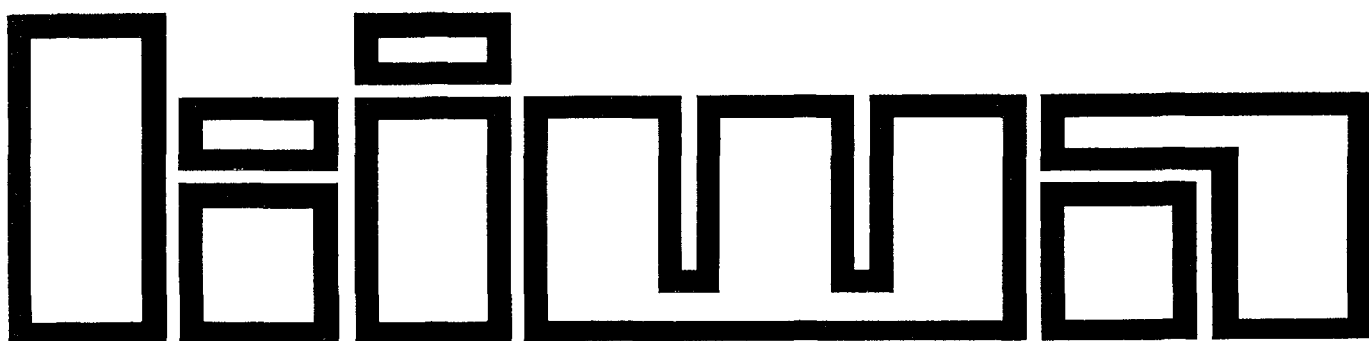




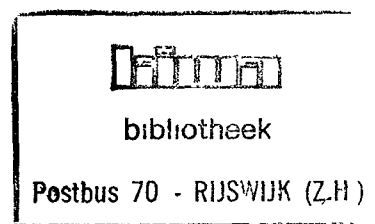
keurings  
instituut  
voor  
waterleiding  
artikelen  
kiwa n.v.



Het ontwerpen en berekenen van leidingnetten

628 152

Mededeling nr. 58 van het KIWA



Rapport van de  
Werkgroep Leidingnetontwerp en -berekening  
van de  
Commissie Distributie

Rijswijk (Z.H.), september 1979



HET ONTWERPEN EN BEREKENEN VAN LEIDINGNETTEN

| INHOUD                                                                                                               | blz. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 SUMMARY                                                                                                            | 7    |
| 2 SAMENVATTING                                                                                                       | 9    |
| 3 INLEIDING                                                                                                          | 11   |
| 4 ECONOMISCHE ASPECTEN BIJ HET BEPALEN VAN LEIDING-<br>DIAMETERS, TOELAATBARE DRUKVERLIEZEN EN ONTWERP-<br>TERMIJNEN | 13   |
| 4.1 Economische diameter, economisch drukverlies                                                                     | 13   |
| 4.1.1 Algemeen                                                                                                       | 13   |
| 4.1.2 De methode der contante waarden                                                                                | 14   |
| 4.1.3 Kapitaallasten                                                                                                 | 14   |
| 4.1.4 Energiekosten                                                                                                  | 16   |
| 4.1.5 Voorbeeld voor de berekening van de kapitaallasten<br>en energiekosten bij distributieleidingen                | 23   |
| 4.1.6 Het effect van een afnemend debiet                                                                             | 29   |
| 4.1.7 Samenvatting en conclusies                                                                                     | 35   |
| 4.2 Meest economische ontwerptermijnen                                                                               | 37   |
| 4.2.1 Algemeen                                                                                                       | 37   |
| 4.2.2 De aanvangsbehoefte is gelijk aan nul                                                                          | 38   |
| 4.2.3 De aanvangsbehoefte is ongelijk aan nul                                                                        | 39   |
| 4.2.4 Het rekening houden met energiekosten bij leidingen                                                            | 40   |
| 4.2.5 Samenvatting                                                                                                   | 43   |
| 5 BEDRIJFSZEKERHEID                                                                                                  | 45   |
| 5.1 Algemeen                                                                                                         | 45   |
| 5.2 Facetten van belang voor het bepalen van de mate<br>van bedrijfszekerheid van leidingnetten                      | 46   |
| 5.2.1 Frequentie van het aantal storingen in een leiding-<br>net                                                     | 46   |
| 5.2.2 Duur van de storing                                                                                            | 48   |
| 5.2.3 Grootte en kwetsbaarheid van het gebied, dat de ge-<br>volgen van een storing ondervindt                       | 49   |
| 5.2.4 Het verbruikspatroon                                                                                           | 49   |
| 5.3 Toepassing van de gegevens onder 5.2                                                                             | 51   |

|                                                                                                                                                   | blz. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 5.4 Toetsing van de Aanbevelingen van de VEWIN                                                                                                    | 55   |
| 5.4.1 Aanvoerleidingen                                                                                                                            | 55   |
| 5.4.2 Afsluitersecties                                                                                                                            | 56   |
| 5.5 Samenvatting en conclusies                                                                                                                    | 58   |
| 6 BRANDBLUSVOORZIENINGEN                                                                                                                          | 61   |
| 7 HET ONTWERPEN VAN EEN LEIDINGNET                                                                                                                | 63   |
| 7.1 Het ontwerpen van een leidingnet, uitgaande van een<br>bestaand net                                                                           | 63   |
| 7.1.1 Kennis van het bestaande net                                                                                                                | 63   |
| 7.1.2 Het opstellen van alternatieven voor de capaciteits-<br>uitbreiding                                                                         | 65   |
| 7.1.3 Kostenvergelijking met behulp van de methode der<br>contante waarden                                                                        | 67   |
| 7.1.4 Samenvatting                                                                                                                                | 71   |
| 7.2 Het ontwerpen van een leidingnet, waarbij geen reke-<br>ning behoeft te worden gehouden met een bestaand net                                  | 71   |
| 8 MOGELIJKHEDEN TEN AANZIEN VAN HET GEBRUIK VAN<br>COMPUTERS                                                                                      | 77   |
| 8.1 Algemeen                                                                                                                                      | 77   |
| 8.2 Aspecten van het berekenen van een leidingnet met<br>behulp van een computer                                                                  | 80   |
| 8.3 Overwegingen (veelal sterk subjectief gericht) ten<br>aanzien van het al dan niet inschakelen van computer-<br>faciliteiten                   | 82   |
| 8.4 Uiteenzetting van de wijzen waarop de computer kan<br>worden ingeschakeld                                                                     | 85   |
| 9 TWEE PRAKTIJKVOORBEELDEN, WAARBIJ DE INZICHTEN, ONT-<br>WIKKELD IN DE 5 VORENSTAANDE HOOFDSTUKKEN, WORDEN<br>TOEGELICHT, UITGEWERKT OF GETOETST | 93   |
| 9.1 Praktijkvoorbeeld 1, nieuwbouwwijk in Wijchen                                                                                                 | 93   |
| 9.1.1 Algemeen                                                                                                                                    | 93   |
| 9.1.2 Het ontwerp met de laagste investering                                                                                                      | 93   |
| 9.1.3 Het effect van het aanhouden van een drukhoogte-<br>verlies van 1 m/km                                                                      | 95   |

|       |                                                                                                                                                                                    |      |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|       |                                                                                                                                                                                    | blz. |
| 9.1.4 | Het effect van het terugbrengen van het aantal aftakkingen van de transportleiding                                                                                                 | 97   |
| 9.1.5 | Het effect van maatregelen ten behoeve van de bedrijfszekerheid                                                                                                                    | 97   |
| 9.1.6 | Het effect van het invoeren van de brandbluseis, dat op elk punt 90 m <sup>3</sup> /h moet kunnen worden geleverd boven het piekverbruik en dan nog bij een drukhoogte van 20 m wk | 98   |
| 9.1.7 | Energiekosten                                                                                                                                                                      | 98   |
| 9.1.8 | Vergelijking van de plannen                                                                                                                                                        | 101  |
| 9.2   | Praktijkvoorbeeld 2, theoretische stad van 100.000 inwoners                                                                                                                        | 104  |
| 9.2.1 | Algemeen                                                                                                                                                                           | 104  |
| 9.2.2 | Tracé hoofdaanvoerleidingen                                                                                                                                                        | 104  |
| 9.2.3 | Aftakkingen                                                                                                                                                                        | 106  |
| 9.2.4 | Dimensionering van de hoofdaanvoerleidingen                                                                                                                                        | 111  |
| 9.2.5 | Maatregelen ten behoeve van de bedrijfszekerheid                                                                                                                                   | 112  |
| 9.2.6 | Controleberekeningen met behulp van een computer                                                                                                                                   | 114  |
| 9.2.7 | Energiekosten                                                                                                                                                                      | 115  |
| 9.2.8 | Financiële vergelijking van de plannen                                                                                                                                             | 116  |

#### BIJLAGEN

1. tabel 5 opbouwkosten en contante waarde theoretische stad van 100.000 inwoners
2. tabel 10 kosten varianten plan Wijchen
3. tabel 16 vergelijking drukhoogteverliezen fig. 59, 60 en 61
4. figuur 1 aanlegkosten per m vs. leidingdiameters
5. figuur 2 gemiddelde aanlegkosten per m vs. leidingdiameters
6. figuur 6 contante waarden van aanlegkosten
7. figuur 7 gesommeerde contante waarden van aanleg- en energiekosten bij 3% rente
8. figuur 8 gesommeerde contante waarden van aanleg- en energiekosten bij 9% rente
9. figuur 9 minimale contante waarde van invest.- plus energiekosten vs. snelheid bij 3% rente
10. figuur 10 minimale contante waarde investerings- plus energiekosten vs. snelheid bij 9% rente

vervolg Bijlagen

11. figuur 13 gecorrigeerde minimale contante waarde van investerings- plus energiekosten vs. snelheid bij 3% rente
12. figuur 14 gecorrigeerde minimale contante waarde van investerings- plus energiekosten vs. snelheid bij 9% rente
13. figuur 16 als figuur 13
14. figuur 17 als figuur 14
15. figuur 18 samenvatting figuren 9, 13 en 16
16. figuur 20 meest econ. ontwerptermijn vs. rentefactor
17. figuur 22 ontwerptermijn vlg.  $I = \alpha C^\beta$   $\beta=0,5$
18. figuur 23 " " "  $\beta=0,6$
19. figuur 24 " " "  $\beta=0,7$
20. figuur 25 " " "  $\beta=0,8$
21. figuur 28 gesommeerde contante waarden voor aanleg- plus energiekosten gevallen A en D in tabel 1 rentefactor 1,03
22. figuur 29 als 28, doch rentefactor 1,09
23. figuur 30 minimale gesommeerde contante waarden volgens figuren 28 en 29
24. figuur 33 overschrijdingskromme
25. figuur 34 overschrijdingskrommen diverse waterleidingbedrijven
26. figuur 39 afgesloten voorzieningsgebied
27. figuur 43 schema voor HYENA bij IBM via KIWA
28. figuur 44 schema voor HYENA volgens TSO/RJE bij IBM via KIWA
29. figuur 45 schema voor HYENA volgens TSO/RJE bij IBM door PWN
30. figuur 46 schema voor HYDRA volgens CALL Time Sharing bij IBM door PWN
31. figuren 47 t/m 47 b
32. figuren 47 c t/m 47 g
33. figuren 47 h t/m 47 l
34. figuren 47 m t/m 47 q
35. figuren 47 r t/m 47 s
36. figuur 49 net voor stad van 100.000 inwoners
37. figuur 57 net voor stad van 100.000 inwoners, hoofdleidingen

vervolg Bijlagen

38. figuur 58 net voor stad van 100.000 inwoners, hoofdleidingen en knooppunten
39. figuur 59 net voor stad van 100.000 inwoners, drukhoogteverlies 1 m/km
40. figuren 59 a,b,c, net voor stad van 100.000 inwoners, lijnen van gelijke drukverliezen onder verschillende omstandigheden
41. figuur 60 net voor stad van 100.000 inwoners, variant op koppelleidingen
42. figuren 60 a,b,c, net voor stad van 100.000 inwoners, lijnen van gelijke drukverschillen onder verschillende omstandigheden
43. figuur 61 net voor stad van 100.000 inwoners, drukverlies 2 m/km
44. figuren 61 a,b,c, net voor stad van 100.000 inwoners, lijnen van gelijke drukverliezen onder verschillende omstandigheden



## 1 SUMMARY

The design and dimensioning of water mains is in itself a simple matter once the starting data have been fixed. However assessments of what these starting data should be vary, primarily because of variations in local conditions, but also because of personal views, which are often based on purely intuitive considerations.

This report considers some of the most important starting data, viz.

1. the most economic pressure drop,
2. operational reliability
3. fire-fighting requirements.

In view of a number of variables and the large differences they may generate, it is not possible to lay down general rules. The report therefore confines itself to presenting methods of calculation and approach which will enable a reasonable assessment to be made of the starting data referred to above in each individual case. An important tool is the constant value method, which allows good financial comparisons to be made. This method has been described in detail in a report entitled "Constant value as a criterion in the long-term planning of water supply authorities" (KIWA Technical Report No. 59).

The calculations and analyses carried out confirm the differences in starting data between municipal and rural systems. In a supply area with a high consumption the pressure drops generally have to be lower than in low-consumption areas. Indeed, the load on the largest main in a supply area is indicative of the pressure drop to be maintained over the whole area, i.e. including the smaller pipes at the extremity of the system.

The steps taken to ensure operational reliability will also generally have to be more rigorous in a large-consumption area than in a smaller one. In subsections of a large

region, however, a lower operational reliability may be acceptable.

It is obvious that with increasing consumption, rural authorities will also be obliged to adhere to lower pressure drops and more rigorous measures relating to operational reliability. The change-over to lower pressure drops will naturally be accelerated by the anticipated rise in energy costs.

Little can be said about the extent of fire-fighting requirements since this is a matter for discussion between the fire service and the water authority. It certainly appears that in the average modern supply main, flows of 60 m<sup>3</sup>/h can be provided, although severe reductions in pressure may have to be tolerated. In view of the fact that only small systems have trouble with pressure reduction, this seems to be acceptable.

A separate section is devoted to computer calculations. This is not so much concerned with the techniques of computer calculation (on which there is already sufficient published material) as with considering whether computer methods should be adopted. It also suggests how the computer can be introduced.

On the other hand, a method is presented for obtaining a good insight into a not too complicated supply system with relatively little calculation.

Finally, an attempt is made to illustrate all the aspects using two examples of the design of water supply systems, one for a development region with about 10.000 inhabitants and the other for a town with about 100.000 inhabitants.

Het ontwerpen en berekenen van leidingnetten is op zich een eenvoudige zaak, wanneer eenmaal de uitgangspunten zijn bepaald. Over deze uitgangspunten bestaan evenwel verschillen van inzicht. Deze verschillen komen in de eerste plaats voort uit plaatselijke omstandigheden, maar ook persoonlijke visies, die vaak intuïtief tot stand zijn gekomen, spelen hierbij mee.

In dit rapport is ingegaan op enkele van de belangrijkste uitgangspunten, te weten:

1. het meest economische drukverlies
2. de bedrijfszekerheid
3. de brandbluseisen.

Gezien het aantal variabelen en de grote verschillen, die kunnen voorkomen bij deze variabelen, is het niet mogelijk tot algemene regels te komen. Het rapport beperkt zich er dan ook toe berekeningsmethoden en benaderingswijzen aan te geven, waarmee een ieder voor zijn situatie tot een goede bepaling van eerdergenoemde uitgangspunten kan komen. Een belangrijk hulpmiddel is de methode der contante waarden. Hiermee kunnen goede financiële vergelijkingen worden gemaakt. Deze methode is uitgebreid beschreven in het rapport "De contante waarde als maatstaf voor de lange-termijn-planning bij het waterleidingbedrijf" KIWA-mededeling nr. 59.

De gemaakte berekeningen en de gehouden beschouwingen geven een bevestiging van de verschillen in uitgangspunten tussen de stedelijke bedrijven en de streekbedrijven.

In een voorzieningsgebied met een hoog verbruik zullen in het algemeen de drukverliezen lager moeten zijn dan in een gebied met een laag verbruik. In feite is de belasting van de grootste leiding van een voorzieningsgebied maatgevend voor het aan te houden drukverlies voor het hele gebied. Dus ook voor de kleinere leidingen achter in het net.

Ook de maatregelen ten aanzien van de bedrijfszekerheid zullen bij een groot verbruiksgebied in het algemeen zwaarder moeten zijn dan bij een klein gebied. Bij de delen van een groot gebied kan evenwel weer met een kleinere bedrijfszekerheid worden volstaan.

Het ligt voor de hand dat de streekbedrijven bij het toenemen van de verbruiken ook geleidelijk op lagere drukverliezen en zwaardere eisen ten aanzien van de bedrijfszekerheid zullen overgaan. De overgang naar lagere drukverliezen zal daarbij uiteraard versneld worden door de te verwachten stijging der energiekosten.

Over de hoogte van brandbluseisen is weinig te zeggen, omdat dit een zaak van overleg is tussen de brandweer en het waterleidingbedrijf. Wel blijkt, dat bij doorsnee nieuwbouwnetten hoeveelheden van 60 m<sup>3</sup>/h zonder extra aan te brengen verzwaringen kunnen worden geleverd, zij het dat we dan met forse drukdalingen te maken kunnen krijgen. Gezien het feit, dat het slechts een klein gebied is, dat hinder heeft van de drukdaling, lijkt dit acceptabel.

Een apart hoofdstuk is gewijd aan computerberekeningen. Hierin is niet zo zeer de techniek van de computerberekeningen besproken - over deze materie is voldoende gepubliceerd - als wel de overwegingen of men al of niet tot computerberekeningen moet overgaan.

Tevens wordt uiteengezet hoe de computer kan worden ingevoerd.

Anderzijds is een methode aangegeven hoe met betrekkelijk weinig rekenwerk een goed inzicht kan worden verkregen in een niet te ingewikkeld vermaasd net.

Tenslotte is aan de hand van een tweetal voorbeelden namelijk leidingnetontwerpen voor een nieuwbouwwijk van circa 10.000 inwoners en voor een stad van 100.000 inwoners, getracht alle aspecten nog eens aanschouwelijk te maken.

### 3 INLEIDING

Door de Commissie Distributie zijn in 1972 een aantal Werkgroepen ingesteld met het oogmerk problemen op het gebied van de distributie te bestuderen. Een van deze Werkgroepen is de Werkgroep Leidingnetontwerp en -berekening. De samenstelling van deze Werkgroep is:

|                                   |                                                                        |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| ing. W.C. Klein                   | - Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland                    |
| ir. E. de Rammelaere              | - Antwerpse Waterwerken N.V.                                           |
| ir. A.H. Stofberg<br>(voorzitter) | - N.V. Waterleiding Maatschappij<br>Gelderland                         |
| ing. W.H. Verel                   | - Drinkwaterleiding der Gemeente Rotterdam                             |
| ing. H.H. Vodegel                 | - KIWA N.V.                                                            |
| ir. J.T. van der Zwan             | - Gemeentewaterleidingen, Amsterdam                                    |
| ing. J. van Beckhoven             | - N.V. Waterleiding Maatschappij<br>(toegevoegd secretaris) Gelderland |

Aangezien door de Commissie Distributie geen gedetailleerde taakomschrijving was gegeven, heeft de Werkgroep zelf haar programma vastgesteld en heeft daarbij gekozen voor de volgende onderwerpen:

- a. economische aspecten bij het bepalen van leidingdiameters, toelaatbare drukverliezen en ontwerptermijnen;
- b. bedrijfszekerheid;
- c. brandblusvoorzieningen;
- d. het ontwerpen van een leidingnet;
- e. mogelijkheden ten aanzien van het gebruik van computers;
- f. twee praktijkvoorbeelden, waarbij de inzichten ontwikkeld in de 5 vorenstaande hoofdstukken worden toegelicht, uitgewerkt of getoetst.



4. ECONOMISCHE ASPECTEN BIJ HET BEPALEN VAN LEIDINGDIAMETERS,  
TOELAATBARE DRUKVERLIEZEN EN ONTWERPTERMIJNEN

4.1 Economische diameter, economisch drukverlies

4.1.1 Algemeen

De economische diameter is een onderwerp dat al vele pen-  
nen in beweging heeft gebracht. Vrijwel alle artikelen  
over dit onderwerp beperken zich evenwel tot transport-  
leidingen en laten distributienetten buiten beschouwing.  
Daarbij is men geneigd te denken dat alle economische as-  
pecten beoordeeld kunnen worden aan de hand van een bere-  
kening van de kapitaalslasten en energiekosten. Dit is  
echter in een aantal gevallen niet juist. Een en ander  
wordt duidelijk als men bedenkt dat ook van de zijde van  
de waterkwaliteit, de bedrijfszekerheid en de brandblus-  
sing eisen worden gesteld aan een leidingnet. Hiervan zijn  
de rechtstreekse financiële consequenties misschien nog  
berekenbaar, doch de eraan verbonden economische aspecten  
zijn al heel moeilijk financieel te evalueren. In verband  
hiermee wordt in dit hoofdstuk noodgedwongen geen rekening  
gehouden met deze bijkomende aspecten. De economische be-  
rekeningen worden gemaakt louter op basis van kapitaals-  
lasten en energiekosten. De resultaten van deze bereke-  
ningen dienen evenwel slechts beschouwd te worden als zeer  
nuttige inlichtingen en niet als imperatieven.

De methode en de uitwerking zijn uitgebreid beschreven in  
het rapport "De contante waarde als maatstaf voor de  
lange-termijn-planning bij het waterleidingbedrijf", dat  
op verzoek van de Werkgroep is opgesteld door

ir. H. Vaessen van de N.V. Waterleiding Maatschappij  
Gelderland en dat gelijktijdig met dit rapport als aparte  
mededeling nr. 59 van het KIWA is uitgegeven.

In dit hoofdstuk zal worden volstaan met een vereenvoudig-  
de weergave van het rapport.

#### 4.1.2 De methode der contante waarden

De contante waarde van een investering, die  $n$  jaar na het basisjaar wordt gedaan, is het bedrag, dat in het basisjaar gereserveerd moet worden om op basis van samengestelde interest in  $n$  jaar aan te groeien tot de in het betreffende jaar benodigde investering.

De methode der contante waarden houdt in, dat van alle kosten, die bij een project in de loop van een beschouwde periode gemaakt moeten worden om een bepaalde voorziening mogelijk te maken, de contante waarde wordt bepaald voor een aangenomen basisjaar. De som van deze contante waarden is dan een goede maatstaf voor een financiële vergelijking met andere projecten. (Ook bij het zoeken naar de economische diameter kan deze methode worden gebruikt. Het komt er dan op neer, dat bij een aangenomen verbruik voor een aantal diameters de contante waarden van de kapitaalslasten en de energiekosten worden bepaald en met elkaar vergeleken.) Daarbij doet zich de vraag voor, welke periode daarbij in beschouwing dient te worden genomen. Om verschillende redenen is gekozen voor een oneindige periode, waarbij kan worden opgemerkt dat de kosten die na 50 jaar optreden vrijwel geen gewicht meer in de schaal leggen, mits niet met een te lage rentevoet wordt gerekend.

#### 4.1.3 Kapitaalslasten

De bepaling van de contante waarde van de kapitaalslasten is betrekkelijk eenvoudig.

Stel, er moet een investering van  $I$  gld worden gedaan; de afschrijvingstermijn (= levensduur) bedraagt  $n$  jaar.

Hierbij zijn de jaarlijkse kosten op annuïteitsbasis:  $\text{ann.}I$ .

Na  $n$  jaar is de leiding afgeschreven, maar moet ook weer een nieuwe leiding worden gelegd, omdat we de afschrijvingstermijn gelijk hebben verondersteld met de levensduur. De inflatie buiten beschouwing latend, zal voor de nieuwe leiding wederom een investering  $I$  nodig zijn en zullen de jaarlijkse kosten aan kapitaalslasten opnieuw  $\text{ann.}I$  bedragen.

De contante waarde van deze kosten is nu het bedrag, dat in het eerste jaar aanwezig moet zijn om deze jaarlijkse kosten (ann.I) tot in lengte van jaren te kunnen betalen. De contante waarde moet dan zo groot zijn, dat met de rente ervan de jaarlijkse kosten ann.I kunnen worden betaald.

Dus:

$$C \cdot r = \text{ann.I}$$

of  $C = \frac{\text{ann.I}}{r}$

waarin C = contante waarde van de kapitaalslasten van de leiding

I = investering van de leiding

ann = annuïteitspercentage

r = rentepercentage

Wil men om wat voor redenen ook rekening houden met prijsstijgingen (inflatie), dan is dit globaal mogelijk door in plaats van met de werkelijke rentevoet te rekenen met een ideële rentevoet, die wordt verkregen door van de werkelijke rentevoet de jaarlijkse prijsstijging af te trekken.

Voorbeeld: bij een aangenomen levensduur van 50 jaar en een rentevoet van 8% is volgens de rentetabel ann = 0,0817; dan is

$$C = \frac{0,0817}{0,08} \cdot I = 1,02 \cdot I$$

De contante waarde van de kapitaalslasten is te vinden door de aanlegkosten met de factor 1,02 te vermenigvuldigen. Houden we rekening met een prijsstijging van 5% , dan wordt de ideële rentevoet = 8 - 5 = 3% .

In figuur 1 (bijlage 4) is aangegeven het verband tussen de aanlegkosten per m' en de leidingdiameter, zoals dit door een negental grote waterleidingbedrijven voor het prijspeil van 1972 werd opgegeven.

Duidelijk blijkt, dat er grote verschillen bestaan, maar het is in het kader van deze verhandeling niet relevant om na te gaan hoe deze verschillen verklaard kunnen worden. Evenmin zal hier getracht worden om het verband tussen aanlegkosten en diameter in een formule vast te leggen, omdat bij de berekening van de economische diameter de kosten steeds voor elke diameter afzonderlijk worden berekend. In de volgende hoofdstukken zal het verband worden aangehouden, zoals aangegeven in figuur 2 (bijlage 5), maar er wordt met nadruk op gewezen dat dit een vrij willekeurige keuze is en dat het een ieder vrij staat hiervan af te wijken en aansluiting te zoeken bij specifieke bedrijfsgegevens.

#### 4.1.4 Energiekosten

De bepaling van de contante waarde der energiekosten kan meer moeilijkheden opleveren. Dit is in het algemeen niet het geval bij leidingen die gebruikt worden om water naar een reservoir te transporteren. Door deze leidingen worden namelijk betrekkelijk constante hoeveelheden verpompt. Hierdoor is de berekening der energiekosten eenvoudig. Aangezien de bepaling van energiekosten bij leidingen met aan het eind een reservoir reeds meermalen besproken is, zal er in dit rapport aan worden voorbijgegaan. We beperken ons hier tot de bepaling van de energiekosten bij distributienetten.

Bij distributienetten moet rekening worden gehouden met variaties die optreden over de dag, over het jaar en over een periode van jaren. De variaties over de dag en over het jaar worden in het rapport Vaessen ondervangen door het invoeren van een ideëel verbruik ( $Q_i$ ). Dit ideële verbruik is het verbruik dat, wanneer het alle 8760 uren van het jaar zou optreden, hetzelfde energieverlies zou opleveren als de werkelijk opgetreden verbruiken veroorzaken. Uitgaande van de in het Handboek voor het Waterleidingvak opgenomen voorbeelden (zie deel I 4e druk blz. 172 en blz. 194) blijkt  $Q_i = 1,3 \cdot Q_{\text{gem}}$  te zijn\*).

\*) Een uitgewerkte berekening is te vinden in het rapport Vaessen op blz. 29 en volgende.

Voorbeeld: het jaarverbruik =  $10^6 \text{ m}^3$   
het gem. uurverbruik =  $\frac{10^6}{8760} = 114 \text{ m}^3/\text{h}$

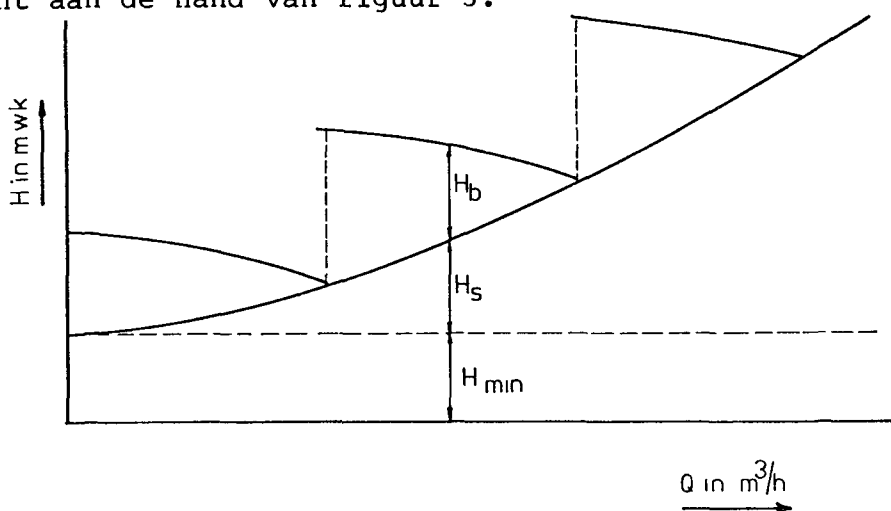
$$Q_i = 1,3 \cdot Q_{\text{gem}} = 148 \text{ m}^3/\text{h}$$

Voor het bepalen van de jaarlijkse energiekosten moet dan als debiet worden genomen  $148 \text{ m}^3/\text{h}$  gedurende 8760 uren en als opvoerhoogte het drukhoogteverlies, dat in de leiding optreedt bij  $148 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Wat de jaarlijkse toename van de verbruiken betreft, zijn er allerlei veronderstellingen mogelijk. In het rapport Vaessen is een verbruik aangenomen dat aanvankelijk lineair toeneemt en na een bepaald tijdstip constant wordt. Voor dit geval zijn langs wiskundige weg de energiekosten berekend (zie blz. 34 t/m 36, rapport Vaessen). Er is echter ook een eenvoudiger doch bewerkelijker bepaling mogelijk door aan de hand van drukgrafieken de drukverliezen in een bepaald jaar te bepalen.

Hebben we te maken met leidingen, aan het eind waarvan zich een reservoir bevindt, dan kunnen we met het in rekening brengen van de aldus bepaalde energiekosten volstaan.

Bij rechtstreekse levering in een verbruiksnet treden evenwel nog meer energieverliezen op. Dit kan worden toegelicht aan de hand van figuur 3.



Figuur 3 - Bedrijfsgrafiek met daarin aangegeven de leidingkarakteristiek en de Q-H-krommen van de pompen.

In deze figuur staan Q-H-krommen van de reinwaterpompen en de leidingkarakteristiek van een net afgebeeld. De druk die het pompstation levert is onder te verdelen in

$H_{\min}$  = de vereiste minimumdruk in het net

$H_s$  = de wrijvingsverliezen

$H_b$  = de bedrijfsverliezen ofwel de drukhoogteverliezen t.g.v. een bepaalde bedrijfsvoering, waarbij meer druk wordt geleverd dan de som van  $H_{\min}$  en  $H_s$

Voor de bepaling van de economische diameter, waarbij energiekosten worden afgewogen tegenover investeringen, kan  $H_{\min}$  buiten beschouwing worden gelaten, omdat deze voor alle situaties gelijk is. De bedrijfsverliezen moeten echter wel in de berekening worden betrokken. Dat dit tot nu toe bij transportleidingen nooit is gedaan, komt omdat transportleidingen altijd water leveren naar reservoirs. Bij levering naar reservoirs is  $H_b = 0$ , omdat de pomp werkt op het snijpunt van de Q-H-kromme en de leidingkarakteristiek. Bij rechtstreekse levering is dit echter niet het geval en zal  $H_b$  in de berekening moeten worden opgenomen.

We kunnen 3 gevallen onderscheiden:

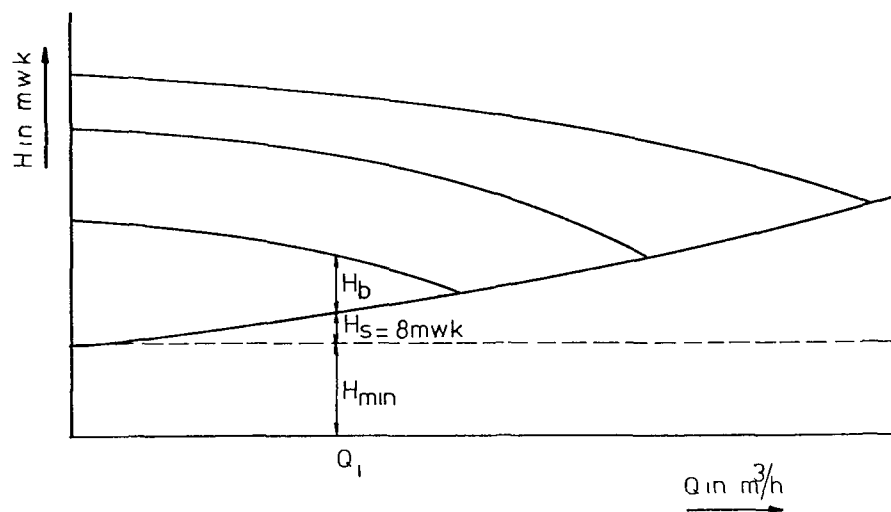
- a. toepassing van toerenregelbare pompen staat een zo nauwkeurig mogelijk volgen van de leidingkarakteristiek toe bij alle verbruiksvariaties. Dit benadert dus de situatie met minimale bedrijfsverliezen;
- b. een bedrijfssituatie met een constante uitgaande druk afgestemd op het maximum verbruik zal juist hoge bedrijfsverliezen teweegbrengen (zie figuur 5 op bladzijde 21);
- c. een bedrijfssituatie met verschillende pompen en verschillende uitgaande drukken is waarschijnlijk het meest voorkomend; hiervoor is tevens de bepaling van de bedrijfsverliezen het meest gecompliceerd en kan in feite alleen maar proefondervindelijk vastgesteld worden.

De drukhoogte, die meer geleverd wordt dan  $H_S + H_{\min}$  is in wezen een vorm van energieverlies omdat deze drukhoogte niet nodig is voor het transport van het water van het pompstation naar de verbruiker; vandaar dat ook de naam "bedrijfsverliezen" hiervoor is geïntroduceerd. Het is niet altijd even simpel om de bedrijfsverliezen in de berekening in te voeren omdat de economische diameterberekening per eenheid van lengte en niet voor een heel voorzieningsgebied wordt uitgevoerd. Voor het meest voorkomende geval c zal in het algemeen een schatting van de totale bedrijfsverliezen mogelijk zijn uit de specifieke bedrijfsgegevens.

Hierbij wordt als volgt te werk gegaan.

Van een bepaalde leidingskarakteristiek + pompgrafiek die representatief zijn voor het betreffende bedrijf of voorzieningsgebied wordt voor  $Q_i$  bepaald hoe groot  $H_S$  is.

Stel bijvoorbeeld  $H_S = 8 \text{ m wk}$  (zie figuur 4).



Figuur 4 Werkwijze bij de bepaling van de bedrijfsverliezen

Nu geldt derhalve dat zonder bedrijfsverliezen ( $H_b$ ) het energieverbruik per  $\text{m}^3$  water (over een heel jaar gerekend) bedraagt:

$$\frac{H_S + H_{\min}}{\eta \cdot 367^*)} \text{ kWh/m}^3$$

\* ) Het getal 367 is ontstaan uit omrekeningsfactoren van  $\text{m wk}$  naar  $\text{kWh/m}^3$

Uit de bedrijfsresultaten blijkt evenwel  $x$  kWh/m<sup>3</sup> te zijn verbruikt, zodat de bedrijfsverliezen bedragen:

$$\frac{H_b}{\eta \cdot 367} = x - \frac{H_s + H_{\min}}{\eta \cdot 367}$$

Bij de Waterleiding Mij. Gelderland bedraagt het energieverbruik 0,31 kWh per m<sup>3</sup> voor de ruw- en de reinwaterproduktie te zamen. In de formule wordt met  $x$  bedoeld de energie nodig voor het verpompen van het reinwater. Globaal wordt geschat dat 2/3 van de totale energie voor de reinwaterproduktie wordt verbruikt, dus  $x = 0,21$  kWh/m<sup>3</sup>.

Wanneer voorts  $H_{\min} = 25$  m wk,

$$H_s = 8 \text{ m wk},$$

en  $\eta = 0,65$  dan volgt

$$H_b = 0,21 \cdot 0,65 \cdot 367 - 33 = 50 - 33 = 17 \text{ m wk}.$$

Uiteraard is het gewenst om de grootheden die nodig zijn voor de berekening van  $H_b$  wat nauwkeuriger te bepalen, maar het gaat hier meer om het aangeven van de methode dan om de juistheid van de cijfers.

De invloed van de bedrijfsverliezen kan in de berekening worden verwerkt door invoering van een ideëel rendement  $\eta_i$  waarbij

$$\eta_i = \frac{H_s}{H_b + H_s} \cdot \eta$$

waarin  $\eta$  = pomp- + motorrendement

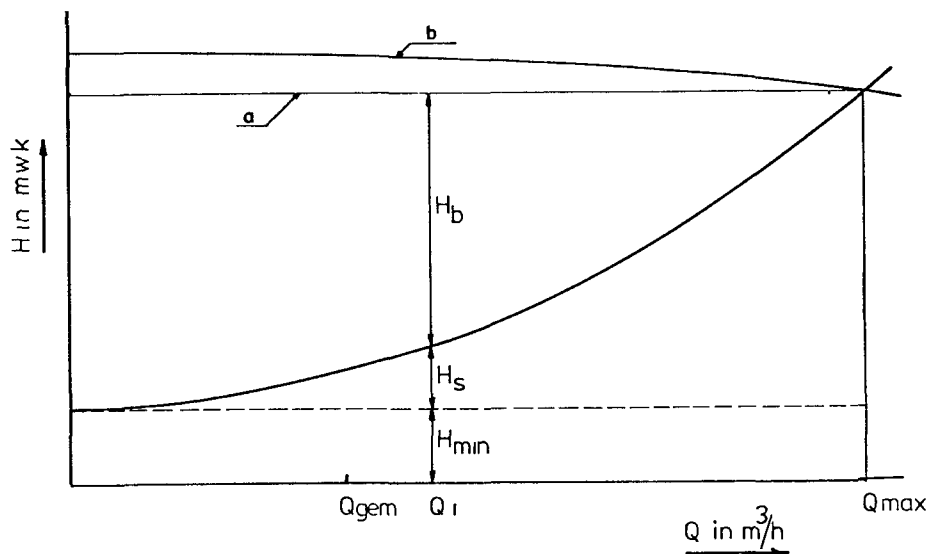
$\eta_i$  = ideëel rendement

$H_s$  = stromingsverliezen in m wk voor een representatieve bedrijfstoestand bij het ideële verbruik  $Q_i$

$H_b$  = bedrijfsverliezen in m wk.

$$\text{voor } \left. \begin{array}{l} H_s = 8 \text{ m wk} \\ H_b = 17 \text{ m wk} \\ \eta = 0,65 \end{array} \right\} \rightarrow \eta_i = \frac{8}{25} \cdot 0,65 = 0,21$$

Een andere benadering van  $H_b$  kan worden verkregen door aan het eind van het net de drukken  $H(t)$  te meten; in combinatie met de gelijktijdige verbruiken af pompstation  $Q(t)$  kan men dan de gemiddelde bedrijfsverliezen  $H_b$  over een bepaalde periode  $T$  bepalen. Voor één geval kan het ideale rendement theoretisch benaderd worden, namelijk wanneer met een constante uitgaande druk wordt gewerkt, die is afgestemd op het maximale verbruik. In dat geval kan  $H_b$  direct uit de bedrijfsgrafiek worden bepaald (zie figuur 5). De leidingkarakteristiek heeft een parabolisch verloop,  $H$  is evenredig met  $Q^2$ .



$a$  = constante druk, zoals in berekening is aangenomen  
 $b$  = werkelijke druk, door pompen afgegeven

Figuur 5 Bedrijfsgrafiek met constante uitgaande druk

Stel:  $H = H_{\min} + b \cdot Q^2$  (vergelijking leidingkarakteristiek)

$$\rightarrow (H - H_{\min}) = H_s = b \cdot Q^2.$$

Uitgaande druk is derhalve  $H_{\min} + b \cdot Q_{\max}^2$

$$\left. \begin{array}{l} Q_{\text{gem}} = \frac{Q_{\max}}{2,85*}) \\ Q_i = 1,3 \cdot Q_{\text{gem}} \end{array} \right\} \rightarrow Q_i = 0,456 \cdot Q_{\max}$$

\*) Het getal 2,85 is een factor, welke bij de WMG uit de praktijk is bepaald.

voor  $Q=Q_i$  is dus  $H_S = b.(0,456.Q_{\max})^2 = 0,21.b.Q_{\max}^2$   
en  $H_b = b.Q_{\max}^2 - H_S = 0,79.b.Q_{\max}^2$   
en dus volgens de formule

$$\eta_i = \frac{H_S}{H_b + H_S} \cdot \eta = \frac{0,21}{1,0} \cdot \eta = 0,21 \cdot 0,65 = 0,1365$$

Dit ideële rendement is nog geenszins het minimum want deze waarde wordt namelijk gevonden wanneer van jaar tot jaar de leidingkarakteristiek of de uitgaande druk aan het te verwachten maximale verbruik wordt aangepast. Als dat niet het geval is, maar bijvoorbeeld eens in de 5 jaar deze aanpassing plaatsheeft, dan zijn er telkens 4 jaren waarin  $\eta_i$  lager dan 0,1365 zal zijn omdat in die jaren de zaak is afgestemd op een toekomstig maximum verbruik. Daarmee is in feite de verhouding

$$\frac{Q_i}{Q_{\max}} < 0,456.$$

Bovendien is het rekenen met een constante druk een nog iets te gunstige veronderstelling, omdat we in werkelijkheid te maken hebben met een Q-H-kromme van een pomp (zie a en b in figuur 5).

Gemiddeld moet wellicht bij het werken met een constante druk met een ideëel rendement van ongeveer 0,1 worden gerekend.

Uit het bovenstaande blijkt, dat bij distributienetten geval voor geval berekend moet worden hoe groot de bedrijfsverliezen zijn en aan de hand hiervan moet dan het ideële rendement worden bepaald.

Globaal kan worden aangehouden:

$\eta_i = 0,2$  gemiddelde situatie (hoeveelheidsbesturing met enkele pompen)

$\eta_i = 0,1$  bij constante druk

$\eta_i = 0,6$  bij toerenregelbare pompen.

Opgemerkt zij, dat  $\eta_i$  alleen gebruikt mag worden voor de afweging van de energiekosten tegen de investering. Het is niet een rendement van de pompinstallatie.

Immers  $\eta_i = \frac{H_S}{H_b + H_S} \cdot \eta$  en  $H_{\min}$  is buiten beschouwing gelaten.

Met behulp van bovenstaande gegevens zijn voor elk geval de kosten uit te rekenen, die bij de keuze van een bepaalde diameter horen.

Eén aspect van de energiekosten bij een distributienet is nog niet aan de orde geweest, namelijk het feit dat we te maken hebben met een debiet, dat vanaf het pompstation tot aan het einde van het net geleidelijk afneemt. Dit aspect laat zich echter beter bespreken in het kader van het hierna uitgewerkte voorbeeld.

#### 4.1.5 Voorbeeld voor de berekening van de kapitaalslasten en energiekosten bij distributieleidingen

Als voorbeeld is een berekening opgezet voor een 7-tal verbruiken, zoals in tabel 1 vermeld. Hierbij zijn de volgende gegevens aangenomen:

1. jaarlijkse lineaire toename van de verbruiken met verdubbeling na 25 jaar
2. ontwerpperiode  $T = 25$  jaar; dus na 25 jaar blijven de verbruiken stabiel
3. afschrijvingstermijn leidingen  $n = 50$  jaar
4. gemiddeld verbruik  $Q_{\text{gem}} = \frac{Q_{\text{max}}}{2,85}$
5. ideële verbruik  $Q_i = 1,3 \cdot Q_{\text{gem}}$
6. ideële rente  $= 0,03$
7. kWh-prijs voor  $t = 0$  is  $e = 0,07$  gld/kWh
8. ideële rendement  $\eta_i = 0,21$
9. aanlegkosten leidingen volgens figuur 2
10. wandruwheid leidingen  $k = 0,05$  mm.

Tabel 1

| Code | Debieten waarvoor de berekening is opgezet |                                       |                                     |                                       |                                       |                                     |
|------|--------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
|      | bij t = 0                                  |                                       |                                     | bij t = 25 jaar                       |                                       |                                     |
|      | Q <sub>max</sub><br>m <sup>3</sup> /h      | Q <sub>gem</sub><br>m <sup>3</sup> /h | Q <sub>i</sub><br>m <sup>3</sup> /h | Q <sub>max</sub><br>m <sup>3</sup> /h | Q <sub>gem</sub><br>m <sup>3</sup> /h | Q <sub>i</sub><br>m <sup>3</sup> /h |
| A    | 1200                                       | 421                                   | 547                                 | 2400                                  | 842                                   | 1094                                |
| B    | 1050                                       | 368                                   | 478                                 | 2100                                  | 736                                   | 956                                 |
| C    | 870                                        | 305                                   | 397                                 | 1740                                  | 610                                   | 794                                 |
| D    | 690                                        | 242                                   | 315                                 | 1380                                  | 484                                   | 630                                 |
| E    | 510                                        | 179                                   | 233                                 | 1020                                  | 358                                   | 466                                 |
| F    | 330                                        | 116                                   | 151                                 | 660                                   | 332                                   | 302                                 |
| G    | 150                                        | 53                                    | 69                                  | 300                                   | 106                                   | 138                                 |

De eerste fase van de berekening bestaat uit het bepalen van de contante waarde bij eeuwigdurende financiering van de aanlegkosten. Hiervoor gebruiken we de formule:

$$C = \frac{\text{ann}}{r} \cdot I.$$

ann. voor 50 jaar bij r = 3% is 0,0389

$$\text{Dan is } C = \frac{0,0389}{0,03} \cdot I = 1,3 \cdot I$$

De contante waarde wordt verkregen door de aanlegkosten volgens figuur 2 in bijlage 5 met 30% te verhogen. Dit is weergegeven in figuur 6 in bijlage 6.

Voor de bepaling van de contante waarde der energiekosten nemen we als voorbeeld A (Q<sub>max</sub> = 1200 m<sup>3</sup>/h bij t = 0), waarbij als diameter in eerste instantie is aangenomen 700 mm. De jaarlijkse energiekosten worden berekend met behulp van de formule

$$k_e = \frac{u \cdot Q_i \cdot H_s \cdot e}{\eta_i \cdot 367}$$

waarin k<sub>e</sub> = jaarlijkse energiekosten in gld/m<sup>3</sup>

u = aantal bedrijfsuren per jaar = 8760

η<sub>i</sub> = ideëel pompendement = 0,21

e = kWh-prijs (gld/kWh) = 0,07

Q<sub>i</sub> = 1,3 · Q<sub>gem</sub> in m<sup>3</sup>/h

H<sub>s</sub> = stromingsverlies in m drukhoogte per m

In het eerste jaar is  $Q_{\text{gem}} = 421 \text{ m}^3/\text{h}$ .

In het eerste jaar is  $Q_i = 1,3 \cdot 421 = 547 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Volgens de grafiek voor  $k = 0,05 \text{ mm}$ , opgenomen in Mededeling 14 van het KIWA (Stromingsweerstand in buisleidingen door ir. L. Huisman) veroorzaakt een debiet van  $547 \text{ m}^3/\text{h}$  in een leiding  $\varnothing 700 \text{ mm}$  een drukhoogteverlies van  $0,00019 \text{ m/m}$ .

$$k_e = \frac{8760 \cdot 547 \cdot 0,00019 \cdot 0,07}{0,21 \cdot 367} = 0,82 \text{ gld/m'}$$

In het 2e jaar wordt  $Q_i$  bij een lineaire toename van het verbruik  $1,04 Q_i$  en bedragen de jaarlijkse energiekosten  $(1,04)^{2,86} \cdot 0,82 = 0,92 \text{ gld/m'}$ .

In het 3e jaar zijn de jaarlijkse energiekosten  $(1,08)^{2,86} \cdot 0,82 \text{ gld/m'}$  enz.

Om de contante waarde te bepalen moeten nu van elk jaar de kosten contant gemaakt worden naar het eerste jaar en vervolgens opgeteld. Dit vergt nogal wat rekenwerk. Dit is eventueel te vereenvoudigen door de contante waarde niet voor elk jaar, maar steeds voor een periode uit te rekenen. Uiteraard is dit iets minder nauwkeuring. We krijgen dan het volgende beeld:

\*) Het verband tussen  $Q$  en  $H$  bij de Mededeling 14 van het KIWA opgenomen grafieken blijkt te zijn:  $H = c \cdot Q^{1,86}$ .  
Daaruit volgt een verband  $k_e = c \cdot Q \cdot H = c \cdot Q^{2,86}$

Tabel 2

| Jaar | Jaarhoeveelheid<br>uitgedrukt in<br>een percentage<br>van de hoeveel-<br>heid in het<br>eerste jaar | Jaarlijkse ener-<br>giekosten in<br>guldens per m' | Contante waarde<br>van (3) bij 3%<br>rente |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| (1)  | (2)                                                                                                 | (3)                                                | (4)                                        |
| 1    | 100                                                                                                 | 0,82                                               | 0,82                                       |
| 6    | 120                                                                                                 | 1,38                                               | 1,19                                       |
| 11   | 140                                                                                                 | 2,15                                               | 1,60                                       |
| 16   | 160                                                                                                 | 3,15                                               | 2,02                                       |
| 21   | 180                                                                                                 | 4,41                                               | 2,44                                       |
| 26   | 200                                                                                                 | 5,95                                               | 2,84                                       |
| 31   | 200                                                                                                 | 5,95                                               | 2,45                                       |
| 41   | 200                                                                                                 | 5,95                                               | 1,82                                       |
| 51   | 200                                                                                                 | 5,95                                               | 1,36                                       |
| 61   | 200                                                                                                 | 5,95                                               | 1,01                                       |
| 71   | 200                                                                                                 | 5,95                                               | 0,75                                       |
| 81   | 200                                                                                                 | 5,95                                               | 0,56                                       |
| 91   | 200                                                                                                 | 5,95                                               | 0,42                                       |
| 101  | 200                                                                                                 | 5,95                                               | 0,31                                       |
| 150  | 200                                                                                                 | 5,95                                               | 0,07                                       |
| 200  | 200                                                                                                 | 5,95                                               | 0,016                                      |
| 250  | 200                                                                                                 | 5,95                                               | 0,004                                      |

De som van de contante waarden der energiekosten blijkt dan 144 gld/m' te bedragen.

Voor andere diameters is de berekening nu eenvoudig, Bij een diameter van 800 mm is het drukhoogteverlies in het eerste jaar 0,0001 m/m bij  $Q_1 = 547 \text{ m}^3/\text{h}$ . De som van de contante waarden der energiekosten wordt dan  $\frac{0,0001}{0,00019} \cdot 144 = 76 \text{ gld/m'}$ .

Op deze wijze is voor diverse diameters de contante waarde der energiekosten ( $k_{we}$ ) uit te rekenen.

