

ANNEX 2

LADDERMOLEN PROJECT

ANNEX 2	1
LADDERMOLEN PROJECT	1
Samenvatting project.....	1
Ontwikkeling stand en strategie	2
Achtergrond van het project.....	3
Kennis ontwikkeling van het project	4
Kosten berekening:.....	5
Ecologisch perspectief	5
slagkans:	6
Technologisch perspectief.....	6
Appendix I Windstatistiek KNMI data 1961-1980	7
Appendix II Vaak gesteld de vragen:	12
Appendix III picture showing three generations of wind mills:.....	15
Appendix IV Mogelijke partners in het Laddermolen Project en evt. vervolg:.....	15
Samenvatting project	

Gezien de welhaast onuitputtelijke voorraad energie in het luchtruim (2.5 kW/m² gemiddeld), gezien de potentiële mogelijkheid gegeven door het laddermolen principe deze te kunnen exploiteren (mogelijk >10 MW installaties) en gezien het gebruik van lichtgewicht materialen en vezels die op den duur lage kosten mogelijk maken, bestaat de verwachting dat een significante hoeveelheid duurzame energie met de laddermolen kan worden geproduceerd tegen economisch concurrerende kosten per kWh.

Vele bestaande deel technologieën worden gebruikt, zoals kabels, lieren, koppel mechanisme, vleugel ontwerpen. Echter de geheel nieuwe integratie en schaal leiden tot geheel nieuwe technologieën, waarin kritisch zijn stabiliteit en regeling, licht gewicht vleugels, bedrijfsvoering.

Voor de uitvoering van het project worden een aantal (geplanned 4) promovendi aangetrokken elk op een 4 jarig contract om de basis te leggen voor het ontwerp. Daarnaast zullen deze promovendi en studenten en staf mede werken om zo spoedig mogelijk tot enige vorm van demonstratie te komen.

Het project "LADDERMOLEN PROJECT" betreft is de ontwikkeling in de pre-commerciele periode en is onderverdeeld in een aantal fases voor. Deze fases overlappen gedeeltelijk in tijd, en hebben ook een sterk onderlinge relatie. En mogelijk commercieel vervolg van het Laddermolen Project is ook aangegeven. (proptotype etc.)

De verschillende project fases zijn:

Fase 1 "theoretisch proof of concept"

1. Het demonstreren van het basis principe en continueren van experimenten op intuïtief niveau
2. het ontwikkelen van een simulator
3. onderzoek van de ontwerp problematiek zoals stabiliteit m.b.v. de simulator

Fase 2 “preliminary design and concept evaluation”

1. het onderzoek van de benodigde technologieën,
2. het creëren van conceptuele ontwerp opties, zoals met controleerbare vliegers
3. het onderzoek van de bedrijfsvoering en maatschappelijke acceptatie en het economische potentiaal
4. het verder ontwikkelen van de simulator tot design tool
5. het doen van de trade-off en komen tot een of meerdere ontwerpen

Fase 3 “proof of concept , de demonstratie”

1. Het ontwerpen van een eenvoudige Laddermolen met minimum complexity
2. Test ontwikkelen, zomogelijk op gereduceerde schaal
3. Passend evenement creëren of uitzoeken waarbij de demonstratie media attentie krijgt
4. Resultaten evalueren

Fase 4 “test model development and experimental research”

1. het ontwerp Laddermolen testmodel
2. research omgeving voor het test model creëren
3. test model activiteiten starten

na mogelijk succesvol afronden van fase 4, is en vervolg fase (nog niet opgenomen in het huidige 5 jaar plan:

Vervolg Fase “prototype development and market exploration”

1. ontwerp van een prototype.
2. Bouw prototype
3. Research prototype
4. Markt benadering en productie

Het gehele ontwikkelingstraject strekt zich uit over 10 tot 15 jaar. Zo'n periode is normaal voor een geheel nieuwe technologie. Het heerbij beschreven LADDERMOLEN PROJECT strekt zich uit over de eerste 5 jaar. Deze fase wordt op een academische wijze uitgevoerd voornamelijk door promovendi en studenten.

Ontwikkeling stand en strategie

Conceptueel en reken technisch de Laddermolen heeft reeds een aanzienlijke ontwikkeling plaats gevonden en een analyse van het weer op grotere hoogte is gemaakt. E.e.a. die heeft geleid tot een kosten optimale bedrijfsvoering.

Het huidige doel is het zo spoedig mogelijk realiseren van een demonstratie (model).

De analyses hebben geleerd dat het ontwerp van een Laddermolen met passief stabiele vleugels een uiterst lastige zaak is, en wellicht in deze fase ook niet relevant. Immers de huidige technologie geeft de mogelijkheid kleine en lichte elektronica in iedere vleugel aan te brengen die zowel de navigatie (GPS) als ook stand regeling verzorgd (autopilot).

DRAFT

Het voorstel is dan ook een demonstratie model te ontwerpen met een redelijk aantal (5-10) zeer lichte vleugels (voorkeur opblaasbaar), welke elk m.b.v. een radiografische besturing worden gecontroleerd. In feite zullen alleen de bovenste (3-5) vleugels gecontroleerd dienen te worden. Lagere vleugels ondervinden een kracht in de kabel die veel groter is dan die van de vlieger zelf, zodat het stabiliteit probleem geen rol speelt.

Vervolgens wordt een test model ontworpen. Dit test model zal de mogelijkheden dienen te geven om alle aspecten die een rol (kunnen) spelen bij een produktie model te kunnen onderzoeken. (weliswaar niet noodzakelijkerwijs tegelijk en op de toekomstige schaal).

Na afsluiting Laddermolen Project en nadat experimenten met het testmodel en wetenschappelijk onderzoek door de promovendi een juist beeld hebben gegeven t.a.v. de potentiële toepassingen van de Laddermolen en de daarbij horende technisch ontwikkeling zal met potentiële investeerders onderhandeld worden voor het ontwerp van een Laddermolen prototype. Het is in deze fase nog niet duidelijk welke rol de leerstoel dan zal spelen.

