

rijp rapport

1977 - 1 Bcd/Bbw

Ontwatering en afwatering van stedelijke gebieden normen en kostenaspecten

door

J. D. Heijnis

J. de Man

H. de Roo

E. Schultz

R

9585

7063

rijksdienst voor de ijsselmeerpolders

BIBLIOTHEEK
RIJKSDIENST VOOR DE
WISSELMEERFOLDERS

1977 - 1 Bcd/Bbw

**Ontwatering en afwatering
van stedelijke gebieden normen
en kostenaspecten**

door

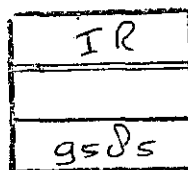
J. D. Heijnis

J. de Man

H. de Roo

E. Schultz

smedinghuis, Ielystad



9063

I N H O U D

	blz.
Inleiding	
1. Samenvatting en conclusies	2
2. Drainage	4
2.1. Theoretische opzet van het systeem	4
2.2. Praktische uitvoering	5
2.3. Kosten drainage-aanleg en -onderhoud	5
2.3.1. Aanlegkosten	5
2.3.2. Onderhoudskosten.	7
3. Riolering	9
3.1. Theoretische opzet	9
3.1.1. Afgeleide kentallen uit de praktijk	9
3.1.2. Berekening	10
3.2. Kosten voor aanleg en onderhoud	13
3.2.1. Aanlegkosten	13
3.2.2. Onderhoudskosten	13
4. Grachten	14
4.1. Functie	14
4.2. Bepaling van benodigd oppervlak open water	14
4.3. Kosten van aanleg en onderhoud van open water	14
5. Kunstwerken, kabels, leidingen	15
6. Bepaling van de totale kosten van ont- en afwatering	15
7. Vergelijking kosten aanleg en onderhoud	19
8. Variaties in de uitkomsten	20
9. Literatuur.	

Bijlagen:

1. Gebiedsindeling
2. Uitvoer van het computerprogramma.
3. Verschillende kosten t.b.v. riolering in stedelijke gebieden.
4. Verschillende kosten t.b.v. grachten in stedelijke gebieden.

Inleiding

De waterhuishoudkundige toestand in Flevoland en speciaal in en om Lelystad heeft voor het stedelijk gebied geleid tot een bepaald systeem voor het beheersen van neerslag, afvoer en grondwater. Dit systeem bestaat in hoofdzaak uit:

1. een drainagestelsel
2. een rioolstelsel
3. een stelsel van open watergangen.

De grondslag van het systeem, zoals het nu bestaat in Lelystad, wordt gevormd door voornamelijk praktische uitgangspunten. De toenemende vraag van stedenbouwkundige zijde naar voorwaarden waaraan voornamelijk het open water moet voldoen en het niet of nauwelijks theoretisch optimale ontwerp van het grachtenstelsel met daarin duikers, verwijdingen, engtes en stuwen, zette aan tot het in het navolgende beschreven optimaliseringsproces.

De bedoeling is om, uitgaande van gegevens die aan de praktijk zijn ontleend, een indruk te verkrijgen van het verband tussen aanleg en onderhoudskosten van het ont- en afwateringssysteem en de afstand tussen de watergangen. Dit verband maakt het mogelijk te kiezen voor bepaalde oplossingen en het gevolg van afwijken van die keuze vast te stellen.

1. Samenvatting en conclusies

Het ont- en afwateringssysteem van Lelystad bestaat uit een drainage-, een regenwaterriolerings- en een open-watersysteem.

Drainage:

Het voor, tijdens en na de bouwphase aangelegde drainagestelsel wordt ontworpen met als gegevens:

- de doorlatendheid van het bovenliggende grond- of zandpakket
- de mogelijkheid om drainwater te lozen
- de noodzaak het stelsel met daarvoor gemaakte middelen te reinigen
- bekende stedenbouw-, bouwkundige en civieltechnische gegevens.

Deze gegevens leiden samen met de ontwerpnorm ontwateringsdiepte 70 cm bij 5 mm/etm. afvoer tot een drainagestelsel dat met het toenemen van de grachtafstand ingewikkelder, duurder en minder bedrijfszeker wordt. Naast deze drains zijn in het stelsel, zodra de grachtafstand groter dan 400 m wordt, hoofddrains aanwezig.

Het aantal m' drain per ha. stedelijk gebied is vrijwel constant en ca. 850 m'/ha. De hoeveelheid hoofddrains en daarmee het aantal doorsteekpunten, wisselt per gebied echter sterk (tabel 1A) en wijkt aanzienlijk af van de theoretisch benodigde hoeveelheid.

Het onderhoud van het drainagestelsel zal naar huidige kennis 1x per twee jaar moeten geschieden. In welke mate de onderhoudstoestand van een drainagestelsel van invloed is op de levensduur en de functie van het stelsel is niet bekend.

Bij het overzicht van kosten van het gehele ont- en afwateringssysteem zijn voor drainage bedragen ingevuld, zowel voor aanleg als voor onderhoud. De kosten blijken afhankelijk te zijn van de grachtafstand en te stijgen met toenemen van die afstand. Ze bedragen voor aanleg f 4.000,- tot ca. f 7.000,- per ha bij resp. een grachtafstand van 400 en 1400 m, terwijl daarbij de onderhoudskosten resp. ca. f 45,- en f 150,- bedragen, alle per ha/jr.

Regenwaterriolering

Uit een inventarisatie van regenwaterafvoerstelsels is te vinden dat per ha. stedelijk gebied ca. 200 m' riool en 4 putten worden aangelegd. Hiervan heeft ca. 70% de minimum afmeting \emptyset 0,30 m inw., terwijl de maximale afmetingen afhankelijk zijn van de gracht-afstanden.

Bij de theoretische opzet van een r.w.a.-systeem, aangepast aan de onderlinge afstand van open water waarop geloosd kan worden, geldt dat een neerslagintensiteit van 75 l/s/ha bij een afstromingscoëfficiënt van 0,3 en 50% verhard oppervlak, verwerkt moet kunnen worden. De bepaling van buisdiameters van hoofdstrengen en daarmee van kosten van het stelsel t.b.v. het kostenoverzicht, verloopt volgens de methode waarbij voor iedere putafstand het beschikbare verhang berekend wordt. Het onderhoud van riolering moet ongeveer eens per twee jaar geschieden. Voor r.w.a.-riolering kan geconstateerd worden dat de aanlegkosten weinig afhankelijk zijn van grachtafstanden (grachtafstand 400 m f 19.000,-/ha, 1400 m: f 22.000,-). De kosten van onderhoud bedragen f 200,-/ha/jr. en zijn onafhankelijk van de grachtafstand omdat de rioollengte constant is en het onderhoud per m' verrekend wordt.

Grachten

De functie van open water is berging en afvoer van overtollig water. Hiertoe is een minimum oppervlakte open water nodig, gelijk aan 2,5 à 3% van het bebouwd stedelijk gebied. De toename van de grachtafstand gaat gepaard met het toenemen van de grachtbreedte doch het afnemen van de gracht-

') gebaseerd op het prijspeil van 1974

lengte. Daar afwerken van oevers een groot deel van de grachtkosten uitmaakt nemen de kosten bij oeverlengte-afname ook af.

De hoogte van deze kosten is als volgt:

aanlegkosten bij	200 m f	13.000,-/ha
grachtafstand:	400 m f	8.000,-/ha
	1200 m f	5.000,-/ha
onderhoud bij	200 m f	350,-/ha/jr.
grachtafstand:	400 m f	180,-/ha/jr.
	1200 m f	55,-/ha/jr.

Superpositie van de gevonden kosten van drainage, r.w.a.-riolering en grachten leidt tot de conclusies:

1. Grachtafstanden kleiner dan 400 m leiden tot onnodig hoge kosten.
2. Grachtafstanden tussen 400 en 1400 m geven licht stijgende aanlegkosten. De totale aanlegkosten bedragen ca. f 40.000,- per ha.
3. De stijging wordt veroorzaakt door de stijging van drainage- en r.w.a.-kosten. Deze wordt bijna geheel gecompenseerd door een daling van aanlegkosten van grachten.
4. De onderhoudskosten van het totale systeem dalen met toenemende grachtafstand. De afname van onderhoudskosten van grachten is groter dan de stijging van drainage-onderhoud.
5. Het is niet bekend en daarom moeilijk in kosten om te zetten welke wijzigingen zich voordoen in het nodige onderhoud en daardoor de levensduur van het drainagestelsel bij verschillende grachtafstanden. Dit houdt in dat de overige conclusies onder het voorbehoud geldig zijn dat de staat en de bedrijfszekerheid van het drainagestelsel niet beïnvloed worden door de grachtafstand.
6. Worden zowel aanleg- en onderhoudskosten gekapitaliseerd dan blijft gelden dat de totale ont- en afwateringskosten weinig verschillen voor grachtafstanden tussen 400 en 1300 m.
7. Het percentage open water heeft geen invloed op de kostenverhoudingen van het gehele systeem.
8. Het rentepercentage laat de onderlinge verhoudingen ongewijzigd.

2. Drainage

2.1. Theoretische opzet van het systeem

In de Zuidelijke IJsselmeerpolders worden bouwterreinen in de regel opgespoten met 1 m zand.

Om een goede ontwatering te verkrijgen wordt een drainagesysteem aangebracht. De ontwerpnorm hiervoor is dat bij een afvoer van 5 mm/etmaal de opbolling tussen twee drains 30 cm mag bedragen, hetgeen neerkomt op een ontwateringsdiepte van 70 cm. Hierbij is ervan uitgegaan dat de klei onder het opgespoten zand de oude meerbodem ondoorlatend is.

