

44

Rapport 222

februari 1973

DRUKVERLIEZEN IN SPUITMACHINELEIDINGEN  
(Invloed op de verdelingsnauwkeurigheid)

ir. G.N. Spaink

*INSTITUUT  
VOOR LANDBOUWTECHNIEK EN RATIONALISATIE*



5321

35a

228 0130

## INHOUD

1. Inleiding	1
2. Enige aspecten uit de stromingsleer	1
2.1. De viscositeit	2
2.2. Drukverlies in toevoerleidingen	3
2.3. Drukverlies in spuitleidingen	5
2.4. De spuitdop	7
3. Rekenvoorbeelden	8
4. Slotbeschouwing	11
Grafieken betreffende de weerstand van toevoerleidingen	12
Grafieken betreffende de weerstand van spuitleidingen	14
Tabel: Viscositeiten van vloeibare kunstmest	16

## 1. INLEIDING

In de praktijk worden de leidingdiameters van spuitmachines veelal op gevoel en ervaring gekozen. Het is duidelijk dat onnodig ruime leidingen een prijsverhogend effect op de spuitmachine hebben, mede omdat afsluiters, driewegkranen, drukregelaar en verdere appendages in overeenstemming met de leidingdiameter gekozen moeten worden. Ruime leidingen geven nauwelijks weerstand tegen de vloeistofstroming, waardoor de optredende druk bij alle spuitdoppen gelijk is. Nauwe leidingen daarentegen bieden te veel weerstand aan de vloeistofstroming, waardoor de druk lager wordt naarmate we de leiding verder volgen. De manometerdruk wijkt hierdoor af van de druk bij de spuitdoppen; hiermee dient rekening te worden gehouden bij het samenstellen van de spuittabel of -grafiek. Ernstiger is het verschil in druk tussen een spuitdop bij de voedingsplaats van de spuitleiding en een spuitdop aan het eind van de leiding. Door dit laatste verschil ontstaat een onregelmatigheid in de vloeistofverdeling.

Vooral nu de belangstelling toeneemt voor spuitmachines, waarmee tevens vloeibare kunstmest verspoten kan worden, is het goed om de problematiek rond leidingen van spuitmachines eens nader te bekijken. In veel gevallen worden met vloeibare kunstmest meer liters per hectare verspoten dan bij chemische bespuitingen. Om een redelijke rijnsnelheid te handhaven wordt dan een grotere pomp geïnstalleerd, waardoor meer vloeistof door de leidingen moet stromen. Daarnaast is de viscositeit (duurvloeibaarheid) van vloeibare kunstmest veel hoger dan die van verdunde of opgeloste bestrijdingsmiddelen. Door beide oorzaken zal het drukverlies in de leidingen toenemen.

In dit rapport zal naast enige theoretische achtergrond getracht worden een voor de praktijk zo goed mogelijk bruikbare leidraad te geven om tot een juiste diameter van het leidingwerk te komen.

## 2. ENIGE ASPECTEN UIT DE STROMINGSLEER

Er kunnen twee soorten buisstroming worden onderscheiden:

- A Laminaire stroming (gelaagde stroming), waarbij alle vloeistofdeeltjes zich netjes in de richting van de buis bewegen, in het midden sneller dan aan de buiswand. De ondervonden weerstand hangt hierbij lineair af van de stroomsnelheid en van de "dikte" van de vloeistof, de viscositeit.

B Turbulente stroming (warrelige stroming), waarbij de vloeistof-deeltjes zich op een grillige wijze door de buis bewegen, dicht bij de wand gemiddeld bijna net zo snel als in het midden. De ondervonden weerstand hangt hierbij bijna kwadratisch af van de stroomsnelheid (bij driemaal zo hoge stroomsnelheid bijna negenmaal zoveel weerstand), terwijl de invloed van de viscositeit aanzienlijk minder is dan bij de laminaire stroming.

Aan de hand van het getal van Reynolds kunnen we bepalen met welk type stroming we te maken hebben:

Getal van Reynolds =  $Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$ , waarin:

V = stroomsnelheid in mm/sec of m/sec

D = inwendige diameter van de leiding in mm of m

$\nu$  = kinematische viscositeit in  $\text{mm}^2/\text{sec}$  (centistokes) of  $\text{m}^2/\text{sec}$

Let wel: zorg er voor dat V, D en  $\nu$  in bij elkaar passende eenheden staan!

De stroming is laminair tot  $R = 1500$  en wordt turbulent boven

$Re = 2300$ , daartussen bevindt zich een overgangsgebied.

Bij spuitmachines hebben we overwegend met turbulente stroming te maken. Met vloeibare kunstmest en ruime leidingen kan ook wel eens laminaire stroming optreden.

## 2.1. De viscositeit

De "dikte" van een vloeistof kan op vele manieren worden vastgelegd (net als bijvoorbeeld temperaturen in graden Celsius of Fahrenheit).

Meestal berust de meting op de bepaling van uitstroomtijden van een zekere hoeveelheid vloeistof door een bepaald gat of buisje. Voor berekeningen maken we bij voorkeur gebruik van de eenheid centiStokes (afgekort cSt); met behulp van tabellen brengen we de opgegeven viscositeit (Redwood Seconds, Saybolt Universal Seconds, graden Engler, e.d.) over in cSt. De overgang van cP (centi Poise) naar cSt kunnen we berekenen; hiervoor geldt:

$$cSt = cP \text{ gedeeld door soortelijk gewicht} \\ (\text{s.g. in } \text{gr}/\text{cm}^3 \text{ of } \text{kg}/\text{liter}).$$

De viscositeit van een vloeistof is vrij sterk afhankelijk van de temperatuur. Water van 20 °C heeft een viscositeit van 1 cSt, water van 0 °C: 1,79 cSt. Bij het samenstellen van de grafieken voor waterige oplossingen is er in dit rapport van uitgegaan dat een vloeistof met een viscositeit van 3 cSt zonder ontoelaatbare drukverliezen verspoten moet kunnen worden.

