

Duurzame energiebronnen

Windenergie winstgevend



ministerie van de Vlaamse Gemeenschap

afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie

Omslagfoto:

windmolen te Godsheide Turbowinds T400 (400 kW)

Een brochure, samengesteld door de Vrije Universiteit Brussel, Dienst Stromingsmechanica en ODE-Vlaanderen, in opdracht van de afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie van het ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

**Informatie:**

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie
Markiesstraat 1
1000 Brussel
Tel.: (02) 553.39.55
Fax.: (02) 553.44.38
e-mail: ewbl.anre@vlaanderen.be

Inhoud

Inleiding.....	1
Windenergie: de Europese context.....	1
Waarom windenergie ?.....	3
Wat is de energie-inhoud van de wind ?	4
Hoe komt het dat de rotor draait ?	6
De technologie.....	7
Windenergie in Vlaanderen.....	15
Uitbatingsvormen van windenergie.....	16
Windenergie en de omgeving.....	18
Offshore: de toekomst	20
Het plaatsen van een windturbine, wat heb je nodig ?	22
Financieel plan.....	24
Steunmaatregelen van de Vlaamse overheid.....	27
Nuttige adressen	28
Lijst van de illustraties.....	30

Inleiding

De inzet van hernieuwbare energiebronnen, is tot op heden in Vlaanderen relatief beperkt gebleven. Met het recente beleidsplan¹ van de Vlaamse minister bevoegd voor energie wordt een duidelijk signaal gegeven om de toepassing van hernieuwbare energietechnologie in Vlaanderen te versterken. De doelstellingen van dit beleidsplan zijn:

- een verdubbeling van de inzet van hernieuwbare energiebronnen tegen het jaar 2000;
- een aandeel van 3% aan hernieuwbare energiebronnen in het globaal energieverbruik tegen het jaar 2010, en 5% tegen 2020.

Windenergie is één van deze hernieuwbare energiebronnen die in de ons omringende landen reeds sterk is ontwikkeld. In Vlaanderen is tot op heden de toepassing van deze energiebron beperkt gebleven. De meest gekende installatie is ongetwijfeld het windpark in Zeebrugge dat in 1987 in gebruik werd genomen om Vlaamse technologie te promoten. De recente verhoging van het terugbetaaltarief waardoor groene stroom opgewekt met windenergie gevaloriseerd wordt aan 3,1 BEF per kilowattuur (kWh) zal ongetwijfeld een nieuwe dynamiek op gang brengen.

De productie van elektriciteit met windmolens is dankzij diepgaand wetenschappelijk onderzoek een volwaardige en hoogtechnologische energievorm geworden. Het zuinig omspringen met energie en het maximaal benutten van hernieuwbare energiebronnen, kunnen een aanzienlijke bijdrage leveren om internationale afspraken omtrent de uitstoot van broeikasgassen en andere schadelijke stoffen na te komen.

Deze brochure wil alvast een informatiebron zijn voor al wie interesse heeft in deze duurzame vorm van energie.

Windenergie: de Europese context

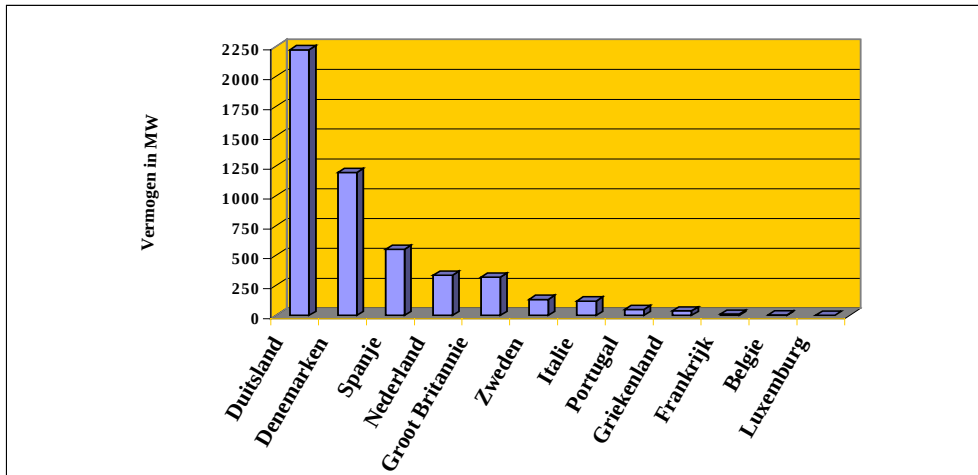
De Europese commissie stelt in haar witboek "Energie voor de toekomst" dat het aandeel van hernieuwbare energie tegen het jaar 2010 12% van de energiebehoefte zal dekken. Windenergie zal daar een belangrijk deel van uitmaken.

De European Wind Energy Association, gesteund door de Europese Commissie, voorzag reeds in 1991 in een strategisch document² de installatie van 4.000 MW (1 megawatt is 1.000 kilowatt) tegen het jaar 2000 en 25.000 MW tegen het jaar 2010. Halfweg 1998 overtreft het geïnstalleerd vermogen

¹ Beleidsbrief 1998 neergelegd door Eric Van Rompuy, Vlaams minister van Economie, KMO, Landbouw en Media

² Garrad Hassan & partners, EWEA strategy document, time for action

in Europa deze doelstelling reeds met 2.000 MW. In een aantal landen is windenergie reeds sterk ontwikkeld zowel op het gebied van de industriële ontwikkeling als op het gebied van de plaatsing van windturbines. Nu reeds wordt in Denemarken 7 % van de elektriciteitsbehoefte gedekt door windenergie. Ook in landen zoals Duitsland en Spanje is windenergie aan een sterke opmars bezig. Over de laatste 5 jaar bedraagt de gemiddelde jaarlijkse groei van windenergie ongeveer 25 %. De verwachting is dat tegen 2002 wereldwijd 20.000 MW³ aan windvermogen operationeel zal zijn. Dat is het equivalent van een 20-tal grote nucleaire centrales.



Geïnstalleerd windvermogen in MegaWatt in de EU-landen – Maart 1998.

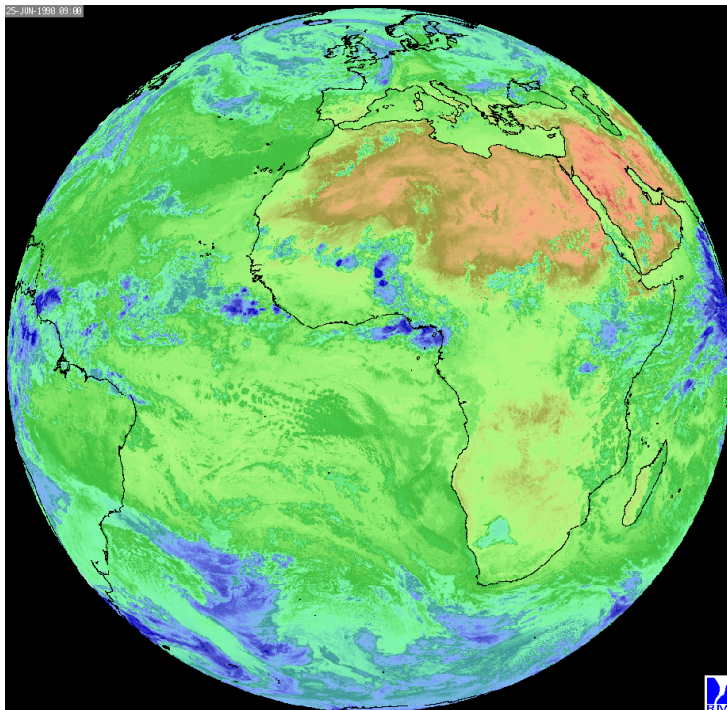


FOTO 1: Infrarood foto van de aarde, de opwarming van de aarde door de zon zorgt voor drukverschillen waardoor wind ontstaat. (Bron KMI Ukkel)

³ FLAVIN Christopher, world watch institute, 'Wind energy, a global market'

Waarom windenergie ?

