

NN31050.87-4

**stora**

87-04

Windenergie  
op  
rioolwaterzuiveringsinrichtingen

2. Electriciteitsopwekking

Bibliotheek STOWA

**stowa**

alleen ter inzage, niet voor uitlening  
nagebruik RETOUR s.v.p.

serie: thema

*zuiveringstechniek - energie*

Bylage bij brief d.d. 20 maart 1987, nr. 1175/WW

3/10/87

**stora**

postbus 414, 2280 AK rijswijk

☎ 070-99.11.33

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

**BIBLIOTHEEK DE HAAFF**  
Droevendaalsesteeg 3a  
Postbus 241  
6000 AB Wageningen

DEC 2003

# Windenergie op rioolwaterzuiveringsinrichtingen

## 2. Electriciteitsopwekking

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.

1175/WW



	Inhoud	1
	Ten geleide	2
1	SAMENVATTING	13 - 15
2	INLEIDING	4
3	REALISATIE VAN DE MOLEN	5 - 8
3.1	Lokatiekeuze	5
3.2	Haalbaarheid	5
3.3	Vergunningen	5 - 7
3.4	Subsidies	7
3.5	De keuze van de molen	7 - 8
4	TECHNISCHE OMSCHRIJVING	9 - 11
4.1	Beschrijving lokatie	9
4.2	Windmolen	9 - 10
4.3	Meetsysteem	10 - 11
5	BEDRIJFSERVARING	12 - 13
6	MILIEU-ASPECTEN	14 - 16
6.1	Geluid	14 - 16
6.2	Vogels	16
6.3	Schaduw	16
7	MEETRESULTATEN	17 - 26
7.1	Meetseries	17
7.2	Het lokale windregime	17 - 18
7.3	De vermogenskarakteristiek	18 - 20
7.4	Beschikbaarheid van de windmolen	21 - 23
7.4.1	gemiddelde beschikbaarheid	21
7.4.2	schakelfrequentie	21 - 23
7.4.3	kans op netkoppeling per windsnelheidsklasse	23
7.5	De energiestromen	23 - 26
8	ECONOMIE	27 - 28
9	CONCLUSIES	29
10	LITERATUUR	30
	BIJLAGEN	
	1. Haalbaarheidsstudie NEOM	
	2. Ligging rwzi Goedereede	
	3. Aansluitschema van de windmolen	
	4. Energieoverzicht	
	5. Specificatie van de gebruikte opnemers en meetwaarde-omvormers.	

## Ten geleide

In het raam van het Nationaal Ontwikkelingsprogramma Windenergie van het ministerie van Economische zaken heeft de STORA, met steun van dit ministerie, de technische en economische aspecten van directe koppeling van windturbines en werktuigen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) onderzocht.

Het rapport van dit onderzoek "Windenergie op rioolwaterzuiveringsinrichtingen 1. Mechanische toepassingen" verscheen in 1984.

Het nu voorliggende rapport betreft de indirecte koppeling via electriciteitsopwekking; daartoe werd de bedrijfsvoering van de 55 kW turbine op de rwzi Goedereede gedurende drie opeenvolgende jaren op de voet gevolgd.

Dit gebeurde door personeel van de rwzi en de technische dienst van het zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden (projectleider ing. W.F. Reijnierse) en medewerkers van het Energie Centrum Nederland.

Het onderzoek werd begeleid door ir. A.A.T. Doppenberg (voorzitter), ir. P.C. Stamperius en ir. F.A.M. van Venrooy; het STORA-secretariaat verzorgde de eindredactie van het rapport.

Ook dit project werd uitgevoerd in het kader van bovengenoemd Ontwikkelingsprogramma en gerealiseerd met financiële steun van de STORA\* en het ministerie van Economische Zaken.

Rijswijk, februari 1987.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

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

## 1 SAMENVATTING

Begin 1983 is op de rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) Goedereede met financiële deelneming door de STORA en met geldelijke steun van het ministerie van EZ voor de beperking van energieverbruik in de non-profitsector, door het zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden een Bouma-windmolen geplaatst met een wiel diameter van 16 m, een masthoogte van 20 m en een a-synchrone generator van 55 kW, voor totaal fl. 151.000.- (incl. BTW). Een vooraf door de Nederlandse Energie Ontwikkelingsmaatschappij B.V. (NEOM) verricht haalbaarheidsonderzoek beval voor deze lokatie een dergelijke molen aan. De in 1982 gestarte procedures ter verkrijging van de benodigde vergunningen verliepen zonder problemen.

Gedurende een periode van twee jaar na ingebruikstelling zijn door het Energie Centrum Nederland (ECN) en personeel van het zuiveringsschap metingen, waarnemingen en onderhoud verricht om de technische en economische aspecten van elektriciteitsopwekking met windturbines op rwzi's te onderzoeken.

Technische problemen hebben zich niet voorgedaan en storingen treden weinig op. Inspectie van de molen eens per veertien dagen bleek voldoende. Aan het eind van de proefperiode kon geen mechanische slijtage geconstateerd worden. In totaal stond de molen 3% van de tijd stil voor onderhoud, inspectie en door storingen; 17% van de tijd was de molen buiten bedrijf door te veel of te weinig wind.

Metingen van het geluiddrukkniveau van de molen geven aan dat de geluidproductie van de molen overeenkomt met die van de zuiveringsinrichting. Het totale geluiddrukkniveau van de rwzi stijgt daardoor met circa 3 dB (A).

Het vlieggedrag van vogels in de nabijheid van de molen is onderzocht in de maand oktober 1984. Er werden geen aanvaringen met de molen geconstateerd en circa 5% van de vogels binnen 250 m reageerde op de aanwezigheid van de molen. Aan de hand hiervan en van RIN-onderzoek op dit punt kan geconcludeerd worden dat deze molens op dit soort lokaties geen gevaar of hinder voor vogels inhouden. Het in werking zijn van de molen geeft geen overlast voor de omgeving.

In de meetperiode heeft de molen minder geproduceerd dan verwacht, namelijk 100.000 kWh/j, en is tevens het windaanbod geringer geweest dan op grond van de langetermijnwindverwachting mocht worden aangenomen. Uitgaande hiervan zou een productie van + 120.000 kWh/j gerealiseerd moeten zijn. De aanvankelijk in de prognoses gehanteerde 150.000 kWh/j bleek te berusten op een te optimistisch opgegeven vermogenskarakteristiek van de molen.

Uit de resultaten kwam een aanzienlijk hogere benutting (90%) naar voren dan waar in de haalbaarheidsstudie vanuit werd gegaan (73%). Door het hogere gemiddeld gelijktijdig afgenomen vermogen werd slechts 10% van het opgewekte vermogen aan het openbare net teruggeleverd.

De condities voor opwekking en verbruik van energie waren optimaal. De rwzi ligt in een gebied met het hoogste windregime in Nederland en de capaciteit van de molen is ongeveer gelijk aan het gemiddeld gelijktijdig afgenomen vermogen. De netto opbrengst van de molen in de proefperiode bedroeg fl. 14.400.- per jaar.

Uitgaande van een afschrijvingstermijn van 15 jaar, 8% rente en 0% prijsstijging bedragen de jaarlijkse lasten voor de investering na subsidie en voor de totale investering fl. 13.200.- respectievelijk fl. 17.700.-.

Onder de optimale omstandigheden te Goedereede was toepassing van windenergie in de proefperiode zonder subsidie niet rendabel.

Bij een energieproductie volgens de langetermijnwindverwachting, bij lage rentetarieven en bij stijgende energieprijzen, zou de rentabiliteit marginaal tot redelijk kunnen worden. In werkelijkheid waren de energieprijzen zodanig gedaald dat ook dan opwekking van windenergie te Goedereede niet rendabel zou zijn.

Dit beeld wordt aanmerkelijk verbeterd door de subsidiemogelijkheden van het Integraal Programma Windenergie 1986 - 1990.

## 2 INLEIDING

Energiekosten maken een belangrijk deel uit van de exploitatielasten van rioolwaterzuiveringsinrichtingen.

Het is daarom van belang na te gaan of besparingen op deze energiekosten mogelijk zijn. Reeds eerder zijn hier studies naar uitgevoerd; het gebruik van gistingsgas (1,2) is hier een voorbeeld van.

Het toepassen van alternatieve energie, zoals windenergie, behoort ook tot de mogelijkheden om te besparen op de energiekosten. Naast eventuele financiële voordelen heeft dit het voordeel van een milieuvriendelijke wijze van energieopwekking.

In een eerdere studie in dit kader is ingegaan op de toepassing van windenergie met een directe koppeling aan werktuigen (3).

Deze studie vat de resultaten samen van een demonstratieproject met een windmolen op de rwzi Goedereede in beheer bij het zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden (ZHEW), waarbij de windmolen direct elektriciteit opwekt voor eigen gebruik en/of teruglevert aan het nutsbedrijf.

Het project werd opgezet om in de praktijk de technische en economische aspecten van elektriciteitsopwekking met een windturbine op rwzi's te onderzoeken.

### 3 REALISATIE VAN DE MOLEN

#### 3.1 Lokatiekeuze

In het kustgebied van het zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden heerst een voor de toepassing van windenergie gunstig windregime.

Op bladzijde 39 zijn de potentiële windsnelheden als jaargemiddelden aangegeven. Duidelijk blijkt dat de gemiddelde windsnelheid boven Nederland van de Noordzee naar het zuid-oosten van ongeveer 7 à 7,5 m/s afneemt tot 3,5 à 4 m/s.

Als mogelijke lokatie voor een windmolen komt Voorne-Putten of Goeree-Overflakkee in aanmerking. In dit gebied liggen rwzi's van diverse grootten die in beheer zijn bij ZHEW. In 1982 viel de keus op de rwzi Goedereede, waarbij de volgende factoren een beslissende rol speelden:

- gunstige ligging, ver buiten de bebouwde kom in een vlakke polder (geringe omgevingsruwheid, dus weinig verstoring van de wind);
- de rwzi Goedereede heeft 's-winters en 's-zomers een sterk verschillend energieverbruik, vanwege het vele toerisme. Hierdoor kon de benutting bij verschillend energieverbruik beoordeeld worden.

#### 3.2 Haalbaarheid

Na de vaststelling van de lokatie is de Nederlandse Energie Ontwikkelingsmaatschappij BV (NEOM) verzocht een haalbaarheidsstudie (zie bijlage 1) te verrichten naar de economie van een windmolen op deze lokatie, waarbij onderstaande aspecten aandacht kregen:

- de grootte van de windmolen;
- de toelaatbare investering;
- de kosten van de door de molen opgewekte kWh;
- de interne rentevoet en de terugverdiensijd.

In deze haalbaarheidsstudie werd gebruik gemaakt van de door de fabrikant opgegeven (door de NEOM reeds te optimistisch geachte) P-v-curve (pag. 33), waarmee een electriciteitsproduktie van 150.000 kWh per jaar werd berekend. In hoofdstuk 7.3 zal blijken dat dit inderdaad lager moet liggen (circa 20%). Verder werd in de haalbaarheidsstudie uitgegaan van een rente van 11% en een afschrijvingstermijn van 10 jaar. Bovendien werd aangenomen dat 25% van de investering gesubsidieerd zou worden.

De studie gaf aan dat plaatsing van een 16 m molen verantwoord was tot een totale investering van fl. 147.000.- à fl. 160.000.- (incl. BTW). De kosten van een door de windmolen geproduceerde kWh zijn berekend op fl. 0,1458 à fl. 0,1612.

#### 3.3 Vergunningen

##### bouwvergunning

Om een beeld te krijgen van eventuele "horizonvervuiling" is gebruik gemaakt van een montagefoto (zie pag. 6).

In het overleg met de gemeente kwamen geen problemen naar voren; over de bouwvergunning kon snel worden beschikt. Voor de verlening van de bouwvergunning was geen wijziging van het bestemmingsplan nodig.

##### hinderwetvergunning

Aangezien bij de bouw van de rwzi reeds een hinderwetvergunning was verleend, kon worden volstaan met een aanvraag tot uitbreiding van de bestaande vergunning. Problemen deden zich daarbij niet voor; er werd door derden geen gebruik gemaakt van de mogelijkheid om bezwaren te maken tegen de verlening van de vergunning. De ligging van de rwzi midden in de polder is daarbij waarschijnlijk bepalend geweest.

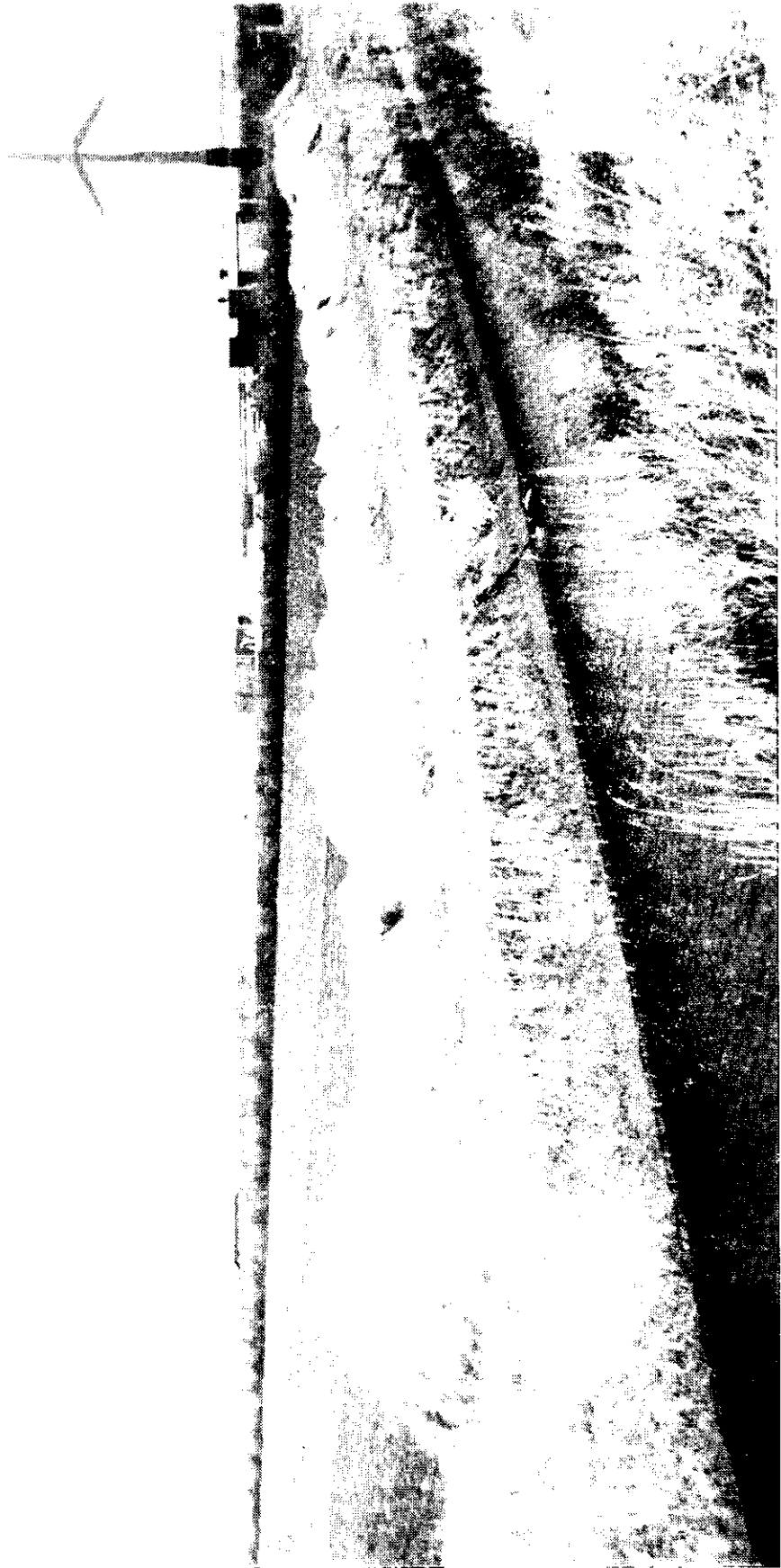


Foto 1. Plaats van de molen in het landschap (montagefoto)



### stroomleveringsontheffing

In het kader van de elektriciteitsverordening is het verboden elektrische stroom op te wekken en aan derden te leveren, zonder ontheffing.

