

Tests HDPE touwpompzuigertjes



Inhoud

1. Introductie.....	2
1.1 Doel.....	2
1.2 Geschiedenis	3
1.3 De Spuitgietmachine	3
1.4 De zuigertjes	3
2. Beschrijving testbank.....	4
2.1 De transmissie.....	4
2.2 Het wiel en touw	4
2.3 De opvoerbuis.....	4
2.4 Water afvoer	4
3. Duurtest	5
3.1 Test 1	5
3.2 Test 2 (2a).....	5
3.3 Test 2b	6
3.4 Test 2c.....	6
4. Metingen	7
4.1 Lek.....	7
4.2 Opbrengst: 36 zuigertjes.....	7
4.3 Opbrengst: 3 zuigertjes.....	7
4.4 De grafieken:	8
5. Conclusies	9

1. Introductie

Vanaf de winter van '95/96 is de WOT bezig geweest met de ontwikkeling van een eenvoudig te fabriceren spuitgietmachine. De aanleiding tot het maken van zo'n machine was het eenvoudig fabriceren van zuigertjes voor touwpompen. Bij de WOT is al eerder geëxperimenteerd met kunststof zuigertjes, maar deze werden of gedraaid uit een kunststof staf op een draaibank, of werden uit verwarmd kunststof buismateriaal in mallen gevormd. De eerste methode is erg arbeidsintensief en de tweede leverde geen bevredigende resultaten op.

1.1 Doel

Toen eenmaal zuigertjes met het eerste prototype van de spuitgietmachine geproduceerd konden worden, rees de vraag of deze van een goede kwaliteit zouden zijn. We hadden al zuigertjes meegegeven voor gebruik in Senegal, maar we kregen te horen dat de pompen met onze zuigertjes te zwaar liepen. Later bleek dat er te veel zuigertjes aan het touw bevestigd waren, en het vermoeden bij ons rees dat er te veel wrijving ontstond doordat de zuigertjes scheef door de buis werden getrokken. Tijdens het ontwikkelen van de spuitgietmachine, en de bijbehorende malletjes, hadden we al veel aandacht geschonken aan dit probleem. We waren uiteindelijk op het idee gekomen om het met koperen busjes te proberen, die onder de zuigertjes op het touw werden geklemd. Hierdoor zullen de zuigertjes recht door de buis worden getrokken i.p.v. scheef als er knopen werden gebruikt. Dit alles moest dus aan een praktijktest worden onderworpen, en er is besloten om hiervoor een testbank te bouwen, om de diverse tests te kunnen uitvoeren.

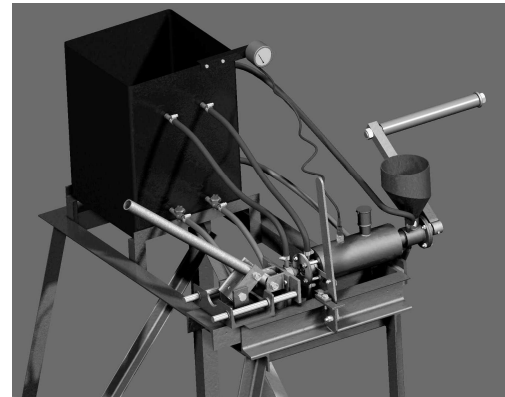
1.2 Geschiedenis

In 1994 zijn door de WOT al eerder tests uitgevoerd met touwpompen. Het ging hierbij om zuigertjes die gemaakt waren door PE buis warm te maken, en te vormen in een mal. PE is echter een zacht materiaal, en heeft erg te lijden van slijtage en breuk van het materiaal. Van de toen gebouwde testbank was het toerental niet variabel, en er waren toen diverse problemen met de testbank, maar ook met het materiaal van de pomp zelf. De hele testbank was toen gebouwd met voorhanden zijnde materialen. We hebben hiervan geleerd, en willen niet dat de testbank zelf onderwerp van de test is.

1.3 De Spuitgietmachine

Met het eerst prototype van de spuitgietmachine, waarmee de geteste zuigertjes geproduceerd zijn was in de tweede helft van '96 gereed om te proefdraaien.

