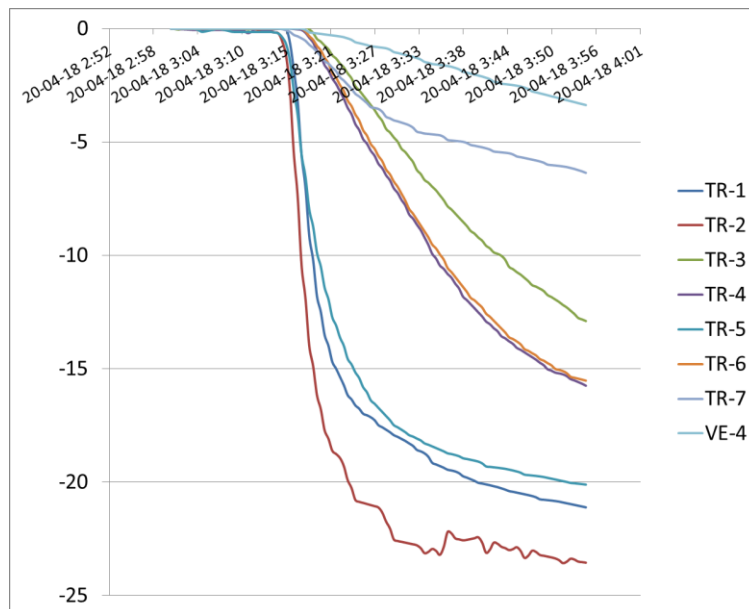


Van :
 Aan :
 Copy : (WEP)
 Datum : 7 juni 2018
 Onderwerp : Voorziene bodemdaling bij afbouwen van pekelpductie uit de Nedmag pekclcluster

1. INLEIDING

Op 20 april 2018 3:12 uur is er een snelle drukdaling opgetreden in de cluster van hydraulisch verbonden cavernes van het caverneveld WHC-2 plus VE-4 van Nedmag. Hierbij daalde als eerste de druk van cavernes TR-1/2/5 met 10 bar binnen 3 minuten. De andere verder gelegen cavernes volgden totdat na een periode van 2 dagen een totale drukdaling van 30 bar resulteerde.



Figuur 1. Drukdalingen in bar van de verbonden cavernes binnen 45 minuten na de eerste drukkaling op TR-1/4/5

Omdat de drukkaling het meest waarschijnlijk het gevolg is van het afleken van cavernepekel naar bovenliggende lagen heeft Nedmag de aflek geminimaliseerd door de pekelpductie uit de uit verbonden cavernes waar ook maar enigszins mogelijk te maximaliseren. Tevens is injectie van water afgezien van incidentele spoelacties gestopt. De her-injectie van in pekelp gesuspenderd gips afkomstig uit de pekeldzuivering van de MgO fabriek is gehandhaafd omdat deze, zij het in beperkte mate, de maximale bodemdaling reduceert. Als resultaat is de clusterdruk, afgemeten aan de TR-7 annulusdruk, gedaald van 129.5 bar voor de lekkage tot een stabiele waarde van 97 bar eind mei 2018. De sub-lithostatische druk op TR-7 casingschoendiepte is hierdoor toegenomen van 50.5 bar tot 83 bar. De toename zorgt voor een

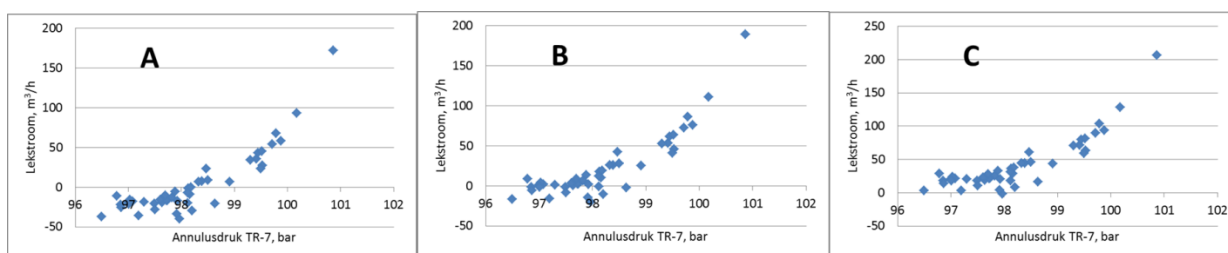
toegenomen snelheid van bodemdaling. Deze memo beschrijft de voorziene bodemdaling als gevolg van het gecontroleerd afbouwen van pekelp productie uit de cluster.