De provincie Zuid-Holland heeft, als de daartoe bevoegde instantie, hiervoor ontheffing verleend.

### 3.4 Subsidies

Door de overheid werden ten tijde van de besluitvorming rond de molen (1982-1983) verschillende subsidies beschikbaar gesteld voor energiebesparende maatregelen, onder andere:

- steun demonstratieprojecten energiebesparing;
- de WIR (Wet Investerings Rekening);
- de SIR (Selectieve Investerings Regeling);
- de geldelijke steun beperking energieverbruik in de non-profit sector.

De drie eerstgenoemde regelingen waren op dit project niet van toepassing.

Voor overheden was slechts subsidie mogelijk uit de geldelijke steun voor de non-profit sector; de WIR en SIR zijn uitsluitend bedoeld voor het bedrijfsleven. In het kader van de steun aan de non-profit sector werd aan het onderhavige project een bijdrage van 25% van de investering verleend.

Thans stimuleert de overheid krachtig de toepassing van windenergie door het beschikbaar stellen van subsidies in het kader van het Integrale Programma Windenergie (IPW)\*. Dit programma beoogt de onrendabele top weg te nemen door subsidies te verstrekken aan investeerders, en serie-producties van windturbines op gang te brengen, waardoor uiteindelijk goedkoper geproduceerd kan worden.

De IPW-subsidies bedragen voor 1987 en 1988 fl. 650.- respectievelijk fl. 400.- per geïnstalleerde kW.

### 3.5 De keuze van de molen

Er worden in Nederland twee typen elektrische conversiesystemen toegepast in windmolens:

- a-synchrone generator direct gekoppeld aan het net (constant toerentalsysteem);
- synchrone generator, met gelijkrichter en via een mutator gekoppeld aan het net (variabel toerentalsysteem).

De karakteristieke eigenschappen van beide typen zijn:

voor de **synchrone** generator:

- een grotere benutting bij lage windsnelheden;
- soepele netkoppeling;
- minder netvervuiling;
- elektronisch gecompliceerd;

**\***

STIMULERING WINDENERGIE. Het **Integraal Programma Windenergie 1986 - 1990** uit de "Steunregeling Energiebesparing en Stromingsenergie" van het Ministerie van Economische Zaken. Brochure verkrijgbaar bij de Nederlandse Energie Ontwikkelings Maatschappij (NEOM), Postbus 17, 6130 AA Sittard.

voor de **a-synchrone** generator:

- robuust;
- eenvoudig;
- goedkoop;
- "hardere" netkoppeling;
- groter blindvermogen;
- weinig storingsgevoelig.

Er werd gekozen voor een a-synchrone generator, met als argumentatie de robuuste en eenvoudige uitvoering van de generator en het nog niet optimaal functioneren van de elektronische apparatuur van synchrone generatoren voor de middelgrote vermogens van 50 tot 70 kW (deze capaciteit werd door de NEOM in het haalbaarheidsonderzoek voor rwzi Goedereede aanbevolen).

In maart 1983 werd op de rwzi Goedereede een Bouma windturbine geplaatst van 55 kW, met een rotordiameter van 16 m en een masthoogte van 20 m.

## 4 TECHNISCHE OMSCHRIJVING

### 4.1 Beschrijving lokatie

De rwzi Goedereede is gelegen in open polderlandschap (bijlage 2).

De oostkant van het terrein grenst aan een lage kanaaldijk. Ten westen van het terrein ligt op ongeveer een kilometer afstand een lage binnendijk, waarop aan de teen van de dijk bomen staan. Op het terrein zelf is langs de randen ter verfraaiing laag struikgewas aangebracht.

De bebouwing op het terrein heeft een werkhoogte van 3 m.

### 4.2 Windmolen

#### Rotor

3-bladige rotor met vaste verbinding op de rotoras. De rotoren zijn gemaakt van polyester, versterkt met glasvezel, kevlar en koolstof.

#### Generator en overbrenging

De krachten op de rotor worden door middel van de rotoras en een flexibele koppeling, een tandwielkast en een tweede flexibele koppeling overgebracht naar een a-synchrone generator met een nominaal vermogen van 55 kW. De tandwielkast is een Hanse co-axiale tandwielkast.

Op de secundaire as is een rem geplaatst, ontwikkeld door Bouma Windenergie B.V. De rem dient primair om de rotor af te remmen, secundair om de rotor bij stilstand vast te houden en te blokkeren. Het remmoment ligt binnen bepaalde toleranties, die bepaald worden door de optredende momenten in de rotoras en de remtijd.

De generator is een a-synchrone generator, die aan het net wordt gekoppeld bij een bepaald toerental. Om het inschakelen van de generator niet schoksgewijs en/of met grote momenten te laten plaatsvinden, is het noodzakelijk het inschakelen bij het exact juiste toerental van de generator te laten geschieden. Dit gebeurt door middel van elektronische meting van het toerental in de generator en het daaraan gekoppelde elektronisch-elektrische inschakelmechanisme. Indien het toerental van de generator te hoog wordt of het maximale vermogen van de generator wordt bereikt, wordt de generator uitgeschakeld en de molen stopgezet.

#### Mast

De mast is een 8-kantige stalen kokerconstructie, inwendig verstijfd met strepen. De mast is niet getuid.

De mast heeft een hoogte van 20 m en is gefundeerd op een betonplaat van 5 bij 5 m, met een dikte van 0,60 m. Het geheel wordt gedragen door 4 heipalen met een lengte van 18 m elk.

#### Kruis-inrichting

De windmolen bezit een geheel automatisch werkend kruis-servosysteem, bediend door een windvaan. De windvaan maakt contact met schakelaars, die het signaal doorgeven aan een elektronisch gedeelte, dat met een bepaalde vertraging dit signaal omzet in een elektrische stroom naar de kruimotor. De kruimotor draait de molenkop zodanig in de wind, dat de windvaan weer in zijn neutrale stand komt. Het kruis-systeem wordt ook gebruikt als beveiligingssysteem, doordat de molen uit de wind gekruid kan worden. De molenkop is ook via handbediening te kruisen.

#### Veiligheden

De gehele constructie is als volgt elektronisch beveiligd:

- netbeveiliging voor: algehele spanningsuitval
  - : fase-uitval
  - : 30% spanningsval
  - : overtoeren;

- trillingsopnemer in de toren; deze registreert qua amplitude en frequentie ontoelaatbare trillingen van de mast;
- kabeltwistopnemer; deze registreert een bepaald aantal omwentelingen van de rotorkap in een bepaalde richting;
- thermische beveiliging van de generator;
- te hoog ampèrage van de generator;
- stormbeveiliging; bij windsnelheden > 24 m/seconde wordt de molen buiten bedrijf gesteld;
- thermische beveiliging van het remsysteem.

Indien een beveiliging in werking treedt, wordt de rotor stopgezet en de molen automatisch uit de wind gedraaid en gehouden. Tegen een te hoog toerental is de rotor aerodynamisch beveiligd met beweegbare rotortippen. De rotor is te allen tijde met handbediening te stoppen en uit de wind te kruien.

De rwzi beschikt over een automatisch alarmeringssysteem dat storingen buiten de normale werktijden meldt aan geconsigneerd personeel. Op dit systeem is de storingsmelding van de windmolen aangesloten.

#### Aansluiting van de windmolen

De windmolen is direct gekoppeld aan de rwzi en het elektriciteitsnet. Wanneer door de molen meer elektrische stroom wordt geproduceerd dan door de zuiveringsinrichting wordt verbruikt, wordt het overschot aan het openbare net toegevoerd (zie aansluitschema bijlage 3). De hoeveelheid teruggeleverde kWh werd geregistreerd door een aparte kWh-meter. Voor de bepaling van het blindvermogen werd speciale meetapparatuur geplaatst.

#### Verbruikspatroon rwzi

Door de invloed van de verblijfsrecreatie is de rwzi Goedereede in het vakantieseizoen zwaarder belast dan in de winter. Daartoe is de rwzi dubbel uitgevoerd; in de winter wordt één helft buiten gebruik gesteld. Het gemiddeld gelijktijdig afgenomen vermogen is 's-zomers circa 63 kW, 's-winters circa 35 kW.

De "zomer"-periode loopt ongeveer van april/mei tot en met oktober. In het voor- en naseizoen komt het voor dat 's-nachts gedurende een aantal uren de installatie wordt stilgezet (maximaal 6 uur per 24 uur). In de wintermaanden van half november tot half februari heeft het energiebedrijf 's-morgens van half acht tot negen uur een spertijd ingesteld. Gedurende deze uren ligt de installatie voor een belangrijk deel stil.

Op bijlage 4 is het stroomverbruik per maand aangegeven vanaf 1 januari 1983.

### **4.3 Meetsysteem**

Door het ECN is ten behoeve van dit onderzoek een meetsysteem geïnstalleerd. Bijlage 3 geeft hiervan een schematische weergave. Het signaal van de verschillende opnemers (bijlage 5) wordt omgezet in een 4 - 20 mA analoge stroomkring door middel van een meetwaarde-omvormer.

Met behulp van een analoog/digitaalomzetter wordt het signaal in een 8-bits-code aan het data-acquisitiesysteem aangeboden. Het data-acquisitiesysteem verzamelt en bewaart de volgende gegevens (tabel 1):

- 10 minuten-gemiddelden van alle signalen;
- spreiding van dit gemiddelde voor de signalen 2, 5 en 6;
- maximum- en minimumwaarde per 10 minuten van de signalen 2, 5 en 6;
- datum en tijd van de registratie.

Daarnaast zijn de volgende integrerende meetinstrumenten gebruikt:

- de kWh-meter, aanwezig in de besturingskast van de windturbine, AEG-type A42H, 1-fase meter;
- een urenteller voor de registratie van het aantal uren dat de windturbine aan het net gekoppeld is geweest;
- twee urentellers voor de registratie van het aantal uren dat de turbine niet-netgekoppeld is geweest en het aantal uren dat de rem geactiveerd is.

signaal	eenheid	te registreren waarde			
		gem.	$\sigma$	max.	min.
1. windrichting	grd	x			
2. windsnelheid	m/s	x	x	x	x
3. luchttemperatuur	$^{\circ}\text{C}$	x			
4. luchtdruk	mbar	x			
5. vermogen turbine	kW	x	x	x	x
6. vermogen installatie	kW	x	x	x	x
7. netkoppeling	uren	x			

Tabel 1. Gemeten grootheden en waarden.

**BEDRIJFSERVARING**

De molen is in maart 1983 in gebruik gesteld.

Aanvankelijk bleek de elektronische besturing niet goed te werken; diverse malen brandden printplaten door: de in de windvaan door windwrijving opgewekte statische elektriciteit ontladde zich via de benaderingsschakelaars, waardoor de elektronische besturing van de stand van de molen verbrandde. Na aarding van de windvaan zijn er geen problemen met de elektronische besturing meer geweest.

Eind april 1983 brak de mechanische overtoerenbeveiliging van een der wieken. De drie wieken bezitten aan het uiteinde een draaibare tip. Indien bij storm de elektronica niet zou functioneren moeten deze tips haaks op de wiek komen te staan en als aerodynamische rem werken. Bij inspectie bleek het kabeltje, dat de stand van deze defecte wiektip bepaalt, op een knik gebroken te zijn (vermoedelijk transportschade).

Aan de koppeling van de molen aan het net werd veel aandacht besteed; koppeling bij te lage windsnelheden kost stroom; de molen neemt dan stroom af en levert nog niet. Bij te late koppeling gaat een deel van de stroomopbrengst verloren. Een dergelijke kwestie speelt ook bij de afstelling van de storingsbeveiliging op de thermische beveiliging van de generator; dit dient zodanig te geschieden dat de molen niet bij iedere korte windstoot buiten gebruik komt.

De beveiliging moet aanspreken bij windsnelheden die het materiaal nog net kan verdragen, terwijl de generator zelf thermisch beveiligd blijft. Bij storm kan de molen dan zo lang mogelijk doordraaien en stroom leveren. Gebleken is dat er momenten zijn waarop de molen meer dan 90 kW levert.

Na ongeveer twee maanden functioneerde de molen optimaal.

Punten die voortdurend aandacht vragen zijn:

- de vrij snelle slijtage van de rubbers van de koppelingen tussen de wiekenas en de tandwielkast, en tussen de tandwielkast en de generator. De oorzaak hiervan is dat het uitlijnen van de genoemde onderdelen niet voldoende nauwkeurig kan geschieden, gezien de omstandigheden in de gondel. Ook is het mogelijk dat de fundering, ondanks het feit dat deze was uitgedroogd, niet helemaal spanningsvrij was en nog enigszins nawerkte;
- de tijdige bijstelling van de rem en de remtijd. Na 4 à 5 maal remmen dient de rem bijgesteld te worden.

Eind 1984 en in de loop van 1985 is met een trillingsopnemer de conditie van de bewegende delen beoordeeld. Beschadigingen waren (nog) niet waarneembaar.

De windmolen werd door de leverancier 2 à 3 maal per jaar geïnspecteerd en zo nodig gerepareerd. Met de leverancier is een onderhoudscontract afgesloten, mede in verband met garantiebepalingen op onderdelen van de windmolen. Door het personeel van de rwzi wordt eenmaal per week of tenminste eenmaal per veertien dagen de molen gecontroleerd waarbij vooral gekeken wordt naar de diverse oliepeilen, kabeltwist en slijtage van de koppelingsrubbers.

Technische mankementen kwamen nagenoeg niet voor; de enig voorkomende storing is het in werking treden van de stormbeveiliging als gevolg van een te hoge windsnelheid. De molen wordt dan automatisch 3 uur gesperd, voordat hij met de hand weer gestart kan worden; indien de weersomstandigheden dat toelaten, is het mogelijk deze spertijd te verkorten.

Na twee jaar ontstond wat roest op de mast van de molen, voornamelijk op plaatsen waar de platen aan elkaar gelast zijn. Dit is waarschijnlijk het gevolg van een onvoldoende voorbehandeling ter plaatse van het laswerk. Aan de kop van de molen is nog geen roestvorming geconstateerd.

Een a-synchrone machine heeft voor de opwekking van zijn magnetisch veld blindstroom nodig. Deze wordt geleverd door het openbare net. Voor deze blindstroom, die geen energie aan het openbare net onttrekt, moet wel worden betaald.

Voor zelfopwekken wordt door het energiebedrijf 1,5 cent per kVARh in rekening gebracht voor zover het onttrokken blindvermogen numeriek meer is dan 60% van de afgenomen kWh's. Omdat ook de elektromotoren op de rwzi vaak niet op hun nominale waarde werken, was er een zeer hoog kVARh-verbruik. De gemeten cos phi-waarden lagen tussen 0,3 en 0,8.

