

Globale berekening 24" RRP-leiding
door en langs de Vondelingenweg.
A-78.034

Centrum voor Onderzoek Waterkeringen
September 1979

<u>Inhoud</u>	<u>Blz.</u>
I. Inleiding	1
II. Samenvatting	2
III. Uitgangspunten	3
IV. Leidinggegevens	4
V. Berekening	4
V.1. Kruising leiding met Vondelingenweg	4
V.1.1. Spanningen in axiale richting	4
V.1.2. De spanningen in tangentiële richting	7
V.1.3. Invloed van de 13D bocht t.p.v. de overgang kruising - langsstrekking (leidingcoördinaat 1410)	10
V.1.4. Ideële spanning	12
V.1.5. Resultaten	12
V.2. De leiding evenwijdig aan de Vondelingenweg	14
V.2.1. Resultaten	14
V.3. Ontgrondingslengte bij breuk van de leiding evenwijdig aan de Vondelingenweg	14

<u>Bijlage nr.</u>	<u>Omschrijving</u>	<u>Tek.nr.</u>
1	Zakking leiding, kruising Vondelingenweg	3Z/78.400
2	Kromming leiding, kruising Vondelingenweg	A3/78.401
3	Resultaten kruising Vondelingenweg	A0/78.602
4	Resultaten leiding//Vondelingenweg	2x9Z/79.055
5	Hydraulisch diagram	A4/79.059
6	Ontgrondingslengte	A4/79.058

I. Inleiding

In 1966 heeft de Rotterdam Rijn Pijpleiding maatschappij (RRP) haar 24" produktenleiding verlegd naar het huidige tracé langs en door de Vondelingenweg.

Deze weg is als gevolg van aanpassingen in het kader van de Deltawet hoofdwaterkering geworden, zodat aan de leiding andere eisen worden gesteld.

In juli 1970 is door het Waterschap IJsselmonde schriftelijk aan de RRP verzocht de leiding aan te passen aan de Pijpleiding-code 1968 van de Provinciale Waterstaat Zuid-Holland. De consequenties hiervan worden bestudeerd in een werkgroep waarin momenteel zitting hebben de heren v.d. Ende (RWS directie Zuid-Holland), de Koning (WS IJsselmonde), Termate en Slee (gemeentewerken Rotterdam), Dek (RRP) en de heer Westerhoven (PWS Zuid-Holland). Op verzoek van de heer v.d. Ende is ook het COW in dit overleg betrokken bij monde van de heer Cirkel.

Afgesproken is dat het COW een globale berekening zal overleggen. De berekening zal op zodanig uitgangspunten zijn gebaseerd dat voldoende inzicht kan worden verkregen omtrent de vraag of het zinvol is verder nog veel tijd en geld in een nader onderzoek te investeren.

II. Samenvatting

Op basis van de aangenomen uitgangspunten is een globale berekening gemaakt van zowel de kruising met als het gedeelte langs de Vondelingenweg.

Uit deze berekening volgt voor de kruising dat tussen de leidingcoördinaten 1424 en 1510 de toelaatbare spanning in omtreksrichting bereikt of overschreden wordt wanneer horizontale steundruk niet in rekening wordt gebracht; de toelaatbare spanning wordt in axiale richting overschreden tussen de leidingcoördinaten 1483 en 1496.

Overschrijding van de toelaatbare axiale spanning kan voorkomen in het gedeelte tussen de leidingcoördinaten 1481 en 1493 en t.p.v. leidingcoördinaat 1588.

Voor het leidinggedeelte evenwijdig aan de Vondelingenweg zijn geen overschrijdingen van de toelaatbare spanning berekend met uitzondering van leidingcoördinaat 1310.

III. Uitgangspunten

In het overleg zijn de volgende afspraken gemaakt:

Schadefactor: 0,85 voor de kruising en langsstrekking binnen de veiligheidszone.

Ontwerpdruk : $6,1 \text{ N/mm}^2$. (61 bar)

Zakking : Een indruk van het zakkingsgedrag kan worden verkregen aan de hand van uitgevoerde zakkingsmetingen door de RRP.

Het COW zal trachten uit de zakking de kromming te berekenen.

Bovenbelasting : In de berekening kan worden uitgegaan van neutrale gronddruk zonder onzekerheidsfactoren.

Volumege-
wicht 18 kN/m^3

Belastings- : 180°
hoek

Ondersteu- : 120°
ningshoek

Horizontale : De berekening zal zowel met als zonder actieve horizontale steundruk worden uitgevoerd.

Verkeersbe- : Klasse 60 VOSB (inclusief stootcoëfficiënt)
lasting

Temperatuur : Max. bedrijfstemp. 30°C
Min. bedrijfstemp. 5°C

Axiale spanning : De bijdrage van de inwendige druk aan de axiale spanning zal zowel met $0,5 \sigma_{\text{ring}}$ als met $0,3 \sigma_{\text{ring}}$ worden berekend afhankelijk van het feit of de leiding al dan niet vrij bewegen kan in de grond.

IV. Leidinggegevens

$$\begin{aligned}D_u &= 24'' = 610 \text{ mm} \\t &= 1/2'' = 12,7 \text{ mm} \\I &= 106326 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \\W &= 3486 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \\A &= 238 \cdot 10^2 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Staalqualiteit API.SLX 46

$$\begin{aligned}\sigma_{vloei} &= 323 \text{ N/mm}^2 \\ \bar{\sigma} &= 0,85 \times 2/3 \times 323 = 183 \text{ N/mm}^2 \\ E &= 2.1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2.\end{aligned}$$

V. Berekening

V.1. Kruising leiding met Vondelingenweg

V.1.1. Spanningen in axiale richting

- Spanningen als gevolg van de zakkingen van de leiding

De zakking is bepaald uit de verschillen van de metingen in november 1968 en april 1978.

Hieruit is de kromming $1/R$ van de leiding berekend (R is de kromte straal).

