

1. Inleiding

Bij het vergelijken van de geschatte jaarlijkse kosten van verschillende alternatieven voor een zuiveringstechnisch project en bij het bepalen van de verwachte jaarlijkse kosten per i.e., blijkt dat het invoeren van een inflatiecorrectie, waardoor de jaarlijkse kosten bij de huidige hoge rentestand aanzienlijk kunnen worden gedrukt, niet algemeen wordt aanvaard.

Het gaat hier om een algemeen geldend economisch verschijnsel. Dat het geld minder en minder waard wordt is de meesten



IR. J. W. H. DE MOL VAN OTTERLOO

Witteveen + Bos,
Raadgevend Ingenieursbureau,
Deventer

wel bekend. Dat er een verband is te signaleren tussen inflatie en rentevoet wordt minder algemeen bekend geacht. Dat er bovendien dankzij dit verschijnsel een kostprijsstheorie kan worden opgebouwd, waarbij de kapitaalslasten aanmerkelijk minder blijken te zijn en tevens onafhankelijk van zowel de rentevoet als de inflatie, is weinig bekend.

In het kort komt de gedachte, die verder wiskundig zal worden uitgewerkt, hierop neer:

Men is alleen dan geneigd geld uit te lenen indien men daarvoor een redelijke rente ontvangt. Wordt het uitgeleende kapitaal aangetast in zijn waarde door het verschijnsel inflatie, dan zal men de redelijke rente verhogen met een percentage gelijk aan de verwachte inflatie.

Is bijv. de huidige kapitaalsrente

$p = 10\%$ per jaar

en de inflatie

$i = 8\%$ per jaar

dan is de redelijke rente

$p - i = 2\%$ per jaar.

Anders gezegd, het resultaat is, dat de kapitaalverschaffer zich veilig stelt voor de inflatie, door jaarlijks van de te ontvangen rente $p \cdot L$ (hierin is $L =$ uitgeleend kapitaal) een bedrag $i \cdot L$ op zij te leggen, waardoor per saldo zijn kapitaal dezelfde koopkracht blijft bewaren. Het restant, $(p - i)L$, is de werkelijke of de redelijke rentevergoeding die hij wenst te ontvangen. Voor wat het lenen betreft, om een investering in een kapitaalgoed te kunnen financieren, geldt ongeveer hetzelfde. Is de verschuldigde rente $p\%$ per jaar en de vervangingswaardestijging $b\%$ per jaar van het kapitaalgoed, dan wordt de effectief te betalen rente ongeveer $(p - b)\%$ per jaar. De leners wordt dus door de waardestijging

Symbolen

I	= investering
B_k	= herbouwwaarde in k^e jaar
L_k	= lening in k^e jaar
D_k	= afschrijving in k^e jaar
R_k	= interest in k^e jaar
A_k	= rente en afschrijving in k^e jaar
n	= afschrijvingstermijn in jaren
$d\%$ per jaar	= afschrijving
$p\%$ per jaar	= nominale rentevoet
$p_r\%$ per jaar	= reële rentevoet
$a\%$ per jaar	= annuïteit
$b\%$ per jaar	= herwaardering project
$i\%$ per jaar	= inflatie
C	= aantal inwoner- ekwivalenten
Q	= maximaal debiet in m^3/h

van het kapitaalgoed gedeeltelijk schade-loos gesteld voor de hoge rente.

Onderscheid wordt hierbij gemaakt tussen de algemene inflatie i en de vervangingswaardestijging b , die ook wel de herbouwwaardestijging of de herwaardering kan worden genoemd. Het zal duidelijk zijn, dat de twee grootheden niet aan elkaar gelijk hoeven te zijn, omdat de inflatie i het gevolg is van de algemene prijsstijging, die tot uitdrukking komt in de ontwaarding van het geld (jaarlijkse ontwaarding geld

$= \frac{1}{(1+i)}$), terwijl de specifieke herwaar-

dering b , het gevolg is van de prijsstijging van het beschouwde kapitaalgoed.

2. Kostenanalyses

Als twee variantontwerpen voor een kapitaalgoed, zoals bijv. een zuiveringstechnisch werk, worden onderworpen aan een kostenanalyse, dan wordt dat gedaan om een hulpmiddel te hebben bij de keuzebepaling.

Men onderscheidt hierbij:

- investeringskostenvergelijkingen;
- vergelijkingen van jaarlijkse kosten.

De laatste kosten zijn het belangrijkste omdat zij het meest zeggen over het totaal van factoren die het economisch beeld van het project bepalen.

Zij kunnen worden onderverdeeld in:

- onderhoudskosten;
- personeelskosten;
- energiekosten;
- kapitaalslasten.

De onderhoudskostenindex, de personeelskostenindex en de energiekostenindex correleren min of meer met de inflatie. Een eenmalige bepaling van deze kostencomponenten is derhalve voldoende. Immers het gewicht van deze kostencompo-

nenten, 'de waardevastheid' blijft in de tijd ongeveer gelijk.

Dit geldt niet voor de volgens de conventionele methoden berekende kapitaalslasten. In het volgende zullen de kapitaalslasten aan een nauwkeurige analyse worden onderworpen.

3. Kapitaalslasten

De kapitaalslasten van een project bestaan volgens de gebruikelijke opvattingen uit twee componenten, t.w.: rente en afschrijving.

Zowel de rente als de afschrijving kunnen bij afsluiting van een lening aan afspraken worden gebonden.

Voor de berekening van de kapitaalslasten van een project gaat men meestal uit van de op dat moment heersende rentevoet en een afschrijvingstermijn die overeenkomt met de vermeende technische levensduur.

Het is eigenlijk merkwaardig, dat een andere component van de kapitaalslasten, de inflatie, meestal niet wordt meegerekend. Misschien is het wel het onkalkuleerbare van de inflatie en het idee dat er geen afspraak of voorspelling over mogelijk is dat de inflatie als fenomeen in de kapitaalslastenberekening wordt verwaarloosd. Een feit is echter dat de rente en de afschrijvingstermijn ook niet voorspelbaar zijn. Wel maakt men een leningscontract met een geldverschaffer en legt de rente en de afschrijvingen vast. Hiermede worden derhalve voor n jaren volgens een bepaalde methode de kapitaalslasten gekontraakteerd. Eventuele wijzigingen in de algemene marktrente of verkorting van de technische of economische levensduur van het project worden niet gevolgd; althans in de praktijk niet.

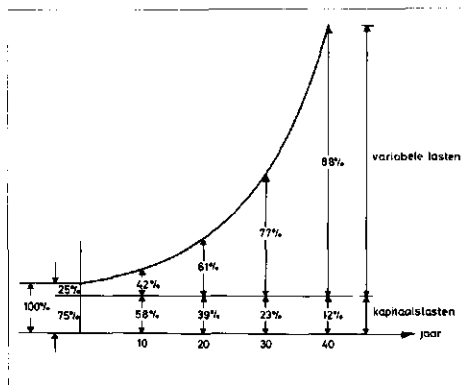
Met deze onzekerheden wordt het minder voor de hand liggend de inflatie bij voorbaat uit te sluiten; temeer daar het verschijnsel er gewoon is en duidelijk zijn invloed laat voelen.

Afb. 1 geeft als voorbeeld een indicatie van deze invloed.

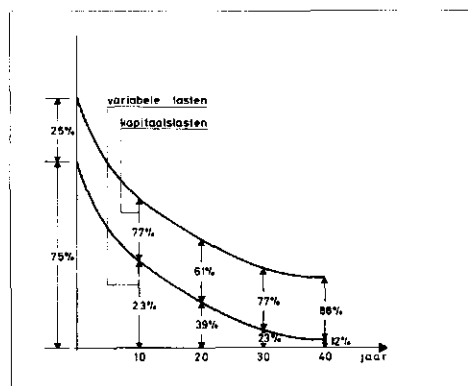
In deze afbeelding is het jaarlijkse kostenverloop aangegeven van een rioolwaterzuiveringsinrichting.

Bij het inbedrijfstellen van het project blijkt uit een berekening van de jaarlijkse kosten dat de kapitaalslasten zich in het eerste jaar ongeveer verhouden tot de overige jaarlijkse kosten als $75 : 25\%$. Door de invloed van de inflatie echter nemen de variabele lasten geleidelijk aan toe (hier aangenomen met 8% per jaar).