Het blindvermogen kan worden beperkt door verhoging van de arbeidsfactor (cos phi). In september 1984 zijn daartoe drie draaistroomvermogenscondensatoren van 25 kVARh elk aangebracht ten behoeve van de gehele installatie. De cos phi-waarden kwamen daardoor tussen 0,90 en 1,0 te liggen. Hiermee was een bedrag van ongeveer fl. 8.500.- gemoeid. De daardoor verkregen besparing op het blindvermogen wordt op ongeveer fl. 4.000.- per jaar geraamd.

## 6 MILIEU-ASPECTEN

### 6.1 Geluid

Op vijf plaatsen is gemeten hoeveel de windmolen bijdraagt aan het totale geluidniveau van de rwzi. Vier metingen vonden plaats op of nabij de terreinbegrenzing, de vijfde op het rwzi-terrein (fig. 1). Op elke meetlocatie zijn metingen uitgevoerd met installatie + windmolen in bedrijf (alles aan) en met de installatie aan en de windmolen uit.

De metingen met "alles aan" zijn verricht bij windsnelheden van 4,5 - 5,5 m/s, de metingen "installatie aan, molen uit" bij windsnelheden van 2 - 3 m/s.

De metingen zijn uitgevoerd met de microfoon op 1,5 m boven maaiveld en gericht op de rotor.

De overheersende geluidbronnen van de rwzi bestonden uit twee puntbeluchters en een vijzel.

De motoren van de puntbeluchters straalden rondom uit; het geluid van het water in het circuit was voornamelijk in de lengterichting van het circuit (noordwest) gericht.

De motor van de vijzel straalde voornamelijk noordoost uit, het geluid van het water in de vijzel zuidwest. Deze richtingen worden bepaald door de plaatsing van de motor en de constructie van de vijzelgoot.

De opgestelde windmolen ( $n = 40$  rpm, masthoogte 20 m, rotordiameter 16 m) straalde rondom uit.

#### Analyse van de meetresultaten

De gemeten  $Leq$ -waarden liggen over het algemeen dicht in de buurt van de  $L50$ -waarden (geluidniveau dat in 50% van de gevallen wordt overschreden). De grootste afwijking  $Leq - L50$  wordt gevonden bij meting 2a:  $45,2 - 44,8 = 0,4$  dB(A). Deze afwijking is het gevolg van het meenemen van enige stoorgeluiden in de meting, hetgeen ook blijkt uit de spreiding van de gemeten geluidniveaus.

Uit de resultaten van de  $Leq$ -metingen met de windmolen in bedrijf (metingen 1a tot en met 5a) en de  $Leq$ -metingen met de windmolen buiten bedrijf (metingen 1b tot en met 5b) kan door logaritmische sommatie de bijdrage van de windmolen berekend worden (tabel 2).

meetlocatie	A-gewogen totale geluidniveau in dB (a)	A-gewogen achtergrond geluidniveau in dB (b)	berekende bijdrage windmolen in dB (A)
1	53,4	51,7	48,5
2	45,2	36,1	44,6
3	52,7	49,4	49,9
4	56,2	44,0	55,9
5	52,3	51,8	42,7

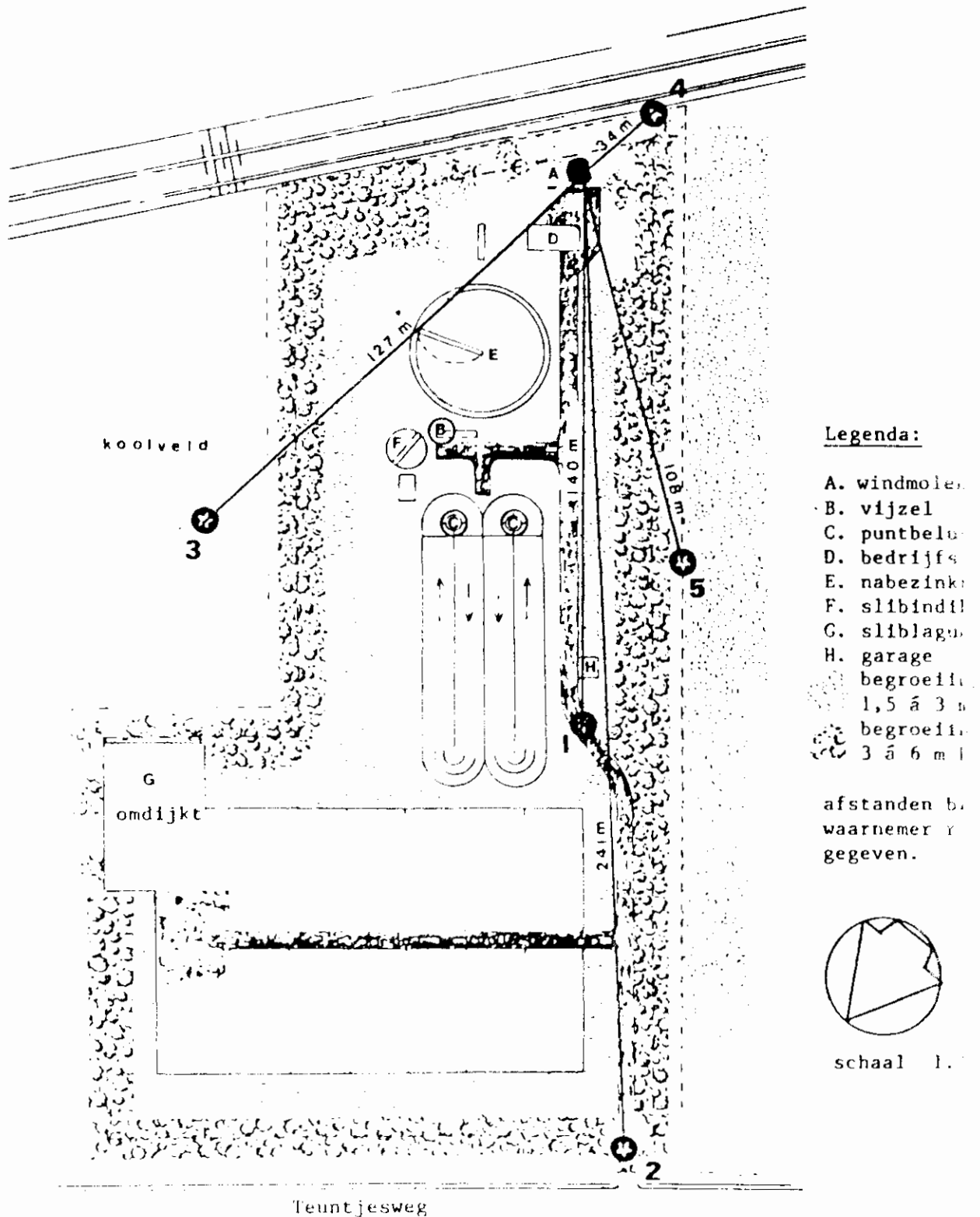
Tabel 2. Geluidniveau per meetlocatie in dB (A)

Het geluid van de rwzi bleek maatgevend voor de meetplaatsen 1 en 5; dat van de windturbine voor de plaatsen 2 en 4.

Hoewel de geluidmetingen niet geschikt zijn voor berekening van het brongeluidniveau van de windmolen, kan door extrapolatie een orde van grootte bepaald worden.



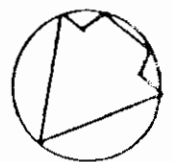
RWZI Goedereede  
Teuntjesweg 067



**Legenda:**

- A. windmolen
- B. vijzel
- C. puntbelasting
- D. bedrijfsgebouw
- E. nabezinkingsvat
- F. slibindukter
- G. sliblagun
- H. garage
- begroeiing 1,5 à 3 m
- begroeiing 3 à 6 m

afstanden b. waarnemer y. gegeven.



schaal 1:1

Fig. 1. Situatie rwzi en geluidwaarnemingsplaatsen

Uit de gemiddelde waarden van de metingen 1 tot en met 4 blijkt het geluidniveau van de windmolen te liggen tussen 92 en 95 dB (A), hetgeen overeenkomt met metingen op het ECN-testveld van het brongeluidniveau van molens met een dichte mast en wieken met een vast toerental (zoals de Bouma-molen). Tevens is bij andere metingen gebleken dat de windsnelheid slechts een zeer geringe invloed heeft op het brongeluidniveau.

## 6.2 Vogels

De schaarse literatuur op dit punt geeft aan dat er niet veel problemen te verwachten zijn. Het Rijksinstituut voor Natuurbeheer (RIN) heeft in opdracht van het Centrum voor Energiebesparing een verkennend onderzoek verricht naar de hinder van grote windturbines voor vogels. In dit project was ook de windmolen in Goedereede betrokken.

Op de vraag of en in hoeverre de windturbine te Goedereede onder daglichtomstandigheden en bij goed zicht hinder voor vogels veroorzaakt, kan het volgende gezegd worden:

- de kans op aanvaring met een turbine is onder de genoemde omstandigheden nihil. Als het al voorkomt, zal dit slechts een incidenteel karakter dragen;
- de aanwezigheid van de turbine beïnvloedt het vlieggedrag van slechts een klein deel (6 - 7%) van de vogels die binnen 220 à 300 m afstand van een turbine komen;
- het overgrote deel van de reacties vindt plaats buiten het bereik van de turbine en verloopt kalm en geleidelijk. Slechts 0,5% van alle waarnemingen valt binnen het bereik van de rotor; de reacties kunnen dan, vooral bij draaiende rotorbladen, nogal paniekachtig zijn.

De situatie in andere jaargetijden, bij nacht of slecht zicht, is niet bekend. Op andere lokaties werden ten dele andere resultaten gevonden; wel bleek ook daar de te Goedereede gevonden algemene strekking geldig (4).

In het rapport "Vogelhinder door windturbines - onderzoek en beleidsaanbevelingen" (5) is als voorlopige conclusie opgenomen dat er momenteel onvoldoende reden is voor plaatsingsbeperkingen voor individuele, middelgrote windmolens indien deze geplaatst worden bij reeds aanwezige verstoringen (bijvoorbeeld gebouwen, wegen, erven).

## 6.3 Schaduw

De schaduw van een draaiende molen geeft een zeer onrustig beeld door de relatief snel draaiende wieken. Bij de keuze van de plaats van de windmolen dient hiermee terdege rekening gehouden te worden. De plaats dient zodanig gekozen te worden dat geen overlast ontstaat voor de omgeving door flikkering. Vooral bij lage zonnestanden kan de schaduw ver reiken, tot over de aangrenzende percelen.

In Goedereede is de molen zo geplaatst dat ruimten, waar regelmatig mensen verblijven, buiten bereik zijn van de schaduw van de molen.

## 7 MEETRESULTATEN

### 7.1 Meetseries

Gedurende de periode september 1984 t/m december 1985 zijn 67.537 meetseries van 10 minuten-gemiddelden geregistreerd. Tabel 3 geeft een overzicht van het aantal meetseries per maand. Meetgegevens, opgenomen in de maanden juli en augustus 1984, waren vanwege een fout in de software van het meetsysteem maar beperkt bruikbaar. Deze gegevens zijn dan ook niet in deze evaluatie meegenomen. Naast de door het data-acquisitiesysteem verzamelde meetresultaten is wekelijks de stand van de kWh-meters en urentellers opgenomen.

Dit hoofdstuk behandelt enige relevante meetresultaten van het windregime, het functioneren van de turbine en de energiestromen tussen turbine, openbaar net en zuiveringsinrichting.

periode	aantal meetseries	% bruikbare gegevens
1984 sep	4230	97,9
okt	4439	99,4
nov	3576	82,8
dec	4441	99,5
1985 jan	3484	78,0*
feb	3759	93,2
mrt	4447	99,6
apr	4350	99,5
mei	4436	99,4
jun	4303	99,6
jul	4375	98,0
aug	4076	91,3
sep	4302	99,6
okt	4444	99,6
nov	4302	99,6
dec	4443	99,6
totaal	67357	96,0

Tabel 3. Bruikbare meetgegevens

\* data-acquisitiesysteem defect

### 7.2 Het lokale windregime

Uit vergelijking van de dag- en maandgemiddelde windsnelheden op de lokatie Goedereede en het KNMI-station "De Kooy" te Den Helder is het windregime, dat wil zeggen een gemiddelde jaarlijkse windsnelheid plus frequentieverdeling, te Goedereede bepaald.

Gekozen is voor "De Kooy" omdat dit, evenals Goedereede, dicht bij de Noordzee ligt, en omdat de correlatie tussen de daggemiddelde windsnelheid op "de Kooy" en Goedereede beter is dan de correlatie tussen - bijvoorbeeld - station Schiphol en Goedereede.

Vergelijking van de gemeten windsnelheden van "De Kooy" en Goedereede over de periode september 1984 t/m december 1985 geeft aan dat de gemiddelde windsnelheid op 20 m hoogte bij de zuiveringsinrichting te Goedereede globaal overeenkomt met de gemiddelde windsnelheid gemeten bij "De Kooy" op 10 m hoogte. Dit betekent dat de gemiddelde windsnelheid in Goedereede ter hoogte van de molen voor de lange termijn 5,9 m/s bedraagt.

De frequentieverdeling, gemeten bij de zuiveringsinrichting te Goedereede, staat weergegeven in figuur 2. Tevens is in deze figuur de aangeboden windenergie ( $1/2 \rho v^3$ ) per windsnelheidsklasse weergegeven plus de hoeveelheid die door de windturbine in elektrische energie is omgezet. De omzetting is bij 7 - 8 m/s het meest effectief, namelijk 32%.

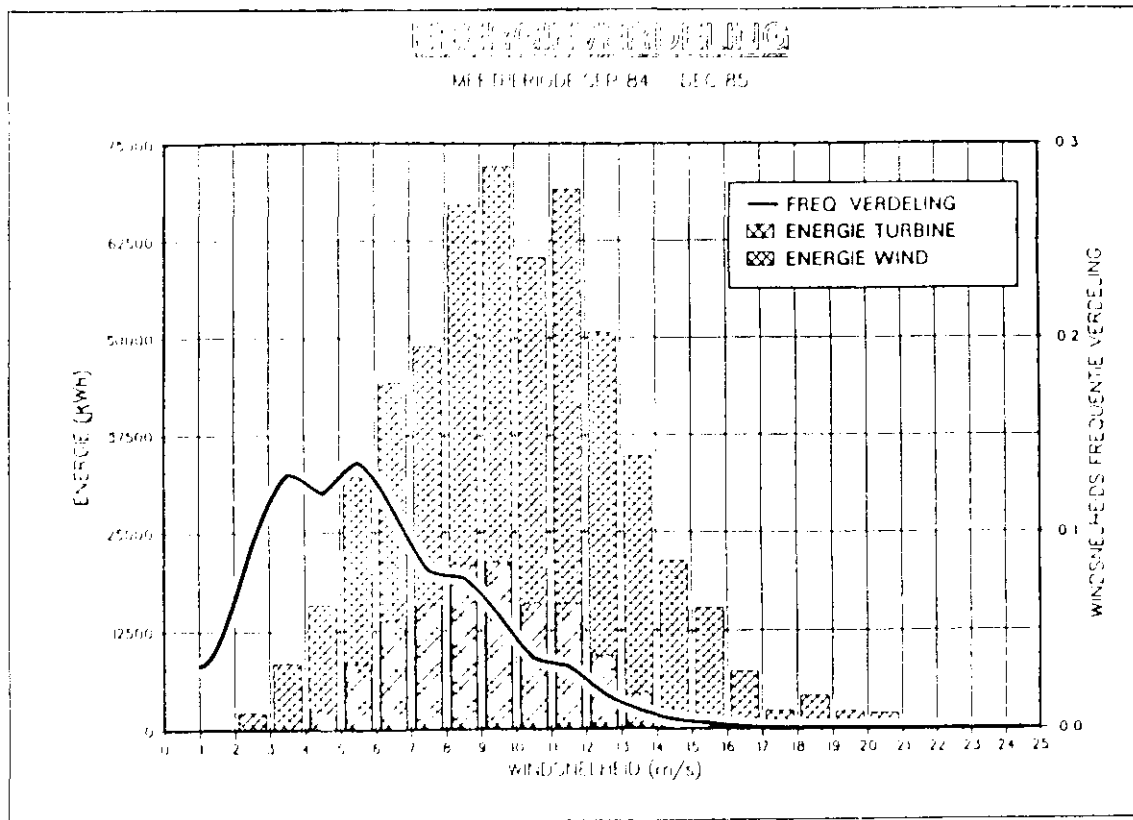


Fig. 2. Gemeten windenergiekarakteristiek en windsnelheidsfrequentieverdeling.