2. MODELBEREKENINGEN

2.1 Squeezesnelheid

De massabalans berekende squeezesnelheid van de cluster varieerde in 2017 t/m maart 2018 tussen de 16 en 40 m³/h bij een TR-7 sub-lithostatische druk van 50.5 tot 61 bar. Het schatten van de squeezesnelheid bij de huidige hoge sub-lithostatische drukken vanuit de beschikbare data is vanwege de sterke extrapolatie onnauwkeurig.

Veranderingen in clusterdruk zijn het resultaat van een volumetrische balans van invoer door squeeze en (minimale) injectie en afvoer van pekels als productiepekels en ondergrondse aflek. Wanneer rekening wordt gehouden met een elastische respons van 2500 m³/bar van pekels en caverne, bepaald uit historische drukvariaties, kan de aflekstroom worden geschat voor een gegeven squeezesnelheid.

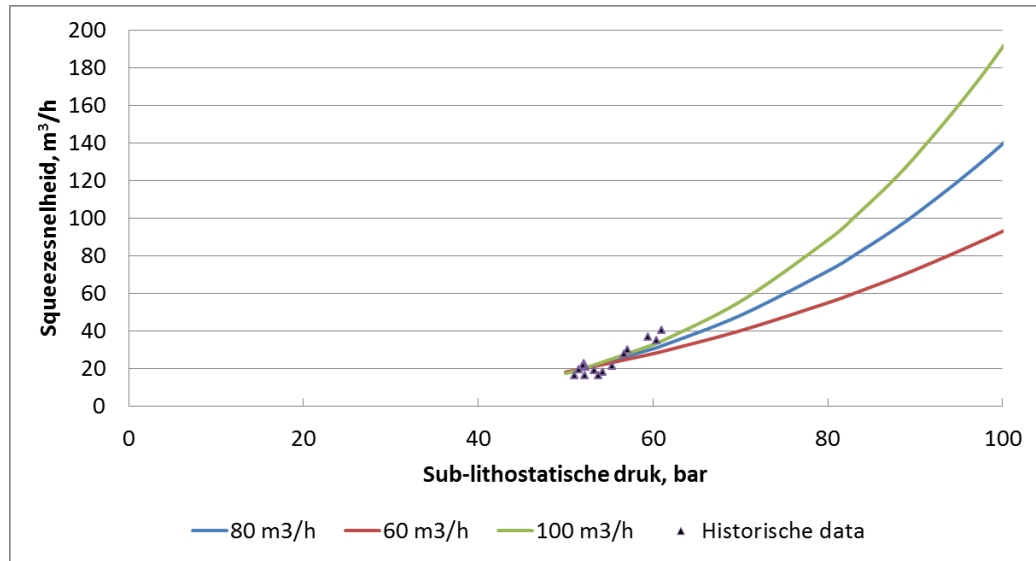


Figuur 2. Berekende aflekstroom bij A: een squeezesnelheid van 60 m³/h, B: een squeezesnelheid van 80 m³/h en C: een squeezesnelheid van 100 m³/h

De berekende lekstroom neemt bij alle squeezesnelheden af met clusterdruk en wordt constant beneden 98 bar. Wanneer wordt aangenomen dat het aflekpad beneden een clusterdruk van 98 bar sluit is de meest waarschijnlijke squeezesnelheid ca. 80 m³/h bij een huidige sub-lithostatische druk van 83 bar. Dit kwalificeert de eerder geschatte squeezesnelheid van 150 m³/h, afgeleid door vergaande extrapolatie van historische data bij een sub-lithostatisch drukbereik van 50.5 – 61 bar, als een sterke overschatting.

