

1^e verslag veldtesten micro molens

Veldtest uitgevoerd door ing Hans Struiksma, DO-Kennemerland

Periode: 15-5-2018 t/m 14-9-2018

Locatie : Maak Haarlem



Dit verslag en delen daarvan worden beschouwd als open kennis . Dat betekent dat U het verslag en delen mag gebruiken in alle vrijheid, ook commercieel. Het verslag en delen daarvan blijven echter altijd open kennis. Maakt U gebruik van dit verslag of delen dan moet u de bron vermelden, zoals vermeld is in de voetnoot.

Inleiding

De stichting Urban Wind heeft eind 2017 zes micro molens geschonken aan Maak Haarlem. Voorwaarde was dat de opgewekte energie niet terug geleverd zou worden aan het net. Wat moet er dan gebeuren met deze energie?

Duurzame Onderneming Kennemerland (bedrijf van Hans Struiksmā) heeft het voorstel gedaan om te onderzoeken of het mogelijk is om de energie om te zetten in warmte en daarmee 1 van de werkplaatsen bij Maak Haarlem te verwarmen.

Begin 2018 is een start gemaakt door het testen van de generator van 1 van de molens.

De test is beschreven in "Labmeting Urban wind generator.pdf", te vinden op de website van DO-Kennemerland onder de link

<http://duurzame-onderneming-kennemerland.nl/wordpress/wp-content/uploads/2018/08/Labmeting-Urban-wind-generator.pdf>.

In mei 2018 zijn de veldtesten begonnen. 1 molen is bekabeld en in bedrijf genomen.

Doel van de veldtest

Onder werkelijke omstandigheden de opbrengst van 1 molen meten en door experimenten een goede en eenvoudige besturing ontwerpen.

Specificaties van de molen

| | |
|--------------------------------|---|
| Producent | Yueqing DOD Electric Co., Ltd. |
| Model | DNE-M500 |
| Type | HAWT (horizontale as) |
| Vermogen (W) | 500W |
| Max. vermogen (W) | 550W |
| Nominale spanning (V) | 24V |
| Start windsnelheid (m/s) | 2.5 m/s |
| Nominale windsnelheid (m/s) | 10 m/s |
| Windsnelheid, bereik (m/s) | 2.5 – 25 m/s |
| Overlevings windsnelheid (m/s) | 50 m/s |
| Netto gewicht | 14.5 kg |
| Rotor diameter | 1.8 m |
| Aantal bladen | 5 |
| Materiaal bladen | Nylon fiber |
| Generator | 3 fasen AC permanent magnet synchronous generator |

Opzet van test

A-De molen

1 van de 6 molens is bekabeld tot in de werkplaats en aangesloten op het regelpaneel.

B-De windmeter

Op het dak van de werkplaats (naast de testmolen) is een windmeter geplaatst. Dit is van het type cup anemometer. De windmeter is via een kabel aangesloten op het regelpaneel.

C-Het regelpaneel

Gebouwd door DO-Kennemerland. Het regelpaneel bevat de relaischakeling en de meet- en regelcomputer.

D-De belasting

De belasting bestaat uit een bak met ongeveer 10 liter water. In deze bak zijn dompelaars geplaatst. Deze dompelaars zijn van het type die gebruikt worden in vrachtwagens om water op te warmen voor bijvoorbeeld thee of soep. Voor enkele testen is een instelbare potentiometer gebruikt.

E-Laptop

Er is voor gekozen om de besturing van de test in een afzonderlijke computer op te nemen. Deze besturing is geschreven in de Visual Studio ontwikkel omgeving, in de taal VB.NET.

(reden was dat op die manier de user interface makkelijker te maken was)

De software regelt niet alleen de besturing, maar zorgt ook dat periodiek meetgegevens worden opgeslagen in een Excel werkboek.

F-Opslag meetgegevens in Excel

Elke 5 seconde worden de gemiddelde waarden van metingen in Excel weggeschreven. Dat gebeurt volautomatisch vanaf het moment dat de meting gestart is.

Technische uitvoering

Informatie over de technische uitvoering, zoals stroomkringschema's, specificaties van meetinstrumenten, software etc. is te vinden in een apart verslag dat nog volgt.

Mocht U belangstelling hebben voor een soortgelijk meetsysteem of hulp nodig hebben bij het opzetten van een meetsysteem neem dan contact op met;

Hans Struiksma , hstruiksma@do-kennemerland.nl , 06-21220930

Testen met direct gebruik van de opgewekte wisselspanning

De spanning die opgewekt wordt door de generator van de windmolen is een drie fasen wisselspanning. Als het doel o.a. is om een eenvoudige besturing te ontwerpen dan is het direct gebruik van deze spanning een interessante optie.

In dit stadium van de test is de wisselspanning direct aangesloten op een drie fase belasting en zijn er proeven gedaan met variatie in de belasting.

