

MegaPower, grootschalige energiewinning uit de natuur

Toren van 5 km in Noordzee voor opwekken energie

Het principe van witte steenkool kan een zeer grootschalige toepassing krijgen. Plaats een gigantische toren in zee, laat gas via een pijp opstijgen tot 5 km hoogte, waar het condenseert en als vloeistof terugloopt tot zeeniveau, waar het door een turbine wordt omgezet in elektrisch vermogen. Onmogelijk? Nee, eerste studies rechtvaardigen nader onderzoek.

- Ing. R.M. van Ginkel, Frank Hoos, Ir. R.M. Krom,
Drs.ir. P. van Summeren -

Onder de naam MegaPower is ongeveer één jaar gewerkt aan een verkennende haalbaarheidsstudie voor een grootschalig vermogensopwekkings- en conversiesysteem. Het voorstellingsvermogen moet hiervoor haast even groot zijn als het installatievermogen: 7000 MW in een installatie van tussen de 4 km en 7,5 km hoogte. Het principe is dat van een gesloten systeem, waarbij een vloeistof verdampt op zeeniveau en op zeer grote hoogte bij de daar heersende lage temperatuur condenseert en teruggeleid wordt naar zeeniveau onder opwekking van vermogen. Het principe is vergelijkbaar met vermogensopwekking uit witte steenkool: water verdampst, stijgt op, beregent de bergen en in de afdaling naar de zee worden water-

krachtcentrales ingezet voor het genereren van vermogen. De eerste studies tonen aan dat het idee zowel fysisch als bouwtechnisch haalbaar kan zijn.

Met MegaPower komt een zeer milieuvriendelijke oplossing in beeld zonder enige CO₂-productie. Uitgangspunt voor MegaPower is dat de temperatuur op grote hoogte (5000...8000 m) aanzienlijk lager is dan op zeeniveau. Om hiervan gebruik te maken in een gesloten systeem zijn zeer grote installaties nodig, waarbij allerlei uitdagingen in de realisatie ervan opdoemen: de constructieve haalbaarheid, de thermodynamische voorwaarden en de uitwerkingen daarvan.

Het fysische principe van een dergelijk gesloten systeem wordt verduidelijkt in afbeelding 1. Het systeem is in de Noordzee gedacht. Het bestaat uit een verdampert op zeeniveau, een stijgpip voor het gas, een condensor op 5000 m hoogte, een pijp waardoor de vloeistof terugstroomt en een turbine op zeeniveau. De temperatuur op 5000 m hoogte is geba-

seerd op de Nasa-standaard die aangeeft hoe de temperatuur met de hoogte varieert voor een standaardatmosfeer. De temperatuur van het zeewater komt overeen met de temperatuur van de Noordzee in juni. De relatief hoge temperatuur is gunstig voor de verdamping van het medium. Het vloeibare medium wordt in de verdampert een gas, stijgt op totdat het in de condensor komt, waar het condenseert. Daarna valt het terug tot op zeeniveau. De potentiële energie van de vloeistof in de condensor wordt in de turbine omgezet in elektrisch vermogen.

Rekenmodel

Om überhaupt berekeningen te kunnen uitvoeren moet het temperatuurverloop op grote hoogte en op zeeniveau bekend zijn. Aan het KNMI zijn derhalve gegevens gevraagd over het weer boven de Noordzee. Omdat het weer boven De Bilt niet significant verschilt van dat boven de Noordzee, zijn de weerdata van het jaar 1986 als uitgangspunt genomen. Deze zijn aangevuld met data van zeewatertemperaturen uit internationale klimaatatlassen. De data van het KNMI geven de hoogte van een drukkiveau, de bijbehorende temperatuur en wind (in richting en snelheid).