Daar deze analyse met als uitkomst: geen aflek beneden een clusterdruk van 98 bar aannemelijk is, maar niet bewezen, zal Nedmag de komende periode de clusterdruk binnen de mogelijkheden verder verlagen en bovenstaande analyse met nieuwe meetpunten verder onderbouwen.

Om het effect van de huidige squeezesnelheid op toekomstige bodemdaling te beoordelen zijn squeezesnelheid-druk relaties gebruikt waarin de squeezesnelheid wordt uitgedrukt met een proportionaliteitsfactor en een exponentiële sub-lithostatische druk afhankelijkheid. De relaties zijn opgesteld op basis van historische data en getuned op squeezesnelheden van 60, 80 en 100 m³/h bij een sub-lithostatische druk van 83 bar.

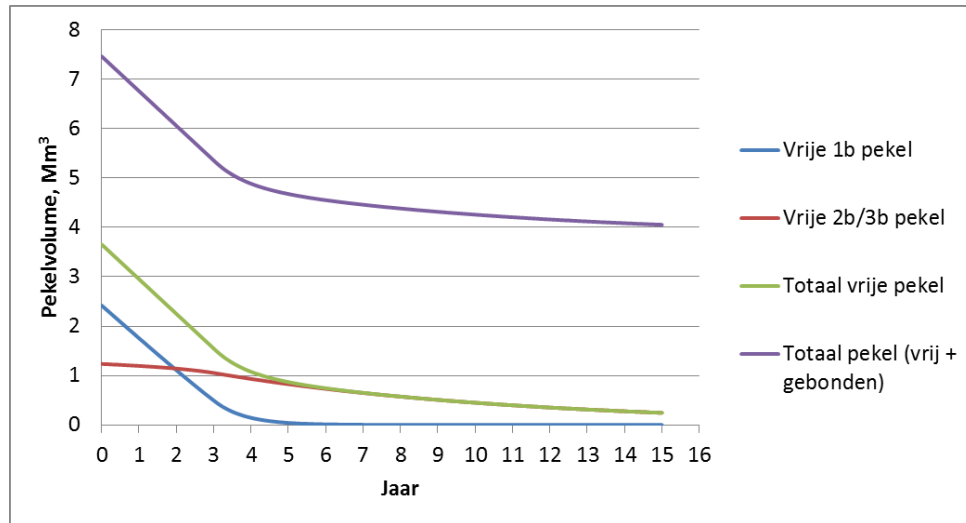


Figuur 3. Gebruikte squeeze-snelheid-druk relaties

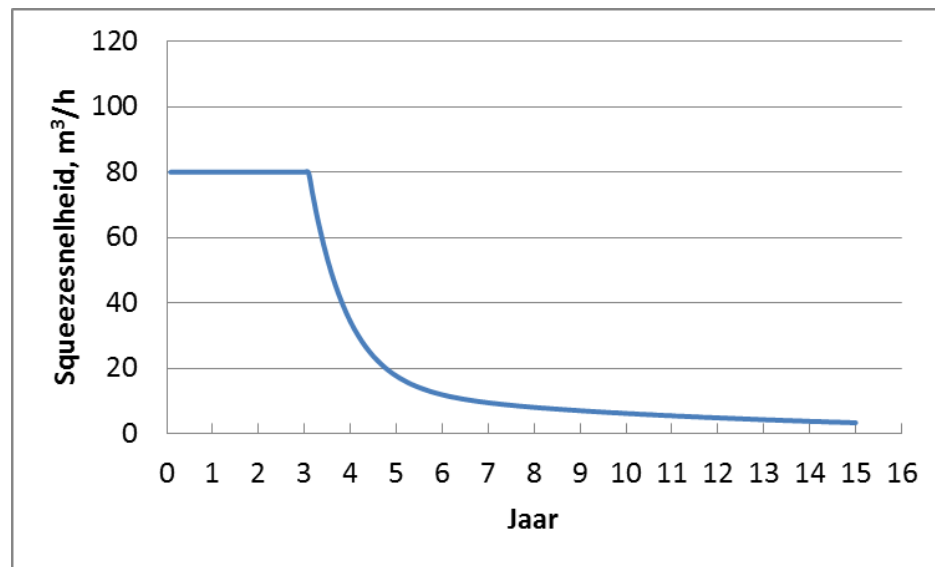
2.2 Afbouw WHC-2 cluster