Om in de gegeven omstandigheden de bij deze norm behorende drainafstand te kunnen berekenen dient de doorlaatfactor van het ophoogzand te worden bepaald. De doorlaatfactor wordt gemeten met de zogenaamde boorgatenmethode. Deze methode berust op het meten van de snelheid waarmee een gedeeltelijk leeggepuist boorgat weer volloopt (1)*.

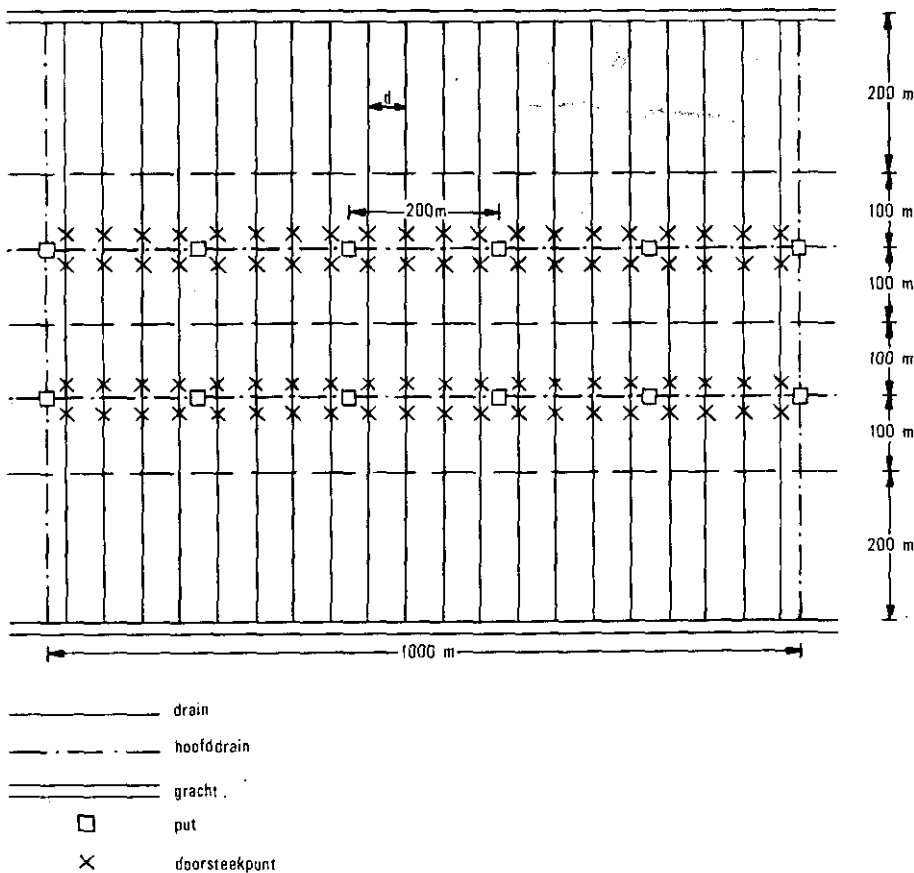
Als de doorlaatfactor bekend is wordt met behulp van de formule van Hooghoudt de drainafstand bepaald. (2)

Wanneer de bouwterreinen met 1 meter zand zijn opgespoten resulteert dit in het algemeen in drainafstanden van 12 tot 16 m, in afwijkende gedeelten van 8 en 20 m drainafstand.

Om het water in de drains te kunnen afvoeren dienen de drains uit te monden in grachten of indien dit niet mogelijk is in hoofddrains welke op hun beurt dan weer uitmonden in de grachten.

Het principe van een drainagesysteem is weergegeven in figuur 1.

Figuur 1. Theoretische opzet van een drainagesysteem



(1)* Literatuurvermelding

De lengte van drains en hoofddrains wordt voornamelijk bepaald door de mogelijkheid van onderhoud.

In de situatie zoals deze zich in de Zuidelijke IJsselmeerpolders voordoet dient het drainagesysteem 1 x per twee jaar te worden gereinigd. Hierbij doen zich twee mogelijkheden voor. Doorspuiten vanuit de grachten, of doorspuiten of doorsteken vanuit doorsteekpunten of putten. Doorsteekpunten worden aangebracht ter plaatse van de aansluiting van een drain op een hoofddrain. Putten worden aangebracht in de hoofddrain op afstanden van maximaal 200 m. Bij doorspuiten vanuit de grachten kunnen drains over een lengte van ongeveer 200 m gereinigd worden. Bij doorspuiten of doorsteken vanuit doorsteekpunten of putten bedraagt deze lengte ongeveer 100 m.

Wanneer de grachtafstand minder dan 400 m bedraagt behoeven dus geen hoofddrains te worden aangelegd. Bedraagt de grachtafstand meer dan 400 m dan moeten hoofddrains worden gelegd en wel zodanig dat de afstand tussen een hoofddrain en een gracht nooit meer bedraagt dan 300 m. De afstand tussen twee hoofddrains mag maximaal 200 m bedragen. De hoofddrains dienen om de maximaal 1000 m verbonden te worden met de grachten.

2.2. Praktische uitvoering

De drainage wordt om de zetting te bevorderen zo snel mogelijk na het gereedkomen van de opsputting aangebracht.

Op dat moment is hoogstens de toekomstige hoofdontwateringsrichting van de grachten bekend. De drains moeten echter direct hun water af kunnen voeren om te kunnen functioneren. Dit houdt in dat moet worden gedraineerd op bestaande afwateringsmogelijkheden d.w.z. de bestaande kavelsloten en tochten, of dat tijdelijke afwateringssloten moeten worden gegraven.

Indien de plaats of richting van de toekomstige grachten enigszins bekend is dan wordt de drainrichting zo gekozen dat de drains zoveel mogelijk rechtstreeks in de toekomstige gracht kunnen afwateren; dat is vooral van belang voor het onderhoud van de drainage zoals verder in dit verhaal zal blijken.

Overigens zijn op het moment van draineren de plaatsen waar de drains mogelijk kunnen worden verstoord door diep liggende riolen of heipalen nog onbekend. Dit heeft tot gevolg dat veel drains niet op de meest gunstige plaats liggen ten opzichte van deze obstakels hetgeen veel aanpassingen van de drainage noodzakelijk maakt.

Voor een aantal gebieden in Lelystad is uitgezocht hoeveel m drains, hoofddrains, doorsteekpunten en putten zijn aangelegd. De resultaten zijn weergegeven in tabel 1. Tevens is in deze tabel opgenomen hoeveel voor het betreffende gebied aan drainage zou moeten worden gelegd wanneer wordt uitgegaan van de uitgangspunten zoals deze onder 2.1. zijn geformuleerd.

2.3. Kosten drainage-aanleg en -onderhoud

2.3.1. Aanlegkosten

Bij de uitvoering van drainagewerkzaamheden worden zogenaamde "overheadkosten" in rekening gebracht. In de regel wordt drainage in nieuw opgespoten terreinen uitgevoerd door de afdeling Ontginning en Exploitatie. De aanpassingsdrainage tijdens het bouwrijpmaken van een terrein wordt gelegd door de afdeling Uitvoering Recreatie. In 1974 waren de overheadkosten zoals deze voor de verschillende afdelingen werden berekend als volgt:

Ontginning en Exploitatie:
45% over de bewerkingskosten
15% over de materiaalkosten

Uitvoering Recreatie:
70% over de bewerkingskosten
35% over de materiaalkosten

In de in het hiervolgende opgenomen bedragen zijn deze overheadkosten verwerkt. De genoemde bedragen zijn gebaseerd op het prijspeil van 1974.

Zuigdrains

De kosten voor de aanleg van de drainage in stedelijke gebieden op 1.90 m - m.v. zijn f 5,20/m' voor met cocos omwikkelde drains en f 7,20/m' voor drains met 10 cm lavalietbedekking. Deze kosten zijn inclusief materiaal en werkkosten.

Hoofddrains

De kosten van de aanleg van hoofddrains zijn minder eenvoudig samen te vatten. De aanlegkosten worden voornamelijk bepaald door de wijze van aanleg die wordt bepaald door de diameter van de buis. Tot en met een diameter van 12 cm is aanleg met behulp van een draineermachine mogelijk. Diameters groter dan 12 cm worden met een kraan gelegd.

Uit de volgende materiaal- en aanlegkosten, gebaseerd op het prijspeil van 1974, kan het totaal per m' hoofddrain worden bepaald.

Materiaal hoofddrains

Ø 80 - 72	f 1,45	per m'
Ø 100 - 91	" 3,25	" "
Ø 125 - 115	" 4,65	" "
Ø 160 - 153	" 12,40	" "
Ø 200 - 190,2	" 15,50	" "
Ø 250 - 237,8	" 19,70	" "
Ø 315 - 299,6	" 33,20	" "

Aanlegkosten met draineermachine f 2,-- m'
" " de kraan f 13,50 m'

Materiaal kruisstukken

Ø 80 - 65	f 19,60	per stuk
Ø 100 - 65	" 20,80	" "
Ø 125 - 65	" 22,50	" "
Ø 160 - 65	" 29,40	" "
Ø 200 - 65	" 32,10	" "
Ø 250 - 65	" 38,90	" "
Ø 315 - 65	" 47,50	" "

Doorsteekpunten materiaal f 28,40 per stuk

Aanlegkosten doorsteekpunt f 28,90 per stuk

Kosten van putten in hoofddrain ϕ 100 f 810,--
Plaatsingskosten van de put f 680,--

Uit de hiervoor weergegeven kosten kunnen de kosten voor een hoofddrainstelsysteem met doorsteekpunten per gebied worden berekend. Indien zogenaamde zuigende hoofddrains worden gelegd moeten aan de kosten nog f 3,45/m' voor lavaliet worden toegevoegd.

2.3.2. Onderhoudskosten.

Het reinigen van de drainage kan op twee manieren gebeuren nl. met gebruik van water, doorspuiten of met behulp van rotan of plasticbuis met schraper het zg. doorsteken.