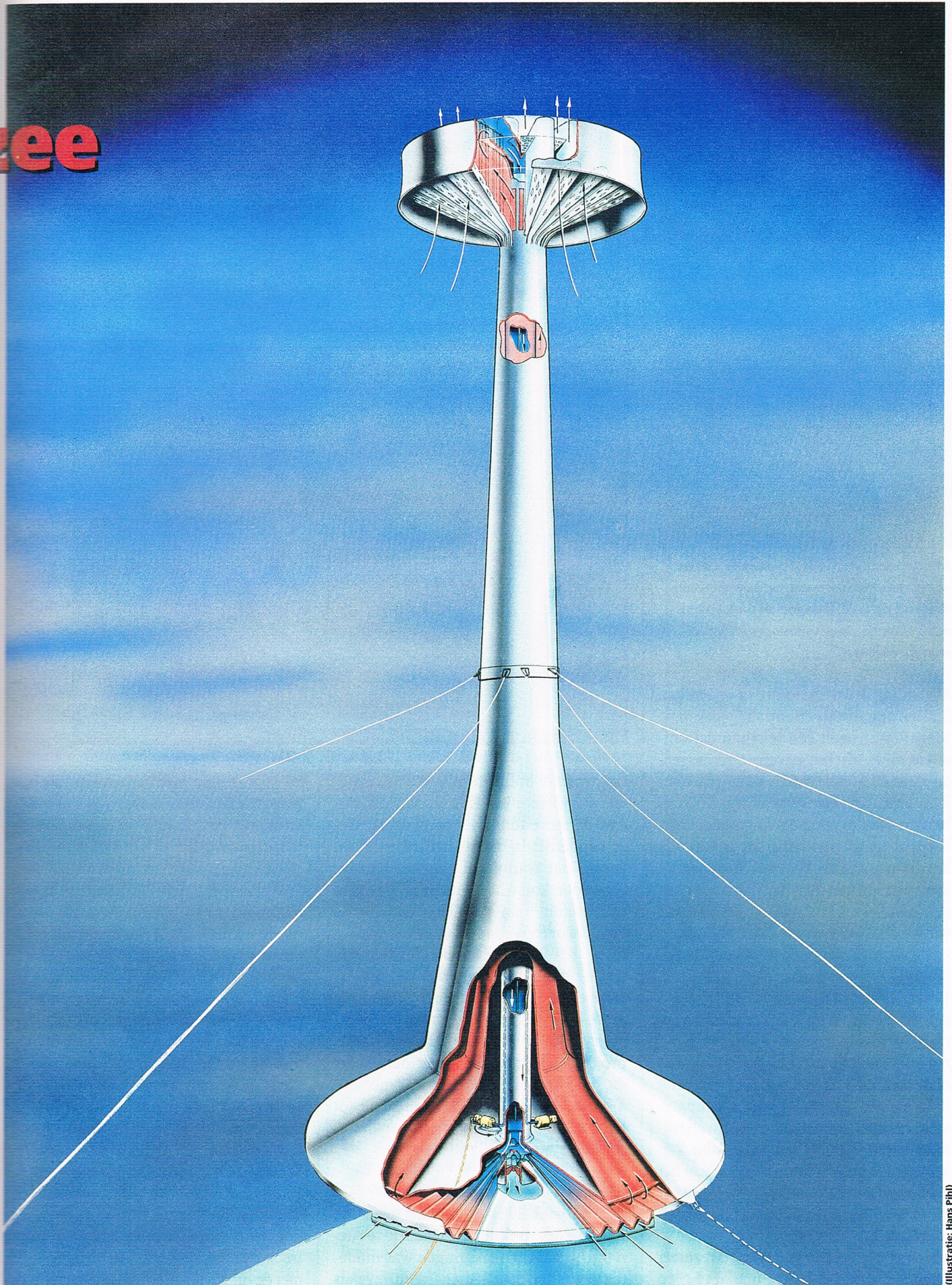
De zeewatertemperaturen zijn af te lezen uit afbeelding 2. Dit temperatuurverloop is een gemiddelde over tien jaar. Aanvullende gegevens van een bepaald meetpunt, de zeewatertemperatuur bij Noordwijk in 1986, zijn in overeenstemming met die in deze afbeelding.

De temperatuur op 5500 m wordt weergegeven in afbeelding 3. Daarin is duidelijk te zien dat grote dagelijkse afwijkingen van de Nasa-standaard optreden.

