RAPORT ŞTIINŢIFIC ŞI TEHNIC

PENTRU ETAPA 2 – 2013 A PROIECTULUI PCCA NR. 29 / 2012 'Innovative wind energy conversion micro-system with direct-driven electric generator for residential uses' ('Microsistem inovativ de conversie a energiei eoliene pentru aplicații rezidențiale utilizând generator electric cu acționare directă – INNOWECS)

Coordonator CO – Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca (UTC-N) Partener P1 – SC BMEnergy SRL

> Prof.dr.ing. Mircea M. RĂDULESCU Director de proiect, CO – UTC-N

> > Dr.ing. Ştefan BREBAN Resp. proiect P1 – BMEnergy

- Decembrie 2013 -

RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC PENTRU ETAPA 2 – 2013 A PROIECTULUI PCCA NR. 29 / 2012 : 'Modelarea, simularea și optimizarea diferitelor componente ale microcentralei eoliene'

În conformitate cu obiectivele și activitățile de cercetare corespunzătoare etapei 2– 2013 a proiectului PCCA 'INNOWECS', echipa de cercetare a coordonatorului CO – UTC-N și a partenerului P1 – BMEnergy la proiect a realizat modelarea, simularea și optimizarea componentelor esențiale ale unei microcentrale eoliene, reprezentate de : microturbina de vânt și structura de pale a acesteia, micro-aerogeneratorul electric cu magneți permanenți, cuplat direct la turbină și convertoarele electronice de putere, de mașină, respectiv de rețea.

Prin *microcentrala eoliană de uz rezidențial*, se ințelege o centrala eoliana de mica putere, in general sub 10 kW, destinata a alimenta cu energie electrica o locuinta sau un grup de locuinte, racordate sau nu la rețeaua electroenergetică publică. Întregul echipament al microcentralei eoliene poate fi montat pe piloni, in proximitatea locuintei sau chiar pe acoperişul acesteia.

Pentru a realiza o solutie tehnică inovativă de *microturbină de vânt*, de 3kW cu posibilitatea functionarii la putere de 5kW pe durate scurte de timp de ordinul minutelor, pentru o viteza a vantului de 2 - 10 m/s, la un pret de cost rezonabil (< 1000 EUR/ kW) au fost efectuate următoarele analize pe componente esnțiale prin modelare și simulare.

Modelarea, simularea și optimizarea turbinei eoliene cu ax orizontal și trei pale

Simularea numerica s-a efectuat in programul Ansys – Fluent. In faza de preprocesare, domeniul de calcul a fost creat astfel: un domeniu sferic staționar a cărui raza este de aproximativ 16 ori raza turbinei; un domeniu rotațional care sa aibă o forma cilindrica cu o înălțime de 1.6 ori raza turbinei si o raza a bazei de 1.6 ori raza turbinei, adică $R_{sfera} = 25m, R_{cilindru} = 2.5m, H_{cilindru} = 2.5m$. Domeniul fix este obținut prin operația booleana de îndepărtare a cilindrului din sferă. Cele două domenii sunt conectate topologic prin suprafața cilindrului care are o dublă grilă pe

suprafața sa (interfață neconformă), una ce vine din domeniul fix si o alta ce vine dinspre domeniul in rotație. Dimensiunea elementelor la interfață este aproximativ aceeași pe ambele părți ale cilindrului pentru a evita erorile nedorite de interpolare la trecerea dintr-un domeniu de calcul in altul.

Grila de calcul a fost creata in programul NUMECA-Hexpress care permite crearea de grile cu elemente hexaedrale rafinate prin înjumătățirea laturilor elementelor (algoritm de tip oct-tree). Pe lângă elementele hexaedrale mai sunt si elemente prismatice in stratul limită. Pentru toate cele trei cazuri de calcul a fost folosită aceeași rețea de calcul (grila) care are in componență in medie 8.5 milioane de elemente, repartizate astfel: 1 milion in grila asociată domeniului fix si 7.5 milioane pentru grila din domeniul in rotație. Cele 7.5 milioane de elemente sunt repartizate astfel: 2.5 milioane in zona departe de corp (celule hexaedrale) cu preponderenta in zona de îndesire din siaj si de la vârful palei, si 5 milioane de celule in stratul prismatic necesar modelarii formarii stratului limita pe suprafața palelor si a nacelei. Este important de mentionat ca înăltimea primei celule din acest strat si factorul de creștere sunt impuse de alegerea modelului de turbulență. Întrucât am ales un model de turbulenta de tip SST k- ω , mărimea $y^+ = 1$ corespunzătoare primei celule a impus o înălțime a primului strat de celule egală cu aproximativ 5 μm si un factor de creștere ce variază intre 1.1 si 1.15. Mărimea $y^+ = 1$ este necesară pentru a putea simula corect fenomenele asociate rezistentei la înaintare a profilului cat si formarea siajului si desprinderilor de pe pala. Siajul si vârtejurile formate la capătul palei (datorita diferenței de presiuni extrados/intrados) este transportat in aval si influențează negativ performanța rotorului, creând un efect de blocaj si scăzând debitul de aer ce intra in turbina.

