


NN31545.0253

Bepaling van de stromingsweerstand van
drainreeksen uit veldwaarnemingen

dr.J. Wesseling

Aan
H. IJ's
+ Dr. Verhaar


1. Inleiding

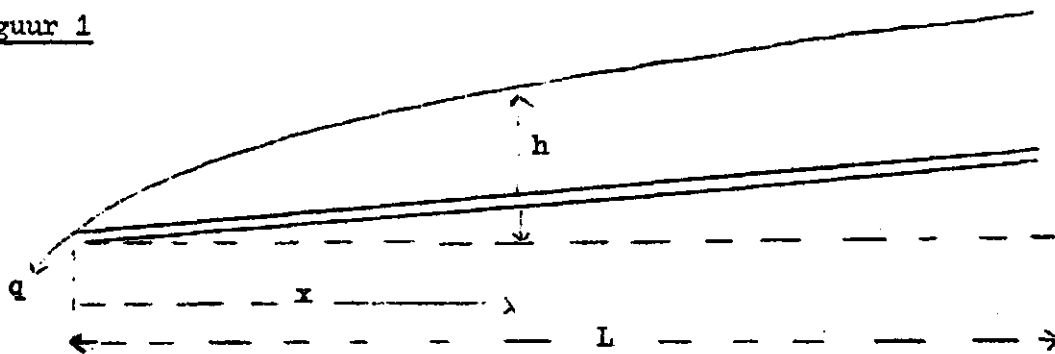
Uit het drainage-onderzoek blijken de in de drainreeksen optredende drukgradiënten veelal belangrijk groter te zijn dan op grond van de gegeven stromingsformules mag worden verondersteld. Dit betekent dat de stromingsweerstand in de reeksen in de praktijk groter is dan door deze stromingsformules wordt aangegeven. Voor dit verschil kunnen verschillende redenen worden aangevoerd en wel:

- a. De stromingsweerstand werd afgeleid uit proeven waarbij de stroomsnelheid aanzienlijk groter was dan die welke in de praktijk in de drainreeksen optreden. Bij hydraulisch gladde buizen zoals kunststofbuizen mag worden verwacht dat bij hoge stroomsnelheden een relatief lagere stromingsweerstand wordt gevonden, zodat de opgegeven weerstanden te laag zijn
- b. Bij plasticbuizen kan de hydraulische weerstand van een geperforeerde buis groter zijn dan die van een niet-geperforeerde als gevolg van het voorkomen van bramen en baarden ontstaan bij het perforeren
- c. Bij drainreeksen van aardenbuizen kan de weerstand merkbaar toenemen door niet nauwkeurig aansluiten van de afzonderlijke buizen (HEYNDRICKX, 1954, DE WIT, 1957, DE WIT en WARTENA 1957)
- d. Bij wateronttrekkende drainreeksen kunnen drukverliezen optreden door turbulente menging van het door de stoot-voegen of perforaties binnentredende en het in de reeks stromende water.

Om de in de praktijk optredende stromingsweerstand te kunnen bepalen zijn metingen van drukhoogten in de reeksen alsmede afvoeren noodzakelijk. Dergelijke metingen werden doorgaans reeds verricht voor de bepaling van de intreeweerstand van de reeksen. Hierbij wordt namelijk de drukhoogte in en

vlak bij de drains alsmede de afvoer bepaald. Het ligt dan ook voor de hand om dezelfde metingen te gebruiken voor de berekening van de stromingsweerstand van de reeksen. De vraag hierbij is, hoe uit de beschikbare gegevens deze weerstand kan worden berekend. Dit probleem kan als volgt worden geformuleerd (zie figuur 1): Van een drainreeks met een totale lengte L wordt aan het uiteinde een afvoer q gemeten. Op een afstand x van de uitmonding wordt de drukhoogte in de reeks gemeten. Gevraagd wordt uit deze gegevens de stromingsweerstand te berekenen.

