

1985-10\_energiehuishouding-rwzi-kleine-gasmotoren



zuiveringssschap  
drenthe

**stora**

Energiehuishouding  
op  
rioolwaterzuiveringsinrichtingen

Besparingen door kleine gasmotoren



zuiveringschap  
drenthe



postbus 414, 2280 AK rijswijk

☎ 070 - 99.11.33

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

Energiehuishouding  
op  
rioolwaterzuiveringsinrichtingen  
Besparingen door kleine gasmotoren

STOWA  
Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 8090  
3503 RB Utrecht  
tel. 030-321199  
fax 030-321766

Publikaties en het publikatieoverzicht  
kunt u uitsluitend bestellen bij:  
Hageman Verpakkers BV  
Postbus 281  
2700 AC Zoetermeer  
tel. 079-611188  
fax 079-613927  
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en  
een duidelijk afleveradres.

## Inhoud

	Ten geleide	V
1	SAMENVATTING	1-2
2	INLEIDING	3
3	DOELSTELLING VAN HET ONDERZOEK	4
4	TECHNISCHE INSTALLATIES EN BEDRIJFSVOERING VAN DE RWZI MEPPEL	5-10
4.1	Behandeling van afvalwater	5
4.2	Slibbedrijf	5- 6
4.3	Energiebehoefte	7
4.3.1	<i>kracht</i>	7
4.3.2	<i>warmte</i>	7
4.4	Energielevering	7-10
4.4.1	<i>gas</i>	7- 9
4.4.2	<i>elektriciteit</i>	9
4.4.3	<i>verwarming en koeling</i>	9-10
5	METHODOLOGIE VAN HET ONDERZOEK, ALGEMENE UITGANGSPUNTEN EN BEPERKINGEN	11-13
5.1	Algemeen	11-12
5.2	Economische evaluatie	12
5.2.1	<i>beoordelingscriterium</i>	12
5.2.2	<i>uitgangspunten</i>	12
5.3	Beperkingen van het onderzoek	13
6	BEPALING VAN HET OPTIMALE AANTAL GASMOTOREENHEDEN	14-23
6.1	Inleiding en doel van de experimenten	14
6.2	Proefopzet en waarnemingsprogramma	14
6.3	Meetresultaten	15-16

6.4	Economische analyse van de gasmotoren op basis van de proefresultaten	16-18
6.4.1	<i>aanvullende uitgangspunten en methodiek</i>	16
6.4.2	<i>drie gasmotoren</i>	17
6.4.3	<i>vier gasmotoren</i>	17-18
6.5	Verbreding van de analyse tot een heel jaar	18-21
6.5.1	<i>aanvullende uitgangspunten</i>	18
6.5.2	<i>evaluatie vierde gasmotor</i>	18-19
6.5.3	<i>gevoeligheidsanalyse vierde gasmotor</i>	20
6.5.4	<i>conclusies</i>	21
6.6	Aanvullende gasopslag	21
6.7	Vergelijking met de resultaten van eerder onderzoek	21-23
7	VERMOGENSBEGRENZING	24-31
7.1	Inleiding en doel van de experimenten	24
7.2	Speciale technische voorzieningen	24
7.3	Proefopzet	25
7.4	Waarnemingsprogramma en verloop van de experimenten	25-26
7.5	Meetresultaten	26-28
7.5.1	<i>vermogensvraag (referentieperiode)</i>	26
7.5.2	<i>effluentkwaliteit</i>	26-27
7.5.3	<i>bedrijf van de oppervlaktebeluchters</i>	28
7.6	Verdere optimalisatie	28-30
7.6.1	<i>verbetering van het afschakelprogramma</i>	28
7.6.2	<i>gasbuffering ten behoeve van peak shaving</i>	28-30
7.7	Economische evaluatie van de vermogensbegrenzing	30-31
7.8	Conclusies	31
8	UITBREIDING GASOPSLAG	32-33
8.1	Inleiding	32
8.2	Additionele gasopslag op de rwzi Meppel	32
8.3	Systemen voor additionele gasopslag	32-33

9	CONCLUSIES	34-35
10	REFERENTIES	36
BIJLAGEN:		37-62
1	Algemene bedrijfsgegevens 1981 t/m 1984	37
2	Leveringsvoorwaarden elektriciteit	38
3	Geïnstalleerde vermogens groter dan 5 kW	39
4	Warmtehuishouding	40-42
5	Kengetallen van het gasmotorenbedrijf	43-48
6	Evaluatie op jaarbasis	49-50
7	Gevoeligheidsanalyse van de vierde gasmotor	51-55
8	Berekening algemene kengetallen van de energie-huishouding	56
9	Opgenomen vermogen tijdens de referentieperiode	57-58
10	Zuiveringstechnische werking	59
11	Technische evaluatie gaszakken	60-62

## Ten geleide

De energiehuishouding op rioolwaterzuiveringsinrichtingen kan gunstig worden beïnvloed door het installeren van meerdere kleine gasmotoren voor de warmte-krachtkoppeling in plaats van de, veelal gebruikelijke één à twee grote eenheden.

Niet alleen wordt daardoor onderbelasting voorkomen, maar bovendien bieden meerdere kleine eenheden de mogelijkheid om genuanceerd in te spelen op variaties in vraag en aanbod van energiedragers.

Het voorliggende rapport beschrijft een onderzoek dat werd uitgevoerd door het zuiveringsschap Drenthe, met technische begeleiding door de STORA in het kader van de participatie-regeling.

Deze begeleiding bestond uit het beschikbaarstellen van een rapporteur (afkomstig van DHV Raadgevend Ingenieursbureau), enig materiaal en de instelling van een begeleidingscommissie, bestaande uit ir. J. Boschloo (voorzitter), ing. J.W. v.d. Berg, D. Horning, Th. Schuurman en K.J. Timmerman.

De benodigde apparatuur werd beschikbaar gesteld door Lang Energy Systems BV te Apeldoorn en door Electromach BV te Hengelo. De proeven werden uitgevoerd met de technische installatie van de rwzi Meppel.

Rijswijk, oktober 1985.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

\*De Onderzoekadviescommissie, die tot dit project adviseerde, bestond uit: prof.ir. A.C.J. Koot (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en ir. J. Boschloo, ir. R. den Engelse, prof.dr. P.G. Fohr, ir. R. Karper, drs. S.P. Klapwijk, dr. E.J.M. Kobus, ir. J.S. Kuyper, ir. Tj. Meijer, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubing, drs. J. Verhaagen, drs. A.A. Wismeijer (leden).

## SAMENVATTING

Kleine gasmotoren kunnen voor eigen energie-opwekking aantrekkelijker zijn dan de gebruikelijke grote eenheden. Het installeren van overcapaciteit kan worden beperkt en - bij toepassing van verscheidene eenheden - bestaat de mogelijkheid in te spelen op variaties in de vraag naar elektriciteit en de produktie van gistingsgas.

Op de rwzi Meppel zijn drie kleine gasmotoren van het type TOTEM opgesteld, met een nominaal vermogen van circa 15 kW per eenheid. In het kader van het beschreven onderzoek is op proef een vierde eenheid toegevoegd, met de mogelijkheid automatisch om te schakelen van gistingsgas op aardgas.

Het in dit rapport beschreven praktijkonderzoek op de rwzi Meppel had tot doel vast te stellen:

- het uit bedrijfseconomisch oogpunt optimale aantal gasmotoreenheden;
- de technische en economische haalbaarheid van begrenzingsapparatuur waarmee het maximale uit het openbare net opgenomen vermogen door automatische afschakeling van bepaalde installatie-onderdelen wordt beperkt;
- de technische en economische haalbaarheid van uitbreiding van de opslagcapaciteit van gistingsgas, in het bijzonder door middel van gaszakken, met het oog op maximale bezetting van de vierde gasmotor.

Daarnaast diende dit onderzoek een bijdrage te leveren aan de oordeelsvorming over kleine gasmotoren in het algemeen.

Op basis van de verkregen resultaten werd geconcludeerd dat de kleine gasmotoren van het onderzochte type zeer bedrijfszeker zijn. Het opgewekte vermogen kan in mindering worden gebracht op de inkoop van elektrisch vermogen van de rwzi voor het totaal aantal opgestelde eenheden vermindert met één.

Uit de onderzoeksresultaten werden ten aanzien van de kleine gasmotoren de volgende kengetallen van eigen energie-opwekking berekend:

- krachtrendement op onderwaarde 25,1%;
- bespaarde elektriciteit 3,7 à 4,7 kWh/(i.e. jaar).

Bij het voor de rwzi Meppel geldende elektriciteitstarief betekent dit:

- kapitaalsproduktiviteit 9%;
- netto baten  $f$  0,17 à  $f$  0,22/(i.e. jaar).

Gasopslag in kunststof gaszakken is tot capaciteiten van circa 150 m<sup>3</sup> technisch haalbaar en goedkoper dan de traditionele natte gashouder. Wanneer aanvullende maatregelen ten aanzien van verankering, omheining en situering worden getroffen, kan de veiligheid voor de omgeving voldoende worden gewaarborgd.

Op de rwzi Meppel bedraagt het optimale aantal gasmotoren vier. Daarbij ligt de terugverdientijd tussen 4 en 6 jaar.

Bij de rwzi Meppel (70.000 i.e.; volbelast; zonder slibontwatering) treden in de vermogensafname pieken op van ca. 190 kW. Het uit het openbare net opgenomen elektrisch vermogen kan zonder eigen energie-opwekking zonder negatieve gevolgen voor de effluentkwaliteit worden begrensd op ca. 155 kW. Bij vier gasmotoren kan de vermogensbegrenzing zonder bezwaar worden ingesteld op 120 kW.

Binnen de structuur van het elektriciteitstarief van de rwzi Meppel is automatische begrenzing van het opgenomen vermogen zeer aantrekkelijk. De te installeren apparatuur wordt binnen twee jaar terugverdiend.

Het afschakelprogramma van de vermogensbegrenzer functioneert het best als wordt gestreefd naar afschakeling van ongeveer gelijke vermogens per stap. Extra voordeel kan nog worden behaald door de gasmotor die omschakelbaar is op aardgas in het schakelprogramma op te nemen.

Het stoken van aardgas in een van de gasmotoren is slechts aantrekkelijk in het kader van de vermogensbegrenzing, gedurende maximaal 70 uur per maand. Wanneer deze tijd wordt overschreden, is inkoop van vermogen goedkoper.

Uitbreiding van de gasopslag blijkt voor de rwzi Meppel niet zinvol, aangezien de dagelijkse fluctuaties in de bestaande gashouder kunnen worden opgevangen.



## INLEIDING

Het gebruik van gistingsgas op rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) voor verwarmingsdoeleinden is reeds vele jaren ingeburgerd. Sinds de oliecrisis van 1973 staan ook maatregelen ter beperking van het elektriciteitsverbruik sterk in de belangstelling. De grote prijsstijgingen van energie hebben het aantrekkelijk gemaakt om, naast een zorgvuldige bedrijfsvoering, te investeren in warmte-krachtkoppeling, teneinde ook mechanische en/of elektrische energie uit het gistingsgas te winnen. Op enige tientallen rwzi's in Nederland zijn in de afgelopen periode gasmotoren geïnstalleerd voor directe aandrijving van compressoren of voor opwekking van elektriciteit.

In 1980<sup>1</sup> en 1983<sup>2</sup> werd door de STORA over het gebruik van gistingsgas als energiebron gerapporteerd. De beschreven onderzoeken (een modelstudie en een toetsing van de modelresultaten aan praktijkgegevens) wezen uit dat vanwege een aantal technische randvoorwaarden de hoge verwachtingen van warmte-krachtkoppeling moeten worden bijgesteld. Toepassing van de gebruikelijke duurzame eenheden met vermogens van 50 kW of meer is alleen aantrekkelijk voor grote rwzi's, waar een hoge bezettingsgraad van deze gasmotoren is verzekerd. Het installeren van reservevermogen bleek onrendabel.

Op kleinere rwzi's en in situaties waar de rentabiliteit van gasmotoren op langere termijn minder zeker is, vormen kleine modules (circa 15 kW) mogelijk een aantrekkelijk alternatief.

Sinds 1979 zijn door het Zuiveringsschap Drenthe op verschillende zuiveringsinrichtingen 15 modules van het type TOTEM geïnstalleerd. De opgedane ervaringen zijn positief. Daarbij deed zich de vraag voor of het bedrijven van de kleine gasmotoren zou kunnen worden geoptimaliseerd door de keuze van het aantal eenheden en door een aantal eenvoudige aanvullende technische voorzieningen, zoals directe omschakeling van het gebruik van gistingsgas naar aardgas, beheersing van het opgenomen vermogen en opslag van het geproduceerde gistingsgas.

In dit rapport wordt verslag gedaan van een praktijkonderzoek naar de optimale toepassing van TOTEM-modules op de rwzi Meppel. Achtereenvolgens worden behandeld de doelstelling van het onderzoek (hoofdstuk 3), de technische installaties en bedrijfsvoering van de rwzi Meppel (hoofdstuk 4) en de methodologie van het onderzoek (hoofdstuk 5). De verslaglegging van het praktijkonderzoek is ingedeeld naar drie thema's, te weten de rentabiliteit van de gasmotoren (hoofdstuk 6), vermogensbegrenzing (hoofdstuk 7) en aanvullende gasopslag (hoofdstuk 8).

De rapportage wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 9) en referenties (hoofdstuk 10). Basisgegevens en berekeningen zijn in de bijlagen ondergebracht.

## DOELSTELLING VAN HET ONDERZOEK

Doel van het onderzoek was het verkrijgen van op de praktijk gebaseerde informatie omtrent de optimale toepassing van kleine gasmotoren op de rwzi Meppel. Daarbij waren de volgende aspecten van bijzonder belang:

- afstemming van gasproductie, gasopslag en verbruik van gistingsgas en aardgas op de energiebehoefte ten aanzien van kracht en warmte;
- het verkrijgen van een beter inzicht in de technische haalbaarheid van de onderzochte (deel)systemen;
- het verkrijgen van een beter inzicht in de economische haalbaarheid van de onderzochte deelsystemen, mede in relatie tot het contract voor grootverbruikers van elektriciteit;
- het leveren van een bijdrage aan de oordeelsvorming over het economisch rendement van kleine gasmotoren in het algemeen.

#### 4.1 Behandeling van afvalwater

De rioolwaterzuiveringsinrichting Meppel, een oxydatiebedinrichting, is in 1963 in bedrijf genomen. De rwzi is destijds ontworpen voor een belasting van 40.000 inwonerequivalenten (i.e.) en een maximale hydraulische belasting van 900 m<sup>3</sup>/h. In 1974 werd de rwzi uitgebreid tot 70.000 i.e. en 1940 m<sup>3</sup>/h. De bestaande rwzi is als voorzuivering gehandhaafd. Het effluent van de oxydatiebedden plus het afvalwater van een deel van de kern Meppel (Oosterboer) en van Staphorst worden sindsdien direct geleid in het beluchtingscircuit van de tweede trap (carrousel). Er is tevens een nabezinktank bijgebouwd (zie figuur 1). De installatie wordt vol belast.

Als specifieke kenmerken van het zuiveringsbedrijf zijn verder van belang:

- recirculatie tot 2 dwa over de eerste trap van de installatie met afloop oxydatiebedden;
- automatische zuurstofregeling in het beluchtingscircuit; set-points 1,3 en 2,3 mg/l;
- wel routine-onderhoud, geen grote reparatiewerkzaamheden tijdens de metingen.

Bijlage 1 verschaft algemene gegevens over de werking van de rwzi Meppel (jaren 1981 t/m 1984).

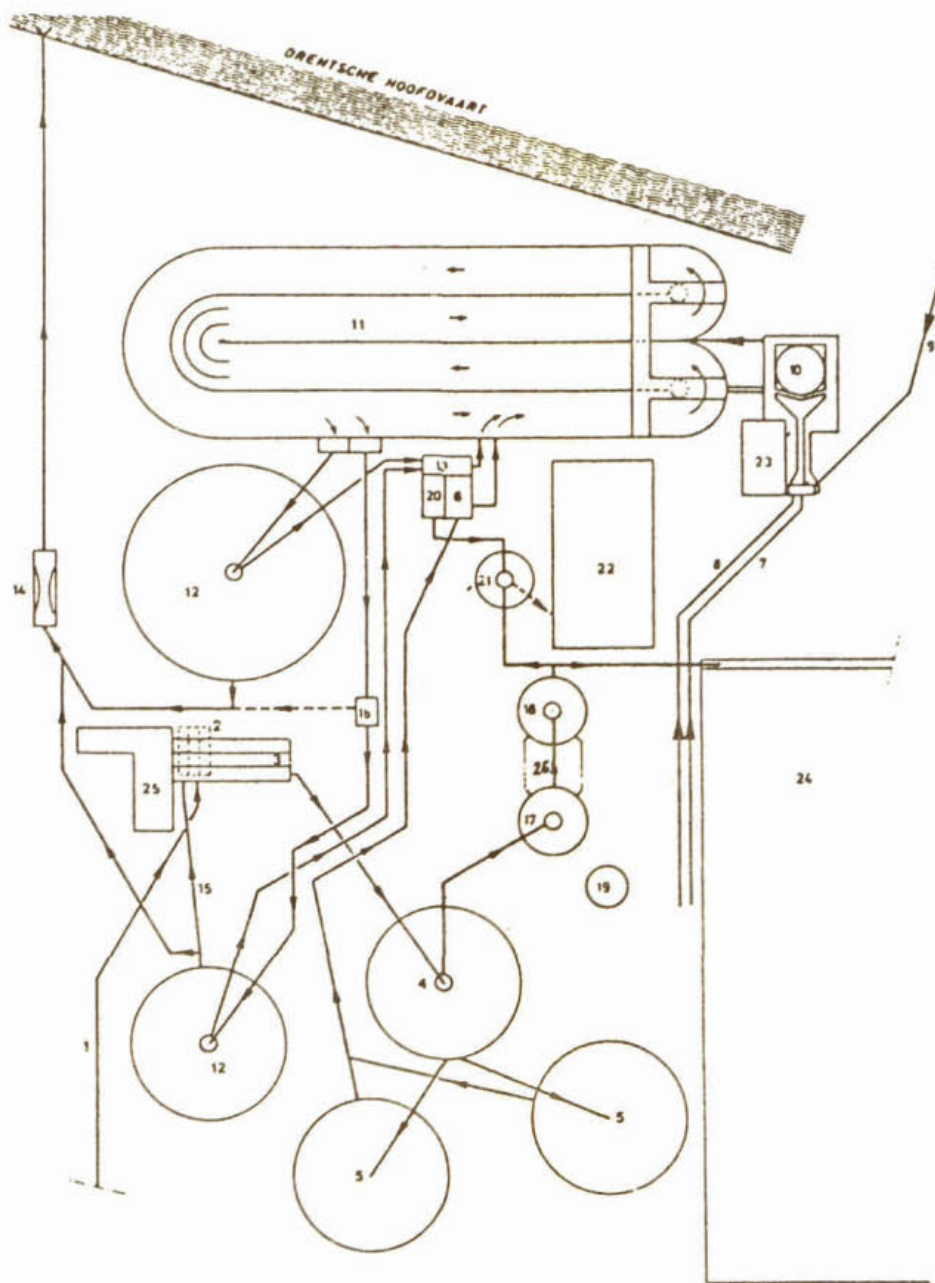
#### 4.2 Slibbedrijf

Het in de voorbezinktank afgescheiden primaire slib wordt verpompt naar een tweetraps gistingstank en kan na vergisting worden afgelaten op slibdroogbedden.

Het secundaire slib kan mechanisch worden voorontwaterd met behulp van een zeefbandpers en verder worden ontwaterd in een thermische slibdrooginstallatie. Ten behoeve van het onderzoek is echter tijdens de proefperiode het secundaire slib via de ontvangkelder teruggevoerd naar de voorbezinktank en samen met het primaire slib vergist.

Enige jaren geleden is de slibontwatering buiten bedrijf gesteld, onder meer in verband met de gestegen energiekosten en gewijzigde mogelijkheden voor slibafzet. Thans vindt natte slibafzet in de landbouw plaats; de ontwateringsinstallaties worden stand-by gehouden voor eventueel onvoorziene situaties. Voor het noodzakelijke onderhoud worden deze installaties enkele keren per jaar gedurende korte tijd in bedrijf genomen.

