

BRUIKBAARHEID VAN ALTERNATIEVE ENERGIESYSTEMEN TER
VERVANGING VAN HOUT EN KOLEN IN AFRIKA.

Daniel BAERT, Bonaventure BANGURAMBONA, Hugo KUYKEN.
Laboratorium voor Elektronica en Meettechniek
Sint-Pietersnieuwstraat 41
B-9000 GENT.

ONDERZOEKSVELD : het onderzoek van de systeemgroep
"fotovoltaïsche installaties" van het laboratorium voor
Elektronica en Meettechniek omvat momenteel het meten van
de zonnestraalgegevens te Bujumbura en de berekening van de
meest gunstige dimensionering van een fotovoltaïsche
installatie in Burundi.

SUMMARY

ALTERNATIVE ENERGY-SOURCES TO REPLACE WOOD AND COAL IN
AFRICA

In the article, the possibility of the use of alternative
energy sources (a.e.) in Africa is discussed. The authors
give some criteria which have to be fulfilled before a.e.
sources can successfully be applicated.

KEYWORDS: alternative energy sources, cooking, heating,
photovoltaic generators, refrigeration.

INLEIDING

De energiekrisis van 1973 heeft de mens bewust gemaakt van de eindige beschikbaarheid en de lange vormingsduur van fossiele brandstoffen zoals petroleum, kolen en gas. Het positieve aspekt van deze crisis was dat in de industrielanden door de diverse regeringen geld ter beschikking werd gesteld voor het zoeken naar en experimenteren met nieuwe en/of hernieuwbare energiebronnen. Alhoewel dit onderzoek in de eerste plaats bedoeld was om de industrie meer onafhankelijk te maken van de invoer van brandstoffen moet gezegd worden dat het doel niet bereikt werd. Weliswaar werd de groei van het energieverbruik afgeremd door de toepassing van besparingsmaatregelen, maar het bleek onmogelijk een gehele industrie te voeden op alternatieve energie. De industrie trachtte wel het risico zo klein mogelijk te maken door enerzijds te diversifiëren op energiegebied en anderzijds door op elektriciteit over te schakelen wat het probleem verschoof naar een politiek vlak : elektriciteitscentrales met kolen of kernenergie ?

Naarmate het onderzoek van de fotonvoltaïsche (f.v.) systemen, windmolens, biogasgeneratoren, enz. vorderde werd het duidelijker dat het toepassingsgebied van deze energieopwekkers vooral kleinschalige eenheden betrof. Deze zijn echter weinig interessant in industrielanden en vandaar dat zeer veel experimenten opgesteld werden in de derde wereld. De activiteit van Europese onderzoeksploegen richtte zich daarbij vooral op Afrika, waarschijnlijk vanwege onze affiniteit met dit kontinent als gevolg van de vroegere koloniale activiteiten aldaar. De interesse van de industrie voor medewerking aan dit onderzoek is uiteraard te wijten aan de perspectieven die dit biedt i.v.m. een mogelijke export naar Afrika van alternatieve energiesystemen (a.e.).

In wat volgt zullen we een overzicht geven van de verschillende energiebronnen (klassieke en alternatieve). Er zal besproken worden onder welke voorwaarden zij voordelig kunnen toegepast worden. In het bijzonder zullen

we nagaan waar ze in Afrika nuttig kunnen zijn.

1. OVERZICHT VAN DE ENERGIEBRONNEN.

1.1. Fossiele brandstoffen.

De meest gebruikte brandstoffen zijn deze die onder fossiele vorm voorkomen zoals kolen en petroleum. Als gevolg van de waterstofbindingen in de moleculen vertonen ze een zeer hoge energie-inhoud. De verbranding resulteert in rookgassen waarin eventueel schadelijke substanties zoals koolmonoxyde (CO) en zwaveldioxyde (SO₂) kunnen voorkomen. Deze bijprodukten kunnen een probleem scheppen in de steden maar in kleine gemeenschappen zal men er zelden hinder van ondervinden omdat hun concentratie laag zal blijven.

Vloeibare brandstoffen vereisen een vergassings- of vernevelingsinstallatie wil men ze op rendabele wijze verbranden. Een typisch probleem in ontwikkelingslanden is het vervoer : vele plaatsen zijn moeilijk bereikbaar [27] en bij aankomst kan de kwaliteit van gasolie afgenomen zijn door vervuiling met zand of aanvulling met water. Het bewaren van vloeibare brandstof moet tevens noodzakelijkerwijze in tanks gebeuren. Kolen daarentegen kunnen in vele gevallen zonder meer gebruikt worden en het stockeren ervan is eenvoudig. De reserves van fossiele vloeibare brandstoffen zijn beperkt (tabel 1); kolen zullen daarentegen nog een lange tijd beschikbaar zijn [13] [4].

1.2. Hout.

Hout is een merkwaardig produkt wegens zijn zeer bijzondere fysische en chemische eigenschappen : het drijft meestal in water, het is gemakkelijk te bewerken met primitieve werktuigen, de vezels weerstaan zeer goed aan trekkrachten, het kan eeuwen meegaan zolang het tegen schimmels en insecten beschermd wordt, het is brandbaar en het kan omgezet worden in houtskool. In feite is een boom in zijn

totaliteit nuttig : de wortels houden de bodem vast en beperken de erosie, de stam en de takken vormen het uiterst bruikbare hout, de bladeren produceren zuurstof en ze bieden samen met de takken een woonplaats aan dieren en insecten. De afvalprodukten van bomen, voornamelijk bladeren, verbeteren de structuur van de bodem. Tevens zijn er aanwijzingen dat het microklimaat beïnvloed wordt door het woud via een cyclus van verdamping en condensatie. Vele boomsoorten produceren daarenboven eetbare vruchten. Niettegenstaande de verbrandingswaarde van hout lager is dan deze van de fossiele brandstoffen (tabel 1) is het de meest gebruikte brandstof in Afrika. Het heeft daarenboven de unieke eigenschap gevormd te zijn uit zonlicht, kooldioxyde (uit de lucht) en water via de fotosynthese in de bladeren. Daarbij worden tevens eenvoudige mineralen uit de bodem opgenomen. Hout is bijgevolg hernieuwbaar en bij een ernstig houtbeleid ook onuitputtelijk. Het verbrandingsprodukt, de as, kan voor bemesting aangewend worden.

Hout en houtskool zijn in Afrika traditionele energiebronnen die de behoeften voor meer dan 90% dekken in de landelijke gebieden en voor 60% in de steden. Zij dienen daarbij voornamelijk voor het koken en de huisverwarming. Hout is tevens zeer belangrijk in sommige industriële processen zoals bijvoorbeeld bij het drogen van tabak en thee, het roken van vis en het bakken van stenen. Het is ook een basismateriaal voor de bouw. Houtskool is een commercieel produkt dat vooral in de stedelijke gebieden verhandeld wordt. Het houtverbruik in Afrika is niet nauwkeurig gekend daar het rechtstreeks en gratis uit de natuur wordt gehaald. Sommige schattingen [19] maken gewag van zo'n 500 miljoen kubieke meter per jaar (cfr. : Latijns-Amerika 365 Mm³/jaar, Azië 560 Mm³/jaar). Dit grote verbruik heeft als gevolg dat hout stilaan een schaars produkt wordt. Deze schaarste is deels veroorzaakt door het irrationeel exploiteren van bossen en deels, zoals in de Sahel, door natuurlijke factoren. De beschikbare bosoppervlakte is eveneens afgenomen wegens de toename van landbouwgronden. Indirekte gevolgen van de ontbossing zijn echter de droogte en de erosie die een grond waardeloos maken. Zo werd, bijvoorbeeld in Burundi, een netto

vermindering van de neerslag waargenomen in een streek waar vele hectaren bomen gerooid waren om plaats te maken voor theeplantages. Om de ontbossing tegen te gaan kan men dus trachten het verbruik van hout te verminderen door het invoeren van alternatieve bronnen zoals biogas op basis van organisch afval en zonne-energie. Vermelden we nog dat er traditioneel weinig aan herbeplanting gedaan wordt. Dit hangt samen met religieuze factoren en praktische problemen (welke bomen? waar? prijs plantgoed? hakrecht,...) [7].

