

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII LA STUDIUL TURBOMAȘINILOR AXIALE NEÎNTUBATE

Ing. RODICA BĂDĂRĂU

Conducător Doctorat Prof. Dr. Ing. FRANCISC GYULAI

2011

CUPRINS GENERAL AL TEZEI

1. OBIECTIVELE TEZEI.....	3
2. MODELE FIZICE ALE TURBINELOR DE VÂNT.....	14
3. DOCUMENTARE ȘI ANALIZĂ PRIVIND DĂRELE TURBINELOR NEÎNTUBATE.....	32
4. FENOMENE LA CAPĂTUL LIBER AL PALETEI.....	65
5. EVALUAREA OFERTEI ENERGETICE A AMPLASAMENTULUI.....	85
6. ADAPTAREA TURBINEI LA CONDIȚIILE AMPLASAMENTULUI.....	116
7. TURBINA REALIZATĂ PENTRU AMPLASAMENTUL MARGA.....	143
8. CONTRIBUȚIILE TEZEI.....	215
BIBLIOGRAFIE.....	219

Cuvinte cheie: turbomașini axiale neîntubate, turbine de vânt de mică putere, evaluarea ofertei amplasamentului, modelul Weibull cu trei parametri, curba de distribuție a frecvenței vitezei, curba de asigurare, curbe caracteristice adimensionale, coeficient de putere, rapiditate, grad de reacție, soliditate, dâra turbinelor neîntubate, capătul liber al paletei, diversificarea construcției turbinelor.

STRUCTURA TEZEI

CAPITOLUL 1 "OBIECTIVELE TEZEI", începe cu o scurtă prezentare a actualității domeniului cercetat. Se prezintă particularități ale turbinelor de vânt care sunt turbomașini axiale neîntubate. Se formulează principalele obiective ale tezei. Aceste obiective constau în realizarea unui sistem de modele și proceduri utilizabile în proiectare adecvate la particularitățile de construcție ale turbinelor de vânt față de turbomașinile clasice. Aceste particularități constau în renunțarea la componentele statice (tubulaturi și paletaje statorice) din cauza dimensiunilor mari, cele mai mari mașini realizate în lume. Comparând rapiditățile, respectiv turațiile caracteristice, în cadrul clasei turbomașinilor, turbinele eoliene sunt mașini mai rapide decât turbinele hidraulice bulb. În aceste condiții de rapiditate renunțarea la paletaje statorice poate fi

compensată prin alți parametri care asigură performanțe ridicate aerodinamice. Sistemul de modele elaborat în cadrul tezei permite diversificarea construcției turbinelor de vânt și astfel adaptarea lor la regimul vitezelor vântului în stratul limită terestru. Acest obiectiv este important mai ales în cazul turbinelor mici destinate gospodăriilor rurale, aplicații în care ofertele aeroenergetice ale amplasamentului sunt moderate. Se urmărește finalizarea unei aplicații în domeniul turbinelor de putere mică la nivel de prototip instalat pe un amplasament specific.

CAPITOLUL 2 "MODELE FIZICE ALE TURBINELOR DE VÂNT" conține prezentarea a două modele fizice ale turbinelor de vânt cu ax orizontal pentru valorificarea energiei vântului: modelul simplu clasic (Betz) și un model elaborat de Centrul de Cercetare pentru Aeroenergetică (CCAЕ) din cadrul Universității „Politehnica” din Timișoara (UPT).

Primul model asociază turbinei un tub de curent fără frontiere solide, neglijând interacțiunile cu câmpul de viteze în care este înecat tubul asociat turbinei. Se presupune că dispozitivul care valorifică energia generează acest tub de curent de forma unui difuzor, se reduce viteza axială în interiorul tubului față de cea din exteriorul lui. Modelul duce la un optim când viteza se reduce la o treime. S-a prezentat critica acestui model și unele căi de corecții empirice pentru a apropia rezultatele de cele reale.

Noul model elaborat în cadrul CCAЕ-UPT pentru condițiile unei rețele de palete de turbină corelează parametrii geometrici ai turbinei cu parametrii curentului aval de turbină (dâra apropiată): viteza axială, viteza tangențială, presiunea statică. Cu ajutorul acestui model construcția rețelei poate fi diversificată cu ajutorul gradului de reacție al turbinei. Acest procedeu modifică și condițiile din dâra apropiată. Prin mărirea gradului de reacție al turbinei poate fi mărită valoarea coeficientului puterii valorificate.