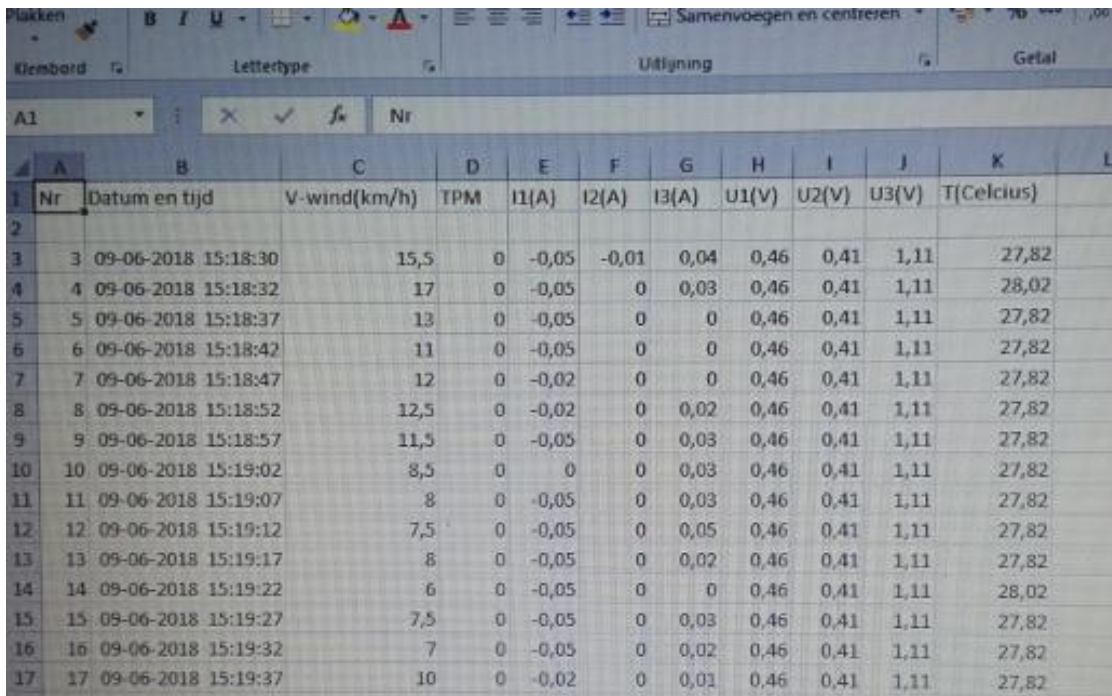
Een groot deel van de testen is ook gebruikt om meet apparatuur te kalibreren en te optimaliseren.

In de maand juni zijn 3 metingen uitgevoerd. Dit hadden meer metingen kunnen zijn als het wind aanbod beter en gevarieerder was geweest. In deze maand en ook daarna was de windsnelheid vaak matig tot zwak. Voor een goede test is het wenselijk om ook dagen met krachtige en sterke wind te hebben.

In de **eerste test run** op 16-6-2018 is bij een 3 fase belasting (in ster) van 3 X 7 Ohm een maximaal vermogen van 134 Watt gehaald, bij een windsnelheid van 3 m/s.

(Opmerking: het vermogen dat hier genoemd wordt is het externe vermogen = vermogen in de externe belasting. Dit in tegenstelling tot het interne vermogen dat wordt verbruikt in de interne weerstand van de generator)

De **tweede run** op 17-6-2018 was een tegenvaller. Het maximum vermogen kwam niet hoger dan 17 Watt. De windsnelheid was hoog genoeg bij vlagen, maar de molen komt onvoldoende op gang. De belasting was 3 X 4,5 Ohm in ster.



| Nr | Datum en tijd | V-wind(km/h) | TPM | I1(A) | I2(A) | I3(A) | U1(V) | U2(V) | U3(V) | T(Celcius) |
|----|---------------------|--------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| 3 | 09-06-2018 15:18:30 | 15,5 | 0 | -0,05 | -0,01 | 0,04 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 27,82 |
| 4 | 09-06-2018 15:18:32 | 17 | 0 | -0,05 | 0 | 0,03 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 28,02 |
| 5 | 09-06-2018 15:18:37 | 13 | 0 | -0,05 | 0 | 0 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 27,82 |
| 6 | 09-06-2018 15:18:42 | 11 | 0 | -0,05 | 0 | 0 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 27,82 |
| 7 | 09-06-2018 15:18:47 | 12 | 0 | -0,02 | 0 | 0 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 27,82 |
| 8 | 09-06-2018 15:18:52 | 12,5 | 0 | -0,02 | 0 | 0,02 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 27,82 |
| 9 | 09-06-2018 15:18:57 | 11,5 | 0 | -0,05 | 0 | 0,03 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 27,82 |
| 10 | 09-06-2018 15:19:02 | 8,5 | 0 | 0 | 0 | 0,03 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 27,82 |
| 11 | 09-06-2018 15:19:07 | 8 | 0 | -0,05 | 0 | 0,03 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 27,82 |
| 12 | 09-06-2018 15:19:12 | 7,5 | 0 | -0,05 | 0 | 0,05 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 27,82 |
| 13 | 09-06-2018 15:19:17 | 8 | 0 | -0,05 | 0 | 0,02 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 27,82 |
| 14 | 09-06-2018 15:19:22 | 6 | 0 | -0,05 | 0 | 0 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 28,02 |
| 15 | 09-06-2018 15:19:27 | 7,5 | 0 | -0,05 | 0 | 0,03 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 27,82 |
| 16 | 09-06-2018 15:19:32 | 7 | 0 | -0,05 | 0 | 0,02 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 27,82 |
| 17 | 09-06-2018 15:19:37 | 10 | 0 | -0,02 | 0 | 0,01 | 0,46 | 0,41 | 1,11 | 27,82 |