Figuur 1



2. Theoretische afleidingen

De stroming in drainbuizen kan worden weergegeven door de formule van Manning:

$$Q = \frac{C_1}{n} \cdot d^{8/3} i^{1/2} \quad (1)$$

waarin:

Q = het debiet

i = verhang

d = diameter

C_1 = een constante afhankelijk van de gebruikte eenheden

n = ruwheidsfactor

Vaak wordt $\frac{1}{n} = K_M$ gebruikt als de Manning-factor. Drukt men Q uit in l/sec, i in meters/meter en d in cm dan wordt verg. (1):

$$Q = 14,65 \cdot 10^{-4} \cdot K_M d^{8/3} i^{1/2} \quad (2)$$

Voor gewone gebakken aarden buizen wordt $K_M = 74$ ($n = 0,0135$) opgegeven. OLBERTZ en WERTZ (1962) geven voor plastic drainbuizen waarden van 101,5 tot 110.

Stellen we de toestroming per lengte-eenheid van de reeks gelijk aan A, dan is:

$$Q = A (L - x) \quad (3)$$

In werkelijkheid zal de toestroming afhangen van de druk in de buis, doch van deze complicatie wordt hier, evenals bij de vaststelling van de gewenste buisdiameter afgezien.

Invullen van (3) in (1) en oplossen naar i geeft:

$$i = \frac{dh}{dx} = \left(\frac{1}{14,65}\right)^2 \cdot 10^8 \cdot \frac{1}{K_M^2} d^{-16/3} A^2 (L - x)^2 \quad (4)$$

Integreren van deze vorm met de voorwaarde dat $h = 0$ voor $x = 0$ (druk bij de uitmonding gelijk nul) geeft:

$$h = \left(\frac{1}{14,65}\right)^2 \cdot 10^8 \frac{1}{K_M^2} d^{-16/3} A^2 (L^2 x - Lx^2 + \frac{1}{3} x^3) \quad (5)$$

Stellen we de aan het uiteinde gemeten afvoer gelijk q dan is:

$$A = \frac{q}{L} \quad (6)$$

Invullen van deze waarde in (5) levert dan:

$$\boxed{\frac{h}{L} = \left(\frac{1}{14,65}\right)^2 \cdot 10^8 \frac{1}{K_M^2} d^{-16/3} q^2 \left(1 - \frac{x}{L} + \frac{1}{3} \frac{x^2}{L^2}\right)} \quad (7)$$

Bij een gegeven diameter d en gemeten $\frac{h}{x}$, $\frac{x}{L}$ en q kan hieruit K_M worden bepaald.

Een andere mogelijkheid is om de stroming te karakteriseren met de door VIFSER (1938, 1953) voorgestelde formule:

$$Q = c_2 d^{2,672} i^{0,55} \quad (8)$$

Neemt men Q weer in l/sec., d in cm en i in m/m dan geeft genoemde

auteur voor C_2 de waarde 0,1956 voor gebakken aarden buizen.
Oplossen van 8 naar i levert:

$$i = \frac{dh}{dx} = \left(\frac{1}{2}\right)^{1,818} d^{-4,86} Q^{1,818}$$

of na invullen van (3):

$$\frac{dh}{dx} = \left(\frac{1}{C_2}\right)^{1,818} d^{-4,86} A^{1,818} (L-x)^{1,818}$$

Integreren levert dan:

$$h = -\left(\frac{1}{C_2}\right)^{1,818} d^{-4,86} A^{1,818} \frac{1}{2,818} (L-x)^{2,818} + B$$

Invullen van de voorwaarde $h = 0$, $x = 0$ geeft dan voor de integratieconstante:

$$B = -\left(\frac{1}{C_2}\right)^{1,818} d^{-4,86} A^{1,818} \frac{L^{2,818}}{2,818}$$

zodat de oplossing wordt:

$$h = \left(\frac{1}{C_2}\right)^{1,818} d^{-4,86} A^{1,818} \frac{1}{2,818} \left\{ L^{2,818} - (L-x)^{2,818} \right\} \quad (9)$$

