
m³/h	m³/(h. bar ⁿ)	
60	1.86E-03	2.35
80	1.60E-04	2.97
100	2.40E-05	3.45

$$V \text{ squeeze} = k \cdot \Delta P_{SL}^n \cdot V/V_0$$

- Extrapolatie naar huidige sub-lithostatische drücken van 83 – 85 bar vanuit historie onnauwkeurig
- Drie squeeze relaties gebruikt met 60, 80 en 100 m³/h bij een sub-lithostatische druk van 83 bar (clusterdruk 97 bar)

Volumebalans cluster (status 7 juni 2018)



V squeeze: 60 m³/h
bij 97 bar

80 m³/h

100 m³/h

- Berekende lekstroom wordt constant beneden een clusterdruk van 98 bar
- Oorzaak: sluiting van scheur beneden 98 bar mogelijk in combinatie met kristallisatie
- Plateauwaarde van de lekstroom wordt bepaald door squeezesnelheid
- Onafhankelijke schatting squeezesnelheid mogelijk uit lange termijn GPS bodemdaling

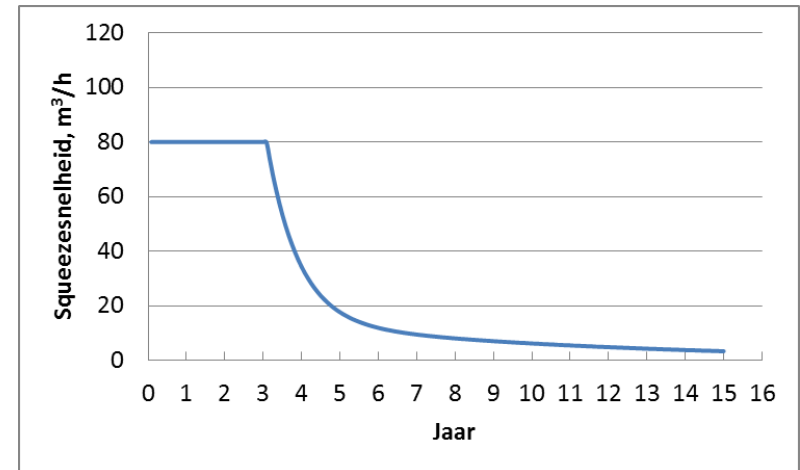
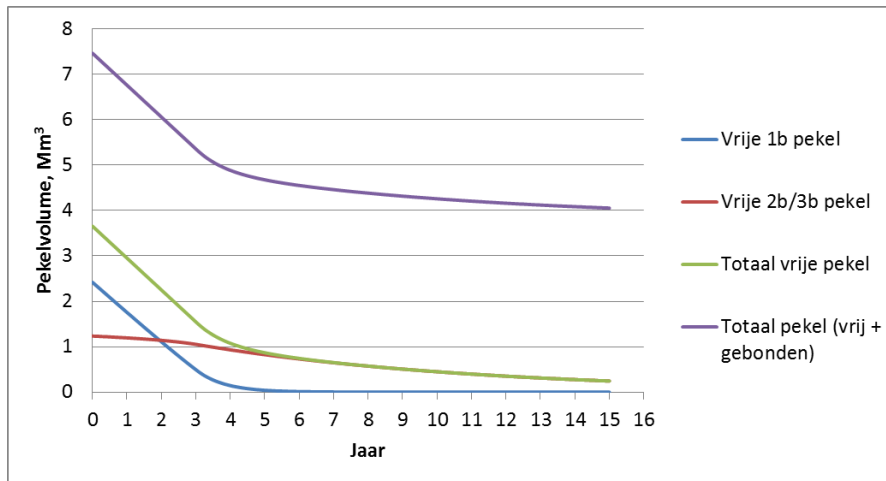
Startsituatie, begin juni

- 7.5 Mm³ pekel, waarvan 2.4 Mm³ vrije pekel in 1b sectie en 1.1 Mm³ in 2b/3b sectie
- Hierbij is aflekvolume van 0.1 Mm³ gerekend als afname in vrije 1b pekel pekelvolume

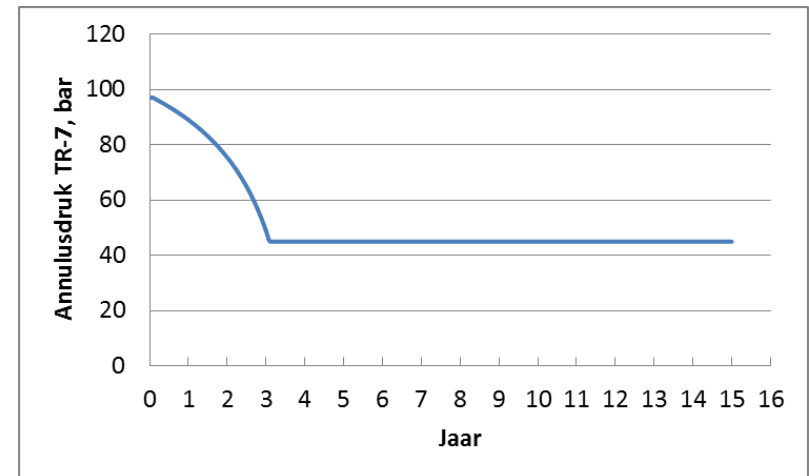
Aannames

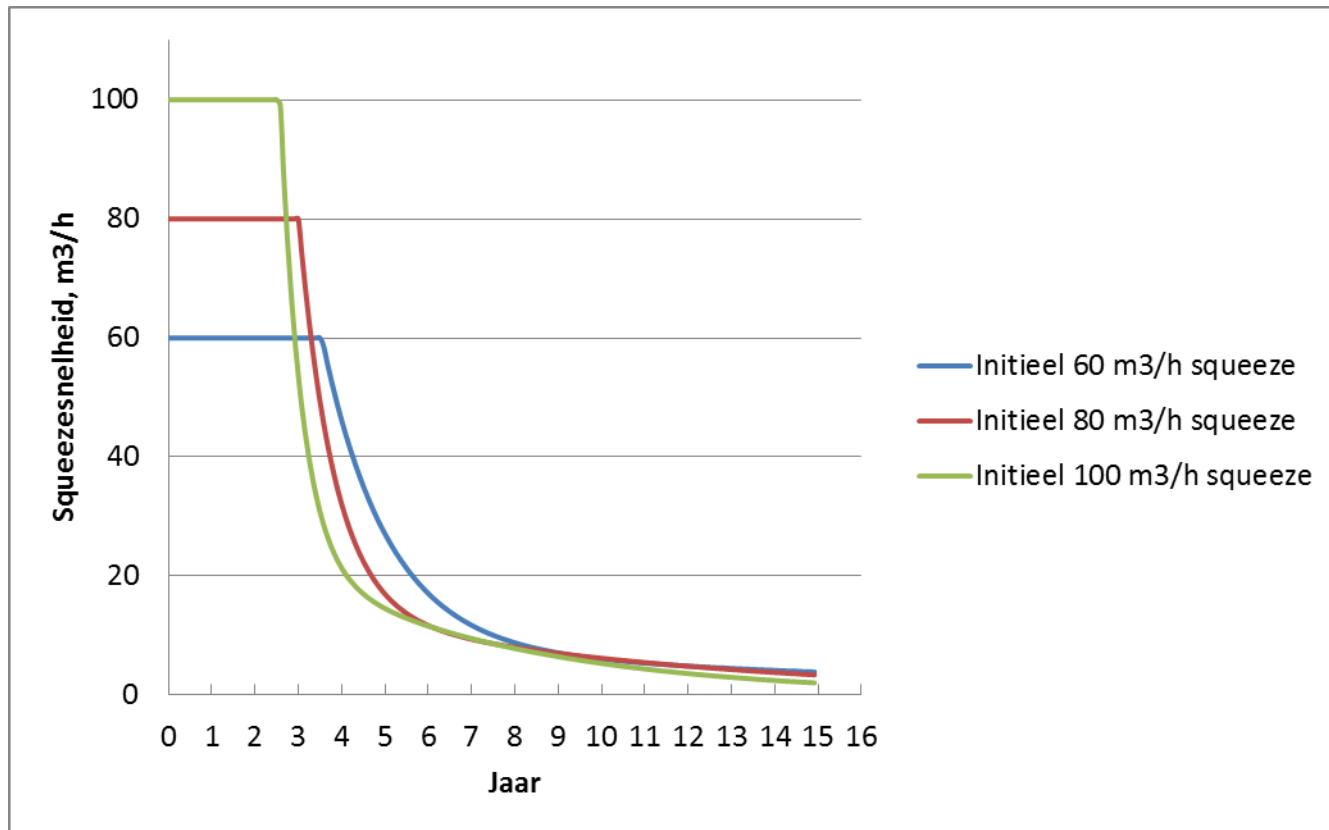
- Productiesnelheid gelijk aan squeeze-snelheid (geen lekstroom)
- Initiële clusterdruk 97 bar
- Alleen vrije 1b of 2b/3b pekel beschikbaar voor squeeze
- Van de initiële squeeze-snelheid (@ 83 bar SL) komt 95 % uit 1b secties en 5 % uit 2b/3b secties
- Beide squeeze-snelheden hebben dezelfde drukafhankelijkheid en nemen lineair af met het aanwezige vrije pekelvolume

Lange termijn gedrag cluster bij afbouw: bij 80 m³/h squeeze

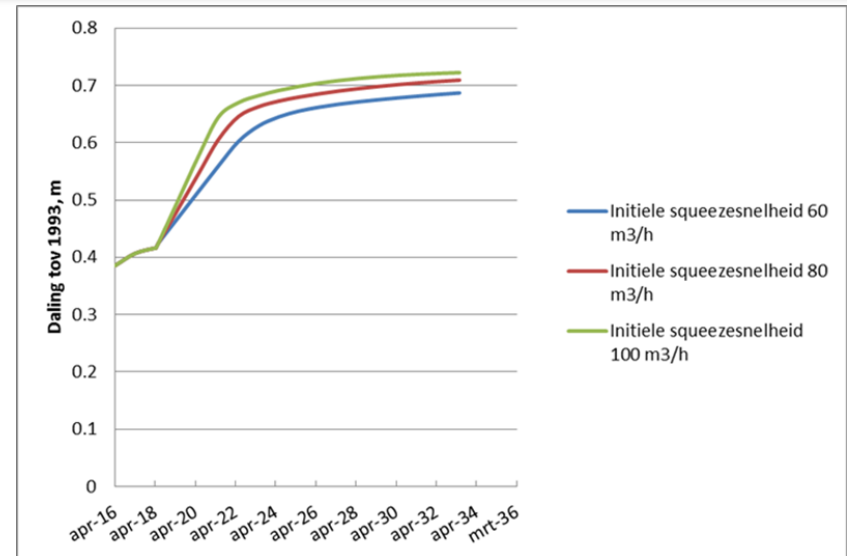
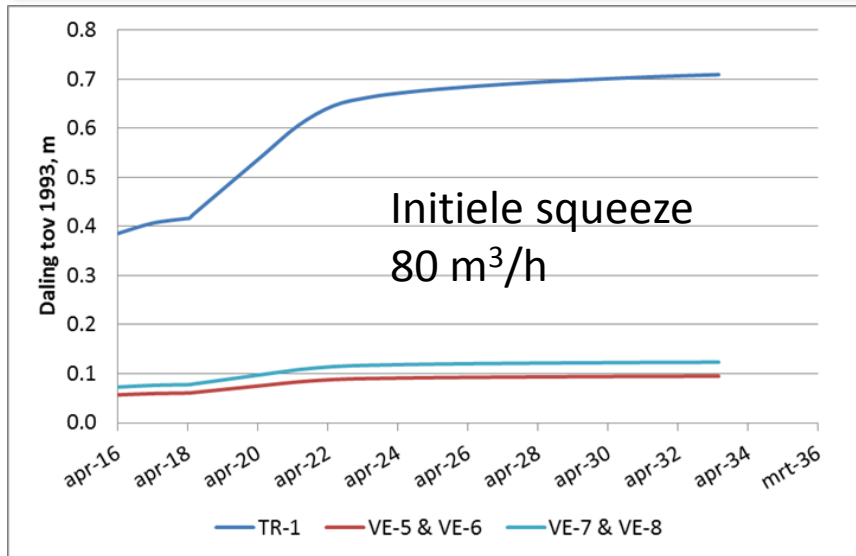