- Met fossiele brandstoffen moet zuinig worden omgesprongen en bovendien komen bij de verbranding ervan onvermijdelijk een aantal schadelijke producten, zoals CO₂, vrij. CO₂ is het belangrijkste broeikasgas. De sterk toegenomen uitstoot van broeikasgassen tengevolge van energieverbruik heeft een wereldwijde klimaatverandering tot gevolg. Windenergie is een zuivere en schone energiebron die bij de productie van elektriciteit geen vervuilende stoffen in het milieu brengt.

Per kWh wordt ongeveer 0,7 kg CO₂ uitstoot vermeden. Een windturbine van 500 kW nominaal vermogen spaart per jaar evenveel CO₂ uit als wordt geabsorbeerd door 57.000 bomen. De energie nodig om een windturbine te bouwen wordt door die turbine geleverd op een tijdsspanne van 3 maanden bij een gemiddelde windsnelheid van 7 m/s.

- Wind is een van de weinige eigen energiebronnen in Vlaanderen. Wind is onuitputbaar en kan ons niet worden afgenomen. Daar waar in de middeleeuwen voor de wind moest betaald worden, is deze nu gratis. Het is duidelijk dat de windenergietoepassingen in Europa en de Verenigde Staten een enorme impuls hebben gekend na de oliecrisis. Een toekomstig energiebeleid zal gericht zijn op de diversificatie van de energiebronnen.
- Windenergie heeft wereldwijd een enorm potentieel en heeft in een aantal landen een belangrijke tewerkstelling teweeggebracht. Veel van de sectoren die nodig zijn voor de bouw van een windturbine zijn in Vlaanderen al aanwezig. Windenergie kan dus ook voor Vlaanderen een enorme exportmogelijkheid zijn.
- Windenergie kan zeer snel geïmplementeerd worden. Een windturbinepark kan op een termijn van een paar maanden tot een jaar in bedrijf worden gesteld. Dit argument speelt in landen met een snelle stijging van de energiebehoefte een grote rol (bijvoorbeeld Aziatische landen).
- Windenergie kan gedecentraliseerd worden opgewekt waardoor transport en transformatieverliezen kunnen beperkt worden. Die decentrale opwekking kan ook bijdragen tot een mentaliteitswijziging bij de bevolking die essentieel is om het rationeel energiegebruik te stimuleren.

Wat is de energie-inhoud van wind ?

Newton heeft ons geleerd dat een massa in beweging een hoeveelheid energie in zich heeft. Deze energie is evenredig met de massa en het kwadraat van de snelheid. Drukken we deze energie uit per tijdseenheid dan spreken we over vermogen. Deze wet is ook van toepassing voor lucht in beweging. De massa in Newtons formule is dan de massa van het luchtvolume dat per seconde door de rotor stroomt. Deze massa moeten we ons voorstellen als een cilindervormige schijf met als cirkeloppervlakte het rotoroppervlak en de lengte evenredig met de windsnelheid. Hieruit leiden we onmiddellijk een belangrijke eigenschap af, namelijk: de energie-inhoud is evenredig met de derde macht van de windsnelheid.

Als het 8 m/s waait is de energie-inhoud = 312 W/m^2 (Watt per vierkante meter).

Als het 16 m/s waait is de energie-inhoud = 2496 W/m^2 .

Of anders gezegd: 2 maal harder waaien is 8 maal meer vermogen.

Over formules en eenheden

De wet van Newton (kinetische energie) uitgedrukt per seconde geeft het vermogen

$$\mathbf{P = \frac{1}{2} m \cdot v^2}$$

met	P	het vermogen in Nm/s of Watt
	m	de luchtmassa in kg/s
	v	de windsnelheid in m/s

De massa van de lucht door de rotor per seconde

$$\mathbf{m = \rho \cdot A \cdot v}$$

met	ρ	de dichtheid van de lucht in kg/m^3 (1,23)
	A	de rotoroppervlakte in m^2
	v	snelheid van de lucht in m/s

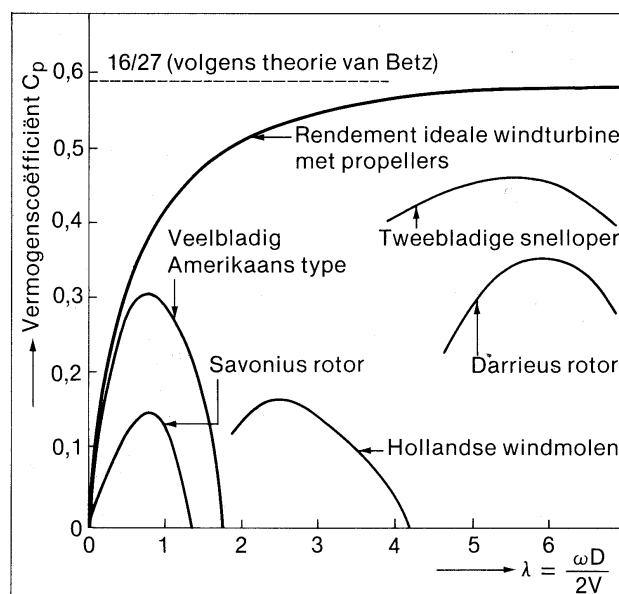
Brengen we bovenstaande formules bijeen dan vinden we:

$$\mathbf{P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3}$$

Het as-vermogen die de windmolen eruit kan halen wordt bepaald door zijn aërodynamisch omzettingsrendement of C_p waarde (vermogenscoëfficiënt of molenrendement)

$$\mathbf{P = \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot A \cdot v^3}$$

Niet alle energie in de wind aanwezig kan worden omgezet. Wiskundig kan worden aangetoond dat het theoretisch maximumrendement 59% bedraagt, we noemen dit de Betz-limiet. In windmolentermen spreken we ook van vermogenscoëfficiënt of C_p -waarde (zie figuur).



Vermogenscoëfficiënt van verschillende windmolentypes. Op de horizontale as wordt de verhouding van de omtreksnelheid van de tip t.o.v. de windsnelheid weergegeven. Deze factor wordt ook snellopendheid genoemd.

In reële omstandigheden bedraagt het maximale molenrendement, dit is voor de ontwerpcondities, ongeveer 44%. Het as-vermogen moet nog vermenigvuldigd worden met het mechanisch rendement (maximum 97%) en het generatorrendement (maximum 97%) om het netto vermogen te bekomen.

Hoe hard waait het ?

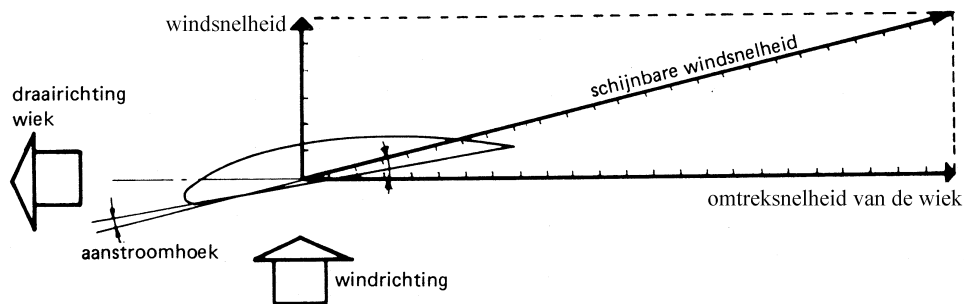
Windkracht in Beaufort	gemiddelde windsnelheid(m/s)	benaming	omschrijving
1-2	0-3	zwakke wind	bladeren ritselen windvanen bewegen
3-4	3-8	matige wind	kleine takken bewegen stof en papier bewegen
5	8-11	vrij krachtige wind	takken maken zwaaiende bewegingen
6	11-14	krachtige wind	men hoort de wind fluiten
7	14-17	harde wind	bomen bewegen
8	17-20	stormachtige wind	dunne takken breken af
9	20-24	storm	lichte schade, dakpannen waaien af
10	24-28	zware storm	bomen vallen om
11	28-32	zeer zware storm	zware schade overal
12	meer dan 32	orkaan	

Hoe komt het dat een rotor draait ?