De kapitaalslasten zijn gekontraakteerd voor een looptijd van bijv. 40 jaren. Na 40 jaar blijkt de verhouding kapitaalslasten -



Afb. 1a - Voorbeeld van het mogelijke verloop van de jaarlijkse kosten van een rioolwaterzuiveringsinrichting, waarbij wordt aangenomen dat de variabele lasten (energie, personeel en onderhoud) met 8 % per jaar toenemen.



Afb. 1b - Jaarlijkse kostenverloop als in afb. 1a, echter gekorrigeerd voor de geldontwaarding die in dit geval wordt aangenomen op 8 % per jaar.

variabele lasten te zijn gewijzigd in 12 % : 88 %.

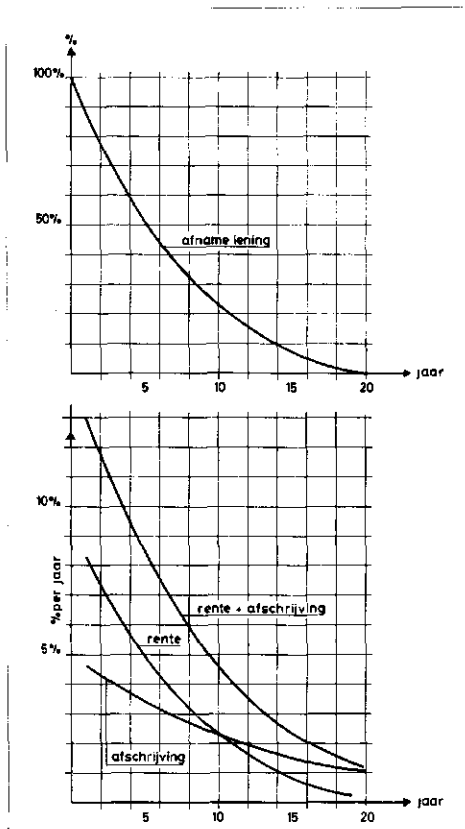
Afb. 1a geeft de indruk dat de totale jaarlijkse lasten stijgen. Het tegendeel is waar. Worden de totale jaarlijkse kosten elk jaar gekorrigeerd voor de ontwaarding van het geld, dus uitgedrukt in de waarde-eenheden van basisjaar nul, dan wordt het beeld zoals weergegeven in afb. 1b.

Uit dit voorbeeld moge blijken dat gemiddeld de kapitaalslasten minder gewicht in de beoordelingsschaal leggen dan een beschouwing van de situatie in het eerste jaar zou doen vermoeden.

Om dit verschijnsel in een formule te ondervangen wordt in het volgende, na de oude afschrijvingsmethoden te hebben beschreven, een nieuwe afschrijvingsmethode ontwikkeld.

3.1. Lineaire afschrijving (konventioneel)

De lineaire methode gaat uit van een vast afschrijvingsgedeelte van de oorspronkelijke investering: $\frac{I}{n}$. Hierbij wordt aangenomen dat de oorspronkelijke lening L_0 gelijk is aan de investering I in jaar 0 ($L_0 = I$) en de



Afb. 2/3 - Lineaire afschrijvingsmethode voor $n = 20$ jaar, $p = 9 \%$, $i = 8 \%$.

Afb. 2 - Verloop van de lening gekorrigeerd voor de geldontwaarding.

Afb. 3 - Verloop van de jaarlijkse kapitaalslasten in % van de oorspronkelijke lening, gekorrigeerd voor de geldontwaarding.

afschrijvingen van de lening volgens afspraak in n jaren plaatsvinden. Een gekontrakteerd rentepercentage wordt betaald over de resterende uitstaande lening. Hieruit volgt dat in het k^e jaar:

de resterende lening $L_k = I \cdot \left(\frac{n-k}{n}\right)$

de afschrijving $D_k = \frac{I}{n}$

de interest $R_k = p \cdot L_{k-1}$

de rente + afschrijving $A_k = p \cdot L_{k-1} + \frac{I}{n}$

Al deze waarden liggen bij het afsluiten van de lening vast. Dus het is bekend wat

nominaal in gulden de lening in het k^e jaar zal zijn en hoeveel rente en afschrijving (aflossing) zal moeten worden betaald. Wat niet bekend is, is hoeveel de koopwaarde van de gulden bedraagt in het k^e jaar. Neemt men echter een vast inflatietempo i aan dan zal de waarde van de gulden

in het k^e jaar zijn gedaald tot $\frac{1}{(1+i)^k}$.

Door de voorgaande betrekkingen te korrigeren voor deze ontwaarding, dus te delen door $(1+i)^k$ krijgt men een inzicht in het werkelijke waardeverloop van de lening en de betalingen gedurende de afschrijvingsperiode.

Afb. 2 en 3 geven hiervan een voorbeeld.

3.2. Annuïteiten methode (konventioneel)

Bij deze methode wordt periodiek een gelijk bedrag, de annuïteit, betaald voor rente en afschrijving tezamen.

De annuïteit wordt bepaald door dit jaarlijks te betalen bedrag te laten accumuleren met de daarop gemaakte rente en na de afschrijvingsperiode van n jaren gelijk te stellen aan het oorspronkelijk geleende bedrag vermeerderd met de daarop rentende rente (zie onder aan de pag.). Hieruit kunnen de volgende betrekkingen worden afgeleid voor het k^e jaar:

de annuïteit $a = \frac{p \cdot (1+p)^n}{(1+p)^n - 1}$

de resterende lening $L_k = I \cdot \frac{(1+p)^n - (1+p)^k}{(1+p)^n - 1}$

de afschrijving $D_k = L_{k-1} - L_k$

de interest $R_k = p \cdot L_{k-1}$

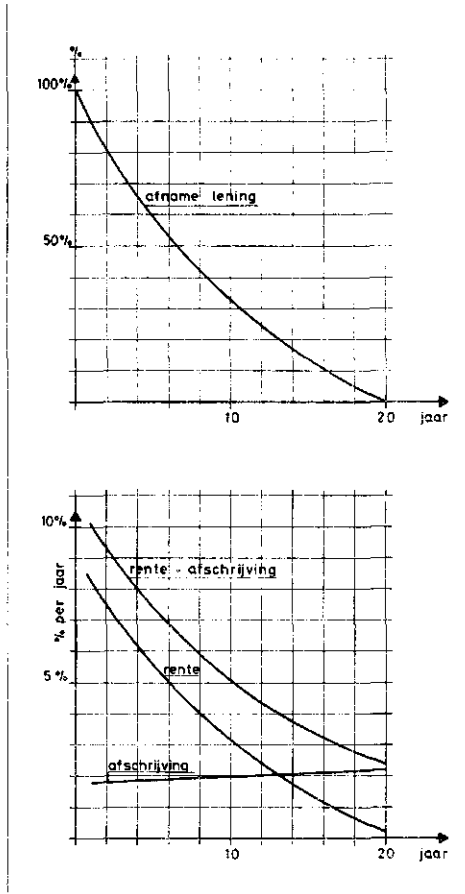
de rente + afschrijving $A_k = a \cdot I$

Om de waarden van deze betrekkingen op tijdstip 'nu' te vinden moeten de uitkomsten worden gedeeld door de inflatiecorrectie $(1+i)^k$, waarvan de afb. 4 en 5 een voorbeeld geven.

Uit beide voorgaande zgn. konventionele afschrijvingsmethoden blijkt dat de kapitaalslasten in het begin van de afschrijvingsperiode relatief hoog zijn en daarna scherp verminderen.

I Bij de lineaire afschrijvingsmethode is dat nog meer het geval dan bij de annuïteitenmethode. In beide gevallen blijkt echter duidelijk dat door de inflatie of de ontwaarding van het geld in combinatie met

jaar	lening met rentende rente	geaccumuleerde annuïteit met rentende rente	resterende = lening
1	$I(1+p)$	$- aI$	$= L_1$
2	$I(1+p)^2$	$- aI\{(1+p)+1\}$	$= L_2$
3	$I(1+p)^3$	$- aI\{(1+p)^2+(1+p)+1\}$	$= L_3$
k	$I(1+p)^k$	$- aI\{(1+p)^{k-1}+(1+p)^{k-2}+\dots+(1+p)+1\}$	$= L_k$
n	$I(1+p)^n$	$- aI\{(1+p)^{n-1}+(1+p)^{n-2}+\dots+(1+p)+1\}$	$= L_n = 0$



Afb. 4/5 - Annuïteitenmethode voor $n = 20$ jaar, $p = 9\%$, $i = 8\%$.

Afb. 4 - Verloop van de lening gekorrigeerd voor de geldontwaarding.