- Clusterdruk daalt bij afnemend vrij pekelvolume
- Tot aan 3 jaar productie voldoende druk daarna onvoldoende squeeze
- Druk daalt dan tot pekel-hydrostatisch
- Overgaan op huf-puf om resterende vrije pekel te winnen





- Duur gemakkelijke winning van 1b pekel 2 – 3 jaar afhankelijk van squeezesnelheid en aangenomen vrij volume
- Daarna zal de squeezeproductie moeten worden aangevuld uit bestaande, bronnen al dan niet met water injectie of uit nieuwe bronnen (VE-5/6 en VE-7/8)

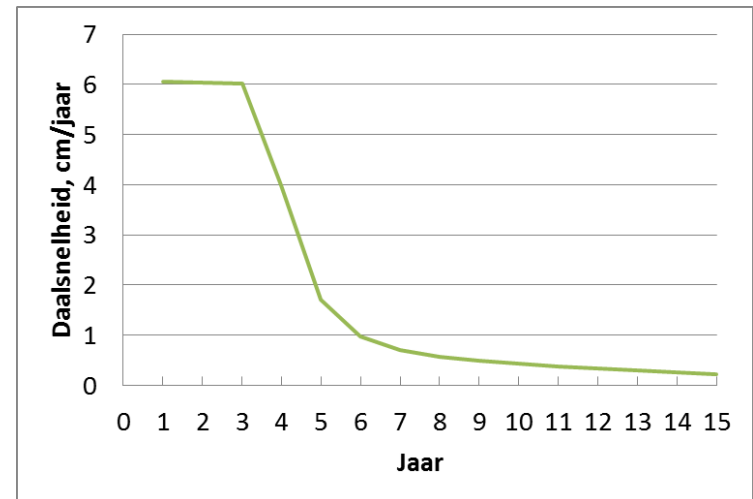


- Daling cluster berekend met
- Alleen zoutwinning uit cluster

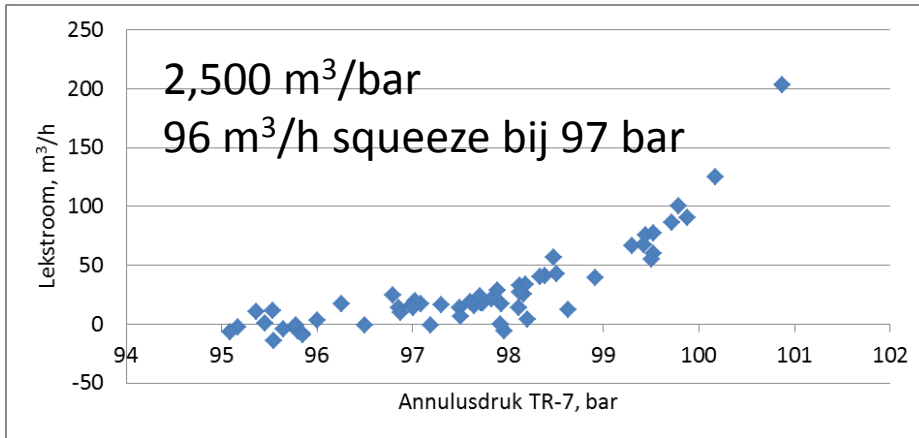
Bij een initiële squeeze snelheid van 80 m³/h:

- gedurende 2 – 3 jaar daling 6 cm/jaar
- na 5 jaar 1.7 cm/jaar
- na 10 jaar < 0.45 cm/jaar
- 46 cm daling in jan 2019 (50 cm tov 1977)
- maximale daling ten opzichte van 1977: 76 cm

routine met variabel rigide fundament



Volumebalans cluster update 18-6-2018

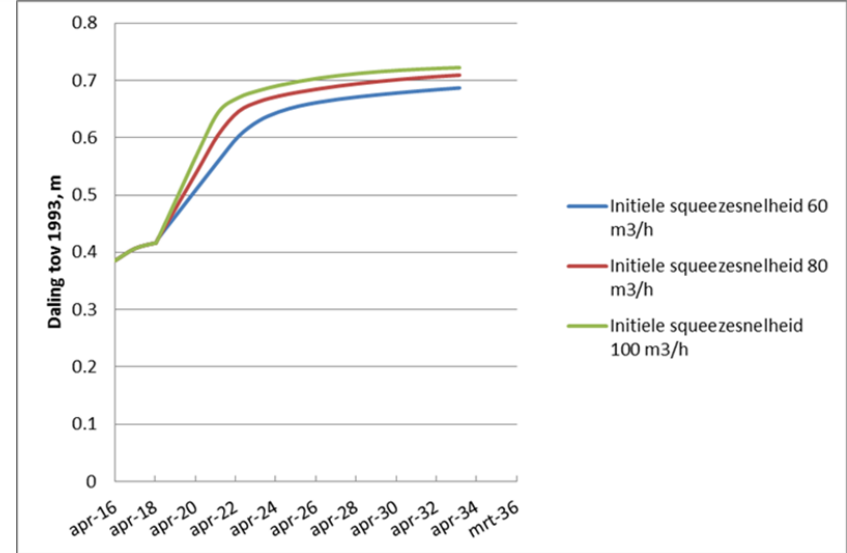
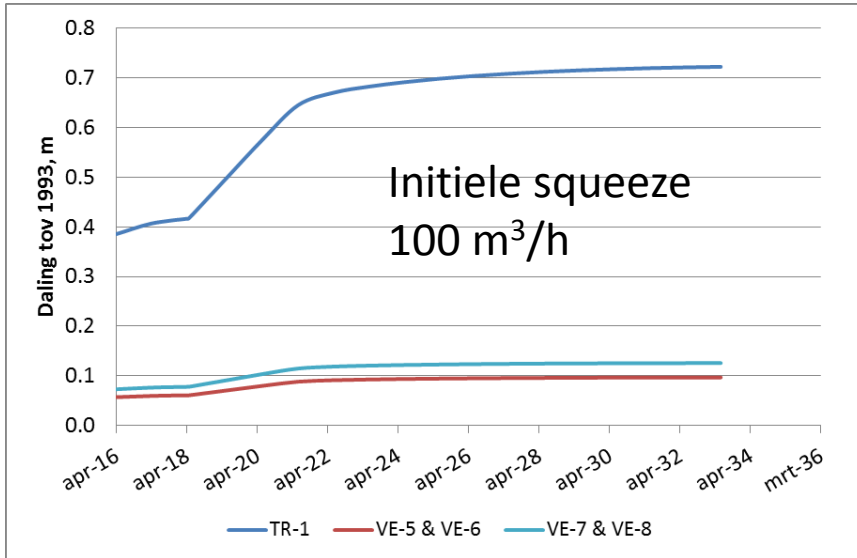


Periode	Lekstroom m ³	Squeeze m ³	Worst case daling cm @ 8.3 cm/Mm ³
2018			
20/4 - 30/4	94,550	22,351	0.97
1/5 - 18/6	18,155	111,615	1.08

- Lekstroom weinig gevoelig voor macht in squeeze relatie
- Wel gevoelig voor aangenomen elasticiteit van de cluster

Elasticiteit	Squeeze snelheid @ 97 bar
m ³ /bar	m ³ /h
1,500	100
2,500	96
3,200	92

- Daling bij 2,500 m³/bar: 2 cm waarvan 1.1 cm in periode 1/5 – 18/6
- Berekende daling kan vertraagd doorkomen naar oppervlak

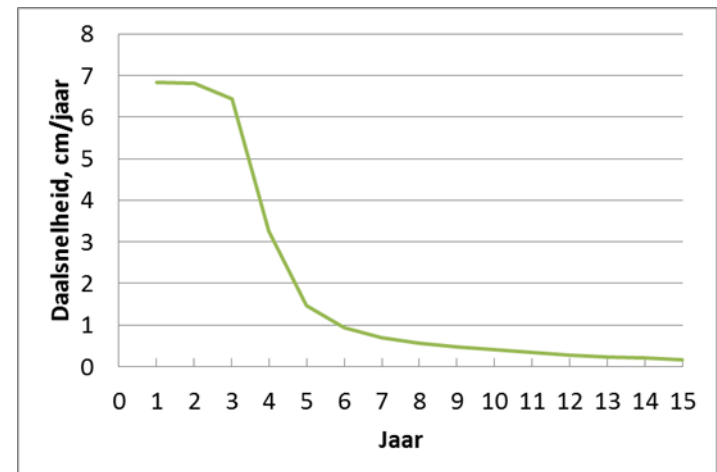


- Daling cluster berekend met
- Alleen zoutwinning uit cluster

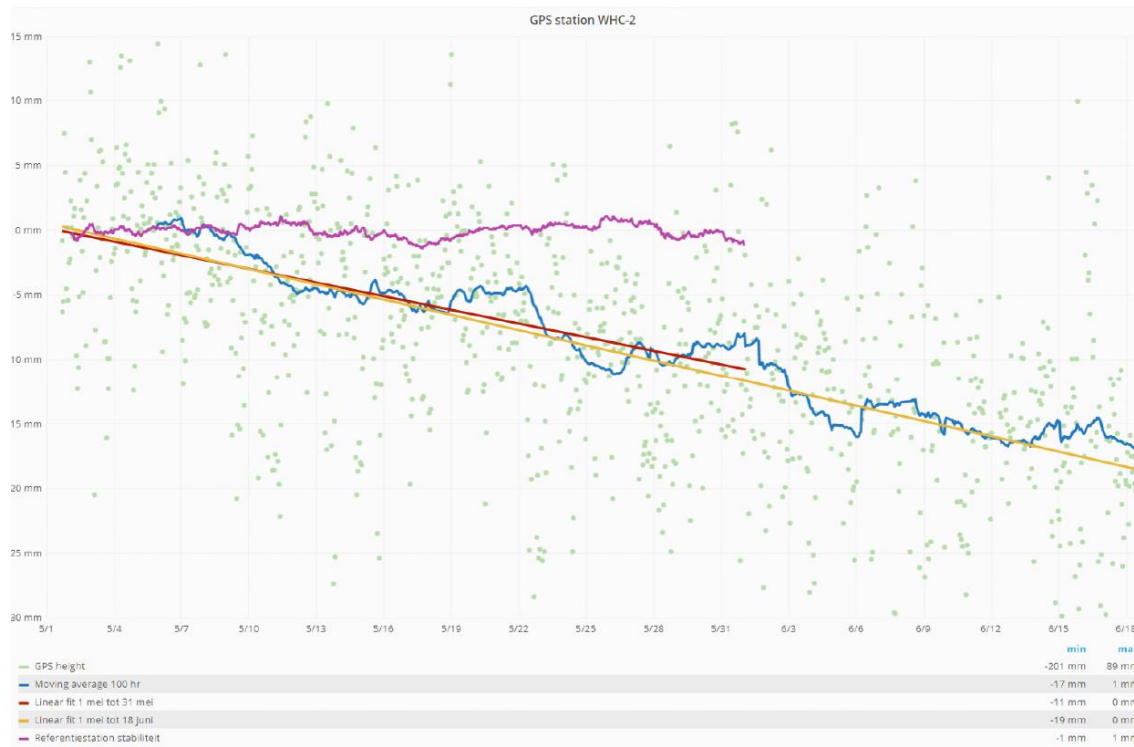
routine met variabel rigide fundament

Bij een initiële squeeze snelheid van 100 m³/h:

