

Technische notitie bij Winningsplan Ezumazijl, november 2019

Beschrijving compactiemodel en onzekerheidsanalyse voor de bodemdalingsprognose.

1. Compactiemodel

Om een inschatting te maken van de onzekerheid in de toekomstige bodemdaling boven het Ezumazijl gasveld is gebruik gemaakt van het compactiemodel dat ook gebruikt is bij de voorspelling van de bodemdaling boven de Waddenzee velden en het Groningen veld. Het compactiemodel past beter bij de observatie van bodemdaling boven velden aan het einde van hun levensduur. In dergelijke velden vindt er nauwelijks meer drukdaling plaats terwijl er nog steeds bodemdaling kan optreden.

Het compactiemodel dat in deze studies wordt gebruikt heet het *Rate Type Compaction Model* (RTCM). Het model dat door de NAM geïmplementeerd is in het bodemdalingsmodel, volgt het RTCiM (waarbij de *i* staat voor isotachen) van TNO¹. Dit model is geïntroduceerd in de “*long term subsidence*” studie voor het Ameland veld, welke is goedgekeurd door SodM. Tevens wordt dit model ook door TNO toegepast in verschillende bodemdalingsstudies in Nederland.

Doorgaande bodemdaling is waar te nemen in de geodetische metingen boven Ezumazijl. De bodemdalingmetingen laten een tijdseffect zien, wat betekent dat de bodemdaling niet lineair is met de drukdaling. De bodemdaling begint langzamer en na een verloop van tijd (jaren) wordt een hogere bodemdalingssnelheid bereikt. Dit tijdseffect kan goed met het RTCiM model beschreven worden. Hieronder wordt meer uitleg gegeven over de drie belangrijkste parameters van dit model. In het begin van de winning, wanneer de compactie achterblijft bij de drukdaling en de bodemdaling langzaam verloopt, wordt de compactie beschreven door de lage C_m factor (C_{md}). Na verloop van tijd, waarbij die tijd bepaald wordt door de *b* parameter verloopt de daling sneller en volgt de hogere C_m factor (C_{mref}). Deze overgang gaat echter geleidelijk. Na het einde van de productie kan de bodemdaling nog jaren doorgaan, wederom afhankelijk van diezelfde *b* factor.

2. Parameterwaarden in het bodemdalingsmodel en onzekerheidsanalyse

De parameters voor het RTCiM model zijn geschat middels een Monte Carlo-simulatie voor de Meet- en Regelrapportage over 2018. Voor de vertaling van de compactie naar de bodemdaling is eveneens gebruik gemaakt van het bodemdalingsrapport zoals gebruikt in de Meet- en Regelrapportage over 2018². De parameterwaarden voor het compactiemodel die het best bij de metingen passen zijn genoemd in Tabel 1. De onzekerheid in de bodemdalingsvoorspelling wordt in de volgende sectie beschreven.

¹ Pruiksmas, J.P. & Breunese, J.N. & Thienen-Visser, Karin & De Waal, Hans. (2015). Isotach formulation of the rate type compaction model for sandstone. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 78. 127-132. 10.1016/j.ijrmms.2015.06.002.

² NAM (2019) Gaswinning vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen: Resultaten uitvoering Meet- en regelcyclus 2018.

<https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/wadden/nl/0ad07332-3d61-443d-ad42-a0a34a1d7e10>

Tabel 1: Parameterwaarden die gebruikt worden voor de bodemdalingsberekeningen.