Solverul selectat este unul bazat pe presiune, iar cuplajul viteza-presiune se realizează prin algoritmul "cuplat" fapt care crește de aproximativ 10-15 ori viteza de convergență față de algoritmii convenționali "SIMPLE" si "PISO", in schimb creste de aproximativ 2 ori necesarul de memorie. Cazurile actuale au necesitat aproximativ 35GB RAM, iar timpul de simulare pentru convergența (scaderea reziduurilor cu 5 ordine de mărime si stabilizarea coeficienților aerodinamici) pe un procesor six-core la 3.2Ghz a necesitat mai mult de 72 de ore.

Ipotezele de lucru făcute in setarea cazului de calcul se pot rezuma astfel:

curgerea este in întregime turbulenta pe pala si nacela;

3

- curentul la infinit amonte este uniform si are o viteza de 10m/s;
- la infinit amonte fluctuațiile turbulenței au o intensitate de 1% fata de viteza medie;
- la infinit amonte presiunea este constantă si egală cu 101325 Pa, idem temperatura este 288.15K.
- curgerea este una staționară, deși avem rotație, siajul format are un caracter periodic, iar coeficienții aerodinamici nu mai variază după o anumita perioadă.



Fig. 1. Detaliu domeniu si grila de calcul.



Fig. 2. Detaliu domeniu si CAD

Se prezintă, în continuare, rezultatele numerice pe două din geometriile studiate. Prima are la bază 3 pale cu profilele aerodinamice NREL S813 si S814 cu o raza de 1m si un diametru de referință al generatorului electric de 0.5m.

Simulările au fost rulate cu un raport al vitezelor la vârful palei (TSR) de 5, pentru o viteza de referință de 10 m/s, iar coeficientul de putere este Cp = 0.074. Coeficientul foarte mic de putere ne-a făcut sa investigăm posibilitatea folosirii plăcilor de capăt ca element de limitare a efectului de "anvergura finita", circulația care apare la capătul palei de pe intrados pe extrados duce la scăderea portantei si apariția rezistentei induse; factori ce scad momentul aerodinamic.



-1.05e+03 -1.14e+03



În cazul celei de a doua geometrii studiate, raza palei a fost mărită la 1.5m si pentru completitudinea analizei au fost studiate si pofilele aerodinamice specifice aviației de tipul naca 23015. Diametrul generatorului electric este tot de 0.5m.



Fig. 5. Geometrie CAD.





Se observa o îmbunătățire a performanțelor aerodinamice cu o creștere a coeficientului de putere la Cp = 0.4107 pentru V=10m/s si TSR=7.

Având in vedere performanțele aerodinamice ale geometrilor studiate, pe lângă varianta de bază a palei simple s-a reținut și configurația palei cu winglet pentru analiză acustică și testări suplimentare in tunel aerodinamic.

Pala simplă



Fig. 7. Vorticitate in plan median si presiuni pe suprafață. V = 10m/s, TSR = 7.

TSR	V	Ср	Fx[N]
7	4	0.3868	63
7	7	0.42504	203
7	10	0.4317	424
6	10	0.3862	357
8	10	0.4072	469

Pala cu winglet







Fig. 9. Detaliu winglet.

TSR	V	Ср
7	4	0.3867
7	10	0.4441

Modelarea, simularea și optimizarea subansamblurilor mecanice ale microcentralei eoliene

Premisa initiala a proiectului a constat in realizarea unei turbine eoliene de uz domestic, cu ax orizontal, de tip Savonius (Fig.10). Desi solutia constructiva prezenta avantajul unei structuri mai compacte si o buna integrare in arhitectonica urbana, studiile si analizele numerice efectuate au pus in evidenta un comportament aerodinamic nefavorabil pentru acest tip de turbina, obtinandu-se coeficienti de putere (C_p) relativ mici (0,30 ÷ 0,34) si deci un randament mecanic de conversie a energiei vantului mai redus.



Fig. 10. Turbina cu ax orizontal de tip Savonius: a) Structura de principiu b) Montata pe acoperis.



