

Simulatiemodel voor bepaling transportafstand in afvoerleidingen

Als onderdeel van het TVVL ST-beleidsplan wordt door de Expertgroep Sanitaire Technieken deelgenomen 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 augustus 2016 organiseerde de universiteit van Kosice in Slowakije het symposium. Deelnemers uit verschillende landen presenteerden de resultaten van hun onderzoek. Prof. M. Otsuka presenteerde een onderzoek naar de transportafstand van spoellichamen in liggende afvoerleidingen [1].

M. Otsuka, Hoogleraar Architectuur en duurzaam ontwerp, Kanto Gakuin University, Japan
Vertaling en bewerking W.G. (Walter) van der Schee, Wolter & Dros te Amersfoort/TVVL Expertgroep Sanitaire Technieken; W.J.H. (Will) Scheffer, TVVL Expertgroep Sanitaire Technieken

De laatste jaren is er veel focus op het ontwikkelen van technieken om de aantasting van het milieu en de opwarming van de aarde voorkomen. Een van die aandachtspunten is waterbesparing. Op het gebied van waterbesparende closetcombinaties is reeds veel bereikt en die zijn inmiddels wereldwijd gemeengoed geworden in woningbouw, utiliteit en gezondheidszorg. Echter, waterbesparing heeft ook neveneffecten die aanvankelijk over het hoofd zijn gezien. Door schade en schande is men wijs geworden. Ten gevolge van een klein spoelvolume neemt de transportafstand in de liggende afvoerleiding af waardoor de vaste stoffen in de leidingen achterblijven en voor verstoppingen zorgen. Tijdens de CIB W062 symposia in Brazilië in 2014 [2] in Peking in 2015 [3] rapporteerden onderzoekers van de Kanto Gakuin Universiteit reeds over onderzoeken naar de transportafstand in een liggende afvoerleiding. Dit artikel beschrijft vervolgonderzoek en betreft de ontwikkeling van een simulatiemodel om de transportafstand in een horizontale afvoerbuis te berekenen. De resultaten worden

vergeleken met de uitkomsten van proeven in een laboratorium en om te bepalen of de simulatie een bruikbaar en nuttig hulpmiddel is voor het ontwerpen van de afvoerleidingen. Dit artikel doet verslag van de door het team van professor Otsuka verricht onderzoekswerk. De lezer die belangstelling heeft voor meer achtergronden en de bijbehorende formules wordt verwezen naar [1].

■ GLOBALE BESCHRIJVING ONDERZOEK

Het onderzoek bestaat uit twee delen; ontwikkelen van een simulatiemodel om de transportafstand te berekenen en metingen aan een proefopstelling in een laboratorium. Het onderzoek is uitgevoerd met drie typen waterbesparende closets; type I met 8,0 liter, type II 6,0 liter en type III met 4,8 liter. De toiletten zijn ieder aangesloten op twee verschillende leidingconfiguraties; a) een rechte leiding met een totale lengte van 18 m en b) een leiding met bochten, waarbij de lengte varieert tussen de 4 en 12,3 meter en het aantal bochten

varieert van een tot vijf. De middellijn van de leiding is 75 mm en het afschot 1:100. Voor de simulatie en de metingen worden twee 'spoellichamen' gebruikt. De spoellichamen zijn van samengevouwen toiletpapier verschillend in lengte en aantal lagen; type D, lengte toiletpapier 1 meter en samengevouwen tot zes lagen en type BL, lengte toiletpapier 0,9 meter en samengevouwen tot 4 lagen. Direct nadat het spoellichaam in volledig verzadigde toestand uit de uitstroomopening valt is de hoeveelheid geabsorbeerd water van het spoellichaam gewogen.

■ OVERZICHT SIMULATIES

De onderzoekers onderscheiden drie verschillende stromingssituaties in een liggende afvoerleiding om de transportafstand te calculeren in een simulatiemodel. In de voorgaande studies [2], [3] waar sponzen werden gebruikt als spoellichaam is alleen de trekkracht beschouwd als belangrijkste factor om het spoellichaam te transporteren. Het water stroomopwaarts van het spoellichaam

genereert de transportkracht. Dit onderzoek waar toilet papier wordt gebruikt houdt rekening met het effect dat het toilet papier een blokkade in de buis veroorzaakt waardoor het niveau van het spoelwater stroomopwaarts van het toilet papier stijgt waardoor een stuwende kracht F_{impact} ontstaat. Het spoelwater botst over het algemeen als eerste tegen het toilet papier waardoor een duwkracht F_{push} ontstaat.