In de loop van de proefperiode werd voor de gistingstanks een andere bedrijfswijze ingesteld met de bedoeling sterke fluctuaties van gasproductie, resulterend in spuiverliezen, te voorkomen. Daartoe is de slibtoevoer naar de eerste gistingstank gelijkmatiger (achtmaal in plaats van eenmaal per dag) gedoseerd. De slibaflaat van de tweede gistingstank moest hiervoor worden aangepast. Tijdens de proefperiode zijn tijdelijke voorzieningen getroffen, waarbij het vergiste slib via een overlopleiding (boven in gistingstank 2) werd afgevoerd naar de slibdump. Voor de gascompressor werd van continubedrijf overgeschakeld op intermitterend bedrijf (gedurende een korte periode, volgend op de toevoer van vers slib).



Legenda:

- |                                      |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Aanvoerriool Meppel               | 13. Retourslibgemaal               |
| 2. Ontvangkelder                     | 14. Meetgoot                       |
| 3. Zandvanger                        | 15. Circulatieleiding              |
| 4. Voorbezinktank                    | 16. Kortsluitput                   |
| 5. Oxydatiebedden                    | 17. Slibgistingstank eerste trap   |
| 6. Tussengemaal                      | 18. Slibgistingstank tweede trap   |
| 7. Persleiding Oosterboer            | 19. Gashouder                      |
| 8. Persleiding Ruinerwold (toekomst) | 20. Surpluslibgemaal               |
| 9. Persleiding Nijeveen (toekomst)   | 21. Slibindikker                   |
| 10. Zandvanger                       | 22. Slibverwerkingsgebouw          |
| 11. Beluchtingscircuit               | 23. Gebouw slibopslag              |
| 12. Nabezinktanks                    | 24. Slibdroogbedden                |
|                                      | 25. Bedrijfsgebouw en pompenkelder |
|                                      | 26. Verwarmingsgebouw              |

Fig. 1. Overzicht rwzi Meppel

#### 4.3 Energiebehoefte

##### 4.3.1 *kracht*

Het gemiddelde krachtverbruik van de rwzi Meppel wordt in hoofdzaak bepaald door de oppervlaktebeluchters (zie bijlage 1) en de pompen voor influent en retourslib. Bij het huidige bedrijf van de slibdroger is deze voor het elektriciteitsverbruik van ondergeschikt belang.

In verband met de vermogenscomponent van het elektriciteitscontract met de IJsselcentrale (bijlage 2) zijn de volgende installatieonderdelen van belang (uitgebreider overzicht in bijlage 3):

-	2 hoofdmotoren beluchters	(55 kW)
-	4 vuilwaterpompen	(18,5-22 kW)
-	slibretourvijzel (LT/HT)	(10/15 kW)
-	gascompressor slibgisting	(10 kW)
-	terreinwaterpomp	(10 kW)
-	slibdrooginstallatie (totaal)	(circa 120 kW)
-	ventilator afgassen slibdroger	(55 kW)

Door de zuurstofsturing in het beluchtingscircuit varieert het werkelijke vermogen van de beluchters tussen 30 en 55 kW per motor.

Twee vuilwaterpompen en de slibretourvijzels zijn permanent in bedrijf. De andere genoemde installaties worden intermitterend of incidenteel ingeschakeld.

##### 4.3.2 *warmte*

De warmtebehoefte van de rwzi Meppel is opgebouwd uit een deel ruimteverwarming en een deel proceswarmte voor de slibgisting\*. De totale netto warmtevraag voor deze doelen bij de huidige belasting, berekend op basis van meteogegevens over 1981 en 1984, bedraagt circa 1585 GJ per jaar (bijlage 4), waarvan 1260 GJ voor de opwarming van primair slib en 325 GJ voor ruimteverwarming en transmissieverliezen. De maximale momentane warmtevraag van slib en ruimten is ongeveer gelijk en bedraagt te zamen circa 120 kW-th.

In de zomermaanden is minimaal 20 kW-th nodig voor de slibverwarming.

#### 4.4 Energielevering

Zie figuur 2 (blz. 8) voor het processchema van de energievoorziening.

##### 4.4.1 *gas*

De produktie van gistingsgas vertoont over de afgelopen jaren een stijgende tendens (bijlage 1). De specifieke gasproduktie bedroeg in 1984 3,3 m<sup>3</sup>/i.e. jaar. Bij dit getal moet worden aangetekend dat in Meppel ongeveer de helft van het zuiveringsslib aëroob wordt gestabiliseerd. Het gistingsgas wordt gebufferd in een gashouder met een inhoud van 100 m<sup>3</sup>. In 1984 bedroeg de gemiddelde benuttingsgraad van het gas 88%.

\* De proceswarmte voor het drogen van slib wordt in deze studie geheel buiten beschouwing gelaten, aangezien deze behandeling in Meppel niet meer tot het normale zuiveringsbedrijf behoort.

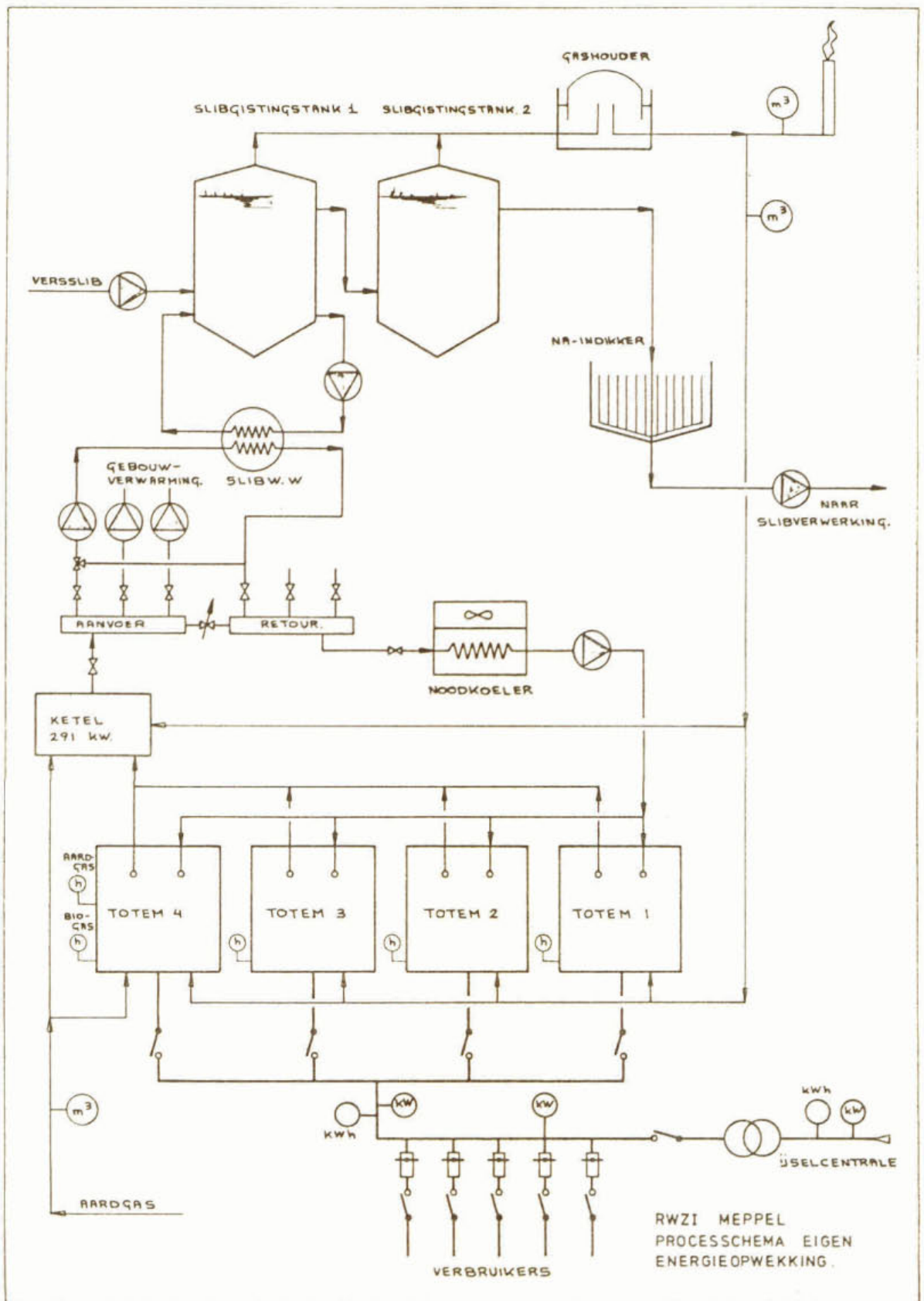


Fig. 2. Processchema energievoorziening

Uit tabel 1 blijkt dat de maatregelen ter beperking van de hoeveelheid afgeblazen gistingsgas effectief zijn geweest. Afgezien van een incidenteel afblazen tengevolge van de verwerking van een grote hoeveelheid melasse eind augustus, is een benutting van meer dan 99% gerealiseerd. Als benutbare hoeveelheid gistingsgas zal in de economische evaluatie 671 m<sup>3</sup>/d worden aangehouden, de gemiddelde waarde over geheel 1984.

periode	1 januari 1983 tot 1 januari 1984	1 januari 1984 tot 1 augustus 1984	10 september 1984 tot 1 januari 1985
gasproductie (m <sup>3</sup> )	218.320	139.010	78.020
" (m <sup>3</sup> /d)	598	653	697
gasbenutting (m <sup>3</sup> )	191.340	114.050	77.480
" (m <sup>3</sup> /d)	524	536	692
" (%)	88	82,0	99,3
aardgasinkoop voor TOTEM (m <sup>3</sup> )	0	0	5.189
IV (m <sup>3</sup> /d)	0	0	46

Tabel 1. Gasproductie en -verbruik in 1984

Door het uit bedrijf nemen van de slibdroger is het aardgasverbruik sterk gedaald. Naast een gedeelte voor gebouwverwarming, werd in 1984 in totaal circa 6400 m<sup>3</sup> aardgas ingekocht voor het bedrijf van de vierde gasmotor.

#### 4.4.2 *elektriciteit*

In de elektriciteitsvraag wordt voorzien door levering uit het openbare net van de IJsselcentrale en door eigen opwekking. Het aandeel van beide bronnen is vermeld in bijlage 1.

Op de rwzi Meppel staan sinds april 1982 drie kleine gasmotoren van het type TOTEM opgesteld. Het nominaal bruto vermogen bedraagt 15 kW-el. Deze gasmotoren worden gevoed met gistingsgas. In de loop van 1984 is ten behoeve van de proefneming een vierde module bijgeplaatst, waarbij automatisch kan worden overgeschakeld van gistingsgas op aardgas en omgekeerd.

In de maanden november en december 1984 was sprake van een hoge gasproductie. Daardoor kon een aanzienlijk grotere fractie van het totale elektriciteitsverbruik van de rwzi door eigen productie worden gedekt in vergelijking met de voorliggende periode (circa 35% tegen 25 à 30%). In hoofdstuk 6 wordt het bedrijf van de gasmotoren nader beschreven en geanalyseerd.

#### 4.4.3 *verwarming en koeling*

Voor de inbedrijfname van de gasmotoren werd in de warmtebehoefte van slibgisting en gebouwen voorzien door gasgestookte verwarmingsketels met een thermisch vermogen van 291 kW-th.

Sindsdien kan de warmtevraag geheel worden gedekt door de gasmotoren (zie bijlage 4). Het thermisch vermogen van de gasmotoren bedraagt 33 kW-th per eenheid met gistingsgas, met aardgas is dit 39 kW-th.

Over 1984 gemiddeld zou voldoende warmte zijn geproduceerd bij een bezettingsgraad van 38% van 4 motoren. De motoren zijn evenwel veel intensiever in bedrijf geweest, waarbij het warmte-overschot is weggekoeld. Het maximale koelvermogen bedraagt circa 75 kW-th, hetgeen betekent dat in de zomermaanden niet alle warmte van vier motoren kan worden afgevoerd. In 1984 was dit niet aan de orde; in de toekomst dient de koelcapaciteit te worden aangepast aan vier gasmotoren.



5.1 Algemeen

De in dit onderzoek geëvalueerde technische maatregelen hebben tot doel de kosten van energie voor de rwzi Meppel te beperken. Daartoe staan in het algemeen de volgende mogelijkheden open:

1. beperking van de bruto energiebehoefte
2. benutting van gistingsgas als kracht- en warmtebron
3. vergroting van de bruto gasproductie
4. koppeling van warmte- en krachtopwekking
5. vergroting van de benutbare hoeveelheid gistingsgas
6. optimalisatie van de capaciteit van de eigen energieopwekking
7. inspelen op de structuur van elektriciteits- (en gas)tarief\*
8. benutting van de reservecapaciteit van de gasmotoren.

In grote lijnen geeft de bovenstaande volgorde een prioriteitsstelling weer. Maatregelen ten aanzien van de eerstgenoemde punten werden in het verleden reeds getroffen. Deze maatregelen betroffen o.a. het uit bedrijf nemen van de slibdroger, het beperken van het slibgehalte in het beluchtingscircuit en het opstellen van de eerste drie gasmotoren. Zoals gesteld, bleek in de loop van dit onderzoek de hoeveelheid benutbaar gistingsgas te kunnen worden opgevoerd. In het gangbare bedrijf werd reeds rekening gehouden met het lage nachttarief voor elektriciteit en de vermogenstoeslag tijdens piekuren in de winter (zie bijlage 2). Andere mogelijkheden voor beperking van de vermogenskosten waren echter nog niet benut.

De navolgende rapportage betreffende de optimalisatie van de gasmotoren is opgebouwd naar de onder de punten 6, 7 en 8 genoemde technische ingrepen.

De uitgewerkte doelstellingen van deze deelonderzoeken luiden:

- het bepalen van het optimale aantal gasmotoreenheden;
- het onderzoeken van de toepassing van begrenzingsapparatuur voor het uit het openbare net opgenomen elektrische vermogen, het vaststellen van het vermogensplafond en het formuleren van een optimaal afschakelprogramma voor bepaalde installatie-onderdelen;
- het onderzoeken van mogelijkheden voor het benutten van de reservecapaciteit van de gasmotoren bij de vermogensbegrenzing door uitbreiding van de opslagcapaciteit van gistingsgas of door extra inkoop van aardgas.

Deze drie doelstellingen zijn om praktische redenen als achtereenvolgende verfijningen opgevat, d.w.z. de vermogensbegrenzing is beschouwd als optimalisatie van het bedrijf van de gasmotoren in een bepaalde configuratie en de extra gasinzet is beschouwd als optimalisatie binnen de toepassing van de begrenzingsschakeling. Dit optimum dient in principe nog te worden beschouwd uit oogpunt van energiekostenbesparing.

\* De tariefopbouw voor aardgas bood in dit geval geen aanknopingspunten en is verder niet beschouwd.

Een dergelijke evaluatie, die een veel gedetailleerder analyse van de bedrijfsvoering vergt, viel buiten het kader van dit onderzoek, ook al omdat werd betwijfeld of dit nog besparingen van enige omvang zou opleveren.

Volledigheidshalve wordt gewezen op het feit dat de beoogde beperking van kosten niet per se hoeft te leiden tot besparing van (primaire) energie. Met name de vermogensbegrenzing zal in dit opzicht niet direct leiden tot energiebesparing.

## 5.2 Economische evaluatie

### 5.2.1 beoordelingscriterium

Het doel van de in dit onderzoek beschreven technische maatregelen is het beperken van de kosten voor energie op de rwzi Meppel. De evaluatie is dan ook een bedrijfseconomische.

Gekozen is voor beoordeling van de rentabiliteit op basis van de terugverdiëntijd van de te plegen investeringen. Dit criterium wordt voor dienstverlenende overheidsorganisaties het meest reëel geacht. Voor de beschouwde installaties, met een technische levensduur van 10 à 15 jaar, wordt een terugverdiëntijd van 4-8 jaar als kenmerk van een rendabele investering beschouwd. Verder is gekozen voor de gebruikelijke evaluatie op basis van reële rente en kosten, waarbij alle bedragen worden uitgedrukt in de waarde van het beginjaar.

### 5.2.2 uitgangspunten

\* Algemene uitgangspunten:

- prijspeil januari 1985
- alle kosten inclusief omzetbelasting (19%)
- subsidies buiten beschouwing
- investeringskosten inclusief installatiekosten
- onderhoudskosten inclusief manuren
- geen teruglevering van elektriciteit
- dekking van de totale warmtevraag
- door intensief onderhoud blijft de installatie gedurende 10-15 jaar in staat van nieuw (alleen economische veroudering)
- geen extra kosten voor bediening
- reële rente 5%
- geen reële prijsstijging voor ingekocht gas en elektriciteit.

\* Specifieke basisgegevens:

- vergoeding uitgespaarde brandstof en opwekkingskosten bij zelf opgewekte elektriciteit f 0,179/kWh
- kosten van piekvermogen f 13,69/kW per maand
- kosten gistingsgas nihil
- kosten aardgas f 0,65/m<sup>3</sup>
- c.v.-ketel afgeschreven en onderhoudsvrij.

### 5.3. Beperkingen van het onderzoek

Bij het onderzoek werden om praktische en methodische redenen de volgende beperkingen geaccepteerd:

- evaluatie op basis van gemiddelde waarden over de beschouwde periode;
- geen meting van warmtestromen;
- geen analyse van variaties in de gasproductie over de dag;
- geen analyse vooraf van het verbruikspatroon van grote toestellen;
- geen besturing van de vierde gasmotor door het afschakelprogramma, in verband met scheiding van het onderzoek naar het optimale aantal gasmotoren en de vermogensbegrenzing.

Dit rapport heeft het karakter van een meetverslag. Daarnaast zijn de meetwaarden bedrijfseconomisch geëvalueerd. Door deze opzet gelden de resultaten in eerste plaats voor de rwzi Meppel en de omstandigheden zoals die zich daar voordeden, c.q. daar werden ingesteld.

De vertaling naar een algemeen beeld voor de rwzi Meppel en naar algemene conclusies ten aanzien van toepassing van kleine gasmotoren voor opwekking van warmte en kracht is verricht op basis van een aantal aanvullende aannamen.

In het bijzonder de gegeneraliseerde conclusies hebben een indicatief karakter; in concrete situaties voor andere rwzi's kan het nut van warmte-krachtkoppeling met behulp van kleine gasmotoren anders uitvallen.

6.1 Inleiding en doel van de experimenten

Bij een eerdere studie<sup>2</sup> is gebleken dat reservecapaciteit voor eigen energie-opwekking op rwzi's onrendabel is. Met modulaire kleine gasmotoren kan goed worden ingespeeld op de beschikbare hoeveelheid gistingsgas. De in dit hoofdstuk beschreven experimenten dienden om het optimale aantal eenheden voor de rwzi Meppel vast te stellen.

De beschikbare gegevens deden vermoeden dat een vierde eenheid zich in het marginale gebied zou bevinden. Ten behoeve van de evaluatie werd op proef een vierde motor geïnstalleerd.

De economische evaluatie is opgebouwd uit een beoordeling op basis van gegevens betreffende twee meetperioden in 1984, waarin drie, respectievelijk vier motoren in bedrijf waren (paragraaf 6.4), en een meer algemene evaluatie op basis van uit deze gegevens afgeleide kengetallen die voor heel 1984 representatief worden geacht (paragraaf 6.5).

Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een bespreking van de onderzoeksresultaten.

6.2 Proefopzet en waarnemingsprogramma

Voor dit deelonderzoek zijn geen bijzondere bedrijfssituaties gecreëerd. De relevante grootheden (afgegeven vermogen, bezettingsgraad, energie-conversie, gasproductie en gasverbruik) konden grotendeels uit de beschikbare bedrijfsgegevens worden afgeleid. De elektriciteitsproductie en de benuttingsgraad van het gistingsgas van de drie gasmotoren is bepaald uit gegevens over 1983. Het afgegeven vermogen en het gasverbruik van de vierde motor zijn tijdens de proefperiode gemeten.