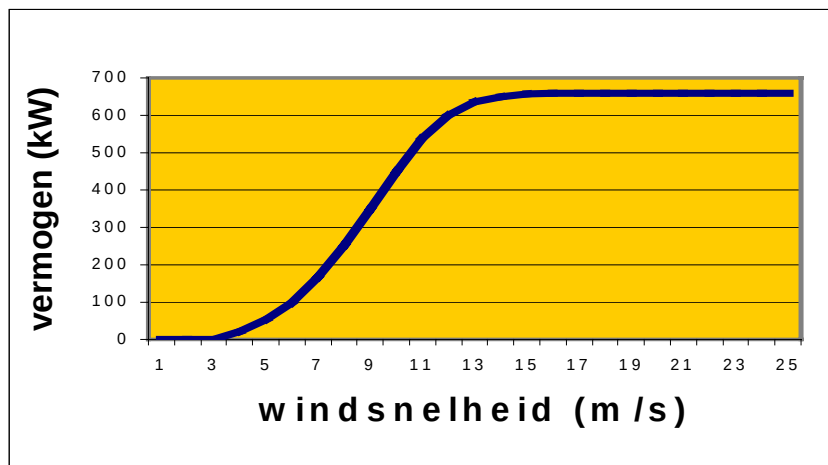
Een moderne windturbine voor elektriciteitsproductie werkt op het **lift** principe. Hetzelfde principe dat er voor zorgt dat een vliegtuig kan vliegen, zorgt er voor dat een windrotor draait.

Wanneer we een vleugelprofiel bekijken zien we dat de lucht die over het profiel stroomt een langere weg aflegt dan de lucht eronder. Er ontstaat bovenaan (de lijzijde) een onderdruk en aan de windzijde (de loefzijde) een overdruk. Dit drukverschil zorgt voor een resulterende opwaartse kracht loodrecht op de aanstroomrichting: **de liftkracht**.

De doorsnede van een wiek of blad van een windturbine is ook een vleugelprofiel. Wanneer het wordt aangestroomd, ontstaat er ook een liftkracht die hier wordt omgezet in een mechanisch koppel.



De liftkracht op een wiek ontstaat door het drukverschil tussen de lijzijde en de loefzijde van de wiek. Deze liftkracht is loodrecht op de schijnbare windrichting. Dit is de wind die de ronddraaiende vleugel 'ziet'. De schijnbare wind is de vectoriële samenstelling van de lokale omtreksnelheid en de windsnelheid. De hoek tussen de schijnbare wind en de koorde van de wiek is de aanstroomhoek.



Vermogenscurve van een windturbine met een nominaal vermogen van 660 kW. Dit vermogen wordt bereikt bij een nominale windsnelheid van 14 m/s. De startwindsnelheid bedraagt 4 m/s en de windsnelheid waarbij de molen wordt afgeschakeld is 25 m/s.

De technologie

De technologie van moderne windturbines heeft in twintig jaar tijd een enorme evolutie gekend. Begin jaren 80 hadden de windmolens diameters van 10-12 m en vermogens van 50-75 kW. Nu, bijna twintig jaar later, zijn commerciële molens verkrijgbaar met diameters van meer dan 60 m en vermogens groter dan 1.500 kW.



Foto 2: De heimolen in Langdorp, een staakmolen uit 1662. Voor het gebruik van de wind betaalde de eigenaar 2.000 gulden aan de Hertog van Arenberg. (Bron: Natuurreservaten vzw)

In wat volgt worden de belangrijkste onderdelen van een moderne windturbine kort toegelicht.

De rotor

De moderne windturbine bestaat uit een rotor met twee of drie wieken of bladen. Ze worden gemaakt uit polyester versterkt met glasvezels of koolstofvezels of uit een hout-epoxy combinatie. Op de markt zijn bladen verkrijgbaar van 1 m voor kleine windmolentjes, tot 30 m voor de heel grote molens van 1.500 kW. Deze bladen zijn gemonteerd op een stalen tussenstuk, de naaf. Soms zijn deze wieken volgens hun lengte as verdraaibaar, men spreekt dan van bladhoekverstelling of pitchregeling.



Foto 3: Productie van bladen vergt nog veel handwerk. De afwerking is o.a. van groot belang voor het aërodynamisch geluid. (Foto: VESTAS Denemarken)

De gondel

De gondel kan beschouwd worden als de machinekamer van de windturbine. De gondel is draaibaar gemonteerd bovenop de meestal stalen toren, dit om de rotor in de goede windrichting te plaatsen of te kruien. Dit gebeurt volledig automatisch gebruik makend van een hydraulisch of elektrisch aandrijfsysteem en wordt gestuurd door de windvaan op de gondel.

Deze machinekamer is via de toren bereikbaar en bevat de bedplaat of het machinefundament met hierop alle belangrijke componenten zoals de hoofdas met lagering, de tandwielkast, de generator, de remmen en het kruisysteem.

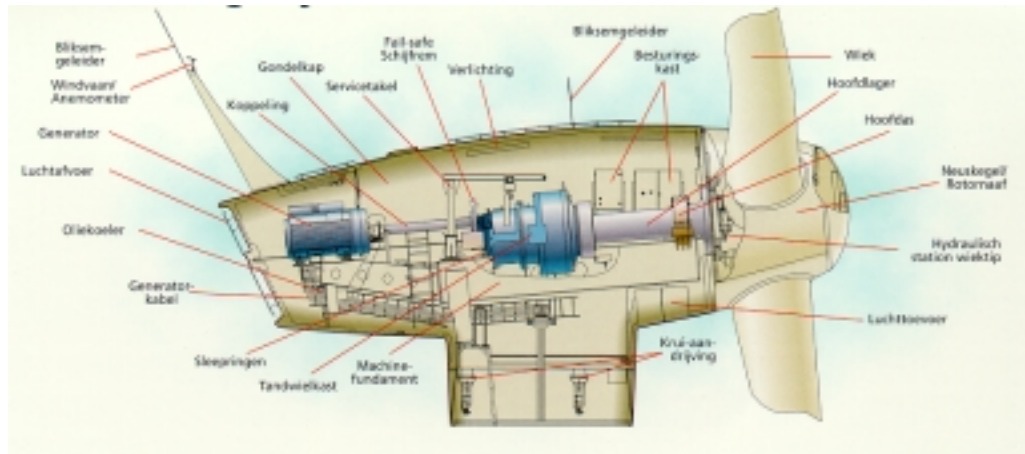


Foto 4: De gondel is de machinekamer van een windturbine. Ze bestaat uit een bedplaat met hierop alle belangrijke onderdelen van de aandrijfketen.



Foto 5: Een gondel van een 600 kW machine, klaar om gehesen te worden. Het gewicht van een gondel met machinerie bedraagt ongeveer 25 ton. (Foto: Vrije Universiteit Brussel)

De hoofdas

De rotornaaf is bevestigd aan de hoofdas die via de lagers alle krachten die inwerken op de rotor overbrengt op de structuur. Deze hoofdas brengt het koppel over naar de tandwielkast. Bij turbines kleiner dan 400 kW maakt de hoofdas soms deel uit van de tandwielkast.

