

**ANRE-DEMONSTRATIEPROJECT:
“WINDENERGIE ”
BIJ MIDDELWIND, MIDDELKERKE**

**Eindrapport
E. Peeters, J. Van Bael**

Vito

April 2003

SAMENVATTING

Middelwind cvba, met maatschappelijke zetel in Middelkerke, is een coöperatieve vennootschap met beperkte aansprakelijkheid die zich geëngageerd heeft om op een milieuvriendelijke manier elektriciteit op te wekken uit windenergie. In het kader van de bevordering van nieuwe energietechnologieën (KB van 10/02/1983) heeft de Vlaamse overheid aan Middelwind cvba een subsidie toegekend van 247.893,52€ voor de investeringskosten van een windturbine.

De VUB (Vrije Universiteit Brussel) voerde in opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) van de Vlaamse Gemeenschap een energetische evaluatie van dit demonstratieproject uit. Vito schrijft hiervoor het eindrapport.

De monitoring van het windturbine-project liep over een tijdspanne van 1 jaar, namelijk van 01/11/99 t.e.m. 31/10/00.

Voor de betreffende windturbine met een nominaal vermogen van 660 kW, bedroeg de totale elektriciteitsproductie tijdens de monitoringperiode 1.571.218 kWh/jaar, wat een gemiddelde capaciteitsfactor van 27 % oplevert. Deze opbrengst wordt in de lokale TNC-S hoogspanningslus van WVEM gekoppeld.

De primaire energiebesparing en de verminderde CO₂-emissie wordt bepaald op basis van de opgemeten elektrische energiestromen.

Uit de meetgegevens kan afgeleid worden, dat de besparing op het primair energieverbruik die te danken is aan de windturbine van Middelwind 13.796 GJ/jaar bedraagt. Hierbij gaat men ervan uit dat de windturbine een elektriciteitsproductie louter door thermische met fossiele brandstoffen gestookte centrales vervangt.

Ook voor de CO₂-uitstoot brengt de windturbine van Middelwind een besparing teweeg. Door de 1.571.218 kWh bedraagt deze besparing 1.079 ton/jaar. Ook hier wordt weer verondersteld dat de elektriciteitsproductie zonder windturbine gebeurt door een elektriciteitspark louter bestaande uit thermische met fossiele brandstoffen gestookte centrales.

Uitgaande van financiële cijfers bedraagt de terugverdientijd van de windturbine inclusief het 10-jarig onderhoudscontract 5,1 jaar. Indien de subsidie van € 247.893,52 in rekening wordt gebracht, bedraagt de terugverdientijd nog 3,0 jaar.

De energetische terugverdientijd voor deze windturbine is 0,99 jaar wat betreft de benodigde primaire energie en 1,03 jaar voor wat betreft de CO₂-uitstoot. Hierbij is rekening gehouden met de totale nodige primaire energie en CO₂-uitstoot zowel voor productie, onderhoud als afbraak van de windturbine.

INHOUD

1	INLEIDING	4
2	BESCHRIJVING VAN DE WINDTURBINE	5
2.1	BEGRIPPEN EN DEFINITIES	5
2.2	MECHANISCHE KENMERKEN VAN DE INSTALLATIE	6
2.3	ELEKTRISCHE KENMERKEN VAN DE INSTALLATIE	7
2.4	SITUERING VAN DE TECHNOLOGIE	8
2.5	DE LOCATIE	9
2.5.1	<i>Algemeen</i>	9
2.5.2	<i>Het windklimaat</i>	11
2.6	KENMERKEN VAN DE MEETOPSTELLING	12
2.6.1	<i>Hyperlink en Vestas Remote Panel</i>	12
2.6.2	<i>De meetmast</i>	12
3	TECHNISCHE EVALUATIE.....	14
3.1	WASP-WINDPRO BEREKENING	14
3.2	HET WINDKLIMAAT	15
3.3	TURBULENTIE	16
3.4	DE GEMETEN PRODUCTIE	16
3.5	RENDEMENT	19
4	PRIMAIRE ENERGIEBESPARING EN VERMINDERING CO₂-EMISSION.....	20
4.1	PRIMAIRE ENERGIEBESPARING	20
4.2	VERMINDERING CO ₂ -EMISSION	20
5	ECONOMISCHE EVALUATIE	21
5.1	INVESTERING	21
5.2	ONDERHOUDSKOSTEN	21
5.3	GEREALISEERDE BESPARING	21
5.4	RENDABILITEIT	21
6	ENERGETISCHE TERUGVERDIENSTIJD	23
7	MENING VAN DE EIGENAAR	24
7.1	HERNIEUWBARE ENERGIE IN DE WERELD	24
7.2	VLAANDEREN	24
7.3	MIDDELWIND	24
7.4	PROJECT MIDDELWIND	24
7.5	DEMONSTRATIE	25
7.6	WEBSITE	25
7.7	NAVOLGING	25
7.8	SUBSIDIE	26
8	BESLUIT.....	27

BIJLAGE I: DETAIL MEETRESULTATEN GEGENEREERD UIT WINDPRO

BIJLAGE II: RENDEMENT EN CO₂-EMISSIONEFACOR ELEKTRICITEITSPARK

REFERENTIES

1 INLEIDING

Middelwind cvba, is een coöperatieve vennootschap met beperkte aansprakelijkheid opgericht op initiatief van dhr. Gabriël Boedt. De meerderheidsaandeelhouder met 50,05 % is de WVEM. Het was de bedoeling om een windcoöperatieve (windmolenvereniging) op te richten naar Nederlands model i.s.m. Westenwind cvba. De financiering van de cvba gebeurt door investeerders die de ideologie van de decentrale energieopwekking genegen zijn.

De bedoeling van het project is aan te tonen dat het in België mogelijk is om door kleine spaarders windenergiesystemen te introduceren. Hiervoor is echter wel de samenwerking met een elektriciteitsmaatschappij noodzakelijk.

De VUB (Vrije Universiteit Brussel) voerde in opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) van de Vlaamse Gemeenschap een energetische evaluatie van dit demonstratieproject uit. Vito schrijft hiervoor het eindrapport.

De monitoring van het windturbine-project liep over een tijdspanne van 1 jaar, namelijk vanaf 01/11/99 t.e.m. 31/10/00.

Op basis van de metingen worden de technische prestaties van de technologie, de bereikte energiebesparing en de vermindering van de CO₂-emissie geëvalueerd. Verder wordt ook een economische analyse van het project uitgevoerd.

In dit rapport wordt in hoofdstuk 2 een technische beschrijving van de windturbine gegeven. In het derde hoofdstuk worden de meetresultaten geanalyseerd en in hoofdstuk 4 wordt de primaire energiebesparing en de CO₂-emissiereductie bepaald. De economische en energetische evaluatie worden respectievelijk beschreven in hoofdstuk 5 en 6. In hoofdstuk 7 wordt de mening van de eigenaar weergegeven, waarna het besluit geformuleerd wordt.

2 BESCHRIJVING VAN DE WINDTURBINE

2.1 Begrippen en definities

Vooraf worden nog enkele begrippen gedefinieerd die worden gebruikt bij windmolens:

De vermogencurve:

De vermogencurve geeft aan welk vermogen wordt geleverd bij een bepaalde windsnelheid. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de berekende en de gemeten vermogencurve. Het meten van de vermogen curve gebeurt volgens de IEC 61400 norm door een instituut dat deel uitmaakt van het Measnetwerk.

In tabel 2.2 wordt zowel de door de VUB berekende vermogencurve weergegeven als de opgemeten curve volgens measnet.. Bij het opmeten van de curve wordt het vermogen gemeten aan de klemmen van de laagspanningszijde van de transformator.

Bij de berekeningen door Vestas is met volgende randvoorwaarden rekening gehouden: luchtdichtheid 1,225 kg/m³ en een turbulentie van 10 %. De kenmerkende grootheden zijn

- De opstartwindsnelheid (cut-in) = 4 m/s
- De nominale windsnelheid = 15 m/s
- De uitschakelwindsnelheid = 25 m/s

De wind turbine is gecertificeerd voor de IEC klasse I en II

Tabel 2.1: IEC klassen

IEC klasse	I	II
Gemiddelde windsnelheid	10	8,5
Stoot windsnelheid		59,5
Referentiewindsnelheid		42,5

De turbine werd ontwikkeld begin van de jaren 90 en bleek een groot succes te zijn. In een later versie werd de turbine ontwikkeld met een dubbele generator om een beter rendement te bekomen bij lagere windsnelheden. Gezien de turbine aan de kust werd opgesteld, is (gemiddelde verwachte windsnelheid > 7 m/s) een enkel toerental verantwoord.

De beschikbaarheid:

Een windturbine wordt verondersteld energie te leveren wanneer de windsnelheid tussen de inschakelwindsnelheid en de uitschakelwindsnelheid ($V_{in} = 3$ m/s en $V_{out} = 25$ m/s) is. In dit geval is de beschikbaarheid 100 %. In werkelijkheid kan door technische gebreken en of onderhoud de beschikbaarheid lager zijn.

$$A = \frac{\text{operationele _ uren}}{\text{basisuren} + \text{reparatie _ uren}} \times 100\%$$

Operationele_uren = uren turbine controller OK

Basis uren = uren line OK

Reparatie_uren = Het aantal uren dat de hoofdschakelaar is uitgeschakeld.

Vestas garandeert volgende beschikbaarheden:

- 1-30 dagen na ingebruikname: 65 %
- 31-60 dagen na ingebruikname: 75 %
- 61-90 dagen na ingebruikname: 85 %
- Na 90 dagen: 95 %

Indien deze beschikbaarheid niet wordt gehaald, betaalt Vestas een schadevergoeding volgens een welbepaalde formule.

Tabel 2.2: Vermogencurve

Windsnelheid [m/s]	Vermogencurve Berekend	Vermogen [kW] Gemeten volgens measnet
4	5.65	2.9
5	40.89	43.8
6	95.69	96.7
7	165.11	166
8	254.73	252
9	360.45	350
10	405.63	450
11	552.03	538
12	612.84	600
13	646.62	635
14	658.48	651
15	661.28	657
16	661.13	659
17	660.51	660
18	662	660
19		660
20		660
21		660
22		660
23		660
24		660
25		660

2.2 Mechanische kenmerken van de installatie

De windturbine werd geleverd door de firma Vestas en bezit het typecertificaat volgens RISO (Dk) en Germanischer Lloyd (De). Het gaat om een windturbine van het merk Vestas, type V47-660 met een rotordiameter van 47m en een nominaal vermogen van 660kW. De turbine is opgebouwd uit een driebladige rotor die via een tandwielkast een asynchrone generator aandrijft via een drietraps tandwielkast met een overbrenging van 58,04. Het nominaal toerental van de windturbine bedraagt 28,5 rpm.

De bladen zijn vervaardigd uit glasvezel versterkt epoxy en opgebouwd uit een profilering en een centrale draagbalk. Via een aluminium flens worden de bladen aan het bladlager bevestigd.

De hoekverstelling van de bladen wordt bekomen door één centrale pitchcilinder waardoor de bladen 90 graden kunnen gedraaid worden. De hoekverstelling maakt integraal deel uit van het veiligheidssysteem van de molen.