Afb. 5 - Verloop van de jaarlijkse kapitaalslasten in % van de oorspronkelijke lening, gekorrigeerd voor de geldontwaarding.

een hoge rentevoet de lasten van het kapitaal bijzonder zwaar op de eerste jaren drukken.

3.3. Afschrijving op basis van herbouwwaarde

Het project kan jaarlijks aan een herwaardering worden onderworpen. Hiervoor kan men bijv. de bouwkostenstijging aanhouden of een andere index die uitdrukking geeft aan de waardering die men in het k^e jaar aan het project hecht.

Stel b = herwaardering van het project in % per jaar.

De afschrijving vindt zodanig plaats, dat de lening lineair ten opzichte van het jaarlijks hergewaardeerde project afneemt.

Voor het k^e jaar kunnen de volgende betrekkingen worden opgesteld:

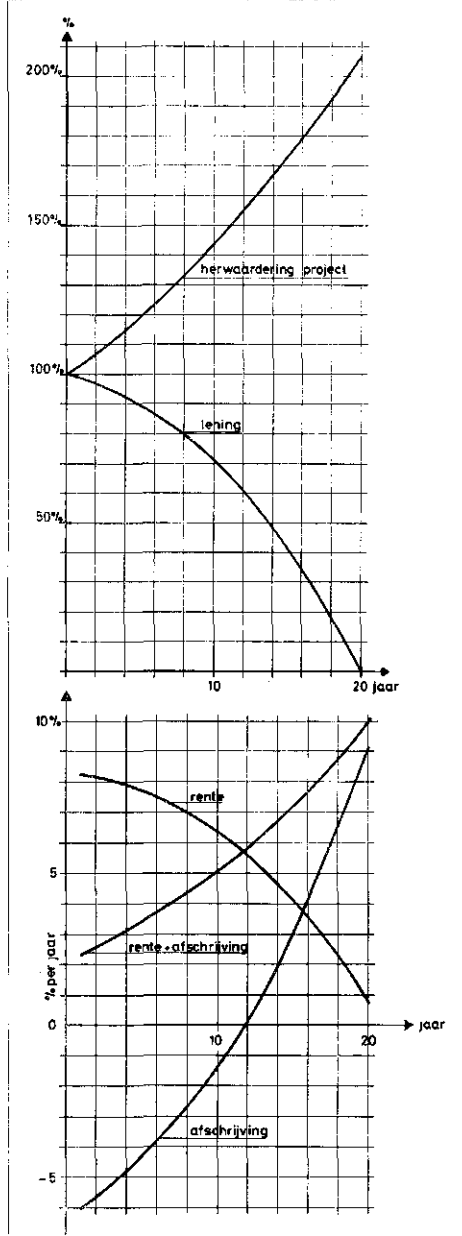
waarde project $B_k = I \cdot (1 + b)^k$

resterende lening $L_k = B_k \cdot \left(\frac{n - k}{n}\right)$

afschrijving $D_k = L_{k-1} - L_k$

interest $R_k = p \cdot L_{k-1}$

rente + afschrijving $A_k = (1 + p) \cdot L_{k-1} - L_k$



Afb. 6/7 - Afschrijving op basis van herbouwwaarde voor $b = 12\%$, $i = 8\%$, $p = 9\%$, $n = 20$ jaar.

Afb. 6 - Verloop van de herwaardering of herbouwwaarde van het project en het verloop van de lening, beiden gekorrigeerd voor de geldontwaarding.

Afb. 7 - Verloop van de jaarlijkse kapitaalslasten in % van de oorspronkelijke lening gekorrigeerd voor de geldontwaarding.

Al deze betrekkingen moeten worden gekorrigeerd voor de ontwaarding van het geld, door deling met de inflatie-index $(1 + i)^k$. Zie afb. 6 en 7.

3.4. Afschrijving op basis van index-annuïteiten

Deze methode hanteert de annuïteit als basis voor rente en afschrijving. Alleen wordt nu de annuïteit elk jaar aangepast aan een index $(1 + b)$. Deze kan de bouwkostenstijging inhouden of een andere waarderingsmaatstaf van het bouwwerk (projekt).

Voor de index-annuïteit a_k geldt derhalve $a_k = a_0 (1 + b)^k$.

Dus

het eerste jaar betaalt men $A_1 = a_0 I (1 + b)$

het tweede jaar $A_2 = a_0 I (1 + b)^2$

het k^e jaar $A_k = a_0 I (1 + b)^k$.

De berekening van a_0 vindt als volgt plaats.

De te betalen bedragen A_1, A_2, \dots, A_k worden gedurende de respectievelijke tijden van de afschrijvingsperiode rentedragend.

De som van de betaalde bedragen met de geaccumuleerde rente moet na de afschrijvingsperiode n gelijk zijn aan de lening met de daarop geaccumuleerde rente.

Het beeld is als volgt (zie onderaan de pag.). Hieruit kunnen voor het k^e jaar de volgende betrekkingen worden afgeleid:

de index annuïteit

$$a_k = \frac{p - b}{1 + b} \cdot \frac{(1 + p)^n}{(1 + p)^n - (1 + b)^n} (1 + b)^k$$

de resterende lening

$$L_k = \left\{ \frac{(1 + p)^n (1 + b)^k - (1 + p)^k (1 + b)^n}{(1 + p)^n - (1 + b)^n} \right\}$$

de afschrijving

$$D_k = L_{k-1} - L_k$$

de interest

$$R_k = p \cdot L_{k-1}$$

de rente + afschrijving

$$A_k = a_k \cdot I$$

Alle waarden moeten weer worden gekorrigeerd voor de inflatie door deling door $(1 + i)^k$.

De afb. 8 en 9 geven van deze methode een voorbeeld, waarbij opvalt dat de annuïteiten gedurende de afschrijvingsperiode beter op

Jaar	lening met rentende rente	variabele annuïteiten met — rentende rente	resterende = lening
1	$I(1 + p)$	$- a_0 L(1 + b)$	$= L_1$
2	$I(1 + p)^2$	$- a_0 L \{ (1 + b)(1 + p) + (1 + b)^2 \}$	$= L_2$
k	$I(1 + p)^k$	$- a_0 L \{ (1 + b)(1 + p)^{k-1} + (1 + b)^2(1 + p)^{k-2} + \dots + (1 + b)^{k-1}(1 + p) + (1 + b)^k \}$	$= L_k$
n	$I(1 + p)^n$	$- a_0 L \{ (1 + b)(1 + p)^{n-1} + (1 + b)^2(1 + p)^{n-2} + \dots + (1 + b)^{n-1}(1 + p) + (1 + b)^n \}$	$= L_n$

'niveau' blijven dan de rente + afschrijving bij de methode op basis van herbouwwaarde (afb. 7).

3.5. *Beoordeling van de verschillende afschrijvingsmethoden*

Bij de methoden 'lineair' en 'annuïteiten' wordt geen rekening gehouden met een bepaalde herwaardering van het objekt. Als afschrijvingstechniek zijn deze methoden aanvaardbaar. Gaat men echter in het ontwerp stadium verschillende variantoplossingen vergelijken, dan moeten deze rekenmethoden om de kapitaalslasten te kunnen bepalen worden verworpen. De afschrijvingsmethode op herwaarderingswaarde van het objekt is in theorie aanvaardbaar. Als praktische methode om variantoplossingen te vergelijken, moet de voorkeur worden gegeven aan de variabele annuïteitenmethode. Het voordeel bij deze methode is, dat als men de herwaardering b gelijk stelt aan de inflatie i, de gekorrigeerde index annuïteit

$$\frac{a_0(1+b)^k}{(1+i)^k} \text{ ieder jaar gelijk is.}$$

Hierdoor krijgt men een goed inzicht in wat het geïnvesteerde kapitaal ongeveer kost. Het gelijkstellen van de herwaardering b aan de inflatie is een aanvaardbare handeling, omdat in het algemeen over een langere termijn, bijv. 20 jaar, deze grootheden slechts weinig van elkaar afwijken en dientengevolge hiermede slechts in geringe mate afwijkende uitkomsten worden verkregen.

Afb. 11 illustreert bij de gekozen aannamen hoe de annuïteit na korrektie voor de geldontwaarding, jaarlijks hetzelfde 'gewicht' behoudt. Voorts wordt in afb. 10 aangegeven dat de lening in feite de eerste jaren toeneemt, dat echter na korrektie voor de geldontwaarding, de waarde van de lening vanaf het begin van de looptijd regelmatig afneemt.