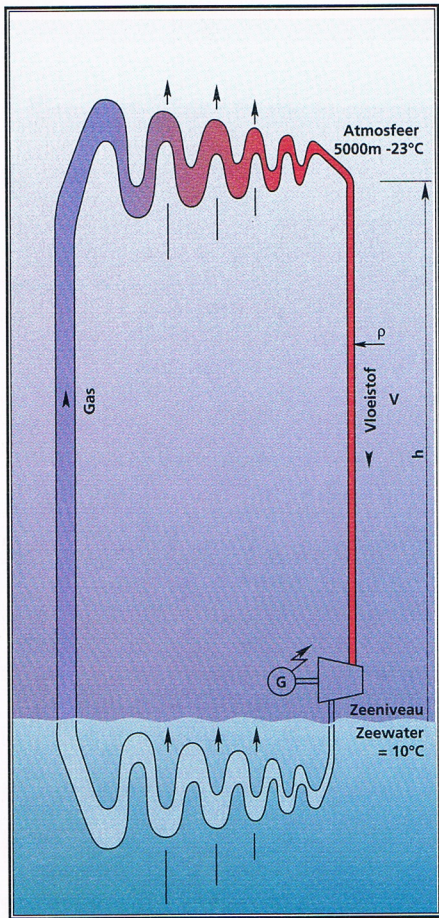
In het MegaPower-project wordt uitgegaan van de meest ongunstige situatie. Hoe hoger de temperatuur is op 5500 m, des te slechter dat is voor condensatie. In

Ing. Van Ginkel en ir. Krom zijn werkzaam bij de Hoogovens Groep BV, Frank Hoos, bedenker van het MegaPower-idee, is werkzaam bij Seatec BV en drs.ir. Van Summeren is free-lance projectleider. Deze verkennende haalbaarheidsstudie wordt gesteund door Novem. Ook Linde heeft aan het project deelgenomen.

zee



(Illustratie: Hans Pihl)

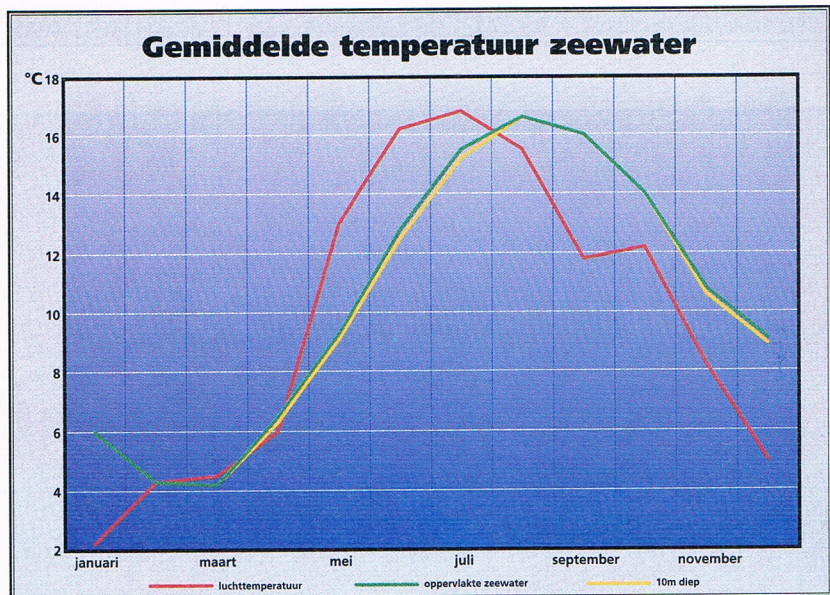


Afb. 1 Butaan/ NH_3 -procescyclus; de vloeistof wordt door het zeewater verdampt en condenseert op grote hoogte; de druk en het debiet van de vloeistofkolom worden in energie omgezet.

