

## Over de meest gunstige plaats van regionale rioolwaterzuiveringsinstallaties

### Inleiding

De bouw van regionale rioolwaterzuiveringsinstallaties dient te worden bevorderd; tijdens de 5e vakantie cursus in de behandeling van afvalwater is dit door Prof. Koot [1] nogmaals betoogd.

De investeringskosten van het bij een dergelijk project behorende stelsel aanvoerleidingen zijn veelal zo groot, dat het gewenst is de situering van de installatie zorgvuldiger te overwegen. De transportkosten van het afvalwater van de diverse aan te sluiten kernen naar de centrale installatie zijn immers sterk afhankelijk van de plaats van de installatie.

Het zwaartepunt van de totale betrokken bebouwing wordt wel beschouwd als de (economisch) meest gunstige plaats voor een centrale rioolwaterzuiveringsinstallatie [2].

Deze vuistregel is én onjuist én weinig bruikbaar. Zij is weinig bruikbaar omdat slechts informatie wordt verkregen omtrent één plaats; die plaats zal in vele gevallen niet beschikbaar zijn voor de bouw van een installatie. Dat deze vuistregel onjuist is, blijkt uit het volgende voorbeeld. In afb. 1 zijn A en B twee vervuilingkernen; kern A is tweemaal zo groot als kern B. De aanlegkosten per meter van de aanvoerleiding  $l_a$  zijn dan anderhalf tot tweemaal zo groot als die van leiding  $l_b$ . De meest gunstige plaats voor een centrale zuiveringsinstallatie zou nu het zwaartepunt van de bebouwing zijn (punt X in afb. 1).

Evident is echter dat als voor de installatie een plaats nabij kern A wordt gekozen, de totale aanlegkosten van leiding  $l_a$  meer afnemen dan die van  $l_b$  toenemen en dat dan de totaalkosten van het stelsel aanvoerleidingen minimaal zijn.

Hierna wordt een methode beschreven om in de planingsfase van een regionaal zuiveringsproject het verband tussen de plaats en een centrale zuiveringsinstallatie en de kosten van het stelsel aanvoerleidingen (met

behulp van een reken-teken-machine) grafisch weer te geven.

### Uitgangspunten

De totale stichtingskosten van een regionaal zuiveringscomplex kunnen worden onderscheiden in de bouwkosten van de centrale installatie, de aanlegkosten van de benodigde leidingen voor de aanvoer van het rioolwater en de bouwkosten van de nodige persgemalen.

Voor planningsberekeningen kunnen de totale jaarlijkse kosten (inclusief de exploitatie) gesteld worden op een percentage van de investeringen. Voor persgemalen is er (voorlopig) van uitgegaan, dat de bouw- en exploitatiekosten (dus de totale jaarlijkse kosten) alleen afhankelijk zijn van de capaciteit en dus voor elke betrokken kern invariabel. Voorts zijn in een gegeven situatie de bouwkosten van de installatie bij benadering constant.

Op grond van het voorgaande zijn de totale kosten van een regionaal zuiveringsproject alleen afhankelijk van de kosten van het stelsel aanvoerleidingen.

### De aanlegkosten van een aanvoerleiding

De aanlegkosten van een aanvoerleiding in normaal terrein worden bepaald door de transportafstand en de leidingdiameter; de diameter is afhankelijk van de maatgevende hoeveelheid afvalwater per tijdseenheid (b.v.  $3 \times \text{dwa}$ ) en het drukverhang.

In de planningsfase zal veelal kunnen worden uitgegaan van een constant drukverhang zodat de *aanlegkosten per meter* nog slechts afhankelijk zijn van de maatgevende hoeveelheid. Bauer [3] heeft in een onderzoek betreffende de aanlegkosten van een regionaal leidingstelsel in onbebouwd terrein de volgende formule gevonden:

$$C = kQ^{5/6}$$

waarin C de aanlegkosten per mijl;

k een konstante;

Q de hoeveelheid per tijdseenheid.

In een publikatie geeft Ir. C. A. de Vlieger [4] een grafische voorstelling van het verband tussen de capaciteit van leidingen en de leidingkosten in centen per getransporteerde  $\text{m}^3$  per km leiding, bij een laag kostenpeil en onder ideale omstandigheden.

Afb. 2 geeft een voorstelling van het verband tussen de capaciteit en de investeringskosten per km leiding, afgeleid uit praktijkgegevens.