### 7.3 De vermogenskarakteristiek

De vermogenskarakteristiek is bepaald aan de hand van meetresultaten uit de periode januari t/m juni 1985. Bij het bepalen van de P-v-curve werd het volgende in acht genomen:

- meetseries, waarbij de windsnelheidsopnemer in het zog van de turbine heeft gestaan, zijn niet verwerkt;
- de gemeten gemiddelde vermogens worden gecorrigeerd voor luchttemperatuur en luchtdruk naar standaard-luchtdichtheid van  $1,225 \text{ kg/m}^3$ ;
- alleen die meetseries zijn verwerkt, waarbij gedurende de volle 10 minuten de turbine netgekoppeld is geweest.

De resultaten van deze verwerking staan in figuur 3. Bij deze figuur moeten twee opmerkingen gemaakt worden:

- a. bij windsnelheden lager dan de snelheid waarbij de molen wordt ingeschakeld wordt een negatief vermogen geleverd, dat wil zeggen de turbine is aan het net gekoppeld en gemiddeld wordt vermogen van het net betrokken in plaats van aan het net geleverd;
- b. boven een windsnelheid van gemiddeld 16 m/s levert de turbine geen vermogen meer. Door stormbeveiliging of thermische overbelasting van de generator wordt de turbine dan afgeschakeld.

Uit de metingen blijkt dat het maximumvermogen, gemeten als 10-minutengemiddelde, bij windsnelheden boven circa 12 m/s 90 kW bedraagt. Dit is gelijk aan de bovengrens van de vermogensopnemer. Het gevolg is dat het gemiddeld opgewekt vermogen dan ondergewaardeerd is.

In figuur 3 is tevens als onderbroken lijn de door de molenfabrikant opgegeven P-v-curve (bijlage 1, pagina 33) ingetekend. Hier blijkt dat deze in vergelijking met de praktijk aan de optimistische kant is. De NEOM leidde op basis van deze curve een mogelijke electriciteitsproductie af van 150.000 kWh per jaar; met de gemeten vermogenskarakteristiek en de langetermijnwindverwachting komt dit op circa 120.000 kWh/j.

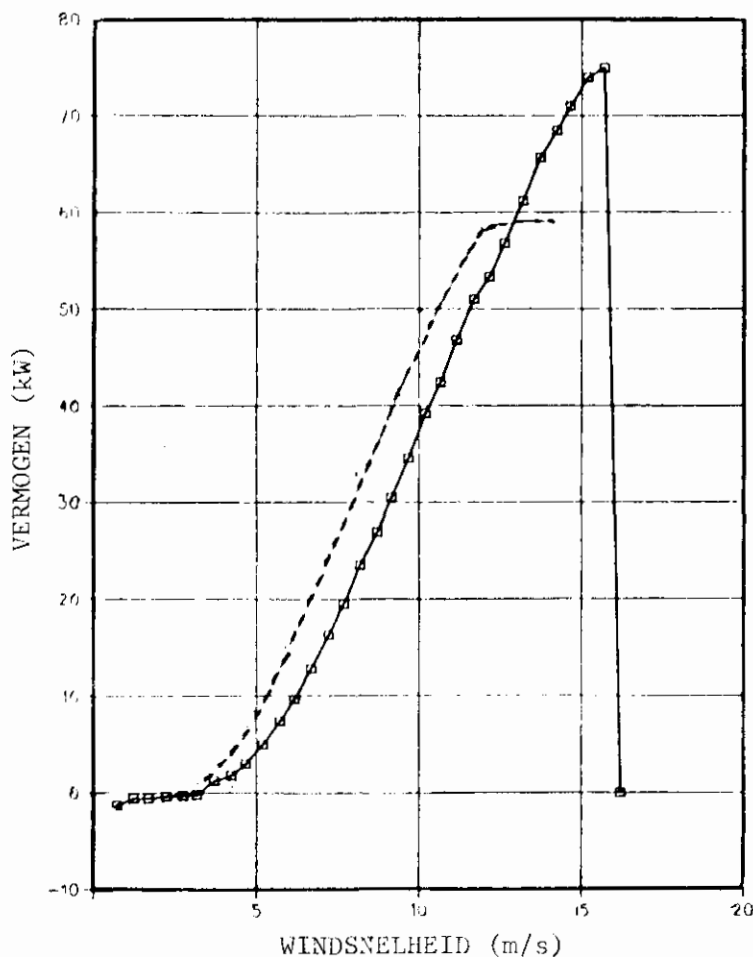


Fig. 3. Gemeten vermogenskarakteristiek (getrokken lijn) en opgegeven vermogenskarakteristiek (onderbroken lijn).

Uit controles is gebleken dat dit verschijnsel relatief weinig voorkomt. De P-v-karakteristiek is waar mogelijk hiervoor gecorrigeerd. Het rendement  $C_p$  van de installatie als functie van de windsnelheid, afgeleid uit de P-v-curve, staat weergegeven in figuur 4.

Het rendement  $C_p \cdot \eta$  is als volgt gedefinieerd:

$$C_p \cdot \eta = 2 P_e / \rho \cdot A \cdot \bar{v}^3$$

met:  $P_e$  = opgewekt elektrisch vermogen (W)

$\rho$  = soortelijke massa lucht ( $\text{kg/m}^3$ )

A = door rotor bestreken oppervlak:  $201 \text{ m}^2$

$\bar{v}^3$  = energie-inhoud van de wind

$C_p$  = aerodynamisch rendement van de rotor

$\eta$  = rendement van conversietrein (tandwielkast, generator e.d.)

Het hoogste rendement, 34%, wordt gehaald bij circa 7,0 m/s windsnelheid. Indien het rendement van de conversietrein bij deze belasting (half last) 87% bedraagt is het aerodynamisch rendement van de rotor circa 39%.

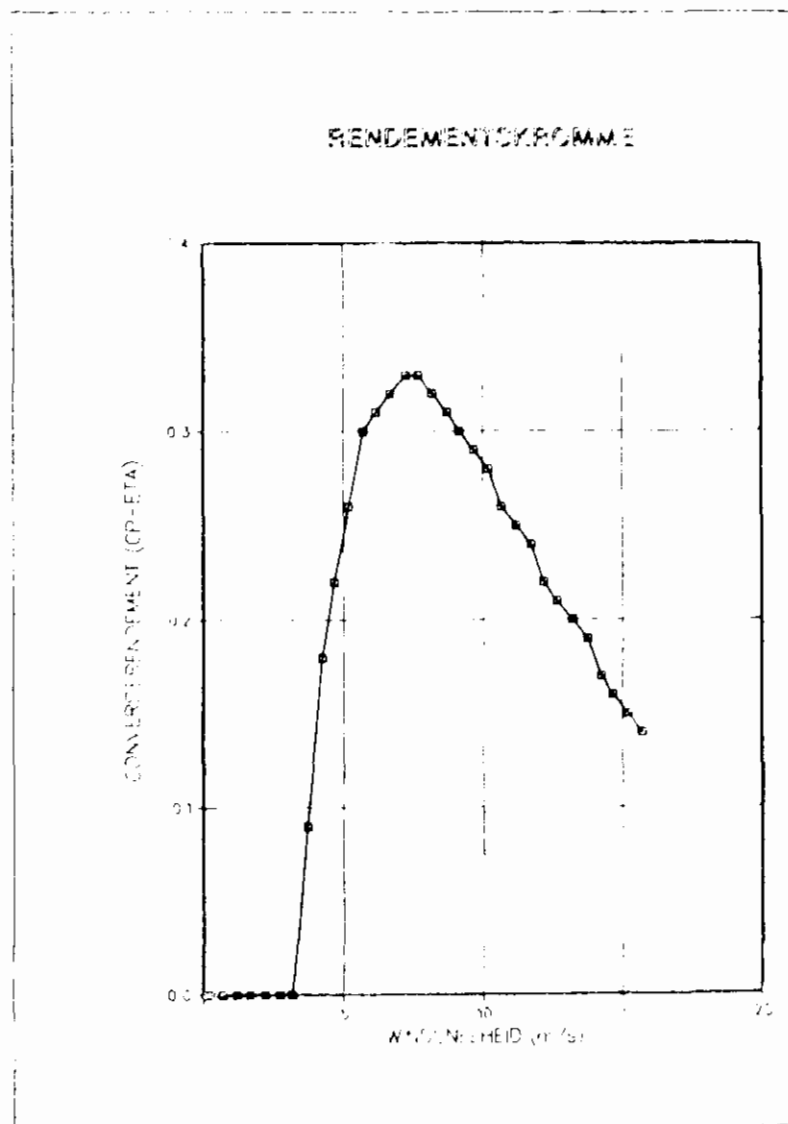


Fig. 4. Gemeten rendementskarakteristiek

## 7.4 Beschikbaarheid van de windmolen

### 7.4.1 gemiddelde beschikbaarheid

Storingen, onderhoud en dergelijke hebben verliesuren tot gevolg. Deze verliesuren zijn vanaf de ingebruikstelling van de turbine bijgehouden. Het eerste jaar (maart 1983 t/m februari 1984) handmatig en daarna met behulp van een urenteller die

- a. het aantal uren registreert gedurende welke de rem in werking is (storing of onderhoud) en
- b. de uren telt waarin de turbine niet aan het net is gekoppeld.

In tabel 4 staat de beschikbaarheid per jaar vermeld, zoals afgeleid uit de hier vermelde registraties. De beschikbaarheid is gedefinieerd als het gedeelte van de tijd waarin de turbine beschikbaar is om vermogen te leveren of vermogen levert.

jaar	uren stilstand ten gevolge van storing en/of onderhoud	beschikbaarheid (in %)
1983 (apr. - dec.)	184	97,2
1984	282	96,8
1985	562	93,6
totaal	1028	95,7

Tabel 4. Beschikbaarheid (in % van het totaal aantal uren)

Aan de hand van de geregistreeerde waarden van urentellers en de gemeten windsnelheids-frequentieverdeling is voor het jaar 1985 de tijd globaal uitgesplitst gedurende welke:

- het gemiddelde turbinevermogen positief is ( $P > 0$ );
- het gemiddelde turbinevermogen negatief is ( $P < 0$ );
- de turbine niet netgekoppeld is maar wel beschikbaar;
- de turbine niet beschikbaar is ten gevolge van storing of onderhoud.

In figuur 5 is deze verdeling in de vorm van cirkelsegmenten weergegeven. Duidelijk waarneembaar is het relatief hoog aantal uren met een gemiddeld negatief turbinevermogen.

### 7.4.2 schakelfrequentie

Rond de inschakelwindsnelheid, 4 m/s (figuur 2), en de uitschakelwindsnelheid, 16 m/s, schakelt de molen regelmatig op en van het net. Figuur 6 geeft de frequentieverdeling weer van het aantal van deze schakelingen als functie van de windsnelheid.

Deze verdeling is samengesteld aan de hand van meetresultaten uit de periode januari t/m december 1985.

Er zijn twee pieken: de voor de hand liggende rond de inschakelwindsnelheid en een tweede kleine piek rond 12,5 m/s. Het veelvuldigst wordt geschakeld bij een 10-minuten gemiddelde windsnelheid van 2 - 3 m/s. Uit de tweede piek blijkt dat de molen al bij relatief lage windsnelheid (windkracht 6 à 7) van en op het net schakelt.

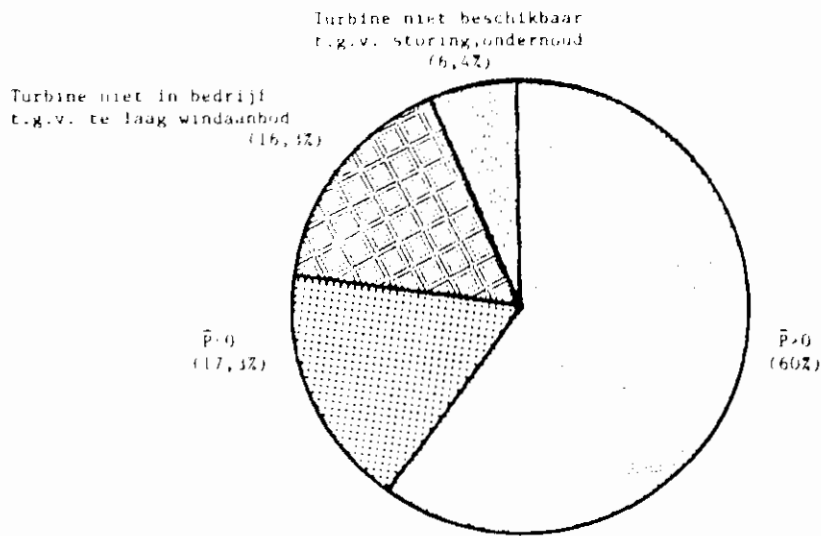


Fig. 5. Bedrijfstoestanden van de turbine in % van de tijd (1985).

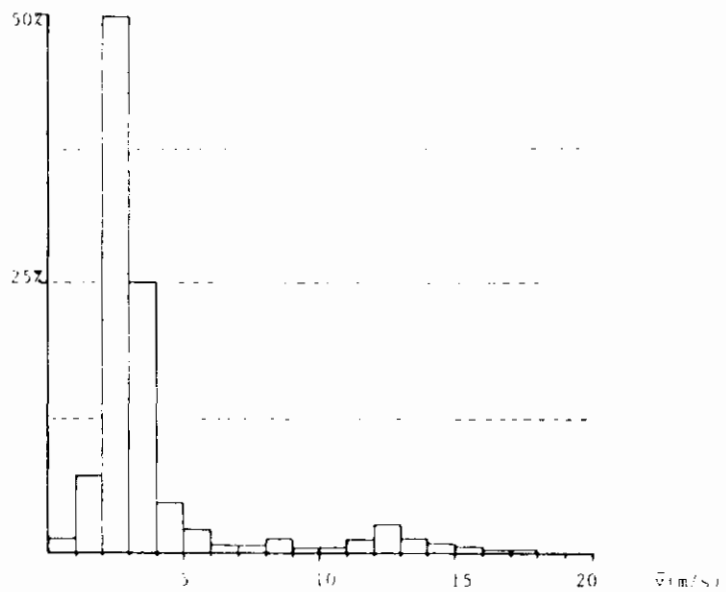


Fig. 6. Aantal schakelingen per windsnelheidsklasse in procenten van het totaal aantal schakelingen (1550 in 1985).