Het kruien van de turbine gebeurt door middel van twee elektrische kruimotoren die gestuurd worden door de windvaan bovenop de gondel

De ashoogte van de turbine bedraagt 55 m inclusief sokkel.

In figuur 2.1 is een foto van de inplanting van de windturbine weergegeven.



Figuur 2.1: Foto van de windturbine Vestas V47 bij Middelwind, Middelkerke

De technische fiche van de windturbine wordt getoond in tabel 2.3.

2.3 Elektrische kenmerken van de installatie

De generator van 660 kW heeft ingebouwde elektronica op het rotorgedeelte. Via een optische link wordt vanuit de turbinecontroller de rotorweerstand geregeld. De slip kan oplopen tot 10 %. Deze regeling wordt gebruikt boven nominale windsnelheid en laat toe het vermogen constant te houden ook bij windvlagen.

Het nadeel is echter dat de slip-energie in warmte wordt omgezet. Het reactief vermogen wordt geleverd door het net en om de vermogenfactor te optimaliseren worden condensatoren gebruikt.

Een tweede type regeling die toegepast wordt om het vermogen te regelen is hoekverdraaiing (pitch-control).

Door een combinatie van beide vermogenregelingen, wordt het vermogen van de turbine begrensd op een maximum van 660kW. Periodieke of snelle vermogenvariati es zijn niet wenselijk. Daarom wordt een windvlaag opgevangen door een kleine toename in rotorsnelheid. De controller krijgt ondertussen de gelegenheid de bladhoek bij te sturen.

Inschakelstromen worden beperkt door een thyristor brug die na koppeling wordt gebypassed. Ook bij het afkoppelen van de generatoren wordt de thyristorschakeling gebruikt om de levensduur van de contactor te vergroten.

De olie transformator (690 V-10.000 V) is onderaan de toren geplaatst.

Tabel 2.3: Technische fiche windturbine

Hoofdkenmerken	
Rotordiameter	47 m
ashoogte	55 m (inclusief betonsokkel)
Omwentelingssnelheid	28-20 rpm
aantal bladen	3
aerodynamische rem	bladhoekverdraaiing
Torengewicht	49 ton
Gondelgewicht	20 ton
Rotorgewicht	7 ton
Tandwielkast	Brooke Hansen $i = 1/58$
Generator	ABB vier polen 690 VAC
Voltage	690 V
Transformator	France transfo (droge transfo)

2.4 Situering van de technologie

Moderne windturbines kunnen op verschillende manieren worden ingedeeld. Veel gebruikte methodes zijn:

- naargelang het toerental, vast of variabel
- naargelang het controlesysteem, pitch of stall

In tabel 2.4 worden de verschillende combinaties weergegeven. De beschreven Vestas turbine is een pitchgeregelde turbine. Omdat pitchgeregelde turbines met vast toerental moeilijk controleerbaar zijn,

heeft Vestas een speciaal ontwikkelde asynchrone generator gebruikt met verhoogde slip.

Tabel 2.4: Overzicht van mogelijke controle opties

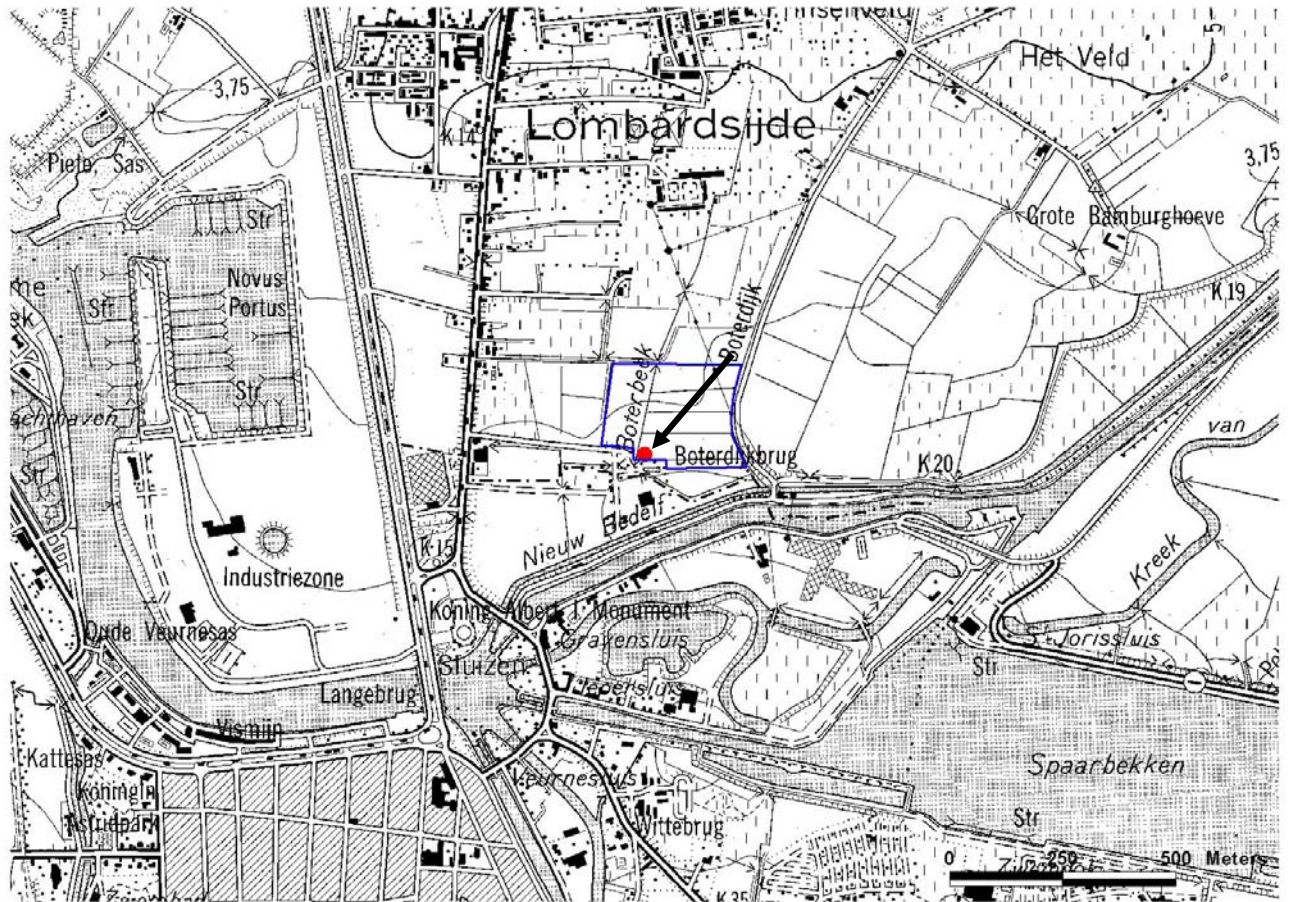
Aandachtspunten	Pitch regeling	Stall regeling	Active stall
Energie opbrengst	Zeer goed	Opbrengst afhankelijk van instellingen en niet altijd optimaal	Stall hoek kan worden bijgeregeld in functie van reële opbrengst
Controle met variabel toerental	Goede vermogenskwaliteit, lagere belastingen op de aandrijving	Wordt weinig toegepast	Is in ontwikkeling
Controle met vast toerental	Zeer moeilijk in hoge windsnelheden	Over het algemeen vrij goed. Afname in het vermogen boven nominale windsnelheid	Zeer goede controle van het vermogen. Energie-opbrengst optimaal ook in hoge windsnelheden
Kostprijs	Dure rotorsystemen	Eenvoudig en goedkoop rotorsysteem, bijkomend veiligheidssysteem nodig	Ook regelsysteem nodig doch langere levensduur door minder pitchacties dan bij een pitchregeling

Deze technologie wordt nu minder toegepast en ook Vestas is voor de nieuwe producten overgestapt naar een verder gevorderde vorm van variabel toerental. De V47 windturbine is in het productiegamma vervangen door de V52 met 52 m rotordiameter

2.5 De Locatie

2.5.1 Algemeen

Het terrein situeert zich aan een zijstraat van de Westendelaan op de gemeentegrens tussen Nieuwpoort en Middelkerke, nabij het standbeeld van Koning Albert. De zone van Openbaar Nut sluit aan op de doodlopende straat Nieuwpoortlaan. De figuren 2.2 en 2.3 geven een overzicht van de locatie.



Figuur 2.2: Locatie van de Vestas V47 bij Middelwind, Middelkerke (schaal 1/10.000)



Figuur 2.3: Locatie van de Vestas V47 bij Middelwind, Middelkerke (schaal 1/20.000)

De Vestas turbine is opgesteld in het verlengde van de Nieuwpoortlaan op een zone van Openbaar Nut, eigendom van de VMM. De Lambert72 coördinaten van de Vestas turbine zijn 37,511 Oost en 204,500 West. De omgeving is gekenmerkt door de aanwezigheid van een waterspaarbekken en een jachthaven van Nieuwpoort. Er is ook rekening gehouden met de omwonenden. Zo werd de molen op minstens 200 meter van de dichtstbijzijnde woning geplaatst. Ook met het slagschaduweffect is rekening gehouden, zodat het zonnelikkereffect geen nadeel vormt voor de buurtbewoners.

2.5.2 Het windklimaat

Het windklimaat op de locatie wordt gekenmerkt door twee grootheden:

- Een Weibull-dichtheidsfunctie $f(x, k, A)$ van de windsnelheid (x) gekenmerkt door een schaalfactor A en een vormfactor k .

$$f(x, k, A) = \frac{k}{A^k} x^{k-1} e^{-(x/A)^k}$$

- De turbulentie

De A factor is evenredig met de gemiddelde windsnelheid en de k Factor definieert de vorm van de Weibull verdeling of de lange termijn variaties.

Een tweede belangrijke factor is de turbulentie die de korte termijn variaties beschrijft. Overeenkomstig de IEC norm wordt een wind turbine berekend voor een turbulentie van 17 %.

$$I = \frac{S_{dev}}{V_{gem}}$$

waarin I = turbulentie intensiteit
 S_{dev} : standaard afwijking over 10 minuten
 V_{gem} : gemiddelde windsnelheid over dezelfde 10 minuten

Zowel windsnelheid als turbulentie veranderen in functie van de hoogte. In bebouwde omgeving kan het belangrijk zijn om grotere afstanden toe te passen omwille van lagere turbulentie en verhoogde levensduur.

2.6 Kenmerken van de meetopstelling

Voor de monitoring wordt in eerste instantie gebruik gemaakt van de logging van de fabrikant Vestas die bestaat uit een Hyperlink en een Vestas Remote Panel. Bijkomend werd er een meetmast geïnstalleerd. Volgende gegevens worden hierbij uitgelezen:

2.6.1 Hyperlink en Vestas Remote Panel

Volgende gegevens worden over 1 uur uitgemiddeld en worden gedurende 7 dagen gestockeerd.

- Uurgemiddelde van de Windsnelheid boven op de gondel;
- Uurgemiddelden van het geleverd vermogen;

Verder worden volgende ogenblikkelijke waarden gegeven:

- Windsnelheid
- Pitchhoek
- Totale opbrengst

De temperaturen werden ook gemeten, maar werden hier niet in rekening gebracht te worden daar de monitoringperiode een jaar bedroeg. De temperatuur is enkel van belang indien de monitoringperiode een korte termijn bedraagt (omdat temperatuur, druk en luchtvochtigheid een invloed hebben op de dichtheid van de lucht en dus op de vermogencurve van de windturbine).