- gedurende 2 – 3 jaar daling 6.7 cm/jaar
- na 5 jaar 1.2 cm/jaar
- na 10 jaar < 0.4 cm/jaar
- 46 cm daling in dec 2018 (50 cm tov 1977)
- maximale daling ten opzichte van 1977: 76 cm



Bodemdaling volgens GPS: 1 mei – 18 juni 2018



- 100 uren voortschrijdend gemiddelde: 1.5 cm daling
- Lineaire regressie: 1.9 cm daling, met veel scatter
- Meetperiode van 7 weken te kort om lange termijn bodemdaling en convergentie te schatten
- Met InSar wordt de daling tussen 20 april en 1 mei in kaart gebracht

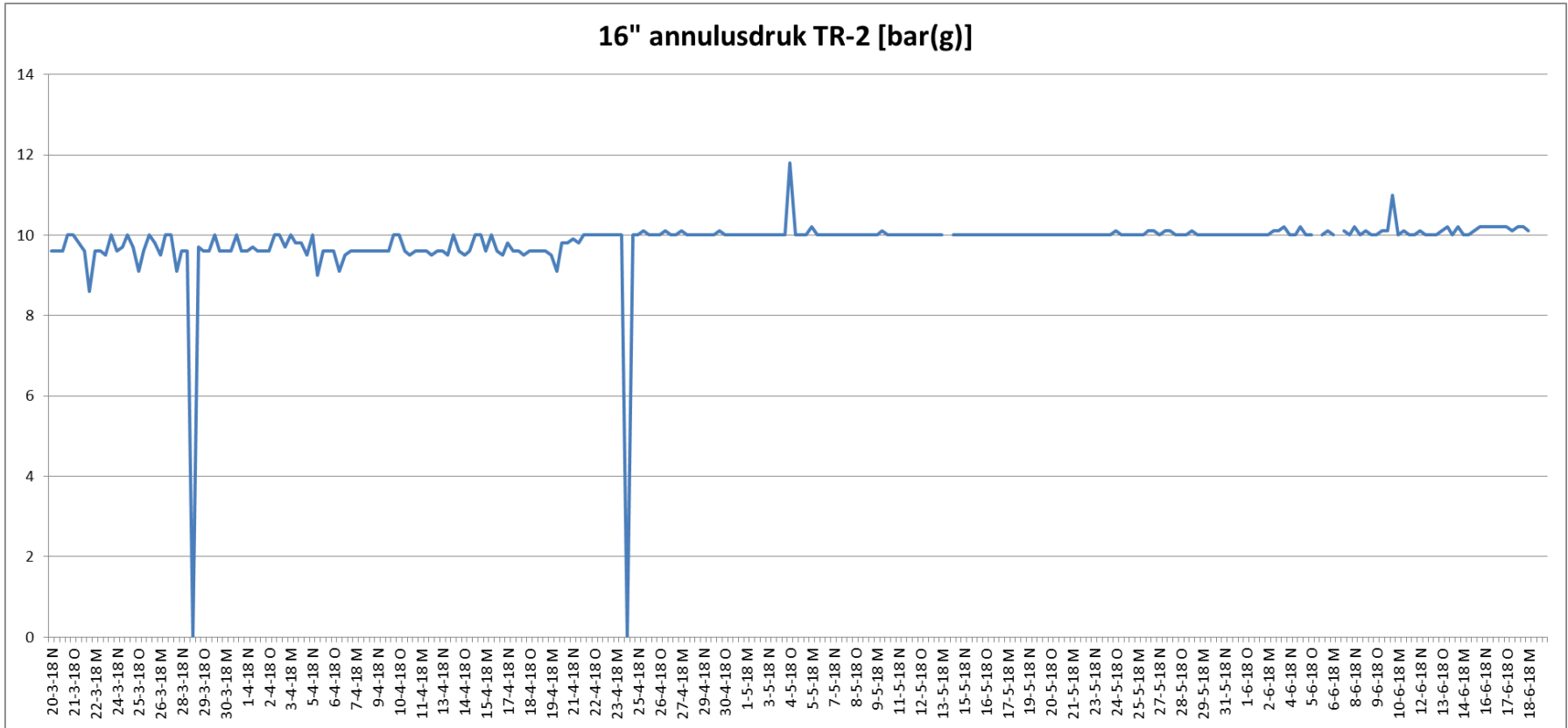
- Pekelproductie zodanig dat lekstroom wordt voorkomen
- Volume balans berekeningen uitbreiden aan onderkant clusterdruk
- Nul lekstroom bevestigen met een insluittest
- GPS daling monitoren over langere termijn

MONITORING

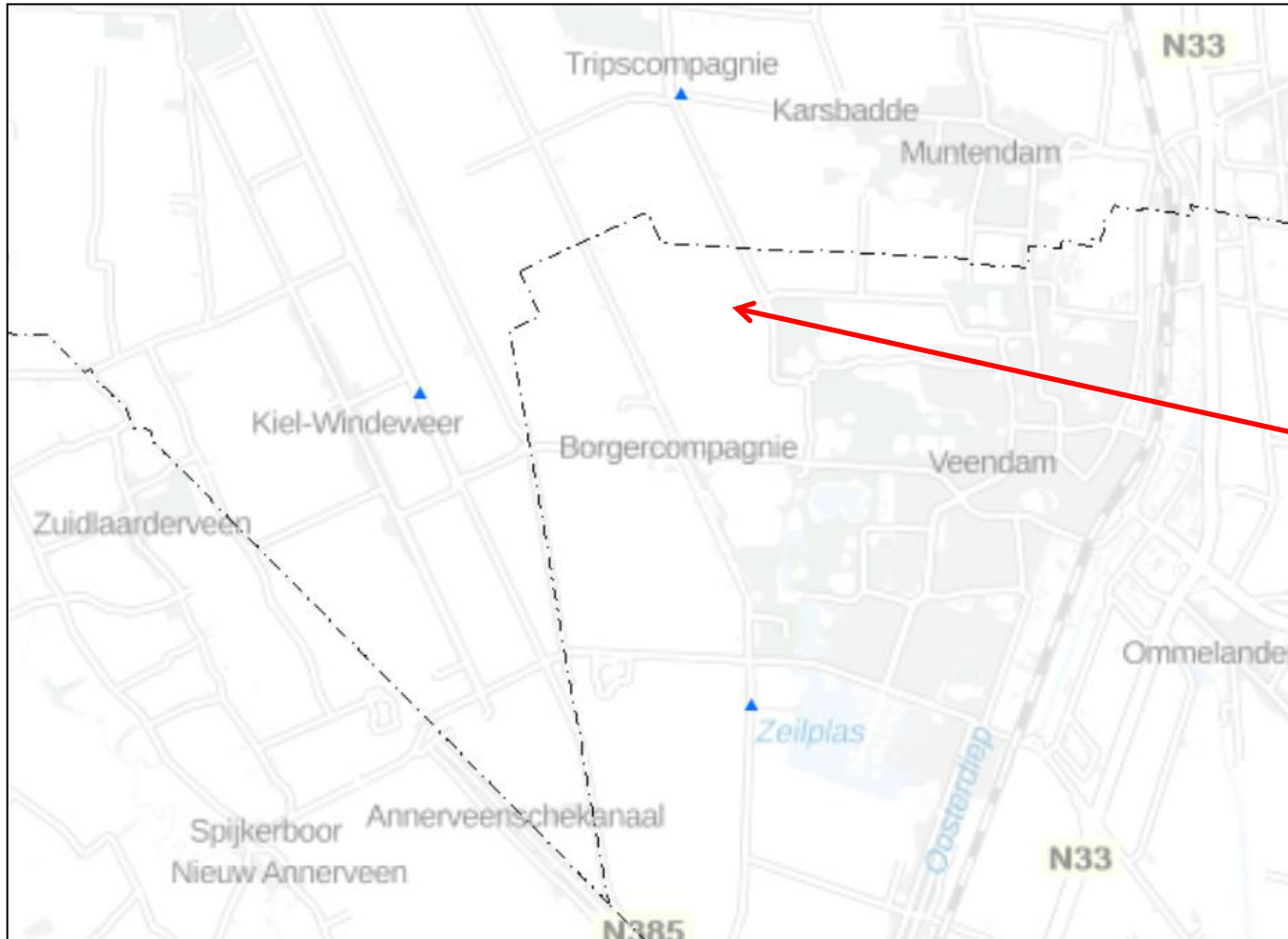
- Bodemdaling met GPS-meting op WHC-2
- Bewaking druk surface casings WHC-1 en -2
 - Aflaten bij oplopende druk om te kijken of instroom van diesel de oorzaak is
- Wekelijkse bemonstering 23 peilbuizen op WHC-2
 - Analyse van verzamelmonster op gehalte minerale olie
- Wekelijkse bemonstering 3 peilbuizen van de provincie
- Drone inspectie van gebied binnen 800 m van WHC-2
 - Visueel, gezondheid gewas, hoogte maaiveld
- Driewekelijks schouwen oppervlaktewater rond WHC-2
 - Waterschap: niet zo relevant, water stroomt meestal van oppervlakte- naar grondwater
- Eenmalig gehalte minerale olie in 8 monsters uit sloten rondom WHC-2 bepaald
- Eenmalig gehalte minerale olie in water uit de 2 drainageputten WHC-2 bepaald
- Gepland:
 - Periodieke bemonstering 2 waterbronnen ten zuiden resp. ten westen van WHC-2
 - Periodieke bemonstering peilbuizen vuilstort ten zuiden van WHC-2

Bewaking druk surface casings

16" annulusdruk TR-2 [bar(g)]