Invullen van (6) geeft dan weer:

$$h = \left(\frac{1}{C_2}\right)^{1,818} d^{-4,86} A^{1,818} \frac{1}{2,818} \left[L - \frac{(L-x)^{2,818}}{L^{1,818}} \right] \quad (10)$$

Voor plastic drainbuizen kan men ook gebruik maken van de stromingsformule:

$$Q = C_3 d^{2,70} i^{0,57} \quad (11)$$

Voor Q in l/sec, d in cm en i in m/m heeft C₃ de waarde 0,2080.
Oplossen van (11) naar i levert:

$$i = \frac{dh}{dx} = \left(\frac{1}{C_3}\right)^{1,76} d^{-4,76} Q^{1,76} \quad (12)$$

Invullen van (3) geeft dan:

$$\frac{dh}{dx} = \left(\frac{1}{C_3}\right)^{1,76} d^{-4,76} A^{1,76} (L-x)^{1,76}$$

hetgeen na integratie oplevert:

$$h = -\left(\frac{1}{C_3}\right)^{1,76} d^{-4,76} A^{1,76} \frac{1}{2,76} (L-x)^{2,76} + B$$

Invullen van h = 0 voor x = 0 geeft dan:

$$B = \left(\frac{1}{C_3}\right)^{1,76} d^{-4,76} A^{1,76} \frac{L^{2,76}}{2,76}$$

zodat de oplossing voor dit geval wordt:

$$h = \left(\frac{1}{C_3}\right)^{1,76} d^{-4,76} A^{1,76} \cdot \frac{1}{2,76} (L^{2,76} - (L-x)^{2,76}) \quad (13)$$

3. De berekeningsmethode

Voor de berekening van de stromingsweerstand kunnen de drie vergelijkingen (7), (10) en (11) worden gebruikt. In principe hebben alle drie dezelfde vorm, doch verg. (7) is iets gemakkelijker te hanteren. Voor deze vergelijking zijn dan ook nomogrammen opgesteld. Een zelfde soort nomogram is in principe ook mogelijk voor de beide andere oplossingen.

Voor de constructie van het nomogram wordt (7) geschreven als:

$$\frac{h}{x} (14,65)^2 \cdot 10^{-8} d^{16/3} K_M^2 = q^2 \left(1 - \frac{x}{L} + \frac{1}{3} \frac{x^2}{L^2}\right)$$

of:

$$P \cdot \frac{h}{x} \cdot K_M^2 = \left(1 - \frac{x}{L} + \frac{1}{3} \frac{x^2}{L^2}\right) q^2 \quad (14)$$

waarin:

$$P = (14,65)^2 \cdot 10^{-8} d^{16/3} \quad (15)$$

Zowel voor het rechter- als het linkerlid van (14) kan een nomogram met 3 evenwijdige schalen worden geconstrueerd. Door beide nomogrammen een gemeenschappelijke schaal (scharnierlijn) te geven ontstaat een vrij eenvoudige vorm. Teneinde de schaaleenheden alle van dezelfde grootte te houden is hier een oplossing gekozen waarin de afstanden tussen de schalen zich verhouden als 1 : 2.

In het linkerlid van (14) komt de factor P voor die afhangt van de diameter. Daarom zijn 3 verschillende nomogrammen geconstrueerd, namelijk voor 4 en 5 cm plastic buizen en voor 5 cm aarden buizen. Voor de eerstgenoemde buizen werd voor d respectievelijk 3,84 en 4,82 ingevuld omdat de opgegeven diameter bij deze buizen steeds de buitendiameter is, zodat rekening moet worden gehouden met de wanddikte waarvoor respectievelijk 0,8 en 0,9 mm is genomen.