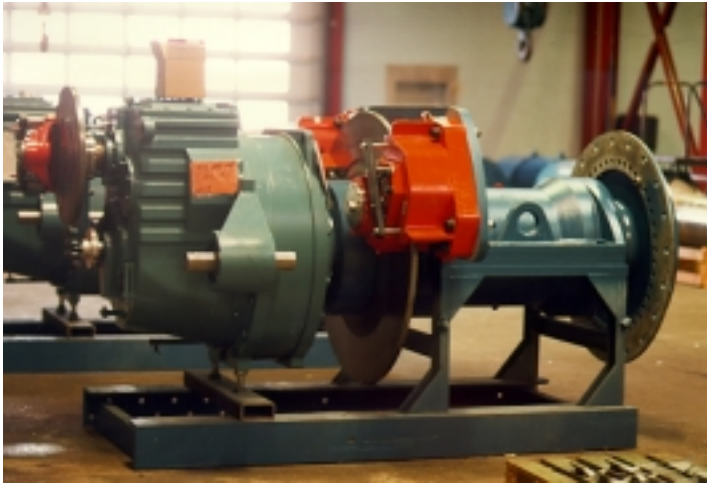


Foto 6: Trage as van een 600 kW windturbine met aansluitflens voor de rotornaaf (rechts), de lagering van de as, schijfrem en tandwielkast (links), op de uitgaande as van de tandwielkast is nog een tweede schijfrem gemonteerd.(Foto: Nordex windturbines)

De tandwielkast

De tandwielkast verhoogt het toerental van de rotor naar het noodzakelijke generator toerental. Een 1.000 kW windmolen van 52 m diameter draait ongeveer 20 omwentelingen per minuut en de generator 1.500 omwentelingen per minuut, de nodige overbrengingsverhouding is dan: $1500/20 = 75$



Foto 7: Tandwielkasten voor 600 kW turbines van de Vlaamse fabrikant Hansen uit Edegem staan klaar voor verzending. Hansen Transmissions is een van de belangrijkste constructeurs van tandwielkasten voor de windindustrie. (Foto: Hansen Transmission International)

Bepaalde fabrikanten gebruiken speciale lage toeren generatoren en hebben geen tandwielkast nodig. Ze zijn te herkennen aan de vrij grote ringgenerator onmiddellijk na de rotor.



Foto 8: Windturbine met direct aangedreven generator, herkenbaar aan de grote ring geplaatst achter de naaf. (Foto: ENERCON Duitsland)

De generator

Een moderne windturbine levert zijn stroom aan het openbare net. Dit gebeurt meestal met een relatief eenvoudige asynchrone generator. Wanneer we spreken over een 600 kW windturbine dan is dit ook het nominaal vermogen dat we op het motorplaatje terugvinden. Het nominaal vermogen komt overeen met een bepaalde nominale windsnelheid (rated wind speed). Meestal ligt die windsnelheid tussen de 13 en de 14 m/s. Er bestaan ook windturbines met een dubbel toerental generator. Deze windturbines hebben een lagere geluidsproductie en een beter rendement bij lage windsnelheden. Een andere variant is de generator met variabel toerental.

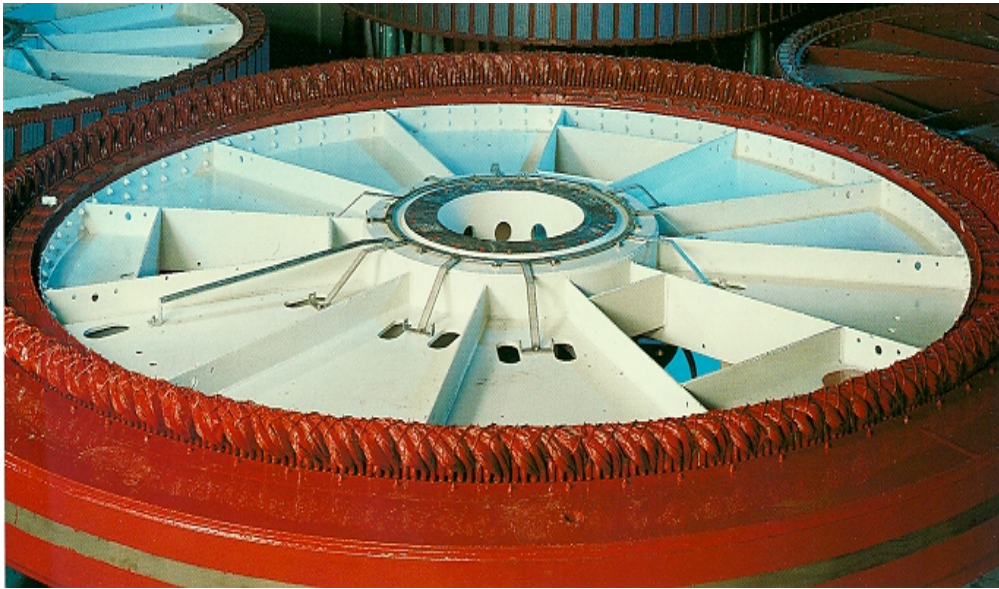


Foto 9: Rotorgedeelte van een laag toerental generator. Deze generatoren zijn gekenmerkt door hun grote diameter (3 tot 6 m).

De rem

Windmolens zijn zeer veilig uitgevoerd door middel van een aërodynamisch remsysteem. Voor noodsituaties of voor het parkeren van een turbine voor een onderhoudsbeurt is meestal een schijfrem voorzien. Deze schijfrem kan voorzien worden aan de ingang van de tandwielkast (trage as) of op de uitgaande as naar de generator.

Het kruisysteem

Waar vroeger de molenaar de windgiek manueel bediende om de molen in de wind te kruien, gebeurt dit in de moderne aërogenerator volledig automatisch. Net zoals bij een torenkraan drijft een hydraulische of elektrische motor met een klein tandwiel een grote tandkrans aan om zo de gondel in de goede windrichting te plaatsen.



Foto 10: Kruilager van een MW windturbine en één van de drie kruimotoren.
(Foto: Vrije Universiteit Brussel)

Het controlesysteem

Windmolens zijn hoogtechnologische machines. Een windturbine wordt na het in bedrijf stellen volledig automatisch bestuurd via een intern computersysteem. Met een modemverbinding kunnen gegevens door de beheerder (projectontwikkelaar of fabrikant) vanop afstand worden opgevraagd.

Stall of pitchregeling

De technische gegevens van windmolenfabrikanten vermelden vaak de begrippen stall of pitchregeling.

*Windturbines met **pitchregeling** hebben verstelbare wieken. De bladhoek wordt tijdens de werking aangepast om het vermogen te controleren. Dergelijke windturbines hebben een hydraulisch of elektrisch mechanisme nodig om de wieken te verstellen.*

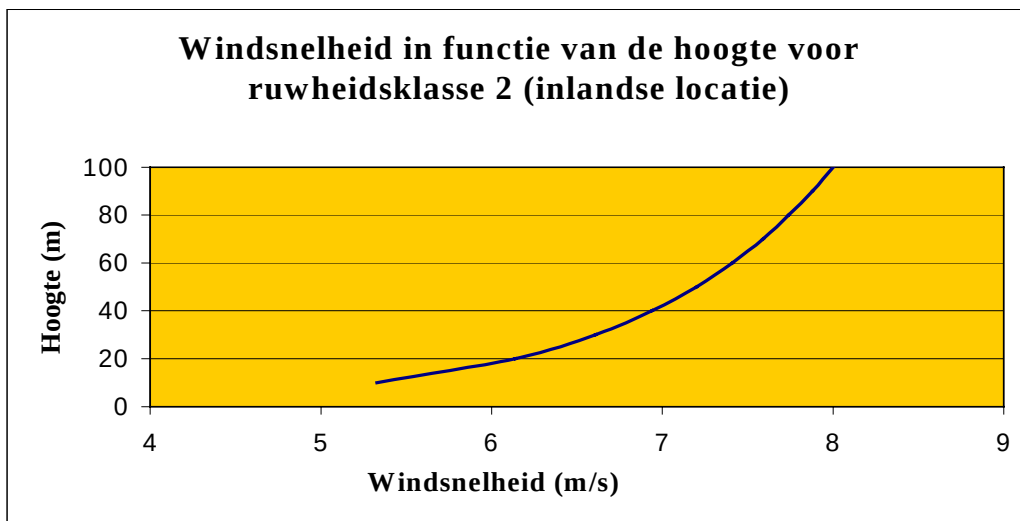
*Bij **stall**, ook wel **overtrekgeling** genoemd, maakt men gebruik van de aërodynamische eigenschap van het wiekprofiel. Bij stijgende windsnelheid en constante omtreksnelheid van de wiek wordt de aanstroomhoek groter. Bij een bepaalde waarde vermindert de liftkracht als gevolg van een loslatende stroming.*

De wieken zijn dus vast met de naaf verbonden waardoor het systeem heel eenvoudig is.