Reservoirparameters	Invoerwaarde
Diepte veld [m]	3991
Reservoirdikte [m]	117
Initiële druk [bar]	493
Huidige druk [bar]	95
Einddruk basis scenario [bar]	56 (alleen voor gaslaag)
Poisson's ratio [-]	0,2
Effectieve reservoirstraal [m]	2229
RTCiM parameters	Waarde
C_{mref} (factor) [$10^{-5}bar^{-1}$] (C_{mref} bij porositeit van 14%)	1,0
C_{md} (factor) [$10^{-5}bar^{-1}$] (C_{md} bij porositeit van 14%)	0,44
b [-]	0,022

Onzekerheidsanalyse voor de bodemdalingsprognose

Om een inschatting te maken van de onzekerheid over de toekomstige bodemdaling voor Ezumazijl is de onzekerheid in de C_m (compressibiliteit) gecombineerd met de verschillende depletiewaarden (DP) die volgen uit de scenario's voor de productievoorspellingen. De C_m onzekerheid bevat meerdere componenten: onzekerheid over het compactiegedrag, onzekerheid over de depleterende dikte en onzekerheid over de compressibiliteit op basis van "core plug" metingen. Niet al deze onzekerheden zijn kwantitatief te bepalen en daarom is er voor een inschatting ervaring uit het verleden gebruikt. Voor een nieuw voorkomen op land wordt deze onzekerheid geschat op 75% op basis van ervaring uit het verleden. Na één of meerdere bodemdalingsmetingen is meer kennis beschikbaar gekomen over de combinatie van de depleterende dikte en compressibiliteit waarmee de onzekerheid geschat wordt op 25%. De onzekerheid voor de DP volgt uit de productiescenario's voor de "low-mid-high case". De vermenigvuldiging van de C_m met de DP geeft een maat voor de compactie. Wanneer een hoge C_m met een hoge DP wordt vermenigvuldigd geeft dit een maximum scenario voor de onzekerheid. Een combinatie van lage waarden geeft een minimum.

De verwachte bodemdaling is doorgerekend met de Geertsma en van Opstal methode³. Om de impact van de onzekerheid in de gekozen parameters te berekenen is gebruik gemaakt van Geertsma⁴. Geertsma geeft een eenvoudige formule om de maximale bodemdaling te berekenen voor een cilindrisch compacterend reservoir:

$$H_{max} = 2 C_m (1 - \nu) \Delta P H \left(1 - \frac{D/R}{\sqrt{1 + (D/R)^2}} \right)$$

³ Geertsma J. and Van Opstal G., "A Numerical Technique for Predicting Subsidence Above Compacting Reservoirs Based on the Nucleus of Strain Concept", Verhandelingen Kon. Ned. Geol. Mijnbouw. Gen., Vol. 28, pp. 63-78, 1973a.

⁴ Geertsma, J., A basic theory of subsidence due to reservoir compaction: The homogeneous case, Verh. K. Ned. Geol. Mijnbouwkd. Genoot., 28, 43 – 62, 1973a.

De straal van dit model is dusdanig gekozen dat de verwachte bodemdaling volgens het RTCiM bodemdalingsmodel in het diepste punt overeenkomt met de waarde die wordt berekend met het Geertsma en van Opstal model. Na deze kalibratiestap wordt de bovenstaande formule gebruikt om de onzekerheid voor de bodemdaling te bepalen, waarbij de C_m waarde in de formule gelijk is aan de waarde voor de C_{mref} in het RTCiM bodemdalingsmodel.

Waarbij:

D : Diepte veld (m)

H : Depleterende reservoir dikte (m), in deze analyse constant gehouden omdat de onzekerheid over de depleterende dikte verdisconteerd is in de C_m onzekerheid.

ΔP : reservoir depletie (huidige druk – eind druk) (bar)

ν : Poisson's ratio

R : (km) "effectieve" straal van het veld, waarbij de straal wordt gekozen op basis van een vergelijking tussen de maximale voorspelde bodemdaling zoals berekend met het bodemdalingsmodel gebaseerd op de werkelijke veldgeometrie.