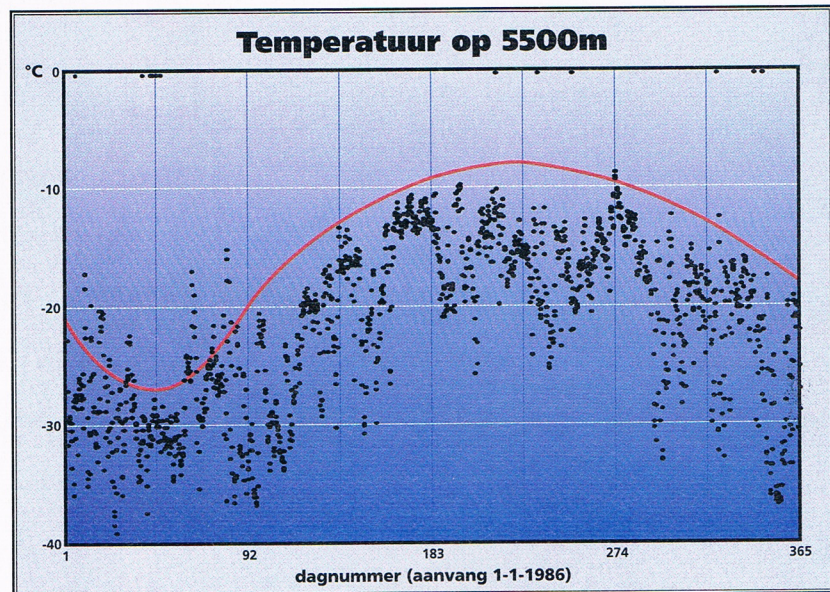
afbeelding 3 wordt door een getrokken lijn een ongunstig verloop aangegeven. MegaPower heeft een rekenmodel ontwikkeld waarin het gewenste vermogen, de eigenschappen van de damp, de temperaturen op zeeniveau en op 5000 m hoogte zijn opgenomen. Dit model is gebaseerd op de aanname dat gedurende het transport van beneden naar boven geen warmte met de omgeving wordt uitgewisseld. In het model is het verloop van de druk van een gas met de hoogte in een zwaartekrachtveld in rekening gebracht.

Bij uitwerking van dit model voor butaan, een gas dat kookt bij $-0,5^\circ\text{C}$ en dat een geringe verdampingswarmte heeft, blijkt dat voor een pijp met een doorsnede van ongeveer 50 m (of een bundel pijpen met in totaal een equivalent inwendig oppervlak) en 5000 m lengte, een elektrisch vermogen van 7000 MW beschikbaar kan komen. De butaandamp stijgt op van het zeeniveau met een snelheid van ongeveer 50 m/s en komt op 5000 m hoogte aan met 20 m/s.

Uit de eerste berekingen bleek dat zuiver butaan niet kan voldoen, omdat er geen



Afb. 2



Afb. 3

condensatie optreedt bij gestelde omgevingstemperaturen. Er zijn aan het butaan derhalve additieven toegevoegd. Deze condenseren tijdens het transport en geven hun warmte af aan het butaan. Daardoor komt het butaan met hogere temperatuur dan voorheen aan bij de condensor en is condensatie mogelijk. Door het geringe temperatuurverschil met de omgeving worden zowel de verdamer als de condensor buitensporig groot. Bovendien betekenden de gegevens van het KNMI voor het MegaPower-project dat een systeem met butaan als medium vele maanden per jaar niet zou kunnen werken. Dit was aanleiding tot het zoeken naar andere media en andersoortige systemen.

Medium

Het ontwikkelde rekenmodel biedt de mogelijkheid ook andere media in te voeren. Uit de eerste ervaringen was duidelijk geworden dat de temperatuurniveaus

de beperkende factoren waren, en niet zozeer de constructie. Daarom is een aantal stoffen onderzocht op hun mogelijke toepasbaarheid.

De minimaal vereiste temperatuur voor de verdamer moet altijd lager zijn dan de minimum zeewatertemperatuur van 4°C (in de winter). Deze minimale temperatuur is bovendien afhankelijk van de constructie. In het onderzoek is de minimale temperatuur van de verdamer op 0°C gelegd. Voor de condensor geldt een soortgelijke beschouwing. Daar is de condensortemperatuur 6°C hoger genomen dan de omringende lucht.