2.6.2 De meetmast

Windmeters gemonteerd op de gondel van een windmolen worden weinig betrouwbaar geacht voor monitoring van windenergie projecten.

Door ruimtelijke ordening werd geen toestemming gegeven een bijkomende meetmast te plaatsen. Daarom werd een bestaande 12 m hoge meetmast die zich bevindt op 100 m van de turbine uitgerust met één anemometer en windvaan.

De bedoeling van deze meetmast was het windklimaat op de locatie te bepalen gedurende een bepaalde referentieperiode.

De windmeter werd geijkt in de windtunnel van de Vrije Universiteit Brussel. Deze windtunnel is een halfopen windtunnel met een sectie van 2 m op 1 m en een maximale windsnelheid van 18 m/s. De windtunnel wordt gekalibreerd met een pitotbuis gekoppeld aan een alcohol manometer.

3 TECHNISCHE EVALUATIE

Door de VUB werd meegedeeld dat de data rate recovery 90,5 % bedraagt. Dit heeft geen effect op de meetgegevens omdat voor betrouwbare windberekeningen op basis van de winddata algemeen verondersteld wordt dat een data rate recovery van 80 % vereist is. Voordat wordt overgaan tot de bespreking van de gegevens wordt eerst de simulatie door WASP besproken.

Voor dit project, kan men de dagelijkse productie steeds raadplegen op de Website van Middelwind: www.surf.to/middelwind.

3.1 WASP-WindPRO berekening

Door de VUB werd in het begin een studie gemaakt over de te verwachten opbrengst. Dit gebeurde m.b.v. WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program), een software pakket ontwikkeld door het Risø te Denemarken in 1989.

WASP is een softwarepakket dat toelaat om ruwe meetdata (windsnelheid en -richting) om te rekenen naar een zogenaamd algemeen regionaal windklimaat. Daartoe dient de inputdata m.b.v. meteorologische modellen omgerekend te worden naar hogere hoogte. Deze modellen eisen naast de winddata verder nog input van de topografische gegevens, de ruwheidsgegevens en de posities van eventuele obstakels in de buurt van de meetmast.

Met het algemeen windklimaat (windatlas) kan op een inverse manier een gemiddeld windklimaat berekend worden per richtingssector op een willekeurige andere locatie op willekeurige hoogte, op voorwaarde dat van deze nieuwe locatie de topografische gegevens, de ruwheden en de obstakels in de omgeving van deze nieuwe locatie gekend zijn.

Het WASP programma is sinds zijn release een standaard geworden binnen de industrie voor windresource berekeningen en het voorspellen van de gemiddelde jaarlijkse productie van windturbines. WASP wordt in meer dan 65 landen gebruikt.

WASP heeft bewezen betrouwbaar te zijn voor niet al te complexe terreinen (cfr. Vlaanderen).

Door de VUB wordt bovenop WASP nog een programma WindPRO gedraaid. Hiermee analyseren zij de windmeetgegevens en maken zij berekeningen. De versies van de programma's die gebruikt werden zijn: bij aanvang van het project WASP 6.0 en WindPRO 2.0.0.9, op het einde werd een naberekening gemaakt met WASP 7.0. In het kader van het Windplan Vlaanderen werd door de VUB een ruwheidsmodel en een reliëfmodel voor Vlaanderen opgesteld.

Voor de gegeven locatie werd het model verfijnd met een beschrijving en invoering van de obstakels in de nabijheid van de molen.

De gegevens in tabel 3.1 zijn gebaseerd op een berekening door WASP uitgaande van volgende referentiestations:

- Florennes, afstand 64 km
- Melsbroek, afstand 26 km
- Cambrai, afstand 94 km

Tabel 3.1: De windkarakteristieken en opbrengstberekening van de locatie in Middelkerke op basis van het windplan

A-parameter	k-waarde	$V_{\text{gemiddeld, ashoogte}}$	Bruto opbrengst
7,4	2,11	5,7 m/s	1.635,5 MWh

Deze berekening is uitgevoerd op basis van een normaal windjaar en voor de aanvang van de meetcampagne. Na de meetcampagne werd een nieuwe berekening uitgevoerd op basis van de reële meting van het windklimaat.

3.2 Het windklimaat

In tabel 3.2 worden de maandelijks windmeetresultaten weergegeven. Deze resultaten worden vergeleken met het referentiestation van de VUB. Dit referentie station is een meetmast in Perk (bij Vilvoorde) met een hoogte van 65m

Tabel 3.2: Maandelijks windmeetresultaten

maand	referentiestation	Middelkerke (12m)
November 99	5.5	5.1
December 99	-	1.6
Januari 00	6.1	5.0
Februari 00	6.9	5.4
Maart 00	6.0	5.2
April 00	5.0	4.6
Mei 00	4.6	4.4
Juni 00	4.6	4.0
Juli 00	4.3	4.1
Augustus 00	3.8	2.5
September 00	4.6	
Oktober 00	6.41	

Voor de windmetingen in de maanden september en oktober 2000 ontbreken data, maar voor deze maanden wordt een correctie uitgevoerd aan de hand van het referentiestation.

Om het globale windklimaat te berekenen, werden de ruwe data verwerkt met WindPRO. De extrapolatie (windshear) werd uitgevoerd naar de verticale hoogte op basis van de ruwheid van de omgeving.

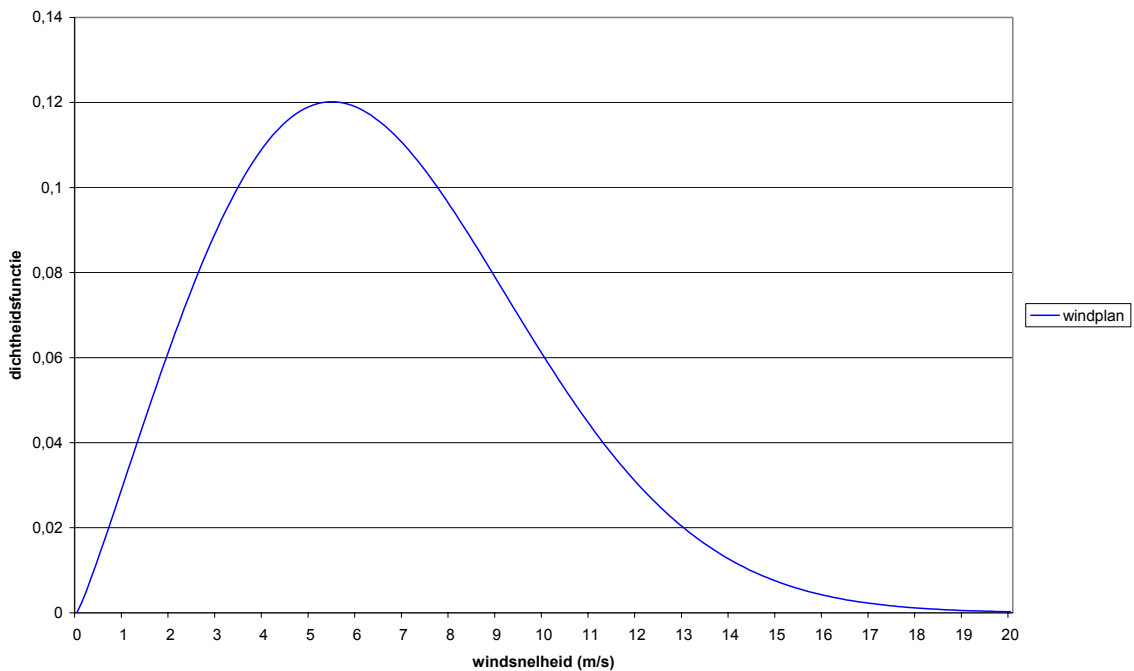
Het detail van de resultaten is bijgevoegd onder de vorm van het meteo-data report in bijlage 1.

De windshear α (een coëfficiënt die toelaat de windsnelheid op een bepaalde hoogte te berekenen vertrekkende van een referentiehoogte) wordt in dit geval bepaald aan de hand van de opbrengstberekening. De gemiddelde waarde bedraagt 0,17 voor alle sectoren. Normaal wordt er in Vlaanderen gerekend met waarden tussen de 0,14 en 0,16, maar uit metingen van de VUB blijkt dat er bijna altijd een waarde wordt bekomen die hoger is. In het geval van Middelwind wordt de α -waarde sterk beïnvloed door de stad Nieuwpoort, die als een soort berm fungeert waardoor “stijgwinden” ontstaan. Een lagere α -waarde is eigenlijk nadelig, omdat men dan om dezelfde windsnelheden te bereiken op ashoogte, een hogere windturbine moet plaatsen dan op plaatsen met een lagere α -waarde.

De omrekening naar andere hoogtes gebeurt met volgende formule.

$$\frac{V}{V_{ref}} = \left(\frac{H}{H_{ref}} \right)^{\alpha}$$

De gemeten gemiddelde windsnelheid bedraagt 4,3 m/s op 12 m hoogte over de volledige duur van de meetperiode. De Weibull parameters (Weibulldichtheidsfunctie is een waarschijnlijkheidsdichtheidsfunctie die het verloop van de windsnelheid benaderd waar de A-factor de topwaarde weergeeft en de k-waarde de vormfactor van de functie is) zijn dan $A = 7,4$ en de k-waarde bedraagt 2,11. Figuur 3.1 toont de Weibulldichtheidsfunctie van de windsnelheid in Middelkerke, zowel gebaseerd op gemeten waarden als op de berekeningen volgens het windplan. Gebruik maken van bovenstaande formule bekomen we een gemiddelde windsnelheid van 5,57 m/s op ashoogte.



Figuur 3.1: Weibulldichtheidsfunctie van de windsnelheid in Middelkerke

3.3 Turbulentie

De turbulentie werd hier slechts op geringe hoogte gemeten, 12 m, en bedraagt gemiddeld tussen de 14 en 17 %.

3.4 De gemeten productie

De totale gemeten productie over de referentieperiode bedraagt **1.571.218 kWh**. De cijfers worden grafisch voorgesteld in figuur 3.2.

Om de netto hoeveel geproduceerde elektriciteit te kennen, moeten we echter het eigenverbruik van de molen in rekening brengen. Het eigenverbruik van de windturbine

bedraagt slechts enkele 10-tallen kWh gedurende het meetjaar. Bij dit type van windturbine is er geen motor werking van de generatoren nodig om op te starten, wat bij vroegere windturbines wel het geval was. De reden hiervan is dat er als het ware een slowstart gebeurt door de pitch-regeling, en dat de generatoren bij opstart via thyristorbruggen in het net gekoppeld worden totdat de generator met het net gesynchroniseerd is. De 1.571.218kWh die geleverd werd door de windturbine kan dus als netto opbrengst beschouwd worden.