De toren

De eerste windmolens werden gemonteerd op vakwerktorens. Vakwerktoren zijn te vergelijken met hoogspanningsmasten en niet zo mooi als de hedendaagse slanke buistorens. Ze worden daarom in onze streken niet vaak meer gebruikt.

Om van maximale windvang te genieten worden de torens voor binnenlandse locaties tot 80m hoog gemaakt.



Variatie van windsnelheid versus hoogte boven het maaiveld

Windenergie in Vlaanderen

De grootste realisatie tot nu toe op het gebied van windenergie in Vlaanderen is het windpark op de oostelijke havendam van Zeebrugge. 21 windturbines van 200 kW en één turbine van 400 kW leveren jaarlijks zo'n 8.000.000 kWh of voldoende elektriciteit voor 2.000 gezinnen. Het windpark werd in 1986 opgezet als demonstratieproject om de Vlaamse bedrijven toe te laten knowhow op te doen met deze technologie. Het was één van de eerste windparken in Europa. Het windpark wordt nu uitgebaat door de Limburgse intercommunale Interelectra.

Op 1 oktober werd aan het windpark nog een 600 kW turbine met een rotordiameter van 48 m toegevoegd. Deze machine, ontwikkeld en gebouwd door de Vlaamse firma Turbowinds, is goed voor een jaarlijkse productie van 2.300.000 kWh op deze locatie.



Foto 11: Het windpark in Zeebrugge werd in 1986 gebouwd onder stimulans van het toenmalig Ministerie van Openbare Werken. Het was één van de eerste windparken in Europa. Het wordt nu uitgebaat door INTERELECTRA. (Foto:Yseult de Crombrughe)

Interelectra heeft verder nog op 20 februari 1998 een 400 kW windturbine in gebruik genomen in Hasselt. Deze machine is uitgevoerd met een dubbeltoerental generator en heeft een geraamde jaarlijkse productie van 400.000 kWh. Generatoren met een laag en hoog toerental hebben een hogere opbrengst in gebieden met lage windsnelheid. Bovendien produceren ze minder lawaai bij lage windsnelheden.

Er bestaan nog geen gedetailleerde windkaarten van België. De afgebeelde kaart geeft de isoventlijnen op 10 m hoogte. De kaart werd opgesteld door de Vrije Universiteit Brussel op basis van de waarnemingen van het KMI in de synoptische stations. De regio ten westen van de as Kortrijk-Antwerpen heeft een windsnelheid hoger dan 4 m/s op 10 m hoogte. Algemeen wordt aangenomen dat bij deze windsnelheid windenergie economisch haalbaar kan zijn. Ook meer landinwaarts kunnen op heuvelkammen hogere windsnelheden voorkomen.

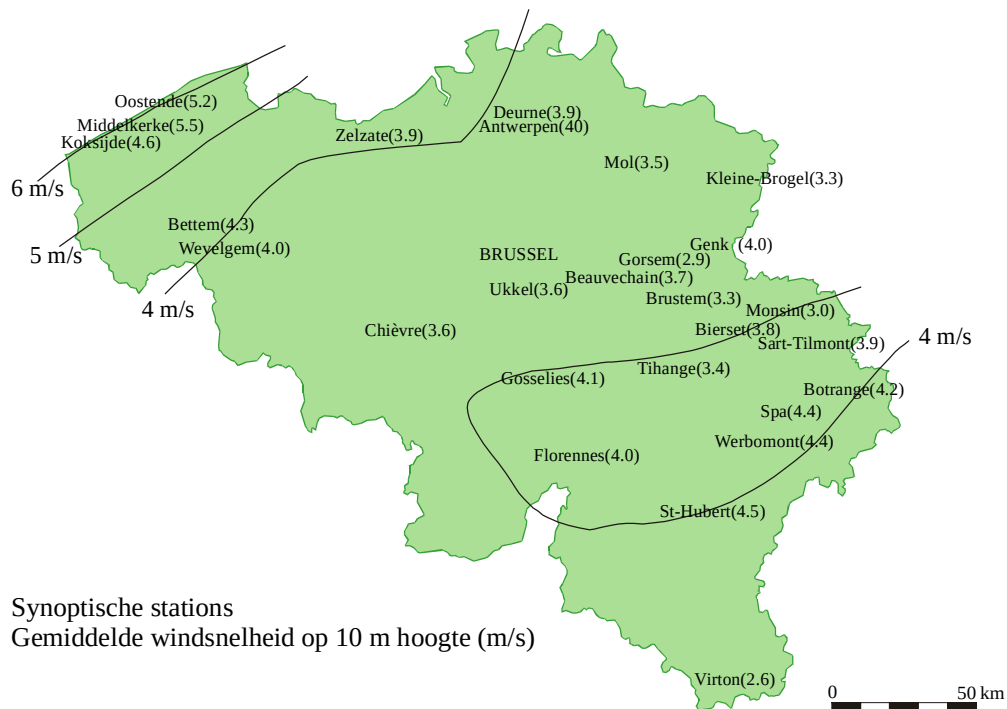


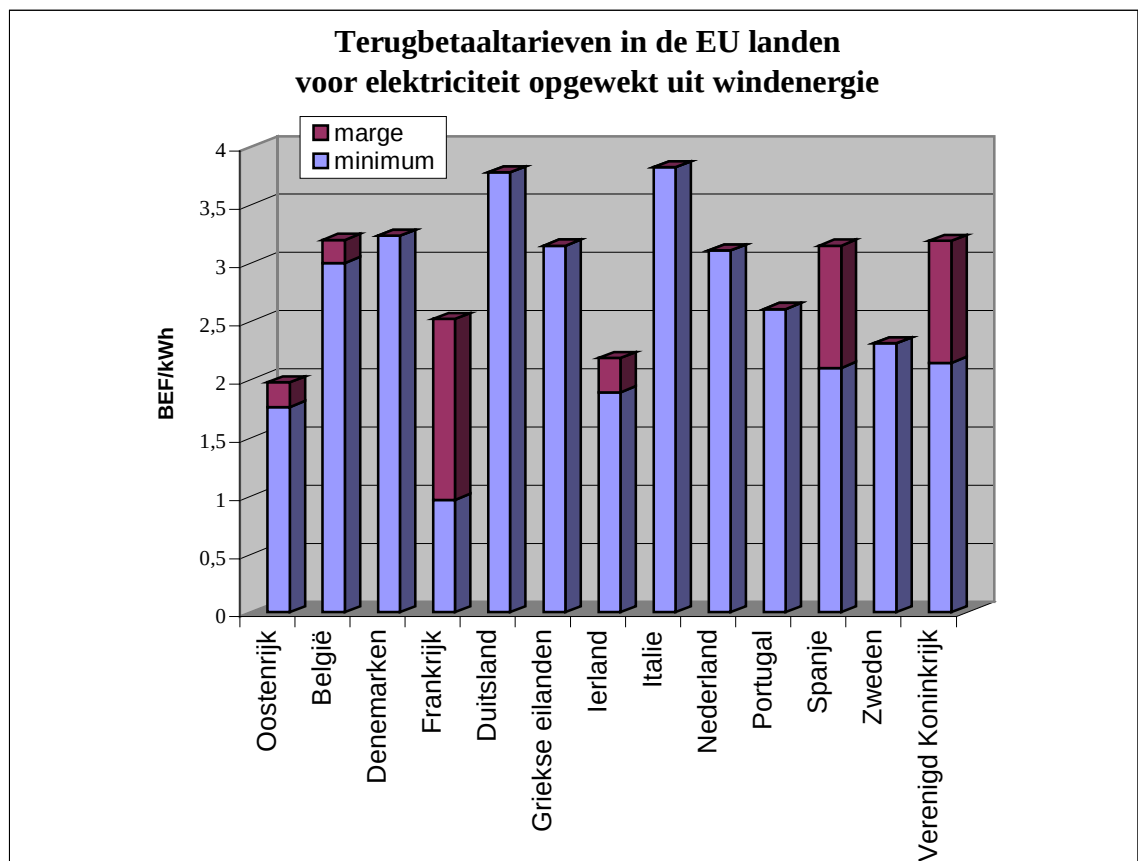
Foto 12: Windkaart van België

Uitbatingsvormen van windenergie

Exploitanten van windturbines verkopen in de meeste gevallen hun elektriciteit aan het net. Hiervoor zijn er in de verschillende landen van de Europese Unie bepaalde tarieven vastgesteld (zie grafiek).