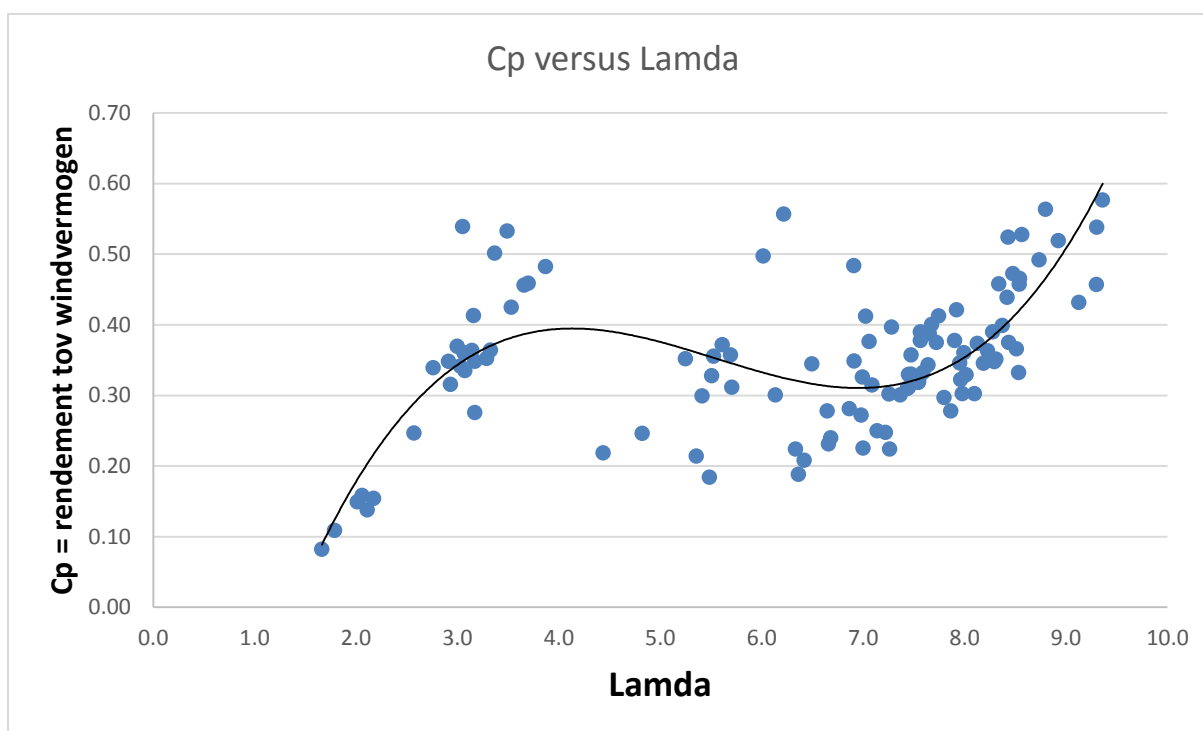
Opslag van data in Excel tijdens testen met 3 fase wisselspanning direct gebruikt om belasting te voeden.

De **derde run** met een belasting van 3X 3.5 Ohm, op 22-6-2018 gaf als maximum vermogen 427 Watt bij 7m/s. Op zich een goed resultaat en een indicatie dat het nominale vermogen haalbaar is. Over de hele run (van 10:43 uur tot 14:12 uur) was het gemiddelde externe vermogen 11 Watt bij een gemiddelde snelheid van 3,6 m/s. Schatting is dat gemiddeld 4 Watt intern vermogen is opgewekt. Het gemiddelde wind vermogen in die periode = 90 Watt.

Het molen rendement (in de literatuur aangeduid met C_p) is geschat $15/90 = 0,17$. Theoretisch is 0,59 het maximum. Ten opzichte van dit theoretisch haalbare is het rendement (C_p^*) gelijk aan $15/(90 \cdot 0,59) = 0,28$.

Bij deze 3^e run valt ook weer op dat het toerental ook bij windsnelheden tussen de 2,5 en 5,5 erg laag blijven. De generator wekt dan bijna geen spanning op en het vermogen stelt weinig voor.

Voor deze run is ook berekend wat de λ (Lamda) is bij verschillende metingen. Lamda is de verhouding tussen de wicketipsnelheid (m/s) en de windsnelheid (m/s). Elke molen heeft een optimale waarde van lamda, waarbij het maximum rendement wordt gehaald.



Met behulp van een redelijke hoeveelheid geselecteerde metingen is de bovenstaande grafiek gemaakt. De selectie is gebaseerd op stabiele toeren per minuut bij een bepaalde windsnelheid. Aangezien de meting werkt met gemiddelden per 5 seconden en de windsnelheid fluctueert, is er gekeken naar meetreeksen waarbij de windsnelheid redelijk constant blijft. De uitkomst blijft echter betrekkelijk, maar het gaat meer om de vorm van de trendlijn. Later in dit verslag komen we hierop terug.

Nu gaat het eerst over het feit dat de molen slecht aanloopt. En de mogelijke invloed van de belasting.

Testen met gelijkrichter in de schakeling

Het slecht aanlopen van de molen is zorgwekkend. Juist een molen met 5 bladen zou een hoog aanloopkoppel moeten hebben. Het enige dat nu overblijft is om de molen zonder belasting te laten aanlopen en de belasting te verhogen naarmate het toerental hoger wordt. In het model gaat het afgenomen vermogen evenredig met de derde macht van de wind snelheid omhoog, tot 11 a 12 m/s. daarna blijft de het gevraagde vermogen gelijk.