Een spuitmachine, die geschikt is voor vloeibare kunstmest, moet aan andere eisen voldoen in verband met de hogere viscositeit. De viscositeit van vloeibare kunstmest is behalve van de temperatuur sterk afhankelijk van de samenstelling (zie tabel achter in dit rapport). Als uitgangspunt voor de grafieken voor vloeibare kunstmest is de 15-50-0 oplossing niet geschikt, omdat deze oplossing vrijwel altijd wordt gemengd met de 39-0-0 oplossing. Veel toegepaste mengsels zijn 27-27-0, 30-15-0, 31,1-20-0 en 26,3-26,3-0. Bij 10 °C hebben we dan rekening te houden met een viscositeit van ca. 20 cP. Dit komt overeen met 14 cSt.

2.2. Drukverlies in toevoerleidingen

Voor laminaire buisstroming geldt de formule:

$$\Delta p = \frac{64 \cdot v^2 \cdot l}{Re \cdot 2g \cdot D}$$

We weten:  $Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$

verder geldt:  $v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2}$

$$Re = \frac{4 Q}{\pi D \nu}$$

$$\Delta p = 4,15 \frac{Q \nu}{D^4} l \dots\dots\dots(1)$$

Voor turbulente stroming in technisch gladde buis geldt:

$$\Delta p = 0,316 Re^{-\frac{1}{4}} \frac{v^2 \cdot l}{2g \cdot D}$$

waarbij:  $Re = \frac{4 Q}{\pi D \nu}$

$$\Delta p = 0,0247 \frac{v^{\frac{5}{4}} Q^{\frac{1}{4}}}{D^{\frac{5}{4}}} l \dots\dots\dots(2)$$

In deze formules is:

$\Delta p$  = drukverlies in meter vloeistofkolom

$v$  = gemiddelde stroomsnelheid in m/sec

$g$  = zwaartekrachtversnelling =  $9,81 \text{ m/sec}^2$

$l$  = leidinglengte in m

$D$  = inwendige leidingdiameter in m

$Q$  = volumestroom in  $\text{m}^3/\text{sec}$

$\nu$  = viscositeit in  $\text{m}^2/\text{sec}$  ( $1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ )

$\pi = 3,1417\dots$

Uit de formules zien we duidelijk hoe belangrijk de diameter is. Het verschil in diameter tussen een leiding van 12 en 15 mm lijkt niet zo groot, het verschil in weerstand is een factor 3 voor turbulente stroming!

Voor de berekening van het drukverlies in leidingen moet eerst worden bepaald of de stroming laminair of turbulent is; met formule (1) of (2) kan dan het drukverlies worden bepaald. Eenvoudiger is het echter gebruik te maken van de grafieken 1 en 2, waarin voor een groot aantal leidingdiameters het drukverlies per meter (in atmosferen) voor verschillende waarden van  $Q$  (in liter/minuut) kan worden afgelezen.

Grafiek 1 geldt voor waterige oplossingen ( $\nu = 3 \text{ cSt}$ ; s.g. = 1);

grafiek 2 geldt voor vloeibare kunstmest ( $\nu = 14 \text{ cSt}$ ; s.g. = 1,36).

De berekening van leidingweerstand is voor de praktijk vooral noodzakelijk voor de toevoerleidingen van de verschillende afsluitbare spuitboomgedeelten. Deze toevoerleidingen hebben vaak verschillende lengten en daardoor verschillend drukverlies. Als deze delen uit verschillende aantallen spuitdoppen bestaan is de volumestroom in de toevoerleidingen ook nog verschillend. Verschillen in drukverlies hebben verschillende drukken bij de spuitdoppen tot gevolg, waardoor een onregelmatige verdeling ontstaat. Aan de hand van het rekenvoorbeeld in hoofdstuk 3 wordt dit nader toegelicht.

N.B. In toevoerleidingen komen vaak scherpe bochten en slangpilaren voor. De weerstand van een leidingknie of slangpilaar is door de abrupte stroomrichtingverandering of diametervernauwing veel groter

dan van een even lang stuk leiding van de nominale diameter. Als nu maar in alle toevoerleidingen dezelfde (en hetzelfde aantal) obstakels voorkomen, kan nog op de bovenstaande manier het verschil in drukverlies nauwkeurig worden bepaald. De weerstand van een scherpe bocht is niet te berekenen. De weerstand van een slangpilaar kan bepaald worden door deze op te vatten als een kort stukje leiding met dezelfde inwendige diameter als de slangpilaar. De aldus berekende weerstand zal ten gevolge van in- en uitstromingsverschijnselen iets lager zijn dan in werkelijkheid.

De moraal: 1. Vermijdt scherpe bochten (en vooral knieën).

2. Tromp de slangeinden op, waardoor zij op slangpilaren passen met dezelfde inwendige diameter als de leiding.

### 2.3. Drukverlies in spuitleidingen

In spuitleidingen neemt de volumestroom af naarmate de leiding verder wordt gevolgd, zie fig. 1.