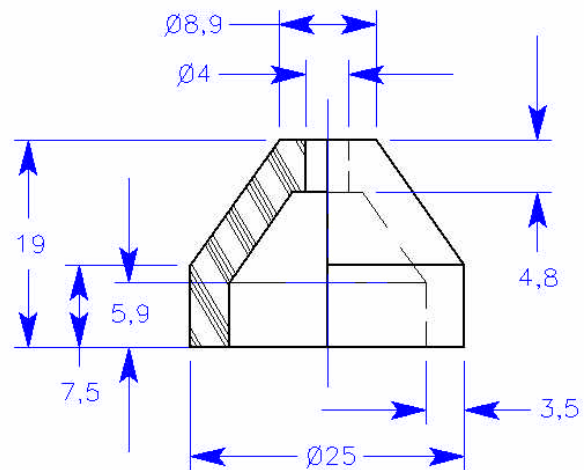
Deze eenvoudig geconstrueerde machine bestaat uit ten eerste, een buis met daarin een worm, om het materiaal te transporteren, en een vulopening. Dit geheel bevindt zich in een bak met olie, welk met een vuur onder deze bak verhit wordt, en zo de massa in de buis indirect verwarmt. Aan het eind van de buis zit de vulopening, waaraan het vrouwelijke malletje bevestigd zit. In het verlengde hiervan is het beweegbare mannelijke malletje opgesteld. Op deze malletjes is een waterkoeling gemonteerd om deze voldoende koel te houden. Het grote voordeel van deze machine is, dat hij op plaatsen gebruikt kan worden waar geen elektriciteit aanwezig is, omdat hij met de hand aangedreven wordt, en de machine is niet afhankelijk van een soort brandstof.



Tekening van de spuitgietmachine.

1.4 De zuigertjes

De keuze voor het materiaal waarmee de zuigertjes geproduceerd zijn is bepaald door hoofdzakelijk twee factoren, n.l.: slijtvastheid, en verkrijgbaarheid. HDPE is in ruime mate beschikbaar in de vorm van afgedankte plastic zakken en flessen, o.a. die waar schoonmaakmiddel in heeft gezeten. Het materiaal is bovendien sterk, slijtvast, en neemt geen water op. De grootste maten van de zuigertjes varieert van 24,9...25,1mm bij goed geproduceerde zuigertjes, en er zijn uitschieters bij van 24,6 tot 25,3 mm bij minder goed geproduceerde exemplaren.



Afmetingen van de zuigertjes.

2. Beschrijving testbank

2.1 De transmissie

Zie de bijlage voor een schematische tekening van de testopstelling. De TPTB is gemonteerd op een 12 meter hoge toren, binnen het frame van de grote PTB, waarop zuigerpompen getest kunnen worden. Onder aan de toren bevindt zich een 80cm diep bassin.

De TPTB bestaat uit een 180 Watt één fase motor met aangebouwde variator, welk een uitgaand toerental bereik heeft van 0...1500 rpm. Deze is via een tandriem overbrenging van 6:1 verbonden met de aandrijfjas, waar aan het andere uiteinde het touw wiel is gemonteerd. Dit geheel is gemonteerd op een stalen plaat, die op drie punten verbonden is met het PTB-frame. Twee van deze punten, aan de motor zijde, zijn enigszins scharnierend uitgevoerd, het andere punt, direct onder de aandrijfjas, bevat een krachtopnemer om indirect de krachten in het touw te kunnen meten.

Bij de as waar het touw wiel aan bevestigd is, zit een omwentelingsteller, Hiermee wordt continu het aantal gemaakte omwentelingen geregistreerd, waarmee weer het aantal meters getransporteerd touw valt af te leiden.

Door problemen met de krachtensensor en de bijbehorende elektronica zijn we helaas niet in staat geweest daadwerkelijk de krachten in het touw te meten.

2.2 Het wiel en touw

Het touw wiel is een zes-spakig wiel, waarvan elke spaak bestaat uit een 50 mm strip en een diagonaal van 10 mm staf. Aan de uiteinden van de spaken bevinden zich kikkers om de rubberen autobanddelen in te klemmen. De gegevens van de gebruikte band zijn: RADIAL (tubeless) 195/65 R15 91V. De effectieve diameter van het wiel is 407 mm.

Voor het touw is oranje nylon 8 mm touw gebruikt.