Het rapport uit 2015 [3] stelt een methode voor om de wrijvingsweerstand en de opwaartse kracht te calculeren vanuit het gezichtspunt dat de weerstand tussen afvallichaam en de bodem van de leiding varieert met de waterhoogte in de leiding. In deze studie stelt men dat, in het geval van een met water doordrenkt spoellichaam, de wrijvingsweerstand niet wordt bepaald door de waterhoogte, maar door een kinetische wrijvingsweerstand F_r . Met formules berekenen de onderzoekers deze kinetische wrijvingsweerstand F_r . Een van de moeilijkheidsfactoren binnen de simulatie is het gedrag van het toilet papier tijdens het transport door de bochten, zie figuur 1. De spoellichamen van toilet papier worden in de bocht tegen de wand omhoog gedrukt en het spoelwater stroomt langs het closetpapier. Figuur 2 toont een illustratie van de stroming in de bocht zoals die in het calculatiemodel wordt gebruikt. Er is een duidelijke overeenkomst, ook hier is duidelijk te zien dat het water en toilet papier in de bocht omhoog komen onder invloed van de watersnelheid. Deze verstoring van de stroming heeft een negatieve invloed op de transportafstand.

BEPALING WRIJVINGSWEERSTAND

De wrijvingsweerstand is een van de aspecten die van invloed is op de transportafstand. Voor het ontwikkelen van een simulatiemodel is het daarom belangrijk om de kinetische eigenschappen van een spoellichaam te definiëren. Daartoe heeft men het spoellichaam, bestaande uit opgevouwen closetpapier, in een bakje water gelegd om water te absorberen totdat het verzadigd is. De bodem van het bakje is van PVC en de waterhoogte komt overeen met de waterhoogte in een afvoerleiding tijdens de spoeling. Rond het spoellichaam wordt een PVC-ring aangebracht die met een stang verbonden is met een meter die de trekkracht meet. Uit de gemeten trekkracht wordt de wrijvingsweerstand van het spoellichaam berekend (zie figuur 3). Op basis van de resultaten besluiten de onderzoekers voor spoellichaam D een $\mu' = 0,02$ te kiezen voor het spoellichaam BL $\mu' = 0,015$. Voor een uitgebreide beschrijving van deze bepalingen-



-Figuur 1- Closetpapier wordt in de bocht omhoog gedrukt, spoellichaam D is hier afgebeeld



-Figuur 3- Meten van de trekkracht voor het schuiven van toilet papier

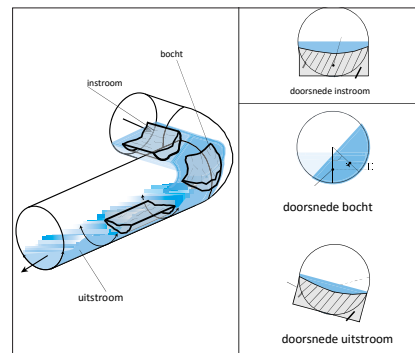
methode wordt verwezen naar de paper van het CIB W062 symposium in 2016 [1].

MINIMALE STROOMSNELHEID

Figuur 4a, op de volgende pagina, toont de berekende stroomsnelheid in de liggende leiding in relatie tot de transportafstand van het spoellichaam in een rechte leiding. Het spoellichaam BL stopt bij een stroomsnelheid tussen de 0,3 en 0,4 m/s, ongeacht de gebruikte hoeveelheid spoelwater. Spoellichaam D stopt bij een stroomsnelheid van 0,2-0,4 m/s.

In de leiding met bochten stoppen beide spoellichamen BL en D bij een stroomsnelheid van 0,2-0,4 m/s ongeacht de hoeveelheid gebruikt spoelwater, zie figuur 4b. Dit leidt tot de conclusie dat voor het transporteren van toilet papier in een liggende leiding een minimale stroomsnelheid van 0,4 m/s vereist is, welke waarde volgens de onderzoekers redelijk dicht bij de gebruikelijke condities ligt. De simulatie biedt de mogelijkheid om het effect van het spoelwater dat zich stroomopwaarts voor de spoellichamen verzamelt te berekenen. In het geval van de rechte buis, zoals figuur 9a weergeeft, begint zich een plas water te ontwikkelen na 4 tot 6 meter in de pijp en de aangroei gaat door tot het spoellichaam stopt. Dit effect is onafhankelijk van het type spoellichaam en de hoeveelheid spoelwater. De transportafstand varieert tussen de acht en dertien meter.