In de proefperiode zijn dagelijks de volgende gegevens geregistreerd:

- kWh-opbrengst van de gasmotoren [kWh/d]
- aantal draaiuren van de gasmotoren [h/d]
- verbruikte hoeveelheid gistingsgas [m<sup>3</sup>/d]
- gespuide hoeveelheid gistingsgas [m<sup>3</sup>/d]
- verbruikte hoeveelheid aardgas [m<sup>3</sup>/d].

In de proefperiode is ernaar gestreefd permanent minimaal drie eenheden in bedrijf te houden. Voor zover gistingsgas beschikbaar was, waren vier motoren in bedrijf. Hiertoe is het onderstaande bedrijfsschema gehanteerd.

situatie	bedrijf
* voldoende gistingsgas →	4 TOTEMS op gistingsgas
* onvoldoende warmte en tekort gistingsgas →	4e TOTEM op aardgas
* voldoende gistingsgas en reparatie 1 TOTEM →	3 TOTEMS op gistingsgas
* onvoldoende gistingsgas voor 3 TOTEMS →	2 TOTEMS op gistingsgas + 1 TOTEM op aardgas

Tabel 2. Bedrijf van de gasmotoren

Meetresultaten

In de tabellen 18 en 19 (bijlage 5) zijn de resultaten van het gasmotorenbedrijf weergegeven. Hierin zijn de maanden van 1984 en tevens - in verband met het onderzoek naar de vermogensbegrenzing - de afzonderlijke meetperioden I t/m VI onderscheiden.

Ten behoeve van de in paragraaf 6.4 en 6.5 uitgevoerde rentabiliteitsberekeningen zijn in tabel 3 de resultaten van het gasmotorenbedrijf van een drietal perioden in 1983 en 1984 samengevat. Voor volledige uitwerking wordt verwezen naar bijlage 5.

periode	A 1 januari 1983 tot 1 januari 1984	B 1 januari 1984 tot 1 augustus 1984	C 10 september 1984 tot 1 januari 1985
aantal draaiuren:			
- TOTEM I (h)		4.592	2.157
- TOTEM II (h)		4.435	2.533
- TOTEM III (h)		4.532	2.439
- TOTEM IV			
. op gistingsgas (h)		0	1.831
. op aardgas (h)		0	729
- totaal op gistingsgas (h)	23.468	13.559	8.960
- totaal incl. aardgas (h)	23.468	13.559	9.689
energie-opbrengst vermogen (netto)*:			
- TOTEMS op gistingsgas (kW)	11,55	11,65	12,66
- TOTEM IV op aardgas (kW)	n.v.t.	n.v.t.	14,75
- TOTEMS gecombineerd (kW)	n.v.t.	n.v.t.	12,81
gistingsgasverbruik per TOTEM (m <sup>3</sup> /h)	8,12	8,41	8,65
aardgasverbruik TOTEM IV (m <sup>3</sup> /h)	n.v.t.	n.v.t.	7,12
energieconversie:			
- gistingsgas (kWh/m <sup>3</sup> )	1,42	1,39	1,46
- aardgas (kWh/m <sup>3</sup> )	-	-	2,07
* het bruto vermogen (inclusief het gemiddelde vermogen van circulatiepomp en koeling) ligt circa 1,0 kW boven het netto vermogen			

Tabel 3. Resultaten van het gasmotorenbedrijf

Periode A heeft betrekking op 1983. Periode B beslaat het tijdsbestek januari 1984 tot het begin van de proefnemingen. De meetperiode C omvat de totale periode waarin de verschillende vermogensbegrenzingsen zijn toegepast, inclusief de maanden november en december 1984.

Eind augustus is tengevolge van een melassetoevoeging 1000-3000 m<sup>3</sup> gas gespuid, terwijl tevens door een hoog CO<sub>2</sub>-gehalte van het gistingsgas de gasmotoren gedurende circa anderhalve dag buiten bedrijf zijn geweest. De resultaten van deze periode zijn buiten beschouwing gelaten. De bedrijfszekerheid van de gasmotoren blijkt zeer goed te zijn. Afgezien van bovengenoemde onderbreking konden als regel op ieder moment alle eenheden op één na worden ingezet.

#### 6.4 Economische analyse van de gasmotoren op basis van de proefresultaten

##### 6.4.1 *aanvullende uitgangspunten en methodiek*

Naast de in hoofdstuk 5 genoemde uitgangspunten zijn de volgende specifieke bedragen aangehouden.

Vaste kosten:

- investering t.b.v. de reeds opgestelde gasmotoren f 38.750 per eenheid (voor inflatie gecorrigeerde historische kostprijs)
- investering gasmotoren, indien in 1984 besteld f 45.000 per eenheid (huidige kostprijs inclusief extra prijsstijgingen)
- investering gasmotor met brandstofomschakeling f 48.650.

Variabele kosten:

- onderhoud gasmotoren, inclusief manuren, hulpstoffen en onderdelen f 0,925 per draaiuur per motor (berekend door het Zuiveringsschap Drenthe op basis van o.a. bedrijfservaringen te Emmen).

Het bedrijf van de gasmotoren levert niet alleen besparingen op door de geproduceerde elektriciteit, maar ook door reductie van het maximale ingekochte vermogen. Aangenomen is dat tijdens piekverbruik steeds alle motoren op één na in gebruik waren.

Gedurende de vier wintermaanden wordt het vermogen tijdens piekuren dubbel in rekening gebracht (zie bijlage 2). In elk van de hieronder beschouwde perioden gold deze toeslag gedurende twee maanden. Hiervoor is een extra besparing in rekening gebracht.

De afzonderlijke posten van de navolgende berekeningen betreffen:

- kosten: onderhoud en brandstof;
- opbrengsten: besparingen door geproduceerde elektriciteit en vermogensreductie.

De basisgegevens zijn ontleend aan tabel 3. Het resterende bedrag, indien positief, is beschikbaar voor rente en afschrijving. Hieruit is, op basis van annuïteiten, de terugverdientijd van de betreffende investering berekend.

6.4.2 drie gasmotoren

De rentabiliteit van de drie gasmotoren is berekend over de periode januari 1984 t/m juli 1984 (213 dagen). In deze periode is ten behoeve van additionele verwarming in de c.v.-installatie 553 m<sup>3</sup> aardgas verstoekt. In tabel 4 zijn de financiële resultaten voor de genoemde periode samengebracht.

onderhoudskosten	13.559 x 0,925	=	f 12.542
inkoop aardgas	553 x 0,65	=	f 359
kWh-opbrengst	158.020 x 0,179	=	f 28.286
vermogensbesparing	2x11,65x13,69x( $\frac{213}{365}$ x12+2)	=	f 2.872
resteert voor rente en afschrijving		=	f 18.256
idem per gasmotor per jaar	18.256/3 x 365/213	=	f 10.428
terugverdientijd (investering à f 38.750)			4,21 jaar
idem (investering à f 45.000)			4,98 jaar

Tabel 4. Kosten/baten voor drie gasmotoren in periode B (januari t/m juli 1984)

6.4.3 vier gasmotoren

Voor de analyse van de vier gasmotoren wordt de periode van 10 september 1984 tot en met 31 december 1984 (112 dagen) gebruikt. Omdat de gasmotor een hoger vermogen levert op aardgas dan op gistingsgas, is het gemiddelde vermogen van de vier motoren gestegen van 11,65 kW tot 12,81 kW. Zie tabel 5.

onderhoudskosten	9.689 x 0,925	=	f 8.962
inkoop aardgas	5.189 x 0,65	=	f 3.373
kWh-opbrengst	124.160 x 0,179	=	f 22.225
vermogensbesparing	3x12,81x13,69x( $\frac{112}{365}$ x12+2)	=	f 2.989
resteert voor rente en afschrijving		=	f 12.879
idem per gasmotor per jaar	12.879/4 x 365/112	=	f 10.493
terugverdientijd 4 motoren (gem. investering f 41.225)			4,48 jaar
terugverdientijd 4 motoren (gem. investering f 45.912)			5,06 jaar
rente en afschrijving 4e motor	10.493 - 3 x (10.428-10.493)	=	f 10.687
terugverdientijd 4e motor (investering f 48.650)			5,30 jaar

Tabel 5. Kosten/baten voor vier gasmotoren in periode C (september t/m december 1984)

Vergelijking van tabel 4 met tabel 5 leert dat het bedrag voor rente en afschrijving is toegenomen met f 65 per jaar per motor. Dit betekent dat, wanneer de situatie voor de eerste drie motoren niet is gewijzigd, de vierde motor, die duurder is, zich in 5,3 jaar kan hebben terugverdiend.

Deze termijn is een jaar langer dan bij de drie motoren.

Wordt het aanschafbedrag voor de eerste motoren gesteld op de huidige prijs ad f 45.000, dan stijgt de terugverdientijd van deze motoren met een half jaar. Het resterende verschil in terugverdientijd met de vierde motor wordt in belangrijke mate veroorzaakt door het aardgas dat in de proefperiode is ingekocht. In paragraaf 6.5.2 zal hier nog nader op worden ingegaan.

## 6.5 Verbreiding van de analyse tot een heel jaar

### 6.5.1 aanvullende uitgangspunten

De resultaten van de bovenstaande analyse hebben betrekking op niet samenvallende perioden. Dit is van invloed op de onderlinge vergelijking en daarmee op de waarde van de evaluatie van de vierde gasmotor. Daarom is ook een analyse uitgevoerd op basis van een consistente set kengetallen, geldend voor het hele jaar 1984.

Omdat de calorische waarde van het gistingsgas door het jaar heen fluctueert, zijn de specifieke energiekenngetallen ontleend aan het bedrijfsjaar 1983, waarin permanent drie motoren waren opgesteld (zie tabel 3).

Verdere specifieke aannamen zijn:

- gemiddelde gasproductie : 671 m<sup>3</sup>/d
- benodigd aardgas voor verwarming met/zonder 4e gasmotor (zie bijlage 4) : 12.500/6524 m<sup>3</sup> per jaar
- bezettingsgraad bij 3 motoren opgesteld (1983) : 90%
- geen spui van gistingsgas
- investering voor de eerste 3 motoren, per motor : f 38.750
- investering 4e gasmotor : f 48.650.

Omdat de aannamen met betrekking tot het aardgasverbruik, de bezettingsgraad en het spui-verlies met enige onzekerheden omgeven zijn, zijn ook berekeningen uitgevoerd waarbij het aardgasverbruik 5000 m<sup>3</sup> hoger is verondersteld, de bezettingsgraad is gestegen tot 92,5%, of van het gistingsgas 10% moet worden gespuid. Ook combinaties van de bovenstaande variaties zijn doorgerekend.

Behalve deze gevoeligheden zijn ook twee berekeningen uitgevoerd waarbij de reële rentevoet op 4% is gesteld, respectievelijk de onderhoudskosten per draai-uur zijn verhoogd tot f 1,20 (opgave importeur gasmotoren).

### 6.5.2 evaluatie vierde gasmotor

Deze berekeningsresultaten zijn gepresenteerd in tabel 6. Van de door-gerekende varianten zijn slechts de resultaten voor de vierde gasmotor opgenomen die gebaseerd zijn op de extrapolatie over geheel 1984. De hieraan ten grondslag liggende berekeningen verlopen geheel analoog aan de basisberekening die in tabel 5 is weergegeven.



variant	terugverdiëntijd			bezettings- graad 4e motor (%)	berekening in bijlage
	3 gas- motoren (jaar)	4 gas- motoren (jaar)	4e motor apart (jaar)		
- basis	4,8	5,2	6,3	94	6.1
- geen aardgas- inkoop	4,1		5,7	74	6.2
- alle motoren f 45000, geen aardgas- inkoop	6,3	6,4	6,6	74	6.3

Tabel 6. Evaluatie van de vierde gasmotor op jaarbasis

Het uitbreiden van het aantal gasmotoren tot vier stuks leidt tot een beperkte verlaging van de rentabiliteit van de gehele energie-opwekking van de rwzi. Bij drie gasmotoren kan gerekend worden op een terugverdiëntijd van 4,8 jaar (basisvariant). Zijn er vier motoren opgesteld dan loopt deze tijd op tot 5,2 jaar. Deze beide resultaten duiden in principe op een financieel-economisch gezond project.

Wordt de economie van de vierde gasmotor afzonderlijk geanalyseerd dan blijkt de terugverdiëntijd voor deze motor 6,3 jaar te zijn, dat wil zeggen anderhalf jaar langer dan voor de drie eerder geïnstalleerde gasmotoren.

Dit verschil kan in belangrijke mate worden verklaard uit de lage rentabiliteit van de motor bij het stoken van (duur) aardgas om in de warmtebehoefte te kunnen voorzien, en het verschil in aanschafkosten tussen de eerste drie motoren en de vierde motor. Wanneer geen aardgas wordt ingekocht, daalt de terugverdiëntijd voor de vierde motor tot 5,7 jaar. Zoals te verwachten is, daalt daarbij ook de bezettingsgraad van deze vierde motor (van 94% tot 74%). Wordt bovendien verondersteld dat geen aardgasvoorziening aan de motor wordt aangebracht en dat de andere motoren tegelijkertijd met de vierde motor worden geïnstalleerd (f 45.000), dan is het verschil in terugverdiëntijd minder dan een half jaar.

De conclusie luidt dan ook dat, zowel tegen de historische prijzen als tegen nieuwprijzen van 1984, op de rwzi Meppel vier gasmotoren rendabel zijn.

Het verschil in terugverdiëntijd zal kleiner worden naarmate de hoeveelheid benutbaar gistingsgas stijgt. Daardoor stijgt tevens de bezettingsgraad van de vierde gasmotor.

Een stijging van de gemiddelde gasproductie met slechts 5% (35 m<sup>3</sup>/d) is voldoende om de rentabiliteit van alle gasmotoren op gelijk niveau te brengen. Gezien de verwachte toename van de belasting van de rwzi Meppel is een dergelijke stijging niet onrealistisch.

### 6.5.3 gevoeligheidsanalyse vierde gasmotor

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn in tabel 7 samengebracht (zie ook bijlage 7). Hierin zijn gevolgen aangegeven van variaties van:

- rentevoet;
- bezettingsgraad bij drie motoren;
- aardgasverbruik;
- spuverlies;
- onderhoudskosten.

Uit het overzicht blijkt dat de gevoeligheid voor de rentevoet (variant a) en de bezettingsgraad van de eerste drie motoren (c) maar zeer beperkt is. Het laatste kan verklaard worden uit de hoeveelheid aardgas die bij hogere bezettingsgraad minder behoeft te worden ingekocht om aan de warmtevraag te kunnen voldoen. Dit leidt bij de opstelling van drie motoren tot een zekere kostenvermindering en bij de vier motoren tot een besparing van draaiuren op aardgas. Deze beide effecten blijken elkaar vrijwel volledig te compenseren.

De terugverdientijd van de vierde motor neemt enigszins toe wanneer de inkoop van aardgas wordt opgevoerd tot 17.500 m<sup>3</sup> (d). De bezettingsgraad van de vierde motor stijgt in dat geval echter tot meer dan 100%, hetgeen niet realistisch is. Wel duidt dit resultaat erop dat ook deze gevoeligheid niet groot is.

Opmerkelijk is verder dat, indien de bezettingsgraad van de drie motoren tevens wordt verhoogd tot 92,5% (f), de rentabiliteit van de vierde motor vergelijkbaar is met de basisvariant. Deze situatie is realistisch.

Uit de tabel blijkt duidelijk dat de rentabiliteit van de vierde motor zeer gevoelig is voor het optredende spuverlies (e, g, h en i). Dit betekent dat volledige benutting van het geproduceerde gistingsgas moet worden nagestreefd en de produktie op een zo hoog mogelijk niveau moet worden gebracht.

Hogere onderhoudskosten (b) leiden tot een lagere rentabiliteit voor alle eenheden, waarbij de vierde eenheid niet meer rendabel zou zijn.

variant	uitgangspunten					terugverdientijd			bezettings- graad 4e motor (%)	berekening in bijlage
	rente- voet (%)	onder- houd (f/uur)	bezet- ting 3 motoren (%)	inkoop aardgas (m <sup>3</sup> )	spui- verlies (%)	3 gas- motoren (jaar)	4e gas- motor (jaar)	verschil (jaar)		
basis	5	0,925	90	12.500	0	4,8	6,3	1,5	94	6.1
a	4	0,925	90	12.500	0	4,6	5,7	1,1	94	7.1
b	5	1,20	90	12.500	0	6,5	8,9	2,3	94	7.2
c	5	0,925	92,5	12.500	0	4,8	6,3	1,5	87	7.3
d	5	0,925	90	17.500	0	5,2	6,5	1,4	102	7.4
e	5	0,925	90	12.500	10	4,8	11,2	6,4	60	7.5
f	5	0,925	92,5	17.500	0	5,2	6,3	1,1	95	7.6
g	5	0,925	92,5	12.500	10	4,8	11,3	6,5	52	7.7
h	5	0,925	90	17.500	10	5,1	12,0	6,9	68	7.8
i	5	0,925	92,5	17.500	10	5,2	11,3	6,1	60	7.9

Tabel 7. Resultaten gevoeligheidsanalyse

#### 6.5.4 conclusies

Conclusies ten aanzien van de toepassing van kleine gasmotoren op de rwzi Meppel zijn:

- door de grote bedrijfszekerheid kan, op het vermogen van één eenheid na, het opgewekte vermogen van de gasmotoren als gegarandeerd vermogen worden beschouwd;
- onder de in 1984 aangetroffen omstandigheden ligt de terugverdientijd van de totale investering voor drie eenheden tussen 4 en 5 jaar; deze investering wordt hiermee rendabel geacht;
- een vierde eenheid is niet vol bezet, maar is niettemin eveneens rendabel (terugverdientijd tussen 5 en 6 jaar);
- de inkoop van aardgas ten behoeve van de resterende warmtevraag heeft een duidelijk negatieve invloed op de rentabiliteit;
- de benutbare gasproductie heeft een grote invloed op de uitkomsten; bij 5% meer gas is de rentabiliteit van vier motoren gelijk;
- de onderhoudskosten beïnvloeden de rentabiliteit van alle eenheden aanzienlijk.

#### 6.6. Aanvullende gasopslag

Over de periode januari 1984 tot en met juli 1984 moest 18% van het geproduceerde gistingsgas gespuid worden. Daarnaast trad 1394 uur stilstand van de gasmotoren op bij gebrek aan gistingsgas.

Zou wel voldoende gas voorhanden zijn geweest, dan was 16240 kWh elektriciteit opgewekt met een waarde van f 2.907. Hiervoor zouden f 1.289 onderhoudskosten gemaakt moeten worden, zodat een netto-voordeel ontstaat van f 1.618. Omgerekend naar een jaar is dit f 2.775.

Op dit bedrag behoeven geen kapitaalskosten voor de gasmotoren in mindering te worden gebracht, zodat het geheel beschikbaar is voor rente en aflossing van een uitbreiding van de gasbuffer. Bij een afschrijvingstermijn van 5 jaar mag een dergelijke uitbreiding circa f 12.000 kosten.

Dit laatste bedrag is niet toereikend voor uitbreiding van de gasopslag met enige omvang. Daarbij komt dat door aanpassing van de bedrijfsvoering in de tweede helft van 1984 de hoeveelheid spuigas tot verwaarloosbare hoeveelheden is teruggebracht.

In de situatie van de rwzi Meppel is een extra gasbuffer dan ook niet rendabel.

#### 6.7 Vergelijking met de resultaten van eerder onderzoek

In het Storarapport "Energie uit gistingsgas - toetsing van ontwerpgrondslagen"<sup>2</sup>, zijn naast volledige TE- en PE-systemen tevens drie grote rwzi's met een gedeeltelijk TE-systeem doorgelicht.

De rwzi te Meppel heeft een energie-opwekkingssysteem dat kan worden ondergebracht in de laatstgenoemde categorie, echter met dit verschil, dat de opgewekte energie niet expliciet voor een bepaald installatieonderdeel is bestemd, maar wordt toegeleverd aan het elektrisch net van de rwzi. Verder is het geheel kleinschaliger van opzet en is bewust gekozen voor flexibiliteit door kleine eenheden te installeren (ten koste van extra onderhoud).