Volgens massabalans is er bij aanvang juni 2018 7.5 Mm^3 pekkel aanwezig in de cluster in de vorm van 2.5 en 1.1 Mm^3 vrije pekkel in respectievelijk de 1b en de 2b/3b deelsecties met 3.9 Mm^3 gebonden pekkel. Het geschatte aflekvolume tot aan de drukstabilisatie op 97 bar eind mei 2018 is 0.1 Mm^3 en is verdisconteerd als een afname in vrij 1b pekkelvolume. In de berekening hieronder voor het verdere verloop vanaf juni is uitgegaan van de volgende aannames:

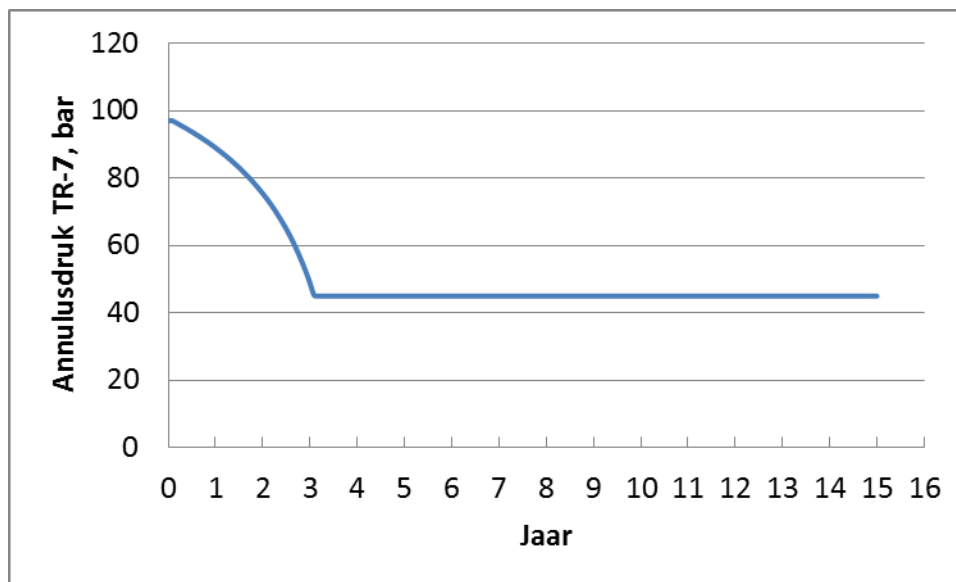
- Alleen vrije 1b of 2b/3b pekkel is beschikbaar voor squeeze.
- Van de initiële squeeze-snelheid, bij een sub-lithostatische druk van 83 bar, is 95 % afkomstig uit 1b deeltcavernes en 5 % uit 2b/3b deeltcavernes. Beide squeeze-snelheden nemen exponentieel af met sub-lithostatische druk en lineair met het aanwezige vrije pekkelvolume.
- Een productiesnelheid die gelijk is aan squeeze-snelheid.



Figuur 4. Ontwikkeling van vrij en totaal pekervolume vanaf juni 2018 bij afbouw cluster met een initiële constante squeeze-snelheid van $80 \text{ m}^3/\text{h}$