In de aanbeveling van het Controlem Comité voor de Elektriciteit en het Gas van 8 juli 1998 werd de extra-tarifaire steun voor windenergie verhoogd tot 2 BEF/kWh waardoor het totale terugbetaaltarief schommelt rond de 3 à 3,2 BEF/kWh voor wind- en waterkracht centrales met een vermogen kleiner dan 10 MW. Deze steunverlening wordt ingesteld tot 31 december 2003 en voor een periode van 10 jaar krijgen zelfproducenten de zekerheid van deze extra-tarifaire steun te kunnen genieten. In landen waar de implementatie van windenergie reeds ver is gevorderd zien we verschillende uitbatingsvormen.

- privé-initiatieven van personen of bedrijven: Zij financieren projecten met eigen middelen en leningen. Voor bedrijven bestaan er in veel gevallen fiscaal gunstige maatregelen (zie ook steunmaatregelen);
- coöperatieven: Een aantal mensen creëren een wettelijke structuur om samen een windturbine of zelfs een windpark op te richten. Jaarlijks wordt aan de aandeelhouders een dividend uitgekeerd, afhankelijk van de opbrengst van de molen. Denemarken telt coöperatieven met meer dan 1.000 leden. Het zijn vooral dit soort initiatieven die in Denemarken de weg voor windenergie hebben geëffend;
- elektriciteitsmaatschappijen: Naarmate de windturbines groter werden, groeide ook de belangstelling van de elektriciteitsmaatschappijen. De nutsbedrijven zijn vooral in grote parken geïnteresseerd en zullen vooral in de ontwikkeling van offshore toepassingen een rol gaan spelen.



Windenergie en de omgeving

Windmolens moeten zorgvuldig worden ingeplant met respect voor de omgeving. Gelukkig beschikken we over heel wat informatie en een rijke buitenlandse ervaring om dit op een verantwoorde manier te doen.

Geluid

Windmolens hebben twee mogelijke geluidsbronnen. Enerzijds is er het zoeven van de wieken en anderzijds het mechanisch geluid van tandwielkast of generator. Vroeger, bij de eerste generatie windturbines, kon dit al eens storend zijn. De huidige generatie windturbines is zowel aërodynamisch als mechanisch zo ontworpen dat het lawaai minimaal blijft.

Maar lawaai blijft storend, dus moeten windturbines op voldoende afstand worden geplaatst van woongebieden. Om dit te garanderen zijn er berekeningspakketten beschikbaar die het geluidsniveau op een bepaalde afstand bepalen. De Vlaamse Milieureglementering (VLAREM)⁴ voorziet een aantal geluidsnormen voor verschillende gebieden. Het specifiek geluid van de windturbine moet beperkt worden tot het geluidsdrukniveau van het oorspronkelijk omgevingsgeluid – 5dB(A) en de respectievelijke richtwaarden voor de verschillende bestemmingszones.

<i>Richtwaarden voor geluid in open lucht(enkele voorbeelden)</i>			
Gebied	overdag	avond	nacht
Landelijk gebied en gebieden voor verblijfsrecreatie	40 dB(A)	35 dB(A)	30 dB(A)
Woongebieden en landelijke gebieden op minder dan 500 m van industriegebieden	50 dB(A)	45 dB(A)	45 dB(A)
Industriegebieden	60 dB(A)	55 dB(A)	55 dB(A)

Een voorbeeld: een windturbine van 500 kW met een brongeluid van 100 dB(A) geplaatst op een toren van 50 m hoogte zal voor de omstaander waargenomen worden tot op een afstand van 175 m (45 dB(A)) en 275 m (40 dB(A)).

Voor dezelfde windturbine met een bronvermogen van 98 dB(A) worden die afstanden respectievelijk 125 en 225 m. De fabrikant kan op vraag de juiste geluidscontouren voor zijn turbine afleveren. Het opmeten van deze gegevens door een erkend instituut behoort tot de normale certificatieprocedure van een windturbine.

⁴ VLAREM: Vlaamse reglementering voor het milieu, bijlage 2.2.1 van 1 juni 1995

Enkele certificaten zijn:

- Germanische Loyd is een Duitse keuringsorganisatie;
- RISO Type Approval is het certificaat van het Deens testcentrum;
- CIWI certificaat is een Nederlands attest afgeleverd door het ECN in samenwerking met KEMA.

Visuele aspecten

Om van optimale windomstandigheden te kunnen genieten moeten windmolens geplaatst worden in open plaatsen en op hoge masten. Een windmolen van 50 m diameter op een mast van 50 m hoog zie je ongetwijfeld staan. Visualisatiestudies kunnen helpen om windturbines op een zo goed mogelijke wijze in het landschap in te passen. Windturbines kunnen ook bestaande landschapselementen versterken. Een aantal punten moeten wel gerespecteerd worden:

- zorgvuldig omspringen met kleur;
- windturbines van verschillend type niet door elkaar plaatsen;
- zoveel mogelijk laten aansluiten op bestaande landschapselementen zoals bermen van spoorwegen en andere infrastructuur;
- windmolens groeperen in parken of clusters;
- de slagschaduw van een roterend blad op nabijgelegen woningen kan worden berekend voor alle zonnestanden en blijkt zelden problemen op te leveren.

Vogels

Lange tijd was men bezorgd om het effect van windturbines op vogels. De lange ervaring in Denemarken heeft uitgewezen dat een windturbine praktisch geen effect heeft op het vogelbestand zelfs niet in de broedgebieden. Het gemiddeld sterftecijfer in Denemarken is 6 vogels per turbine en per jaar⁵.

Bij het plaatsen van een rij windturbines moet men de richting evenwel niet loodrecht op de trekrichting van de vogels plaatsen.

Interferenties met elektromagnetische golven of communicatiesystemen.

Ronddraaiende wieken kunnen in bepaalde gevallen storingen veroorzaken op bijvoorbeeld radarsystemen.

Het soort windturbine en het fabricageprocédé van de wieken in het bijzonder spelen daarin een rol. Dat interferentie niet onlosmakelijk verbonden hoeft te zijn met windturbines wordt bewezen door het feit dat talrijke operatoren van

⁵ Clausager and Nohr 1996, Impact of windturbines on birds, paper presented on the EWEA conference in Goteborg, Sweden

mobiele telefonie zendinstallaties plaatsen op windmolentorens (vb. DIGI Communication, SAG, Betatech in Duitsland).



Foto 13: Windturbine met zendinstallatie voor mobiele telefonie (foto: Nordex windturbines)

Offshore: de toekomst

Reeds begin jaren 80 werden een aantal Multi Megawatt prototypes gebouwd in Zweden en in de Verenigde Staten. Toen reeds had men ideeën om grote machines in zee te bouwen. Nu bijna 20 jaar later heeft de techniek en de schaalgrootte een niveau bereikt waarbij offshore techniek opnieuw kan bekeken worden.

Er werden reeds een paar voorzichtige pogingen ondernomen om windenergie buitengaats toe te passen.