Voor de bepaling van K_M met behulp van de nomogrammen wordt de betreffende waarde van $\frac{x}{L}$ verbonden met die van q (rechter verdeling van de buitenste schalen). Het aldus verkregen punt op de onbenoemde middelste schaal wordt verbonden met de berekende waarde van h/x (hier om technische redenen uitgedrukt in cm/100 meter). Bij het punt waar deze lijn de K_M schaal snijdt wordt de betreffende waarde voor deze grootte afgelezen.

4. Samenvatting

In de praktijk blijkt de stromingsweerstand van drainreeksen vaak hoger te zijn dan wordt berekend uit de gebruikte stromingsformule.

Voor dit verschijnsel zijn verschillende redenen aan te voeren.

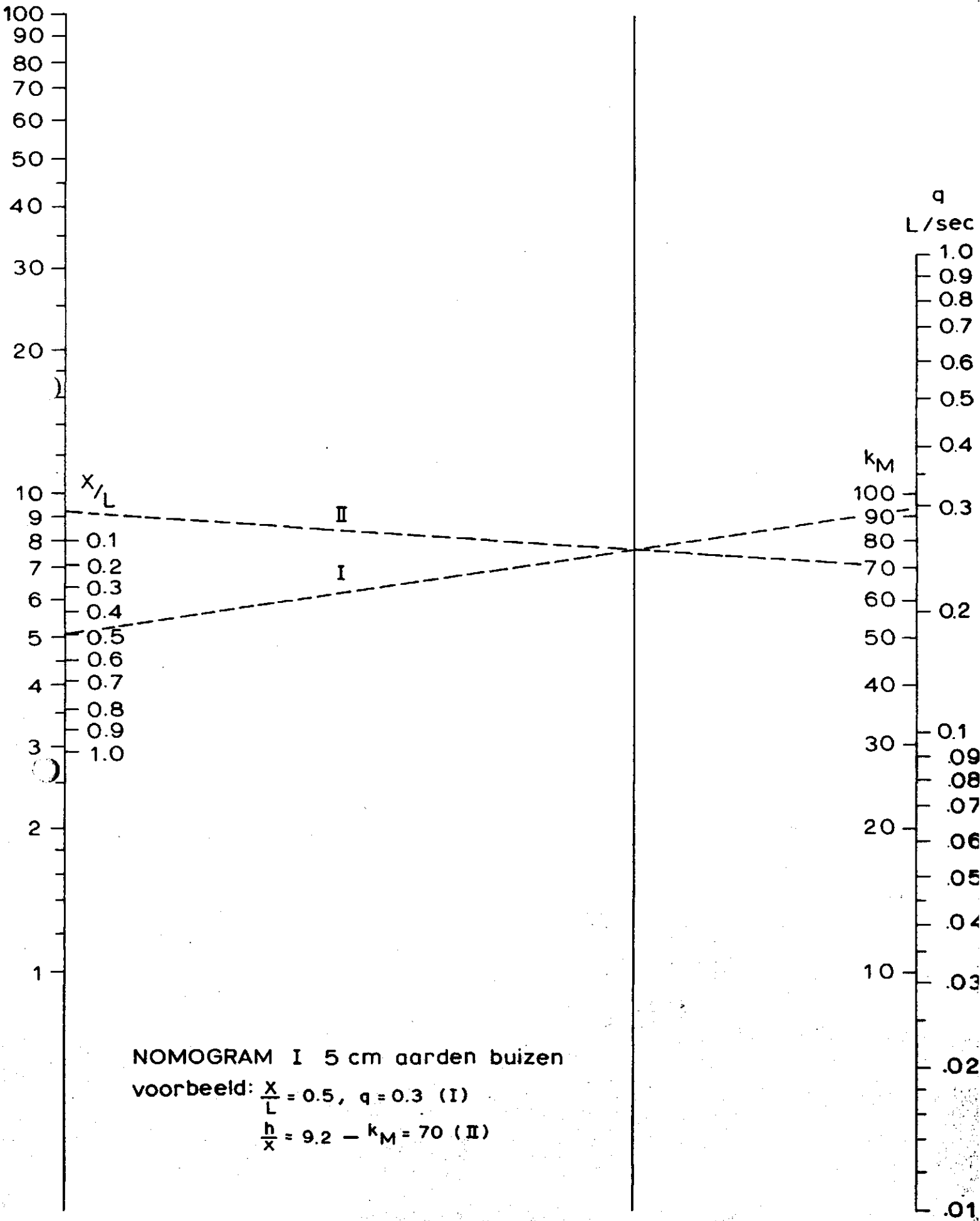
Voor de berekening van de werkelijke stromingsweerstand kan worden gebruik gemaakt van drukhoogte metingen in de reeksen zoals die worden uitgevoerd voor de bepaling van de intreeweerstand van de reeksen. Hiertoe zijn een drietal stromingsformules zodanig opgesteld, dat ze rechtstreeks een waarde voor de stromingsweerstand kunnen geven. Het eenvoudigst blijkt dit te zijn voor de Manning formule. Een drietal nomogrammen voor de berekening van K_M voor 4 en 5 cm plastic reeksen en 5 cm aarden buizen is geconstrueerd.

