

# Summary (in Dutch)

Schalen is een veel gebruikt begrip in de techniek. Het wordt voornamelijk gebruikt om het gedrag op ware grootte te voorspellen met behulp van schaal experimenten waarvan de resultaten worden vertaald naar ware grootte. Er is nog geen algemene toepassing van schalen in onderzoek naar het gedrag van vaste bulk materialen in interactie met werktuigen. Echter onderzoeken met schaalmodellen zijn geschikt en kosten besparend voor onderzoek naar het gedrag van bulk materialen en het ontwerp van werktuigen. Zodoende is het hoofddoel van deze literatuur studie het maken van een overzicht van de beschikbare literatuur welke betrekking heeft op het schalen van bulk materiaal eigenschappen en werktuigen. Dit rapport bevat de belangrijkste bevindingen samen met relevante achtergrond informatie.

Het schalen van bulk materiaal en werktuigen kan hoofdzakelijk worden verdeeld in twee groepen, namelijk schalen in fysieke experimenten en schalen in computersimulaties met de discrete elementen methode (DEM). DEM is een numerieke methode die is gebaseerd op een eenvoudig wiskundig model, gebaseerd op de bewegingsvergelijkingen. Binnen deze groepen zijn twee soorten modellen te onderscheiden, (kleine) schaal modellen en ware grootte modellen.

In experimenten wordt vooral met schaal modellen gewerkt, aangezien experimenten op ware grootte kostbaar zijn. De meerderheid van de onderzoeken met schaal modellen hebben geresulteerd in empirische schalingswetten. Deze zijn afgeleid van een serie van experimenten en beschrijven alleen het onderzochte gebied. Extrapolatie naar ware grootte is vereist, maar dit is vaak niet een onderdeel van het onderzoek. Schalingswetten die zijn afgeleid van een analytische beschrijving van het proces impliceren dat ook materiaal eigenschappen moeten worden geschaald, dit resulteert in problemen bij het selecteren van het juiste materiaal voor de experimenten.

Computersimulaties met de discrete elementenmethode maken het gebruik van ware grootte modellen. Vanwege de proportionaliteit tussen het aantal deeltjes in een simulatie en de rekentijd, is het aantal deeltjes een beperkende factor. Daarom betreft schalen in DEM simulaties voornamelijk het opschalen van de deeltjes. Schalingswetten voor het opschaal proces kunnen worden afgeleid uit de in de DEM gebruikte bewegingsvergelijkingen. Testen, zoals afschuiftest en de rusthoek test, zijn de schakel tussen fysieke experimenten en DEM simulatie, ze worden gebruikt voor de kalibratie en validatie van een DEM simulatie.

Aanbevelingen voor verder onderzoek met betrekking tot DEM simulaties zijn het controleren van de gebruikte schaalwetten, het onderzoeken naar de maximale deeltjesgrootte met betrekking tot de afmetingen van de werktuigen en een standaard voor het kalibratie en validatie proces. Met betrekking tot fysieke experimenten is de aanbeveling om de geldigheid van de empirische schaalwetten buiten de onderzochte gebieden te onderzoeken.