Onderstaand zijn de resultaten uit het Stora-rapport<sup>2</sup> vergeleken met de overeenkomstige grootheden ontleend aan deze studie (zie bijlage 8). Om deze vergelijking een algemene basis te geven is aangenomen dat:

- geen aardgas wordt verbruikt voor de vierde gasmotor;
- de investeringen per motor f 45.000 bedragen;
- onderhoud wordt uitbesteed à f 1,20 per draai-uur.

Het krachttrendement van de energie-opwekkingsinstallatie te Meppel (ca. 25% op onderwaarde) blijkt goed vergelijkbaar met de resultaten uit de praktijkstudie.

Uit tabel 8 komen enige duidelijke verschillen naar voren, die als volgt kunnen worden verklaard:

- de rwzi Meppel is volbelast, waardoor de kracht- en warmtebehoefte, uitgedrukt per i.e., lager worden in vergelijking met een onderbelaste rwzi;
- de slibproductie (uitgegist) is zeer laag: 20 g/(i.e.d.), met name doordat slechts de helft van de afvalwaterbelasting via de voorbezinking wordt geleid. Hiermee hangen samen enerzijds de lage gasproductie en anderzijds de lage warmtebehoefte voor het slibgistingproces.

systeem OBAS (oxydatiebed - actiefslib)		Energie uit gistingsgas <sup>2</sup>	deze studie
krachtbehoefte beluchting	(kJ/(i.e.h.))	3,7	3,5
krachtbehoefte overige onderdelen	(kJ/(i.e.h.))	6,1	2,8
warmtebehoefte	(kJ/(i.e.h.))	9,7	2,4
gasproductie*	(kJ/(i.e.h.))	17,6	9,0
krachttrendement (ow)	(%)	25,7	25,1
netto baten			
3 motoren	(f/i.e.)		0,17
4 motoren	(f/i.e.)		0,22
kapitaalsproductiviteit	(%)		9
besparing in te kopen elektriciteit	(kWh/(i.e.j))		3,7 à 4,7
* verbrandingswaarde: 24 MJ/m <sup>3</sup>			

Tabel 8. Evaluatie gasmotoren op basis van energievraag en -productie

Hoewel een exacte vergelijking op kostenbasis niet goed mogelijk is, kan verder worden geconcludeerd dat de bedrijfseconomische evaluatie voor de installatie Meppel gunstiger uitvalt dan op basis van het eerdere onderzoek<sup>2</sup> kon worden verwacht.

De volgende specifieke kenmerken van het systeem in Meppel liggen ten grondslag aan de goede rentabiliteit van de eigen energie-opwekking:

- volle belasting van de installatie;
- keuze van het aantal gasmotoren op basis van de gasproductie. Er is geen reservecapaciteit aanwezig, hetgeen bij conventionele eigen energie-opwekkingssystemen gebruikelijk is;
- levering van de opgewekte elektriciteit aan het net van de installatie, in plaats van aan een bepaald installatie-onderdeel;
- spreiding van de capaciteit van de opwekking over verscheidene eenheden. Hierdoor kan een deel van deze capaciteit in mindering worden gebracht op het ingekochte vermogen;
- inkoop van aardgas slechts voor zover nodig om in de winter aan de warmtebehoefte te kunnen voldoen.

Het in het Storarapport<sup>2</sup> genoemde rendabel te investeren bedrag van f 20,90 per i.e. kan niet worden vertaald naar de rwzi Meppel (70.000 i.e.; vol belast), omdat voor de kleine gasmotoren sprake is van een afwijkende verhouding tussen investerings- en onderhoudskosten. In feite is in Meppel in de beschouwde bedrijfssituatie met de nu opgestelde vier eenheden het optimum qua kapitaalsproductiviteit bereikt.

Een slotconclusie uit de vergelijking van resultaten betreffende verschillende rwzi's is, dat voor iedere toepassing de specifieke bedrijfskenmerken en de structuur van het elektriciteitstarief in hoge mate bepalend zijn voor het op die inrichting maximaal te investeren bedrag ten behoeve van een eigen energie-opwekkingssysteem. Oordeelsvorming op basis van globale kengetallen is derhalve niet zonder risico's.

7.1 Inleiding en doel van de experimenten

Het gecontracteerde vermogen is een belangrijk element in het contract voor de levering van elektriciteit van de rwzi Meppel (zie bijlage 2). Indien een gegarandeerd opgewekt vermogen van gasmotoren beschikbaar is, is het mogelijk ten minste dit vermogen op het gecontracteerde vermogen in mindering te brengen. In hoeverre het zuiveringsbedrijf begrenzing op een nog lager maximaal vermogen kan verdragen, kan in principe worden afgeleid uit de vermogens en het bedrijfspatroon in de tijd van de (grootste) afzonderlijke verbruikstoestellen. Omdat hierin altijd een element van onzekerheid schuilt en de betreffende gegevens van de rwzi Meppel niet in voldoende detail beschikbaar waren, is een schatting van het maximale vermogen gemaakt (zie paragraaf 7.5.1), die vervolgens in de praktijk is getoetst. Hierbij is de normale effluentkwaliteit van de rwzi Meppel als criterium gekozen voor het laagst haalbare vermogensplafond. Door de tariefstructuur van de NV IJsselcentrale is begrenzing op een lagere waarde dan 60% van het gecontracteerde vermogen niet zinvol. Het doel van het hierna beschreven deelonderzoek was het vaststellen van het vermogensplafond voor de rwzi Meppel, het evalueren van de bedrijfstechische gevolgen van het gebruik van een begrenzer en het verbeteren van het geïnstalleerde afschakelprogramma.

Beperking van het uit het net op te nemen vermogen is vooral voor de daaraan verbonden kosten van belang. In het algemeen moet niet gerekend worden op een energiebesparend effect.

7.2 Speciale technische voorzieningen

Ten behoeve van dit deelonderzoek werd een registrerende vermogensmeter geïnstalleerd, waarmee het netto afgenomen netvermogen is gemeten. Tijdens de proeven is soortgelijke apparatuur aangesloten op de gasmotoren, zodat ook het bruto vermogen kon worden bepaald.

De opgestelde automatische begrenzings- en registratie-apparatuur (Electromach, type PBS 1000) initieert bij een dreigende overschrijding van het ingestelde maximale vermogen (eenmaal per kwartier gemeten) een afschakelprogramma, dat in opeenvolgende stappen een aantal onderdelen van de rwzi uitschakelt (zie tabel 9).

Het bedrijf van de gasmotoren was tijdens de meetperiode zodanig gekozen dat steeds ten minste drie eenheden in bedrijf waren (zie paragraaf 6.2).

stap	onderdeel	nominaal vermogen
1.	gascompressor	10 kW
2.	versslibpomp versnijder slibcirculatiepompen warmwatercirculatiepompen	te zamen 13 kW
3.	surplusslibpomp spoelpomp	te zamen 13 kW
4.	terreinwaterpomp	10 kW
5.	beide beluchters naar de hoogste stand	max. 55 kW

Tabel 9. Successievelijk afgeschakelde installatie-onderdelen

## 7.3

Proefopzet

De mogelijke reductie van het maximale afgenomen vermogen door automatische afschakeling van sommige installatie-onderdelen (vermogensbegrenzing) is in twee fasen onderzocht.

Gedurende de eerste (referentie)periode is het verloop van het totale opgenomen vermogen over de dag gemeten, teneinde de dynamiek vast te stellen en het plafond te bepalen waarop de vermogensbegrenzer in de volgende (meet)periode zou moeten worden ingesteld. Bij de bepaling van het vermogensplafond is de bijdrage van drie permanent bedreven gasmotoren ingecalculeerd. In de referentieperiode zijn tevens de feitelijk afgenomen vermogens van enige in dit verband belangrijke installatie-onderdelen (o.a. oppervlaktebeluchters) bepaald.

De referentieperiode heeft geduurd van 13 juni t/m 9 augustus 1984.

Op basis van de gegevens uit de referentieperiode werden (op provisorische wijze) enige wijzigingen in de bedrijfsvoering van de rwzi aangebracht, om pieken in het opgenomen vermogen te beperken en de spui van gistingsgas te minimaliseren (zie paragraaf 4.2).

De feitelijke meetperiode, van 10 september tot 31 oktober 1984, is opgesplitst in drie perioden van 14 dagen, waarbij in iedere volgende periode een lager maximaal vermogen werd ingesteld. Aangezien er in de eerste periode nog geen aparte vermogensmeetapparatuur voor de gasmotoren aanwezig was, is deze periode aan het eind herhaald.

## 7.4

Waarnemingsprogramma en verloop van de experimenten

In het kader van dit onderzoek naar de vermogensbegrenzing zijn automatisch als kwartiergemiddelde waarden geregistreerd:

- netto vermogensvraag van de rwzi [kW]
- vermogenslevering door de gasmotoren [kW].

Gedurende de proefperiode is regelmatig de effluentkwaliteit van de rwzi bepaald. Daarnaast werd zoveel mogelijk de belasting van de rwzi gemeten. Alle bemonsteringen werden volumeproportioneel uitgevoerd. In tabel 10 is het proevenschema weergegeven.

meetperiode	aantal motoren	bemonsteringsperiode	begrenzing
I 10/08-24/08/'84	3	-	geen
II 24/08-10/09/'84	4	-	geen
III 10/09-24/09/'84	4	10/09 t/m 13/09/'84 en 18/09 t/m 23/09/'84	130 kW idem
IV 24/09-08/10/'84	4	24/09 t/m 27/09/'84 en 01/10 t/m 04/10/'84	120 kW idem
V 08/10-22/10/'84	4	08/10 t/m 18/10/'84	110 kW
VI 22/10-31/10/'84	4	22/10 t/m 25/10/'84	130 kW

Tabel 10. Meetperioden en bemonsteringsdata

Aan de hand van de registratie van de indompeldiepte van de beide beluchters in het beluchtingscircuit kon een indruk worden verkregen van het gedrag van de beluchters bij een bepaald schakelprogramma.

Gezien het incidentele gebruik van de slibdroger en de mogelijkheden deze buiten het gecontracteerde maximale vermogen in te zetten, bleef dit installatie-onderdeel buiten de evaluatie. Wel zijn tijdens de referentieperiode enige metingen verricht, waaruit het afgenomen vermogen van de drooginstallatie kon worden bepaald.

## 7.5 Meetresultaten

### 7.5.1 *vermogensvraag (referentieperiode)*

De meetresultaten van de referentieperiode zijn samengevat in tabel 11. In bijlage 9 zijn de waarnemingen in detail weergegeven.

bedrijfssituatie	basislast		piekvermogen	
	50-percentage (kW)	97,5-percentage (kW)	50-percentage (kW)	97,5-percentage (kW)
totale rwzi excl. slibdroger	72	86	126	151

Tabel 11. Het door de rwzi Meppel uit het net opgenomen vermogen

Tijdens de referentieperiode waren 3 gasmotoren in bedrijf, zodat het totale benodigde elektrische vermogen 35 kW hoger ligt.

Het maximale vermogen (exclusief slibdroger) kan worden berekend uit de som van het gemiddelde piekvermogen, het vermogen van de gasmotoren en de marge van de fluctuaties:  $151 + 35 = 186$  kW. Op grond van de gevonden spreiding wordt geschat dat dit vermogen in 97,5% van de tijd voldoende is.

Omdat de gasmotoren zeer bedrijfszeker zijn, werden voor de experimenten met de begrenzing van de vermogensvraag drie waarden genomen nabij en onder het gemiddelde opgenomen piekvermogen, 130, 120 en 110 kW. Verwacht werd dat bij een plafond van 110 kW de bedrijfsvoering van de rwzi in belangrijke mate zou worden beïnvloed. Bij 130 kW begrenzing kon in meer dan 50% van de tijd een normaal bedrijf worden verwacht.

### 7.5.2 *effluentkwaliteit*

In het onderzoekprogramma is de normale effluentkwaliteit van de rwzi als criterium gesteld voor het laagst haalbare vermogensplafond. In tabel 21 (bijlage 10) zijn de resultaten van de bemonsteringen weergegeven. Tevens zijn de resultaten van eerder in 1984 uitgevoerde bemonsteringen vermeld.

Op basis van het beeld over het totale jaar 1984 kunnen de volgende conclusies worden getrokken betreffende de effluentkwaliteit bij normaal bedrijf:



- de rwzi Meppel is volbelast;
- bij regenaanvoer wordt de ontwerpbelasting van de rwzi soms ver overschreden;
- de belasting van de tweede trap varieert vrij sterk, afhankelijk van het rendement van de oxydatiebedden (60-90%) en de rechtstreekse belasting van een deel van Meppel (Oosterboer) en Staphorst;
- de bedrijfsvoering wordt gestuurd op een gehalte in het effluent van 10 mg/l voor zowel ammonium- als nitraatstikstof. Tengevolge van slibverlies tijdens hevige regenval en lage temperaturen (januari) komen incidenteel hogere waarden voor;
- het Kjeldahl-stikstofgehalte in het effluent varieerde tussen 10 en 25 mg/l.

De effluentkwaliteit tijdens de onderzoeksperioden is gepresenteerd in tabel 12. De effluentkwaliteit is beoordeeld op grond van het stikstofgehalte (Kjeldahl + nitraat).

Omdat niet in alle gevallen de effluentkwaliteit gecorreleerd kon worden aan de belasting van de rwzi en de slibbelasting van de tweede trap, is een volledig inzicht in de invloed van de vermogensplafonds op de effluentkwaliteit niet altijd mogelijk. Besloten is de resultaten van de perioden met begrenzing onderling te vergelijken.

Deze vergelijking brengt betrekkelijk geringe verschillen ten aanzien van het gehalte van Kjeldahlstikstof aan het licht. De begrenzing op 110 kW levert daarvan duidelijk de hoogste waarde. Op grond hiervan zou kunnen worden geconcludeerd dat met deze laatste instelling bij het gehanteerde afschakelprogramma het voor een goed zuiveringsresultaat benodigde vermogen werd overschreden. Echter moet worden opgemerkt dat de kwaliteit van het effluent aanzienlijke schommelingen vertoont, waarbij ook in het begin van de zomer hoge Kjeldahlstikstofgehalten zijn opgetreden.

Helaas zijn niet voor alle meetperioden gegevens over de belasting voorhanden, zodat geen stellige uitspraak kan worden gedaan over de ondergrens van het uit het openbare net opgenomen vermogen.

periode meting	data bemonstering	grenswaarde vermogen (kW)	effluentkwaliteit		totale belasting rwzi (i.e.'s à 54 g BZV)	specifiek energieverbruik beluchters (kWh/kg BZV verwijderd)
			Kjeldahlstikstof (mg/l)	nitraatstikstof (mg/l)		
I	5 jun-14 jun	geen	19,0	1,3	68750	1,11
I	25 jun- 5 jul	geen	8,0	10,0		
I	17 jul-23 jul*	geen	3,9	17,0	71020	2,01
III	10 sep-13 sep	130	4,2	4,0		
III	18 sep-23 sep	130	8,3	8,5	95080	1,24
IV	24 sep-27 sep	120	7,3	3,9	95600	1,03
IV	1 okt- 4 okt	120	6,8	4,1		
V	8 okt-18 okt	110	13,3	4,4		
VI	22 okt-25 okt	130	7,3	0,3		

\* vakantieperiode

Tabel 12. Effluentkwaliteit tijdens het onderzoek vermogensbegrenzing

### 7.5.3 *bedrijf van de oppervlaktebeluchters*

De relatief kleine vermogens van de apparaten die aan de eerste stappen van het afschakelprogramma waren gekoppeld leidden ertoe dat bij de begrenzing op 120 kW betrekkelijk vaak het 5e afschakelcontact, dat is het volledig omhoog brengen van de oppervlaktebeluchters, werd aangesproken. Bij de begrenzing op 110 kW trad de maximale afschakeling zelfs vele malen per dag op. De gekozen bedrijfsvoering leidde met name bij het laagste vermogensplafond tot een sterk fluctuerend indompeldieptepatroon van de beluchters (zie figuur 3).

De indruk bestaat dat een minder extreme reactie op de dreigende overschrijding van het opgenomen vermogen een veel rustiger bedrijf van de beluchters tot gevolg zal hebben. Dit rustiger verloop van de indompeldiepte is uiteraard van belang vanwege slijtage van de verstelinrichtingen, maar leidt waarschijnlijk ook tot een grotere gemiddelde beluchttingscapaciteit en daarmee een betere effluentkwaliteit bij eenzelfde maximaal vermogen. Hiertoe zou bijvoorbeeld de beluchttingscapaciteit in stappen moeten worden gereduceerd, verdeeld over verschillende afschakelcontacten.

## 7.6 Verdere optimalisatie

### 7.6.1 *verbetering van het afschakelprogramma*

Uit figuur 3 kan ook worden afgeleid dat in de beschouwde periode de vierde gasmotor verschillende malen in bedrijf is geweest. Dit functioneren is niet gerelateerd aan een dreigende piekoverschrijding, omdat is gestreefd naar maximale benutting van gistingsgas door de gasmotoren. Voor een optimaal resultaat is aan te bevelen het functioneren van de vierde gasmotor te sturen via het afschakelprogramma van de vermogensbegrenzer. Indien dit gebeurt met een hogere prioriteit dan het reduceren van het beluchtervermogen, zal zodoende tevens een rustiger bedrijf van de beluchters worden gerealiseerd.

Een keuze in de schakelprioriteit zal echter onder meer afhangen van de eventuele gevolgen van frequent schakelen voor onderhoud en slijtage van de gasmotor, respectievelijk de hoogtEVERSTELINRICHTINGEN van de beluchters.

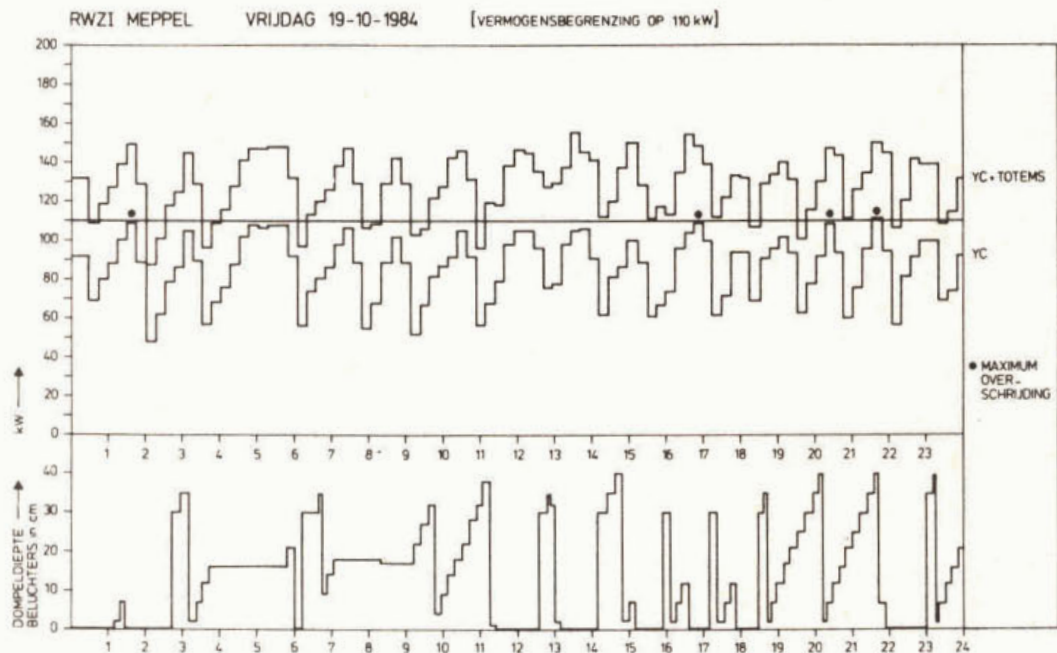
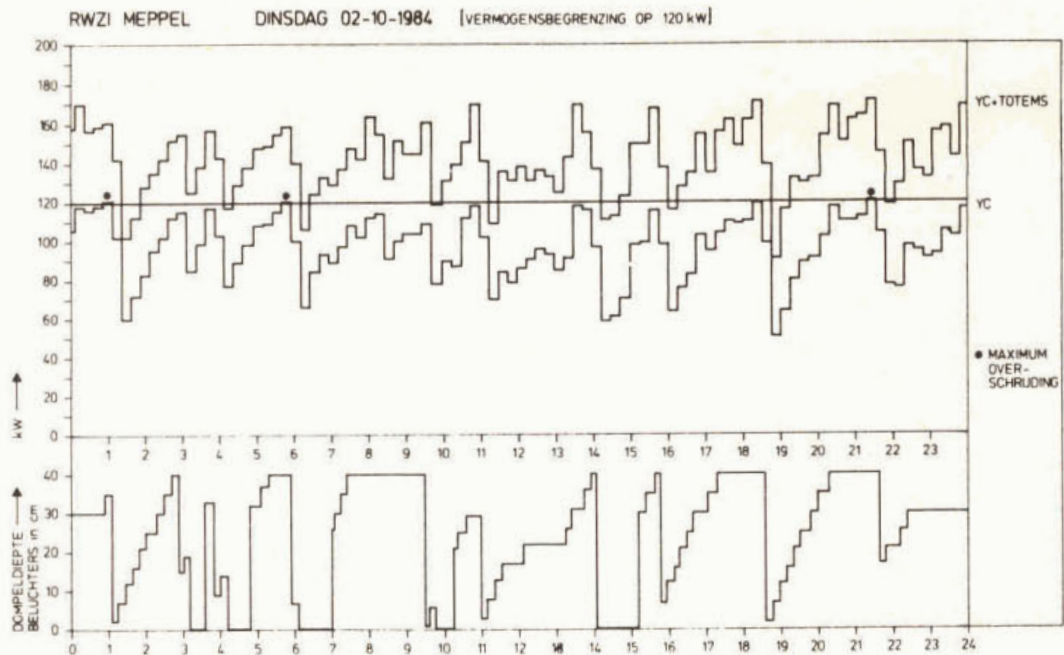
Tenslotte dienen voor de stappen ongeveer gelijke vermogens te worden gekozen.