De bijbehorende functie blijkt te zijn:

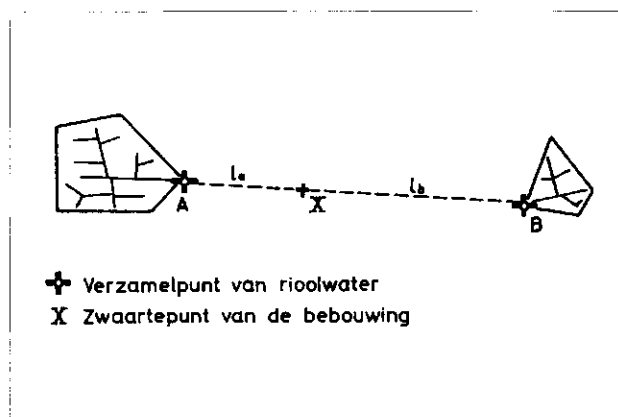
$$t(Q) = 6000 Q^{0,48} \quad (a)$$

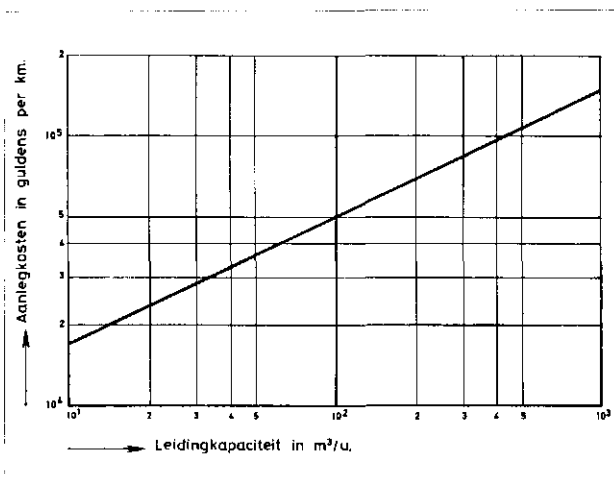
waarin  $t(Q)$  aanlegkosten per km leiding in guldens.

Q leidingcapaciteit bij een constant drukverhang van  $2 \text{ }^0/_{00}$ .

Deze functie wijkt enigszins af van de uit de gegevens van Vlieger af te leiden functie:  $t(Q) = 4100 Q^{0,54}$ .

Afb. 1.





Afb. 2

De *transportafstand* is bepaald door de plaatscoördinaten van het eindpunt van de riolering van de betreffende vervuilingskern enerzijds, en de coördinaten van de voor de zuiveringsinstallatie in aanmerking genomen plaats anderzijds. Deze afstand bedraagt:

$$f \cdot [(X - X_z)^2 + (Y - Y_z)^2]^{1/2} \quad (b)$$

Hierin zijn:

$X_z, Y_z$  variabele coördinaten van de rioolwaterzuiveringsinstallatie;

$X, Y$  de coördinaten van het eindpunt van de riolering;

$f$  de verhoudingsfactor tussen de werkelijke en de hemelsbreed gemeten leidinglengte.

Uit de formule (a) en (b) wordt voor de aanlegkosten van een persleiding tussen de punten  $(X, Y)$  en  $(X_z, Y_z)$  de volgende formule gevonden

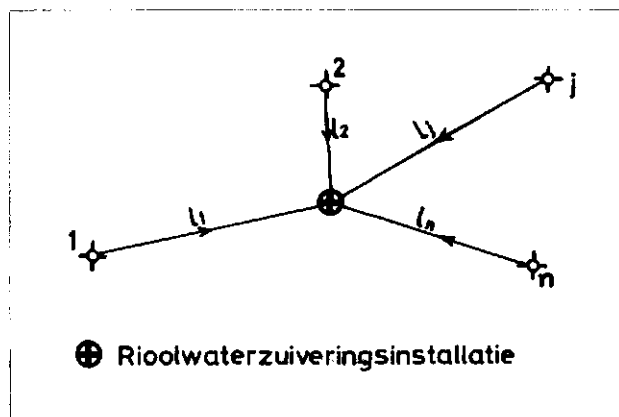
$$6000 \cdot f \cdot Q^{0,48} [(X - X_z)^2 + (Y - Y_z)^2]^{1/2} \quad (c)$$

### De meest gunstige plaats

De vervuilingskernen 1, 2, 3 . . . . .  $j$ , . . . . .  $n$  worden aangesloten op een centrale rioolwaterzuiveringsinstallatie (afb. 3).

De aanlegkosten van de afzonderlijke aanvoerleidingen naar deze installatie bedragen volgens de formule (c) voor:

Afb. 3



$$l_1 : 6000 \cdot f \cdot Q_1^{0,48} \cdot [(X_1 - X_z)^2 + (Y_1 - Y_z)^2]^{1/2}$$

$$l_2 : 6000 \cdot f \cdot Q_2^{0,48} \cdot [(X_2 - X_z)^2 + (Y_2 - Y_z)^2]^{1/2}$$

$$l_j : 6000 \cdot f \cdot Q_j^{0,48} \cdot [(X_j - X_z)^2 + (Y_j - Y_z)^2]^{1/2}$$

$$l_n : 6000 \cdot f \cdot Q_n^{0,48} \cdot [(X_n - X_z)^2 + (Y_n - Y_z)^2]^{1/2}$$

De totale aanlegkosten van het stelsel aanvoerleidingen worden gevonden door de aanlegkosten van de afzonderlijke leidingen te sommeren:

$$\sum_{j=1}^n 6000 \cdot f \cdot Q_j^{0,48} \cdot [(X_j - X_z)^2 + (Y_j - Y_z)^2]^{1/2} \quad (d)$$

De meest gunstige plaats voor de centrale zuiveringsinstallatie heeft die coördinaten  $(X_z, Y_z)$ , waarvoor deze som minimaal is.