Ook voor de andere capaciteiten is de berekening nu eenvoudig.

Voor geval B (ideëel verbruik = 478 m<sup>3</sup>/h in het eerste jaar) is voor de diameter van 700 mm het drukverlies 0,00015 m/m en

$$k_{we} = \frac{478 \cdot 0,00015}{547 \cdot 0,00019} \cdot 144 = 99 \text{ gld/m'}$$

In het rapport Vaessen zijn de contante waarden der energiekosten langs wiskundige weg bepaald, uitgaande van de formule Darcy-Weisbach. De op deze wijze bepaalde contante waarden blijken 5 tot 10% lager te liggen dan de waarden die hierboven zijn uitgerekend. Dit zou neerkomen op circa 3% lagere drukverliezen. Gemakshalve zijn de in het rapport Vaessen uitgerekende getallen aangehouden. Deze zijn te vinden in tabel 3.

Tabel 3

| Code | ideëel<br>verbruik<br>voor<br>t = o<br>Q <sub>io</sub><br>m <sup>3</sup> /h | Contante waarden van de energiekosten (k <sub>we</sub> ) bij 3% rente |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|      |                                                                             | Ø 1000                                                                | Ø 900           | Ø 800           | Ø 700           | Ø 600           | Ø 500           | Ø 400           | Ø 300           | Ø 200           | Ø 100           |
|      |                                                                             | k <sub>we</sub>                                                       | k <sub>we</sub> | k <sub>we</sub> | k <sub>we</sub> | k <sub>we</sub> | k <sub>we</sub> | k <sub>we</sub> | k <sub>we</sub> | k <sub>we</sub> | k <sub>we</sub> |
|      |                                                                             | gld/m'                                                                | gld/m'          | gld/m'          | gld/m'          | gld/m'          | gld/m'          | gld/m'          | gld/m'          | gld/m'          | gld/m'          |
| A    | 547                                                                         | 22                                                                    | 38              | 69              | 137             | 302             | 752             | 2371            |                 |                 |                 |
| B    | 478                                                                         | 15                                                                    | 25              | 46              | 91              | 202             | 502             | 1582            |                 |                 |                 |
| C    | 397                                                                         | 8                                                                     | 14              | 27              | 52              | 115             | 287             | 906             | 3869            |                 |                 |
| D    | 315                                                                         | 4                                                                     | 7               | 13              | 26              | 58              | 144             | 453             | 1933            |                 |                 |
| E    | 233                                                                         | 2                                                                     | 3               | 5               | 11              | 23              | 58              | 183             | 782             | 6053            |                 |
| F    | 151                                                                         |                                                                       | 1               | 1               | 3               | 6               | 16              | 50              | 213             | 1647            |                 |
| G    | 69                                                                          |                                                                       |                 |                 |                 | 1               | 2               | 5               | 20              | 157             | 6300            |

De derde fase van de berekening bestaat uit het samenbrengen van de gegevens van figuur 6 en tabel 3 in één grafiek. Dit is weergegeven in figuur 7 in bijlage 7. Hieruit kunnen grafisch de minima van de som van de contante waarden van aanlegkosten en energiekosten worden bepaald.

Deze minima leveren de meest economische diameter voor de gevallen A t/m G van tabel 1.

Ter vergelijking is de berekening nog eens herhaald bij 9% rente (dus geen prijsstijgingen) en voor het overige dezelfde uitgangspunten: zie figuur 8 in bijlage 8.

In de figuren 9 en 10 in bijlagen 9 en 10 zijn dezelfde resultaten nog eens weergegeven, maar dan uitgedrukt in een meest economische snelheid op het uur van maximum verbruik aan het eind van de ontwerptermijn, waarbij tevens de gebieden zijn aangegeven, waarbinnen de contante waarde niet meer dan 10% respectievelijk 20%, 30%, 40% en 50% afwijkt van het minimum.

Uit figuur 9 is bijvoorbeeld af te lezen; dat bij een maximum uurverbruik van 2400 m<sup>3</sup>/h de meest economische diameter circa 750 mm is.

Hierbij is de meest economische snelheid 1,5 m/s en het meest economische drukhoogteverlies 2,5 m/km. Kiezen we in plaats van een diameter van 750 mm een diameter van 600 mm, 700 mm, 800 mm of 1000 mm, dan neemt de totale contante waarde toe met respectievelijk 17%, 3%, 4% en 25%.

Benaderen we het van de kant van de drukhoogteverliezen, dan blijkt dat, wanneer we in plaats van een drukhoogteverlies van 2,5 m/km een drukverlies nemen van 2 m/km, 1,5 m/km, 1 m/km en 0,5 m/km, de contante waarde toeneemt met respectievelijk 3%, 6%, 12% en 27,5%.

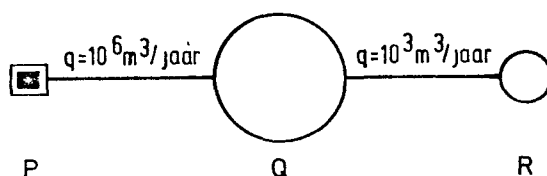
Bij een maximum uurverbruik van 660 m<sup>3</sup>/h (code F, tabel 1 op blz. 24) is het meest economische drukhoogteverlies 3,7 m/km. Bij drukhoogteverliezen van 3 m/km, 2 m/km, 1 m/km, 0,5 m/km neemt de totale contante waarde toe met respectievelijk 2%, 6%, 17% en 32%.

In het algemeen kan worden gezegd, dat bij grotere verbruiken het meest economische drukhoogteverlies lager wordt. Verder blijkt er een groot gebied te zijn tussen de 0%-lijn en de twee 10%-lijnen, hetgeen inhoudt dat binnen een bepaald bereik het economische drukhoogteverlies niet zo kritisch is.

Tenslotte lijkt de aangehouden rentevoet erg belangrijk te zijn.

#### 4.1.6 Het effect van een afnemend debiet

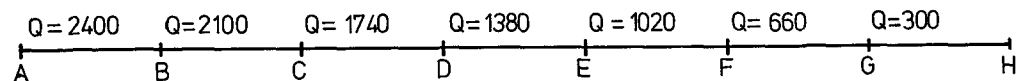
De voorgaande berekeningen en grafieken hebben betrekking op één bepaald leidinggedeelte in een distributienet. Bij deze berekeningen is dat leidinggedeelte geheel op zichzelf bekeken. In een distributienet mogen leidingen echter niet los van elkaar gezien worden. Dat is duidelijk te maken aan de hand van figuur 11.



Figuur 11

We hebben een pompstation, dat 2 plaatsen moet voorzien, een grote en daarachter een kleine. Wanneer we de leiding naar de kleine plaats erg krap dimensioneren, is dat een onvoordelige zaak. Immers stel dat het drukhoogteverlies 1 m is tussen P en Q en 10 m tussen Q en R, dan moet al het water dat bij P het pompstation verlaat verpompt worden tegen een drukhoogte gelijk aan de voordrukhoogte van bijvoorbeeld 20 m vermeerderd met het drukhoogteverlies van  $1 + 10 = 11$  m. Het komt er op neer, dat het drukhoogteverlies tussen Q en R hoge energiekosten met zich meebrengt, omdat al het water nu onder een 10 m hogere druk moet worden gebracht. Dat is dus heel iets anders dan wat we tot nu toe gedaan hebben, namelijk dat we voor elk leidinggedeelte alleen met de eigen belasting rekening hebben gehouden. Wat zien we dus? We moeten voor leiding Q-R niet rekenen met de belasting van  $1000 \text{ m}^3/\text{jaar}$  maar met  $10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$  bij het bepalen van de meest economische diameter.

Gaan we de belastingen, waarvoor we voorgaande berekeningen hebben uitgevoerd, tot een net samenvoegen, dan krijgen we onderstaand leidingschema (figuur 12), waarbij de belasting van punt A tot punt H geleidelijk afneemt.



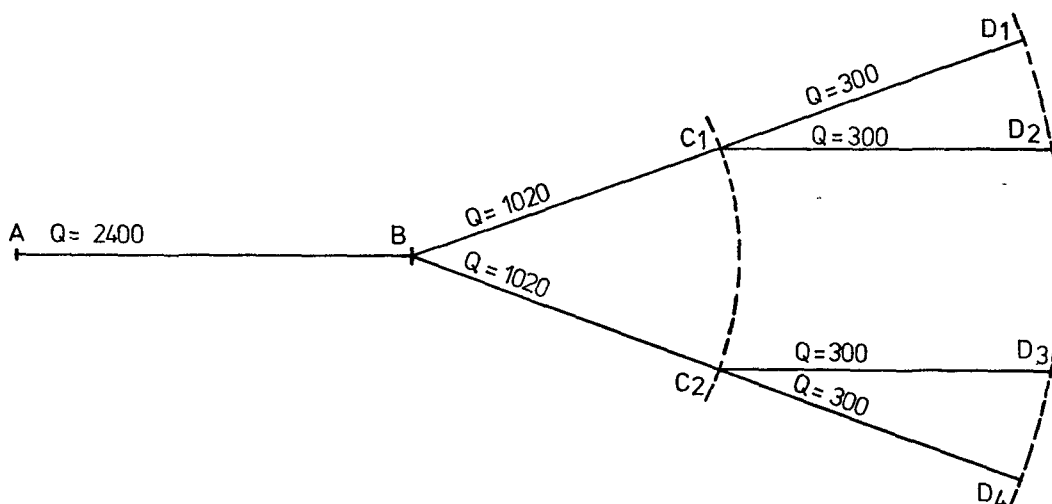
Figuur 12

Al het water, dat bij punt A in het leidingnet wordt gebracht, moet ten minste een drukhoogte hebben gelijk aan de vastgestelde minimum drukhoogte van het net (bijvoorbeeld 20 m) vermeerderd met de drukhoogteverliezen in de leidinggedeelte A-B, B-C, C-D, enz.. Het komt er op neer dat voor de bepaling van de energiekosten voor alle leidinggedeelten steeds met de grootste hoeveelheid moet worden gerekend.

Voor de eerste leiding van het net, leiding A-B, zijn de eerder gemaakte berekeningen dus juist. Immers de belasting blijft 2400 m<sup>3</sup>/h. Voor het traject B-C moet de constante waarde der energiekosten zoals aangegeven in tabel 3 echter worden vermenigvuldigd met een factor  $\frac{2400}{2100}$ , voor het traject C-D met een factor  $\frac{2400}{1740}$  enz..

Het effect van deze correctie is aangegeven in de figuren 13 en 14 (bijlagen 11 en 12).

Het in figuur 12 getekende net is een bepaald type net. Een ander type net is het zogenaamde vertakte net, waarbij een leiding van grotere diameter zich splitst in twee of meer leidingen met kleinere diameters, enz.. Welk effect heeft dit op de afweging van energiekosten en investeringskosten? Schematisch kunnen we dit weergeven als in figuur 15, waarbij de stippellijnen lijnen van gelijke druk aangeven.



Figuur 15

Willen we nu de energiekosten berekenen, die het gevolg zijn van het drukverlies tussen punt B en de punten  $C_1$  en  $C_2$ , dan geldt ook hier weer dat we niet met  $Q = 1020 \text{ m}^3/\text{h}$  moeten rekenen, maar met  $Q = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Echter, stond in het voorbeeld van figuur 12, het langgestrekte net, tegenover deze energiekosten de investering van één leiding (leiding E-F), nu staan daar tegenover 2 leidingen, namelijk  $BC_1$  en  $BC_2$ . Aannemend dat de belasting van de leidingen  $BC_1$  en  $BC_2$  gelijk is, moet tegenover de investering van bijvoorbeeld leiding  $BC_1$

slechts de helft van de energiekosten, die het gevolg zijn van de drukval tussen het punt B en de punten  $C_1$  en  $C_2$  worden gesteld. De correctiefactor van de energiekosten voor de leiding  $BC_1$ , waarvan de belasting is  $Q = 1020 \text{ m}^3/\text{h}$  wordt dan  $\frac{2400}{1020} \cdot \frac{1}{2} = \frac{2400}{2040}$

Kijken we nog eens naar het voorbeeld van figuur 12, dan blijkt dat de correctiefactor voor de leiding E-F, waarvan de belasting eveneens  $Q = 1020 \text{ m}^3/\text{g}$  is, tweemaal zo groot is, namelijk  $\frac{2400}{1020}$ .

Op dezelfde wijze is aan te tonen, dat voor de leidingen C-D de correctiefactor voor de energiekosten:

$$\frac{2400}{300} \cdot \frac{1}{4} = \frac{2400}{1200} \text{ moet zijn.}$$

Het effect van deze laatste correctie is weergegeven in de figuren 16 en 17 (bijlagen 13 en 14).

Na alle berekeningen, die geresulteerd hebben in de figuren 9, 10, 13, 14, 16 en 17 is het goed nog eens op een rijtje te zetten wat we precies gedaan hebben. Een goede indruk wordt verkregen door de figuren 9, 13 en 16 (de berekeningen bij 3% rente) op elkaar te leggen. Dit is gedaan in figuur 18 (bijlage 15). Om de figuur niet te ingewikkeld te maken, zijn alleen de 0% -lijnen getrokken. We zien dan dat bij een verbruik van bijvoorbeeld 700 m<sup>3</sup>/h drie meest economische diameters voorkomen. Om in te zien, waardoor dit komt, en wanneer we welke diameter moeten kiezen, is het goed nog eens te herhalen wat de verschillende figuren nu precies voorstellen.

Bij figuur 9 is voor een aantal verbruiken (2400 m<sup>3</sup>/h, 2100 m<sup>3</sup>/h enz., zie blz. 24) de meest economische diameter bepaald. Hierbij is steeds gedacht aan één leidinggedeelte zonder rekening te houden met het net, dat eventueel vóór het beschouwde leidinggedeelte ligt. Zoals uit het besprokene bij figuur 12 bleek moet bij een distributienet steeds rekening worden gehouden met het verbruik van het hele net. Bij één uitgaande leiding (figuur 12) is alleen de belasting van deze eerste leiding gelijk aan het verbruik van het hele net. Figuur 9 mag dan ook alleen gebruikt worden voor de bepaling van de meest economische diameter en het daarbij behorende drukhoogteverlies van de eerste leiding van een distributiegebied, de uitgaande leiding van het pompstation. Bij de berekeningen voor figuur 13 is ervan uitgegaan, dat het maximum uurverbruik van het totale net - en dus ook voor de eerste leiding vanaf het pompstation - 2400 m<sup>3</sup>/h is. Nagegaan zijn de meest economische diameters en drukhoogteverliezen voor alle leidingen bij het langgestrekte net van figuur 12.

Voor het verbruik van 2400 m<sup>3</sup>/h zijn de meest economische diameter en het meest economische drukhoogteverlies derhalve gelijk aan die in figuur 9. Bij de kleinere verbruiken - dat zijn de belastingen van de verder van het pompstation gelegen leidingen - zijn de economische drukhoogteverliezen echter duidelijk kleiner dan die in figuur 9. Dat is ook verklaarbaar, omdat bij figuur 9 bij de bepaling van de economische diameter alleen maar met de belasting van een bepaald leidinggedeelte wordt gerekend, terwijl bij figuur 13 gerekend wordt met de totale belasting van het net.

In feite vullen figuur 9 en figuur 13 elkaar aan. Bij het bepalen van de meest economische drukhoogteverliezen van een net moeten we voor de eerste leiding van het net - de uitgaande leiding uit het pompstation - figuur 9 gebruiken. Bij het veronderstelde geval vinden we dan bij het geraamde maximum uurverbruik van 2400 m<sup>3</sup>/h een drukhoogteverlies van 2,5 m/km. Voor de andere leidingen van het net moeten we dan figuur 13 gebruiken. Bij een geraamd verbruik van 300 m<sup>3</sup>/h voor een bepaald deelgebied vinden we dan een meest economisch drukhoogteverlies van 0,9 m/km.

Zouden we daarnaast te maken hebben met een ander net waarvan het totale geraamde verbruik 300 m<sup>3</sup>/h is, dan moeten we weer op de lijn van figuur 9 zoeken en vinden nu bij 300 m<sup>3</sup>/h een meest economisch drukhoogteverlies van 4,5 m/km voor de uitgaande leiding.

Om het meest economische drukhoogteverlies te vinden voor de verder van het pompstation gelegen leidingen in dit kleine net, zouden we dan van het punt op de lijn van figuur 9, dat overeenkomt met het drukhoogteverlies van 4,5 m/km een lijn evenwijdig aan de lijn van figuur 13 moeten trekken (zie de stippellijn in figuur 18).

Het blijkt dat, hoe groter het net wordt, des te lager de meest economische drukhoogteverliezen worden in alle leidingen van dat net. Immers maatgevend voor de eerste leiding is figuur 9, waar bij grotere verbruiken het meest economische drukhoogteverlies lager wordt; hebben we het

economisch drukhoogteverlies bij het totaalverbruik gevonden, dan moeten we vanaf dat punt figuur 13 volgen, waarbij ook weer geleidelijk lager wordende drukhoogteverliezen optreden.

Hiermee hebben we een verklaring gevonden voor de verschillen in opvatting betreffende de toelaatbare drukhoogteverliezen bij streek- en stadsbedrijven.

Figuur 16 tenslotte is vergelijkbaar met figuur 13, alleen is uitgegaan van een ander soort net, een vertakt net (figuur 15). Het blijkt, dat de meest economische drukhoogteverliezen voor de verder van het pompstation afgelegene leidingen bij dit type net weer wat groter worden. De meeste netten zijn deels langgerekt, deels vertakt, een type net dus, dat ligt tussen die waarmee gerekend is bij de figuren 13 en 16. Mede gezien de marge tussen de 0% -lijn en de 10% -lijn zou men voor een doorsnee-net globaal kunnen zeggen, dat voor alle leidingen in zo'n net eenzelfde drukhoogteverlies kan worden aangehouden als voor de uitgaande leiding van het pompstation. Hieruit zou voor doorsnee-netten dan de leefregel volgen, dat men voor de uitgaande leiding van het pompstation met behulp van figuur 9 het meest economische drukhoogteverlies bepaalt en dit drukhoogteverlies dan aanhoudt voor alle leidingen in het net. Voor de aannamen, die ten grondslag liggen aan figuur 9, zou dan bij een net met een geraamd maximum uurverbruik van 600 m<sup>3</sup>/h een drukhoogteverlies van 3,8 m/km moeten worden aangehouden en voor een net met een geraamd maximum uurverbruik van 2400 m<sup>3</sup>/h een drukhoogteverlies van 2,5 m/km. Dit onder voorbehoud, dat er slechts één uitgaande leiding is. Zouden er in beide gevallen twee gelijke leidingen uitgaan, dan moet gekeken worden bij gehalveerde hoeveelheden, namelijk 300 m<sup>3</sup>/h en 1200 m<sup>3</sup>/h, waarbij de drukhoogteverliezen respectievelijk 4,5 m/km en 3 m/km zijn.

#### 4.1.7 Samenvatting en conclusies

Voor de bepaling van het meest economische drukhoogteverlies in distributienetten is een rekenwijze ontwikkeld, waarbij gebruik wordt gemaakt van de methode der contante waarden. Wil men, om wat voor redenen ook, rekening houden met prijsstijgingen dan is dit bij deze methode op eenvoudige wijze mogelijk door, in plaats van met de werkelijke rentevoet, te rekenen met een ideële rentevoet, die wordt verkregen door van de werkelijke rentevoet de jaarlijkse prijsstijging af te trekken. In de ontwikkelde rekenwijze worden de kapitaalslasten afgewogen tegen de energiekosten. De berekening der energiekosten blijkt bij distributienetten aanmerkelijk ingewikkelder te zijn dan bij transportleidingen waarbij zich aan het eind van de leiding een reservoir bevindt.

Een eerste verschil is de grotere variatie in optredende debieten. Dit probleem wordt opgelost door het invoeren van een ideël verbruik  $Q_i$ . Dit ideële verbruik is het verbruik dat, wanneer het alle 8760 uren van het jaar zou optreden, hetzelfde energieverlies zou opleveren als de werkelijk opgetreden verbruiken veroorzaken.

Een tweede verschil is, dat bij distributienetten rekening moet worden gehouden met de zogenaamde bedrijfsverliezen, dat zijn de drukhoogteverliezen ten gevolge van een bepaalde bedrijfsvoering, waarbij meer druk wordt geleverd dan strikt noodzakelijk is. Dit probleem wordt opgelost door het invoeren van een ideël rendement, waarbij globaal gesteld kan worden

$\eta_i = 0,1$  bij constante druk

$\eta_i = 0,2$  voor de gemiddelde situatie (hoeveelheidsbesturing met enkele pompen)

$\eta_i = 0,6$  bij toerenregelbare pompen.

Een derde verschil is het feit, dat we bij distributienetten te maken hebben met debieten, die vanaf het pompstation naar het einde van het net geleidelijk afnemen. Aangegeven is op welke wijze dit aspect in de berekening kan worden betrokken.

De berekeningen zijn zo opgezet, dat niet alleen de meest economische diameter wordt bepaald, maar dat ook een indruk wordt verkregen hoe snel de kosten oplopen bij keuze van een andere diameter dan de meest economische.

Ter toelichting van de berekeningswijze is een voorbeeld uitgewerkt. Hoewel het gevaarlijk is aan de hand van een enkele berekening uitspraken te doen, lijken onderstaande conclusies toch gerechtvaardigd.

1. Binnen een bepaald bereik is het economisch drukverlies niet zo kritisch.
2. De aangenomen rentevoet heeft een grote invloed op het economisch drukverlies.
3. Bij een groot net is het meest economische drukhoogteverlies voor alle leidingen (ook die met kleine diameter) lager dan bij een klein net; belangrijk voor het meest economische drukhoogteverlies is de belasting van de grootste leiding in dat net.
4. Bij een langgerekt net is het meest economische drukhoogteverlies van de verder van het pompstation afgelegen leidingen lager dan bij een vertakt net.
5. Het regiem op een pompstation is van belang voor het meest economische drukhoogteverlies.

Een constante uitgaande druk geeft hoge bedrijfsverliezen (zie bladzijden 21 en 22).

Ook bij een hoeveelheidsbesturing met verschillende pompen en verschillende uitgaande drukken treden nog forse bedrijfsverliezen op. Deze bedrijfsverliezen kunnen worden geminimaliseerd door over te gaan op toerenregelbare pompen en eventueel een besturing van deze pompen aan de hand van drukmetingen in het ongunstigste punt van het net.

Samenvattend zijn hieronder nog eens de factoren vermeld, die invloed hebben op de hoogte van het economische drukhoogteverlies:

1. de aanlegkosten van leidingen
2. de kWh-prijs
3. de rentevoet

4. de verwachte prijsstijgingen van aanlegkosten en kWh-prijs
5. het regiem op het pompstation
  - a. toerenregelbare pompen
  - b. een constante uitgaande druk
  - c. een hoeveelheidsbesturing met verschillende pompen en verschillende uitgaande drukken
6. het verbruikspatroon, over de dag en over het jaar
7. de grootte van het net (en dus van het verbruik)
8. de geraamde toename van het verbruik
9. het type net
  - a. langgerekt net
  - b. sterk vertakt net.

Het voert te ver de precieze invloed van al deze variabelen op het meest economische drukverlies te bepalen. Ieder bedrijf zal voor haar omstandigheden en bij de toekomstverwachtingen, die zij redelijk acht, een economisch drukverlies moeten bepalen.

#### 4.2 Meest economische ontwerptermijnen \*)

##### 4.2.1 Algemeen

Een onderwerp dat nauw verband houdt met de economische diameter is het bepalen van de meest economische ontwerp-termijn of wel de fasering van investeringen. Ook deze problematiek is met behulp van de methode der contante waarden te benaderen.

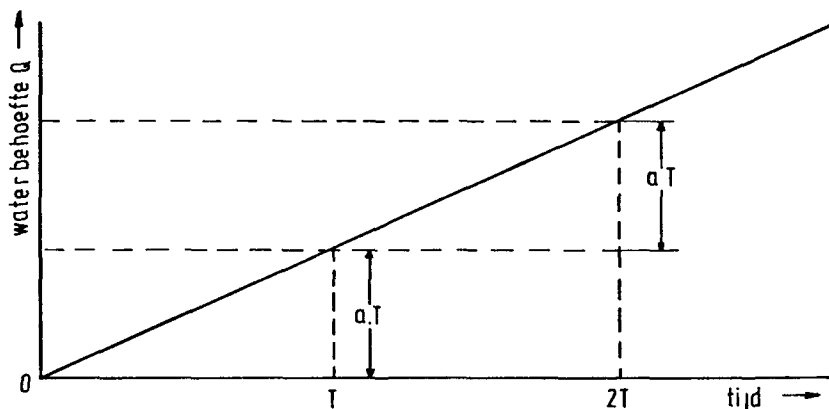
We zullen daarbij verschillende gevallen bespreken met oplopende moeilijkheidsgraad, namelijk:

1. de aanvangsbehoefte is gelijk aan nul;
2. de aanvangsbehoefte is ongelijk aan nul;
3. het rekening houden met energiekosten bij leidingen.

\*) Dit is een verkorte weergave van hetgeen over dit onderwerp is geschreven in het rapport "De contante waarde als maatstaf voor de lange-termijn-planning bij het waterleidingbedrijf", KIWA-mededeling nr. 59.

#### 4.2.2 De aanvangsbehoefte is gelijk aan nul

Veronderstel een lineaire toename van de waterbehoefte (Q) bij een aanvangsbehoefte nul; dus  $Q = a \cdot t$



Figuur 19 Schematische toename van de waterbehoefte

Ter dekking van deze waterbehoefte zullen watervoorzieningsprojecten gebouwd moeten worden en wel in zodanige stappen, dat gedurende een bepaalde tijd T (de ontwerp-termin) aan de waterbehoefte voldaan kan worden. Na het verstrijken van de periode van T jaar zullen nieuwe investeringen gedaan moeten worden.

We nemen aan, dat de benodigde investering als volgt met de capaciteit van het project samenhangt:

$$I = \alpha \cdot C^\beta$$

Hierin is I = investering in gld

C = capaciteit

$\alpha$  = kostenfactor

$\beta$  = dimensieloze factor  $< 1$ .

Bij een willekeurige ontwerpperiode van T jaar bedraagt de capaciteit  $C = a \cdot T$  (zie figuur 19) en dus  $I = \alpha \cdot (a \cdot T)^\beta$ .

Het investeringsschema ziet er als volgt uit:

| jaar | investering                      | contante waarde                                      |
|------|----------------------------------|------------------------------------------------------|
| 0    | $\alpha \cdot (a \cdot T)^\beta$ | $\alpha \cdot (a \cdot T)^\beta$                     |
| T    | "                                | $\alpha \cdot (a \cdot T)^\beta \cdot (1 + r)^{-T}$  |
| 2T   | "                                | $\alpha \cdot (a \cdot T)^\beta \cdot (1 + r)^{-2T}$ |
| enz. |                                  |                                                      |

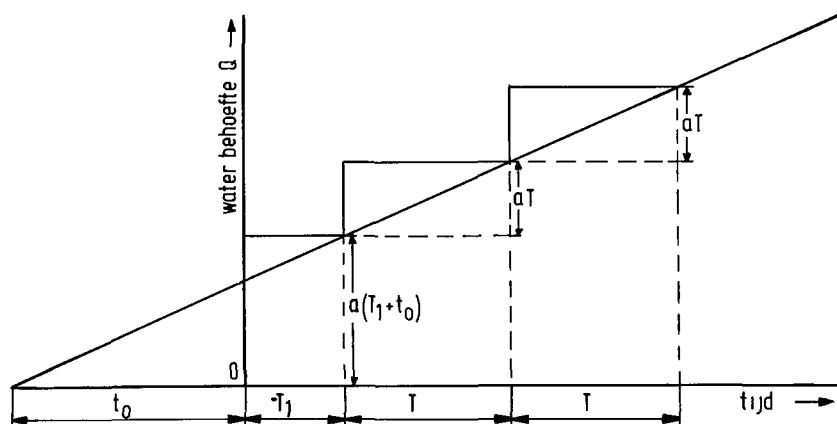
Door de som der contante waarden ( $k_w$ ) te bepalen en vervolgens het differentiaalquotiënt  $\frac{dk_w}{dT} = 0$  te stellen vindt men voor de meest economische ontwerpstermijn het volgende verband:

$$\beta \cdot (1 + r)^{Te} - \beta - T_e \cdot \ln(1 + r) = 0$$

Deze eenvoudige relatie van de meest economische ontwerpstermijn bij een lineaire verbruikstoename is weergegeven in figuur 20 (bijlage 16). Het blijkt dat  $T$  alleen afhankelijk is van de rentefactor en de dimensieloze factor  $\beta$  en niet van de snelheid van de toename van de behoefte. Voor filtergebouwen inclusief installatie wordt wel gerekend met een factor  $\beta = 0,7$ . Bij aangehouden rentepercentages van 9 en 3 zijn de economische ontwerpstermijnen dan respectievelijk 8 en 23 jaar.

#### 4.2.3 De aanvangsbehoefte is ongelijk aan nul

We nemen weer een lineaire toename van het verbruik aan. Door de verbruikslijn naar voren te verlengen, vinden we het tijdstip, waarop in het verleden de aanvangsbehoefte nul zou zijn geweest. We noemen dit tijdstip  $t_0$  (zie figuur 21).



Figuur 21 Schematische toename van de waterbehoefte met aanvangsbehoefte  $Q_0 = a \cdot t_0$ .

Bezien we deze figuur, dan blijkt, dat alleen de eerste ontwerpperiode anders is dan de voorstelling in figuur 19. Is deze ontwerptermijn achter de rug, dan is de situatie gelijk geworden aan hetgeen is voorgesteld in figuur 19. De werkmethode wordt dan, dat we eerst uit figuur 20 de meest economische ontwerptermijn  $T$  voor de 2e en volgende perioden bepalen en dan voor verschillende  $T_1$  gaan zien voor welke waarde van  $T_1$  de contante waarde van het geheel minimaal is. Bij wiskundige uitwerking vinden we het verband

$$\frac{(1+r)^T}{T^{1-\beta}} = \frac{(1+r)^{T_1}}{(T_1 + t_0)^{1-\beta}} \quad .$$

In de figuren 22, 23, 24 en 25 (bijlagen 17 t/m 20) is een en ander uitgewerkt.

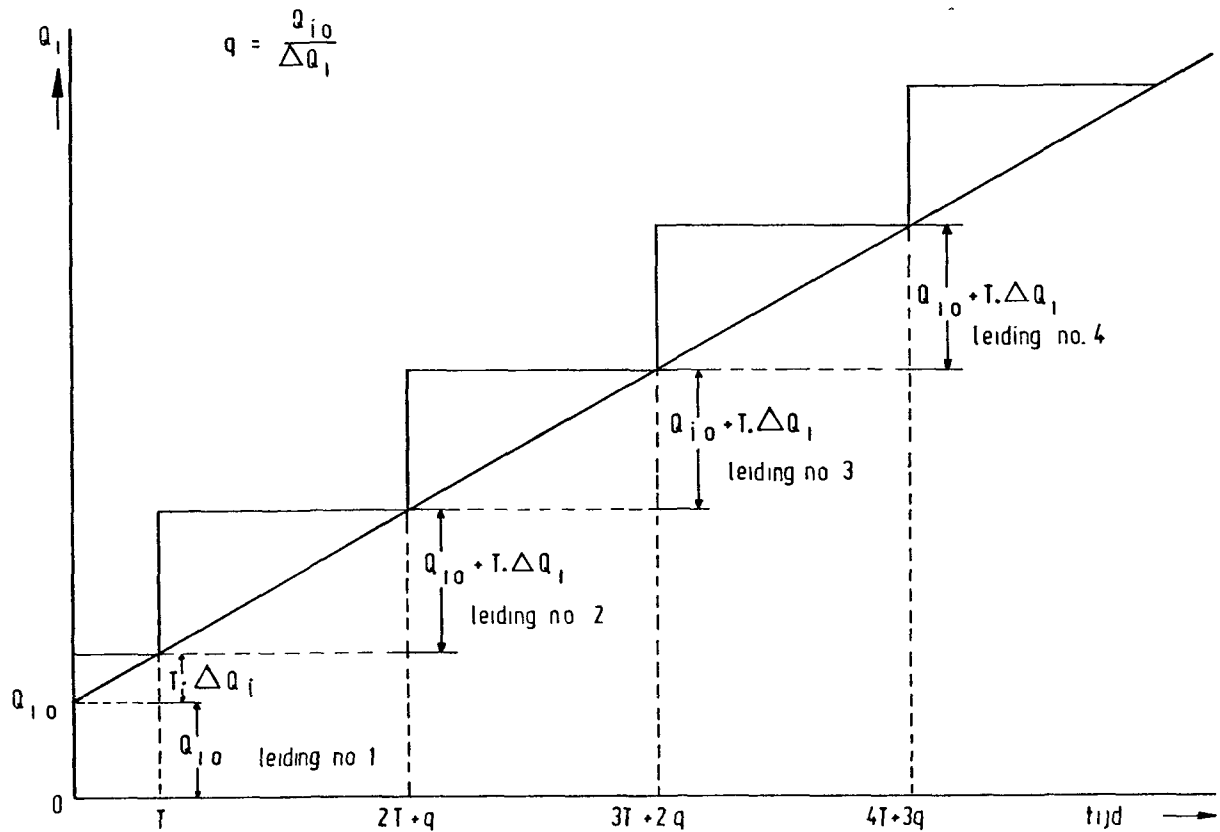
Voorbeeld: Stel, dat een verbruik  $A$  in 25 jaar tweemaal zo groot wordt dan is  $t_0 = 25$  jaar.

Stel dat  $\beta = 0,7$ , dan vinden we in figuur 24 voor een rentevoet van 9% dat de eerste ontwerptermijn circa 14 jaar moet zijn (zie bij de lijn  $t_0 = 25$ ) en de volgende ontwerptermijnen circa 8 jaar moeten zijn (zie bij de lijn  $t_0 = 0$ ).

#### 4.2.4 Het rekening houden met energiekosten bij leidingen

Bij bovenstaande berekeningen wordt alleen aandacht besteed aan investeringen en niet aan bijkomende kosten. Zijn deze laatste kosten te verwaarlozen of evenredig met de grootte van de investering, dan is dit geen bezwaar. Bij leidingen mag evenwel niet voorbijgegaan worden aan de energiekosten. Voor leidingen moet een berekening worden opgezet, waarbij in onderlinge afhankelijkheid de meest economische diameter en de meest economische ontwerptermijn worden berekend, waarbij de energiekosten in de berekening worden betrokken. Op zich zal het duidelijk zijn, dat de meest economische ontwerptermijn wat groter zal worden, wanneer de energiekosten er bij worden betrokken. Immers bij een langere ontwerptermijn treedt meer leegloop op en zijn de energiekosten dus lager.

We gaan uit van figuur 26, waarbij iedere leiding een zelfde maximum verbruik te verwerken zal krijgen. Het ideële verbruik in het laatste jaar van iedere leiding is  $Q_{i0} + T \cdot \Delta Q_i = (q + T) \cdot \Delta Q_i$ .



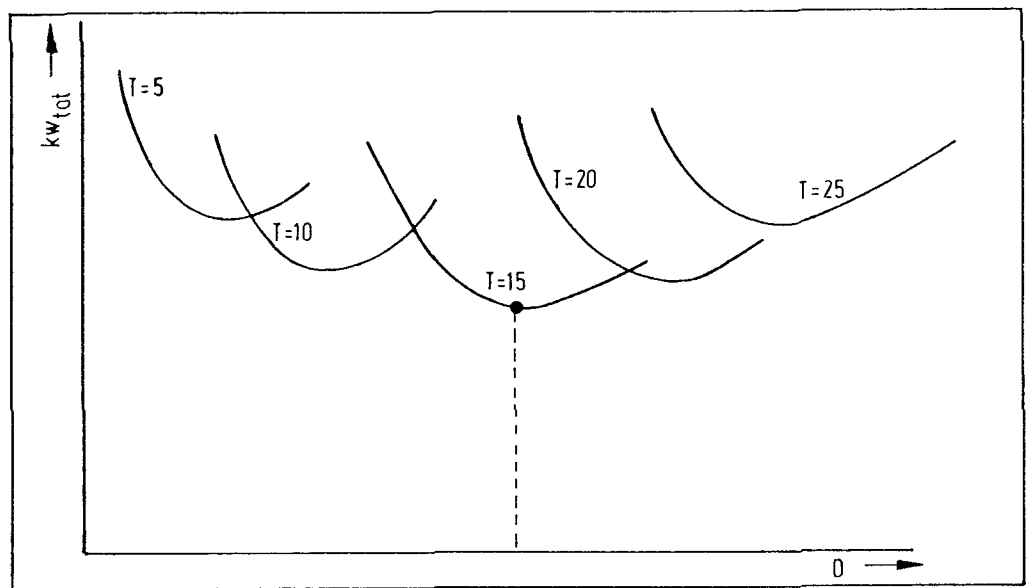
Figuur 26 Dekking waterbehoefte door meerdere transport-leidingen van gelijke diameter

Het investeringsschema is dus als volgt:

| jaar      | investering leiding nr. | $Q_i$                         |
|-----------|-------------------------|-------------------------------|
| 0         | 1                       | $Q_{i0} + T \cdot \Delta Q_i$ |
| T         | 2                       | $Q_{i0} + T \cdot \Delta Q_i$ |
| $2T + q$  | 3                       | $Q_{i0} + T \cdot \Delta Q_i$ |
| $3T + 2q$ | 4                       | $Q_{i0} + T \cdot \Delta Q_i$ |
| enz.      |                         |                               |

Voor dit systeem van leidingen moeten nu de contante waarden van zowel de investeringen als van de energiekosten worden bepaald. Variabelen zijn daarbij de ontwerptermijnen en de diameter van de leiding. De gang van de berekening is nu zo, dat we bijvoorbeeld beginnen met een ontwerptermijn van 5 jaar en daarbij de contante waarde van investeringen en energiekosten berekenen voor verschillende diameters.

De uitkomsten zetten we in een grafiek. Vervolgens doen we hetzelfde voor ontwerptermijnen van 10, 15, 20 enz. jaren (zie figuur 27).



Figuur 27 Schematische weergave van gelijktijdige berekening van meest economische diameter en ontwerptermijn

Voor het geval  $Q_{i0} = 547 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $\Delta Q_i = 21,88 \text{ m}^3/\text{h per jaar}$   
 $\lambda = 0,015$   
 $e = 0,07 \text{ gld/kWh}$   
 $\eta_i = 0,21$   
 $n = 50 \text{ jaar (levensduur)}$

is een en ander uitgerekend met de computer. De resultaten zijn weergegeven in de figuren 28 en 29 (bijlagen 21 en 22). De grafiek met het laagste minimum levert de meest economische ontwerptermijn en de meest economische diameter.

Het blijkt dan dat we in lange ontwerptermijnen terecht komen, al blijkt tevens, dat de verschillen in totale contante waarde niet groot zijn. De op bladzijde 40 berekende ontwerptermijnen zijn met een pijltje aangegeven in figuur 30 (bijlage 23). Hierbij is uitgegaan van  $\beta = 0,5$ , een waarde, die is berekend uit de in figuur 2 aangegeven aanlegkosten.

Voor al deze laatste figuur geeft een goede indruk, dat enerzijds de meest economische ontwerptermijn van leidingen vrij lang is (30 tot 50 jaar) en dat anderzijds aanmerkelijk kortere ontwerptermijnen slechts een geringe toename van de kosten veroorzaken.

#### 4.2.5 Samenvatting

Uitgaande van een lineaire toename van het verbruik is voor een aantal gevallen de meest economische ontwerptermijn berekend. In eerste instantie lijkt daarbij de aangehouden rentevoet van grote invloed te zijn.

Voor leidingen, waarbij als extra complicatie rekening moet worden gehouden met de energiekosten is wat dieper op de zaak ingegaan door niet alleen het kostenminimum te bepalen, maar het hele kostenverloop. Daarbij blijkt, dat als gevolg van het in rekening brengen van de energiekosten de meest economische ontwerptermijn nu zowel bij hoge als bij lage rentevoet langer is dan 30 jaar (zie figuur 30). Het blijkt echter ook, dat de kostencurve erg vlak is, zodat bij kortere ontwerptermijnen de kosten slechts langzaam oplopen.

Een ontwerptermijn van 25 jaar, zoals is aangenomen bij de berekening van de economische diameter blijkt dan zeer redelijk te zijn. Wellicht ten overvloede zij tenslotte opgemerkt, dat er uiteraard ook andere overwegingen van belang zijn bij de keuze van de ontwerptermijn. Te lange ontwerptermijnen geven bijvoorbeeld risico's in verband met de onzekerheid van de prognoses. Bovenstaand verhaal is dan ook alleen bedoeld om een indruk te geven welke factoren meespelen bij de fasering van capaciteitsuitbreidingen en om welke kostenverschillen het daarbij gaat.



## 5 BEDRIJFSZEKERHEID

### 5.1 Algemeen

Ieder bedrijf heeft zijn eigen ideeën over de bedrijfszekerheid van het leidingnet. Deze zijn veelal gevormd door situaties in het verleden en houden nauw verband met de typische kenmerken van het bedrijf. Het doel van dit hoofdstuk is dan ook niet zozeer om te komen tot algemene richtlijnen, maar meer om een benaderingswijze aan te geven alvorens daartoe over te gaan is het goed eens te zien wat over de bedrijfszekerheid van het leidingnet wordt gezegd in het Waterleidingbesluit en in de Aanbevelingen uitgegeven door de VEWIN. We komen dan de volgende artikelen tegen.

#### Waterleidingbesluit artikel 5

De eigenaar draagt zorg, op de wijze en in de mate welke redelijkerwijs van hem kunnen worden gevergd, dat het distributienet zo is ingericht, dat gebreken geredelijk kunnen worden opgeheven onder zo gering mogelijke belemmering van de distributie.

#### Aanbevelingen

(De inrichting van de bedrijfsonderdelen van waterleidingbedrijven.)

##### C1 Algemeen

Het waterleidingbedrijf behoort de bedrijfszekerheid zo hoog op te voeren als in verband met het daarbij betrokken belang economisch verantwoord is.

##### C8 Leidingen

- 1) De wateraanvoer naar een belangrijk verbruikscentrum behoort door meer dan één transportleiding te geschieden.
- 2) De transportleidingen behoren om de 3 à 4 km met afsluiters te kunnen worden onderverdeeld.

Deze afstand behoort tot 1 km te worden teruggebracht, indien op de leiding meerdere dienstleidingen zijn aangesloten. Parallel lopende leidingen behoren zodanig te worden doorverbonden, dat ze bij gedeelten buiten dienst kunnen worden gesteld.

- 4) Leidingen in een verbruikscentrum behoren om de 200 tot 400 m door afsluiters te kunnen worden gesloten, in landelijke gebieden om ten hoogste 1000 m.

De kern van de zaak wordt het beste gevangen met de zinsnede: Het waterleidingbedrijf behoort de bedrijfszekerheid zo hoog mogelijk op te voeren als in verband met het daarbij betrokken belang economisch verantwoord is. Men kan het ook anders formuleren, namelijk: De schade, het ongerief, het gevaar voor verontreiniging van het net etc. welke voortvloeien uit onderbrekingen of vermindering van de waterlevering moeten worden afgewogen tegen de kosten, welke vergroting van de bedrijfszekerheid met zich meebrengt.

## 5.2 Facetten van belang voor het bepalen van de mate van bedrijfszekerheid van leidingnetten

Wil men de schade, het ongerief, etc. die kunnen ontstaan door onderbrekingen in de waterlevering, afwegen tegen de kosten, die gemaakt moeten worden ter ondervanging van deze onderbrekingen, dan zal men eerst een indruk moeten hebben van de mate waarin deze onderbrekingen voorkomen en van de gevolgen ervan. In dit verband zijn de volgende punten van belang.

### 5.2.1 Frequentie van het aantal storingen in een leidingnet

Uiteraard zal als gevolg van verschillende omstandigheden, als materiaal en ouderdom van de leidingen, bodemgesteldheid, aanwezigheid van verkeerslasten en dergelijke het aantal storingen per km hoofdleidingnet per bedrijf verschillen.

Uit een opgave van enkele bedrijven kwam het volgende beeld naar voren:

Tabel 4

| bedrijf                                          | aantal storingen<br>per jaar<br>per 100 km | aantal km<br>per storing<br>per jaar |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|
| DWL Rotterdam                                    | 30,2                                       | 3,3                                  |
| Antwerpse Waterwerken<br>Prov. Waterleidingbedr. | 30,6                                       | 3,3                                  |
| Noord-Holland<br>Waterleiding Mij.               | 24,5                                       | 4,1                                  |
| Gelderland                                       | 19,6                                       | 5,1                                  |

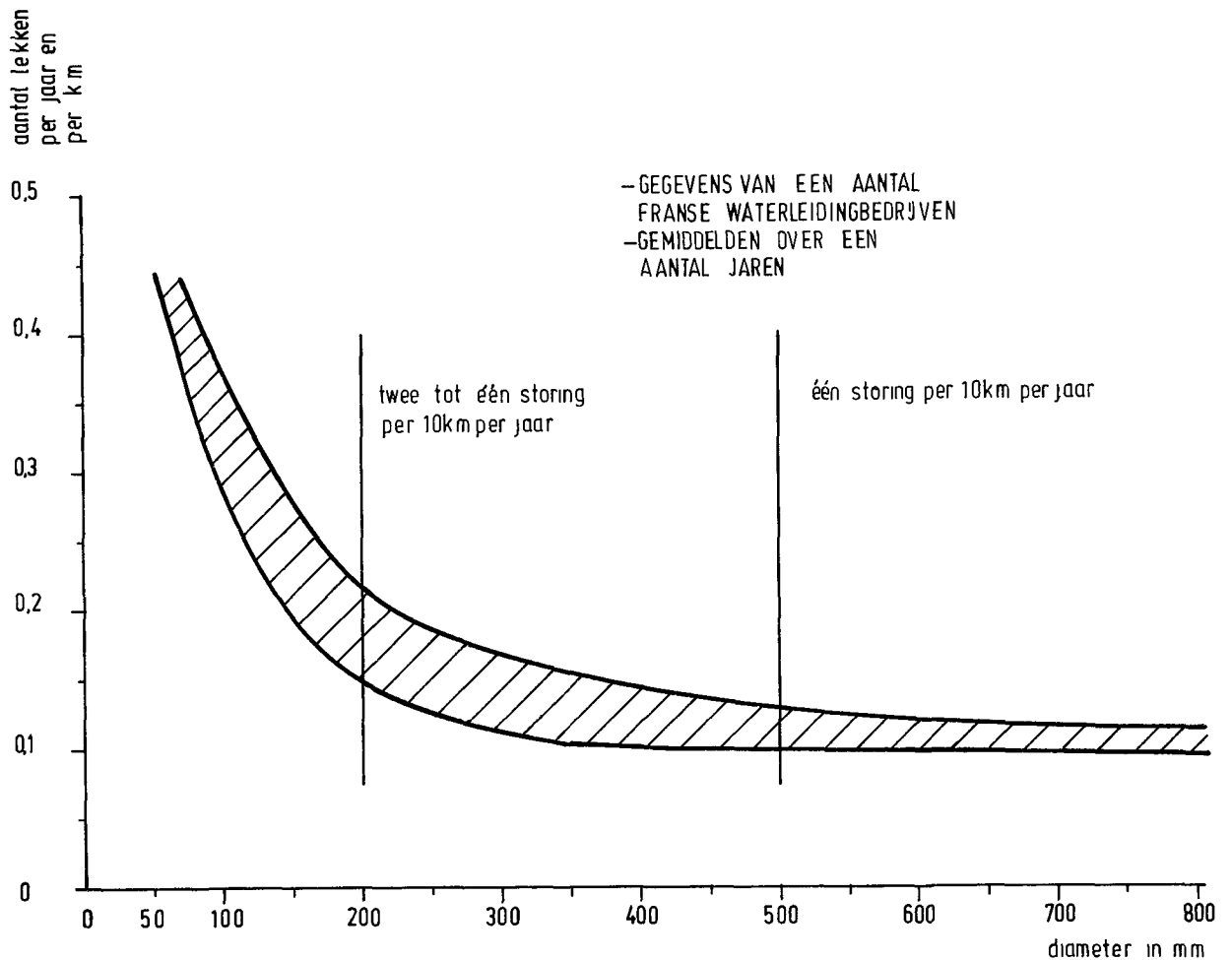
Hierbij dient te worden opgemerkt, dat deze getallen niet geheel vergelijkbaar zijn, omdat niet alle bedrijven hetzelfde onder storingen verstaan.\*) Op zichzelf is dit niet zo'n bezwaar, omdat het in dit verhaal zoals eerder gezegd meer om de benaderingswijze gaat dan om de exacte getallen.

Wel is vaak onderscheid te maken tussen enerzijds storingen, waarbij van het ene ogenblik op het andere de druk wegvalt en de betreffende sectie zo snel mogelijk is de afnemers te waarschuwen dat tot afsluiting moet worden overgegaan.

Tot de eerste categorie behoren in het algemeen de storingen ten gevolge van buisbreuken en het stuktrekken van leidingen, tot de tweede categorie die ten gevolge van lekkende verbindingen, wijzigingen, corrosie, brandkraanreparaties en defecte dienstkranen. Bij eerdergenoemde bedrijven bleek het aantal storingen van de eerste categorie circa 30% van het totaal aantal storingen te zijn.

\*) Het ene bedrijf verstaat onder storingen alleen reparaties t.g.v. lekken, buisbreuk of stuktrekken, het andere bedrijf verstaat er ook de ingrepen onder die het gevolg zijn van wijzigingen van het net t.g.v. reconstructies aan wegen etc..

Een ander gegeven dat nog ter beschikking staat is onderstaande grafiek, die was opgenomen in het "General Report about The Reliability of Water Supply Systems" samengesteld voor het 9e Internationale Waterleidingcongres, gehouden te New York.



Figuur 31

#### 5.2.2 Duur van de storing

De duur van de storing is onder andere afhankelijk van de diameter en het materiaal van de leiding, de grondgesteldheid, de grondwaterstand en de bereikbaarheid van de leiding.