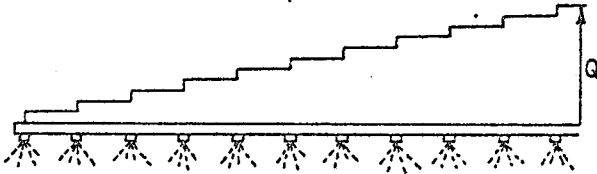


Fig. 1 Volumestroomverloop in een spuitleiding.

Om verdere berekeningen mogelijk te maken benaderen we de trapsgewijs afnemende volumestroom van fig. 1 met een lineair afnemende volumestroom, zoals aangegeven in fig. 2. De fout die we door deze linearisering maken is zeer gering. Een bijkomend voordeel is dat we geen rekening behoeven te houden met de onderlinge afstand van de spuitdoppen.

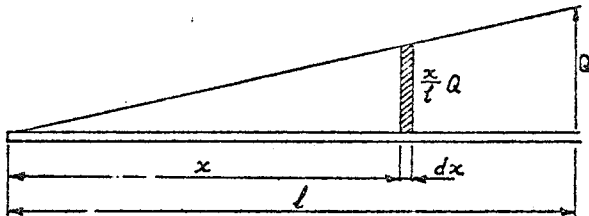


Fig. 2 Gelineariseerd volumestroomverloop in een spuitleiding.

Als we het stukje "dx" erg klein maken, geldt voor de volumestroom in dat stukje:  $\frac{x}{l} Q$ ; afhankelijk van de soort van stroming kan met formule 1 of 2 de weerstand worden berekend. Tellen we de weerstand van alle stukjes "dx" bij elkaar op (integreren) dan weten we de weerstand van de gehele spuitleiding.

Voor laminaire stroming krijgen we dan:

$$\Delta p = \int_0^l 4,15 \frac{\frac{x}{l} Q \cdot \nu}{D^4} dx = 2,075 \frac{Q \cdot \nu}{D^4} l \dots\dots\dots (3)$$

Indien de stroming tot dicht bij het eind van de spuitleiding turbulent is, kunnen we berekenen:

$$\Delta p = \int_0^l 0,0247 \frac{\nu^{\frac{1}{2}} \left( \frac{x}{l} Q \right)^{1\frac{1}{2}}}{D^{4\frac{1}{2}}} dx = 0,00898 \frac{\nu^{\frac{1}{2}} \cdot Q^{1\frac{1}{2}}}{D^{4\frac{1}{2}}} l \dots\dots\dots (4)$$

Het is ook mogelijk dat de weerstand in het eerste deel van de spuitleiding turbulent is en in het laatste deel laminair. De weerstand kan dan worden berekend door van beide formules gebruik te maken.

Door de weerstand van de spuitleiding zal de druk bij de voedingsplaats hoger zijn dan aan het eind van de leiding. Hierdoor ontstaat een onregelmatige verdeling van de verspoten vloeistof. Door berekening kan van te voren voorspeld worden of deze onregelmatigheid al dan niet toelaatbaar is (zie ook hoofdstuk 2.4).

Om gemakkelijker en vooral ook sneller tot een resultaat te komen gebruike men grafiek 3 (drukverlies in spuitleidingen voor waterige oplossingen) of grafiek 4 (idem voor vloeibare kunstmest). Voor een juist gebruik van deze grafieken kan nog worden opgemerkt dat de volumestroom in de spuitleiding nabij de voedingsplaats moet worden genomen en dat de spuitleiding gemeten wordt vanaf de voedingsplaats (zie fig. 3).

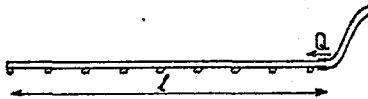


fig. 3a. Spuitleiding met éénzijdige toevoer.

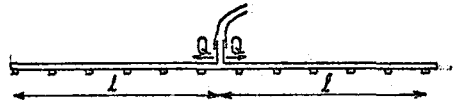


fig. 3b. Symmetrische toevoer.





fig. 3c. Spuitleiding met asymmetrische toevoer.

#### 2.4. De spuitdop

De eigenschappen van spuitdoppen worden vrijwel uitsluitend opgegeven voor water ( $\nu = 1 \text{ cSt}$ ; s.g. = 1); ook de spuittabel of -grafiek van de spuitmachine is hierop meestal gebaseerd. Theoretisch kan worden aangetoond dat de uitstromende hoeveelheid evenredig is met de wortel uit de drukhoogte: 9 x zo hoge druk levert 3x zoveel vloeistof.

Indien we met water en vloeibare kunstmest dezelfde hoeveelheid willen verspuiten, dan moet de drukhoogte gelijk zijn. De drukhoogte is de druk in meters vloeistofkolom. Doordat water een soortelijk gewicht heeft van 1 en vloeibare kunstmest - afhankelijk van de samenstelling -  $1,3 \div 1,4$ , moet de druk van vloeibare kunstmest dus op een  $1,3 \div 1,4$  zo hoge waarde worden ingesteld.