Positie peilbuizen provincie

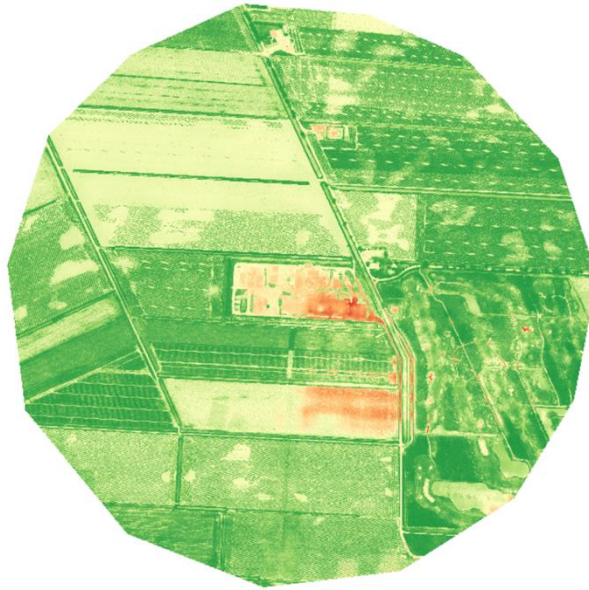


WHC-2

▲ Peilbuis



Luchtfoto



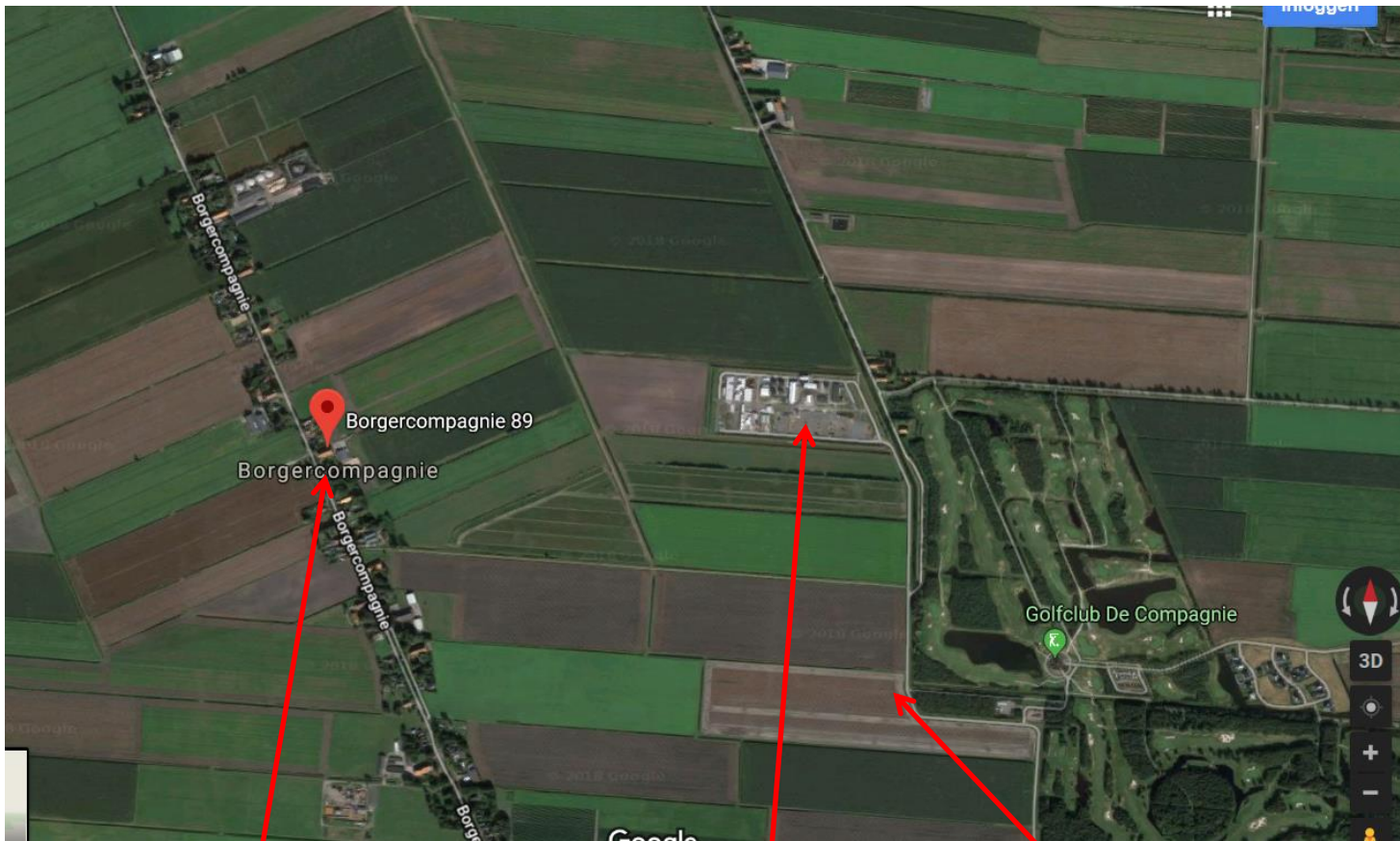
Vitaliteit gewas



Hoogte maaiveld

- Visueel achterblijvende groei en minder vitaal gewas correleren met lage ligging van (delen van) akkers
- Akkerbouwers helpen ontwatering laaggelegen delen door extra geulen te graven
- Geen verkleuring van gewas zichtbaar (bijv. a.g.v. pekel naar surface)

Monitoring via waterbronnen (gepland)



Bron Weijer, 120 m diep

WHC-2

Bron in land Diepenbroek

- Bodemdaling reeds besproken
- Drukbevaking surface casings heeft tot nu toe geen afwijkingen t.o.v. het verleden aan het licht gebracht
- Het water uit 1 peilbuis op WHC-2 (W-216) bevatte 1x een hoog gehalte aan minerale olie
 - Monsters van de dag ervoor en de week er na niet
 - Monster uit een peilbuis op dezelfde diepte er vlak naast (W-216A) ook niet
 - W-216 heeft in het verleden ook wel eens afwijkend gedrag vertoond, vandaar W-216A
 - Peilbuis W-216 schoongemaakt. Straatpot moet nog. Dan verder vervolgen
- Peilbuizen provincie: olie onder detectiegrens
- Drone inspectie: geen afwijkingen in vegetatie geconstateerd, anders dan op plekken waar het maaiveld laag ligt
- Geen olie gezien bij schouwing oppervlaktewater
- Twee slotwatermonsters WHC-2 bevatten een laag maar meetbaar gehalte minerale olie. Rest was schoon. Geen referentie beschikbaar
- Eén van de watermonsters uit de 2 drainageputten op WHC-2 bevatte een gehalte aan minerale olie nét boven de detectiegrens. Geen referentie beschikbaar

Panterra

MODELLERING FRACTURE PROPAGATION STUDY EN RESULTATEN BASE CASE

Nedmag TR2 brine leakage study

Base case



Panterra Geoconsultants

Scope of Work

- Carry out fracture propagation study in order to improve understanding of what happened during leakage event on 20 April 2018

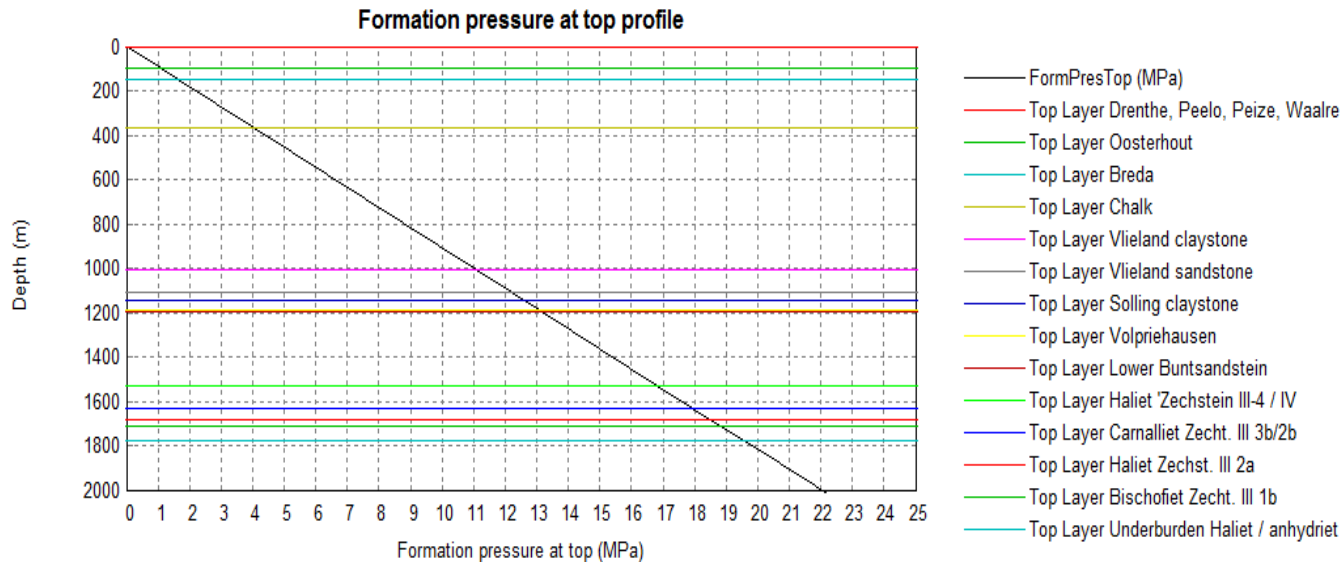
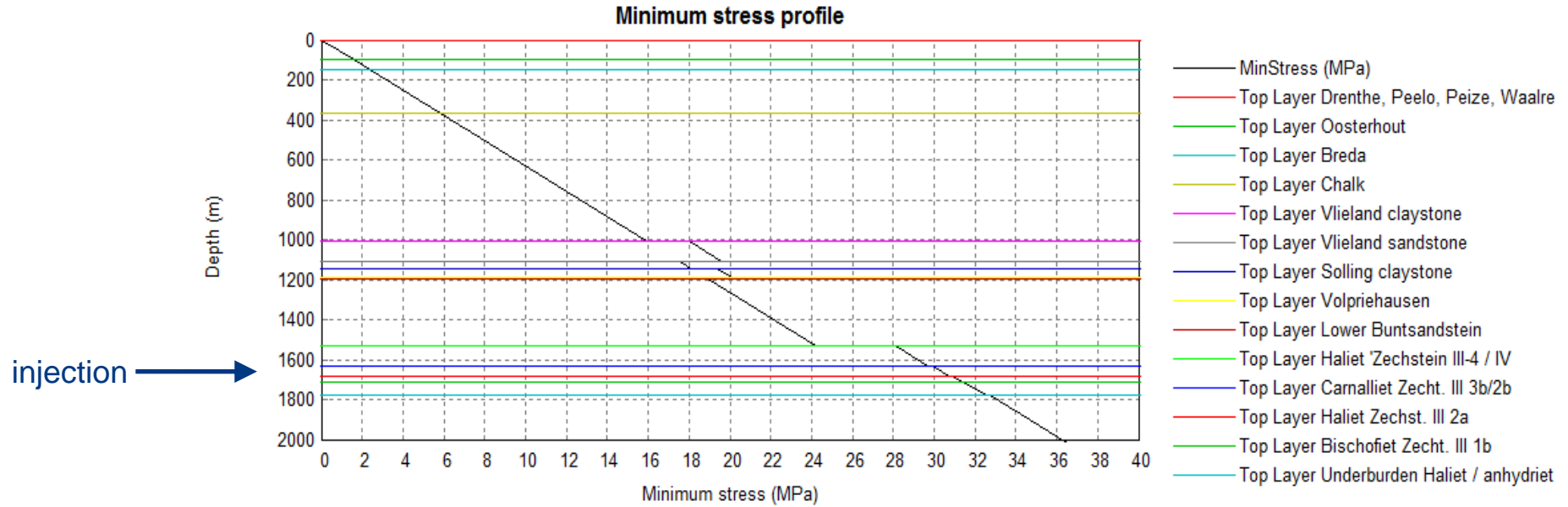
Modeling Approach