Dit reinigen kan vanuit een open watergang direct in de drainuitmonding worden gedaan of middels een doorsteekpunt op de drain.

De kosten van deze methoden gebaseerd op het prijspeil van 1974 zijn als volgt:

doorspuiten vanuit een gracht	f 0,14 m'
" " een doorsteekpunt	f 0,48 m'
doorsteken " " "	f 0,51 m'

Hieruit blijkt dat het rechtstreeks uitmonden van de drain in een gracht een belangrijke besparing op het drainonderhoud betekent.

Tabel 1. Benodigde drainage voor enige gebieden in Lelystad

gebied <u>x</u>	gracht-afstand	lengte van het gebied	drain-afstand	drainlengte		lengte- en hoofd-verzameldrains		aantal doorsteekpunten		aantal putten	
				gelegd	theor.	gelegd	theor.	gelegd	theor.	gelegd	theor.
1.1.1.	400	1000	12	32.000	33.600	2.480	0	0	0	0	0
1.2.1.	600	800	12	40.800	40.200	7.140	800	2	134	2	5
1.2.2.	400	600	12	20.800	20.000	4.620	0	171	0	4	0
1.2.3./1.2.5.	900	800	15	50.300	48.600	4.130	2.400	294	324	2	15
2.2.1./2.2.2.	1300 ^x 1	650	13	35.200	32.500	10.700	3.250	180	250	10	17

x Voor gebiedsindeling zie bijlage 1

x 1 Dit gebied watert eenzijdig af. De breedte van het gebied bedraagt dus 650 m. De genoemde waarden zijn van toepassing op een gebied van 650 x 650 m².

Tabel 1A Benodigde drainage per ha voor enige gebieden in Lelystad

gebied	ha	drainafstand m'	grachtafstand	m' drain/ha	m' hoofddrain/ha
1.1.1.	40	12	400	800	62
1.2.1.	48	12	600	850	150
1.2.2.	24	12	400	870	192
1.2.3./ 1.2.5.	72	15	900	560(700) ^x	57
2.2.1./ 2.2.2.	42	13	1300	840(910) ^x	257

x tussen haken vermeld het aantal m' drainage/ha omgerekend naar 12m drainafstand.

3. Riolering

3.1. Theoretische opzet

3.1.1. Afgeleide kentallen uit de praktijk

Om te komen tot een theoretische opzet voor de bepaling van de kosten voor de aanleg van regenwaterafvoerrioolstelsel (R.W.A.) is aan de hand van reeds uitgevoerde gedeelten van Lelystad bepaald welke kentallen voor de lengte en dimensie van de r.w.a.-riolen gelden.

In tabel 2 zijn per gebied de lengte van de riolen en het aantal putten aangegeven; in tabel 3 voor de verschillende gebieden het aantal lozingspunten, het aantal meters riool per lozingspunt en de oppervlakte van het gebied per lozingspunt.

Tabel 2. Lengte van het r.w.a.-riool met het aantal putten voor enige wijken in Lelystad

Gebied	Oppervlakte ha	lengte riool aantal putten			
		m'	m'/ha	st.	st./ha
Noordelijk deel wijk 1 [*])	28,3	5640	198	168	5,9
Zuidelijk deel wijk 1 [*])	37,5	7530	200	185	6
Wijk 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4, 2.2.5, 2.2.8.	94	17700	188	371	4
Wijk 2.1.1. (gedeelte)	19	3200	168	62	3,5

^{*}) overgenomen uit Intern-rapport nr. 232, J.L. IJzermans.

Tabel 3. Aantal lozingspunten met de daarbij behorende rioollengten en oppervlakten met de aangesloten gebieden voor enige wijken in Lelystad

Gebied	Aantal lozingspunten	m' riool per lozingsp.	ha gebied per lozingsp.	Grachtafstand m
Noordelijk deel wijk 1 [*]	9	625	3	400
Zuidelijk deel wijk 1 [*]	6	1250	6.25	700
Wijk 2.2.4.	2	2100	ca. 11	1500
Wijk 2.2.5.	2	2400	ca. 11	1500

Uit tabel 2 en 3 kunnen voor de berekening de volgende kentallen worden afgeleid:

- a) per ha woongebied wordt 200 m' riool aangelegd.
- b) per ha woongebied worden 4 putten geplaatst.

toelichting:

ad a). Aangegeven waarden voor wijk 2.1.1. slaan op een gedeelte van dit gebied en wijken door de aard van de bebouwing (groot deel part. bouw relatief ruime percelen) af van die voor de overige gebieden.

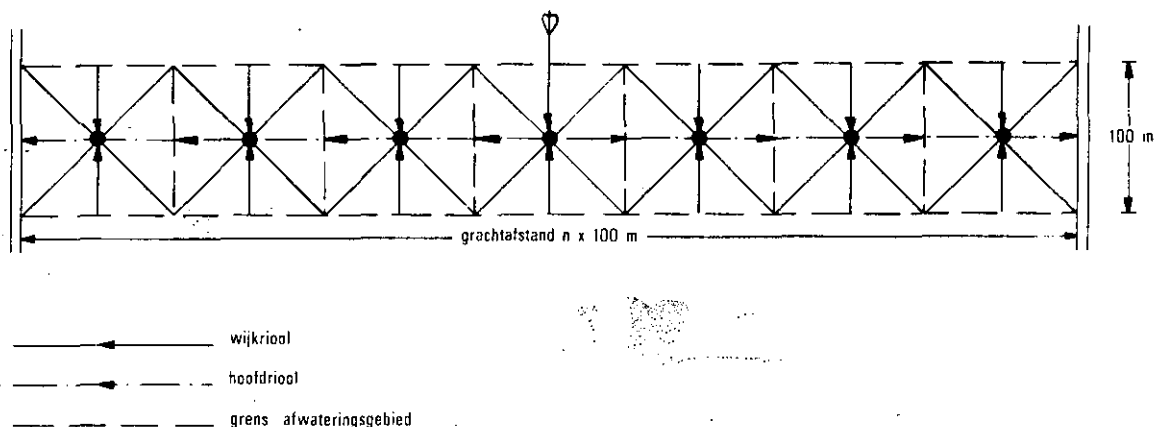
ad b). Ten opzichte van wijk 1 worden tegenwoordig grotere afstanden tussen de putten toegepast.

Uit een uitsplitsing van de totale lengte riool voor gebied 2.2.1. t/m 2.2.5. blijkt dat ongeveer 70 à 75% van deze lengte uit riolen \varnothing 0,30 m bestaat.

3.1.2. Berekening

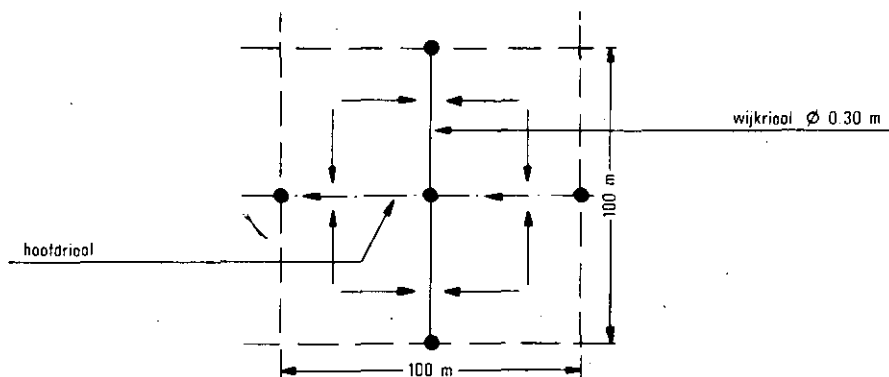
Voor de bepaling van de hoeveelheden r.w.a.-riool is uitgegaan van het volgende rekenmodel (fig. 2).

Figuur 2. Schematisch overzicht van het r.w.a.-riool met het bijbehorende afwateringsgebied.



Het gebied tussen twee grachten is verdeeld gedacht in stroken van 100 m breedte. Deze stroken zijn verdeeld gedacht in gebieden van 100 x 100 m uitgaande van een grachtafstand in veelvoud van 100 m. Per gebiedje wordt gerekend met 100 m' hoofdrisool en 100 m' wijkriool \varnothing 0,30 m (min. profiel)' bij een gemiddelde lengte riool van 200 m'/ha, zie fig. 3.

Figuur 3. Verdeling van het r.w.a.-riool binnen een afwateringsgebiedje.



De door het hoofdriool af te voeren hoeveelheden worden bepaald uitgaande van een berekeningsregen van 75 l/s/ha, een afvloeiingscoëfficiënt van 0,8 en een verhardingspercentage van 50%, overeenkomstig de normen, die voorlopig bij de afdeling Civieltechnische Inrichting worden gehanteerd.