Se compară cele două modele și se susține al doilea model pentru a fi promovat în proiectarea turbinelor moderne.

CAPITOLUL 3 "DOCUMENTARE ȘI ANALIZĂ PRIVIND DÂRELE TURBINELOR NEÎNTUBATE" conține o amplă documentare și analiză privind dâra turbinelor neîntubate, analiză folosită pentru susținerea modelului CCAЕ în sensul unui răspuns la întrebarea formulată de autorii modelului privind o eventuală restricție pentru aplicabilitatea acestuia cauzată de fenomenele recuperative din dâră.

Turbina construită cu ajutorul noului model generează în dâra apropiată deficite față de câmpul neperturbat de viteză axială și de presiune statică și componente tangențiale de viteze. Prin înecarea turbinei în câmpul mult mai extins al vântului în dâra acesteia are loc un fenomen recuperativ cu ajutorul straturilor învecinate.

Datele experimentale pe amplasament, în tunele aerodinamice pe modele de turbine la scară redusă și prin simulări permit formularea concluziei certe că la o distanță aval de cca șase diametre acest proces recuperativ este practic încheiat.

S-a tras concluzia că fenomenele recuperative din dâră nu generează restricții pentru aplicabilitatea noului model.

În **CAPITOLUL 4 "FENOMENE LA CAPĂTUL LIBER AL PALETEI"** sunt analizate fenomenele la capătul liber al paletei: efectul anvergurii finite și zgomotul

aerodinamic. Se evaluează efectelor induse de anvergura finită a paletei ca urmare a renunțării la întubare. Față de modelul aripilor plane a lui Prandtl în teză se formulează corecții pentru portanță și rezistență aplicabile local în funcție de raza curentă a secțiunilor de calcul.

Se studiază pentru prima dată în literatură și în proiecte tratarea capătului de paletă prin aplicarea unei "aripioare" de capăt (winglet), metodă utilizată la unele avioane. Prin această geometrie se studiază ameliorarea influenței asupra forțelor aerodinamice și temperarea zgomotului generat de capătul de aripă.

CAPITOLUL 5 "EVALUAREA OFERTEI ENERGETICE A AMPLASAMENTULUI" este destinat metodei de evaluare a ofertei energetice a amplasamentului mai ales pentru turbinele de mică putere prin evaluarea producției anuale de energie realizat de un agregat. S-a considerat pentru aproximarea curbelor de frecvență a vitezei vântului pentru un amplasament distribuția Weibull cu trei parametri. S-a conceput o metodă originală de calcul iterativ al coeficienților Weibull.

CAPITOLUL 6 "ADAPTAREA TURBINEI LA CONDIȚIILE AMPLASAMENTULUI" conține o sistematizare a procedurilor asamblate pentru proiectarea turbinelor pornind de la noul model, sinteză care conține modele complementare și programe de calcul folosite pentru proiectarea turbinei. În capitol se analizează căile prin care se obține o diversificare posibilă a turbinei pentru adaptarea ei la condițiile amplasamentului. Aceste analize urmăresc identificarea căilor de maximizare a energiei valorificate în condițiile vitezelor de vânt moderate.

CAPITOLUL 7 "TURBINA REALIZATĂ PENTRU AMPLASAMENTUL MARGA" conține informații privind realizarea unui prototip al turbinei studiate și instalarea agregatului echipat cu această turbină pe amplasament (în cadrul unui program de cercetare). Ca studiu de caz pentru aplicarea pachetului de programe de calcul s-a proiectat, realizat, testat pentru statică și instalat pe amplasamentul Marga un prototip de 3,5 kW cu diametrul turbinei de 4,5 m.

CAPITOLUL 8 "CONTRIBUȚIILE TEZEI" conține o sinteză a contribuțiilor tezei și elemente de originalitate.