2.3 De opvoerbuï

Bij de opvoerbuï is gebruik gemaakt van standaard PVC rioleringsbuï en hulpstukken, met uitzondering van de doorzichtige acrylaatbuï in het onderste deel van de opvoerbuï.

Het opvoer gedeelte bestaat uit 32*3,2 PVC buï met een inwendige diameter van 25,0...25,5 mm die aan de onderkant opgetromd is, en ingeklemd is in een houten geleidingsblok zonder extra gewicht, met een geëmailleerd keramische touwgeleider. Tussen de PVC buï bevindt zich 310 mm vanaf de invoeropening de 1,92 m lange acrylaat buï, welke een iets grotere inwendige diameter heeft van 25,7 mm, en uitwendig 30 mm. De totale lengte van de opvoerbuï bedraagt 12,25 m.

Hierboven gaat de buï over naar een verbreding met een inwendige diameter van 65 mm en een hoogte van 520 mm, het hart van uitstroom bevindt zich op 67 mm boven de onderkant van de verbreding.

2.4 Water afvoer

De uitstroom is via een flexibele slang verbonden met een 1-1/4 duims stort pijp, met een inwendige diameter van ≈16 mm. Hiermee wordt het opgepompte water terug naar beneden geleid, en wordt opgevangen in een ontluichtingsbak met daaraan gekoppeld een flowmeter, waarna het water terug stort in het bassin.

Om het touw wiel is later een spatscherm gebouwd, om het van het wiel afspattende water op te vangen en te registreren.

3. Duurtest

Op 12 mei '98 was de testbank na een ontwerp, en bouw periode van twee maand klaar voor gebruik, alleen de meetelectronica van de krachtmeter functioneerde nog niet. Deze dag hebben we een paar uur op een laag toerental proefgedraaid, waarbij hij zeer rustig liep. De TPTB was hiermee gereed bevonden.

Het effectieve buisvolume per meter (dit is het buisvolume minus het touw en zuigertjes volume), is bepaald op 0,489 liter/meter. Dit is bepaald door direct de inhoud van de buis te meten met water en een maatbeker. Eerder was dit met gemeten maten berekend, en werd vastgesteld op 0,469 liter/meter, een afwijking van 4%.

De zuigertjes zijn genummerd van 01 t/m 42, hierbij is nummer 04 per abuis vergeten, en de zuigertjes 39 t/m 42 zijn nooit gemonteerd geweest. Van 10 zuigertjes zijn de maten en eigenschappen genoteerd, aan de hand waarvan de slijtage bepaald kan worden.

3.1 Test 1

Als eerst is de proefopstelling aan een visuele controle onderworpen, hierbij waren de zuigertjes 01 t/m 07 (6 stuks) met een knoop bevestigd, en de zuigertjes 08 t/m 38 met een koperen busje. De touwsnelheid was hierbij ingesteld op 0,46 m/s, een rustige snelheid waarbij de zuigertjes goed gevolgd konden worden. Af en toe bleef het touw even steken, maar bleef wel doorlopen, dit loste zich overigens na twee dagen vanzelf op. Door de acrylaat buis was goed te zien dat de zuigertjes die met een knoop waren bevestigd, er een stuk schever doorheen werden getrokken dan die met de busjes. Helaas kon op dit moment nog geen krachtmetingen worden uitgevoerd, en niet bepaald worden wat dit voor de wrijving betekende. Verder viel het op dat het touw en de zuigertjes draaiden, terwijl ze naar boven werden getrokken. Dit komt waarschijnlijk doordat er kracht op het touw komt te staan, en uit elkaar wil draaien.