Bij een 3 fase systeem zou dat betekenen dat je 3 belastingen moet schakelen en daarnaast is het meetsysteem met 3 fasen ook bijna 3 keer groter. Ook is het schakelen van wisselstroom moeilijker dan gelijkstroom.

Besloten wordt om de drie fasen wisselspanning om te zetten naar gelijkspanning en dan meteen het meetsysteem te vereenvoudigen.

Op 7-7-2018 is het systeem omgebouwd en wordt de eerste test uitgevoerd.

DC test 1 “Current Chopper” (7-7-2018)

De belasting wordt nu geregeld door een “current chopper”. De belasting wordt door de regeling snel bij en afgeschakeld. Als de windsnelheid hoger wordt, wordt de inschakelduur ook hoger.

Deze aanpak is geen succes. Het in – en uitschakelen van de belasting geeft veel verstoring in het meetsysteem. De meetwaarden worden extreem hoog.

Deze methode wordt verlaten. Dit wil trouwens niet zeggen dat het in de toekomst niet gebruikt zou kunnen worden.

Er wordt gekozen om de belasting per run gelijk te houden maar pas bij een bepaalde windsnelheid in te schakelen. De molen loopt dus onbelast aan.

DC test 2 “Onbelast aanlopen en later inschakelen” (10-7-2018)

In eerste instantie wordt bijgeschakeld als de windsnelheid een bepaalde waarde heeft bereikt. Dat blijkt niet de beste manier te zijn. Ook nu ontstaan er te grote pieken in de stroom, als gevolg van het feit dat spanning bij inschakelen soms te hoog is.

Om dit te ondervangen wordt het inschakelmoment verlegd naar een bepaald spanningsniveau. 15 V blijkt een goede grens te zijn. Het afschakelen gebeurt als de stroom onder de 0,8 Ampère komt. Deze combinatie geeft redelijke resultaten.

Tijdens het testen overlijdt het schakel element (vermogen Mosfet).

Intermezzo (10-7-2018 t/m 28-7-2018)

De berekeningen die gemaakt werden gebaseerd op de metingen riepen vragen op. Het rendement dat gehaald werd was te hoog en klopte niet met de theorie.

De windsnelheidsmeter die gebruikt wordt is nooit geijkt en bij instellen is uitgegaan van de opgave van de producent (Argent Data Systems). Om een ijking uit te voeren is een anemometer datalogger van PCE instruments aangeschaft. Deze windsnelheidsmeter is 1 van de weinigen die een groot aantal metingen (max = 60.000 metingen) kan loggen en kan transporteren naar Excel.

Hoewel de PCE datalogger totaal niet voldoet aan de specificaties als het gaat om aantal metingen, heeft deze wel kunnen dienen als ijk instrument. De meter van Argent Data Systems bleek 30 % te hoog aan te geven. Dit is softwarematig gecorrigeerd.

In overleg met PCE systems is het apparaat retour gestuurd en ze hebben toegegeven dat de specificaties absoluut niet kloppen.

De TPM meting blijkt bij de aanpassing van de software een foute omrekening te hebben. Dat is ook gecorrigeerd

Na 28-7-2018 zowel windsnelheid als TPM weer goed.

11 testen met DC in de periode van 4-8-2018 t/m 20-9-2018

De 11 testen worden niet allemaal apart behandeld. Het soort testen dat gedaan is samengevat.

- In alle gevallen molen onbelast laten aanlopen tot een bepaalde spanning en dan belasting inschakelen.
- De belasting is gevarieerd van 3,5 Ohm tot 12 Ohm. Trapsgewijs door andere combinaties van dompelaars en daarnaast d.m.v. instelbare weerstand.
- De laatste testen zijn uitgevoerd met een belasting die stapsgewijs automatisch verandert als het toerental hoger wordt.

Enkele opvallende punten uit de 11 testen worden behandeld op de volgende pagina

Samenvatting van een test uitgevoerd op 4-8-2018

meting 4-8-2018

$R_b = 3,5 \text{ Ohm}$

| Vw | TPM | I | U | Pw | Pe intern | Pe extern | Pe tot | Cp* | Lamda |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----------|--------|------|-------|
| 3.6 | 119 | 1.1 | 4.3 | 75 | 4 | 5 | 10 | 0.22 | 3.1 |
| 4.5 | 136 | 1.3 | 5.2 | 147 | 6 | 8 | 14 | 0.16 | 2.8 |
| 5.5 | 165 | 1.7 | 6.7 | 266 | 10 | 13 | 24 | 0.15 | 2.8 |
| 6.5 | 175 | 1.9 | 7.2 | 422 | 13 | 16 | 29 | 0.12 | 2.6 |
| 7.4 | 180 | 1.9 | 7.5 | 638 | 15 | 19 | 33 | 0.09 | 2.3 |
| 8.3 | 203 | 2.2 | 8.7 | 898 | 19 | 24 | 43 | 0.08 | 2.3 |

Uitleg bij kolommen

Vw = windsnelheid in m/s. Hier is bijvoorbeeld het gemiddelde genomen van 3.0 t/m 3.9 Alle andere waarden zijn berekend over dezelfde range

TPM = Toeren per minuut

I = de belasting stroom in Ampère

U = De spanning over de belasting in Volt

Pw = het vermogen dat in de wind aanwezig is

Pe intern = Het vermogen dat verstoekt wordt in de interne weerstand van de generator.

