

Numeriek stromingsmodel

Expertgroep Sanitaire Technieken neemt als onderdeel van het TVVL ST-beleidsplan deel aan het jaarlijkse CIB-W062 symposium. CIB staat voor International Council for Research and Innovation in Building and Construction. Het congres dient om wereldwijd kennis uit te wisselen op het gebied van sanitaire installaties. In september 2014 organiseerde de universiteit van Sao Paulo in Brazilië het symposium. Deelnemers uit verschillende landen presenteerden de resultaten van hun onderzoek. De heer L.Y. Cheng van de Technische Universiteit in São Paulo hield een lezing over de ontwikkeling van een numeriek stromingsmodel [1].

Prof. L.Y. Cheng¹

Vertaling en bewerking W.G. (Walter) van der Schee² en W.J.H. (Will) Scheffer³

1. Department of Construction Engineering, Technische Universiteit, São Paulo, Brazilië

2. Wolter & Dros, TVVL Expertgroep ST

3. Rehva Fellow, TVVL Expertgroep ST

Het belangrijkste doel van een gebouwriole-ring is het op de juiste en hygiënische wijze afvoeren van afvalwater, ter bescherming van de volksgezondheid. In verband met duurzaamheid is er een trend om drinkwater te besparen en wordt wereldwijd onderzoek verricht naar de mogelijkheden om met minder drinkwater het closet toch hygiënisch betrouwbaar te spoelen en de fecaliën in de afvoerleidingen toch over een voldoende afstand te kunnen transporteren. De laatste jaren zijn door meerdere organisaties studies verricht naar het effect van de reductie van het spoelvolumen. Die studies richtten zich op de parameters die invloed hebben op de transportafstand, zoals de eigenschappen van de fecale stoffen, de vorm van het closet, het karakter van de spoeling, de middellijn van de afvoerleiding, het leidingbeloop en het afschot. De afvoerstro-om is echter complex en bestaat uit een combinatie van vloeistof, vaste delen en lucht. Om de transportafstand in een riolerings-systeem te bepalen worden testen gedaan

met proefopstellingen zoals beschreven in [2] en [3]. Dankzij de mogelijkheden van de computer is er de laatste jaren ook een ontwikkeling om de transportafstand te bepalen met numerieke modellen [4], [5]. Tijdens het CIB W062 symposium in 2012 presenteerde prof. L.Y. Cheng de resultaten van een onderzoek [6] waarbij de numerieke methode 'Moving Particle Semi-implicit' (MPS) is toegepast om de stroming in een liggende afvoerleiding met afschot te simuleren. Vervolgens heeft men een complexere configuratie gemodelleerd [7], voor een badkamer met closetpot, douche en wastafel op de tweede verdieping van een woning met een normale gebruikspatroon, waardoor een met de werkelijkheid vergelijkbare stroming in de afvoerleidingen ontstaat.

■ SIMULATIE STROMING

Cheng vervolgde zijn onderzoek door een numeriek model te ontwikkelen om de stroming bij de overgang van de standleiding naar de liggende leiding te simuleren met als doel

het effect van de geometrie van de bocht op de transportafstand in de liggende leiding te bepalen. De instroom vanuit de standleiding gebeurt met een cirkelvormige waterstroom langs de buiswand om het effect van het watergordijn in de neergaande stroming mee te nemen. Om de simulatie te vereenvoudigen wordt een constante volumestroom aangehouden in plaats van een closetspoeling en wordt in plaats van vaste delen een vloeibare substantie gebruikt.

In de simulatie zijn drie verschillende overgangsconfiguraties ingevoerd. Het afvalwater stroomt vanuit een standleiding in een liggende leiding en de richtingsverandering verloopt op drie verschillende manieren:

- een 90° bocht met een radius 300 mm (a);
- een 90° bocht met een radius 100 mm (b);
- twee bochten van 45° verbonden door een rechte leiding van 300 mm (c).

De middellijn van de standleiding en de liggende leiding is 100 mm en de lengte van de liggende leiding is 1,5 m. Om de invloed van

het afschot te bepalen zijn de simulaties uitgevoerd met een afschot van 1 cm/m (1:100) en 2 cm/m (1:50); zie de afbeelding in figuur 1 met leidingen groen en de substantie lichtblauw gekleurd.

VLOEIBARE SUBSTANTIE

Simulaties van een stroming bestaande uit een mengsel van vloeistof en vaste delen zijn extreem complex. Daarom is gezocht naar een eenvoudiger te modelleren mengsel dat bestaat uit water en een substantie die tijdens de stroming met water vervormd. De substantie is dichter en viskeuzer dan water. De eigenschappen van de vloeibare substantie zijn gebaseerd op glycerol met een soortelijke massa van 1.260 kg/m^3 en een kinematische viscositeit $0,00118 \text{ m}^2/\text{s}$. De substantie vult over 40% de hoogte van de buis, heeft een lengte van 600 mm en ligt op een afstand 200 mm vanaf de bocht in de liggende leiding.