Het bovenstaande geldt voor alle typen spuitdoppen. Voor het verspuiten van vloeibare kunstmest wenst men in het algemeen een grove druppel in verband met gevaar voor drift en/of verbranding. Dit wordt vooral bereikt door de keuze van een lage spuitdruk en ook nog door het type en de maat van de spuitdop. In het algemeen geven ketsdoppen iets grovere druppels dan spleetdoppen en werveldoppen; naarmate de spuitdop groter wordt, worden de druppels grover. Vooral bij lage spuitdrukken hebben de drukverliezen van toevoer- en spuitleidingen een grote invloed op de onregelmatigheid van de vloeistofverdeling. Een moderne spuitmachine moet geschikt zijn voor het werken met drukken vanaf 1 atm. werkelijke spuitdruk (de manometerdruk kan hierbij hoger zijn)! Noemen we de max. optredende spuitdopdruk  $p_{\text{max}}$  en de minimale  $p_{\text{min}}$ , dan kunnen we voor het debiet van deze beide doppen opschrijven:

$$Q_{\text{max}} \approx \sqrt{p_{\text{max}}}$$

$$\text{en } Q_{\text{min}} \approx \sqrt{p_{\text{min}}}$$

De verdelingsonregelmatigheid tengevolge van de druk kunnen we als volgt definiëren:

$$S_p = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\text{gem}}} \times 100\% = 2 \frac{P_{\max} + P_{\min} - 2\sqrt{P_{\max} \cdot P_{\min}}}{P_{\max} - P_{\min}} \times 100\% \dots\dots (5)$$

Stellen we als eis:  $S_p < 5\%$ , dan kan berekend worden

$$P_{\max} < 1,1 P_{\min} \dots\dots\dots (6)$$

Onderlinge verschillen tussen de spuitdoppen veroorzaken eveneens een bepaalde onregelmatigheid van het spuiten. De afwijkingen in het debiet van spuitdoppen mag maximaal 5% van het gemiddelde bedragen. Omdat de onregelmatigheid t.g.v. de druk een systematisch verschijnsel is en die t.g.v. de onderlinge spuitdopverschillen willekeurig, is het korrekert om voor  $S_p$  een zwaardere eis op te stellen. De hierboven gestelde eis  $S_p < 5\%$  is inderdaad zwaarder, immers  $S_p$  is gebaseerd op de maximaal optredende onderlinge afwijkingen en niet op afwijkingen ten opzichte van het gemiddelde.

### 3. REKENVOORBEELDEN

We gaan eens een spuitmachine doorrekenen op drukverliezen in de leidingen. De van belang zijnde gegevens staan hieronder vermeld:

- Werkbreedte : 18 meter, verdeeld in 4 secties van 4½ meter
- Spuitleiding : inw. Ø 15 mm
- Toevoerslangen : ¼"; 2 stuks 4 meter lang; 2 stuks 8½ meter  
toevoerslang is aangesloten in het midden van de  
spuitboomsectie
- Pompcapaciteit : 90 l/min

In fig. 4 is een en ander schematisch weergegeven. Op de plaatsen A is de laagst optredende spuitdruk te verwachten en op de plaatsen D de hoogste.

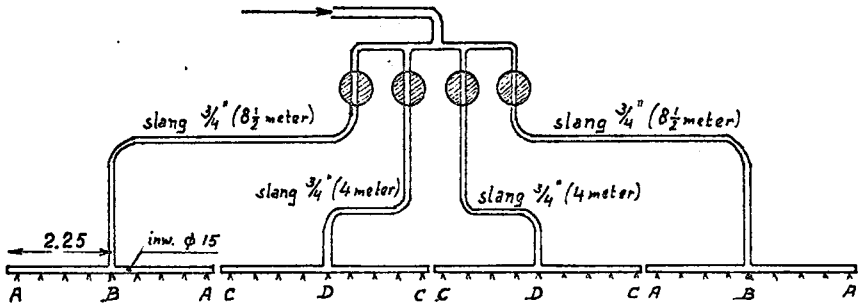


Fig. 4 Spuitmachine uit rekenvoorbeeld

Berekening

Door elke toevoerslang zal maximaal  $\frac{1}{4}$  van de pompcapaciteit stromen, dus  $\frac{1}{4} \times 90 \text{ l/min} = 22,5 \text{ l/min}$

In grafiek 1 zoeken we op de horizontale as 22,5 l/min op. Vanuit dit punt gaan we vertikaal omhoog tot we de lijn voor  $\frac{3}{4}$ " leiding snijden. Een horizontale lijn door dit snijpunt geeft op de verticale as een waarde van 0,015 at/meter.

Dit betekent voor de korte toevoerslangen een drukverlies van  $4 \times 0,015 = 0,06$  atmosfeer en voor de lange toevoerslangen  $8\frac{1}{2} \times 0,015 \approx 0,128$  atmosfeer.

Het drukverlies in de spuitleiding bepalen we op soortgelijke wijze met grafiek 3. De lengte van een halve spuitleidingsectie is 2,25 m. Hiervoor geldt een maximale volumestroom  $Q = 11,25 \text{ l/min}$ ; verder weten we  $D = 1,5 \text{ cm}$ .

Grafiek 3 geeft aan 0,0052 at/meter; het drukverlies bedraagt dus  $2,25 \times 0,0052 = 0,012$  atmosfeer.

Het drukverlies naar spuitdop A bedraagt dus:  $0,128 + 0,012 = 0,14$  at. Het drukverlies naar spuitdop D bedraagt 0,06 at. Het verschil in spuitdruk is dus 0,08 at. Stellen we de druk zodanig in dat  $P_{\text{max}} = P_{\text{D}} = 1 \text{ at}$ , dan is  $P_{\text{min}} = P_{\text{A}} = 0,92 \text{ at}$ . In dit geval wordt aan de eis van formule 6 voldaan, immers  $p_{\text{max}} = 1,087 p_{\text{min}}$ .