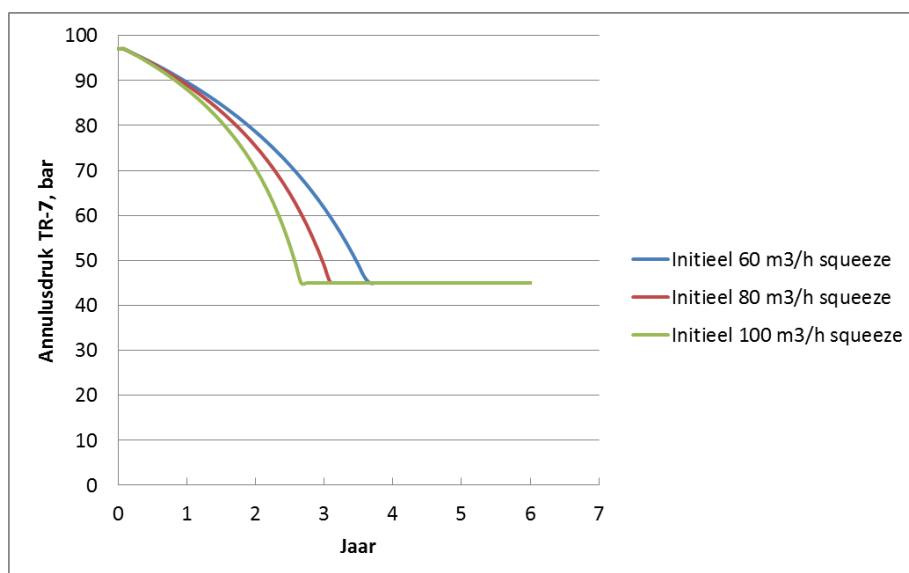


Figuur 5. Ontwikkeling van squeeze-snelheid/productiesnelheid vanaf juni 2018 bij afbouw cluster met een initiële constante squeeze-snelheid van $80 \text{ m}^3/\text{h}$



Figuur 6. Ontwikkeling van clusterdruk vanaf juni 2018 bij afbouw cluster met een initiële constante squeezesnelheid van 80 m³/h

Volgens bovenomschreven scenario is in theorie een productie van 80 m³/h pekels haalbaar over een periode van 3.1 jaar waarbij de clusterdruk daalt van 97 tot 45 bar. Tegen het eind zullen de pekeldrukken bij de productiepunten tegen hydrostatisch aanlopen. Een lagere druk is fysisch niet mogelijk. Daardoor nemen vanaf dat moment squeeze- en productiesnelheden af met afnemende vrije pekelsvolumes en kan het noodzakelijk worden de resterende pekels in een huf-puf modus te gaan winnen door periodiek de cluster in te sluiten gevolgd door pekels aflat.

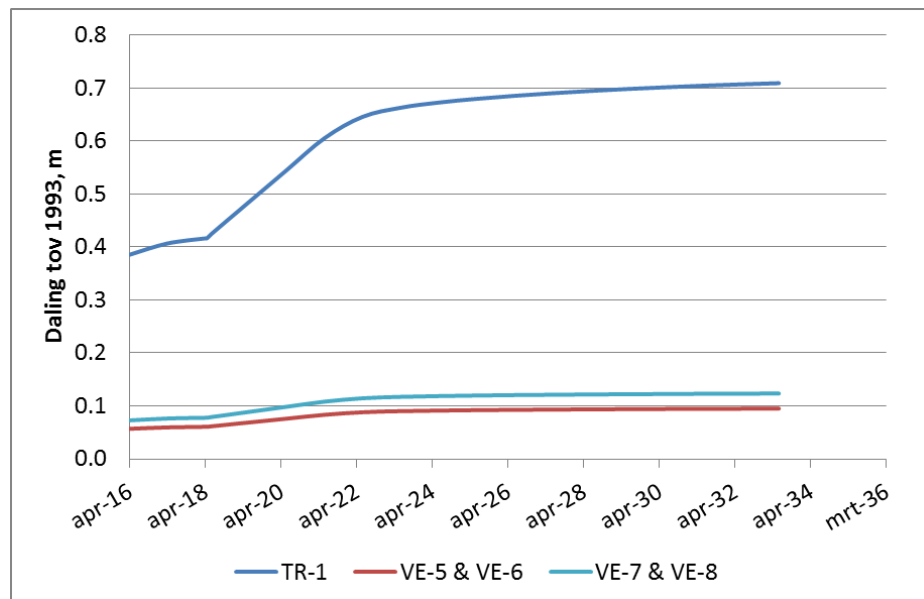


Figuur 7. Ontwikkeling van de clusterdruk vanaf juni 2018 bij afbouw cluster met een initiële constante squeezesnelheid van 60, 80 en 100 m³/h