Enkele voorbeelden zijn Tuno Knob in Denemarken en dichterbij huis het IJsselmeer. Deze voorzichtige pogingen tonen duidelijk aan dat een belangrijke evolutie te verwachten is in die richting. De voordelen van windenergie op zee zijn bekend.

- er is een beter windaanbod;
- er stellen zich minder maatschappelijke problemen van lawaai en visuele hinder;
- het belastingspatroon op zee is gunstiger voor de levensduur van de turbine.

Anderzijds zijn de kosten voor voornamelijk fundering en netaansluiting aanzienlijk hoger. Verbeterde technologie met nog grotere turbines en moderne funderingstechnieken moeten offshore toepassingen goedkoper maken.

Zowel in Denemarken als Nederland zijn plannen opgezet om grote windparken in zee te gaan bouwen. Denemarken heeft plannen om tegen het jaar 2030 4.000 MW in zee te plaatsen. Nederland wil tegen 2002 een 100 MW offshore windpark realiseren.



Foto 14: In Denemarken werd reeds ervaring opgedaan met offshore windenergie (Foto: Vestas windturbines)

Het plaatsen van een windturbine, wat heb je nodig?

Een geschikte locatie

Een locatie moet voldoen aan verschillende criteria:

- er moet een goed windaanbod zijn;
- het terrein moet vergunbaar zijn;
- het terrein moet bereikbaar zijn;
- er moet een mogelijkheid zijn tot netkoppeling.

Voor goede locaties voor windturbines heb je open ruimte nodig en uiteraard veel wind. De windsnelheden voor België op 10 m hoogte zijn weergegeven op de windkaart. Locaal kunnen grote afwijkingen zowel in positieve zin (glooiingen) als negatieve zin (obstakels) zich voordoen.

Een voorbeeld

Middelkerke heeft een gemiddelde windsnelheid op 10m hoogte van 5,5 m/s. Een windmolen met een ashoogte van 50 m 'ziet' een windsnelheid van 6,7 m/s en op 80 m hoogte een windsnelheid van 7,2 m/s.

Het terrein moet vergunbaar zijn. Windturbines worden beschouwd als inrichtingen met een industrieel karakter. Momenteel komen dus alleen industrieterreinen in aanmerking voor het oprichten ervan.

Binnen de Vlaamse overheid is een werkgroep i.v.m. de problematiek van de inplanting van grote windturbines gestart. Zowel de vergunningsproblematiek voor één molen als deze voor windmolenparken en de overeenstemming met de gewestplannen behoren tot de taken.

Het terrein moet bereikbaar zijn. Voor de oprichting van een moderne windturbine zijn grote kranen nodig. Voor de oprichting van een 600 kW windturbine is een 400 ton hijskraan nodig. Soms moet men hiervoor tijdelijke toegangswegen aanleggen die na de garantieperiode worden verwijderd.



Foto 15: De fundering van een 1.000 kW windturbine. Het funderingsmassief bestaat uit 200 m³ beton en 20 ton staal.

Er moet een mogelijkheid zijn tot netkoppeling. Een windturbine of een windpark levert zijn stroom aan het openbare distributienet. De spanning hangt af van de lokale situatie maar bedraagt gewoonlijk 10-15 kV. In bepaalde gevallen kan het net maar een bepaalde capaciteit opnemen.

Navraag bij de lokale elektriciteitsmaatschappij kan hierover uitsluitsel geven. Het Controlecomité voor de Elektriciteit en het Gas (C.C.E.G.) stipuleert in zijn aanbeveling van 8 juli 1998 dat zelfproducenten rechtstreeks aan het net mogen terugleveren tot een spanning < 15 kV.

De algemene voorwaarden voor netkoppeling zijn vastgelegd in de brochure C10/11 'Technische aansluitingsvoorschriften voor gedecentraliseerde productie-installaties die in parallel werken met het distributienet' uitgegeven door de beroepsfederatie van producenten en verdelers van elektriciteit B.F.E. (zie nuttige adressen).

De Vrije Universiteit Brussel en de Organisatie voor Duurzame Energie zijn gestart met een onderzoek naar mogelijke locaties voor windturbines. **Het windplan voor Vlaanderen**, zoals deze studie algemeen wordt genoemd, kadert in het beleidsondersteunend luik van het Vlaams Impulsprogramma Energietechnologie (VLIET). De studie omvat het opstellen van een gedetailleerde windkaart, de problematiek van het geluid, netaansluiting en een economische evaluatie van verschillende locaties.

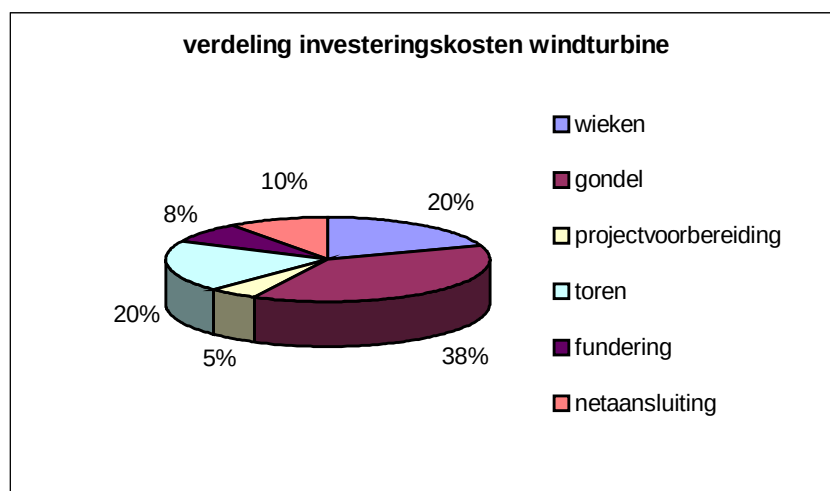
Een tweede belangrijk aspect is een onderzoek van de ruimtelijke en milieuaspecten gekoppeld aan de implementatie van windenergie. De opdracht is gestart op 1 september 1998 en loopt over een periode van twee jaar.

Een financieel plan

In de veronderstelling dat we een geschikte locatie hebben gevonden moet een analyse gemaakt worden van de kosten en de baten van het project.

De kosten

- *Investeringskosten:* Een hedendaagse windturbine kost gemiddeld ongeveer 30.000 BEF per kW nominaal vermogen zonder fundering, installatiekosten, aankoop grond en netaansluiting.



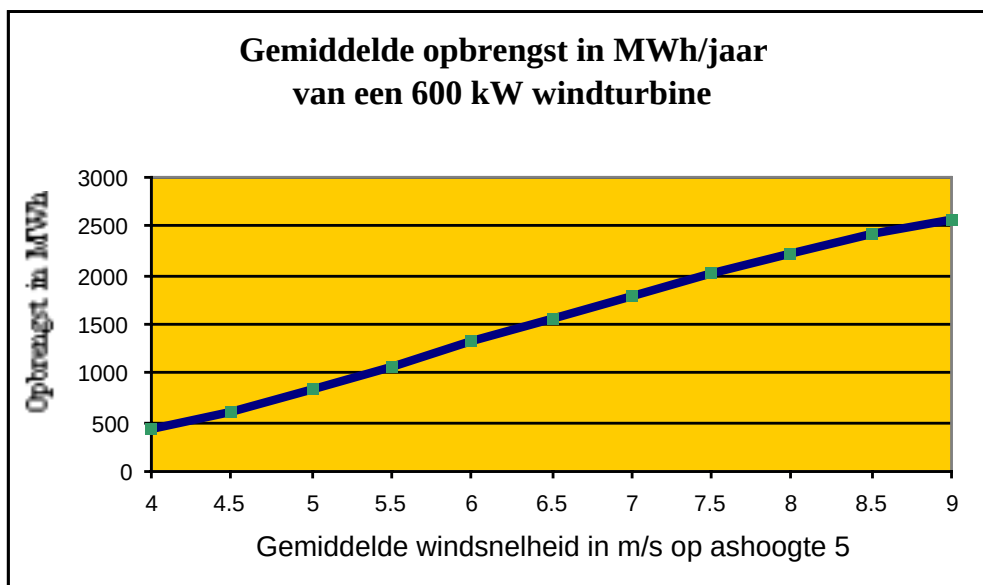
De installatiekosten, funderingskosten, netaansluitingskosten en grondkosten kunnen sterk variëren naargelang de locatie, maar voor Vlaanderen en op stabiele ondergrond is het realistisch om hiervoor 30 à 40% te nemen van de machinekostprijs. De grootste onzekerheid hierin is de kost voor de netaansluiting.