Uit de wiskunde is bekend dat:

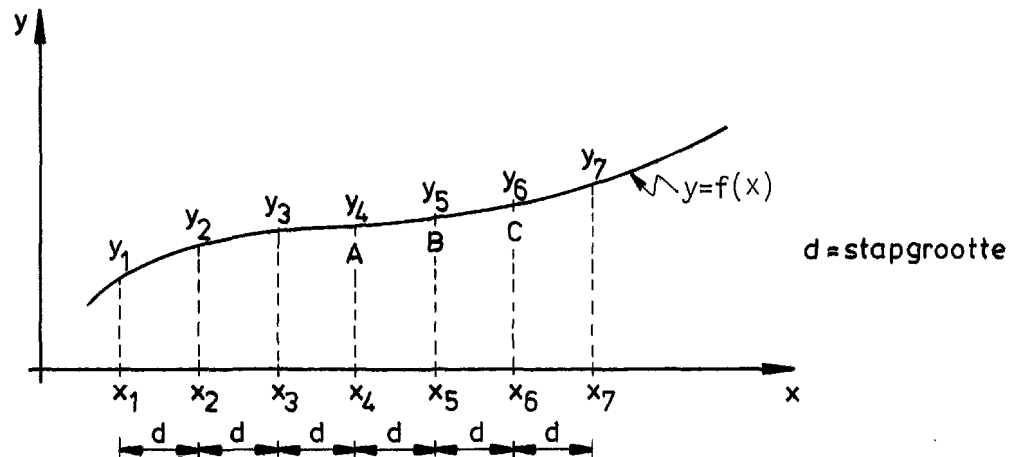
$$\frac{1}{R} = \frac{y''}{\{1 + (y')^2\}^{3/2}} \quad (1) \quad \begin{aligned} y &= \text{zakking} \\ y' \text{ en } y'' &= \text{resp. de } 1^{\text{o}} \text{ en } 2^{\text{o}} \text{ afgeleide van } y = f(x) \end{aligned}$$

Voor kleine waarden van y' geldt bij benadering

$$\frac{1}{R} = y''.$$

Er staan een aantal formules ter beschikking om, indien de zakking in een aantal punten bekend is, de 1^{e} t/m de 4^{e} afgeleide van $f(x)$ te bepalen.

De punten moeten indien mogelijk op gelijke afstanden liggen. In principe is dit niet nodig maar uit bruikbaarheidsoverwegingen wel gewenst.



De formules, indien gebruik gemaakt wordt van stapgrootte d zijn:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-y_1 + 9y_2 - 45y_3 + 45y_5 - 9y_6 + y_7}{60 d} \quad (\text{t.p.v. A.}) \quad (2)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{2y_1 - 27y_2 + 270y_3 - 490y_4 + 270y_5 - 27y_6 + 2y_7}{180 d^2} \quad (\text{t.p.v. A.}) \quad (3)$$

$$\frac{d^3y}{dx^3} = \frac{y_1 - 8y_2 + 13y_3 - 13y_5 + 8y_6 - y_7}{8 d^3} \quad (\text{t.p.v. A.}) \quad (4)$$

$$\frac{d^4y}{dx^4} = \frac{-y_1 + 12y_2 - 39y_3 + 56y_4 - 39y_5 + 12y_6 - y_7}{6 d^4} \quad (\text{t.p.v. A.}) \quad (5)$$

Bovenstaande methode is door H. Alma (afstudeerwerk TH Delft) aangegeven en berust op de veronderstelling dat de onbekende functie $f(x)$ in een Mc-Laurin reeks is te ontwikkelen.

Uit de mechanica is bekend dat:

$$M = \frac{-EI}{R} \quad \text{waarin} \quad \begin{aligned} M &= \text{buigend moment} \\ E &= \text{elasticiteitsmodulus} \\ I &= \text{traagheids moment} \\ R &= \text{kromtestraal} \end{aligned}$$

M.b.v. formule 1,3 en evt. 2 kan nu het buigend moment berekend worden.

De punten waarin de zakking is gemeten waren niet equidistant. Daarom is door deze punten op drie manieren een vloeiende lijn getrokken (bijlage 1). Dat is mogelijk omdat op basis van gegevens van de RRP m.b.t. eventuele in de kruising aanwezige bochten er van uit gegaan is dat de leiding in de kruising overal dezelfde stijfheid heeft. Van deze drie lijnen is met een vaste stapgrootte de kromming bepaald (bijlage 2).

In de berekening is een gemiddelde van deze drie functies $1/R = f(x)$ gebruikt (bijlage 3).

De axiale spanning als gevolg van het moment wordt dan:

$$\sigma_{x_m} = \frac{M}{W} = \frac{EI}{RW} = \frac{E \cdot r_u}{R}$$

$$\sigma_{x_m} = \frac{2.1 \cdot 10^5 \cdot 305}{R} = \frac{6.405 \cdot 10^7}{R} \text{ N/mm}^2$$

- Spanningen als gevolg van de inwendige druk.

Deze spanningsbijdrage wordt op twee manieren berekend:

Bij de veronderstelling dat de leiding maximale bewegingsvrijheid heeft

$$\sigma_{x_p} = 0,5 \cdot \sigma_{y_p} = \frac{0,5P \cdot D_u}{2t}$$

$$\sigma_{x_p} = 73,3 \text{ N/mm}^2$$

Bij de veronderstelling dat de leiding geen bewegingsvrijheid heeft:

$$\sigma_{x_p} = 0,3 \cdot \sigma_{y_p} = \frac{0,3P \cdot D_u}{2t}$$

$$\sigma_{x_p} = 43,9 \text{ N/mm}^2$$

- Spanningen als gevolg van temperatuurverschil

Er is uitgegaan van een temperatuur bij uitvoering van 20°C.

De minimale bedrijfstemp. is 5°C.

Indien de leiding in axiale zin geen bewegingsvrijheid heeft zal dit temp.verschil tot een spanningsbijdrage leiden.

$$N_{xt} = 2 \pi \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot E \cdot r \cdot t.$$

waarin: α = uitzettingscoëfficiënt $1,2 \cdot 10^{-6}$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

Δt = temp.verschil in °C hier 15°C

r = gem. straal in mm

t = wanddikte in mm

$$N_{xt} = 2 \pi \times 1,2 \times 10^{-6} \times 15 \times 2,1 \times 10^5 \times 298,7 \times 12,7 = 90097 \text{ N}$$

$$\sigma_{xt} = \frac{N}{A} = \frac{90097}{23806} = 3,8 \text{ N/mm}^2$$

- Resumé

$$\sigma_x = \pm \frac{6.405.10^7}{R} + 73,3 \text{ N/mm}^2 \text{ bij}$$

maximale bewegingsvrijheid in axiale richting

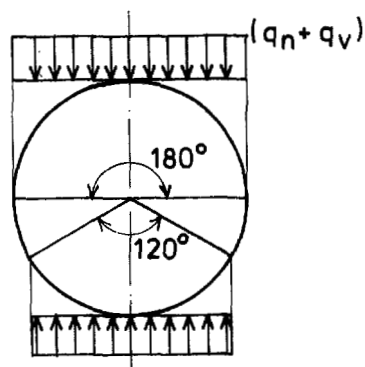
$$\sigma_x = \pm \frac{6.405.10^7}{R} + 43,9 + 3,8 \text{ N/mm}^2$$

indien de leiding geen bewegingsvrijheid heeft in axiale richting.