De diameter van het hoofdriool wordt berekend met behulp van de volgende formules:

$$\text{relatie afvoer, diameter, snelheid } Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v$$

$$\text{relatie snelheid, lengte, diameter en verhang } Z = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v}{2g}$$

relatie wrijvingsfactor, wandruwheid, diameter en getal van Reynolds (formule van Colebrook)

$$\lambda = \frac{0.25}{\left\{ \log \left(\frac{1}{C \cdot 4 \cdot Re \sqrt{\lambda}} + \frac{K}{3,71 \cdot D} \right) \right\}^2}$$

$$Re = \text{getal van Reynolds} = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

hieruit afgeleide relatie snelheid, lengte, diameter en wrijvingsverlies:

$$v = -2 \cdot \log \left(\frac{2,51 \cdot \nu^{1/4}}{D \cdot \sqrt{2gI \cdot D}} + \frac{K}{3,71 \cdot D} \right) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot I \cdot D}$$

hierin is:

Q = hoeveelheid af te voeren water (m³/s)

D = inwendige diameter (m)

v = snelheid (m/s)

L = lengte (m)

R = hydraulische straal (m)

Z = wrijvingsverlies of drukverlies (m)

I = wrijvingsverlies per lengte-eenheid $I = \frac{Z}{L}$

ν = kinematische viscositeit = $1,3 \times 10^{-6}$ m²/s

K = wandruwheid (m)

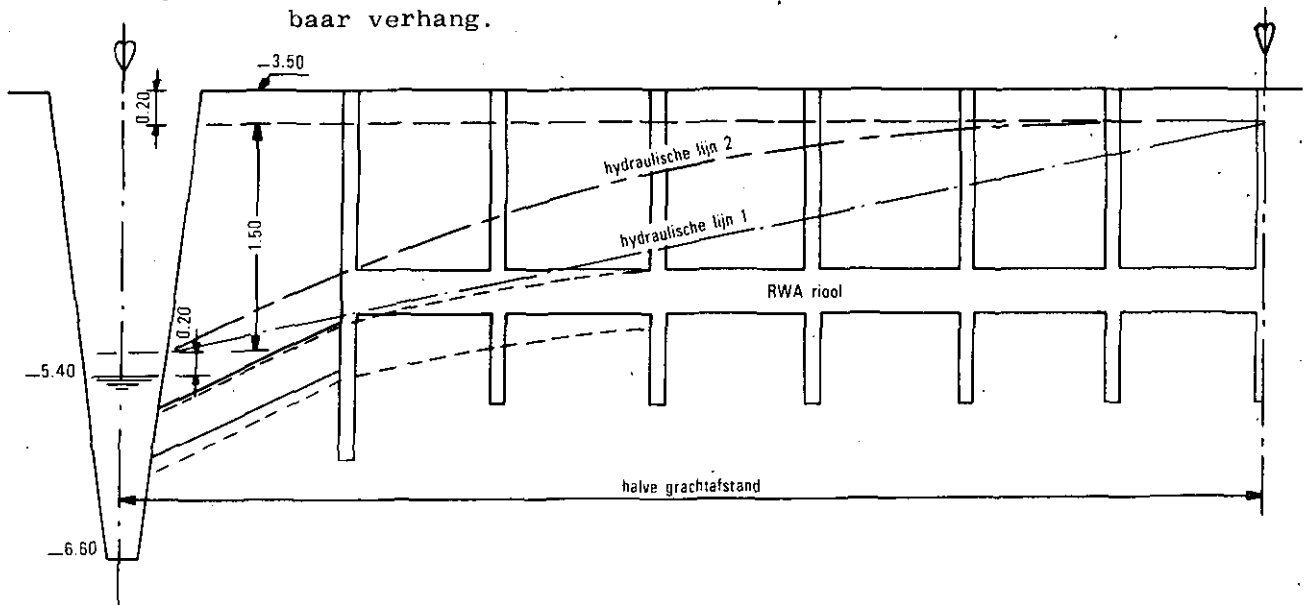
K = 0,0015 m voor normale riolen met inlaten en putten van beton

De veranderingen in diameter vinden plaats bij de putten.

Het beschikbare verhang van de hydraulische lijn in het hoofdriool is voor Lelystad bepaald op 1,50 m nl.:

waterstand in de grachten	N.A.P. - 5.40 m	
waterstandverhoging t.g.v. regenval	<u>0.20 m</u>	
verhoogde waterstand	N.A.P. - 5.20 m	
maaiveld = straatpeil ca.	<u>N.A.P. - 3.50 m</u>	
afstand verhoogd water - m.v.	1.70 m	
afstand hydraulische lijn - m.v.	<u>0.20 m</u>	
beschikbaar verhang	<u>1.50 m</u>	zie fig. 4

Figuur 4. Schematische voorstelling van een hoofdriool met beschikbaar verhang.



Berekening van de diameter van het hoofdriool kan op twee manieren geschieden, nl.:

- a) volgens een rechtlijnig verband van de hydraulische lijn tussen gracht en een punt halverwege twee grachten (met verwaarlozing van verhang in de wijkriolen). Zie hydraulische lijn 1, fig. 4.
- b) volgens een verhang van de hydraulische lijn tussen gracht en een punt halverwege tussen twee grachten, waarbij voor iedere putafstand (50 m) het beschikbare verhang opnieuw berekend wordt.

Volgens methode a wordt geen rekening gehouden met de voor de afvoer te grote beginriolen $\varnothing 0,30$ m waardoor de hydraulische lijn in deze riolen flauwer loopt dan volgens het gelijkmatige verhang.

Volgens methode b wordt rekening gehouden met het optredende verhang in de buizen en wordt voor de volgende putlengte het beschikbare verhang berekend. Wanneer de hydraulische lijn volgend uit het profiel van het riool en de nodige afvoercapaciteit steiler wordt dan volgens het beschikbare verhang dan wordt een groter profiel gekozen.

Voor de berekening van het hoofdriool is methode b gekozen.

Ter toelichting van beide methoden het volgende voorbeeld:
Grachtafstand 700 m

Berekening volgens: methode a	Uitkomst: 550 m' $\varnothing 0,30$ m 150 m' $\varnothing 0,40$ m
" " : methode b	" : 600 m' $\varnothing 0,30$ m 100 m' $\varnothing 0,40$ m

Grachtafstand 1000 m

Berekening volgens: methode a	Uitkomst: 300 m' $\varnothing 0,30$ m 400 m' $\varnothing 0,40$ m
" " : methode b	" : 400 m' $\varnothing 0,30$ m 600 m' $\varnothing 0,40$ m

3.2. Kosten voor aanleg en onderhoud

3.2.1. Aanlegkosten

De aanlegkosten voor de r.w.a.-riolen zijn in overleg met de afdeling Calculatie H.S.O.W. vastgesteld. Uitgaande van een aantal rioleringsbestekken is berekend, dat gemiddeld 11% "overheadkosten" in rekening zijn gebracht. Hierdoor worden de prijzen als volgt:

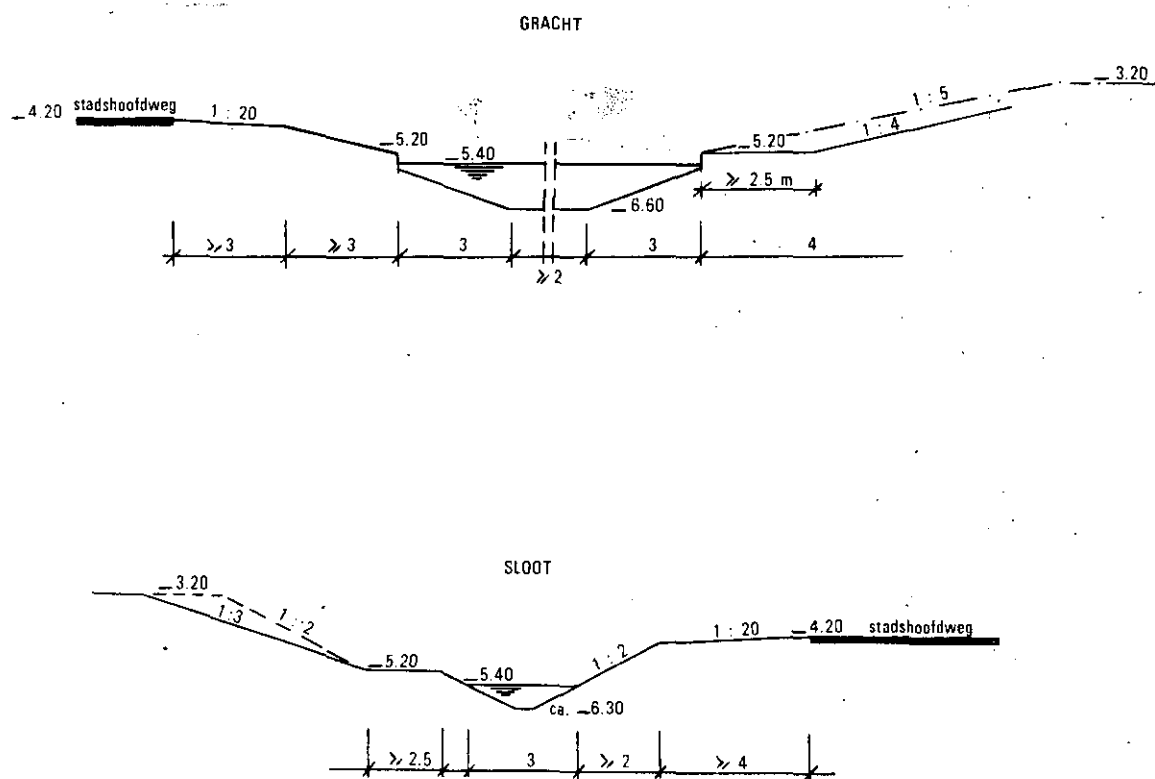
<u>Betonriool</u>	<u>Gelegd incl. grondwerk</u>
Ø 0,30 m	f 65,70 /m' incl. B.T.W. en overheadkosten
Ø 0,40 m	- 83,70 /m'
Ø 0,50 m	- 107,00 /m'
Ø 0,60 m	- 139,00 /m'
Ø 0,70 m	- 167,00 /m'
Ø 0,80 m	- 193,00 /m'

Betonputten inwendig 1,00 x 1,00 m met 0,60 m zandvang geplaatst incl. grondwerk f 1.420,00 /stuk.

3.2.2. Onderhoudskosten

De onderhoudskosten voor de riolen door middel van schoonspuiten éénmaal per twee jaar worden geraamd op f 1,95 /m'.

Figuur 5. Principeschets grachten Lelystad



schaal 1 : 200

maten in m. en t.o.v. N.A.P.