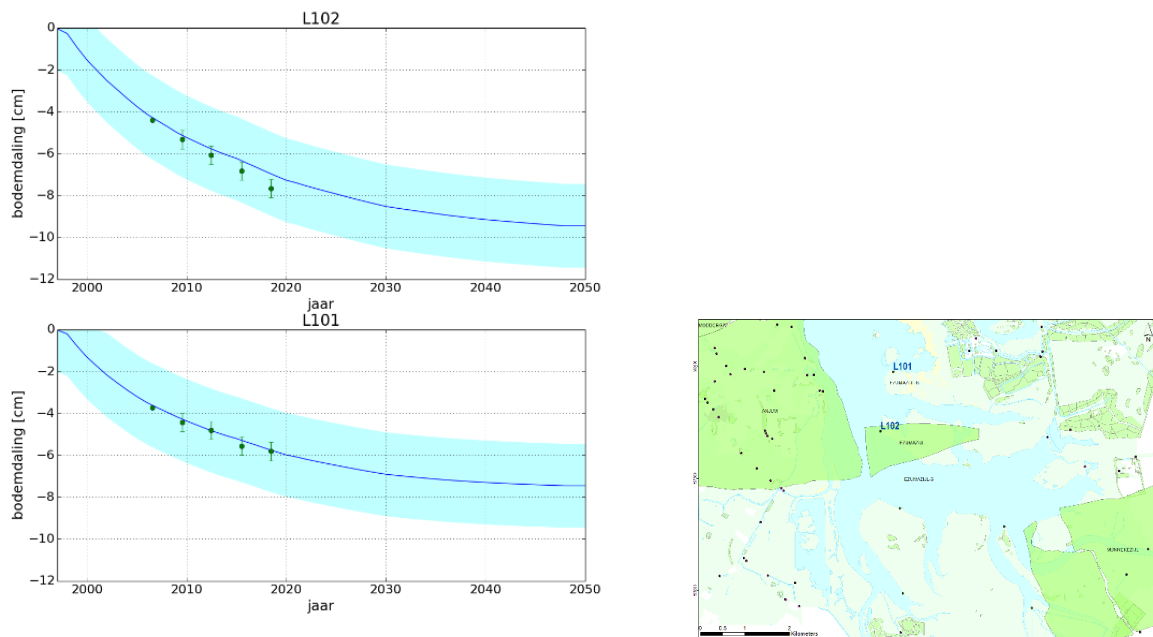
C_m : Compressibiliteit van het veld (10^{-5} bar^{-1}).

De parameters die gebruikt zijn in deze onzekerheidsanalyse zijn te vinden Tabel 1.

Tabel 2: Onzekerheid voor de voorspelde bodemdaling (2016 tot einde productie).

Voorkomen	Nog te verwachten drukdaling (bar)	Toekomstige drukdaling "low case productie" (bar)	Toekomstige drukdaling "high case productie" (bar)	Compressibiliteit (10^{-5} bar^{-1})	Onzekerheid compressibiliteit	Nog te verwachten bodemdaling in diepste punt (cm)	Ondergrens voor de nog te verwachten bodemdaling in diepste punt (cm)	Bovengrens voor de nog te verwachten bodemdaling in diepste punt (cm)
Ezumazijl	39	18	50	1,00	25%	<2	<2	<2

Tabel 2 toont de onzekerheid van de bodemdaling veroorzaakt door de mogelijk toekomstige productie en compactie uit Ezumazijl. De bodemdaling boven Ezumazijl wordt voornamelijk bepaald door de productie en compactie van het naburige Anjum veld. Om de totale bodemdaling inzichtelijk te maken zijn in Figuur 1 twee meetpunten geselecteerd die de totale bodemdaling in de tijd weergeven. De blauwe doorgetrokken lijnen in deze figuren geven de verwachte totale bodemdaling aan. De lichtblauwe band geeft de onzekerheidsmarge weer van dit model. De onzekerheid van ± 2 cm wordt bepaald door de combinatie van meet- en modelfout. De maximale bodemdaling boven Ezumazijl in 2050 is 12 cm, wanneer de onzekerheid hierbij wordt opgeteld komt dit getal uit op 14 cm.