In het leidingsysteem met bochten verloopt het ontwikkelen van de plas water sneller. Dit komt tot uitdrukking in een steiler verloop van de curves in figuur 5a en 5b. Het spoellichaam komt sneller tot stilstand in een leiding met bochten. De ontwikkeling van de hoeveelheid spoelwater stroomopwaarts van het spoellichaam neemt af nadat het spoellichaam tot



-Figuur 2- Afbeelding uit de simulatie. Closetpapier wordt door de centrifugaal kracht omhoog geduwd.

stilstand komt. De transportafstand varieert tussen de zes en elf meter en neemt toe met een hogere hoeveelheid spoelwater. Duidelijk is hier het de invloed van richtingsveranderingen op de transportafstand waar te nemen.

VERGELIJKING TRANSPORTAFSTANDEN

De figuren 6a en 6b tonen het vergelijk tussen de gemeten en berekende transportafstanden voor de twee leidingconfiguraties en de twee spoellichamen (● of ■ is gemeten afstand, ○ of □ is berekende afstand). De gemeten transportafstanden zijn verkregen uit proeven met een testopstelling waarbij de spoeling tien maal is herhaald.

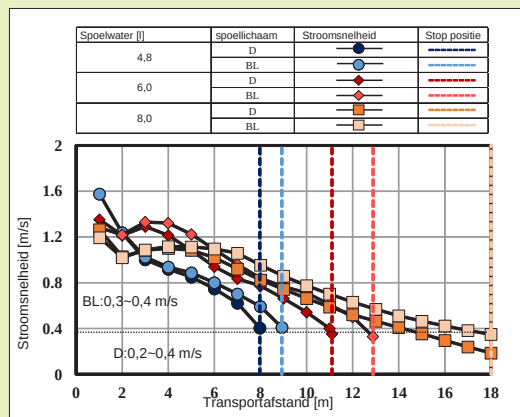
In het geval van de rechte leiding met een spoelvolumen van 6 liter is de variatie van de gemeten transportafstanden relatief groot (zie figuur 6a). Echter, als gemiddelde gemeten transportafstand wordt beschouwd, de gemeten transportafstand van spoellichaam D is 10,1 meter en de berekende transportafstand is 11,1 meter. Een verschil van slechts een meter. Voor spoellichaam BL is de gemiddelde gemeten transportafstand 13,1 en de berekende transportafstand 12,9 meter, een verschil van slechts 0,2 meter.

Voor de spoelvolumes van 4,8 liter en 8,0 liter komen de gemeten en berekende transportafstanden grofweg overeen, het verschil is kleiner dan één meter voor de twee spoellichamen.

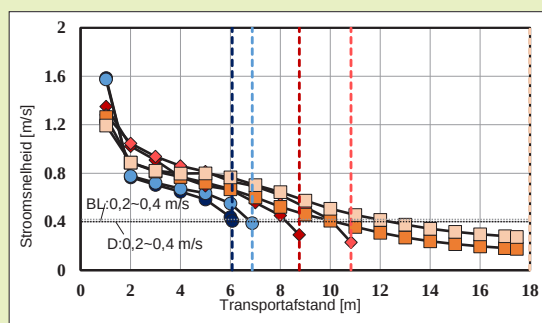
Als in acht wordt genomen dat toilet papier tijdens transport door een buis nooit dezelfde vorm zal hebben kan worden gesteld dat de berekeningen de transportafstanden vrij nauwkeurig hebben voorspeld.

In het leidingsysteem met de bochten (zie figuur 6b) is het verschil tussen de gemeten en berekende transportafstanden voor het spoellichaam D klein er dan een meter, ongeacht het volume spoelwater. Hetgeen betekent dat dat de gemeten en berekende transportafstanden nagenoeg overeen komen.