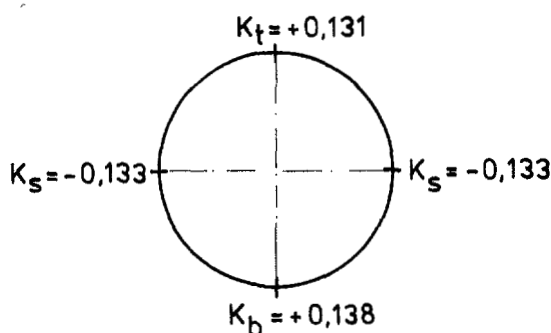
V.1.2. De spanningen in tangentiële richting

Omdat de momentcoëfficiënten aan de bodem van de leidingdoorsnee het grootst zijn worden navolgend alleen de spanningen in de bodem berekend. Om de gebruikte formules makkelijk hanteerbaar te maken voor de berekening zijn alle belastingen uitgedrukt in N per strekkende mm buis en de spanningen in N/mm^2 . De formules in de pijpleiding-code zijn daartoe, indien nodig, aangepast.

- Spanning t.g.v. bovenbelasting



belastingenschema



momentcoëfficiënten
volgens Spangler

De spanning t.g.v. bovenbelasting wordt gegeven door:

$$\sigma_{yb} = K \frac{(Q_n + Q_v)r}{W_w}$$

waarin: Q_n = neutrale belasting in N per strekkende mm buis

Q_v = verkeersbelasting in N per strekkende mm buis

r = gem. leidingstraal in mm

W_w = weerstandmoment in mm^3 per strekkende mm buis

K = momentcoëfficiënt volgens Spangler

$$\sigma_{y_b} = 1,53 (Q_v + Q_n) \text{ N/mm}^2$$

Rerounding:

$$f_{rr} = \frac{1}{1 + \frac{2P \cdot r^3 \cdot K_y}{EI_w}}$$

P = inw. druk N/mm^2

K_y = rerounding coëfficiënt (in dit geval 0,089)

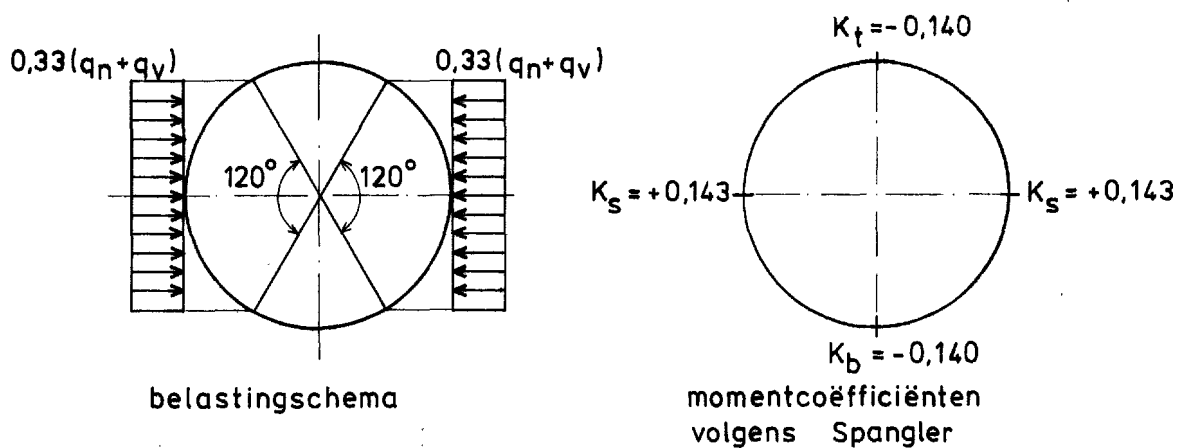
I_w = traagheidsmoment wand ($170,0 \text{ mm}^4$)

r = 298,7 mm

$$f_{rr} = \frac{1}{1 + \frac{2 \times 6,1 \times (298,7)^3 \times 0,089}{170 \times 2,1 \times 10^5}} = 0,55$$

$$\sigma_{y_b} = 0,55 \times 1,53 \times (Q_v + Q_n) = 0,84 \cdot (Q_v + Q_n) \text{ N/mm}^2.$$

- Horizontale steundruk



De horizontale steundruk wordt gegeven door:

$$Q_{y_h} = \gamma_a \cdot Q_{\text{verticaal}}$$

Hierin is de cohesie verwaarloosd en wordt er met actieve gronddruk gewerkt.

$$\gamma_a = \tan^2 (45^\circ - 1/2 \phi)$$

ϕ = inwendige wrijvingshoek (hier 30°)

γ = coëfficiënt voor actieve druk = 0,33

$$Q_{\text{verticaal}} = Q_n + Q_v$$

Gewoonlijk wordt de horizontale steundruk niet in rekening gebracht bij verkeersbelasting.

Gezien het speciale karakter van deze berekening is gemeend het hier wel in rekening te brengen.

$$Q_{y_h} = 0,33 (Q_n + Q_v) \cdot 0,87 \quad (0,87 = \text{correctiefactor omdat de belasting niet over } 180^\circ \text{ aangrijpt maar over } 120^\circ)$$
$$\sigma_{y_h} = -0,44 (Q_n + Q_v).$$

Rerounding:

Gebruikmakend van de op blz. 7 genoemde formule voor de rerounding-coëfficiënt frr. met $K_y = 0,096$ volgt: $frr = 0,53$.

De tangentiële spanning door horizontale steundruk wordt nu inclusief rerounding: $\sigma_{y_h} = -0,23(Q_n + Q_v)$

- Spanning als gevolg van inwendige druk

$$\sigma_{y_p} = \frac{PD}{2t} = \frac{6,1 \times 610}{2 \times 12,7} = 146,5 \text{ N/mm}^2$$

- Resumé

Spanning in tangentiële richting door bovenbelasting en inwendige druk (rerounding), zonder horizontale steundruk.

$$\sigma_y = 146,5 + 0,84 (Q_v + Q_n) \text{ N/mm}^2$$

Spanning in tangentiële richting door bovenbelasting en inwendige druk (rerounding), met horizontale steundruk.

$$\sigma_y = 146,5 + 0,61 (Q_v + Q_n) \text{ N/mm}^2$$

Spanning in tangentiële richting door bovenbelasting zonder inwendige druk, zonder horizontale steundruk.

$$\sigma_y = 1,53 (Q_v + Q_n) \text{ N/mm}^2$$

Spanning in tangentiële richting door bovenbelasting zonder inwendige druk, met horizontale steundruk.

$$\sigma_y = 1,09 (Q_v + Q_n) \text{ N/mm}^2$$

V.1.3. Invloed van de 13D bocht t.p.v. de overgang kruising - langs-strekking (leidingcoördinaat 1410)

- Bochtflexibiliteit (pijpleidingcode 1972, blz. 83-84)

zonder inwendige druk:

$$k = \frac{1,65}{h}$$

k = flexibiliteitsfactor

$$h = \text{flexibiliteitskarakteristiek} = \frac{t \cdot R}{r^2}$$

t = nominale wanddikte in mm.