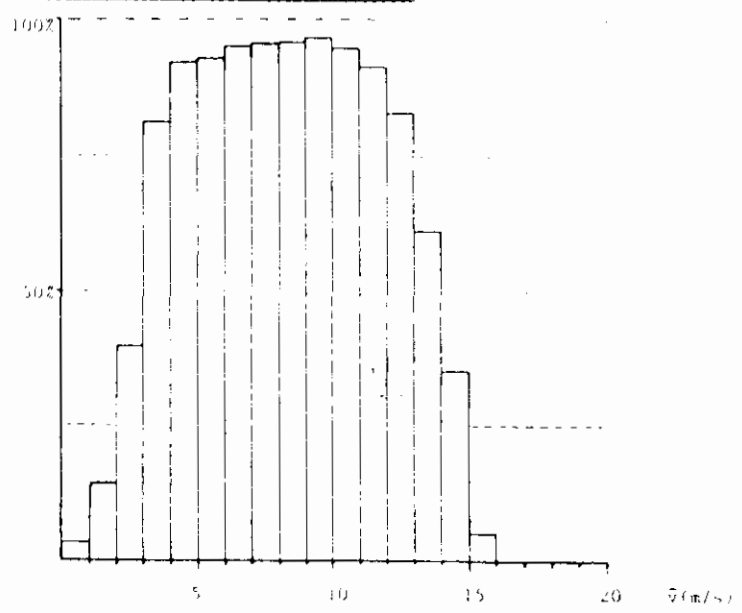


Fig. 7. Kans op netkoppeling per windsnelheidsklasse.



Uit de logboekmeldingen blijkt dat de turbine regelmatig door storm of de thermische beveiliging wordt gestopt.

Volgens de meetresultaten bedraagt het maximaal geproduceerde vermogen circa 80 kW bij gemiddeld 12,5 m/s, hetgeen voor een 55 kW machine een forse overbelasting betekent.

#### 7.4.3 kans op netkoppeling per windsnelheidsklasse

Het vermogen van de windturbine per windsnelheidsklasse (zie P-v-curve, figuur 3) is vanwege het schakelen niet continu aanwezig.

Met behulp van het signaal "netkoppeling" is per windsnelheidsklasse vastgesteld welk gedeelte van de tijd de turbine netgekoppeld is geweest. Het resultaat is grafisch weergegeven in figuur 7.

De kans dat de windturbine netgekoppeld is, is bij windsnelheden beneden de inschakelwindsnelheid (4 m/s) niet groot. Tevens blijkt dat reeds vanaf gemiddeld 10 m/s de kans op netkoppeling afneemt en boven 16 m/s tot nul is gereduceerd.

#### 7.5 De energiestromen

De maandelijksse energieproductie van de windturbine is geregistreerd met een kWh-meter die in de besturingskast van de rwzi is gemonteerd. De hoeveelheden energie die per maand door de windturbine zijn geproduceerd en door de zuiveringsinrichting zijn verbruikt, zijn gegeven in bijlage 4. De hieruit afgeleide tabel 5 geeft een jarenoverzicht.

jaar	produktie turbine (kWh)	geleverd aan net (kWh)	benutting (%)	verbruik installatie (kWh)	graad van zelfvoorz. (%)
1983 (apr/dec)	63420	6204	90,2	321500	17,8
1984	95160	9858	89,6	430062	19,8
1985	107160	10080	90,4	472020	20,6
totaal	265740	26142	90,2	1223582	19,6

Tabel 5. Energie-overzicht; totalen per jaar.

De geproduceerde windenergie is afhankelijk van het windaanbod. Met behulp van de "kwaliteitsfactor" C is het mogelijk de energieproductie te relateren aan de lokaal aangeboden windenergie volgens de vuistregel:

$$E = C \cdot v^3 \cdot A \quad (\text{kWh/jaar}).$$

Indien de energieproductie en gemiddelde windsnelheid van 1985 worden toegepast in deze formule blijkt de "kwaliteitsfactor" 2,7 te bedragen. Dit betekent een goede opbrengst.

Tabel 5 vermeldt tevens het deel van de geproduceerde energie dat direct door de zuiveringsinrichting wordt opgenomen. De gemiddelde waarde blijkt hier 90%.

Landelijk gezien is dit een hoog percentage hetgeen wordt veroorzaakt door het vaste continu-verbruik van de rwzi. Daardoor kan de opgewekte energie altijd, tenminste voor een belangrijk deel, zelf verbruikt worden.

Op basis van het gemiddelde, gelijktijdig afgenomen zomervermogen (58,4 kWh), wordt de totale produktie van de molen gebruikt.

Windsnelheden, waarbij de molen meer produceert dan 58,4 kWh, komen zo weinig voor dat de benutting rond 98% ligt.

Op basis van de winterbelasting (38 kWh) wordt zoveel aan het net teruggeleverd dat de windmolen niet meer rendabel is.

Voor een zuiveringsinrichting, waarvan het gelijktijdig afgenomen vermogen over het hele jaar vrij constant is, kan het nominaal vermogen van de molen gelijk of iets lager worden gekozen dan het gemiddeld afgenomen vermogen van de zuiveringsinrichting.

#### potentiële windenergieproduktie

Op basis van:

- het potentiële lokale windregime  $\bar{v} = 5,9$  m/s;
- de gemeten beschikbaarheid van de turbine 95,7 %;
- de gerealiseerde kwaliteitsfactor  $C = 2,7$

kan de jaarlijkse potentiële energieproduktie bepaald worden:

$$E = 2,7 * 5,9^3 * 201$$

$$E = 111.500 \text{ kWh/jaar (555 kW/jaar.m}^2\text{)}.$$

Het gemiddeld vermogen dat de windturbine levert, bedraagt 12,7 kW. Dit betekent dat het geïnstalleerd vermogen gemiddeld 23% wordt belast (equivalent aantal vollasturen is 2027 op jaarbasis).

#### energieverbruik van de zuiveringsinrichting

Het maandelijks energieverbruik van de rwzi staat vermeld in bijlage 4, inclusief het gemiddeld afgenomen vermogen. Het maandelijks afgenomen vermogen vertoont een seizoenseffect; in de winter is er een lage belasting (één puntbeluchter) en gedurende de zomermaanden een hoge belasting (twee puntbeluchters). In figuur 8 is voor de jaren 1983 t/m 1985 het maandelijks van het net betrokken vermogen, inclusief het maandelijkse aandeel van de windenergie, weergegeven.

Figuur 9 geeft de meetresultaten van de maanden december 1984 en augustus 1985 waaruit de dagelijkse gang van gemiddelde energievraag en -aanbod is af te lezen. De verschillen tussen zomer en winter zijn ook op uurbasis (figuur 10) duidelijk waarneembaar.

De jaarlijkse energiebehoefte van de rwzi staat samen met de graad van zelfvoorziening (verhouding van de rechtstreeks benutte windenergie tot de totale verbruikte energie) vermeld in tabel 5.

Een grafische voorstelling is weergegeven in figuur 11. De graad van zelfvoorziening is circa 20%, hetgeen betekent dat een wezenlijk aandeel van de totale energiebehoefte door de windturbine wordt geleverd. Dit is mede te danken aan het feit dat de inrichting nagenoeg continu meer dan 40 kW aan vermogen vraagt.

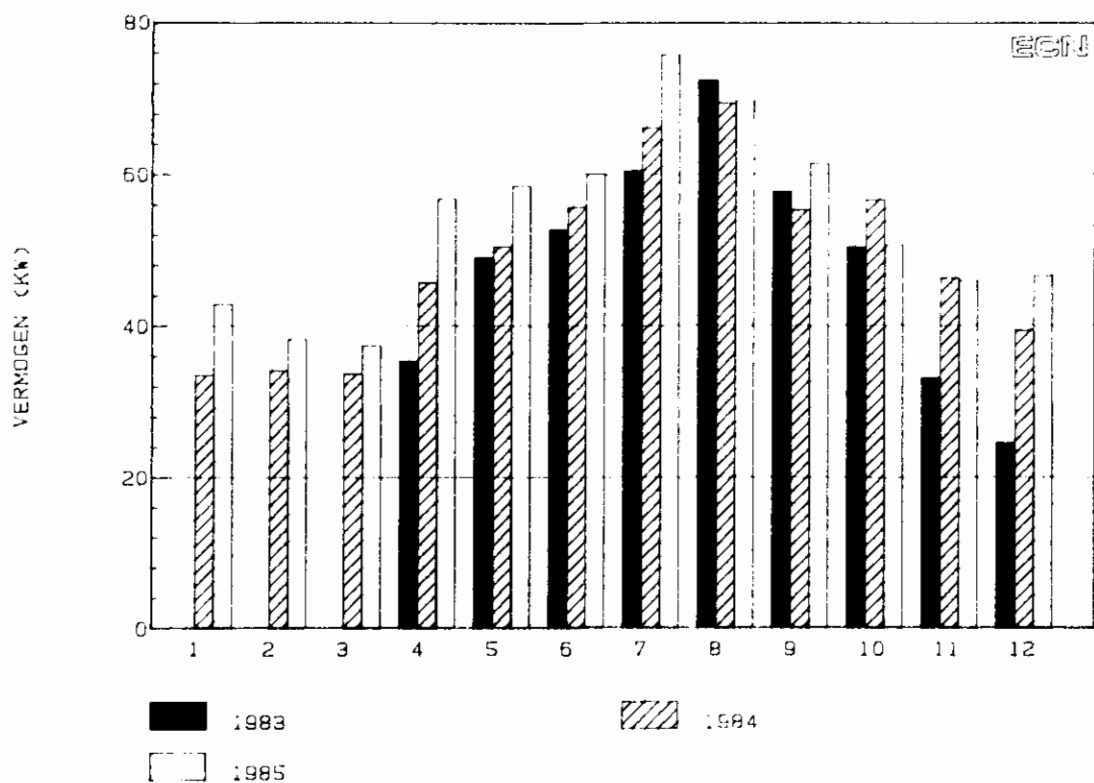


Fig. 8. Maandelijks energieverbruik

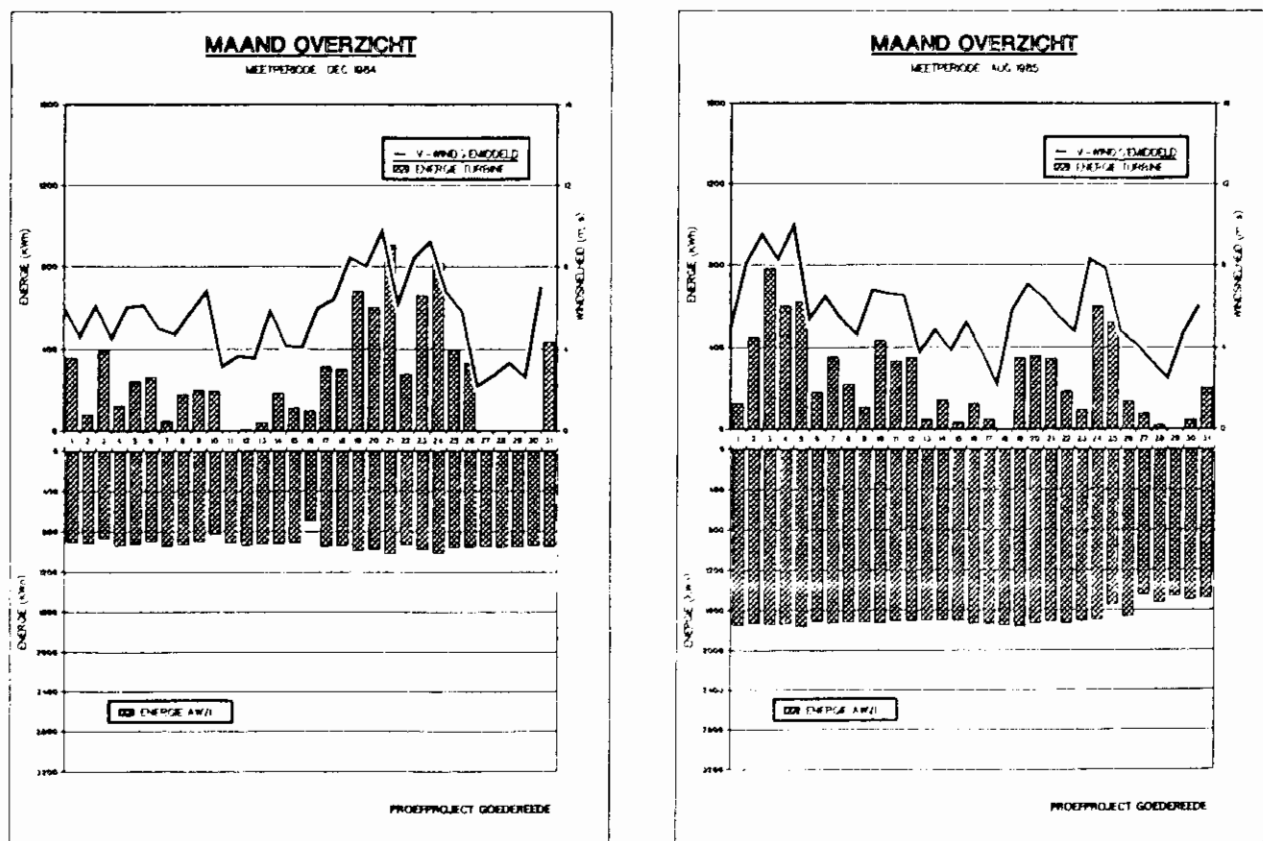


Fig. 9. Dagoverzicht van de opgewekte en verbruikte energie  
(maanden december 1984 en augustus 1985)

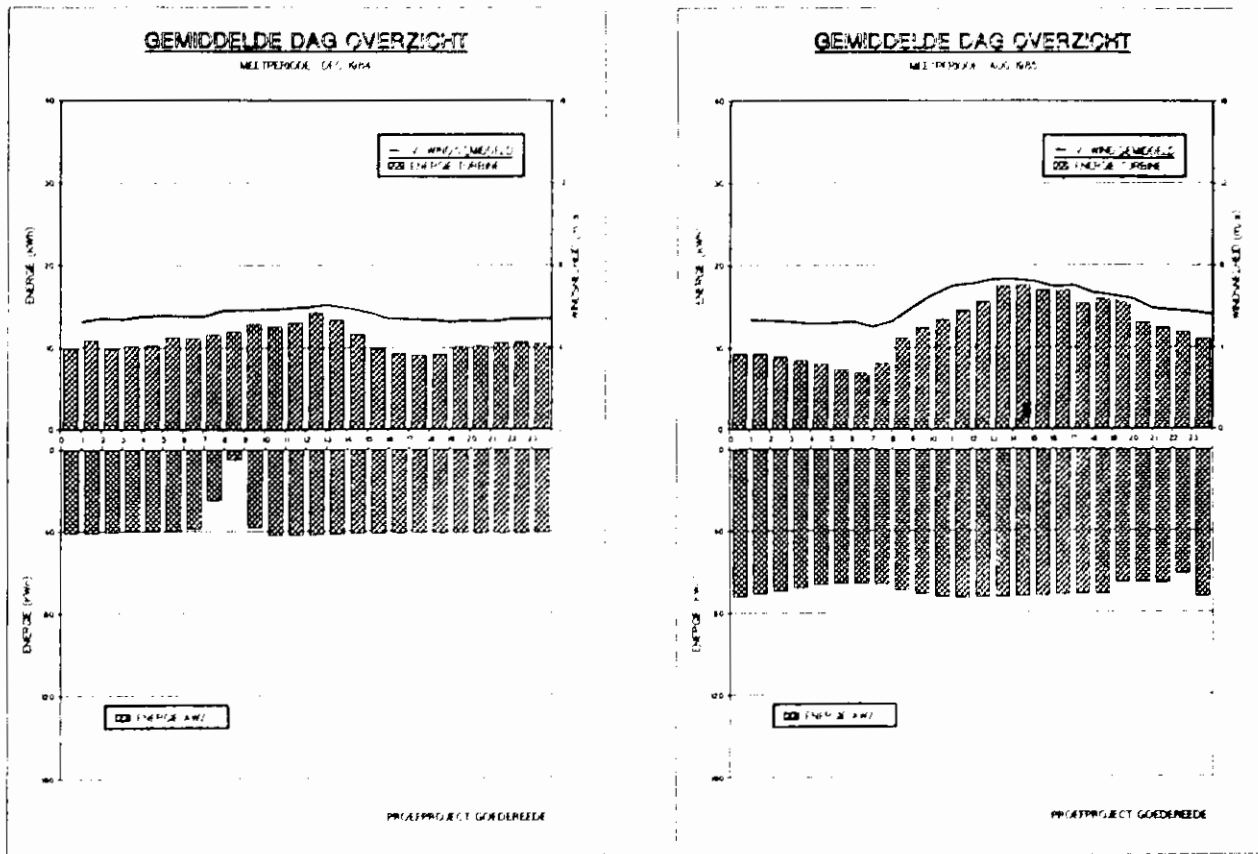


Fig. 10. Duroverzicht van opgewekte en verbruikte energie  
(maanden december 1984 en augustus 1985)

