

SAMENVATTING 'MODELLING OF CAVERN CONVERGENCE AND BRINE PERMEATION AFTER PLUG & ABANDONMENT OF DEEP SALT CAVERNS', PROEFSCHRIFT S.J. MAAT, TU DELFT, 2023

Frisia Zout B.V. wint zout uit de ondergrond door middel van oplossingsmijnbouw in het noordwesten van Nederland. De cavernes bevinden zich in het Zechstein-II haliet op een diepte van ongeveer 2,5 km. Vanwege deze diepte en de lage werkdruk (ongeveer 60% van de lithostatische druk) is de zoutkruip binnen de caveerne groot. Zodra een caveerne aan het einde van haar levensduur is, wordt ze buiten gebruik gesteld en afgesloten. Tijdens de sluitingsperiode wordt de cavernedekenvloeistof verwijderd en vervangen door pekelen en krijgt het de tijd om in druk en temperatuur gelijk te worden aan de omgeving voordat het permanent wordt verlaten. Op het moment van verlaten is er nog steeds een klein druktekort (cavernepekelen op 98% van de lithostatische druk aan het dak van de caveerne). Bij dit druktekort is er in theorie nog enige zoutkruip door het drukverschil tussen de cavernepekelen en de omringende zoutwanden, veroorzaakt door de lithostatische druk. Aangezien de caveerne gesloten is en nog steeds kruit, zal de pekelen ontsnappen door permeatie door de omringende zoutwanden en het dak. Op dit punt wordt een evenwicht bereikt tussen de convergentie van de caveerne en de permeatie van pekelen rond de caveerne. Dit onderzoek heeft tot doel een beter begrip te krijgen van de caverneconvergentie en permeatieprocessen na het verlaten van de caveerne. Hiervoor is een caverneconvergentie- en pekelpermeatiemodel gemaakt.

Daarnaast wordt de potentiële oppervlaktedaling als gevolg van de migratie van pekelen naar meer doorlatende lagen onderzocht. In het convergentiemodel wordt de caveerne gemodelleerd als een stapel cilinders en wordt een Norton-Hoff power law squeeze model toegepast op de caveerne. Het squeeze-model bestaat uit 2 delen, een lineair en een niet-lineair deel. Het niet-lineaire deel is het belangrijkste tijdens de productiefase en in deze hoge-druktekorten wordt het squeeze-model gepast op de beschikbare productiegegevens. Recente kruittesten op zoutmonsters onder lagere druktekorten (Bérest et al., 2019) hebben bevestigd dat het lineaire deel het belangrijkste wordt in het lage-druktekortgebied en hebben aangetoond dat de lineaire kruit kleiner is dan de lineaire component van het bestaande knijpmodel dat voor productie wordt gebruikt.

Daarnaast is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op het convergentiemodel door de inputvariabelen van het model te variëren. De parameters met een grote onzekerheid en een grote impact op het model waren het lineaire deel van het squeeze-model en de breedte van een slice. Om een reeks uitkomsten van het convergentiemodel te geven is een P10, P50 en P90 scenario gecreëerd, waarbij dit percentielen zijn van het invoerbereik van de gevoeligheidsanalyse. De uitkomst van het convergentiemodel bij een caveerne grootte van 1Mm³ suggereert een jaarlijkse caveerne convergentie van ongeveer 5, 103 en 2313 m³/jaar voor respectievelijk de P10, P50 en P90 gevallen.

Aangezien er een evenwicht is tussen de convergentie van de caveerne en de permeatie van pekelen, kan de output van het convergentiemodel (convergentiesnelheid) gebruikt worden als input voor het permeatiemodel (permeatiesnelheid). Voor het permeatiemodel worden op elke laag verschillende parabolische vormen aangebracht en gevuld met pekelen uit de convergerende caveerne. Als alle zoutlagen gevuld zijn, bereikt de pekelen meer doorlatende lagen en kan vrij over een groter gebied stromen. Het permeatiemodel wordt uitgevoerd met de P10, P50 en P90 convergentiemodel scenario's als invoer en voorspelt dat het systeem zich vult na respectievelijk 26, 588 en 12.363 jaar. Op dit punt kan er enige bodemdaling optreden omdat de pekelen vrij kan stromen over een groter gebied in de meer doorlatende lagen boven de Zechstein. Deze bodemdaling is 0,016 mm/jaar voor het P50 geval na 588 jaar. Een verwaarloosbare hoeveelheid vergeleken met niet-gerelateerde bodemdalingsprocessen.

Concluderend zijn de convergentiesnelheden van cavernes (zelfs de P10 met 5m³/jaar) hoog vergeleken met de doorlatendheid van zout volgens de Darcy-stromingswet (ongeveer 17 l/jaar). Dit kan meerdere verklaringen hebben. Vanuit het perspectief van de caverne zouden de convergentiesnelheden lager kunnen zijn. Dit zou kunnen komen door een drempeldruk voor zoutkruip (van Oosterhout et al., 2022) of door onnauwkeurigheden in de lineaire component van het squeeze-model. Toekomstig onderzoek zou zich kunnen richten op het bepalen van de kruipsnelheden van zout onder lage druk. Vanuit het permeatieperspectief kunnen er naast permeabiliteit ook andere permeatiewegen in het spel zijn. In de caverne zou er permeatie kunnen zijn via anhydrietveranderingen of via microbreuken die ontstaan zijn tijdens de productiefase van de caverne. Het zou goed zijn om deze permeatieprocessen in de toekomst te onderzoeken. Daarnaast blijft ook de secundaire porositeit van het zout een vraag. Een goed begrip van deze porositeit is nodig om de opslagcapaciteit van de bovenliggende zoutlagen te beoordelen voordat de pekels de meer doorlatende zones binnendringt.