

SUMMARY

The Habilitation thesis entitled “ **Contributions in the fields of wind turbines, jet engine nozzle acoustics, combustion and automatic control system for gas turbines**” presents the main scientific achievements of the candidate after obtaining the Ph.D. and it is structured in three parts.

In the first part the author shows the context and motivation for elaborating the Habilitation thesis and also his main professional, academic and scientific achievements (scientific papers, books and other relevant activities).

The second part of the thesis presents the main scientific results published in ISI conference proceedings and specialized journals; the chapters aim important subjects as follows.

In the section „**2.1.1. CFD analysis of wings and blades**” one presents an overview referring to CFD analysis of wings and blades taking into account the application of sintetic jets for the flow control, the trailing edge with blowing jets for minimizing the stall and the case of morphing winglet.

Firstly, it is presented an application of synthetic jets in the flow control of a jet. The synthetic jet actuator consists of an oscillating membrane operating at high frequency and separating two cavities with exit slots of different geometries. The synthetic jets work as an alternating push-pull system and the generated vortical structure changes the flow direction of the main jet (jet vectoring).

Secondly, the flow control on aerodynamic airfoil has been studied. Basically, one applies flow control wing, a concept derived from the conventional blowing and suction procedure developed to increase the lift of an airfoil.

Two major goals were targeted here: 1) to investigate three constructive solutions of trailing edge with blowing jets aiming to minimize the stall and to increase the lift: with slot and cylindrical trailing edge, with slot, cylindrical trailing edge and a slim channel cut with half of the slot dimension and a third configuration involving a blown flap; 2) to study the influence of slot location on the lift increase.

Thirdly, the scope of this chapter is to perform a numerical simulation on a morphing winglet to see the improvements that this configuration can bring to a small-sized plane.

Finally, an important purpose was to determine the improvements that could be achieved by retrofitting a mobile winglet to a small airplane wing, taking into account only the aerodynamic effects (not considering the structural aspect – added weight due to winglet parts).

In the section “**2.1.2. Horizontal axis wind turbine analysis**” the author presents some analysis of horizontal axis turbines considering low tip ratios speed, stall and post-stall regimes and the use of winglets for wind turbines.

Firstly, one observes that the wind energy is huge but unfortunately, wind turbines capture only a little part of this enormous green energy. Furthermore, it is impossible to put multi megawatt wind turbines in the cities because they generate a lot of noise and discomfort. Instead, it is possible to install small Darrieus and horizontal-axis wind turbines with low tip speed ratios in order to mitigate the noise as much as possible. Unfortunately, the flow around this wind turbine is quite complex because the run at low Reynolds numbers. Therefore, this flow is usually a mixture of laminar, transition and laminar regimes with bubble laminar separation that is very difficult to simulate from the numerical point of view. Usually, transition and laminar regimes

with bubble laminar separation are ignored. For this reason, this paper deals with laminar and transition flows in order to provide some brightness in this field.

Secondly, one predicts that the small wind turbines will play a vital role in the urban environment. During the running stall regulated wind turbines, due to the extremely broad range of the wind velocity, the angle of attack can reach high values and some regions of the blade will show stall and post-stall behavior. This work deals with stall and post-stall regimes because they can induce significant vibrations, fatigue and even the wind turbine failure.

Finally, the winglets are commonly used in aircraft to reduce induced drag and thus fuel costs.

In this research, the numerical analysis of two types of winglets is performed: (1) a winglet with two surfaces with a prescribed shape, with the seating angle varying with respect to the reference lifting surface and (2) a winglet with three surfaces, whose position is varied relative to the reference surface. The purpose of the numerical simulations is to obtain a useful configuration for a horizontal axis wind turbine.

The section “**2.1.3. Vertical axis wind turbine analysis**” presents some analysis of vertical axis turbines regarding the influence of unsteady flow on the aerodynamics and aeroacoustics and the using of solutions like: a blade system with a biplane configuration on each arm and a two blade H-type VAWT with variable pitch.

In the begining, one observes that the Darrieus wind turbine has some advantages over the horizontal-axis wind turbine. Firstly, its tip speed ratio is lower than that of the horizontal-axis wind turbine and, therefore, its noise is smaller, privileging their placement near populated areas. Also, the Darrieus wind turbine does needs no orientation mechanism with respect to wind direction in contrast to the horizontal-axis wind turbine.