Pe baza studiilor numerice efectuate, s-a adoptat modelul unei turbine cu ax orizontal, cu 3 pale de tip "towered – upwind". Acest tip modern de turbina eoliana permite atingerea unor parametri aerodinamici ridicati, coeficientul de putere rezultat in urma simularilor ajungand la valori in jurul a 0,43 la viteze ale vantului de 10 m/s.



In conformitate cu scopul propus prin tema proiectului, turbina eoliana a fost proiectata pentru a fi montata pe acoperisul locuintelor (Fig.11) sau acolo unde este posibil, pe sol, in curti sau gradini. In consecinta, gabaritul turbinei, greutatea acesteia, cat si zgomotul produs in functionare de aceasta sunt

Fig. 11. Modelul turbinei dezvoltat in cadrul proiectului (montaj pe acoperis).

parametri foarte importanți ce trebuie luați în studiu in activitatea de conceptie.

Parametrii functionali care au fost considerați la proiectarea turbinei au fost puterea maxima a generatorului electric P_{max} = 4.5 kW si turatia de 400 rot/min. In aceasta etapa, *au fost determinate solutiile constructive ale subansamblelor turbinei si predimensionarea si verificarea principalelor elemente supuse la solicitari in timpul functionarii.* Aceste studii sunt foarte importante in alegerea uneia sau alteia din solutiile propuse, de rezultatul acestora depinzand validarea configuratiei ce urmeaza sa fie dezvoltata in proiect. Din acest punct de vedere au fost analizati arborele generatorului electric, care sustine si subansamblul motor - rotorul turbinei - cat si pilonul pe care este montata turbina. In etapa urmatoare, vor fi supuse analizei si celelalte elemente ce alcatuiesc subansamblele componete. In urma acestor analize se va efectua si optimizarea elementelor strucuturale din punct de vedere constructiv, al materialelor si tehnologiilor alese si al costurilor de productie.

O data stabilita intentia de proiectare, criteriul fundamental care a stat la baza identificarii unei forme constructive de plecare a fost criteriul de comportament aerodinamic. In urma analizelor si simularilor efectuate de catre echipa de specialisti din cadrul proiectului, a rezultat o forma optimizata a corpului turbinei si a fost ales profilul palei rotorului (Fig.12,a). Una din constrangerile initiale in determinarea profilului corpului turbinei a fost valoarea diametrul generatorului electric cu flux axial, a carui concept inovativ a fost realizat in cadrul proiectului. In aceasta varianta diametrul generatorului electric este de 400 mm (Fig.12, b –Zona III).



a) Vedere isometrica; b) Tronsoane structurale identificate pe profilul corpului:
I – Tronsonul rotorului turbinei; II – Tronsonul de carena aerodinamica anterioara;

III - Tronsonul generatorului electric; IV - Tronsonul de carena aerodinamica posterioara.

Tronsonul II de pe geometria turbinei (Fig.12, b) este o zona de tranzitie intre tronsonul corespunzator rotorului, cu un diametru de 300mm si cel al generatorului, al carui diametru este de 400mm. El nu are rol functional propriu-zis, prezenta lui fiind determinata de ratiuni de aerodinamica a ansamblului. S-a incercat, in consecinta, o solutie constructiva care sa elimine acest tronson, eliminand astfel complicatiile constructive si mai ales costurile implicate de acesta. In Fig.13, se observa o asemenea varianta constructiva care a tinut cont de acest considerent.



Fig. 13. Varianta constructiva.

Aceasta varianta, pe langa faptul ca reduce costul de fabricatie, prin renuntarea la tronsonul carenajului anterior (Fig. 3b –Tronsonul II) prezinta si avantajul reducerii gabaritului si al greutatii turbinei. Aceasta modificare presupunea insa cresterea diametrului conului rotorului (hub) de la valoarea

initiala de 300mm la 400mm (diametrului generatorului electric). Fiind supusa simularii, aceasta configuratie s-a dovedit a fi nefavorabila datorita desprinderii fileurilor de aer de pe suprafata generatorului electric si respectiv apritiei curgerii turbionare a aerului in zona din spatele planului rotorului, cu efecte negative asupra transferului de energie a vantului catre rotorul motor. Pe baza acestor rezultate, s-a decis pastrarea zonei de carenaj, in conformitate cu geometria propusa initial si deci, dezvoltarea ansamblului structural al turbinei pe pe baza acestei geometrii.

In Fig.14, sunt date dimensiunile de gabarit ale turbinei si cateva cote functionale referitoare la montarea acesteia pe acoperisul casei. Greutatea estimata a turbinei fara filonul de sustinere este de cca.160 kg.