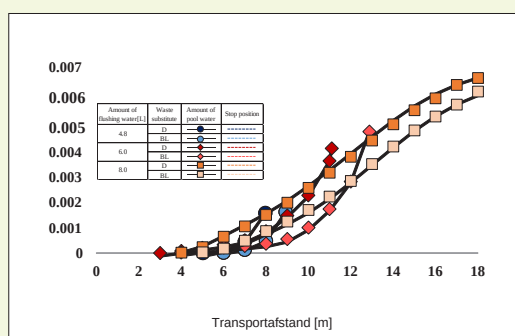
Echter, voor spoellichaam BL, is het verschil



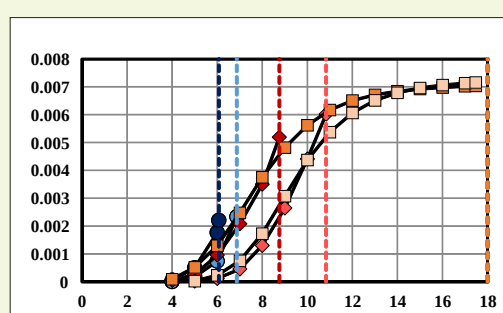
-Figuur 4a- Stroomsnelheid in relatie tot de stoppositie van de spoellichamen in een rechte leiding



-Figuur 4b- Stroomsnelheid in relatie tot de stoppositie van de spoellichamen in de leiding met bochten



-Figuur 5a- Hoeveelheid spoelwater stroomopwaarts van het spoellichaam en de transportafstand in een rechte leiding



-Figuur 5b- Hoeveelheid spoelwater stroomopwaarts van het spoellichaam en de transportafstand in een leiding met bochten

tussen de gemeten en berekende transportafstand 3,7 meter bij een spoelvolumen van 4,8 liter en 1,5 meter bij een spoelvolumen van 6,0 liter.

De onderzoekers stellen dat het verschil tussen gesimuleerde en gemeten waarden bij een spoelvolumen van 6,0 en 8,0 liter binnen de nauwkeurigheidsmarges vallen. Het relatief grote verschil tussen de gesimuleerde en gemeten transportafstanden wordt verklaard uit het feit dat de vorm van het toiletpapier drastisch wijzigt tijdens de stroming door de bochten en daardoor eveneens stuwende kracht van het water varieert.

CONCLUSIE

De onderzoekers van de Kanto Gakuin universiteit hebben onder leiding van professor M. Otsuka een simulatiemodel ontwikkeld om de transportafstand in een liggende afvoerleiding te voorspellen. Men heeft voor de simulatie toiletpapier gebruikt, wat volgens de onderzoekers een realistischer weergave van de werkelijkheid is dan het gebruik van sponzen als spoellichaam. Het onderzoek toont het volgende aan:

- dat in een rechte afvoerleiding met een totale lengte van 18 meter de afwijking tussen de gemeten en berekende transport-

afstand minder dan 1,0 meter is;

- dat in een leiding met een lengte van 18 meter en 17 bochten de afwijking tussen de gemeten en berekende transportafstand afhankelijk van het soort spoellichaam binnen de nauwkeurigheidsgrenzen valt;
- uit de proeven bleek dat de afwijking tussen de berekende en gemeten transportafstand maximaal 20% bedraagt;
- de minimale stroomsnelheid om toiletpapier te transporteren in een afvoerbuisc ligt tussen de 0,2 en 0,4 m/s. Deze waarde is lager dan de 0,6 m/s die wordt genoemd in de Japanse ontwerprichtlijn SHASE-S206.

De onderzoekers stellen dat het simulatiemodel geschikt is om de transportafstand binnen een acceptabele afwijking te berekenen. Het voordeel van een dergelijk simulatiemodel is dat men bij aanvang van een onderzoek start met berekeningen en op basis van de uitkomsten een testopstelling maakt om een beperkt aantal proeven daadwerkelijk uit te voeren. Dit levert een kostenbesparing op.