Eventueel kan m.b.v. formule 5 worden berekend:

$$Sp = 2 \frac{1,0 + 0,92 - 2\sqrt{1,0 \times 0,92}}{1,0 - 0,92} \times 100\% = 4,2\%$$

Indien met deze machine vloeibare kunstmest wordt verspoten, kan met behulp van de grafieken 2 en 4 worden bepaald:

$$\text{drukverlies korte toevoerslang: } 4 \times 0,025 = 0,1 \text{ at.}$$

$$\text{drukverlies lange toevoerslang: } 8,5 \times 0,025 \approx 0,213 \text{ at.}$$

$$\text{drukverlies spuitleiding} \quad : 2,25 \times 0,0145 \approx 0,033 \text{ at.}$$

Stellen we de druk weer zodanig in dat  $p_{\text{max}} = P_D = 1 \text{ at}$ , dan is  $p_{\text{min}} = P_A = 1,0 + 0,1 - 0,213 - 0,033 = 0,854 \text{ at}$ . Hier wordt niet voldaan aan de eis van formule 6, immers  $p_{\text{max}} = 1,17 p_{\text{min}}$ . Met formule 5 kan ook nu weer de verdelingsonregelmatigheid bepaald worden:

$$Sp = 2 \frac{1,0 + 0,854 - 2 \sqrt{1,0 \times 0,854}}{1,0 - 0,854} \times 100\% = 6,4\%$$

N.B. Bij een drukinstelling waarbij  $p_{\text{max}} = 1,5 \text{ at}$  wordt wel voldaan aan de eis van formule 6. De lezer controleer dit zelf.

Met vloeibare kunstmest worden veelal hogere giften uitgebracht dan bij chemische bespuitingen; om toch een redelijke rijsnelheid aan te kunnen houden wordt een pomp van 180 l/min op deze machine geplaatst. De maximale volumestroom in de toevoerslangen wordt 45 l/min en in de spuitleiding 22,5 l/min. Evenals hierboven wordt nu berekend:

$$\text{drukverlies korte toevoerslang: } 4 \times 0,10 = 0,40 \text{ at}$$

$$\text{drukverlies lange toevoerslang: } 8,5 \times 0,10 = 0,85 \text{ at}$$

$$\text{drukverlies spuitleiding} \quad 2,25 \times 0,033 = 0,074 \text{ at}$$

wordt de druk weer zodanig ingesteld dat  $p_{\text{max}} = P_D = 1,0 \text{ at}$ , dan is  $p_{\text{min}} = P_A = 1,0 + 0,4 - 0,85 - 0,074 = 0,576 \text{ at}$ . Hier wordt de eis van formule 6 zeer sterk overschreden, immers  $p_{\text{max}} = 1,74 p_{\text{min}}$  ( $Sp = 27,4\%$ ). Eerst bij een instelling, waarbij  $p_{\text{max}} = 4,8 \text{ at}$ . wordt aan de eis voldaan.

#### Samenvatting en conclusies

De spuitmachine, die we zojuist hebben doorgerekend op drukverliezen in de leidingen, is geschikt voor het verspuiten van waterige oplossingen (bestrijdingsmiddelen e.d.). De machine is minder geschikt voor het verspuiten van vloeibare kunstmest; als voor deze laatste toepassing de montage van een grotere pomp wordt overwogen, dan moet dit met klem worden afgeraden.

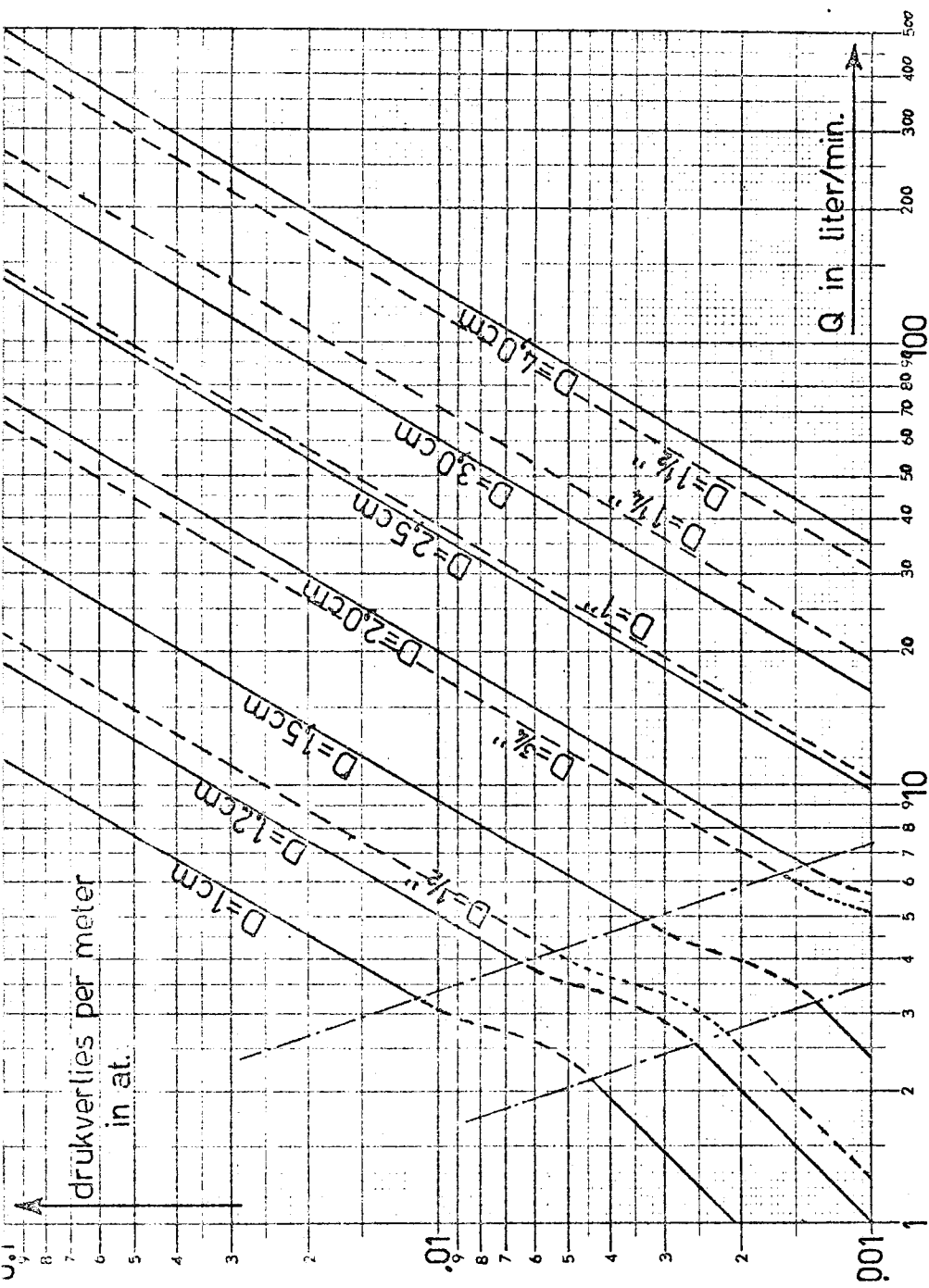
Uit de berekening zien we dat de verdelingsnauwkeurigheid voor het grootste deel bepaald wordt door de weerstand van de  $\frac{1}{4}$ " toevoerleidingen. Indien deze toevoerleidingen vervangen worden door 1" slang met bijbehorende appendages zal de machine geschikt worden voor vloeibare kunstmest, waarbij de pompcapaciteit kan worden verhoogd tot maximaal 120 l/min.