Proiectul turbinei respecta structura de principiu, clasica a unei *turbine cu ax orizontal, cu montare pe pilon*. Luandu-se in considerare destinatia ei, s-a incercat insa simplimficarea constructiei pentru obtinerea unui pret de cost cat mai redus, in conditiile obtinerii unor parametrii functionali si de randament cat mai ridicati. In proiectarea turbinei s-a tinut cont si de criterii de ordin estetic. S-a optat pentru antrenarea directa a generatorului, prin montarea rotorului pe arborele generatorului.

12



Fig. 14. Dimensiuni de gabarit ale turbinei.

Pentru etapa actuala, elementele componente au fost dimensionate constructiv, urmand ca in etapa urmatoare acestea sa fie verificate si optimizate dimensional sau ca forma geometrica. Totusi, chiar si pentru faza actuala, s-au facut calcule de verificare si analize numerice pentru cateva organe importante din structura turbinei, supuse la solicitari importante in functionare si anume arborele generatorului si pilonul de sustinere al turbinei.

In Fig.15, este prezentata, in vedere explozivă, structura turbinei, pe module functionale.

Elementele componente ale turbinei eoliene sunt: 1. ansamblu rotor; 2. coroana conului rotorului; 3. carenaj anterior; 4. generator electric cu flux axial; 5. sistem de prindere; 6. coada (carenj posterioar); 7. pilon de sustinere; 8. conul rotorului (bot);

In Fig. 16, este prezentata o sectiune axiala prin ansamblul turbinei, in care se pot vedea elementele acesteia, modul de asamblare cat si rolul lor functional.

13



Fig. 15. Vedere exploziva a turbinei eoliene.



Fig.16. Sectiune axiala prin turbina.

Un subansamblu important in alcatuirea turbinei este *generatorul electric*. Acesta este unul cu flux axial, cu magneti permanenti si actionare directa. Avand in vedere ponderea mare pe care o are, in ceea ce priveste greutatea, in ansamblul turbinei, obiectivul reducerii greutatilor pieselor componente a fost avut in vedere in alegerea materialelor, a tehnologiilor de fabricatie cat si in dimensionarea acestora.

In Fig. 17, este prezentat generatorul electric intr-o vedere izometrica, una explozivă si o sectiune axială. Astfel, carcasa generatorului este alcatuita din doua semicarcase 1 si 10, asamblate impreuna prin intermediul suruburilor si piulitelor 2. Din motive economice, pentru realizarea semicarcaselor s-a ales un aliaj de aluminiu, in constructie sudata. Partile componente ce urmeaza a fi sudate vor fi obtinute din semifabricate (teava, tabla) prin debitare si prelucrare mecanica, unde este cazul.





Fig. 17. Generatorul electric cu magneți permanenți și flux axial. a) Vedere izometrica; b) Sectiune axială; c) Vedere explozivă.

Pentru realizarea arborelui 14, organ intens solicitat atat static cat si dinamic, in functionarea turbinei, s-a optat pentru un otel laminat la cald. Datorita introducerii carenajului aerodinamic (Fig.8 b) din motive de curgere a aerului, asa cum s-a discutat la cap. II.1.2. si pentru a nu complica structura (cu impact asupra unor parametrii importanti: cost, greutate) a fost necesara cresterea lungimii arborelui, rezultand o incarcare in consola a acestuia (greutatea ansamblului rotor). De aici a rezultat o forma care sa intareasca tronsonul in consola, puternic solicitat la incovoiere.

Cele două rotoare 13 ale aerogeneratorului sunt fixate pe arbore cu ajutorul penelor 5-6 si asigurate axial cu bucsa 9 si piulita si saiba 12. Bucsa 8 a fost utilizata pentru a asigura intrefierul de 1 mm dintre statorul 7 si cei doi rotori. Ansamblul mobil al generatorului se spijina pe rulmentii radiali-axiali, cu role conice 11 si 15. A fost ales acest tip de rulment, cu montaj in X, pentru a putea prelua sarcina axiala care apare in axul generatorului in timpul functionarii. Fixarea axiala a rulmentului 15 s-a facut cu bucsa 16 si saiba si piulita pentru rulmenti 16.

Greutatea obtinuta prin aceasta constructie este de 89,5 kg.