Secondly, the study is presenting the influence of unsteady flow on the aerodynamics and aeroacoustics of vertical axis wind turbines by numerical simulation.

In the end, two models of the Vertical Axis Wind Turbines (VAWT) are investigated: one using a blade system with a biplane configuration on each arm and another one that is a two blade H-type VAWT with variable pitch.

In the section “**2.2. Wind Tunnel Investigation of High Lift Systems**” the author presents an overview referring to the wind tunnel investigations of high lift systems.

Firstly, one observes that the next generation passenger aircrafts require more efficient high lift systems under size and mass constraints, to achieve more fuel efficiency. This can be obtained in various ways: to improve/maintain aerodynamic performance while simplifying the mechanical design of the high lift system going to a single slotted flap, to maintain complexity and improve the aerodynamics even more, etc. A wind tunnel model, test campaign and results and conclusions are presented.

Secondly, the study aims the efficiency of trailing edge high lift systems, which is essential for long range future transport aircrafts evolving in the direction of laminar wings, because they have to compensate for the low performance of the leading edge devices.

The section “**2.3. Combustion**” of the thesis presents an overview regarding the combustion waves in CH₄/air and H₂/air systems, the liquid rocket engine and the combustion of crude camelina oil.

The detonation and deflagration waves starting with Euler one-dimensional conservative equations are analized, and a combined analytical-numerical method for the supersonic combustion around a conical obstacle, considering variable specific heats with temperature is proposed. Also

the performance of the liquid rocket engine is presented.

In the end, Camelina is well-suited to be a biofuel crop, as its seeds naturally have high oil content. The process of obtaining bio-kerosene from camelina oil by hydrotreatment is time consuming and expensive, thus the possibility of using straight camelina oil as fuel in terrestrial applications is taken into consideration. The influence of the fuel preheating temperature variation is also studied and presented. During the tests the composition of the exhaust gas and their temperature has been monitored and registered using two gas analysers.

In the section **“2.4. Study of the nozzle jet and acoustic characteristics of the flow over different number and shapes of nozzle chevrons”** the candidate presents an overview referring to analytical and numerical study of the nozzle jet and acoustic characteristics of the flow over different number and shapes of nozzle chevrons.

In the beginning it is exposed a comparison of the flow parameters: velocity, temperature, pressure, density, Mach's number, acoustic power through a convergent nozzle and of the characteristic measures of the jet produced by it through the analytical method and the numerical analysis using ANSYS-Fluent software.

Also, it is shown a numerical simulation performed on a scale turbofan engine nozzle to assess the influence of two nozzle configurations over the flow performance while the nozzle is situated at a certain distance from the ground.

Another objective of the work is to present a comparison between different types of chevrons and their influence on the acoustic power level radiated by the flow over them, in 2D.

Then, this chapter has a small part of notion of chevron and the process that helps reducing the noise pollution. Based on the gas dynamic and geometrical parameters of a single flow jet engine one does a model of CFD data processing. In this process one observes the influence of chevrons on acoustic wave intensity produced by the jet. A series of tests on six lobed chevrons have been developed: different types of chevrons in order to settle the influence of the geometrical parameters on the flow and on the jet acoustics. Then the contribution of chevrons in noise pollution reduction was presented.

Afterwards, the author studied a series of tests on triangular chevrons - immersions, the influence of the number of chevrons on the flow and on the jet acoustics.

The last study deals with the noise reduction of the turbojet engine, in particular the jet noise of a micro turbojet engine. The results of the measurement campaign are presented followed by a performances analysis which is based on the measured data by the test bench. Within the tests, beside the baseline nozzle other two nozzles with chevrons were tested and evaluated. First type of nozzle is foreseen with eight triangular chevrons, the length of the chevrons being $l = 10$ percentages from the equivalent diameter and an immersion angle of $I = 0$ deg. For the second nozzle the length and the immersion angle were maintained, only the chevrons number was increased at 16. The micro turbojet engine has been tested at four different regimes of speed. Regarding the noise, it was concluded that at low regimes the noise doesn't presents any reduction when using the chevron nozzles, while at high regimes an overall noise reduction of 2–3 dB(A) was achieved. Regarding the engine performances, a decrease in the temperature in front of the turbine, compression ratio and the intake air and fuel flow was achieved and also a drop of few percent of the propulsion force.