Tabel 3.3 :maandelijkse producties

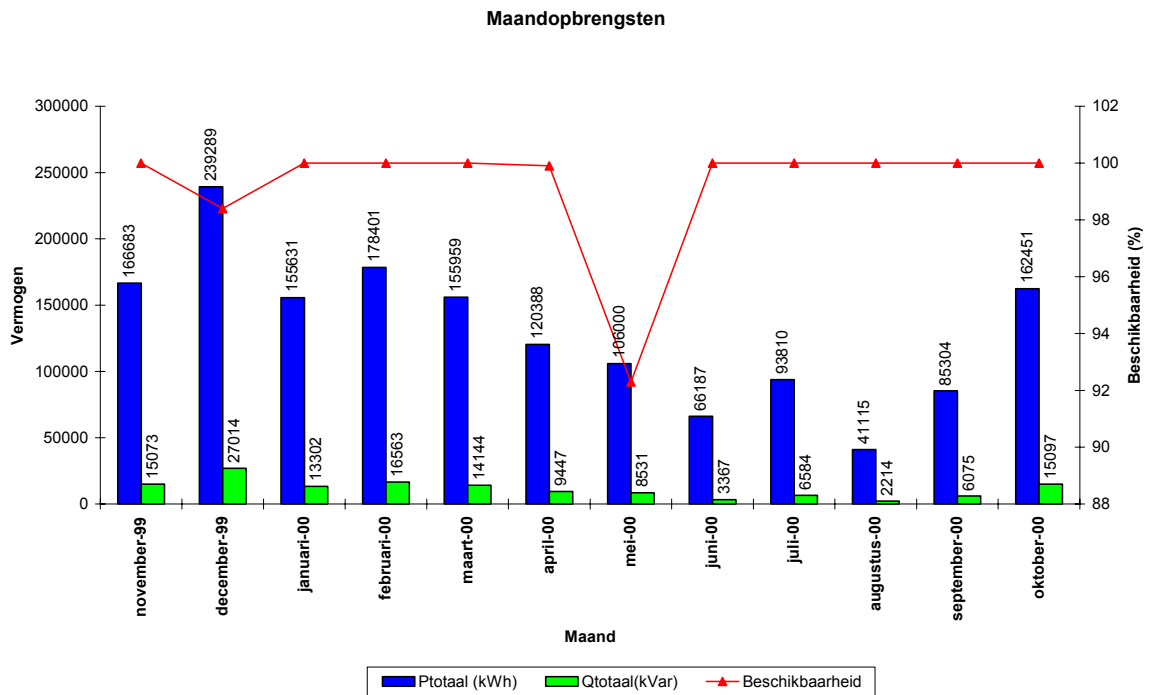
maand-jaar	Total[kWh]	Tot.kVArh	Beschikbaarheid%
november-99	166.683	-15.073	100,0
december-99	239.289	-27.014	98,4
januari-00	155.631	-13.302	100,0
februari-00	178.401	-16.563	100,0
maart-00	155.959	-14.144	100,0
april-00	120.388	-9.447	99,9
mei-00	106.000	-8.531	92,3
juni-00	66.187	-3.367	100,0
juli-00	93.810	-6.584	100,0
augustus-00	41.115	-2.214	100,0
september-00	85.304	-6.075	100,0
oktober-00	162.451	-15.097	100,0
Totaal	1.571.218	-137.411	99,2

De capaciteitsfactor van de windturbine op die locatie bedraagt

$$C = \frac{\text{Opbrengst}}{P_{nom} \times 8760} = 27 \%$$

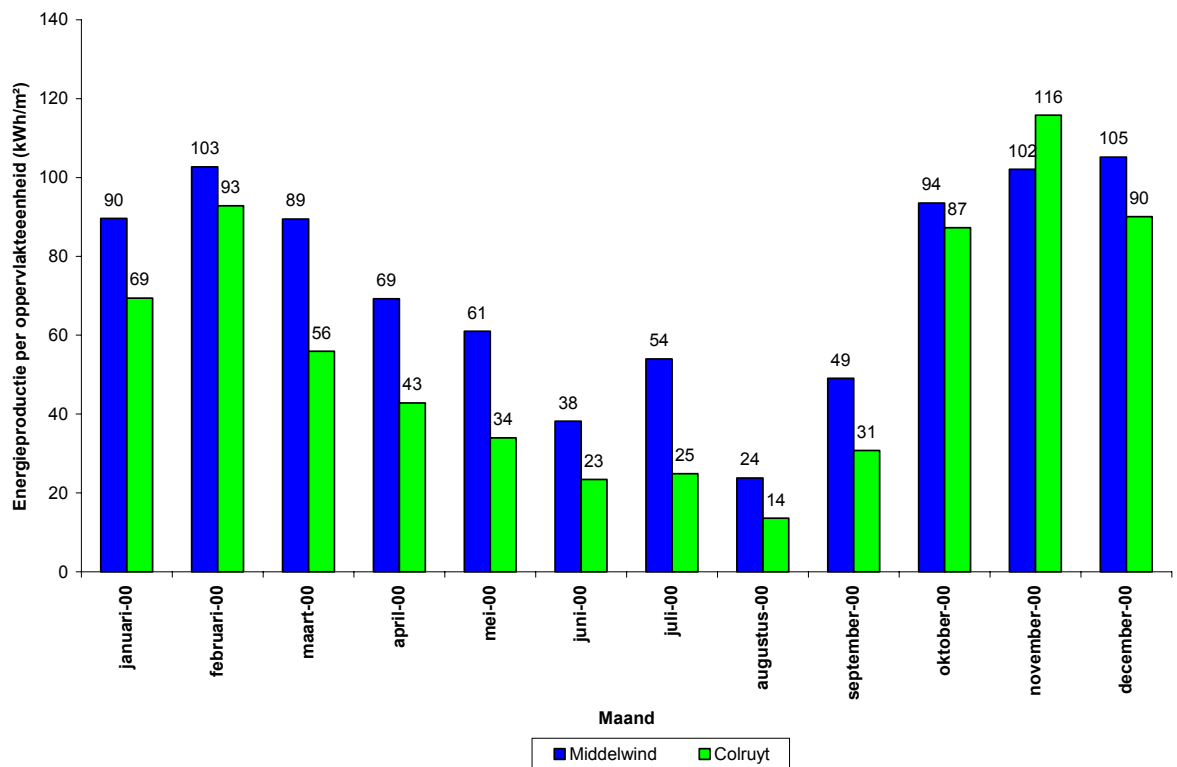
Een capaciteitsfactor van 27 % is goed voor een windturbine op die locatie. De molen van Middelwind is een windmolen van klasse II, die specifiek gebouwd is voor plaatsing langs de kustlijn, dus voor gebieden met een hogere gemiddelde windsnelheid waardoor de molen een kleiner rotoroppervlakte nodig heeft

In het algemeen wordt voor locaties aan de kust gestreefd naar een geïnstalleerd vermogen per m² tussen de 400 en 500 W/m². Met een P-factor (=geïnstalleerd vermogen/rotoroppervlakte) van 380 W/m² benadert de V47-660 vrijwel deze waarden. Het aantal vollast-uren dat de windturbine draait bedraagt 2380 h, wat ruim hoger is dan de 2000 h die vooropgesteld worden om een rendabel project te hebben.



Figuur 3.2: maandproductie , opgenomen vermogen en windsnelheid

Om een vergelijking mogelijk te maken met andere windturbines werd de opbrengst genormaliseerd per m² rotor oppervlak. De Vestas V66 bij Colruyt heeft een totaal rotoroppervlak van 3.421 m² terwijl de molen van Middelwind een rotoroppervlak heeft van 1.735 m².



Figuur 3.3: Genormaliseerde opbrengsten voor de twee monitoringsprojecten

Figuur 3.3 toont het verschil in genormaliseerde opbrengsten voor de molen van Colruyt in Halle en de Vestas V47 bij Middelwind in Middelkerke met totaal rotoroppervlakte van 1.734 m². Naast de genormaliseerde opbrengsten wordt ook de relatieve afwijking weergegeven.

We stellen vast dat gedurende 6 maanden, van maart tot en met september, de productie van een in het binnenland opgericht turbine meer dan 30 % lager ligt dan een turbine in de kustzone. Het verschil loopt voor de zomermaanden zelfs op tot 50 %. In de wintermaanden zijn de opbrengstverschillen lager dan 20 %, en in februari 2001 en november 2000 levert de turbine in Halle zelfs meer op dan die aan de kust. De grote verschillen in jaaropbrengst zijn vooral te wijten aan de verschillende windregimes. Over het algemeen is er aan de kust meer wind dan in het binnenland, dit is ook logisch daar de wind aan de kust vrij spel heeft. De wind waait echter niet altijd op dezelfde manier, m.a.w. er zijn variaties in het windpatroon. Deze variaties zijn in het binnenland veel groter dan aan de kust, terwijl er off-shore bijna geen variaties meer zijn. Door deze variaties blijkt dat het in de wintermaanden in het binnenland nagenoeg even hard waait, of in bepaalde gevallen harder waait, dan aan de kust. Vandaar dat men de opbrengsten van twee windmolens op totaal verschillende locaties enkel op jaarbasis mag vergelijken en niet over een periode van één of twee maanden.

3.5 Rendement

In deze paragraaf wordt er een berekening van het rendement gemaakt voor de windmolen van Middelwind. Uit de gegevens van bijlage I zien we dat op een hoogte van 50 m gedurende het meetjaar 2.311 kWh/m² windenergie aanwezig was. Voor deze turbine met een rotoroppervlakte van 1.735 m² hadden we dus een totaal van 4.009.585 kWh windenergie voorhanden. De totale hoeveelheid elektriciteit geproduceerd tijdens de monitoringperiode bedraagt 1.571.218 kWh.

Om nu het totale rendement te berekenen delen we de totale hoeveelheid geproduceerde elektrische energie door de voorhanden zijnde windenergie en dit resulteerde in een rendement van 39,2 %.

Indien we de totale hoeveelheid windenergie moesten berekenen op ashoogte, zijnde 55 m, i.p.v. op de hoogte van 50 m, zou dit rendement nog iets aangepast worden.

4 PRIMAIRE ENERGIEBESPARING EN VERMINDERING CO₂-EMISSIE

De besparing van primaire energie en de verminderde CO₂-emissie wordt bepaald op basis van de geproduceerde elektriciteit door de windturbine.

4.1 Primaire energiebesparing

Voor de bepaling van de besparing op primaire energie worden volgende uitgangspunten genomen (eveneens gebruikt bij de economische evaluatie en vermindering van de CO₂-emissie):

- Het totaal geïnstalleerd vermogen is hier 660 kW. Het is duidelijk dat wanneer er een groter vermogen wordt geïnstalleerd de resultaten in positieve zin zullen wijzigen;
- De elektriciteit die door de windturbine wordt geleverd, wordt vergeleken met een situatie waarbij deze elektriciteit wordt opgewekt door thermische centrales met fossiele brandstoffen;
- Voor het rendement van het totale park van thermische elektriciteitscentrales gestookt met fossiele brandstoffen wordt 41 % aangenomen (Bijlage II).

Uit deze meetgegevens kan afgeleid worden, dat de besparing op het primair energieverbruik die te danken is aan de windturbine van Middelwind 13.796 GJ/jaar bedraagt.

4.2 Vermindering CO₂-emissie

Voor de bepaling van de reductie op CO₂-emissie wordt naast de veronderstellingen gemaakt bij de bepaling van de besparingen op primaire energie nog de volgende aanname gedaan:

- De CO₂-emissie voor de productie van elektriciteit in een centrale bedraagt 687 g CO₂/kWh_{el} (zie bijlage II).

Ook voor CO₂-uitstoot brengt de windturbine van Middelwind een besparing teweeg. Door de 1.571.218 kWh bedraagt deze besparing 1.079 ton/jaar.