Achtergrond van het project

Het luchtruim vormt een zeer belangrijke bron van energie die in de toekomst mogelijk van groot belang kan zijn voor onze energie voorziening. Zie figuren in Appendix I. De energie flux per vierkante meter gemiddelde in tijd en over hoogte in de troposfeer (0 tot 10 km hoog) is 2.5 kW/m², een factor 30 keer zo groot dan de flux op 100 m hoogte, waardoor de troposfeer een wel onuitputtelijke energie bron is. (Windstatistiek gebaseerd op gegevens van het KNMI zijn weergegeven in appendix I.)

Naast een stijgende vraag naar energie is in Kyoto de verplichting aangegaan om de CO₂ uitstoot juist te reduceren. Dit kan alleen door substantieel te investeren in de ontwikkeling van duurzame energie. De actuele ontwikkeling van duurzame energie loopt echter sterk achter bij de gewenste. Hierdoor is een belangrijke uitdaging neergezet voor innovatieve concepten en technologieën naast de verdere ontwikkeling van bestaande concepten (horizontale as windturbine).

Het concept laddermolen is zo'n innovatief concept dat ons in principe in staat stelt de energie uit het luchtruim te exploiteren. Het principe van de laddermolen wordt uitgelegd in appendix II

Voorlopige berekeningen geven een potentieel aan van een mogelijk significante bijdrage (>>10%) aan de duurzame energie: Een Laddermolen met bestaande kabel (50 mm diameter) en 25 m² vleugels (vergelijkbare toepassing bestaat bij Airborne's "AeroSkimmer") leidt tot ruim 3 MW gemiddelde opbrengst over een jaar, hetgeen te vergelijken is met een tiental grote 1 MW windturbines ("capacity factor 0.3"). Mogelijk kunnen Laddermolens worden gerealiseerd met kabels van 100 mm diameter en grote vleugels van 100-500 m². Zulke grote laddermolens zullen een vermogen leveren van 10-20 MW gemiddeld op jaar basis. Een honderdtal van deze Laddermolens zal 1500 MW (=10% van de Nederlandse elektrische energie vraag) leveren.

Voordat een Laddermolen gerealiseerd kan worden is echter een uitgebreid professioneel onderzoek noodzakelijk dat voorbij gaat aan de 'scope' van een klein beginnend bedrijf zoals O-Mill BV. Zo'n onderzoek is efficiënt uit te voeren door een duidelijk doel te stellen:

het ontwerp van een test model waarmee alle aspecten van een productie model onderzocht kunnen worden om vervolgens een prototype te ontwerpen.

Door het innovatieve karakter is de technologie van een Laddermolen nog niet ontwikkeld. Nederland kan een strategische gunstige positie innemen door als eerste deze technologie te ontwikkelen en een voorsprong te nemen in de mogelijke markt. Deze technologie is getypeerd door gebruik van zeer lichtgewicht en sterke constructies, geavanceerde weermetingen en voorspellingen, en gecompliceerde regel en controle systemen. Een aanzienlijke spin-off kan worden verwacht t.a.v. controle van sterke kabels, lichte opblaasbare structuren, weervoorspellingen voor de luchtvaart etc.

Kennis ontwikkeling van het project

De probleemstelling van het Laddermolen Project is de realisatie van een test model .

De kennis die verworven dient te worden is multidisciplinair en bevat:

- De translator:
 - hoe zeer lichte vleugels te construeren, met de vereiste stabiliteit eigenschappen
 - hoe de vleugel standregeling te realiseren voor de controle van de trekkracht
 - hoe de gehele translator te besturen en aan te passen aan veranderende weersomstandigheden
 - beïnvloeding door automatische regeling
 - hoe de in- en uitlier procedures uit te voeren (de inherente veiligheid door lage valsnelheid en opblaasbare vleugels)
 - hoe de relatie luchtvaart en vereiste separatie te garanderen
 - de inherente veiligheid door lage valsnelheid en opblaasbare vleugels
 - de maatschappelijke acceptatie (elegante en trots opwekkende verschijning, lage snelheid en geen geluid overlast)
 -
- Het grondstation:
 - hoe vleugels af te haken of bij neergaande kabel en aan te haken bij opgaande kabel
 - hoe de aparte logistiek van vleugels, de inspectie en vervanging en mogelijkheid van helium gevulde vleugels voor start uit lieren te realiseren
 - hoe de kabel segmenten die ont- en aange- koppelt worden voor resp. na de vermogens overdracht te hanteren en te monitoren op vermoeidheid (kruip)
 - hoe de afzonderlijke lieren te bedienen, zodat de kabel lus met optimale snelheid het maximale vermogen levert en kan worden uitgelierd dan wel ingelieerd.
 - hoe de verankering in de grond en draai mogelijkheid of toepassing op water (verankerd ponton) te realiseren
- De bedrijfsvoering
 - hoe de juiste weervoorspelling te realiseren (“now-cast”) en de Laddermolen aan te passing
 - hoe de benodigde sensors en monitoring methoden te realiseren voor de veiligheid en vervangings criteria
 - de ontwikkeling van nood procedures
 - de algehele optimalisatie van het end-to-end systeem
 - het economisch perspectief
 - het ecologisch perspectief

Naast de bovengenoemde lijst van kennis die verworven dient te worden, zullen, door het nieuwe karakter van de laddermolen vele deel aspecten eerst dan duidelijk worden in het verloop van dit project.

Kosten berekening:

In de spreadsheet is een voorbeeld berekening te zien. Het kosten model gaat uit van een levensduur van 4 jaar voor de kabel en vleugels en van 10 jaar voor het grondstation. Kabel en vleugel kosten zijn geraamd op FI 100.- per kilogram (ECN). Kosten van grondstation zijn betrokken van interne communicatie TU Delft. Van belang is dat de kosten per kWh aanzienlijk lager zijn dan de huidige productie kosten voor energie van windturbines en andere duurzame productie en dat de target gezet door de Europese Commissie 0.05 ct/kWh in 2020 bereikbaar lijkt.