4. Grachten

4.1. Functie

De functie van grachten en daarmee in open verbinding staand open water is o.a. het bergen en afvoeren van overtollig water. Aan deze functie wordt een aantal technische eisen gesteld:

- stroomsnelheid kleiner dan 0,2 à 0,3m/s.
- peilstijging moet zonder schade mogelijk zijn
- taluds moeten duurzaam stand houden
- het patroon van grachten moet zich lenen voor het ontvangen van drain- en r.w.a.-water en goede en goedkope stelsels mogelijk maken.

4.2. Bepaling van benodigd oppervlak open water

Beschouwen we neerslag, percentage verhard oppervlak, afvoercapaciteit en -hydrogram van rioolstelsels en toelaatbare peilstijging alsmede het grachtpatroon als gegevens dan zijn de onderdelen berging en afvoercapaciteit in onderling verband te kwantificeren. Deze benadering is voor Lelystad nog niet toegepast. Als redenen hiervoor zouden kunnen worden aangegeven:

- stedenbouwkundige opzet van Lelystad wordt stap voor stap voor slechts vrij kleine delen van het totaal vastgelegd. Het is daardoor niet mogelijk een compleet systeem te ontwerpen en berekenen.
- toelaatbare peilstijging en mogelijke frequentie daarvan is nog niet bepaald.
- onderzoek naar afvoer uit rioolstelsels in relatie tot neerslag is nog niet afgerond.

In praktijk blijkt in Lelystad ca. 3% open water te bestaan.

Wijk I, waar tussen het noordelijk en zuidelijk deel aanzienlijke verschillen in grachtafmetingen en afstanden voorkomen, bezit totaal ca. 16 m overstortlengte ofwel ca. 1 m per 22 ha.

Zolang nog niet volgens bovenaangegeven methode rekenenderwijs het benodigde percentage open water met bijbehorende afvoercapaciteit bekend is geworden wordt 3% open water als richtlijn aangehouden.

In het rekenprogramma voor het berekenen van de relatie grachtafstand versus kosten van het totale waterbeheersingssysteem kan het gegeven "percentage open water" gevarieerd worden.

4.3. Kosten van aanleg en onderhoud van open water

In de berekening wordt de volgende schematisering aangehouden:

- rechte grachten
- taluds zijn overal gelijk
- slechts de insteekbreedte is variabel
- grachtbreedte op het wateroppervlak > 8 m
- profiel volgens fig. 5

kosten: graven per m ³ bij transport	12 m f 1,--
	50 m - 1,50
	3000 m - 3,--
	5000 m - 3,85
afwerken per m'	-103,--
hek	- 32,20
onderhoud per jaar per m'	- 7,05
(opschonen f 0,90, maaien f 5,15, betuining f 1,00/m'/jaar)	

Kosten van onderhoud zullen in praktijk niet slechts van de grachtlengte doch ook van de breedte afhankelijk zijn. Dit betekent dat bij vergroting van de grachtafstand en bij zeker percentage open-water de afname van de onderhoudskosten minder is dan uit volgende figuur 7 blijkt. Verfijning van de berekening is dus mogelijk doch van geringe invloed op het resultaat.

5. Kunstwerken

Inventarisatie van kunstwerken, gemaakt i.v.m. de watergangen, en een raming van kosten daarvan wijst uit dat aan de hand van de verschillen in grachtafstanden voor de nu gerealiseerde delen van Lelystad geen relatie te leggen is tussen grachtafstand en kosten van kunstwerken. Deze kosten beliepen in 1974 globaal f 7.750,- per ha stedelijk gebied. Ze kunnen als constant beschouwd worden, zodat ze voor de totale kosten van het ontwateringssysteem in relatie tot grachtafstand van geen absoluut belang zijn.

6. Bepaling van de totale kosten van ont- en afwatering

In de voorgaande paragrafen zijn de ontwerpnormen en de daarmee samenhangende kosten voor aanleg en onderhoud van de ont- en afwateringsmiddelen in beschouwing genomen.

Om nu te kunnen vaststellen bij welke gebiedsindeling de kosten voor ont- en afwatering minimaal zijn dienen de individuele kosten te worden gesommeerd.

Teneinde dit voor verschillende gevallen te kunnen uitvoeren is een computerprogramma geschreven waarmee, met behulp van een tafelcomputer type HP-30 de verschillende berekeningen kunnen worden uitgevoerd. Het programma is zodanig ingericht dat uitgaande van een bepaalde gebiedsafmeting de verschillende kosten voor aanleg en onderhoud kunnen worden berekend, waarna de kosten voor het gehele plan worden berekend. De volgende gegevens dienen te worden ingevoerd:

- lengte van het gebied
- breedte van het gebied
- gewenste drainafstand
- drains omstort met lavaliet of:
drains omhuld met cocos of:
50% lavaliet en 50% cocos
- het percentage open water dat gewenst is.

Op grond van deze gegevens en de normstelling die in de voorgaande paragrafen is uiteengezet worden nu de uitkomsten verkregen welke voor een gebied van 600 bij 3000 m zijn opgenomen in bijlage 2.

Met behulp van bovengenoemd computerprogramma zijn nu voor grachtafstanden variërend van 100 tot 1500 m de kosten voor aanleg en onderhoud van de ont- en afwateringsmiddelen berekend. De resultaten zijn weergegeven in de figuren 6 en 7.

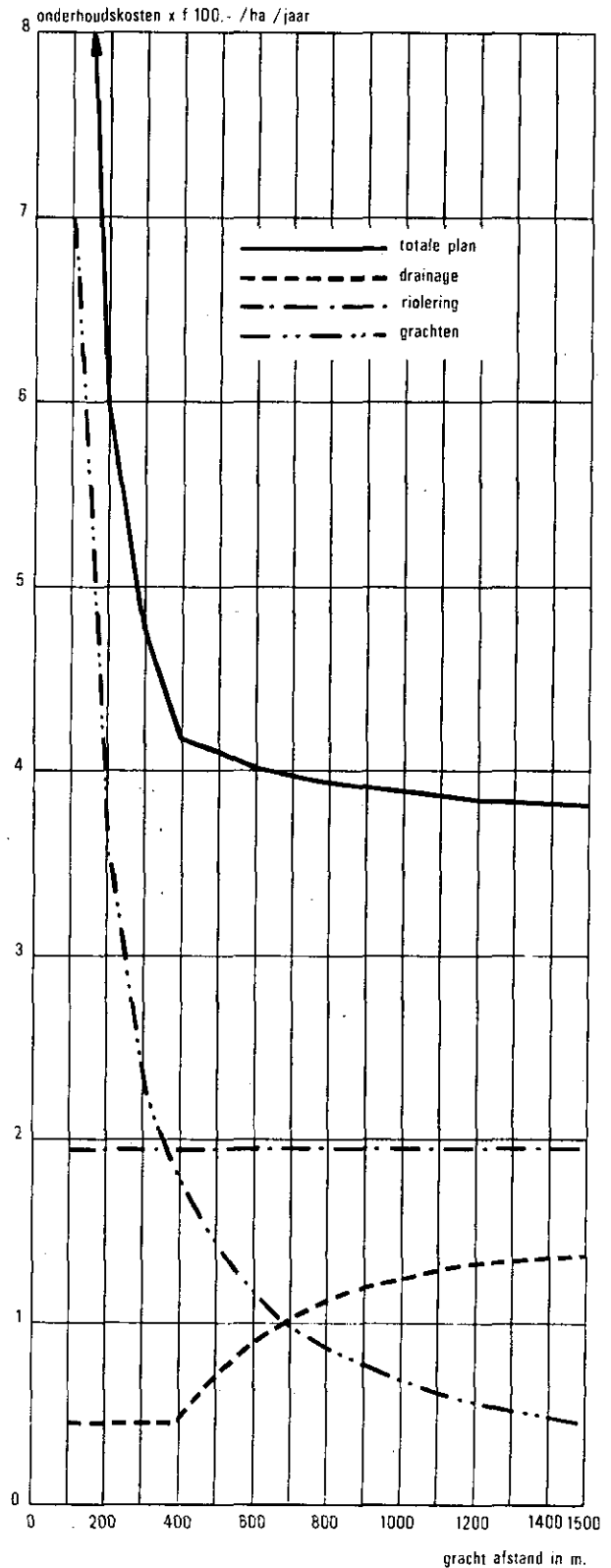
Uit figuur 6 is af te lezen dat de totale kosten voor aanleg van de ont- en afwateringsmiddelen minimaal zijn bij een grachtafstand van 600 m. Gezien de geringe verschillen in de kosten bij grachtafstanden tussen 400 en 1100 m behoeven andere grachtafstanden dan 600 m, tussen 400 en 1100 m niet direct grote nadelen op te leveren.

Wel neemt bij grotere grachtafstanden vooral bij drainage de kans op verstoring toe, waardoor in de praktijk de toename van de kosten bij grotere grachtafstanden groter zal zijn dan uit deze figuur blijkt.