CONCLUZII

Concluziile au fost desprinse după fiecare capitol în parte. Cele mai importante concluzii care s-au evidențiat în urma elaborării tezei sunt următoarele:

- Tratarea sistemelor de modelări și a programelor de calcul aferente au la bază un nou model pentru evaluarea energiei valorificabile din energia cinetică a atmosferei terestre care înlocuiește clasicul model simplu elaborat cu 80 de ani în urmă. Forma matematică a noului model este un sistem de șase ecuații cu nouă variabile, utilizând ecuațiile fundamentale ale

turbomașinilor cu grade de reacție diferite. Pe această cale modelul permite considerarea ca efect dominant în valorificarea energiei a căderii presiunii statice și acordării de rol secundar căderii vitezei axiale. Creșterea valorificării are efect în urma renunțării la un post-stator, generarea unui vârtej central aval de turbină care implică disipații.

- Documentarea privind fenomenele din dărele turbinelor urmărește identificarea fenomenelor care sunt importante pentru ingineria turbinelor de vânt moderne. Obiectivul tehnico-economic principal pentru acesta este cel energetic, alături de acesta fiind importantă și minimizarea poluării sonore. Experiența tehnică și științifică acumulată în domeniu a dus la structuri certe: fără rețele statorice, anverguri finite ale paletei și desimi optime în cazul rețelelor de agregate ale centralelor aeroelectrice.
- Curgerea aval de turbină este puternic turbulentă. Gradul de turbulență generat de paletajul turbinei ajunge la valori foarte mari până în domeniul 50%. Trenurile de vârtej generate de capătul liber al paletei se degradează rapid în turbulență. Gradul mare de turbulență se diminuează relativ rapid în dâră până la valorile ambientale. La distanță aval de circa 5-6 diametre influența turbinei poate fi considerată neglijabilă pentru calcule inginerești. Această zonă cu turbulență mare realizează un schimb energetic intens cu curentul lateral prin fenomene de difuzie. Pentru un tub de curent asociat turbinei nu pot fi utilizate relații de continuitate și de conservare a energiei. Modelările eficiente ale acestor zone cer metode statistice. Distribuțiile parametrilor cinematici în dâră îndepărtată de tip Gauss susțin această orientare.
- Fenomenele recuperative în dâră apropiată conțin și mecanisme legate de compresibilitatea aerului. Deficitul de presiune generat de rețeaua de palete se compensează prin comprimarea dărei de către masa de aer care înconjoară zona turbinei. Presiunea se compensează complet la o distanță aval de câteva diametre. Față de alte fenomene din mecanica fluidelor la care neglijarea compresibilității (ipoteza fluidului incompresibil) duce la modele de calcul eficiente în inginerie, în cazul acestor fenomene din dâră turbinei de vânt nu poate fi acceptată neglijarea ei.
- În regiunea îndepărtată a dărei deficitul de presiune este total recuperat prin comprimarea de către mediul fluid înconjurător, deficitul vitezei axiale se recuperează prin difuzie turbulentă, iar turbulența se apropie de cea ambientală.
- Diversificările posibile de realizat pentru identificarea căilor de mărire a coeficientului de putere al turbinei prin modificări ale gradului de reacție al turbinei, duc la modificări ale parametrilor din dâră apropiată (mărirea deficitului de presiune statică alături de cel al vitezei axiale și componentele tangențiale ale vitezelor).

- Vârtejul de capăt cauzat de anvergura finită a paletei generează un tren de vârtejuri care datorită turbulenței se degradează rapid.
- Deficitul de viteză axială provocat de turbină se recuperează la distanță aval de câteva diametre, accelerare produsă tot prin influența câmpului lateral.
- Deficitul de presiune statică provocat de rețeaua de palete se recuperează la distanță aval de câteva diametre prin comprimarea dărei de către câmpul lateral. Fenomenul este puțin tratat în literatura consultată.
- Vârtejul central din dâră generat de turbină ca urmare a absenței unui paletaj statoric este frânat de câmpul lateral prin frecare. La distanță aval de câteva diametre componentele tangențiale ale vitezei sunt anulate.
- Numerele Reynolds influențează atât în turbină cât și în dâră tranzițiile curgerii cu vârtejuri și desprinderi de strat limită în turbulență. Acestea explică unele diferențe între turbinele mari și cele mici, respectiv modelările în tunel aerodinamic.
- Bilanțul de putere în ansamblul turbină-dâră trebuie să primească o importanță primară în construirea de modele pentru acest ansamblu: turbina extrage o putere din câmpul vântului, dâră recuperează această putere pe o distanță aval de 5-6 diametre. Această distanță de recuperare ca valoare tolerabilă este importantă în optimizarea rețelei de agregate în cadrul unei centrale eoliene.
- Au fost studiate căi de ameliorare a efectelor negative ale anvergurii finite (folosirea numărului de palete ale turbinei pentru a influența aria portantă a paletei și astfel a majora anvergura relativă).
- S-a făcut o analiză critică privind aplicarea modelului aripii plane cu anvergură finită a modelului Prandtl la turbine de vânt.
- Propunerea unor corecții la această aplicare prin utilizarea în modelare a unei semiaripi plane și adaptarea modelului pentru identificarea unor corecții locale asociate la raze diferite.
- S-a făcut studiul geometriei capătului de paletă aplicând soluția "winglet" de la avioane promovând două variante în construcția turbinelor, îndoire spre intradosul și spre extradossul paletei. Pentru detaliile geometrice ale capătului liber au fost făcute vizualizări în tunel aerodinamic.
- S-a acordat o atenție specială în acest cadru problematicei poluării sonore a turbinei. Au fost utilizate pentru prima oară cele două variante pentru capătul paletei în construcția a două agregate în cadrul a două proiecte de cercetare.
- Pentru evaluarea performanțelor combinate (turbină și amplasament) au fost studiate două modele: unul pentru turbină și unul pentru amplasament. Pentru turbină a fost evaluat un model al curbilor adimensionale pe baza unor informații statistice și a unui model pe baza geometriei turbinei