5 ECONOMISCHE EVALUATIE

Voor de economische evaluatie dient de investering afgewogen te worden tegen de gerealiseerde besparing op de elektriciteitsfactuur en de onderhoudskosten.

Verder moet opgemerkt worden dat er een onderscheid bestaat in terugbetaaltarief tussen de zomermaanden en de wintermaanden. Het terugbetaaltarief in de winter is immers veel hoger.

5.1 Investering

De totale investering bedraagt € 589.372,59. Er werd een subsidie van € 247.893,52 toegekend. De totale investering is als volgt samengesteld:

- Vestas windturbine: € 164.041,55
- Vestas windturbine: € 328.083,10
- Vestas afrekening: € 54.680,05
- Vestas afrekening: € 35.140,00
- Aansluiting molen: € 7.427,88

5.2 Onderhoudskosten

Naast de investeringkosten voor het ganse project komt er nog een jaarlijkse onderhoudskost bij om de molen draaiende te houden. Hiervoor heeft Middelwind met Vestas een service en verzekeringscontract afgesloten met een eigen risico van € 907,56 per schadegeval. De kostprijs voor dit onderhoudscontract bedraagt:

- voor jaar 1 t/m 5: 12.345 €/jaar
- voor jaar 6 t/m 10: 15.088 €/jaar

5.3 Gerealiseerde besparing

De gerealiseerde financiële besparing wordt bepaald door de hoeveelheid geproduceerde elektriciteit en het terugbetaaltarief dat door de elektriciteitsproducent wordt gehanteerd. Dit tarief is afhankelijk van een aantal factoren, meer bepaald het seizoen (winter – zomer) en het moment van de dag (piek- of niet piekmoment). Het hoogste terugbetaaltarief is er tijdens de wintermaanden. Als gemiddelde wordt 0,0867€/kWh genomen.

De windturbine heeft gedurende het jaar 1.517.218 kWh elektriciteit geproduceerd, en bracht dus voor Middelwind het volgende op:

$$1.517.218 \text{ kWh/jaar} \times 0,0873 \text{ €/kWh} = 132.453,13 \text{ €/jaar}$$

5.4 Rendabiliteit

Uitgaande van bovenstaande cijfers bedraagt de terugverdientijd van de windturbine inclusief het 10-jarig onderhoudscontract 5,1 jaar. Indien de subsidie van € 247.893,52 in rekening wordt gebracht, bedraagt de terugverdientijd nog 3,0 jaar.

Deze cijfers worden bekomen door de totale investeringskost te delen door het verschil van de vergoeding voor de teruglevering van de elektriciteit en de gemiddelde onderhoudskost:

Investering:	€ 589.372,59
Onderhoud jaar 1 t/m 5:	13.648 €/jaar
Onderhoud jaar 6 t/m 10:	15.041 €/jaar

$$\text{Zonder ANRE steun} \quad \frac{598.372,59\text{€}}{132.453,13 \frac{\text{€}}{\text{jaar}} - \left(\frac{13.648 + 15.041}{2} \right) \frac{\text{€}}{\text{jaar}}} = 5,1 \text{ jaar}$$

$$\text{Met ANRE steun} \quad \frac{598.372,59\text{€} - 247.893,52}{132.453,13 \frac{\text{€}}{\text{jaar}} - \left(\frac{13.648 + 15.041}{2} \right) \frac{\text{€}}{\text{jaar}}} = 3,0 \text{ jaar}$$

6 ENERGETISCHE TERUGVERDIENTTIJD

Naast de besparingen op primaire energie en CO₂-uitstoot kan ook nog de energetische terugverdiëntijd berekend worden. Om deze energetische terugverdiëntijd te berekenen wordt gebruikt gemaakt van een studie uitgevoerd door de Afdeling Toegepaste Mechanica en Energieconversie van de K.U.L. [2]

In een LCA-studie wordt een beeld geschetst van de benodigde primaire energie en van de CO₂-uitstoot zowel bij de bouw, het onderhoud als de afbraak van het betreffende object.

Om tot deze waarden te komen, wordt er hoofdzakelijk rekening gehouden met de inbreng van de materialen, dus met de PKA (Proces Keten Analyse). Hier worden de gebruikte materialen omgerekend naar hun energetisch- en emissie-equivalent, maar bepaalde stappen zoals bv. diensten, montage, engineering, ... kunnen niet door een hoeveelheid materiaal uitgedrukt worden.

Vermits een goede LCA-studie een gedetailleerde studie van alle gebruikte materialen vereist, waardoor het geheel zeer complexe wordt, wordt er een kleine, niet ideale omweg gemaakt via de IOA (Input-Output Analyse). De IOA werkt met economische grootheden om een afgewerkt product voor te stellen, waardoor de berekeningen minder complex worden.

Al deze beperkingen in acht genomen volgt uit [2] dat voor een windturbine in het binnenland het primaire energieverbruik 350 kJ_{prim}/kWh_{el} bedraagt, terwijl de CO₂-uitstoot 28 gCO₂/Wh_{el} is. In het rapport [2] wordt aangenomen dat de levensduur van een windturbine 20 jaar bedraagt (beperkt door de levensduur van de rotorbladen) en dat een windturbine aan de kust gemiddeld 3.000 h/jaar op vollast draait. Hieruit volgt dan het primair energiegebruik en de CO₂-emissie voor de productie, de 20-jarige werking en de afbraak van de windturbine van Middelwind:

$$350 \frac{\text{kJ}_{\text{prim}}}{\text{kWh}_{\text{el}}} \times 20 \text{ jaar} \times 660 \text{ kW}_{\text{piek}} \times 3000 \frac{\text{h}}{\text{jaar}} = 13,7 \text{ TJ}$$

en

$$28 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kWh}_{\text{el}}} \times 20 \text{ jaar} \times 660 \text{ kW}_{\text{piek}} \times 3000 \frac{\text{h}}{\text{jaar}} = 1108,8 \text{ tonCO}_2$$

Vergelijken we dit met de berekende besparing op het vlak van primair energieverbruik en CO₂-uitstoot dan krijgen we voor deze turbine een terugverdiëntijd van

$$\frac{13700 \text{ GJ}}{13796 \frac{\text{GJ}}{\text{jaar}}} = 0,99 \text{ jaar} \quad \text{voor de primaire energie}$$

en van

$$\frac{1108,8 \text{ ton}}{1079 \frac{\text{ton}}{\text{jaar}}} = 1,03 \text{ jaar} \quad \text{voor de CO}_2\text{-uitstoot}$$

7 MENING VAN DE EIGENAAR

7.1 Hernieuwbare energie in de wereld

Mondiaal wordt men er zich meer en meer van bewust dat er zuiniger moet omgesprongen worden met fossiele brandstoffen. Dit resulteert in 2 voordelen. Langs de ene kant komen we nog een tijd langer toe met de huidige voorraden en langs de andere kant wordt het broeikaseffect een stuk geremd. In 1992 werd het Klimaatverdrag door meer dan 150 landen ondertekend. Dit vertaalde zich in een actieplan dat moest uitgewerkt worden in Europa. Het witboek: “energie voor de toekomst” stelt dat er tegen 2005 zo’n vijf procent van de totale elektriciteit duurzaam moet opgewekt worden. De ambities van Europa gaan nog verdere en willen dat het aandeel van hernieuwbare energie tegen 2010 gestegen is tot 12%

7.2 Vlaanderen

De ambities van Europa moeten ook vertaald worden naar het lokale bestuursniveau. Zo heeft de Vlaamse regering een ambitieus plan uitgewerkt dat voorziet dat de elektriciteitsbevoorrading tegen het jaar 2010 voor 5 procent uit “groene” energiebronnen zou moeten opgewekt worden.

7.3 Middelwind

De firma Middelwind is gegroeid uit een aantal enthousiaste kustbewoners die windenergie wilden promoten. Na een lange zoektocht werd een ideale mix van mensen rond de tafel gebracht. Zowel mensen uit de energiewereld, projectontwikkelaars en kustbewoners maken deel uit van de CVBA Middelwind. Dit vergroot aanzienlijk het maatschappelijk draagvlak van het project en creëert een niet te onderschatten synergie tussen de verschillende groepen.

7.4 Project Middelwind

De raad van bestuur van Middelwind wilde ook een voorbeeldrol spelen naar de integratie van nieuwe technologie in de windbusiness. Het project kwam in aanmerking voor demonstratiesteun omdat er een vrij nieuwe technologie van Pitch-en Opti-slipcontrol gebruikt werd. Er werd geopteerd voor de grootste commercieel op de markt zijnde turbine. Halfweg de jaren '90 was dit de klasse 600 kW. Op het moment van installatie was de turbine de grootste in België en kreeg zeker de nodige aandacht. Sedert eind juli 1999 is de windturbine een vertrouwd beeld in het landschap aan de Ganzepoot te Nieuwpoort. De productie van de windturbine bedraagt op jaarbasis ongeveer 1.500.000 kWh. Dit is iets minder dan verwacht maar de invloed van de stad Nieuwpoort, die vóór de overheersende windrichting ligt, is zeker niet te onderschatten. Door de productie van deze windturbine wordt jaarlijks de uitstoot van zo’n 1.000 ton CO₂ vermeden.

Maandproductie in kWh	2000	2001	2002
1	155.440	157.167	172.868
2	178.093	77.490	274.552
3	155.109	108.079	127.309
4	120.111	150.113	139.299
5	105.778	130.075	117.804
6	66.175	82.242	62.884
7	93.652	71.404	73.686
8	41.215	78.525	43.047
9	85.129	147.576	72.719
10	162.166	125.462	126.021
11	176.423	114.702	123.930
12	182.165	130.012	123.798
Eindtotaal	1.521.456	1.372.847	1.457.917

7.5 Demonstratie

Eén van de elementen die Middelwind altijd hoog in het vaandel gevoerd heeft is de informatie naar de buitenwereld toe. Wij willen geen gesloten firma zijn die de opgedane kennis binnen de muren houdt. Er werd een website opgezet waar ieder uur de windsnelheid en de productie van de windturbine kan gevolgd worden. Er werd een folder opgemaakt om informatie over de windturbine te verstrekken. In oktober 2000 werd een volledige week het project opengesteld voor het publiek. Zo'n 2000 mensen kwamen langs en werden ingewijd in de wereld van de hernieuwbare energie. Op regelmatige tijdstippen komen bezoekers langs die de turbine van dichtbij willen komen bewonderen.

Er werden infoavonden over de windturbine gegeven.

7.6 Website

Dat wij een open bedrijf willen zijn laten wij blijken door de informatie die te vinden is op de website: www.surf.to/middelwind. Op deze site kunnen geïnteresseerden alle nuttige info vinden over windenergie. Een uniek stuk is dat de windsnelheid en de elektriciteitsproductie elk uur op het internet geplaatst wordt en zo door iedereen kan geraadpleegd worden. Op windrijke dagen noteren we meer dan 100 bezoekers.

Op de windturbine werd ook nog een webcam geplaatst zodat alle geïnteresseerden een blik kunnen werpen op het landschap rond de windturbine.

