

# **HET GEDRAG VAN GASHYDRATEN BIJ DRUK- EN TEMPERATUURWIJZIGINGEN IN EEN OCEANISCHE SEDIMENTLAAG**

Roose Frederik

Vlaamse Overheid, Beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Maritieme Toegang – Antwerpen, Tavernierkaai 3, Loodsgebouw, 2000 Antwerpen  
E-mail: frederik.roose@mow.vlaanderen.be

## **Inleiding**

### ***Wat zijn gashydraten?***

Gashydraat of clathraat is een natuurlijk voorkomende stof die sterk op ijs lijkt. Het grote verschil tussen beide is dat het gashydraat kan ontbranden. Net als ijs is het gashydraat opgebouwd uit een rooster van bevroren watermoleculen. Maar de meeste holtes of hokjes in het rooster van het gashydraat bevatten nog een molecule methaangas, waardoor het gashydraat brandbaar is. Natuurlijke gashydraten komen voor in permanent bevroren bodems en in de sedimentlaag op continentale hellingen.

### ***Gashydraten en klimaatsverandering***

Gashydraten zijn een zeer efficiënte manier om een grote hoeveelheid methaangas in een beperkt volume op te slaan. Wereldwijd wordt de hoeveelheid methaangas aanwezig in gashydraten geschat op  $21 \cdot 10^{15}$  m<sup>3</sup>, wat maakt dat gashydraten een belangrijke component van de globale koolstofcyclus zijn en dat gashydraten een grote invloed op het klimaat kunnen uitoefenen. Indien het methaangas dat vrijkomt bij het smelten van gashydraten de atmosfeer bereikt, resulteert dit in een globale opwarming. Uit ijsboringen blijkt dat er een zeer goede relatie is tussen de variaties in temperatuur en de variaties in het atmosferisch methaangehalte doorheen het kwartaal. De idee van het smelten van gashydraten op grote schaal en de injectie van het methaangas in de atmosfeer werd een sleutelement in de verklaring van het plotse einde van de kwartaire ijstijden. De voorwaarden hiervoor zijn wel dat de oceanische gashydraatreserve snel moet reageren op temperatuurswijzigingen in het bodemwater en dat er voldoende methaangas in de atmosfeer vrijkomt. Bovendien wezen nieuwe observaties in de fossiele skeletten van benthische foraminiferen op de betrokkenheid van methaangas uit gashydraten in de klimaatsverandering zowel op millenniumschaal (zoals de afwisseling tussen ijstijden en interglaciale periodes) als op veel kleinere tijdschaal. Deze nieuwe observaties leidden tot de Clathrate Gun Hypothesis. De kerngedachte uit de Clathrate Gun Hypothesis is dat het ophopen van methaangas uit gesmolten gashydraten leidt tot afschuivingen van het sediment op de continentale hellingen, waardoor er een massale hoeveelheid methaangas uit de gashydraten in de oceanische sedimentlagen kan vrijkomen. In deze thesis wordt getest hoeveel tijd het gashydraatreservoir nodig heeft om te reageren op wijzigingen in de temperatuur van het bodemwater en of er voldoende methaangas vrijkomt uit de gashydraten om een afschuiving van het sediment te veroorzaken.

## Werkwijze

### De evenwichtscurve

Gashydraten zijn stabiel bij een lage temperatuur en onder voldoende hoge druk. Bij een hogere temperatuur en/of een lagere druk zijn gashydraten onstabiel en dissociëren (= smelten) ze tot methaangas en water. In de oceaan neemt de (hydrostatische) druk lineair toe met de diepte. De stabiliteit van het gashydraat op een bepaalde diepte onder de zeespiegel is dus enkel afhankelijk van de temperatuur op die diepte. De evenwichtscurve geeft het verloop weer van de smelttemperatuur met de diepte (Fig. 1). De gashydraten die voorkomen in de zone waar de temperatuur lager ligt dan de smelttemperatuur bevinden zich in de stabiliteitszone. Daar waar de smelttemperatuur hoger ligt, zijn gashydraten onstabiel. Eventuele gashydraten die zich in de onstabiele zone bevinden zullen smelten.