Zoals eerder betoogd, heeft het bepalen van de coördinaten waarvoor dit minimum wordt bereikt (het zuiveringszwaartepunt) slechts beperkte waarde; het is van meer belang inzicht te hebben in het verloop van de aanlegkosten van het stelsel aanvoerleidingen bij afwijking van het zuiveringszwaartepunt.

Ten behoeve van dit inzicht is het nodig dat voor elke mogelijke plaats van de zuiveringsinstallatie de kosten van het bijbehorende stelsel aanvoerleidingen bekend zijn. Bovendien dienen deze gegevens eenvoudig hanteerbaar en overzichtelijk te zijn.

### Het isokostenpatroon

Met behulp van de formule (d) kunnen voor elke willekeurige plaats de aanlegkosten van het bijbehorende stelsel aanvoerleidingen berekend worden. Worden op een plankkaart dié plaatsen onderling verbonden, waarvoor de aanlegkosten hetzelfde zijn, dan ontstaan gesloten krommen, zg. isokosten.

Een *isokost* is de verzameling van alle plaatsen waarvoor geldt dat de aanlegkosten van het stelsel aanvoerleidingen naar elk van die punten gelijk zijn. De wiskundige vergelijking van een isokost wordt verkregen door formule (d) gelijk te stellen aan een konstante waarde. Binnen de kleinste kromme ligt de plaats waarvoor de aanlegkosten van het stelsel aanvoerleidingen minimaal is, het zuiveringszwaartepunt.

Het zal duidelijk zijn, dat het noodzakelijke reken- en tekenwerk nauwelijks „met de hand” kan worden uitgevoerd. Het gebruik van een programmeerbare (tafel) rekenmachine, bij voorkeur in combinatie met een automatische plotter, is daarom voorwaarde om het onderhavige systeem te kunnen toepassen.

Voor de betrokken vervuilingskernen worden eerst de noodzakelijke basisgegevens verzameld, te weten de maatgevende hoeveelheid te transporteren afvalwater per tijdseenheid ( $Q$ ) en de coördinaten van het eindpunt van de riolering  $(X, Y)$  in een willekeurig assenstelsel.

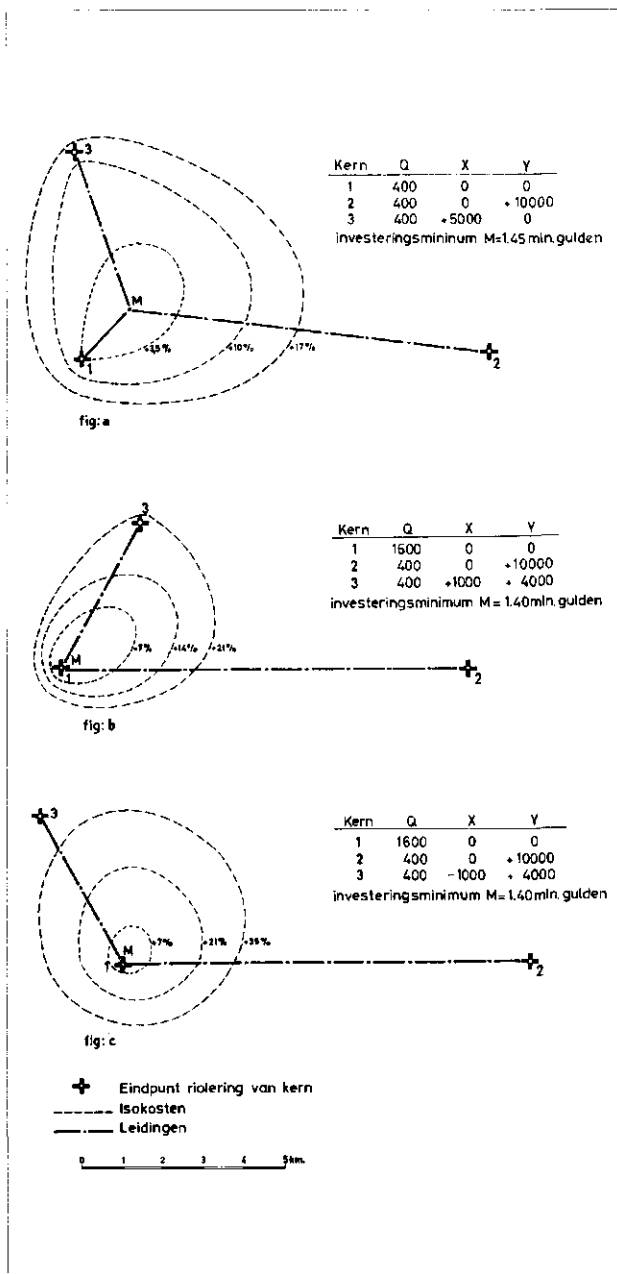
Formule (d) wordt zo geprogrammerd dat deze gegevens