5. Literatuur

- HEIJNDRICKX, G.A. (1954) - Med. Landb.Hogeschool en Opz. Stat.v.d. Staat
te Gent XIX : 271 - 309
- OLBERTZ, M.H. and G. WERTZ, (1962) - Hydraulische Versuche zur Bestimmung
des Leistungsvermögens von Plastfolienrohren. Zeitschr. für
Landeskultur H2
- VISSER, W.C. (1938) - Wasserbewegung in Dränrohren. Der Kulturtechniker
41: 131 - 146
- _____ (1953) - De grondslag voor de keuze van de buiswijdte bij
enkelvoudige en samengestelde drainage. Rapport Afd. Onderzoek
Cult. Dienst, Utrecht
- WIT, C.T. DE (1957) - Water transport in drains as influenced by tile
alignment. Neth. J. of Agr. Sci. 3: 149 - 156
- _____ en L. WARTENA (1957). De invloed van onregelmatigheden bij de
stootvoegen op het maximum watertransport van drainbuizen.
Tijdschr. Ned. Heidemij 68: 111 - 115.



h/x cm/100 meter

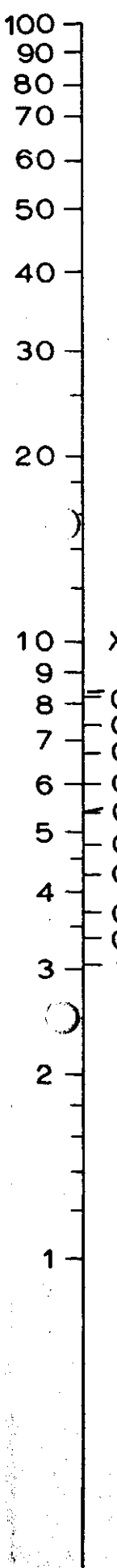


NOMOGRAM I 5 cm aarden buizen

voorbeeld: $\frac{X}{L} = 0.5, q = 0.3$ (I)

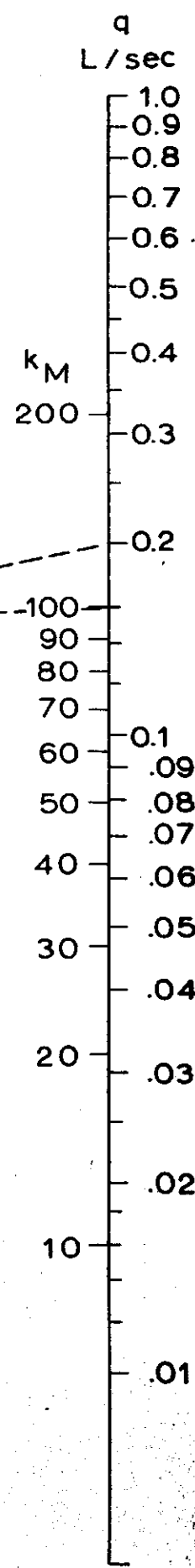
$\frac{h}{x} = 9.2 - k_M = 70$ (II)