### 7.6.2 *gasbuffering ten behoeve van peakshaving*

In de voorgaande beschouwingen is uitgegaan van continu bedrijf van drie gasmotoren op gistingsgas, waarbij de vierde motor wordt ingezet voor zover dit gas beschikbaar is. In geval van warmtetekort wordt aardgas gestookt.

Het is goed mogelijk dat na verdere optimalisatie een lager vermogensplafond dan 120 kW kan worden ingesteld, zonder schade aan de werking van de rwzi. Uit oogpunt van kosten zou dit alleen zinvol zijn, wanneer het contractuele vermogen eveneens wordt aangepast.

Het is uiteraard aantrekkelijk wanneer steeds bij dreigende piekoverschrijding gistingsgas beschikbaar is voor de vierde gasmotor. In het beschreven onderzoek is dit niet onderzocht.



\* De beperkte overschrijdingen van het maximumvermogen waren een gevolg van onvoldoende synchronisatie van de meet- en schakelapparatuur. Deze storing is in de loop van het onderzoek verholpen en is niet van invloed geweest op de resultaten.

YC = IJsselcentrale = uit het net afgenomen vermogen

Figuur 3. Dompeldieptepatronen bij vermogensbegrenzing op 120 kW en 110 kW

Globaal oordelend, met name op grond van de korte duur van de vermogenspieken, lijkt de beschikbare buffer echter voldoende groot om de vierde gasmotor op te nemen in het afschakelprogramma. Derhalve is ook in dit opzicht uitbreiding van de gasopslagcapaciteit niet aan de orde.

#### 7.7 Economische evaluatie van de vermogensbegrenzing

Ten behoeve van de economische evaluatie van de vermogensbegrenzing zijn de volgende aanvullende uitgangspunten gehanteerd:

- investering afschakelapparatuur f 6.000;
- geen onderhoudskosten voor deze apparatuur;
- vermogensvraag slibdroger niet beschouwd;
- gecontracteerd vermogen IJsselcentrale 200 kW;
- maatgevend maandelijks maximaal vermogen 186 kW;
- voldoende gistingsgas voor 3 gasmotoren.

In het maximale vermogen kan voor een gedeelte worden voorzien door de opgestelde gasmotoren. Bij de bepaling van de rentabiliteit van deze motoren is verondersteld dat steeds één gasmotor niet gegarandeerd ter beschikking is. Dit betekent dat bij drie motoren een maximale netbelasting van circa 163 kW verwacht mag worden en bij vier motoren circa 151 kW.

Het installeren van vermogensbewakingsapparatuur, zal het vermogen besparen tussen het maximum en de verwachte belasting. Afhankelijk van de hoogte van dit maximum en het aantal gasmotoren kan de waarde van deze vermogensbesparing worden bepaald in tabel 13. Hierbij is aangenomen dat vier gasmotoren zijn opgesteld.

begrenzing (kW)	vermogens- reductie (kW)	jaarlijkse besparing (f/jaar)	terugverdien- tijd (jaar)
130	21	3419	1,88
120	31	5093	1,24
110	41	6735*	0,93

\* bij een gecontracteerd vermogen van 180 kW of minder

Tabel 13. Vermogensbesparing door begrenzing bij vier gasmotoren

Bij drie opgestelde motoren in plaats van vier moet de in te stellen begrenzing worden verhoogd met het elektrisch vermogen van de weggeval- len gasmotor. De bedrijfsvoering van de rwzi verandert dan niet van ka- rakter.

In bovenstaande benaderingswijze is aangenomen dat steeds voldoende gis- tingsgas ter beschikking is voor drie gasmotoren. Bij een langdurig tekort aan gistingsgas kan overwogen worden aardgas bij te stoken, of het zuiveringsbedrijf tijdelijk te wijzigen. De kosten van een draaiuur van een gasmotor op aardgas bedragen  $(0,925 + 7,12 \times 0,65 - 14,75 \times 0,179) =$  f 2,91. Deze kosten moeten worden afgewogen tegen een mogelijk vermin- derde zuiveringsprestatie of tegen de extra inkoop van elektrisch vermo- gen. Bij deze laatste afweging kan het bijstoken per maand  $14,75 \times 13,96 =$  f 206 aan vermogenskosten besparen, d.w.z. er mag voor de vermogensbe- sparing  $206/2,91 = 71$  uur worden bijgestookt. Het vermogen kan echter beter worden ingekocht, wanneer het aantal uren groter zal zijn.

Opgemerkt moet worden dat, indien eenmaal besloten is tot extra inkoop van vermogen, de verhoogde begrenzing de hele maand zonder extra vermogenskosten gehandhaafd kan worden.

Bij consequent inschakelen van alle gasmotoren bij piekbelasting (en aanpassing van het gecontracteerde vermogen) nemen de genoemde jaarbedragen toe met f 1.964 (12 kW). Deze bedrijfsvoering zou tevens het economisch rendement van de gasmotoren verhogen. De veronderstelling is echter niet verder uitgewerkt, omdat het bedrijf hoge eisen stelt aan de planning van het onderhoud van de motoren.

Tenslotte zijn in tabel 13 de terugverdiertijden van de apparatuur aangegeven. Uit de berekeningen blijkt dat bij een vermogensbegrenzing op 130 kW de apparatuur zich bij vier motoren reeds in minder dan twee jaar terugverdiert.

7.8

#### Conclusies

- het begrenzen van pieken in het opgenomen vermogen levert voor de rwzi Meppel een financiële besparing op;
- de kosten van de afschakelapparatuur worden bij vier motoren binnen twee jaar terugverdiend;
- op grond van de beschikbare gegevens wordt bij een vermogensplafond van 120 kW in combinatie met een verzekerd vermogen van drie gasmotoren (vier opgesteld) geen negatieve invloed op het zuiveringsresultaat verwacht;
- door verdere optimalisatie van het afschakelprogramma (beluchters, gasmotor) kan een rustiger bedrijf van de afgeschakelde installatie-onderdelen worden gerealiseerd;
- een plafond van 110 kW is met deze optimalisatie technisch haalbaar; het is alleen zinvol wanneer het gecontracteerde vermogen wordt aangepast;
- bij minder dan circa 70 uur per maand, is in het kader van de vermogensbegrenzing bijstoken van een gasmotor met aardgas rendabel;
- additionele gasopslag is niet noodzakelijk voor de vermogensbegrenzing.

## 8 UITBREIDING GASOPSLAG

### 8.1 Inleiding

Bij de formulering van het onderhavige project leek aanvullende gasopslag een reële optie. Daarom werd een deelonderzoek naar technische haalbaarheid, de risico-aspecten en kosten van (additionele) gasopslag in het project opgenomen, waarbij met name kunststof gaszakken zijn geëvalueerd.

Het feit dat voor Meppel andere conclusies zijn getrokken doet weinig af aan het mogelijke belang van dit deelonderzoek voor andere rwzi's, in het bijzonder in situaties waar nieuwbouw of vervanging van de hele gasopslag wordt overwogen.

### 8.2 Additionele gasopslag op de rwzi Meppel

Buffering van gistingsgas in combinatie met eigen energie-opwekking is in principe een effectieve manier om pieken in de vermogensvraag op te vangen.

De rentabiliteit van investeringen in dit kader wordt bepaald door de opbrengst van het extra benutte gistingsgas. In paragraaf 6.8 is aangetoond dat de hoeveelheid spuigas in Meppel geen vergroting van de gasbuffer rechtvaardigt. Hetzelfde is geconcludeerd met betrekking tot de koppeling van een gasmotor aan de vermogensbegrenzing (paragraaf 7.6.2).

Een antwoord op de vraag naar de absolute grootte van de benodigde opslagcapaciteit voor gistingsgas bij eigen energie-opwekking kan moeilijk worden gegeven zonder een gedetailleerde analyse van het patroon van gasproductie en -consumptie.

De kosten van zo'n analyse en de onzekerheden in het resultaat als gevolg van de vele noodzakelijke aannamen leiden er meestal toe dat voor rwzi's als in Meppel de gashouder op grond van eenvoudige vuistregels wordt gedimensioneerd. In feite vertrouwt men op de intrinsieke buffercapaciteit van het gistingsproces en beïnvloeding van de gasproductie door de bedrijfsvoering. Volstaan wordt met de buffering van enkele uren gasproductie.

De dalende tendens van de investeringskosten voor gasopslag door de introductie van flexibele kunststof gaszakken bevestigt deze werkwijze, doordat de kosten van eventuele overdimensionering worden gereduceerd.

### 8.3 Systemen voor additionele gasopslag

Voor de opslag van gistingsgas op rioolwaterzuiveringsinrichtingen worden momenteel hoofdzakelijk de klokgashouder en membraangashouder toegepast. Deze gashouders zijn lage druk gashouders (variërend van 10-500 mbar) met een inhoud variërend van 100 m<sup>3</sup> tot 30.000 m<sup>3</sup>.

De drukkashouder, waarbij het gas door middel van compressoren onder hoge druk (tot ca. 300 bar) in een druktank wordt geperst, wordt wegens de hoge energie- en investeringskosten vrijwel niet toegepast. Dit geldt ook voor de gekoelde gashouder, waarin het gas bij circa -160°C vloeibaar wordt gemaakt en vervolgens atmosferisch wordt opgeslagen.

Sinds enige jaren is, vooral voor kleinschalige mestvergisting in de agrarische sector, de trend waarneembaar naar kleinere en goedkopere gasopslagsystemen.

Als variant op de gelaste stalen membraangashouder worden kunststof (polyester) gashouders op de markt gebracht, veelal geënt op in de agrarische sector gebruikte voedersilo's. Door de lichte constructie zijn deze gashouders nog niet op rioolwaterzuiveringsinrichtingen toegepast en is dit ook in de toekomst niet te verwachten.

Tevens uit de agrarische sector afkomstig is de gaszak. Dit is een flexibele kunststof zak met een inhoud van 50 tot 150 m<sup>3</sup>, voorzien van ballast en/of een ventilator om de vereiste gasdruk te verkrijgen. De gaszak wordt onder een overkapping of dekzeil opgesteld ter bescherming tegen weersinvloeden en UV-straling en voorzien van een omheining waardoor mens en dier de gaszak niet kunnen benaderen. In bijlage 11 wordt nader ingegaan op de constructie van de gaszak, de opstelling, de levensduur en de gevaaraspecten. De gemaakte analyse wijst uit dat, als aan alle eisen ten aanzien van constructie en opstelling wordt voldaan, voldoende veiligheid is gewaarborgd.

In onderstaande tabel is de gaszak op de meest relevante aspecten vergeleken met de klok- en membraangashouder. Daarbij zijn bij de investeringskosten voor de gaszak de kosten van afdekking, ventilatievoorzieningen, afrastering en grondwerkzaamheden inbegrepen.

Uit de vergelijking blijkt dat het financieel aantrekkelijk is kunststof gaszakken toe te passen en dat voldoende veiligheid kan worden gewaarborgd. Dit betekent dat bij gasopslag tot circa 150 m<sup>3</sup> de gaszak een aantrekkelijk alternatief is voor de klassieke klok- of membraangashouder.

	klok/membraangashouder	gaszak
- investeringskosten		
. 50 m <sup>3</sup>	f 100.000 à f 200.000	f 18.000 à f 36.000
. 100 m <sup>3</sup>	f 110.000 à f 220.000	f 20.000 à f 45.000
. 300 m <sup>3</sup>	f 175.000 à f 325.000	f 42.000 à f 110.000
- max. werkdruk	3-5 kPa	1-2 kPa
- levensduur	>20 jaar	ca. 10 jaar
- terreinbehoefte	0,3-0,5 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	1-3 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
- constructietijd	1-2 maanden	± 1 week
- veiligheid	goed	voldoende*
- robuustheid	goed	voldoende*
- praktijkervaring	langjarig	gering
* bij goede verankering en omheining		

Tabel 14. Vergelijking van kleine gasopslagsystemen

## CONCLUSIES

\* Algemeen

- . De betrouwbaarheid van de gasmotoren is hoog genoeg om bij drie opgestelde eenheden het vermogen van twee gasmotoren als gegarandeerd vermogen (97,5% van de tijd) te beschouwen. Bij vier eenheden mag het vermogen van drie motoren als garantie (97,5% van de tijd) worden beschouwd.
- . Op basis van de resultaten van het onderzoek op de rwzi Meppel zijn de volgende kengetallen voor kleine gasmotoren bepaald:
 

-	krachtrendement op bovenwaarde		22,6%
	krachtrendement op onderwaarde		25,1%
-	netto baten	3 motoren	0,17 f/(i.e.jaar)
		4 motoren	0,22 f/(i.e.jaar)
-	kapitaalsproductiviteit		9%
-	besparing in te kopen elektriciteit		3,7 à 4,7 kWh/(i.e.jaar)

Deze waarden steken gunstig af tegen andere praktijkresultaten. De volle belasting van de rwzi Meppel en factoren als het vermijden van overcapaciteit, minimale aardgasinzet, flexibiliteit door levering aan het net en het opstellen van verscheidene eenheden zijn hierbij van wezenlijk belang.

- . Kunststof gaszakken vormen een economisch aantrekkelijk alternatief voor natte gasopslag tot circa 150 m<sup>3</sup>. Indien een aantal aanvullende maatregelen ten aanzien van verankering, omheining en situering wordt genomen, is de veiligheid voldoende te waarborgen.

\* Aantal eenheden

- . Bij een gasproductie van 671 m<sup>3</sup>/d zijn in Meppel drie gasmotoren van het type TOTEM (inclusief bijkomende kosten) rendabel. De minimale terugverdiëntijd bedraagt 4,8 jaar.
- . Bij deze gasproductie is een vierde gasmotor eveneens rendabel. De gemiddelde terugverdiëntijd voor vier motoren bedraagt dan 5,2 jaar.  
Als additionele eenheid kan de vierde motor in 6,3 jaar worden afgeschreven.
- . De rentabiliteit van de vierde gasmotor is zeer gevoelig voor de produktie van gistingsgas. Bij een hoeveelheid van 705 m<sup>3</sup>/d is de rentabiliteit voor alle vier motoren gelijk.  
Wanneer de vierde eenheid geheel met gistingsgas zou kunnen worden bedreven en alle motoren à f 45.000 zouden zijn aangeschaft, bedraagt de gemiddelde terugverdiëntijd 6,4 jaar.



\* Vermogensbegrenzing

- . Het gecontracteerde elektrische vermogen kan worden verlaagd tot 200 kW, eventueel tot 160 kW.  
Het begrenzen van het op te nemen vermogen - door het installeren van een begrenzer - tot 120 kW blijkt zonder nadelige gevolgen voor het zuiveringsbedrijf mogelijk te zijn. Het begrenzen van het op te nemen vermogen tot 110 kW is wellicht mogelijk na aanpassing van het afschakelprogramma.  
Uit kostenoverwegingen is het echter niet zinvol een lagere begrenzingsdrempel te kiezen dan 60% van het gecontracteerde vermogen.
- . Het afschakelprogramma van de vermogensbegrenzer kan op een aantal punten worden verbeterd:
  - ongeveer een gelijk vermogen per stap
  - inschakeling van de vierde gasmotor met de begrenzer
  - afschakeling van de beluchters in twee of drie stappen.
- . Binnen de geldende tariefstructuur is het installeren van een begrenzer voor het elektrische vermogen rendabel. De terugverdiendtijd bedraagt bij vier motoren minder dan 2 jaar.

\* Afstemming van de gasinzet op de behoefte aan kracht en warmte

- . Door een gelijkmatige dosering van vers slib in de slibgisting kan de benodigde gasbuffercapaciteit worden beperkt.
- . De opslagcapaciteit van de bestaande gasbuffer is bij aangepaste slibdosering voldoende om de dagelijkse fluctuaties op te vangen; uitbreiding om meer dan het dagritme op te vangen is niet zinvol. De getroffen tijdelijke voorzieningen dienen definitief te worden gemaakt.
- . Het bijstoken van aardgas in de vierde gasmotor werkt sterk kostenverhogend en is alleen gerechtvaardigd om de inkoop van extra vermogen te voorkomen. Dit bedrijf is bij de geldende gemiddelde gasproductie gedurende maximaal 71 uur per maand rendabel. Bij overschrijding van dit aantal uren kan het benodigd vermogen beter worden ingekocht.
- . Met vier gasmotoren behoeft in principe bij de genoemde gasproductie geen gistingsgas te worden gespuid. De bezettingsgraad van de vierde motor laat zelfs nog enige toename van de gistingsgasproductie toe.
- . Het opgestelde verwarmingsvermogen van drie gasmotoren is te beperkt om onder alle omstandigheden in de behoefte van de rwzi Meppel te voorzien. Bij de opstelling van vier gasmotoren wordt de behoefte ruim gedekt.
- . De geïnstalleerde koelcapaciteit is voldoende om bij minimale warmtebehoefte in de zomer de overtollige warmte van drie gasmotoren af te voeren. De koelcapaciteit dient te worden aangepast aan het aantal opgestelde gasmotoren (vier).

## REFERENTIES

- 1 Gistingsgas als energiebron op rioolwaterzuiveringsinrichtingen, STORA-rapport, Rijswijk, augustus 1981.
- 2 Energie uit gistingsgas, toetsing van ontwerpgrondslagen, STORA-rapport, Rijswijk, januari 1983.
- 3 Onderzoek naar het brand- en explosiegevaar van biogas in een kunststof gashouder, TNO, Rijswijk, april 1981.