1.3. Brandstoffen gewonnen uit biochemische processen.

De kunstmatige produktie van biogas uit organisch afval is geïnspireerd door gelijkaardige processen die in de natuur optreden. Bij de afbraak van organisch materiaal door bacteriën ontstaat methaan (CH_4) dat dienstig kan zijn als een hoogwaardige warmtebron. Het methaan dat vrij in de atmosfeer voorkomt is voor een deel het resultaat van de afbraakprocessen in de uitwerpselen van vee en in planten. In de industrielanden bestaan reeds methaangasinstallaties die rechtstreeks gevoed worden door de uitwerpselen van varkens of koeien. Ook huisafval en plantafval kan op die manier bruikbaar gemaakt worden. Door het selekteren van de geschikte bacteriën tracht men daarbij een hoog omzettingsrendement te verkrijgen. De praktijk (vooral in Indië en China) heeft uitgewezen dat, daar waar genoeg koeien en mensen aanwezig zijn die voldoende uitwerpselen produceren, er met zeer eenvoudige middelen methaangas geproduceerd kan worden ter vervanging van het schaarse hout. Het afvalprodukt uit de fermentatietanks is daarenboven een zeer goede meststof [1]. Kleine installaties kunnen behoorlijk functioneren vanaf een vijftal stuks vee. Biogas kan op vele manieren aangewend worden [6]. Enkele voorbeelden: 1m^3 biogas levert voldoende energie voor: het koken van drie maaltijden voor 6 personen of het voeden van een verbrandingsmotor van 1 PK voor 2 uur of het genereren van 1,25 kWh elektriciteit. Een andere mogelijkheid is de produktie van alcohol uitgaande van planten. Hierbij worden hout of suiker omgezet via fermentatie in methanol of ethanol. Deze methode werd bekend door de grootse inspanningen die Brazilië

TABEL 1: verbrandingswaarde van diverse brandstoffen, schatting reserves, moeilijkheidsgraad van de ontginning en stockeerbaarheid.

Brandstof	Verbrandings- waarde kcal/kg of kcal/m ³	Reserves (jaar)	Ontginning	Stokeerbaarheid
Bruinkolen	2500			
Vlankolen	6500	250	goed	zeer goed
magere kolen	7500			
Hout (nat)	2000	hernieuwbaar	gemakkelijk	zeer goed
Hout (droog)	3500			
Turf (nat)	250		gemakkelijk	zeer goed
Turf (droog)	3500			
Houtskool	6100	hernieuwbaar		
Gasolie	10000	30	moeilijk	goed
Methylalcohol	3780	hernieuwbaar	-	goed
Ethanol	5000	hernieuwbaar	-	goed
Biogas (CH ₄)	8500	hernieuwbaar	-	moeilijk
gasgenerator	1350	hernieuwbaar	-	(groter volume)

Bronnen: [5],[12],[14]

leverde om een deel van zijn autopark op alcohol te doen rijden. Voor Afrika is o.i. dit systeem weinig geschikt omdat het uitgaat van grote monokulturen (bv. suikerriet) die veel landbouwgrond opeisen. Een overzicht van de biomassa-mogelijkheden vindt men in [1],[3] en [17].

1.4. De hernieuwbare bronnen: wind, water, zon.

Met de hernieuwbare bronnen kunnen de kinetische energie van de wind, de potentiële energie van hoogteverschillen in rivieren, stromen of beken en de stralingsenergie van de zon omgezet worden in een andere energievorm, meestal elektriciteit. In feite zijn de wind- en waterenergieën een indirecte manifestatie van de zonnestraling. Deze bronnen worden ook bij ons al lang toegepast : windmolens, watermolens en in beperkte mate zonne-energie (bv. om zout

kennis voor de konstruktie van wind- en watermolens is er na W.O.II sterk op vooruit gegaan [29] en vooral de mechanische betrouwbaarheid is groter geworden.

Zonnestraling kan rechtstreeks getransformeerd worden in warmte d.m.v. spiegels waarmee vloeistoffen aan de kook kunnen gebracht worden [20]; met grotere uitvoeringen kunnen eventueel metalen gesmolten worden. Enkele uitvoeringen voor het smelten van metalen zijn door Sayigh (1977: 246-261) beschreven. Water kan ook opgewarmd worden d.m.v. zonnekollektoren. Deze zijn opgebouwd uit buizen die bevestigd zijn op een zwarte metalen plaat. Het geheel kan al dan niet door glas van de buitenlucht geïsoleerd worden (open of gesloten kollektor). Het water dat in de buizen loopt kan rechtstreeks gebruikt worden, maar het kan ook via een warmtewisselaar een waterreservoir indirect opwarmen. Daardoor blijft er een hoeveelheid warm water ter beschikking na zonsondergang. Een bijzondere uitvoering is de lucht/steen kollektor waarmee sommige huizen of serres verwarmd worden.

Sedert de jaren 50 is met f.v. cellen de rechtstreekse omzetting van zonnestraling in elektriciteit mogelijk. Deze f.v. cellen bestaan uit siliciumschijfjes waarin het licht geabsorbeerd wordt. Het opgeslorpte licht genereert vervolgens een elektronenstroom en er ontstaat een bruikbaar elektrisch spanningsverschil in het schijfje. Het globale omzettingsrendement van dit proces ligt tussen de 8 en de 15% [31].

Het grootste deel van de zonnestraling die de aarde opvangt dient voor het opwarmen van het aardoppervlak en de atmosfeer. Een klein gedeelte veroorzaakt indirect de wind en de regen door opwarming van lucht en verdamping van water. Hierbij worden thermodynamische cycli gevolgd die steeds een zeer klein omzettingsrendement hebben, m.n. minder dan 5% [32]. Voor de windmolens heeft men bijvoorbeeld de volgende omzettingsrendementen bij elke energietransformatie:

zon → wind → molenwieken → generator → elektriciteit
N1=0,05 N2=0,1..0,45 N3=0,9 N4=0,9
(5%) (10...45%) (90%) (90%)

Het rendement N1 volgt uit termodynamische cyclussen en is zeer klein, minder dan 0,05 (5%). De aerodynamische omzettingsrendementen van de slechtste en beste windmolens zijn respectievelijk 10% en 45%. De mechanische wrijvingen in de lagers enz. veroorzaken eveneens verlies zodat er slechts 90% voor de elektriciteitsgenerator overblijft. Deze transformeert op zijn beurt de mechanische arbeid in elektrische met een rendement N4 dat van de orde 90% is. Het totaal rendement is derhalve $N = N1.N2.N3.N4$ en met de gegeven waarden blijft het steeds kleiner dan 0,4 tot 1,8%.

Voor hydraulische energie gelden gelijkaardige overwegingen. Een deel van de zonnestraling laat water verdampen en vormt wolken. Het enige dat men terugwint bij de condensatie (regen) is het deel van de potentiële energie dat overeenstemt met de hoogte van de stuwdam. Globaal gezien moet het rendement daardoor lager dan 0,1% zijn. Men kan bijgevolg besluiten dat, indien men elektriciteit wenst te genereren, de f.v. cellen het meest zullen renderen voor een gegeven oppervlakte waar de zon op schijnt.

Een algemeen kenmerk van deze hernieuwbare bronnen is dat zij niet steeds ter beschikking staan. De wind waait meestal maar in voldoende mate in de kuststreken. Hydraulische energie vereist voldoende neerslag en een hoogteverschil tussen de bron en de monding van een rivier. De energie-opbrengst van f.v. cellen hangt samen met de bewolking. Metingen hebben aangetoond dat Afrika in dit opzicht in een zeer gunstige positie ligt : het gemiddeld ingestraald vermogen gaat van 200 Watt/m² (evenaarsgebied) tot 300 Watt/m² (overige deel van Afrika) [16]. Deze getallen zijn gemiddelden van dag en nacht en over een periode van een jaar. De invloed van de licht-variatiës t.g.v. de seizoenen, dag en nacht, de bewolking en de zomer is daarin dus verrekend. De maximale vermogens zijn uiteraard veel hoger, namelijk van de orde van 1100 Watt/m² [20]. Wil men de opbrengst van wind en f.v. installaties

nauwkeurig berekenen dan heeft men echter gedetailleerde gegevens nodig, bijvoorbeeld de lichtintensiteit of de windsnelheid om de 30 seconden. Deze gegevens zijn praktisch nooit beschikbaar voor Afrika. De afwijking van lokale kondities t.o.v. de vermelde gemiddelden voor de zonnestraling kunnen echter nogal groot zijn t.g.v. plaatselijke omstandigheden die het microklimaat beïnvloeden. Het is dus aangewezen om in geval van twijfel eerst ter plaatse metingen uit te voeren. Een deel van het onderzoek uitgevoerd in het Laboratorium voor Elektronica en Meettechniek van de R.U.G. de optimale dimensionering van fotonvoltaïsche installaties. Hier werd de noodzaak tot het verwerven van gedetailleerde metingen sterk aangevoeld. Professionele meetsystemen zijn echter duur en weinig aangepast aan de specifieke behoeften. Daarom werd in het kader van het doctoraatswerk van een van de auteurs (B.Bangurambona), een goedkoop meetsysteem ontworpen dat toelaat 500 Kbyte data (dit zijn 512000 getallen) op een gewone C90 magneetbandcassette te registreren. Het beheer van de meetgegevens wordt uitgevoerd door een goedkope home-computer met door ons ontworpen interface elektronika.