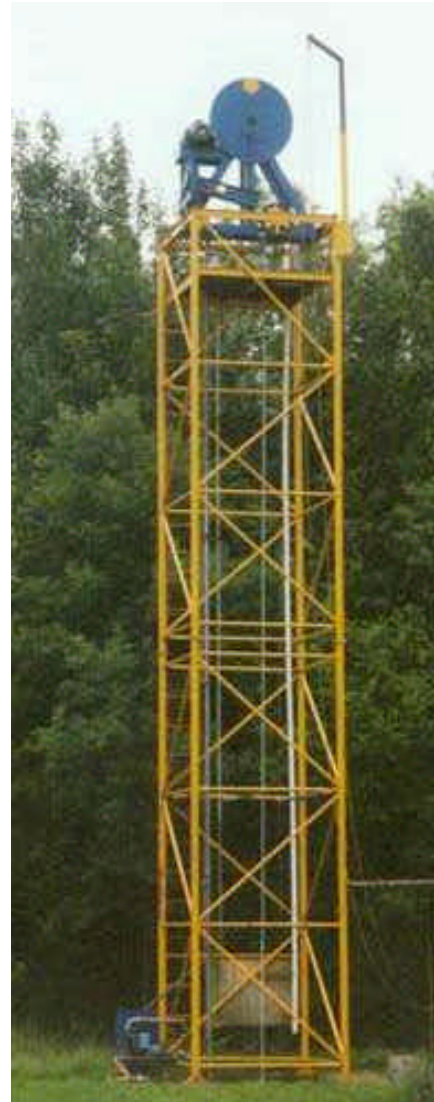
3.2 Test 2 (2a)

De knopen van de zuigertjes 01 t/m 07 zijn er nu uitgehaald, en vervangen door busjes, hierbij was zuigertje 01 overbodig en verwijderd (dus 36 zuigertjes bevestigd).

Op 14 mei '98 is begonnen met de duurtest om de kwaliteit van de zuigertjes onder praktijk omstandigheden te beproeven. De touwsnelheid was hierbij ingesteld op 0,58 m/s. De waterspiegel in het bassin varieerde tijdens deze periode van 280 tot 370 mm boven de invoeropening, dit komt neer op een gemiddelde opvoerhoogte van 11,9 m. Het opgepompte water bevatte geen zichtbare hoeveelheid bezinkbare deeltjes, hoewel het niet geheel helder was.

In deze periode heeft de testbank 534 uur gedraaid, en daarbij 510 m³ water opgepompt, het gemiddeld volumetrisch rendement lag daarbij op 93,0%.

De testbank draaide continu, waarbij door de weeks een pauze van één uur per dag werd aangehouden. Er hebben zich geen problemen voorgedaan met de testbank, en ook de zuigertjes hielden zich goed, slechts een klein randje was weggesleten, wat verder geen meetbare invloed had.



De testopstelling.

3.3 Test 2b

Nadat op 10 juni een spatscherm om het touw wiel gemonteerd was kon de touwsnelheid opgevoerd worden tot 1,36 m/s. Het water dat van het wiel af spetterde kon nu worden opgevangen, en met een dun slangetje direct terug naar het bassin beneden worden geleid, en dus niet samen met het opgepompte water gemeten. Er bleek dat er ongeveer 0,77 liter water per minuut van het touw en het wiel af spetterde, tegen 37,7 liter per minuut opgepompt, dit is 2% van het totaal opgepompte water.

Op 28 juni werd een daling van het volumetrisch rendement opgemerkt, en twee dagen later was dit teruggelopen tot 83,1%, terwijl het hiervoor op gemiddeld 92,4% lag. Deze snelle terugval van het rendement werd veroorzaakt door een versleten touw wiel, het touw slipte over het wiel, wat ook zichtbaar was aan het onrustige lopen van het touw. Er was vanaf 14 mei 3413 km touw door het wiel getransporteerd, en 1525 m³ water verpompt. De testbank is stil gezet, ook vanwege de aankomende vakantie.

Op 11 augustus zijn nieuwe banden (CONTINENTAL 195/55 R 15 84V CV90) gemonteerd op het wiel, en is de test voortgezet met een touwsnelheid van 1,28 m/s. Tot het eind van test 2b is er 1480 uur gedraaid, 5600 km touw getransporteerd en 2518 m³ water verpompt.

3.4 Test 2c

Omdat er tot nu toe geen aanwijsbare daling van het volumetrisch rendement, en er alleen wat visuele slijtage zichtbaar was, is besloten om de touwsnelheid op te voeren, omdat anders de test te lang zou gaan duren. Hiervoor moest eerst de afvoer worden vergroot, omdat deze nu aan zijn maximum zat. Er is gebruik gemaakt van de al aanwezige 1" afvoer pijp van de PTB.

Vanaf 1 september draait de TPTB met een touwsnelheid van 2,28 m/s, dit wordt nu beperkt doordat de motor nu aan zijn maximum vermogen zit. De testbank draait nu continu, d.w.z. er werden geen dagelijkse pauzes meer ingelast.