BIJLAGEN

ALGEMENE BEDRIJFSGEGEVENS 1981 T/M 1984

	1981	1982	1983	1984
<u>Energieverbruik</u>				
totaal (kWh/jaar)	933.120	969.120	1.032.460	1.121.740
eigen opwekking (kWh/jaar)	0	213.120*	271.060	316.180
(%)	0	22	26	28
beluchting (kWh/jaar)	581.940	587.820	605.760	623.760
(%)	62	61	59	56
gemiddeld totaal vermogen (kW)	107	111	118	128
idem beluchting (kW)	66	67	69	71
<u>Gasproductie/verbruik</u>				
gistingsgasproductie (m <sup>3</sup> /jaar)	174.440	218.590	218.320	244.870
. verbruik slibdroging (m <sup>3</sup> /jaar)	88.340	29.560	801	0
. verbruik TOTEMS (m <sup>3</sup> /jaar)	0	145.890*	190.530	214.440
. gespuid gistingsgas (m <sup>3</sup> /jaar)	86.100	43.140	26.980	30.430
aardgasverbruik (m <sup>3</sup> /jaar)	38.133	28.900	47.750	33.297
totaal aantal draai- uren TOTEMS (h/jaar)	0	17.497*	23.468	26.066
<u>Belasting</u>				
gemiddeld (i.e.)	68.000	102.000	98.000	74.000
maximaal (i.e.)	243.500	182.000	151.000	139.000
effluent (i.e.)	1.300	1.300	1.400	800
debiet bemonsteringen (m <sup>3</sup> /d)	11.200	10.900	9.400	10.600
debiet (totaal) (m <sup>3</sup> /jaar)	3.211.000	2.319.000	3.470.000	2.920.650
afvalwaterproductie (l/i.e.)	165	107	96	142
aantal bemonsteringen (-)	15	22	17	19
<u>Zuiveringstechnische werking***</u>				
CZV infl.-effl. (mg/l)	710 - 61	1020 - 54	1120 - 56	814 - 46
BZV infl.-effl. (mg/l)	325 - 6	510 - 6	560 - 8	378 - 4
N-Kj infl.-effl. (mg/l)	58 - 18	66 - 18	69 - 20	56 - 13
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> effl. (mg/l)	15,7	15,7	17,0	10,0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> effl. (mg/l)	2,5	2,1	0,1	5,3
P-tot. infl.-effl. (mg/l)	13 -6,0	17 -7,0	17 -6,0	14 -7,0
zwev stof effl. (mg/l)	8	6	7	8
rendement CZV (%)	91	95	95	94
BZV (%)	98	99	99	99
N-Kj (%)	69	73	71	77
N-tot. (%)	65	70	71	67
P-tot. (%)	54	59	65	50
volume- belasting (kg BZV/(m <sup>3</sup> .d))	0,18	0,22	0,22	0,18
slibbelas- ting (kg BZV/(kg ds.d))	0,048	0,059	0,060	0,055
slibindex onverdund (ml/g)	105	120	140	160
slibgehalte (kg/m <sup>3</sup> )	3,7	3,7	3,6	3,2
gloeirest (% droogrest)	22	21	23	23
slibafvoer nat (m <sup>3</sup> /jaar)	18.085	20.633	20.948	13.008 **
slibafvoer ontwaterd (t/jaar)	161	8	155	53
* gedurende 9 maanden ** hoger droge stofgehalte *** gewogen rekenkundige gemiddelden (excl. weekends en extremen)				

## LEVERINGSVOORWAARDEN ELEKTRICITEIT

De volgende tarieven en bepalingen uit het contract van de NV IJsselcentrale voor de levering van elektriciteit ten behoeve van de rwzi Meppel zijn voor deze studie van belang. Alle bedragen zijn inclusief 19% BTW.

Elektrische energie (kWh)

- bedrijfstijd groter dan 2500 uur per jaar
- basisprijs daguren (07.00-23.00) f 0,0311/kWh
- basisprijs nachturen (23.00-07.00) f 0,0136/kWh
- brandstoftoeslag f 0,13 - f 0,155/kWh.

Op basis van deze gegevens werd de waarde van de op de rwzi Meppel opgewekte elektrische energie berekend op f 0,179/kWh (f 0,15/kWh exclusief BTW).

Elektrisch (piek)vermogen (kW)

- gecontracteerd vermogen 320 kW
- normaal tarief f 13,69/kW-max
- extra in piektijd (07.00-09.00) in de maanden november t/m februari f 13,69/kW-max
- minimaal wordt 60% van het gecontracteerde vermogen als piekvermogen in rekening gebracht.

## GEïNSTALLEERDE VERMOGENS GROTER DAN 5 kW

onderdeel	geïnstalleerd vermogen [kW]	cos $\phi$ -waarden
Vuilwaterpomp I	22,0	0,85
" II	18,5	0,85
" III	18,5	0,85
" IV	18,5	0,85
Tussenopvoervijzel I	5,5	0,83
" II	5,5	0,83
" III	5,5	0,83
Hoofdmotor beluchter I	55,0	0,87
" II	55,0	0,87
Slibretourvijzel I	10/15	0,75/0,93
" II	4,4/7,5	0,63/0,84
Vuilversnijder	5,5	0,84
Compressor gasinblaas	10	0,80
Surplusslibpomp	5,5	
Motorreductor menger (slibdroger)	5,5	0,83
Ventilator droogtrommel (")	11,0	0,83
Droogtrommelvariator (")	15,0	0,85
Afvoergassenventilator (")	55,0	0,87
Koelwatercirculatiepomp (")	15,0	0,89
Waswaterdompelpomp (")	17,5	
Spoelwaterdompelpomp	7,3	
Terreinwaterdompelpomp	10	
Verplaatsbare dompelpomp	6,3	

WARMTEHUISHOUDING

1. Warmtehoeveelheden

De warmtebehoefte bestaat uit warmte voor de opwarming van het slib tot de procestemperatuur van de slibgisting en uit warmte voor ruimteverwarming en compensatie van transmissieverliezen. Aangezien geen warmtemetingen zijn verricht, kan de warmtebehoefte alleen indirect worden bepaald uit de verstookte brandstof (zie tabel 15).

Daarbij zijn als uitgangspunten gehanteerd:

- calorische waarde aardgas 33,5 MJ/m<sup>3</sup>;
- calorische waarde gistingsgas 23,67 MJ/m<sup>3</sup>;
- c.v.-rendement (bw) 68%;
- geen invloed weersomstandigheden op de gemiddelde temperatuur van vers slib;
- gemiddelde jaarlijkse behoefte voor slibverwarming (40 m<sup>3</sup>/d; ΔT = 20°C) 1260 GJ/jaar;
- het aantal graaddagen per jaar is representatief voor weersinvloeden op ruimteverwarming en transmissieverliezen.

jaar	verbruik gasketels		energie (GJ-netto)	aantal graaddagen (°C.d)	ruimteverw. en transmissie (GJ-netto)	behoefte rwzi (GJ-netto)	warmtelevering gasmotor (GJ-netto)
	gistingsgas (m <sup>3</sup> )	aardgas (m <sup>3</sup> )					
1981	88340	7028	1582	3282	322	1582	0
1982	29560	6384	621	3078	302	1562	941
1983	801	2884	79	3021	296	1556	1477
1984	-	553	12	3314	325	1585	1573

Tabel 15. Berekening warmtebehoefte rwzi en warmtelevering gasmotoren

Uit de bekende totale warmtebehoefte in 1981, toen alle warmte in de c.v.-ketel werd opgewekt, en behoefte voor de slibverwarming is het aandeel ruimteverwarming en transmissie voor de jaren 1982-1984 berekend.

Vervolgens is daaruit de totale warmtebehoefte in deze jaren bepaald. De warmtelevering door de gasmotoren is gelijk gesteld aan het verschil tussen de totale behoefte en de door de gasketels geleverde warmte.

In 1984 was TOTEM IV 729 uur op aardgas in bedrijf om in de warmtebehoefte te voorzien, waarbij 102 GJ-netto warmte werd geleverd. Van de warmteproductie uit gistingsgas werd derhalve 1573-102 = 1470 GJ nuttig gebruikt.

2. Warmtestromen in 1984

Aanvullende basisgegevens en uitgangspunten:

- vermogen TOTEMS op gistingsgas 33 kW-th;
- vermogen TOTEM IV op aardgas 39 kW-th;
- variatie temperatuur vers slib onder extreme winter-, resp. zomercondities ΔT = 20 ± 10°C;

- equivalente vollasttijd ruimteverwarming 1500 uur/jaar;
- bedrijf noodkoeling 5795 uur/jaar;
- draaiuren gasmotoren op gistingsgas 25337 uur/jaar;
- geen koeling tijdens bedrijf op aardgas.

In tabel 16 is op basis van deze gegevens een warmtebalans opgesteld. Geconcludeerd wordt dat:

- met 4 gasmotoren in de maximale momentane warmtevraag ruim kan worden voorzien;
- de geïnstalleerde noodkoeling bij minimale warmtevraag ten hoogste de warmteproductie van drie gasmotoren kan afvoeren.

	gemiddelde warmtestroom		momentaan vermogen	
	vraag (GJ/j)	vermogen (kW-th)	extreem koud (kW-th)	extreem warm (kW-th)
totale warmtevraag	1585		120	20
- slibverwarming	1260	40	60	20
- ruimten en transmissie	325		60	0
- gedekt uit gistingsgas	1470			
warmteproductie				
- 3 gasmotoren			99	99
- 4 gasmotoren			132	132
- opgewekt uit gistingsgas	3000			
warmte-overschot				
- 3 gasmotoren			-21	79
- 4 gasmotoren			12	112
koelcapaciteit	$\frac{3000-1470}{5795 \times 3600} \times 10^9 = \text{ca. } 75 \text{ kW}$			

Tabel 16. Warmtebalans rwzi Meppel 1984

3. Aardgasinkoop voor warmte in 1984

In de tweede helft van 1984 werd in TOTEM IV 5189 m<sup>3</sup> aardgas verstoekt t.b.v. verwarming. Met de c.v.-installatie kan een equivalente hoeveelheid warmte worden opgewekt uit 2708 m<sup>3</sup> aardgas (zie tabel 17). Het najaar is het warmste deel van het stookseizoen. Op basis hiervan wordt gesteld dat het aardgasverbruik voor de verwarming over het hele jaar met en zonder gasmotor respectievelijk 12.500 en 6.524 m<sup>3</sup> bedraagt.



AARDGASBEHOEFTE VOOR WARMTE VAN 4e GASMOTOR			
Over periode 10 sept '84 tot 31 dec '84			
Elec. productie:		Rendement gasmotor gist.gas	
1984 •	313333 kWh	Electr.	21.64 % (bw)
3 motoren	273185 kWh	Warmte	59.69 % (bw)
	-----	Therm.vrm	31.86 kW-th
4e motor	40148 kWh		
Op aardg	10753	Aardgas *	729 uur
	-----		
Op gist.g	29395 kWh =	Warmte	292 GJ-netto
	\ /	Aardgas	102
Gist.gas	20662 m3		-----
Cal.gistg	23.67 MJ/m3	Totaal	394 GJ-netto
Rend. CV	68 % (bw)	Gist.gas	333
			-----
Cal.aardg	33.50 MJ/m3	Tekort	62 GJ-netto
	BENODIGD AARDGAS		2708 m3-bruto
Minimale warmtebelasting 4e gasmotor			
Kosten 1 draaiuur	.93 gld		
Opbrengst elec.	2.64		
Kosten aardgas	4.63		
	-----		
Tekort per uur	-2.91 gld =		-4.48 m3 aardg
MINIMALE BELASTING	28.36 kW-netto		73 %

Tabel 17. Vergelijking warmte-opwekking met TOTEM IV en de c.v.-ketel

## KENGETALLEN VAN HET GASMOTORENBEDRIJF

Voor de bepaling van de rentabiliteit van de gasmotoren is het onder meer van belang te weten welk vermogen mag worden toegekend aan een TOTEM.

Door wisselende gasproductie en calorische waarde van het gistingsgas kan het geleverde vermogen van een TOTEM variëren. Daarom zijn drie perioden onderscheiden. Voor iedere periode zijn uit de tabellen 18 en 19 de kengetallen van het gasmotorenbedrijf afgeleid.

1. Periode 01/01 - 01/08/1984

In deze periode waren drie TOTEMS in bedrijf en werden de volgende gegevens opgetekend:

gasproductie	139.010 m <sup>3</sup>	= 653 m <sup>3</sup> /d
gespuid	24.960 m <sup>3</sup>	= 117 m <sup>3</sup> /d
benutting	114.050 m <sup>3</sup>	= 536 m <sup>3</sup> /d

## Aantal draaiuren

TOTEM I	4.592 h	= 21,56 h/d
TOTEM II	4.435 h	= 20,82 h/d
TOTEM III	4.532 h	= 21,28 h/d

Totale energievraag rwzi (excl. opbrengst gasmotoren)  
607.300 kWh = 2851 kWh/d

Energieopbrengst gasmotoren  
158.020 kWh = 742 kWh/d

Uit bovenstaande gegevens kunnen de volgende karakteristieken worden afgeleid:

## Vermogen per TOTEM:

158.020 kWh : (4592 + 4435 + 4532)h = 11,65 kW

## Gistingsgasverbruik per TOTEM:

114.050 m<sup>3</sup> : (4592 + 4435 + 4532)h = 8,41 m<sup>3</sup>/h

## Elektrische conversie per TOTEM:

158.020 kWh : 114.050 m<sup>3</sup> = 1,39 kWh/m<sup>3</sup>

Ten gevolge van reparaties, onderhoud, te weinig gasproductie of andere onvoorziene omstandigheden zijn de gasmotoren 11,6% van de beschikbare tijd niet in bedrijf geweest.

Er is in deze periode 18% van het geproduceerde gas gespuid.

PERIODE	GISTINGSGAS										conversie (kWh/m <sup>3</sup> )	netto vermogen (kW)	draaiuren totaal (h)	
	gasproductie		aardgas		spui		benutting		Energie opbrengst					
	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> /d)	(m <sup>3</sup> )	(%)	(m <sup>3</sup> )	(%)	(m <sup>3</sup> /d)	(%)	(kWh)	(% totale ener.verbr.)				
	tbv tot. IV													
1984														
Januari	: 31 dg = 744 h	11600	374	0	100	1	371	99	16040	22	1.39	11.79	1361	
Februari	: 29 dg = 696 h	18420	635	0	2840	15	537	85	21360	24	1.37	11.66	1832	
Maart	: 31 dg = 744 h	23930	772	0	6410	27	565	73	23780	28	1.36	11.35	2096	
April	: 30 dg = 720 h	22080	736	0	4750	22	578	78	24940	31	1.44	11.86	2102	
Mei	: 31 dg = 744 h	25860	834	0	7550	29	591	71	25380	28	1.39	11.68	2173	
Juni	: 30 dg = 720 h	18860	629	0	2430	13	548	87	22200	24	1.35	11.26	1972	
Juli	: 31 dg = 744 h	18260	589	0	880	5	561	95	24320	26	1.40	12.02	2023	
Augustus	: 31 dg = 744 h	23100	745	910	4930	21	586	79	26600	27	1.33	11.90	2235	
September	: 30 dg = 720 h	17480	563	1252	0	0	503	100	27160	26	1.45*	12.30	2209	
Oktober	: 31 dg = 744 h	19820	639	2079	50	0	638	100	32900	32	1.51*	12.78	2574	
November	: 30 dg = 720 h	22500	750	1082	260	1	741	99	35160	35	1.51*	12.97	2710	
December	: 31 dg = 744 h	22960	741	1050	230	1	733	99	36260	34	1.52*	13.05	2779	
Jaarcijfers	: 365 d = 8760 h	244870	671	6373	30430	12	588	88	316100		1.47	12.13	26066	
10/08 - 24/08	: 14 dg = 336 h	10570	755	0	1960	19	615	81	11960		1.39	11.95	1001	
24/08 - 10/09	: 17 dg = 408 h	9930	584	1201	1040**	10	523	90	14760		1.46*	12.38*	1192	
10/09 - 24/09	: 14 dg = 336 h	8590	614	717	0	0	614	100	13360		1.44*	12.10*	1104	
24/09 - 08/10	: 14 dg = 336 h	8960	640	713	50	1	636	99	14300		1.49*	12.59*	1136	
08/10 - 22/10	: 14 dg = 336 h	8370	598	1217	0	0	598	100	14580		1.52*	12.82*	1137	
22/10 - 31/10	: 9 dg = 224 h	6640	711	410	0	0	711	100	10500		1.49*	12.76*	823	

\* : i.v.m. verbranding extra aardgas (zie bijlage 4)

\*\* : i.v.m. melasse lozing

Tabel 18. Gasverbruik en opgewekte elektriciteit

PERIODE	TOTEM - BEDRIJF												
	totem I		totem II		totem III		totem IV		totaal uren		totaal benutting		
	uren	%	uren	%	uren	%	uren biogas	uren aardgas	excl. aardgas	incl. aardgas	% excl. aardgas	% incl. aardgas	
1984													
Januari : 31 dg = 744	478	64	470	63	413	56	0	0	1361	1361	61	61	
Februari : 29 dg = 696	618	89	569	82	645	93	0	0	1832	1832	88	88	
Maart : 31 dg = 744	725	97	662	89	709	95	0	0	2096	2096	94	94	
April : 30 dg = 720	701	97	697	97	704	98	0	0	2102	2102	97	97	
Mei : 31 dg = 744	716	96	729	98	728	98	0	0	2173	2173	97	97	
Juni : 30 dg = 720	612	85	674	94	686	95	0	0	1972	1972	91	91	
Juli : 31 dg = 744	742	100	634	85	647	87	0	0	2023	2023	91	91	
Augustus : 31 dg = 744	723	97	698	94	654	88	31	129	2106	2235	71	75	
September : 30 dg = 720	699	97	652	91	293	41	385	180	2029	2209	70	77	
Oktober : 31 dg = 744	529	71	619	83	699	94	435	292	2282	2574	77	86	
November : 30 dg = 720	552	77	719	100	720	100	569	150	2560	2710	89	94	
December : 31 dg = 744	588	79	706	95	742	100	596	147	2632	2779	88	93	
jaarcijfers : 365 d = 8760	7683	88	7829	89	7640	87	2016	898	25168	26066	84	87	
10/08 - 24/08 : 14 dg = 336	334	99	334	99	333	99	0	0			99	99	
24/08 - 10/09 : 17 dg = 408	366	90	295	72	171	42	189	171			63	73	
10/09 - 24/09 : 14 dg = 336	336	100	335	100	206	61	125	102			75	82	
24/09 - 08/10 : 14 dg = 336	296	88	299	89	213	63	226	102			77	85	
08/10 - 22/10 : 14 dg = 336	228	68	253	75	335	100	151	170			72	85	
22/10 - 31/10 : 9 dg = 224	157	70	221	99	223	100	164	58			85	92	

\* 729 uur ten behoeve van verwarming

Tabel 19. Bedrijfsuren

2. Periode 10/09 - 1/11/1984

In deze periode waren vier TOTEMS in bedrijf en werden de volgende gegevens opgetekend:

gasproductie	32.560 m <sup>3</sup>	= 638 m <sup>3</sup> /d
gespuid	50 m <sup>3</sup>	= 1 m <sup>3</sup> /d
benutting	32.510 m <sup>3</sup>	= 637 m <sup>3</sup> /d
aardgasverbruik TOTEM IV	3.057 m <sup>3</sup>	= 60 m <sup>3</sup> /d

Aantal draaiuren

TOTEM I	1.017 h	= 19,94 h/d
TOTEM II	1.108 h	= 21,73 h/d
TOTEM III	977 h	= 19,16 h/d
TOTEM IV op gistingsgas	666 h	= 13,06 h/d
op aardgas	432 h	= 8,47 h/d

Totale energievraag rwzi (excl. opbrengst gasmotoren)  
179.580 kWh = 3521 kWh/d

Energieopbrengst gasmotoren  
52.740 kWh = 1034 kWh/d

Uit bovenstaande gegevens kunnen de volgende karakteristieken worden afgeleid:

(Netto) vermogen per TOTEM \*):

Om het netto vermogen van TOTEM IV op aardgas te berekenen zijn twee methoden voorhanden:

Methode I:

Gistingsgasverbruik per TOTEM:

$$32510 \text{ m}^3 : (1017 + 1108 + 977 + 666) \text{ h} = 8,63 \text{ m}^3/\text{h}$$

Uitgaande van eenzelfde samenstelling van het geproduceerde gistingsgas wordt het vermogen van een TOTEM op gistingsgas:

$$8,63 \text{ m}^3/\text{h} / 8,41 \text{ m}^3/\text{h} \times 11,65 \text{ kW} = 11,95 \text{ kW}$$

$$\text{Aantal draaiuren op gistingsgas} = 3.768 \text{ h}$$

$$\text{Elektriciteitsproductie met behulp van gistingsgas} = 3768 \text{ h} \times 11,95 \text{ kW} = 45.043 \text{ kWh}$$

\*) Het bruto vermogen per totem wordt gevonden door de berekende waarden te vermeerderen met 0,185 kW (circulatiepomp) en 0,8 kW (koeling).