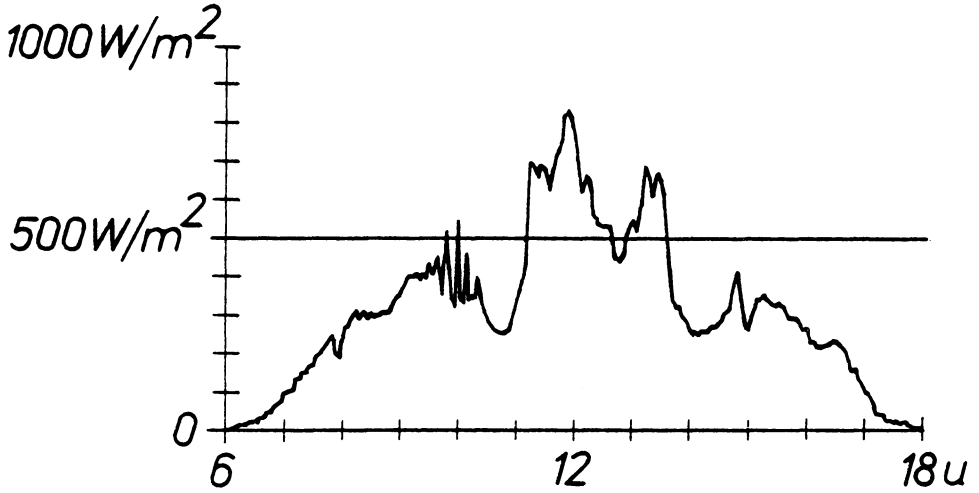
Bij het ontwerp van deze meetopstelling werd uitgegaan van de voorwaarde dat het opstarten van de programma's en het inlezen van de gegevens op een cassette zo eenvoudig moet zijn dat het kan uitgevoerd worden door niet gespecialiseerd personeel. Verder werd aandacht geschonken aan het formaat waarin de gegevens bewaard worden. Elke dag worden deze, voorzien van een datum, vanuit het computergeheugen overgebracht naar de cassette. Dit vraagt een dagelijkse ingreep in het programma (al dan niet automatisch). Het alternatief is, de overdracht van gegevens slechts uit te voeren indien het computergeheugen volledig gevuld is. Bij eventuele defecten zoals een stroomonderbreking verliest men dan echter de gegevens van meerdere dagen. De interface elektronika is zo ontworpen dat er acht onafhankelijke meetkanalen zijn waarvan wij er tot op heden slechts twee gebruiken, namelijk voor de zonnestraling en de omgevingstemperatuur. Indien nodig kunnen dus zonder meer nog andere waarnemingen verricht worden zoals luchtdruk, windrichting, debieten van rivieren,... De duur tussen twee metingen wordt door middel

van het programma vastgelegd, bijvoorbeeld 3 minuten. Eventueel kunnen via software de gegevens gekondenseerd worden door het berekenen van gemiddelden over een willekeurige periode. De componentenkost van de opstelling bedraagt ongeveer 30.000 BEF. De meetopnemers kunnen echter duurder zijn dan het meetgedeelte indien een hoge nauwkeurigheid gewenst wordt. In ons geval worden zonnestralingsgegevens bepaald met een zogenaamde solarimeter (prijs : 40.000 BEF). De solarimeter is een precisie-apparaat dat veel gebruikt wordt in wetenschappelijke opstellingen. Wil men alleen technische resultaten bekomen dan volstaat een kleinere nauwkeurigheid en kan een gekalibreerde zonnecel (prijs: ca. 5000 BEF) als opnemer gebruikt worden. Het geheel is opgesteld op de campus van de universiteit van Bujumbura in Burundi en de bandjes worden naar België verstuurd om er verder verwerkt te worden. De gegevens kunnen dan voorgesteld worden in grafiek of tabel. Figuur 1 geeft een voorbeeld. Deze meetinstallatie levert sedert 1 januari 1987 regelmatig gegevens.

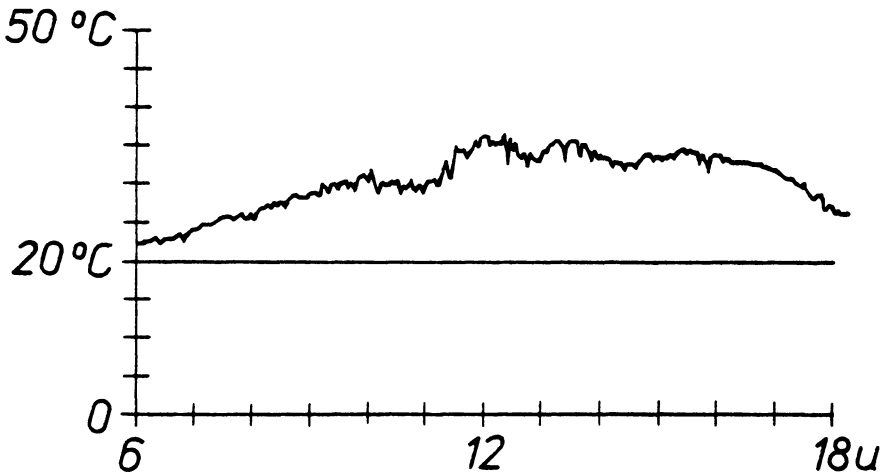
Er rest ons nog na te gaan welke de mogelijkheden zijn om energie op te stapelen voor bewaring. Wind kan uiteraard niet opgestapeld worden. Wel kan men de elektriciteit die uit de windgenerator komt in accu's bewaren. Warm water uit kollektoren kan slechts een korte tijd in geïsoleerde vaten op temperatuur blijven. De elektriciteit van f.v. cellen wordt ook in accu's opgeslagen. Deze doen echter de kostprijs van het systeem toenemen ze vereisen meer onderhoud en verminderen de bedrijfszekerheid. Hydraulische energie is slechts conserveerbaar indien het water in een stuwmeer verzameld wordt. Bij de rechtstreekse winning (waterrad e.d.) is dit niet het geval. In het algemeen mag men dus besluiten dat het stockeren van energie de kostprijs doet toenemen.

Tabel 2A geeft nog een vergelijking tussen de vermogenopbrengst van de alternatieve bronnen en het totale omzettingsrendement van zonlicht naar elektriciteit. In tabel 2B wordt het fotosynthetisch omzettingsrendement van enkele gewassen gegeven [10].

ZONNE-VERMOGEN
19-02-87



TEMPERATUUR
19-02-87



Figuur 1

Tabel 2.

A. Vermogen-opbrengst van alternatieve energiebronnen en rendement van omzetting naar elektriciteit. De laatste kolom geeft het totaal rendement uitgaande van de zon als primaire bron.

Bron	Vermogen	rendement bij de omzetting naar elektriciteit	rendement van de omzetting zonne-straling naar elektriciteit
wind	75 Watt per m ² bestreken door de wieken van de windmolen bij een windsnelheid van 5 m/s	20 - 50%	1%
zon: warmwater, kollektoren	maximum 1000 Watt/m ² , paneel of kollektor loodrecht op de	5 - 50% (*)	-
zon: f.v. cellen	richting van de zon (**)	8-15%	8 - 15%
Hydraulische energie	0,016 Watt per m ² beregende oppervlakte voor een stuw van 50 m hoogte (***)	95%	0,1%

(*) Het betreft hier een calorisch rendement vermits het eindproduct warm water is en geen elektriciteit.

(**) De gemiddelde waarde voor Bujumbura bedraagt 205 Watt/m² [6].

(***) De gemiddelde jaarlijkse neerslag in Burundi bedraagt 1093 mm [28]

B. Fotosynthetisch omzettingsrendement van enkele gewassen :
kalorische waarde gedroogde plant/kalorisch equivalent van de zonne-energie ingevallen op het gewas.

woud	5%
grasveld	0,1%
korenveld	1...2%.

2. GEBRUIK VAN ENERGIE IN AFRIKA EN TOEPASSING VAN ALTERNATIEVE BRONNEN.

Niettegenstaande het zeker mogelijk is om in Afrika zonder kunstmatige energiebronnen in leven te blijven is er over het algemeen een kleine hoeveelheid energie nodig om een minimum aan comfort te verkrijgen. Is er meer energie voorhanden dan dit minimum dan kan de menselijke arbeid verlicht worden zodat er meer tijd vrij komt voor produktieve en kulturele doeleinden. In het onderstaande gaan we na welke de verschillende energiebehoeften van een kleine gemeenschap in Afrika zijn en hoe die kunnen gedekt worden.