7.7 Navolging

Het staat buiten twijfel dat verschillende windenergieprojecten in Vlaanderen gepromoot geweest zijn door Middelwind. Diverse projectontwikkelaars konden hun klanten overtuigen door een bezoek te brengen aan de windturbine. Zo heeft de turbine zeker paden geëffend voor mensen die kritiek hadden op het visuele en geluidsaspect.

7.8 Subsidie

Het project voor de eerste windturbine van Middelwind kon rekenen op de steun van de Vlaamse regering. Dank zij deze subsidie was dit project vanaf het eerste werkjaar rendabel.

Paul Schouteet, WVEM, 25/03/2003

8 BESLUIT

Voor de betreffende windturbine met een nominaal vermogen van 660 kW, bedroeg de totale elektriciteitsproductie tijdens de monitoringperiode van 1 jaar 1.571.218 kWh wat volledig in het net gekoppeld wordt. De gemiddelde capaciteitsfactor bedraagt 27 %.

De besparing van primaire energie en de verminderde CO₂-emissie wordt bepaald op basis van de opgemeten elektrische energiestromen.

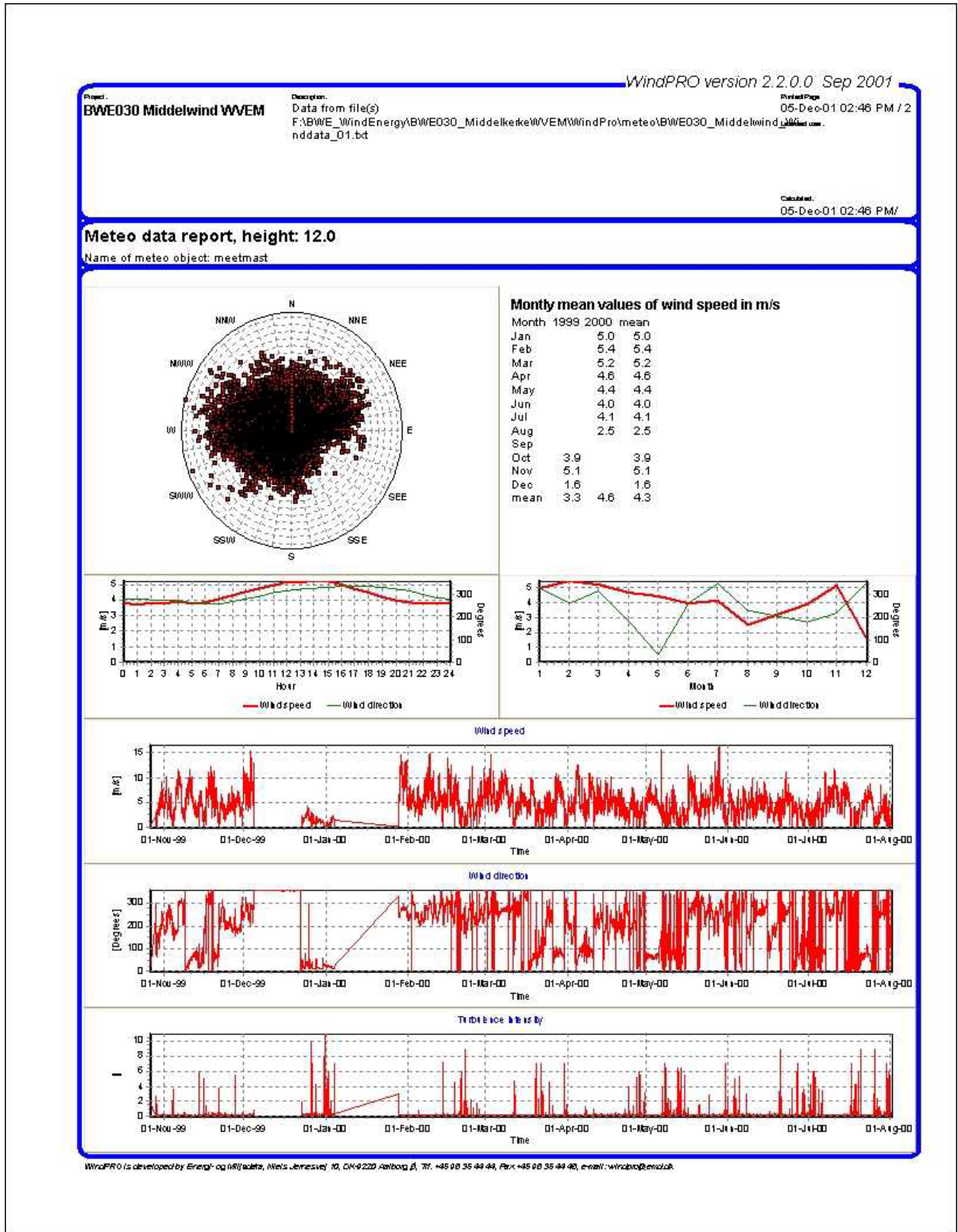
Uit de meetgegevens kan afgeleid worden, dat de besparing op het primair energieverbruik die te danken is aan de windturbine van Middelwind 13.796 GJ/jaar bedraagt. Hierbij gaat men ervan uit dat de windturbine een elektriciteitsproductie louter door thermische met fossiele brandstoffen gestookte centrales vervangt.

Ook voor de CO₂-uitstoot brengt de windturbine van Middelwind een besparing teweeg. Door de 1.571.218 kWh bedraagt deze besparing 1.079 ton/jaar. Ook hier wordt weer verondersteld dat de elektriciteitsproductie zonder windturbine gebeurt door een elektriciteitspark louter bestaande uit thermische met fossiele brandstoffen gestookte centrales

Uitgaande van financiële cijfers bedraagt de terugverdientijd van de windturbine inclusief het 10-jarig onderhoudscontract 5,1 jaar. Indien de subsidie van 247.893,52 BEF in rekening wordt gebracht, bedraagt de terugverdientijd nog 3,0 jaar.

De energetische terugverdientijd voor deze windturbine is 0,99 jaar wat betreft de nodige primaire energie en 1,03 jaar voor wat betreft de CO₂-uitstoot. Hierbij is rekening gehouden met de totale nodige primaire energie en CO₂-uitstoot zowel voor productie, onderhoud als afbraak van de windturbine.

BIJLAGE I: DETAIL MEETRESULTATEN GEGENEREERT UIT WINDPRO



Wind: BWE030 Middelwind WVEM
Description: Data from file(s)
 F:\BWE_WindEnergy\BWE030_Middelkeke\WVEM\WindPro\meteo\BWE030_Middelwind\nddata_01.bt
Print Page: 05-Dec-01 02:46 PM / 3

Meteo data report, height: 12.0

Name of meteo object: meetmast

Frequency

Wind speed	Sum	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
0.00 - 0.49	3 796	2 597	329	71	94	53	83	114	83	124	115	67	66
0.50 - 1.49	2 416	373	542	159	162	141	194	214	154	133	155	106	83
1.50 - 2.49	3 818	552	485	256	281	264	239	370	368	344	323	169	167
2.50 - 3.49	4 872	284	484	403	333	347	263	447	730	737	371	228	246
3.50 - 4.49	5 185	199	351	509	422	280	178	409	616	943	575	376	327
4.50 - 5.49	4 694	227	204	620	311	62	100	343	498	748	659	529	393
5.50 - 6.49	3 970	232	217	522	233	15	72	237	302	478	677	680	305
6.50 - 7.49	2 916	151	190	348	268	7	19	119	142	352	574	547	199
7.50 - 8.49	2 029	134	131	334	150	4	3	72	56	199	494	316	146
8.50 - 9.49	1 248	65	61	200	76	5	1	17	22	121	402	221	57
9.50 - 10.49	731	28	15	113	36	3	0	3	39	29	278	134	53
10.50 - 11.49	455	4	15	73	20	0	0	0	14	10	211	75	33
11.50 - 12.49	223	0	8	24	0	0	0	0	6	10	114	49	12
12.50 - 13.49	92	0	0	4	1	0	0	0	0	6	56	24	1
13.50 - 14.49	39	0	0	0	0	0	0	0	0	7	12	20	0
14.50 - 15.49	20	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	11	0
15.50 - 16.49	4	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	0	0
16.50 - 17.49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Sum	36 509	4 846	3 032	3 636	2 387	1 182	1 152	2 345	3 030	4 248	5 011	3 553	2 087

Turbulence

Wind speed	Sum	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW
0.00 - 0.49	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50 - 1.49	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.50 - 2.49	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.50 - 3.49	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.50 - 4.49	0.164	0.170	0.175	0.152	0.115	0.097	0.172	0.194	0.190	0.169	0.170	0.164	0.164
4.50 - 5.49	0.166	0.170	0.174	0.144	0.122	0.099	0.186	0.191	0.188	0.175	0.171	0.161	0.163
5.50 - 6.49	0.168	0.170	0.177	0.144	0.130	0.117	0.185	0.193	0.195	0.181	0.173	0.162	0.163
6.50 - 7.49	0.167	0.174	0.176	0.149	0.129	0.136	0.200	0.194	0.201	0.181	0.174	0.159	0.166
7.50 - 8.49	0.165	0.170	0.170	0.146	0.128	0.124	0.181	0.198	0.199	0.183	0.176	0.160	0.164
8.50 - 9.49	0.166	0.171	0.163	0.147	0.141	0.167	0.167	0.196	0.200	0.181	0.174	0.162	0.168
9.50 - 10.49	0.166	0.167	0.167	0.145	0.135	0.124		0.206	0.190	0.184	0.173	0.165	0.171
10.50 - 11.49	0.165	0.180	0.170	0.153	0.133			0.193	0.162	0.171	0.161	0.173	
11.50 - 12.49	0.170		0.157	0.159				0.179	0.173	0.176	0.162	0.182	
12.50 - 13.49	0.169			0.150	0.166				0.197	0.171	0.163	0.158	
13.50 - 14.49	0.167								0.194	0.175	0.153		
14.50 - 15.49	0.159								0.146	0.174	0.159		
15.50 - 16.49	0.148					0.118			0.148	0.179			
16.50 - 17.49	0.139											0.139	
Sum	0.166	0.171	0.174	0.147	0.126	0.103	0.182	0.193	0.192	0.177	0.173	0.161	0.164