De slangen die het spatwater afvoerden zijn verwijderd en het spatwater wordt nu afgevoerd door de oude afvoerpijp, die nog steeds uitmondt in de ontluichtingsbak van de flowmeter. Het spatwater, wat 2,6 liter/min. bedraagt, en z'n 4,2% van de opbrengst uitmaakt, wordt daardoor nu ook meegemeten. Het volumetrisch rendement tijdens test 2c lag rond de 94,9% inclusief het spatwater, en zonder spatwater rond de 91,1%.

Op 22 september is deze test voorlopig stopgezet wegens de ernstige slijtage aan het touw. Veel zuigertjes zaten niet meer op hun oorspronkelijke plaats, en waren voor de koperbusjes gaan zitten, in plaats van dat ze erop rusten. Dit werd mogelijk veroorzaakt doordat de zuigertjes meer grip hebben op het wiel dan op het touw waar de waterkolom aan trekt. Het touw was op de plaatsen waar de zuigertjes hebben gezeten behoorlijk gerafeld en op enkele plaatsen zelfs in diameter gehalveerd. Het kunnen schuiven van de zuigertjes over het touw is hiervan de oorzaak geweest. Twee koperbusje waren zelfs verschoven naar een volgend busje, en tijdens het testen was te zien dat er op enkele plaatsen op het touw twee zuigertjes vlak achter elkaar zaten. Het is daarom belangrijk dat de zuigertjes zowel aan de onder als aan de bovenkant goed gefixeerd worden.

De zuigertjes zelf waren nog in een zeer goede staat, wat de opbrengst gegevens bevestigen. Aan de buitenkant waren slechts de randen iets afgerond, maar aan de binnenkant was de rand $\approx 0,7$ mm schuin afgesleten. Dit is veroorzaakt doordat het touw hier overheen schuurde.

In de laatste maand is vijf maal de omwentelingen teller verstoord geraakt, en moest op die dagen de tellerstand geschat worden aan de hand van de gemeten hoeveelheid verpompt water, en waren er voor deze dagen geen rendements getallen beschikbaar.

Tijdens test 2 heeft de testbank 1963,25 uur gedraaid, 4274,57 m³ water verpompt, en 9.252.002m touw getransporteerd.

4. Metingen

4.1 Lek

Tijdens test 2a, zijn er proeven gedaan om de lek langs de zuigertjes te bepalen. Als het toerental werd ingesteld op 1,8 rpm, dit komt overeen met een touwsnelheid van 2,56 meter per minuut, dan bleef het water net staan boven in de opvoerbuis. Omgerekend betekend dit dat er 1,25 liter water per minuut lekt.

4.2 Opbrengst: 36 zuigertjes

De dag nadat de rubberen banddelen vervangen waren door de tweede set, is een touwsnelheid-opbrengstmeting uitgevoerd.

Bij elk ingesteld toerental is gekeken hoelang het duurde totdat een emmer gevuld was tot het maatstreepje (10,2 liter). Er kon geen gebruik worden gemaakt van de flowmeter, omdat vooral bij de laagst ingestelde snelheden de flow beneden de ondergrens van de meter zou komen, en ook omdat elke meting te lang zou gaan duren voordat er een waarde uitkomt met een voldoende grote resolutie. Hier staat tegenover, dat het volume van de emmer minder nauwkeurig bepaald kon worden, en dat bij de hoogste pompsnelheden het klokken minder accuraat gebeurde, o.a. doordat hier de resolutie één seconde is op een kleinst geregistreerde tijd van 18 seconden.

Tijdens de metingen werd de tijd geregistreerd die nodig was voor één omwenteling van het touwwiel (T_0), dit is gemeten met een frequentie teller, en de tijd die nodig was voor het vullen van de emmer (T), gemeten met de stopwatch. Hieruit konden de volgende gegevens gedestilleerd worden:

* touwsnelheid	v_t	$(=1/T_0*1,28)$	[m/s]
* afgelegde touwlengte	l_t	$(=T*v_t)$	[m]
* pompvolume per meter	V/l	$(=10,2/l_t)$	[l/m]
* pompsnelheid (flow)	V/t	$(=10,2/T)$	[l/s]

** Voor het volume is als eenheid liters aangehouden, dit is een iets handzamere maat dan kubieke meter. Het getal 1,28 bij de touwsnelheid is de omtrekmaat van het touwwiel, en het getal 10,2 is de inhoud van de gebruikte emmer. "Pompvolume per meter" houdt in, de hoeveelheid verpompt water per meter getransporteerd touw.