Figuur 6 Aanlegkosten van de ont- en afwateringsmiddelen in relatie tot de grachtafstand

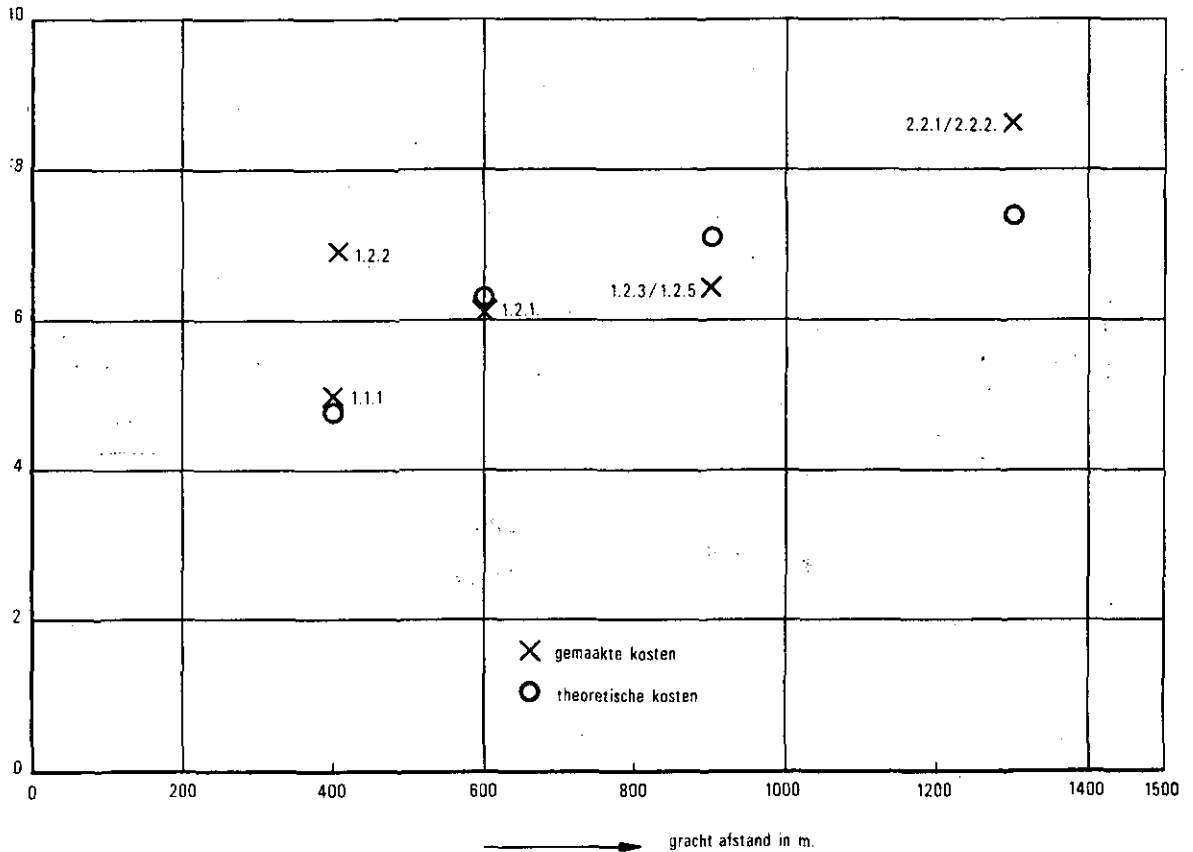


Figuur 7 Onderhoudskosten voor de ont- en afwateringsmiddelen in relatie tot de grachtafstand



In figuur 8 zijn voor verschillende gebieden in Lelystad de gemaakte kosten voor drainage uitgezet tegen de grachtafstand. Tevens zijn de theoretisch benodigde kosten weergegeven. Om hierbij een goede vergelijkingsbasis te hebben is gerekend met een drainafstand van 15 m in plaats van de werkelijk toegepaste drainafstand.

figuur 8 Vergelijking tussen de theoretisch benodigde kosten en de kosten in de praktijk voor drainage in enkele gebieden van Lelystad



Daar de kosten voor onderhoud van de kunstwerken vooralsnog op nul gesteld zijn en de kosten voor onderhoud van de riolering op een vast bedrag wordt de variatie in de onderhoudskosten dus uitsluitend bepaald door de kosten voor drainage en de grachten.

7. Vergelijking kosten aanleg en onderhoud

Om nu een vergelijking te kunnen opstellen waarin zowel de aanleg als de onderhoudskosten voorkomen, zijn bij verschillende rentepercentages de bedragen berekend waarover moet worden beschikt om zowel de aanleg als het onderhoud te kunnen financieren.

Deze bedragen kunnen als volgt worden berekend:

$$K = A + \left[\frac{\left(\frac{1}{1+p} \right)^n - 1}{\frac{1}{1+p} - 1} \right] \cdot B$$

Hierin is:

- K = totale kosten
- A = kosten aanleg
- B = jaarlijkse kosten van het onderhoud
- p = rente
- n = levensduur

De levensduur wordt in dit geval voor de drainage, de riolering, de grachten en de kunstwerken gesteld op 30 jaar.

In figuur 9 is voor een rentepercentage van 5% weergegeven hoeveel de totale kosten bedragen voor aanleg en onderhoud van drainage, riolering, grachten en kunstwerken.

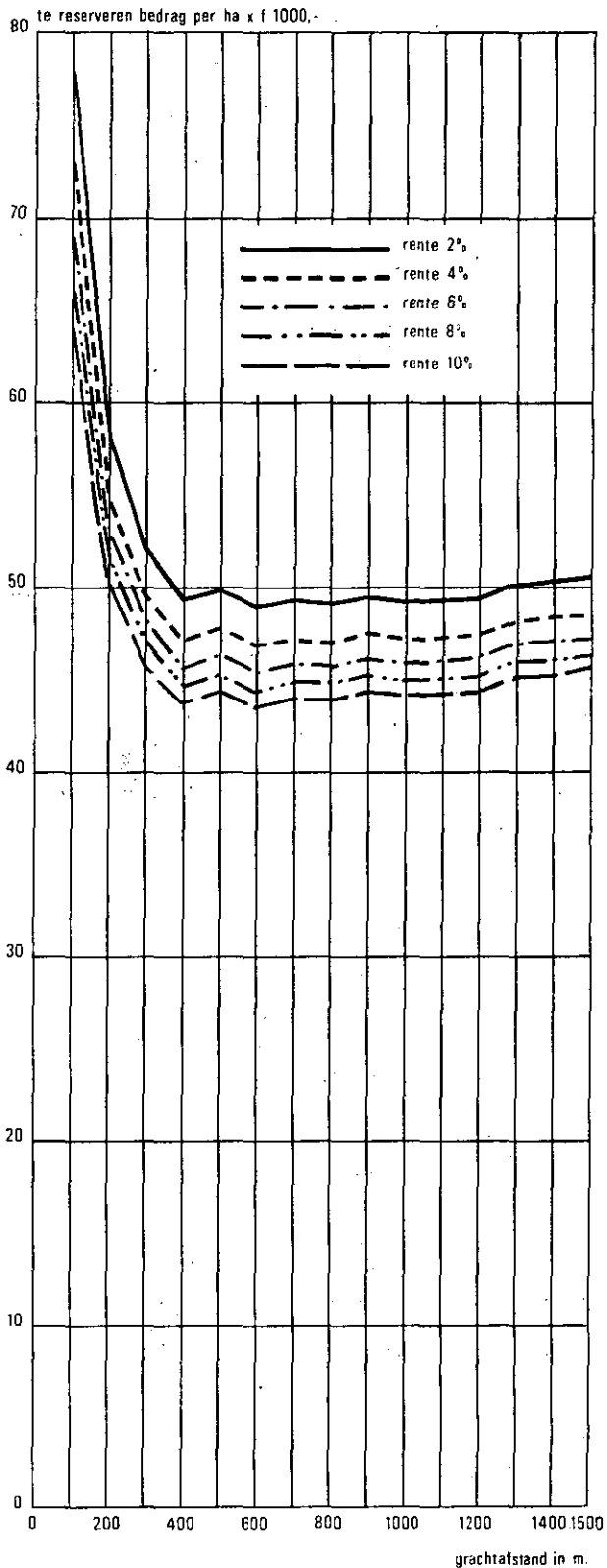
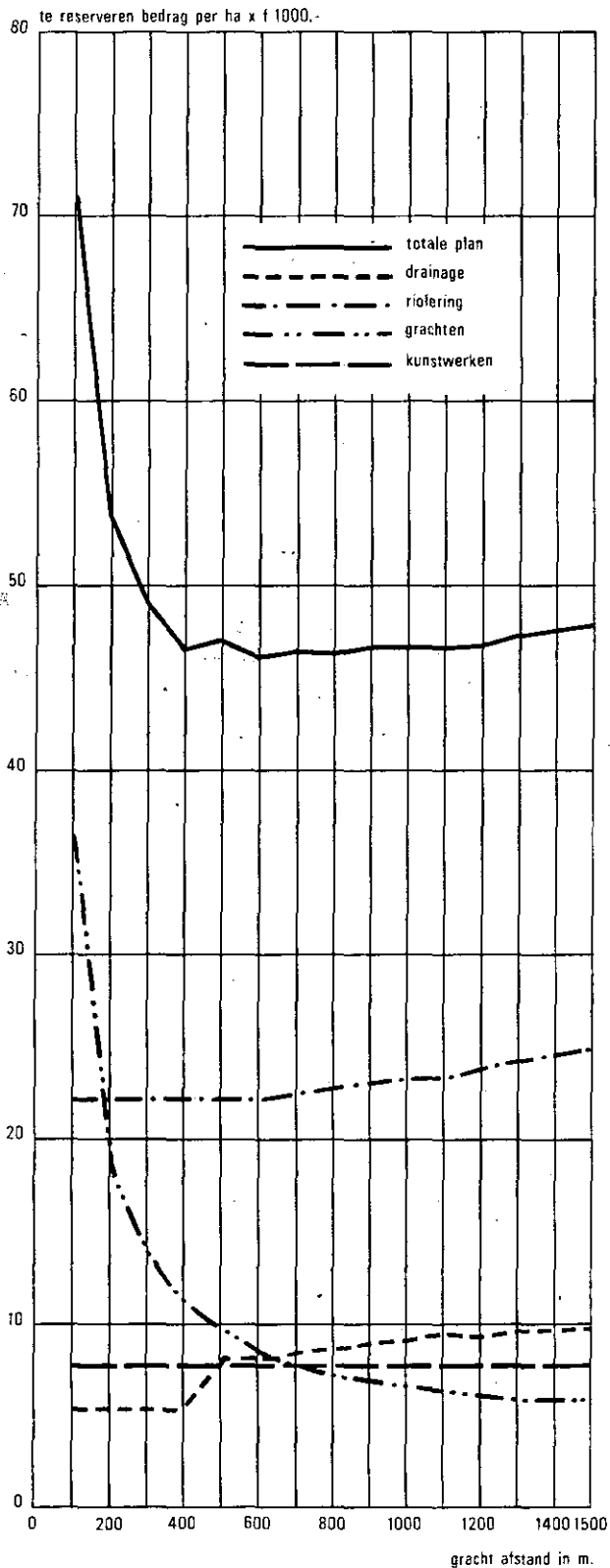
Op deze wijze wordt een indruk verkregen hoe de verschillende kosten uiteenlopen.

