

De toepassing van gasmotoren op rioolwaterzuiveringsinrichtingen

It's easier and cheaper to save the energy we get from conventional sources than it is to earn (generate) energy from newer, more expensive sources such as the wind and sun. For example, it's cheaper and easier to insulate a home than to produce energy (from renewable sources) to heat an uninsulated dwelling... If we consume all of our fossil fuels in our cars and 'space-hippy' vans, we'll never see the solar-based society to which we must move if we want to survive.

Lee Johnson and Ken Smith [5]



IR. H. E. KOK
Witteveen en Bos
Raadgevend Ingenieursbureau
Deventer



IR. J. W. H. DE MOL VAN OTTERLOO
Witteveen en Bos
Raadgevend Ingenieursbureau
Deventer

1. Inleiding

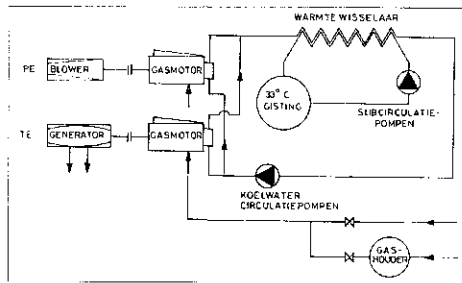
De energiekosten zijn sinds 1973 aanzienlijk opgelopen. Pogingen om het energieverbruik en daarmee de kosten te beperken zijn tot op heden talrijk.

Eén van de mogelijkheden is het toepassen van gasmotoren en rwzi's (zie afb. 1). De gasmotor is een werktuig waarmee primaire energie kan worden omgezet in mechanische energie en voorts gebruik kan worden gemaakt van de afwarmte voor verschillende doeleinden. Op een rwzi wordt voor Nederlandse omstandigheden in de eerste plaats gedacht aan gistingsgas als primaire energiebron, terwijl aardgas wordt gesuppleerd indien de productie van gistingsgas niet voldoende hoog is.

De mechanische energie wordt gebruikt om elektriciteit op te wekken of om bepaalde werktuigen direct aan te drijven. De afwarmte uit het koelwater of de uitlaatgassen kan nuttig worden gemaakt voor het opwarmen van verslib en het op temperatuur houden van de gistingstank. In dit artikel zal voornamelijk worden ingegaan op de energetische aspecten die verband houden met enige toepassingsvormen van de gasmotor op een rwzi.

2. De energiebehoefte in Nederland en het aandeel van de rwzi's hierin

De totale behoefte aan primaire energiedragers in Nederland bedroeg in 1976 ongeveer 100 GW [1]. De verdeling van deze behoefte over de verschillende categorieën



Afb. 1 - Het principe van de twee toepassingsvormen van de gasmotor: T.E. of P.E.

wordt gegeven in tabel I.

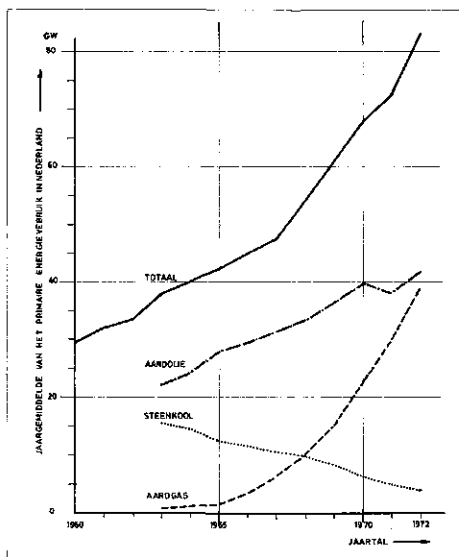
Hierbij wordt opgemerkt dat de primaire energie t.b.v. de elektriciteitsopwekking (20 GW) slechts ca. 6,5 GW elektrisch vermogen levert.

Afb. 2 geeft inzicht in de bronnen, die in de periode van 1960 tot 1972 in de Nederlandse behoefte aan primaire energie voorzagen.

In afb. 3 wordt het verloop- en de onderverdeling van de elektriciteitsafname uit het openbare net aangegeven.

Wat betreft de energiebehoefte in de toekomst bestaan er verschillende prognoses. Tot voor kort gingen deze alle uit van een sterke groei in het energieverbruik. Mede door het optreden van de oliecrisis in 1973 is men echter op grote schaal

Afb. 2 - Het primaire energieverbruik in Nederland over de periode 1960 - 1972 [2].



begonnen met het zoeken naar maatregelen ter beperking van de energiebehoefte. Als gevolg hiervan worden de prognoses 'voorzichtiger'.