Figuur 1: Vergelijking van gemeten (punten) en berekende bodemdaling voor een aantal peilmerken boven het Ezumazij voorkomen. De meetonzekerheid in de metingen (gekozen als een standaarddeviatie) bedraagt 4 mm per meetpunt. De blauwe lijn toont de bodemdaling volgens het best passende model op deze locatie. Het lichtblauwe vlak geeft het bereik van de onzekerheid aan.

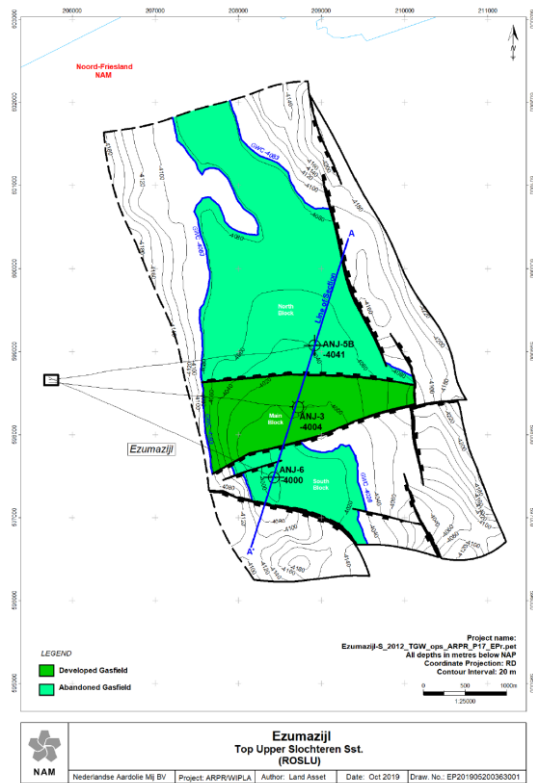
3. Drukdaling model.

Het Ezumazij gasveld is in 1998 aangetoond met de boring Anjum-3. Deze boring is vanaf de Anjum locatie schuin naar het oosten geboord en is de enige producerende put in het Ezumazij gasveld. In het Anjum winningsplan uit 2011 waar Ezumazij eerder in was opgenomen, is men ervan uitgegaan dat het Ezumazij gasveld uit drie blokken reservoirgesteente in de ondergrond bestond. De drie blokken zouden, gedeeltelijk, met elkaar in verbinding staan via zogenaamde breukvlakken, zie Figuur 2. In 2013 is het zuidelijke blok aangeboord met de Anjum-6 put. Deze put heeft een hoger gas water contact aangetoond dan het centrale blok waar de producerende put Anjum-3 in geboord is. Het gas-watercontact in Anjum-3 (Ezumazij veld) is vastgesteld op 4083 m diepte en die van het

Het gas in het noorden van Nederland zit in de poriën van het zogenaamde Rotliegend reservoirgesteente op grote diepte. In deze poriën zit onder het gas een waterlaag. De scheiding tussen het gas en water noemt men het Gas-WaterContact (GWC). Als blokken met elkaar in verbinding staan dan zou dit GWC op dezelfde diepte moeten zitten. Hetzelfde geldt voor de druk: als twee blokken goed met elkaar in verbinding staan moeten ze dezelfde druk hebben.