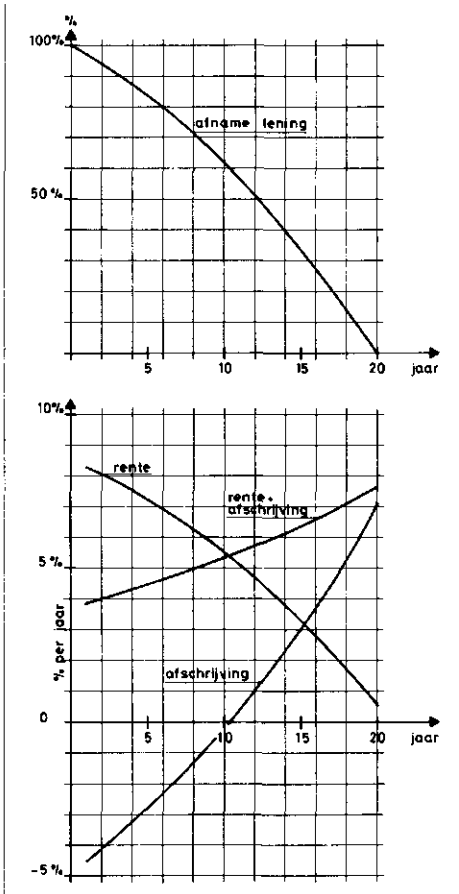
3.6. *De relatie tussen de inflatie en de rentevoet*

In tabel I staat het verloop van de kostenindex en de rentevoet vanaf het jaar 1900 weergegeven. Hieruit is op halflogarithmische schaal in afb. 12 een grafiek gekonstrueerd.

Onder voorbehoud kan uit afb. 12 worden gekonkludeerd dat er een korrelatie bestaat tussen de inflatie en de rentevoet.

Het blijkt dat de rentevoet in het algemeen iets boven de inflatie ligt. Men zou het zo kunnen vertalen:

Men is bereid ca. 1 à 2 % voor geleend geld te betalen boven de inflatieverwachting. Dat de aktuele inflatie daar onder of boven kan komen te liggen is een zaak van tijdelijke externe marktmechanismen.



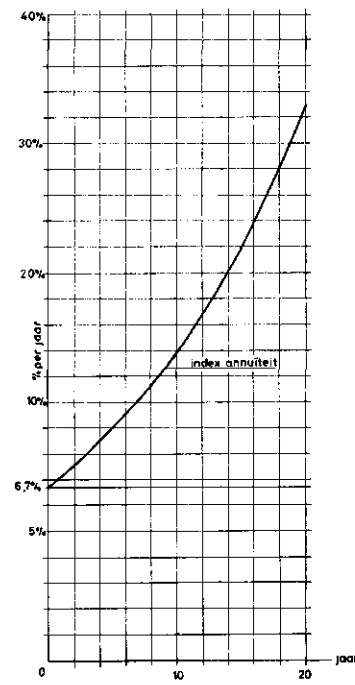
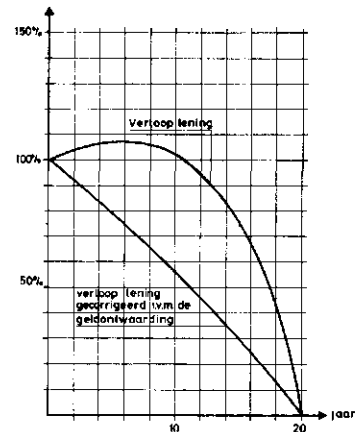
Afb. 8/9 - Index-annuïteitenmethode voor $b = 12\%$, $i = 8\%$, $p = 9\%$, $n = 20$ jaar.

Afb. 8 - Verloop van de lening gekorrigeerd voor de geldontwaarding.

Afb. 9 - Verloop van de jaarlijkse kapitaalslasten in % van de oorspronkelijke lening gekorrigeerd voor de geldontwaarding.

Bijvoorbeeld wordt aangetoond uit tabel I en afb. 12 dat in de jaren 1915-1920 de inflatie aanmerkelijk hoger was dan de kapitaalsrente, terwijl het omgekeerde het geval was in de daarop volgende jaren 1921-1923 en 1923-1932. Over het geheel genomen blijkt er echter toch een duidelijk verband te bestaan. Berekend kan worden dat het effectieve rendement gedurende de laatste 75 jaren ruim 1 % is geweest. De hier weergegeven en voor de bepaling van de rentevoet gebruikte kapitaalsrentepercentages, zijn de rendementen op eeuwigdurende staatsleningen en ontleend aan gegevens van het CBS.

Voor de samenstelling van de prijsindex is gebruik gemaakt van het prijsindexcijfer van de consumptie van gezinshuishoudingen, zoals dat voor het CBS t.b.v. de Nationale Rekeningen wordt berekend. Aangezien dit gegeven vóór 1948 niet voorhanden is, werd voor de jaren 1900-1947 gebruik gemaakt van het prijsindexcijfer van het gezinsverbruik (de vroegere kosten van levensonderhoud), eveneens door het CBS samengesteld.



Afb. 10/11 - Voorbeeld van het verloop van de uitstaande lening en de jaarlijkse lasten uitgedrukt in % van de oorspronkelijke lening, zowel niet als wel gekorrigeerd voor de geldontwaarding, waarbij de index-annuïteitenmethode is toegepast met de aanname dat de inflatie i gelijk is aan de bouwkostenstijging b.

Beide reeksen werden gekoppeld, terwijl het basisjaar op 1900 werd gebracht. De effectieve percentages per jaar gedurende 1900-1975, dat wil zeggen de percentages per jaar waarmee de indexen gedurende 75 jaar van 100 % op de waarden zoals vermeld in 1975 worden gebracht, kunnen uit de volgende betrekkingen worden berekend:

$$\begin{aligned} \text{Inflatie:} & (1+i)^{75} = 9,42 \\ \text{(prijsindex in 1975)} & \\ \text{Kapitaalsrente:} & (1+p)^{75} = 21,99 \\ \text{(kapitaalsrente-index in 1975)} & \\ \text{Resultierend rendement:} & (1+p_r)^{75} = \frac{21,99}{9,42} \\ & i = 3,04\%, \quad p = 4,21\%, \quad p_r = 1,14\% \end{aligned}$$

TABEL I.

Jaar k	Prijs-index %	Kapitaals-rente-index %	Inflatie i_k %	Kapitaals-rente P_k %	Resultierend rendement $(P_k - i_k)$ %
1900	100	100	—		
1901	104½	103	4,5	3,00	— 1,5
1902	100	106	— 4,3	3,03	7,3
1903	100	109	0	3,12	3,1
1904	104½	113	4,5	3,16	— 1,3
1905	104½	116	0	3,17	3,2
1906	104½	120	0	3,20	3,2
1907	104½	124	0	3,32	3,3
1908	109	128	4,3	3,30	— 1,0
1909	109	132	0	3,21	3,2
1910	109	137	0	3,34	3,3
1911	113½	142	4,1	3,52	— 0,6
1912	113½	147	0	3,68	3,7
1913	113½	152	0	3,79	3,8
1914	113½	158	0	3,79	3,8
1915	132	165	16,3	4,04	—12,2
1916	145½	171	10,2	4,09	— 6,1
1917	154½	178	6,2	4,13	— 2,1
1918	186½	186	20,7	4,42	—16,3
1919	200	195	7,2	4,85	— 2,3
1920	218	207	9,0	5,73	— 3,3
1921	191	217	—12,4	5,07	17,5
1922	168	228	—12,0	4,86	16,9
1923	163½	238	— 2,7	4,63	7,7
1924	163½	249	0	4,70	4,7
1925	163½	260	0	4,18	4,2
1926	159	270	— 2,8	4,00	6,8
1927	159	281	0	4,01	4,0
1928	159	292	0	3,88	3,9
1929	159	303	0	3,94	3,9
1930	150	315	— 5,7	3,81	9,5
1931	141	327	— 6,0	3,86	9,9
1932	132	340	— 6,4	3,89	10,3
1933	132	352	0	3,68	3,7
1934	132	364	0	3,35	3,4
1935	127	376	— 3,8	3,43	7,2
1936	122½	389	— 3,5	3,32	6,8
1937	127	401	3,7	3,13	— 0,6
1938	132	413	3,9	2,99	— 0,9
1939	127	428	— 3,8	3,56	7,4
1940	150	445	18,1	3,98	—14,1
1941	168	461	18,1	3,58	— 8,4
1942	182	476	8,3	3,21	— 5,1
1943	186½	490	2,5	3,11	0,6
1944	191	506	2,4	3,09	0,7
1945	222	521	10,2	—	—
1946	241	536	8,6	2,99	— 5,5
1947	254	553	5,4	3,06	— 2,3
1948	263	570	3,5	3,09	— 0,4
1949	282	588	7,2	3,12	— 4,1
1950	303	606	7,4	3,12	— 4,3
1951	336	627	10,9	3,42	— 7,5
1952	334	648	— 0,1	3,40	3,5
1953	333	668	0	3,16	3,2
1954	348	690	4,5	3,18	— 1,3
1955	356	712	2,3	3,19	0,9
1956	365	736	2,5	3,44	0,9
1957	385	787	5,5	4,22	— 1,3
1958	391	799	1,6	4,19	2,6
1959	396	833	1,3	4,27	3,0
1960	406	870	2,5	4,38	1,9
1961	415	907	2,2	4,20	2,0
1962	426	946	2,7	4,39	1,7
1963	442	988	3,8	4,39	0,6
1964	472	1036	6,8	4,84	— 2,0
1965	491	1089	4,0	5,19	1,2
1966	518	1153	5,5	5,86	0,4