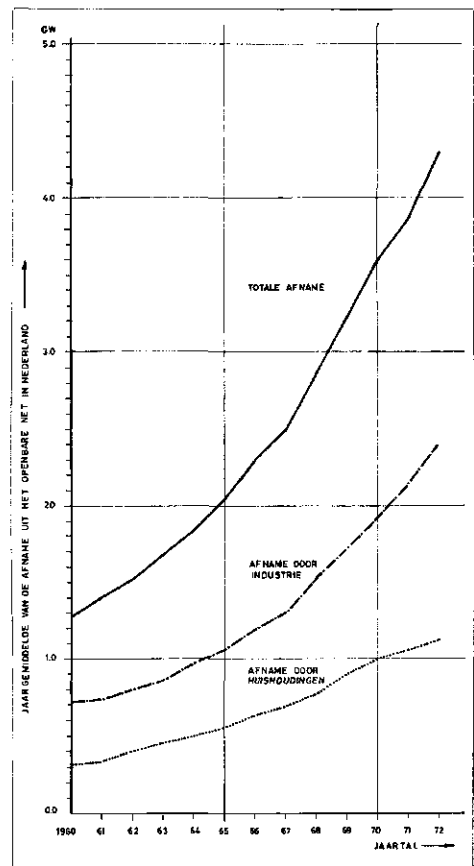
In afb. 4 treft men een prognose aan van de Landelijke Stuurgroep Energie Onderzoek (LSEO). Hierin wordt een vrij rigouze vermindering voorspeld in de groei van het energieverbruik en wordt zelfs vermoed dat deze groei in het jaar 2000 tot staan zal worden gebracht.

Hoe kan nu de energiebehoefte voor de zuivering van het afvalwater in dit geheel worden geplaatst?

Dit kan aan de hand van een eenvoudig en in dit geval 'indicatief' rekensommetje voor het jaar 1980.

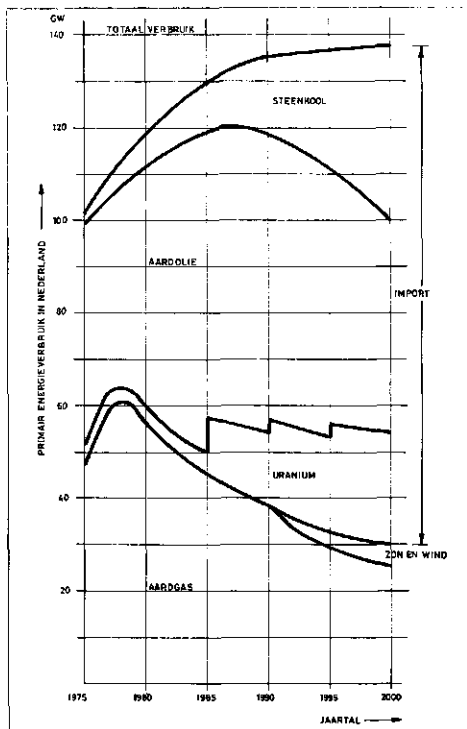
Indien het Indikatief Meerjarenprogramma [9] in 1980 volgens de in dit programma aangegeven opzet ten uitvoer is gebracht, zijn er ca. 20.000.000 inwonerekwivalenten

Afb. 3 - De elektriciteitsafname uit het openbare net in Nederland over de periode 1960 - 1972 [2].



TABEL I - De behoefte aan fossiele brandstoffen in Nederland in 1976 [1].

Aard van de behoefte	Toepassing	Behoefte aan primaire energiedragers (G.W.)
Thermisch	— Verwarming gebouwen en huizen	30
	— Industriële processen	25
Mechanisch	Verkeer, landbouwmachines, etc.	13
Elektrisch	Kracht, verlichting, huishoudelijke apparatuur, etc.	20
Chemisch	Energetische waarde chemische producten	12
Totaal		100



Afb. 4 - Prognose van de Landelijke Stuurgroep Energie Onderzoek aangaande het primaire energieverbruik in Nederland [4].

aangesloten op rwzi's. Wordt verondersteld dat men een elektrisch vermogen nodig heeft van 2,5 W/i.e. dan is de totale behoefte aan vermogen ca. 0,05 GW. Dit komt overeen met een vermogen aan primaire energie van ongeveer 0,15 GW.

Uitgaande van de voorspelling, dat in 1980 de primaire energiebehoefte 120 GW bedraagt (afb. 4), wordt er derhalve op dat tijdstip ca. 1,25 promille van het totale Nederlandse energieverbruik voor het zuiveren van afvalwater gebruikt.

3. De productie van primaire energie op de rwzi

Een rioolwaterzuiveringsinrichting met slibgisting produceert primaire energie in de vorm van gistingsgas.