Pe extern = Het vermogen dat verstoekt wordt in de belasting van 3,5 Ohm

Pe tot = De som van Pe intern en Pe extern

Cp* = Pe_{tot} / P_w , maar gecompenseerd voor het feit dat maar 59% van P_w omgezet kan worden naar vermogen in de molen. Dus 0,22 betekent dat slechts ongeveer 1/5 van wat theoretisch haalbaar is omgezet wordt naar elektrische energie. Het % nuttige elektrische energie is nog lager. In geval van 0,22 is dat dan $(5/9) \times 0,22 = 0,12$.

Lamda = De verhouding tussen de tipsnelheid (uiteinde van een blad) in m/s en de windsnelheid in m/s. ook wel tipratio genoemd.

Het volgende valt op.

- Het rendement (C_p^*) is erg laag en neemt zelfs af als de windsnelheid toeneemt.
- De belasting weerstand ligt niet ver af van de interne weerstand qua grootte. Dit zou gunstig moeten zijn voor het vermogen dat afgenomen kan worden.
- De omwentelingsnelheid van de molen blijft in alle Vwind ranges erg laag. Met gevolg dat de spanning laag blijft en er geen vermogen ontwikkeld kan worden.
- De lamda ligt bijna in alle gevallen in de buurt van de 2,4. Dat is voor dit type molen de optimale tipratio, de verhouding tussen tipsnelheid en windsnelheid waarbij het hoogste rendement wordt gehaald.
- Wat niet meteen duidelijk is uit het overzicht. In de berekening zijn alleen metingen meegenomen waarbij energie geleverd is. Van alle metingen is bij zeker de helft de belasting afgekoppeld geweest. Dat betekent dat de spanning onder de tien volt was gedaald en de stroom lager dan de ingestelde waarde.

Samenvatting uitgebreide test 8-8-2018

| Rb | Vw gem | Vw var | TPM gem | I | U | Pw | Extern !! | | | C* gem | Tip ratio | T Nm | extern | | | |
|------|-----------|-----------|------------|-----|------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|---------|-------------|----------------|-------------|-------------|
| | | | | | | | Pe tot | Pe ext | Pe int | | | | T/I Nm/A | Energie som | tijd sec | Watt gem |
| 3.5 | 4.8 | 2.2 | 151.8 | 1.0 | 7.3 | 296.1 | 23.0 | 14 | 10 | 0.08 | 3.5 | 1.45 | 0.61 | 55264 | 4104 | 13 |
| 7 | 4.9 | 2.2 | 272.7 | 1.6 | 13.5 | 325.8 | 42.7 | 32 | 12 | 0.17 | 5.7 | 1.43 | 0.64 | 286732 | 8846 | 32 |
| 11.5 | 4.9 | 1.7 | 299.1 | 1.3 | 16.2 | 259.3 | 34.4 | 27 | 7 | 0.18 | 6.0 | 1.09 | 0.66 | 120604 | 4446 | 27 |
| 5 | 3.0 | 1.3 | 136.6 | 0.5 | 5.4 | 70.0 | 5.9 | 4 | 2 | 0.10 | 4.3 | 0.83 | 0.58 | 9369 | 2205 | 4 |

De testen van 4-4-2018 waren teleurstellend. Om te kijken of variatie in de belasting verbetering geeft zijn testen uitgevoerd met andere belastingweerstand.

Uitleg

Vw var = een maat voor de spreiding van de meetwaarde rondom het gemiddelde

T Nm = Het koppel berekend uit het opgewekte elektrische vermogen en het toerental

T/I Nm/A = Het koppel gedeeld door de stroom. Dit is voor een generator een constante tot bepaalde stroomwaarden.

Energie som = De energie in Joule geleverd tijdens de meetperiode

Tijd sec = De tijd die een meetperiode heeft geduurd

Watt gem = Het gemiddelde elektrische vermogen in de meetperiode.

!!!! De metingen voor Rb = 3,5 Rb = 7 en Rb = 11.5 mogen met elkaar vergeleken worden aangezien de gemiddelde snelheid en spreiding redelijk overeenkomen.

Het volgende valt op:

- Met toenemende belastingweerstand neemt de Cp* toe.
- Het gemiddelde toerental neemt ook toe als de belastingweerstand toeneemt en daarmee de gemiddelde spanning.
- De hogere Cp* wordt gehaald bij een Tipratio van 5,7 en 6. Deze ratio is meer dan twee keer zo groot als de optimale Tipratio.
- De verhouding tussen Pe intern en Pe extern worden bij grotere belastingweerstand beter. Dat is logisch aangezien de weerstand verhouding groter wordt.
- De Cp* blijft laag ook bij andere belasting. 18% van wat theoretisch haalbaar is een zeer slechte score en dat roept vragen op. Hoe ontstaat dit slechte resultaat?

Visuele waarnemingen en ervaringen

Tijdens de uitvoering van metingen zijn de belangrijkste meetwaarden op het scherm van een laptop te volgen. Elke 5 sec komt een nieuwe reeks waarden binnen. Op gegeven moment begon op te vallen dat molen af en toe vreemd gedrag vertoond.

De windsnelheidsmeter gaf bijvoorbeeld achter elkaar metingen van 3 , 4 of 5 m/s en gelijker tijd valt de molen stil. Op gang komen is dan weer moeilijk. Periodes van onbelast weer aanlopen, komen veel voor en kunnen lang duren.