proiectate. Pentru amplasament a fost folosit modelul Weibull corectat printr-o metodă iterativă pentru cei trei parametri ai modelului.

- A fost analizat modelul Weibull cu trei parametri elaborat și utilizat de CCAE pentru estimarea funcției de frecvență a vitezei vântului și a funcției de asigurare depinzând de viteza medie anuală a vântului pentru un anumit amplasament.
- S-au conceput programe de calcul pentru evaluarea constantelor pentru funcția Weibull, o metodă originală iterativă de calcul al celor trei constante Weibull. Corecția modelului se realizează prin introducerea constantelor (m) și (n) .
- Constanta de corecție (m) se ajustează prin iterație în așa fel ca viteza medie obținută prin integrarea curbei de frecvență să rezulte la valoarea (v_m) . S-a introdus un factor de corecție (n) pentru timpul numărului de ore în cursul unui an. În programul de calcul valoarea constantei de corecție se obține printr-un calcul iterativ. Astfel constantele calculate cu ajutorul modelului corectat corespund vitezei medii a curbei de frecvență și timpului standard de 8760 ore/an.
- S-a aplicat metoda iterativă concepută de determinare ai coeficienților Weibull în cazul amplasamentului Marga pornind de la viteza medie anuală a vântului de 5 m/s la înălțimea de 20 m. Aceste date au stat la baza proiectării agregatului eolian pentru amplasamentul Marga.
- Se studiază influența unui număr mare de parametri asupra geometriei și performanțele paletajului turbinei.
- Pot fi selectate câteva posibilități de optimizare a turbinei prin alegerea adecvată a mai multor constante opționale.
- Proiectul aerodinamic al turbinei constă în asocierea unei geometrii la o rețea de palete pentru a realiza performanțele formulate. Sistemul de ecuații care constituie modelul nou are legătură directă cu triunghiurile de viteze care duc la geometria paletei în secțiunile de calcul stabilite în funcție de rază. Opțiunile generale pentru turbină, condiția intrării normale și viteza vântului definesc patru din cele șase condiții necesare.
- Selectarea profilelor se face în funcție de triunghiurile de viteze, prin viteza medie relativă și viteza tangențială aval de turbină, cu ajutorul relației portanței utilizate la toate turbomașinile. Termenul care rezultă în funcție de vitezele din triunghiuri este o combinație între coeficientul de portanță al profilului, coarda profilului și pasul rețelei. La acest nivel trebuie hotărât numărul de palete, coarda și incidența geometrică a profilului. Variantele posibile trebuie să conțină corecții ale anvergurii finite. Săgețile scheletelor profilelor trebuie corelate cu deviațiile cerute de modelul nou. Grosimea maximă a profilelor depinde de calculul de rezistență mecanică cu ajutorul forțelor care încarcă paleta în diferite ipoteze de regim de exploatare.