Als resultaat van de slibenquête in 1974 [3], kon het slib worden onderverdeeld naar behandelingscategorie (zie tabel II).

Gezien het feit dat de enquête meer dan 90 % van de zuiveringscapaciteit omvat, kan worden gesteld dat de slibgisting in Nederland de meest voorkomende vorm van slibbehandeling is. Het gistingsgas bestaat voor ca. 65 % uit

TABEL II - Slibbehandeling in Nederland in 1974.

Omschrijving	Aantal i.e.'s	Percentage
Niet behandeld	2,6 . 10 ⁶	20
Aëroob gestabiliseerd	1,7 . 10 ⁶	14
Gegist	6,0 . 10 ⁶	48
Rest en geen opgave	2,2 . 10 ⁶	18

methaan en kan worden gebruikt voor diverse doeleinden. Behalve voor de verwarming van de slibgistingstanks kan het gas ook worden gebruikt voor eigen energieopwekking waarbij de afwarmte voor de verwarming van de slibgistingstanks kan worden benut.

Om een nuttig gebruik van deze energiebron te maken is kennis van de gasproductie bij het slibgistingsproces wenselijk. De ervaringen van o.a. Waterschap Regge en Dinkel, Waterschap de Dommel en Amsterdam, wijzen op een gasproductie van ca. 300 - 400 l/kg organische drogestof (o.d.s.). Uit theoretische overwegingen en fundamentele onderzoeken in o.a. Engeland en Duitsland zou volgen dat bij optimaal ontworpen en bedreven gistingstanks een gasproductie van 500 - 700 l/kg o.d.s. moet kunnen worden bereikt (afb. 5).

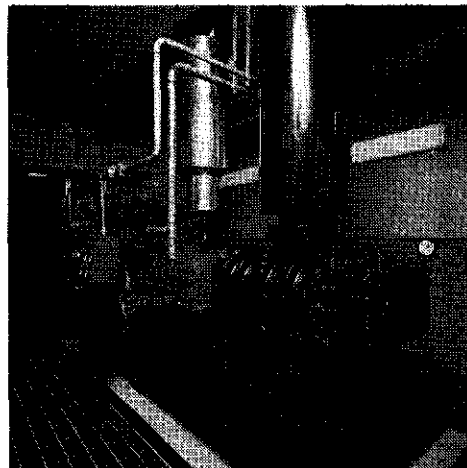
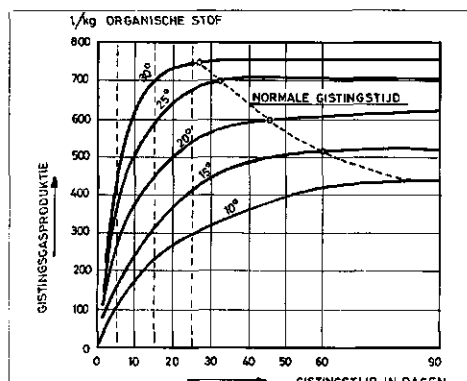
Ten behoeve van het gistingsproces is zowel thermische als mechanische energie nodig. De behoefte aan thermische energie bestaat omdat het wenselijk is het gistingsproces bij een hogere temperatuur te laten verlopen dan de oorspronkelijke slibtemperatuur. Dit betekent, dat zowel warmte nodig is voor het verwarmen van de aan de slibgistingstanks toegevoerde slibstroom, als voor de compensatie van de optredende transmissie- en stralingsverliezen.

De warmtebehoefte kan worden beperkt door:

- verkleining van de toegevoerde slibhoeveelheid middels verbetering van de indikkingsgraad;
- beperking van het warmtewisselend oppervlak door een geschikte keuze en dimensionering van de slibgistingstank;
- toepassing van een goede warmte-isolatie.

Ook mechanische energie is nodig om de inhoud van de gistingstank regelmatig te mengen, bijv. door middel van gas-inblazing.

Afb. 5 - Gistingsproductie uit zuiverings-slib in afhankelijkheid van temperatuur en gistingstijd [7].



Afb. 6 - Gasmotor Rootsblower combinatie (rwzi Holten-Markelo).

4. Mogelijkheden tot energiebesparing door toepassing van gasmotoren

4.1. Het gebruik van gasmotoren op rwzi's
Er zijn twee mogelijkheden voor het gebruik van gasmotoren op rwzi's:

a. Toepassing in een T(otal) E(nergy)-installatie, waarbij de gasmotor gekoppeld is aan een generator. Er wordt voorzien in de behoefte aan kracht en warmte door middel van één primaire energiedrager (in dit geval gas).