#### 4. SLOTBESCHOUWINGEN

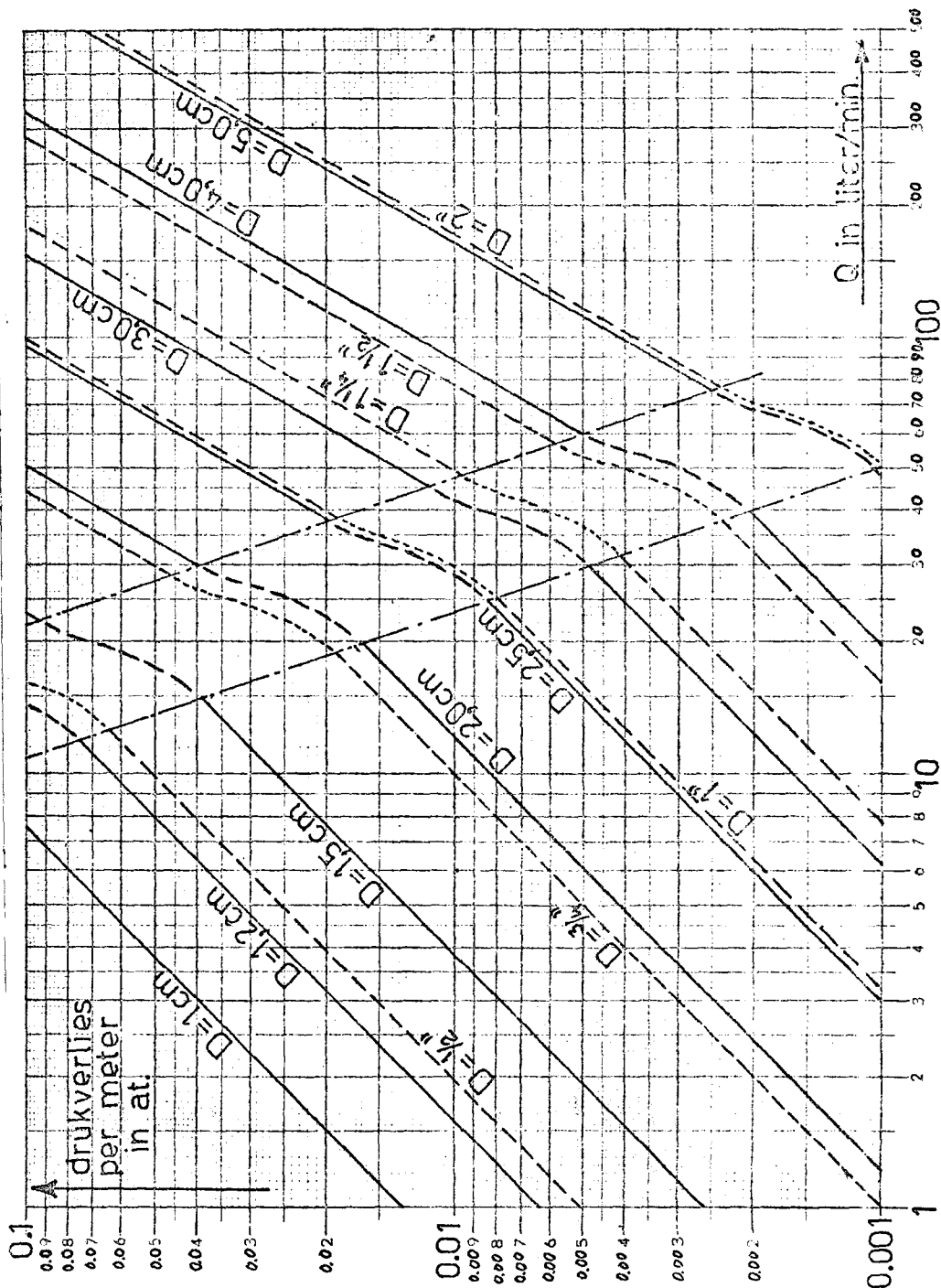
Met behulp van de grafieken kan op betrekkelijk eenvoudige wijze het drukverlies in toevoer- en spuitleidingen worden bepaald. Het rekenvoorbeeld uit hoofdstuk 3 betreft een spuitmachine met redelijk ruime leidingen. Toch moet deze machine voor het verspuiten van vloeibare kunstmest als "minder geschikt" worden aangeduid: De toelaatbare drukverschillen tussen de ene spuitdop en de andere zijn afhankelijk van de gekozen werkdruk, zoals reeds uit de eis van formule 6:  $p_{\max} < 1,1 p_{\min}$  blijkt. Een moderne spuitmachine dient geschikt te zijn voor werkdrukken vanaf ongeveer 1 atmosfeer.