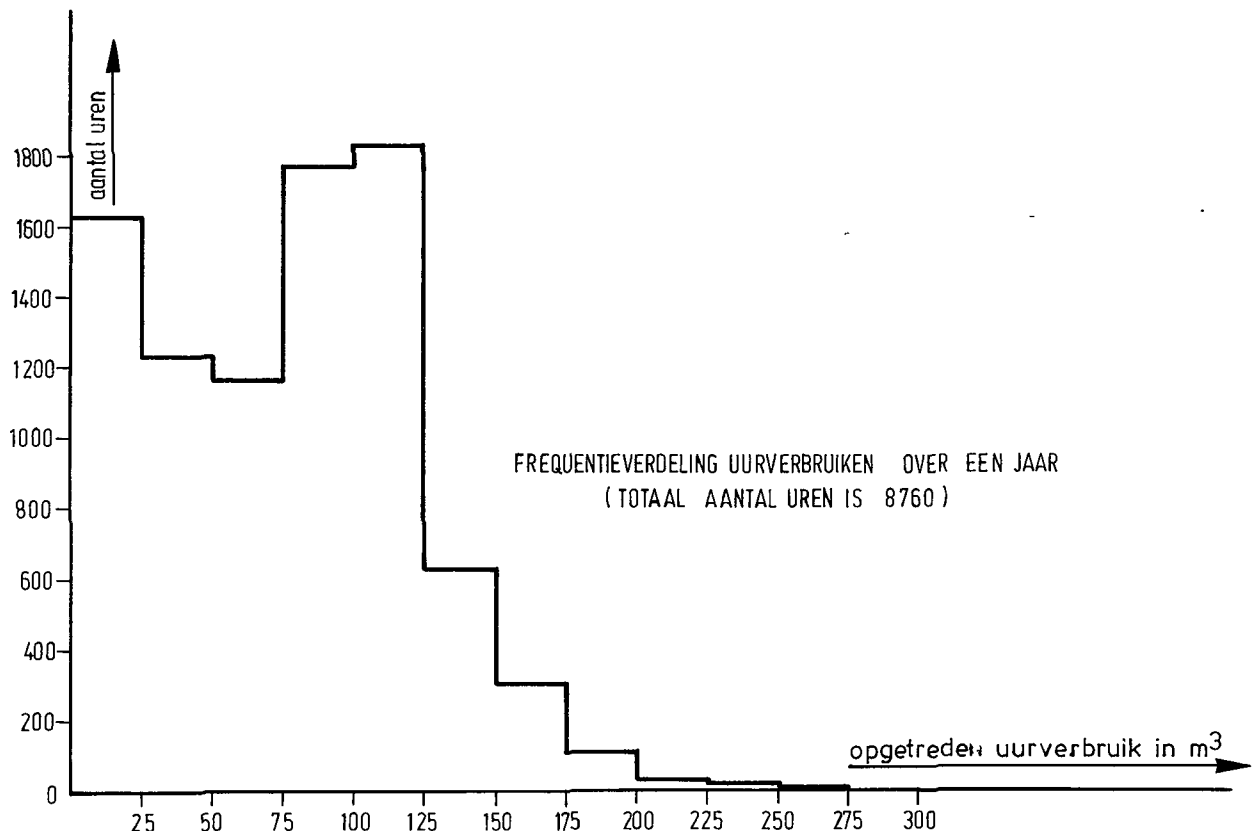
Leidingen met kleine diameters in nieuwbouwwijken (< 300 mm) zullen in het algemeen binnen enkele uren zijn te repareren. Grotere diameters zullen meer tijd vragen. Defecten aan bijzondere constructies als zinkers, spoorwegkruisingen en dergelijke kunnen langdurige reparaties tot gevolg hebben. Het zal duidelijk zijn dat hoe langer de te verwachten reparatietijd is des te zwaarder de te nemen maatregelen ten aanzien van de bedrijfszekerheid zullen moeten zijn.

#### 5.2.3 Grootte en kwetsbaarheid van het gebied, dat de gevolgen van een storing ondervindt

Het behoeft geen betoog, dat hoe groter het betrokken gebied is, hoe groter ook de consequenties van een storing zijn en hoe zwaarder de bedrijfszekerheid gaat wegen. Hierbij is ook de aard van het gebied van belang. Bij gebieden met industrie zal de schade als regel groter zijn dan bij woonwijken. Bij woonwijken kan ook de hoogte van de bebouwing van belang zijn.

#### 5.2.4 Het verbruikspatroon

Een leidingnet wordt ontworpen voor de te verwachten hoogste verbruiken. Deze hoogste verbruiken treden evenwel slechts enkele uren per jaar op. Om hier meer inzicht in te krijgen is in figuur 32 een frequentieverdeling afgebeeld van de uurverbruiken in een jaar, zoals die in een deel van het WMG-gebied zijn voorgekomen. Uit deze frequentieverdeling is de overschrijdingskromme in figuur 33 (bijlage 24) afgeleid.



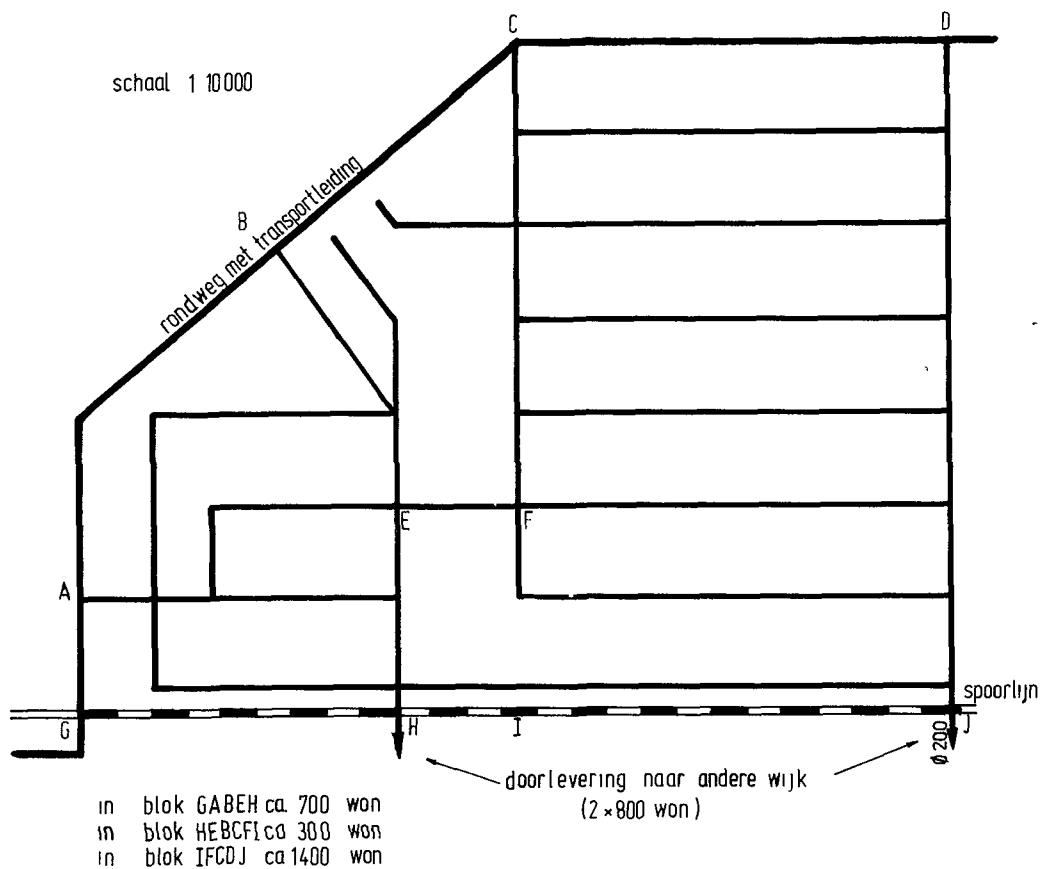
Figuur 32

Omdat bij het berekenen van leidingnetten vrijwel altijd wordt gerekend met piekbelastingen zijn de verbruiken uitgedrukt in percentages van het maximum uurverbruik. Uit deze kromme is bijvoorbeeld af te lezen, dat het aantal uren in een jaar, dat het verbruik groter is dan 50% van het maximum uurverbruik 800 is. Deze kromme geeft een aardige indruk, wat er gebeurt, wanneer door een storing de capaciteit van een net terugvalt naar een lager niveau.

Ook voor enkele andere voorzieningsgebieden is een overschrijdingskromme opgesteld, namelijk voor een deel van het PWN-gebied, voor een deel van Rotterdam en voor Amsterdam en Antwerpen; zie figuur 34 (bijlage 25). Hierbij kan worden opgemerkt dat in Antwerpen veel contracten voor nachtlevering zijn afgesloten. Het blijkt dat de overschrijdingskrommen voor de verschillende gebieden duidelijk verschillen vertonen.

### 5.3 Toepassing van de gegevens onder 5.2

Met de hiervoor verzamelde gegevens is het mogelijk te nemen maatregelen ten aanzien van de bedrijfszekerheid van leidingnetten wat concreter te benaderen. Als voorbeeld is genomen een nieuwe wijk ter Wijchen, waarvoor een leidingnet moest worden ontworpen. Een plattegrond is schematisch weergegeven in figuur 35.



Figuur 35

In totaal zullen in deze wijk 2400 woningen gebouwd worden. Verder moet water worden doorgeleverd naar 1600 woningen in een erachter gelegen wijk. Bij een voor de toekomst aangehouden maximum uurverbruik van 80 l per woning zal het maximum uurverbruik in totaal 320 m<sup>3</sup> bedragen.

De gevolgen van een capaciteitsterugval tot 50% zijn bij deze gebieden dus veel ernstiger dan bij het WMG-gebied. We kunnen het ook andersom benaderen door uit te gaan van de overschrijdingskansen van 9% ofwel 800 uren. Bij PWN, Rotterdam, Amsterdam en Antwerpen is dan slechts een capaciteitsterugval toegestaan tot respectievelijk 62%, 68%, 81% en 70%.

Hierbij kan nog worden opgemerkt, dat de overschrijdingskromme van een groot gebied niet noodzakelijkerwijze dezelfde is als die van al zijn deelgebieden. In het beschouwde PWN-gebied komt zowel industrie als woningbouw voor. Het lijkt aannemelijk, dat een woonwijk een andere overschrijdingskromme heeft dan een industriegebied. Hetzelfde geldt voor een woonwijk in een stad (hoogbouw met weinig tuinen) tegenover een forensenwijk.

Behalve de gevolgen van een bepaald defect moeten we ook kijken naar de kans, dat zo'n defect optreedt.

Keren we terug naar de wijk in Wijchen, dan moeten we een schatting maken hoe groot de kans bijvoorbeeld is, dat de aanvoerleiding  $\varnothing$  250 mm bij punt B buiten bedrijf moet worden genomen. Deze leiding  $\varnothing$  250 mm komt buiten bedrijf, wanneer de leiding  $\varnothing$  250 mm zelf defect is of wanneer een defect optreedt in de afsluitersectie van de transportleiding langs de rondweg, waarop de leiding  $\varnothing$  250 mm is aangesloten. Nemen we aan, dat van de transportleiding de betreffende afsluitersectie 1 km lang is, dat de diameter 400 mm is en dat de afsluitersectie van de  $\varnothing$  250 mm leiding 0,5 km lang is, dan volgt uit figuur 31 - aangehouden is de onderste lijn - dat de kans op een defect in de transportleiding eens in de circa 10 jaar is en de kans op een defect in de leiding  $\varnothing$  250 mm eens in de circa 15 jaar is. In totaal is dit een kans van eens in de 6 jaar. Ieder bedrijf zal voor zich tegen deze achtergronden moeten uitmaken of verdere maatregelen ten aanzien van de bedrijfszekerheid verantwoord zijn.

#### 5.4 Toetsing van de Aanbevelingen van de VEWIN

Hoewel in de inleiding is gezegd, dat het in dit geval meer gaat om een benaderingswijze dan om algemene richtlijnen, is de verleiding toch te groot om de Aanbevelingen van de VEWIN, genoemd in de inleiding, aan een toetsing te onderwerpen.

We komen dan de volgende punten tegen.

##### 5.4.1 Aanvoerleidingen

"De wateraanvoer naar een belangrijk verbruikscentrum behoort door meer dan één transportleiding te geschieden."

"Parallel lopende leidingen behoren zodanig te worden doorverbonden, dat ze bij gedeelten buiten dienst kunnen worden gesteld."

Het meest opvallende van deze aanbevelingen is wel, dat er niets gezegd wordt over de capaciteit van de transportleidingen. Het houdt in, dat in het veel voorkomende geval van 2 transportleidingen met ongelijke diameter de capaciteit kan terugvallen tot beneden 50% . Van belang daarbij is nog, of we te maken hebben met 2 parallel lopende leidingen, die op verschillende plaatsen zijn doorverbonden of met 2 afzonderlijke aanvoerleidingen. Dit laatste komt regelmatig voor bij de streekbedrijven.

Het is dan wel zaak ervoor te zorgen, dat het verschil in diameter niet te groot wordt. Dit is toe te lichten aan de hand van het volgende voorbeeld. Men heeft een gebied, dat voorzien wordt door een leidingstelsel met een capaciteit gelijk aan een  $\varnothing$  300 mm. Het stelsel is volbelast en er moet een nieuwe leiding worden gelegd. Stel dat in verband met de prognoses de meest economische diameter voor de nieuwe leiding 500 mm zou zijn en dat er geen mogelijkheden zijn koppelleidingen aan te brengen tussen de oude en de nieuwe leiding. Uitgaande van bijvoorbeeld een drukhoogteverlies van 2 m/km is de capaciteit van de  $\varnothing$  300 mm leiding 200 m<sup>3</sup>/h, van de  $\varnothing$  500 mm leiding 750 m<sup>3</sup>/h en van de leiding  $\varnothing$  300 mm en  $\varnothing$  500 mm te zamen 950 m<sup>3</sup>/h.

Bij breuk van de leiding  $\varnothing$  500 mm zal de capaciteit van de aanvoerleidingen dan terugvallen tot  $\frac{200}{950} \times 100\% =$   
 $=$  circa 20% .

Te overwegen is dan om in verband met de bedrijfszekerheid een  $\varnothing$  400 mm of zelfs een  $\varnothing$  300 mm te kiezen, met de consequentie dat binnen niet te lange tijd nog een derde leiding moet worden gelegd.

Kiezen we een diameter van 400 mm (met een capaciteit van 425 m<sup>3</sup>/h) dan valt, wanneer in deze leiding in het jaar voordat de volgende capaciteitsvergroting nodig is een storing optreedt, de capaciteit terug tot  $\frac{200}{625} \times 100\% =$   
 $=$  32% .

Mede gezien de eerder genoemde factoren, die tot gevolg hebben dat de situatie minder ongunstig wordt, is de kans op narigheid bij een diametert van 400 mm echter aanmerkelijk minder groot dan bij een diameter van 500 mm. Bij een  $\varnothing$  500 mm komen we in het vlakke gedeelte van de overschrijdingskromme terecht (zie figuur 33), waardoor het aantal uren dat de storing gemerkt wordt drastisch toeneemt. Uiteraard moet ook weer de kans op een storing in de aanvoerleiding in de overwegingen worden betrokken. Hierbij is onder andere de lengte van belang. Hoe langer de aanvoerleiding is, des te groter is de kans op een storing.

Bij parallel lopende leidingen, die zodanig zijn doorverbonden dat ze bij gedeelten buiten dienst kunnen worden gesteld, ligt de zaak aanmerkelijk gunstiger. Het is duidelijk, dat met de doorverbindingen voor weinig geld een aanmerkelijke vergroting van de bedrijfszekerheid wordt bereikt.

Tenslotte kan nog worden opgemerkt dat, wanneer bij de aanvoerleidingen naar een belangrijk verbruikscentrum een capaciteitsterugval tot < 50% geaccepteerd wordt, het niet logisch lijkt voor leidingnetten in nieuwbouwwijken hogere eisen te stellen.

#### 5.4.2 Afsluitersecties

- a) "De transportleidingen behoren om de 3 à 4 km met afsluiters te worden onderverdeeld."

- b) "Deze afstand behoort tot 1 km te worden teruggebracht indien op de leiding meerdere dienstleidingen zijn aangesloten."
- c) "Leidingen in een verbruikscentrum behoren om de 200 tot 400 m door afsluiters te kunnen worden gesloten, in landelijke gebieden om ten hoogste 1000 m."

ad a. Wat transportleiding betreft is er weer verschil te maken tussen parallel lopende leidingen en afzonderlijke leidingen.

Bij parallel lopende leidingen is de grootte van de afsluitersectie van belang voor de terugval in capaciteit, bij afzonderlijke leidingen is dit niet het geval. Een ander, mogelijk belangrijker aspect is echter, dat de grootte van de afsluitersectie invloed heeft op de reparatieduur, namelijk in verband met het leeglopen van de leidingsectie, het vullen en afspuien. Een afstand van 3 à 4 km is in dit verband algemeen geaccepteerd door de streekwaterleidingbedrijven. Bij de stedelijke bedrijven komen kortere afstanden voor.

ad b. Transportleidingen waarop meerdere dienstleidingen zijn aangesloten. Dit komt voor in de grotere nieuwbouwwijken en betreft dan de doorgaande leidingen. In het algemeen is bij de Nederlandse waterleidingbedrijven de diameter 300 mm de grootste waarop nog dienstleidingen worden aangeboord.

Maatstaf voor de grootte van de afsluitersectie is dan ook niet zozeer het aantal dienstleidingen, maar meer de grootte van het gebied dat uit de betreffende sectie zijn water betreft en de samenstelling van het net. In de praktijk blijkt, afhankelijk van de situatie, een sectiegrootte van 500 tot 1000 m regel te zijn.

ad c. Bij leidingen in verbruikscentra kunnen we de volgende aspecten onderscheiden:

c.1 De kans op een storing.

We mogen ervan uitgaan, dat bij reparaties, werkzaamheden etc. alleen de betreffende sectie buiten bedrijf komt.

Volgens de gegevens van figuur 31 treden bij leidingdiameters van 100 en 150 mm circa 3 storingen per 10 km per jaar op. Bij een in de Aanbevelingen genoemde lengte van een afsluitersectie van 200-400 m betekent dit dat zo'n sectie gemiddeld eens in de 16-8 jaar buiten bedrijf wordt genomen. Aangezien de duur van dergelijke werkzaamheden gemiddeld 3-4 uur bedraagt, is het veroorzaakte ongerief dan als te verwaarlozen te beschouwen. Voor gebieden waar door bijzondere omstandigheden hetzij het aantal storingen aanmerkelijk hoger ligt, hetzij de reparatieduur langer is, zal geval voor geval moeten worden beoordeeld, of het zin heeft tot kleinere afsluitersecties over te gaan.

- c.2 Een heel ander aspect is de omvang van de extra werkzaamheden, zoals het aanzeggen van de klanten en het dichtdraaien van de afsluiters.

Afhankelijk van de dichtheid van de bebouwing varieert het aantal woningen per afsluitersectie van 150 bij dichtbebouwde wijken (meerlagenbouw) tot 30 in de plattelandsuitbreidingsplannen.

Een andere vuistregel is, dat bij het buiten bedrijf nemen van een afsluitersectie ten hoogste 5 afsluiters moeten worden dichtgezet.

## 5.5 Samenvatting en conclusies

Bij het bezien van bedrijfszekerheidsaspecten moeten de schade, het ongerief etc. welke voortvloeien uit onderbrekingen of vermindering van de waterlevering worden afgewogen tegen de kosten, welke vergroting van de bedrijfszekerheid met zich meebrengt.

Om dit te kunnen benaderen moet men onder andere een inzicht hebben in het aantal storingen dat in het leidingnet voorkomt en de tijdsduur van deze storingen.

Daarnaast kan aan de hand van het verbruikspatroon de kans op schade of ongerief worden bepaald bij een aangenomen vermindering van de aanvoer.

In het algemeen komt de tendens naar voren dat bij een stadsbedrijf een aantal zaken anders liggen dan bij een streekbedrijf. Als verschilpunten zijn onder andere te noemen:

- 1) de omvang van het voorzieningsgebied;
- 2) de grotere kwetsbaarheid van het stedelijke gebied met industrie en hoogbouw;
- 3) het verbruikspatroon, waardoor de overschrijdingskromme bij stedelijke gebieden ongunstig is;
- 4) de grotere bebouwingsdichtheid, waardoor de kosten in stedelijk gebied relatief lager zijn dan in een plattelandsgebied.

Al deze factoren verklaren, waarom bij de stedelijke bedrijven de eisen ten aanzien van de bedrijfszekerheid in het algemeen wat hoger liggen dan bij de streekbedrijven. Voor sommige delen van een stadswijk (bijvoorbeeld een laagbouwgedeelte) gelden deze factoren echter niet. Hier zou dan ook geen verschil in bedrijfszekerheid moeten bestaan tussen het ontwerp van een stadsbedrijf en dat van een streekbedrijf.



Door de Werkgroep "Brandweereisen" van de Commissie Distributie is een rapport opgesteld. Dit rapport bevat onder andere de eisen die door de brandweer zijn opgesteld voor verschillende risicogebieden. Voor nieuwbouwwijken wordt daarbij een hoeveelheid van 90 m<sup>3</sup>/h genoemd. In waterleidingkringen wordt verschillend gedacht over de hoeveelheden, die voor brandblussing in de berekening moeten worden opgenomen. Ook bestaan er verschillen in inzicht betreffende de omstandigheden, waaronder de vereiste hoeveelheid bluswater moet kunnen worden geleverd. Van oudsher is er bij streekbedrijven van uitgegaan, dat een hoeveelheid bluswater ter grootte van 18 m<sup>3</sup>/h bij een drukhoogte van 18 m wk moest kunnen worden geleverd. Hierbij werd dan nog het voorbehoud gemaakt, dat op eindpunten met een mindere hoeveelheid kon worden volstaan. Een en ander kwam erop neer, dat in berekeningen bij leidingen > Ø 100 mm het berekende maximum uurverbruik werd verhoogd met 18 m<sup>3</sup>/h.

De laatste jaren zijn ook de streekbedrijven van karakter veranderd.

Het platteland is van water voorzien en de leidingaanleg richt zich naast aanleg van transportleidingen en het vervangen van leidingen nu hoofdzakelijk op uitbreidingen van bestaande plaatsen. Bij de berekening van dit soort netten wordt weinig of niet met brandbluswater gerekend, omdat de praktijk heeft geleerd dat, mits men maar voldoende doorverbindingen aan brengt, er voldoende bluswater kan worden geleverd, zij het, dat de druk in het hoofdleidingnet ter plaatse van de brand wel kan dalen tot zeer lage waarden.

Bij de stadsbedrijven wordt in het algemeen met grotere brandblushoeveelheden gerekend. Echter ook hier verschillen de meningen. Zo zijn er bedrijven, die met een hoeveelheid van 60 m<sup>3</sup>/h rekenen en bedrijven, die zich baseren op 90 m<sup>3</sup>/h.

Sommige bedrijven vinden een verlaging van de drukhoogte tot 1 m boven maaiveld acceptabel, andere nemen hiervoor een waarde van 10 m en weer andere gaan er bij hun berekening van uit, dat ook het bluswater onder 20 m drukhoogte moet worden geleverd. Tenslotte is er nog verschil van mening over het feit, of de hoeveelheid bluswater bij de berekening geteld moet worden bij het maximum uurverbruik dat verwacht wordt aan het einde van de ontwerptermijn te zullen optreden, of dat bij brand met een lager verbruik mag worden gerekend.

Een discussie over welke berekeningsmethode nu de juiste is heeft weinig zin. Wel heeft het zin eens na te gaan wat de consequenties van enkele bluseisen zijn voor de kosten van het net. Bij het voorbeeld van het ontwerp van een nieuwbouwwijk in Wijchen dat in hoofdstuk 9 wordt behandeld (zie blz. 93 e.v.) zijn de volgende gevallen onderzocht:

- 1) de methode om een leidingnet te berekenen zonder rekening te houden met bluswater, om vervolgens de consequenties te bekijken van een afname van 60 m<sup>3</sup>/h voor brand op het ongunstigste punt;
- 2) de eis, die van brandweerszijde wordt gesteld, namelijk een hoeveelheid bluswater ter grootte van 90 m<sup>3</sup>/h, waarbij de drukhoogte mag zakken beneden 20 m + maaiveld;
- 3) de meest extreme brandbluseis, dat wil zeggen bij de berekening van het net moet op elk punt op het uur van maximum verbruik een hoeveelheid brandbluswater van 90 m<sup>3</sup>/h geleverd worden bij een drukhoogte van 20 m wk.

## 7 HET ONTWERPEN VAN EEN LEIDINGNET

### 7.1 Het ontwerpen van een leidingnet, uitgaande van een bestaand net

#### 7.1.1 Kennis van het bestaande net

Bij het ontwerpen van een leidingnet heeft men in het algemeen rekening te houden met een bestaand net. Het is dan ook zaak eerst een goed inzicht te hebben in dat bestaande net. Dit houdt onder andere in, dat bekend moet zijn:

- a) de capaciteit van het net; welke drukhoogteverliezen treden op bij welke verbruiken; hoe lang is de capaciteit nog voldoende?
- b) de klempunten: de trajecten, waar de grootste drukverliezen optreden;
- c) de consequenties van storingen in bepaalde leidingtrajecten;
- d) de consequenties bij toename van het verbruik (verwachte nieuwbouw en verwachte en niet verwachte industrievestigingen);
- e) de brandbluscapaciteit op diverse punten bij diverse verbruiken.

Voor dit inzicht is nodig een leidingnetberekening, gecontroleerd door metingen.

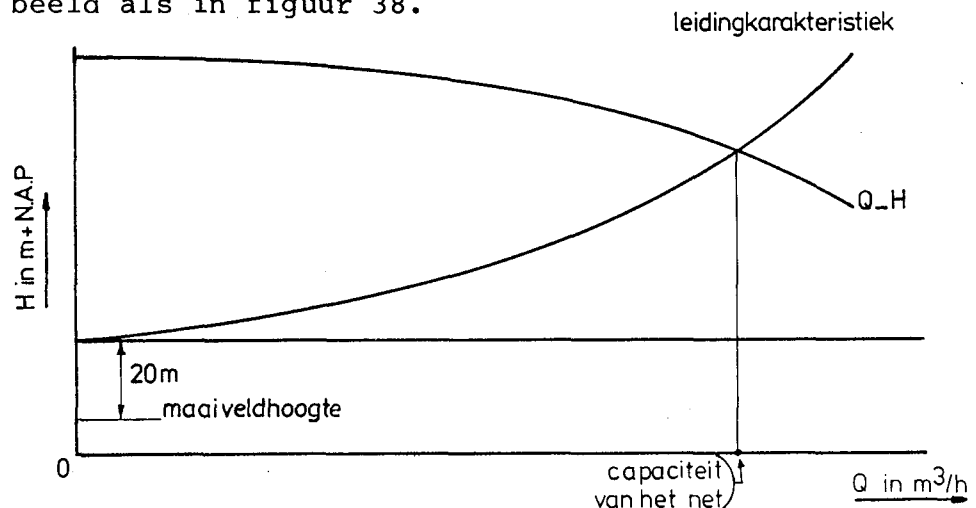
Eenvoudig is de leidingnetberekening, wanneer we te maken hebben met een vertakt systeem (figuur 37).



Figuur 37

Ook het aantal controlemetingen kan dan zeer beperkt blijven (bijvoorbeeld een hoeveelheidsmeting bij het invoerpunt en drukmetingen aan het begin en het eind van het net).

Ingewikkelder worden de berekeningen, wanneer er meerdere ringleidingen in het net voorkomen. In een aantal gevallen kan men door het aanbrengen van vereenvoudigingen een dergelijk net nog wel herleiden tot een vertakt net, maar is dit, zoals bijvoorbeeld bij een vermaasd net, niet mogelijk, dan is men aangewezen op de Hardy Cross-methode en duurt het meestal niet lang of men is toe aan het inschakelen van een computer. Uiteraard moeten ook deze berekeningen gecontroleerd worden met behulp van metingen. Anderzijds kan men ook, alleen aan de hand van metingen, een goed inzicht in de mogelijkheden van een leidingnet krijgen door van dat net één of meerdere leidingkarakteristiek(en) uit te zetten in een grafiek, te zamen met de Q-H-krommen van de reinwaterpompen. Wij krijgen dan een beeld als in figuur 38.



Figuur 38

De leidingkarakteristiek geeft de druk weer die bij het pompstation nodig is om aan het eind van het net een bepaalde drukhoogte (bijvoorbeeld 20 m wk) te handhaven. Punten van de leidingkarakteristiek zijn te vinden door bij verschillende verbruiken de drukhoogteverliezen te meten tussen het pompstation en het betreffende eindpunt, waarvoor de leidingkarakteristiek wordt opgesteld. Aangezien er een nagenoeg kwadratisch verband bestaat tussen de hoeveelheid en de daarbij optredende drukhoogteverliezen kan door extrapolatie de leidingkarakteristiek worden verlengd.

Om de onnauwkeurigheden die altijd bij extrapolatie in het geding zijn te beperken, is het van belang de metingen te verrichten bij de hoogste voorkomende uurverbruiken. Bij de extrapolatie wordt voorts aangenomen, dat de verdeling van het verbruik over het net vrijwel hetzelfde blijft. Is dit niet het geval, dan zullen correcties moeten worden aangebracht.

Het snijpunt van de leidingkarakteristiek met de Q-H-kromme geeft de capaciteit aan van het net bij de aanwezige reinwaterpompen. Immers, op dat punt is de druk die het pompstation aflevert even groot als de druk die bij het pompstation nodig is om achter in het net de voorgescreven druk van 20 m te handhaven (leidingkarakteristiek).

Op deze wijze is het mogelijk de capaciteit van het net te bepalen alleen door het verrichten van enkele druk- en hoeveelheidsmetingen.

Wanneer er meerdere kritische punten in een net voorkomen, dan kunnen meerdere leidingkarakteristieken worden getekend. Ook kunnen leidingkarakteristieken worden gemaakt voor bijzondere situaties, zoals het buiten bedrijf stellen van een bepaalde leiding, het vergroten of verkleinen van het voorzieningsgebied, het leveren van water in een reservoir enz.

#### 7.1.2 Het opstellen van alternatieven voor de capaciteitsuitbreiding

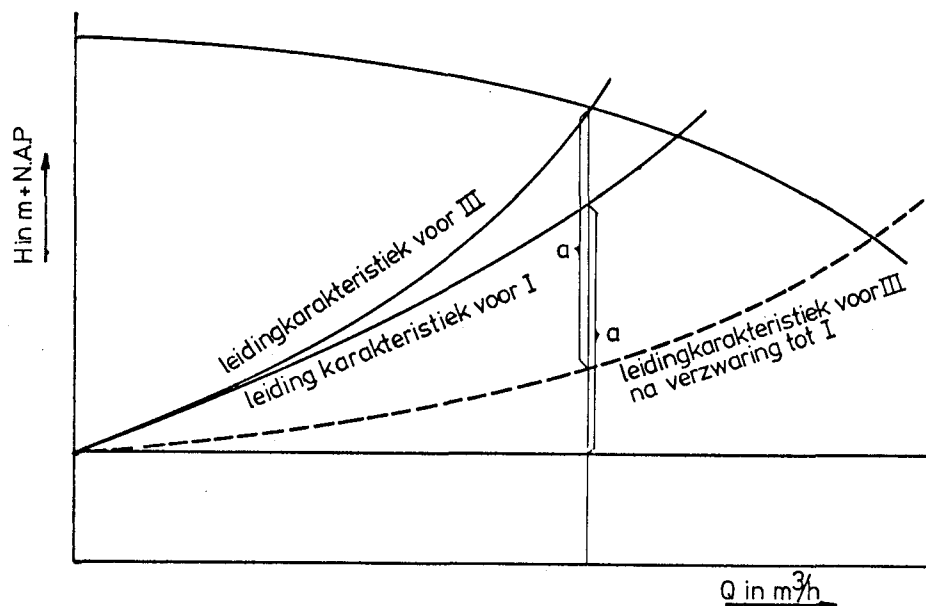
Heeft men op deze of andere wijze een goed inzicht in het bestaande net gekregen, dan volgt de 2e fase: het ontwerpen van eventuele capaciteitsuitbreidingen. Hiertoe worden aan de hand van een aantal uitgangspunten zoals verbruiksprognoses, technische mogelijkheden, toelaatbare drukhoogteverliezen etc. een aantal alternatieve oplossingen opgesteld. Deze oplossingen kunnen bestaan uit leidingverzwaringen, maar bijvoorbeeld ook uit het bouwen van opjaagstations en reservoirs in het net of het overzetten van een deel van het net op een ander pompstation. Voor het opstellen van de alternatieven zijn weer leidingnetberekeningen nodig.

Bij een vertakt net zijn ook deze berekeningen weer vrij eenvoudig, zodat een handberekening mogelijk blijft, maar bij een ook maar enigszins vermaasd net wordt de hoeveelheid rekenwerk al spoedig erg groot. Vooral bij veel alternatieve oplossingen en bij de aanwezigheid van een reservoir in het net, wordt de hoeveelheid rekenwerk spoedig zo groot dat men met profijt gebruik kan maken van computerberekeningen. Echter ook hier kan men bij niet al te ingewikkelde netten door het verrichten van drukmetingen goede benaderingen van het effect van leidingverzwaringen verkrijgen. Dit kan in principe als volgt geschieden.

Een pompstation voorziet een afgebakend gebied, waarvan het leidingnet er uitziet als aangegeven in figuur 39 (bijlage 26).

Op de punten I, II en III plaatst men in een warme periode registrerende manometers. Hierdoor krijgt men allereerst een inzicht welke verzwaring van welk leidinggedeelte het meest effect zal hebben.

Stel, dat dit het eerste traject is, de leiding tussen het pompstation en punt I. We maken dan leidingkarakteristieken voor punt I en punt III. Deze zien er bijvoorbeeld als volgt uit (figuur 40).



Figuur 40

Door nu de drukhoogteverliezen die in het traject pompstation - punt I optreden (a) in mindering te brengen op de leidingkarakteristiek voor punt III is een nieuwe leidingkarakteristiek voor punt III te tekenen, die de situatie weergeeft, die zal optreden na de verzwaring van het 1e traject. Hierbij is aangenomen, dat het drukhoogteverlies in het 1e traject (pompstation-punt I) de eerste jaren na de verzwaring te verwaarlozen klein zal zijn. Is dit niet het geval, dan is op eenvoudige wijze een benadering van het desbetreffende drukhoogteverlies te maken. Op dezelfde wijze is het effect van een verzwaring van het 2e traject te benaderen.

#### 7.1.3 Kostenvergelijking met behulp van de methode der contante waarden

Uit de verschillende alternatieven moet tenslotte een keuze gemaakt worden aan de hand van een economische vergelijking, aangevuld met een afweging van andere factoren, zoals bedrijfszekerheid, flexibiliteit etc.. Voor de economische vergelijking kan gebruik gemaakt worden van de methode der contante waarden, zoals aangegeven in hoofdstuk 4.

Hieronder is een en ander aan de hand van een eenvoudige berekening toegelicht.

Als voorbeeld is genomen de capaciteitsvergroting van een leiding, hetzij door leidingverzwaring, hetzij door het bouwen van een opjager. Opgemerkt zij, dat het er bij dit voorbeeld om gaat de wijze van werken met de methode der contante waarden te laten zien en niet om het probleem "leidingverzwaring" of "het bouwen van een opjager" aan de orde te stellen. In het voorbeeld zijn dan ook betrekkelijk willekeurige alternatieven vergeleken.

We gaan uit van de volgende aannamen:

maximum verbruik is  $420 \text{ m}^3/\text{h}$ .

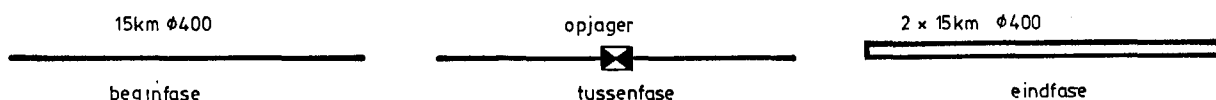
Dit verbruik neemt lineair toe in 25 jaar tot  $840 \text{ m}^3/\text{h}$ , waarna het constant blijft.

De lengte van de leiding is 15 km.

Het toelaatbare drukhoogteverlies is 30 m wk.

Aanwezig is een leiding  $\varnothing$  400 mm, die bij 2 m/km juist een capaciteit heeft van 420 m<sup>3</sup>/h. Beslist moet worden of een tweede leiding van  $\varnothing$  400 mm moet worden gelegd of dat plaatsing van een tijdelijke opjager voordeliger is.

Plan 1. We plaatsen tijdelijk een opjager in het midden van de leiding



Figuur 41

Het toelaatbare drukhoogteverlies was 30 m wk. Houden we aan dat de opjager maximaal 30 m druk levert, dan wordt het toelaatbare drukhoogteverlies 60 m wk. De capaciteit van de leiding wordt

$$1,86^* \sqrt{\frac{60}{30}} \cdot 420 = 610 \text{ m}^3/\text{h}$$

De toename van het verbruik is lineair, dus het maximum verbruik neemt met  $\frac{420}{25} = 16,8 \text{ m}^3/\text{h}$  per jaar toe.

Het verbruik van 610 m<sup>3</sup>/h wordt in het 13e jaar overschreden, waardoor in het 12e jaar een maatregel moet worden opgenomen.

We nemen aan dat tot leidingverzwaring wordt besloten.

Een leiding  $\varnothing$  400 mm wordt gelegd in het 12e jaar en de opjager verdwijnt in het 13e jaar.

Vanaf het 13e jaar is de situatie bij de plannen, die vergeleken moeten worden, hetzelfde.

De te verrichten investering in het 1e jaar voor een opjager voor 610 m<sup>3</sup>/h bij 30 m wk drukverhoging is gesteld op f 250.000,-. De kosten voor bediening en onderhoud van de opjager zijn geraamd op jaarlijks f 4.000,-.

\*) Zie voetnoot op bladzijde 25.

De te verrichten investering in jaar 12 voor 15 km  $\varnothing$  400 mm is, geraamd op f 117,-/m', f 1.755.000,-.

Nemen we dezelfde verhouding aan tussen  $Q_{\max}$ ,  $Q_{\text{gem}}$  en  $Q_i$  als op bladzijde 21, dan is  $Q_i$  in het 2e jaar:

$$\frac{1,3}{2,85} \cdot 420 \cdot 1,04 = 199 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Het drukhoogteverlies daarbij is:

$$\left( \frac{199}{420} \right)^{1,86} \cdot 30 = 7,5 \text{ m wk}$$

De energiekosten zijn dan

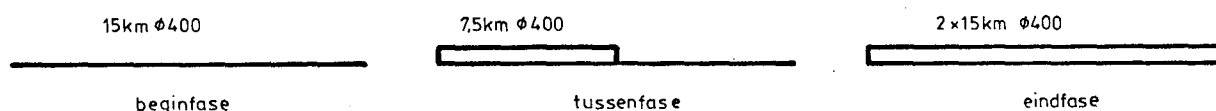
$$k_{e2}^*) = \frac{8760 \cdot 199 \cdot 7,5 \cdot 0,07}{0,2 \cdot 367} = \text{f } 12.469,-$$

In het 12e jaar zijn de energiekosten:

$$(1 + 10 \cdot 0,04)^{2,86} \cdot (12.469,-) = \text{f } 32.641,-$$

Plan 2. Capaciteitsvergroting door het parallel leggen van een 2e leiding  $\varnothing$  400 mm

De aanleg van de 2e leiding behoeft niet in één keer te gebeuren maar zal hier als voorbeeld in 2 fasen worden uitgevoerd.



Figuur 42

In het 1e jaar wordt de helft van de 2e leiding gelegd. Het drukhoogteverlies neemt dan af tot circa 19 m wk. De capaciteit van het leidingsysteem is dan:

$$\sqrt[1,86]{\frac{30}{19}} \cdot 420 = 537 \text{ m}^3/\text{h}$$

De capaciteit wordt in het 9e jaar overschreden. Het 2e gedeelte moet dan in het 8e jaar worden gelegd.

\*) Formule van bladzijde 25.

$Q_{i2} = 199 \text{ m}^3/\text{h}$  (zie plan 1).

Het drukhoogteverlies daarbij is:

$$\left(\frac{199}{420}\right)^{1,86} \cdot 19 = 4,7 \text{ m wk.}$$

De energiekosten zijn dan:

$$k_{e2} = \frac{8760 \cdot 199 \cdot 4,7 \cdot 0,07}{0,2 \cdot 367} = \text{f } 7.814,-$$

In het 8e jaar zijn deze kosten:

$$(1 + 6 \cdot 0,04)^{2,86} \cdot (7.814,-) = \text{f } 14.456,-.$$

In het 9e jaar is de hele leiding verzwaard.

$$Q_{\max 9} = 420 \cdot (1 + 8 \cdot 0,4) = 554 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{i9} = \frac{1,3}{2,85} \cdot 554 = 253 \text{ m}^3/\text{h}$$

Het drukhoogteverlies hierbij is  $15 \times 0,2 = 3,0 \text{ m wk.}$

De energiekosten in het 9e jaar zijn:

$$k_{e9} = \frac{8760 \cdot 253 \cdot 3,0 \cdot 0,07}{0,2 \cdot 367} = \text{f } 6.341,-$$

De energiekosten in het 12e jaar zijn:

$$k_{e12} = (1 + 3 \cdot 0,04)^{2,86} \cdot (6.341,-) = \text{f } 8.768,-$$

De te verrichten investering in het 1e zowel als in het 8e jaar is  $7,5 \text{ km } \varnothing 400 \text{ mm } \hat{=} \text{f } 117,-/\text{m}' = \text{f } 877.500,-.$

De economische vergelijking van de plannen ziet er dan als volgt uit; zie tabel 5 (bijlage 1).

Het blijkt dat bij een rente van 9% plan 1 voordeliger is en dat bij een rente van 3% plan 2 iets goedkoper is. Dat wil zeggen, laten we toekomstige prijsstijgingen buiten beschouwing, dan is een tijdelijke oplossing met een opjager voordeliger.

Houden we echter rekening met toekomstige prijsstijgingen van circa 6%, dan is het financiële voordeel van de tijdelijke opjager verdwenen.

#### 7.1.4 Samenvatting

Voor het ontwerpen van een leidingnet, uitgaande van een bestaand net, is het een eerste vereiste, dat er een goed inzicht bestaat in het bestaande net. Voor dit inzicht is een leidingnetberekening nodig, gecontroleerd door metingen. Bij ingewikkelde, vermaasde netten zal veelal gebruik worden gemaakt van een computer. Bij niet te ingewikkelde netten, waarbij toch wel een zekere vermazing aanwezig is, kan met behulp van leidingkarakteristieken de capaciteit van een leidingnet worden bepaald zonder rekenwerk van enige betekenis. Deze methode leent zich ook goed voor het bepalen van het effect van leidingverzwaringen.

Een kostenvergelijking tussen verschillende alternatieve oplossingen kan worden gemaakt met de methode der contante waarden.

#### 7.2 Het ontwerpen van een leidingnet waarbij geen rekening hoeft te worden gehouden met een bestaand net

Deze situatie zal zich voordoen bij het stichten van een nieuwe stad en vaak ook bij nieuwe wijken.

Bij het bestaande net hebben wij gezien, dat berekeningen van vermaasde netten veel rekenwerk vragen. Daarom is het bij het ontwerpen van nieuwe netten verstandig het net in eerste instantie op te zetten als een vertakt net of als meerdere vertakte netten. Ook economisch is dit een aantrekkelijke methode, omdat in het algemeen een vertakt net goedkoper is dan een net met ringleidingen. Wel is de bedrijfszekerheid kleiner. Het is echter doelgerichter en daardoor goedkoper eerst een vertakt systeem, aangepast aan de waterverbruiken, te ontwerpen - en dan de bedrijfszekerheid te vergroten door het maken van enkele doorverbindingen - dan bij het ontwerpen reeds met ring-systemen te werken. Bij een typisch vermaasde structuur van een wijk kunnen vertakt netten worden verkregen door het doorknippen van een aantal mazen.

Bij het doorknippen van de mazen moeten de volgende vuistregels worden aangehouden of tegen elkaar worden afgewogen:

- 1) gestreefd moet worden naar de kortste weg naar elke afnemer
- 2) zorg dat alle leidingen zoveel mogelijk volbelast zijn
- 3) het transport door een leiding met een grotere diameter is relatief goedkoper dan dat door een leiding met een kleinere diameter.

Dit laatste blijkt uit tabel 6.

Tabel 6

| Diam.<br>in mm | Investering in<br>guldens per m' | Capaciteit bij<br>2 m/km in m <sup>3</sup> /h | Investering per<br>m <sup>3</sup> uurcapaciteit<br>(2) : (3) |
|----------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| (1)            | (2)                              | (3)                                           | (4)                                                          |
| 100            | 28                               | 10                                            | 2,80                                                         |
| 150            | 38                               | 32                                            | 1,19                                                         |
| 200            | 50                               | 66                                            | 0,76                                                         |
| 250            | 64                               | 120                                           | 0,53                                                         |
| 300            | 80                               | 200                                           | 0,40                                                         |

Wat de investering per leidingdiameter betreft, kan worden opgemerkt, dat hierin blijkens een in 1972 gehouden enquête grote verschillen optreden tussen de diverse bedrijven. De verhouding tussen de kosten van de verschillende diameters geeft echter geen grote verschillen te zien.

Bovenstaande investeringen zijn gemiddelden van de op prijspeil van 1972 door een aantal waterleidingbedrijven opgegeven prijzen. Op zichzelf is het geen openbaring, dat bij een grotere diameter de transportkosten lager worden. We kunnen er echter verder mee gaan door bepaalde combinaties van leidingen te bekijken (zie tabel 7).

Tabel 7

| Diam.<br>in mm     | Investering<br>in guldens<br>per m' | Capaciteit bij<br>2 m/km in m <sup>3</sup> /h | Investering<br>per m <sup>3</sup> uu-<br>capaciteit | Verhou-<br>ding in<br>kosten |
|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------|
| 2 Ø 300 +<br>Ø 100 | 2 x 80 + 28 =<br>188                | 2 x 200 + 10 =<br>410                         | 0,46                                                | 1                            |
| 3 Ø 250            | 3 x 64 = 192                        | 3 x 120 = 360                                 | 0,53                                                | 1,15                         |
| Ø 250 +<br>Ø 100   | 64 + 28 = 92                        | 120 + 10 = 130                                | 0,71                                                | 1                            |
| 2 Ø 200            | 2 x 50 = 100                        | 2 x 66 = 132                                  | 0,76                                                | 1,07                         |
| Ø 200 +<br>Ø 100   | 50 + 28 = 78                        | 66 + 10 = 76                                  | 1,03                                                | 1                            |
| 2 Ø 150            | 2 x 38 = 76                         | 2 x 32 = 64                                   | 1,19                                                | 1,16                         |

Hier komt nog bij het effect, dat voor de duurste leiding ook het kortste tracé kan worden gekozen.

Heeft men eenmaal het te ontwerpen net gesplitst in één of meer vertakte leidingsystemen, dan is het mogelijk voor elke leiding het debiet vast te stellen en vervolgens de diameter te bepalen.

Een methode, waarbij het een en ander op zeer eenvoudige en overzichtelijke wijze plaatsvindt, is de zogenaamde equivalentiemethode. Bij deze methode kan worden gerekend met verbruiken, maar ook met aantallen woningen die door een leiding met een bepaalde diameter kunnen worden voorzien. Om het voorbeeld niet te ingewikkeld te maken, gaan we uit van een piekverbruik van 80 l/h voor alle woningen. Voorts nemen we aan, dat als algemene maatstaf een toelaatbaar drukhoogteverlies van 2 m/km wordt aangehouden. Omdat vanaf het eindpunt gerekend het debiet geleidelijk toeneemt, is aangehouden, dat een acceptabele belasting van een leiding ligt tussen de drukhoogteverliezen 1 m/km en 3 m/km. We krijgen dan het beeld volgens tabel 8.

Tabel 8

| Diam.<br>in mm | Debiet in m <sup>3</sup> /h bij een<br>drukhoogteverlies van |        |        | Aantal woningen dat<br>voorzien kan worden<br>door de leiding bij<br>een aangenomen gemid-<br>deld drukhoogtever-<br>lies van 2 m/km |
|----------------|--------------------------------------------------------------|--------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                | 1 m/km                                                       | 2 m/km | 3 m/km |                                                                                                                                      |
| 100            | 7,5                                                          | 10     | 13     | 0 - 150                                                                                                                              |
| 125*)          | 13                                                           | 19     | 23     | 150 - 300                                                                                                                            |
| 150            | 21                                                           | 32     | 43     | 300 - 550                                                                                                                            |
| 200            | 46                                                           | 66     | 83     | 550 - 1.000                                                                                                                          |
| 250            | 83                                                           | 120    | 150    | 1.000 - 1.750                                                                                                                        |
| 300            | 135                                                          | 200    | 240    | 1.750 - 3.000                                                                                                                        |
| 400            | 290                                                          | 420    | 520    | 3.000 - 6.500                                                                                                                        |
| 500            | 520                                                          | 760    | 940    | 6.500 - 11.000                                                                                                                       |
| 600            | 860                                                          | 1.120  | 1.550  | 11.000 - 17.500                                                                                                                      |
| 700            | 1.300                                                        | 1.850  | 2.300  | 17.500 - 28.000                                                                                                                      |

Met deze tabel is het nu eenvoudig allerlei netten te dimensioneren. Hebben we op deze wijze alle leidingen van het net gedimensioneerd, dan moet vervolgens worden nagegaan of de bedrijfszekerheid voldoende groot is en of op alle plaatsen voldoende brandbluswater kan worden geleverd. Vergroting van de bedrijfszekerheid is in het algemeen mogelijk door het maken van doorverbindingen en/of het verzwaren van leidingen. Ook voor brandblussing kan het nodig zijn enige verzwaringen aan te brengen. Tenslotte kan men het net nog aan een laatste onderzoek onderwerpen. Daarbij kan bijvoorbeeld worden nagegaan of het zin heeft vóór in het net in de aftakleidingen wat grotere drukverliezen toe te laten, opdat de drukken op de eindpunten vóór in het net niet te veel afwijken van die achter in het net.

In grote lijnen ziet het recept voor het ontwerp van een nieuwbouwwijk er dan als volgt uit:

\*) Wanneer men de Ø 125 mm niet gebruikt, komt de grens tussen een leiding Ø 100 mm en Ø 150 mm bij ca. 200 percelen te liggen.

- 1) verdeel het net in één of meerdere vertakte netten; bij vermaasde netten moeten daarbij een aantal mazen worden doorgeknipt;
- 2) bij het doorknippen van de mazen moeten de volgende vuistregels worden aangehouden:
  - a) gestreefd moet worden naar de kortste weg naar elke afnemer;
  - b) zorg, dat alle leidingen zoveel mogelijk volbelast zijn;
  - c) het transport door een leiding met grotere diameter is relatief goedkoper dan dat door een leiding met een kleinere diameter;
- 3) het dimensioneren geschiedt met de equivalentiemethode;
- 4) het net moet worden gecontroleerd op bedrijfszekerheid en de mogelijkheden tot brandblussing.

In hoofdstuk 9 op bladzijde 93 e.v. wordt een en ander in een tweetal praktijkvoorbeelden uitgewerkt.



## 8 MOGELIJKHEDEN TEN AANZIEN VAN HET GEBRUIK VAN COMPUTERS

### 8.1 Algemeen

Het is veelal het leidingnet, dat bij een waterleidingbedrijf de hoogste investeringen en het grootste onderhoud vraagt. Vanzelfsprekend is daarom dat aan de berekening van dat leidingnet zeer veel aandacht moet worden besteed, wat inhoudt dat op basis van beschikbare en te verzamelen gegevens zo goed als mogelijk is moet worden bepaald op welke wijze het leidingnet moet worden opgebouwd, respectievelijk uitgebreid.