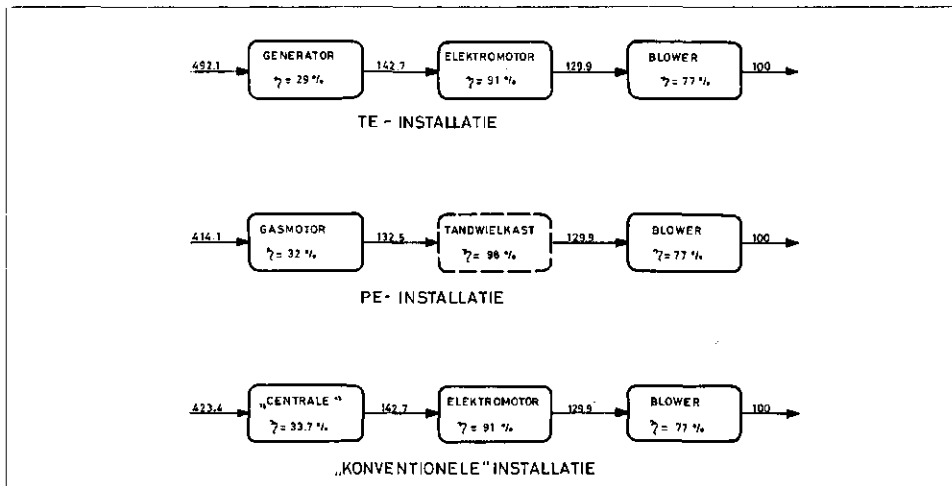
b. Toepassing in installaties, waarbij de gasmotor aan een ander werktuig dan een generator is gekoppeld. Deze toepassing kan daar plaatsvinden waar relatief grote vermogens nodig zijn. Een mogelijkheid is bijv. de koppeling met blowers, die op aktiefslibinstallaties de benodigde lucht voor de bellenbeluchting leveren (afb. 6).

Met deze koppeling kan een energiebesparing van 15 à 17,5 % worden verkregen ten opzichte van het systeem waarbij eerst elektriciteit wordt opgewekt (afb. 7). Ter onderscheiding van de T.E.-installatie zullen we de hier omschreven installatie een P(artial) E(nergie)-installatie noemen. Een overeenkomst tussen T.E.- en P.E.-installaties is, dat zij beiden tegelijkertijd twee soorten energie 'produceren'. Levert de T.E.-installatie kracht en warmte, de P.E.-installatie produceert mechanische arbeid direkt aan de as van het aangedreven werktuig en eveneens warmte.

Bij de toepassing van P.E.-installaties op rwzi's is er nog sprake van een restbehoefte aan kracht. Dientengevolge bestaat de noodzaak om óf aan te sluiten op het openbare elektriciteitsnet, óf naast de P.E.-installatie een T.E.-installatie op te stellen.

4.2. Theoretische energiebesparing

Allereerst zij gesteld, dat in het hierna-



Afb. 7 - Blokschema van de toevoer en benutting van eenheden primaire energie op de T.E.-, P.E.- en konventionele installatie.

volgende wordt uitgegaan van een rwzi met slibgisting.

Ter bepaling van de mogelijkheden tot besparing van primair energie zal het konventionele systeem, waarbij elektriciteit van een openbaar nutsbedrijf wordt betrokken en warmte wordt opgewekt in een eigen ketelinstallatie, worden vergeleken met een T.E.-systeem, met een P.E.-systeem en met een combinatie van een P.E.-systeem en een T.E.-systeem.

Uitgaande van een verbruik van P_T eenheden primaire energie kunnen voor de genoemde systemen de totaalrendementen worden berekend als functie van de

$$\text{warmte/kracht-verhouding } C = \frac{Q}{E}$$

Om het optreden van de diverse energiestromen en de omzettingen daarvan bij de verschillende systemen te verduidelijken volgt hieronder een korte karakterisering.

1. Het konventionele systeem

De gehele behoefte aan elektriciteit wordt ingekocht en wordt met een bepaald energetisch rendement toegeleverd. Naast de verliezen welke op deze wijze reeds zijn opgetreden, komen er op de rwzi zelf nog distributie- en transmissieverliezen voor. In de warmtebehoefte wordt voorzien door het slibgistingsgas in een ketel, die ook geschikt is voor aardgas, te verstopen. De ketel levert warmte die wegens de optredende distributieverliezen maar ten dele kan worden benut. Het surplus aan gistingsgas wordt afgeblazen of afgefakkeld, hetgeen als een verlies aan primaire energie moet worden beschouwd.