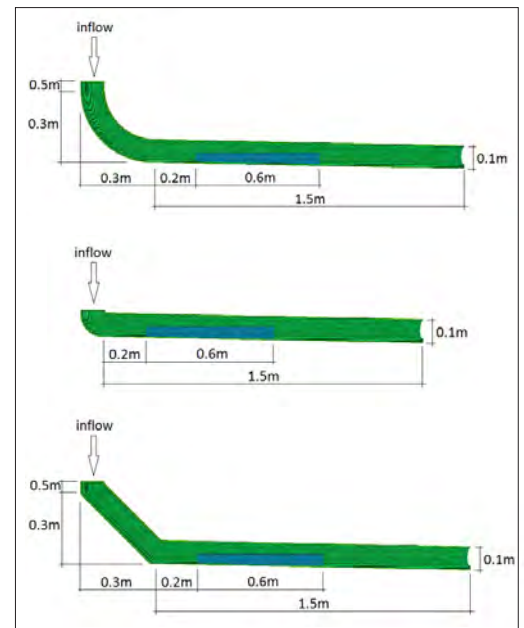
De volumestroom in de standleiding wordt constant op 1,0 l/s gehouden. Het water stroomt langs de wand van de standleiding naar beneden. In het hart van deze stroom bevindt zich een kern van lucht. Bij het instromen van de bocht komt de waterfilm los van de buiswand en vormt bij de richtingsverandering een watergordijn waardoor de luchtdoorgang naar de standleiding wordt onderbroken. Al deze specifieke stromingseigenschappen veroorzaken een complex stromingspatroon en zijn meegenomen in de simulatie. Omdat hier sprake is van een relatief kleine volumestroom en dientengevolge een kleine luchtvolumestroom zijn bij de simulaties de drukvariaties in de leiding verwaarloosd. Het numerieke model is opgebouwd uit deeltjes met een afmeting van 2 mm, tijdsinterval 2.10^{-4} s en 11 s simulatietijd. De-ze combinatie

resulteert in een model van rond de 1 miljoen deeltjes. De totale rekentijd beslaat ongeveer 30 uur.

EFFECTEN VAN DE BOCHT

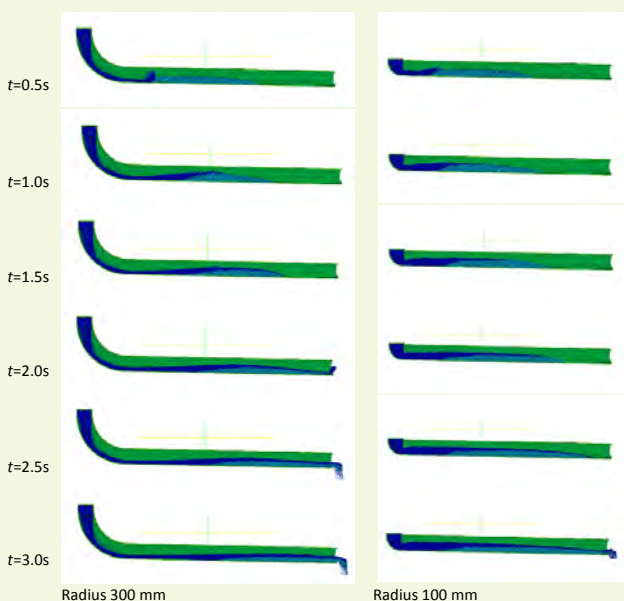
De simulatie genereert het stromingspatroon in de leiding en geeft dit weer in de kleuren blauw en donkergroen. Figuur 2 geeft de stroming in de leiding weer met een afschot van 2 cm/m. Links de leiding met een bocht-radius 300 mm en rechts met een bocht-radius 100 mm. Het instromende water in de liggende leiding is blauw en de substantie is te herkennen aan het blauwgroene patroon. Beide stromingen zijn links en rechts in de figuur goed met elkaar te vergelijken. Na een halve seconde passeert het water de bocht en raakt de substantie. In de linkerzijde van de figuur is te zien dat het water vloeiend door de bochten stroomt en met een grotere impact de substantie raakt dan met de stroming door één bocht met een radius van 100 mm. De substantie wordt over een grotere afstand in de liggende leiding ge-transporteerd. De rechterzijde toont de stroming in de leiding met de 100 mm radius. Het water verliest veel energie in de plotselinge overgang van de verticale naar de horizontale stromingsrichting. Het water raakt in vergelijking met de afbeeldingen links de substantie met een relatief lage snelheid. Daardoor is de transportafstand duidelijk minder. Het stromingspatroon van twee opeenvolgende 45° bochten met daartussen een rechte buis komt overeen met de bocht met een radius van 300 mm.