Ca si component motor al turbinei, rotorul este un alt subansamblu important al structurii turbinei. In Fig.18, este prezentat subansamblu rotor in vedere isometrica si respectiv in detaliu. Varianta aleasa a fost cea a unui rotor cu 3 pale, din fibra de



Fig. 18. Subansamblu rotor: a) vedere izometrica; b) detaliu.

sticla cu un diametru de 3 m. Componentul care sustine palele rotorului 1, avand totodata rolul de a transmite miscarea prin intermediul unei pene catre axul turbinei este butucul 2. Butucul va fi realizat din aluminiu turnat. De coroana rotorului 3 asamblata prin sudura de butucul rotorului, va fi fixat prin suruburi conul rotorului. Cele 3 pale vor fi fixate de coroana rotorului prin suruburi.

Greutatea obtinuta pentru ansamblul rotor este de 15,5 kg.

Sistemul de prindere prezentat in Fig.10, este componentul de care se fixeaza celelalte subansamble al turbinei, asigurand unitatea structurala a acesteia. Totodata, sistemul permite rotirea intregului ansamblu al turbinei in jurul axei verticale a pilonului de sustinere, pentru punerea in vant a rotorului motor asigurand



Fig.19. Sistem de prindere.

astfel functia acestuia si anume captarea energiei cinetice a vantului. Sistemul este alcatuit din sasiul 1, executat din tabla de otel. in constructie sudata, pe care se va fixa, suruburi si piulite, ansamblul cu anterior format din generator si rotor, si coada turbinei. cat Lagarele carcasate 2 si 4, fixate rigid de sasiu, permit rotirea in jurul axului 5, care, prin montarea lui pe pilonul de sustinere, va constitui elementul fix al intregului ansamblu al turbinei. Transferul curentului electric produs in timpul functionarii in statorul

generatorului catre partea fixa a turbinei se va face prin intermediul unui dispozitiv cu inel colector (slip ring), numerotat cu 6 in Fig.19. Greutatea sistemului de prindere este de 21 kg.

Coada turbinei este elemetul care prin forma lui, la schimbarea directiei vantului, produce cuplul necesar rotirii ansamblului turbinei pentru orientarea ei pe directia vantului. Coada prezentata in Fig.20 este realizata din fibra de sticla, fiind compusa din doua semi-forme, asamblate impreuna cu suruburi.

Greutatea estimata a cozii este de 17,5 kg.



Fig. 20. Coada turbinei (carenaj posterior): a) vedere izometrica; b) semi-forme.

Arborii trebuie dimensionati astfel încât sa nu se deformeze sub actiunea sarcinilor, mai mult decât limitele functionale admisibile ale ansamblului din care fac parte.

Arborele principal al generatorului preia cea mai mare parte a forțelor externe și interne, deci trebuie să fie suficient de rigid pentru a asigura o bună performanță.

Proiectarea ansamblului turbinei eoliene trebuie să respecte cerințele stabilite pentru construcții: rezistență și stabilitate, siguranță în exploatare, etc. In acest scop au fost realizate o serie de calcule numerice de rezistenta in arborele principal al generatorului (Fig.8 pozitia 14) si in pilonul de sustinere (Fig.6 pozitia 7).

Calculul tensiunilor din arborele principal al generatorului este o etapa importanta in dimensionarea acestuia. Tensiunile echivalente von Mises caracterizeaza starea de tensiune intr-un punct al unei structuri. Tensiunea von Mises se calculeaza cu relatia:

$$\sigma_{e} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{1} - \sigma_{2})^{2} + (\sigma_{2} - \sigma_{3})^{2} + (\sigma_{3} - \sigma_{1})^{2}}$$

unde $\sigma_{1,2,3}$ sunt tensiuni normale principale.

Tensiunea echivalentă (von Mises) trebuie să satisfacă relația: $\sigma_e \leq \sigma_c$

Analiza statica, realizata cu ajutorul metodei elementelor finite (AEF), a permis studierea comportamentului arborelui principal al generatorului, la solicitari date. Pentru aceasta analiza numerica, materialul ales pentru arborele principal al generatorului este un otel a carui caracteristici sunt prezentate in Tabelul1.

Density	7850	Kg/m ³
Tensile Yield strength, σ_c	2,5e+08	Ра
Tensile ultimate strength	4,6e+08	Ра
Young's Modulus	2e+11	Ра
Poisson's Ratio	0,3	

Tabel 1. Caracteristicile mecanice ale materialului.

In Fig.21, este prezentat sistemul simplificat al incarcarilor avute in vedere pe arborele principal al generatorului, dar si valorile acestora: (A) si (B) reazemele din cele doua lagare cu rostogolire ce sustin arborele, (C) si (D) incarcarile pe arbore care rezulta din greutatile rotoarelor, (E) forta axiala rezultata din presiunea cu care vantul apasa pe rotorul (palele) turbinei, (F) momentul motor dezvoltat de rotorul turbinei pentru o putere P_{max} =5kW si (G) greutatea cu care rotorul turbinei solicita capatul arborelui.