2. Het T.E.-systeem

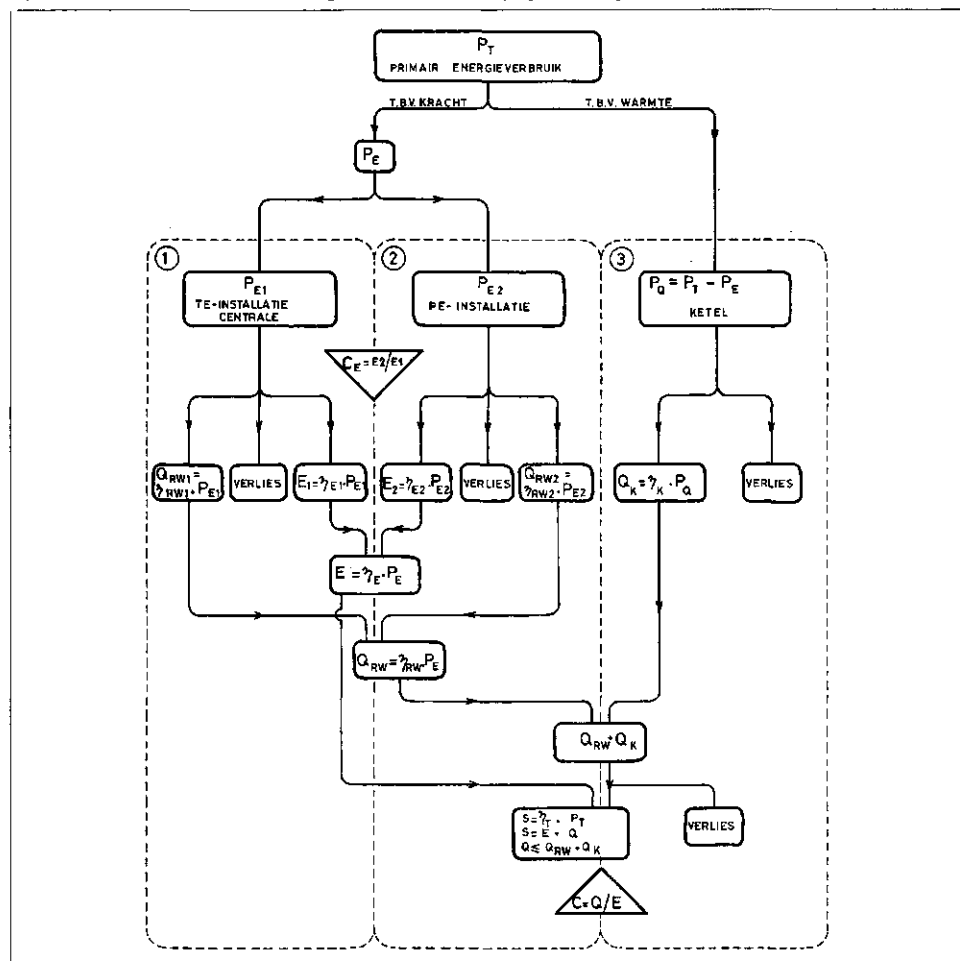
De behoefte aan elektriciteit op de rwzi wordt opgewekt met door gasmotoren aangedreven generatoren. De gasmotoren worden gevoed met het gistingsgas en het

tekort wordt aangevuld met aardgas.

De warmte die met dit systeem uit het koelwater en eventueel de uitlaatgassen wordt gewonnen, kan eventueel ook ten nutte worden gemaakt.

Daar de T.E.-installatie zowel elektriciteit als warmte voortbrengt kan aan een dergelijke installatie een rendement voor beide functies worden toegekend.

Afb. 8 - Blokschema met de energiestromen zoals zij optreden op een rwzi.



En eventueel tekort aan warmte wordt met behulp van een met gas gestookte ketel die tevens als noodvoorziening dienst doet, opgeheven. Evenals bij het konventionele systeem treden ook op de rwzi distributie- en transmissieverliezen op. Deze verliezen zijn in principe gelijk aan die van het konventionele systeem.

3. Het P.E.-systeem

Bij dit systeem wordt een gedeelte van de behoefte aan mechanische energie direkt door gasmotoren geleverd. Hiermede vervalt een deel van de distributie- en transmissieverliezen, die bij het konventionele systeem zouden optreden.

Anders gesteld: een deel van de op de rwzi benodigde elektriciteit wordt met een hoger rendement opgewekt. Ook met dit systeem wordt warmte als sekundaire energie opgewekt en wordt het tekort met behulp van een met gas gestookte ketel geleverd. Het overige benodigde elektrische vermogen wordt 'konventioneel' ingekocht. Voor de totale gasbehoefte geldt weer dat deze gedekt wordt uit de eigen gistingsgasproduktie en een bepaalde hoeveelheid te suppleren aardgas.