Als de inverse van de touwsnelheid $[1/v_t]$ wordt uitgezet tegen de opbrengst in liter per meter $[l/m]$, dan levert dit een lineaire functie op, waaruit twee gegevens te halen zijn. De eerste is de effectieve inhoud van de buis, deze is af te lezen op het punt waar de touwsnelheid oneindig is, en deze is 0,465 liter per meter. Dit wijkt minder dan 1% af van de 0,469 l/m, ongeveer 5% af van de 0,489 l/m. Als tweede kan de lek worden afgelezen op het punt waar de opbrengst nul is, deze is 0,0225 liter per seconde, ofwel 1,35 liter per minuut. Dit is 8% meer dan de hiervoor bepaalde lek van 1,25 l/min.

Uit de metingen is gebleken dat de lek constant is, en onafhankelijk van de touwsnelheid.

4.3 Opbrengst: 3 zuigertjes

Op 7 oktober is een nieuw touw met daarop 3 zuigertjes gemonteerd op de testbank. Dit komt bij een touw van 27 meter neer op één zuigertje per negen meter. Ook hier zijn de zuigertjes weer met koperen busjes op het touw gemonteerd. Er is één dag proef gedraaid met een touwsnelheid van 2,15 m/s, waarbij het volumetrisch rendement op 77,1% lag.

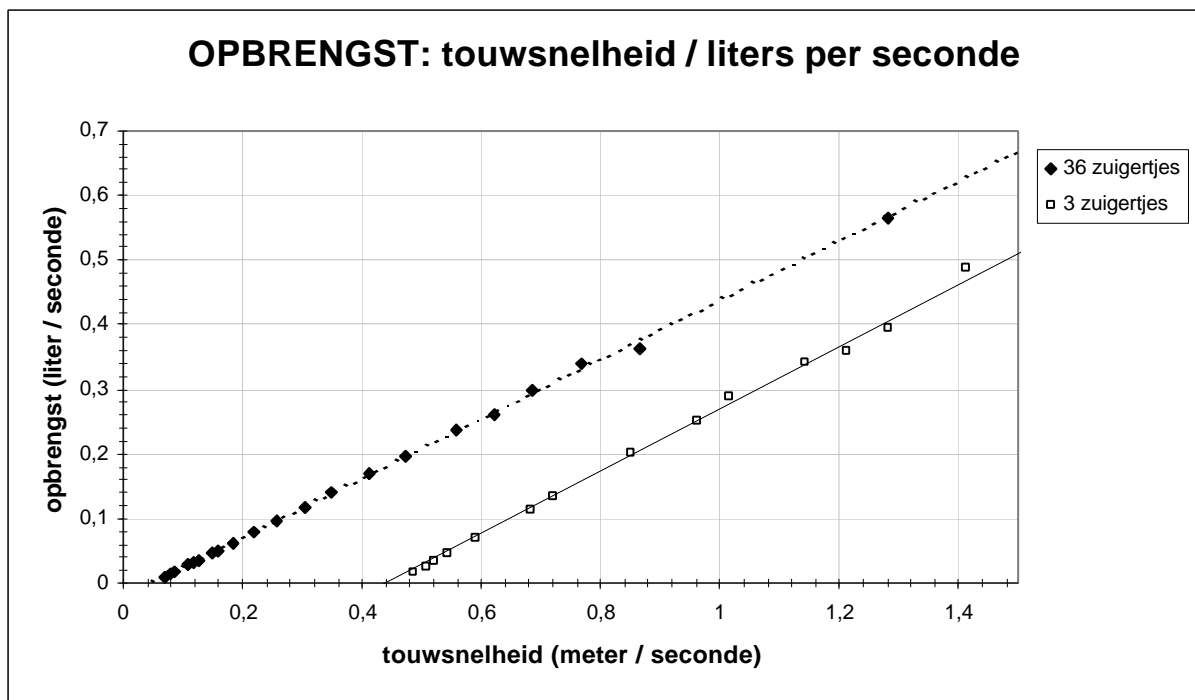
De volgende dag is een touwsnelheid-opbrengst meting gedaan met 3 zuigertjes aan het touw, dus om de negen meter een zuigertje. Deze meting is als hierboven beschreven uitgevoerd en verwerkt. Om de tijd te meten waarmee de emmer zich vulde is nu gebruik gemaakt van dezelfde frequentie meter als waarmee het toerental bepaald is, in plaats van de stopwatch.