Bij een adequate berekening van het leidingnet kunnen inlichtingen worden verkregen omtrent:

- a) het, zowel technisch, economisch als hygiënisch gezien optimale leidingsysteem;
- b) de gevolgen van het onderverdelen van het net in drukzones en de doelmatigheid van deze onderverdeling;
- c) de grootte van reservoirs en de hoogte van de waterpiegel in deze reservoirs;
- d) de juiste ligging en capaciteit van pompen en opjaagstations;
- e) de doelmatigheid van uitbreidingen van het leidingnet;
- f) de meest economische bedrijfsvoering (wanneer filterspoelen? wanneer spuien? wanneer reparaties uitvoeren?);
- g) de invloed van leveringen van en naar derden (zusterbedrijven en industrieën);
- h) de invloed van verandering van leidinglengte, leidingdiameter en leidingkwaliteit (weerstandscoefficiënt) op de leiding als zodanig en op het gehele net;
- i) de gevolgen van leidingbreuken, bedrijfsstagnaties, netdrukveranderingen en verbruikstoename op de levercapaciteit.

Afhankelijk van de toegepaste berekeningsmethode zullen deze inlichtingen in mindere of meerdere mate kunnen worden verkregen.

De analyse van de waterstromen en -drukken in een gecompliceerd distributiesysteem is namelijk niet moeilijk, maar wel uitzonderlijk bewerkelijk.

De berekening van een distributienet van enige omvang kan zonder moderne hulpmiddelen meerdere weken vergen.

De verleiding kan daardoor groot zijn om voor het plannen van nieuwe leidingen uit te gaan van zeer vereenvoudigde netwerken en te rekenen op het intuïtieve gevoel van de rekenaar voor de beste oplossing, gebaseerd op ervaringen in het verleden. Hoe groter het netwerk wordt, des te minder betrouwbaar zijn deze intuïtieve oplossingen.

In sommige gevallen bleek het noodzakelijk te wachten tot het net werd belast met zeer grote transporten in een ongewoon warme zomer voordat de beperkte mogelijkheden ervan duidelijk werden.

Beter lijkt het om het mogelijk te maken het leidingnet grondig te analyseren en te voorspellen hoe het gedrag daarvan in de toekomst zal zijn als de belastingen ervan toenemen. De komst van de computer heeft dit al geruime tijd geleden mogelijk gemaakt.

In het eindrapport van de onder auspiciën van het KIWA opererende Commissie Netberekening werd over het een en ander reeds in mei 1963 gesteld:

"De Commissie stelt uitdrukkelijk voorop dat de rekenmachine geen wonderapparaat is dat de deskundige op het gebied van waterleidingnetten kan vervangen. Het slagen van een ontwerp is in de eerste plaats afhankelijk van de ervaring en het inzicht van de leidingnetdeskundige. Naast de "know-how" van de waterleidingtechnicus is de rekenmachine in vele gevallen echter wel een belangrijke of zelfs onontbeerlijke aanvulling om tijdrovende berekeningen snel uit te voeren en gecompliceerde situaties te kunnen overzien. Vooral voor uitgebreide en niet systematisch opgebouwde netten, waarvoor het berekenen "met de hand" volgens de bekende Hardy-Cross-methode niet meer doenlijk is, kan met voordeel door middel van de rekenmachine in korte tijd een juist beeld van het verloop van de stroming en de druk in het net worden verkregen.

Het is bekend dat de omslachtige en langdurige berekeningen vooral in het verleden vaak achterwege werden gelaten en de netten veelal op grond van ruwe schattingen werden opgebouwd, zonder de nodige aandacht aan de economie te besteden. In steeds sterkere mate krijgt men thans echter te maken met toenemende investerings- en onderhoudskosten. Enerzijds nemen de materiaal- en loonkosten toe, anderzijds worden de netten in omvang en zwaarte uitgebreider door industrialisatie, toeneming van het aantal verbruikers en van het verbruik per aansluiting. Het is een probleem van techniek en economie waarbij kapitaals- en bedrijfslasten voor verschillende situaties tegen elkaar worden afgewogen om een optimum te bepalen. Er valt een streven te constateren naar betere afweging in de beslissingsvoorbereiding, naar een verdieping van het inzicht, speciaal ook met het oog op de toekomst. Het is dan ook een gelukkige omstandigheid dat met behulp van rekenmachines op efficiënte wijze kan worden tegemoetgekomen aan de wens tot een meer zorgvuldige bestudering van leidingnetten.

Zij bieden de mogelijkheid de door leidingnetdeskundigen gestelde problemen in korte tijd met grote nauwkeurigheid op te lossen.

De Commissie is dan ook van mening dat de inschakeling van de rekenmachine zeer zeker zal bijdragen tot het bouwen van economisch verantwoorde leidingnetten.

De rekenmachine biedt in de eerste plaats de mogelijkheid om het stromings- en drukpatroon van een bestaand net of van een ontwerp snel te becijferen. Hierbij kan de invloed van allerlei varianten, zoals de buisdiameter, -lengte en -weerstand, maar ook het verbruik en de toevoer (hoeveelheid, plaats en druk) worden nagegaan. Uiteraard zijn in dit verband ook de uitbreiding van het net, de aansluiting van grootverbruikers en de levering aan derden van belang.

Ook ten aanzien van de capaciteit en de gunstigste plaats van pompen, opjaagstations, reservoirs en terugslagkleppen kan de rekenmachine berekeningen uitvoeren.

Een moeilijk facet bij de netberekening is steeds de prognose van de toekomstige verbruiken en in samenhang daarmee de gunstigste uitbouw van het net en in het bijzonder de bepaling van de meest economische leidingdiameters. Gezien de vele onbekende factoren en de snelle ontwikkelingen is er in zo'n geval vaak belangstelling voor de invloed van meerdere variabelen. Door verschillende varianten op de rekenmachine te becijferen kan het inzicht in belangrijke mate worden verdiept, waardoor de richtlijnen vaster omlijnd kunnen worden. Hierbij gaat het niet alleen om de technische aspecten maar ook, zoals trouwens doorgaans met deze problemen, om de economische kant waarbij investering en exploitatie tegen elkaar moeten worden afgewogen en naar een optimum moet worden gestreefd.

Het is reeds verscheidene malen gebleken dat door gebruikmaking van de rekenmachine onvolkomenheden in het leidingnet aan het licht konden worden gebracht. Ook kan een studie worden gemaakt van de gevolgen van al of niet opzettelijk geïntroduceerde storende invloeden, zoals het sluiten van afsluiters voor uitbreidings- en herstelwerkzaamheden in een bepaalde sector, sterk aangegroeide leidingen, het uitvallen van een pompstation en dergelijke. Uit bovenstaande opsomming blijkt wel dat de rekenmachine het beeld in vele gevallen kan verhelderen en daardoor kan bijdragen tot een snelle benadering van de kuiste oplossing."

## 8.2 Aspecten van het berekenen van een leidingnet met behulp van een computer

- a) Van de voorbereidende werkzaamheden is het merendeel ook nodig bij het uitvoeren van "hand"-berekeningen; zij bestaan uit:
- het verzamelen van gegevens betreffende lengte, diameters, wandruwheid en hoogteligging van de leidingen;

- de bepaling van de huidige verbruiken, onderscheiden in grootverbruiken (puntlasten) en kleinverbruiken (gelijkmatig verdeelde lasten).

De raming van de toekomstige verbruiken geschiedt in overleg met onder andere de Planologische en Economisch-Technologische Diensten;

- het bepalen van de punten waar het net gevoed wordt, respectievelijk gevoed zal worden, waarbij het van belang is te kunnen beschikken over pompkarakteristieken, niveaubewegingen van reservoirs en soortgelijke registraties;
- het vastleggen van geschikte plaatsen in het voorzieningsgebied waar hoeveelheden en drukken kunnen worden gemeten;
- het maken van een leidingkaart waarop alle voor de berekening belangrijke gegevens zijn vermeld alsmede plaatsnamen om de geografische situatie te kunnen herkennen.

b. In het kader van het rekenwerk is nodig:

- het brengen van de gegevens in een vorm, die geschikt is voor de computerberekening;
- het maken van een proefberekening gecombineerd met het uitvoeren van controlemetingen, ten einde de hydraulische eigenschappen van het bestaande leidingnet te kunnen beoordelen.
- Het met elkaar in overeenstemming brengen van de berekening met de gegevens die uit de metingen volgen.

c. Het constructieve rekenwerk c.a. omvat:

- het programmeren van de vragen waarop een antwoord wordt gewenst;
- het eigenlijke rekenwerk dat door de computer wordt verricht;
- het op een overzichtelijke en gemakkelijk leesbare manier duidelijk maken van de resultaten van het rekenwerk;
- het nader bepalen van te berekenen varianten;
- het bepalen van de volgorde en tijdvakken waarin de nodige leidingen zullen moeten worden gelegd en overige maatregelen ten aanzien van watertransport en -opslag zullen moeten worden genomen (optimalisering).

8.3 Overwegingen ten aanzien van het al dan niet inschakelen van computerfaciliteiten

- Voor het ontwerpen en berekenen van waterleidingnetten is deskundigheid op het gebied van leidingnetten onontbeerlijk. Deze deskundigheid is van het grootste belang omdat bij het berekenen van leidingnetten een goed inzicht aanwezig moet zijn in de problematiek van de drukverdeling in het net in samenhang met de grootte van het watertransport. Voor het dimensioneren van leidingnetten en het oplossen van meetproblemen kan de rekenmachine mits deskundig toegepast, een hulpmiddel zijn van grote waarde.
- Met behulp van rekenmachines kunnen tijdrovende berekeningen snel worden uitgevoerd en gecompliceerde situaties worden overzien. Het gebruik van rekenmachines leidt hierdoor veelal niet slechts tot directe financiële besparingen op het rekenwerk, maar ook - en hierin ligt de grote waarde - tot belangrijke technische en economische voordelen, dus tot een meer verantwoord net. Derhalve lijkt het gebruik van rekenmachines, in het bijzonder voor gecompliceerde en uitgebreide leidingnetten, aantrekkelijk.
- De voordelen van de berekening van leidingnetten laten zich als volgt omschrijven:
  - a) doorlichting van het bestaande waterleidingnet (stromings- en drukpatroon), waarbij mogelijke knelpunten aan het licht komen en verschillende daartegen te nemen maatregelen onderling kunnen worden vergeleken;
  - b) bepaling van de maximale belasting van het bestaande net;
  - c) het berekenen van varianten van aansluiting van nieuwe gebieden alsmede de berekening van de leidingnetten in die gebieden;
  - d) het vaststellen van maatregelen in verband met toekomstprognoses;
  - e) een snel inzicht in de invloed van incidentele wijzigingen in het leidingnet (bijvoorbeeld ten gevolge van wijzigingen van straatplannen etc.);

f. een inzicht in de invloed van belangrijke aanvoerleidingen bij calamiteiten.

- Gaat men over op computerberekening, dan vereist het nogal wat studie om te komen tot een keuze van de wijze waarop men het gaat doen.

Heeft men de keuze gemaakt, dan zal er ook weer tijd en energie nodig zijn om met het gekozen systeem ervaring op te doen.

- In het algemeen geldt, dat een ingewikkeld, vermaasd net eerder voor een computerberekening in aanmerking komt dan een eenvoudig vertakt net. Echter een eenvoudig net is ook voor de computer eenvoudig en slechts enkele drukmetingen zullen voldoende zijn om de computerberekening aan de werkelijkheid te toetsen.

Wel is van belang of al dan niet reservoirs in het net aanwezig zijn. Is dit het geval, dan zal men, omdat het net voor meerdere uren van de dag moet worden doorgerekend, veel sneller aan een computerberekening toe zijn dan bij een net zonder reservoirs, waarbij alleen de drukverliezen op het maximumuur van belang zijn.

- Een voordeel van de computer is de grote nauwkeurigheid. Men moet zich echter wel afvragen in hoeverre deze nauwkeurigheid vereist wordt en zinvol is. Wanneer men denkt aan de vele onnauwkeurigheden en onzekerheden in de gegevens, die aan de computer worden toegevoerd, dan is ten aanzien van de zin van een grote nauwkeurigheid wel enige scepsis veroorloofd.

Hierbij valt onder meer te denken aan:

- a) de prognoses van het verbruik en de aangenomen verdeling van het verbruik over de knooppunten;
- b) de gegevens van het leidingnet, zoals wandruwheid etc.;
- c) allerlei aannamen en uitgangspunten, die ten grondslag liggen aan de berekening, zoals ontwerptermijn, inzichten ten aanzien van al of niet rekening houden met inflatie, economisch drukverlies, bedrijfszekerheid, flexibiliteit in verband met mogelijke wijzigingen in prognoses en plannen etc..

- Wel is het zo, dat bij het vergelijken van verschillende alternatieven met een grotere nauwkeurigheid een eerlijker vergelijking wordt verkregen.

Belangrijk is ook het ontbreken van rekenfouten, waarvan het opsporen bij de handberekening zeer tijdrovend is.

- Een ander voordeel van een computerberekening is gelegen in de tijdsduur van de berekening. Vooral bij sterk vermaasde netten kunnen berekeningen van vele uren teruggebracht worden tot minuten. Dit is wel het meest extreme geval, waarbij verondersteld wordt dat men de beschikking heeft over een terminal, of dat men bezig is met een berekening en er nog een variant bij wil hebben. Bij eenvoudige netten, het weinig frequent doorrekenen van deze netten en het niet beschikbaar hebben van een terminal zal er van tijdswinst veel minder sprake zijn.

- Bij gebruik van een computer voor het berekenen van leidingnetten is het aan te bevelen de handberekening niet geheel te verlaten. Een handberekening geeft de rekenaar namelijk een inzicht in het net, dat op andere wijze niet verkregen kan worden. Vaak ook kan men aan de hand van een eenvoudige handberekening scherpere opdrachten aan de computer geven.

Anderzijds zal het vaak mogelijk zijn de snelheid en het specifieke drukverlies in de leidingen door de computer te laten afdrukken waardoor het inzicht in het net wordt verdiept.

Ook het vervaardigen van een schema van het net met ingetekende uitkomsten van de berekening kan zeer verhelderend werken.

- De aanloopkosten bij het overgaan van handberekening op computerberekening zijn betrekkelijk hoog, door:
  - a) studie van het systeem;
  - b) verzamelen van uitvoeriger gegevens, het doen van metingen en het in overeenstemming brengen van de eerste computergegevens met de metingen;
  - c) het eventueel aantrekken van personeel, dat met de computerberekeningen op de hoogte is.

- De gemaakte aanloopkosten gaan hun geld opbrengen, wanneer meerdere varianten moeten worden berekend of wanneer er regelmatig vragen komen, die weer een doorrekening van het net onder andere omstandigheden vergen.
- In de praktijk zal men dan overgaan van handberekening op computerberekening, wanneer er bij degenen die de handberekeningen moeten uitvoeren gevoelens van onbehagen opkomen. Deze gevoelens van onbehagen bij de rekenaar ontstaan doorgaans of doordat de nauwkeurigheid van het eindresultaat van dien aard is dat de rekenaar er niet voor in durft te staan of doordat de frequentie van het aantal berekeningen en de omvang van het rekenwerk te groot worden. Uiteraard is hierbij de mentaliteit van de rekenaar en van degene die op de uitkomsten van de berekeningen zit te wachten van belang.
- Is men eenmaal overgestapt op de computer, dan zal men voor de eenvoudige netberekeningen niet veel goedkoper uit zijn dan bij handberekening. Wel zal men meer informatie ter beschikking hebben en veelal sneller kunnen reageren op allerlei problemen. Men moet zich, voor men overgaat op de computer, wel afvragen of deze meerdere informatie en tijdwinst wel nodig zijn.

#### 8.4 Uiteenzetting van de wijzen waarop de computer kan worden ingeschakeld

Op het moment dat wordt overwogen om tot het inschakelen van computerfaciliteiten over te gaan rijst de vraag op welke wijze dit het best zal kunnen geschieden.

Wil men de computer of efficiënte wijze inschakelen in de berekening van leidingnetten dan dient er in de eerste plaats nauw contact te worden gelegd tussen de technicus die het leidingnet kent en degene die de taal van de computer verstaat. De berekening met behulp van een rekenmachine vereist bepaalde basisgegevens die door het bedrijf ter beschikking moeten worden gesteld en die op een bepaalde wijze voor de rekenmachine moeten worden omgewerkt.

Nauw overleg is nodig ten aanzien van de wijze van berekening, eventuele vereenvoudigingen, speciale vragen enz..

In principe zijn op dit moment 5 mogelijkheden beschikbaar om dergelijke werkwijze te realiseren:

- 1) het inschakelen van een ingenieursbureau dat over computerfaciliteiten beschikt en ervaring heeft op het gebied van leidingnetberekening en het gehele probleem kan behandelen als een turn-key-project;
- 2) het gebruik maken van het KIWA als intermediair tussen het waterleidingbedrijf en een computerfirma; zie de figuren 43 en 44 (bijlagen 27 en 28);
- 3) het zelf aanschaffen of huren van een computer waarmee onder andere leidingnetberekeningen kunnen worden uitgevoerd;
- 4) het gebruik maken van de diensten van een computerfirma, alléén voor het verrichten van het rekenwerk;
- 5) het installeren van een computer-terminal in het eigen bedrijf met behulp waarvan op basis van time-sharing van computerfaciliteiten gebruik kan worden gemaakt; zie de figuren 45 en 46 (bijlagen 29 en 30).

Welke van deze mogelijkheden de voorkeur verdient zal uiteraard terdege dienen te worden onderzocht aan de hand van technische en financiële gegevens.

Elk van deze 5 oplossingen heeft haar eigen kenmerken waarover het volgende kan worden opgemerkt.

ad 1

Er zijn in Nederland (nog) geen ingenieursbureaus die het gehele leidingnetprobleem als een turn-key-project kunnen behandelen.

Het inschakelen van een buitenlandse firma is in het verleden maar zeer zelden voorgekomen en verdient naar onze mening ook voor de toekomst geen aanbeveling.

De verbindingslijnen tussen het waterleidingbedrijf en de computerfirma moeten bij voorkeur zo kort mogelijk zijn en bovendien niet gestoord worden door meer of minder grote taalbarrières omdat de communicatie tussen beide zeer intensief zal moeten zijn.

ad 2

Voor de waterleidingbedrijven is het een eenvoudige oplossing indien zij zich voor de berekening van hun netten slechts behoeven te wenden tot een speciaal voor dit doel ingestelde organisatie (bijvoorbeeld het KIWA) die enerzijds deskundig is op het gebied van leidingnetten en die anderzijds het probleem kan benaderen van de kant die betrekking heeft op de rekenmachine. Een dergelijke speciale organisatie biedt de volgende voordelen:

- a) de bedrijven kunnen hun problemen bespreken met leidingnetdeskundigen die desgewenst van advies kunnen dienen;
- b) de bedrijven behoeven zich niet bezig te houden met de zijde van het probleem die de rekenmachine betreft;
- c) de rekenmachinefirma wordt benaderd door deskundigen, die zowel van leidingnetten als van rekenmachines op de hoogte zijn;
- d) centraal is daarvoor een kleine staf specialisten gegroepeerd en gevormd;
- e) in bedoelde organisatie (KIWA) werd een grote ervaring en routine opgedaan die tot het algemeen nut wordt aangewend;
- f) door de coöperatieve opzet kunnen de kosten laag worden gehouden.

Voor een efficiënte uitvoering van de werkzaamheden heeft het genoemde instituut speciale krachten opgeleid tot een team dat de bedrijven van advies kan dienen en de juiste netgegevens kan verzamelen, een pasklaar basisplan voor de rekenmachine kan opzetten, het vereiste overleg met de machinedeskundige ter zake van programma's, controlegegevens en dergelijke kan plegen en berekeningsresultaten kan uitwerken en interpreteren.

ad 3

Het zelf aanschaffen of huren van een computer zal vrijwel alleen plaatsvinden als er een takenpakket beschikbaar is dat veel meer omvat dan alleen het berekenen van leidingnetten.

Wordt een computer in huis gehaald en is men van plan daarmee ook leidingnetberekeningen uit te voeren dan is het uiterst raadzaam van te voren de mogelijkheid daarvan met de computerleverancier te bespreken.

Vaak zal dan blijken dat er géén bruikbaar programma voor het berekenen van leidingnetten beschikbaar is en moet men toch overschakelen naar één van de vier overige oplossingen.

ad 4

Het gebruik maken van de diensten van een computerfirma, alléén voor het verrichten van het rekenwerk is theoretisch mogelijk, doch niet aan te bevelen.

Veelal strandt een dergelijke oplossing door het ontbreken van deskundigen aan de ene en/of andere zijde, die, zowel van de specifieke eisen die het berekenen van leidingnetten stelt als van het werken met rekenmachines, voldoende op de hoogte zijn. Het inschakelen van het KIWA als beschreven onder 2 geeft in dit geval een veel betere oplossing.

ad 5

Is het aantal leidingnetberekeningen zo groot dat daarmee meerdere mensen vrij vaak bezig zijn dan verdient het zeker aanbeveling om na te gaan of het niet zinvol kan zijn een computer-terminal in het eigen bedrijf te installeren, waarmee in wezen de grootste en meest moderne computer die op dat moment bestaat in huis wordt gehaald. Als een inventarisatie van het in totaal in een bedrijf te verrichten rekenwerk een redelijke belasting van de terminal garandeert vormt dit een zeer aantrekkelijke oplossing voor het uitvoeren van leidingnetberekeningen. Een eerste eis daarbij is uiteraard dat het betrokken waterleidingbedrijf beschikt over soortgelijke faciliteiten als het KIWA beschikbaar heeft, met andere woorden: er moet personeel beschikbaar zijn dat deskundig is op het gebied van het berekenen van leidingnetten en tevens de "taal van de computer" spreekt.

Uiteraard dient van tevoren te worden nagegaan of de firma die de terminal levert over een geschikt programma voor het berekenen van leidingnetten beschikt en of dit programma, maar dat geldt voor alle oplossingen, gebruik maakt van de meest moderne formules voor de berekening van stromingen en drukken in leidingen.

Als er een "leidingnetprogramma" beschikbaar is, dan is het nog van belang om na te gaan of dit conversationeel kan worden gebruikt, dat wil zeggen dat de oplossing van het rekenprobleem is een spel van vraag en antwoord kan worden opgelost.

Is dit niet het geval, dan is men gedwongen het rekenprobleem in zijn totaliteit in te voeren en krijgt men na verloop van kortere of langere tijd de uitkomsten (vaak "versierd" met fout-boodschappen) in het gunstigste geval ook weer in hun totaliteit beschikbaar.

Het conversationeel werken heeft onder andere als voordelen dat fouten direct kunnen worden hersteld, dat de rekenaar voortdurend actief betrokken blijft bij het rekenprobleem (dus geen omschakelverliezen) en dat een groot aantal varianten snel achtereen kan worden doorge-rekend.

Het uitvoeren van leidingnetberekeningen op deze wijze komt in ons land nog slechts sporadisch voor.

Een voorbeeld van een bedrijf waar dit op een dergelijke wijze gebeurt is het PWN.

In het tweede helft van het jaar 1971 overwoog dit bedrijf over te gaan tot het op een moderne wijze berekenen van het leidingnet, omdat de veelheid en complexiteit der vraagstukken die moesten worden opgelost zo groot werden dat met het tot dat tijdstip ingeschakelde personeel en de voor dit werk gebruikte tafelrekenmachines niet meer aan de vraag kon worden voldaan.

Daar een nog grotere groei van het aantal vragen werd voorzien, wat gezien het ingewikkelde leidingnet niet onbegrijpelijk mag heten, werd besloten tot het inschakelen van computerfaciliteiten.

Gezien de kostbaarheid van een eigen computer tegen de achtergrond van de snelle technische en economische veroudering van een dergelijk apparaat werd de keuze beperkt tot het inschakelen van een computer in zogenaamde "batch-processing", waarbij de opdrachten worden toegezonden aan een computerfirma, al of niet via een tusseninstantie, zoals bijvoorbeeld het KIWA, en het installeren van een computerterminal in het eigen bedrijf.

Na ampele overwegingen is voor deze laatste oplossing gekozen, ook al omdat ook uit de overige afdelingen van het bedrijf veel rekenopdrachten konden worden verwacht.

Het PWN rekent met een eigen programma genaamd HYDRA, dat werd ontwikkeld om conversationeel te kunnen werken op een wijze die volledig beantwoordt aan de door dit bedrijf gestelde eisen.

In het vroegste stadium (1971) werd voor waterleidingnetberekeningen met behulp van de computer gekozen voor de mogelijkheid op het IBM Time Sharing Systeem CALL (Programma HYNAL - conversationeel). De in principe ter beschikking staande mogelijkheid op het Time Sharing Option/Remote Job Entry-Systeem (TSO/RJE: Programma HYENA - Batch) werd hiermee vergeleken.

Voornamelijk op grond van de verhoudingsgewijs ingewikkelder behandelingswijze en het te verwachten (omschakel-)tijdverlies bij het gebruik van het TSO/RJE-systeem, en daarmee van het programma HYENA, werd de voorkeur uitgesproken voor het programma HYNAL. Een aantal bezwaren van programmatische en theoretisch-wetenschappelijke aard, welke tegen dit laatste programma waren aan te voeren, werden aan de genoemde keuzecriteria ondergeschikt gemaakt. De vergelijking van de programma's, gebaseerd op een concreet bestaand leidingnet, wees bovendien uit dat het gebruik van het programma HYENA circa 5% duurder uit zou vallen dan de toepassing van het programma HYNAL.

Alhoewel de berekening in de periode oktober 1971 t/m april 1972 tot tevredenheid verliepen, werden de eerder genoemde bezwaren toch als hinderlijk ondervonden. De bezwaren hadden in het bijzonder betrekking op:

- a) de noodzaak voor een complete berekening in feite van drie programma's gebruik te moeten maken (HYNAFILE - HYNAL - HYNAPRINT);
- b) de conversie van metrische naar Angelsaksische grootheden en omgekeerd;
- c) het ontbreken van een bruikbare controle op de invoergegevens, hetgeen vooral bij grote netwerken kostbare gevolgen kan hebben;
- d) de mogelijkheid om, indien gewenst, aanvullende berekeningen uit te voeren, omdat dit een wijziging van het standaardprogramma bij IBM noodzakelijk zou maken;
- e) het vermoeden dat het programma te veel rekentijd op-eiste;
- f. het gebruik van de formule van Hazen-Williams in plaats van een modernere formule.

Ten einde aan deze bezwaren tegemoet te komen werd overgegaan tot de ontwikkeling van een eigen waterleidingnet-computerprogramma. Dit initiatief beoogde de eenvoudige werkwijze onder CALL te combineren met modernere inzichten op het gebied van de waterleidingnetberekeningen. Als nevenvoordeel werd beschouwd de gemakkelijker aanpassing aan veranderende omstandigheden.

In mei 1972 werd het inmiddels gereedgekomen programma ingevoerd en getest. De verdere ontwikkeling heeft in de sindsdien verstreken periode in fasen plaatsgevonden. De bezwaren werden volledig opgeheven, terwijl een efficiëncyvoordeel wat betreft de kosten van het computergebruik werd bereikt van uiteindelijk circa 45% ten opzichte van het programma HYNAL. Bovendien werden voortdurend verfijningen, zoals bijvoorbeeld de aanpassing aan het SI-systeem, geïmplementeerd.

Een blijvend voordeel is dat het computerprogramma steeds direct aan veranderde inzichten kan worden aangepast.

Het ontwikkelen van het programma heeft rond de f 45.000,- gekost. De totale jaarlijkse kosten zijn relatief gering. De huur van de computerterminal bedraagt f 1.085,30 per maand (exclusief BTW); gedurende de tijd dat de terminal is aangesloten op de computer te Zoetermeer moet f 36,10

per uur worden betaald; het rekenen met de computer kost f 57,- per minuut (prijspeil 1976).

Daarboven komen nog de telefoonkosten.

Niettegenstaande het feit, dat in de afgelopen 5 jaren zeer frequent aan het leidingnet werd gerekend lagen de gemiddelde kosten voor aansluittijd en rekentijd te zamen nog onder f 15.000,- per jaar.

- 9 TWEE PRAKTIJKVOORBEELDEN, WAARBIJ DE INZICHTEN ONTWIKKELD IN DE 5 VORENSTAANDE HOOFDSTUKKEN WORDEN TOEGELICHT, UITGEWERKT EN GETOETST

9.1 Praktijkvoorbeeld 1 nieuwbouwwijk in Wijchen

9.1.1 Algemeen

Aan een vijftal bedrijven (3 stadsbedrijven en 2 streekbedrijven) is gevraagd een ontwerp te maken voor een nieuwbouwwijk. Daarbij zou worden uitgegaan van een verbruik van 80 l/h per perceel. De plattegrond van de wijk (die in totaal 4000 woningen bevat) is weergegeven in de figuren 47 t/m 47s (bijlagen 31 t/m 35). Langs de wijk ligt een doorgaande transportleiding. Toen de vijf ontwerpen op tafel kwamen, bleek de investering bij het duurste plan bijna 50% hoger te zijn dan die van het goedkoopste. Bij het analyseren van de diverse ontwerpen kwamen er verschillen van inzicht naar voren ten aanzien van de volgende zaken:

- 1) het aan te houden drukhoogteverlies
- 2) het aantal aan te brengen aftakkingen van de transportleiding
- 3) de bedrijfszekerheid
- 4) de brandbluseisen.

9.1.2 Het ontwerp met de laagste investering

Uitgangspunten bij dit ontwerp waren:

- 1) een toelaatbaar drukhoogteverlies van 2 m/km
- 2) een 4-tal aftakkingen van de transportleiding
- 3) geen speciale maatregelen ten aanzien van bedrijfszekerheid
- 4) geen speciale maatregelen ten aanzien van brandblussing.

Gewerkt is met de equivalentiemethode, waarbij van 4 vertakte netten is uitgegaan; zie figuur 47a (bijlage). In deze figuur staat aangegeven waar de netten zijn doorgeknipt en hoeveel percelen door iedere leiding moeten worden voorzien.

Gebruiken we tabel 8 op bladzijde 74, dan is het bepalen van de diameter een eenvoudige zaak; zie figuur 47b (bijlage). Aangehouden is, dat geen diameter van 125 mm wordt gebruikt. Kijken we nog eens naar onze vuistregels op bladzijde 72, dan zien we, dat regel 1, de kortste weg naar elke afnemer, redelijk goed is nagekomen. Regel 2, een zoveel mogelijk volbelasten van elke leiding, kan nog een kleine verbetering geven.

De leiding  $\varnothing$  250 mm, die bij B aftakt van de transportleiding, heeft nog wat ruimte om percelen over te nemen van het net dat aftakt bij punt C. Hier speelt ook bij mee, dat het vervoer door een grote leiding goedkoper is dan door een kleine (regel 3).

We maken leiding E - F  $\varnothing$  150 mm. Er kunnen dan 400 percelen worden voorzien door deze leiding. Het net komt er dan uit te zien als in figuur 47c (bijlage) is aangegeven. Aangenomen is een toelaatbaar drukhoogteverlies van 2 m/km. De afstand tussen de rondweg met transportleiding en het verst verwijderde knooppunt bedraagt 2 km. Het drukhoogteverlies vanaf de rondleiding tot het eindpunt zou dan 4 m mogen bedragen. Controleren we een en ander met een computerberekening, dan blijkt het berekende drukhoogteverlies 3,5 m te bedragen.

Vervolgens is de bedrijfszekerheid nagegaan. Als eerste punt is bezien het plaatsen van afsluiters in de transportleiding langs de rondweg.

Stel, we plaatsen alleen een afsluiter tussen B en C. Bij een breuk in de leiding tussen C en D komt zowel de aanvoer bij C als bij D te vervallen.

Bij een verbruik dat gelijk is aan 50% van het maximum uurverbruik, bleek bij controle met de computer het drukhoogteverlies niet meer dan 2,6 m te zijn. Toch lijkt het zinnig ook afsluiters te plaatsen tussen A en B en tussen C en D, omdat men dan voor weinig geld een grotere bedrijfszekerheid krijgt. Gaan we vervolgens het overige net na, dan blijkt, bij welke storing ook, steeds ten minste 50% van het maximum uurverbruik te kunnen worden geleverd bij het aangehouden drukhoogteverlies.

Voor het geval van een leidingbreuk bij respectievelijk de punten D en H zijn voor een verbruik ter grootte van 75% van het piekverbruik de met de computer berekende druklijnen aangegeven in de figuren 47d en 47e (bijlagen).

Tenslotte zijn met de computer de gevolgen van een onttrekking van respectievelijk 60 m<sup>3</sup>/h en 90 m<sup>3</sup>/h aan brandbluswater nagegaan in de straat die het verst van de rondweg is verwijderd. Hierbij is aangehouden, dat in die straat geen verbruik was. Voor de andere straten is een piekuurbelasting aangehouden. We krijgen dan het beeld dat in de figuren 47f en 47g (bijlagen) is weergegeven.

De investering aan hoofdleidingen bij dit plan bedraagt f 548.700,-.

Hierbij is uitgegaan van de volgende prijzen:

|           |             |
|-----------|-------------|
| Ø 100 à f | 28 per m'   |
| Ø 150 à f | 38 per m'   |
| Ø 200 à f | 50 per m'   |
| Ø 250 à f | 64 per m'   |
| Ø 300 à f | 80 per m'   |
| Ø 400 à f | 117 per m'. |

9.1.3 Het effect van het aanhouden van een drukhoogteverlies van 1 m/km

Opvallend was, dat de streekbedrijven een toelaatbaar drukhoogteverlies aanhielden van 2 m/km en de stadsbedrijven van 1 m/km. In plaats van tabel 8 op bladzijde 74 kan nu een dergelijke tabel worden gemaakt voor een drukhoogteverlies van 1 m/km (tabel 9).

Tabel 9

| Diam.<br>in mm | Debiet in m <sup>3</sup> /h bij een<br>drukhoogteverlies van |        |          | Aantal woningen dat<br>voorzien kan worden<br>door de leiding bij<br>een aangenomen ge-<br>middeld drukhoogte-<br>verlies van 1 m/km |
|----------------|--------------------------------------------------------------|--------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                | 0,5 m/km                                                     | 1 m/km | 1,5 m/km |                                                                                                                                      |
| 100*)          | 6                                                            | 7,5    | 9        | 0 - 150                                                                                                                              |
| 150            | 14,5                                                         | 21     | 26       | 150 - 350                                                                                                                            |
| 200            | 32                                                           | 46     | 57       | 350 - 700                                                                                                                            |
| 250            | 58                                                           | 83     | 103      | 700 - 1.200                                                                                                                          |
| 300            | 94                                                           | 135    | 170      | 1.200 - 2.300                                                                                                                        |
| 400            | 200                                                          | 290    | 360      | 2.300 - 4.500                                                                                                                        |
| 500            | 370                                                          | 520    | 660      | 4.500 - 8.000                                                                                                                        |
| 600            | 600                                                          | 860    | 1.070    | 8.000 - 12.000                                                                                                                       |
| 700            | 900                                                          | 1.300  | 1.600    | 12.000 - 20.000                                                                                                                      |

Bepalen we met behulp van deze tabel de diameter, dan krijgen we het volgende net; zie figuur 47h (bijlage).

Ook dit net is weer met de computer nagerekend, waarbij bleek dat het drukhoogteverlies van de transportleiding tot het verst verwijderde punt 1,8 m bedroeg.

Wat de bedrijfszekerheid betreft, is weer nagegaan wat het effect is van leidingbreuken bij respectievelijk de punten D en H bij een verbruik ter grootte van 75% van het piekverbruik; zie de figuren 47i en 47j (bijlagen).

Ook de gevolgen van een onttrekking van hoeveelheden brandbluswater van respectievelijk 60 m<sup>3</sup>/h en 90 m<sup>3</sup>/h zijn nagegaan en weergegeven in de figuren 47k en 47l (bijlagen).

De investering van dit plan is f 588.250,- hetgeen een stijging betekent van circa 7%.

\*) Bij de leiding Ø 100 mm accepteren we een wat groter drukhoogteverlies.

9.1.4 Het effect van het terugbrengen van het aantal aftakkingen van de transportleiding

Bij de ingezonden ontwerpen van de vijf bedrijven hadden twee bedrijven 4 invoerpunten vanaf de transportleiding langs de randweg gemaakt, twee bedrijven hadden 3 invoerpunten genomen, terwijl één bedrijf volstaan had met slechts 2 invoerpunten. Mogelijk is dit veroorzaakt, doordat de diameter van de transportleiding niet was opgegeven.

Houden we de eerste vuistregel - kortste weg naar de klant - aan, dan zal men geneigd zijn veel aftakkingen van transportleidingen te maken. Daar staat tegenover, dat deze aftakkingen bij transportleidingen met een grote diameter duur zijn, terwijl bovendien de kans op storingen in de transportleidingen er iets door toeneemt. De consequenties zijn echter niet groot. Het net wordt wat goedkoper bij meer aftakkingen. Daar staan echter de kosten van een aftakking tegenover.

Op de totale kosten van het net vallen deze kosten weg. Wel wordt de bedrijfszekerheid bij weinig aftakkingen van de transportleiding wat minder.

9.1.5 Het effect van maatregelen ten behoeve van de bedrijfszekerheid

Speciale maatregelen voor vergroting van de bedrijfszekerheid bestaan in het algemeen uit:

- a) verzwaring van enkele hoofdadars, opdat bij het uitvallen van één van de hoofdadars andere wat meer kunnen transporteren;
- b) het aanbrengen van ringleidingen;
- c) het plaatsen van meerdere afsluiters.

Een voor de hand liggende en ook veel toegepaste verbetering van het net in verband met de bedrijfszekerheid toont figuur 47m (bijlage). Uitgangspunt is een drukhoogteverlies van 2 m/km, terwijl gewerkt wordt met 2 aftakleidingen, Het verschil met het net in figuur 47c is onder andere

- a) in plaats van 2 aanvoerleidingen  $\varnothing$  250 mm en 2 aanvoerleidingen  $\varnothing$  150 mm, nu 2 leidingen  $\varnothing$  300 mm;

b) de 2 leidingen  $\varnothing$  300 mm zijn doorverbonden met een leiding  $\varnothing$  250 mm;

c) daarnaast zijn nog wat kleinere ringen gemaakt.

De investering bij dit plan bedraagt f 661.480,-, hetgeen een stijging betekent van circa 20% .

Het drukhoogteverlies in het piekuur is nu 1,8 m.

De drukhoogteverliezen die optreden bij leidingbreuken bij respectievelijk punt D en punt H tijdens een verbruik van 75% van het piekuurverbruik zijn aangegeven in de figuren 47n en 47o (bijlagen).

De drukhoogteverliezen die optreden bij brand zijn weer-gegeven in de figuren 47p en 47q (bijlagen).

- 9.1.6 Het effect van het invoeren van de brandbluseis, dat op elk punt 90 m<sup>3</sup>/h moet kunnen worden geleverd boven het piekverbruik en dan nog bij een drukhoogte van 20 m wk

Aannemend, dat er steeds brandbluswater van 2 kanten kan worden geleverd, wordt de minimum extra belasting van elke leiding 45 m<sup>3</sup>/h. Aangezien een leiding  $\varnothing$  150 mm bij een drukhoogteverlies van 2 m/km slechts een capaciteit van 32 m<sup>3</sup>/h heeft, zou de minimum diameter dan 200 mm worden. Dit lijkt erg ver te gaan.

Gezien de korte afstanden, lijkt een minimum diameter van 150 mm verantwoord.

Verder komt het er op neer, dat de belasting van de leidingen wordt verhoogd met  $45000/80 =$  circa 50 percelen. We krijgen dan het net volgens figuur 47r (bijlage).

Controle met de computer op drukhoogteverlies bij piekuurverbruik geeft een drukhoogteverlies van 1 m.

Controle op brandblussing (90 m<sup>3</sup>/h) tijdens piekuur geeft figuur 47s (bijlage).

De investering aan hoofdleidingen bij dit plan bedraagt f 712.780,-. Dit is een stijging van 30% .

- 9.1.7 Energiekosten

In hoofdstuk 4.1.2 is op bladzijde 15 voor de algemene vergelijking van kapitaalslasten en energiekosten bij leidingen gekozen voor een oneindige periode.

Daarbij is opgemerkt, dat de kosten, die na 50 jaar optreden, vrijwel geen gewicht meer in de schaal leggen.

Ter vereenvoudiging van het rekenwerk zal daarom in dit voorbeeld worden volstaan met het berekenen der energiekosten in de eerste 50 jaar.

Omdat we de energiekosten voor verschillende gevallen moeten berekenen, is voorlopig aangehouden dat het drukhoogteverschil aan het einde van de 25-jarige ontwerptermijn 10 m bedraagt. Wat het jaarverbruik per perceel betreft is aangenomen dat dit het 1e jaar 120 m<sup>3</sup> bedraagt en in het 25e jaar 220 m<sup>3</sup>. Na het 25e jaar is geen toename van het jaarverbruik verondersteld.

De jaarlijkse energiekosten worden berekend met de op bladzijde 21 vermelde formule:

$$k_e = \frac{u \cdot Q_i \cdot H_s \cdot e}{\eta_i \cdot 367}$$

Hierin zijn:

$k_e$  = jaarlijkse energiekosten

$u$  = aantal bedrijfsuren per jaar = 8760

$Q_i$  = 1,3  $Q_{gem}$

Aangenomen is, dat het verbruik is:

in het 1e jaar: 4000 percelen  $\times$  120 m<sup>3</sup> = 480.000 m<sup>3</sup>/j

in het 25e jaar en volgende jaren: 4000 percelen  $\times$

220 m<sup>3</sup> = 880.000 m<sup>3</sup>/j

De toename van het verbruik tussen het 1e en 25e jaar verloopt lineair.

$Q_i$  in het 1e jaar is  $\frac{1,3 \cdot 480.000}{8760} = 70 \text{ m}^3/\text{h}$

$Q_i$  in het 25e jaar is  $\frac{1,3 \cdot 880.000}{8760} = 130 \text{ m}^3/\text{h}$

$H_s$  = stromingsverliezen in m bij  $Q_i$

We nemen aan dat het drukhoogteverlies in het piek uur in het 25e jaar 10 m is.

De piekbelasting in het 25e jaar is:

$$2,85^*) \times \frac{880.000}{8760} = 286 \text{ m}^3/\text{h}.$$

\* Zie bladzijde 21

$$H_S \text{ in het 25e jaar} = \left(\frac{130}{286}\right)^{1,86} \times 10 = 2,31 \text{ m}$$

$$H_S \text{ in het 1e jaar} = \left(\frac{120}{220}\right)^{1,86} \times 10 = 0,75 \text{ m}$$

e = energieprijis in gld/kWh = 0,07

$\eta_i$  = ideëel pomprendement = 0,21 (zie bladzijde 20).

We vinden dan voor het eerste jaar

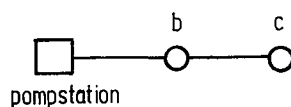
$$k_e = \frac{8760 \cdot 70 \cdot 0,75 \cdot 0,07}{0,21 \cdot 367} = f 418,-$$

Op dergelijke wijze kunnen wij de jaarlijkse energiekosten bepalen voor de andere 50 jaren. Contant gemaakt naar het 1e jaar blijken de energiekosten dan bij een rentevoet van 9% f 10.460,- te bedragen en bij een rentevoet van 0% (rentevoet 9% en stijging van de energieprijis met 9%) f 86.080,-.

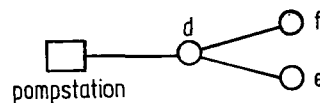
Bij het plan met de laagste investering (f 548.720,-) is het drukhoogteverlies in het piekuur aan het einde van de ontwerpstermijn niet 10 m maar 3,5 m. De energiekosten van dit plan bedragen dan bij rentepercentages van 9 en 0 respectievelijk  $0,35 \times f 10.460,- = f 3.660,-$  en  $0,35 \times f 86.080,- = f 30.130,-$ .

Hierbij is echter nog buiten beschouwing gelaten, hoe de betreffende wijk in het hele distributiegebied is gesitueerd.

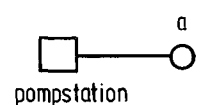
Bezien we de situaties in de figuren 48a, b en c,



figuur 48a



figuur 48b



figuur 48c

dan kan in overeenstemming met hetgeen op bladzijden 30 t/m 33 staat vermeld, globaal gesteld worden, dat voor de verschillende wijken in deze figuur de hierboven berekende energiekosten nog vermenigvuldigd moeten worden met onderstaande factoren:

| wijk | situeringsfactor |                    |
|------|------------------|--------------------|
| a    | 1                |                    |
| b    | 1                | (aangenomen is dat |
| c    | 2                | alle wijken even   |
| d    | 1                | groot zijn)        |
| e    | 1,5              |                    |
| f    | 1,5              |                    |

Hierbij kan nog worden opgemerkt, dat voor de wijken b en d de genoemde factoren eigenlijk te hoog zijn, omdat de druk bij het pompstation in feite bepaald wordt door het drukhoogteverlies in de transportleiding en het drukhoogteverlies in de wijk, die het verst van het pompstation is afgelegen. De enige eis, die aan het drukhoogteverlies in de wijken b en d gesteld moet worden, is, dat de druk in de uiteinden van deze wijken niet lager wordt dan die in de uiteinden van respectievelijk de wijken c, e of f.

#### 9.1.8 Vergelijking van de plannen

Door de investeringen en de energiekosten van ieder plan bij elkaar op te tellen krijgen we een beeld van de totale kosten. Een en ander is uitgewerkt in tabel 10 (bijlage 2). Hierbij zijn de energiekosten bepaald bij twee situeringsfactoren. Ook is berekend in welke verhouding de kosten van de verschillende plannen tot elkaar staan. Daarbij is het eerst uitgewerkte plan - drukhoogteverlies 2 m/km, 4 aftakpunten, geen speciale maatregelen voor bedrijfszekerheid en brandblussen - als maatstaf genomen door het de index 100 te geven.

Globaal blijkt dan,

- 1) dat het overgaan van een drukhoogteverlies van 2 m/km naar een drukhoogteverlies van 1 m/km, afhankelijk van de situering, een kostenverhoging geeft van 3% - 7%;
- 2) dat, wanneer er veel met ringleidingen gewerkt wordt om de bedrijfszekerheid te vergroten, dit een kostenverhoging van 14% - 20% tot gevolg heeft;
- 3) dat het rekening houden met de brandbluseis van 90 m<sup>3</sup>/h bij 20 m drukhoogte tijdens piekuur, een kostenverhoging van 20% - 30% met zich meebrengt.

Zou zowel gerekend worden met een drukhoogteverlies van 1 m/km, als met hogere eisen ten aanzien van bedrijfszekerheid, als met een brandbluseis van 90 m<sup>3</sup>/h boven het piekverbruik, dan kan de kostenverhoging oplopen tot 50% .

Bezien we het bovenstaande nog eens, dan blijkt, dat de overgang van een drukhoogteverlies van 2 m/km naar een drukhoogteverlies van 1 m/km bij een rentevoet van 9% en een situeringsfactor 1 een kostenverhoging geeft van 7% . Klopt dit nu met de berekeningen in hoofdstuk 4? Bekijken we daartoe figuur 10 nog eens, dan blijkt dat bij een geraamd maximum uurverbruik van 4000 percelen  $\approx$  80 l/perc.h = 320 m<sup>3</sup>/h het meest economische drukhoogteverlies circa 13 m/km is.

Gerekend is evenwel met technisch verantwoorde drukhoogteverliezen van 2 m/km en 1 m/km, waarbij de contante waarden van de kosten respectievelijk 138% en 165% zijn van die bij een drukhoogteverlies van 13 m/km. Het verschil in contante waarde bij overgang van 2 m/km naar 1 m/km is dan

$$\frac{27}{138} \times 100 = \text{circa } 20 \% .$$

Dit percentage is bijna driemaal zo hoog al hetgeen we hierboven bij de wijk in Wijchen vinden. De oorzaak hiervan is onder andere gelegen in het feit, dat we de diameter 100 mm als minimum diameter hebben gekozen. Een groot aantal leidingen in beide plannen krijgt daardoor een zelfde diameter.

Benaderen we op dezelfde wijze de overgang van een drukhoogteverlies van 3 m/km naar 2 m/km, dan blijken de totale contante waarden volgens figuur 10 bij 2 m/km en 3 m/km respectievelijk 138% en 125% te zijn. Het verschil is dan

$$\frac{13}{125} \times 100 \% = \text{circa } 10 \% .$$

In verband met het aantal leidingen met een minimum diameter van 100 mm zal het verschil dan circa 4% bedragen.

Kijken we vervolgens nog eens naar de bedrijfszekerheid, dan blijkt dat deze behoorlijk kostenverhogend kan werken. Nu zijn de getroffen maatregelen betrekkelijk willekeurig getroffen, maar de indruk bestaat, dat dit ook de praktijk is.

Vergelijken we eens het net van figuur 47m met het net van figuur 47h en bezien we bij beide netten ook nog eens het effect van leidingbreuken bij de punten D en H, dan blijkt, dat er weinig verschil in bedrijfszekerheid is, terwijl de kosten van het net van figuur 47h aanmerkelijk lager zijn. Het verschil tussen beide netten zit in hoofdzaak in de kleinere ringleidingen  $\varnothing$  150 mm en dat zou erop wijzen, dat deze minder zinvol zijn. Dit loopt parallel met de gedachte, dat aan de bedrijfszekerheid van een groter gebied zwaardere eisen gesteld moeten worden dan aan die van een klein gebied. Het verdient dan aanbeveling de maatregelen voor de bedrijfszekerheid in eerste instantie te zoeken in het verzwaren van de slagaders. Hierdoor wordt een gedeelte van het uitgegeven geld gecompenseerd door de lagere energiekosten.

Wat de brandbestrijding betreft kan worden opgemerkt, dat bij het net volgens figuur 47c op het eind van het net 60 m<sup>3</sup>/h bluswater kan worden geleverd op het piek uur bij een drukhoogte van circa 10 m + mv. In waterleidingkringen wordt dit een zeer redelijke hoeveelheid geacht. Vergroting van deze hoeveelheid tot 90 m<sup>3</sup>/h bij de eis dat de drukhoogte niet beneden 20 m + mv mag zakken, kan tot hoge kosten leiden.

Alles overziende kan dan de conclusies worden getrokken, dat de oorzaak van de grote verschillen in kosten bij de diverse ontwerpen voor het nieuwbouwplan in Wijchen allereerst gezocht moet worden in de eisen ten aanzien van brandblussing, vervolgens in de nagestreefde mate van bedrijfszekerheid en slechts voor een klein deel in het aangehouden drukhoogteverlies. Daarbij zijn dan nog de technische voordelen, verbonden aan het toepassen van lage drukhoogteverliezen, buiten beschouwing gelaten.

Om tenslotte nog een indruk te geven van de kosten en hoeveelheid werk, verbonden aan de controleberekeningen met behulp van de computer, kan worden vermeld dat hiervoor nodig waren:

- 1) circa 1 mandag voor het klaarmaken van de invoergegevens en het uitwerken van de uitvoergegevens (bij uitbesteden zouden de kosten hiervan circa f 800,- hebben bedragen);
- 2) 1,5 minuut rekentijd van de computer (hierbij is niet inbegrepen 0,35 minuut, die het gevolg was van een fout in de invoergegevens).

Een voorstander van rekenen met computers zal wijzen op de investering van circa f 600.000,- en de kosten van de computerberekening een fractie van de investeringskosten noemen.