Symbolenlijst behorende bij afb. 8

Vermogens in Watt		Rendementen en verhoudingsgetallen	
E	Totale behoefte aan kracht op de rwzi.	η_E	Energetisch rendement van de totale krachtopwekking.
E1	De aan het net onttrokken kracht of de met een T.E.-installatie opgewekte kracht.	η_{E1}	Energetisch rendement van de krachtopwekking van E1.
E2	De met een P.E.-installatie opgewekte 'kracht'.	η_{E2}	Energetisch rendement van de krachtopwekking van E2.
P _T	De totale behoefte aan primaire energie op de rwzi.		
P _E	Het primaire energieverbruik ten behoeve van E.		
P _{E1}	Het primaire energieverbruik ten behoeve van E1.	C _E	De verhouding E2 : E1.
P _{E2}	Het primaire energieverbruik ten behoeve van E2.		
P _Q	Het primaire energieverbruik ten behoeve van de opwekking van warmte met een ketel.		
Q	De warmtebehoefte op de rwzi.	C	De verhouding Q : E.
Q _{RW}	De hoeveelheid geproduceerde restwarmte.	η_{RW}	Energetisch rendement van de productie van Q _{RW} .
Q _{RW1}	De met een T.E.-installatie geproduceerde restwarmte.	η_{RW1}	Energetisch rendement van de productie van Q _{RW1} .
Q _{RW2}	De met een P.E.-installatie geproduceerde restwarmte.	η_{RW2}	Energetisch rendement van de productie van Q _{RW2} .
Q _K	De met een ketelinstallatie opgewekte warmte.	η_K	Ketelrendement.
S	De totale behoefte aan secundaire energie op de rwzi.	η_T	Totaal energetisch rendement ten behoeve van de opwekking van S.

systemen optreden zijn in een blokschema samengevat (afb. 8).
 De explicatie van gebruikte symbolen kan worden teruggevonden in de hiernaast weergegeven symbolenlijst. Met behulp van het blokschema kunnen enige formules worden afgeleid voor de energetische rendementen van de genoemde systemen.
 Er wordt hier volstaan met het vermelden van de resultaten (tabel III).
 Opgemerkt kan nog worden dat, behoudens het gestelde op de P.E.-installatie, alle distributie- en transmissieverliezen op de zuivering zelf, gerekend worden tot de behoefte aan kracht en warmte.
 Met behulp van de in tabel III vermelde formules is het mogelijk de besparing aan primaire energie van de verschillende 'krachtopwekkingssystemen' te bepalen, indien de in de formules voorkomende rendementen bekend zijn en een inzicht bestaat in de verhoudingsgetallen C (warmtebehoefte : krachtbehoefte) en C_E (krachtbehoefte beluchting : krachtbehoefte overige onderdelen).
 In afb. 9 is een aantal krommen weergegeven, waarin het verloop van de energiebesparing als functie van C kan worden afgelezen.
 De uitgangspunten zijn hierbij:

De verhouding tussen de hoeveelheid ingekochte elektriciteit en de hoeveelheid zelf opgewekte elektriciteit is van belang voor het totale energetisch rendement op de rwzi.

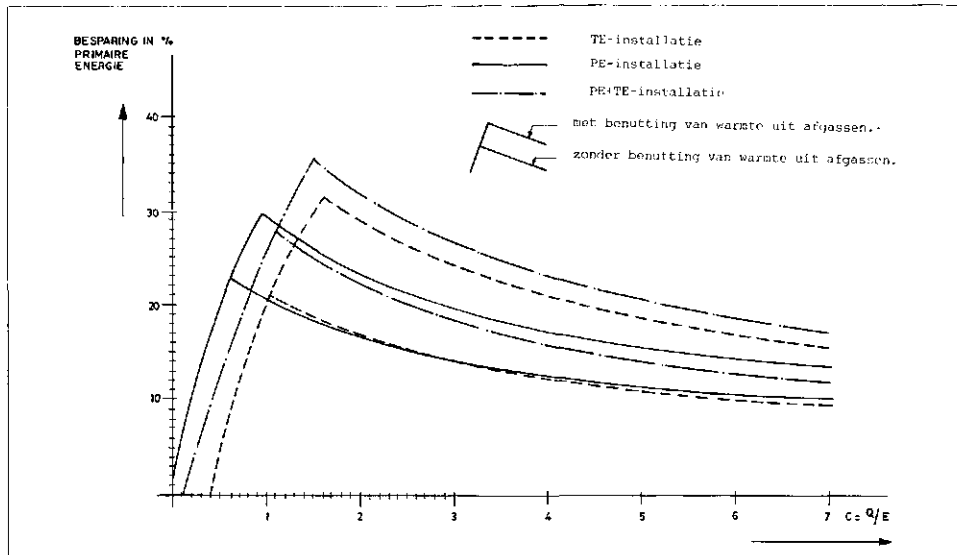
4. De combinatie van een P.E.- en T.E.-systeem
 De eigenschappen van dit systeem worden bepaald door een combinatie van die van

het P.E.- en T.E.-systeem en zijn tevens afhankelijk van de verhouding van de door de T.E.- en P.E.-installatie opgewekte vermogens.
 Voor de T.E.- en P.E.-systemen geldt dat de koelwaterwarmte voor het ongestoord functioneren van de installatie móet worden gewonnen. Dit betekent niet dat deze warmte ook altijd ten nutte kan worden gemaakt. De energiestromen die bij de verschillende