In figuur 10 zijn bij verschillende rentepercentages en grachtafstanden de totale kosten voor ont- en afwatering vergeleken.

Uit deze figuur kan worden afgelezen dat in theorie de kosten voor ont- en afwatering weinig verschillen bij grachtafstanden tussen 400 en 1300 m. Deze marge is dus iets ruimer dan de marge van 400 tot 1100 m welke wordt gevonden wanneer uitsluitend de aanlegkosten in beschouwing worden genomen.

Figuur 9 Relatie tussen de grachtafstand en het te reserveren bedrag om aanleg en onderhoud van het ont- en afwateringssysteem te financieren; uitgaande van een afschrijftermijn van 30 jaar en een rentepercentage van 5%

Figuur 10 Relatie tussen de grachtafstand en het te reserveren bedrag om aanleg en onderhoud van het ont- afwaterings systeem te financieren; uitgaande van een afschrijftermijn van 30 jaar bij verschillende rentepercentages



8. Variaties in de uitkomsten

In de uitgevoerde berekeningen kwamen variabelen voor welke in een tweetal hoofdgroepen kunnen worden onderverdeeld, t.w.:

aanlegkosten en onderhoudskosten
materiaalkosten en verwerkingskosten

Tevens is het mogelijk het percentage open water binnen zekere grenzen te variëren.

In par. 7 is ten slotte gewerkt met verschillende rentepercentages. Wanneer met betrekking tot de aanleg- en onderhoudskosten wordt berekend welk percentage het voor onderhoud te reserveren bedrag uitmaakt van de aanlegkosten, dan is dit afhankelijk van het aangenomen rentepercentage.

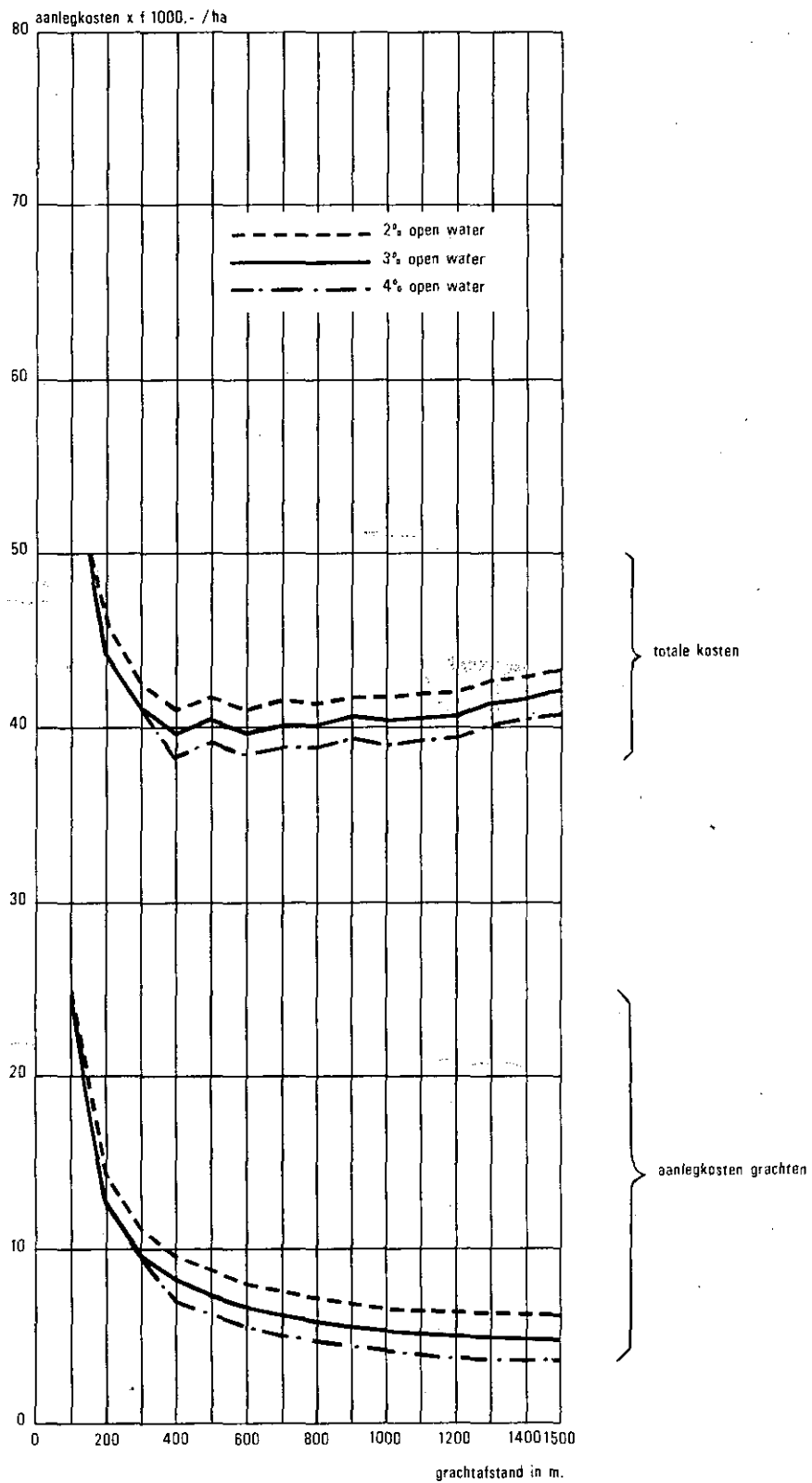
Het voor onderhoud te reserveren bedrag bedraagt bij rentepercentages van 1, 5 en 10 respectievelijk 25, 16 en 10% van de aanlegkosten. Bij grachtafstanden groter dan 400 m zijn deze percentages vrijwel onafhankelijk van de grachtafstand. Bij grachtafstanden kleiner dan 400 m loopt het percentage geleidelijk op tot respectievelijk 43, 27 en 17% bij een grachtafstand van 100 m en de eerdergenoemde rentepercentages. De materiaal- en verwerkingskosten nemen voor de drainage en riolering toe bij grotere grachtafstanden (zie figuur 6). De verhouding tussen materiaal en verwerkingskosten blijft echter vrijwel onveranderd. Een verandering in hetzij de materiaalkosten hetzij de verwerkingskosten zal dus de aanlegkosten onafhankelijk van de grachtafstand in dezelfde mate doen veranderen.

Bij het aanleggen van de grachten zijn de materiaalkosten per m' min of meer onafhankelijk van de grachtafstand. In alle gevallen moeten namelijk één hek en boordvoorzieningen worden aangebracht. Omdat deze kosten bij grotere grachtafstanden over een groter gebied kunnen worden omgerekend, nemen zij per hectare af. De kosten van grondverzet nemen bij grotere grachtafstanden in beperkte mate af. De taluds en de minimumbreedte op de waterlijn van 8 m moeten namelijk altijd worden aangelegd en iedere verdere verbreding wordt optimaal door water benut.

De invloed van het percentage open water op de totale aanlegkosten van de ont- en afwateringsmiddelen is weergegeven in figuur 11. Hierin zijn opgenomen, de kosten voor het aanleggen van de grachten en de totale kosten bij percentages open water van 2, 3 en 4. Uit de figuur kan worden afgelezen dat afhankelijk van het percentage open water de kosten wel verschuiven, maar tevens dat deze veranderingen vrijwel onafhankelijk zijn van de grachtafstand.

Ten slotte de mogelijke invloed van verschillende rentepercentages. Deze zouden, vooral wanneer de onderhoudskosten afhankelijk zijn van de grachtafstand, van invloed kunnen zijn op de berekeningen. Gezien het feit dat de onderhoudskosten voor grachtafstanden tussen 400 en 1100 m vrijwel constant zijn, beïnvloedt een verschillend rentepercentage uitsluitend de hoogte van het voor onderhoudskosten te reserveren bedrag, maar blijven de verhoudingen - zoals deze in figuur 9 zijn weergegeven - ongewijzigd.