Jaar k	Prijs-index %	Kapitaals-rente-index %	Inflatie i_k %	Kapitaals-rente P_k %	Resultierend rendement $(P_k - i_k)$ %
1967	533	1219	2,9	5,67	3,1
1968	546	1294	2,4	6,19	3,8
1969	581	1385	6,4	7,02	0,6
1970	607	1498	4,5	8,15	3,7
1971	656	1608	8,1	7,35	— 0,7
1972	712	1719	8,5	6,93	— 1,6
1973	774	1849	8,7	7,55	— 1,1
1974	852	2028	10,1	9,68	— 0,4
1975	942	2199	10,6	8,43	— 2,2

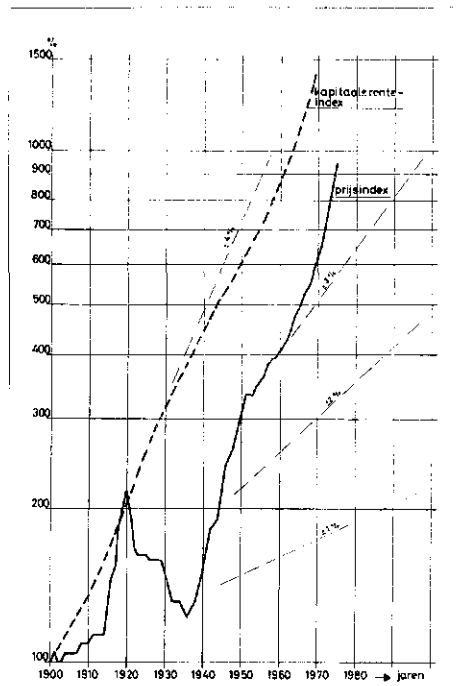
Effektief percentage per jaar gedurende 1900-1975 3,04 4,21 1,14

Voorgesteld wordt nu bij de bepaling van de kapitaalslasten van een objekt de volgende uitgangspunten te aanvaarden:

1. de herwaardering van het objekt b wordt gelijkgesteld aan de inflatie i;
2. als redelijke rente p_r , te betalen over het geïnvesteerde kapitaal, wordt beschouwd de inflatie vermeerderd met 3 %; dus $i + 0,03$.

Stellen we derhalve thans de rentevoet op $p = 9$ %, dan is $i = b = 6$ %, waarvan in de afb. 10 en 11 een voorbeeld is gegeven. Alhoewel de laatste jaren de inflatie hoger is geweest, zelfs soms hoger dan de rentevoet en bovendien de laatste 75 jaren de effectieve rente lager is geweest dan 3 %, wordt toch een praktische rekenrente van 3 % voorgesteld, waarin enige veiligheid is besloten. Hierdoor kunnen veranderingen in

Afb. 12 - Grafische weergave van de kapitaals-rente-index en de prijsindex gedurende de jaren 1900-1975.



de rentevoet ten opzichte van de inflatie op korte termijn enigszins worden onderhouden.

Voorts doet zich het verschijnsel voor dat de afschrijvingstermijnen van verschillende onderdelen van projecten niet altijd overeenkomen met de werkelijke levensduur van het projekt. Ook dit vraagt om enige voorzichtigheid ten aanzien van de bepaling van de kapitaalslasten.

3.7. Vereenvoudiging van de index-annuïteitenmethode

Met de aannamen

$$\frac{p-b}{1+b} = pb$$

kan de index-annuïteit worden geschreven:

$$a_k = \left\{ \frac{pb(1+pb)^n}{(1+pb)^n - 1} \right\} (1+b)^k$$

Voorts kan de uitdrukking voor de resterende lening worden vereenvoudigd tot

$$L_k = I \cdot \frac{(1+pb)^k}{pb(1+pb)^n}$$

Wordt bovendien verondersteld dat de inflatie i gelijk is aan de herwaardering b , dan wordt de index annuïteit, indien tevens gekorrigeerd voor de ontwaarding in jaar k

$$\text{en met } pb = \frac{p-i}{1-i} \approx p_r$$

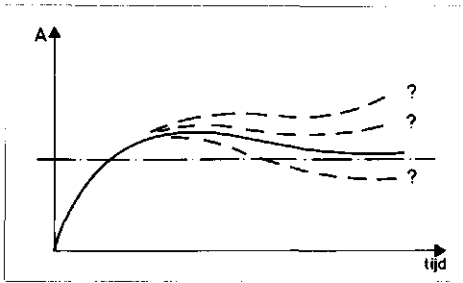
$$a_k = \frac{p_r(1+p_r)^n}{(1+p_r)^n - 1}$$

3.8. De kapitaalslasten bij het waterkwaliteitsbeheer

De praktijk wijst uit dat de kapitaalslasten bij een zuiveringsschap, waterschap of andere zuiverende instelling minder groot zijn ten opzichte van de totale jaarlijkse uitgaven dan men zou vermoeden.

Door de jaarlijks terugkerende investeringen en de ten gevolge van de inflatie steeds groter wordende bedragen, worden de kapitaalslasten van de investeringen van het eerste jaar ten opzichte van die van het laatste jaar, relatief steeds minder in gewicht. Dit fenomeen heeft tot gevolg dat in wezen automatisch de kapitaalslasten over het totaal van investeringen worden afgezwakt.

Het totaal van de kapitaalslasten neemt in principe het volgens afb. 13 verloop aan (gecorrigeerd voor de inflatie) en tendeert na verloop van tijd naar een gemiddelde. Hiermede kan worden aangetoond dat, al berekent men de kapitaalslasten volgens een konventionele methode, het terugkeren van investeringen leidt tot een automatische relatieve vermindering van de kapitaalslasten.



Afb. 13 - Tendensgrafiek van de jaarlijkse lasten van een instelling die vanaf een jaar nul jaarlijks bepaalde investeringen pleegt te doen.

Stel er wordt jaarlijks een bedrag geleend om een steeds gelijkwaardige investering te kunnen doen.

Dit bedrag is het eerste jaar I en in het k^e jaar $I(1+b)^k$ (zie afb. 14).

Elke investering wordt in n jaren afgeschreven op de normale annuïteitenbasis. Na n jaren zijn de totale kapitaalslasten van n investeringen

$$A_t = \frac{aI}{b} \{ (1+b)^n - 1 \}$$

De totale vervangingswaarde van de kapitaalsgoederen waarin de n investeringen hebben plaatsgevonden is

$$n \cdot I \cdot (1+b)^n$$

De effectieve annuïteit is derhalve als fractie van de totale herwaardeerde investering

$$a_{\text{eff}} = \frac{A_t}{n \cdot I \cdot (1+b)^n} = \frac{a}{n \cdot b} \cdot \frac{(1+b)^n - 1}{(1+b)^n}$$

$$a_{k,\text{eff}} = \frac{a}{n \cdot a_b} \cdot (1+b)^k$$

waarin
$$a_b = \frac{b \cdot (1+b)^n}{(1+b)^k - 1}$$

Het is interessant de verschillende annuïteiten met elkaar te vergelijken.