Physical Data				Operating cost			
wing size		25	m ²	depreciation:			
wing mass		25	kg	lifetime	translator		
number of wings		600		4		wings	151 kFI
average number of wings		420		4		cable	202 kFI
cable diameter	600	40	mm			grondstation	
maximum high		10500	m	10		storage	38 kFI
average height		6200	m	15		gerator	88 kFI
				15		gearbox	67 kFI
				15		converter	333 kFI
				25		ponton	16 kFI
Performance						total	895 kFI
deployment		72%					
average power		3353	kW			maintenance	2% 18 kFI
maximum power		10000	kW			interest on investment	6% 603 kFI
cable speed		6.9	m/s			total annual cost	1516 kFI
average cable force		1.00E+05	N				
maximum cable force		2.00E+05	N				
ANNUAL PRODUCTION		2.95E+07	kWh				
Investment							
translator			kFI	Cost per kW 5.14 cent/kWh			
80 wings		840	kFI				
80 cable		1121	kFI				
grondstation			kFI	Cost per kW 2.32 Eurocent/kWh			
500 storage		375	kFI				
gerator		1320	kFI				
100 gearbox		1000	kFI				
500 converter		5000	kFI				
ponton		400	kFI				
		total	10056 kFI				

Ecologisch perspectief

- De Laddermolen ontwikkeling stelt zich ten doel laddermolens te realiseren met een gemiddelde vermogen minimaal een tot enkele tientallen megawatts. Met dergelijk grote installaties kan een significante bijdrage worden geleverd aan de Nederlandse duurzame energie productie. De huidige geprojecteerde wind energie productie in Nederland in 2000 is 16 PJ. Dit komt overeen met 500 megawatt gemiddeld. Met een 50 tal laddermolens laat zich deze waarde verdubbelen.

DRAFT

- Om het doel van 10% duurzame energie (Kyoto) te bereiken zijn de huidige initiatieven niet voldoende. Wereldwijd is het potentiële probleem extra groot vanwege de verwachte explosieve groei van de vraag naar energie. Deze meer dan exponentiële groei is het gevolg van de combinatie van bevolkingsgroei en groei van de energie vraag per capita.
- Door zijn opvallende verschijningsvorm (“ Men plukt de energie uit de lucht”, Prof.Cees Dam) is de uitstraling groot. De algemeen technologie past in de Nederlandse cultuur van touw slagerijen, zeilen en economisch omgaan met de elementen.

slaagkans:

- Er zijn op dit moment geen alternatieve technologische concepten voor het exploiteren van de wind energie op de hoogtes die met de laddermolen zijn te bereiken.(1-10 km)
- Er zijn tot nu toe geen nadelige neven effecten geïdentificeerd. De kabel snelheid is zo laag (10-36 km per uur) dat er geen geluid wordt gegenereerd dat boven het geluidsniveau van de wind en omgeving uitkomt. De wind langs de vleugels produceert een geluid sterkte vergelijkbaar met die van een kleine schuur en zal over het algemeen ook niet boven de omgevingsgeluiden uitstijgen.
- Visuele aspecten zijn moeilijk in te schatten. Een aantal spontane reacties van toehoorders bij presentaties laat zien dat er een grote acceptatie is. De laddermolen wordt ervaren als prestatie. Als “plukken van energie uit de lucht” en als een langzaam en gracieus bewegende ladder die als het ware verdwijnt in een puntje aan de lucht. Men ervaart een zekere trots, vergelijkbaar bij het aanschouwen van vlieger series. (voorbeeld jaarlijkse Wereld kampioenschappen vliegers in Scheveningen)
- Het algemene milieu probleem gerelateerd aan de energie vraag zal een ondersteunend effect hebben voor de laddermolen ontwikkeling.

Technologisch perspectief

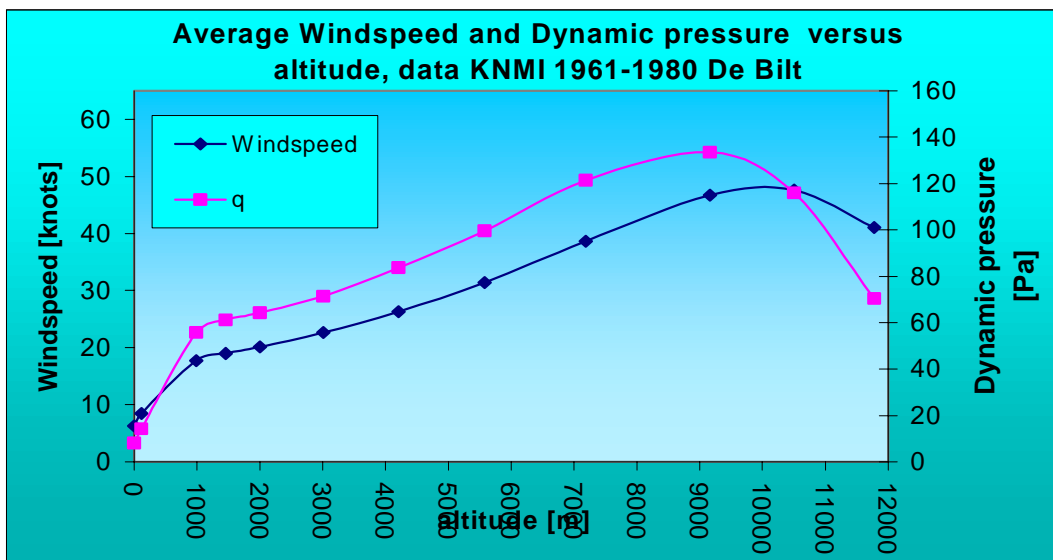
- De Laddermolen is een geheel nieuwe uitvinding en concept (ref. nieuwheid onderzoek patent), dat met behulp van vleugels en kabels een geheel nieuwe domein exploiteert, namelijk wind energie van grote, tot nu toe voor exploitatie niet bereikbare, hoogtes naar beneden transporteren en omzetten in mechanische/elektrische energie.
- De Laddermolen is gepatenteerd in Nederland (1996) en Europa en de Verenigde Staten. Spin-off technologieën laten zich eveneens patenteren.
- De Laddermolen creëert een groot aantal technologische uitdagingen:
 - Vleugel ontwerp met 3 dimensionele stabiliteit en zeer lichte constructie
 - Zeer sterke en lichte kabel met koppelingen en veiligheid monitoren
 - Gecontroleerd oplaten en inhalen van de translator
 - Regeling van groot aantal gekoppelde vleugels in sterk veranderende weersomstandigheden
 - Overbrenging van grote krachten met lage snelheid en de daarmee gepaard gaande elektriciteit productie
 - Afhandeling van de logistiek van vleugels en kabel segmenten in het grondstation
 - Bedrijfsvoering: flexibiliteit, “now-cast”, sensors, optimalisatie
- Door het nieuwe karakter kan spin-off worden verwacht in b.v. opblaasbare structuren (zeil boten, hanggliders, vliegers, emergency hulp apparatuur zoals krik en hijskraan...), aeroelastische structuren, direct drive lineaire generatoren, grote lieren etc.
- Een aantal bestaande technologieën kunnen worden toegepast , vooral voor de kleinere schaal Laddermolen (orde ~ MW op jaar gemiddelde). Dyneema kabels worden toegepast in de zeevaart en zijn leverbaar tot 80 mm diameter, hetgeen overeen komt