2.1. Lage temperatuurtoepassingen.

Onder lage temperatuurtoepassingen verstaan we de activiteiten waarbij het energieverbruik gering is en aanleiding geeft tot een kleine nuttige temperatuursstijging zoals bij het opwarmen van water of bij de huisverwarming. Zoals reeds gezegd wordt nu hieraan voldaan door het gebruik van hout en houtskool. Een produktie-eenheid van biogas kan slechts succesvol als bron ingezet worden indien voldoende vee of plantaardige afval aanwezig zijn. Is dit niet het geval dan zijn zonnespiegels een waardevol alternatief. Deze worden vooral gebruikt bij kookinstallaties. Hun belang mag zeker niet onderschat worden; zij laten toe om ziektekiemen en parasieten te doden juist voor het voedsel verbruikt wordt. Zij worden vooral in India aangewend [11], maar zij kunnen zonder meer in Afrika benut worden.

Huisverwarming is nodig in hoog gelegen streken. Daartoe kan als alternatief een kollektor geplaatst worden die de zonnestraling van overdag als warmte in stenen akkumuleert. De opbouw en het onderhoud ervan zijn vrij eenvoudig en kunnen snel aangeleerd worden. Voor de konstruktie zijn stenen nodig die eventueel ter plaatse te vinden zijn. De andere onderdelen zoals de warme-lucht kanalen (plastic buizen) en de ventilator zijn vrij goedkoop en gemakkelijk

te vervoeren. Een nadeel is de ventilator die elektriciteit nodig heeft om te funktionieren; een klein zonnepaneel met akkumulatoren kan hierbij nuttig zijn.

Sanitaire installaties kunnen gevoed worden met water dat direkt uit zonnekollektoren stroomt. Eenvoudige konstrukties met plastic vellen waartussen water gepompt wordt werden reeds met succes geprobeerd. Installaties zonder pomp zijn mogelijk indien men gebruik kan maken van hoogteverschillen : men plaatst dan het akkumulatievat hoger dan de kollektor zodat het warme water daar verzameld wordt door thermische hevelwerking.

2.2. Installaties voor waterproduktie.

Het betreft hier installaties die dienen ter ondersteuning van de landbouw (irrigatie) of voor het aanbrengen van drinkwater. Voor beide toepassingen moet water verplaatst worden; de kwaliteit en kwantiteit zijn echter verschillend. Drinkwater moet biologisch en fysisch zuiver zijn maar de nodige hoeveelheid is nochtans beperkt. Het wordt meestal opgepompt uit diepe boorputten en de elektriciteit die hiervoor nodig is kan door f.v. panelen geleverd worden. Veronderstellen we dat het water uit een 30 meter diepe put moet opgepompt worden en dat een debiet van iets meer dan een emmer per minuut (12 liter) gewenst is dan heeft men daarvoor 59 Watt vermogen nodig. Rekening houdend met het rendement van de elektromotor (80%) en de pomp (90%) volstaat een fotovoltaïsch paneel dat een vermogen van 82 Watt kan leveren. De huidige kostprijs van een dergelijk paneel is van de orde 35.000 tot 40.000 BEF en het neemt minder dan 1 m² oppervlakte in. Pompen blijft uiteraard alleen mogelijk overdag en bij voldoende licht. Om enige reserve te hebben kunnen panelen van 100 Watt aangewend worden. Drinkwaterpompen kunnen afgelegen plaatsen leefbaar maken en het tijdrovende water dragen uitschakelen.

Irrigatiesystemen worden doorgaans gevoed met rivierwater; de opvoerhoogte is dan ook gering (5 tot 10 m). Het gevraagde debiet is groter en afhankelijk van de

oppervlakte van de landbouwpercelen en de wijze van irrigeren. Irrigatiesystemen moeten zo ingericht zijn dat zij de grond alleen vochtig houden waar gewassen staan. Sproeien of lukraak begieten betekent een te groot waterverbruik waardoor een fotovoltaïsche installatie al vlug veel groter en duurder wordt dan nodig. Omdat irrigatie niet voortdurend moet doorgaan is een bufferreservoir gewenst.

2.3. Installaties voor koeling.

Koelinstallaties laten een langere transporttijd toe van het voedsel naar de verbruikers. Produkten zoals vlees, vis en verse groenten kunnen aldus over een groot gebied verspreid worden. Praktisch gezien kan men water bevriezen en het ijs gebruiken als koelmiddel. In tegenstelling tot het dure koelwagentransport heeft deze methode het voordeel dat lokaal beschikbare vervoermiddelen kunnen ingezet worden (mens, dier, kar, vrachtwagen, ..). Men kan evengoed het voedsel ter plaatse diepvriezen en daarna op het gewenste tijdstip vervoeren. Een probleem bij het koelen is dat zeer veel energie nodig is om frigorieën op te wekken. De frigorie is de hoeveelheid primaire energie uit brandstof nodig om 1 gram water 1 graad in temperatuur te doen dalen. Dit gebeurt via een thermodynamische cyclus waarvan het rendement van de orde 25 - 30% is voor een Dieselmotor en er wordt dus drie tot vier maal meer energie gebruikt om een frigorie te produceren dan om een calorie op te wekken ! Bovendien is het bevriezen van water zeer energieverblindend zoals blijkt uit tabel 3.

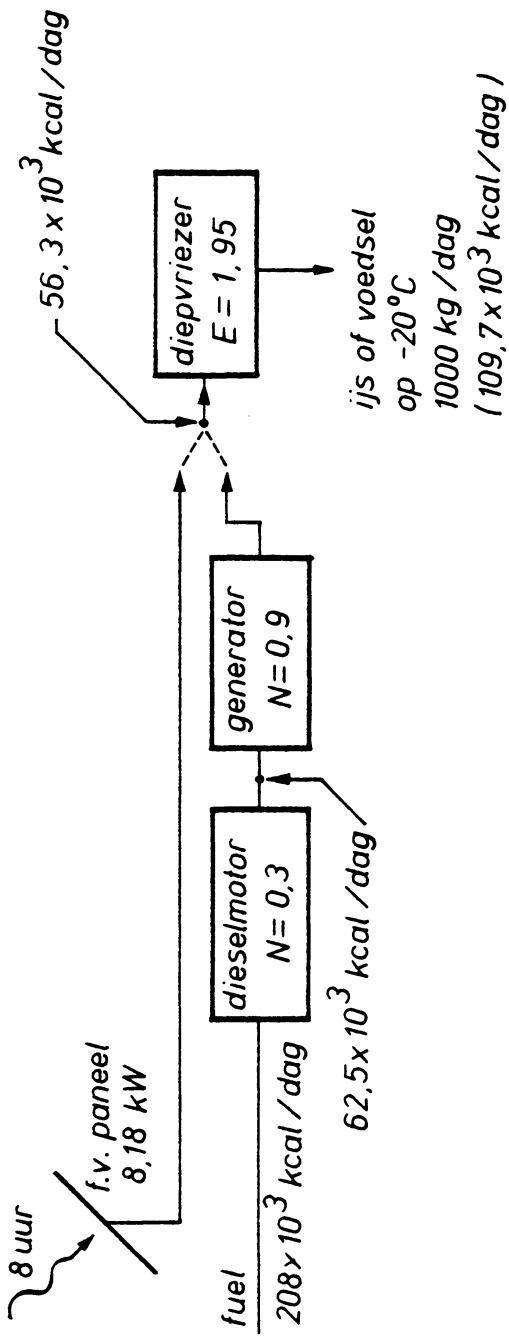
Tabel 3: Soortelijke warmte van water en ijs.
Smeltwarmte of stollingswarmte.

soortelijke warmte water	1 kcal/kg/K	4,18 kJ/kg/K
smeltwarmte ijs	79,7 kcal/kg	33,1 kJ/kg
soortelijke warmte ijs	0,5 kcal/kg/K	2,1 kJ/kg/K

Om een kg ijs te maken uitgaande van water op 20 C en dit verder af te koelen tot - 20 C zijn er derhalve 109,7 kcal nodig. Vermits 1 kWh equivalent is met 860 kcal komt dit

overeen met 0,13 kWh energie. Bij gebruik van f.v. cellen wordt het frigorieënprobleem omzeild vermits de geproduceerde elektriciteit rechtstreeks de koelkastmotor kan aandrijven. Merkwaardig is nu dat de koudefactor E van een koelkast, dit is de verhouding tussen de warmte Q onttrokken aan een te koelen voorwerp gedeeld door de mechanische arbeid L die door de compressor geleverd wordt, groter dan 1 kan worden. Een realistische waarde van de koudefactor is $E = 1,95$ [33] en de arbeid nodig om de warmte Q te onttrekken is bijgevolg $L = Q/1,95$. Deze betrekking laat dan toe het elektriciteitsverbruik van de diepvriezer te schatten. Nemen we verder aan dat het zonlicht voldoende sterk is tijdens een 8-tal uren per dag dan moet er voor elke kg gekoeld ijs gemiddeld 16,25 Watt door een f.v. paneel opgebracht worden. Voor het diepvriezen is nagenoeg dezelfde energie nodig vermits voedsel voor 80 tot 90 procent uit water bestaat. Figuur 2 toont de energie en vermogenbalans voor twee systemen die 1 ton ijs op -20 C produceren : een koelkast gevoed met zonnepanelen of met een diesel-generator groep. De resultaten van de berekeningen zijn eveneens samengevat in tabel 4. Om deze tabel samen te stellen zijn realistische waarden nodig voor de kostprijs van een dieselaggregaat. De aanschafprijs van het dieselaggregaat hangt af van het aantal uren dat het moet werken. Dit bepaalt immers het vermogen vermits dit niets anders is dan de geleverde energie gedeeld door de werkingsduur. De eerste en tweede kolom van tabel 4 geven het vereiste vermogen en de overeenstemmende werktijd in uren per dag voor een dieselaggregaat.