Ook nu kon weer de effectieve inhoud van de buis bepaald worden, deze is 0,49 liter/ meter, wat gelijk is aan de berekende inhoud. De lek is bepaald op 0,219 liter per seconde, ofwel 13,14 liter per minuut. Ook nu bleek de lek weer constant te zijn, en onafhankelijk van de touwsnelheid. De minimale touwsnelheid waarbij de pomp start bleek 1,3 m/s.

4.4 De grafieken:

$m/s - l/s$

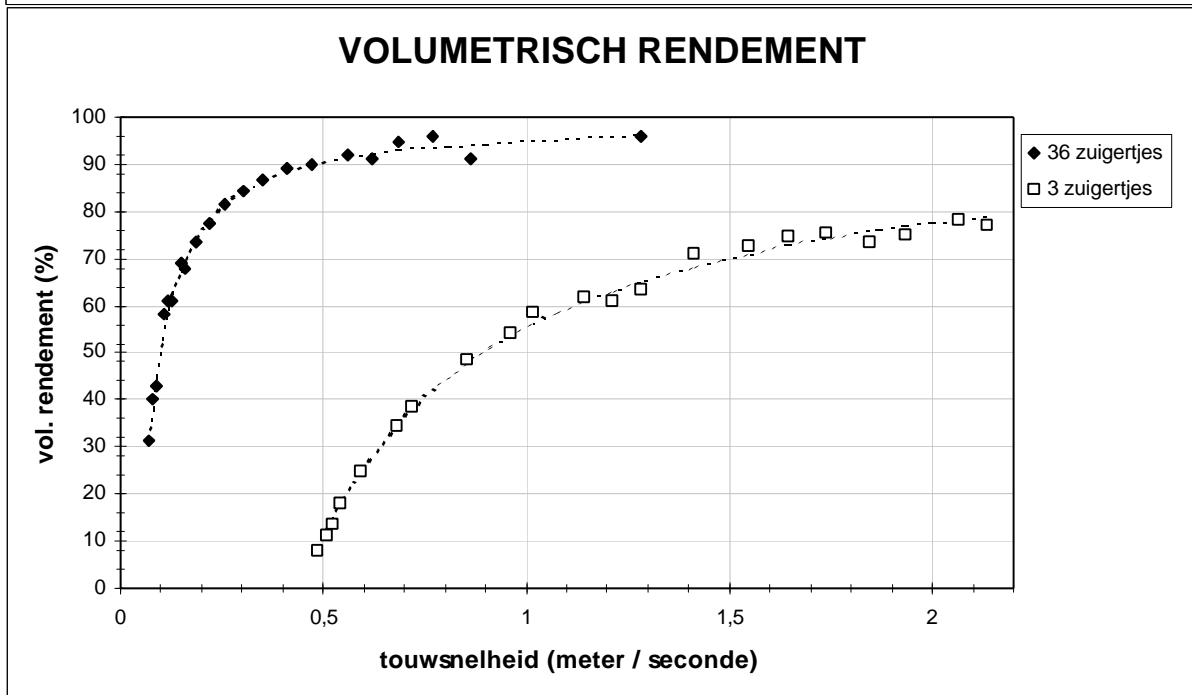
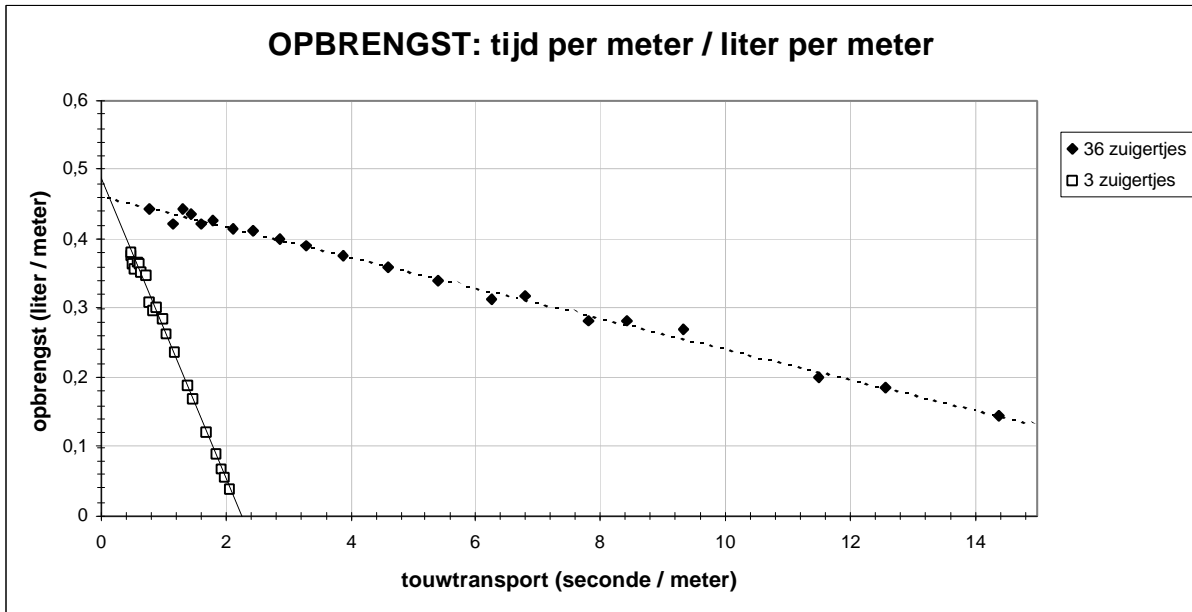
Als op de x-as de touwsnelheid in meters per seconden wordt uitgezet en op de y-as de opbrengst in liters per seconden dan levert dit een lineaire functie met een offset op. Als deze lijn vergeleken wordt met de theoretische opbrengst dan blijken deze lijnen evenwijdig te lopen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de verminderde opbrengst veroorzaakt door de lek constant is en onafhankelijk van de touwsnelheid.