Elektriciteitsproduktie met behulp van aardgas  
 $52.740 \text{ kWh} - 45.043 \text{ kWh} = 7.697 \text{ kWh}$

Vermogen van TOTEM IV op aardgas  $7697 \text{ kWh} / 432 \text{ h} = 17,82 \text{ kW}$

Aardgasverbruik van TOTEM IV  $3057 \text{ m}^3 / 432 \text{ h} = 7,08 \text{ m}^3/\text{h}$

#### Methode II

Ter controle van dit (hoge) vermogen is op 14/01/1985 het gasmotorenbedrijf gewijzigd en is gedurende 24 uur TOTEM IV op aardgas in bedrijf geweest. De andere TOTEMS zijn gedurende deze tijd uit bedrijf genomen.

Uit deze proef bleek TOTEM IV op aardgas  $14,75 \text{ kW}$  vermogen te hebben geleverd bij een aardgasverbruik van  $7,0 \text{ m}^3/\text{h}$ . Hieruit blijkt dat het gistingsgas gedurende de referentieperiode en de onderzoeksperiode niet eenzelfde calorische waarde bezat. De verdere berekeningen zijn dan ook gebaseerd op deze laatste waarde.

Vermogen per TOTEM op gistingsgas:

$$\frac{52.740 \text{ kWh} - (14,75 \text{ kW} \times 432 \text{ h})}{3768 \text{ h}} = 12,31 \text{ kW}$$

Elektrische omzetting op gistingsgas:

$$\frac{52.740 \text{ kWh} - (14,75 \text{ kW} \times 432 \text{ h})}{32.510 \text{ m}^3} = 1,43 \text{ kWh/m}^3$$

Elektrische conversie van aardgas

$$14,75 \text{ kW} \times 432 \text{ h} / 3057 \text{ m}^3 = 2,08 \text{ kWh/m}^3$$

Uit de meting van het gespuide gistingsgas blijkt dat de TOTEMS de gasproductie vrijwel ten volle hebben benut.

### 3. Periode 10/09/1984 - 01/01/1985

In deze periode waren vier TOTEMS in bedrijf en werden de volgende gegevens opgetekend:

gasproductie	78.020 m <sup>3</sup>	= 697 m <sup>3</sup> /d
gespuid	540 m <sup>3</sup>	= 5 m <sup>3</sup> /d
benutting	77.480 m <sup>3</sup>	= 692 m <sup>3</sup> /d
aardgasverbruik TOTEM IV	5.189 m <sup>3</sup>	= 46 m <sup>3</sup> /d

Aantal draaiuren

TOTEM I	2.157 h	= 19,26 h/d
TOTEM II	2.533 h	= 22,62 h/d
TOTEM III	2.439 h	= 21,78 h/d
TOTEM IV op gistingsgas	1.831 h	= 16,35 h/d
op aardgas	729 h	= 6,51 h/d

Energieopbrengst gasmotoren  
 124.160 kWh = 1.109 kWh/d

Uit bovenstaande gegevens kunnen de volgende karakteristieken worden afgeleid:

Vermogen per TOTEM:  
 -----

Voor het vermogen van TOTEM IV op aardgas wordt uitgegaan van het gemeten vermogen = 14,75 kW.

Vermogen per TOTEM op gistingsgas:  
 -----

$$\frac{124.160 \text{ kWh} - (14,75 \text{ kW} \times 729 \text{ h})}{(2157 + 2533 + 2439 + 1831) \text{ h}} = 12,66 \text{ kW}$$

Elektrische omzetting op aardgas:  
 -----

$$14,75 \text{ kW} \times 729 \text{ h} / 5189 \text{ m}^3 = 2,07 \text{ kWh/m}^3$$

Gistingsgasverbruik per TOTEM:  
 -----

$$77.480 \text{ m}^3 / (2157 + 2533 + 2439 + 1831) \text{ h} = 8,65 \text{ m}^3/\text{h}$$

Aardgasverbruik voor de 4e TOTEM:  
 -----

$$5189 \text{ m}^3 / 729 \text{ h} = 7,12 \text{ m}^3/\text{h}$$

Met behulp van de calorische waarde van aardgas (33,5 MJ/m<sup>3</sup>) kan een schatting worden gemaakt van het elektrisch rendement van de gasmotoren en de calorische waarde van het gistingsgas.

Rendement van de gasmotoren  
 -----

De vermogensinhoud per uur bedraagt:

$$33,5 \text{ MJ/m}^3 \times 7,12 \text{ m}^3/\text{h} / 3600 \text{ s/h} \times 1000 = 66,3 \text{ kW}$$

Per uur wordt 14,75 kW netto elektrisch vermogen geleverd. Het elektrisch rendement van de vierde TOTEM bedraagt hiermee 14,75 / 66,3 = 22,2%.

Calorische waarde van het biogas  
 -----

$$\frac{12,66 \text{ kW gistingsgas}}{14,75 \text{ kW aardgas}} \times \frac{7,12 \text{ m}^3 \text{ aardgas/h}}{8,65 \text{ m}^3 \text{ gistingsgas/h}} \times 33,5 \text{ MJ/m}^3 = 23,67 \text{ MJ/m}^3$$

EVALUATIE OP JAARBASIS

1.

<u>Basisvariant</u>			
BATEN/KOSTEN op basis van 3 gasmotoren voor 1984			
Lengte periode	12 maanden		
Geprod. gist.gas	244870 m3	Spec prod	670.88 m3/dag
Gespuid gist.gas	52846 m3	Spuiverl.	21.58 %
Aardgas inkoop	6524 m3	Spec ink.	17.88 m3/dag
Geproduceerde el.	273185 kWh	El conv	1.42 kWh/m3
Aantal draaiuren	23652 uren	Gem verm	11.55 kW-el
Aantal motoren	3	Bez. #	90.00 %
Investering	116250 gld	Spec inv	38750 gld/mot.
Subsidie	23700 gld	Sub.effec	2283 gld/jr
	Kosten	Baten	
Onderhoud	21878 gld		
KWh-opbrengst		48900 gld	
Verm.besparing		5058 "	
Aardgas inkoop	4241 "		
Totaal	26119 "	53958 "	
Rest. voor rente en afl.	27839 gld		
	Voor subsidie:	Na subsidie:	
Voor 1 motor beschikbaar	9280 gld/jaar	10041 gld/jaar	
Netto baten	5546 gld/jr	3263 gld/jr	
Minimale afschr. termijn	4.80 jaar	4.39 jaar	
BATEN/KOSTEN op basis van 4 gasmotoren voor 1984			
Lengte periode	12 maanden		
Geprod. gist.gas	244870 m3	Spec prod	670.88 m3/dag
Gespuid gist.gas	0 m3	Spuivrl #	.00 %
Aardgas inkoop #	12500 m3	Spec ink.	34.25 m3/dag
Geproduceerde el.	374263 kWh	Gem verm	11.73 kW-el
Aantal uren gist.g	30161 uren	El conv	1.42 kWh/m3
aardg.	1756		2.07 kWh/m3
Aantal motoren	4	Bezetting	91.09 %
Investering	164900 gld	Spec inv	41225 gld/mot.
Subsidie	32050 gld	Sub.effec	3088 gld/jr
	Kosten	Baten	
Onderhoud	29523 gld		
KWh-opbrengst		66993 gld	
Verm.besparing		7703 "	
Aardgas inkoop	8125 "		
Totaal	37648 "	74696 "	
Rest. voor rente en afl.	37048 gld		
	Voor subsidie:	Na subsidie:	
Voor 1 motor beschikbaar	9262 gld/jaar	10034 gld/jaar	
Netto baten	5290 gld/jr	2202 gld/jr	
Minimale afschr. termijn	5.16 jaar	4.71 jaar	
EVALUATIE 4e GASMOTOR op basis van 3 en 4 motoren geheel 1984			
Gekozen waarden voor de parameters:			
Bezetting 3 motoren	90.00 %		
Aardgas tbv 4e motor	12500 m3		
Spuiverlies bij 4 motoren	.00 %		
Onderhoudskosten	92.50 cts/uur		
Disconteringsvoet	5.00 %/jaar		
Aantal draaiuren	8265	Bezetting	94.35 %
Opgewekte electr.	101078 kWh	El.verm	12.23 kW
Investering	48650 gld		
Subsidie	8350 gld	Sub.effec	804 gld/jr
	Voor subsidie:	Na subsidie:	
Rest. voor rente an afl.	9208 gld/jaar	10013 gld/jaar	
Netto baten	4521 gld/jaar	5326 gld/jaar	
Waarde electriciteit opw.	15.41 cts/kWh	14.62 cts/kWh	
Electriciteit inkoop	19.89 cts/kWh		
Minimale afschr. termijn	6.29 jaar	5.70 jaar	
Afschrijftermijn 3 motoren	4.80 jaar	4.39 jaar	



2. Geen aardgasinkoop

EVALUATIE 4e GASMOTOR op basis van 3 en 4 motoren geheel 1984			
Gekozen waarden voor de parameters:			
Bezetting 3 motoren	90.00 %		
Aardgas tbv 4e motor	0 m <sup>3</sup>		
Spuiverlies bij 4 motoren	.00 %		
Onderhoudskosten	92.50 cts/uur		
Disconteringsvoet	5.00 %/jaar		
Aantal draaiuren	6509	Bezetting	74.31 %
Opgewekte electr.	75182 kWh	El.verm	11.55 kW
Investering	48650 gld		
Subsidie	8350 gld	Sub.effec	804 gld/jr
	Voor subsidie:	Na subsidie:	
Rest. voor rente an afl.	9966 gld/jaar	10770 gld/jaar	
Netto baten	5279 gld/jaar	6083 gld/jaar	
Waarde electriciteit opw.	13.40 cts/kWh	12.33 cts/kWh	
Electriciteit inkoop	20.42 cts/kWh		
Minimale afschr. termijn	5.74 jaar	5.25 jaar	
Afschrijftermijn 3 motoren	4.10 jaar	3.80 jaar	

3. Alle motoren f 45.000,--; geen aardgasinkoop

EVALUATIE 4e GASMOTOR op basis van 3 en 4 motoren geheel 1984			
Gekozen waarden voor de parameters:			
Bezetting 3 motoren	90.00 %		
Aardgas tbv 4e motor	0 m <sup>3</sup>		
Spuiverlies bij 4 motoren	.00 %		
Onderhoudskosten	92.50 cts/uur		
Disconteringsvoet	5.00 %/jaar		
Aantal draaiuren	6509	Bezetting	74.31 %
Opgewekte electr.	75182 kWh	El.verm	11.55 kW
Investering	45000 gld		
Subsidie	8350 gld	Sub.effec	804 gld/jr
	Voor subsidie:	Na subsidie:	
Rest. voor rente an afl.	9966 gld/jaar	10770 gld/jaar	
Netto baten	5630 gld/jaar	6435 gld/jaar	
Waarde electriciteit opw.	12.93 cts/kWh	11.86 cts/kWh	
Electriciteit inkoop	20.42 cts/kWh		
Minimale afschr. termijn	5.24 jaar	4.80 jaar	
Afschrijftermijn 3 motoren	4.84 jaar	4.48 jaar	

## GEVOELIGHEIDSANALYSE VAN DE VIERDE GASMOTOR

Variant a

EVALUATIE 4e GASMOTOR op basis van 3 en 4 motoren geheel 1984			
Gekozen waarden voor de parameters:			
Bezetting 3 motoren	90.00 %		
Aardgas tbv 4e motor	12500 m <sup>3</sup>		
Spuiverlies bij 4 motoren	.00 %		
Onderhoudskosten	92.50 cts/uur		
Disconteringsvoet	4.00 %/jaar		
Aantal draaiuren	8265	Bezetting	94.35 %
Opgewekte electr.	101078 kWh	El.verm	12.23 kW
Investering	48650 gld		
Subsidie	8350 gld	Sub.effec	751 gld/jr
	Voor subsidie:	Na subsidie:	
Rest. voor rente an afl.	9657 gld/jaar	10408 gld/jaar	
Netto baten	5281 gld/jaar	6032 gld/jaar	
Waarde electriciteit opw.	15.20 cts/kWh	14.45 cts/kWh	
Electriciteit inkoop	19.89 cts/kWh		
Minimale afschr. termijn	5.74 jaar	5.28 jaar	
Afschrijftermijn 3 motoren	4.66 jaar	4.30 jaar	

Variant b

EVALUATIE 4e GASMOTOR op basis van 3 en 4 motoren geheel 1984			
Gekozen waarden voor de parameters:			
Bezetting 3 motoren	90.00 %		
Aardgas tbv 4e motor	12500 m <sup>3</sup>		
Spuiverlies bij 4 motoren	.00 %		
Onderhoudskosten	120.00 cts/uur		
Disconteringsvoet	5.00 %/jaar		
Aantal draaiuren	8265	Bezetting	94.35 %
Opgewekte electr.	101078 kWh	El.verm	12.23 kW
Investering	48650 gld		
Subsidie	8350 gld	Sub.effec	804 gld/jr
	Voor subsidie:	Na subsidie:	
Rest. voor rente an afl.	6936 gld/jaar	7740 gld/jaar	
Netto baten	2249 gld/jaar	3053 gld/jaar	
Waarde electriciteit opw.	17.66 cts/kWh	16.87 cts/kWh	
Electriciteit inkoop	19.89 cts/kWh		
Minimale afschr. termijn	8.85 jaar	7.73 jaar	
Afschrijftermijn 3 motoren	6.52 jaar	5.79 jaar	

Variant c

EVALUATIE 4e GASMOTOR op basis van 3 en 4 motoren geheel 1984			
Gekozen waarden voor de parameters:			
Bezetting 3 motoren	92.50 %		
Aardgas tbv 4e motor	12500 m3		
Spuiverlies bij 4 motoren	.00 %		
Onderhoudskosten	92.50 cts/uur		
Disconteringsvoet	5.00 %/jaar		
Aantal draaiuren	7608	Bezetting	86.85 %
Opgewekte electr.	93489 kWh	El.verm	12.29 kW
Investering	48650 gld		
Subsidie	8350 gld	Sub.effec	804 gld/jr
Voor subsidie:		Na subsidie:	
Rest. voor rente an afl.	9179 gld/jaar	9984 gld/jaar	
Netto baten	4492 gld/jaar	5297 gld/jaar	
Waarde electriciteit opw.	15.25 cts/kWh	14.39 cts/kWh	
Electriciteit inkoop	20.06 cts/kWh		
Minimale afschr. termijn	6.31 jaar	5.72 jaar	
Afschrijftermijn 3 motoren	4.79 jaar	4.39 jaar	

Variant d

EVALUATIE 4e GASMOTOR op basis van 3 en 4 motoren geheel 1984			
Gekozen waarden voor de parameters:			
Bezetting 3 motoren	90.00 %		
Aardgas tbv 4e motor	17500 m3		
Spuiverlies bij 4 motoren	.00 %		
Onderhoudskosten	92.50 cts/uur		
Disconteringsvoet	5.00 %/jaar		
Aantal draaiuren	8967	Bezetting	102.36 %
Opgewekte electr.	111436 kWh	El.verm	12.43 kW
Investering	48650 gld		
Subsidie	8350 gld	Sub.effec	804 gld/jr
Voor subsidie:		Na subsidie:	
Rest. voor rente an afl.	8902 gld/jaar	9707 gld/jaar	
Netto baten	4215 gld/jaar	5020 gld/jaar	
Waarde electriciteit opw.	15.95 cts/kWh	15.23 cts/kWh	
Electriciteit inkoop	19.73 cts/kWh		
Minimale afschr. termijn	6.54 jaar	5.91 jaar	
Afschrijftermijn 3 motoren	5.15 jaar	4.69 jaar	

Variant e

EVALUATIE 4e GASMOTOR op basis van 3 en 4 motoren geheel 1984			
Gekozen waarden voor de parameters:			
Bezetting 3 motoren	90.00 %		
Aardgas tbv 4e motor	12500 m3		
Spuiverlies bij 4 motoren	10.00 %		
Onderhoudskosten	92.50 cts/uur		
Disconteringsvoet	5.00 %/jaar		
Aantal draaiuren	5249	Bezetting	59.92 %
Opgewekte electr.	66241 kWh	El.verm	12.62 kW
Investering	48650 gld		
Subsidie	8350 gld	Sub.effec	804 gld/jr
	Voor subsidie:	Na subsidie:	
Rest. voor rente an afl.	5775 gld/jaar	6579 gld/jaar	
Netto baten	1088 gld/jaar	1892 gld/jaar	
Waarde electriciteit opw.	19.39 cts/kWh	18.17 cts/kWh	
Electriciteit inkoop	21.03 cts/kWh		
Minimale afschr. termijn	11.21 jaar	9.46 jaar	
Afschrijftermijn 3 motoren	4.80 jaar	4.39 jaar	

Variant f

EVALUATIE 4e GASMOTOR op basis van 3 en 4 motoren geheel 1984			
Gekozen waarden voor de parameters:			
Bezetting 3 motoren	92.50 %		
Aardgas tbv 4e motor	17500 m3		
Spuiverlies bij 4 motoren	.00 %		
Onderhoudskosten	92.50 cts/uur		
Disconteringsvoet	5.00 %/jaar		
Aantal draaiuren	8310	Bezetting	94.86 %
Opgewekte electr.	103847 kWh	El.verm	12.50 kW
Investering	48650 gld		
Subsidie	8350 gld	Sub.effec	804 gld/jr
	Voor subsidie:	Na subsidie:	
Rest. voor rente an afl.	9161 gld/jaar	9966 gld/jaar	
Netto baten	4474 gld/jaar	5279 gld/jaar	
Waarde electriciteit opw.	15.57 cts/kWh	14.79 cts/kWh	
Electriciteit inkoop	19.88 cts/kWh		
Minimale afschr. termijn	6.32 jaar	5.74 jaar	
Afschrijftermijn 3 motoren	5.21 jaar	4.74 jaar	

Variant g

EVALUATIE 4e GASMOTOR op basis van 3 en 4 motoren geheel 1984			
Gekozen waarden voor de parameters:			
Bezetting 3 motoren	92.50 %		
Aardgas tbv 4e motor	12500 m <sup>3</sup>		
Spuiverlies bij 4 motoren	10.00 %		
Onderhoudskosten	92.50 cts/uur		
Disconteringsvoet	5.00 %/jaar		
Aantal draaiuren	4592	Bezetting	52.42 %
Opgewekte electr.	58652 kWh	El.verm	12.77 kW
Investering	48650 gld		
Subsidie	8350 gld	Sub.effec	804 gld/jr
	Voor subsidie:	Na subsidie:	
Rest. voor rente an afl.	5745 gld/jaar	6550 gld/jaar	
Netto baten	1058 gld/jaar	1863 gld/jaar	
Waarde electriciteit opw.	19.67 cts/kWh	18.30 cts/kWh	
Electriciteit inkoop	21.48 cts/kWh		
Minimale afschr. termijn	11.28 jaar	9.51 jaar	
Afschrijftermijn 3 motoren	4.79 jaar	4.39 jaar	

Variant h

EVALUATIE 4e GASMOTOR op basis van 3 en 4 motoren geheel 1984			
Gekozen waarden voor de parameters:			
Bezetting 3 motoren	90.00 %		
Aardgas tbv 4e motor	17500 m <sup>3</sup>		
Spuiverlies bij 4 motoren	10.00 %		
Onderhoudskosten	92.50 cts/uur		
Disconteringsvoet	5.00 %/jaar		
Aantal draaiuren	5951	Bezetting	67.93 %
Opgewekte electr.	76599 kWh	El.verm	12.87 kW
Investering	48650 gld		
Subsidie	8350 gld	Sub.effec	804 gld/jr
	Voor subsidie:	Na subsidie:	
Rest. voor rente an afl.	5472 gld/jaar	6277 gld/jaar	
Netto baten	785 gld/jaar	1590 gld/jaar	
Waarde electriciteit opw.	19.63 cts/kWh	18.58 cts/kWh	
Electriciteit inkoop	20.66 cts/kWh		
Minimale afschr. termijn	12.05 jaar	10.05 jaar	
Afschrijftermijn 3 motoren	5.15 jaar	4.69 jaar	