DRAFT

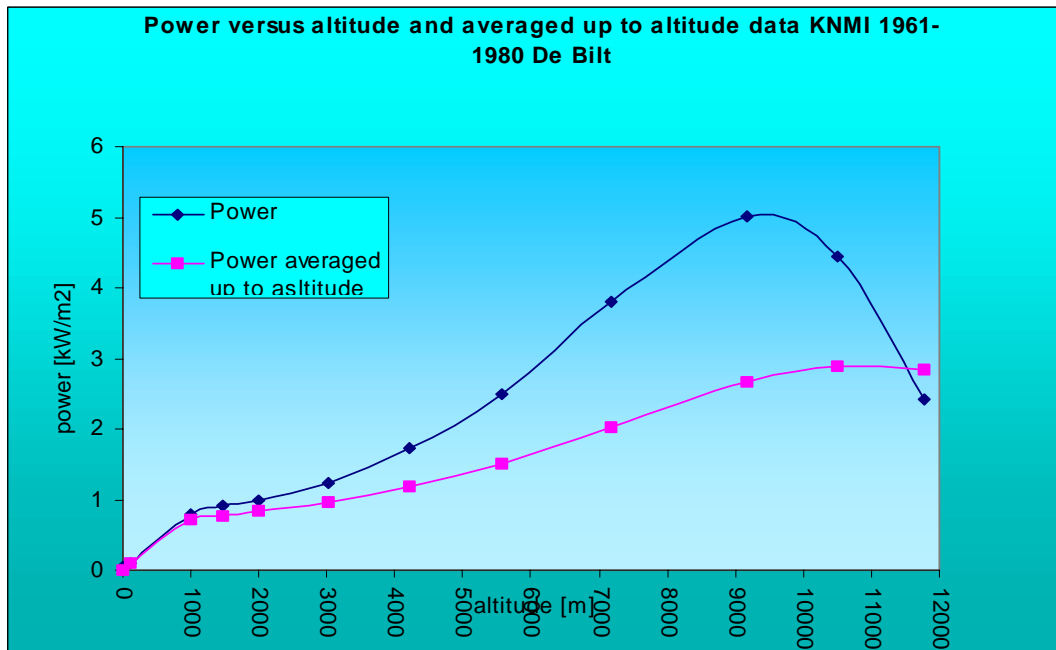
met 400 ton trekkracht (equivalent 20 MW maximum vermogen!) Vleugels kunnen eventueel als vliegtuig met auto piloot en GPS functioneren terwijl de constructie overeenkomstig ultra lichte vliegtuigen of hanggliders kan zijn. De lieren bestaan (hydraulische scheepslieren) maar dienen opgeschaald te worden voor de grotere krachten. Koppeling mechanismen voor de vleugels aan de kabel zijn mogelijk vergelijkbaar aan de koppeling van de cabine aan de skilift kabel, hoewel in dit laatste geval staal kabels worden gebruikt. De krachten in het grondstation vallen binnen die van bestaande systemen. (ski lift).

- Kritische ontwikkeling factoren zijn met name verbonden aan de stabiliteit en flexibiliteit (in- en uitlieren) aan de gecontroleerde vermogens overbrenging van de translator. De risico's zijn het gevolg van de systeem samenhang en operationele capaciteit en flexibiliteit voor aanpassing aan de mogelijk snelle weersveranderingen .
- Structurele verhoging van intensiteit van het aangegane samenwerkingsverband en bevordering van uitbreiding daarvan wordt verwacht door succes ladder molen en succes spin-off.

Appendix I Windstatistiek KNMI data 1961-1980



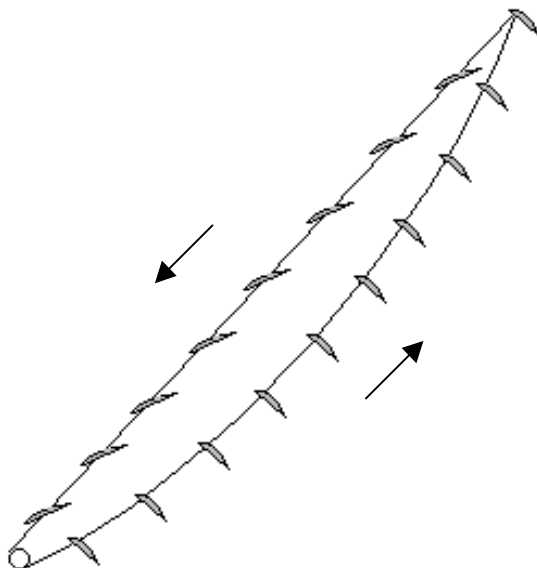
Figuur 1.1 De gemiddelde windsnelheden en dynamische druk als functie van hoogte zijn weergegeven. De aërodynamische druk ($= 1/2 \cdot \rho \cdot V^2$) is van belang daar deze de kracht op de vleugels bepaald. Deze aërodynamische druk blijkt ongeveer hetzelfde verloop te hebben als de wind snelheid. Dit is toevallig en het gevolg van de afnemende lucht dichtheid ρ .