- Pentru toate procedeele de calcul au fost întocmite și utilizate programe de calcul care permit realizarea de analize variate și studii privind influența unor parametrii și îndeplinirea unor condiții suplimentare cerute de tehnologia de fabricație.
- Pentru geometria profilelor alese se calculează triunghiurile de viteze, forțele aerodinamice și puterile. Calculul cinematic identifică triunghiurile de viteze la diferite raze și evaluează caracteristicile rețelei de palete prin numărul de palete și corzile profilelor pentru un anumit coeficient de portanță maxim la anvergură infinită.
- Mărimile finale în funcție de care se face selecția sunt: puterea teoretică valorificabilă și soliditatea paletajului.
- Informațiile permit conturarea unei imagini privind generarea turbinelor de vânt cu performanțe optimizate, oferind raționamente de evaluare a unora dintre parametrii turbinei și a influenței acestora asupra caracteristicilor turbinei, diversificarea construcției turbinelor și adaptarea lor la oferta amplasamentelor. Programele permit compararea unui număr mare de variante și selectarea unor optime pentru maximizarea producției de energie, dar și a fezabilității și a costurilor.
- S-a făcut un studiu de caz pentru o turbină cu diametru 4,5 m și puterea instalată de 3,5 kW. S-a realizat o primă aplicație directă privind diversificarea și tipizarea turbinelor eoliene cu ax orizontal. S-au pus bazele metodologiei de proiectare folosită pentru agregatul amplasamentului Marga.
- Au fost parcurse raționamente și algoritmi tehnici și economici în care modelul fizic al valorificării energiei este doar o componentă în proiectarea agregatelor eoliene. Au fost explicate și date unele detalii ale proiectării turbinei, rezolvând legătura între performanțele energetice și detaliile geometrice ale agregatului.
- S-au făcut referiri la numele programelor de calcul folosite și s-au exemplificat valorile care au rezultat, salvate în fișiere. Pentru aceste variante s-au arătat care sunt parametrii care variază valorile considerate.

CONTRIBUȚII PERSONALE

Obiectivele formulate în primul capitol al tezei au fost parcurse sistematic, teza oferind soluții prin modele de calcul ingineresti pentru toate aspectele specifice ale turbinelor de vânt diferențiindu-le în cadrul domeniului general al turbomașinilor. Prin particularitățile lor acestea generează un domeniu de cercetare și de inginerie distinct. Comisia Electrotehnică Internațională a elaborat două norme principale pentru domeniu, una generală și una pentru turbine mici.

În teză sunt identificate și analizate aceste particularități: rapidități mari față de turbinele hidraulice, diametre mari, construcție fără întubare, densitate mică a fluidului, folosirea de rețea de palete rotorice fără statoare, înecare în atmosfera terestră în zona stratului limită, necesitatea orientării pe direcția vântului, necesitatea protecției agregatelor la vânt mare, poluarea sonoră. Răspunsurile date în teză la problematica generată de aceste particularități au elemente de originalitate prin inovări față de unele metodologii tradiționale. Unele contribuții se referă la întregul domeniu al turbinelor de vânt, altele se referă la turbinele de putere mică amplasate insular.

O primă contribuție se referă la un model de evaluare a energiei valorificabile cu ajutorul unei turbine în raport cu energia cinetică disponibilă a vântului. După o analiză critică a modelului clasic (Betz) este analizat un model nou elaborat în cadrul Centrului de Cercetare pentru Aeroenergetică (CCAE) din Universitatea „Politehnica” din Timișoara. Acest model a fost prezentat la The 8th International Forum and Conference – Las Vegas USA 2000 și susținut în teza de doctorat din 2001 a D-lui Adrian Bej. În teza de față se susține acest model pentru legătura lui directă cu triumphiurile de viteze ale turbinei și pentru faptul că prin gradul de reacție se oferă o cale de diversificare a turbinelor și mărirea energiei valorificabile.