Fig. 21. Reprezentarea incarcarilor pe arborele principal al generatorului.

Pentru discretizarea arborelui s-a folosit o retea de elemente finite de forma tetraedrica, respectiv s-au utilizat un numar de 167403 elemente si 260619 noduri. Reteau de discretizare este rafinata in zonele in care sunt previzibile valori ridicate ale tensiunii.

In cele ce urmează sunt prezentate rezultatele numerice privind distributia stării de tensiuni și deformații în arborele principal al generatorului. Razele de racordare exterioare, tesiturile si filetele au fost neglijate in analiza numerica.

După cum se poate observa în Fig.22, în urma aplicării incarcarilor enumerate mai sus în arborele principal al generatorului, tensiunea echivalenta (von Mises) maximă, apare în zona de trecere dintre tronsonul cilindric pe care se monteaza rotorul turbinei si tronsonul conic al arborelui. Valoarea tensiunii echivalente maxime este de 7,4*10⁷ Pa, care este de cca. 3 ori mai mica decat tensiunea admisibila a materialului si este localizata in zona umarului arborelu.



Fig. 22. Distributia tensiunilor echivalente in arborele principal al generatorului

Marimea razei de racordare interioare din zona umarului arborelui, influenteaza distributia tensiunii echivalente in acea zona. Aplicarea unei raze ce racordare de 2mm in zona umarului arborelui, va reduce valoare maxima a tensiunii echivalente asa cum poate fi observat in Tabelul 2. In unele cazuri alegerea unei raze de racordare mai mari, in scopul minimizarii tensiunii echivalente maxime, nu poate fi posibila din cauza limitarilor dimensionale sau a existenței altei părți mecanice. Din acest motiv tensiunile critice sunt de asteptat in zonele de racordare.

Tabel 2. Valorile minime si maxime ale deplasarii, tensiunii echivalente si deformatiei pentru o raza de racordare de 2 mm in zona umarului arborelui.

Results					
Minimum 0, m 137,79 Pa 9,3746e-010 m/m					
Maximum 5,9512e-005 m 5,7265e+007 Pa 2,8748e-004 m/m					
Information					

În Fig.23, se poate observa că, în urma aplicării incarcarilor în arborele principal al generatorului, deformația totală maxima apare la capatul arborelui, in zona de montare a rotorul turbinei. În aceasta zona valorile deplasarilor sunt cuprinse între 0 si 0,059 mm.



Fig. 23. Distributia deformatiilor totale in arborele principal al generatorului

Concluzii

- Din analiza distribuţiei tensiunilor si deformatiilor totale în arborele principal al generatorului, se poate concluziona că varianta studiată este rezistenta, în raport cu sarcinile la care este supus arborele. Materialul este ales corespunzător in raport cu solicitarile.
- Valorile tensiunilor si deformatiilor se afla cu mult sub limita de rupere a materialului arborelui.
- In urmatoarea etapa se va avea in vedere optimizarea formei si dimensiunilor arborelui pentru o utilizare cat mai rationala a materialului si reducerea greutatii ansamblului.

Modelarea, simularea și optimizarea aerogeneratorului electric cu magneți permanenți, flux axial și concentrare de flux

Integrandu-se in scopul mai larg al proiectului de a avea un sistem eficient, fiabil, robust si accesibil, *aerogeneratorul electric* a fost conceput in vederea functionarii cu randament ridicat, dorindu-se in acelasi timp a fi fiabil, usor de construit si cu un pret de productie mic. Astfel, s-a optat pentru solutia unui aerogenerator electric cu flux axial, format dintr-un stator si doua rotoare, avand particularitatea unei structurii inovative la nivelului rotoarelor. Structura inovativa a fost propusa cu scopul concentrarii fluxului magnetilor permanenti in vederea imbunatatirii performantelor aerogeneratorului electric.

Avand in vedere amplasarea circumferentiala cu polaritate alternata a magnetilor permanenti pe suprafata discului rotor, in cazul masinilor cu flux axial conventionale, fluxul magnetic din intrefier este limitat la fluxul impus direct de magnetii permanenti. Astfel, in vederea obtinerii unei densitati mari de flux magnetic in intrefier, e necesara folosirea magnetilor permanenti tari ca Samariu-Cobalt (SmCo) sau NdFeB. Din pacate, evolutia recenta a preturilor magnetilor permanenti din metale rare a facut ca acestia sa fie substantial mai costisitori decat magnetii permanenti mai slabi de tipul feritelor. Feritele insa au o remanenta magnetica mica. Astfel, pentru obtinerea unei puteri echivalente, masinele cu flux-axial pe baza de ferite necesita cresterea diametrului masinii fapt care conduce la cresterea masei si al volumului masinii si implicit al costului datorita materialului suplimentar.