Iemand die wat sceptisch tegenover het verschijnsel computer staat, zal erop wijzen, dat de computerberekening geen wijziging in het net heeft meegebracht, alleen de zekerheid heeft gegeven, dat de handberekening redelijk was.

## 9.2 Praktijkvoorbeeld 2, theoretische stad van 100.000 inwoners

### 9.2.1 Algemeen

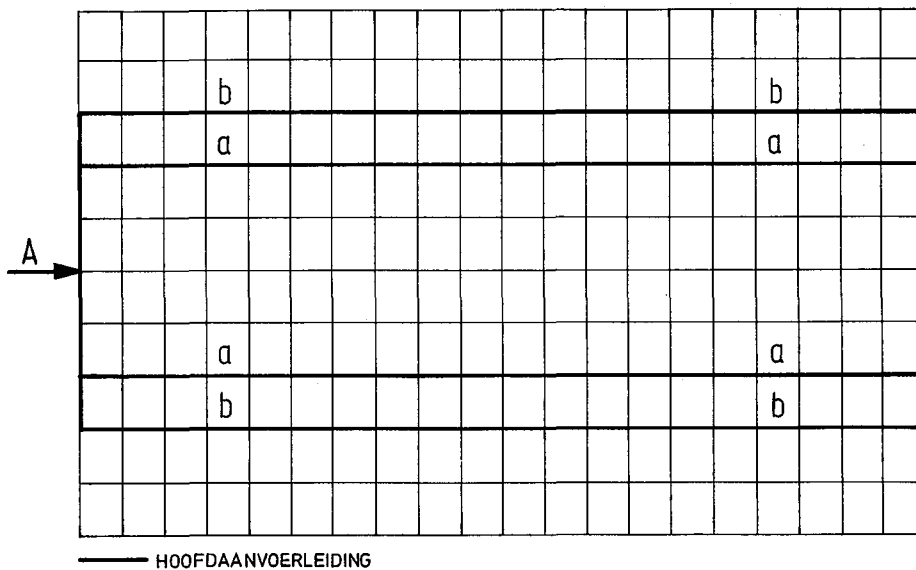
Gevraagd is voor een theoretische stad van 100.000 inwoners zoals in figuur 49 (bijlage 36) is aangegeven een leiding-netontwerp te maken. Bij een dergelijk ontwerp zijn uiteraard een groot aantal varianten mogelijk. Het heeft in het kader van deze verhandeling weinig zin alle varianten te berekenen. Daarom is aan de hand van de berekening van enkele varianten volstaan met een gedachtengang hoe men een dergelijk net kan ontwerpen en hoe de varianten tegen elkaar kunnen worden afgewogen.

Evenals bij voorbeeld 1 zijn de berekeningen uitgevoerd voor toelaatbare drukhoogteverliezen van respectievelijk 1 m/km en 2 m/km. Gezien de grote getallen is nu niet gerekend met aantallen woningen, maar met piekurohoeveelheden.

### 9.2.2 Tracé hoofdaanvoerleidingen

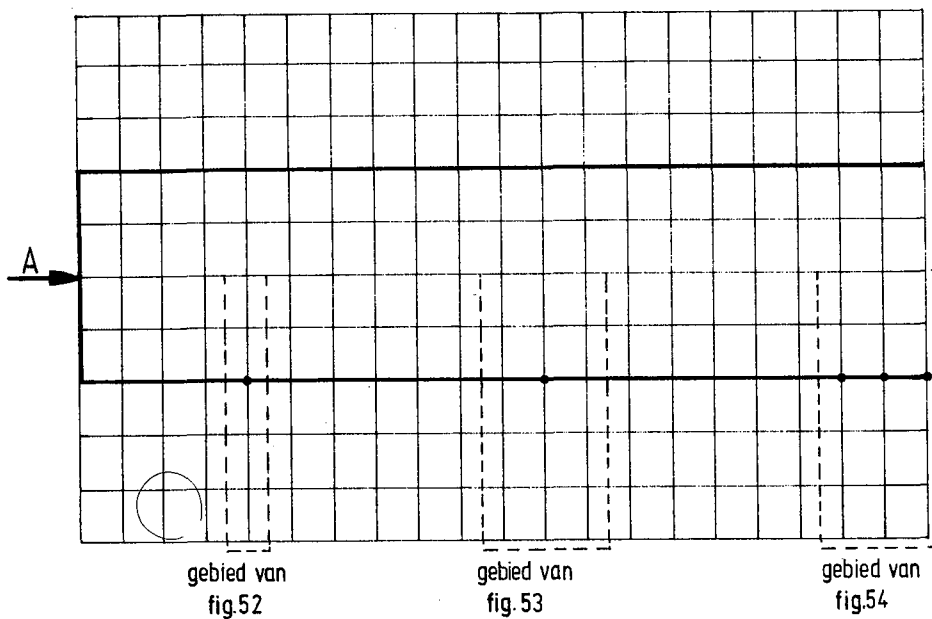
Het goedkoopste ontwerp zou zijn een vertakt systeem met één centrale leiding. Dit is in verband met de bedrijfszekerheid niet acceptabel. Gekozen is voor een 2-leidingensysteem. Een 2-leidingensysteem is namelijk goedkoper dan een 3-leidingensysteem en geeft een aanvaardbare bedrijfszekerheid.

De plaats van de twee hoofdaanvoerleidingen is in dit geval betrekkelijk eenvoudig. In aanmerking komen eigenlijk alleen tracé a en tracé b (zie figuur 50).



Figuur 50

Aangezien het voor de rest van het net geen verschil maakt waar deze leidingen liggen kiezen we het kortste tracé, namelijk tracé a (zie figuur 51).



Figuur 51

Ook in verband met het maken van een doorverbinding tussen de twee hoofdaanvoerleidingen in verband met de bedrijfszekerheid is tracé a gunstiger dan tracé b. Ligt dit eenmaal vast, dan is het verstandig het netontwerp te splitsen in een aantal deelproblemen.

### 9.2.3 Aftakkingen

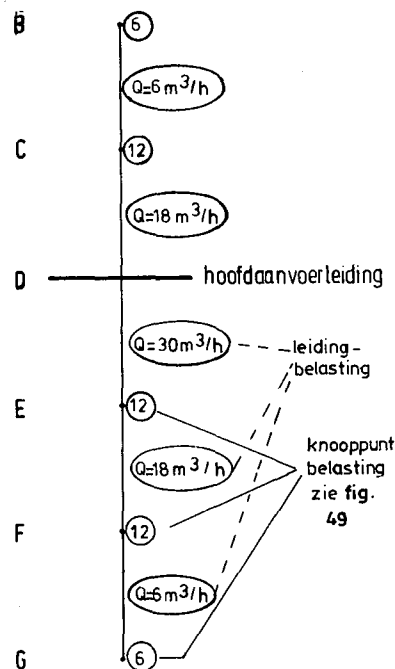
Als eerste probleem komt nu naar voren, hoeveel aftakkingen men moet maken van de hoofdaanvoerleiding. Als voorbeeld zijn uitgewerkt:

- a) elk knooppunt wordt aftakpunt
- b) van elke drie knooppunten wordt het middelste knooppunt aftakpunt.

#### ad a

Elk knooppunt wordt aftakpunt.

Dit is het eenvoudigste geval. Hierbij is aangenomen dat het verbruik tussen de beide hoofdaanvoerleidingen gelijk over beide leidingen wordt verdeeld. We krijgen dan het volgende beeld voor de onderste hoofdaanvoerleiding (zie figuur 52).



Figuur 52

Afhankelijk van het toe te laten drukhoogteverlies is het een eenvoudige zaak de diameter te bepalen.

Bij een aangenomen drukhoogteverlies van 1 m/km (zie tabel 9 op bladzijde 96) krijgen we de volgende diameters:

Tabel 11

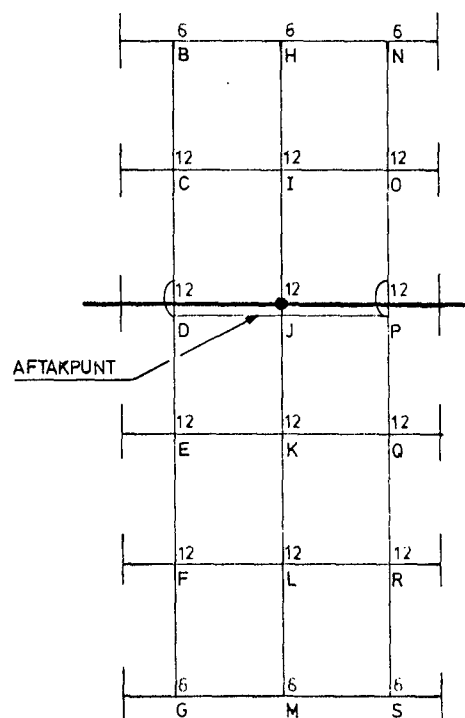
| traject | belasting<br>in m <sup>3</sup> /h | diameter<br>in mm | drukhoogte-<br>verlies in m/km |
|---------|-----------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| C - B   | 6                                 | 100               | 0,5                            |
| D - C   | 18                                | 150               | 0,65                           |
| D - E   | 30                                | 200 (150)         | 0,45 (1,7)                     |
| E - F   | 18                                | 150               | 0,65                           |
| F - G   | 6                                 | 100               | 0,5                            |

Voor de trajecten C - B, D - C, E - F en F - G zijn er weinig keuzemogelijkheden.

Voor traject D - E lijkt een leiding Ø 150 mm juister, gezien de lage drukhoogteverliezen in andere trajecten. Mogelijk, dat achter in het net, voor de leiding D - E een diameter van 200 mm kan worden gekozen. Op deze wijze wordt bereikt, dat er niet te grote drukhoogteverschillen zijn tussen de eindpunten voor en achter in het net.

#### ad b

Van elke drie knooppunten wordt het middelste knooppunt aftakpunt. We krijgen dan het volgende beeld. Punt J wordt aftakpunt.



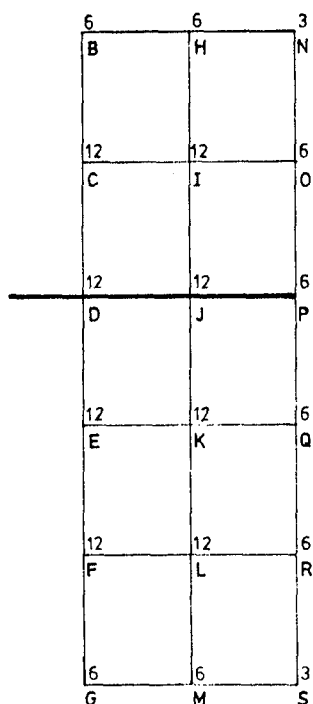
Figuur 53

Het meest logisch is om de leiding H I J K L M als een aftakleiding van de hoofdaanvoerleiding te zien en al het water zoveel mogelijk door deze leiding te brengen. Daarbij blijft natuurlijk de regel van de kortste afstand naar ieder knooppunt van kracht. We krijgen het volgende belastingsgeval (tabel 12).

Tabel 12

| traject | belasting<br>in m <sup>3</sup> /h | diameter<br>in mm | drukhoogte-<br>verlies in<br>m/km | opmerkingen                |
|---------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| H - B   | 6                                 | 100               | 0,5                               |                            |
| H - N   | 6                                 | 100               | 0,5                               |                            |
| I - C   | 12                                | 100               | 2                                 | )Drukhoogteverliezen aan   |
| I - O   | 12                                | 100               | 2                                 | )de hoge kant. Gezien de   |
| J - D   | 12                                | 100               | 2                                 | )lage drukhoogteverliezen  |
| J - P   | 12                                | 100               | 2                                 | )in de andere leidingen en |
| K - E   | 12                                | 100               | 2                                 | )het buiten beschouwing    |
| K - Q   | 12                                | 100               | 2                                 | )laten van het transport-  |
| L - F   | 12                                | 100               | 2                                 | )vermogen van de leidingen |
| L - R   | 12                                | 100               | 2                                 | )B-G en N-S wel verantwoor |
|         |                                   |                   |                                   | )vóór in het net. Moge-    |
|         |                                   |                   |                                   | )lijk achter in het net    |
|         |                                   |                   |                                   | )wat zwaardere leidingen   |
|         |                                   |                   |                                   | )nodig                     |
| M - G   | 6                                 | 100               | 0,5                               |                            |
| M - S   | 6                                 | 100               | 0,5                               |                            |
| I - H   | 18                                | 150               | 0,65                              |                            |
| J - I   | 54                                | 200               | 1,35                              |                            |
| J - K   | 90                                | 250               | 1,4                               |                            |
| K - L   | 54                                | 200               | 1,35                              |                            |
| L - M   | 18                                | 150               | 0,65                              |                            |

Als apart geval nemen we nog door de situatie aan het eind van het net (zie figuur 54).



Figuur 54

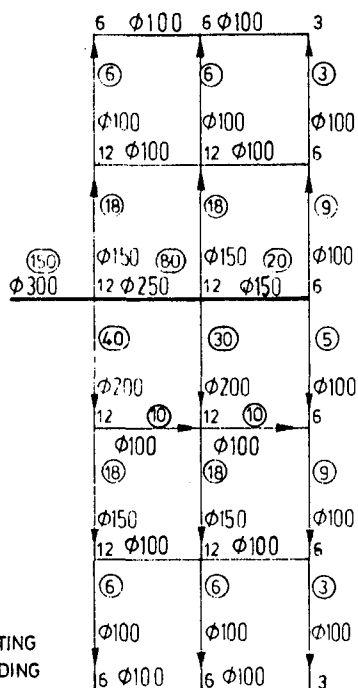
Omdat we hier met kleine diameters te maken hebben lijkt het verstandig van achter af te beginnen met elk knooppunt ook aftakpunt te maken. We krijgen nu de situatie volgens de eerste 4 kolommen van tabel 13.

We zien dan in kolom 4 dat er nogal wat leidingen onderbelast zijn. Op zichzelf is een onderbelasting aan het eind van het net niet zo slecht, maar het is toch mogelijk het net nog wat gunstiger te maken door de leidingen E - K en K - Q te belasten (zie correctie in tabel 13).

Tabel 13

| traject<br>(1) | belas-<br>ting in<br>m <sup>3</sup> /h<br>(2) | diameter<br>in mm<br>(3) | drukhoogte-<br>verlies in<br>m/km<br>(4) | correctie                              |                   |                                   |
|----------------|-----------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
|                |                                               |                          |                                          | belas-<br>ting in<br>m <sup>3</sup> /h | diameter<br>in mm | drukhoogte-<br>verlies in<br>m/km |
| C - B          | 6                                             | 100                      | 0,5                                      | 40                                     | 200               | 0,8                               |
| D - C          | 18                                            | 150                      | 0,65                                     |                                        |                   |                                   |
| D - E          | 30                                            | 200                      | 0,45                                     |                                        |                   |                                   |
| E - F          | 18                                            | 150                      | 0,65                                     |                                        |                   |                                   |
| F - G          | 6                                             | 100                      | 0,5                                      |                                        |                   |                                   |
| I - H          | 6                                             | 100                      | 0,5                                      |                                        |                   |                                   |
| J - I          | 18                                            | 150                      | 0,65                                     |                                        |                   |                                   |
| J - K          | 30                                            | 200                      | 0,45                                     |                                        |                   |                                   |
| K - L          | 18                                            | 150                      | 0,65                                     |                                        |                   |                                   |
| L - M          | 6                                             | 100                      | 0,5                                      |                                        |                   |                                   |
| O - N          | 3                                             | 100                      | -                                        | 5                                      | 100               | 0,45                              |
| P - O          | 9                                             | 100                      | 1,0                                      |                                        |                   |                                   |
| P - Q          | 15                                            | 150                      | 0,5                                      |                                        |                   |                                   |
| Q - R          | 9                                             | 100                      | 1,0                                      |                                        |                   |                                   |
| R - S          | 3                                             | 100                      | -                                        | 80                                     | 250               | 1,1                               |
| D - J          | 90                                            | 250                      | 1,4                                      |                                        |                   |                                   |
| J - P          | 30                                            | 200                      | 0,45                                     |                                        | 150               | 0,8                               |
| E - K          | -                                             | 100                      | -                                        |                                        |                   |                                   |
| K - Q          | -                                             | 100                      | -                                        |                                        |                   |                                   |
|                |                                               |                          |                                          | 10                                     | 100               | 2                                 |

Het stroombeeld met bijbehorende diameters wordt dan:

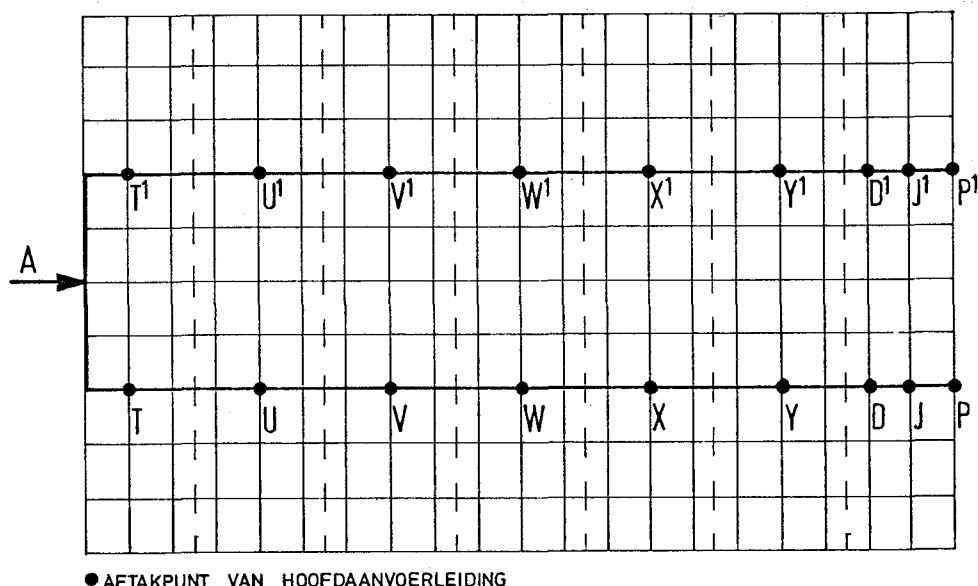


Figuur 55

(40) = BELASTING  
VAN DE LEIDING  
IN m<sup>3</sup>/h

#### 9.2.4 Dimensionering van de hoofdaanvoerleidingen

Voor de verdeelnetten kennen we nu oplossingen, zodat we kunnen gaan kijken naar de twee hoofdaanvoerleidingen (zie figuur 56).



Figuur 56

Ervan uitgaande dat - uitgezonderd bij het einde van het net - van elke drie knooppunten het middelste aftakpunt wordt, gaan we van links naar rechts het net verdelen in stukken die 3 knooppunten langs de hoofdaanvoerleiding bevatten. We krijgen dan het onderstaande schema van deze leiding.

Tabel 14

| traject | belasting<br>in m <sup>3</sup> /h | diameter<br>in mm | drukhoogte-<br>verlies in<br>m/km |
|---------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| A - T   | 1.200                             | 700               | 0,9                               |
| T - U   | 1.050                             | 600               | 1,45                              |
| U - V   | 870                               | 600               | 1,0                               |
| V - W   | 690                               | 600               | 0,65                              |
| W - X   | 510                               | 500               | 1,15                              |
| X - Y   | 330                               | 400               | 1,5                               |
| Y - D   | 150                               | 300               | 1,25                              |
| D - J   | 80                                | 250               | 1,15                              |
| J - P   | 20                                | 150               | 0,8                               |

Het hele net is nu bekend; zie figuur 57 (bijlage 37). De afstand van het beginpunt A tot eindpunt S bedraagt 5250 m. Bij een aangenomen drukhoogteverlies van 1 m/km zou het totale drukhoogteverlies tijdens het piek uur 5,25 m mogen bedragen. Bij narekenen van het ontworpen net met de computer bleek het drukhoogteverlies 4,8 m te zijn.

Uiteraard is dit slechts één van de vele mogelijke oplossingen. Echter, alternatieve oplossingen kunnen op dergelijke wijze berekend worden.

#### 9.2.5 Maatregelen ten behoeve van de bedrijfszekerheid

Vervolgens moeten nog maatregelen ten aanzien van de bedrijfszekerheid worden genomen. Ieder bedrijf zal voor zich moeten uitmaken hoe groot men de bedrijfszekerheid wenst.

Hier zal voorlopig worden aangenomen, dat een verbruik van 50% van het piekverbruik geen lagere drukhoogte dan 20 m boven maaiveld teweeg mag brengen. Dit houdt in, dat de diameter van de twee hoofdaanvoerleidingen niet vergroot behoeft te worden, Wel is het zaak tussen beide leidingen één of meer verbindingen aan te brengen, opdat bij breuk in één van de twee hoofdaanvoerleidingen, het achter de breuk gelegen gebied door de andere hoofdaanvoerleiding kan worden voorzien. De vraag is, waar moeten deze dwarsverbindingen komen?

We kunnen daar het volgende over zeggen.

- a) We moeten de eerste dwarsverbinding zover mogelijk naar achteren aanbrengen, anders hebben we meerdere doorverbindingen nodig omdat ook het gedeelte achter de doorverbinding bij elke omstandigheid bij een verbruik ter grootte van 50% van het piekverbruik een goede voorziening moet hebben.
- b) Anderzijds moet de leiding niet te ver naar achteren worden ontworpen, omdat dan het drukhoogteverlies in de niet door breuk geplaagde leiding te groot wordt; de diameter wordt namelijk steeds kleiner. In dit verband is het aantrekkelijk de doorverbinding aan te brengen bij een diameterovergang.

c) Er doen zich dan 3 mogelijkheden voor: bij de overgang  $\varnothing$  600 mm -  $\varnothing$  500 mm, bij de overgang  $\varnothing$  500 mm -  $\varnothing$  400 mm en bij de overgang  $\varnothing$  400 mm -  $\varnothing$  300 mm.

Met een computer kunnen de consequenties eenvoudig worden bekeken.

Echter ook een eenvoudige handberekening kan een goede indruk geven. We beginnen met de laatste plaats en bezien de drukverliezen bij een 50% verbruik. We nemen aan een breuk bij Z; zie figuur 58 (bijlage 38). De belasting wordt aangenomen op 50% van het maximum uurverbruik. Voor de hele stad is dit 1200 m<sup>3</sup>/h.

De aftakkingen  $\varnothing$  200 mm van de transportleiding kunnen per aftakking circa 65 m<sup>3</sup>/h "naar binnen" leveren (1 m/km). Verder wordt de afname "naar buiten" circa 65 m<sup>3</sup>/h. We krijgen het volgende beeld:

Tabel 15

| traject                          | belasting<br>in m <sup>2</sup> /h | diameter<br>in mm | drukhoogte<br>verlies in<br>m/km | lengte<br>in km | totaal druk-<br>hoogteverlies<br>in m |
|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------------------------|
| A - T                            | 1200                              | 700               | 0,9                              | 0,7             | 0,65                                  |
| T - U                            | 1070                              | 600               | 1,55                             | 0,75            | 1,2                                   |
| U - V                            | 940                               | 600               | 1,2                              | 0,75            | 0,9                                   |
| V - W                            | 810                               | 600               | 0,9                              | 0,75            | 0,65                                  |
| W - X                            | 680                               | 500               | 2                                | 0,75            | 1,5                                   |
| X - Y                            | 550                               | 400               | 4                                | 0,75            | 3                                     |
| koppel-<br>leiding               | 400                               | 400               | 2,2                              | 1               | 2,2                                   |
| net achter<br>koppellei-<br>ding |                                   |                   | 0,25                             | 1,5             | 0,4                                   |
| totaal                           |                                   |                   |                                  |                 | 10,50                                 |

Het blijkt, dat het drukverlies toch te groot is. Het is echter te zien, dat een koppelleiding aan het eind van de leiding  $\varnothing$  500 mm wel redelijke drukverliezen geeft bij 50% verbruik. De verbindingsleiding komt dan bij X, de diameter moet 500 mm of 400 mm worden. Gezien het gebied erachter zal er nog een verbindingsleiding moeten komen. Het lijkt redelijk dat deze aan het eind van de leiding  $\varnothing$  300 komt. De diameter van deze doorverbinding heeft slechts 250 mm te zijn. Het totale net ziet er dan uit als in figuur 59 (bijlage 39). Daarbij is aangehouden dat niet rechtstreeks op leidingen  $> \varnothing$  300 mm wordt aangeboord, zodat dan een parallelleiding van  $\varnothing$  100 mm moet worden gelegd.

#### 9.2.6 Controleberekeningen met behulp van een computer

Met behulp van een computer zijn voor dit net de drukken berekend die optreden bij piekverbruiken, bij buisbreuken bij de punten Z en ZZ tijdens uren van 50% respectievelijk 75% verbruik en bij brandblusafnamen van respectievelijk 60 m<sup>3</sup>/h en 90 m<sup>3</sup>/h tijdens het piekverbruik. Wil men een grotere bedrijfszekerheid, dan kan de 1e koppelleiding tussen de 2 strangen aan het eind van de  $\varnothing$  600 mm worden gelegd en de 2e koppelleiding aan het eind van de  $\varnothing$  400 mm; zie figuur 60 (bijlage 41).

Vindt men deze mate van bedrijfszekerheid nog te klein, dan zullen voor de aanvoerleidingen  $\varnothing$  700 mm en  $\varnothing$  600 mm grotere diameters moeten worden gekozen of komt een drie-strangensysteem in aanmerking.

Tenslotte is een dergelijk net ook ontworpen voor een drukhoogteverlies van 2 m/km; zie figuur 61 (bijlage 43).

Ook voor dit net zijn met een computer berekeningen gemaakt voor de drukhoogteverliezen tijdens piekuur, tijdens buisbreuken en bij brand. De uitkomsten van de computerberekeningen zijn weergegeven in tabel 16 (bijlage 3). Van de met een sterretje aangegeven gevallen zijn tevens de lijnen van gelijke drukhoogteverliezen aangegeven in de figuren 59 a,b,c, 60 a,b,c en 61 a,b,c (bijlagen 40, 42 en 44).

Bezien we de resultaten van het net van figuur 59, dan kunnen we de volgende opmerkingen maken:

- a. er is weinig verschil tussen de optredende drukhoogteverliezen bij een koppelleiding  $\varnothing$  500 mm of  $\varnothing$  400 mm.
- b. Bij een brand in het piekuur op het meest ongunstige punt kan 60 m<sup>3</sup>/h bluswater worden geleverd bij een drukhoogtedaling van  $10,6 - 4,8 = 5,8$  m en 90 m<sup>3</sup>/h bij een drukhoogtedaling van  $16,4 - 4,8 = 11,6$  m.

Bezien we figuur 59b dan blijkt, dat slechts een klein gebied last zal hebben van deze drukhoogtedaling.

- c. Bij een leidingbreuk vóór in één van de twee centrale leidingen (punt Z) blijkt een verbruik ter grootte van 50% van het piekuur geen te lage drukhoogten met zich mee te brengen, terwijl bij een verbruik ter grootte van 75% van het piekuur drukhoogtedalingen optreden tot  $(10,3 - 4,8 =) 5,5$  m.
- d. Uit figuur 59a blijkt, dat vóór in het net de drukhoogten hoger zijn dan achter in het net. Hier bestaat dus nog de mogelijkheid iets te bezuinigen aan het net door wat kleinere diameters te kiezen voor de aftakleidingen.

Bezien we vervolgens het net volgens figuur 60, dan blijkt, dat de bedrijfszekerheid iets is toegenomen, maar dat dit toch van betrekkelijk geringe betekenis is.

Het ontwerp, waarbij is uitgegaan van een drukhoogteverlies van 2 m/km (figuur 61) geeft nagenoeg een zelfde beeld wat betreft brandblussing en bedrijfszekerheid als het net van figuur 59.

Tenslotte zij nog opgemerkt, dat er vereenvoudiging van de computerberekening een aantal leidingen  $\varnothing$  100 mm vóór in het net buiten de berekening zijn gehouden, zodat de werkelijke drukhoogteverliezen in alle berekeningen nog iets lager zullen zijn.

#### 9.2.7 Energiekosten

Uitgangspunt bij de berekening is geweest een verbruik per inwoner na het 25e jaar van 200 l/etm. Het totale jaarverbruik na 25 jaar is dan  $100.000 \times 0,200 \times 365 = 7.300.000$  m<sup>3</sup>.

Ter vermijding van rekenwerk nemen we aan, dat de groei van het verbruik in de loop der jaren op dezelfde wijze verloopt als bij voorbeeld 1 (Wijchen). Het verbruik in het eerste jaar is dan

$$\frac{120}{220} \times 7.300.000 \text{ m}^3 = 4.000.000 \text{ m}^3.$$

Verder houden we evenals bij de berekening van de energiekosten bij voorbeeld 1 voorlopig aan, dat in het 25e jaar en de daarop volgende jaren een drukhoogteverlies optreedt van 10 m. De energiekosten bedragen dan f 86.800,- bij een rentevoet van 9% en f 714.000,- bij een rentevoet van 0% .

Voor het net van figuur 59 is het drukhoogteverlies in het 25e jaar 4,8 m en bedragen de energiekosten respectievelijk f 41.700,- en f 342.700,-.

Voor het net van figuur 61 is het drukhoogteverlies in het 25e jaar 8,2 m hetgeen energiekosten met zich meebrengt van respectievelijk f 712.000,- en f 585.500,-.

#### 9.2.8 Economische vergelijking van de plannen

We krijgen een beeld van de totale kosten door de investeringen en energiekosten bij elkaar op te tellen.

Wat de investeringen betreft, hierin is nog een onderscheid te maken tussen de kosten aan de hoofdaanvoerleidingen, de kosten aan de aftakleidingen, de kosten aan de koppelleidingen en de leidingen Ø 100 mm. Wanneer we de netten van de figuren 59 en 61 met elkaar vergelijken krijgen we het volgende beeld.

Tabel 17

|                                                                        | Bedragen in f 1000<br>bij figuur 59 (Uit-<br>gangspunt: een druk-<br>hoogteverlies van<br>1 m/km) |                   | Bedragen in f 1000<br>bij figuur 61 (Uit-<br>gangspunt: een druk-<br>hoogteverlies van<br>2 m/km) |                   |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                                                        | koppelleidingen                                                                                   |                   | koppelleidingen                                                                                   |                   |
|                                                                        | 400/250                                                                                           | 500/250           | 400/300                                                                                           | 500/400           |
| (...) = verge-<br>lijking in %                                         |                                                                                                   |                   |                                                                                                   |                   |
| Investering in hoofd-<br>aanvoerleidingen                              | 1571,2<br>(120)                                                                                   | 1571,2<br>(120)   | 1310<br>(100)                                                                                     | 1310<br>(100)     |
| Investering in aftak-<br>leidingen                                     | 852<br>(113)                                                                                      | 852<br>(113)      | 754<br>(100)                                                                                      | 754<br>(100)      |
| Meerdere investering<br>door koppelleidingen                           | 93<br>( 85)                                                                                       | 136<br>(124)      | 109<br>(100)                                                                                      | 189<br>(173)      |
| Investering in leiding-<br>gen van Ø 100 mm                            | 2192,4                                                                                            | 2192,4            | 2220,4                                                                                            | 2220,4            |
| Totale investering                                                     | 4708,6<br>(107)                                                                                   | 4751,6<br>(108)   | 4393,4<br>(100)                                                                                   | 4473,4<br>(102)   |
| Contante waarde ener-<br>giekosten over eerste<br>50 jaar bij 9% rente | 41,7<br>( 59)                                                                                     | 41,7<br>( 59)     | 71,2<br>(100)                                                                                     | 71,2<br>(101)     |
| Contante waarde ener-<br>giekosten over eerste<br>50 jaar bij 0% rente | 342,7<br>( 59)                                                                                    | 342,7<br>( 59)    | 585,5<br>(100)                                                                                    | 585,5<br>(100)    |
| Investering + energie-<br>kosten bij 9% rente                          | 4750,3<br>(106,5)                                                                                 | 4793,3<br>(107,5) | 4464,6<br>(100)                                                                                   | 4544,6<br>(102)   |
| Investering + energie-<br>kosten bij 0% rente                          | 5051,3<br>(101,5)                                                                                 | 5094,3<br>(102)   | 4978,9<br>(100)                                                                                   | 5058,9<br>(101,5) |

Vergelijken we deze uitkomsten met hetgeen we in voor-  
beeld 1 bij Wijchen hebben gevonden, dan blijkt er een  
treffende overeenkomst te zijn. In beide voorbeelden  
blijkt het leidingnet bij een drukhoogteverlies van  
1 m/km een 7% hogere investering te vragen dan bij een  
drukhoogteverlies van 2 m/km. Rekenen we met een rente-  
voet van 9% (dat wil zeggen laten we prijsstijgingen van  
de energiekosten buiten beschouwing), dan zijn de ener-  
giekosten van zo weinig belang, dat ook bij het totaal

van investeringen en energiekosten het plan met een drukhoogteverlies van 2 m/km circa 7% goedkoper is. Rekenen we echter met een rentevoet van 0% , dat wil zeggen dat de jaarlijkse stijging der energieprijis circa 9% is, dan blijkt, afhankelijk van de configuratie van het net, het totale kostenverschil in Wijchen terug te lopen tot 4% respectievelijk 2% en bij de stad van 100.000 inwoners tot 1,5% . Hierbij kan worden opgemerkt, dat we in beide gevallen zowel bij Wijchen als bij de stad van 100.000 inwoners te maken hebben met langgestrekte netten, die, zoals op bladzijden 30 t/m 33 is uiteengezet, lage drukhoogteverliezen in het eind van het net vragen. Tenslotte moet ook worden gewezen op het feit, dat bij de berekening der energiekosten is uitgegaan van onder andere een  $\eta_i = 0,21$ . Lijkt dit ideële rendement voor een streekbedrijf in een aantal gevallen wel reëel, voor een stadsbedrijf lijkt het aan de te lage kant.

## BIJLAGEN

Tabel 5  
plan 1

| jaar | a<br>inverte-<br>ring | b<br>energie-<br>kosten | c<br>bedie-<br>ning en<br>onder-<br>houd<br>opjager | a + b + c | contante waarde<br>van a + b + c |           |
|------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|
|      |                       |                         |                                                     |           | bij 3%                           | bij 9%    |
| 1    | 250.000               | -                       | -                                                   | 250.000   | 250.000                          | 250.000   |
| 2    |                       | 12.469                  | 4.000                                               | 16.469    | 15.989                           | 15.109    |
| 3    |                       | 13.949                  | 4.000                                               | 17.949    | 16.919                           | 15.107    |
| 4    |                       | 15.539                  | 4.000                                               | 19.539    | 17.881                           | 15.088    |
| 5    |                       | 17.242                  | 4.000                                               | 21.242    | 18.873                           | 15.048    |
| 6    |                       | 19.063                  | 4.000                                               | 23.063    | 19.894                           | 14.989    |
| 7    |                       | 21.003                  | 4.000                                               | 25.003    | 20.940                           | 14.909    |
| 8    |                       | 23.068                  | 4.000                                               | 27.068    | 22.009                           | 14.807    |
| 9    |                       | 25.261                  | 4.000                                               | 29.261    | 23.099                           | 14.685    |
| 10   |                       | 27.585                  | 4.000                                               | 31.585    | 24.207                           | 14.543    |
| 11   |                       | 30.044                  | 4.000                                               | 34.044    | 25.332                           | 14.381    |
| 12   | 1.755.000             | 32.641                  | 4.000                                               | 1.791.641 | 1.294.320                        | 694.320   |
|      | 2.005.000             | 237.864                 | 44.000                                              | 2.286.864 | 1.749.463                        | 1.092.986 |

plan 2

| jaar   | a<br>investering | b<br>energiekosten | a + b     | contante waarde<br>van a + b |           |
|--------|------------------|--------------------|-----------|------------------------------|-----------|
|        |                  |                    |           | bij 3%                       | bij 9%    |
| 1      | 877.500          | -                  | 877.500   | 877.500                      | 877.500   |
| 2      |                  | 7.814              | 7.814     | 7.586                        | 7.169     |
| 3      |                  | 8.742              | 8.742     | 8.240                        | 7.358     |
| 4      |                  | 9.738              | 9.738     | 8.912                        | 7.520     |
| 5      |                  | 10.805             | 10.805    | 9.600                        | 7.655     |
| 6      |                  | 11.946             | 11.946    | 10.305                       | 7.764     |
| 7      |                  | 13.162             | 13.162    | 11.203                       | 7.848     |
| 8      | 877.500          | 14.456             | 891.956   | 725.242                      | 487.931   |
| 9      |                  | 6.341              | 6.341     | 5.006                        | 3.182     |
| 10     |                  | 7.094              | 7.094     | 5.437                        | 3.266     |
| 11     |                  | 7.902              | 7.902     | 5.880                        | 3.338     |
| 12     |                  | 8.768              | 8.768     | 6.334                        | 3.398     |
| totaal | 1.755.000        | 106.768            | 1.861.768 | 1.681.065                    | 1.423.929 |

Tabel 10

| Varianten van het ontwerp-<br>leidingnet in Wijchen                                                                                                                                                                                                           | investe-<br>ring in<br>guldens | contante waarde van de energiekos-<br>ten over de eerste 50 jaar in<br>guldens |                               |                               | som van investering en contante waar-<br>de der energiekosten over de eerste<br>50 jaar in guldens |                               |                               |                               |                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                               |                                | bij situerings-<br>factor = 1                                                  | bij situerings-<br>factor = 2 | bij situerings-<br>factor = 1 | bij situerings-<br>factor = 1                                                                      | bij situerings-<br>factor = 1 | bij situerings-<br>factor = 2 | bij situerings-<br>factor = 2 | bij situerings-<br>factor = 2 |
|                                                                                                                                                                                                                                                               |                                | bij ren-<br>tevoet<br>= 9%                                                     | bij ren-<br>tevoet<br>= 0% *) | bij ren-<br>tevoet<br>= 9%    | bij ren-<br>tevoet<br>= 0% *)                                                                      | bij ren-<br>tevoet<br>= 9%    | bij ren-<br>tevoet<br>= 0% *) | bij ren-<br>tevoet<br>= 9%    | bij ren-<br>tevoet<br>= 0% *) |
| Eenvoudigste ontwerp.<br>Drukverlies uitgegaan van<br>2 m/km. Totaal drukhoogte-<br>verlies 3,5 m.<br>Geen speciale maatregelen<br>voor bedrijfszekerheid en<br>brandblussing.                                                                                | 548.720<br>(100)               | 3.660<br>(100)                                                                 | 30.130<br>(100)               | 7.320<br>(100)                | 60.260<br>(100)                                                                                    | 552.380<br>(100)              | 578.850<br>(100)              | 556.040<br>(100)              | 608.980<br>(100)              |
| Ontwerp bij toelaatbaar druk-<br>verlies van 1 m/km. Totaal<br>drukhoogteverlies = 1,8 m.<br>Geen speciale maatregelen<br>voor bedrijfszekerheid en<br>brandblussing.                                                                                         | 588.260<br>(107)               | 1.883<br>( 52)                                                                 | 15.494<br>( 51)               | 3.766<br>( 52)                | 30.988<br>( 51)                                                                                    | 590.143<br>(107)              | 603.754<br>(104)              | 592.026<br>(107)              | 619.248<br>(102)              |
| Ontwerp met uitgangspunt van<br>2 m/km drukhoogteverlies.<br>Wel speciale maatregelen<br>voor bedrijfszekerheid.<br>Geen speciale maatregelen<br>voor brandblussing. Totaal<br>drukhoogteverlies = 1,8 m.                                                     | 661.480<br>(121)               | 1.883<br>( 52)                                                                 | 15.494<br>( 51)               | 3.766<br>( 52)                | 30.988<br>( 51)                                                                                    | 663.363<br>(120)              | 676.974<br>(117)              | 665.246<br>(120)              | 692.468<br>(114)              |
| Ontwerp met uitgangspunt van<br>2 m/km drukhoogteverlies.<br>Verder gerekend met brand-<br>bluseis van 90 m <sup>3</sup> /h tijdens<br>piekverbruik bij 20 m druk.<br>Geen speciale maatregelen<br>voor bedrijfszekerheid. To-<br>taal drukhoogteverlies 1 m. | 712.780<br>(130)               | 1.046<br>( 29)                                                                 | 8.608<br>( 29)                | 2.092<br>( 29)                | 17.216<br>( 29)                                                                                    | 713.826<br>(129)              | 721.388<br>(125)              | 714.872<br>(129)              | 729.996<br>(120)              |

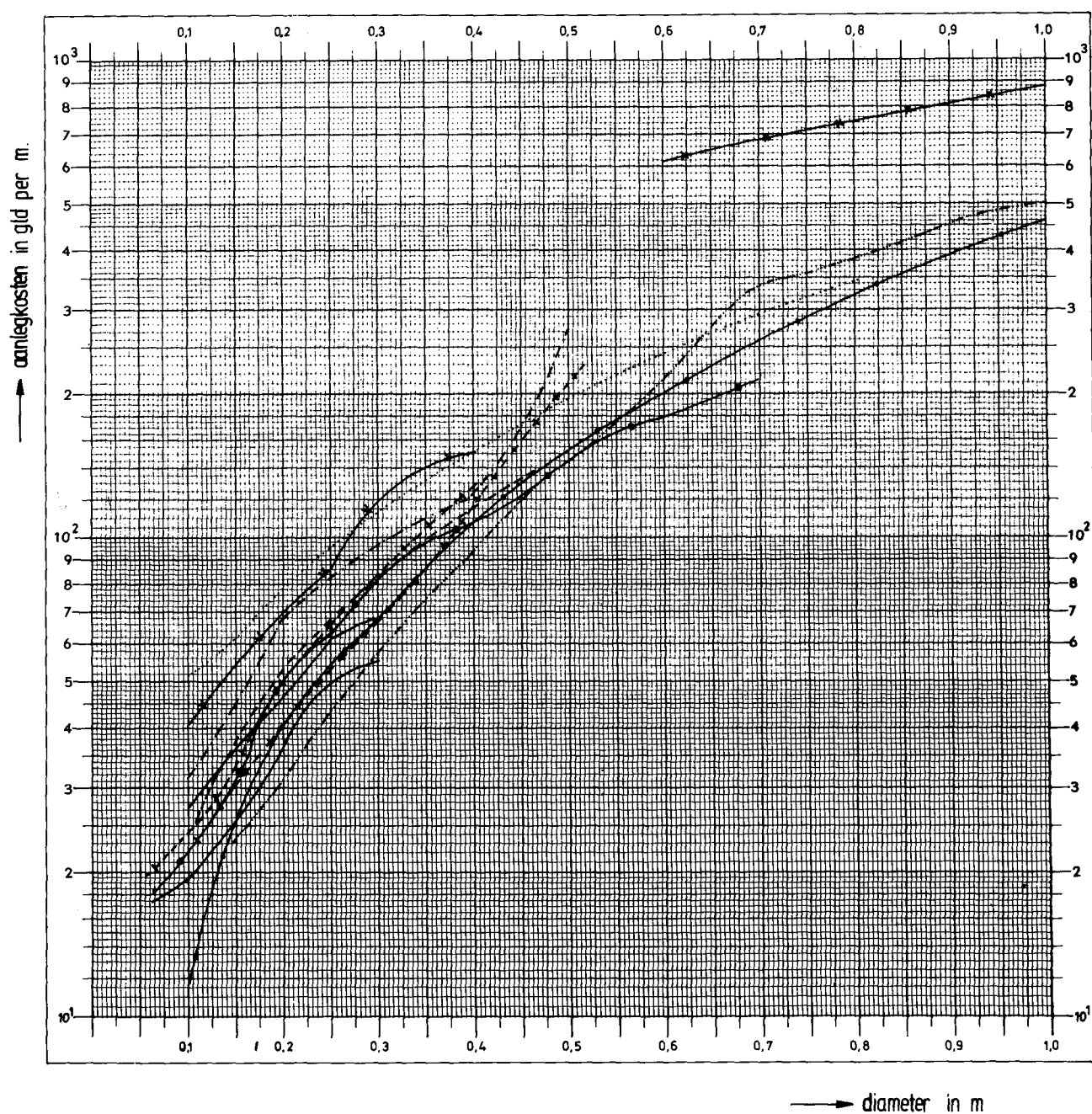
\*) d.w.z. dat de energieprijzen jaarlijks met 9% toeneemt.

(...) = vergelijking in %

Tabel 16

| belastinggeval                                                      | drukhoogteverlies in m wk |                     |                     |                     |                     |                     |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                                                                     | net van figuur 59         |                     | net van figuur 60   |                     | net van figuur 61   |                     |
|                                                                     | koppelleid. 400/250       | koppelleid. 500/250 | koppelleid. 500/300 | koppelleid. 600/400 | koppelleid. 400/300 | koppelleid. 500/400 |
| 100 % van piekverbruik                                              | 4,8                       | 4,8 *)              | 4,8                 | 4,8 *)              | 8,2                 | 8,2 *)              |
| 100 % van piekverbruik<br>+ brandblusafname<br>60 m <sup>3</sup> /h | 10,6                      | 10,6                | 10,8                | 10,8                | 15,3                | 15,2                |
| 100 % van piekverbruik<br>+ brandblusafname<br>90 m <sup>3</sup> /h | 16,4                      | 16,4 *)             | 16,7                | 16,6 *)             | 22,0                | 21,9 *)             |
| 50 % van piekverbruik<br>+ leidingbreuk bij ZZ                      | 4,4                       | 4,3                 | 4,5                 | 3,0                 | 6,3                 | 4,8                 |
| 50 % van piekverbruik<br>+ leidingbreuk bij Z                       | 4,7                       | 4,3                 | 3,7                 | 3,5                 | 6,7                 | 6,2                 |
| 75 % van piekverbruik<br>+ leidingbreuk bij ZZ                      | 9,3                       | 9,2                 | 9,6                 | 6,5                 | 13,6                | 10,3                |
| 75 % van piekverbruik<br>+ leidingbreuk bij Z                       | 10,3                      | 9,4 *)              | 8,0                 | 7,5 *)              | 14,4                | 13,5 *)             |

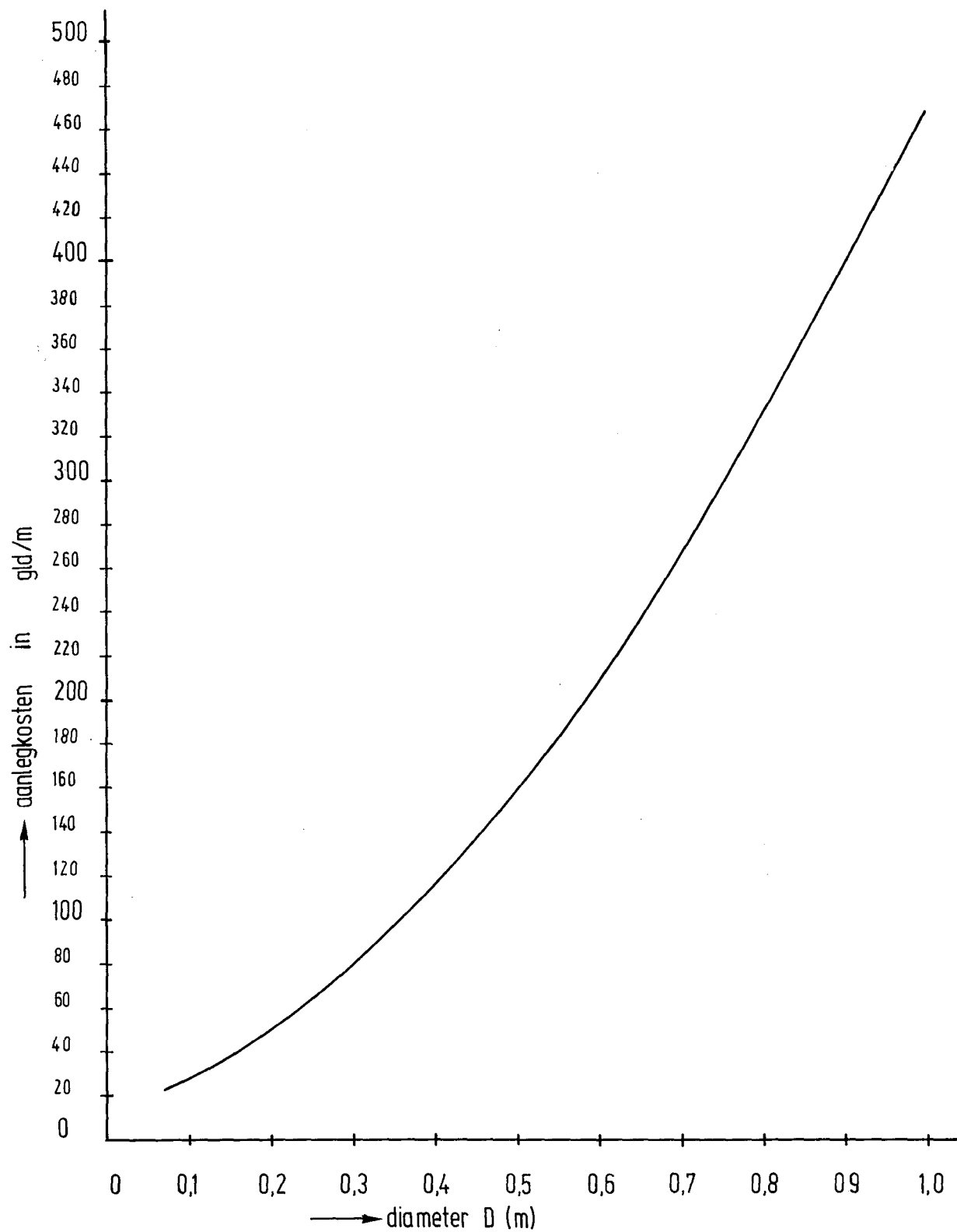
\*) van deze berekeningen zijn drukpatronen gemaakt.