Variante i

EVALUATIE 4e GASMOTOR op basis van 3 en 4 motoren geheel 1984			
Gekozen waarden voor de parameters:			
Bezetting 3 motoren	92.50 %		
Aardgas tbv 4e motor	17500 m <sup>3</sup>		
Spuiverlies bij 4 motoren	10.00 %		
Onderhoudskosten	92.50 cts/uur		
Disconteringsvoet	5.00 %/jaar		
Aantal draaiuren	5294	Bezetting	60.43 %
Opgewekte electr.	69011 kWh	El.verm	13.04 kW
Investering	48650 gld		
Subsidie	8350 gld	Sub.effec	804 gld/jr
	Voor subsidie:	Na subsidie:	
Rest. voor rente an afl.	5732 gld/jaar	6536 gld/jaar	
Netto baten	1045 gld/jaar	1849 gld/jaar	
Waarde electriciteit opw.	19.49 cts/kWh	18.32 cts/kWh	
Electriciteit inkoop	21.00 cts/kWh		
Minimale afschr. termijn	11.32 jaar	9.54 jaar	
Afschrijftermijn 3 motoren	5.21 jaar	4.74 jaar	

## BEREKENING ALGEMENE KENGETALLEN VAN DE ENERGIE-HUISHOUDING

BATEN/KOSTEN op basis van 3 gasmotoren voor 1984			
Lengte periode	12 maanden		
Geprod. gist.gas	244870 m3	Spec prod	670.88 m3/dag
Gespuid gist.gas	52846 m3	Spuiverl.	21.58 %
Aardgas inkoop	0 m3	Spec ink.	.00 m3/dag
Geproduceerde el.	273185 kWh	El conv	1.42 kWh/m3
Aantal draaiuren	23652 uren	Gem verm	11.55 kW-el
Aantal motoren	3	Bezet. #	90.00 %
Investering	135000 gld	Spec inv	45000 gld/mot.
Subsidie	23700 gld	Sub.effec	2283 gld/jr
	Kosten	Baten	
Onderhoud	28382 gld		
KWh-opbrengst		48900 gld	
Verm.besparing		5058 "	
Aardgas inkoop	0 "		
Totaal	28382 "	53958 "	
Rest. voor rente en afl.	25576 gld		
	Voor subsidie:	Na subsidie:	
Voor 1 motor beschikbaar	8525 gld/jaar	9286 gld/jaar	
Netto baten	4190 gld/jr	1907 gld/jr	
Minimale afschr. termijn	6.28 jaar	5.69 jaar	
BATEN/KOSTEN op basis van 4 gasmotoren voor 1984			
Lengte periode	12 maanden		
Geprod. gist.gas	244870 m3	Spec prod	670.88 m3/dag
Gespuid gist.gas	0 m3	Spuivrl #	.00 %
Aardgas inkoop #	0 m3	Spec ink.	.00 m3/dag
Geproduceerde el.	348368 kWh	Gem verm	11.55 kW-el
Aantal uren gist.g	30161 uren	El conv	1.42 kWh/m3
aardg.	0		2.07 kWh/m3
Aantal motoren	4	Bezetting	86.08 %
Investering	180000 gld	Spec inv	45000 gld/mot.
Subsidie	32050 gld	Sub.effec	3088 gld/jr
	Kosten	Baten	
Onderhoud	36193 gld		
KWh-opbrengst		62358 gld	
Verm.besparing		7587 "	
Aardgas inkoop	0 "		
Totaal	36193 "	69945 "	
Rest. voor rente en afl.	33751 gld		
	Voor subsidie:	Na subsidie:	
Voor 1 motor beschikbaar	8438 gld/jaar	9210 gld/jaar	
Netto baten	4102 gld/jr	1015 gld/jr	
Minimale afschr. termijn	6.36 jaar	5.74 jaar	
EVALUATIE GASMOTOREN 1984 OP BASIS VAN ZUIVERINGSCAPACITEIT			
Bel. zuivering gem	74000 i.e.		
Aantal motoren	3 el-rend:	22.57 % (bw) =	25.08 % (ow)
El. verbruik	1121740 kWh =	15.16 kWh/ie.j	6.23 kJ/ie.h
Geproduceerde el.	273185 kWh =	3.69 kWh/ie.j	1.52 "
Geprod. gist.gas	244870 m3 =	3.31 m3/ie.j	9.03 "
Extra aardgas	0 m3 =	.00 m3/ie.j	.00 "
Warmtebehoefte	1573 GJ =	21.25 MJ/ie.j	2.43 kJ/ie.h
Netto baten	12570 gld =	.17 gld/ie.j	
Kapitaalsproduct.	9 %		
Aantal motoren	4 el-rend:	22.57 % (bw) =	25.08 % (ow)
El. verbruik	1121740 kWh =	15.16 kWh/ie.j	6.23 kJ/ie.h
Geproduceerde el.	348368 kWh =	4.71 kWh/ie.j	1.93 "
Geprod. gist.gas	244870 m3 =	3.31 m3/ie.j	9.03 "
Extra aardgas	0 m3 =	.00 m3/ie.j	.00 "
Warmtebehoefte	1573 GJ =	21.25 MJ/ie.j	2.43 kJ/ie.h
Netto baten	16410 gld =	.22 gld/ie.j	
Kapitaalsproduct.	9 %		

## OPGENOMEN VERMOGEN TIJDENS DE REFERENTIEPERIODE

datum	basis- last (kW)	piek- waarden (kW)	beluchters in bedrijf	droger	draai- uren totems (h)	opmerkingen
13-6	90	250	2	+	70*	
14-6	90	260	2	+	71	
15-6	90	250	2	+	59	
za 16-6	80	120	2	-	72	
17-6	70	110	2	-	63	
18-6	80	130	2	-	45	totem I buiten be- drijf
19-6		130	2	-	64	regen 14.00 h totem I weer in bedrijf
20-6	80	270	2	+	61	's morgens gas ge- spaard
21-6	110	260	2	+	50	regen, 's morgens gas gespaard
22-6	80	150	2	-	65	
za 23-6	80	130	2	-	58	variërende aanvoer
24-6	60	95	2	-	59	
25-6	80	230	1	+	72	
26-6	100	230	1	+	61	
27-6	90	220	1	+	64	
28-6	70	230	1	+	72	regen ?
29-6	80	125	2?	-	72	regen ?
za 30-6	70	120	2?	-	69	regen ?
01-7	70	105		-	56	
02-7	80	170	0	+	59	
03-7	80	165	0	+	57	regen ?
04-7	80	170	0	+	61	
05-7	85	170	0	+	69	
06-7	70	130	2?	-	72	
za 07-7	50	120	2?	-	70	
08-7	50	110	2?	-	55	
09-7	45	145	2	-	71	
10-7	75	135	2	-	72	
11-7	105	160	2	-	71	uitschieter
12-7	90	130	2	-	72	
13-7	90	145	2	-	72	geleidelijke piek
za 14-7	75	110	2	-	72	
15-7	65	115	2	-	71	
16-7	45	115	2	-	72	
17-7	65	120	2	-	66	
18-7	70	135	2	-	58	

\* d.w.z. 70 draaiuren tussen 13/6 08.00 h en 14/6 08.00 h

Tabel 20. Opgenomen vermogen tijdens de referentieperiode



datum	basis- last (kW)	piek- waarden (kW)	beluchters in bedrijf	droger	draai- uren totems (h)	opmerkingen	
19-7	45	120	2	-	57	regen?	
20-7	65	140	2	-	61		
za 21-7	60	130	2	-	62		
22-7	60	120	2	-	65		
23-7	60	120	2	-	58		
24-7	70	125	2	-	58		
25-7	60	120	2	-	65		
26-7	70	130	2	-	61		
27-7	70	130	2	-	63		
za 28-7	70	100	2	-	69		
29-7	60	120	2	-	68		
30-7	60	135	2	-	69		
31-7	70	135	2	-	70		
01-8	70	130	2	-	63		
02-8	80	150	2	-	72		13.00 h slibpomp
03-8	60	125	2	-	65		
za 04-8	60	120	2	-	71		
05-8	60	130	2	-	70		
06-8	70	125	2	-	48	totem III uit be- drijf	
07-8	70	120	2	-	66		
08-8	60	130	2	-	72		
09-8	60	120	2	-	56		
<u>Conclusies</u>							
	alles aan			netto ca. 260 kW	(258 ± 8,4)		
	excl. beluchter			netto ca. 230 kW	(228 ± 5,0)		
(3 totems)	excl. 2 beluchters + slibretourvijzel			netto ca. 170 kW	(169 ± 2,5)		
				netto ca. 130 kW gem.	(126 ± 12,6)		
	excl. droger			netto ca. 160 kW max.			
vermogens- reductie:	droger				100 kW à 130 kW		
	1e beluchter				ca. 30 kW		
	2e beluchter + slibretourvijzel				ca. 60 kW		
verschil tussen droog weer en regen 30 à 40 kW							

 Tabel 20. Opgenomen vermogen tijdens de referentieperiode (vervolg)

ZUIVERINGSTECHNISCHE WERKING

PERIODE	BELASTING RWZI			EFFLUENTKwaliteit				SLIBKarakteristiek					BEGRENZING	
	i.e.'s a 54 g BZV		m <sup>3</sup> /d debiet	mg/l (gewogen gemiddelde)				slibgeh. (g/l)	slibbel. kg BZV/(kg ds.d)	slibind.** (ml/g)	gloeirest % dr.rest	temp. (oC)		
	influent bel.2e tr	effluent*		CZV	BZV	N-kj	NO <sub>3</sub> -N							
10/01 t/m 19/01/1984	61350	30470	10160 (18840)	18720	139***	29.0	24.0	0.2	3.35	0.058	115	22	9	geen
05/06 t/m 14/06/1984	68750	25220	620 ( 5430)	10460	41	3.2	19.0	1.3	2.41	0.066	195	22	16	geen
25/06 t/m 05/07/1984							8.0	10.0						geen
17/07 t/m 23/07/1984	71020	15080	330 ( 970)	7260	47	2.5	3.9	17.0	3.09	0.031	140	21	17	geen
10/09 t/m 13/09/1984							4.2	4.0						130 kW
18/09 t/m 23/09/1984	95080	35630	900 ( 2970)	10980	50	4.4	8.3	8.5	3.90	0.058	140	25	15	130 kW
24/09 t/m 27/09/1984	95600	39570	2590 ( 5310)	18150	61	7.7	7.3	3.9	3.90	0.064	140	25	15	120 kW
01/10 t/m 04/10/1984							6.8	4.1						120 kW
08/10 t/m 18/10/1984							13.3	4.4						110 kW
22/10 t/m 25/10/1984							7.3	0.3						130 kW

\* : tussen haakjes vuillast volgens de Rijksformule: (Q/180)\*(2.5\*BZV + 4.57\*N-kj)  
 \*\* : onverdunde inderbepaling  
 \*\*\* : slibverlies 50-270 mg/l

Tabel 21. Zuiveringsresultaat

PERIODE	energie verbr. (kWh/d)	gem. vermogen (kW)	spec. energ. verbruik (kWh/kg BZV verwijderd)
10/01 t/m 19/01/1984	1200	20.5 uur/d = 58.5	1.10
05/06 t/m 14/06/1984	1480	23.3 uur/d = 63.4	1.11
25/06 t/m 05/07/1984	1670	22.6 uur/d = 73.9	
17/07 t/m 23/07/1984	1600	24.0 uur/d = 66.7	2.01
10/09 t/m 13/09/1984	1980	21.3 uur/d = 92.8	
18/09 t/m 23/09/1984	2320	24.0 uur/d = 96.7	1.24
24/09 t/m 27/09/1984	2060	24.0 uur/d = 85.6	1.03
01/10 t/m 04/10/1984	2060	24.0 uur/d = 85.8	
08/10 t/m 18/10/1984	1840	23.9 uur/d = 76.9	
22/10 t/m 25/10/1984	2060	24.0 uur/d = 85.6	

Tabel 22. Specifiek energieverbruik van de beluchters

## TECHNISCHE EVALUATIE GASZAKKEN

1. Beschrijving gaszak

De gaszak is vervaardigd uit geweven polyester doek voorzien van een PVC-coating aan de binnen- en buitenzijde; de naden zijn genaaid en gesealed.

De gaszak kan een hoge, bolle vorm hebben of een platte vierkante vorm, hoogte tot 3 m, respectievelijk 1,5 m.

De gaszak is standaard leverbaar met een inhoud van 50 tot 150 m<sup>3</sup>. Grotere inhouden betekenen maatwerk en zijn daardoor relatief duur. Bij grotere capaciteiten kunnen uiteraard ook verscheidene gaszakken geplaatst worden.

De vereiste gasdruk kan worden gerealiseerd door de gaszak te belasten. De ballastdruk wordt beperkt door de maximaal toelaatbare werkdruk van de gaszak van 1-2 kPa. Bij hogere gasdrukken kan een elektrisch gedreven centrifugaalventilator van gering vermogen (100-500 W) in de gasafvoer naar de verbruikers worden geplaatst.

De aansluitstompen voor de aan- en afvoerleidingen en instrumenten worden aan de gaszak genaaid en gesealed. Aangezien deze aansluitstompen een zwak punt vormen, verdient het aanbeveling het aantal zoveel mogelijk te beperken.

Voor inhoudsmeting is nog geen standaardvoorziening voorhanden.

Als overdrukbeveiliging wordt een separate drukafhankelijke spuiklep toegepast. Tevens kan het waterslot in de condenspot als beveiliging functioneren, mits gedimensioneerd voor voldoende spuicapaciteit. Als onderdrukbeveiliging wordt bij minimale inhoud de afvoerleiding afgesloten door de gaszak zelf. Een eventuele ventilator dient een eigen onderdrukschakeling te hebben.

2. Opstelling

Voor de opstelling van de gaszak is een geëgaliseerd terrein noodzakelijk voorzien van een zandbed en een wegebouwviltlaag. De bolvormige gaszak moet bij voorkeur gedeeltelijk worden ingegraven.

Om de gaszak te beschermen tegen weersinvloeden kan deze worden afgeschermd door middel van een overkapping (b.v. nissenhut) of een dekzeil. Deze afscherming weert tevens UV-straling.

Bij buitenopstelling wordt de gaszak verankerd door middel van banden met veren en grondankers. De platte vierkante gaszak is hiertoe voorzien van ogen waarmee gaszak en afdekzeil bovendien aan elkaar kunnen worden bevestigd. Bij opstelling in een gesloten ruimte moet voldoende ventilatie worden geïnstalleerd om het ontstaan van een explosief en/of giftig mengsel bij gaslekkages te voorkomen.

Om mechanische beschadiging te voorkomen is het noodzakelijk de gaszak af te schermen door middel van een hekwerk, dat bij ongevallen niet op de gaszak terecht kan komen.

Condensvorming in de gaszak kan problemen geven. Het is daarom van belang voor een goede condensafvoer te zorgen door de gasaanvoer- en afvoerleidingen op het laagste punt in de gaszak aan te brengen en te voorzien van een condenspot.

Bij de opstelling van een gasopslagsysteem met een gasdruk kleiner dan 20 kPa, dus ook bij een gaszak, moet rekening worden gehouden met de volgende veiligheidsaspecten<sup>3</sup>:

- de afstand van de gashouder tot andere bebouwing dient zo groot te zijn dat onderlinge beïnvloeding bij brand wordt voorkomen. Voor tot bewoning bestemde gebouwen, tot de erfscheiding en tot wegen en terreinen die voor het publiek toegankelijk zijn geldt voor deze afstand minimaal 15 meter;  
De minimale afstand tussen gashouders onderling dient 10 m te zijn.
- er dient voldoende ventilatie om de gashouder te zijn. Bij opstelling in de open lucht is hier goed aan te voldoen. Bij opstelling van de gaszak in een nissenhut zijn speciale ventilatievoorzieningen vereist;
- de elektrische apparatuur zoals blower en instrumentatie dient explosie veilig te worden uitgevoerd;
- de gashouder moet voorzien zijn van een over- en onderdrukbeveiliging. Bij de gaszak worden in verband met minimalisering van het aantal aansluitstompen de beveiligingen niet rechtstreeks op de gaszak maar in het leidingsysteem aangebracht. Hierbij moet worden opgelet dat tussen beveiliging en gaszak geen afsluiter wordt aangebracht;
- het overtollige gas dient op een veilige manier te worden afgevoerd. Dit betekent dat de afblaas van de spui-inrichting zich minimaal 2,5 meter boven het maaiveld moet bevinden;
- de gashouder dient voldoende bestand te zijn tegen mechanische beschadigingen;  
De gaszak is op dit punt kwetsbaar; ondanks overkapping of afdekzeil en omrastering blijft mechanische beschadiging mogelijk en daardoor kans op lekkage.

### 3. Levensduur

Met gaszakken in het algemeen is in Nederland nog geen langdurige ervaring opgedaan. De leveranciers noemen een haalbare levensduur van circa 10 jaar. Met de bolvormige gaszakken is in Nederland in de afgelopen jaren op enige tientallen plaatsen (voornamelijk boerderijen) enige praktijkervaring opgedaan.

De problemen die daarbij optraden betroffen met name:

- scheurvorming
- condensafvoer
- verankering
- ballast-fixatie.

Veel klachten kunnen worden voorkomen door voor de bolle gaszak een overkapping toe te passen. Met de platte gaszakken is in Nederland nog geen ervaring opgedaan. Aan de hand van buitenlandse ervaringen wordt echter verwacht dat de genoemde problemen bij de platte gaszak zijn te ondervangen.

4. Gevaaraspecten*brand*

Tengevolge van een geringe warmtetoevoer naar de kunststof folie, bijvoorbeeld door een brandende sigaret of door de wind meegevoerde brandende vaste stoffen kan een kunststof gaszak gemakkelijk in brand raken, waardoor ook de inhoud zal ontbranden. Bij een gasinhoud van  $100 \text{ m}^3$  bedraagt de vlamgrootte maximaal 10 m en de brandduur circa 4 minuten<sup>3</sup>. Door deze beperkte brandomvang en korte brandduur zijn de gevaren voor mens en dier gering. Door de korte tijdsduur is geen brandoverslag door straling naar objecten in de omgeving te verwachten.

Bij klokgashouders en membraangashouders zal vanwege de toegepaste constructiematerialen als staal en beton een veel grotere warmtestraling nodig zijn om brand te veroorzaken. Bij gelijke gasinhoud zullen de gevolgen vergelijkbaar zijn. Mogelijk is door het sterkere materiaal de vlam kleiner en duurt de brand langer.

*explosie*

Bij opslag van gistingsgas is het mogelijk dat het gas ongewenst ontsnapt, waardoor een wolk van een explosief mengsel van methaan en lucht ontstaat.

Door TNO<sup>3</sup> is berekend dat bij instantaan vrijkomen van  $100 \text{ m}^3$  gistingsgas op grondniveau 23 kg methaan een explosiegevaarlijke gaswolk kan vormen met een doorsnede van circa 20 meter. Door ontsteking van dit explosief mengsel kan een druk- of schokgolf ontstaan met een explosielengte van circa 22 meter en een piekoverdruk van 20 kPa op 25 m afstand van het centrum van de gaswolk en van 5 kPa op 100 m afstand.

Schadebeeld: 10 kPa: incidentele glasbreuk; 20 kPa: tijdelijke gehoorschade; 30 kPa: kans op verwonding door rondvliegende glasscherven; 100 kPa: (herstelbare) schade aan gevels van gebouwen.

*lekkage*

Bij opslag van gistingsgas is het verder mogelijk dat het gas langzaam ontsnapt, waardoor geleidelijk een wolk van een explosief mengsel van methaan en lucht ontstaat.

Door TNO is berekend<sup>3</sup> dat bij gasontsnapping ten gevolge van een klein lek of tengevolge van overproductie door het spuiëntiel de explosieve inhoud van het gas/lucht-mengsel zo gering is, dat bij ontsteking van de wolk geen schade in de omgeving is te verwachten.

Indien tengevolge van een groot lek de totale inhoud van de gashouder in korte tijd (binnen 30 seconden) zou vrijkomen, kan een explosie ontstaan die tot op 45 m' afstand van de gashouder tot schade aan omringende gebouwen kan leiden, met name tot ruitbreuk en in extreme gevallen (stabiele weersomstandigheden en wind in de richting van het gebouw) tot schade aan puin en daken.

Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor een gashouder met een inhoud van  $100 \text{ m}^3$ . Bij gelijke gasinhouden zullen de gevolgen van lekkage en explosie bij klokgashouders en membraangashouders identiek zijn aan de gevolgen bij gaszakken.