R = gem. bochtstraal in mm

r = gem. leidingstraal in mm.

$$h = \frac{12,7 \times 8000}{(299)^2}$$

$$k = \frac{1,65}{1,14} = 1,45$$

met inwendige druk:

$$k_p = \frac{k}{1 + \frac{S}{E} \cdot X_k} \quad (>1)$$

S = ringspanning in rechte pijp in N/mm²

E = elasticiteitsmodulus in N/mm²

$$X_k = 6 \left(\frac{r}{t} \right)^{4/3} \cdot \left(\frac{R}{r} \right)^{1/3} = 6(23,5)^{4/3} \cdot (26,8)^{1/3} = 1207$$

$$K_p = \frac{1,45}{1 + \frac{146,5}{2,1 \cdot 10^5} \cdot 1207} = 0,79 \rightarrow K_p = 1$$

Zonder inwendige druk zal de stijfheid van de buis in de bocht moeten worden gereduceerd. Omdat dit belastingsgeval voor de maatgevende spanning niet van belang is, is dit achterwege gelaten.

- Stressintensificationfactoren

zonder inwendige druk:

$$i_x = \frac{0,9}{h^{2/3}}, > 1 \text{ dus } i_x = 0,83 \rightarrow i_x = 1$$

$$i_y = \frac{1,8}{h^{2/3}} = 1,66$$

met inwendige druk.

$$i_{xp} = \frac{i_x}{1 + \frac{S}{E} \chi_i}, (>1)$$

$$\chi_i = 3,25 \left(\frac{r}{t}\right)^{3/2} \cdot \left(\frac{R}{r}\right)^{2/3} = 3313$$

$$i_{xp} = \frac{0,83}{1 + \frac{146,5}{2,1 \cdot 10^5} \cdot 3313} = 0,25 \rightarrow i_{xp} = 1$$

$$l_{yp} = 2 \cdot i_{xp} = 0,50.$$

De bocht heeft op de axiale spanning geen invloed.

De tangentiële spanning t.p.v. de bocht moet bij de drukloze buis worden vermeerderd met $1,66 \sigma_{xm}$.

Met inwendige druk moet de tangentiële spanning met $0,50 \sigma_{xm}$ worden vermeerderd.

Omdat σ_{xm} t.p.v. de bocht nagenoeg 0 is heeft de bocht een verwaarloosbare invloed op de tangentiële spanning.

V.1.4. Ideële spanning

De ideële spanning is berekend volgens Huber-Hencky.

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau^2}$$

waarin:

σ_x = spanning in axiale richting

σ_y = spanning in tangentiële richting

τ = schuifspanning (in deze berekening verwaarloosd)

$$\sigma_i < 1,2\bar{\sigma} \text{ dus } \sigma_i < 1,2 \times 183 = 220 \text{ N/mm}^2$$

De ideële spanning is berekend bij de volgende belasting-combinaties:

- 1 $\begin{cases} \sigma_y \text{ incl. rerounding zonder horizontale steundruk.} \\ \sigma_x \text{ met } \sigma_p = 0,5 \sigma_r \end{cases}$
- 2 $\begin{cases} \sigma_y \text{ incl. rerounding zonder horizontale steundruk.} \\ \sigma_x \text{ met } \sigma_p = 0,3 \sigma_r \end{cases}$
- 3 $\begin{cases} \sigma_y \text{ incl. rerounding met horizontale steundruk.} \\ \sigma_x \text{ met } \sigma_p = 0,5 \sigma_r \end{cases}$
- 4 $\begin{cases} \sigma_y \text{ incl. rerounding met horizontale steundruk.} \\ \sigma_x \text{ met } \sigma_p = 0,3 \sigma_r \end{cases}$

V.1.5. Resultaten

De resultaten van de berekening zijn weergegeven op bijlage 3, tek. 78.602.

De overschrijdingen van de toelaatbare spanning zijn in onderstaande tabel voor de diverse gevallen gegeven.

Kruising 24" RRP leiding met de Vondelingenweg		
geval	leidingcoördinaten waartussen de toelaatbare spanning wordt overschreden	grootste spanning in N/mm^2
spanning in omtreksrichting met rerounding zonder horizontale steundruk	1424 - 1442 1484 - 1508	185,1 190,8
spanning in omtreksrichting met rerounding en horizontale steundruk	geen overschrijding	
spanning in omtreksrichting zonder inwendige druk zonder horizontale steundruk	geen overschrijding	
spanning in omtreksrichting zonder inwendige druk met horizontale steundruk	geen overschrijding	
spanning in axiale richting met $\sigma_p = 0,3 \sigma_r$	1483 - 1493	216,8
spanning in axiale richting met $\sigma_p = 0,5 \sigma_r$	1481 - 1496	246,2
<u>ideële spanning</u> (zie blz.9)		
- belastingcombinatie 1	1482 - 1492	253,6
- belastingcombinatie 2	1481 - 1493 en t.p.v. 1588	272,2
- belastingcombinatie 3	1483 - 1491	241,5
- belastingcombinatie 4	1482 - 1492	260,3

V.2. De leiding evenwijdig aan de Vondelingenweg

Het zakkingsgedrag is ook hier bepaald uit de opgemeten zakking. De zakking is bepaald uit de verschillen van de metingen in jan. 1967 en dec. 1976.

Hier is dec. 1976 gekozen omdat hiervan de meeste meetgegevens ter beschikking stonden en de zakking tussen dec. 1976 en april 1978 niet noemenswaardig is geweest voorzover na te gaan.

Omdat er voor een zuiver beeld van de zakkingen nogal wat gegevens ontbraken is op vele plaatsen geïnterpoleerd.

Op bijlage 4 is aangegeven hoe deze interpolatie is uitgevoerd. Uit de zakking is op dezelfde wijze de spanning berekend als beschreven in V.1.1., met dien verstande dat hier gebruikgemaakt kan worden van equidistante meetpunten.

Alle gebruikte formules zijn dezelfde als beschreven in V.1.

Voor de 13D bocht t.p.v. leidingcoördinaat 175 is het beschrevene onder V.1.3. van toepassing.