In de zomer is de temperatuur op 5000 m het hoogst en het temperatuurverschil met het zeewater het kleinst. Derhalve ligt bij die situatie de strengste systeemeis. Daarnaast zijn er uit overwegingen van stabiliteit en sterkte van de constructie nog eisen voor de drukken die mogen optreden in het systeem. Het drukverschil met de omgeving mag niet te groot zijn en

zeker niet lager dan de omgevingsdruk. Een eerste keuze van mogelijke media leverde zeventien potentiële kandidaten op. Ook de invloed van additieven op deze media is onderzocht. Uit het rekenmodel blijkt dat met voornoemde systeemeisen slechts drie potentiële media overblijven. Na invoering van andere voorwaarden zoals vrije convectie van de lucht in de condensor bleef alleen NH_3 als medium over. Alhoewel het systeem binnen de gestelde temperatuurgrenzen functioneert, worden de condensor en verdampers door geringe temperatuurverschillen en grote verdampingswarmte van NH_3 relatief erg groot. Er zijn nog andere voorstellen gedaan, maar die vragen nog nadere uitwerking.

MegaPower-toren

Er is aan het NLR opdracht gegeven na te gaan of een dergelijke constructie technisch gerealiseerd kan worden. De MegaPower-toren wordt getuid vanuit drie punten op zeeniveau. Er zijn twee versies (afbeelding 4, 5 en 6). Beide versies zijn opgebouwd uit modules die een kern van kunststof hebben met aan beide zijden aluminium. Enerzijds wordt de massa van de toren hierdoor beperkt, anderzijds wordt de stijfheid groter. Bovendien is de protectie van belang, inwendig naar de gebruikte media, uitwendig naar meteorologische invloeden. In het MegaPower-project zijn dikten van 250 mm voor de sandwichstructuur gebruikt.

In versie I zijn er om de 1200 m drijflichamen met waterstof. Er zijn dan vier drijflichamen die een elliptische vorm hebben. De inhoud van deze lichamen varieert met de hoogte. Beneden is de opwaartse kracht groot, dus kan de inhoud relatief klein zijn. Boven is de atmosferische druk klein en moet het drijflichaam relatief een grotere inhoud hebben. Gedacht wordt aan langsdoorsneden van 360 m tot 900 m.

In versie II is het drijfvermogen geïntegreerd in de pijp. Deze wordt daardoor twee keer zo breed op zeeniveau. Ook hier speelt de atmosferische druk op grote hoogten een rol. Daardoor neemt de doorsnede toe tot 165 m op ongeveer 5000 m hoogte.

Het blijkt dat beide versies constructief mogelijk zijn. Bij een flinke storm is de statische deflectie bovenaan de pijp bij versie I (met vier drijflichamen) 344 m, bij de geïntegreerde versie slechts 57 m. Dat is voor beide versies verrassend weinig. Nog meer indruk echter maakte het dynamische gedrag van beide versies. Windstoten van sinusvorm en beperkte duur

werden aan de beide versies gegeven. Indien een windstoot op 4500 m wordt gegeven, is de deflectie maximaal 20 m respectievelijk 1 m.

De natrilling van beide versies was verschillend. De dunne mast heeft veel eigenfrequenties voor buigen onder de 0,1 Hz, terwijl de geïntegreerde versie begint bij 10 Hz. De reden voor deze kleine uitwijkingen moet gezocht worden in het enorme gewicht van de condensor. Deze functioneert als stabilisator voor de pijperonder.

Ook de tuidraden zijn technisch interessant. Zonder de toepassing van nieuwe materialen zal het niet mogelijk zijn de toren te tuien. Nu blijkt dat doorsneden van $0,2 \text{ m}^2$ van een modern materiaal de spanningen kunnen opvangen, die ontstaan bij stormen en windstoten. De mechanische constructie is derhalve technisch mogelijk.