Merk op dat een operationele tijd van 4 uur per dag reeds 1460 werkuren per jaar betekent. Met de goedkope groepen kan men er zich aan verwachten dat na een viertal jaar moeilijkheden zullen optreden. We zullen voor de kostprijs berekening evenwel aannemen dat reparatie mogelijk is zonder al te veel kosten en dat een levensduur van 10 jaren kan gehaald worden. Omdat groepen tijdens de nacht kunnen werken zijn zij ook bruikbaar voor verlichting. Wil men hetzelfde bereiken met f.v. panelen dan zijn batterijen voor de stockering noodzakelijk. Het aanschaffen van een f.v. installatie voor diepvriezen is klaarblijkelijk een dure zaak. Niettegenstaande dit feit worden wegens het



Figuur 2

Tabel 4: Produktie van 1 ton ijs per dag.

Vergelijking van een f.v. installatie met Dieselgroep.

	f.v. installatie	Dieselgroep		
Vermogen	8,18 kW	2,78 kW	5,45 kW	8,18 kW
Werkings- tijd (uren/dag)	ca. 8	24	12	8
Levens- duur (jaren)	20	1,15	2,3	3,5
Brandstof- verbruik	geen	21,9 kg gasolie/dag of 8 ton/jaar		
Brandstof- kost (BEF)	gratis	280.000 tot 400.000 per jaar		
Kostprijs over 10 jaar (BEF)	3.200.000	3.200.000 tot 4.460.000		

Ten titel van inlichting geven wij hieronder enkele actuele prijzen van kleine Dieselaggregaten.

Goedkope groep, levensduur maximum 5000 uren

4 kW 110.000 BEF

9 kW 165.000 BEF

Professionele groep, levensduur minstens 10.000 uren

6,9 kW 200.000 BEF

10,6 kW 230.000 BEF

belang ervan momenteel een aantal installaties beproefd in Afrika [18,25]. Indien de prijs van zonnecellen zou dalen, wat gezien de grote onderzoeksinspanningen op dit gebied zeer aannemelijk is, dan zou de situatie zeker volledig in het voordeel van f.v. systemen uitvallen rekening houdende met de onderhoudsproblemen van dieselaggregaten en de kwaliteit en onregelmatige aanvoer van brandstof in Afrika. Daarenboven is de totale kostprijs, bijvoorbeeld over 10 jaar, voor de f.v. installatie kleiner of ten hoogste gelijk aan deze van een dieselaggregaat (tabel 4).

Er valt nog op te merken dat koeling tot 0° C zonder bevroren veel minder energie vraagt : een paneel van 1,49 kW of een brandstofvoevoer van 1,46 ton per jaar volstaan dan. De bewaringsduur van voedsel is nochtans veel korter en het vervoer ervan over langere afstanden wordt daardoor uitgesloten. Evenwel is het een goede oplossing in afwachting van goedkopere f.v. generatoren.

2.4. Installaties voor elektriciteitsopwekking in kleine gemeenschappen.

In kleine gemeenschappen kan een geringe hoeveelheid energie een grote vooruitgang betekenen. Elektriciteit is bruikbaar voor huisverlichting, voor het aandrijven van kleine werktuigen, voor de voeding van radio- en TV-ontvangers. Dit laatste is in combinatie met edukatieve uitzendingen uiterst belangrijk. Sommige kleine gemeenschappen werden uitgerust met een centrale TV ontvanger die via satelliet zijn programma's ontvangt en die gevoed wordt door een klein zonnepaneel. Een paneel van 70 Watt volstaat om gedurende een 4-tal uren de ontvangst te verzekeren.

2.5. Andere.

Eens energie beschikbaar is zijn vele toepassingen uit te denken. Een aantal praktijkvoorbeelden zijn bv. een f.v. centrale voor een ziekenhuis, omgekeerde osmose installatie ter bereiding van drinkwater uit zeewater, relais stations

voor TV en telefoon op ontoegankelijke plaatsen gevoed door fopanelen. In [9] vindt men de beschrijving van enkele Belgische projekten werden door het Ministerie van Wetenschapsbeleid (DPWB).

Project "ESPOIR" te KINZONO in Zaïre uitgevoerd door ACEC, DPWB en Service Presidentiel d'Etudes. Elektrisch vermogen (piek): 5kW. Toepassing: irrigatie (25...30 m³/dag), verlichting, koelkast 200 liter, verlichting van 40 woningen (18 Watt/woning).

Project "KATANGA" in het dorp KATANGA in Zaïre. Uitgevoerd door de Université d'Etat te Bergen. Elektrisch vermogen (piek) 5 kW. Toepassing: koelkast 240 liter, verlichtingskits van 8 Watt, kulturele kit (KTV met videorecorder), zend-ontvanger om verbinding te hebben met een brousse-hospitaal en het Universitaire ziekenhuis van Lubumbashi. Er is eveneens een zonneboiler geïnstalleerd (kollektor 6 m³, reservoir 300 liter) en een destillator van het type direkte destillatie (10 liter/dag).

Zonnecentrale van 30 kW te Melouka in Algerië uitgevoerd door Tractionel Engineering International met DPWB en het Centre de Developpement de la Conversion de l'Energie van Algerië. Deze centrale moet de elektriciteit leveren van het dorp MELOUKA.

Project "DIKUNGA" te Oost-Kasai, uitgevoerd door het ESAT Labo van de KUL en gesponsord door ABOS. Er staan momenteel drie fopovoltaïsche generatoren, namelijk een 1,8 kW paneel (verlichting), 3 kW (voor o.a. zes koelkasten), 3 kW voor een waterpomp die het water aanbrengt van 1 km ver en een opvoerhoogte heeft van 45 meter (debiet: 40 m³/dag).

3. CRITERIA VOOR HET GEBRUIK VAN ALTERNATIEVE BRONNEN IN AFRIKA

Opdat a.e. systemen met succes in Afrika zouden kunnen ingevoerd worden, moet aan een aantal vereisten voldaan worden. Al te dikwijls zijn de huidige projekten bedoeld

als oogverblindingsmiddel of betekenen zij een middel om het geld voor ontwikkelingshulp te laten terugvloeien naar diegenen die het uitdelen. Bekijkt men de zaak nuchter en ontdaan van het sentimentele dat waart rond het gebruik van alternatieve bronnen dan moeten de volgende voorwaarden voldaan zijn willen alternatieve bronnen met succes aangewend kunnen worden.

- De financiële investering moet minimaal zijn. Het liefst moet de installatie geld opbrengen zodat er na aftrek van de onderhoudskosten een overschot is.
- Alternatieve bronnen maken alleen een kans daar waar weinig of geen natuurlijke bronnen voorkomen.
- Het vervoer van traditionele brandstoffen moet moeilijk of duur zijn.
- De alternatieve systemen moeten lokaal kunnen nazicht krijgen of onderhoudsvrij zijn.
- Het systeem mag geen technische gadget zijn : het moet een wezenlijk voordeel voor een leefgemeenschap opbrengen.
- Het a.e. systeem moet kleinschalig zijn zodat het met beperkte financiële middelen kan aangeschaft worden. Grote zonnecelcentrales zoals men die in de USA aantreft zijn ondoeltreffend om veel mensen te helpen.
- De politieke wil voor de toepassing van a.e. systemen moet aanwezig zijn. In dit opzicht wijkt Afrika sterk af van China, India en Brazilië.