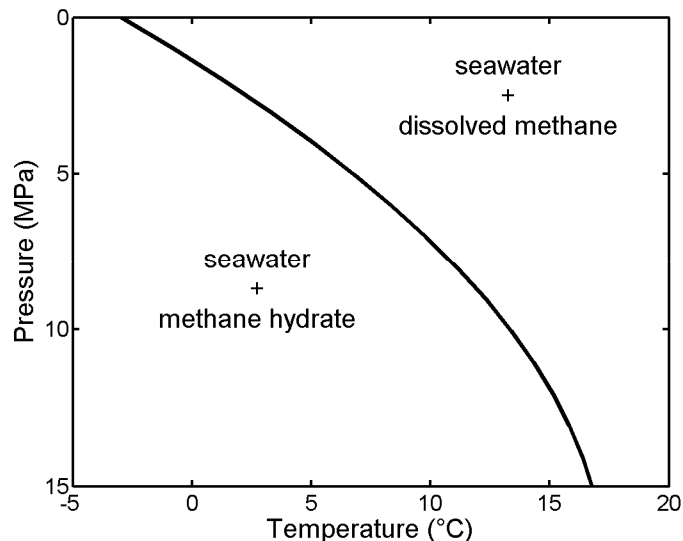


Fig. 1. Evenwichtscurve voor faseovergang van vast gashydraat naar methaangas en water geeft de smelttemperatuur van het gashydraat aan bij een bepaalde druk. In het gebied onder de curve is het gashydraat stabiel, boven de curve onstabiel. Bij de druk- en temperatuurscondities op de evenwichtscurve zelf komt het gashydraat samen met methaangas en water voor.

### Het ééndimensionaal model

Om het effect van druk- en temperatuursveranderingen op het gashydraat na te gaan, werd gebruik gemaakt van een eenvoudig, ééndimensionaal model. Langs een verticaal traject doorheen de sedimentlaag wordt de temperatuur beschouwd. Het ééndimensionale model kent twee randvoorwaarden: de bovenste randvoorwaarde is de temperatuur van het bodemwater, de onderste randvoorwaarde wordt bepaald door de geothermale gradiënt, *i.e.* de temperatuurstoename per diepte-eenheid. Voor de beschouwde sedimentlaag wordt de geothermale gradiënt constant verondersteld. De bovenste randvoorwaarde bepaalt het verloop van het temperatuurprofiel doorheen de sedimentlaag. Een verandering in de temperatuur van het bodemwater veroorzaakt een

verschuiving van het temperatuursprofiel. De temperatuurswijziging gebeurt echter niet onmiddellijk, er treedt een aanzienlijke vertraging op omwille van de lage thermische geleidbaarheid van het sediment en omwille van de grote diepte waarop het gashydraat voorkomt. De verandering van het temperatuursprofiel doorheen de tijd wordt wiskundig beschreven met de ééndimensionale vergelijking voor warmtegeleiding (vgl. 6). Deze vergelijking heeft zowel een analytische als numerieke oplossing (vgl. 7, 8 en 9).

### ***De latente warmte voor het smelten van gashydraten***

Tijdens het opwarmen van een vaste stof stijgt de temperatuur van deze stof in verhouding tot de hoeveelheid warmte die aan de vaste stof wordt toegevoegd. Wanneer men nog warmte blijft toevoegen als de vaste stof haar smeltpunt bereikt heeft, dan merkt men dat men nog een bepaalde hoeveelheid warmte kan toevoegen zonder dat de temperatuur verder stijgt. De hoeveelheid warmte die men zo kan toevoegen is de latente warmte. De latente warmte wordt gebruikt om de kinetische energie van de moleculen te verhogen, zodat de vaste stof zich tot een vloeistof kan omzetten. Gashydraten die zich op de smelttemperatuur bevinden, nemen bijgevolg nog een deel van de toegevoerde warmte op zonder dat de temperatuur verder stijgt. Dit heeft belangrijke gevolgen voor het verloop van het temperatuursprofiel doorheen de sedimentlaag. De vergelijking voor warmtegeleiding dient uitgebreid te worden met een term voor de opname van latente warmte door de gashydraten. Aangezien we geen analytische oplossing kennen voor deze uitgebreide vergelijking, maken we gebruik van de numerieke oplossingsmethode (vgl. 13).