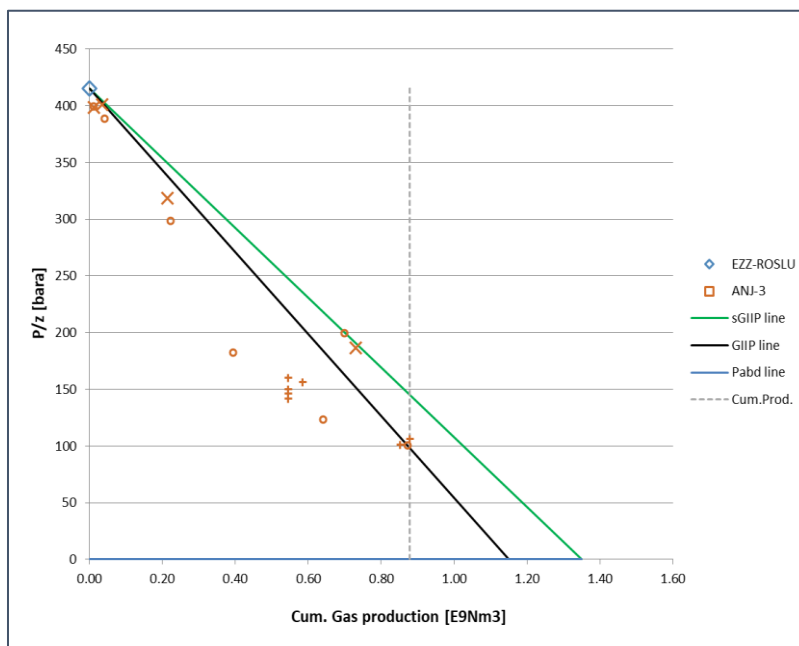
Anjum-6 blok (het zuidelijke blok) op 4030 m diepte, dit betekent dat het centrale blok niet met het zuidelijke blok in verbinding staat.

Het noordelijke blok dat al in een eerder stadium (2003) door de Anjum-5 put is aangeboord heeft nooit geproduceerd vanwege de slechte reservoir eigenschappen in dat blok. De Anjum-5 put is dan ook, net zoals de Anjum-6 put, verlaten. De initiële druk die in de Anjum-5 put is gemeten in 2003 is ongeveer 500 bar, de druk op datzelfde moment in de Anjum-3 put (centraal blok) was toen 170 bar. Dit betekent dat het aannemelijk is dat het noordelijke en centrale blok niet met elkaar in verbinding staan.



Figuur 2: Ezumazij veld met omliggende blokken.

Na het boren van de Anjum-6 is er een verdere analyse gedaan met onder ander de zogenaamde p/Z methode, zie Figuur 3. Met deze methode kan men vaststellen welke ondergrondse gasvolumes in verbinding staan met een boorput. Daarna kan men deze volumes vergelijken met de volumes die er volgens het geologische model per blok aanwezig zouden kunnen zijn. Uit deze analyses is gebleken dat de volumes die de Anjum-3 put “ziet” gelijk of minder zijn aan de volumes die er volgens het geologisch model in het centrale blok zitten. De p/Z methode wordt nauwkeuriger naarmate er meer gas is geproduceerd.



Figuur 3: p/Z figuur voor Ezumazij waar sGIIP het volume voor het geologische model geeft en GIIP het uit de productie bepaalde volume is.

Voor dit winningsplan is dus met zeer grote zekerheid aangenomen dat alleen uit het centrale blok wordt geproduceerd en dat daarom alleen dit blok compacteerd en bodemdaling veroorzaakt. In het verleden is uitgegaan van een grotere hoeveelheid reservoirgesteente dat zou kunnen bijdragen aan een bepaalde (en ook aan de oppervlakte gemeten) bodemdaling. De drukken zoals gemeten in de Anjum-3 put (centrale blok) werden destijds “gemiddeld” over een veel groter reservoir gebied dan in dit nieuwe winningsplan. Deze “middeling” verklaart het verschil tussen de drukken die men in het 2011 winningsplan presenteerde als representatie voor de drukken in het gasveld en de drukken in dit winningsplan. De nu aangenomen grootte van het veld is veel minder dan destijds in 2011. Doordat de hoeveelheid reservoirgesteente kleiner is zal de gemiddelde drukval hoger zijn. Deze hogere gemiddelde drukval over een kleiner volume gesteente is immers nodig om de, nog steeds dezelfde, historische en reeds gemeten bodemdaling te beschrijven.

Als er van meet af aan met slechts één blok rekening was gehouden in de berekening van de bodemdalingsprognose dan was de voorspelling destijds waarschijnlijk iets minder conservatief (minder bodemdaling) geweest. Destijds is een meer conservatieve aanname gebruikt. Na het boren van put Anjum-6 en de verbeterde p/Z methode voor de Anjum-3 put is het nu voorliggende model realistischer.