3.1. Investing.

Zolang het gaat over verwarming blijven kolen, hout of gasolie ongetwijfeld het meest voordelig. Zonnecollectoren voor verwarming vragen nochtans geen grote investering. Biogasinstallaties voor het koken zijn goedkoop en vandaar dat zij in India en China zo populair zijn [3]. Ook zonnespiegels vragen geen grote uitgave en zij zijn een

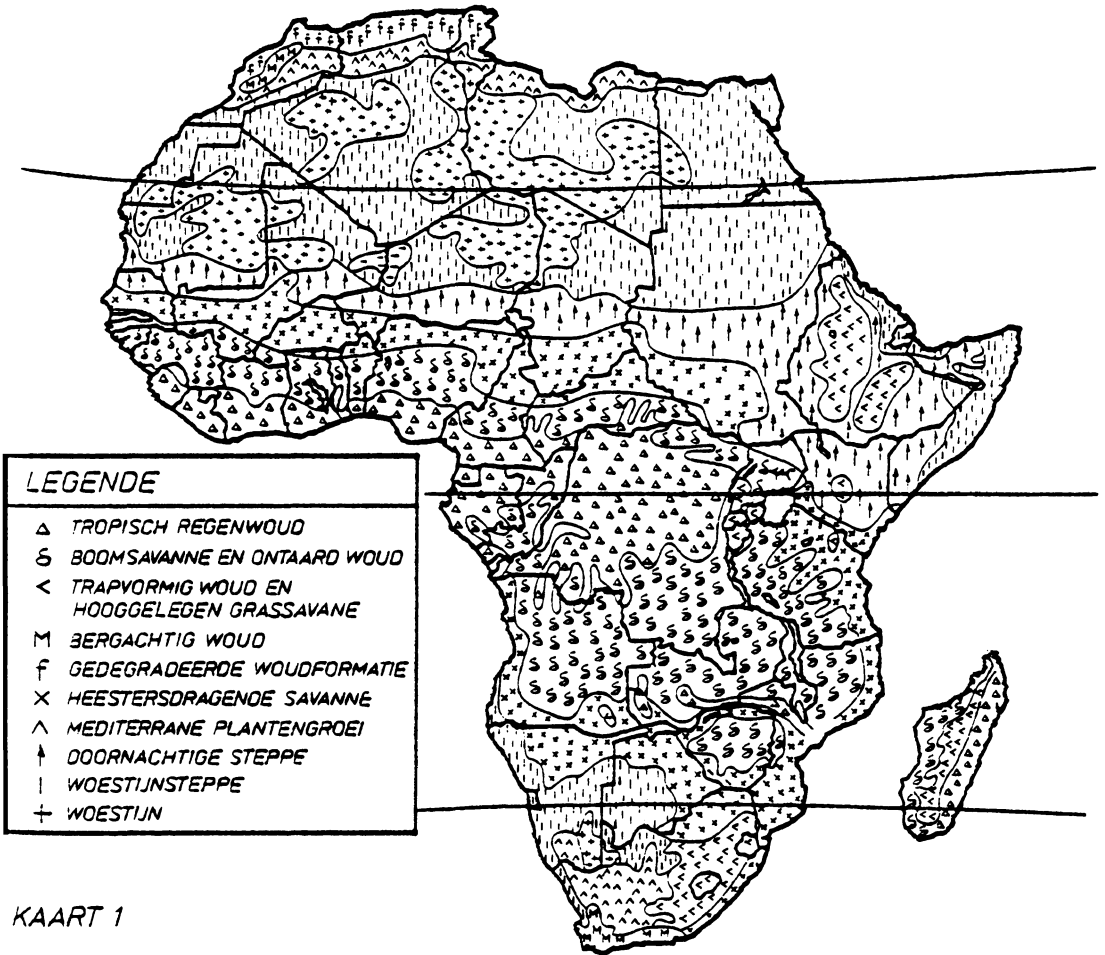
alternatief voor het biogas. Andere alternatieve systemen zoals wind en fotovoltaïsche elektriciteit vereisen een grote investering die uiteraard initieel niet door een kleine gemeenschap kan gedragen worden. De meeste huidige opstellingen zijn dan ook gesteund door regeringen van Westerse landen. De grote investering vereist voor het installeren van deze energiesystemen wordt voor een deel veroorzaakt door het feit dat het Westerse produkten betreft die naar Afrika uitgevoerd worden. Het zou dan ook veel gunstiger uitvallen moest een deel van de konstruktie ter plaatse met goedkope arbeidskrachten kunnen gebeuren. Een voorbeeld daarvan is de konstruktie van ijskasten in Zaïre [18]. Een bijkomend feit dat prijsverlagend werkt in dit laatste geval is het aanzienlijke verschil dat bestaat tussen de invoertaksen op de ingevoerde onderdelen (ca. 10%) en afgewerkte toestellen (100...200%).

Fotovoltaïsche systemen zijn zeer duur in aankoop maar zij hebben het voordeel modulair te zijn, d.w.z. dat men een klein en goedkoop systeem kan uitbreiden naarmate de behoeften toenemen.

3.2. Afwezigheid van natuurlijke bronnen.

Een algemeen principe moet zijn de alternatieve bronnen eerst in te voeren daar waar de klassieke schaars zijn. Daarom hebben we, uitgaande van bestaande kaarten [27] een zwart-wit voorstelling gemaakt van de Afrikaanse vegetatie, hydrografie en locatie van natuurlijke brandstoffen zoals kolen, petroleum en uranium. Kaart 1 toont de verdeling van hout in Afrika. Men moet onmiddellijk vaststellen dat de oppervlakte bestreken door dicht woud minimaal is, uitgezonderd in een strook rond de evenaar waar het tropische regenwoud groeit. Rond deze wouden vindt men de boomsavannes. Naarmate men zich verwijderd van deze gordel wordt het aandeel van de woestijnachtige landschappen groter. Kaart 2 geeft het reliëf met de hydrografie weer evenals de verdeling van de energiebronnen die nu uitgebaat worden. Petroleum en kolen liggen min of meer verspreid over Afrika, evenals uranium dat uiteraard niet kleinschalig kan toegepast worden. De rivieren vormen

AFRIKA : VEGETATIE

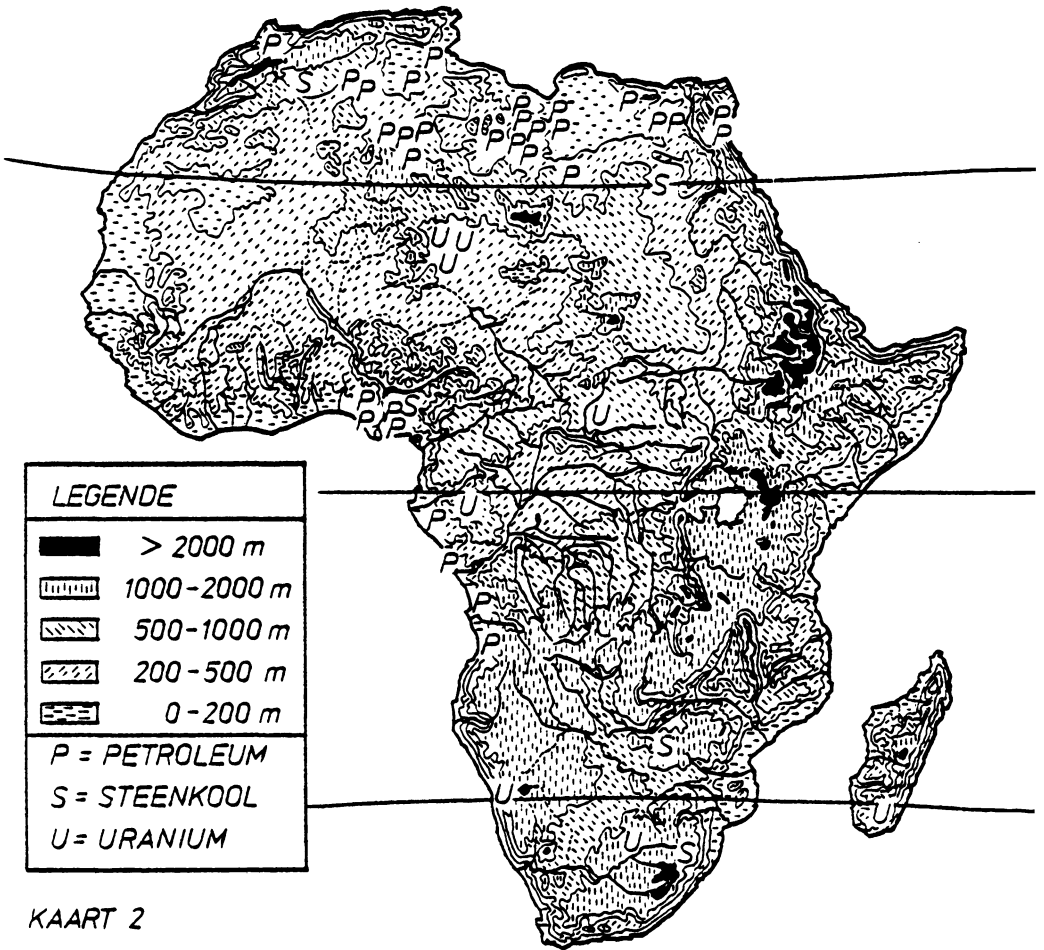


KAART 1

0 500 1000 km
250

AFRIKA

RELIEF & HYDROGRAFIE
MET AANDUIDING VAN DE ONTONGEN ENERGIEBRONNEN



KAART 2

echter een belangrijke potentiële bron van hydro-elektrische energie. Enkele voorbeelden zijn gegeven in tabel 5:

Tabel 5: Lengte en stroomdebiet van de Nijl, Niger en Zaïre.