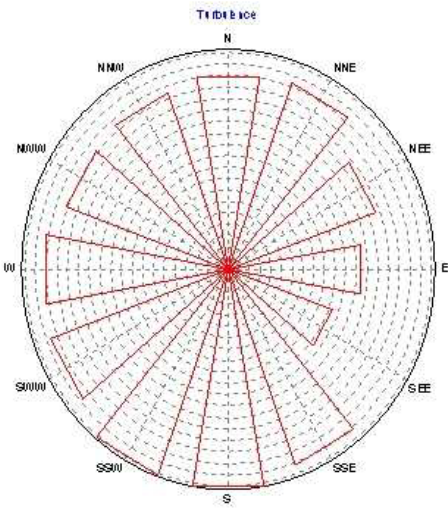
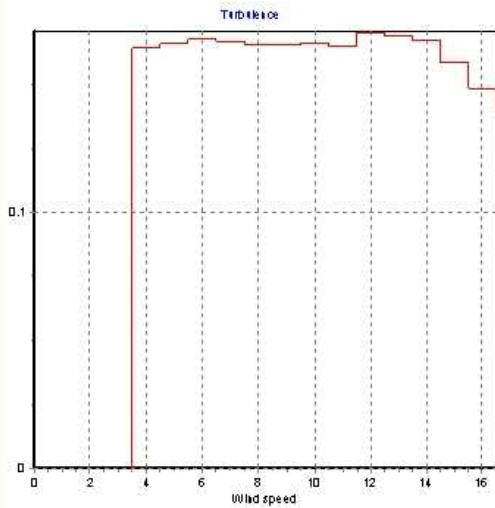
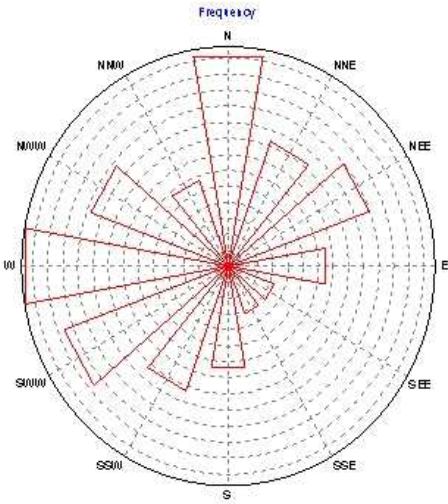
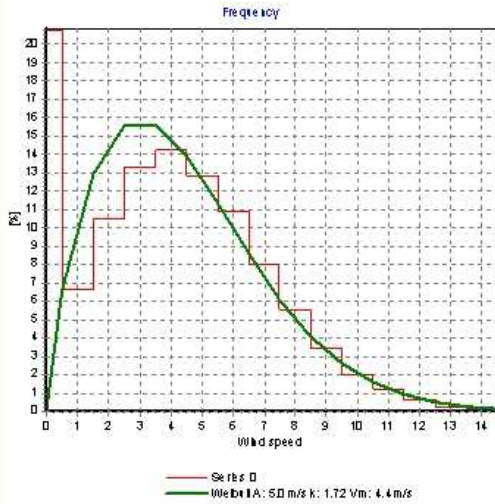
Project:
BWE030 Middelwind WDEM

Description:
Data from file(s)
F:\BWE_WindEnergy\BWE030_Middelkeke\WDEM\WindPro\meteo\BWE030_Middelwind
nddata_01.bt

Print Page
05-Dec-01 02:46 PM / 4

Meteo data report, height: 12.0

Name of meteo object: meetmast



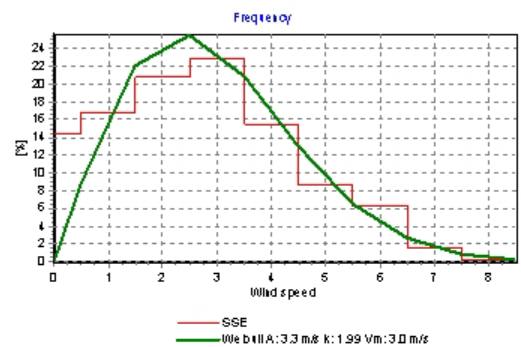
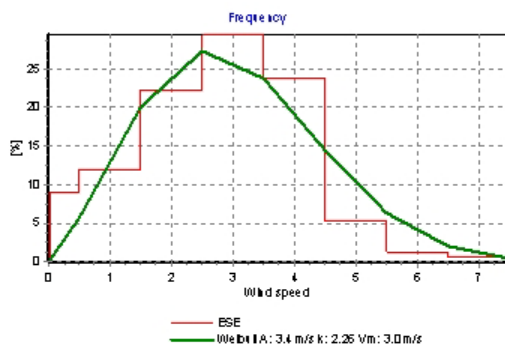
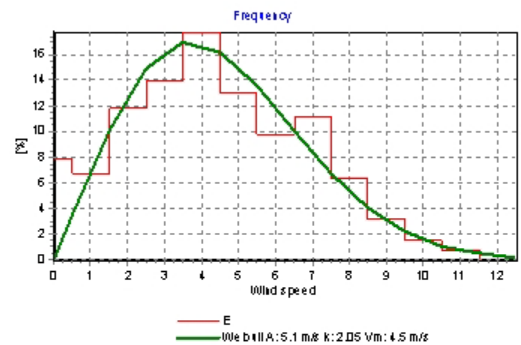
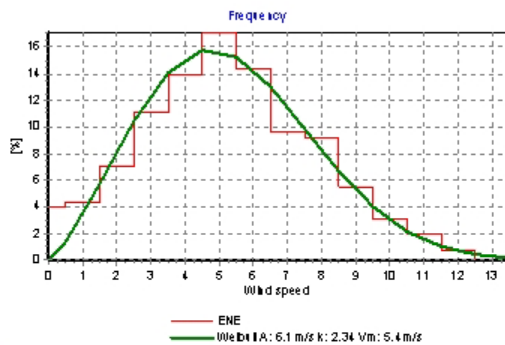
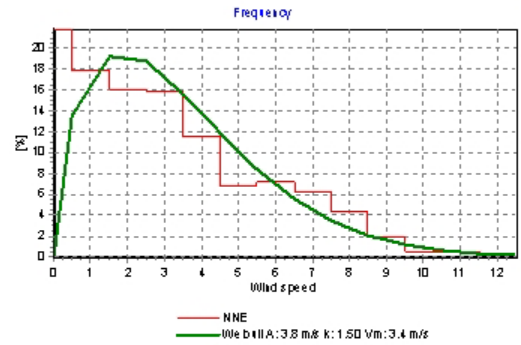
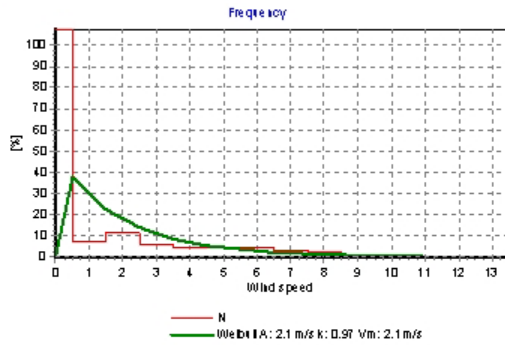
Project:
BWE030 Middelwind WVEM

Description:
Data from file(s)
F:\BWE_WindEnergy\BWE030_Middelkerke\WVEM\WindPro\meteo\BWE030_Middelwind
nddata_01.txt

Printed Page:
05-Dec-01 02:46 PM / 5
User:
3E nv
Verenigingsstraat 39
B-1000 Brussel
+32 2 217 58 88
ir. Yves Cabooter
Calculat.
05-Dec-01 02:46 PM/

Meteo data report, height: 12.0

Name of meteo object: meetmast



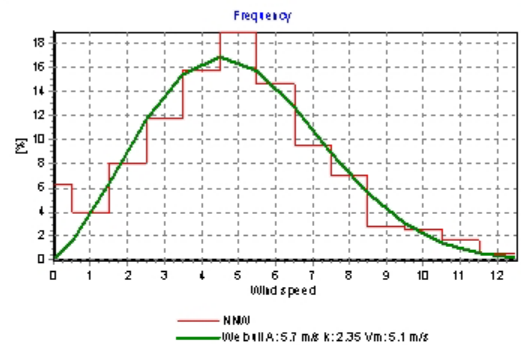
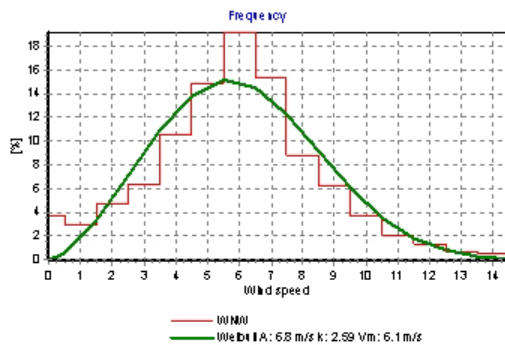
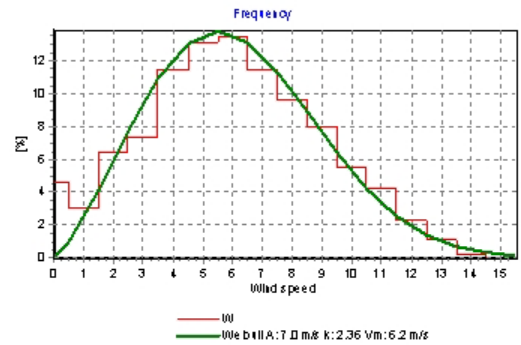
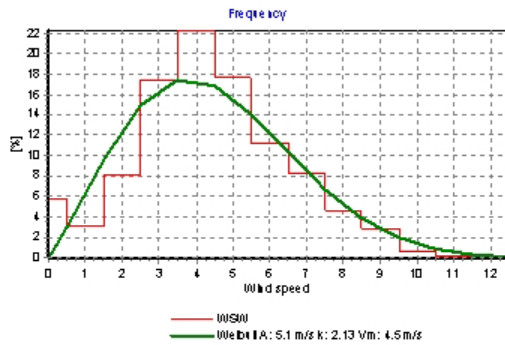
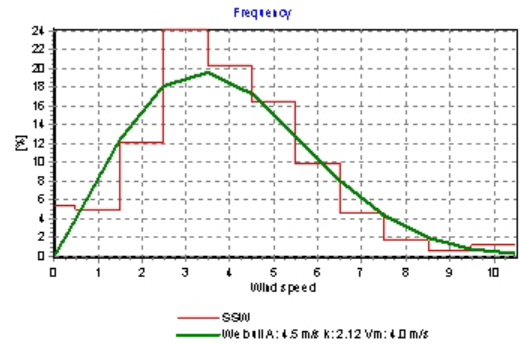
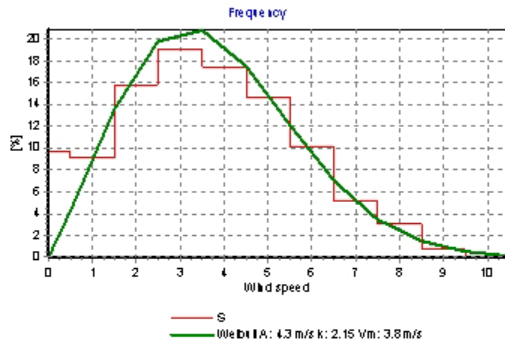
Project:
BWE030 Middelwind WVEM

Description:
Data from file(s)
F:\BWE_WindEnergy\BWE030_Middelkerke\WVEM\WindPro\meteo\BWE030_Middelwind
nddata_01.txt

Printed Page:
05-Dec-01 02:46 PM / 6
Client:
3E nv
Verenigingsstraat 39
B-1000 Brussel
+32 2 217 58 68
ir. Yves Cabooter
Calculator:
05-Dec-01 02:46 PM/

Meteo data report, height: 12.0

Name of meteo object: meetmast



Project:
BWE030 Middelwind WVEM

Description:
Data from file(s)
F:\BWE_WindEnergy\BWE030_MiddelkekeWVEM\WindPro\meteo\BWE030_Middelwind
nddata_01.bt