h/x cm / 100 meter



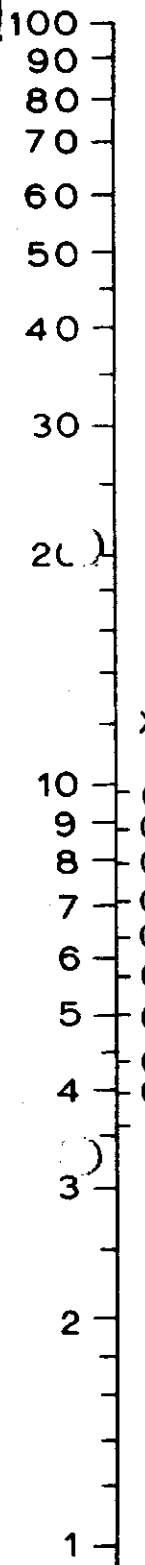
X/L
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

II
I



NOMOGRAM II 4 cm plastik
voorbeeld: $\frac{X}{L} = 0.5, q = 0.2$ (I)
 $\frac{h}{x} = 8.4 \rightarrow k_M = 100$ (II)

h/x cm/100 meter

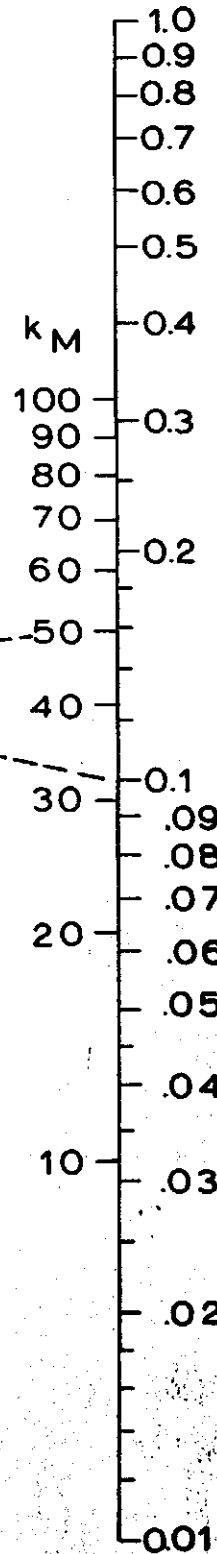


x/L
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

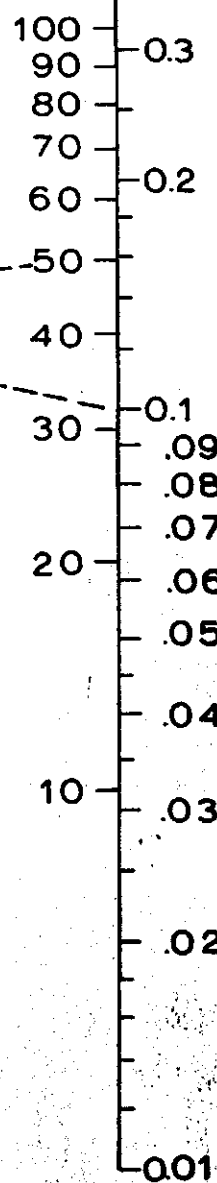
I

II

q
L/sec



k_M



NOMOGRAM III 5 cm plastiek

voorbeeld: $\frac{x}{L} = 0.1, q = 0.1$ (I)

$\frac{h}{x} = 3.8 \rightarrow k_M = 50$ (II)