- Simulation of water injection-driven hydraulic fracture propagation
- **Two** different models (simulators) are used (complementing each other):
 1. Fractured water injection model
 - *Used for prediction and management of waterfloods and water disposal operations under induced fracturing conditions*
 - **PLUS:** *Leak-off / flow in the reservoir is properly modeled*
 - **PLUS:** *Numerical stability, works well in connection with 3D reservoir simulator*
 - **MINUS:** *The model uses an assumed fracture shape (elliptical)*
 2. Boundary Element Model (BEM), in which the **fracture is subdivided in a grid**
 - *Used for predictions and designs of pump (proppant) schedules in hydraulic fracture stimulation and for predictions in cuttings re-injection*
 - **PLUS:** *Good (more detailed) description of the shape of the fracture (because of the gridding) and its evolution during injection. Therefore better in modeling the details of fracture geometry (horizontal, vertical) per layer.*
 - **MINUS:** *Program has been built for modeling hydraulic fracture stimulation and cuttings re-injection, where leak-off rates are relatively low. Therefore, it is unsuited for modeling situations with (relatively) high leak-off, such as most cases of water injection.*
 - **MINUS:** *The physical process of fracture propagation is extremely difficult to describe on a grid, and therefore such simulation programs are often numerically fairly unstable.*

Description of base case

- Simple geological layer-cake model – geology provided by Nedmag
- Minimum horizontal in-situ stresses based on well-known geomechanical correlations (differences between salts, shales, and sands)
- Hydrostatic formation pressure gradient

Layers in the model

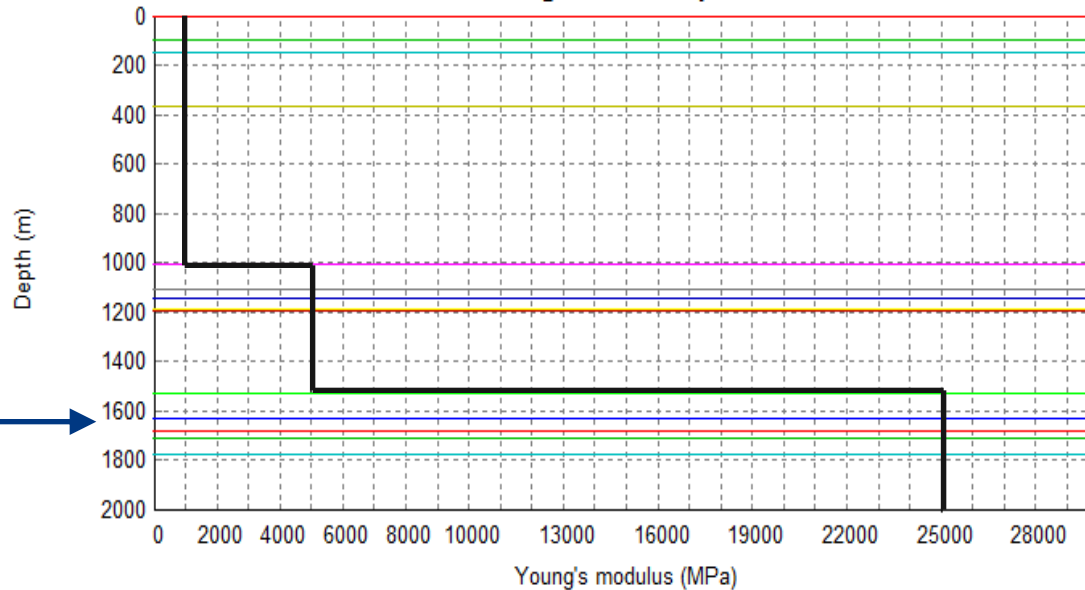


Description of base case (cont'd)

- Simple geological layer-cake model – geology provided by Nedmag
- Minimum horizontal in-situ stresses based on wellknown geomechanical correlations (differences between salts, shales, and sands)
- Hydrostatic formation pressure gradient
- Rock stiffness parameters (Young's modulus, Poisson's ratio) based on general geomechanical correlations
- Permeability estimates provided by Nedmag

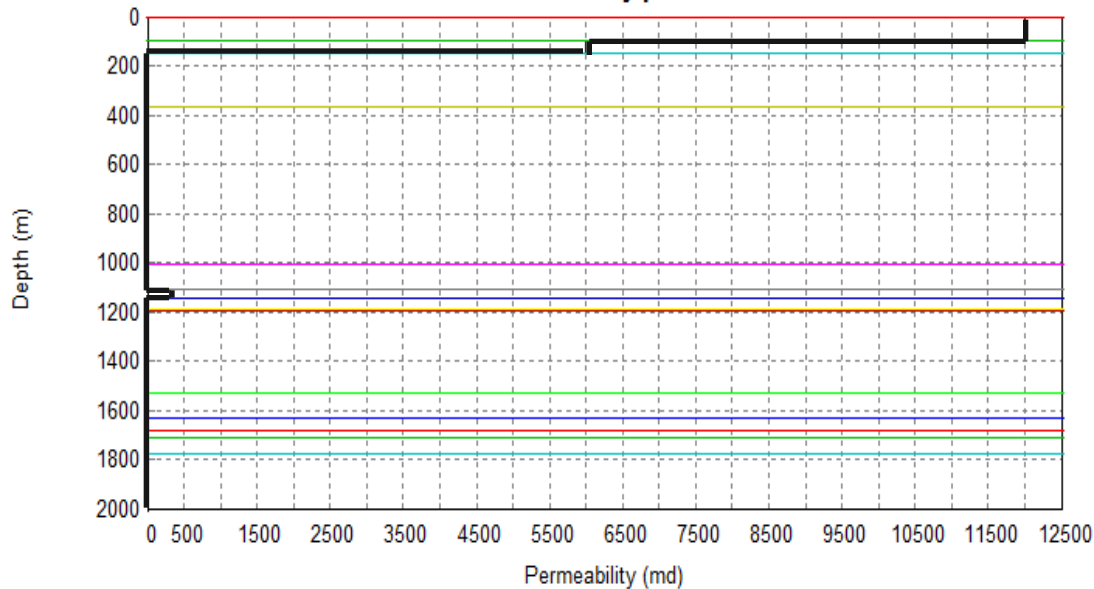
Layers in the model

Young's modulus profile



- YoungModulus (MPa)
- Top Layer Drenthe, Peelo, Peize, Waalre
- Top Layer Oosterhout
- Top Layer Breda
- Top Layer Chalk
- Top Layer Vlieland claystone
- Top Layer Vlieland sandstone
- Top Layer Solling claystone
- Top Layer Volpriehausen
- Top Layer Lower Buntsandstein
- Top Layer Haliet 'Zechstein III-4 / IV
- Top Layer Carnalliet Zecht. III 3b/2b
- Top Layer Haliet Zecht. III 2a
- Top Layer Bischofiet Zecht. III 1b
- Top Layer Underburden Haliet / anhydriet

Permeability profile



- Permeability (md)
- Top Layer Drenthe, Peelo, Peize, Waalre
- Top Layer Oosterhout
- Top Layer Breda
- Top Layer Chalk
- Top Layer Vlieland claystone
- Top Layer Vlieland sandstone
- Top Layer Solling claystone
- Top Layer Volpriehausen
- Top Layer Lower Buntsandstein
- Top Layer Haliet 'Zechstein III-4 / IV
- Top Layer Carnalliet Zecht. III 3b/2b
- Top Layer Haliet Zecht. III 2a
- Top Layer Bischofiet Zecht. III 1b
- Top Layer Underburden Haliet / anhydriet

Description of base case (cont'd)

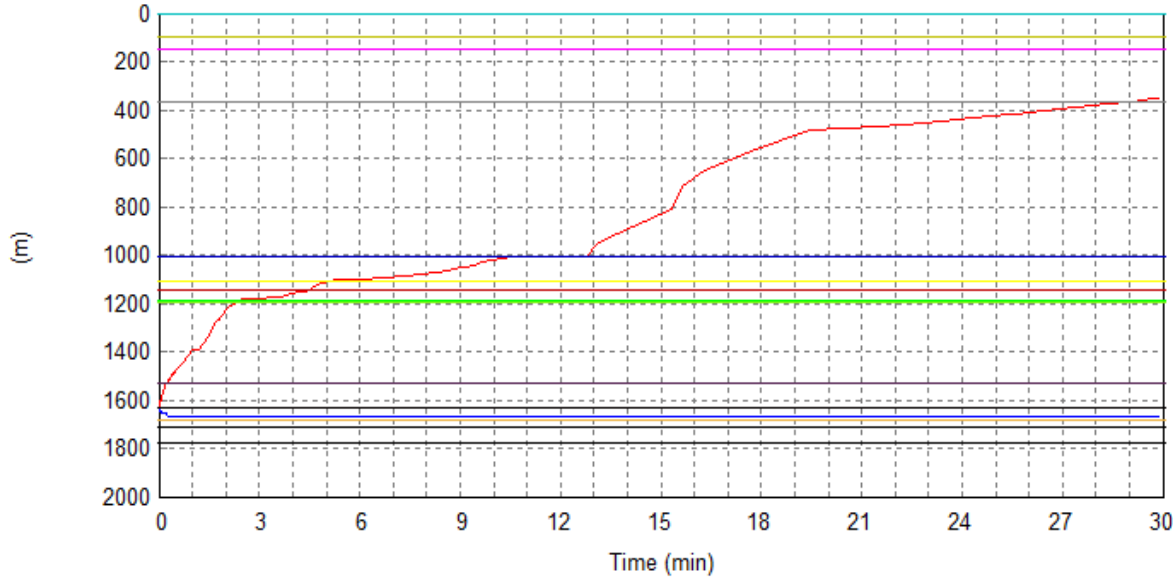
- Simple geological layer-cake model – geology provided by Nedmag
- Minimum horizontal in-situ stresses based on wellknown geomechanical correlations (differences between salts, shales, and sands)
- Hydrostatic formation pressure gradient
- Rock stiffness parameters (Young's modulus, Poisson's ratio) based on general geomechanical correlations
- Permeability estimates provided by Nedmag
- Injection takes place from top Carnalite
- Leakage incident is modeled by three injection cycles:
 1. *Very high rate (1,2 million m³/day) during 30 minutes*
 2. *High rate (25000 m³/d) during 47,5 hours*
 3. *'Medium' rate (2400 m³/d) during 30 days*

RESULTS

Base case $k_{\text{Vlieland}}=300 \text{ mD}$ $k_{\text{top 1,2}} = 12 \text{ D} \ \& \ 6 \text{ D}$