Principala contribuție a tezei constă în documentarea largă și analiza critică privind dărele turbinelor de vânt pe baza măsurărilor pe amplasamente, modelări la scară redusă în tunele aerodinamice și simulări în tunele, incluzând și cercetări efectuate în laboratoarele Catedrei de Mașini hidraulice. Prin concluziile acestei analize se răspunde la rezervele formulate de autorii noului model privind eventuale restricții posibil impuse de fenomenele din dâra turbinei. Concluziile certe ale analizei exclud astfel de restricții confirmând aplicabilitatea noului model. Noul model elimină neajunsurile modelului clasic care se bazează exclusiv pe diminuarea vitezei axiale de către un dispozitiv de valorificare și nu ține cont de celelalte fenomene. Prin folosirea modelului clasic nu poate fi modelată o turbină rapidă cu grad de reacție mare care valorifică energie în principal prin căderea presiunii statice și mai puțin prin diminuarea vitezei axiale. Noul model rezolvă această concordanță fizică între model și rețeaua de palete prin prezența în sistemul de ecuații care definește modelul a gradului de reacție, un parametru uzual în domeniul turbomașinilor, reprezentând valoarea relativă a căderii presiunii statice.

În teză se aplică algoritmi și programe pentru calculul triumphiurilor de viteze în funcție de rază după o analiză preliminară care rezolvă și stabilește opțiunile pentru alegerea parametrilor: putere instalată, rapiditate, diametru și turație. În acest scop a fost întocmit un model de calcul pentru curbele adimensionale ale turbinei care permite analize preliminare sistematice pentru stabilirea rapidităților și coeficienților de putere pe baze statistice, o sinteză a experienței trecute ținând însă seama și de disipațiile din turbină. Astfel se evidențiază distincția între valoarea teoretică a coeficientului maxim de putere oferită de ecuațiile modelului clasic și valorile probabile pe baza experienței în construcția turbinelor. În cazul unor noi proiecte se pot evidenția pe această cale îmbunătățirile de performanțe.

La analiza triunghiurilor de viteze definite pe această cale în funcție de distribuția gradului de reacție în lungul razei, ca efect al valorilor mari ale gradului de reacție, crește deviația necesară a vitezei relative și în consecință crește și valoarea vitezei tangențiale în dâra apropiată. Scăderea vitezei axiale devine secundară ca importanță față de cazul modelului clasic.

În cadrul tezei profilele aerodinamice NACA au fost selectate pe baza catalogului Abboth. Au fost analizate randamentele aerodinamice. În condițiile neîntubării turbinei a fost studiată corecția necesară pentru anvergura finită față de performanțele din catalog oferite pentru anvergura infinită. Au fost aplicate două proceduri. Prima constă în aplicarea modelului Prandtl considerând paleta cu două capete libere: cel de la periferie și cel de lângă butuc. Astfel anvergura s-a considerat aproximativ egală cu raza turbinei (R), iar anvergura relativă a fost calculată în raport cu coarda medie. Astfel au rezultat cele două corecții constante în lungul razei: coeficientul de portanță indus și coeficientul de rezistență indus. Analiza rezultatelor arată că în cazul turbinelor foarte mari cu solidități mici și rapidități mari este posibilă neglijarea influenței de aripă finită. În cazul turbinelor mici, mai ales în condițiile unor rapidități mai mici și solidități mai mari, neglijarea ar duce la erori foarte mari. A doua procedură constă într-un studiu de corectare a modelului Prandtl. Corecția constă în două propuneri originale. Prima propunere constă în asimilarea paletelor de turbină cu semiaripa plană din modelul Prandtl motivat de faptul că zona racordării paletelor la butuc de fapt nu este un capăt liber. În consecință anvergura similară cu cea din modelul Prandtl este mai corect să fie considerată aproximativ diametrul turbinei (D). A doua propunere constă în introducerea unei funcții de corecție similară cu (τ) din modelul Prandtl pentru aripa neeliptică. Noutatea constă în faptul că această funcție este concepută ca funcție de rază. Astfel atât anvergura relativă cât și funcția de corecție depind de rază și astfel corecțiile calculate devin funcții tot de rază și pot fi transformate în corecții locale în locul celor constante oferite de Prandtl. Acest model corectat este aplicabil și în cuantificarea influenței geometriei speciale a capătului de paletă.

Capătul paletelor a fost îndoit (metoda winglet din aviație) tehnologie aplicată la un prim prototip de turbină de mică putere. Această geometrie a fost studiată în teză pentru două variante: îndoire spre intrados, cu efect dominant de ameliorare a efectului de anvergură finită, și îndoire spre extradadosul paletelor, cu scopul ameliorării zgomotului aerodinamic. Cele două variante au fost aplicate la două turbine de mică putere în curs de testare pe două amplasamente distincte la Marga, județul Caraș-Severin și Seușa, județul Alba.