In cautarea unei solutii la aceste probleme, s-a propus o structura noua la nivel de rotor, asa cum e ilustrat in Fig. 4, in care magnetii permanenti **24** nu mai sunt montati pe suprafata discului rotoric, ci sunt incastrati radial in interiorul rotorului, fiind intercalati de polii magnetici **22**. Magnetii sunt montati avand in vedere o magnetizare circumferentiala alternanta de tipul NS – SN – NS pentru fiecare din cele doua rotoare. Rolul acestei dispuneri e acela de a concentra fluxul magnetic in polii magnetici, cu urmatoarele avantaje fata de varianta conventionala:

- Densitatea fluxului in polii magnetici e mai mare decat cea din magnetii permanenti, astfel putand fi folositi magneti mai ieftini cu remanenta magnetica mai mica;
- Pentru cresterea densitatii fluxului magnetic la nivelul intrefierului, se poate avea in vedere si lungimea axiala a masinii, nu doar cea radiala;
- In cazul in care se folosesc magneti din metale rare, masina poate fi construita intr-un volum redus si masa mai mica;
- Permite o fixare mai buna a magnetilor permanenti.

Astfel, aerogeneratorul electric cu magneți permanenți, flux axial și concentrare de flux inlatura o limitare a masinilor axiale conventionale, unde fluxul magnetic la nivelui intrefierului e limitat la cel impus in mod direct de magnetii permanenti, si propune o pozitionare mai buna a magnetilor permanenti in rotor permitand obtinerea unei densitati mari a fluxului magnetic in intrefier chiar in cazul utilizarii unor magneti permanenti cu proprietati magnetice mai slabe.



Fig. 24. Topologia inovativă propusă de aerogenerator electric cu magneți permanenți, flux axial si concentrare de flux.

Fig.25 prezintă varianta explozivă a masinii propuse, in vederea ilustrarii diferitelor parti componente. Astfel, masina are un stator si doua rotoare ca parti active din punct de vedere electric, si diferite parti mecanice.

Statorul, plasat intre cele doua rotoare, este compus din mai multe infasurari 10 montate pe un suport statoric exterior 12 si un suport interior 14. Suportul exterior 12 este fixat intre doua semicarcase 34 care sustin arborele masinii prin intermediul unor rulmenti 38. Suportul statoric exterior 12 este prevazut cu un mai multe spatii pentru amplasarea infasurarilor 10.

Infasurarea **10** este realizata din conductori izolati din material conducator (cupru, aluminiu). Sectiunea axiala a infasurarilor este trapezoidala, corespunzand suprafetei trapezoidale ale polilor magnetici pe partea intrefierului (Fig.). In cazul in care se foloseste o forma diferita pentru polii magnetici **22**, forma sectiunii axiale a infasurarilor **10** se va adapta la acestia si invers.



Fig. 25. Vedere izometrică explozivă a topologiei inovative de aerogenerator electric cu magneți permanenți, flux axial si concentrare de flux.





Fig. 26. Fixarea statorului prin intermediul a doua semicarcase, vedere izometrica

Suportul exterior al statorului **12** inconjoara partea exterioara a infasurarilor fiind realizat prin turnare din material nemagnetic (rasina) cu scopul de a fixa infasurarile intre cele doua rotoare.

Rotoarele aerogeneratorului electric cu magneți permanenți, flux axial si concentrare de flux sunt formate din suportul rotoric **20**, pe care se monteaza polii magnetici **22** si magnetii permanenti **24**. Cele doua rotoare astfel constituite sunt aliniate unul fata de celalalt si montate pe arborele **30**. Suportul rotoric **20** poate avea orice forma constructiva si poate fi constituit din orice material care rezista la fortele la care va fi supus. Pentru simplitatea constructiei si robustetea masinii, suportul rotoric si polii magnetici pot forma o singura piesa turnata. Optional, suportul rotoric poate fi construit dintr-un material nemagnetic in vederea reducerii fluxului magnetic de scapari.