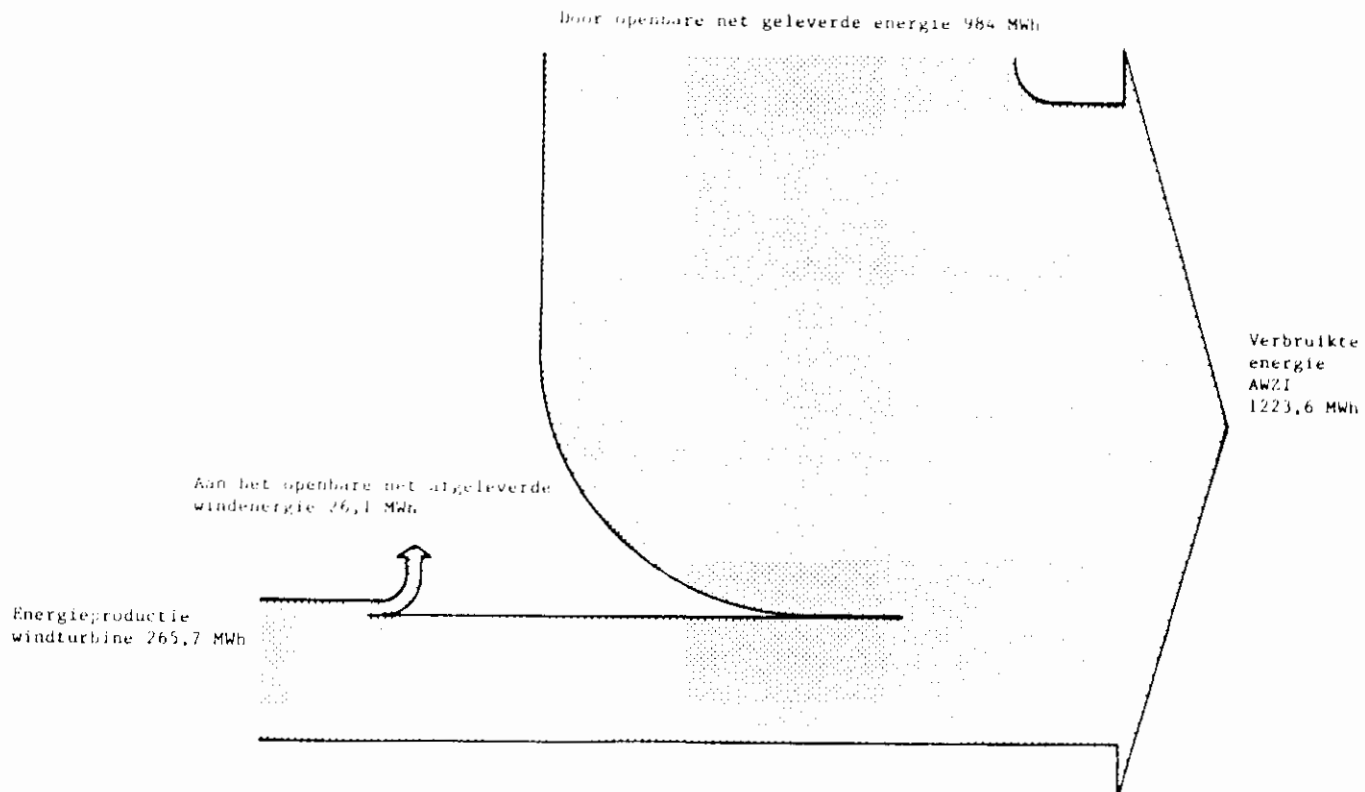


Fig. 11. Energiestroomdiagram totale installatie  
(periode april 1983 t/m december 1985)

**ECONOMIE**Kosten van energie-opwekking (afgerond)

De investeringskosten bedragen:

de windmolen compleet	f1. 114.000.-
elektrische aansluiting	" 2.000.-
fundering, betonplaat	
5 m bij 5 m en 4 betonnen heipalen (18 m)	" 10.000.-
transport en opstellen	" 2.000.-

---

 f1. 128.000.-

18% BTW

" 23.000.-

**totale investering**


---

 f1.151.000.-

subsidie (25%)

" 38.000.-

**investering na subsidie**


---

 f1.113.000.-

De jaarlijkse variabele kosten bedragen:

eigen personeelskosten	f1. 3.300.-
onderhoud derden	" 3.275.-
verzekering	" 860.-
diversen	" 565.-

---

 f1. 8.000.-

Bij deze kostenopstelling zijn het meetsysteem en de cos phi-compensatie buiten beschouwing gelaten. Het laatste omdat dit een standaardvoorziening betreft, het eerste omdat de betreffende uitgaven alleen ten behoeve van dit onderzoek werden gedaan.

Waarde opgewekte energie

Gemiddeld heeft de molen 99.390 kWh per jaar geproduceerd, waarvan 90% zelf is gebruikt.

De energiekosten zijn opgebouwd uit verschillende componenten. Ook gelden er op verschillende tijdstippen verschillende tarieven. Omdat er geen verband is tussen de tijdstippen waarop de verschillende tarieven van toepassing zijn en het windaanbod, is voor de berekeningen uitgegaan van een gemiddelde kWh-prijs: de totale energiekosten gedeeld door het aantal gekochte kWh = f1. 0,238/kWh.

De vergoeding voor de teruggeleverde kWh bedroeg voor de betreffende periode 80% van de brandstofkosten.

De jaarlijkse opbrengst bedraagt:

eigen gebruik	89.859 kWh à f1. 0,23800	= f1. 21.400.-
verkocht	9.531 kWh à f1. 0,10883	= f1 1.000.-
totaal	99.390 kWh	f1.22.400.-

Rentabiliteit

Aan de hand van deze (f1. 22.400 - f1. 8.000 = f1. 14.400) netto opbrengst/annuïteit kan de maximale investering worden berekend. Hierna volgen waarden voor de maximale investering, uitgaande van afschrijftermijnen van 10, 15, en 20 jaar, en rentepercentages van 6, 7 en 8 %.

afschrijftermijn (jaar)	rente (%)	maximale investering (fl.1000)
10	8	97
10	7	101
10	6	106
15	8	123
15	7	131
15	6	140
20	8	141
20	7	152
20	6	165

Hieruit blijkt dat de onderhavige investering - afgezien van de laatste twee in de praktijk onwaarschijnlijke combinaties van rente en afschrijftermijn - zonder de bijdrage van 25% uit de "non-profit"-regeling niet rendabel is. Bij, voor electro-mechanische apparatuur gebruikelijke, omstandigheden van 8% rente en afschrijving over 15 jaar blijkt de gepleegde investering slechts rendabel met 25% subsidie.

Uitgaande van een annuïtaire afschrijving over 15 jaar, bij 8% rente is de jaarlijkse last over de totale investering fl. 17.700.-. Over de investering na subsidie is dit fl. 13.200.-.

De terugverdientijd, afhankelijk van de te verwachten jaarlijkse prijsstijgingen van de netto opbrengst, geeft het volgende beeld:

prijsstijging	rente	terugverdientijd in jaren voor	
		totale investering (fl. 151.000.-)	investering na subsidie (fl. 113.000.-)
3 %	8%	23,7	12,8 jaar
3 %	8%	15,7	9,5 jaar
5 %	8%	12,4	8,5 jaar

De resultaten van deze berekeningen worden sterk beïnvloed door de prijs van de ingekochte kWh, de rentevoet, de opbrengst van de molen en de vergoeding voor de teruggeleverde kWh.

Bovengenoemde terugverdientijden zijn zeker niet optimistisch berekend; de geproduceerde energie bleef met circa 20% achter bij de langetermijnwindverwachtingen, terwijl het teruglevertarief na de proefperiode met 1,5 ct/kWh opgetrokken werd.

De netto opbrengst bedraagt voor die condities ruim fl. 19.000.- waardoor de totale investering à fl. 151.000.- bij 15 jaar afschrijving en 8% rente rendabel kan zijn.

De eerste drie jaren van het windturbineproject waren door de redelijk goede opbrengst en de geldende energietarieven economisch niet ongunstig.

Als gevolg van de sterk gedaalde olieprijsen echter is de brandstofvoet in de tarieven meer dan gehalveerd. De tarieven voor de uitgespaarde en teruggeleverde energie zijn daardoor zodanig teruggelopen (prijsspeil december 1986) dat voor de omstandigheden op de rwzi Goedereede opwekking van windenergie niet rendabel is.

## 9 CONCLUSIES

### Technische aspecten

De gevolgde selectieprocedure heeft geleid tot een keuze van de juiste molen. Na wat aanloopproblemen gedurende de eerste paar maanden functioneerde de molen goed. Het is van belang over gekwalificeerd personeel te kunnen beschikken om storingen snel te onderkennen en routinematig onderhoud zelf te plegen. Na ruim twee jaren hebben zich geen noemenswaardige problemen voorgedaan. Dit blijkt uit de hoge beschikbaarheid van de molen, ruim 95%.

Wel verdient het aanbeveling de molen voor plaatsing te laten voorzien van een goed verfsysteem.

De molen levert op de lokatie Goedereede geen overlast voor het milieu.

### Economische aspecten

Mede op indicaties uit de haalbaarheidsstudie is dit demonstratieproject opgezet. Toetsing aan de resultaten van een meetperiode van ruim twee jaar geeft een wat ander beeld dan aanvankelijk werd aangenomen; met name de produktie van de windmolen ligt lager dan de prognose, die mede gebaseerd was op de aanvankelijk te optimistisch opgegeven vermogenskarakteristiek. Door de betere benutting van de opgewekte energie voor de eigen behoefte (90% in plaats van 73%) komen de resultaten weer nagenoeg overeen met de prognoses uit de haalbaarheidsstudie.

Bij de windsnelheden, zoals die in 1984 en 1985 heersten, is de molen zonder 25% subsidie niet rendabel. De netto jaaropbrengst à fl. 14.400.- is niet voldoende om de jaarlijkse lasten à fl. 17.700.- te dekken. De windsnelheden in die periode waren echter lager dan normaal.

Op basis van de langetermijnwindverwachting zou de energie-opbrengst circa 20% hoger zijn uitgevallen en de netto jaaropbrengst op circa fl. 19.000.- zijn uitgekomen. De molen zou dan zonder subsidie rendabel zijn.

Veranderende rentetarieven en/of energieprijzen beïnvloeden deze marginale rentabiliteit in zeer sterke mate. Door de in 1986 opgetreden halvering van de brandstoftoeslag in de energietarieven zijn deze zodanig teruggelopen dat ook bij de 20% hogere opbrengst opwekking van windenergie op de rwzi Goedereede niet rendabel is.

Subsidies zoals die van het huidige Integraal Programma Windenergie kunnen hier een gunstige wending in brengen.

## LITERATUUR

1. Energie uit gistingsgas. Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (STORA), Rijswijk, januari 1983.
2. Gistingsgas als energiebron op rioolwaterzuiveringsinrichtingen. Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (STORA), Rijswijk, augustus 1981.
3. Windenergie op rioolwaterzuiveringsinrichtingen. Mechanische toepassingen. Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (STORA), Rijswijk, januari 1984.
4. Winkelman, J.E. - Vogelhinder door middelgrote windturbines. Een verkennend onderzoek naar vlieggedrag, slachtoffers en verstoring. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem, 1984.
5. Vogelhinder door windturbines - onderzoek en beleidsaanbevelingen. Begeleidingscommissie vogelonderzoek, Centrum voor Energiebesparing Delft, oktober 1984.



B I J L A G E N

=====

Windturbineprojekt afvalwaterzuiveringsinstallatie GoedereedeI. Inleiding

Op 23 juni vond ten kantore van het zuiveringsschap ZHEW een bespreking plaats m.b.t. een eventueel windturbineprojekt bij een afvalwaterzuiveringsinstallatie te Goedereede.

Deelnemers aan de bijeenkomst waren:

Zuiveringsschap ZHEW

STORA

NEOM.

Een van de afspraken m.b.t. dit projekt was, dat NEOM d.m.v. een viertal berekeningen de haalbaarheid van het projekt zou onderzoeken.

Deze berekeningen zijn:

1. Bepaling van de turbine grootte, welke zo goed mogelijk past bij de belasting van de zuiveringsinstallatie.
2. Berekening van de toelaatbare investering (wat mag de turbine kosten).
3. Berekening van de kosten per kWh, geleverd door de windturbine.
4. Berekening van de interne rentevoet en de terugverdientijd.

Deze berekeningen zijn in deze notitie uitgevoerd.

II. Bepaling van de turbine-diameter.

- commercieel verkrijgbare typen.

Momenteel worden commercieel slechts een viertal turbine-typen aangeboden:

. 10 m Ø	10 à 15 kW	f 70.000,-
. 16 m Ø	50 à 60 kW	f 135.000,-
. 20 m Ø	150 à 165 kW	f 425.000,-
. 25 m Ø	250 à 300 kW	f 1.000.000,-.

De zuiveringsinstallatie heeft bij normaal bedrijf een konstante belasting van 30 kW. In het zomerseizoen kan deze belasting tijdelijk het dubbele bedragen.

Uitgaande van de konstante belasting van 30 kW lijkt de 16 m-turbine de meest geschikte, hetgeen in het vervolg nader onderbouwd wordt.

- Korrektiefactoren m.b.t. de opbrengst.

Uitgangspunt voor de opbrengst is het windregime Hoek van Holland (meest nabijgelegen KNMI-station; zie ook bijlage 1).

Hoek van Holland en Goedereede liggen beiden in een gebied waar de gemiddelde windsnelheid ligt tussen de 5,5 m/sec en 6,2 m/sec (pag. 39).

Nemen we aan dat Hoek van Holland een gemiddelde windsnelheid heeft van 6,2 m/sec en Goedereede een gemiddelde windsnelheid van 5,8 m/sec.

Dan wordt de correctiefactor voor de opbrengst  $\left(\frac{5,8}{6,2}\right)^3 = 0,8$ .

Deze opbrengst dient verder nog gecorrigeerd te worden voor de ashoogte (20 m) en de ruwheid van het terrein.