De invloed hiervan op het rendement is hoog. Veel hoger dan een mismatch in belasting.

De windsnelheidsmeter is onderdeel van een klein weerstation waarin ook een windrichtingmeter is opgenomen. De windrichting is niet in de logging opgenomen. Om te kijken of de richting wel strak blijft is 1 middag de waarde van de meter gevolgd. Bij constante windrichting over het midden van het Maak terrein bleek de windrichting op het dak regelmatig 180 graden te draaien.

Op het dak blijkt de wind absoluut niet constant qua richting, maar ook qua snelheid.

Tijdens de meetperiode heb ik 1 keer in de ochtend een meting gestart en ben vervolgens naar Heerhugowaard gegaan. In de loop van de dag trok de wind aan. Op de plaats waar ik was in Heerhugowaard liep de windkracht op naar 6 a 7 (Omgeving : vlak land met weinig bebouwing) De stormbeveiliging was tot dat moment een handmatige kortsluiting van de generator. Ik moest dus aanwezig zijn om de molen in “storm” beveiliging te schakelen.

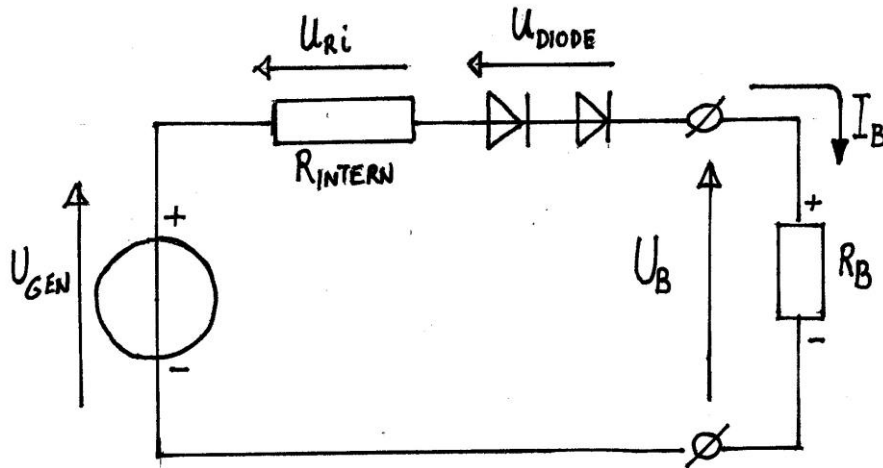
Terugreis door storm en regen. Bij aankomst in Haarlem bleek niets aan de hand. Op het Maak terrein was de gemiddelde snelheid van de wind 4.5 m/s.



Zicht vanaf het dak in Zuidwestelijke richting. De hoge boom veroorzaakt windstiltes en turbulentie.

Model schakeling met gelijkrichter

VERVANGINGSSHEMA SCHAKELING MET GELYKRICHTER



$$U_{GEN} = 0,07 * TPM \text{ (TOEREN PER MINUUT)}$$

$$R_{INTERN} = 2 \Omega$$

$$U_{DIODE} = 1,4 \text{ VOLT}$$

Het vervangingschema is hierboven weergegeven. De twee diodes in serie zijn opgenomen om het spanningsverlies over de diodes in het schema aan te geven. Dit spanningsverlies ontstaat alleen als er stroom afgenomen wordt.

Het ontwerp van de molen en de theorie.

Op bladzijden 5 en 8 is al gesproken over tipratio of λ (lamda). De grafiek die aangeeft wat het rendement is bij verschillende tipratio's is voor deze molen niet gevonden (niet in de informatie van de leverancier maar ook niet in de info van Urban Wind).

Voor een goede molenregeling is deze grafiek erg belangrijk. De regeling moet zorgen dat de molen met optimale λ draait. Als de λ opt niet gegeven is hoe kunnen we dan een optimale regeling bouwen?

Gelukkig bestaat er een vuistregel voor het schatten van λ opt = $4\pi/n$. Waarbij n het aantal bladen is. (Optimal Rotor Tip Speed Ratio.pdf @M. Ragheb 3/11/2014)

In het geval van de testmolen is n gelijk aan 5 en λ opt is dan ongeveer 2.5

Het hoogste rendement wordt gehaald als de tipsnelheid van een wijk 2.5 keer groter is dan de windsnelheid.

| | | | | | | | |
|-----------------|-----|------|---|------|---|------|---|
| λ opt = | 2.5 | Rb = | 1 | Rb = | 2 | Rb = | 3 |
|-----------------|-----|------|---|------|---|------|---|