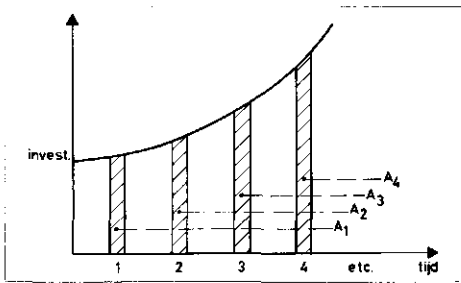
TABEL II.

n	konventionele annuïteit a	effectieve annuïteit a _o eff	index annuïteit a _o i
5	26,4 %	21,1 %	21,1 %
10	16,3 %	10,9 %	11,0 %
20	11,7 %	5,7 %	6,0 %
40	10,2 %	3,0 %	3,6 %

voor $p = 10\%$, $i = b = 8\%$, $\frac{p-b}{1+b} = 1,85\%$

n	konventionele annuïteit a	effectieve annuïteit a _o eff	index annuïteit a _o i
5	25,7 %	21,7 %	21,7 %
10	15,6 %	11,5 %	11,6 %
20	11,0 %	6,3 %	6,6 %
40	9,3 %	3,5 %	4,2 %

voor $p = 9\%$, $i = b = 6\%$, $\frac{p-b}{1+b} = 2,83\%$



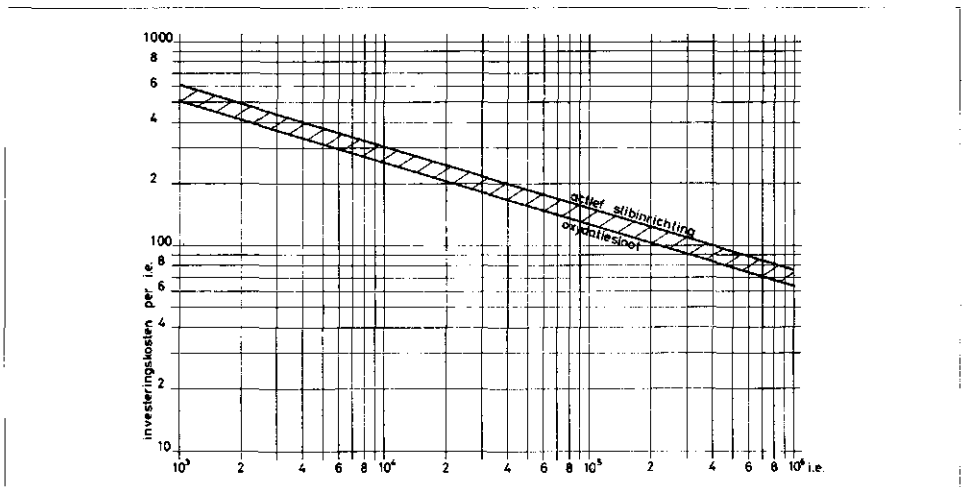
Afb. 14 - Toename in geledeenheden tengevolge van de influatie van jaarlijkse investeringen en jaarlijkse kosten per investering bij een instelling die jaarlijks bepaalde investeringen doet.

Uit deze tabel blijkt dat a_{eff} ongeveer gelijk is aan a_i waarmee is aangetoond dat bij herhaling van investeringen de kapitaalslasten tenderen naar de waarden van de eerder berekende index-annuïteiten.

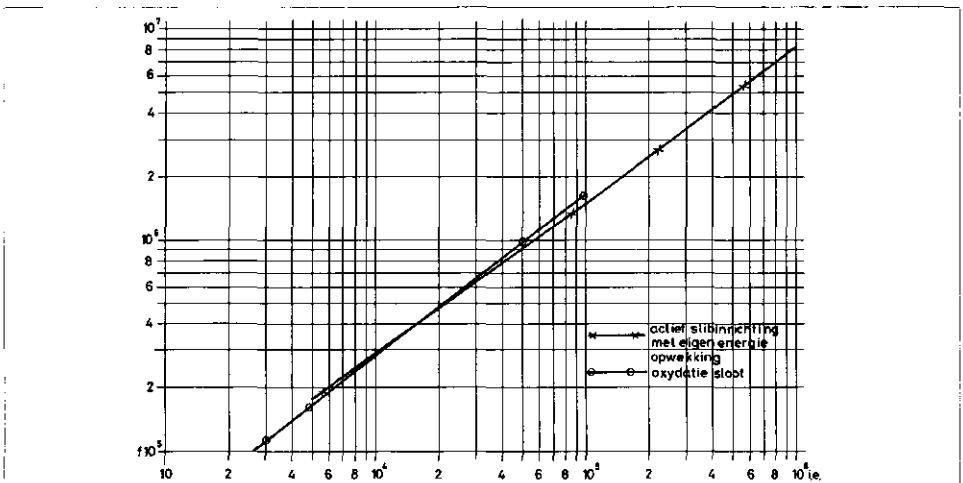
4. Toepassingen

De theorie zal nu worden toegepast in enige voorbeelden waarbij het resultaat zal worden vergeleken met dat volgens de oude methode.

Afb. 15 - Aanlegkosten van rioolwaterzuiveringsinrichtingen - prijsbasis 1977.



Afb. 16 - Jaarlijkse kosten van rioolwaterzuiveringsinrichtingen - prijsbasis 1977.



4.1. Vergelijking van de jaarlijkse kosten van oxydatiesloten en actief-slibinstallaties

Uit afb. 15 kunnen de volgende betrekkingen worden afgeleid voor de investeringskosten per i.e.:

$$\text{oxydatiesloot } I/C = \frac{4000}{C^{0,3}}$$

$$\text{actief-slibinstallatie } I/C = \frac{4800}{C^{0,3}}$$

Hierin is I = investering en C = aantal i.e.'s.

De kosten zijn 'all in', d.w.z. inclusief advies, BTW en renteverlies tijdens de bouw. De volgende grondslagen worden gehanteerd om de jaarlijkse kosten te berekenen:

1. het elektro-mechanisch (E.M.) gedeelte van de investering bedraagt voor de oxydatiesloot 35 % van de totale investering en voor de actief-slibinstallatie 40 % van de totale investering.

2. afschrijvingstermijn: bouwkundig (B)

TABEL III.

inv.	Oxydatiesloot		Aktief-slib		Gemaal		Persleiding
	B	E.M.	B	E.M.	B	E.M.	9 x C _{0,4} . L
kapitaalslasten	111,8 . C _{0,7}	117,6 . C _{0,7}	123,8 . C _{0,7}	161,3 . C _{0,7}	4,64 . C _{0,85}	6,05 . C _{0,85}	0,387 . C _{0,4} . L
onderhoud	14 . C _{0,7}	24 . C _{0,7}	14,4 . C _{0,7}	38,4 . C _{0,7}	0,54 . C _{0,85}	1,44 . C _{0,85}	0,045 . C _{0,4} . L
personeel	80 . C _{0,7}		96 . C _{0,7}		1,8 . C _{0,85}		
energie	6 . C		1,5 . C				C.L.
	350 x C _{0,7} + 6 . C		430 x C _{0,7} + 1,5 . C		14,5 . C _{0,85}		10.000
							C.L.
							0,43 . C _{0,4} . L + $\frac{10.000}{10.000}$

gedeelte 40 jaar, E.M.-gedeelte 15 jaar, rentevoet minus inflatie $p_r = 3\%$; hieruit volgt voor de index annuïteit: bouwkundig gedeelte 4,3 % E.M.-gedeelte 8,4 %.

- 3. onderhoud: bouwkundig gedeelte 0,5 %, E.M.-gedeelte: 2,0 %.
- 4. personeel: 2,0 % van totale investering.
- 5. energie: 15 ct/kWh.
- 6. energieverbruik: oxydatiesloot 40 kWh/i.e./jaar, actief-slibinstallatie 10 kWh/i.e./jaar (met gedeeltelijke eigen energievoorziening).

In tabel III zijn de berekeningen van de jaarlijkse kosten uitgevoerd en in in afb. 16 weergegeven.

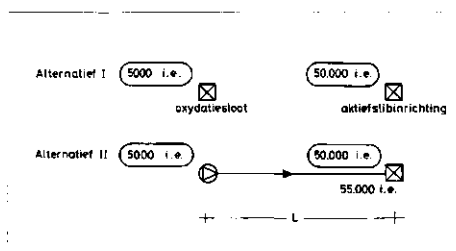
Uit afb. 16 blijkt dat met de huidige technieken en de thans heersende kostenpatronen (energie!) de exploitatiekosten van een oxydatiesloot voor een capaciteit onder 10 à 20.000 i.e. minder beginnen te worden dan een actief-slibinrichting. Zouden de kapitaalslasten volgens de konventionele methode zijn uitgerekend met een rentevoet van 9 %, dan ligt deze grens bij ca. 50.000 i.e. De hierbij gehanteerde aannamen zullen uiteraard van geval tot geval kritisch moeten worden bekeken.