Uit metingen aan spuitmachines, verricht door de afdeling Merkenonderzoek van het Instituut voor Landbouwtechniek en Rationalisatie (zie bulletin 514 t.e.m. 519), blijkt dat de helft van de machines te grote variaties in de spuitdopdruk vertonen met de standaardspuitdoppen. Indien grotere spuitdoppen worden gemonteerd of als vloeibare kunstmest wordt verspoten, worden deze variaties aanzienlijk groter.

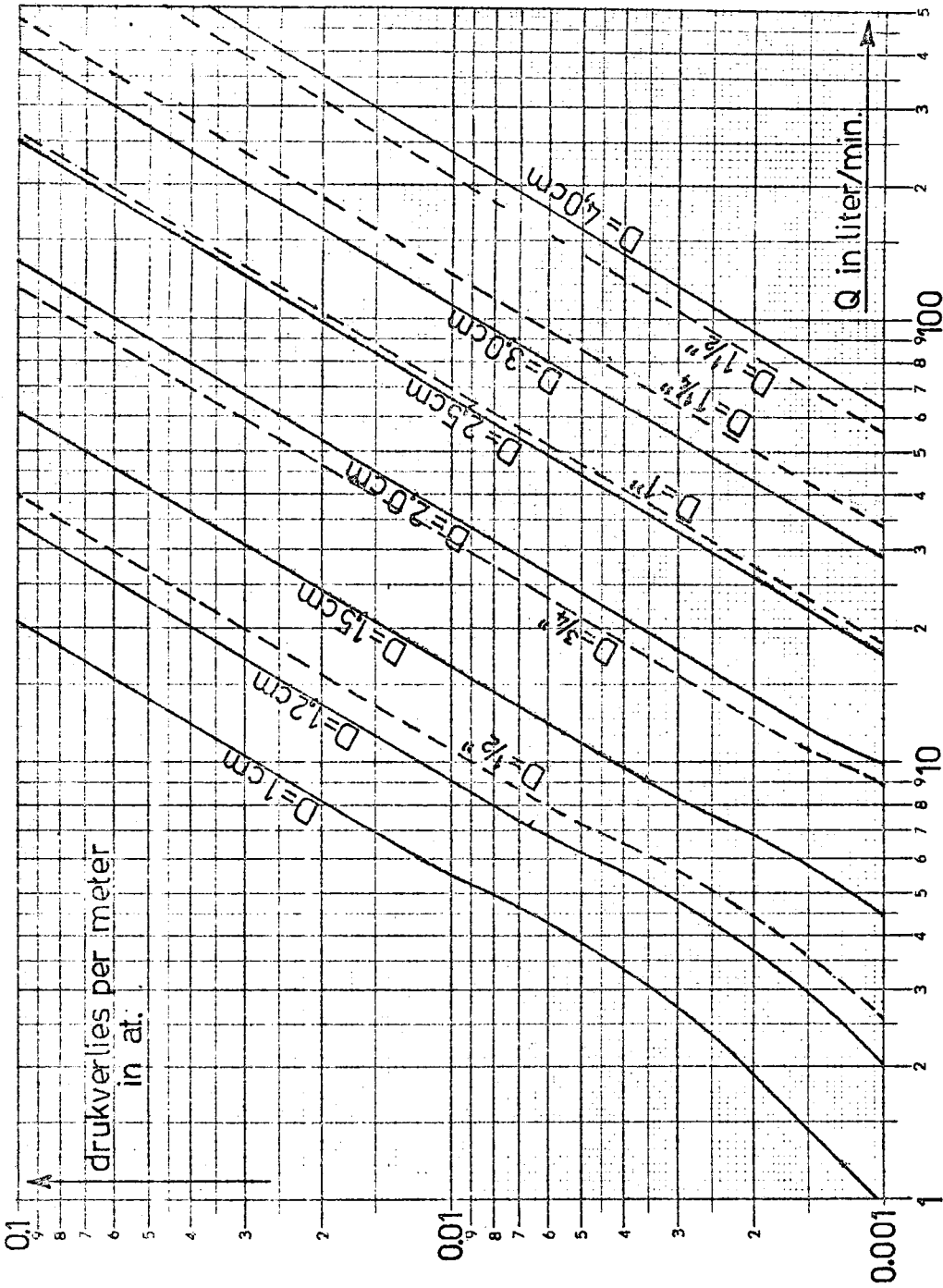
Een goed gefundeerde keuze van het leidingwerk en appendages van spuitmachines zal leiden tot een gelijkmatige verdeling van het spuitmiddel. Vooral bij chemische bespuitingen kan hierdoor een besparing op spuitmiddelen worden bereikt, immers de vereiste gift wordt bepaald door de slechtst bespoten gedeelten. Naast de voordelen voor de boer is dit tevens vanuit het oogpunt van milieuverontreiniging aantrekkelijk.