Verband tussen aanlegkosten en leidingdiameter  
(zoals opgegeven door een aantal waterl. bedrijven in '72)

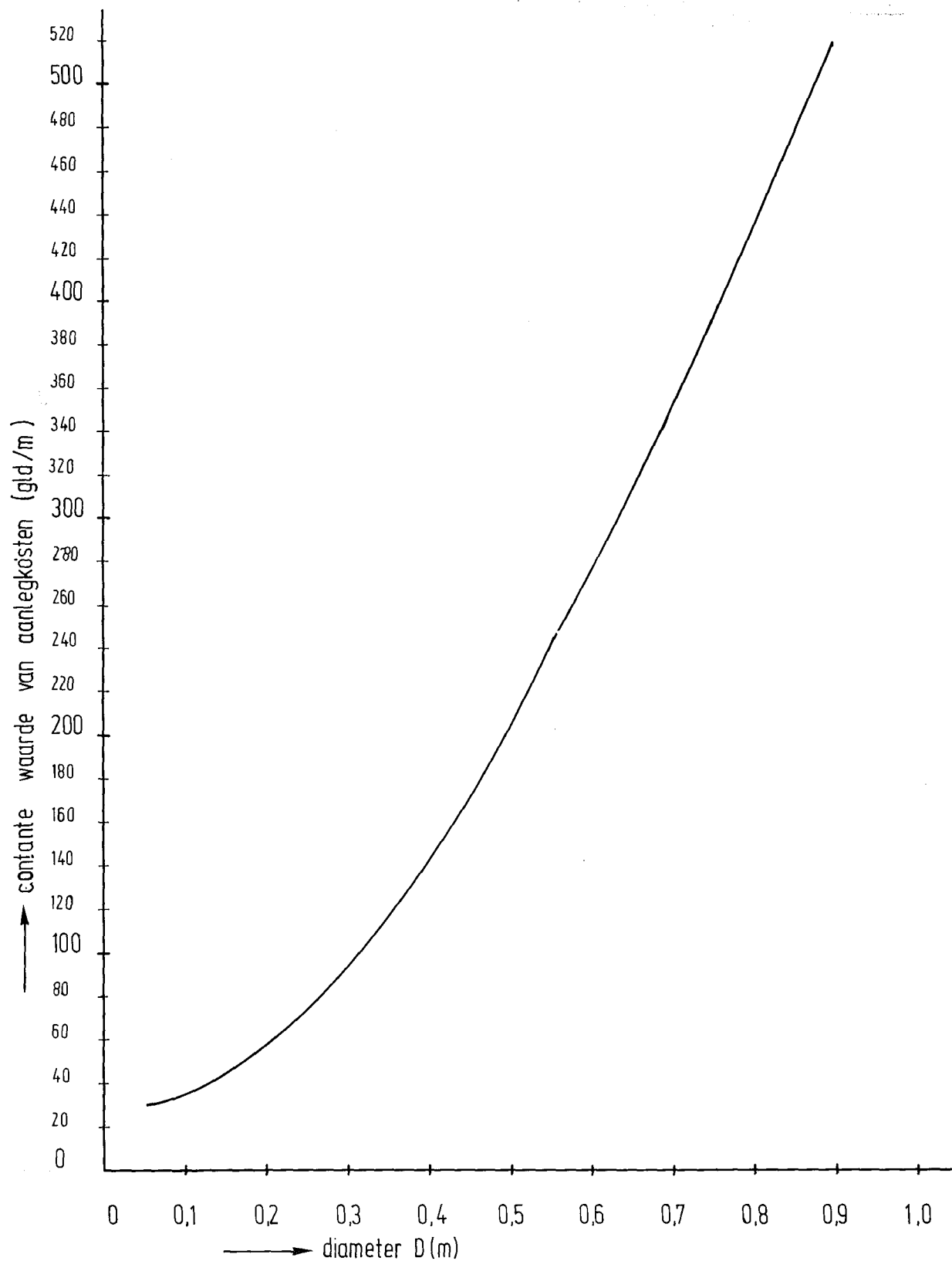
figuur 1

verband tussen aanlegkosten  
en diameter (prijspeil 1972)

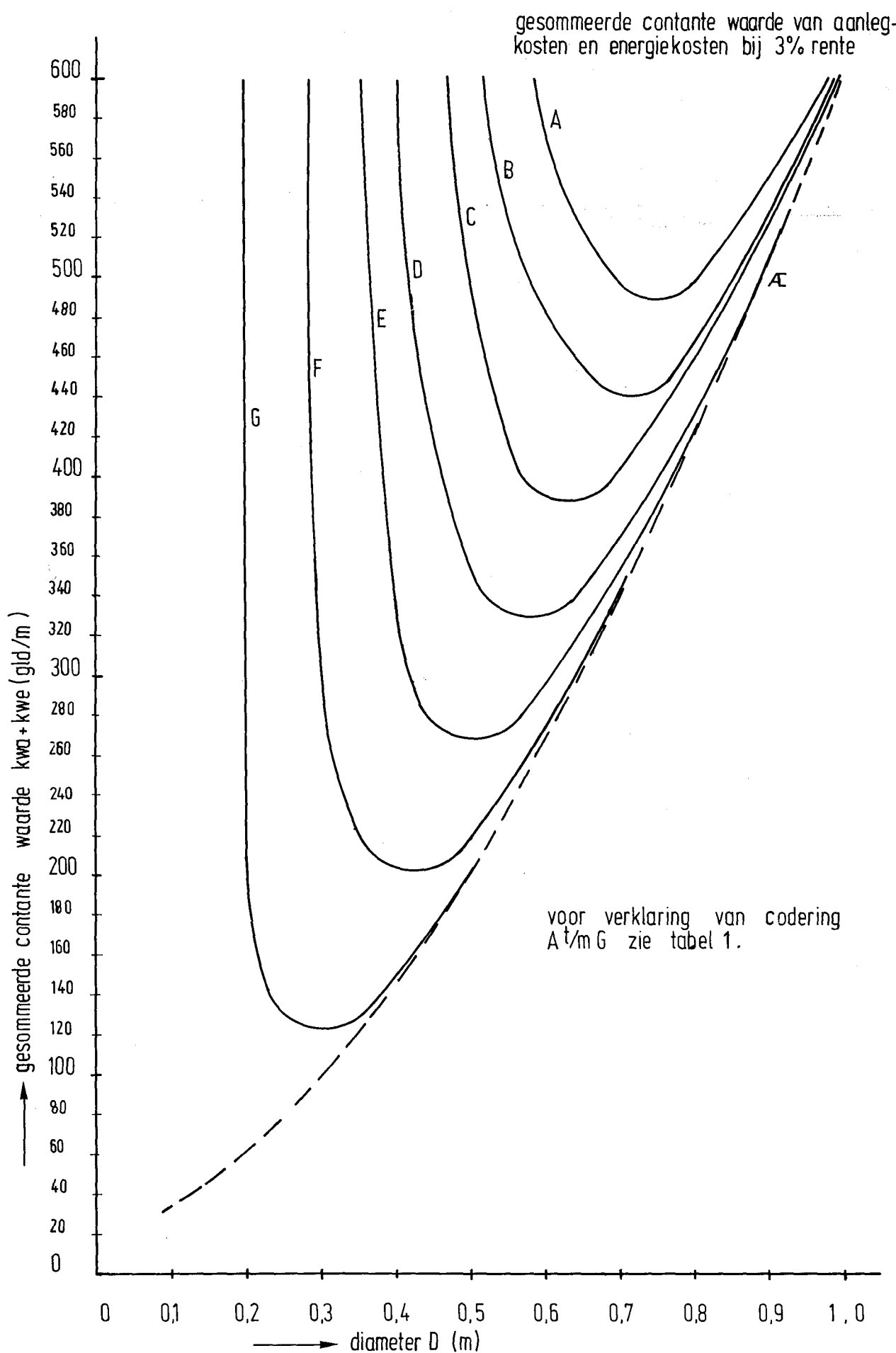


figuur 2

contante waarden van de aanlegkosten bij  
 eeuwigdurende financiering, 3% rente en  
 een afschrijvingstermijn van 50 jaar.

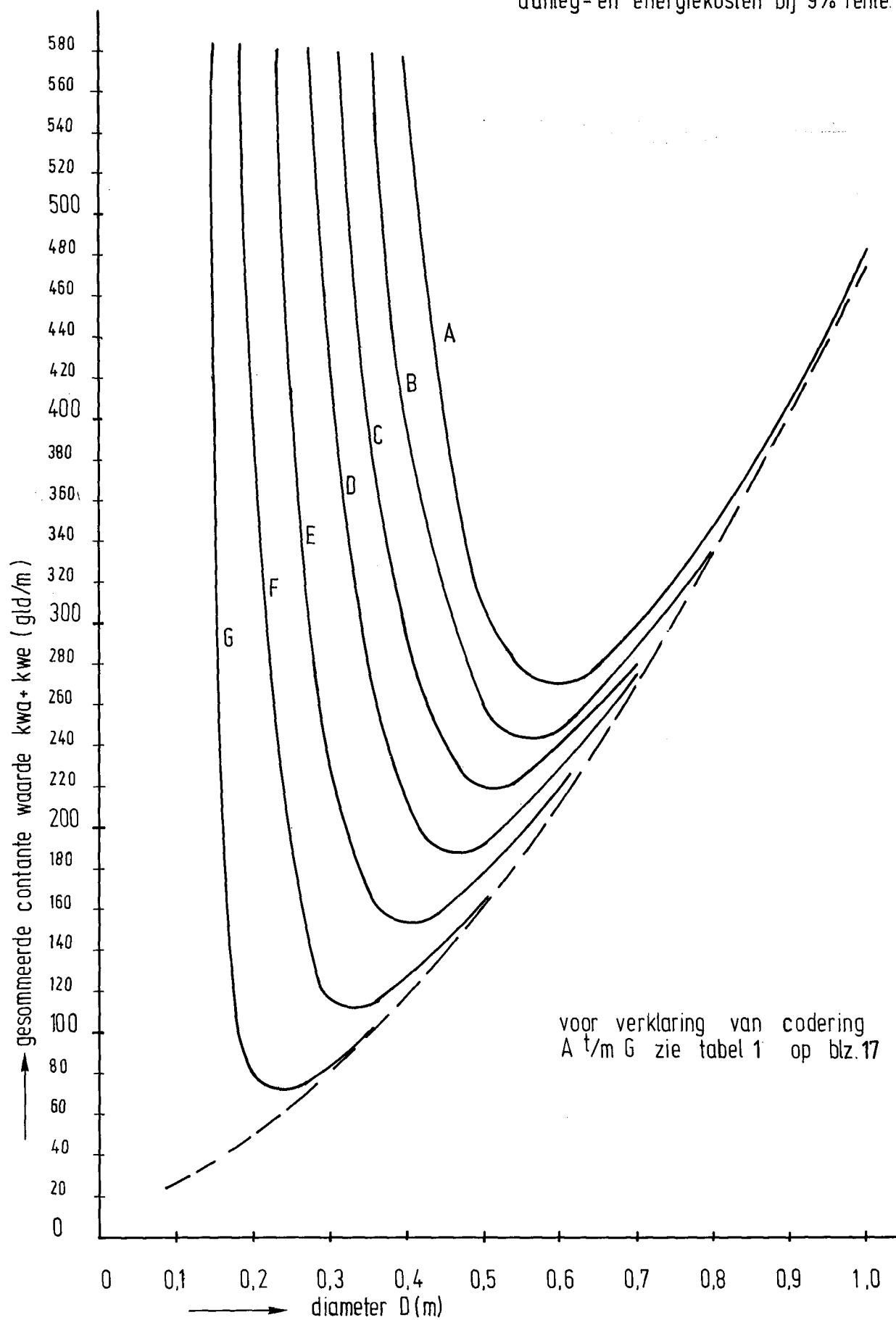


figuur 6

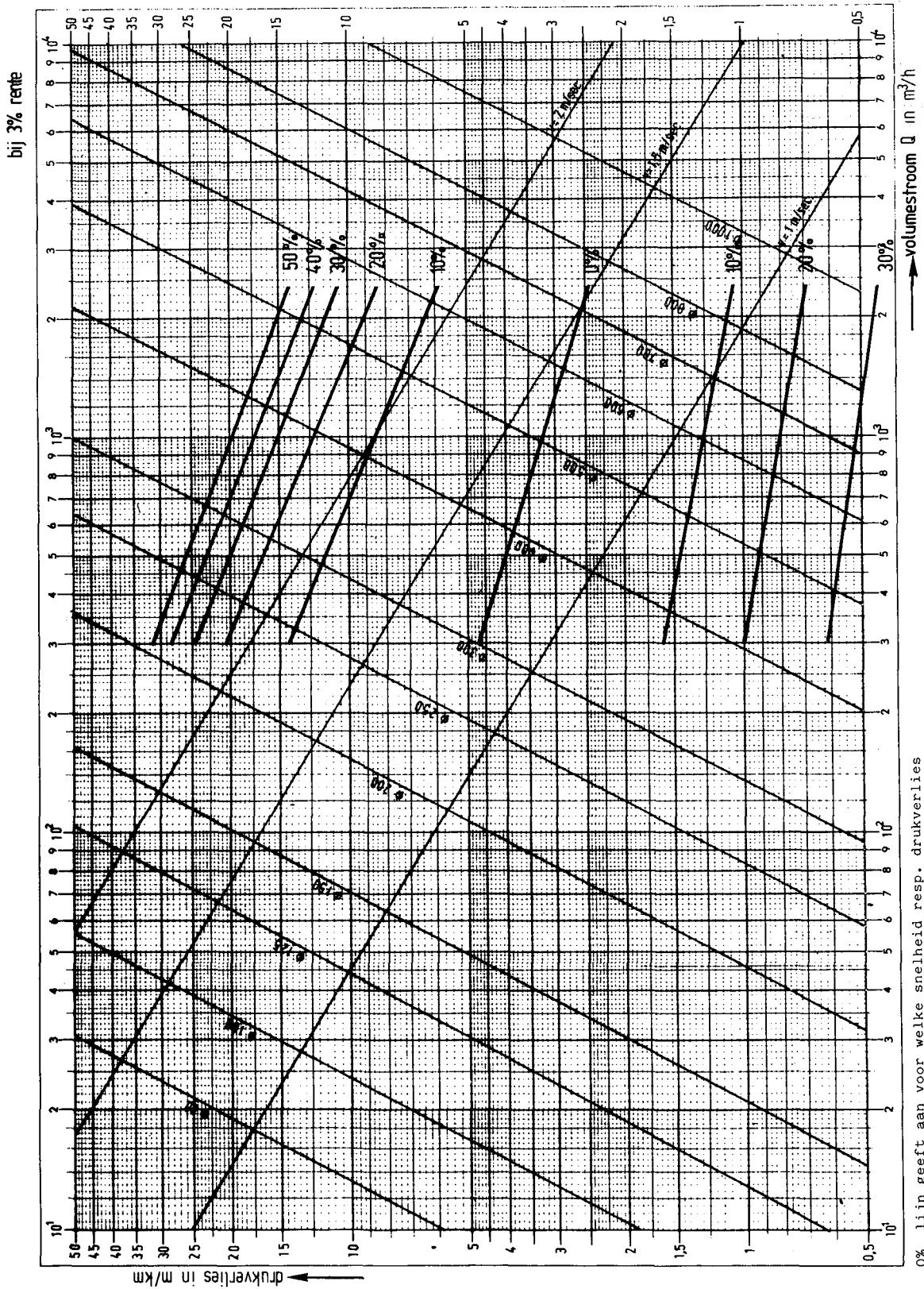


figuur 7

gesommeerde contante waarde van  
aanleg- en energiekosten bij 9% rente.



figuur 8



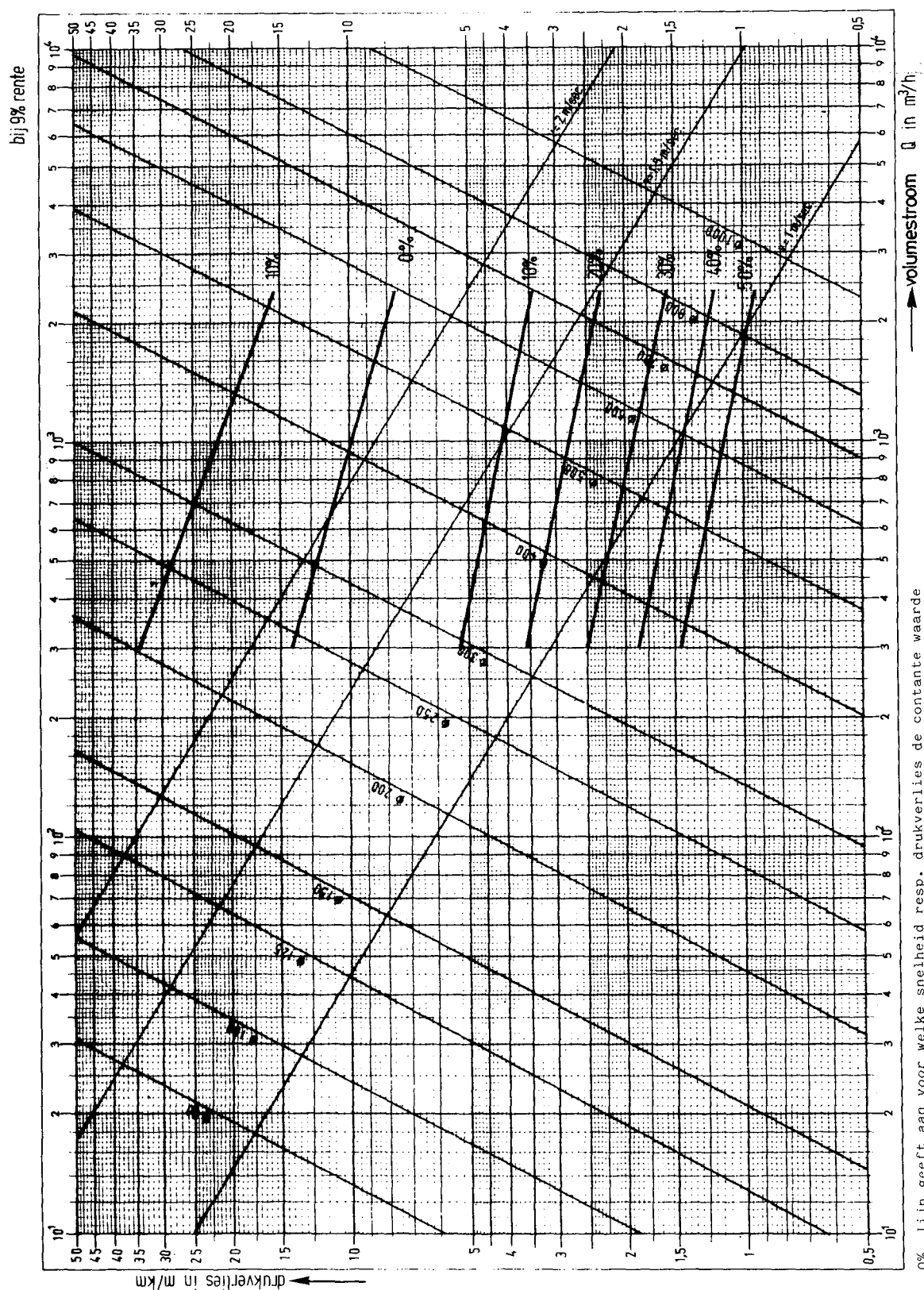
0% lijn geeft aan voor welke snelheid resp. drukverlies de contante waarde van investering en energiekosten minimum is

10% lijn geeft aan voor welke snelheid resp. drukverlies de contante waarde van investering en energiekosten 10% hoger is dan het minimum

20% lijn idem

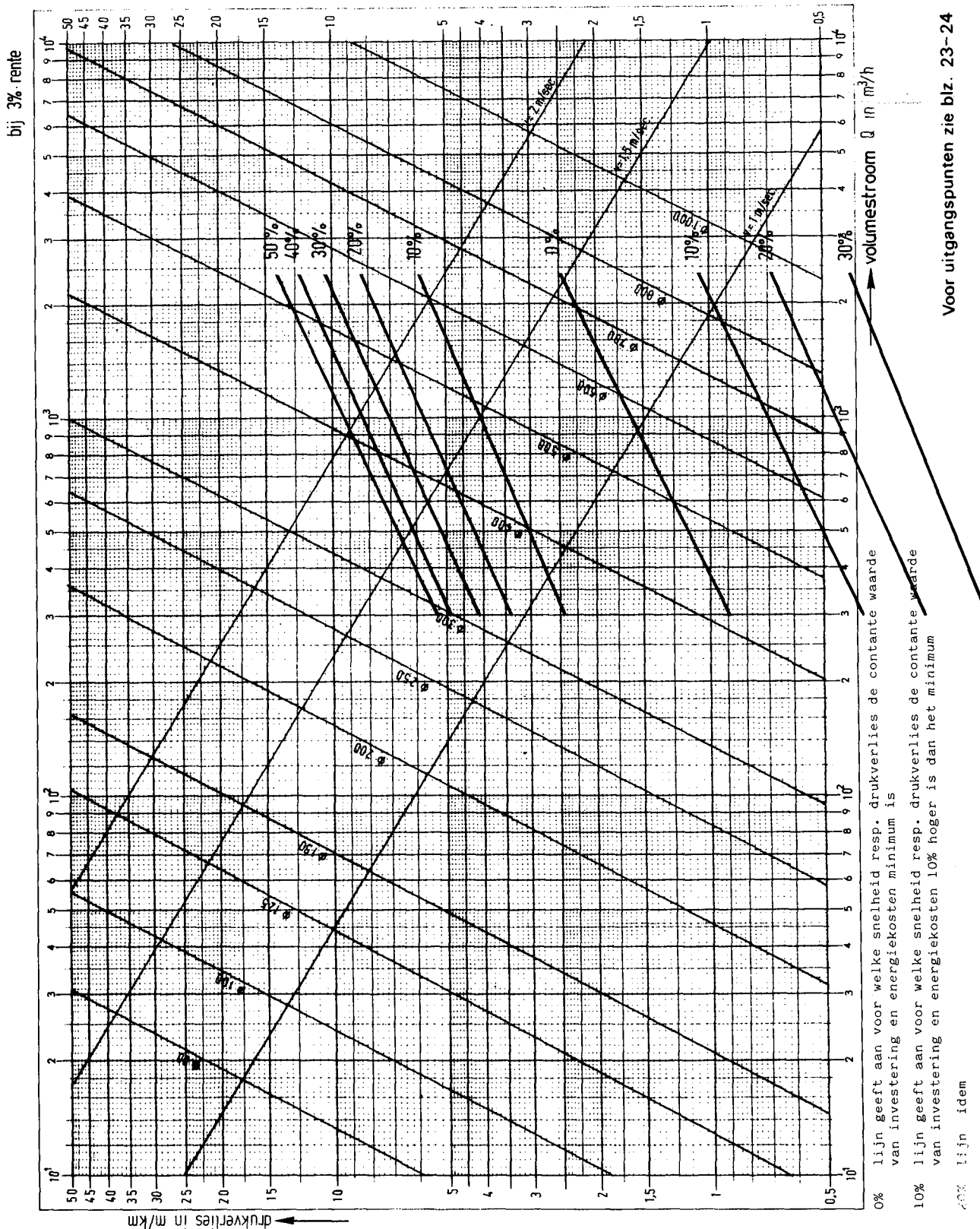
Voor uitgangspunten zie blz. 23-24

figuur 9



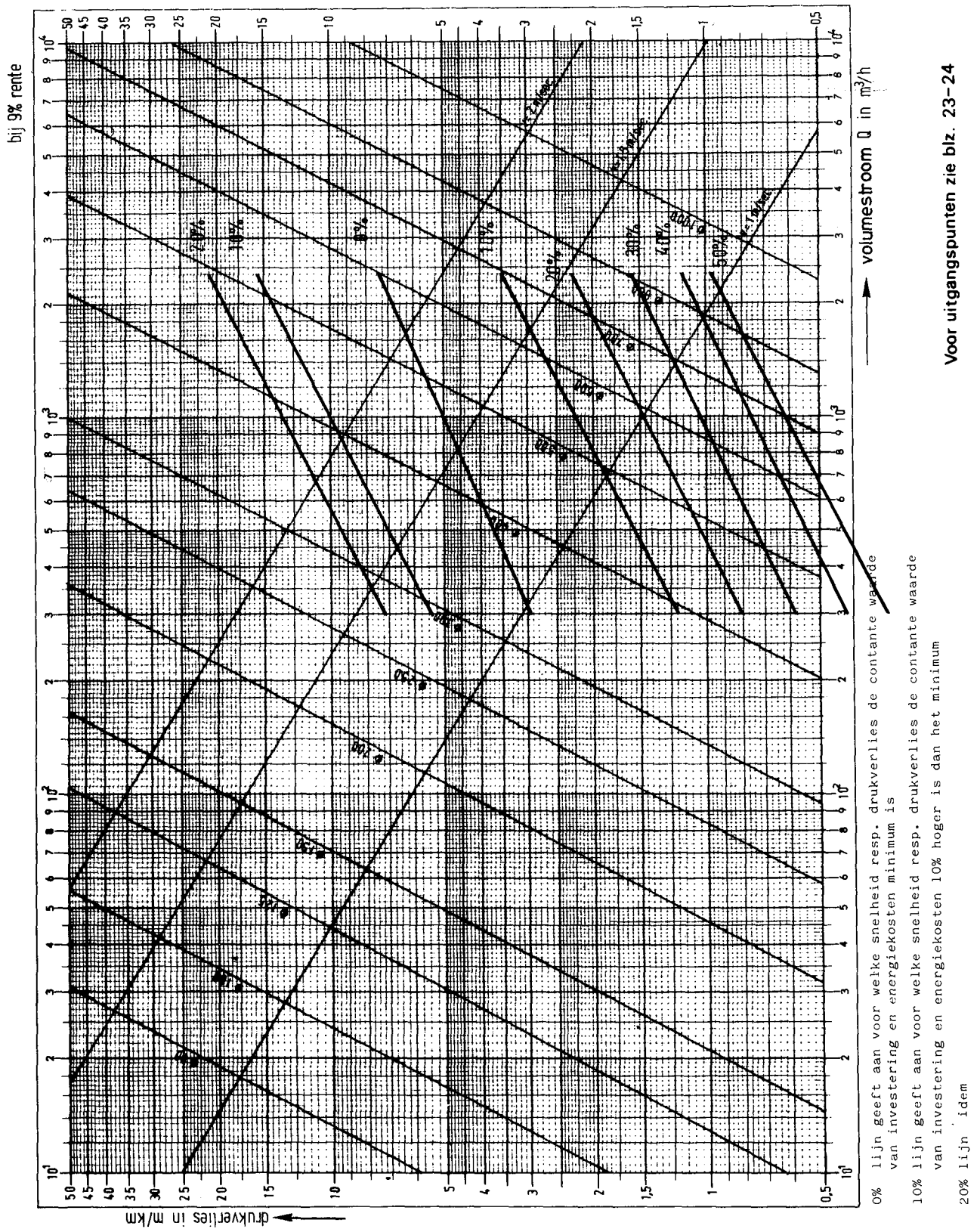
figuur 10

Voor uitgangspunten zie blz. 23-24



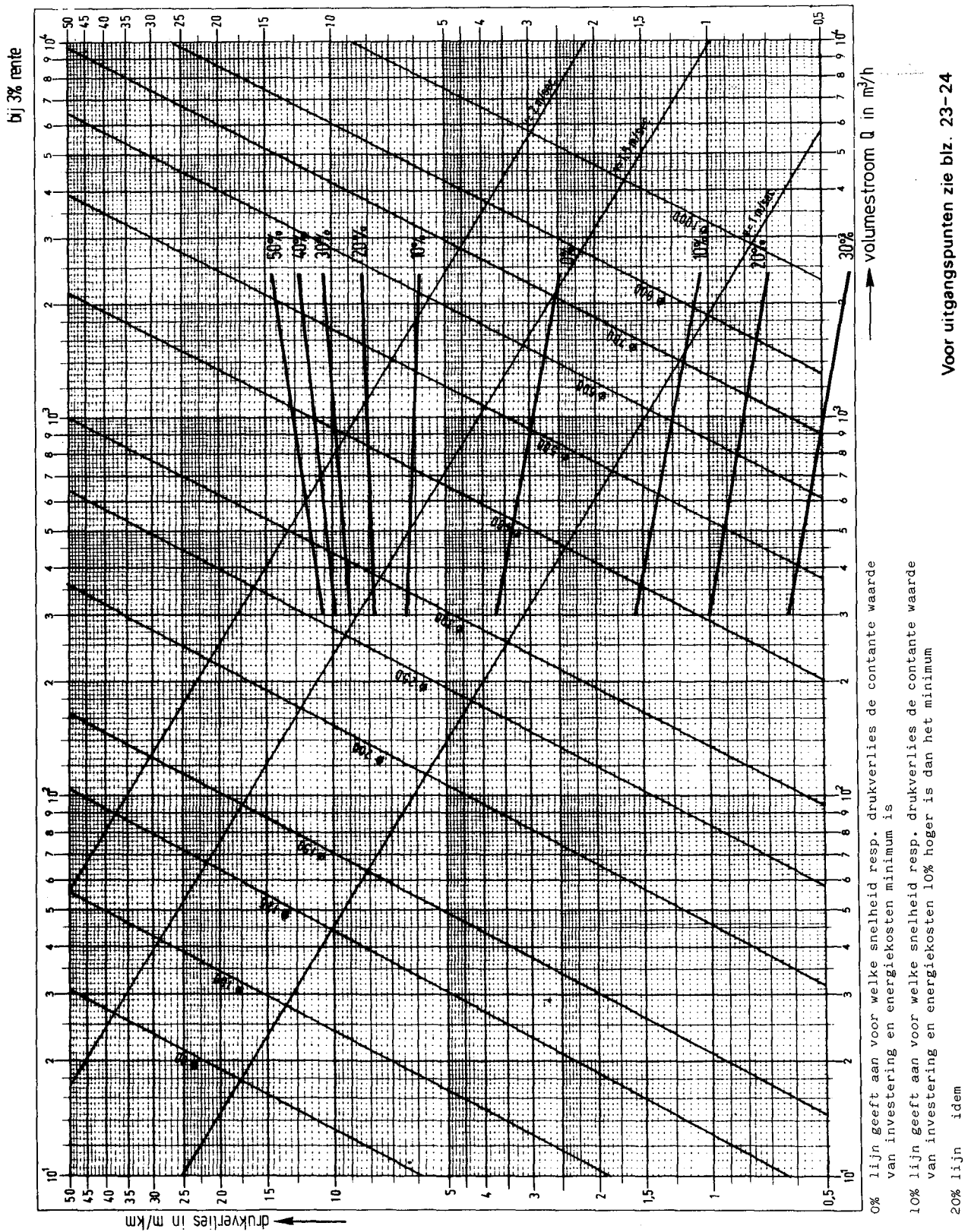
Voor uitgangspunten zie blz. 23-24

figuur 13



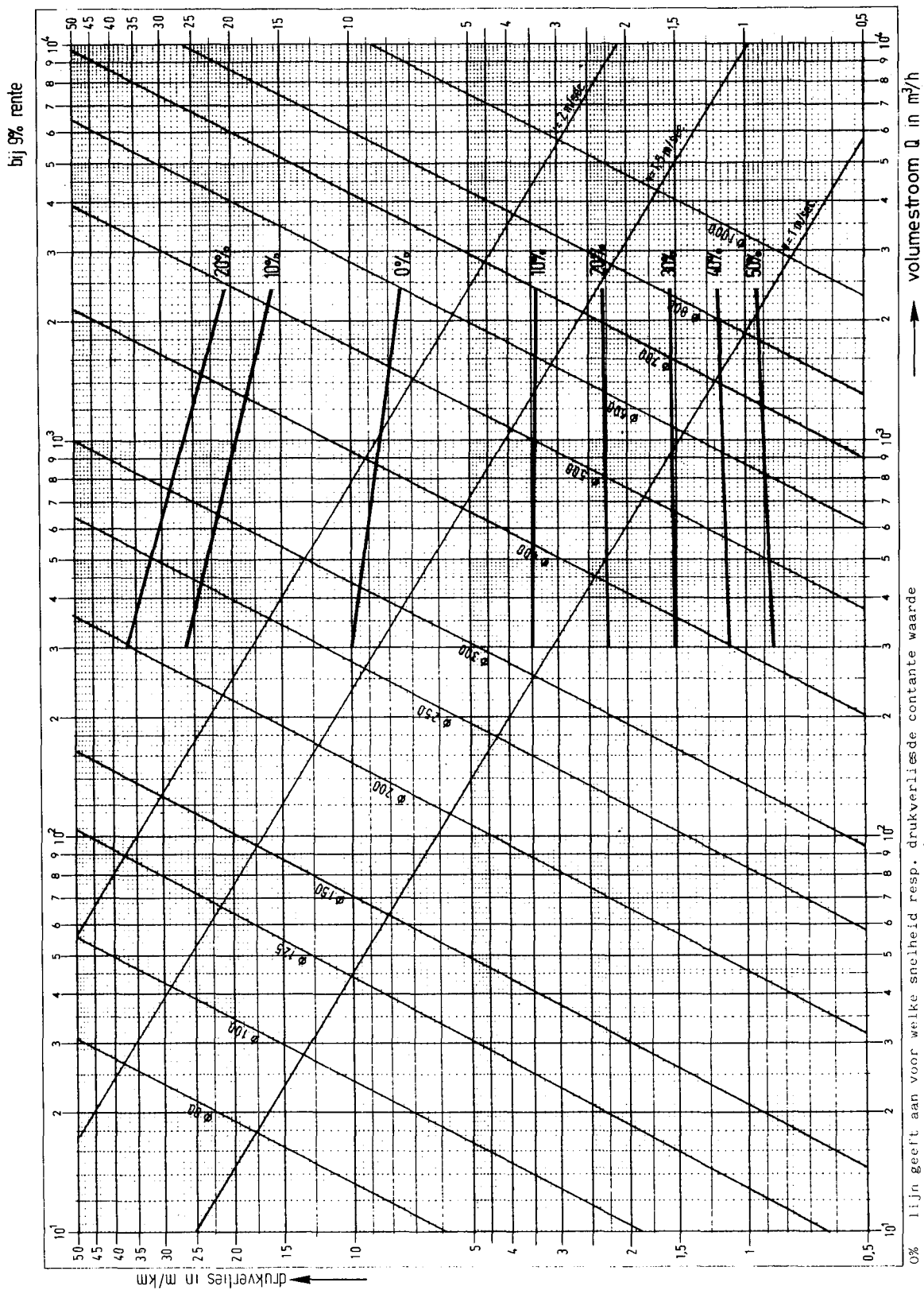
figuur 14

Voor uitgangspunten zie blz. 23-24



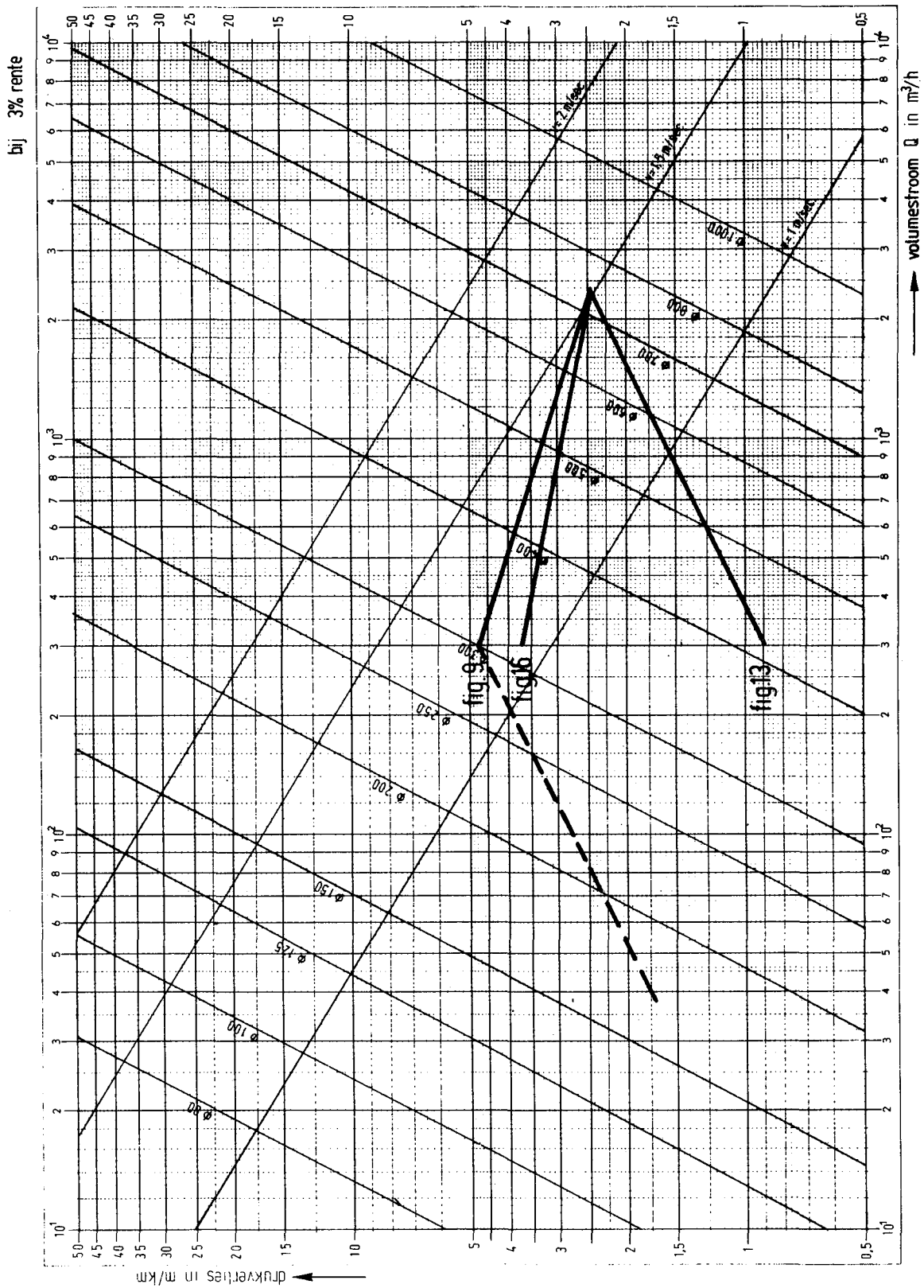
Voor uitgangspunten zie blz. 23-24

figuur 16

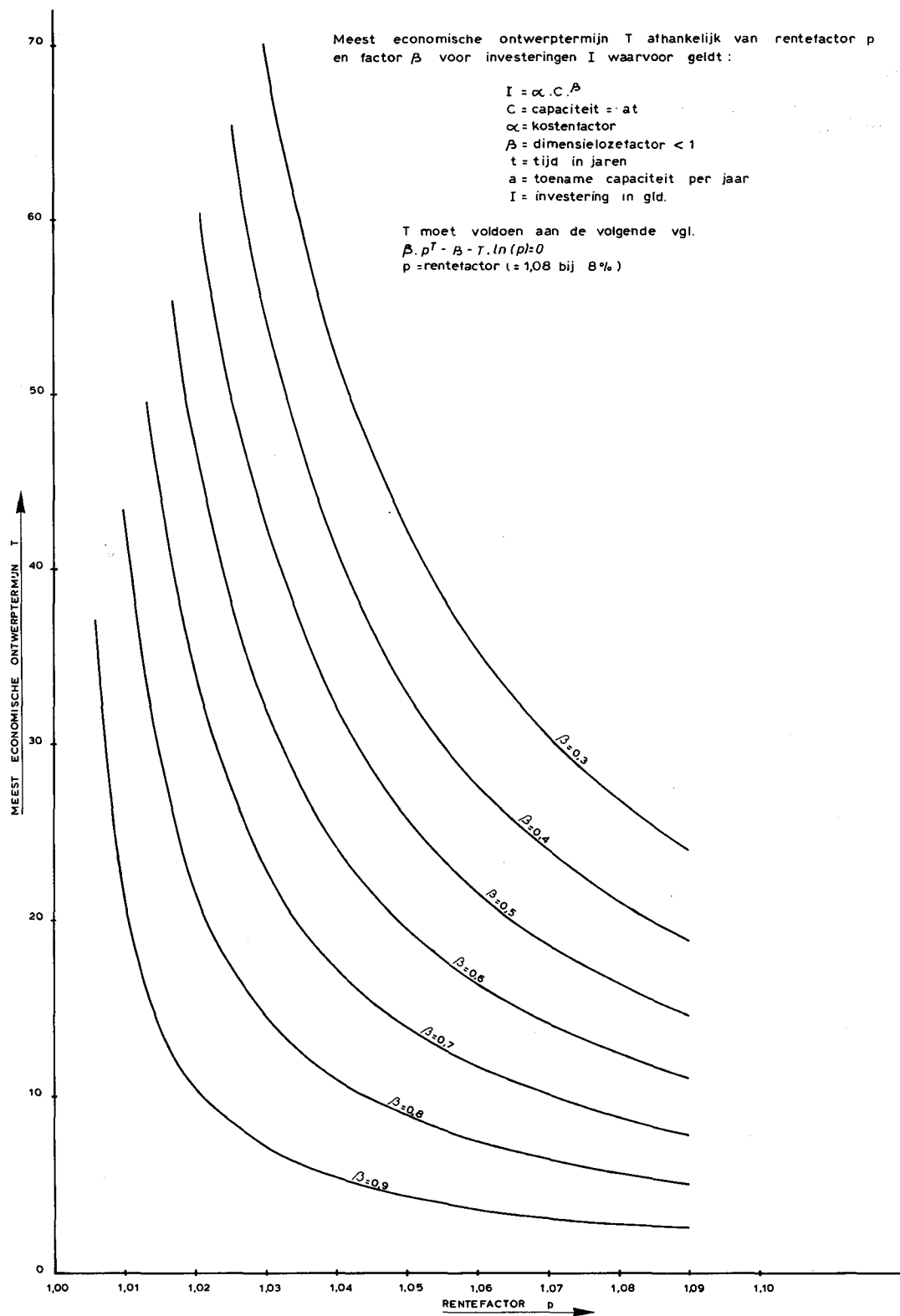


figuur 17

Voor uitgangspunten zie blz. 23-24



figuur 18

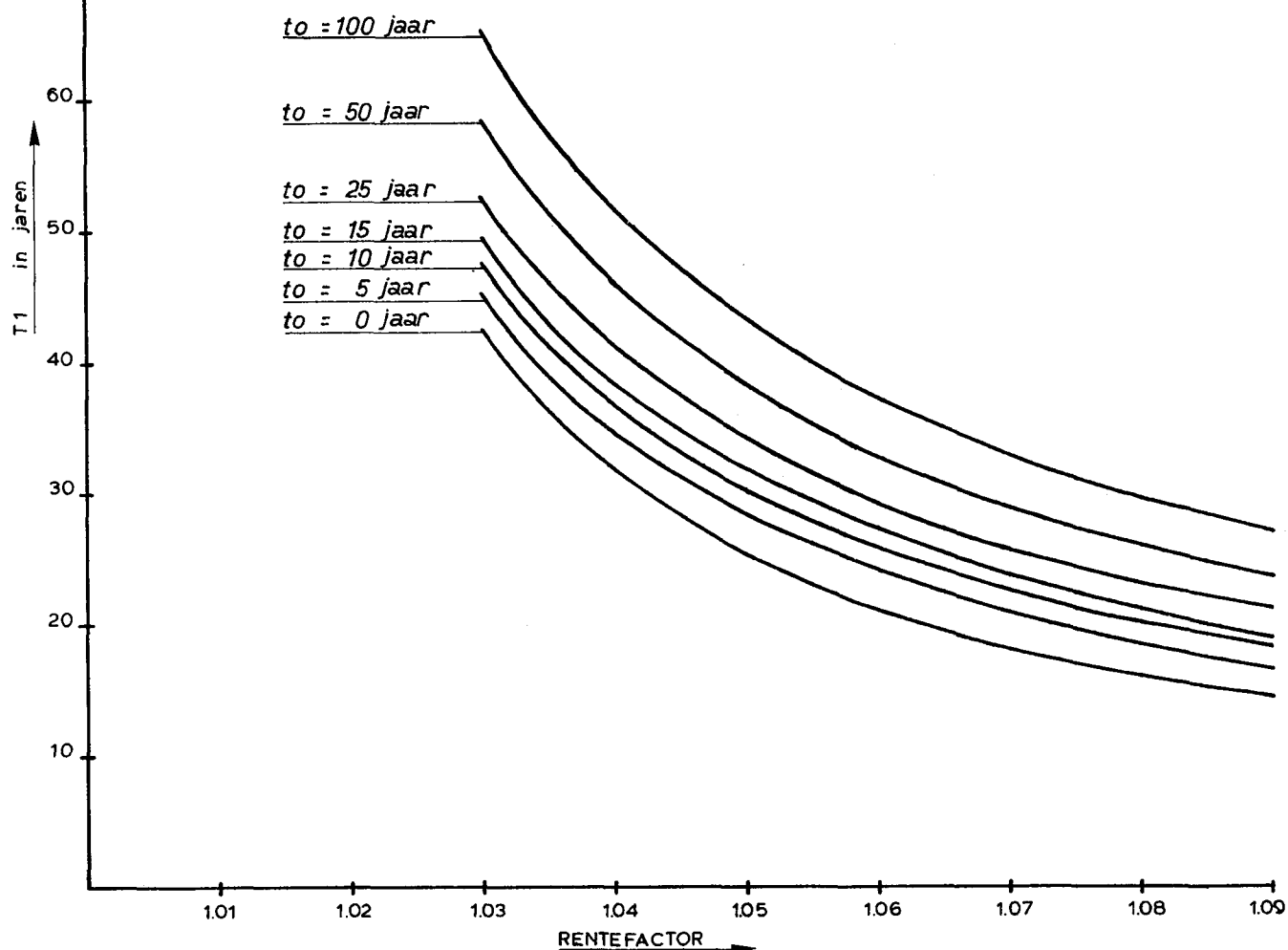
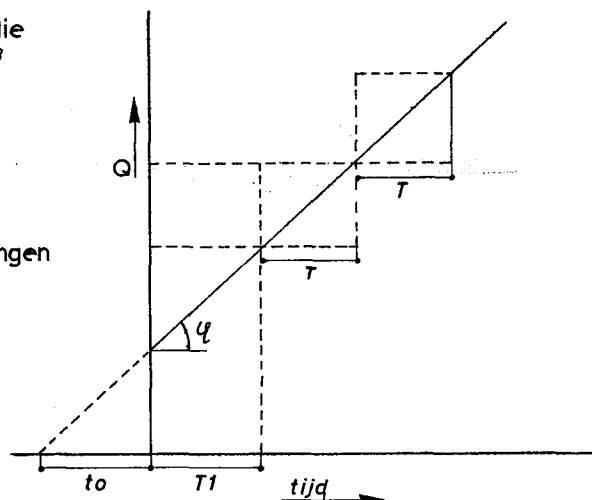


figuur 20

$B = 0.5$

Ontwerptermijn voor investeringen die voldoen aan de vergelijking  $I = \alpha C^\beta$

- $I$  = investering in guldens
- $\alpha, \beta$  = coëfficiënten
- $C$  = capaciteit
- $T_1$  = ontwerptermijn 1<sup>e</sup> investering
- $T$  = ontwerptermijn volgende investeringen
- $T = T_1$  voor  $t_0 = 0$

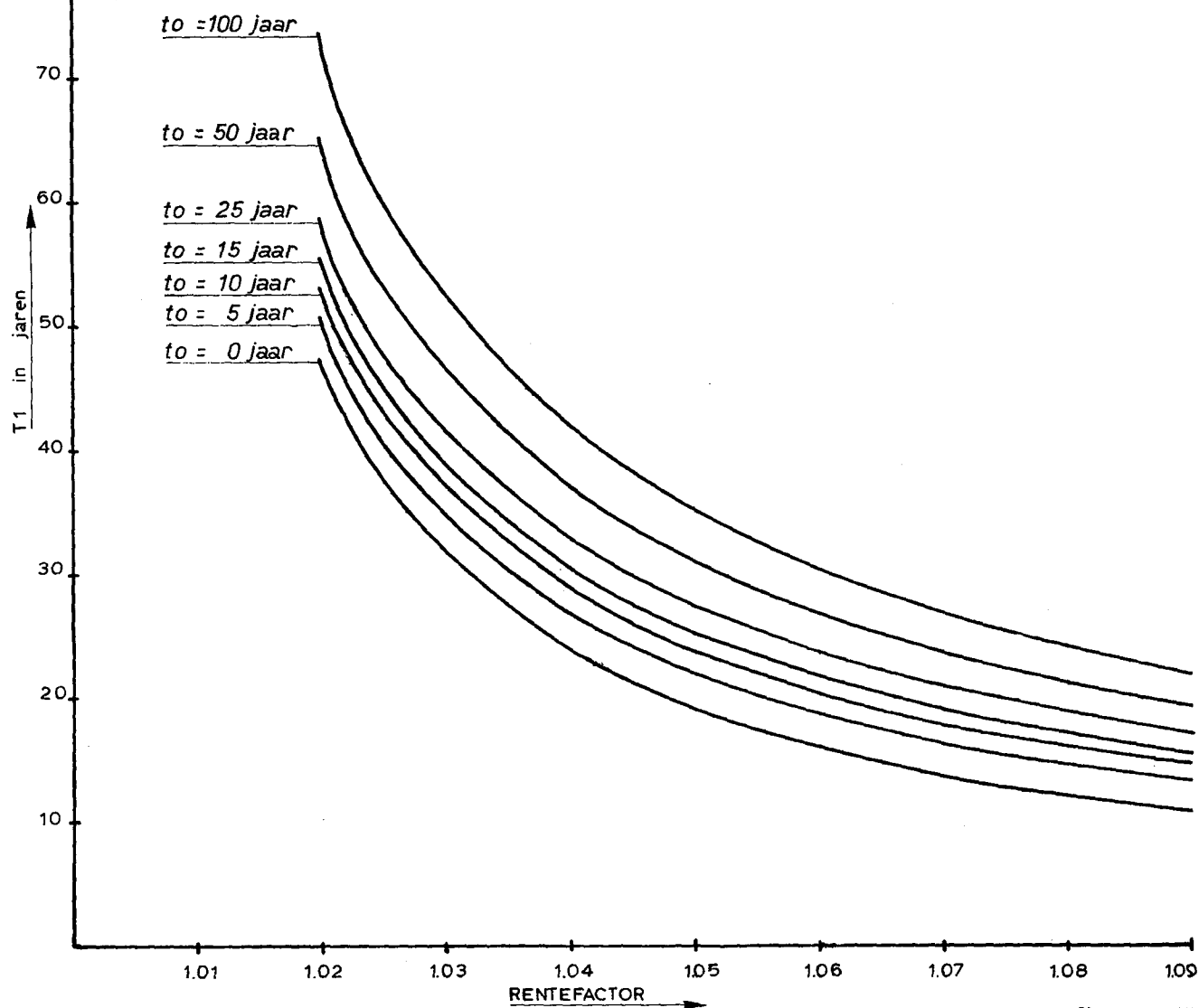
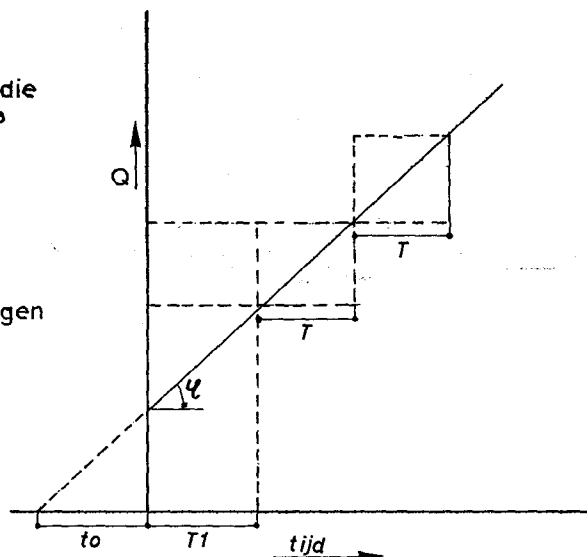


figuur 22

$B = 0,6$

Ontwerptermijnen voor investeringen die voldoen aan de vergelijking  $I = \alpha C^B$

- $I$  = investering in guldens
- $\alpha, \beta$  = coëfficiënten
- $C$  = capaciteit
- $T_1$  = ontwerptermijn 1<sup>e</sup> investering
- $T$  = ontwerptermijn volgende investeringen
- $T = T_1$  voor  $t_0 = 0$