In figuur 3 is de transportafstand van de substantie af te lezen tijdens de continue water-stroom. De transportafstand is hier gedefinieerd als de afstand die het hart van de substantie heeft afgelegd. Bij de start van de

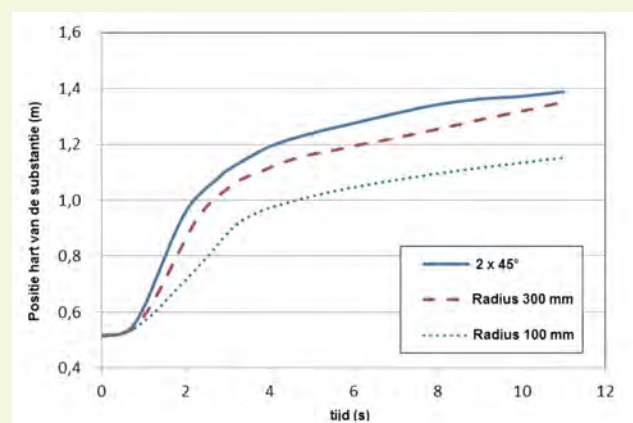


Boven: een 90° bocht met een radius 300 mm
Midden: een 90° bocht met een radius 100 mm
Onder: Twee bochten van 45° verbonden door een rechte leiding van 300 mm
-Figuur 1- Geometrie van de beschouwde afvoerleidingen. De substantie is blauw gekleurd

stroming ligt de substantie direct na de bocht. De blauwe lijn geeft de transportafstand bij twee bochten van 45° met daartussen een rechte buis weer, de onderbroken rode lijn de transportafstand bij een bocht met radius 300 mm en de gestippelde groene lijn de bocht met radius 100 mm. De overgang met twee bochten van 45° met daartussen een rechte buis presteert het beste, hetgeen overeenkomt met proeven bij echte testopstellingen. Dan volgt de bocht met een radius van 300 mm. Met andere woorden, hoe vloeiender de richtingsverandering van verticaal naar horizon-



< -Figuur 2- Stromingspatroon in de buizen en het transport van de substantie. Links een bocht met radius 300 mm en rechts een bocht met radius 100 mm (blauw: water, lichtgroen: substantie en groen: buis)



-Figuur 3- Transportafstand van substantie in de buis bij drie verschillende richtingsveranderingen

taal, des minder transportenergie er verloren gaat en des te beter het reinigingseffect in de afvoerleiding is. De bocht met een radius van 100 mm presteert duidelijk het slechtst, deze constructie mag niet worden toegepast. Figuur 4 toont het berekende aandeel van de substantie dat achterblijft in de liggende leiding met een lengte van 1,5 meter na 10 seconden. Bij de richtingsverandering met twee bochten 45° met een rechte buis – de blauwe lijn – bereikt na twee seconden een klein deel van de substantie het eind van de leiding en na 10 seconden is vrijwel alle substantie uit de leiding afgevoerd. Het transport bij de bocht met radius 300 mm is iets vertraagd t.o.v. dat met twee bochten 45°. De richtingsverandering met de bocht met radius 100 mm presteert het minst; de substantie bereikt het eind van de liggende leiding na drieënhalve seconden en na tien seconden ligt er nog circa 25% in de leiding.

INVLOED AFSCHOT

Met de computersimulatie is de invloed van het afschot bepaald met de configuratie met twee bochten van 45° met daartussen een rechte buis. In figuur 5 is de plaats van het hart van de substantie na enige seconden spoelen ten opzichte van de startpositie te zien. De blauwe lijn representeert een afschot van 1 cm/m en de groene 2cm/m. In de figuur is te zien dat er bij aanvang geen verschil optreedt, na drie seconden neemt de transportafstand

bij een afschot van 2 cm/m toe ten opzichte van 1 cm/m. Een afname van het afschot vermindert de stroomsnelheid en daarmee de transportafstand.

Heeft het afschot invloed op de hoeveelheid substantie die achterblijft in de leiding? Met de simulatie is dat ook te bepalen en te berekenen, zie figuur 6. De blauwe en groene lijn liggen nagenoeg op elkaar; het verschil is te verwaarlozen.