The section **„2.5. Stress and Vibration Analysis of a PDC (Pulse Detonation Chamber)”** provides the results and optimization criteria for the stress and vibration analysis of a combustion chamber with pulse detonation.

Pulse detonation engines work similar to pulsejets, with the major difference taking place in the combustion mechanism. Having detonation, instead of conventional combustion comes with certain benefits, but also, a couple of major issues which will be addressed in this work. These changes come as a result of the increased amount of energy released by the explosive process, with much higher fluid velocities and temperatures that easily surpass those of conventional engines. These high values of the thermodynamic parameters prove to be a tough technological problem when it comes to producing this type of engines, so this paper aims at analyzing the evolution of these parameters throughout a working cycle of the Tangential Impulse Detonation Engine (TIDE) and how they affect the internal structure of the detonation chamber. The final part of this chapter provide optimization criteria to decrease the loads generated by the pulsed detonations.

In the section “**2.6. Automatic control system for gas turbines test rig**” the author describes a system destined to safely monitor, command and control the working conditions through complete automation of all command functions of a gas turbine. The system is suitable for all series of applications involving gas turbines, also providing a decrease in exploitation and maintenance costs.

The third part of the thesis exposes the development plans for the scientific, professional and academic activities.

REZUMAT

Teza de abilitare intitulată „**Contribuții în domeniile turbinelor eoliene, acusticii ajutoarelor motoarelor cu reacție, arderii și sistemelor de control automat pentru turbine cu gaz**” prezintă principalele realizări științifice ale candidatului după obținerea titlului de doctor și este structurată în trei părți.

În prima parte, autorul prezintă contextul și motivația pentru elaborarea tezei de abilitare, precum și principalele sale realizări profesionale, academice și științifice (lucrări științifice, cărți și alte activități relevante).

A doua parte a tezei prezintă principalele rezultate științifice publicate în volumele conferințelor ISI și în jurnale de specialitate; capitolele vizează subiecte importante, după cum urmează:

În secțiunea „**2.1.1. Analiza CFD a aripilor și palelor**” se prezintă o imagine de ansamblu referitoare la analiza CFD a aripilor și palelor ținând cont de aplicarea jeturilor sintetice pentru controlul curgerii, bordul de fugă cu jeturi suflate pentru minimizarea stall-ului și cazul winglet-ului reglabil.

În primul rând, este prezentată o aplicație a jeturilor sintetice în controlul curgerii unui jet. Actuatorul cu jet sintetic este format dintr-o membrană oscilantă care funcționează la frecvență înaltă și separă două cavități cu fante de ieșire de geometrii diferite. Jeturile sintetice funcționează ca un sistem alternant push-pull, iar structura de vârtej generată modifică direcția de curgere a jetului principal (jet vectoring).

În al doilea rând, a fost studiat controlul curgerii pe un profil aerodinamic. Practic, se aplică controlul curgerii pe aripă, un concept derivat din procedura convențională de suflare și prelevare dezvoltată pentru a crește portanța unui profil aerodinamic.

Aici au fost vizate două obiective majore: 1) investigarea a trei soluții constructive de bord de fugă cu jeturi de suflare care să urmărească minimizarea stall-ului și creșterea portanței: cu fantă și bord de fugă cilindric, cu fantă, bord de fugă cilindric și un canal îngust tăiat cu o dimensiune egală cu jumătatea fantei și o a treia configurație care implică o clapetă suflată; 2) studierea influenței locației fantei asupra creșterii portanței.

În al treilea rând, scopul acestui capitol este de a efectua o simulare numerică pe un winglet reglabil pentru a vedea îmbunătățirile pe care această configurație le poate aduce unui avion de dimensiuni mici.

În cele din urmă, un scop important a fost acela de a determina îmbunătățirile care ar putea fi realizate prin dezvoltarea unui winglet mobil la o aripă de avion de dimensiuni mici, ținând cont doar de efectele aerodinamice (fără a lua în considerare aspectul structural – greutate adăugată datorată componentelor winglet-ului).