$1/v_{\text{touw}} - l/m$

Op de x-as wordt de touw transport tijd uitgezet (Dit is de tijd dat het touw er over doet om 1 meter te verplaatsen). En op de y-as wordt de opbrengst in liters per meter uitgezet (dit is het aantal liters water dat is opgepompt bij een touw verplaatsing van 1 meter). Dit blijkt een lineaire functie te zijn waar twee gegevens uit te halen zijn. Als eerste de effectieve inhoud van de opvoerbuis. De lijn die de meetpunten met elkaar verbindt wordt doorgetrokken richting de y-as, dit is dus bij een oneindige touwsnelheid (het touw doet er op dit punt 0 seconden over om over een meter verplaatst te worden). In een tijd van 0 seconden kan er geen water weglekken (de lek is immers constant), zodat op dit punt al het water dat per meter touwtransport wordt opgepompt uit een meter buis komt, en dus gelijk staat aan de effectieve inhoud van de buis.

Als tweede gegeven kan de lek worden bepaald. De lijn die de meetpunten met elkaar verbindt wordt doorgetrokken richting de x-as, dit is het punt waar 0 liter water per meter touw transport wordt opgepompt. Dit betekent dus dat in de tijd dat het touw over een meter is verplaatst ook de inhoud van een meter buis is weggelekt. Dit levert een getal voor de lek op in seconden per liter.



5. Conclusies

De zuigertjes zoals deze geproduceerd zijn door de spuitgietmachine zijn van voldoende kwaliteit en zeer geschikt voor de touwpomp. De zuigertjes gaan veel langer mee dan het touw of de banden waaruit het wiel is gemaakt. De zuigertjes kunnen met een grote nauwkeurigheid en een kleinere speling gemaakt worden waardoor een kleinere lek mogelijk is, wat de opbrengst ten goede komt.

Dit en het feit dat afval kunststof hergebruikt kan worden weegt op tegen de gecompliceerdheid van de spuitgietmachine. Daar staat tegenover dat er slechts een machine gebouwd hoeft te worden voor een groter afzet gebied.

Helaas zijn er tot nu toe geen krachtmetingen uitgevoerd wegens de problemen met de meet elektronica.