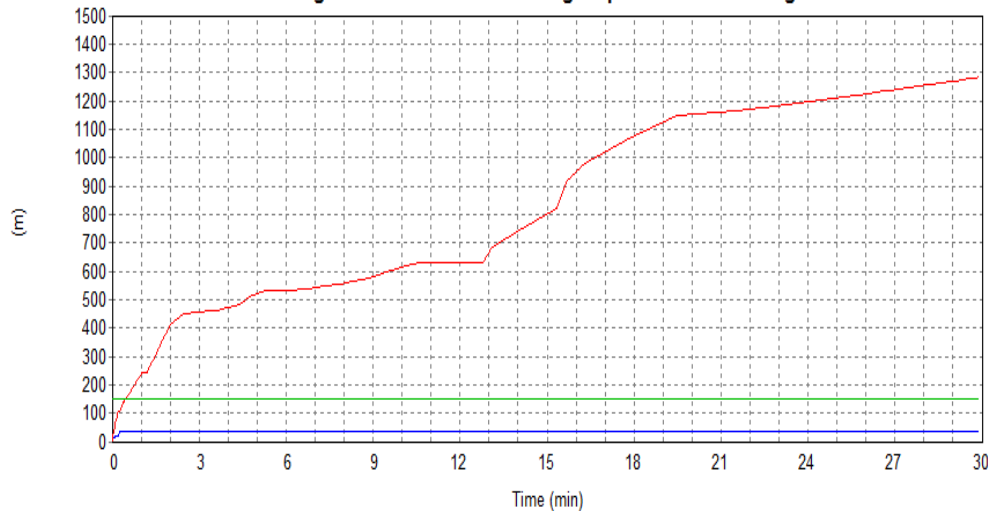
First injection cycle @ 1,2 million m³/d

Fracture depth bottom-Fracture depth top vs Time



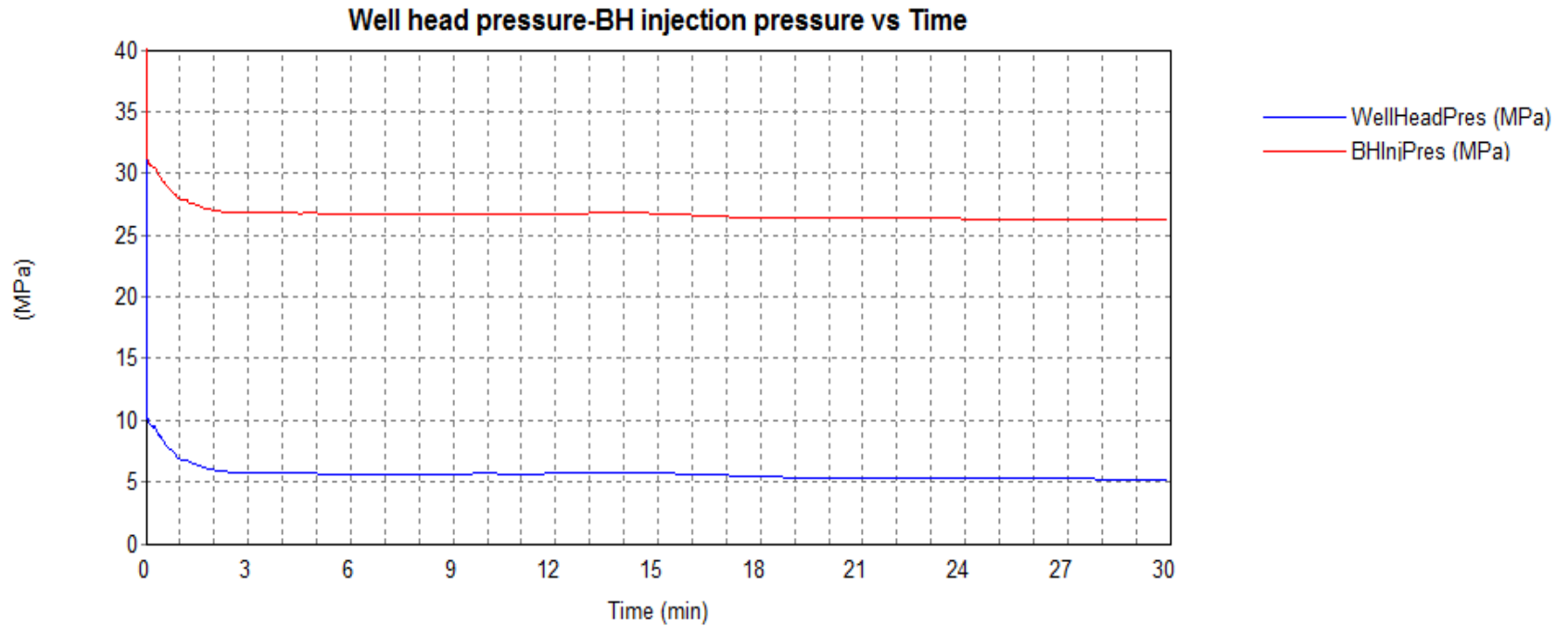
- FracDepthBot (m)
- FracDepthTop (m)
- Top Layer Drenthe, Peelo, Peize, Waalre
- Top Layer Oosterhout
- Top Layer Breda
- Top Layer Chalk
- Top Layer Vlieland claystone
- Top Layer Vlieland sandstone
- Top Layer Solling claystone
- Top Layer Volpriehausen
- Top Layer Lower Buntsandstein
- Top Layer Haliet 'Zechstein III-4 / IV
- Top Layer Carnalliet Zecht. III 3b/2b
- Top Layer Haliet Zecht. III 2a
- Top Layer Bischofiet Zecht. III 1b
- Top Layer Underburden Haliet / anhydriet

Fracture height downwards-Fracture height upwards-Fracture length vs Time



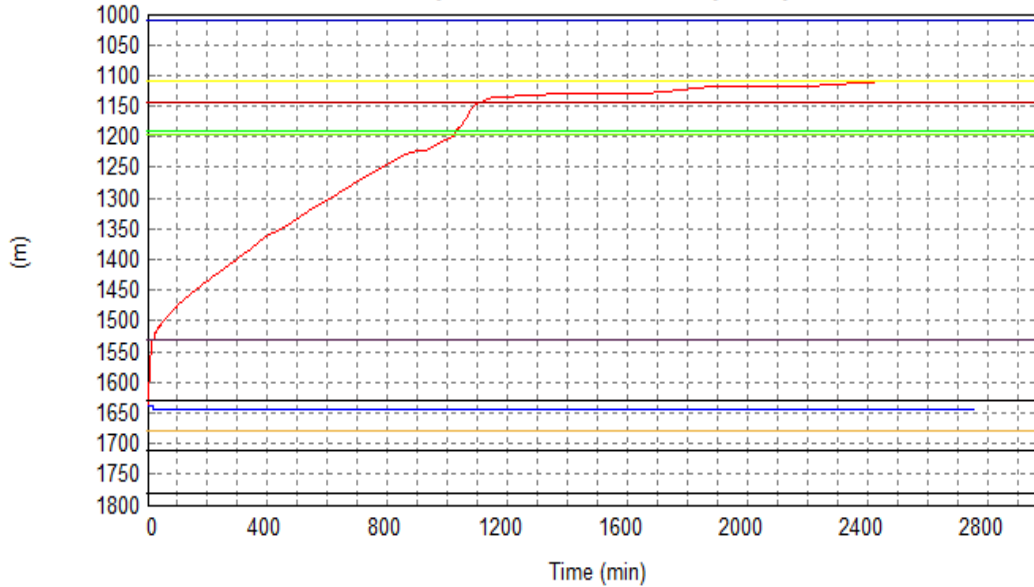
- FracHtDown (m)
- FracHtUp (m)
- FracLength (m)

Base case $k_{Vlieland} = 300 \text{ mD}$ $k_{top 1,2} = 12 \text{ D} \ \& \ 6 \text{ D}$ First injection cycle @ 1,2 million m³/d



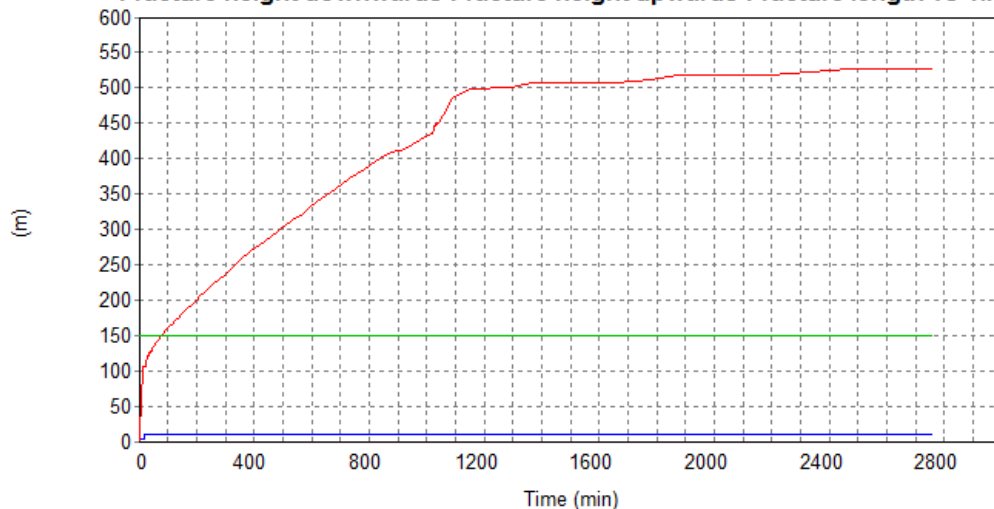
Base case $k_{Vlieland} = 300 \text{ mD}$ $k_{top 1,2} = 12 \text{ D} \ \& \ 6 \text{ D}$ Second injection cycle @ 25200 m³/d for 47,5 hours

Fracture depth bottom-Fracture depth top vs Time



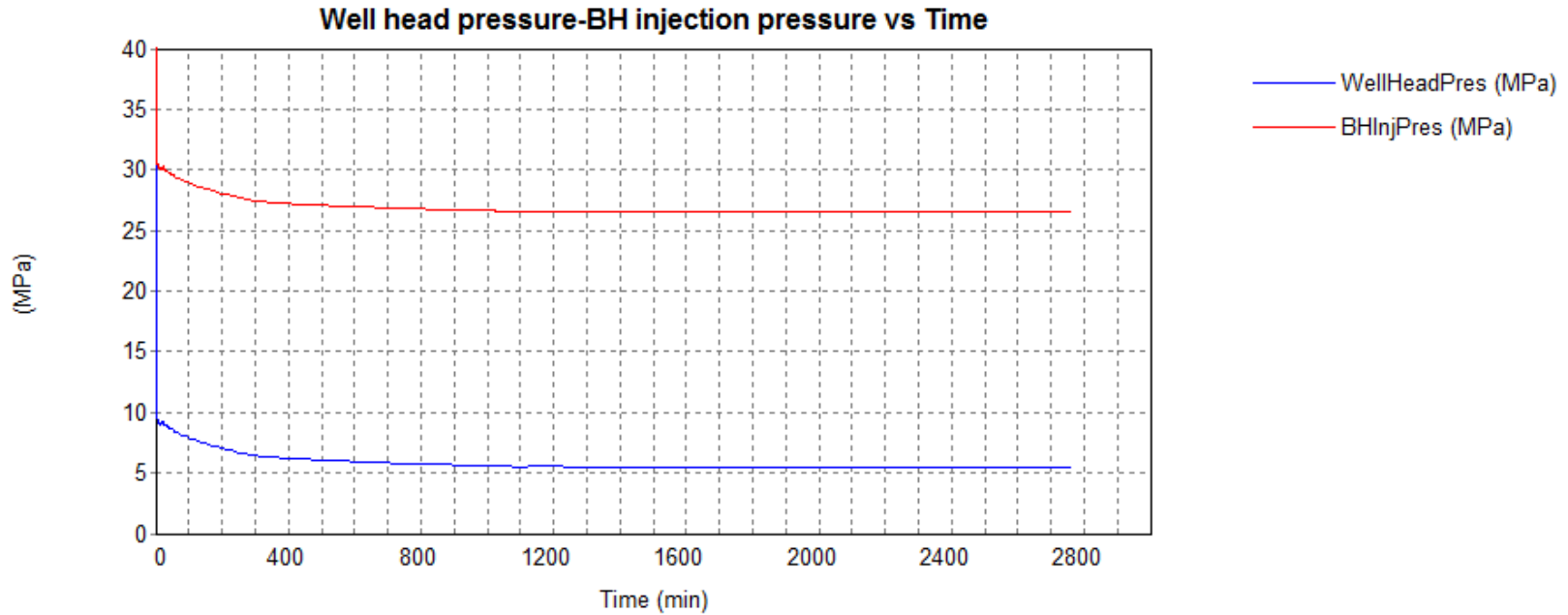
- FracDepthBot (m)
- FracDepthTop (m)
- Top Layer Drenthe, Peelo, Peize, Waalre
- Top Layer Oosterhout
- Top Layer Breda
- Top Layer Chalk
- Top Layer Vlieland claystone
- Top Layer Vlieland sandstone
- Top Layer Solling claystone
- Top Layer Volpriehausen
- Top Layer Lower Buntsandstein
- Top Layer Haliët 'Zechstein III-4 / IV
- Top Layer Carnalliet Zecht. III 3b/2b
- Top Layer Haliët Zecht. III 2a
- Top Layer Bischofiet Zecht. III 1b
- Top Layer Underburden Haliët / anhydriet