Fig. 27. Magnetizarea circumferentiala alternata de tip NS – SN – NS

Magnetii permanenti **24** sunt montati radial pe suportul rotoric si sunt intercalati cu polii magnetici **22**. La montarea magnetilor se are in vedere realizarea unei magnetizari circumferentiale alternante, intr-un aranjament NS – SN – NS pentru fiecare disc rotor, in vederea concentrarii fluxului magnetic in polii magnetici dintre magneti, asa cum e ilustrat in Fig.27. In acelasi timp, pentru a avea o masina functionala, cele doua rotoare sunt aliniate unul fata de celalalt, astfel incat fiecare magnet avand o magnetizare circumferentiala de tip NS, de pe unul din rotoare, sa corespunda unui magnet cu magnetizare circumferentiala de tip SN pe celalalt rotor, si invers.

Magnetii **24** pot fi fixati intre polii magnetici de catre fortele magnetice de atractie, prin lipire de polii magnetici si de suportul rotoric, si/sau prin solutii de fixare mecanice.

In vederea validarii configuratiei propuse, masina a fost modelata numeric folosind programul JMAG atat in configuratia completa, cat si intr-o configuratie redusa folosindu-se simetria masinii in vederea diminuarii timpului de calcul. In cele ce urmeaza vor fi prezentate rezultatele simularilor obtinute cu modelul simetric redus al masinii, model prezentat in Fig.28 printr-o vedere izometrica. Caracteristicile masinii sunt prezentate in Tabelul 3.



Fig. 28. Vedere izometrică parțială a aerogeneratorului electric cu magneți permanenți, flux axial și concentrare de flux.

Tabel 3. Caracteristicile aerogeneratorului electric cu magneți permanenți, flux axial si concentrare de flux.

	Valoare	Unitate
Viteza impusa	450	rotatii/minut
Sarcina rezistiva pe fiecare faza	50 (I) / 200 (II)	Ω
Numarul de spire pe bobina	100	/
Rezistenta bobinajului pe faza	3.6	Ω
Magneti permanenti de ferita	0.4	Tesla
Diametru interior al rotorului	200	mm
Diametru exterior al rotorului	400	mm
Numarul de bobine al statorului	18	/
Numarul de magneti al unui rotor	24	/
Latimea rotorului	50	mm
Latimea statorului	8	mm
Dimensiune intrefier	2x1	mm



Fig. 29. Distribuția inducției magnetice în structura aerogeneratorului electric cu magneți permanenți, flux axial și concentrare de flux.

Rezultatele simularilor numerice de câmp sunt prezentate in Fig. 29-33, corespunzător unei sarcini rezistive de 50 Ω .Error! Reference source not found. Fig.29 permite vizualizarea distribuției inducției magnetice în aerogeneratorul electric cu magneți permanenți, flux axial și concentrare de flux. La o viteza de rotatie de 450rpm si o sarcina rezistiva impusa de 50 Ω pe faza, aerogeneratorul debiteaza o putere activa de aproximativ 2530 W. Tensiunea pe fază (Fig.30), curentul debitat (Fig.31) și puterea electrică instantanee generată (Fig.32) au fost determinate utilizând mediul de calcul de câmp JMAG.

Avand in vedere ca pierderile Joule, reprezentate in Fig. 33, constituie cea mai mare parte a pierderilor in cazul aerogeneratorului electric cu magneți permanenți, flux axial și concentrare de flux, plecand de la valoarea acestora si de la valoarea puterii electrice debitate se poate determina randamentul masinii (fara a considera pierderile mecanice) astfel:

Randament = puterea electrica/puterea mecanica*100 = puterea electrica/ /(puterea electrica + pierderile Joule)*100 = 2530/(2530 + 180)*100 = 93.3%.



Fig. 30. Tensiunea pe fază a aerogeneratorului electric cu magneți permanenți, flux axial și concentrare de flux.



Fig. 31. Curenții de fază debitați de aerogeneratorul electric cu magneți permanenți, flux axial și concentrare de flux.



Fig. 32. Puterea electrică furnizată pe fază de aerogeneratorul electric cu magneți permanenți, flux axial și concentrare de flux.



Fig. 33. Pierderile Joule ale aerogeneratorului electric cu magneți permanenți, flux axial și concentrare de flux.

Rezultatele simularilor indica o eficienta ridicata de conversie a energiei pe toată plaja de funcționare. In perspectivă, se vizează optimizarea topologiei inovative de aerogenerator electric cu magneți permanenți,flux axial și concentrare de flux, pentru obtinerea unei solutii dimensionale mai compacte si realizarea unui prototip pentru analiza experimentală.

Pentru protejarea drepturilor de proprietate industrială a fost depusă o cerere de brevet la European Patent Organization.