De buigspanning σ_{xm} t.p.v. de bocht bedraagt ongeveer 50 N/mm^2 .

De tangentiële spanning (met inwendige druk) zal moeten worden vermeerderd met $0,5 \times 50 = 25 \text{ N/mm}^2$.

V.2.1. Resultaten

De resultaten van de berekening zijn weergegeven op bijlage 4.

De toelaatbare spanning wordt in axiale richting alleen overschreden t.p.v. leidingcoördinaat 1310. De grootste spanning daar ter plaatse bedraagt $189,5 \text{ N/mm}^2$.

In tangentiële richting wordt de toelaatbare spanning overschreden t.p.v. leidingcoördinaat 220 onder de Butaanweg en t.p.v. de bocht leidingcoördinaat 175. De grootste spanningen daar ter plaatse bedragen $186,0 \text{ N/mm}^2$ resp. $195,0 \text{ N/mm}^2$.

De toelaatbare ideale spanning wordt nergens overschreden.

V.3. Ontgrondingslengte bij breuk van de leiding evenwijdig aan de Vondelingenweg

De hydraulische gegevens berusten op het in bijlage 5 weergegeven hydraulische diagram.

$$P_o = 6,19 \text{ N/mm}^2$$

$$H_o = 736 \text{ MVK}$$

$$H_c = 100 \text{ MVK}$$

$$L = 99960 \text{ m}$$

$$Q_o = 2150 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\rho = 840 \text{ kg/m}^3$$

$$H_w = H_o - H_c = 736 - 100 = 636 \text{ MVK}$$

$$\text{wanddikte} = 12,7 \text{ mm}$$

$$\text{inwendige diameter } D_i = 584,2 \text{ mm}$$

$$F_{\text{inw.}} = 0,268 \text{ m}^2$$

$$V_o = \frac{Q_o}{F_{\text{inw.}}} = \frac{2150}{0,268 \times 3600} = 2.23 \text{ m/s}$$

$$i = \frac{H_w}{L} = \frac{636}{99960} = 6,36 \cdot 10^{-3}$$

Gebruikmakend van de grafieken uit het rapport "Veiligheid persleidingen bij dijken (WL, M 1007) zijn de volgende parameters van belang:

$\frac{\ell}{L}$: Het leidinggedeelte ligt zo dicht bij pompstation Pernis dat dit op $\frac{\ell}{L} = 0$ wordt gesteld (ℓ = afstand Vondelingenweg tot pompstation Pernis).

$$\frac{H_w}{H_o} = \frac{636}{730} = 0,86$$

$$f = \frac{V_o^2}{2g \cdot H_o} = \frac{2,23^2}{2 \cdot 9,8 \cdot 736} = 3,45 \cdot 10^{-4}$$

De ontgrondingslengte R wordt berekend met

$$R = 7 \sqrt[3]{\frac{Q_{\text{uit}} \times V_{\text{uit}}}{g}}$$

waarin Q_{uit} uit de grafieken kan worden verkregen .

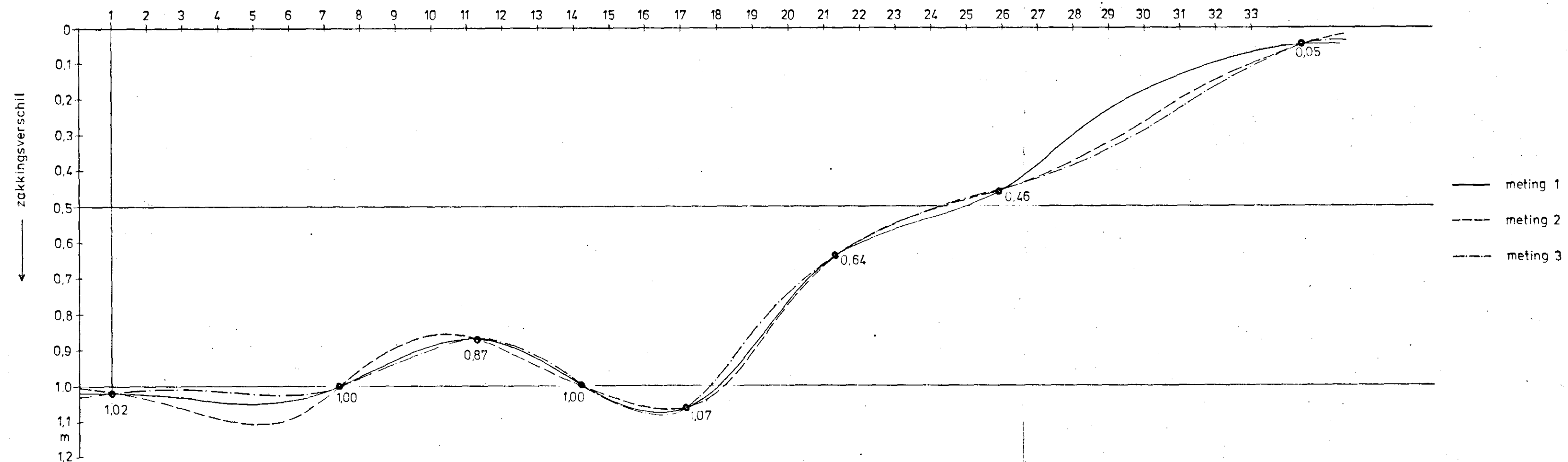
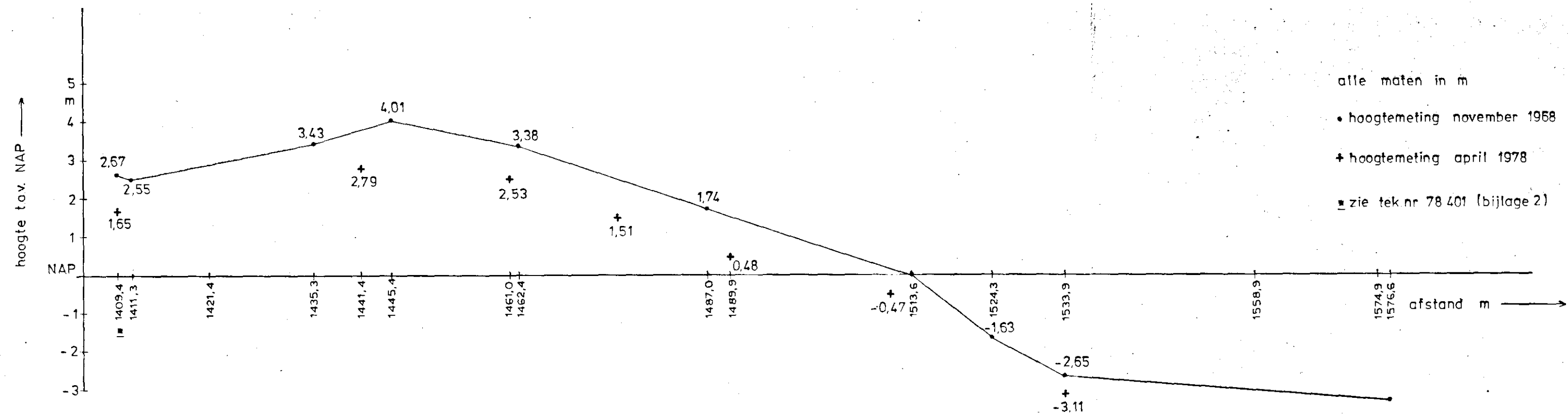
$$V_{uit} = \frac{Q_{uit}}{u F_{gat}} \quad \text{waarin } u = 0.80 \text{ voor } \frac{d_{gat}}{D_i} > 1,1$$
$$\text{en } 0,65 \text{ voor } \frac{d_{gat}}{D_i} < 1,1$$