Printed Page:
05-Dec-01 02:46 PM / 7

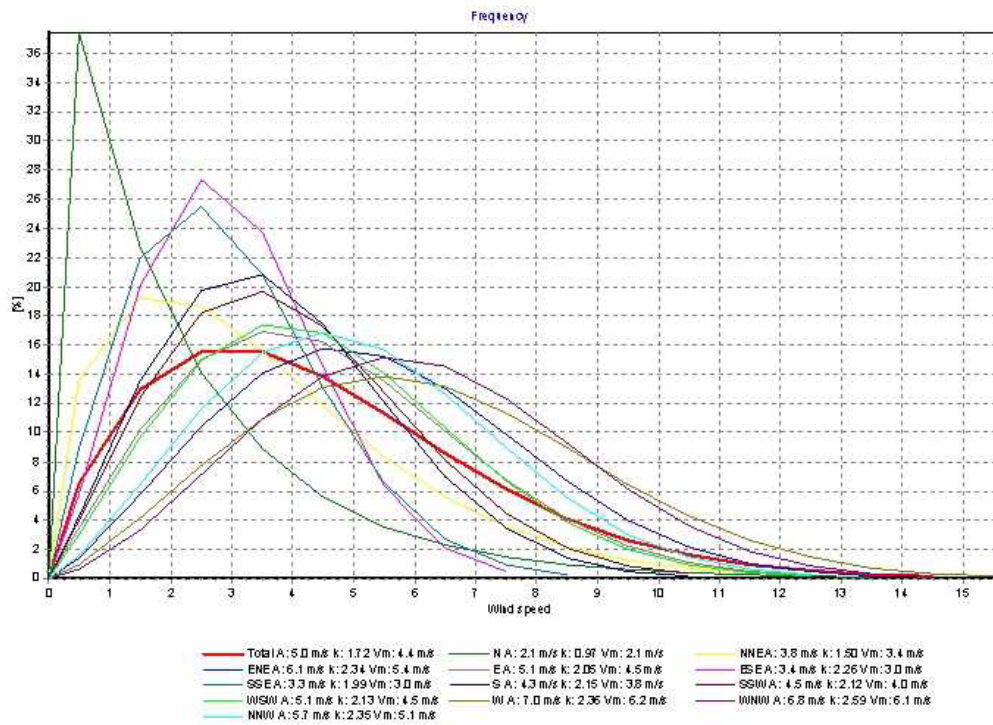
Meteo data report, height: 12.0

Name of meteo object: meetmast

Weibull Data

k-parameter correction: 0.0080/m

Sector	A-parameter [m/s]	Mean wind speed [m/s]	parameter	Frequency	Frequency	Wind shear
					[%]	
0-N	2.11	2.14	0.973	13.27	13.3	0.00
1-NNE	3.82	3.45	1.501	8.30	8.3	0.00
2-ENE	6.05	5.37	2.337	9.96	10.0	0.00
3-E	5.12	4.54	2.049	6.54	6.5	0.00
4-ESE	3.41	3.02	2.264	3.24	3.2	0.00
5-SSE	3.34	2.98	1.991	3.18	3.2	0.00
6-S	4.28	3.79	2.147	6.42	6.4	0.00
7-SSW	4.52	4.00	2.115	8.30	8.3	0.00
8-WSW	5.11	4.53	2.134	11.64	11.6	0.00
9-W	6.97	6.17	2.355	13.73	13.7	0.00
10-WNW	6.84	6.07	2.591	9.73	9.7	0.00
11-NNW	5.72	5.07	2.351	5.72	5.7	0.00
mean	4.96	4.42	1.718	100.00	100.0	0.00



Name: BWE030 Middelwind WVEM
Description: Data from file(s)
 F:\BWE_WindEnergy\BWE030_MiddelkerkeWVEM\WindPro\meteo\BWE030_Middelwind_Winddata_01.txt

Meteo data report, height: 12.0

Name of meteo object: meetmast

Data from: 26-10-99 13:30 AMPM Data to: 01-8-00 16:30 AMPM Observations: 36509 Observations per day: 72 Recovery rate: 181%

day	10-99	11-99	12-99	01-00	02-00	03-00	04-00	05-00	06-00	07-00	08-00
1	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(100)
2	(144)	(144)	(144)	(144)	(143)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
3	(144)	(135)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
4	(144)	(144)	(69)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
5	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
6	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
7	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
8	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
9	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
10	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
11	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(142)	(144)	(144)	(144)	(144)
12	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
13	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
14	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
15	(95)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
16	(144)	(140)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
17	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
18	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
19	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(139)	(144)	(144)
20	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
21	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
22	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
23	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
24	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
25	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
26	(2)	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
27	(0)	(144)	(144)	(0)	(144)	(144)	(144)	(144)	(137)	(144)	(144)
28	(60)	(144)	(144)	(67)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
29	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
30	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
31	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)	(144)
%	(126)	(198)	(199)	(46)	(200)	(200)	(200)	(200)	(199)	(200)	(202)

Name: BWE030 Middelwind WVEM	Description: Berekening reele winddata middelkenke	Printed Page: 14/03/2002 15:45 / 1
--	--	--

METEO - Main Result

Calculation: Berekening reele data

Name: meetmast
 Site Coordinates: Lambert East: 37,479 North: 204,519
 Air density: 1.225 kg/m3

Calculation is based on "meetmast", giving the measured distribution for the wind speed on the site.
 Using the selected power curve, the expected annual energy production is calculated.



Scale 1:25,000

Meteorological Data

Measure data 12 m above ground level

Wind speeds in m/s	Sector	Wind gradient exponent	Sum	0.00	0.50	1.50	2.50	3.50	4.50	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	
0 N	0.150	4846	2597	373	552	284	199	227	232	151	134	65	28	4								
1 NNE	0.150	3032	329	542	485	484	351	204	217	190	131	61	15	15	8							
2 ENE	0.150	3636	71	159	256	403	509	620	522	348	334	200	113	73	24	4						
3 E	0.150	2387	94	162	281	333	422	311	233	268	150	76	36	20	1							
4 ESE	0.150	1182	53	141	264	347	280	62	15	7	4	5	3									
5 SSE	0.150	1152	83	194	239	263	178	100	72	19	3	1										1
6 S	0.150	2345	114	214	370	447	409	343	237	119	72	17	3									
7 SSW	0.200	3030	83	154	368	730	616	498	302	142	56	22	39	14	6							
8 WSW	0.200	4248	124	133	344	737	943	748	478	352	199	121	29	10	10	6	7	5	2			
9 W	0.200	5011	115	155	323	371	575	659	677	574	484	402	278	211	114	56	12	4	1			
10 WNW	0.200	3553	67	106	169	228	376	529	680	547	316	221	134	75	49	24	20	11				1
11 NNW	0.200	2087	66	83	167	245	327	393	305	199	146	57	53	33	12	1						
Sum		36509	3796	2416	3818	4872	5185	4694	3970	2916	2029	1248	731	455	223	92	39	20	4	1		

Calculation Results

Key results for height 50.0 m above ground level

Wind energy: 2,311 kWh/m2; Mean wind speed: 5.6 m/s;

Key results for height 40.0 m above ground level

Wind energy: 2,043 kWh/m2; Mean wind speed: 5.4 m/s;

Calculated Annual Energy

WTG type	Valid	Manufact.	Type	Power	Diam.	Height	Creator	Name	Annual Energy Result	Annual Energy Result-10%	Mean wind speed			
				[kW]	[m]	[m]			[MWh]	[MWh]	[m/s]			
Yes	VESTAS	V47	660/200	47.0	55.0	USER	Manufacturer	24/8-2000	1.225	25.00	0.00	1,358.4	1,223	5.7

BIJLAGE II: RENDEMENT EN CO₂-EMISSIEFACTOR ELEKTRICITEITSPARK

- Voor het rendement van het park thermische centrales gestookt door fossiele brandstoffen in 2000 wordt 41 % berekend (gebaseerd op Energiebalans Vlaanderen 2000 [3]: de bruto productie van de thermische centrales bedraagt 72,9 PJ en de brandstofinput bedraagt 177,7 PJ).
- De CO₂-emissiefactor voor hetzelfde park bedraagt volgens [1] 0,687 kg/kWh.

Emissies van klassieke elektriciteitscentrales in België

Bij de productie van elektriciteit in klassieke thermische centrales treden een aantal emissies op. Hieronder worden enkele richtcijfers gegeven in verband met deze emissies.

Om de emissie per kWh elektriciteit te berekenen is de totale emissie gedeeld door de totale hoeveelheid (netto) geproduceerde elektriciteit in centrales die met fossiele brandstoffen gestookt worden.

CO₂-emissies

België		1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000
CO ₂ -emissies (2)	kton	22.607	22.988	22.555	21.951	23.676	20.841	21.222
Netto-elektriciteitsproductie door centrales gestookt met fossiele brandstoffen (1)	GWh	23.119	27.322	27.094	26.219	31.456	30.125	30.883
	kg/kWh	0,978	0,841	0,832	0,837	0,753	0,692	0,687

SO₂-emissies

België		1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000
SO ₂ -emissies (2)	ton	94.38 1	77.44 7	68.78 1	60.91 1	61.23 5	33.41 7	34.50 5
Netto-elektriciteitsproductie door centrales gestookt met fossiele brandstoffen (1)	GWh	23.11 9	27.32 2	27.09 4	26.21 9	31.45 6	30.12 5	30.88 3
	g/kWh	4,08	2,83	2,54	2,32	1,95	1,11	1,12

CO_x-emissies

België		1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000
NO _x -emissies (2)	ton	59.18 3	53.41 2	50.62 3	44.92 5	46.83 4	32.53 7	39.16 9
Netto-elektriciteitsproductie door centrales gestookt met fossiele brandstoffen (1)	GWh	23.11 9	27.32 2	27.09 4	26.21 9	31.45 6	30.12 5	30.88 3
	g/kWh	2,56	1,95	1,87	1,71	1,49	1,08	1,27

emissie van stofdeeltjes

België		1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Stofemissies (2)	ton	10.131	5.835	5.884	4.754	4.666	3.201	3.886
Netto-elektriciteitsproductie door centrales gestookt met fossiele brandstoffen (1)	GWh	23.119	27.322	27.094	26.219	31.456	30.125	30.883
	mg/kWh	438	214	217	181	148	106	126

productie van vliegias

België		1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Emissies van vliegias (2)	kton	931	769	720	643	641	471	542
Netto-elektriciteitsproductie door centrales gestookt met fossiele brandstoffen (1)	GWh	23.11 9	27.32 2	27.09 4	26.21 9	31.45 6	30.12 5	30.88 3
	g/kWh	40	28	27	25	20	16	18

(1) Openbare producenten BFE (enkel fossiele brandstoffen), geen autonome producenten, geen zelfproducenten: milieurapporten van Electrabel/CPTE

(2) Milieurapporten Electrabel/SPE

© Vito, 2002. Voor de informatie op deze site gelden een [vrijwaringsclausule](#) en een verklaring betreffende het [auteursrecht](#).

Vito, Boeretang 200, B-2400 Mol, België, Tel. +32 14 33 55 11, Fax +32 14 33 55

Deze website werd ontworpen door Edge.be nv

[Privacy beleid](#)

REFERENTIES

1. <http://www.emis.vito.be/statistieken/index.asp?pageChoice=Statistiek&id=934>: emissies van klassieke elektriciteitscentrales in België (1990-2000).
2. Brouwers E., D'haeseleer W., "Indirecte emissies te wijten aan de levenscyclus van elektrische centrales", KUL, Leuven.
3. "Energiebalans Vlaanderen 2000: onafhankelijke methode", Vito rapport 2002/IMS/R/075