Pentru adaptarea turbinei la oferta energetică a amplasamentului în teză au fost analizate metodele de calcul pentru evaluarea producției de energie a unui agregat pentru un an meteorologic mediu. În acest sens a fost construit un model pentru evaluarea constantelor pentru funcția Weibull. În teză a fost elaborată o metodă originală iterativă pentru un model construit în CCAE pe baza unor evaluări statistice din cartea lui Justus C.G. [50] și cercetările profesorului I. Preda. Modelul permite calculul celor trei constante Weibull cu ajutorul unei viteze medii anuale măsurate sau evaluate

aproximativ. Folosind aproximațiile lui Justus influențele locale produc diferențe între viteza medie aproximată ca intrare în procesul de calcul și viteza medie obținută prin integrarea curbei de frecvență rezultată pentru constantele calculate. Astfel de diferențe apar și pentru numărul de ore într-un an. Corecția modelului se realizează în teză prin introducerea unei constante alături de viteza aproximată inițial. Teza propune ca recomandare și introduce constanta de corecție m . În programul de calcul valoarea constantei de corecție se obține printr-un calcul iterativ. Astfel constantele calculate cu ajutorul modelului corectat corespund vitezei medii a curbei de frecvență și timpului standard de 8760 ore/an.

Ultimele două capitole ale tezei assemblează procedurile și programele de calcul pentru diversificarea construcției turbinelor și adaptarea lor la oferta amplasamentelor. Pentru a acoperi întregul ansamblu de procedee utilizate în proiectare, în teză au fost concepute programe de calcul care pornesc de la "modelul nou" prin care este evaluată puterea valorificabilă și finalizează parametrii geometrici ai turbinei. În plus se evaluează curbele caracteristice ale turbinei în funcție de turație și viteza vântului prin momentele și puterea la arbore. Programele, organizate pe grupe, permit compararea unui număr mare de variante și selectarea unor optime pentru maximizarea producției de energie, dar și a fezabilității tehnologice în condițiile scăderii costurilor. Programele originale dezvoltate în teză și aplicate pentru turbina Marga, assemblează o metodologie de proiectare a turbinei de vânt.

În încheierea tezei se prezintă un studiu de caz pentru o turbină cu diametrul de 4,5/ 5 m și puterea instalată de 3,5 kW. Ultimul capitol al tezei prezintă detalii ale acestui proiect, participarea doctorandului la asistența pentru fabricația și instalarea turbinei pe amplasamentul Marga în cadrul unui program coordonat de Conf. Dr. Ing. Teodor Miloș.

Pentru a le scoate în evidență, prezint succint contribuțiile cele mai importante:

- S-a făcut o analiză privind dărele turbinelor de vânt. Concluziile certe ale analizei exclud necesitatea introducerii de restricții, confirmând aplicabilitatea noului model de valorificare a energiei cinetice disponibile a vântului.
- S-au elaborat algoritmi și programe pentru calculul triunghiurilor de viteze în funcție de rază. S-au analizat triunghiurile de viteze în funcție de diferite distribuții ale gradului de reacție în lungul razei.
- A fost întocmit un model de calcul pentru curbele adimensionale ale turbinei ținând seama și de disipațiile din turbină.
- S-au evaluat efectele induse de anvergura finită a paletei; s-au formulat corecții față de modelul aripii plane a lui Prandtl pentru portanță și rezistență aplicabile local în funcție de raza curentă a secțiunilor de calcul.
- S-a introdus o funcție de corecție (f_c) concepută ca funcție de rază, corecțiile calculate au fost transformate în corecții locale, în locul celor constante oferite de Prandtl.

- Capătul paletei a fost îndoit (metoda winglet din aviație) îndoire spre intrados, cu efect dominant de ameliorare a efectului de anvergură finită, și îndoire spre extradosul paletei, cu scopul ameliorării zgomotului aerodinamic.
- S-a elaborat un model pentru evaluarea constantelor pentru funcția Weibull, o metodă originală iterativă de calcul al constantelor. Corecția modelului se realizează în teză prin introducerea constantelor (m) și (n).
- S-au elaborat proceduri și programe de calcul pentru diversificarea construcției turbinelor și adaptarea lor la oferta amplasamentelor; programele de calcul pornesc de la modelul nou, prin care este evaluată puterea valorificabilă, și finalizează parametrii geometrici ai turbinei.