Wat betreft het laatste gaan we uit van de ruwheidsklasse 4 (bouwland met laag gewas, weinig verspreide obstakels op vrij grote onderlinge afstand van elkaar).

Uitgaande van een ashoogte van 20 m wordt de correctiefactor voor de windsnelheid  $\left(\frac{v_{20}}{v_{10}}\right) = 1,08$

Het vermogen is evenredig met  $v^3$ .

De correctiefactor voor de opbrengst wordt dan 1,25.

De correctiefactoren hoogte en ruwheid enerzijds en ligging anderzijds hebben tegengestelde effecten en blijken elkaar te compenseren:  
 $1,25 \times 0,8 = 1$ .

- Berekening opbrengst en teruglevering.

Uitgangspunt windregime in Hoek van Holland.

Klasse 10 m hoogte	Vermogen (kW) (Bijlage 3)	Percentage	Opbrengst totaal kWh	Terug- levering
0	-	2,82	-	
1	-	5,27	-	
2	-	10,70	-	
3	-	12,80	-	
4	0	11,98	0	
5	8	10,84	7.597	-
6	16	9,91	13.890	-
7	25	8,50	18.615	-
8	33	6,02	17.403	1.582
9	41	5,63	20.221	5.425
10	50	4,45	19.491	7.796
11	56	3,28	16.090	7.470
12	58	2,59	13.159	6.353
13	59	1,74	8.993	4.420
14	59	1,24	6.409	3.150
15	59	0,58	2.998	1.473
16	59	0,54	2.791	1.372
17	59	0,43	2.222	1.092
18	59	0,25	1.292	635
19	59	0,15	775	381
20	59	0,08	413	203
			Totaal 152.359	41.352

Terugleveringspercentage bedraagt 27%.

Dit terugleveringspercentage zou verminderd kunnen worden door een kleinere molen toe te passen of meerdere 10 m Ø-turbines.

Echter de investering van 2 stuks 10 Ø-turbines bedraagt f 140.000,- hetgeen meer is dan de investering voor de 16 m Ø-turbine.

Konklusie: toepassing van 2 stuks 10 m Ø turbines vervalt.

Toepassing van de nog grotere 20 m Ø-turbine levert een beduidend groter terugleverpercentage op: + 75% terwijl de investering f 425.000,- bedraagt, ongeveer 3 x hoger als voor de 16 m Ø-turbine. De economie zal hierdoor zeer negatief beïnvloed worden zodat ook de toepassing van de 20 m Ø -turbine als niet zinvol vervalt.

III. Berekening van de toelaatbare investering, uitgaande van 16 m Ø-turbine

Uitgangspunten:

Tarieven	kWh-prijs	17,51 cent
	Vergoeding teruggeleverde kWh	11,00 cent
Non-profit subsidie		25 %
Onderhoud + verzekering per jaar (opgave fabrikant: Bouma).		f 3.500,-
Rente		11 %
Looptijd		10 jaar
Annuiteit		16,98 %

Bij de bepaling van de maximale investering wordt er van uitgegaan dat de onderhouds- en kapitaalskosten samen betaald worden uit de opbrengst zijnde de geproduceerde kWh's vermenigvuldigd met de bijbehorende tarieven.

Bruto opbrengst:

Uitgespaarde kWh's	$0,73 \times 152.000 \times 0,1751$	= 19.429
Teruggeleverde kWh's	$0,27 \times 152.000 \times 0,11$	= <u>4.514</u>
	Totaal	23.943

$16,98\% \times (\text{investering minus non-profit subsidie}) =$

$23.943 - 3.500 = f 20.443.$

Investering minus non-profit subsidie =  $\frac{20.443}{16,98} \times 100 = f 120.000,-$

Totale investering zonder subsidie =  $\frac{120.000}{0,75} = f 160.000,$

IV. Berekening van de kosten per kWh geleverd door de windturbine

Uitgangspunten:

Opbrengst 152.000 kWh/jaar

Teruglevering 27 %

Investering	turbine	f 120.000,-	
	fundatie	f 13.000,-	
	aansluiting	f 2.000,-	
	Totaal	f 135.000,-	
Non-profit subsidie			25 %
Onderhoud en verzekeringen per jaar		f 3.500,-	
Rente			11 %
Looptijd			10 jaar
Annuïteit			16,98%
Investering minus non-profit subsidie =			
	0,75 x f 135.000,-	=	f 101.250,-
Kapitaalskosten 0,1698 x 101.250		=	f 17.192,-
Verzekering		+ f	3.500,-
	Totaal	f	20.692,-
Opbrengst teruglevering 0,27 x 152.000 x 0,11 =		- f	4.514,-
	Blijft over	f	16.178,-
Kosten per gebruikte wind kWh 16.178/(0,73 x 152.000)=		f	0,1458

De wind-kWh is dus 2,9 cent goedkoper.

V. Berekening van de interne rentevoet en de terugverdientijd.

Het resultaat van de berekening in 3. is slechts een momentopname. De bepaling van de interne rentevoet en de terugverdientijd geeft informatie over het project gedurende de totale projectperiode.

Uitgangspunten:

Investering	f 135.000,-
Non-profit subsidie	25%
Tarieven kWh-prijs	f 0,0380
1982 brandstoftoeslag per kWh	f 0,1371
teruglevertarief per kWh	f 0,11
Brandstofkostenstijging reëel per jaar	1 %
Inflatie per jaar	6 %
Opbrengst	152.000 kWh
Teruglevering	27 %
Verzekering	f 2.000,-
Onderhoud, 1e jaar gratis, 2e jaar	f 1.450,-

Jaar	Onderhoud	Verzekering	Uitgespaarde brandstofkosten		Teruglevering	Cashflow -101.250	Cashflow geakkumuleerd
			basiskosten	brandstoftoeslag			
1982	-	2.000	4.469	16.277	4.830	23.576	- 77.674
1983	1.450	2.120	4.738	17.417	5.169	23.754	- 53.920
1984	1.537	2.247	5.022	18.636	5.530	25.404	- 28.156
1985	1.629	2.382	5.323	19.941	5.917	27.170	- 1.346
1986	1.727	2.525	5.643	21.336	6.332	29.059	+ 27.713
1987	1.831	2.676	5.981	22.830	6.775	31.079	+ 58.792
1988	1.940	2.837	6.340	24.428	7.249	33.240	+ 92.032
1989	2.057	3.007	6.720	26.138	7.757	33.551	+127.583
1990	2.180	3.188	7.124	27.968	8.300	38.024	+165.607
1991	2.311	3.379	7.551	29.926	8.881	40.668	+206.275

De terugverdientijd bij 0% interest bedraagt 4 jaar

De interne rentevoet is 24%

## VI. Gevoeligheid voor windregime

Voorgaande berekeningen zijn ook uitgevoerd voor het windregime van Vlissingen; de resultaten zijn dan:

Opbrengst	138.000	kWh
Terugleverpercentage	22	%
Windturbine	16 m Ø	beste keuze
Toelaatbare investering	f 147.000,-	
Kosten per wind kWh	f 0,1612	
Interne Rentevoet	22	%
Terugverdientijd	4,3	jaar

## VII. Konklusie en samenvatting

- Uitgaande van de aangeboden typen windturbines is de 16 m Ø-turbine de meest geschikte voor de toepassing te Goedereede.
- Maximaal mag de investering voor de turbine f 147.000,- à f 160.000,- bedragen om nuquitte te spelen (zonder rekening te houden met de non-profit subsidie); afhankelijk van het windregime waarvan men uitgaat. De aangeboden turbines van dit formaat zijn goedkoper.
- De kosten per kWh afkomstig van de turbine bedragen f 0,1458 à f 0,1612, d.i. 2,9 à 1,4 cent goedkoper als de prijs die men nu betaalt aan het E-bedrijf.
- De interne rentevoet bedraagt 22% à 24%, de terugverdientijd bij 0% interest is 4 à 4,3 jaar.
- Konklusie: uitgaande van de aannamen m.b.t. het windregime en de kWh-prijzen is de realisering van dit projekt zinvol.

