

A.W.F. Corver *Drukberkening in silo's met flexibele wanden. Een evaluatie van nieuwe berekeningsmethoden.*
Literatuuropdracht/scriptie, Rapport 98.3.TT.5106, Sectie Transporttechniek en Logistieke Techniek.

Al sinds de introductie van de eerste grote silo's, in het midden van de 19e eeuw, worden er pogingen gedaan om tot theorieën te komen die een betrouwbare berekening geven van de wanddrukken die in stortgoedsilo's optreden.

Doordat er geen rekening wordt gehouden met de wisselwerking van de stijfheid van het stortgoed enerzijds en de stijfheid van de silo anderzijds, is te verwachten dat bij het berekenen van wanddrukken in silo's met flexibele silowanden via de huidige in gebruik zijnde methodes geen nauwkeurige schatting gemaakt kan worden van de optredende drukken.

Het is het doel van dit rapport om te onderzoeken in hoeverre het mogelijk is een goede berekening te maken van de drukken in flexibele silo's, door rekening te houden met de interactie van het stortgoed met de wand. Vervolgens wordt onderzocht in welke mate de optredende drukken in silo's met flexibele wanden verschillen met die van de optredende drukken in silo's met stijve wanden. Hiertoe zijn de recente ontwikkelingen op het gebied van de drukberkening in flexibele silo's geïnventariseerd en onderzocht.

De Modified Janssen methode gaat uit van dezelfde aannames als de originele Janssen methode, alsmede de aanname dat spanningen in de silowand gemodelleerd kunnen worden door de membraantheorie. De methode is geldig voor ronde silo's met flexibele silowanden en houdt rekening met de elasticiteitsmodulus van het stortgoed, de elasticiteitsmodulus van de silowand en met de verhouding van de silostraal met de wanddikte t . Aangevoerd is dat de invloed van de interactie van het stortgoed met de silowand op de wanddruk, met deze variabelen bepaald kan worden via de parameter $\alpha = E_s R / (E_w t)$. Deze waarde geeft een indicatie van de relatieve stijfheid van de silowand en het stortgoed.

De eindige elementen methode van Ooi en Rotter maakt gebruik van een zogenaamd contactelement ter modellering van de optredende wandwrijving. Na parametervariaties in de drukberkeningen met deze eindige elementen methode blijkt het effect van de interactie tussen het stortgoed en de silowand op de drukverdeling af te hangen van dezelfde variabelen als bij de Modified Janssen methode, uitgedrukt via α .

De eindige elementen methode en de Modified Janssen methode geven dezelfde uitkomsten van de optredende horizontale drukken als functie van die parameter α . Bij een in de praktijk maximaal toe te passen flexibiliteit van $\alpha=0,2$ wordt een horizontale wanddrukreductie verkregen van ongeveer 20%. De string methode is afgeleid voor een experimenteel test model met twee tegenover elkaar liggende flexibele silowanden, die loodrecht staan op twee stijve silowanden, waarbij de silowanden alleen helemaal boven en helemaal onderin met elkaar verbonden zijn. De afgeleide string methode blijkt na toetsing van de berekende resultaten met de gemeten waarden bij grote flexibiliteiten onnauwkeurige resultaten te geven bij het berekenen van de wanddeformaties. De methode kan alleen een berekening van de optredende drukken maken aan de hand van metingen van de silowandverplaatsingen. Naast deze beperking is het, na het meten van de verplaatsingen, alleen mogelijk om de druk te berekenen uitgaande van de bij het opstellen van deze relatie aangenomen verdeelde belasting q langs de wand.

Er blijkt geen significant verschil in de berekende verplaatsingen op te treden wanneer bij het opstellen van de string formule uitgegaan wordt van hetzij een lineair verdeelde, hetzij een curvilineair verdeelde belasting.

Hieruit valt te concluderen dat de methode zoals hier afgeleid geen nauwkeurigheid verschaft in het berekenen van de optredende wanddrukken aan de hand van gemeten verplaatsingen.

De conclusie is dat met behulp van recent ontwikkelde methodes het momenteel mogelijk is om betere berekeningen te maken van de optredende wanddrukken in silo's met flexibele silowanden. De te verkrijgen horizontale wanddrukreductie kan oplopen tot ongeveer 20% in in de praktijk gebruikte siloflexibiliteit.

De Modified Janssen methode voor silo's met flexibele silowanden is hiervoor de meest geschikte methode. De methode is in de praktijk eenvoudig te gebruiken doordat de eenvoud van de klassieke methode is behouden. De methode geeft een duidelijk inzicht in de effecten die de kritische parameters hebben op de wanddrukverdeling. De uitkomsten zullen door de modelvereenvoudigingen, net als bij de huidige methodes die gebaseerd zijn op de Janssen Methode, met de nodige voorzichtigheid benaderd moeten worden.

De resultaten zullen in ieder geval een goede indicatie geven van de optredende drukreductie en dus goed als referentie kunnen dienen. Het is aan te bevelen om gebruik te maken van de op ervaringscijfers beruste uitkomsten van de Janssen formule voor de drukken in stijve silo's, zoals gebruikt in de DIN 1055 norm. Door het op deze wijze gebruik maken van jarenlange ervaring kunnen de uitkomsten van de drukberkening via de Modified Janssen methode voor flexibele silowanden betrouwbaarder worden. Een aanbeveling is dan ook het in deze methode integreren van de op ervaring beruste waarden van de spanningsverhouding λ voor stijve silo's.

De eindige elementen methode die rekest met een contactelement ter modellering van de wandwrijving geeft ook een goede indicatie van de optredende drukverlaging.

In tegenstelling tot bij de Modified Janssen methode kunnen ook de druksituaties bij de top en de bodem beschouwd worden. De resultaten van de Modified Janssen methode blijken echter nagenoeg dezelfde uitkomst te geven van de optredende drukken. Het in de praktijk grotere gebruiksgemak van de Modified Janssen methode maakt dat de Modified Janssen methode de voorkeur geniet.

De String methode zoals die nu in de huidige vorm is ontwikkeld, is wegens de te grote vereenvoudigingen in het model niet bruikbaar voor de drukberkening. Wellicht dat de introductie van geometrische niet-lineariteiten in het model er voor kan zorgen dat de methode wel bruikbaar wordt.