Wijzigingen kunnen optreden omdat bijv. een sterkere stijging van de energiekosten in vergelijking met de inflatie optreedt; of omdat op personeel kan worden bespaard door meer geld te besteden aan automatisering; voorts kan op de post onderhoud worden bespaard door duurzame materialen toe te passen.

De portee is echter dat door een andere kijk op de kapitaalslasten, die deze lasten minder zwaar doen wegen, bepaalde investeringen aantrekkelijker blijken te zijn dan voorheen werd aangenomen.

4.2. Centraliseren

Stel dat wordt overwogen een kern met 5000 inwoners aan te sluiten op een rioolwaterzuiveringsinrichting waarin het

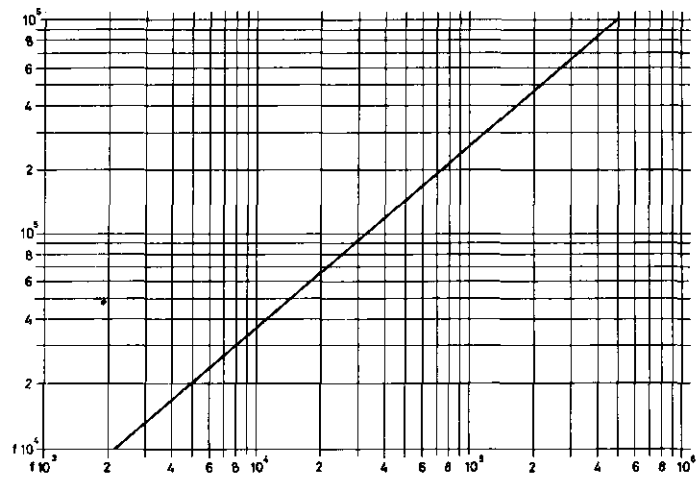


Afb. 17 - Al of niet centraliseren van de behandeling van afvalwater. Alternatief I: Gescheiden zuiveren. Alternatief II: Gekombineerd zuiveren.

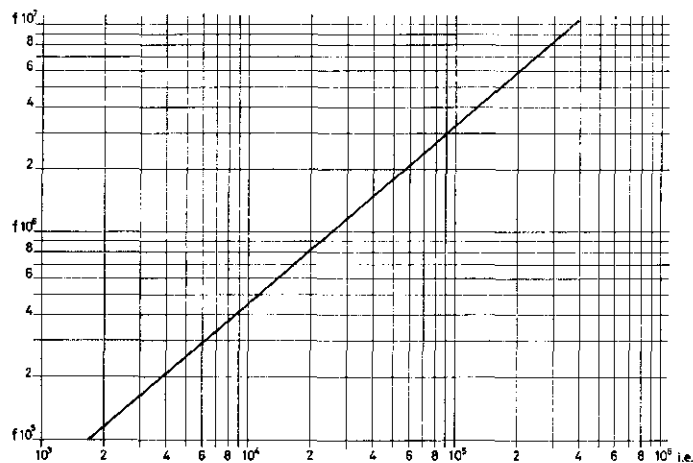
afvalwater wordt behandeld van een stad met een vervuiling van 50.000 i.e. De afstand van de kern tot de stad is L meter. De vraag is tot welke lengte van de persleiding centraliseren nog economisch is in vergelijking met het stichten van een afzonderlijke zuiveringsinrichting. De investeringskosten van het gemaal worden bepaald met de formule

$$I = 3600 Q^{0,85} \quad \text{of} \quad I = 180 C^{0,85} \quad (\text{afb. 18})$$

Afb. 18 - Investeringskosten van gemalen - prijsbasis 1977.



Afb. 19 - Jaarlijkse kosten van gemalen - prijsbasis 1977.



waarin wordt aangenomen dat 1 i.e. overeenkomt met 30 l/h.

Op basis van 60 % bouwkundig deel en 40 % elektro-mechanisch deel, de daarbij behorende percentages voor kapitaalslasten en onderhoud, en 1 % personeelskosten kunnen de exploitatiekosten worden bepaald volgens de formule

$$14,5 \cdot C^{0,85}$$

(tabel III en afb. 19)

De investeringskosten van de persleiding worden bepaald volgens afb. 20 met de formule

$$I = 36 \cdot Q^{0,4} \cdot L$$

ofwel

$$I = 9 \cdot C^{0,4} \cdot L$$

Zijn de transportkosten $\frac{CL}{10.000}$

dan zijn de totale exploitatiekosten

$$(0,43 \cdot C^{0,4} + \frac{C}{10.000}) \cdot L$$

Alternatief I

Niet combineren kost:

$$350 \times 50000^{0,7} + 6 \times 5000 + 430 \times 50.000^{0,7} + 1,5 \times 50.000 = f 1.078.000,-/j.$$

Alternatief II

Wel combineren kost afhankelijk van de leidinglengte

$$14,5 \times 5000^{0,85} + 0,43 \times 5000^{0,4} \times L + \frac{5000 \times L}{10.000}$$

$$+ 430 \times 55.000^{0,7} + 1,5 \times 55.000 = f 997.500,- + 13.473 L$$

Kombineren is economisch tot een maximale lengte van de transportleiding

$$L = 6 \text{ km}$$

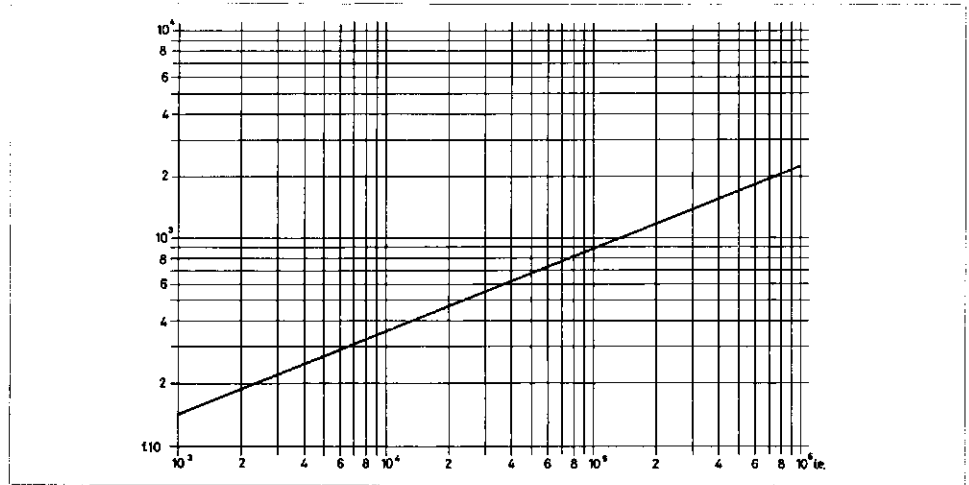
Andere overweging die niet direkt of moeilijker in geld zijn uit te drukken, kunnen het besluit niet of wel te centraliseren beïnvloeden.

Zouden echter in dit geval de kapitaalslasten op de gebruikelijke wijze zijn uitgerekend dan komt men tot een geringere maximaal economische lengte van de leiding.

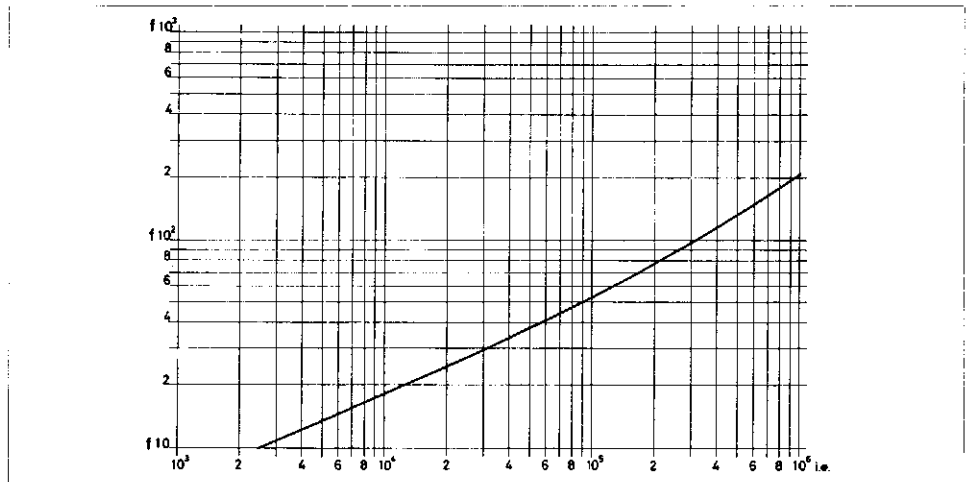
4.3. Kosten per i.e.