CONCLUSIES

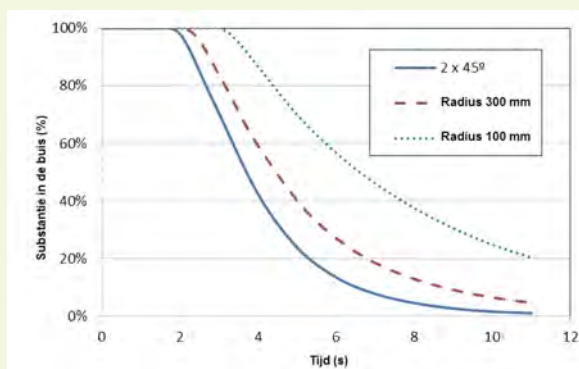
Met dit onderzoek toont de Cheng aan dat met computersimulaties de stroming in een afvoerleiding te modelleren is. Weliswaar met een aantal aannames en vereenvoudigingen, maar de resultaten komen vrij nauwkeurig overeen met observaties tijdens testen in meet-opstellingen. De richtingsverandering van verticaal naar horizontaal met een 90° bocht resulteert in een slecht stromingspatroon in de liggende buis, de transportafstand is ontoereikend voor een goed functionerend afvoersysteem. Met twee bochten 45° met daartussen een rechte buis verloopt de stroming vloeiend, het water komt met een hogere snelheid in de liggende leiding en heeft een goede impuls waardoor de substantie veel effectiever wordt afgevoerd.

Op de vraag of numerieke simulatie de echte experimenten gaan vervangen antwoordde de Cheng dat het zover nog niet is. Het is op dit moment nog geen betrouwbaar alternatief

voor de complexe stroming van een mengsel van vaste stoffen en vloeistoffen, maar hij ziet de toekomst van de simulatietechnieken met vertrouwen tegemoet.

REFERENTIES

1. A numerical study on waste transport in main drain, L.Y. Cheng, Water Supply and Drainage for Buildings CIBW062 symposium, Sao Paulo, 2014
2. Cheng C.L., Liao W.J., He K.C., Hsieh C.H. and Liu Y.C., 'Empirical approach to main drain system design and solid transportation performance in buildings', Building Services Engineering Research and Technology, 2013
3. Kagami H., Otsuka M., Nakato T. 'A study on discharge characteristics of water-saving toilets using different amounts of flushing water and the evaluation of the carry performance thereof', Water Supply and Drainage for Buildings CIBW62 symposium, Japan, 2013
4. Silva-Afonso A., Bernardo J., Pimentel-Rodrigues C., 'Implication of reduced flush volumes in building drainage: An experimental study', Water Supply and Drainage for Buildings CIBW62 symposium, Japan, 2013
5. Gormley M., Jean N., 'Modelling solid transport in shallow gradient pipe installations: application to simplified sewerage in an international development context', Water Supply and Drainage for Buildings CIBW62 symposium, Scotland, 2012
6. Lee E.W.M., Yu K.F., Xu L., 'Application of computational fluid dynamics for prediction of clogging locations in building drainage system', Water Supply and Drainage for Buildings CIBW62 symposium, Japan, 2013
7. Cheng L.Y., Oliveira L.H., E.H. Favero, 'Particle-based numerical analysis of drainage flow inside building system', Water Supply and Drainage for Buildings CIBW62 symposium, Scotland, 2012



Cheng

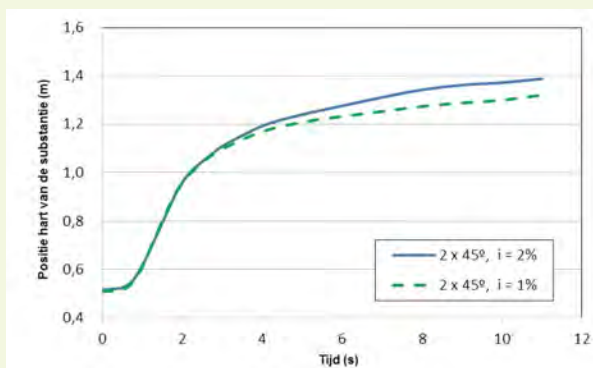


Van der Schee

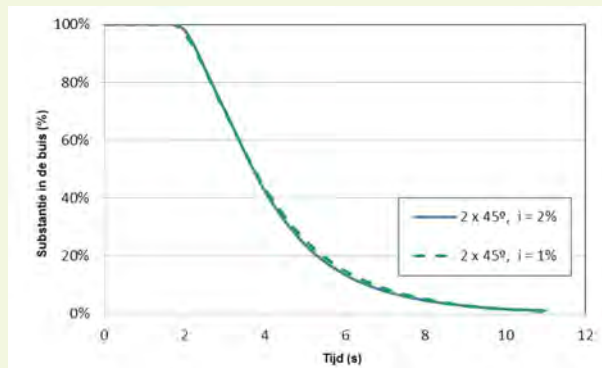


Scheffer

-Figuur 4- Percentage van de substantie die achterblijft in de grondleiding



-Figuur 5- Effect afschot op de transportafstand in de horizontale buis



-Figuur 6- Effect afschot op het aandeel substantie dat achterblijft in de buis