### ***De opbouw van gasdruk in de sedimentlaag***

Bij het smelten van het gashydraat komt er methaangas vrij in de sedimentlaag. Het methaangas kan maar moeilijk ontsnappen doorheen de sedimentlaag. Men verwacht dat de druk op bepaalde plaatsen in de sedimentlaag aanzienlijk kan toenemen waardoor er gevaar zou kunnen ontstaan voor afschuivingen. De grootte van de ontstane druk is afhankelijk van de hoeveelheid gesmolten gashydraat (vgl. 15 en 16). Gevaar voor een afschuiving ontstaat wanneer de ontstane druk groter wordt dan een kritische druk, welke bepaald wordt door de massa van het bovenliggende sediment. Hoe dieper het gashydraat zich in het sediment bevindt, hoe kleiner de kans op afschuivingen.

### ***Het gedrag van gashydraten bij druk- en temperatuurswijzigingen***

Het effect van een verandering in de temperatuur van het bodemwater kan dus direct ingeschat worden met behulp van het hierboven beschreven ééndimensionale model. Het effect van een verandering in druk (zeespiegelstijging of -daling) leidt tot een verandering van de smelttemperatuur van het gashydraat en kan dus ook met dit model beschreven worden.

## **Resultaten**

### ***Wijziging van het temperatuurprofiel***

In deze thesis werden drie scenario's uitgewerkt. In de eerste twee scenario's wordt de respons van het temperatuurprofiel nagegaan op een stijging van het bodemwater met 4°C. De zeebodem bevindt zich op een diepte van 400m onder de zeespiegel en het temperatuurprofiel wordt gemodelleerd tot op een diepte van 300m onder de zeebodem. In het eerste scenario veronderstellen we dat er geen gashydraten in de sedimentlaag aanwezig zijn, in het tweede scenario zijn er wel gashydraten aanwezig. Bij afwezigheid van gashydraten duurt het bijna 1000 jaar vooraleer de temperatuurstijging van het bodemwater merkbaar is op een diepte van 300m en duurt het in totaal 10.000 jaar totdat het temperatuurprofiel zich helemaal aangepast heeft. Het valt te verwachten dat de aanwezigheid van gashydraten een vertragend effect heeft. Inderdaad, in het tweede scenario is het effect van de temperatuurstijging na 10.000 jaar nauwelijks merkbaar op een diepte van 300m en is er nog maar een zeer klein deel van de gashydraten gesmolten. Het duurt ongeveer 100.000 jaar vooraleer al het gashydraat gesmolten is en het temperatuurprofiel zich aangepast heeft. Uit deze twee scenario's leren we dat het gashydraat in een sedimentlaag zeer veel tijd nodig heeft om te smelten.

In het derde scenario wordt het gecombineerde effect van een temperatuurstijging in het bodemwater en van een zeespiegelstijging onderzocht. De grootte van de temperatuurstijging en de tijdstippen van de zeespiegelstijging (= drukverhoging) werden zo gekozen dat ze de situatie tijdens het einde van de laatste ijstijd zo goed mogelijk weergeven. De resultaten van dit scenario tonen duidelijk aan dat een zeespiegelstijging het gesmolten gashydraat weer stabiliseert, waardoor er minder methaangas vrijkomt. Het effect van een zeespiegelstijging op het gashydraat is dus tegenovergesteld aan het effect van een opwarming van het bodemwater.

### ***De opbouw van gasdruk in de sedimentlaag***

In de drie scenario's is de druk die ontstaat door het methaangas dat vrijkomt uit het gashydraat geenszins groot genoeg om een afschuiving van de bovenliggende sedimentlaag te veroorzaken.

## **Conclusie**

In de Clathrate Gun Hypothesis wordt verondersteld dat de gashydraten in oceanische sedimentlagen snel reageren op een temperatuurwijziging in het bodemwater en dat het methaangas in grote hoeveelheden vrijkomt. De resultaten van deze modelleeroefening wijzen echter op een zeer langzame respons van het gashydraat. Bijgevolg lijkt het uitgesloten dat het gashydraat in de oceanische sedimentlagen de rol speelde tijdens de kwartaire klimaatsveranderingen die hen toegeschreven is door de Clathrate Gun Hypothesis.