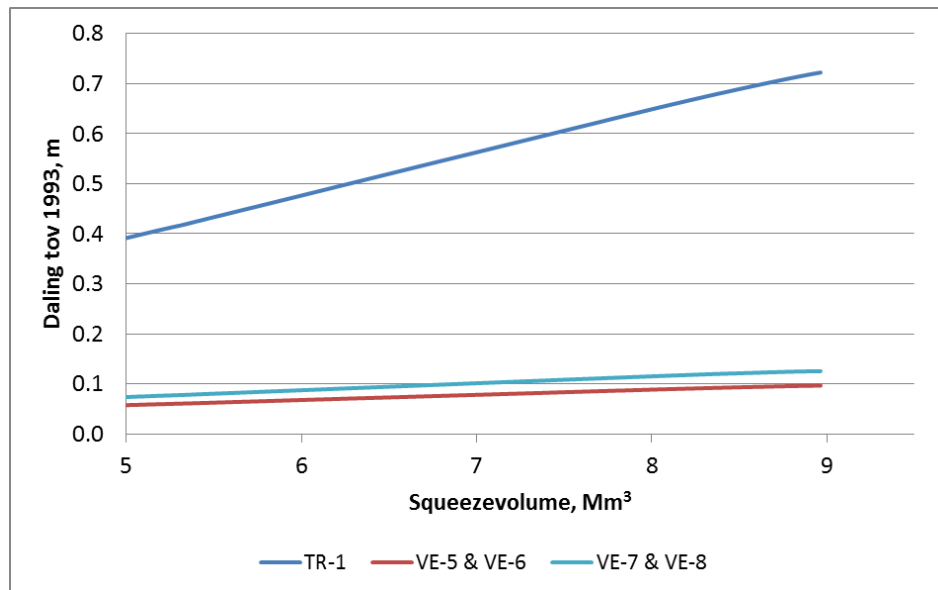
Het effect van gebruikte squeeze-snelheid relatie komt met name tot uiting in de periode beschikbaar voor de gemakkelijke winning van 1b pekeldie toeneemt van 2.6 jaar bij 100 m³/h productie via 3.1 jaar bij 80 m³/h productie tot 3.6 jaar bij 60 m³/h productie. De onverdunde pekelvraag is jaargemiddeld praktisch gelijk aan de meest waarschijnlijke initiële squeeze-snelheid van 80 m³/h. Om ongewenste verhoging van de clusterdruk te voorkomen in perioden van verminderde pekelvraag zal het noodzakelijk blijven om in ieder geval in het eerste jaar incidenteel overproductie van pekeldie af te voeren naar een externe locatie. Daarna zal het vrije pekeldievolume naar verwachting voldoende zijn afgenomen om niet boven een kritische clusterdruk van naar verwachting 98 bar uit te komen.

2.3 Berekende bodemdaling

Door SGS-Horizon is in 2017 een model ontwikkeld op basis van een routine met een variabel rigide fundament ¹ voor het voorspellen van toekomstige bodemdaling. Het model berekent bodemdaling als functie van een ingegeven squeeze-volume voor initieel separate cavernes en later hydraulisch verbonden cavernes. Uit de history match van de bodemdaling over de periode 1993 – 2016 volgt dat vanaf 2014 het zwaartepunt van de bodemdaling als gevolg van additionele squeeze kan worden toegeschreven als vanuit de ondergrondse TR-1 locatie. Voor de decompressie van 20 april is de berekende bodemdaling op het diepste punt 41.6 cm. Wanneer het geschatte aflekvolume voor de periode 20 april tot 4 juni van ca. 100,000 m³ wordt opgevat als extra squeeze resulteert hieruit een extra daling van 0.8 cm.