Figuur I.2 zijn weergegeven het gemiddelde wind vermogen ($= 1/2 \cdot \rho \cdot V^3$) en dit vermogen gemiddelde over een lucht kolom van 0 m tot aan de hoogte (x-as) . Deze laatste waarde is van belang voor de laddermolen.

Appendix II Het laddermolen principe :

De laddermolen berust op het beginsel van door liftkrachten naar boven bewegende draagvlakken; vleugelpanelen of vliegers. De draagvlakken zijn boven elkaar aan een of meerdere kabel(s) bevestigd en zijn zodanig op de wind ingesteld dat daaraan windenergie kan worden onttrokken, tijdens de opwaartse beweging van die draagvlakken. Op zekere hoogte, die wordt bepaald door de lus lengte, gaat de opwaartse beweging van de draagvlakken over in een dalende beweging. Tijdens het dalen zijn dan de invalshoeken van de draagvlakken zodanig ingesteld dat de kabelspankracht in de neergaande kabel(s) kleiner is(zijn) dan die van de opwaartse kabel(s). maar wel voldoende om de vleugels en kabel te dragen. Met de resulterende kabelkrachten wordt dan via een as een arbeidstoestel aangedreven, bijvoorbeeld een elektrische generator. Zie figuur II.1 voor een schematische voorstelling van het proces. (deze figuur is het resultaat van een simulatie berekening) Bij het omhoog gaan van de vleugels, kunnen deze zijdelingse (cross-wind) bewegingen maken waardoor de trekkracht sterk toeneemt.



Figuur II.1 Schematische voorstelling van de laddermolen [Ontleend aan [07]]

Globale systeembeschrijving van de laddermolen

Algemeen

Als systeem is de laddermolen opgebouwd uit de “translator” en het grond station. Met de translator wordt energie aan de wind onttrokken. Hoofdkenmerk van het grondstation is de omzetting van de door de translator opgewekte mechanische energie in elektrische energie en de voor de bedrijfsvoering benodigde hulpsystemen.

De translator

De translator is samengesteld uit een groot aantal, 100 tot 1000, translator vleugels, die onderling met een of meerdere kabels zijn verbonden. De vleugels zijn zodanig op de aanstromende (effectieve) windsnelheid ingesteld dat zij opwaarts bewegen. Om zoveel mogelijk energie aan de wind te onttrekken wordt gebruik gemaakt van het op “liftkrachten” gebaseerde werkingsprincipe en dus niet op dat gebaseerd op “weerstandskrachten”. In figuur II.2(a) is het vector(krachten/snelheden)-diagram van de opwaartse vleugels van de laddermolen aangegeven. Daar de drijvende liftkracht alsmaar meer naar voren (tegen de

DRAFT

wind in) helt met toenemende hoogte zal de opgaande translator baan alsmaar steiler moeten oplopen met toenemende hoogte. Immers de liftkracht zal grosso modo dienen samen te vallen met de raaklijn aan de kabelbaan.

Het neergaande deel van de translator lus bevindt zich stroomopwaarts ten opzichte van het opwaarts bewegende deel van de lus; de bladen “zweven” als het ware in glijvlucht naar beneden. De kabelkracht in het neergaande deel dient natuurlijk zo klein mogelijk te zijn om het hierdoor veroorzaakte energieverlies te beperken. Zie figuur II.2(b) voor het vector(krachten/snelheden)diagram van de neerwaarts bewegende bladen van de laddermolen.

Samengevat zij vermeld dat de translator is opgebouwd uit de volgende hoofdcomponenten:

- Translator vleugels;
- Translator kabel(s);
- Koppelingen van, dan wel verbinding tussen, blad aan kabel;
- Vleugel verstelmechanismen en de daarvoor benodigde regelaar



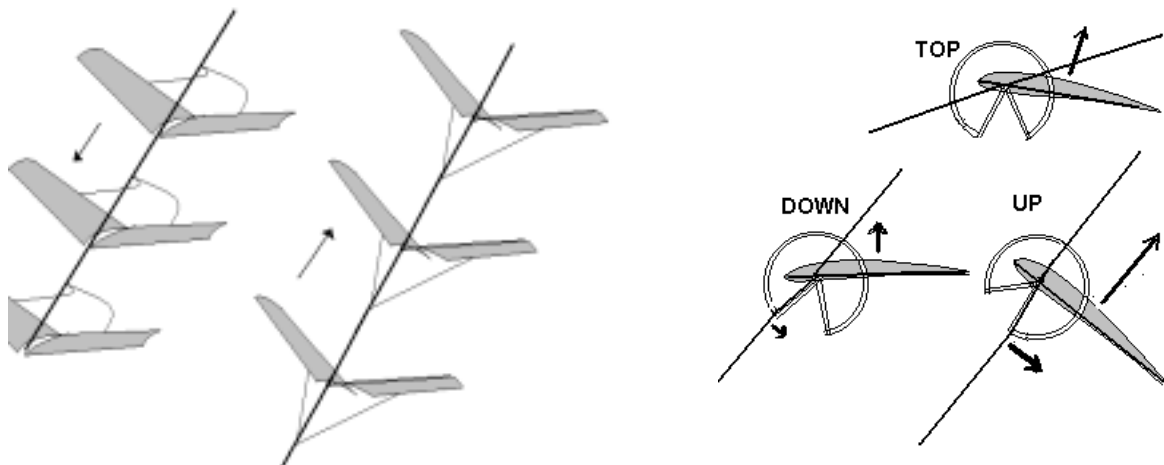
(a) Opwaarts bewegend (a) Neerwaarts bewegend