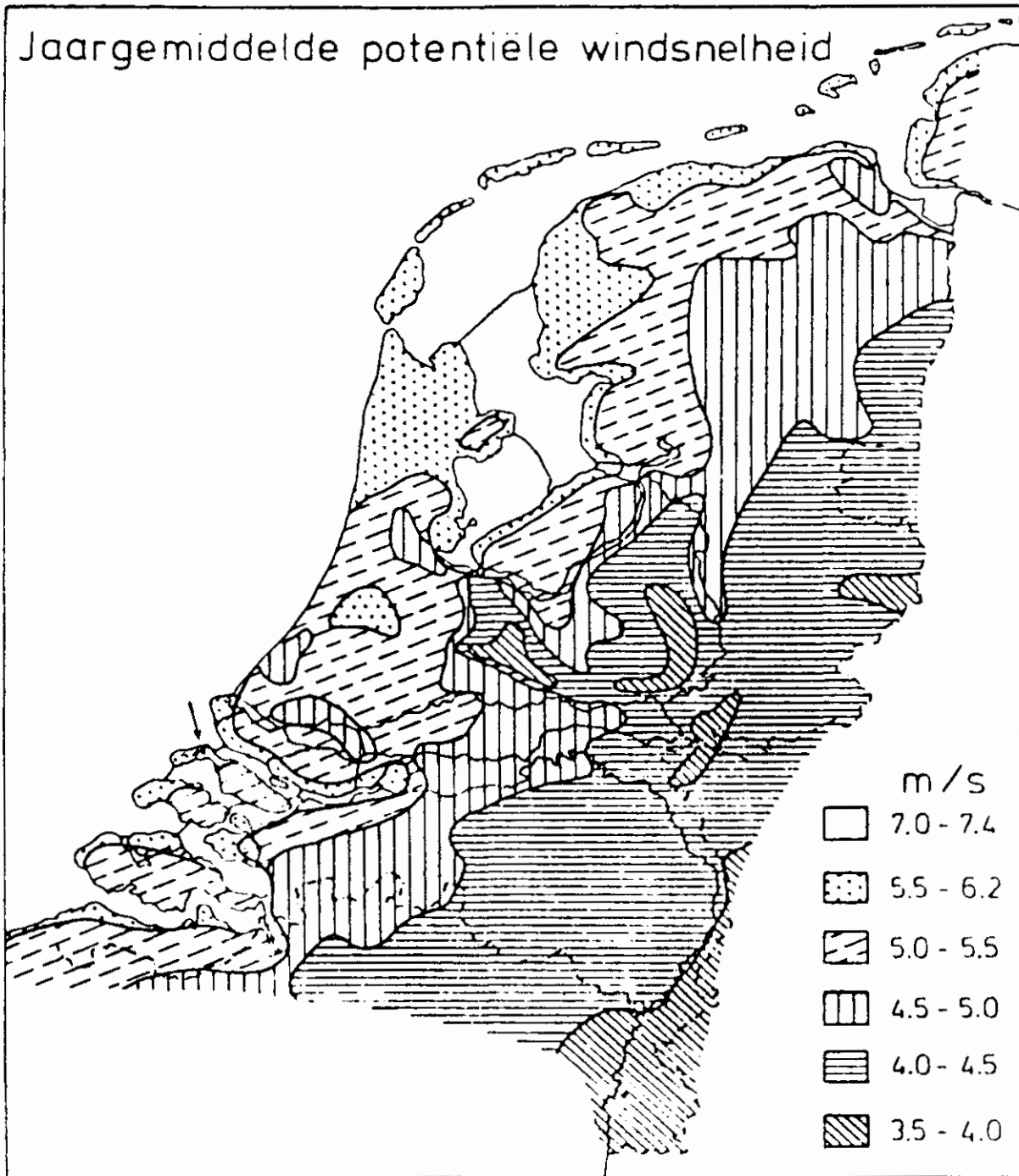


FREKMENTIEVERDELING (IN PROC.) VAN DE WINDRICHTING EN -SNELHEID  
JAAR

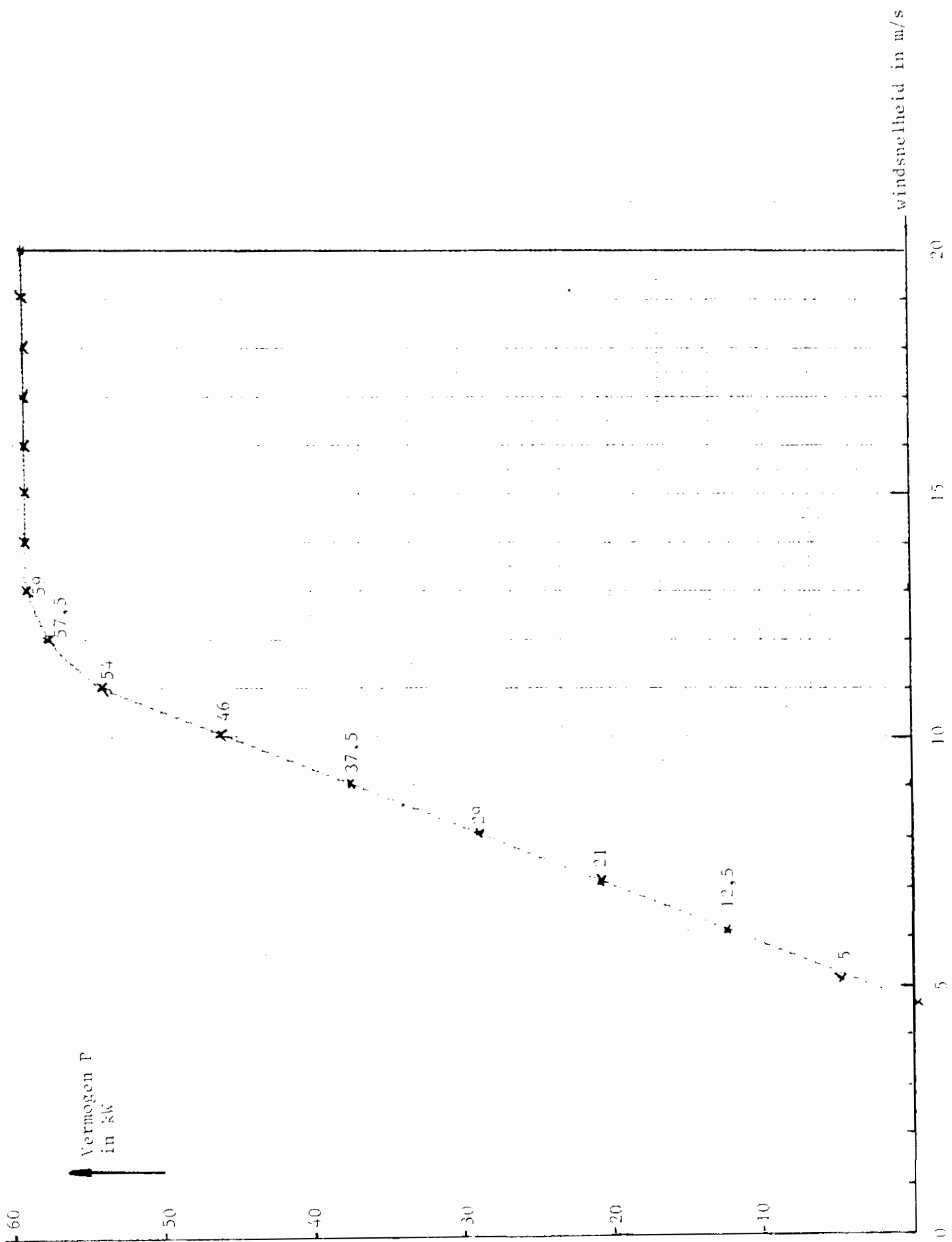
STATION MEEK V. MOLL.	STAT.NR	VAN T/M	KLASSE	M I N D E R I C H T I N G																290 310	320 340	VER- STIL TOTAAL
				020 040	050 070	060 100	110 130	140 160	170 190	200 220	230 250	260 280	290 310	320 340	VER- STIL							
1	330	0	0	.03	.07	.08	.04	.06	.05	.03	.03	.04	.03	.04	.03	.04	.03	2.29	2.02			
2		1	1	.28	.65	.85	.44	.53	.48	.23	.23	.28	.29	.28	.29	.28	.29	.36	5.27			
3		2	2	.69	1.32	1.81	.91	1.05	1.03	.51	.51	.60	.68	.61	.68	.61	.68	.94	10.70			
4		3	3	.97	1.11	2.08	.90	1.06	1.11	.79	.79	.89	.72	.72	.72	.72	.72		12.80			
5		4	4	.98	1.08	1.71	.85	1.02	1.25	.94	.94	.93	.86	.72	.86	.72	.86		11.99			
1954 T/M 1970		5	5	1.06	.83	1.17	.62	.78	1.15	.98	1.09	1.00	.88	.71	.88	.71	.88		10.84			
6		6	6	.99	.70	.71	.46	.64	1.07	1.30	1.30	.99	.83	.70	.83	.70	.83		9.91			
7		7	7	.81	.49	.48	.28	.40	.62	1.05	1.42	1.09	.65	.66	.65	.66	.65		8.59			
8		8	8	.55	.29	.20	.12	.25	.60	.80	1.22	.77	.53	.48	.53	.48	.53		6.02			
9		9	9	.49	.22	.15	.07	.19	.50	.87	1.28	.76	.35	.43	.35	.43	.35		5.83			
10		10	10	.34	.18	.06	.04	.10	.36	.76	1.14	.63	.48	.37	.48	.37	.48		4.85			
11		11	11	.26	.07	.04	.02	.06	.21	.55	.96	.49	.35	.25	.35	.25	.35		3.28			
12		12	12	.14	.06	.02	.01	.03	.16	.46	.93	.34	.20	.20	.20	.20	.20		2.59			
13		13	13	.07	.02	.01	.00	.01	.08	.29	.61	.26	.22	.15	.22	.15	.22		1.74			
14		14	14	.06	.01	.01	.00	.01	.05	.22	.42	.19	.15	.12	.15	.12	.15		1.24			
15		15	15	.03	.00	.00	.00	.00	.03	.11	.23	.10	.09	.07	.09	.07	.09		.58			
16		16	16	.02	.00	.00	.00	.00	.02	.09	.21	.08	.07	.03	.07	.03	.07		.54			
17		17	17	.01	.00	.00	.00	.00	.02	.09	.14	.07	.05	.03	.05	.03	.05		.43			
18		18	18	.01	.00	.00	.00	.00	.01	.04	.07	.05	.04	.02	.04	.02	.04		.25			
19		19	19	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.05	.04	.02	.01	.02	.01	.02		.15			
20		20	20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.02	.02	.01	.01	.01	.01	.01		.08			
21		21	21	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.00	.01	.00	.01		.03			
22		22	22	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.01	.00	.00		.03			
23		23	23	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.00	.00	.01	.00	.00		.02			
24		24	24	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.01	.00	.01	.00	.01		.02			
25		25	25	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.00	.01	.00	.01	.00	.01		.01			
26		26	26	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.00	.01	.00	.01		.00			
27		27	27	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.00	.01	.00	.01		.00			
28		28	28	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.00	.01	.00	.01		.00			
VER. 1		29	29																			
VERANDERLIJKE WINDRICHTING				7.83	6.01	7.00	9.24	6.16	9.31	9.93	13.53	9.64	7.28	6.61	7.28	6.61	7.28	2.69	10)			
STIL WINDSTILTE																						
AANTAL JAARREMIJNGEN: 12/137																						
AANTAL ONTBREKENDE WAARREMIJNGEN: 23516																						

De windrichting en de windsnelheid zijn gemiddeld over 10 minuten rond het hele uur.

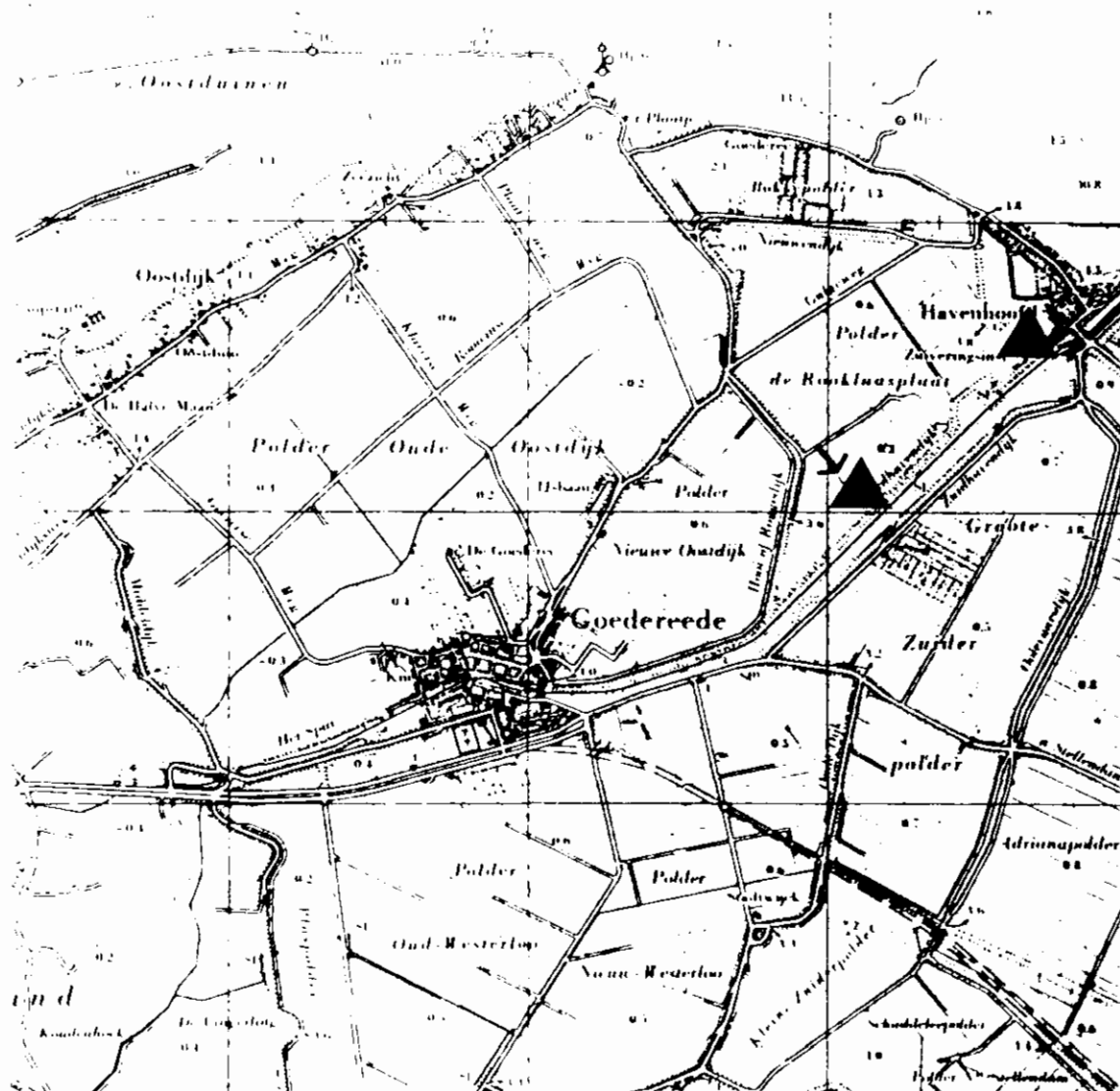
# Jaargemiddelde potentiële windsnelheid



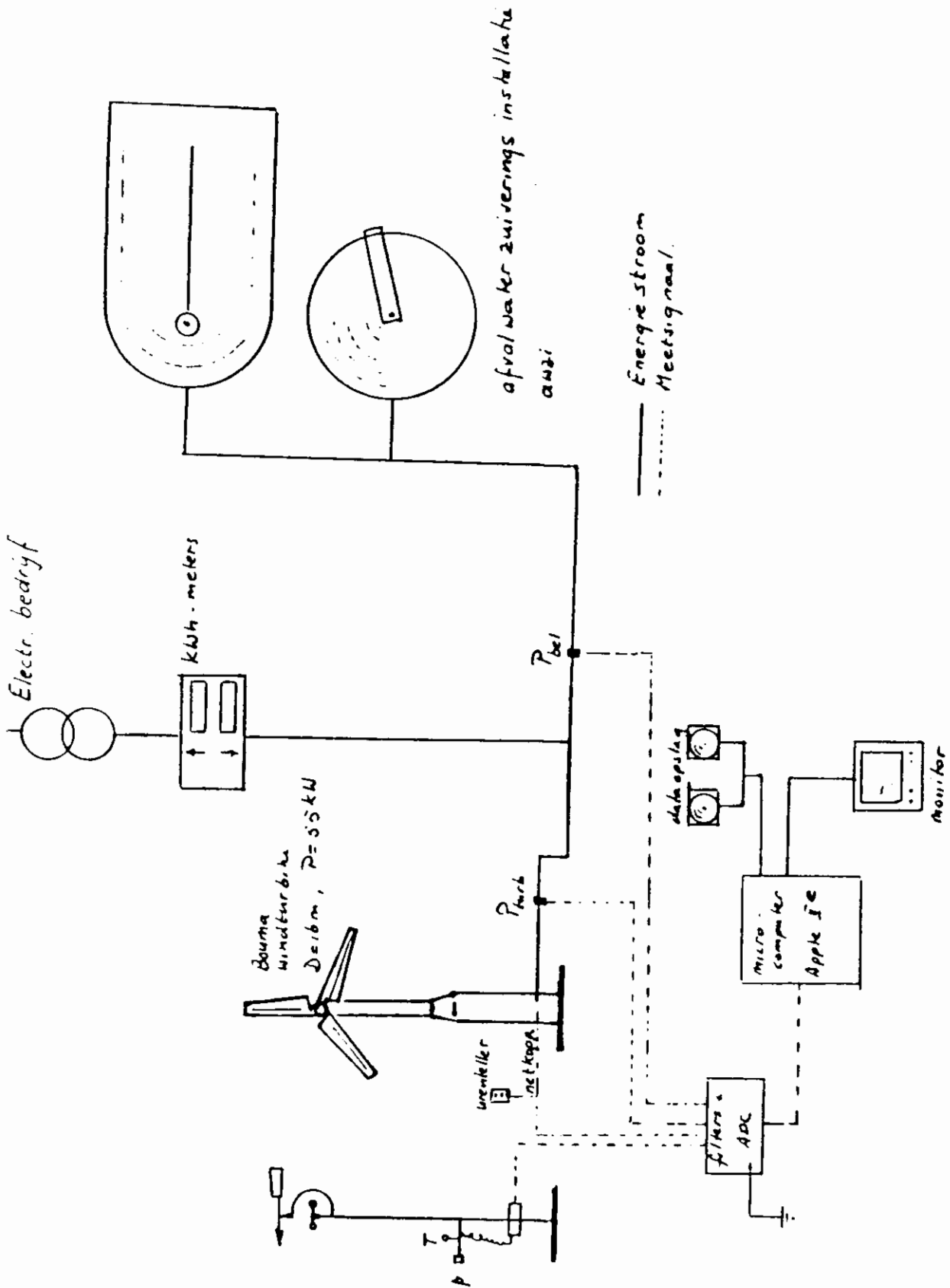
Jaargemiddelde windsnelheid (m/s) op 10 m hoogte boven open terrein, resp. open water, over het tijdvak 1951 - 1980.



schaal 1 : 25.000



Rwzi Goedereede, Teuntjesweg 2, Goedereede (type ultralaagbelaste actief-slibinrichting)



Schema Installatie en Meetstelsel rwzi Goedereede.

Periode	(kWh)		Totaal (kWh)	Productie turbine (kWh)	Teruglevering (kWh)	Verbruik door bedrijf (kWh)	Spec. Verbruik (kW)	Turbine netgekoppeld (uren)	$\bar{V}_{gem.}$ (m/s)	$\bar{V}$ de Kooy (m/s)
	opgenomen door bedrijf van buiten	nacht 23.00-07.00								
	07.00-23.00									
sept. '84	22860	11400	34260	10440	540	44160	61,3	598	5,9	6
okt.	21000	10900	31900	9960	780	41080	55,2	613	6,3	6,5
nov.	15860	8010	23870	8040	780	31130	43,2	507	6,0	6
dec.	13200	7440	20640	9360	780	29220	39,3	625	5,7	5,5
jan. '85	14940	7560	22500	9600	240	31860	42,8	557	5,8	6,5
febr.	12060	6540	18600	9720	1740	26580	39,6	487	5,4	5,5
maart	14040	7080	21120	7080	360	27840	37,4	586	5,6	5,5
april	21540	7980	29520	13320	1980	40860	56,8	571	7,2	6,5
mei	26460	10380	36840	7200	540	43500	58,5	605	5,4	5,5
juni	24300	10920	35220	8400	360	43260	60,1	614	5,9	5,5
juli	33900	16380	50280	6240	120	56400	75,8	484	5,3	5,5
aug.	28680	14880	43560	8400	-	51960	69,8	641	5,7	6
sept.	24900	11160	36060	8400	240	44220	61,4	504	5,2	5
okt.	22380	9720	32100	5640	-	37740	50,7	500	4,6	4,5
nov.	16620	8100	24720	9840	1440	33120	46,0	561	6,4	6,5
dec.	16140	8280	24420	13320	3060	34680	46,6	662	6,9	6,5
1985	255960	118980	374940	107160	10080	472020	53,9	6772	5,8	5,8

Energieoverzicht

Signaal	Opnemer	Bereik + meetfout	Meetwaarde-omvormer meetfout
1. Wind- richting	THIES pot.meter 400 $\Omega$	0-360° <1%	TRANSPLAN 600 pot.meter-omvormer <0,01%/°C
2. Wind- snelheid	THIES cupanemometer met AC-generator	0-30 m/s	TRANSPLAN 810-012 frequentie-omvormer <0,5%
3. Luchttem- peratuur	THIES PT-100 element	-20° tot +40°C 0,39 $\Omega$ /°C	TRANSPLAN 114-119 C weerstand-omvormer <0,01%/°C
4. Luchtdruk	SIEMENS KPT10 vacuumcel + rekstrookbrug	900-1130 mbar (10 mV/V.bar) $\pm$ 2 mbar	TRANSPLAN 650-077 brugomvormer (gemodifi- ceerd) <0,01%/°C
5. Vermogen windturbine	HARTMAN & BRAUN stroomtrafo 150/5 A	-11,25+90 kW klasse 1%	SINEAX vermogens meet- waarde-omvormer 56-1P1-094 0-3 kW klasse 0,5%
6. Vermogen AWZI	HARTMAN & BRAUN stroomtrafo 150/5 A	-11,25+90 kW klasse 1%	SINEAX vermogens meet- waarde-omvormer 56-1P1-113 0-3 kW klasse 0,5%
7. Netkoppe- ling	relais op hoofd magneetschake- laar	Aan/Uit	-

Specificaties van gebruikte opnemers en meetwaarde-omvormers