Figuur 8. Tijdsontwikkeling van de berekende bodemdaling vanaf april 2016 op het diepste punt (TR-1) en op voorziene VE-5 t/m VE-8 posities (voor start zoutwinning) bij afbouw cluster met een initiële squeeze-snelheid van 80 m³/h

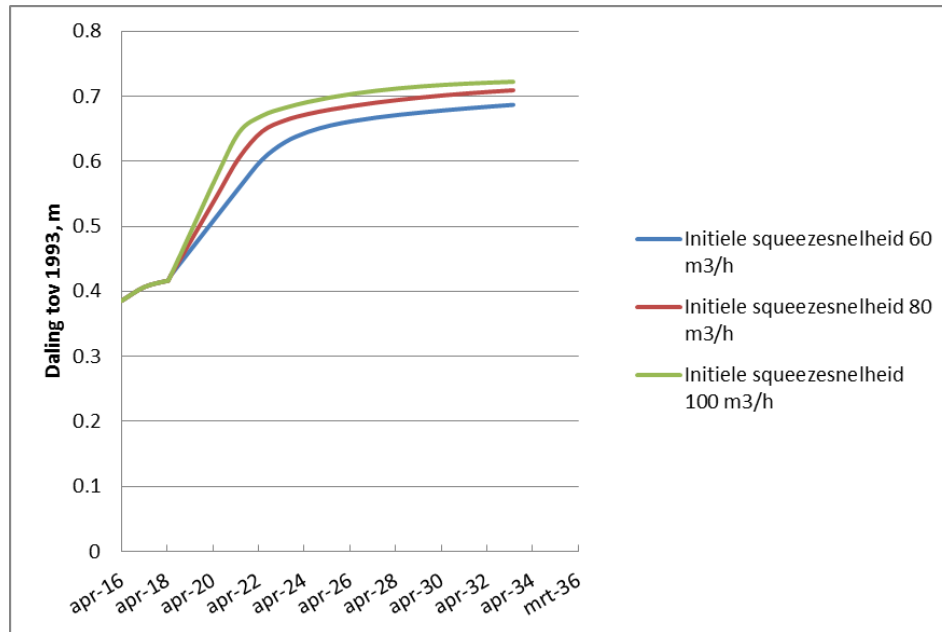


Figuur 9. Ontwikkeling berekende bodemdaling vanaf april 2016 op diepste punt (bij TR-1) en boven mogelijk toekomstige VE-5 t/m VE-8 posities voor start zoutwinning bij afbouw cluster een initiële squeeze snelheid van 100 m³/h

Door SGS-Horizon werd een maximale daling van 0.65 m berekend bij een squeezevolume van 8.22 Mm³, nu wordt deze daling verkregen bij een squeezevolume van 8.07 Mm³ als gevolg van de hogere squeeze snelheid waardoor de bodemdalingssom iets minder tijd krijgt voor verbreding.

Naar verwachting neemt de bodemdaling ten opzichte van 1993 toe tot een maximum van 0.72 m na het aflaten van alle vrije pek. De bijbehorende berekende daling op de toekomstige VE-5/6 en VE-7/8 posities, voor start zoutwinning, komt uit op respectievelijk 0.10 en 0.13 m.

Bij een daling van 0.46 m (0.50 m sinds 1977) op TR-1 komt de berekende daling ter plaatse van de voorziene VE-5/6 positie uit op 0.065 m.



Figuur 10. Tijdsontwikkeling berekende bodemdaling op diepste punt (bij TR-1 vanaf april 2016) bij afbouw cluster bij een initiële squeeze snelheid van 60, 80 en 100 m³/h

Bij de hoogste initiële squeeze snelheid van 100 m³/h wordt de maximale daling van 0.72 m in 2033 bereikt. Bij een afnemende initiële squeeze snelheid wordt de maximale daling bij 80 m³/h pas in 2060 bereikt en nog veel later bij 60 m³/h.

Referenties

1. Modelling of subsidence induced by salt squeeze mining from the Veendam concession: History match 1993 – 2016 and forecast including two new wells. SGS Netherlands B.V. April 2018.