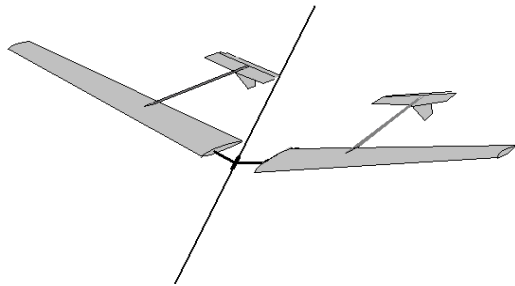
Figuur II.2 VECTOR(KRACHTEN/SNELHEDEN)DIAGRAM VAN OPWAARDS EN NEERWAARDS BEWEGENDE BLADEN VAN DE LADDERMOLEN

De instel hoek van de vleugels (deze bepaald de lift) kan op verschillende wijzen worden geregeld. In figuur II.3(a) en figuur II.3(b) zijn twee methoden aangegeven. Door de miniaturizatie is te verwachten dat toekomstige vleugels zich zelf besturen m.b.v. een autopiloot en een positie bepaler GPS. Zie figuur II.3(c) Waarbij alle vleugel in verbinding staan net een grond computer die de optimale standen communiceert

Figuur II.3(a) met toom draden

Figuur II.3(b) met wig





Figuur II.3(c) met auto piloot

Ook is te verwachten dat z.g. “now-cast” toegepast wordt. Dit is een methode om m.b.v. lidar de wind voorspelling te doen op termijnen van enkele minuten tot een uur. Op deze basis laat zich de laddermolen optimaal aanpassen aan de wind.

Stabiliteit onderzoek is reeds verricht met eenvoudige modellen. De resultaten geven het vertrouwen dat een vleugel ontwerp mogelijk zal zijn dat stabiliteit (ook transient na wind vlagen) geeft. Echter is een gedetailleerd onderzoek nodig om de eigenschappen van zo'n vleugel en het bijbehorend ontwerp te bepalen.

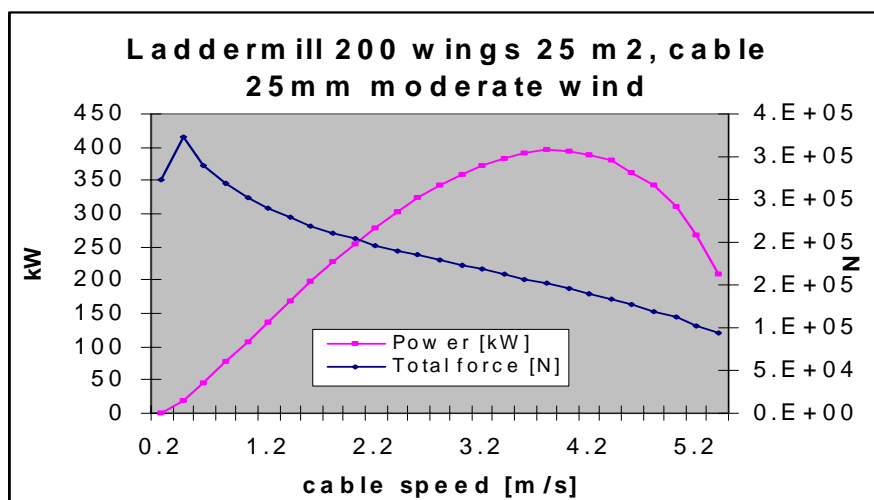
Grondstation

Het grondstation wordt gekenmerkt door de volgende twee hoofdfuncties. Ten eerste het in bedrijf stellen en houden, en buiten bedrijf stellen van de translator en ten tweede de conversie van de door de translator afgegeven mechanische in elektrische energie. Een belangrijke randvoorwaarde voor het ontwerp van het grondstation is of er sprake is van een op het land of buitengaats (offshore) concept.

In de huidige stand van zaken wordt het beste concept gezien als grond station met grote flexibiliteit. Deze wordt verkregen door de vleugel af te haken bij aankomst en weer op te haken aan de opgaande kabel. (vergelijk moderne ski lift) Hierdoor ontstaat een gescheiden vleugel logistiek. Waardoor de vleugel kunnen worden geïnspecteerd en evt. vervangen. Terwijl ook een aantal helium gevulde vleugel aanwezig kunnen zijn voor de eerste fase van het uitlieren De kabel wordt gedacht te zijn opgebouwd uit segmenten die ontkoppeld worden bij aankomst en weer aangekoppeld bij 'vertrek'. De segmenten (lengte b.v. 200 m) hebben ook een aparte logistiek. De kabels kunnen op lengte worden afgekeurd na veelvuldige belasting. (Dyneema criterium is 10%) en worden vervangen. De segmenten maken het ook mogelijk de kabel lus langer en korter te maken tijdens het bedrijf. Twee onafhankelijke lieren bedienen de neergaande kabel en de opgaande. In geval dat er geen wind is. Kunnen beide lieren de kabels inlieren. Door het lage gewicht van vleugels en kabel is de val snelheid van de zelfde grote als de bedrijfs snelheid (3-10 m/s).

Opbrengst:

Onafhankelijke modellen (programmatuur) om de opbrengst uit te rekenen zijn gemaakt door ECN, TU Delft en O-Mill. De resultaten van deze drie modellen komen goed overeen. Het blijkt dat het vermogen afhangt van de kabel snelheid. Over het algemeen zijn de kabel snelheden laag. De optimale snelheid is ongeveer 1/3 de van de windsnelheid. In figuur II.4 is het vermogen geplotted en de totale kabel kracht voor een typische geval. (zie ook tabel B.1)



Figuur II.4: Laddermolen opbrengst berekening .