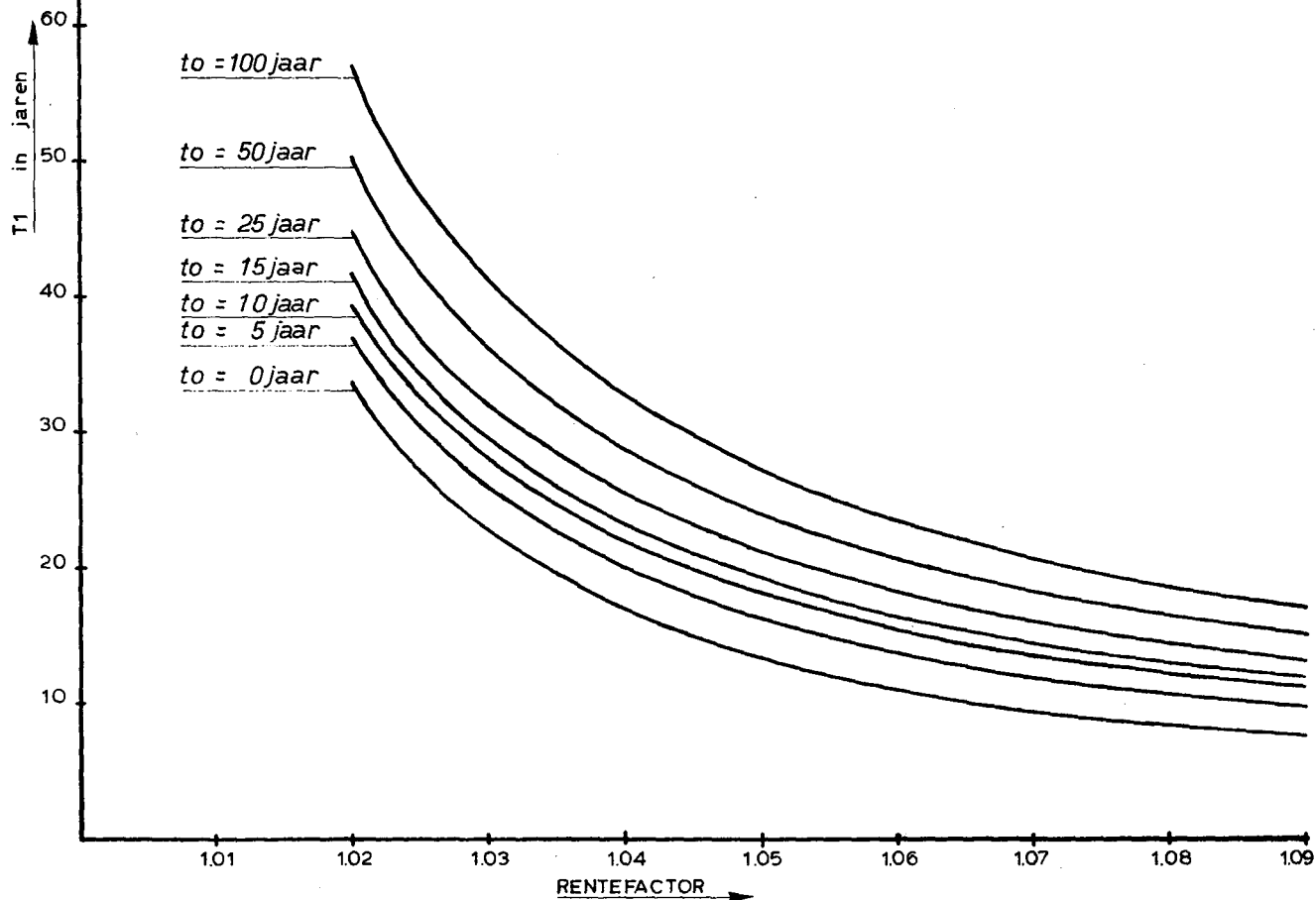
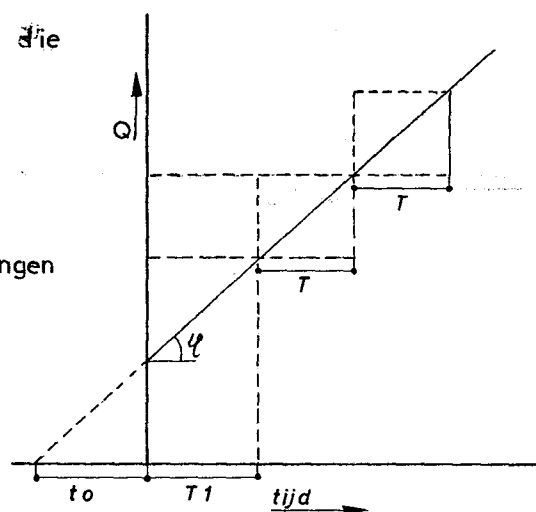


figuur 23

$B = 0,7$

Ontwerptermijnen voor investeringen die voldoen aan de vergelijking  $I = \alpha C \beta$

- $I$  = investering in guldens
- $\alpha, \beta$  = coëfficienten
- $C$  = capaciteit
- $T_1$  = ontwerptermijn 1<sup>e</sup> investering
- $T$  = ontwerptermijn volgende investeringen
- $T = T_1$  voor  $t_0 = 0$



figuur 24

$B = 0,8$

Ontwerptermijnen voor investeringen die voldoen aan de vergelijking  $I = \alpha C^\beta$

$I$  = investering in guldens

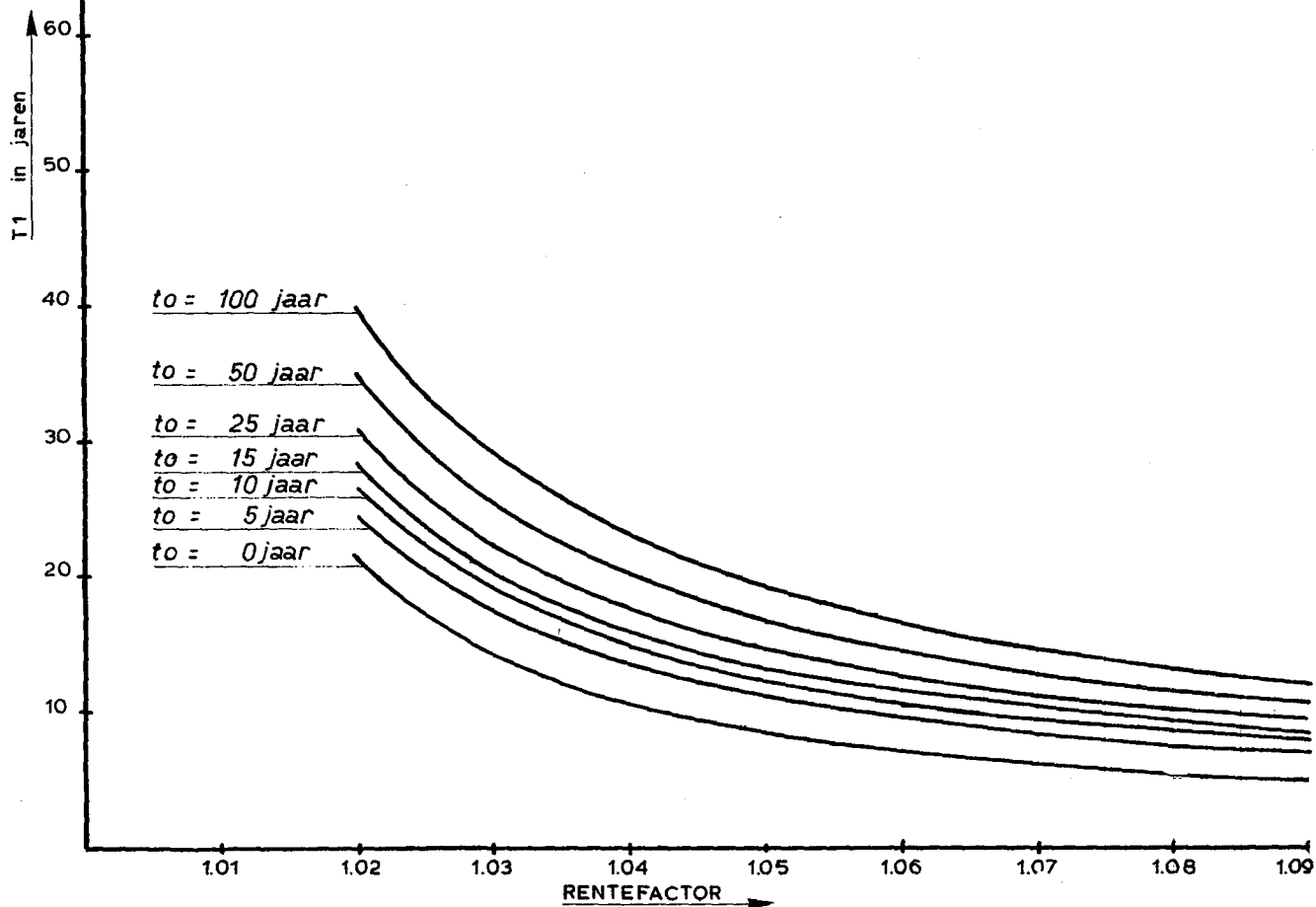
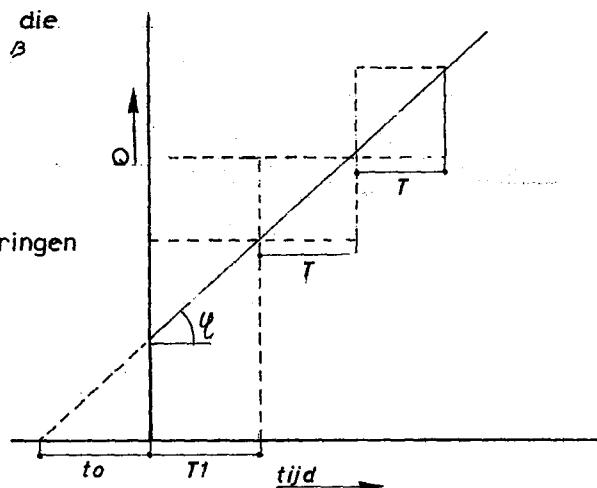
$\alpha \beta$  = coëfficiënten

$C$  = capaciteiten

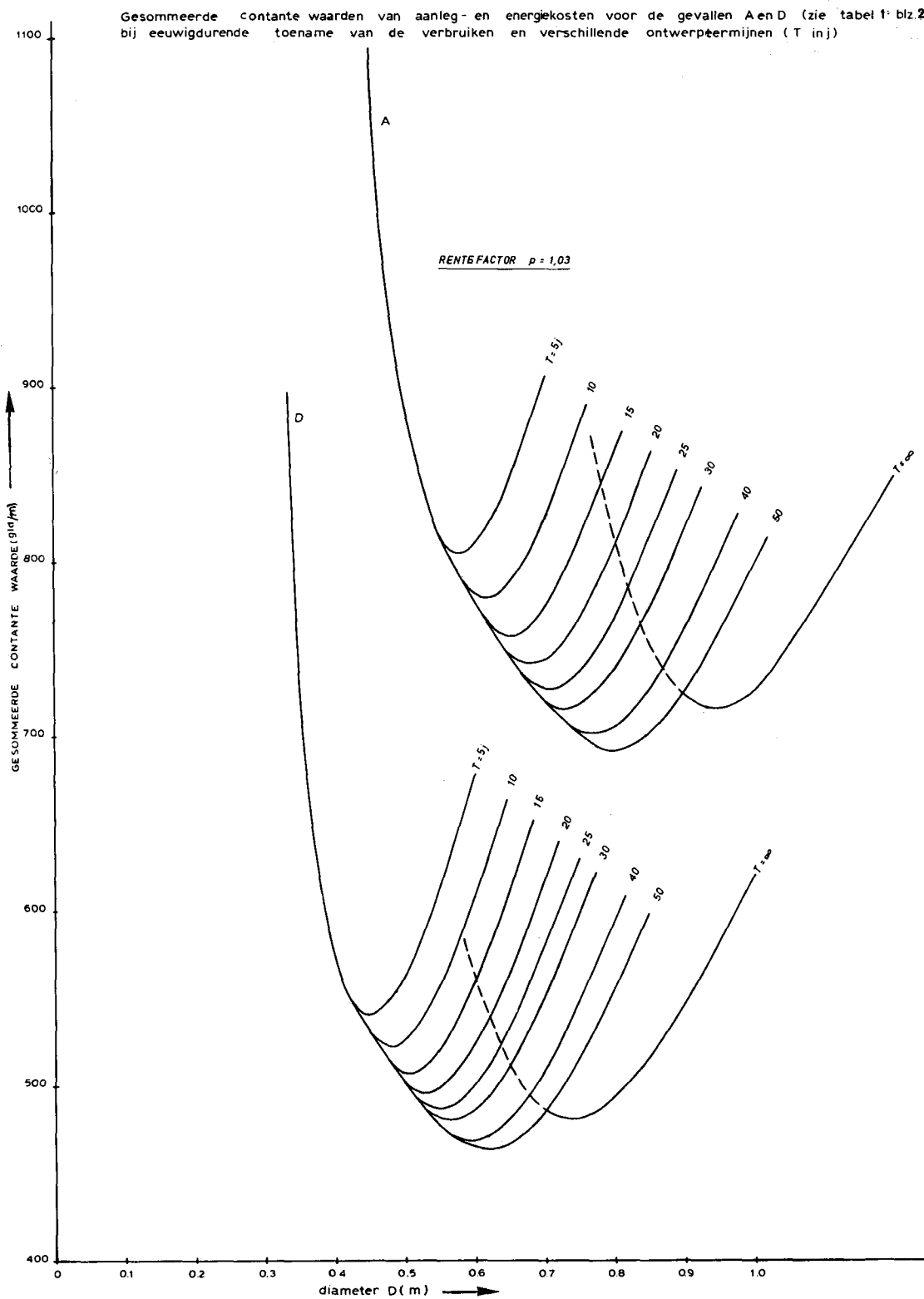
$T_1$  = ontwerptermijn 1<sup>e</sup> investering

$T$  = ontwerptermijn volgende investeringen

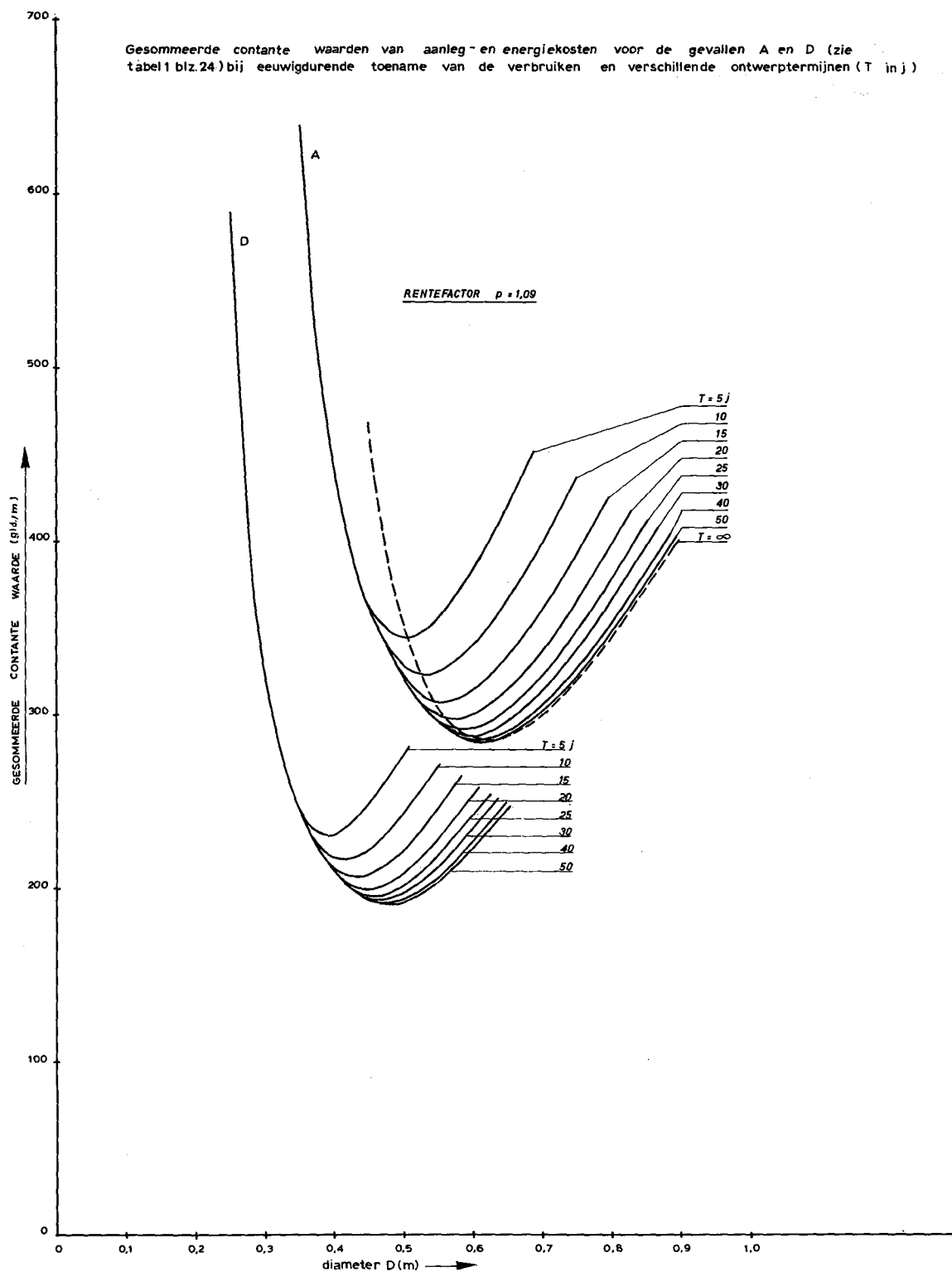
$T = T_1$  voor  $t_0 = 0$



figuur 25

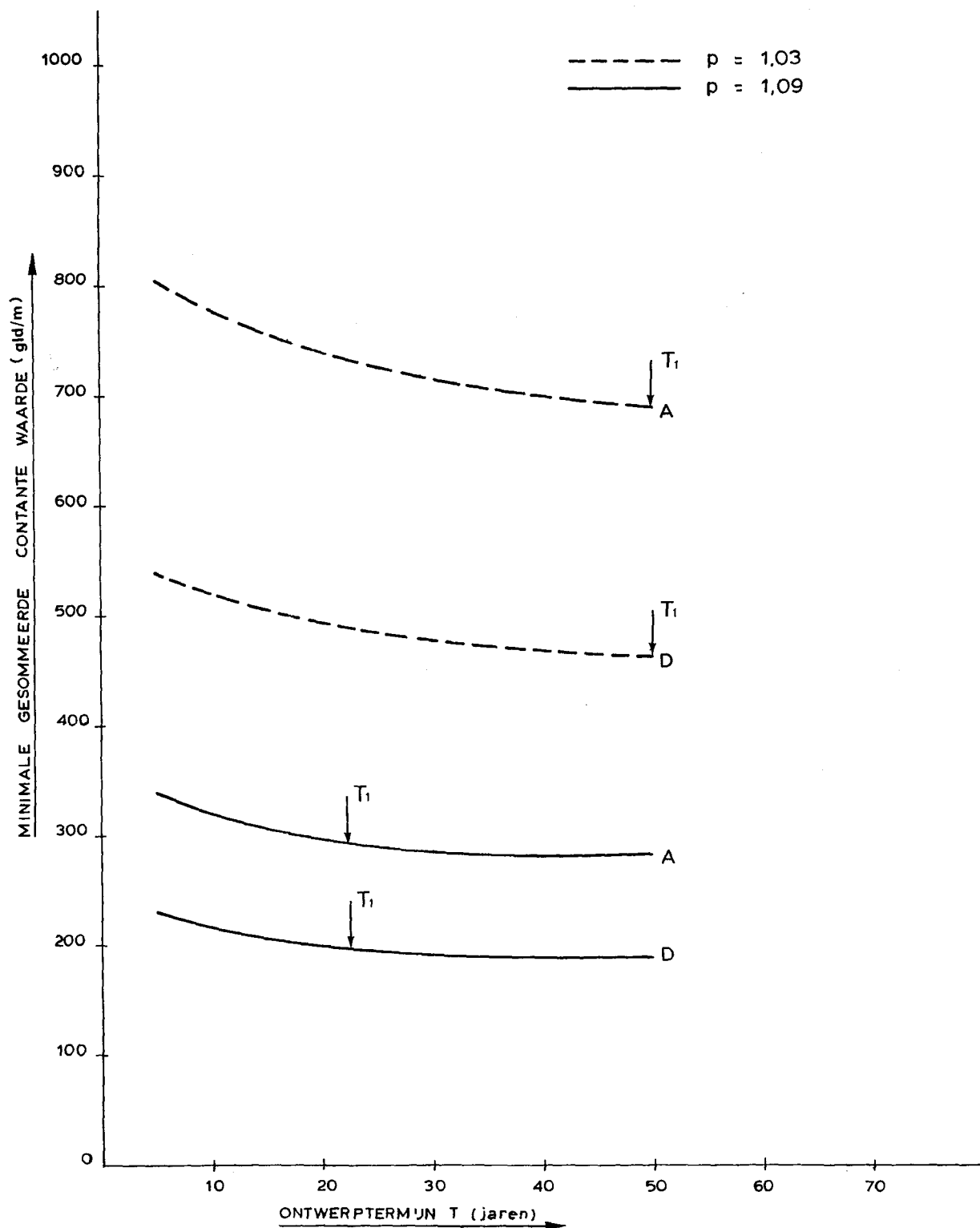


figuur 28

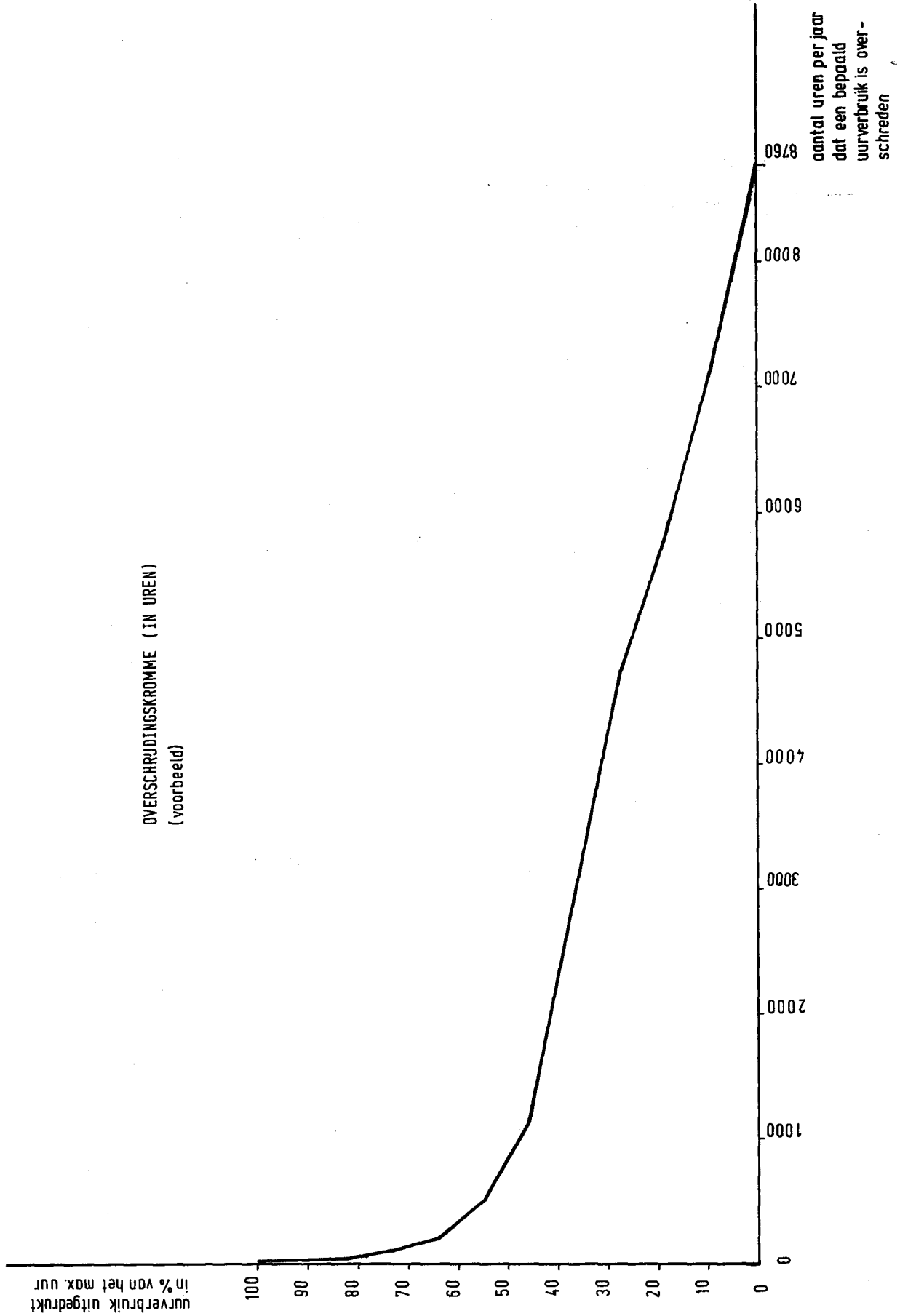


figuur 29

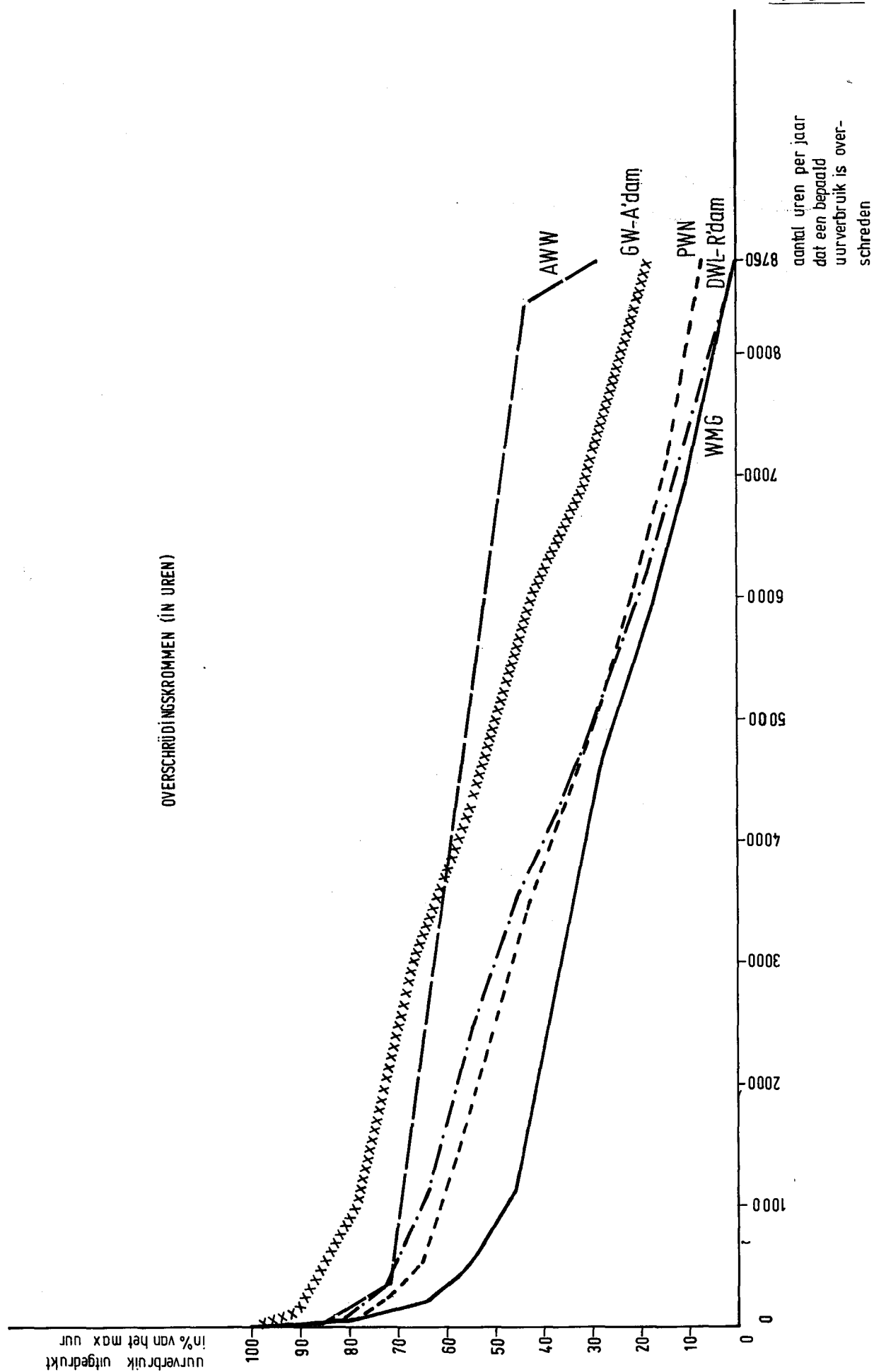
Minimale gesommeerde contante waarden volgens fig.28 en 29  
bij verschillende ontwerptermijnen



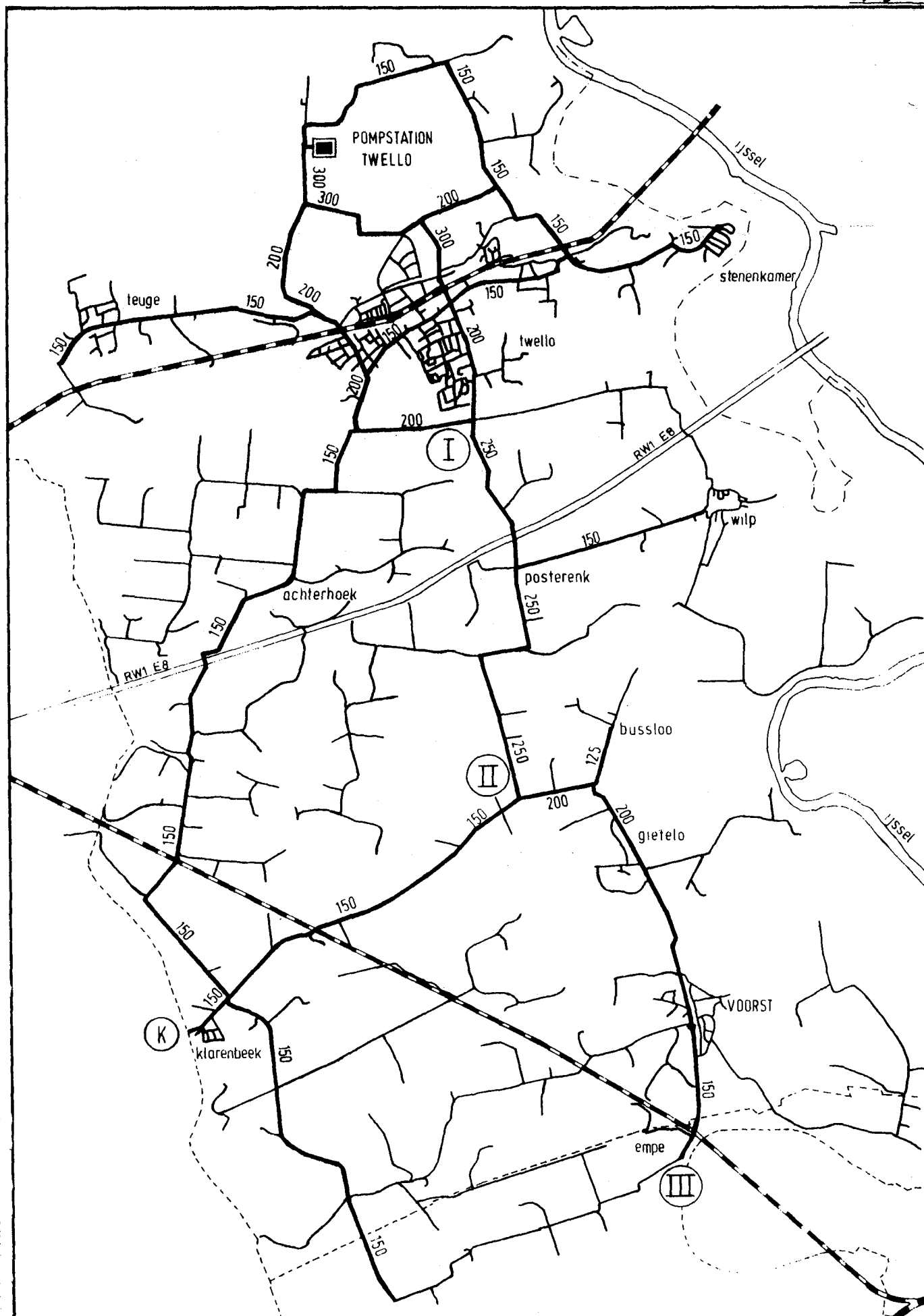
figuur 30



figuur 33



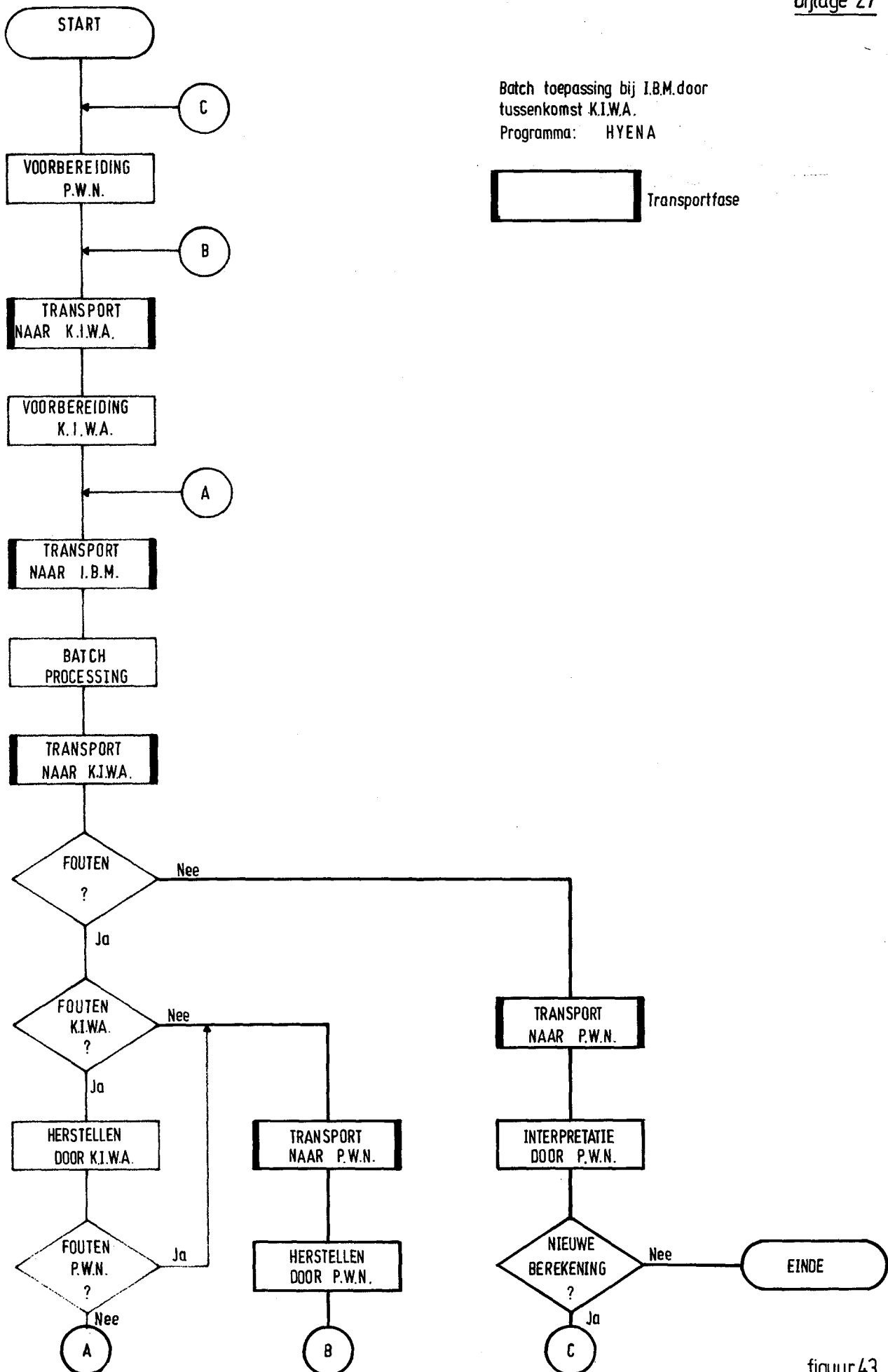
figuur 34



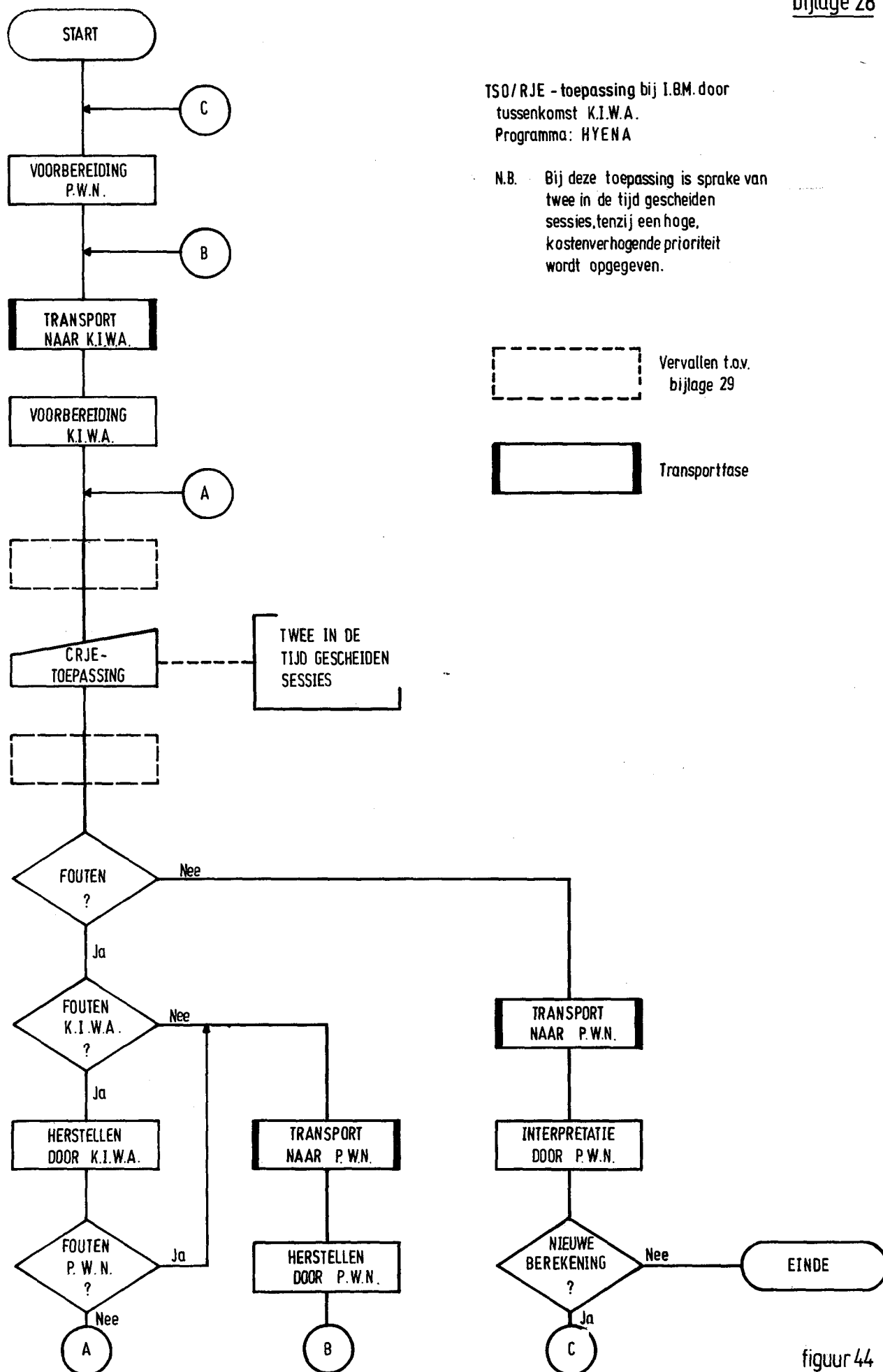
figuur 39

Batch toepassing bij I.B.M. door  
tussenkost K.I.W.A.  
Programma: HYENA

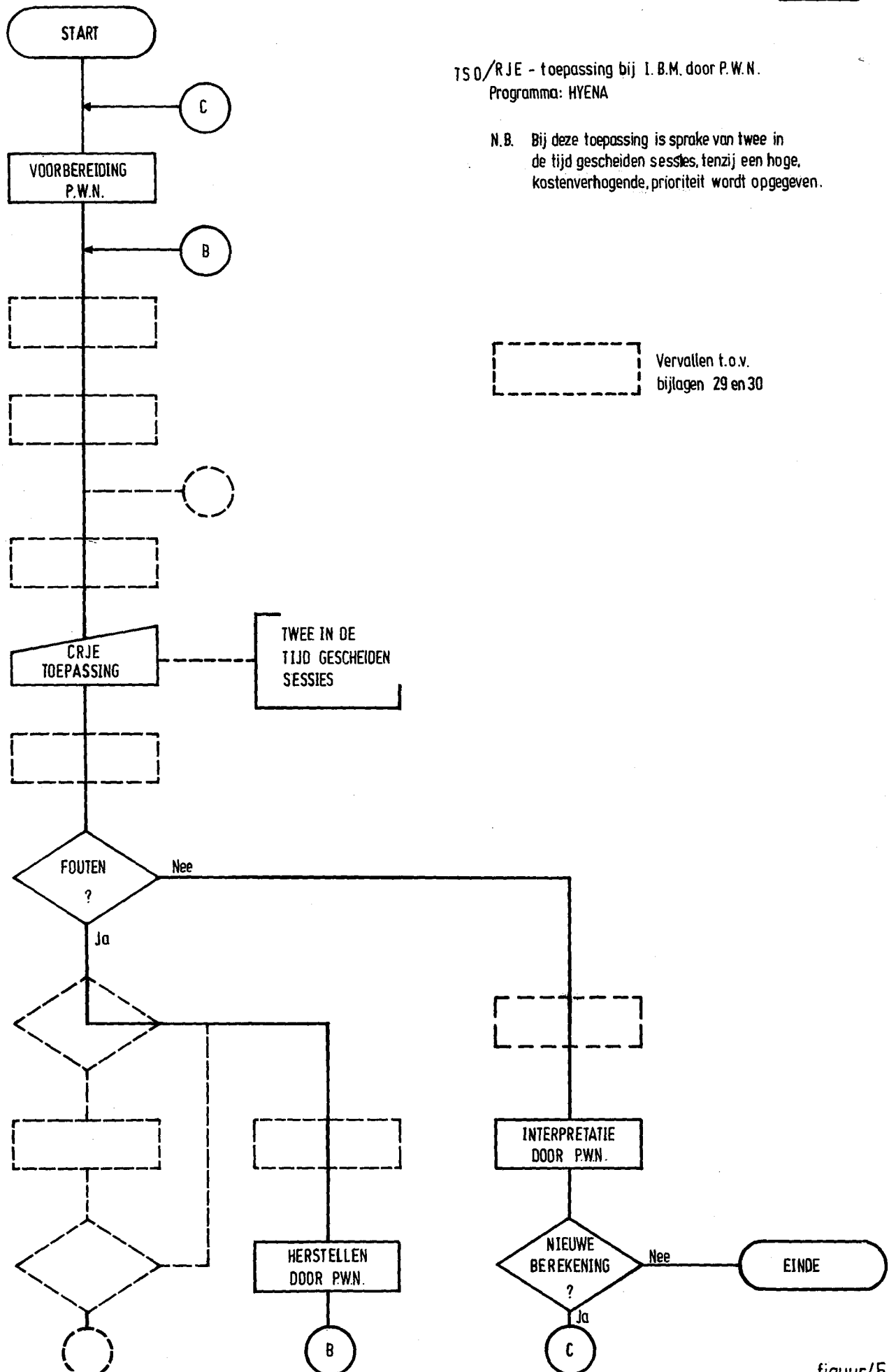
**Transportfase**

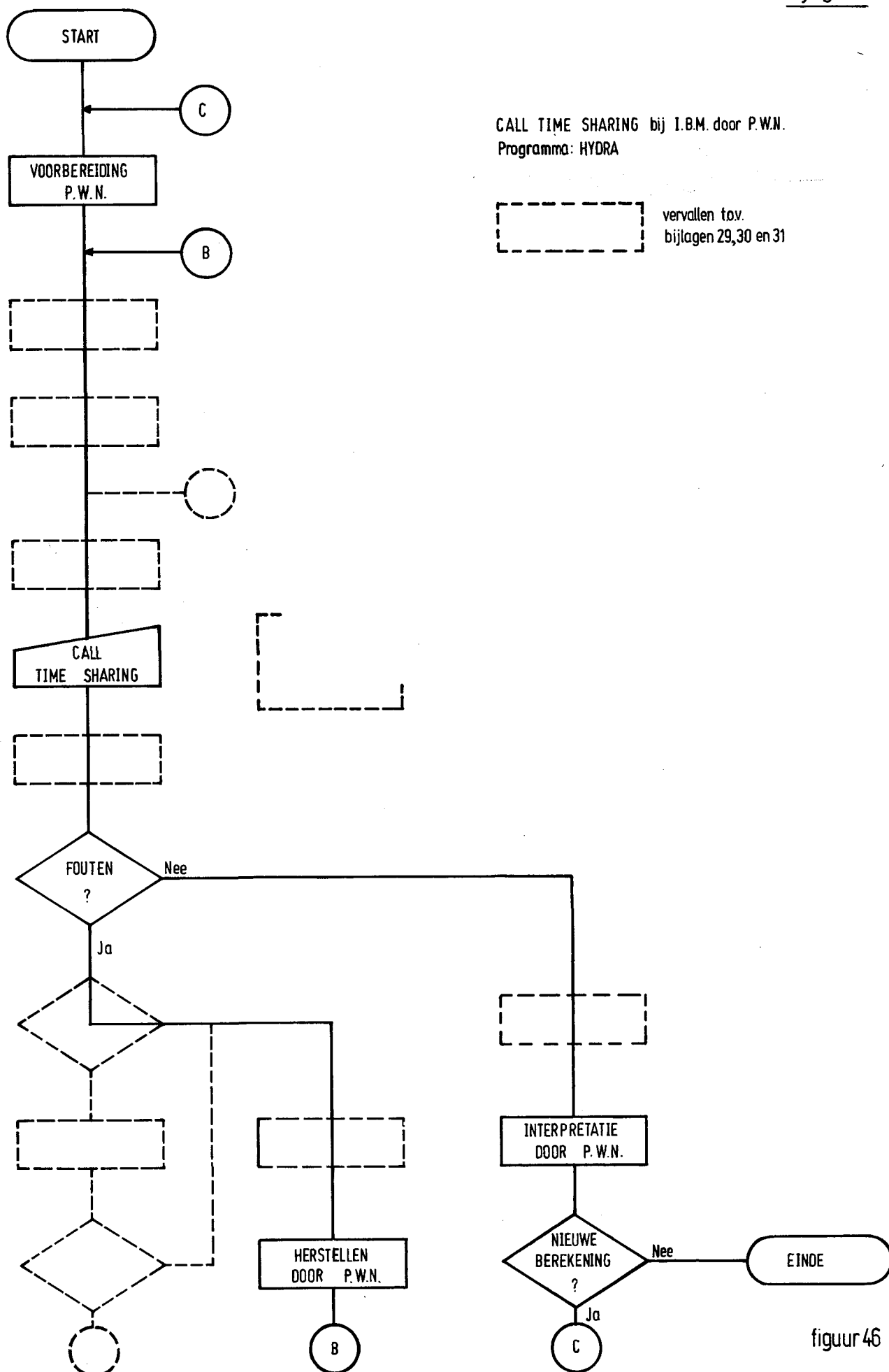


figuur 43

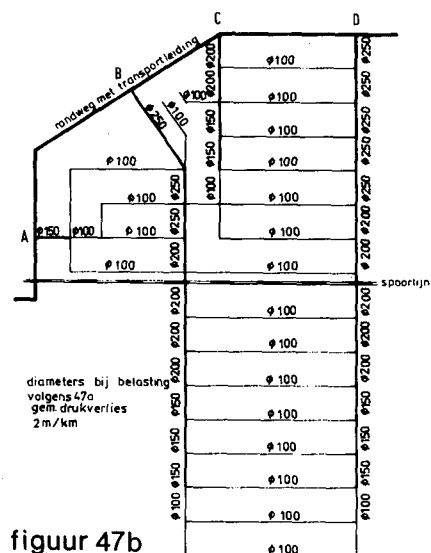
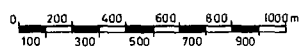
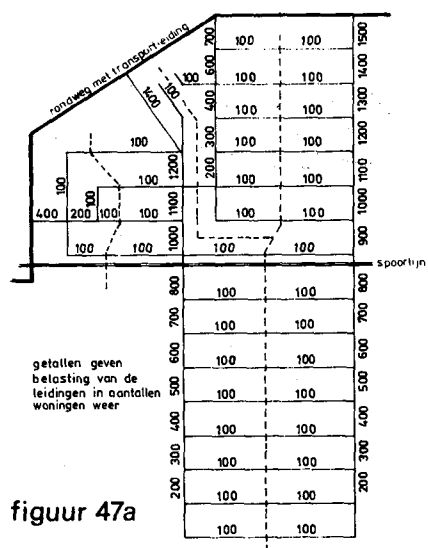
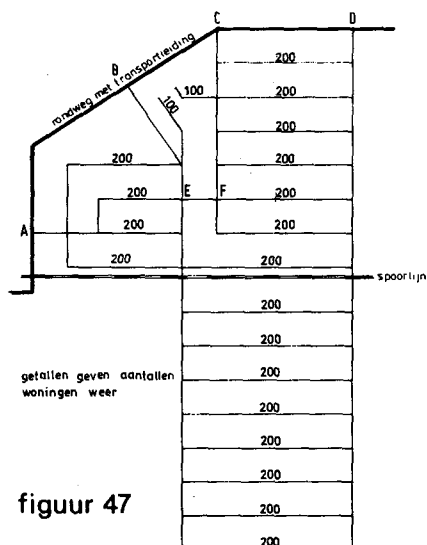


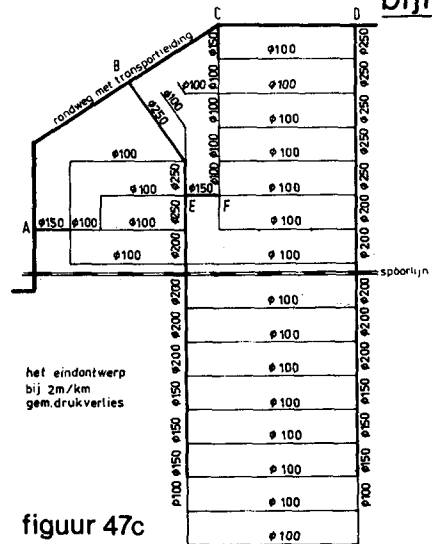
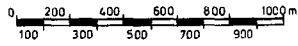
figuur 44