	Lengte (km)	Debiet (m ³ /s)
Nijl	6.500	500 ... 8.000
Niger	4.200	7.000 gemiddeld 30.000 monding
Zaïre [19]	4.700	40.000 gemiddeld 25.000 minimum

Kaart 2 laat zien dat de stroomgebieden van de Zaïre en de Niger het gebied van de tropische regenwouden en de boomsavannes bedekken, m.a.w. waar veel hout is komt er ook veel water voor. Voor kleine gemeenschappen is dit water niet direkt bruikbaar om energie te produceren. Om turbines te doen draaien moeten er dammen gebouwd worden, wat hoogteverschillen in het reliëf vereist. Er worden wel hier en daar studies verricht die moeten toelaten kleine hydro-centrales (tot 5 kW) te ontwerpen [2]. In feite is hydro-elektriciteit meer geschikt voor het opwekken van grote vermogens (e.g. Zaïre : Inga projekt [26], 1760 MWatt geïnstalleerd in 1977) die daarna verdeeld worden langs hoogspanningslijnen. Kleine gemeenschappen kunnen daarvan alleen genieten indien er een sterk gestructureerd elektriciteitsnet met fijne mazen aanwezig is. Dit is echter meestal niet zo : zelfs in Zaïre, dat 50% van het hydro-elektrisch potentieel van Afrika bezit wordt er maar 5% uitgebaat en is er nog steeds geen net dat fijn genoeg is voorhanden. De redenen hiervoor zijn niet heel duidelijk maar de hoge kosten verbonden aan de uitbouw van zo een net spelen zeker een rol. Daarenboven heeft de industrialisering in de rijke landen een sterke honger naar elektriciteit doen ontstaan. Als gevolg daarvan werden vele centrales gebouwd met kleine netten die later verbonden werden door een landelijk net. De industrie betaalde het

net met goederen en de kleine verbruikers hebben er eveneens voordeel aan gehad. Het is de vraag of zulk een proces in Afrika nog mogelijk is nu stilaan ingezien wordt dat landbouw belangrijker is dan industrie.

3.3. Vervoer.

De enorme afstanden tussen de punten waar energie in overvloed is (petroleum in het noorden en aan de westkust, zie Kaart 2) en de potentiële verbruikers maken het transport van brandstof zeer duur. Daarenboven verbinden de bestaande wegen doorgaans slechts de grote bevolkingscentra. De sekundaire en tertiaire wegen zijn meestal in slechte staat en men kan vermoeden dat die situatie nog vele tientallen jaren zal aanhouden. Alternatieve bronnen omzeilen in eerste plaats het bevoorradingsprobleem; daarenboven is de kwaliteit ervan konstant wat de goede werking van de systemen sterk bevordert. Ook politieke factoren hebben geen invloed op de bevoorrading.

3.4. Onderhoud van a.e. systemen.

Het onderhoud dat a.e. systemen vereisen is een negatieve maar niet onoverkomelijke faktor. Biogasininstallaties zijn eenvoudig van structuur, de principiële werking is gemakkelijk te begrijpen en defekten kunnen gemakkelijk verholpen worden. Zonne-spiegels en warmwaterkollektoren vormen eveneens geen probleem. In feite treden de moeilijkheden eerst op wanneer er elektriciteit of draaiende onderdelen in het systeem aan te pas komen. Diesel-aggregaten bestaan uit een elektriciteitsgenerator die zeer stevig is en een dieselmotor die veel onderhoud nodig heeft. Defekten zijn daarom meestal van mechanische aard : brandstofpomp, injectoren. Een ernstige mechanisch defekt kan echter een weken- of maandenlange onderbreking van de energieproductie veroorzaken. Het gebruik van technische apparatuur vereist een zekere scholingsgraad en vraagt ook een mentaliteitsaanpassing van de gebruikers. Een gebrek aan beide is in vele gevallen de oorzaak van het

volledig uitvallen van installaties.

Uit ervaringen opgedaan met verschillende installaties in Afrika [23] blijkt dat fotovoltaïsche systemen, wegens de afwezigheid van mechanische onderdelen, meer bedrijfszekerheid en minder onderhoud vragen dan andere elektriciteitsopwekssystemen.

De zonnecellen in een paneel zijn zó verbonden dat defect van een of enkele cellen slechts een vermindering van de opbrengst betekent. De apparatuur die gevoed wordt door dit paneel kan echter te veel kwetsbare elektronika bevatten. In het algemeen geldt er : hoe minder hulpschakelingen hoe beter. Depannage van elektronika op afgelegen plaatsen kan moeilijk of onmogelijk zijn en het verkrijgen van de benodigde vervangingscomponenten is zeer dikwijls een nog groter probleem. Een gedegen kennis van elektronika is daarenboven nodig om de herstelling tot een goed einde te brengen. De systeemontwerper staat daarom dikwijls voor een moeilijke keuze waarbij alleen de ervaring een oplossing kan bieden. Als typisch voorbeeld kunnen we het probleem van de waterpomp schetsen. Er bestaan drie soorten elektrische motoren voor deze toepassing : de gelijkstroommotor, de asynchrone motor en de synchrone met permanente magneet. De gelijkstroommotor vraagt een regelmatig onderhoud: hij bevat een kollektor die regelmatig moet afgevlakt worden en koolstofborstels die verslijten en af en toe aan vervanging toe zijn. Deze motor kan echter rechtstreeks door een f.v. paneel gevoed worden. De asynchrone en synchrone motoren zijn zeer stevig en praktisch onderhoudsvrij, maar ze draaien alleen op een wisselspanning. Om deze te genereren is een elektronische omvormer tussen het paneel en de motor nodig. Niettegenstaande pompen met motoren van de drie types in gebruik zijn is het tot hiertoe nog niet duidelijk welk systeem het beste is gezien zowel de gelijkstroommotor als de elektronische omvormer voor de asynchrone motor regelmatig falen. In dit laatste geval hebben wij een ingewikkeld herstellingsprobleem.

Bij een praktische installatie in Kenia [22] werden, als test voor de betrouwbaarheid en opbrengst van verschillende

motoren, met een 560 Watt paneel de volgende watervolumes uit een 20 m put gepompt na 570 dagen:
gelijkstroommotor 1713 m³ (faalde echter na 287 dagen)
asynchrone motor 2912 m³
synchrone motor 3069 m³

Een analoog probleem doet zich voor bij Dieselaggregaten. Deze kunnen inderdaad met een wisselstroom of een gelijkstroommachine uitgerust zijn. De eerste moeten echter elektronisch gestabiliseerd worden en bij een eventueel defekt is de herstelling moeilijk of zelfs onmogelijk. De fabrikanten van aggregaten konstateren daarentegen dat de gelijkstroommachine veel meer gevraagd wordt niettegenstaande het benodigde onderhoud omdat de borstels vervangen een eenvoudige karwei is. Uitgaande van onze eigen technische kennis en ervaring hebben we in tabel 6 getracht een vergelijking te maken tussen de verschillende energiesystemen wat betreft de grootte van de investering, technologische moeilijkheidsgraad, installatiemoeilijkheden en onderhoud.