Fracture height downwards-Fracture height upwards-Fracture length vs Time



- FracHtDown (m)
- FracHtUp (m)
- FracLength (m)

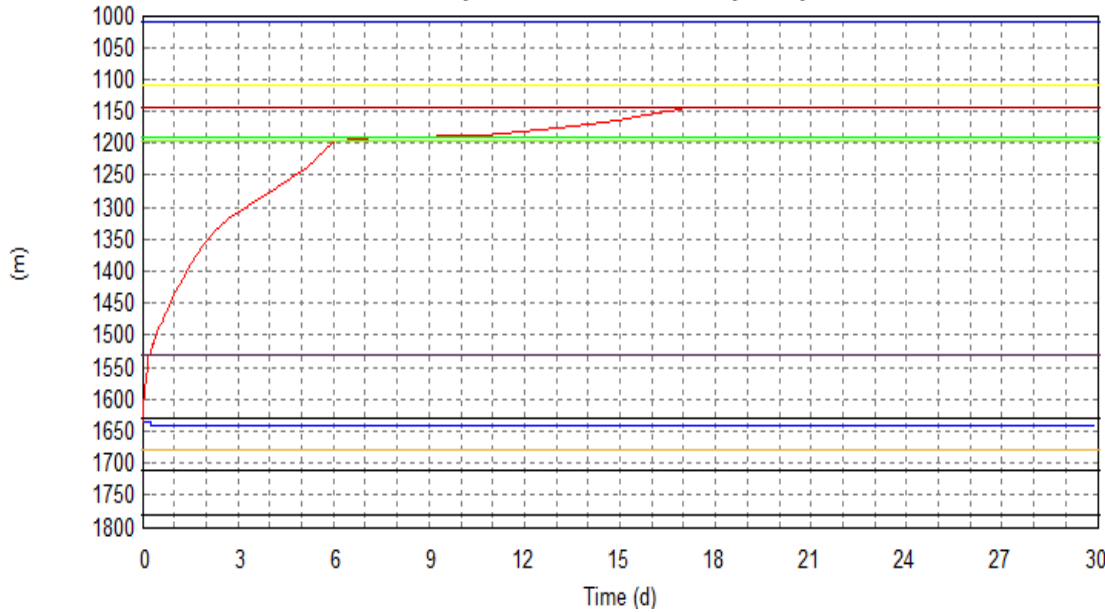
Base case $k_{Vlieland} = 300 \text{ mD}$ $k_{top 1,2} = 12 \text{ D} \ \& \ 6 \text{ D}$ Second injection cycle @ 25200 m³/d for 47,5 hours



Base case $k_{Vlieland} = 300 \text{ mD}$ $k_{top 1,2} = 12 \text{ D} \ \& \ 6 \text{ D}$

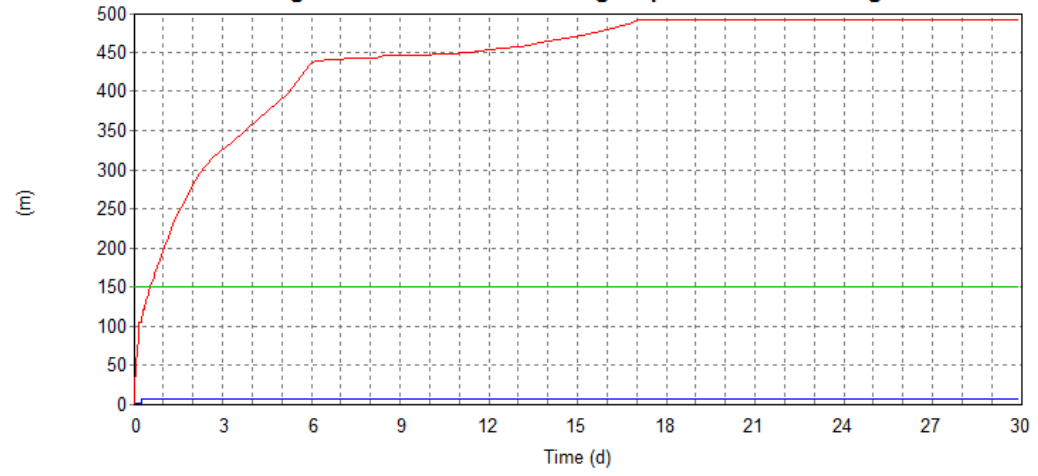
Third injection cycle @ 2400 m³/d for one month

Fracture depth bottom-Fracture depth top vs Time



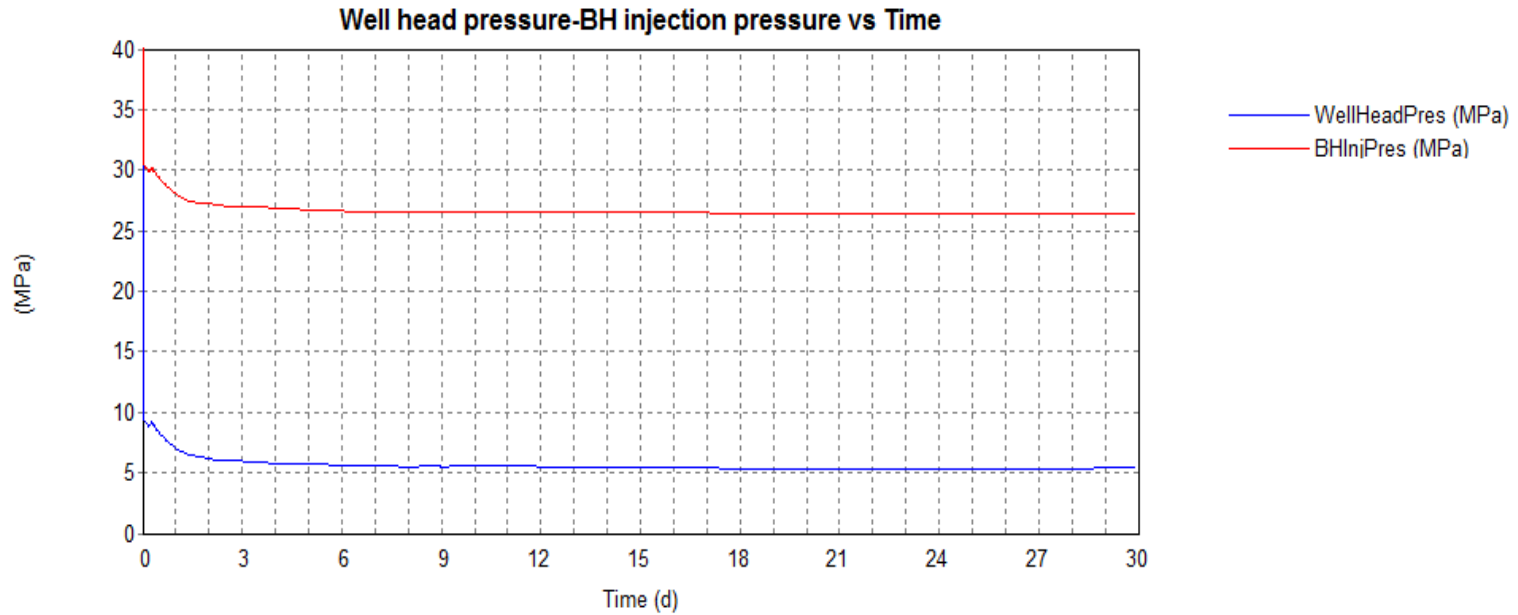
- FracDepthBot (m)
- FracDepthTop (m)
- Top Layer Drenthe, Peelo, Peize, Waalre
- Top Layer Oosterhout
- Top Layer Breda
- Top Layer Chalk
- Top Layer Vlieland claystone
- Top Layer Vlieland sandstone
- Top Layer Solling claystone
- Top Layer Volpriehausen
- Top Layer Lower Buntsandstein
- Top Layer Haliet 'Zechstein III-4 / IV
- Top Layer Carnalliet Zecht. III 3b/2b
- Top Layer Haliet Zecht. III 2a
- Top Layer Bischofiet Zecht. III 1b
- Top Layer Underburden Haliet / anhydriet