- de beluchting vraagt 70 % van de totale krachtbehoefte van de rwzi, dat wil zeggen C_E = 2,3;
- de ingekochte elektriciteit heeft een rendement van gemiddeld $\eta_{E1} = 33,7$ bij de gebruiker [6];
- de eigen ketelinstallatie heeft een rendement $\eta_K = 75$ %;
- de eigen krachtopwekkingsinstallatie

TABEL III - Energetische rendement-formules van de verschillende krachtopwekkingssystemen met gasmotoren.

Systeem	Konditie	Formule voor rendement
Konventioneel	Geen	$\eta_T = \frac{\eta_E \cdot \eta_K (1 + C)}{\eta_K + \eta_E \cdot C}$
T.E.	$Q > Q_{RW}$	$\eta_T = \frac{\eta_E \cdot \eta_K (1 + C)}{\eta_K + \eta_E \cdot C - \eta_{RW1}}$
	$Q < Q_{RW}$	$\eta_T = \eta_E (1 + C)$
P.E.	$Q > Q_{RW}$	$\eta_T = \frac{\eta_{E1} \cdot \eta_{E2} \cdot \eta_K (1 + C_E) (1 + C)}{\eta_{E1} \cdot \eta_{E2} \cdot C \cdot (1 + C_E) + \eta_K (\eta_{E2} + \eta_{E1} \cdot C_E) - \eta_{RW} \cdot \eta_{E1} \cdot C_E}$
	$Q < Q_{RW}$	$\eta_T = \frac{\eta_{E1} \cdot \eta_{E2} \cdot (1 + C_E) (1 + C)}{\eta_{E2} + \eta_{E1} \cdot C_E}$
P.E. + T.E.	$Q > Q_{RW}$	$\eta_T = \frac{\eta_{E1} \cdot \eta_{E2} \cdot \eta_K (1 + C_E) (1 + C)}{\eta_{E1} \cdot \eta_{E2} \cdot C \cdot (1 + C_E) + (\eta_K - \eta_{RW}) (\eta_{E2} + \eta_{E1} \cdot C_E)}$
	$Q < Q_{RW}$	$\eta_T = \frac{\eta_{E1} \cdot \eta_{E2} \cdot (1 + C_E) \cdot (1 + C)}{\eta_{E2} + \eta_{E1} \cdot C_E}$



Afb. 9 - Percentage primaire energiebesparing als functie van C onder een aantal randvoorwaarden.

met warmteterugwinning uit het koelwater heeft een rendement $\eta_{RW} = 30\%$;
 — de eigen krachtopwekkingsinstallatie met warmteterugwinning uit koelwater en uitlaatgassen heeft een rendement $\eta_{RW} = 46\%$;
 — de krachtopwekking met een T.E.-installatie geschiedt met een rendement $\eta_{E1} = 29\%$;
 — de krachtopwekking met een P.E.-installatie geschiedt met een rendement $\eta_{E2} = 34,5\%$ (afb. 7).

4.3. Energiebesparing in de praktijk

De in de praktijk bereikbare energiebesparing is afhankelijk van een aantal factoren. Deze oefenen hun invloed uit op de parameters in de formules voor het energetisch rendement van de verschillende krachtopwekkings-systemen. Genoemd kunnen worden:

- de keuze van het aantal eenheden en de afstemming van de onderdelen op elkaar bij de konkretisering van het ontwerp;
- de regeltechnische uitvoering van de installatie(s);
- het verloop van de waarde van de C-factor; men denke hierbij o.a. aan de verschillen tussen zomer- en winterseizoen;
- het verloop van het toerental van de gasmotor(en);
- het verloop van de belastingsgraad van de gasmotor(en);
- het verloop van de belastingsgraad van de generator(en).

Er moet op worden gewezen dat de kwantitatieve gegevens uit afb. 9 met enige voorzichtigheid moet worden gehanteerd. Voor wat bijv. de C-factor betreft kan worden vermeld dat deze voor r_{wz} 's een waarde zal hebben die ongeveer tussen 0,5 en 1,4 zal liggen.