De prognose van de kosten die per i.e. in rekening moeten worden gebracht, worden uiteraard zeer sterk beïnvloed door de wijze van kapitaalslasten berekenen. Stel de zuiveringstechnische werken uit het vorige voorbeeld zijn het geheel van werken in een klein zuiveringsschap. Aangenomen wordt dat er gekombineerd wordt gezuiverd en dat de persleiding 6 km lang is.

In afb. 22 wordt duidelijk gemaakt hoe de kosten zijn verdeeld bij de verschillende



Afb. 20 - Investeringskosten van transportleiding - prijsbasis 1977.



Afb. 21 - Jaarlijkse kosten van transportleidingen - prijsbasis 1977.

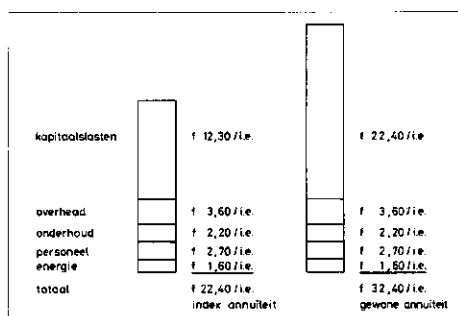
methodieken en hoeveel de kosten per i.e. bedragen.

Wordt bij de eerste kapitaalslastenberekening, de index annuïteitenmethode, uitgegaan van een fictieve reële rentevoet $p_r = 3\%$ en bij de tweede berekening, de gewone annuïteitenmethode, van een heersende rentevoet $p = 9\%$, dan ontstaat daardoor een verschil van ruim 80%. De totale jaarlijkse lasten blijken in dit

geval met de gewone annuïteitenmethode ca. 45% hoger uit te vallen dan met de index annuïteitenmethode.

De konklusie is dat de jaarlijkse kosten per i.e. van een projekt vaak te hoog worden geschat. Het gevolg of het gevaar hiervan is dat de realisatie van een projekt op oneigenlijke gronden geen doorgang kan vinden of dat het ontwerp zodanig wordt gewijzigd dat stijging van andere kostenfactoren in de hand kan worden gewerkt.

Afb. 22 - Voorbeeld van de jaarlijkse kosten die per i.e. door een instelling, waaraan de zuiveringstaak is opgedragen, in rekening kunnen worden gebracht.



5. Tot slot een paar stellingen

1. De werkelijke kapitaalslasten van een objekt zijn aanmerkelijk geringer dan volgt uit een konventionele berekening.
2. Er bestaat een duidelijk verband tussen de rentevoet en de inflatie.
3. Indien de inflatie een meetellende faktor is bij de kapitaalslastenberekeningen, is de hoogte van de kapitaals-rentevoet nauwelijks van invloed op de kapitaalslasten van een goed.

4. Vergelijking van de kapitaalslasten van enkele variantoplossingen van een bepaald project zonder rekening te houden met de inflatie is onaanvaardbaar.
5. Duurder bouwen kan goedkoopbouw zijn, als daardoor de totale jaarlijkse kosten van het project verminderen.

6. Samenvatting

Vier afschrijvingsmethoden werden beschreven. Twee daarvan houden rekening met de herwaardering van het object. Vooral de methode waarbij is uitgegaan van een annuïteit die jaarlijks wordt aangepast aan de herwaardering van het object, is een poging om de jaarlijkse kosten op een realistische basis te benaderen. De resultaten zijn zodanig, dat 'door de bank genomen' de kapitaalslasten in werkelijkheid slechts ca. de helft bedragen van de volgens de konventionele methode berekende kapitaalslasten.

Literatuur

1. Lisman, J. H. C. en Ridder, P. B. de: '80 jaar koopkracht van de gulden', *Intermediair* 12 (1976) No. 11, blz. 19.
2. *Rendement eeuwigdurende staatsleningen*. Gegevens verstrekt door de Nederlandse Middenstands Bank NV te Deventer.



In memoriam ir. M. Gulinck

Op 7 december overleed in België op 59-jarige leeftijd Marcel Karel Lucien Gulinck, hoofdgeoloog-directeur van de Belgische Geologische Dienst.

De heer Gulinck aanvaardde in 1951 een functie bij de Belgische Geologische Dienst, waar hij in 1974 werd benoemd tot hoofd-geoloog-directeur. Tevens ontving hij in dit laatste jaar een aanstelling als buitengewoon hoogleraar in de hydrogeologie aan de Katholieke Universiteit van Leuven.

In de loop van zijn carrière ontwikkelde Gulinck zich in de eerste plaats als een uitstekend geoloog met een zeer ruime kennis van de geologie van België. Daarnaast vervulde hij talrijke nevenfuncties als lid van nationale en internationale organisaties betreffende aanverwante vakgebieden. Met name geldt dit voor de hydrologie van het grondwater. Reeds in het begin van de zestiger jaren werd hij als geoloog geconfronteerd met problemen verbonden aan de grondwateronttrekking. De onbekendheid met het vakgebied hydrologie van het grondwater was voor Gulinck de aanleiding om zich geheel zelfstandig in dit vak te gaan bekwaamen. Het is een bijzondere prestatie van hem geweest dat hij op geheel individuele wijze is uitgegroeid tot een zeer bekwaam wetenschappelijk en praktisch geohydroloog. Door zijn veelzijdige kennis en zijn functie bij een dienstverlenende instantie was Gulinck in België voor de overheid en particuliere instellingen op geologisch en hydrologisch gebied de vraagbaak en expert bij uitstek. Ook de kwaliteit en de bescherming van het grondwater tegen verontreiniging waren zijn studie-objecten. Daarnaast was Gulinck de enige in België die over alle aanvragen van wateronttrekking door de openbare drinkwatervoorziening en industrie moest adviseren t.b.v. de Minister. In het kader van deze werkzaamheden werden sinds 1973 de contacten tussen Gulinck en het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening geïntensiveerd, hetgeen uitgroeide tot een gezamenlijk overlegorgaan inzake geohydrologisch onderzoek t.b.v. het grondwaterbeheer in het grensgebied.

Met het heengaan van Gulinck heeft de geologische en hydrologische wetenschap met name in België een bijzondere kracht verloren. Ondanks zijn ziekte, welke hem vooral de laatste tijd hinderde, vond hij steeds weer de kracht om zijn zeer zware taak in België te volbrengen.

ir. P. Santema



Envitec '77

De tweede ENVITEC (Exhibition for Environmental Engineering and Technology) wordt gehouden in Düsseldorf van 7 t/m 12 februari a.s. Ter plaatse wordt ook het *Envitec congres 'Energie und Umwelt'* georganiseerd en wel van 8 t/m 10 februari. De manifestatie bestaat voorts uit een milieu-informatiecentrum en een aantal seminars. Inlichtingen bij Düsseldorfse Messegesellschaft mbH 'NOWEA', Zentralbereich Inland 1, Postfach 320203, D-4000 Düsseldorf 30.

XXXste Internationale Studiedagen van het CEBEDEAU-BECEWA

Van 16 t/m 18 mei 1977 organiseert het Belgisch studie- en documentatiecentrum voor water, lucht en leefmilieu CEBEDEAU-BECEWA een drietal studiedagen over zuiveringstechnieken van afvalwater. De eerste twee dagen vinden plaats in Gent, de derde in Luik. Inlichtingen: CEBEDEAU-BECEWA, Rue A. Stévant 2, B-4000, Liège.

NAWEWA studiedagen in Spa

De Belgische Nationale Vereniging der Waterleidingbedrijven NAVEWA organiseert twee studiedagen op 24 en 25 maart a.s. in Spa. Het thema voor deze studiedagen luidt 'grondwater- en drinkwatervoorziening'. Inlichtingen bij de VZW NAVEWA, Belliardstraat 197, B-1040 Brussel.

Kursussen TNO

Het Voorlichtingscentrum voor Industriële Automatisering TNO organiseert in het voorjaar 1977 twee cursussen.

Logische digitale techniek. Diverse ontwerpmethoden voor de besturing of beveiliging van machine- en procesinstallaties. Duur: 5 dagen. Data: 29, 30, 31 maart, 5 en 6 april 1977.

Het seminar *Programmable logic controller (PLC)* wordt herhaald met als onderwerpen: principiële opbouw van de PLC, keuzekriteria, toepassingsmogelijkheden en het programmeren.

Duur: 1 dag. Data: zowel 24 als 26 mei 1977.

Inlichtingen: Centraal Laboratorium TNO, Postbus 217, Delft.