Figuur 11 Aanlegkosten in relatie tot de grachtafstand bij verschillende percentages open water



9/ Literatuurlijst










1. L.F. Ernst

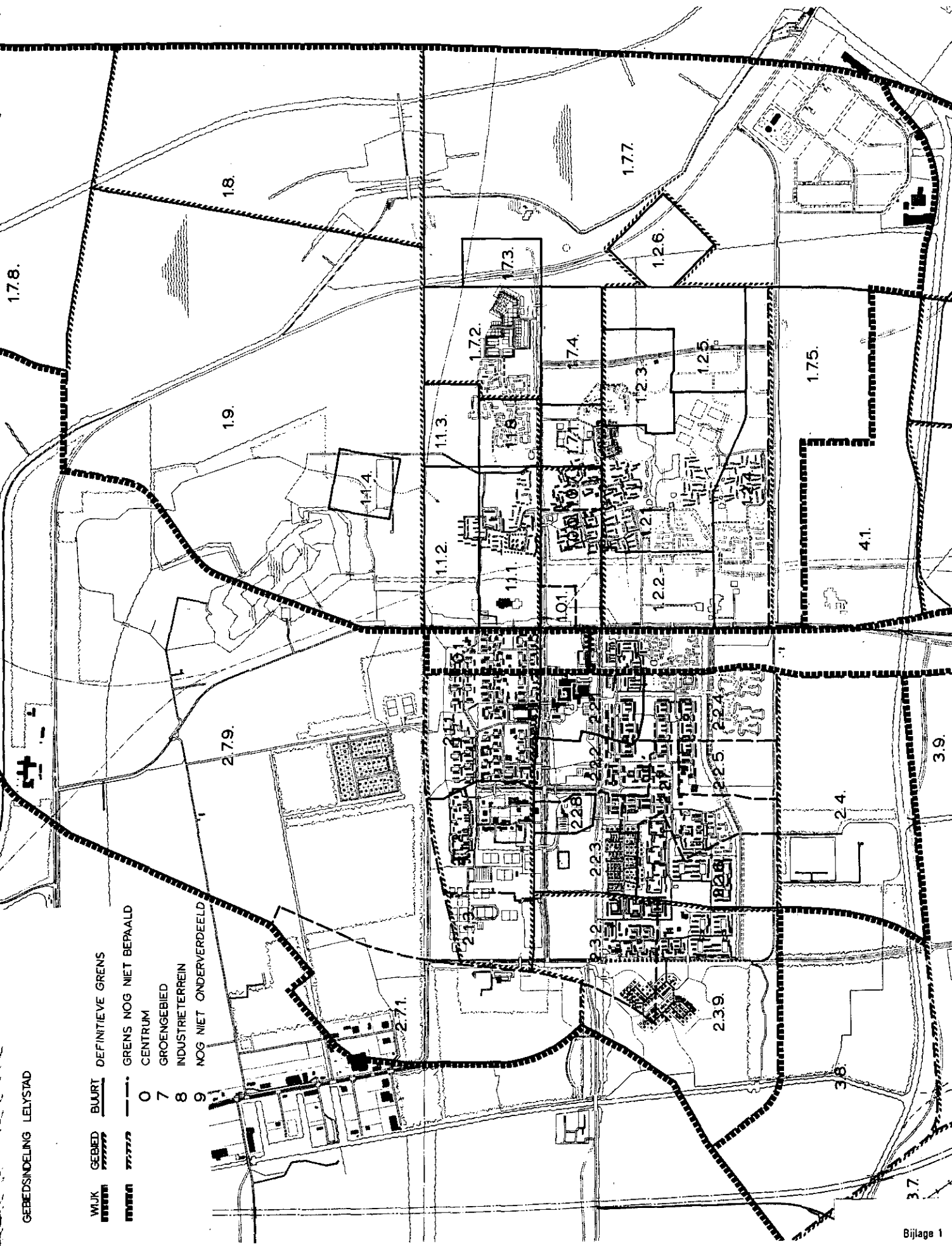
Een nieuwe formule voor de berekening van de doorlaatfactor met de boorgatmethode.
Publ. Landbouwproefstation en bodemkundig instituut T.N.O. Groningen

2. W.F.J. van Beers

Some nomographs for the calculation of drain spacings.
I.R.R.I. bulletin 8, 1965

GEBEDSINDELING LELYSTAD

- WJK 
- GEBIED 
- BUURT 
- DEFINITIEVE GRENS 
- GRENS NOG NIET BEPAALD 
- CENTRUM 
- GROENGEBIED 
- INDUSTRIETERREIN 
- NOG NIET ONDERVERDEELD 



UITVOER VAN HET COMPUTERPROGRAMMA

De afmetingen van het gebied zijn: lengte 3000 m
breedte 600 m
Oppervlakte $1.80 \text{ E} + 06 \text{ m}^2 = 180.00 \text{ ha}$

Verschillende kosten t.b.v. drainage in stedelijke gebieden

Drains gelegd op 1.90 m-m.v.: cocos f 5,20 per m'
lavaliet f 7,20 per m'

Onderhoud 1 x per 2 jaar

Doorspuiten vanuit de gracht f 0,14 per m'
Doorspuiten vanuit doorsteekpunt f 0,48 per m'
Doorsteken vanuit doorsteekpunt f 0,51 per m'

Hoofddrains: 80/ 72 f 1,45 per m'
100/ 91 f 3,25 per m'
125/115 f 4,65 per m'
160/153,6 f 12,35 per m'
200/190,2 f 15,50 per m'
250/237,8 f 19,70 per m'
315/299,6 f 33,20 per m'

Kruisstukken: 80/65 f 19,60 per stuk
100/65 f 20,75 per stuk
125/65 f 22,50 per stuk
160/65 f 29,35 per stuk
200/65 f 32,10 per stuk
250/65 f 38,85 per stuk
315/65 f 47,50 per stuk

Lavaliet 3/7, materiaal + aanbrengen f 3,45 per m'

Leggen met de draineermachine f 3,40 per m'
Leggen met de kraan f 22,95 per m'

Doorsteekpunten f 28,35 per stuk
Leggen van een doorsteekpunt f 28,90 per stuk

Kosten van een put f 810,00
Kosten van het aanleggen van een put f 680,00

BEREKENING VAN DE THEORETISCH BENODIGDE KOSTEN VOOR DRAINAGE

Drainafstand: benodigd 15 m; in de berekening 15.00 m

Drains: lavaliet 120000 m = f 864.000,00

Onderhoud:

Doorspuiten vanuit de grachten 80000 m = f 5.600,00 per jaar

Doorspuiten vanuit doorsteekpunten 40000 m = f 9.600,00 per jaar

Doorsteken vanuit doorsteekpunten 40000 m = f 10.200,00 per jaar

De lengte van de afzonderlijke stukken hoofddrain is: 200.00 m

De afstand tussen de hoofddrains bedraagt: 200.00 m

Benodigd materiaal:

80/ 72 0 m = f 0,00

100/ 91 0 m = f 0,00

125/115 0 m = f 0,00

160/153,6 600 m = f 7.410,00

200/190,2 2400 m = f 37.200,00

250/237,8 2400 m = f 47.280,00

315/299,6 0 m = f 0,00

0 m groter dan 315/299,6

Leggen met de draineermachine; 125/115 met kraan = f 123.930,00

Hoofddrains leggen met de kraan = f 123.930,00

Doorsteekpunten 400 stuks = f 22.900,00

Putten 16 stuks = f 23.840,00

Kruisstukken = f 6.850,00

Doorspuiten vanuit de grachten 1600 m = f 112,00

Doorspuiten vanuit putten 3800 m = f 912,00

De kosten van het plan bedragen f 1.133.410,00 = f 6.296,72 per ha

De onderhoudskosten bedragen f 16.224,00 = f 90,13/ha/jaar

VERSCHILLENDE KOSTEN T.B.V. RIOLERING IN STEDELIJKE GEBIEDEN

Riolering rond 30 gelegd B.O.B. op 1,50 m-m.v. f 65,65 per m'

Onderhoud 1 x per 2 jaar f 1,95 per m'

Hoofdriolen

Kosten inclusief leggen en grondwerk: rond 40 f 83,70 per m'
rond 50 f 106,90 per m'
rond 60 f 139,05 per m'
rond 70 f 167,40 per m'
rond 80 f 193,15 per m'

Kosten putten gelegd f 1.416,35 per stuk

Berekening van de theoretisch benodigde kosten voor riolering

Riolen 18000 m = f 1.181.700,00
Onderhoud f 17.550,00 per jaar

Hoofdriolen

18000 m rond 30 = f 1.181.700,00
0 m rond 40 = f 0,00
0 m rond 50 = f 0,00
0 m rond 60 = f 0,00
0 m rond 70 = f 0,00
0 m rond 80 = f 0,00

0 m groter dan rond 80

Onderhoud hoofdriolen f 17.550,00 per jaar

Benodigd aantal putten 720 stuks = f 1.019.772,00

De totale kosten van het plan bedragen f 3.383.172,00 = f 18.795,40 per ha
De totale onderhoudskosten bedragen f 35.100,00 = f 195,00/ha/jaar

VERSCHILLENDE KOSTEN T.B.V. GRACHTEN IN STEDELIJKE GEBIEDEN

Kosten graven 3,85 per m³ bij transport over 5 km.
 Kosten afwerken 103,00 per m' gracht ter weerszijde
 Kosten van een hek 32,20 per m' gracht aan een zijde

Onderhoud

Maaien 2 x per jaar 5,15 per m' per jaar
 Opschonen 1 x per 10 jaar 0,90 per m' per jaar
 Onderhoud betuining 1,00 per m' per jaar

Berekening van de theoretisch benodigde kosten voor de grachten

Percentage open water = 3,0%

De totale grachtlengte bedraagt 3000 m
 De grachtbreedte op de waterlijn bedraagt 18 m

Graven van de grachten 210780,00 m³ = f 811.503,00
 Afwerken = f 309.000,00
 Hek = f 96.600,00

Onderhoud

Maaien 15.450,00 per jaar
 Opschonen 2.700,00 per jaar
 Onderhoud betuining 3.000,00 per jaar

De totale kosten van het plan bedragen f 1.217.103,00 = f 6.761,68 per ha
 De totale onderhoudskosten bedragen f 21.150,00 = f 117,50/ha/jaar

Kunstwerken f 6.000,-- per ha

De kosten voor de kunstwerken bedragen f 1.080.000,00

Gebied: breedte = 600 m lengte = 3000 m

De kosten voor ont- en afwatering van het gebied bedragen

	Aanleg		Onderhoud per jaar	
	Totaal	Per ha	Totaal	Per ha
Drainage	1.133.410,00	6.296,72	16.224,00	90,13
Riolering	3.383.172,00	18.795,40	35.100,00	195,00
Grachten	1.217.103,00	6.761,68	21.150,00	117,50
Kunstwerken	1.080.000,00	6.000,00	0,00	0,00
Totaal	6.813.685,00	37.853,81	72.474,00	402,63