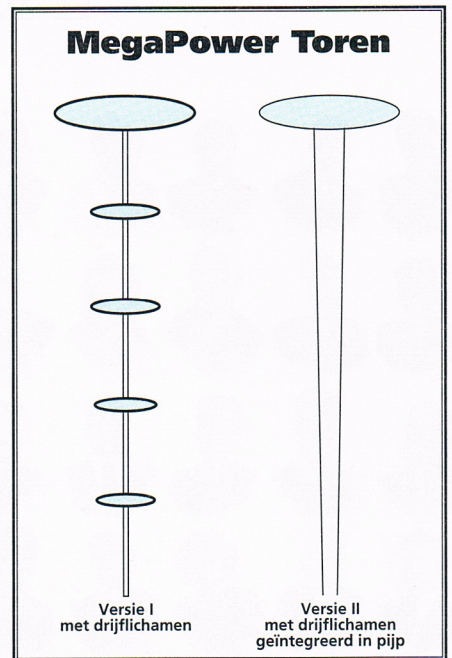
De manier waarop de pijp opgebouwd moet worden ligt daarmee nog niet vast. Binnen het MegaPower-project is een aantal ideeën bedacht om een pijp van een dergelijke lengte op te bouwen. Uit verder onderzoek van het NLR blijkt dat constructies van nog grotere dimensies technisch mogelijk zijn. Dit opent nieuwe wegen voor andere voorstellen.

Milieutechnische aspecten zijn voor MegaPower van groot belang. Men kan zich voorstellen dat een puntvormige vermogenswinning zich heel anders gedraagt in het milieu dan een vermogenswinning die over een groot oppervlak is verdeeld. Hiervoor zou een model ontwikkeld moeten worden. Vanwege de beperkte duur en mogelijkheden van de huidige voorstudie kon alleen de haalbaarheid naar constructie en thermodynamische opzet bekeken worden.

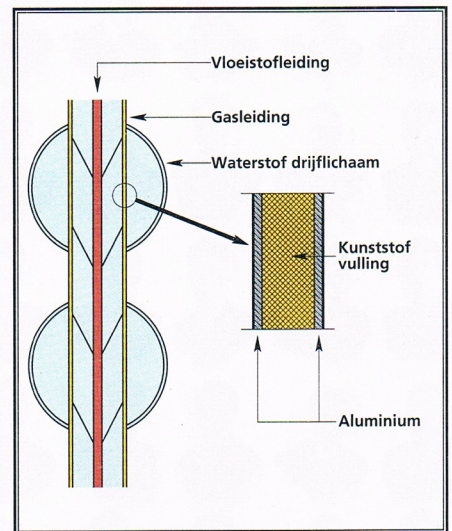
Ten slotte

Door de opmerkelijke resultaten van de voorbereidende haalbaarheidsstudie moet er een uitgebreid voorontwerp komen waarin alle aspecten uitgewerkt, geëvalueerd en afgewogen worden. Er zijn nog veel onuitgewerkte mogelijkheden. De koppeling tussen techniek en technologie moet met grote harmonie tot stand worden gebracht. Voorbeelden daarvan geeft de natuur in grote diversiteiten.

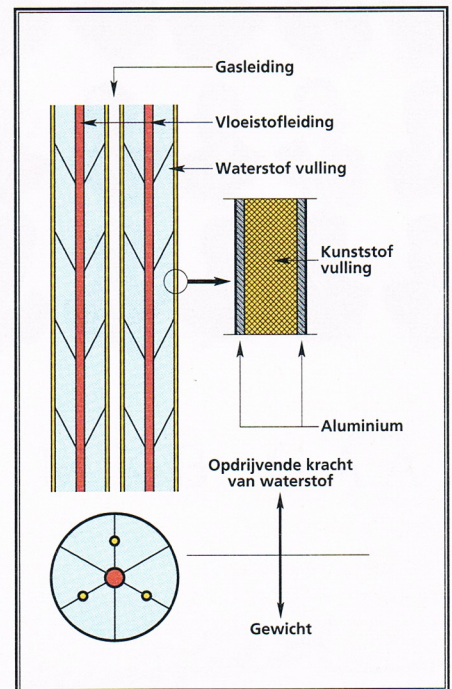
Het idee van MegaPower komt vanuit bewegelijkheid met de natuur en moet daarom een eerlijke kans krijgen. Zou het niet prachtig zijn als op economische verantwoorde wijze door middel van dit 'luchtkasteel' op grote schaal energie uit de natuur gewonnen kan worden?



Afb. 4



Afb. 5 Separate waterstof drijflichamen.



Afb. 6 Drijfvermogen geïntegreerd in de pijp.