| m/s | m/s | | Volt | Amp | Watt | Amp | Watt | Amp | Watt |
|-------|------|-----|------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| Vwind | Vtip | TPM | Ugen | I _b | Pe extern | I _b | Pe extern | I _b | Pe extern |
| 2 | 5 | 55 | 3.8 | 0.8 | 1 | 0.6 | 1 | 0.5 | 1 |
| 3 | 7.5 | 82 | 5.8 | 1.5 | 2 | 1.1 | 2 | 0.9 | 2 |
| 4 | 10 | 110 | 7.7 | 2.1 | 4 | 1.6 | 5 | 1.3 | 5 |
| 5 | 12.5 | 137 | 9.6 | 2.7 | 7 | 2.1 | 8 | 1.6 | 8 |
| 6 | 15 | 165 | 11.5 | 3.4 | 11 | 2.5 | 13 | 2.0 | 12 |
| 7 | 17.5 | 192 | 13.5 | 4.0 | 16 | 3.0 | 18 | 2.4 | 17 |
| 8 | 20 | 220 | 15.4 | 4.7 | 22 | 3.5 | 24 | 2.8 | 23 |
| 9 | 22.5 | 247 | 17.3 | 5.3 | 28 | 4.0 | 32 | 3.2 | 30 |
| 10 | 25 | 275 | 19.2 | 5.9 | 35 | 4.5 | 40 | 3.6 | 38 |
| 11 | 27.5 | 302 | 21.1 | 6.6 | 43 | 4.9 | 49 | 3.9 | 47 |
| 12 | 30 | 329 | 23.1 | 7.2 | 52 | 5.4 | 59 | 4.3 | 56 |
| 13 | 32.5 | 357 | 25.0 | 7.9 | 62 | 5.9 | 70 | 4.7 | 67 |

Met deze nieuwe kennis over de optimale tipratio is berekend wat dan het opgewekte vermogen zou kunnen zijn. Het resultaat staat in de tabel hierboven.

Wat blijkt.

Als we de optimale regeling baseren op een λ opt = 2.5 dan wordt bij een Vwind van 11 m/s een vermogen van 49 Watt elektrisch ontwikkeld in de belasting van 2 Ohm en dat is meteen het maximaal haalbare.

Dit vermogen is net iets minder dan 10% van de opgave van de fabrikant (500 Watt nominaal bij 10 m/s)

Hoe kan dat?

Conclusies

1-Is het door de fabrikant nominaal vermogen haalbaar?

Ja.

Deze molen kan een vermogen van 500 Watt opwekken.

2-Levert deze molen genoeg op?

Nee.

Deze windmolens zullen in op de gekozen locatie bij Maak Haarlem een opbrengst laten zien van maximaal 1/5 van de theoretisch haalbare energie.

3-Zou dat op een andere locatie in de stad anders en beter zijn?

Misschien.

Als je windmolens wil toepassen in een stedelijke omgeving moet voor plaatsing een goede meting van het wind aanbod worden gedaan. Deze meting omvat niet alleen de windsterkte maar ook de stabiliteit van de windsterkte en windrichting. Dit zijn wel uitgebreide metingen over langere periode.

4-Waarom is het rendement zo laag?

Bij deze vraag raken we de essentie van de zaak. Waarom presteert dit type molen niet.

3 oorzaken zijn aan te geven

Oorzaak 1 : Traagheid of slecht aanlopen

De molen heeft zeker 30 seconden nodig om een omwentelingsnelheid te bereiken die hoort bij een bepaalde windsnelheid. Fluctuaties in de wind komen in het algemeen voor binnen een periode van 10 a 20 seconden. Het gevolg is dat de molen te vaak niet op snelheid komt en bij afnemende wind snel afremt.

Oorzaak 2 : Ontwerp

Er is in het ontwerp een mismatch tussen molen rotor en generator ingebouwd. De molen kan bij de optimale tipratio geen vermogen leveren aangezien de generator dan niet voldoende spanning levert.

Voldoende spanning ontstaat pas bij omwentelingsnelheden van 700 a 800 TPM. Dat is voor type molen veel te hoog.

Oorzaak 3 : De locatie.

Vanuit drie windrichtingen staan er in de buurt van molens hoge obstakels. In de windrichting die overblijft (Zuidelijk), botst de wind tegen de voorkant van de werkplaats en gaat vervolgens wervelend het dak over. De locatie is gewoon niet geschikt voor het opwekken van windenergie.

Aanbevelingen en vervolg.

Het windmolen project wordt met dit verslag afgesloten. Er zijn testen gedaan met 1 molen en de conclusie is dat op deze locatie, met deze molens niet voldoende energie opgewekt kan worden. Niet voldoende om in het stookseizoen 1 werkplaats te verwarmen en ook niet voldoende om een investering in tijd, bekabeling en regelkasten te rechtvaardigen.

Toch zou het niet goed zijn om de deur hierbij dicht te gooien, en de boodschap achter te laten dat windenergie in stedelijke omgeving niet gaat werken. Het enige dat aangetoond is dat het op deze locatie en met deze molens niet werkt.

Het idee dat je zon en wind combineert bij de opwekking van energie blijft een interessante optie. Als er overdag zon is kunnen de panelen hun werk doen. Als de zon ondergaat en er nog steeds wind is kunnen de molens het overnemen. Geen speld tussen te krijgen, maar hoe gaan we dat realiseren.

Verbeteringen en aanbevelingen

Generator

De huidige generator is verre van ideaal. Beter is het om een generator te ontwerpen met een hogere spanning bij lager toerental. Prototyping kan gedaan worden met een standaard kortsluitanker motor, waarbij de rotor vervangen wordt en voorzien van permanente magneten.

De opgewekte spanning blijft dan 3 fasen wissel.

De rotor van de molen

Het aantal wieken is te hoog gekozen t.o.v. de generator. De generator kan aangepast worden, maar ook de wieken. Het aantal kan op eenvoudige wijze van 5 naar 3 gebracht worden. Hiermee stijgt de λ opt van 2,5 naar 4,2. Of dat voldoende is moet blijken uit het ontwerp van de generator.