GRAFIEK 1. Leidingweerstand per meter voor waterige oplossingen.  
(viscositeit  $\nu = 3\text{cSt}$ , soort. gewicht = 1)

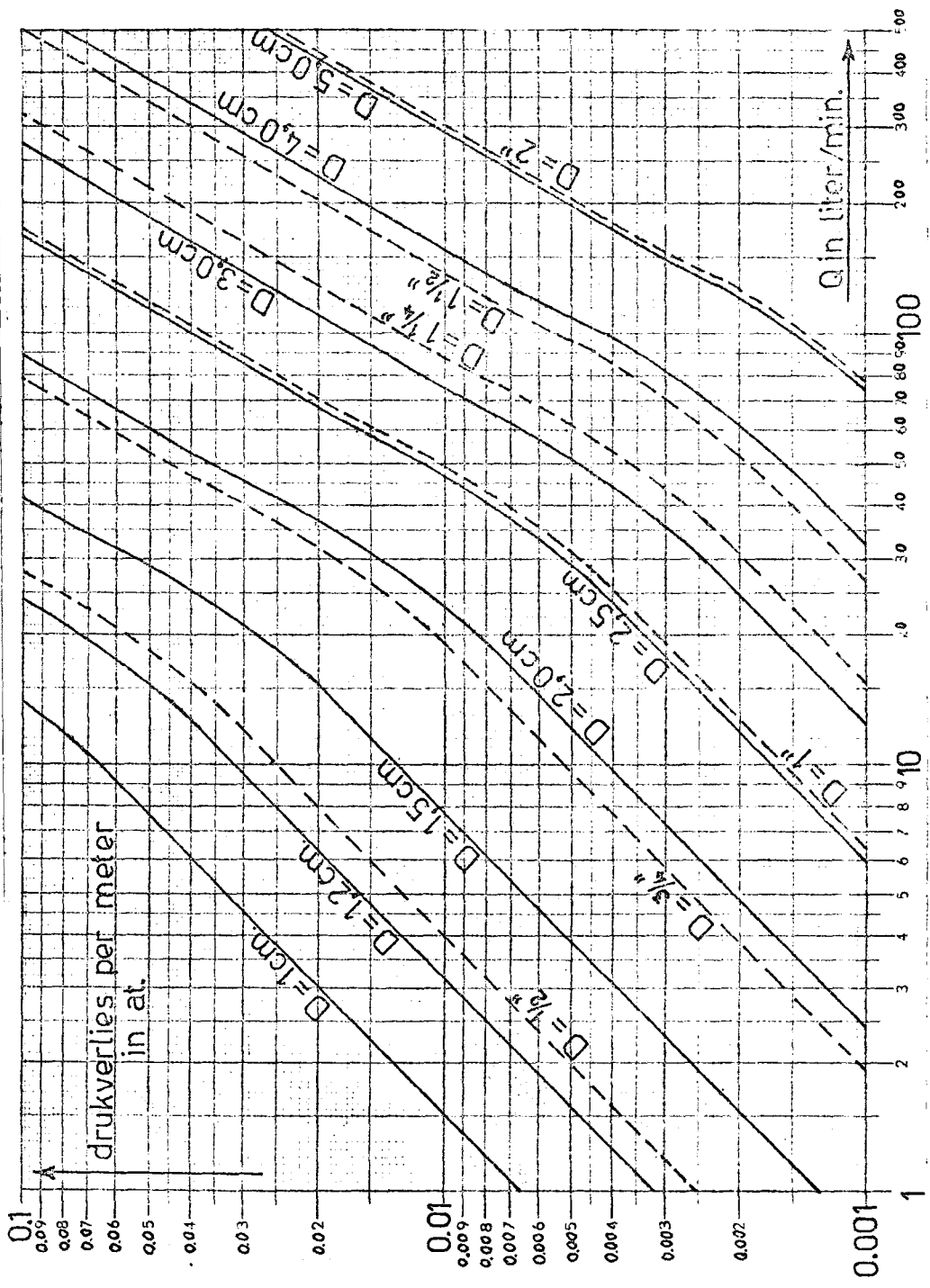


GRAFIEK 2. Leidingweerstand per meter voor vloeibare kunststof.  
 (viscositeit  $\gamma = 14\text{ cSt}$ , soort. gewicht = 1.36)



GRAFIEK 3. Weerstand van spuitleidingen per meter voor waterige oplossingen.  
(viscositeit  $\nu = 3cSt$ , soort. gewicht = 1).





GRAFIEK 4: Weerstand van spuitleidingen per meter voor vloeibare kunstmest (viscositeit 14cSt, soortelijk gewicht = 1.36)

TABEL.

Viscositeiten van verschillende soorten vloeibare kunstmest, bereid uit Urean 32, NH<sub>4</sub> polyfosfaat Prayon (10,7 - 35,5 - 0) en KCl (0 - 0 - 60).

Oplossing			Viscositeit in cP		
Volume %	Gewichts %	20 °C	10 °C	0 °C	
27 - 27 - 0	19,9 - 19,9 - 0	15,0	22,6	36	
30 - 15 - 0	22,7 - 10,8 - 0	9,1	11,5	16,1	
31,1 - 20 - 0	23,1 - 14,8 - 0	14,9	20,0	30,6	
39 - 0 - 0	30 - 0 - 0	4,5	8	10,7	
15 - 50 - 0	10,7 - 35,5 - 0	32,5	52	100	
26,3 - 26,3 - 0	19,4 - 19,4 - 0	12,7	20,5	33,8	
8,4 - 8,4 - 8,4	7 - 7 - 7	1,7	2,0	2,5	