4. Besluit.

Energie is een belangrijke peiler voor de ontwikkeling van een gemeenschap. In Afrika is, zoals in vele andere ontwikkelingslanden, brandstof een duur en schaars produkt. Het vervoer ervan is meestal moeilijk en onbetrouwbaar. Alternatieve energiesystemen kunnen een waardevol alternatief zijn voor de rooibouw die op de vegetatie gebeurt om de brandstofbehoeften te dekken. Hierbij kan vooral fotonvoltaïsche energie een belangrijke bijdrage leveren omdat Afrika een zeer gunstige stralingskaart vertoont. Onder en boven de evenaarsgordel is het hout schaars, maar de invallende hoeveelheid zonne-energie zeer groot. Door de f.v. energie vervalt het probleem van de brandstoftoevoer, bovendien kan men vertrekkende van een kleine installatie, het systeem later uitbreiden. Anderzijds, kan men met biogasinstallaties energie vrijmaken en terzelfdertijd het overblijvende slib als meststof gebruiken. Zij kunnen vooral nuttig zijn in de gebieden met veel organische afval. Wind- en hydraulische systemen zijn eerder beperkt in hun mogelijkheden.

Tabel 6 : Kleinschalige toepassing van alternatieve systemen :

Investering, technologische moeilijkheidsgraad, installatiemoeilijkheden, onderhoud in functie van de energiebron en de toepassing.

Systeem	Investering	Technologische moeilijkheidsgraad	Installatiemoeilijkheden	Onderhoud
Kolen,hout,turf (verwarming)	geen	geen	-	-
Kolen,hout (mechanische arbeid : stoom- machine of turbine)	groot	middelmatig	redelijk	veel
Gasolie : verwarming	klein	laag tech- nologisch	geen	geen
Gasolie : mech. arbeid + elektr. (diesel)	hoog	hoog	gekomplikeerd	veel
Biogas (verwarming, kolen)	klein	laag	klein	matig
Hydraulische centrale	hoog	middelmatig	gekomplikeerd	veel
Windmolen	middelmatig	middelmatig	gekomplikeerd	veel
Zonnespiegels	klein	geen	geen	geen
Zonnekollektoren	laag	laag	klein	weinig
Fotovoltaïsche cellen	zeer hoog	zeer hoog	niet gekom- plikeerd	zeer weinig

Al deze feiten wettigen de voorspelling dat de a.e. systemen meer en meer hun plaats in Afrika zullen veroveren. In [15] vindt men een beschrijving van een aantal systemen zoals warmtekollektoren, ijskasten, enzomeer. Vereenvoudigde uitvoeringen daarvan zijn mogelijk en kunnen toegepast worden in Afrika mits rekening wordt gehouden met de specifieke problemen die hierboven werden gesteld.

REFERENTIES EN NOTEN

- (1) Advisory Committee on Technology Innovation: "Methane generation from human animal and agriculture wastes", National Academy of Sciences, Washington D.C., 1977, p48-58.
- (2) Advisory Committee on Technology Innovation: supplement, "Energy for rural development", National Academy Press, Washington D.C., 1981, p48-61.
- (3) W.A. Cote: "Biomass Utilization", Plenum Press, New-York, 1983, p17.
- (4) Algemene Studieraad, Energie Studiecentrum : "Klein vademecum voor de energie 1982", Staatsuitgeverij 's-Gravenhage, 1982, pp. 35.
- (5) G. Bisschoff, W. Gocht: "Das Energie Handbuch", Fr. Vieweg und Sohn mbH, Braunschweig 1976, p 37, 272.
- (6) Centre Météorologique du Burundi, publication no 15, 1976, p. 9.
- (7) M. Counet, H. De Groot, T. De Schrijver, P. Van Damme: "Voorstudie voor een vredeseiland in DAPAONG (Noord-Togo), Boek I: Analyse en projectvoorstellen.", VZW Vredeseilanden, Leuven, oktober 1985, p146-153.
- (8) R.J. Cunningham : "Photovoltaics : an advocacy Statement", 6th E.C. Photovoltaic Solar Energy

- Conference, London, 15-19 april 1985, p. 539-543.
- (9) Diensten voor Programmatie van het Wetenschapsbeleid :
"Het fotovoltaïsch onderzoek, stand van zaken, Brussel,
1984.
 - (10) D.M. Gates : "The flow of energy in the biosphere",
Scientific American, sep. 1971, vol. 224, nr. 3, p. 88-
100.
 - (11) E.L. Harder: "Fundamentals of energy production",
John-Wiley, New-York, 1982, p202, 206.
 - (12) G.W.Himus: "The elements of fuel technology", Leonard
Hill Ltd, London, 1958, p12.
 - (13) M.K. Hubbert : "The energy resources of the earth",
Scientific American, sep. 1971, vol. 224, nr. 3, p. 60-
70.
 - (14) A.J. Johnson: "Fuels and combustion handbook", 1st ed,
Mc-Graw Hill, New-York 1951, p 122-123, 365.
 - (15) D.C. Kenkeremath, P.A. Borgo : "Egyptian PV Field
test project", 6th E.C. Photovoltaic Solar Energy
Conference, London, 15-19 april 1985, p. 590-593.
 - (16) H.E. Landsberg, H. Lippmann, K.H. Paffen : "World Maps
of Climatology". Springer Berlin, 1963, chart 4.
 - (17) Ch. Lewis : "Biomass is big but could be bigger", New
Scientist, 1 febr. 1979, p. 316-318.
 - (18) B. McNelis, J.M. Durand : "Photovoltaic refrigerators
and lightning systems for Zaïre", 6th E.C. Photovoltaic
Solar Energy Conference, London, 15-19 april 1985, p.
618-621.
 - (19) E.M. Mnzava : "Fuelwood and charcoal in Africa", 1st
E.C. Conference on "Energy from Biomass", 1981, ed. by
W. Palz, P. Chartier, D.O. Hall, p. 735-749.

- (20) R.C. Neville : "Solar energy conversion : the solar cell", Elsevier Scientific publishing Company, 1978.
- (21) J. Posbic, D. Mercier, A. Paquier : "Stand-alone p.v. generators for medical centres in Zaire and remote villages in Pakistan", 6th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, London, 15-19 april 1985, p. 529-532.
- (22) P. Redi : "Developments of a brushless submersible pump", 6th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, London, 15-19 april 1985, p. 435-438.
- (23) R.G. Ross: "Reliability and performance experience with flat-plate photovoltaic modules", 4th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, Stresa, 10-14 may 1982, p169-178.
- (24) A.A.M. Sayigh : "Solar energy engineering", Academic Press, New York, 1977, p246-262.
- (25) L. Selles, B. Aubert : "A pv-powered ice making machine", 6th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, London, 15-19 april 1985, p. 366-369.
- (26) R. te Pas : "Erschliessung der grossten Wasserkraftreserven Afrikas mit den Projekt Inga", Siemens-Zeitschrift 51, 1977, heft 2, p. 91-95.
- (27) R. Van Chi-Bonnardel: "Grands Atlas du continent Africain", Editions Jeune Afrique, Paris, 1973, p25, p68.
- (28) Cl. Van der Velpen : "Geographie du Burundi", Ed. A. De Boeck, Bruxelles 1973, p. 26.
- (29) D.F. Warne, P.G. Calnan : "Generation of electricity from the wind", Proc. IEE, Vol. 124, nr. 11, nov. 77, IEE Reviews, pp. 963-985.
- (30) J.R. Williams : "Solar energy, technology and applications", Ann Arbor Science, 1977.

- (31) Met omzettingsrendement bedoelt men hier de hoeveelheid energie bekomen d.m.v. een proces gedeeld door de hoeveelheid energie toegevoerd aan het proces. Dit geeft steeds een getal kleiner dan 1 daar er energie verloren gaat; de procentuele rendementen bekomt men door dit getal met 100 te vermenigvuldigen. Elektriciteit is een "edele" of hoge vorm van energie : met elektriciteit kunnen warmte, mechanische arbeid en potentiële energie voortgebracht worden met een zeer groot omzettingsrendement. Middels elektrolyse kunnen zelfs gassen zoals waterstof of metalen (vooral aluminium) vrijgemaakt worden uit hun verbindingen.
- (32) In het algemeen wordt het relatieve totaalrendement N van een transformatie gegeven door het produkt van de relatieve rendementen N_1, N_2, N_3, \dots der deeltransformaties die het gebeuren veroorzaken.
- (33) De koelkast heeft een compressor die aangedreven wordt door een elektrische motor. Het samengeperst fluidum wordt in een condensor afgekoeld tot op de temperatuur T_k , bijvoorbeeld 40 C. Bij de expansie in de verdamper daalt de temperatuur tot T_v , bijvoorbeeld -25 C. De maximale waarde die ooit kan bereikt worden voor de koudefaktor van een ideale vriezer wordt door de thermodynamica gegeven:

$$E = Q/L = T_v / (T_k - T_v) = 253 \text{ K} / 65 \text{ K} = 3,9$$

Door afwijkingen van de ideale cyclus kan deze waarde nog 50% dalen, dus $E = 1,95$. Men heeft dan voor de te leveren mechanische arbeid (via de elektromotor van de diepvriezer):

$$L = Q/E = Q / 1,95$$