Er kan zelfs overwogen worden om het aantal wieken naar twee te brengen. Moeilijker om in balans te krijgen, maar λ opt gaat dan wel naar 6,28. Deze waarde komt al aardig in de buurt van de waarde die past bij de huidige generator.



Montage plaat voor de wieken. Nu geschikt voor 5 bladen, maar kan aangepast naar 3 of 2

De wieken

De wieken zijn gemaakt van een sterk materiaal, maar zijn wel erg zwaar. Dit werkt tegen als de molen op gang moete komen. Er moeten proeven gedaan worden met wieken die gemaakt zijn van lichter materiaal. Gelijker tijd moet ook gekeken worden naar het aandeel van de montage plaat. Dit is een dikke metalen plaat en de vraag is of dit wel nodig is.

Als de wieken opnieuw gemaakt worden (voor prototyping zou 3D printen goed geschikt zijn) kan ook de lengte meteen opgerekt worden. Het opgenomen vermogen neemt namelijk toe met het kwadraat van de diameter.

Locatie

De locatie die nu gebruikt wordt is niet makkelijk aan te pakken. De hoge boom aan de Zuidwest kant gaat binnenkort weg, maar andere obstakels in de omgeving blijven. Los even van hoge obstakels heb je in een bebouwde omgeving altijd last van het feit dat ook minder hoge objecten de wind fors afremmen. Dat bleek ook op de dag dat er storm was in de landelijke omgeving rondom Heerhugowaard en vervolgens geen vuiltje aan de lucht op het terrein van Maak.

Als het gaat om locatie dan moeten belangstellenden een eerlijke voorlichting krijgen. Daarnaast is het raadzaam om meetsysteem op te zetten. In mijn optiek moet een dergelijk systeem in staat zijn om gedurende langere tijd (max 12 maanden) de windsnelheid en windrichting, in een relatief groot gebied in kaart te brengen. Uit deze meting kan dan een onderbouwd advies aan mensen gegeven worden die overwegen om in dat gebied een windmolen te plaatsen.

Type molen

Aangezien dit type molen beschikbaar was zijn de testen hierop uitgevoerd. Overweging is om te kijken welke andere type molens in aanmerking komen. Dit moet starten met een literatuur onderzoek.

De koolborstel overbrenging

Vrij kort geleden is de generator van de labtest gedemonteerd om een interne inspectie uit te voeren. De stroom van de generator wordt via drie koolborstels overgebracht op de uitgaande kabel. Dit zorgt ervoor dat de gondel vrij kan draaien terwijl de uitgaande kabel niet meedraait.

Normaal geeft een koolborstel een even brede afdruk op het geleidend materiaal. In het geval van deze generator is dat voor de helft van de ronding niet het geval. Dat is so wie so een productiefout en het kan leiden tot hogere overgangsweerstand bij bepaalde windrichtingen.

Dit is op te lossen door de contacthulzen na te draaien op een draaibank.

Literatuur en verwijzingen

De literatuur die hieronder wordt aangegeven is op internet vrij beschikbaar. Intikken van een paar zoektermen uit de tekst hieronder zal het artikel opleveren. Vooral het verslag van het "Warwick Wind Trials Project" wordt van harte aanbevolen.

Website: <http://www.greenspec.co.uk/building-design/small-wind-turbines/>

KD 341

Development of the permanent magnet (PM) generators of the VIRYA windmills
ing. A. Kragten May 2007 Reviewed December 2017

KD 503

Development of an alternative permanent magnet generator for the VIRYA-3 windmill using an Indian 4-pole, 3-phase, 2.2 kW asynchronous motor frame size 100 and 8 neodymium magnets size 50 * 25 * 10 mm. ing. A. Kragten September 2012
reviewed May 2016

KD 5221

Ideas about a 4-pole, 3-phase axial flux permanent magnet generator for the VIRYA-1.5 windmill using square neodymium magnets size 30 X 30 * 15 mm and no iron in the stator ing. A. Kragten June 2013

Optimal rotor tip speed ratio

M. Ragheb 3/11/2014

URBAN WIND TURBINES

GUIDELINES FOR SMALL WIND TURBINES IN THE BUILT ENVIRONMENT February 2007

1^{ste} Evaluatie meetresultaten testveld kleine windturbines Zeeland

Een evaluatie van de meetresultaten aan elf kleine windturbines te Schoondijke, Zeeland, testjaar april 2008 tot april 2009 Uitgevoerd door Ingreenious

Resultaten testveld kleine windturbines Schoondijke

Resultaten van vier jaar testen op het testveld voor kleine windturbines te Schoondijke

Rapport 1001214.R03

11 december 2012 Uitgevoerd door Ingreenious

Tip-Speed-Ratio-Provided-by-Kid-Wind-PDF

5-2017 Urban Wind Generation: Comparing Horizontal and Vertical Axis Wind Turbines at Clark University in Worcester, Massachusetts.

Andrew R. Winslow Clark University, awinslow@clarku.edu

Warwick,P20Wind,P20Trials,P20Report.pdf.pagespeed.ce.QY_gmbCUCa.pdf

Wind Turbines in the Urban Environment.pdf

cursus Duurzame Energie in ontwikkelingslanden. Bundel behorende bij de cursus. Mei 2003

Uitgegeven door: studievereniging MONSOON en de Werkgroep OntwikkelingsTechnieken, Universiteit Twente.

Zonenergiehuis2018-02-16_DavidvanWeering.pdf