kunnen worden gevarieerd. Ook het aantal kernen is variabel. Allereerst wordt het minimum investeringsbedrag  $M$  berekend alsmede de bijbehorende coördinaten ( $X_z$ ,  $Y_z$ ) en door de plotter op een topografische kaart aangebracht.

Uitgaande van  $M$  wordt nu bv. de isokost  $1,1 \times M$  bepaald (isokost  $1,1 \times M$  betekent, dat voor alle plaatsen op deze isokost de investeringen van het stelsel aanvoeringen 10 % meer bedragen dan het minimum investeringsbedrag  $M$ ); en wel als volgt:

Bij een gekozen  $X$ -waarde wordt het bijbehorende punt op deze isokost (de bijbehorende  $Y$ -waarde) berekend en getekend. Daarna wordt deze  $X$ -waarde verhoogd met  $\Delta X$  en de bijbehorende  $\Delta Y$  waarde berekend enz. De gevonden punten worden op kaart gebracht en onderling verbonden.

Afb. 4



Met behulp van een tafelrekenmachine is voor een drietal theoretische situaties het bovenbeschreven isokostenpatroon berekend en grafisch voorgesteld (afb. 4).

De invoergegevens dienen als volgt te zijn gedimensioneerd:

$Q$  in  $m^3/u$

$X$  in km t.o.v. het gekozen nulpunt

$Y$  in km t.o.v. het gekozen nulpunt.

In formule (d) is  $f=1$  gesteld (naar schatting zal  $f$  ongeveer 1,1 à 1,2 bedragen; voor wegen binnen de bebouwde kom bedraagt de factor  $f$  circa 1,2 (4)).

Het aantal vervuilingskernen is beperkt tot drie in verband met de capaciteit van de gebruikte machine. Vooral wanneer gevallen met meer dan 3 vervuilingskernen worden doorgerekend, zal de mogelijkheid moeten worden onderzocht of afvalwater van een der kernen moet worden doorgevoerd door het rioleringsstelsel van een andere. Dit procesgedeelte is in het thans ontwikkelde programma nog niet opgenomen.

Afhankelijk evenwel van de ligging van het zuiveringszwaartepunt zal een voorkeur voor een dergelijke doorverbinding zich duidelijk manifesteren. Wordt deze tot stand gebracht en het rekenproces na aanpassing van de inputgegevens herhaald, dan kan dit facet van de planning toch met behulp van dit programma worden onderzocht.

### Slotopmerkingen

1. Het hiervoor ontwikkelde systeem behandelt de detailplannen op grond van een basisplan. In het basisplan dienen ondermeer de vervuilingskernen geografisch te worden ingedeeld in groepen waarvoor de behandeling van het afvalwater centraal zal plaatsvinden (de indeling in zuiveringsrayons).
2. De plaats van de zuiveringsinstallatie is mede afhankelijk van de aanwezigheid van oppervlaktewater dat geschikt is voor het lozen van het effluent. (Door toepassing van een effluentleiding kan deze invloed overigens aanmerkelijk worden verkleind). Hoewel het invoeren van deze randvoorwaarde in het systeem nauwelijks problemen oplevert, hiervan afgezien omdat de gebruikte apparatuur daartoe onvoldoende capaciteit heeft.
3. Invloed van b.v. kruisingen met wegen en wateren is (nog) niet in het systeem betrokken.

### Literatuur

1. Koot, A. C. J. De toekomstige behandeling van huishoudelijk afvalwater. *H<sub>2</sub>O* (3) 1970, pag. 551.
2. Zijlstra, K. C. Het vraagstuk van de slibverwerking. *H<sub>2</sub>O* (1) 1968, pag. 94.
3. Bauer, W. J. Economics of urban Drainage Design proc. Am. Soc. Civil Eng. Vol. 88 no. HY6, pag. 93 (nov. 1962).
4. De Vlieger, C. A. Economische ontwerpen in openbare watervoorziening. *H<sub>2</sub>O* (3) 1970, pag. 221.
5. Volmuller, J. Verkeersonderzoek in het Y-mond-gebied. *ing./jrg.* 82 nr. 36.