Operatie en bedrijfs voering:

Door de keuze van vleugels op- en afhaken, en de segmenteerde kabel, is het mogelijk de kabellus lengte (en dus hoogte) en het aantal vleugels aan te passen aan de weersomstandigheden. De tijd van aanpassing wordt gegeven dor de normale bedrijfs range van kabel snelheid. B.v. het uitlieren naar - en inlieren van -5000m hoogte zal zo'n 20-30 minuten kunnen duren (4 m/s). Een bedrijfs model met een eenvoudig kosten model is in ontwikkeling dat gebruik makend van de KNMI gegevens de translator hoogte zo aanpast dat de vleugels tot aan hun maximale aërodynamische druk worden belast(met veiligheid factor). (Deze druk neemt o.h.a. toe met hoogte waardoor deze hoogte eenvoudig te bepalen is). Het aantal vleugels wordt vervolgens aan-gepast totdat de maximale kabel kracht is bereikt. (het totaal aantal aanwezige vleugels is uiteraard beperkt)

Appendix II Vaak gesteld de vragen:

- *Is de lus wel stabiel bij windvlagen en bij turbulentie ?*
 - Stabiliteit wordt voornamelijk bepaald door de bovenste vleugels net als bij een lange serie vliegers en dit bepaalt mede waarom de vleugel van de laddermolen als een vliegtuigvleugel te controleren is. Radiografische besturing (modelvliegtuig) of automatische controle met behulp van geavanceerde elektronica en computer optimalisaties. Windvlagen en turbulentie worden eveneens opgevangen door de elastische eigenschappen van de vleugel waarbij het gegeven dat vele vleugels de veranderlijke krachten van turbulentie zullen 'middelen' meewerkt. Er wordt momenteel onderzoek gedaan naar de mogelijkheid opblaasbare structuren te gebruiken omdat die als eigenschap hebben dat ze bij hoge belasting vervormen en zo de mogelijke krachten begrenzen.
- *Wat gebeurt er als de kabel breekt?*
 - De kabel bestaat uit relatief kleine stukken die telkens geïnspecteerd worden op het moment dat ze het grondstation passeren zodat de kans klein is dat de kabel breekt. Het materiaal van de kabel (Dyneema)

maakt de inspectie bovendien eenvoudig doordat het materiaal bij belasting geleidelijk in lengte zal toenemen. Is de kabel bijvoorbeeld 10% uitgerekt dan zal hij vervangen moeten worden. Het grondstation controleert verder de totale kracht van het systeem door regeling van de hoogte van de lus en het totaal aantal vleugels dat aan de kabel is verbonden. Mocht onverhoopt de kabel toch breken dan zal de kabellus in een langzame daling komen en vanwege de lichte constructie zal de daalsnelheid zo'n 20 km/per uur zijn.

- *Wat gebeurt er als er plotseling geen wind meer is?*
 - Bedrijfsvoering van de laddermolens veronderstelt een goede samenwerking met weerdeskundigen. Tegenwoordig is met weervoorspelling op korte termijn veel ervaring opgedaan in de vliegwereld. De kans dat de laddermolen bij veranderde weersomstandigheden tijdig kan worden binnengehaald is groot. De situatie van een plotselinge – niet voorziene windstilte – zal de laddermolen doen dalen met de al eerder genoemde daalsnelheid van 20 km/per uur. Het grondstation kan met deze snelheid de laddermolen binnenhalen.
- *Hoeveel ruimte heeft de laddermolen nodig?*
 - In de testfase zal de laddermolen allereerst op zee gebouwd worden waarbij het grondstation staat op een ponton die verankerd is aan de zeebodem. De operationele laddermolen dient buiten de bewoonde bebouwing te blijven waarbij een afstand van 15 km voldoende lijkt. Bij meerdere laddermolens kan de onderlinge afstand ongeveer 1 km te zijn. Ook hier speelt de controle van de vleugels door het grondstation een belangrijke rol.
- *Is de laddermolen gevaarlijk voor vliegtuigen?*
 - De laddermolen is een langzaam bewegende installatie die eigenlijk als een vliegend object beschouwd kan worden waarbij op de vleugel een transponder en GPS aangebracht is zodat elk vliegtuig op tijd gewaarschuwd wordt. Het luchtruim is heden ten dagen volstrekt niet vol. Er is geen reden te veronderstellen dat de laddermolen een onveilige situatie zal veroorzaken en de voordelen van de productie van duurzame energie zullen zeker een eigen plek voor de laddermolen verantwoorden.
- *Hoeveel laddermolens heeft Nederland nodig?*
 - De behoefte in Nederland aan elektrische energie is ongeveer 15.000 Megawatt wat vergelijkbaar is met de opbrengst van een paar honderd laddermolens van het grootste type (50-100 Megawatt). In plaats van 200 laddermolens zou je zo'n 50.000 windmolens nodig hebben. Niet vergeten moet worden dat met de ervaring van de beginfase een ontwikkeling in gang gezet wordt naar grotere vleugels en multiple kabels. In combinatie met technologie van luchtschepen is het niet ondenkbaar dat ook laddermolens van meer dan 100 Megawatt bereikbaar zijn.
- *Wat kost een laddermolen?*
 - De kostenberekening die in aanmerking neemt factoren als kabel, vleugel, grondstation en mechanismen voor overbrenging van kabelkracht komen