Bij een 3-tal waarden van f zijn de ontgrondingslengten berekend

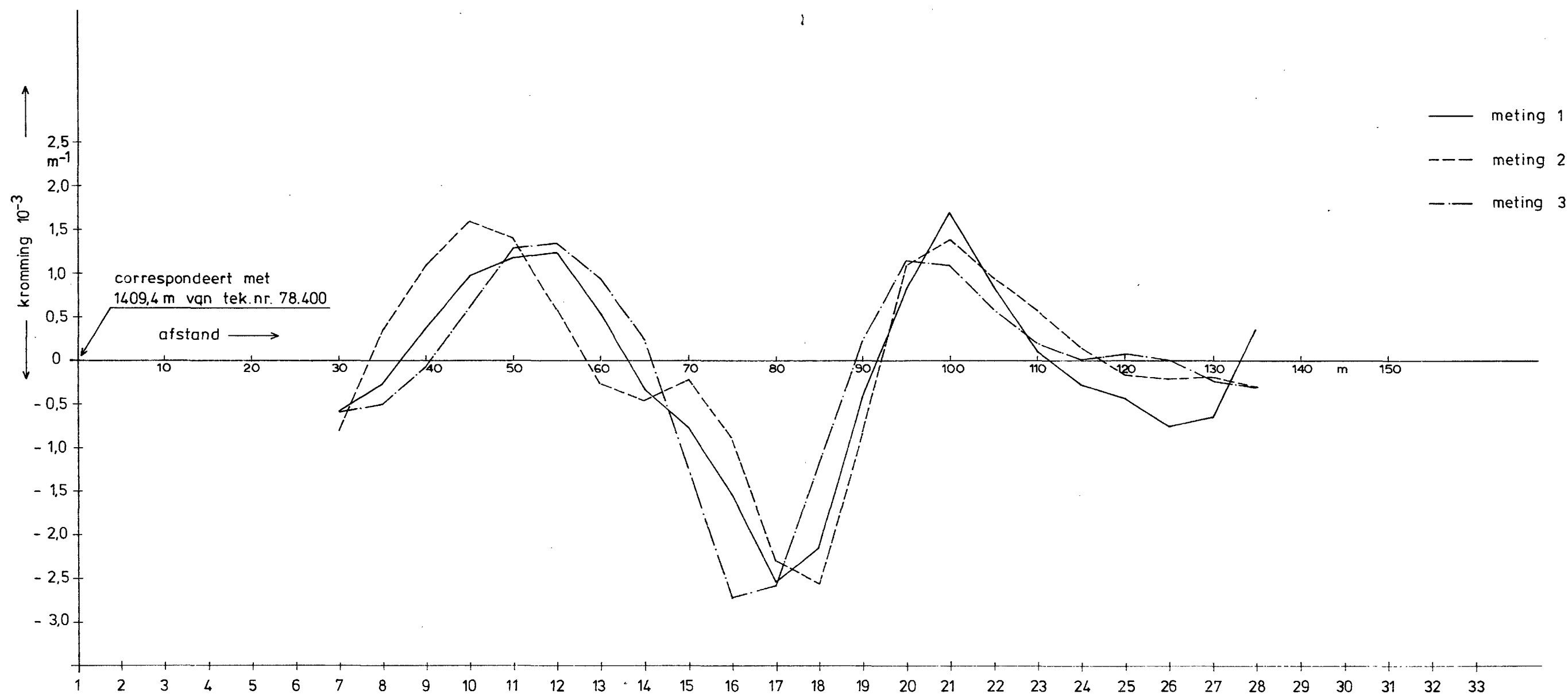
bij verschillende $\frac{d_{gat}}{D_i}$.

De waarden van f zijn op logaritmische schaal uitgezet. De maximale ontgrondingslengte bij de waarde $f = 3,45 \cdot 10^{-4}$ wordt door interpolatie verkregen en bedraagt 11,8 m.