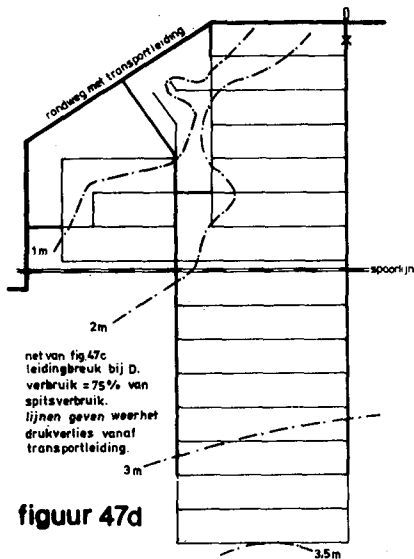


figuur 46

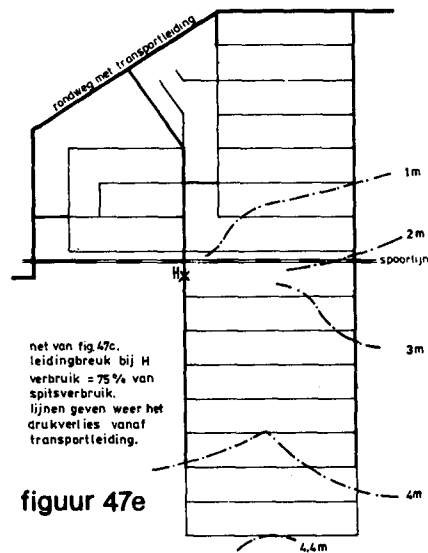




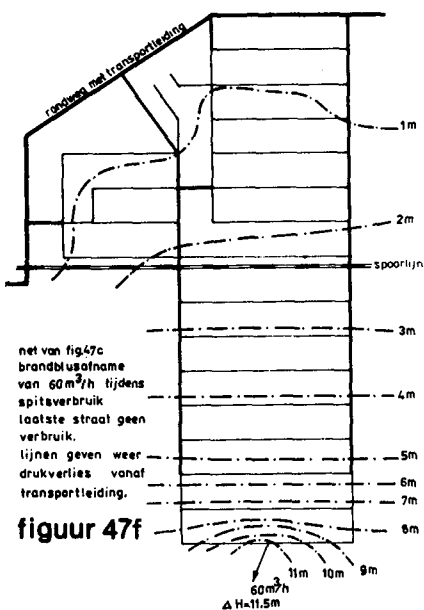
figuur 47c



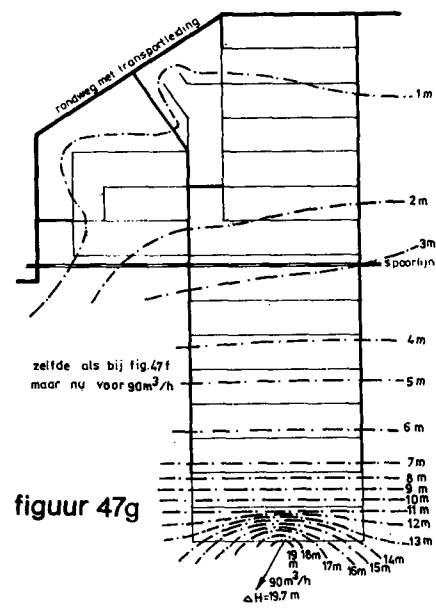
figuur 47d



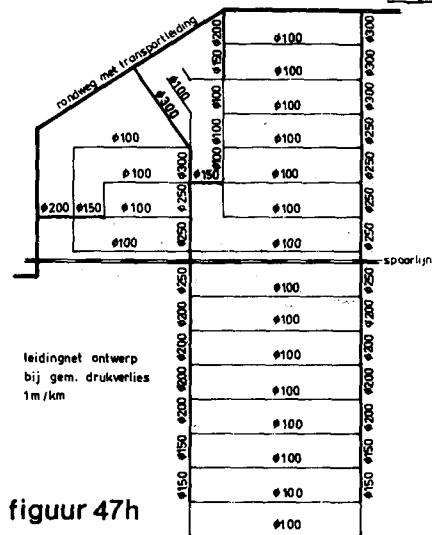
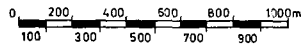
figuur 47e



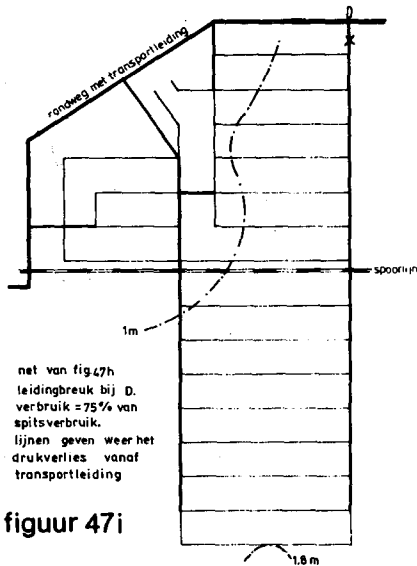
figuur 47f



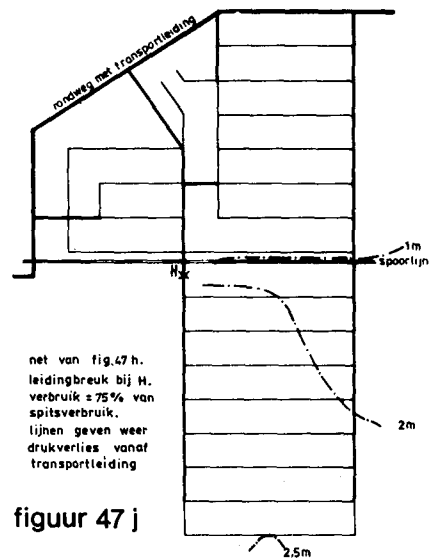
figuur 47g



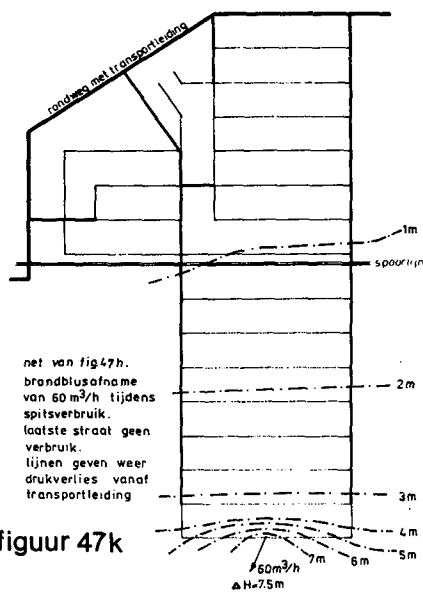
figuur 47h



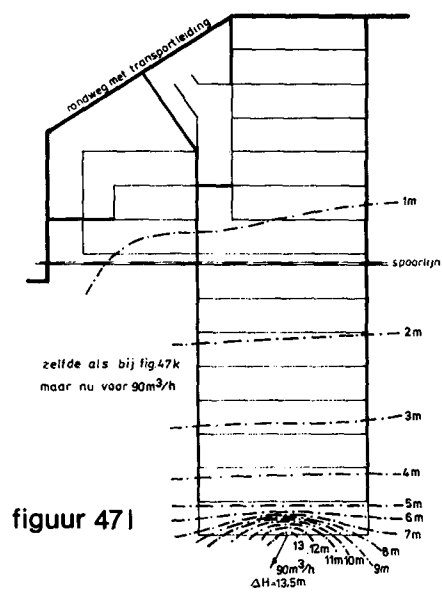
figuur 47i



figuur 47 j



figuur 47k

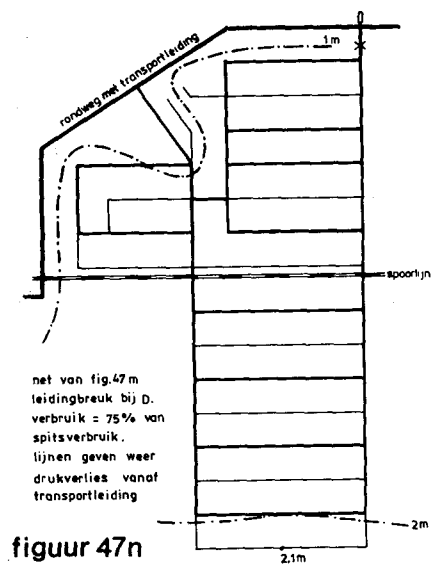


figuur 47l

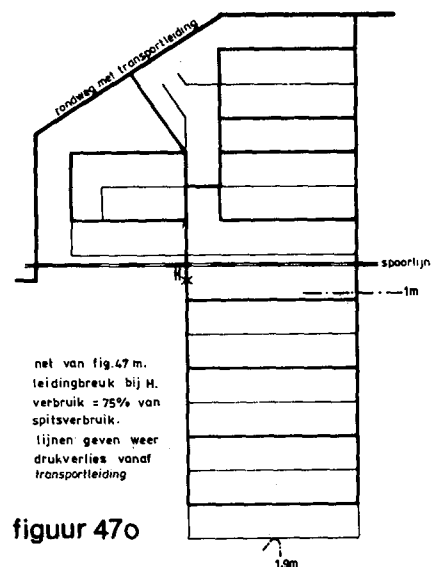
figuur 47ht/ml



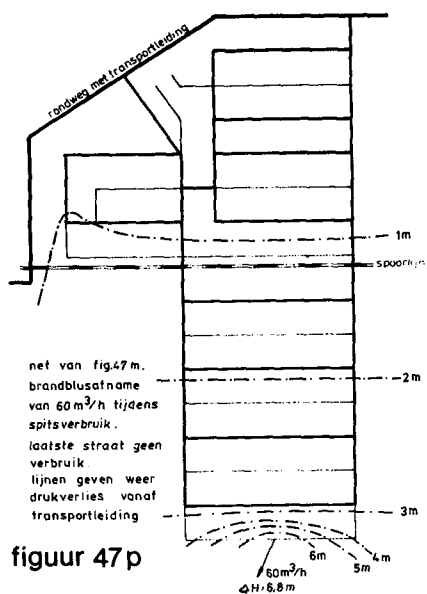
**figuur 47m**



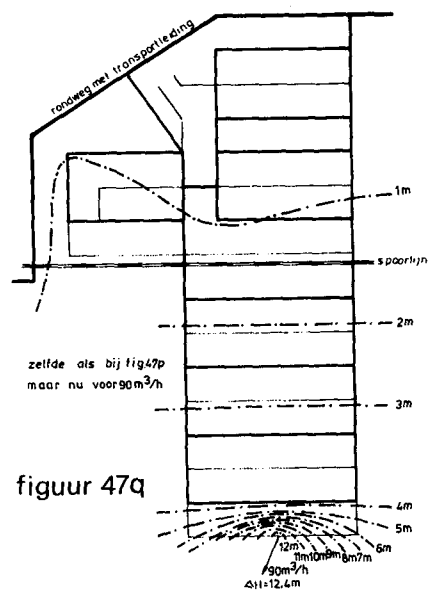
**figuur 47n**



**figuur 47o**

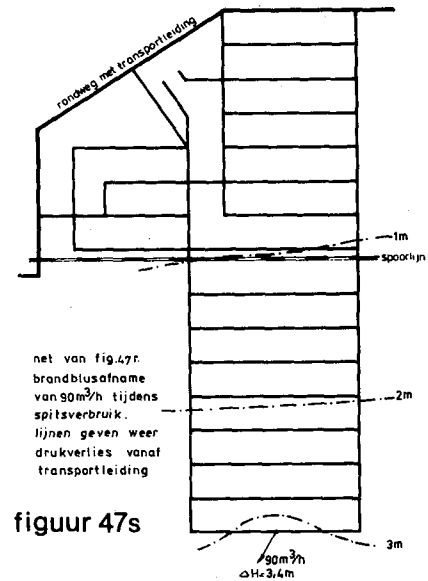
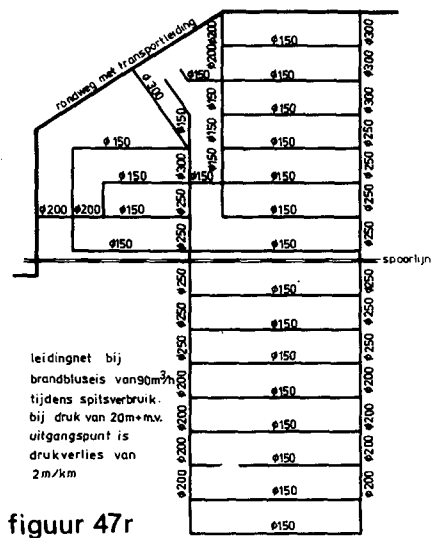
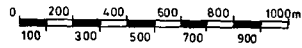


figuur 47 p

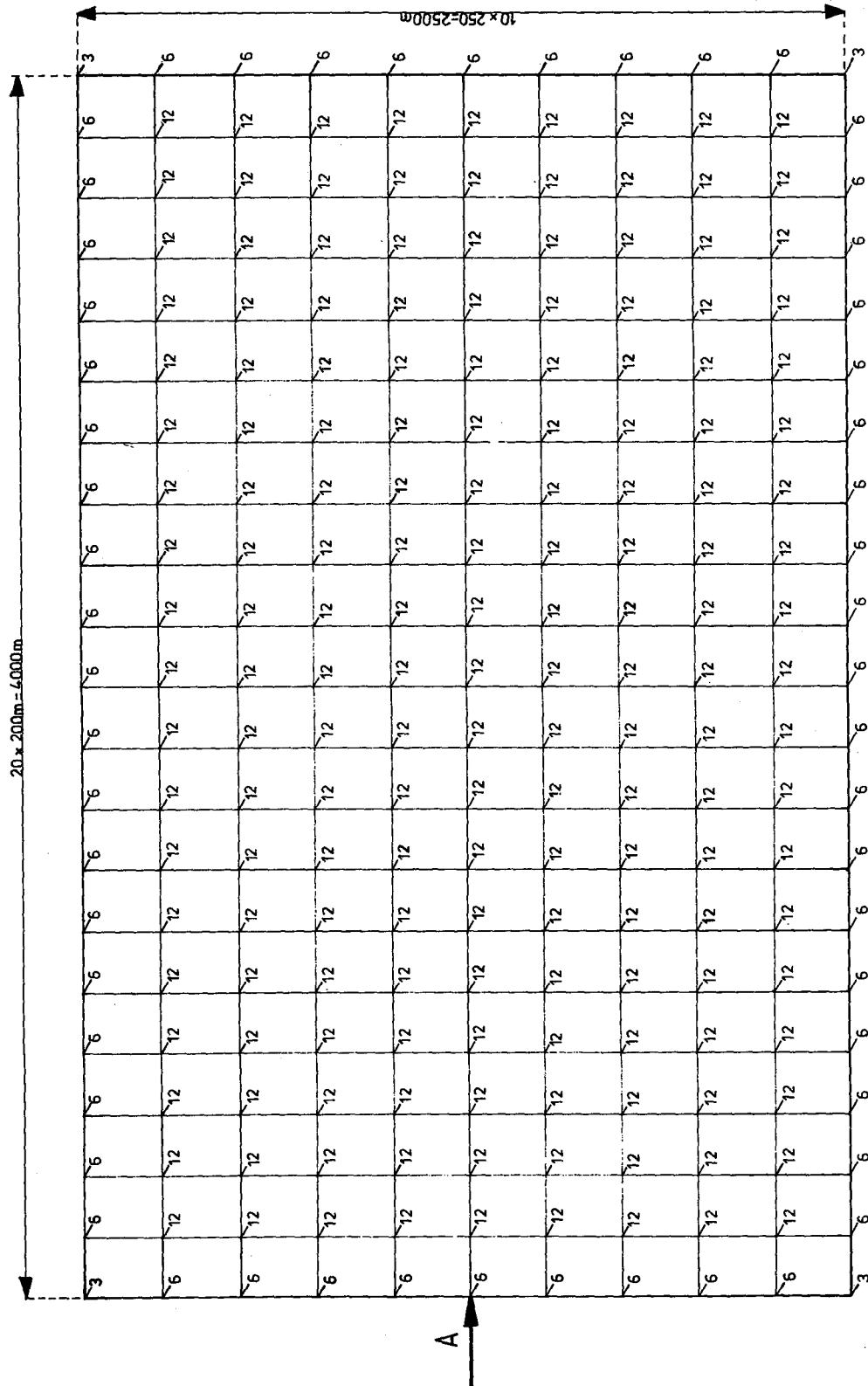


figuur 47q

figuur 47mt/mq

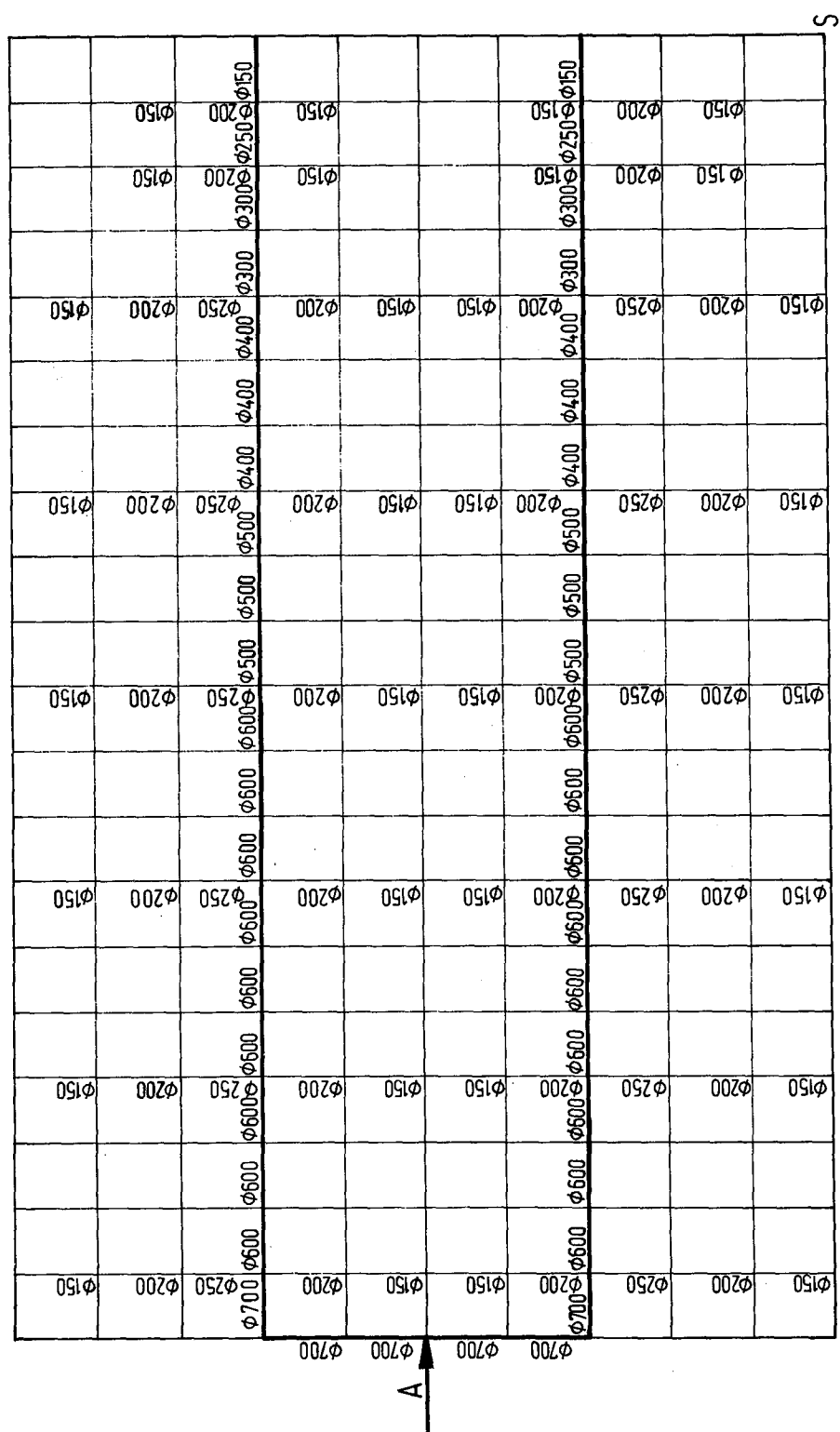


figuur 47r&s



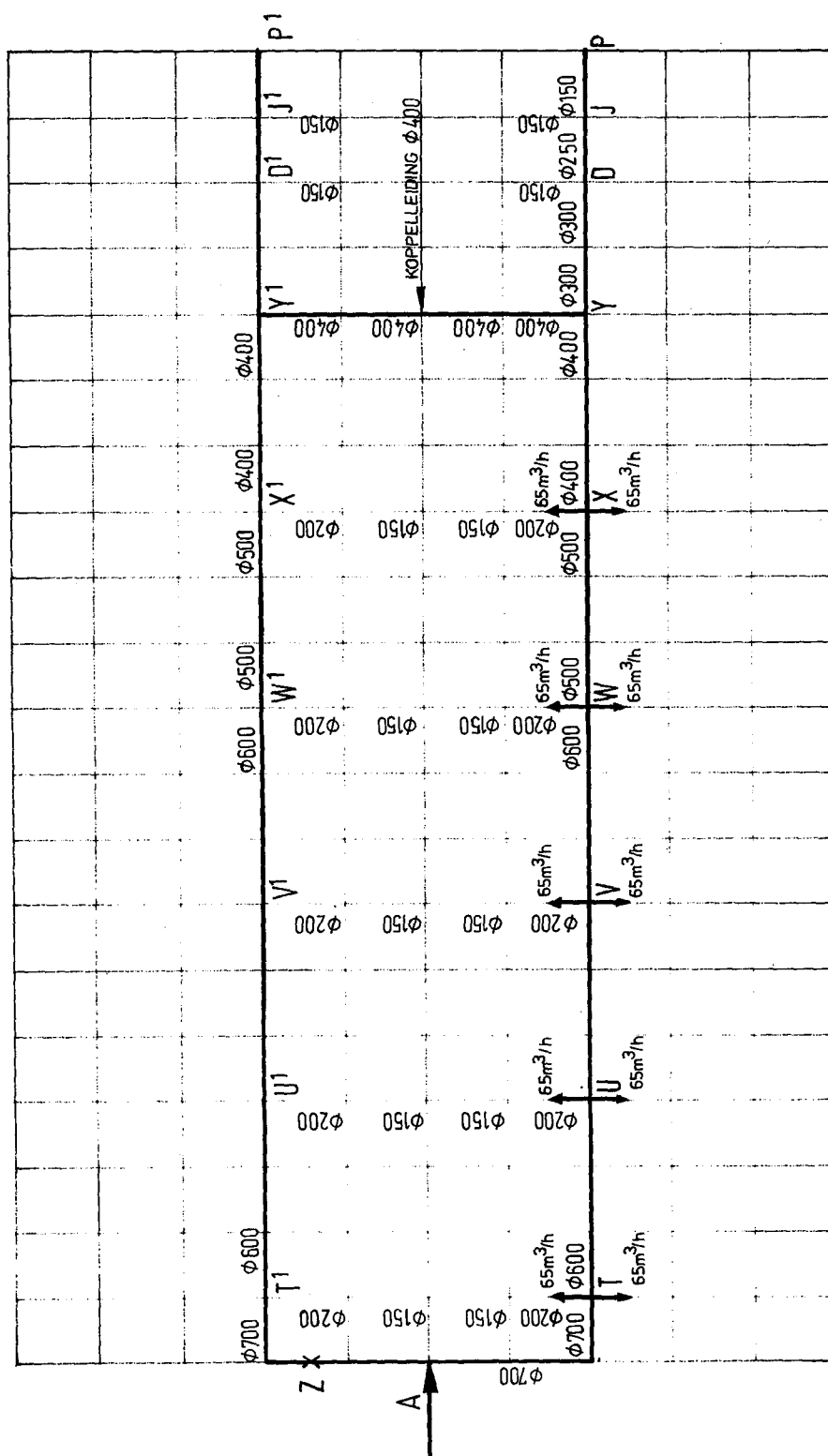
STAD VAN 100.000 INWONERS  
 PER BLOK 500 INWONERS  
 VERBRUIK PER INW. OP MAX UUR NA 30 JAAR  $200 \times 15 \times 008 = 24 \text{ l/h}$ .  
 VERBRUIK PER BLOK OP MAX UUR NA 30 JAAR  $500 \times 24 = 12 \text{ m}^3 \text{h}$   
 VERBRUIKEN GECONCENTREERD IN DE KNOOPPUNTEN  
 TOTAAL MAX UURVERBRUIK NA 30 JAAR  $24 \times 00 \text{ m}^3 \text{h}$   
 DE AANVOERLEIDINGEN KOMEN BIJ PUNT A DE STAD BINNEN

figuur 49



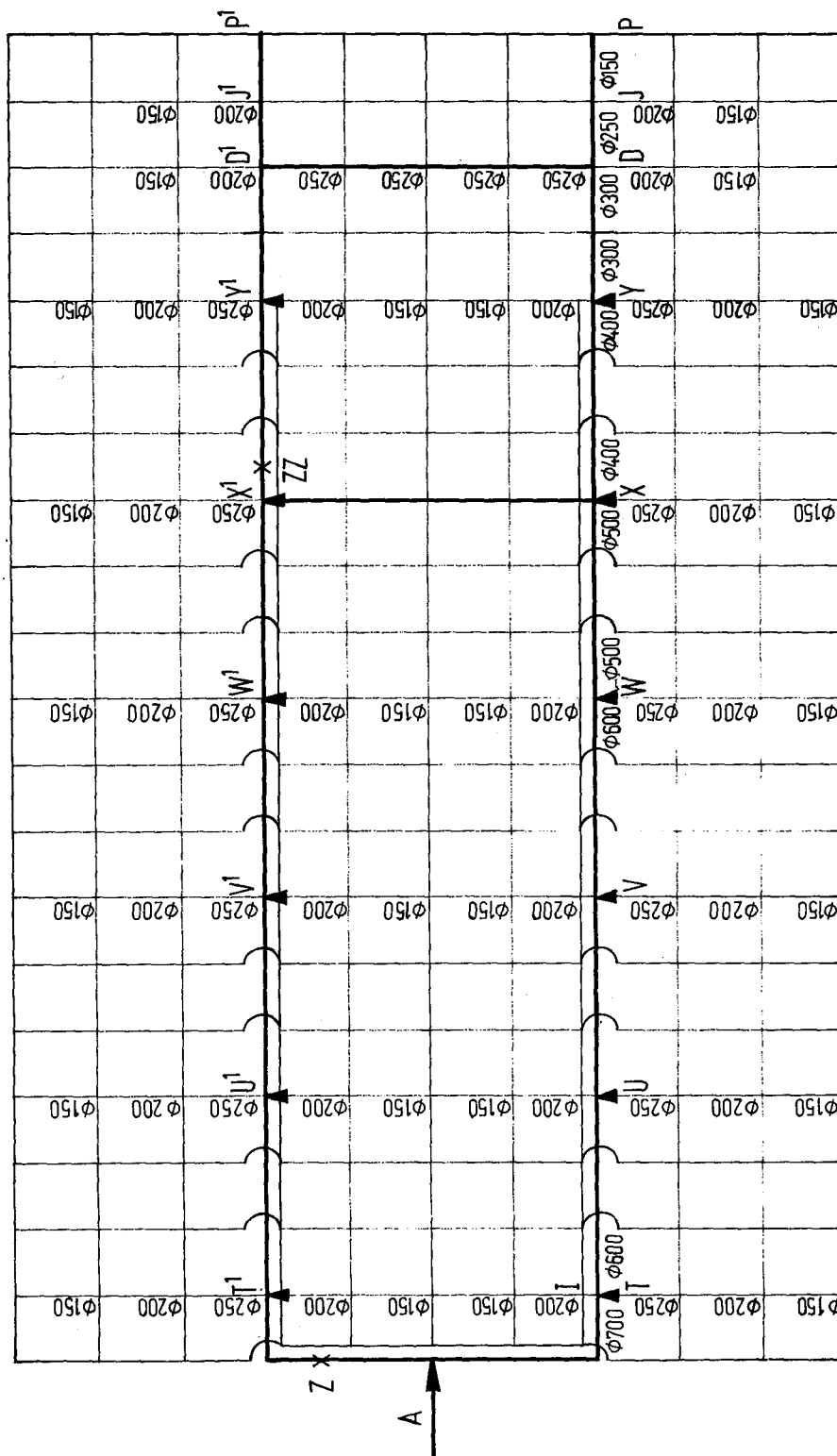
WAAR NIET AANGEGEVEN IS DIAMETER 100mm

figuur 57



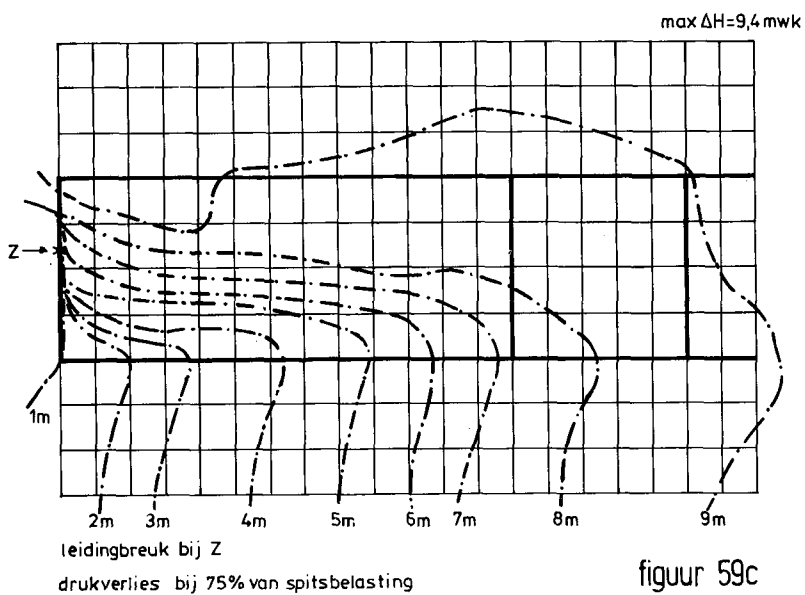
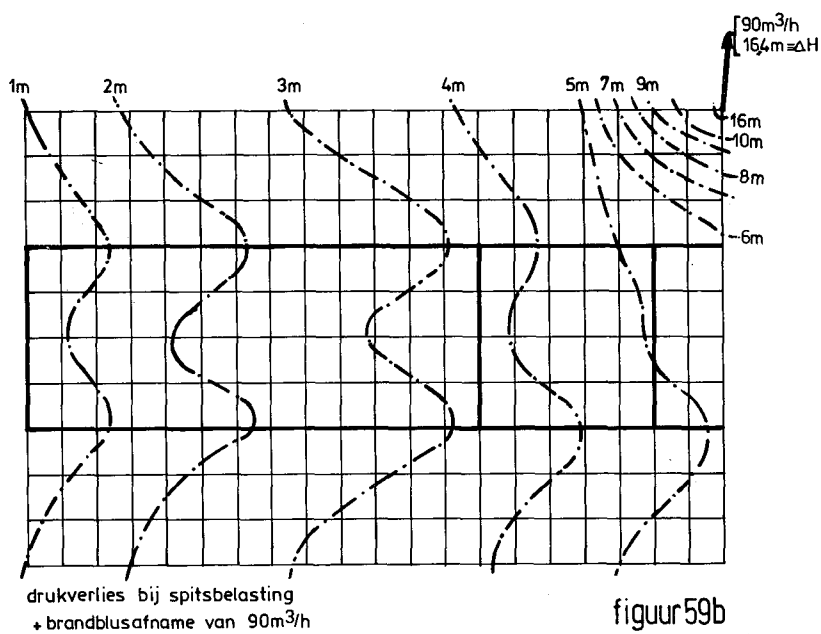
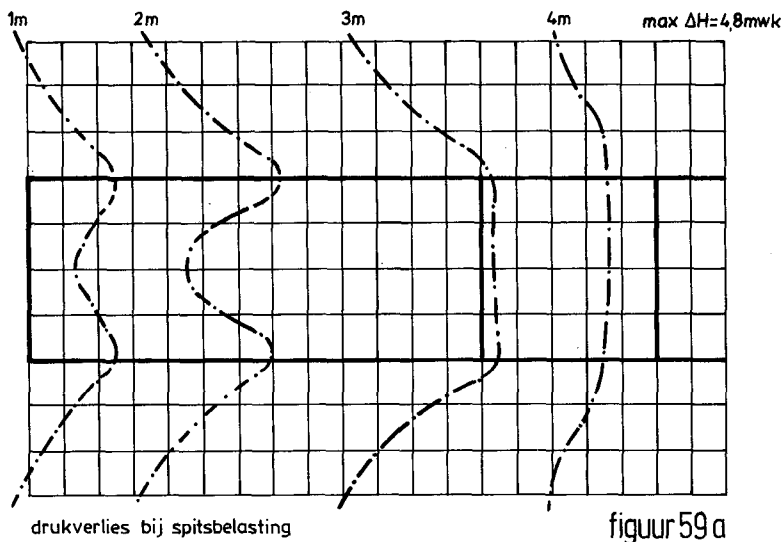
LEIDINGBREUK BIJ Z

figuur 58



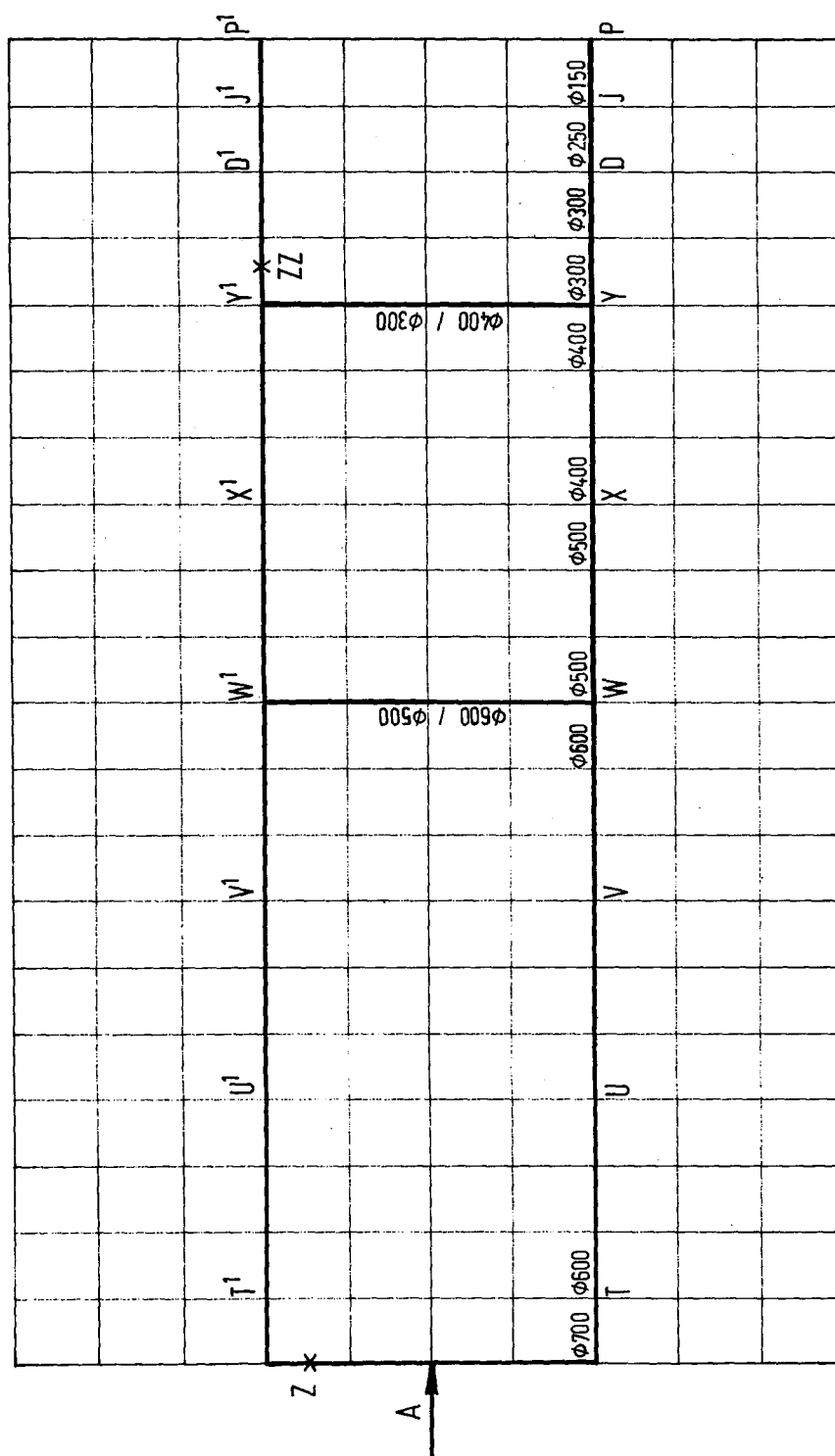
NETONTWERP BIJ DRUKVERLIES VAN 1m/km  
 KOPPELLEIDING X-X' KAN ZIJN φ500 OF φ400  
 GEEN RECHTSTREEKSE AANBORINGEN OP LEIDINGEN > φ300,  
 DAN PARALLELLEIDING φ100

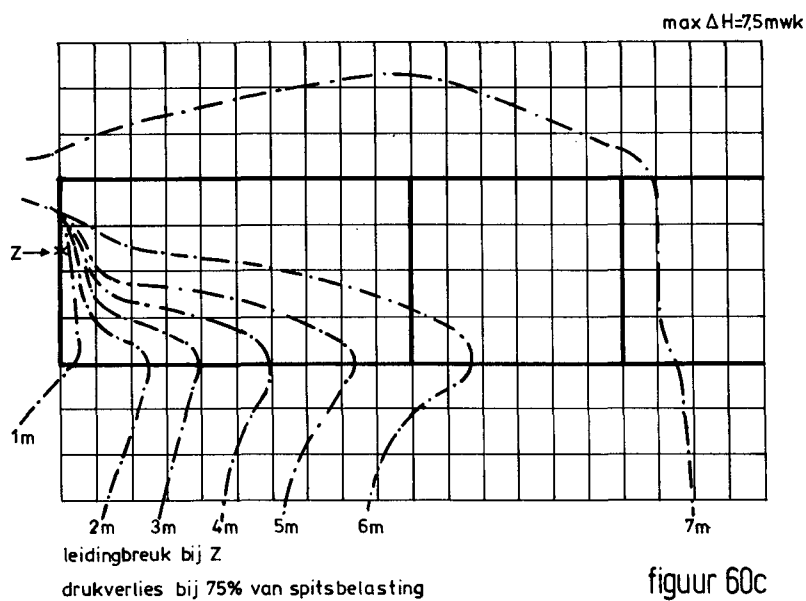
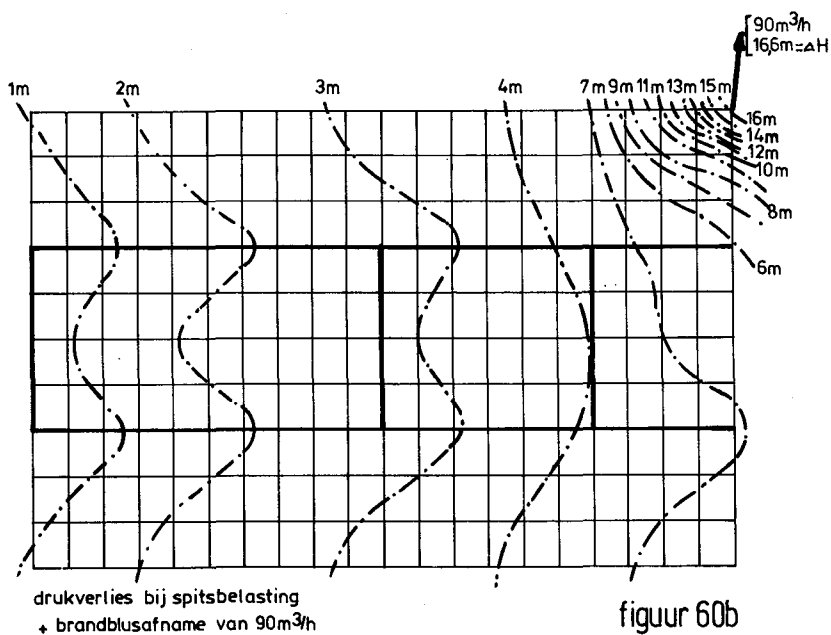
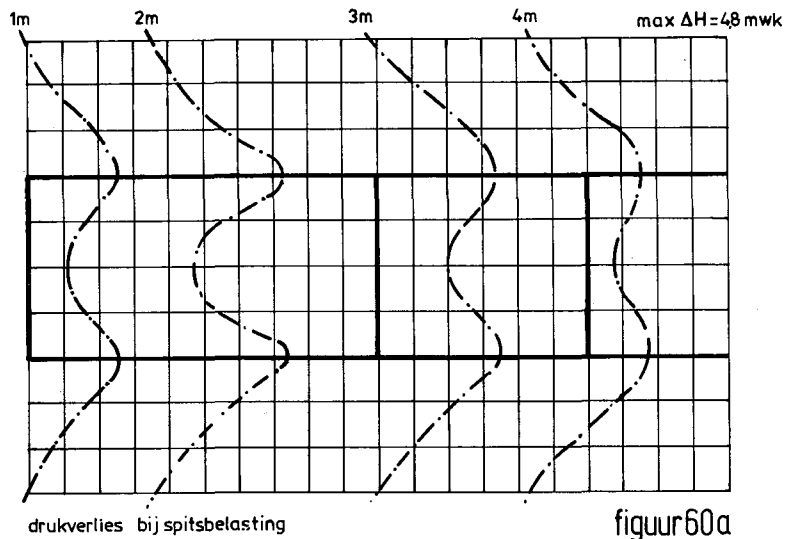
figuur 59



zie voor het net figuur 59

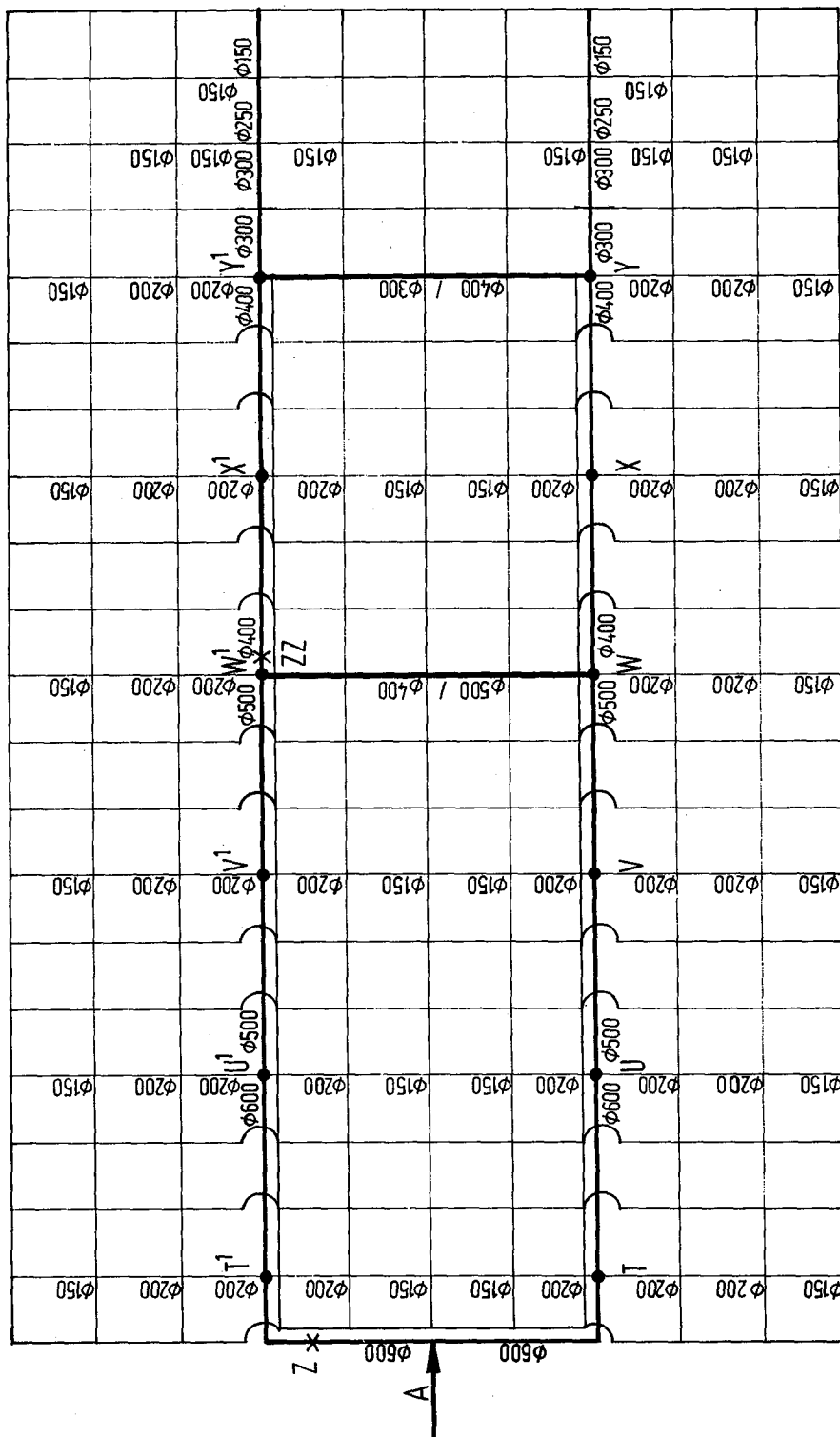
figuur 59 at/mc





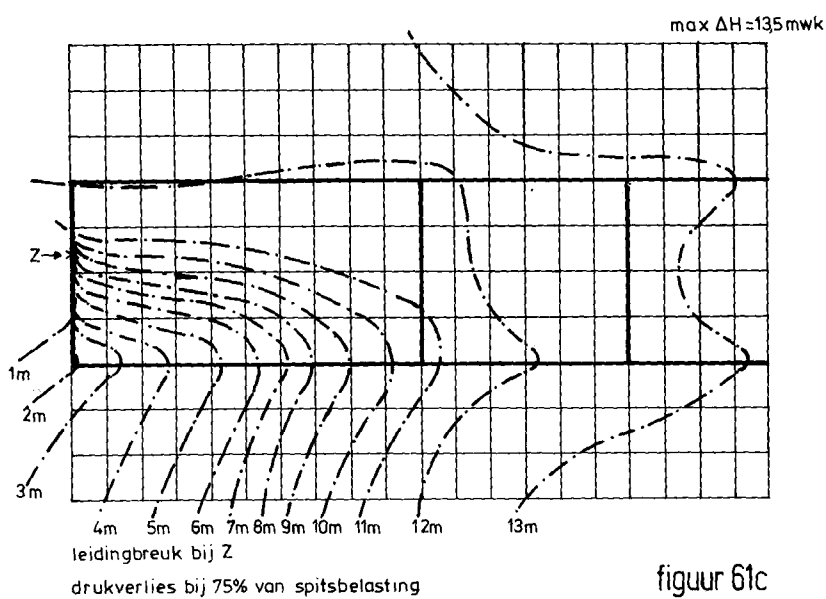
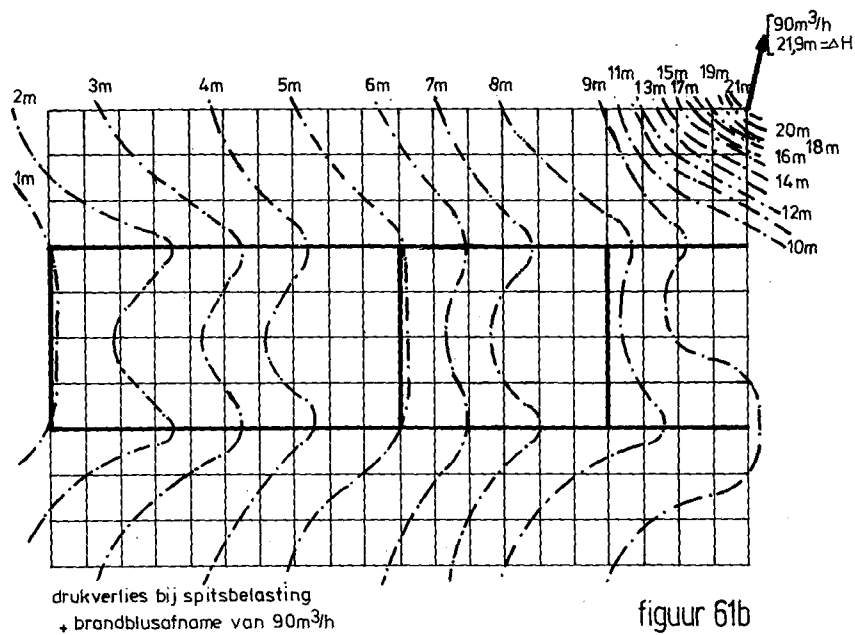
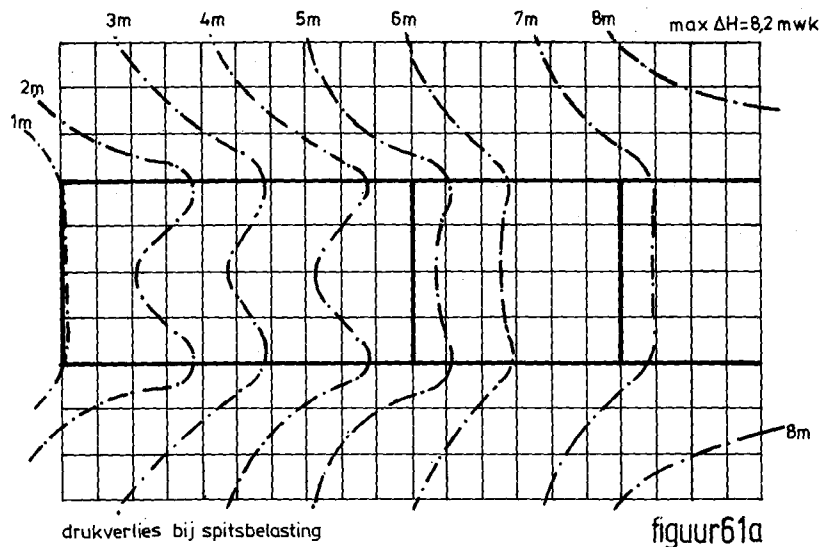
zie voor het net figuur 60

figuur 60 at/mc



NETONTWERP BIJ DRUKVERLIES VAN 2m/km  
 KOPPELLEIDING  $W-W$  KAN ZIJN  $\phi 500$  OF  $\phi 400$   
 KOPPELLEIDING  $Y-Y$  KAN ZIJN  $\phi 400$  OF  $\phi 300$   
 GEEN RECHTSTREEKSE AANBORINGEN OP LEIDINGEN  $> \phi 300$ ,  
 DAN PARALLELEIDING  $\phi 100$

figuur 61



zie voor het net figuur 61