5. Kostenoverwegingen

Naast de energetische aspecten van een installatie spelen vanzelfsprekend de economische aspecten een belangrijke rol. Indien de economische mogelijkheden van een investering voor één van de typen krachtopwekkings-installaties moeten worden onderzocht, zal men inzicht moeten verkrijgen in de totale exploitatiekosten. De totale exploitatiekosten van een installatie bestaan o.a. uit:

- kapitaalslasten;
- onderhoudskosten;
- bedieningskosten;
- energiekosten.

Een voorbeeld van een recent geanalyseerde T.E.-installatie voor rioolwaterzuiveringsinrichting van 160.000 i.e. kan het een en ander verduidelijken.

De gemiddelde energiebehoeften bedragen in dit geval:

Voor de beluchting $E_2 = 190 \text{ kW}$
 Voor de overige onderdelen $E_1 = 135 \text{ kW}$

Totale behoefte elektriciteit $E = 325 \text{ kW}$
 Warmtebehoefte $Q = 260 \text{ kW}$

Derhalve is de verhouding $C = \frac{Q}{E} = 0,8$

Uit afb. 9 blijkt dat het geen zin heeft om een afgassenketel toe te passen en dat de te verwachten besparing op het primair energieverbruik ca. 15% bedraagt. Daar echter t.g.v. de keuze van het T.E.-systeem het geproduceerde gistingsgas volledig wordt benut is de werkelijke besparing groter.

Met een gistingsgasproduktie van 640 kW, zijnde ca. 60% van de totale behoefte, wordt de besparing ca. 50%.

Tevens moge het economisch voordeel uit het volgende blijken:

De jaarlijkse kosten worden als volgt geschat:

Kapitaalslasten	f 215.000,—
Onderhoud en bediening	f 80.000,—
Inkoop aardgas	f 110.000,—
Totale exploitatiekosten	f 405.000,—

Hiertegenover staat het konventionele systeem waarbij alle elektriciteit uit het net wordt opgenomen; en in de eigen warmtebehoefte wordt voorzien door gistingsgas.

Elektriciteit inkoop	f 400.000,—
Vast recht	f 75.000,—
Totaal	f 475.000,—

Verdubbelt de prijs van primaire energie dan komen de jaarlijkse kosten voor de T.E.-installatie op ca. f 515.000,— en de jaarlijkse kosten voor de konventionele energievoorziening op ca. f 655.000,—.

6. Conclusie

Het gebruik van gasmotoren op een rioolwaterzuiveringsinrichting met gelijktijdige behoefte aan warmte en kracht leidt tot energetische besparingen.

Gasmotoren kunnen in twee verschillende typen installaties worden toegepast, de T(otal) E(nergy)-installaties ten behoeve van de eigen krachtopwekking en de P(artial) E(nergy)-installatie ten behoeve van de directe aandrijving van mechanische apparatuur, zoals bijv. blowers. Zowel de T.E.- als de P.E.-installatie hebben als nevenfunctie het voortbrengen van warmte. Toepassing van T.E.- en P.E.-installaties op zuiveringsinrichtingen kan ook in economisch opzicht aantrekkelijk zijn.

Literatuur

1. Boer, H. A. de, e.a. Onder auspiciën van Energiebeleid'. *Gedecentraliseerde opwekking van elektriciteit*.
2. Booij, C. G. *De Nederlandse Energiehuishouding*. Pt - P30 (1975), 1, 2, 4 - 11.
3. Brouwer, J. W. *De productie en afvoer van afvalwaterzuiverings-slib in Nederland*. Uitkomsten enquête 1974 (NVA). *H₂O*, 10, 1977, 1 p. 2-7.
4. *De toekomstige energiebehoefte van Nederland*. Informatie 2 (1977), 15, p. 1-3. Uitgave V.E.E.N.
5. *Energy Primer Solar, Water, Wind and Biofuels*. Fremont, California, Fricke-Parks Press, Inc. 1974.
6. Hondius, H. en Wassenaar, K. *The combined production of electricity and heat*. SIT - KIVI, 19, (1974), p. 76-82.
7. Koot, A. C. J. prof. ir. *Behandeling van afvalwater*. Delft, Waltman, 1974.
8. Leyendeckers, P. H. H. *Total Energy systemen op gas*. 'Gas', januari 1977, p. 39-45.
9. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. *De bestrijding van de verontreiniging van het oppervlaktewater*. Indikatief Meerjarenprogramma 1975-1979. Staatsuitgeverij, 1975.
10. Wassenaar, K. ir. *Enkele gedachten omtrent 'Total Energy'*. PT 5 - 1 - 72, p. 1-12.