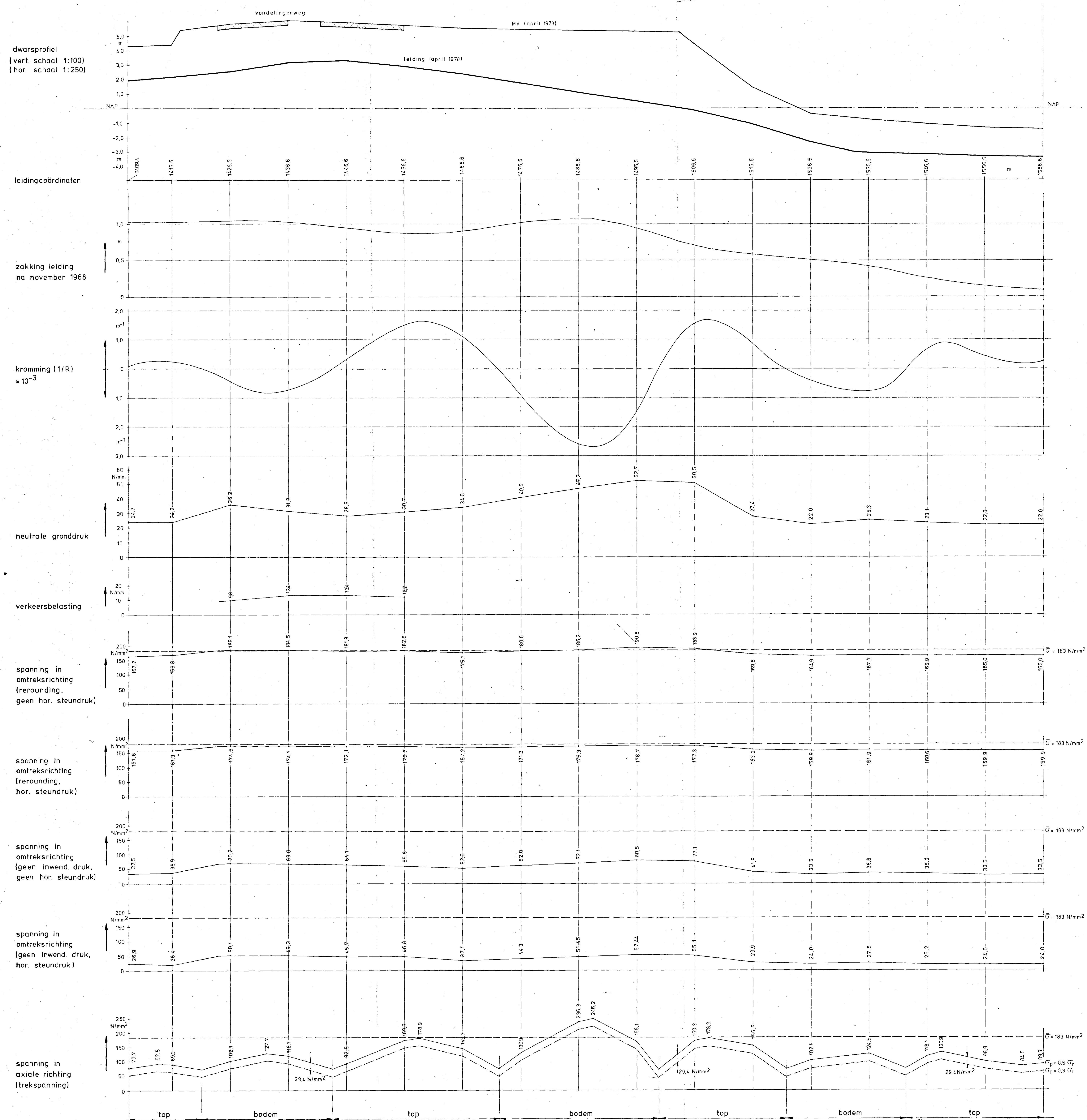
Op bijlage 6 zijn de resultaten weergegeven.

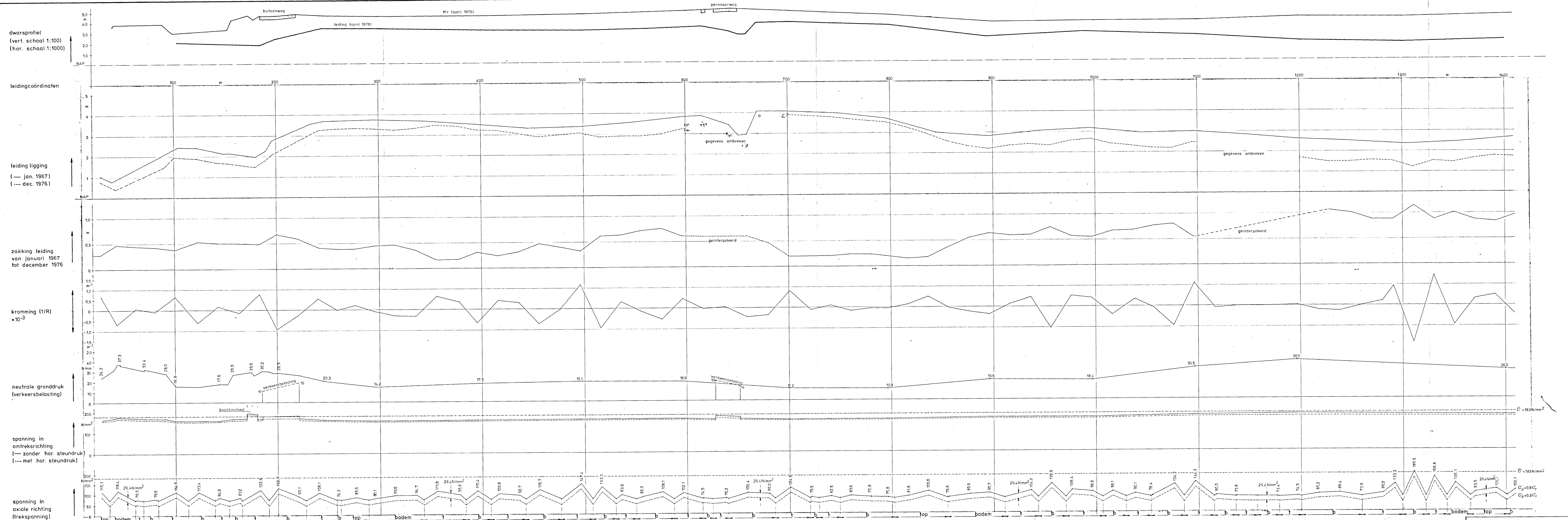


kruising 24" RRP-leiding met vondelingenweg				BIJLAGE 1	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN				SCHAAAL	
				HOR. 1: 500 VERT. 1: 100 / 10	
				3Z	WERKNR. A-78 034 TEK. NR. 78 400