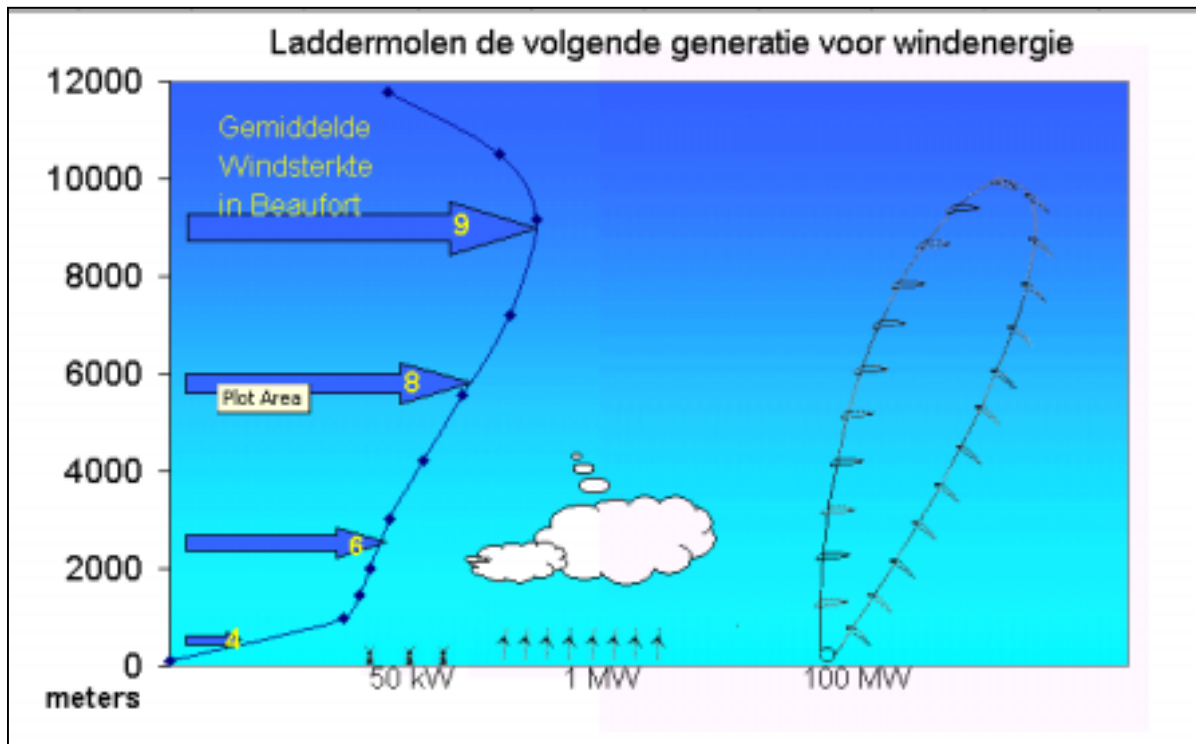
de geschatte installatiekosten op bijna 1.000 gulden per geïnstalleerd kilowatt. Een 10 Megawatt installatie zal zo ongeveer 8 miljoen gulden kosten en een gemiddelde opbrengst hebben van 3.5 Megawatt. Deze kosten leiden tot zo'n 5 cent/kWh als van en levensduur van 5 jaar wordt uitgegaan. De resultaten van meer gedetailleerde berekeningen staan in tabel 1.

- *Wanneer komt de eerste demonstratie?*
 - Tot nu toe heeft de aandacht zich vooral gericht op de ontwikkeling van het concept, de optimale bedrijfsvoering, de weerstatistiek en de 3D simulaties.
Momenteel wordt onderzoek gedaan naar de eenvoudige vleugelvorm die passief stabiel is. In samenwerking met deskundigen uit de vlieger wereld wordt gewerkt aan de radiografisch bestuurbare vleugel. De verwachting is dat binnen een jaar de stap gezet kan worden naar een demonstratie van de bestuurbare vleugel.

- *Waarom is de kilowatt uurprijs van de laddermolen goedkoper dan die van een windmolen?*
 - De vergelijking laddermolen en windmolen valt gunstig uit voor de laddermolen omdat;
 - a. windenergie op grote hoogte bijna altijd aanwezig is en het vermogen van de wind op die hoogte bijna twintig keer groter is
 - b. krachten die op de vleugel worden uitgeoefend (de lift) direct omgezet worden in energie
 - c. de vleugel in windomstandigheden gebruikt wordt die overeenkomt met het lichtgewicht ontwerp. Een vleugel gaat zo hoog als de maximaal toelaatbare windsterkte toestaat.
 - d. de vleugels van de laddermolen aangepast kunnen worden aan de windomstandigheden en daardoor optimaal gebruikt worden. Bij windmolens is dat niet het geval
 - e. windmolens grote centripetale krachten ondergaan met als gevolg de noodzaak voor uitzonderlijk sterke bladen en derhalve hoge kosten.

- *Waarom is de Laddermolen niet eerder uitgevonden?*
 - Er zijn uitvindingen gedaan die een gedeelte van de Laddermolen beschrijven, echter maken deze gebruik van een extra ondersteuning aan de top van de kabellus en een geleiding van de vleugels. Vanwege de nieuwe beschikbare technologieën, zoals licht gewicht constructies, kabels met grote sterkte, miniatuur elektronica voor plaatsbepaling en stand regeling en geavanceerde aërodynamische controle is nu de Laddermolen mogelijk. De uitvinding zelf (1995) is gebaseerd op persoonlijke ervaringen met hoog vliegende vliegers, met zweefvliegen en met zeilen. De motivatie om de Laddermolen te realiseren komt van de persoonlijke ervaring met een ruimtereis en de daardoor ontstane overtuiging dat duurzame ontwikkelingen, vooral in energie, van essentieel belang zijn voor het behoud van onze aarde..

Appendix III picture showing three generations of wind mills:



Appendix IV Mogelijke partners in het Laddermolen Project en evt. vervolg:

Via de huidige leerstoel AeroSpace Sustainable Engineering and Technology (ASSET) is samenwerking met de gehele universiteit door het College van Bestuur aangeboden. TU Delft bevat expertises zoals aërodynamica, constructies, stabiliteit en regeling, bedrijfsvoering, mechanismes, simulaties etc. De werkzaamheden van de TU Delft kunnen worden georganiseerd in een matrix met horizontale sub projecten: grond station, translator en operaties. Via het bijzondere hoogleraarschap van prof. Ockels aan de RUG zal nauw worden samengewerkt met Prof. Veldman en Prof. Schoot-Uitenkamp en het IVEM (Instituut voor energie en milieu)

O-Mill BV heeft gedurende de periode 1996-2003 de relevante weerstatistiek betrokken van de KNMI data base, de concepten ontwikkeld, en heeft de software ontwikkeld voor energie opbrengst en economische berekeningen. Alle producten worden per heden om niet aan ASSET gegeven.