REFERENTIES

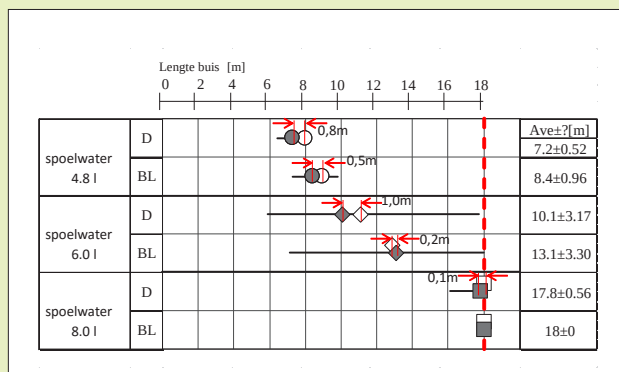
1. Study on a simulation method for determining drainage characteristics and carrying performance of a water-saving toilet

in relation to the horizontal drainpipe, Consideration of a calculation model using toilet paper; Masayuki Otsuka; CIB W062 2016; the 42th International Symposium Book of Papers (Kosice), pp. 308-321.

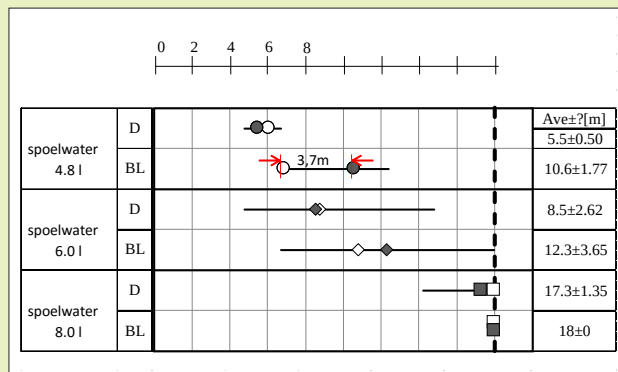
2. Basic study on a method for predicting the waste-carrying performance in the horizontal drainpipe of a water-saving toilet; Kazuya Akiyama, Masayuki Otsuka, Hiroshi Shigefuji; CIB W062 2014; the 40th International Symposium Book of Papers (Brazil), pp.131-142.
3. Further Consideration on the Prediction Method of Carrying Performance of Horizontal Drain Pipes for Water-Saving Toilets; Kazuya Akiyama, Masayuki Otsuka, Hiroshi Shigefuji; CIB W062 2015; the 41th International Symposium Book of Papers (Beijing, China), pp. 601-614.

Studies van de TVVL met betrekking tot transportafstanden van vaste stoffen en toiletpapier in liggende afvoerleidingen zijn:

- Voorstudie ST-7 'Studie naar de effecten van waterbesparende toestellen en hergebruik van water op het ontwerp van de binnenrioler', december 2000.
- Voorstudie ST-12 'Studie naar de effecten van waterbesparende wc's met een spoelvo-



-Figuur 6a- Vergelijk van berekende en gemeten transportafstand in een rechte leiding (● of ■ is gemeten afstand, ○ of □ is berekende afstand)



-Figuur 6b- Vergelijk van berekende en gemeten transportafstand in een leiding met bocht-ten (● of ■ is gemeten afstand, ○ of □ is berekende afstand)

lume kleiner dan 6 liter op het ontwerp van de binnenriolering', januari 2005.

- Voorstudie ST-14 'Studie naar de effecten van waterbesparende wc's met een spoelvolume van 4 liter op het ontwerp van de grondleiding', april 2007.
- Voorstudie ST-38 'Onder welke voorwaarden kan een closetspoeling kleiner dan 6 liter worden toegepast in Nederland', juli 2015.



de heer Otsuka



W.G. van der Schee



W.J.H. Scheffer

Duurzaam koelen



Duurzaam verwarmen



Duurzaam elektriciteit opwekken



Bespaar energie, CO₂ én kosten met Gasengineering!

Koelen, verwarmen, elektriciteit opwekken en tegelijkertijd energie en CO₂ besparen. Met de producten van Gasengineering kan het! Wij benutten primaire energiebronnen optimaal en streven zo naar een schonere en gezondere samenleving. Wij zetten aardgas lokaal om in warmte en/of koude en bereiken daarmee een veel hoger rendement en lagere CO₂-uitstoot dan elektrische warmtepompen. **Wij besparen energie, CO₂ én kosten voor onze klanten!**



Meer informatie over CO₂- en energiebesparing? Of advies over duurzame systemen op gas? Neemt u dan vrijblijvend contact met ons op!

GASENGINEERING

Bel 0348 413 485
www.gasengineering.nl