Fracture height downwards-Fracture height upwards-Fracture length vs Time



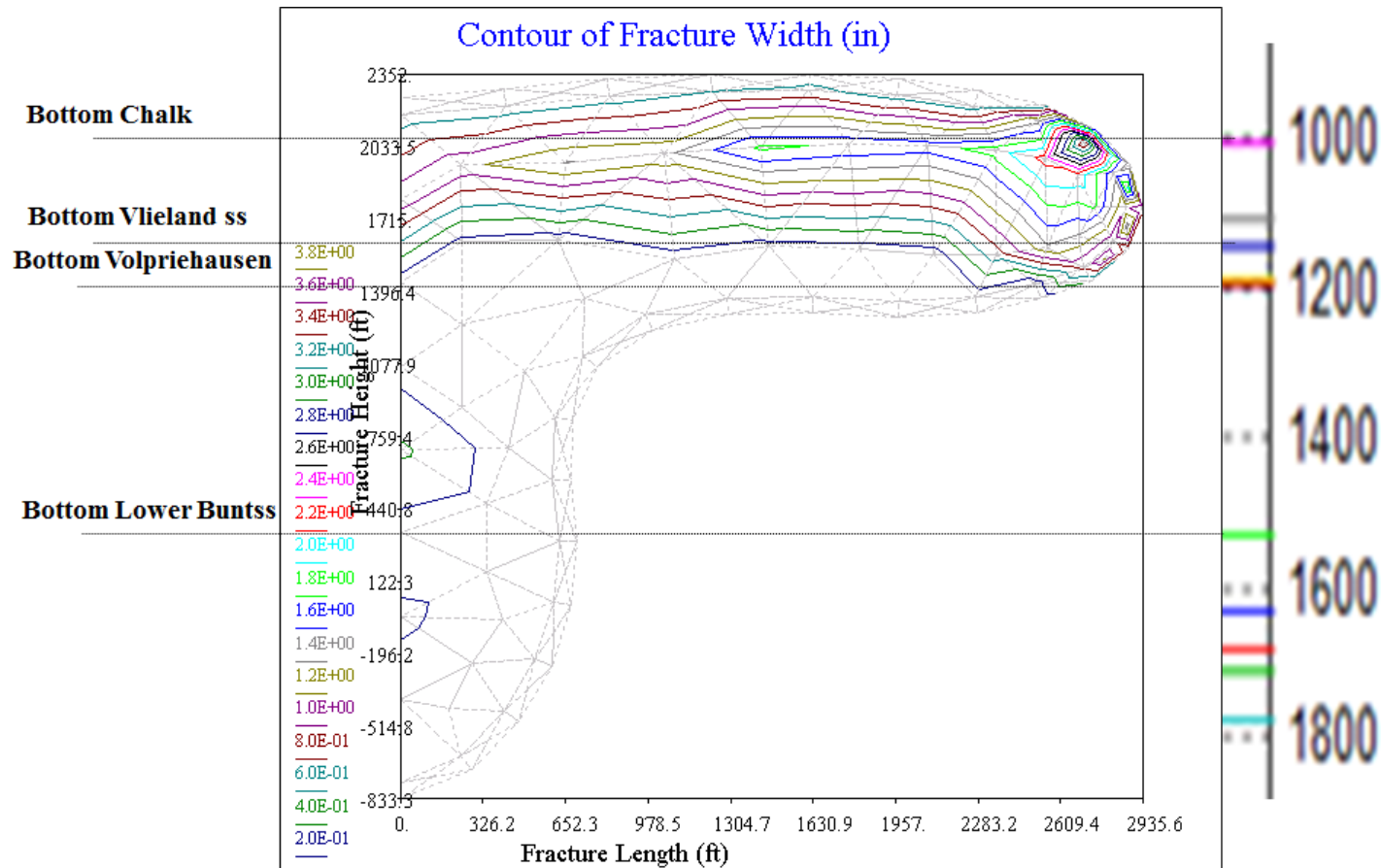
- FracHtDown (m)
- FracHtUp (m)
- FracLength (m)

Base case $k_{Vlieland} = 300 \text{ mD}$ $k_{top 1,2} = 12 \text{ D} \ \& \ 6 \text{ D}$ Second injection cycle @ 2400 m³/d for one month



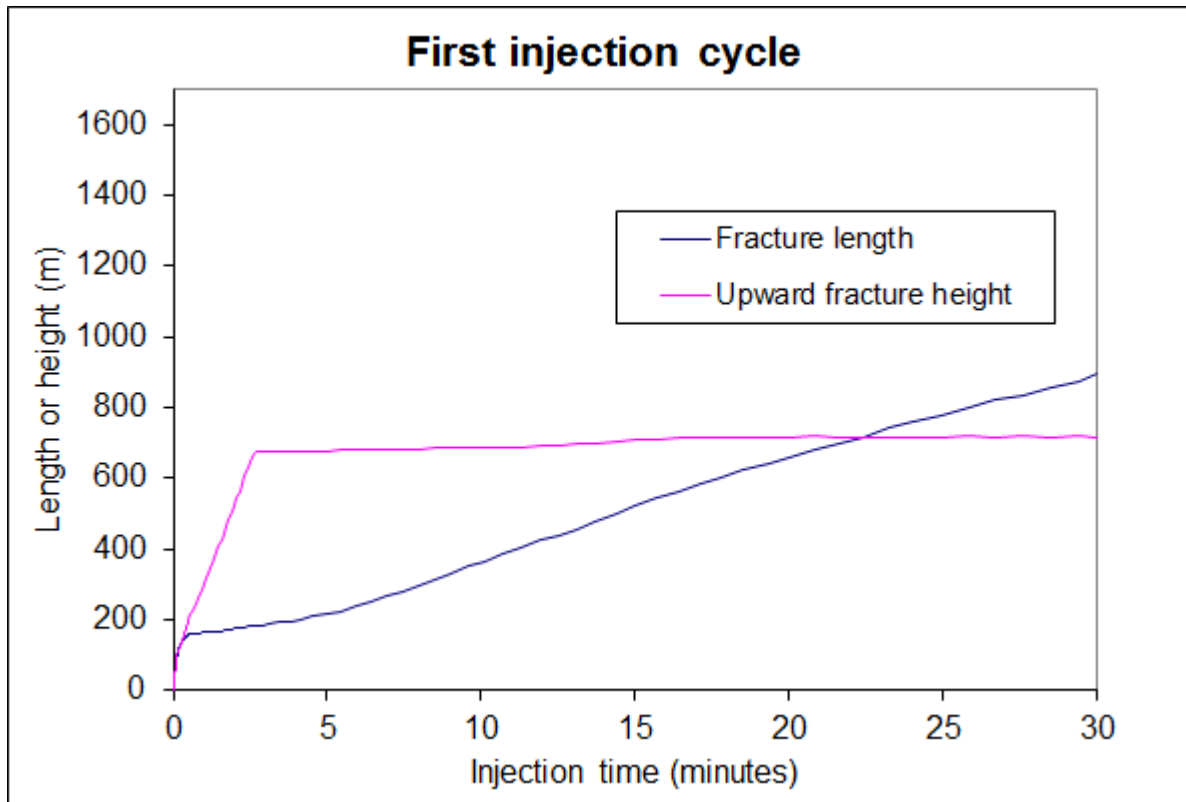
Boundary Element Model

- First injection cycle (1,2 million m³/d during 30 minutes) with stress contrasts between sandstones and clays (base case)
- Fracture grows up to +/- 900 m depth (100 m into the Chalk) which is +/- 500 m deeper than predicted by the other model



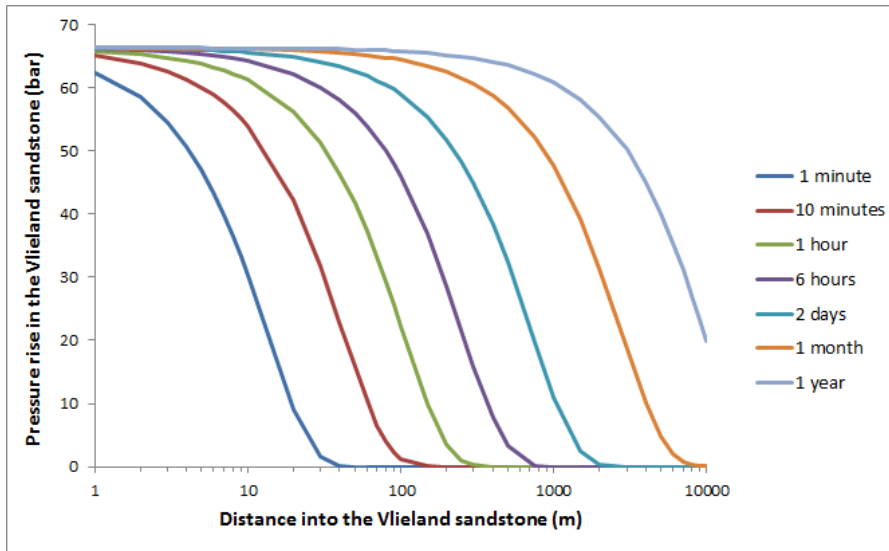
Boundary Element Model

- First injection cycle (1,2 million m³/d during 30 minutes) with stress contrasts between sandstones and clays (base case)

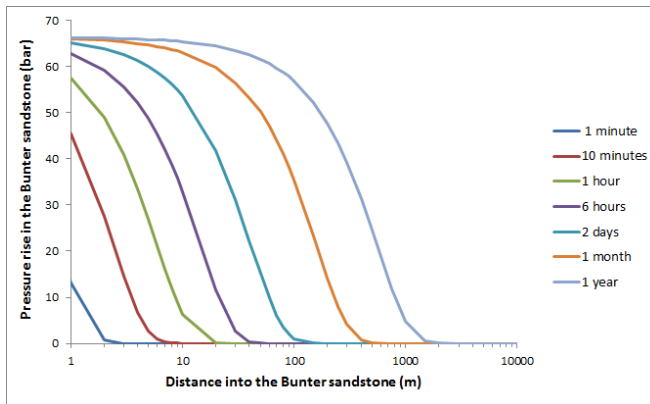


Pore pressure penetration

- Pore pressure penetration into the Vlieland sandstone (into which most of the brine leaks away) assuming a linear leak-off front



- Pore pressure penetration into the Bunter sandstone



- In total, about 150000 m³ has been leaked away during the first month

Conclusions (1)

- Simple geological model
- Data from Nedmag + estimates (correlations, 'ballpark figures')
- Darcy sands in the shallow subsurface included in this study
- Observed trends in injection THP can be reasonably well reproduced
- The induced fracture remains contained for all injection rates including the extremely high rate (1,2 million m³/d) during the first half hour
- For mid-range values (around 25000 m³/d) during 2 days after injection start and low values (2400 m³/d) of injection rate the induced fracture is considerably smaller
- The above is qualitatively in line with field observations elsewhere (e.g. Tordis)
- Explanation: for low to medium injection rates, there is sufficient leak-off capacity in the overburden layers (particularly, in the Vlieland sandstone) and therefore the fracture gets a lower chance to grow large

Conclusions (2)

- QC with numerical BEM model:
 - This model yields a more realistical shape of the fracture. It predicts more horizontal fracture growth.
 - In the presence of stress contrasts between the clay layers and sand layers the fracture does not reach the shallow sand layers, but remains contained to the Vlieland formation.
 - Because the BEM model cannot handle high leak-off (as compared to injection rate), it was impossible to QC the results of the other model for lower injection rates (25000 m³/d and 2400 m³/d)
- Based on currently known geological data (global NW-SE for the maximum horizontal in-situ stress in NW Europe), it is expected that the fracture grows in a NW-SE oriented plane.

- Bepalen mate van convergentie
 - O.b.v. relatie tussen clusterdruk en berekende ondergrondse lekkage
 - O.b.v. gemeten bodemdaling
- Verkrijgen second opinion over de oorzaak
- Onderzoek hoe herhaling te voorkomen
- Sensitivity analysis Fracture Propagation Study
- Realisatie extra mogelijkheden voor externe opslag van pekel en/of afvoer naar zee
- Seismiciteit
 - Nauwkeuriger plaatsbepaling waarnemingen van 20-4 jl.
 - Vaststellen hoe de waarnemingen zich verhouden tot het achtergrondniveau
 - KNMI echter (nog) niet bereid voor Nedmag te werken
- Rapportage risico's diesel bij plotselinge loss of containment
- Continueren monitoring bodemdaling en olie
- Beoordeling risico's verbonden raken TR-9 of VE-2/-3 met cluster
- Gefoon installeren ten zuiden van WHC-2
- Deltares 2016: kans op schade door bodemdaling Nedmag verwaarloosbaar. Herbevestigen?
- Overleg met Hunze en Aa's n.a.v. bodemdalingsprognose
- Workover strategie opstellen en uitvoeren
- Nieuw winningsplan opstellen
 - Voor bestaande en vervangende putten op WHC's 1 en 2