- *Onderhoudskosten:* De eerste generatie windturbines hadden hoge onderhoudskosten. Nu zijn deze sterk gereduceerd tot 1,5 à 2 % per jaar van het totale investeringsbedrag inclusief een aansprakelijkheidsverzekering.

Voor een moderne 600 kW turbine kan de totale projectkost daardoor geraamd worden op ongeveer 25 miljoen BEF.

De opbrengsten:

Een moderne 600 kW-turbine levert in de kuststreek, waar men een gemiddelde windsnelheid van 7 m/s op ashoogte mag veronderstellen, jaarlijks ongeveer 1.900.000 kWh.



Dankzij het verhoogde teruglevertarief van 3,1 BEF/kWh dat sinds juli 1998 van kracht is, brengt zo'n windturbine dus ongeveer 6 miljoen BEF per jaar op.

De opbrengst van windturbines bij een bepaald windaanbod en de beschikbaarheid van de windturbine worden gewoonlijk gegarandeerd door de windturbinebouwer.

Dit betekent dat een moderne windturbine in de kuststreek op 5 jaar zeker terugverdiend is, nog zonder subsidies (mét subsidies op ongeveer 4 jaar). Voor een standaard windturbine kan men rekenen op 20% ecologiesteun van de Vlaamse overheid voor kleine bedrijven en 10% ecologiesteun voor middelgrote en grote ondernemingen (zie verder).

Een project dat volledig gefinancierd wordt met vreemde middelen waarbij de lening afbetaald wordt over 10 jaar, maakt bij de huidige marktomstandigheden reeds winst vanaf het eerste jaar.

In het binnenland, bij ongeveer 5 m/s op ashoogte, daalt de opbrengst tot bijna 1.000.000 kWh of 3 miljoen BEF per jaar, wat nog altijd toelaat de investeringen terug te verdienen binnen ongeveer 8 jaar dankzij de subsidies van de Vlaamse overheid.



Foto 16: De oprichting van een 600 KW turbine in Zeebrugge. Zware kranen komen eraan te pas om de rotor van 48 m diameter 60 meter hoog te hijsen. (Foto: Yseult de Crombrughe)

Steunmaatregelen van de Vlaamse overheid

- ***Ecologiesteun voor bedrijven in het kader van de economische expansiewet.***

In het kader van het economisch expansiedecreet wordt aan kleine ondernemingen een subsidie van 20 % en aan middelgrote en grote ondernemingen een subsidie van 10 % toegekend voor investeringen in hernieuwbare energiebronnen.

Informatie:

ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
afdeling Economisch Ondersteuningsbeleid
Markiesstraat 1
1000 Brussel
Tel 02/553 48 28
Fax 02/553 37 88

- ***Demonstratiesteun***

Demonstratiesteun is een gerichte steunverlening aan innovatieve energieprojecten in Vlaanderen die commercialisering en rentabiliteitsperspectieven openen.

Alle fysische of rechtspersonen, ondernemingen en niet-commerciële instellingen, particulieren en intercommunales kunnen in aanmerking komen voor deze financiële steun. Het steunpercentage ligt rond de 35 %, beperkt tot een bedrag van 10 miljoen per project.

Informatie:

ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie
Markiesstraat 1
1000 Brussel
Tel 02/553 39 55
Fax 02/553 44 38
Dhr. Frank Van Droogenbroeck
E-mail: ewbl.anre@vlaanderen.be

- ***Fiscale aftrek***

Bedrijven die investeren in hernieuwbare energiebronnen kunnen genieten van een verhoogde fiscale aftrek van 13,5%. (Voor informatie zie demonstratiesteun).

Nuttige adressen

In Vlaanderen

- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie.
Markiesstraat 1
1000 Brussel
Tel 02/553 39 55
Fax 02/553 44 38
Dhr. Wim Buelens
E-mail: ewbl.anre@vlaanderen.be
(algemene informatie over steunmaatregelen en beleid inzake
hernieuwbare energiebronnen)
- Vrije Universiteit Brussel
Dienst Stromingsmechanica
Pleinlaan 2
1050 Brussel
Tel 02/629 2399
Fax 02/629 2880
Prof. Ch. Hirsch
E-mail: Hirsch@stro10.vub.ac.be
(technische informatie over windturbines, windmetingen,
haalbaarheidsstudies, windplan enz.)
- Organisatie voor Duurzame Energie (ODE-Vlaanderen)
Blijde Inkomststraat 46
3000 Leuven
Tel. en Fax: 016/23 52 51
Dhr. Jo Neyens
(algemene informatie over hernieuwbare energie, leveranciers,
mogelijkheden en monitoring)
- Beroepsfederatie van Elektriciteitsproducenten en verdelers
Tervurenlaan 34 bus 38
1040 Brussel

In Europa

- European Wind Energy Association (EWEA)
26 Spring street
United Kingdom
Tel.: 00 44 171 402 7122
Fax.: 00 44 171 402 7125
Website: www.ewea.org
E-mail: ewea@ewea.org
(algemene informatie over windenergie in Europa, Europese steunprogrammas, conferenties e.d.)

Op het internet

Er is veel informatie te vinden op het internet over windenergie. We geven hier een paar voorbeelden van sites met links naar andere plaatsen.

De site van de Deense vereniging van windmolenconstructeurs (DWTMC)
www.windpower.dk

Een tweede interessante site is deze van het Duits Windenergie Instituut.
www.dewi.de

De meeste informatie in Nederland is te vinden bij het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)
www.ecn.nl

Informatie over windenergie in Vlaanderen is te vinden op de site van de VUB met links naar ODE en constructeurs en bedrijven in Vlaanderen.
<http://stro9.vub.ac.be/wind/>

Foto's

Omslagfoto: Windmolen in Hasselt, Interelectra

1. Infrarood foto van de aarde, KMI
2. De heimolen in Langdorp, vzw natuurreervaten
3. Productie van bladen bij VESTAS
4. Doorsnede van een gondel met de belangrijkste componenten, NEG Micon
5. Een gondel van een 600 kW machine, Vrije Universiteit Brussel
6. Trage as van een 600 kW machine, Nordex windturbines
7. Tandwielkasten van een 600 kW machine, Hansen Transmissions International
8. Windturbine met direct aangedreven alternator, Enercon
9. Rotor van een laag toerental generator, Enercon
10. Kruilager van 1 MW turbine, Vrije Universiteit Brussel
11. Het windpark in Zeebrugge, Turbowinds
12. Windkaart van België, Vrije Universiteit Brussel
13. Windturbine met zendinstallatie voor mobiele telefonie, Nordex windturbines
14. Offshore windpark in Denemarken, Vestas Windturbines
15. Fundering van een 1.000 kW turbine, Nordex windturbines
16. Oprichting van een 600 kW windturbine, Turbowinds



Samenstelling:

VUB, Dienst Stromingsmechanica en ODE Vlaanderen
in opdracht van:
ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie

Verantwoordelijke uitgever:

Alfons Maes

Lay-out:

afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie

Depotnummer:

D/1998/3241/236

Druk:

Enschedé – Van Muysewinkel



Informatie:

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie
Markiesstraat 1
1000 Brussel
Tel.: (02) 553.39.55
Fax.: (02) 553.44.38
e-mail: ewbl.anre@vlaanderen.be