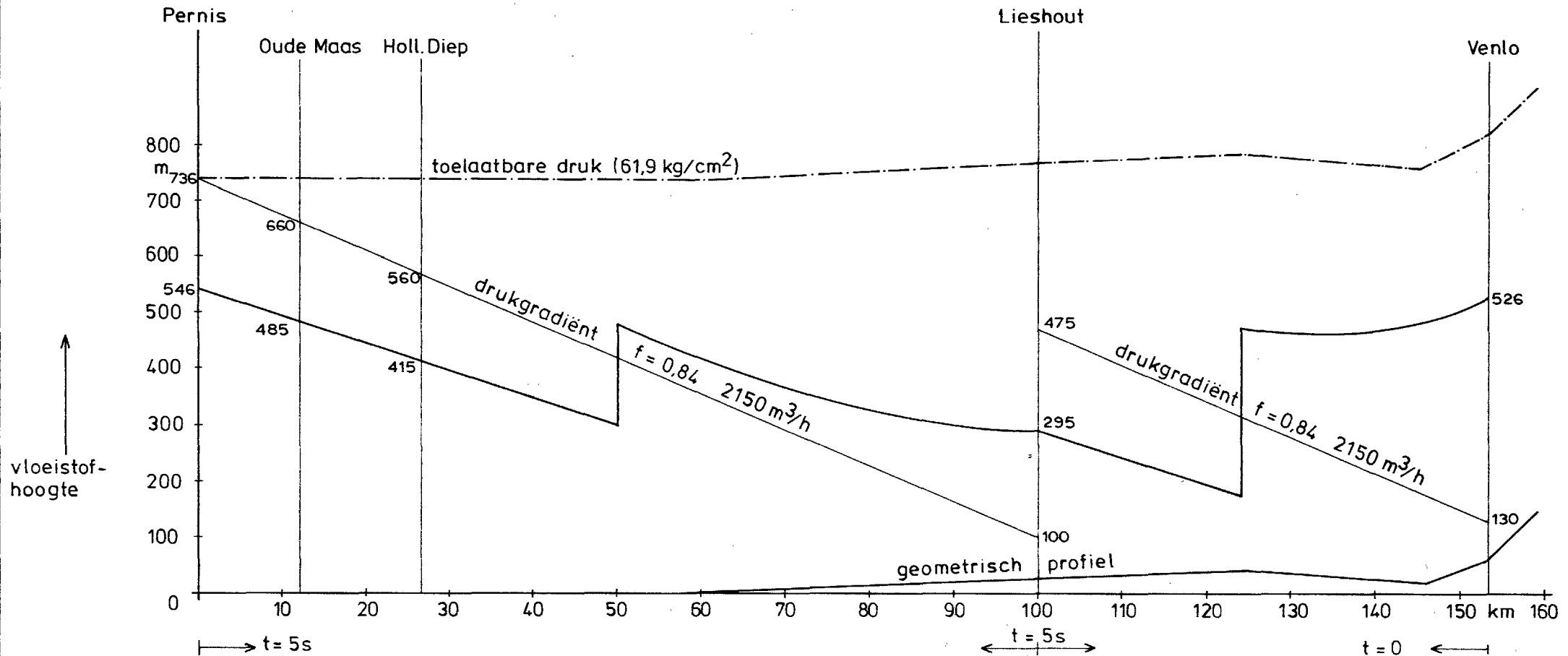


kruising 24" RRP-leiding met vondelingenweg				BIJLAGE 2	
CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN				SCHAAL	
				HOR 1:500 VERT 1:50	
				A3	WERKNR. A-78.034 TEK. NR. 78.401





Pernis en Lieshout in bedrijf
Gasolie, Toelaatbare leidingdruk $61,9 \text{ kg/cm}^2$



24" RRP - leiding,
hydraulisch diagram

bijlage 5

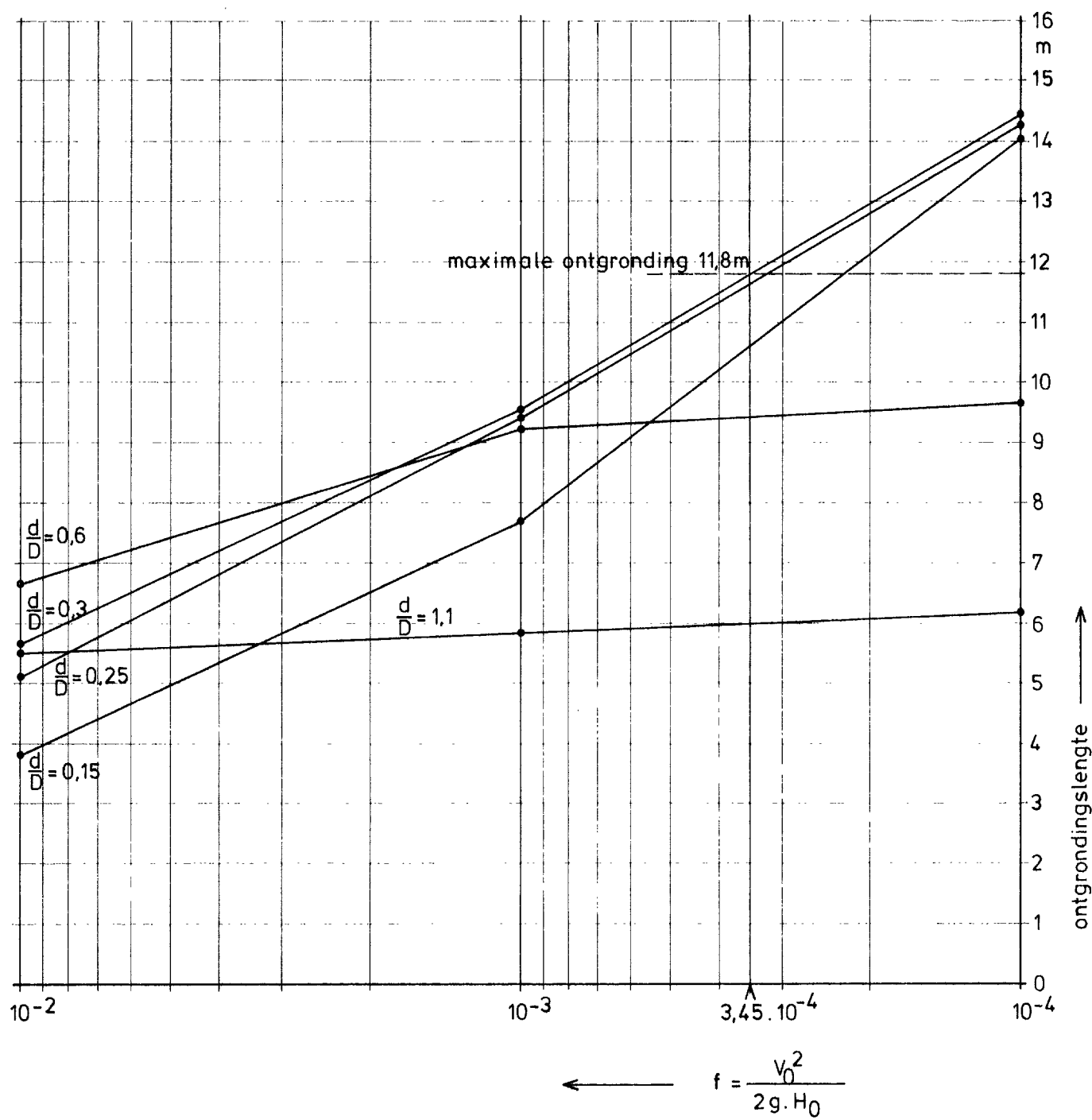
SCHAAL -

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

gem	get	gez
	vd	8
	4-79	

A4

WERKNR.	A-78.034
TEK. NR.	79.059



24" RRP - leiding, ontgrondingslengte

bijlage 6

SCHAAL -

CENTRUM VOOR ONDERZOEK
WATERKERINGEN

gem	get	gez
	679 dl	18

A4

WERKNR.	A-78.034
TEK. NR.	79.058