În secțiunea „**2.1.2. Analiza turbinelor eoliene cu ax orizontal**” autorul prezintă unele analize ale turbinelor cu ax orizontal luând în considerare rapoartele scăzute ale vitezei la vârful palei, regimuri de incidență maximă/ stall și post-stall/ depășire incidență maximă cu pierderea portanței și utilizarea winglet-ului pentru turbinele eoliene.

În primul rând, se observă că energia eoliană este uriașă, dar, din păcate, turbinele eoliene captează doar o mică parte din această enormă energie verde. În plus, este imposibilă instalarea de turbine eoliene de mai mulți megawați în orașe, deoarece generează mult zgomot și

disconfort. În schimb, este posibilă instalarea micilor turbine eoliene Darrieus și a turbinelor eoliene cu ax orizontal cu rapoarte scăzute ale vitezelor la vârful palei pentru a atenua cât mai mult posibil zgomotul. Din păcate, curgerea în jurul acestei turbine eoliene este destul de complex, deoarece ea are loc la numere Reynolds mici. Prin urmare, această curgere este de obicei un amestec de regimuri laminare, de tranziție și laminare cu desprindere care este foarte greu de simulat din punct de vedere numeric. De obicei, regimurile de tranziție și laminare cu desprindere sunt ignorate. Din acest motiv, această lucrare tratează curgerile laminare și de tranziție pentru a oferi câteva informații în acest domeniu.

În al doilea rând, se prevede că micile turbine eoliene vor juca un rol vital în mediul urban. În timpul funcționării turbinelor eoliene, datorită intervalului extrem de larg al vitezei vântului, unghiul de atac poate atinge valori ridicate și unele regiuni ale palei pot prezenta un comportament specific regimurilor de incidență maximă/ stall și post-stall/ depășire incidență maximă cu pierderea portanței. Această lucrare tratează regimurile de incidență maximă/ stall și post-stall/ depășire incidență maximă cu pierderea portanței, deoarece pot induce vibrații semnificative, oboseală și chiar defecțiunea turbinei eoliene.

În cele din urmă, winglet-urile sunt utilizate în mod obișnuit în aeronave pentru a reduce rezistența indusă și, astfel, costurile cu combustibilul.

În această cercetare se efectuează analiza numerică a două tipuri de winglet-uri: (1) un winglet cu două suprafețe cu o formă predefinită, cu unghiul de așezare variind în raport cu suprafața portantă de referință și (2) un winglet cu trei suprafețe, a cărui poziție este variată față de suprafața de referință. Scopul simulărilor numerice este de a obține o configurație utilă pentru o turbină eoliană cu ax orizontal.

Secțiunea „**2.1.3. Analiza turbinelor eoliene cu ax vertical**” prezintă câteva analize ale turbinelor cu ax vertical cu privire la influența debitului instabil asupra aerodinamicii și aeroacusticii și utilizarea unor soluții precum: un sistem de pale cu configurație biplană pe fiecare braț și un VAWT tip H cu două pale cu pas variabil.

La început, se observă că turbina eoliană Darrieus are unele avantaje față de turbina eoliană cu ax orizontal. În primul rând, raportul vitezei sale la vârful palei este mai mic decât cel al turbinei eoliene cu ax orizontal și, prin urmare, zgomotul său este mai redus, privilegiind amplasarea acestora în apropierea zonelor populate. De asemenea, turbina eoliană Darrieus nu are nevoie de niciun mecanism de orientare în raport cu direcția vântului, spre deosebire de turbina eoliană cu ax orizontal.

În al doilea rând, studiul prezintă influența curgerii nestaționare asupra aerodinamicii și aeroacusticii turbinelor eoliene cu ax vertical prin simulare numerică.

În final, sunt investigate două modele de turbine eoliene cu ax vertical (VAWT): unul care folosește un sistem de pale cu configurație biplană pe fiecare braț și altul care este un VAWT cu două pale de tip H cu pas variabil.

În secțiunea „**2.2. Investigarea sistemelor de portanță mare în tunelul aerodinamic**” autorul prezintă o imagine de ansamblu referitoare la sistemelor de portanță mare în tunelul aerodinamic.

În primul rând, se observă că aeronavele de pasageri moderne necesită sisteme mai eficiente de portanță ridicată sub constrângeri de dimensiune și masă, pentru a obține o eficiență mai mare a consumului de combustibil. Acest lucru poate fi obținut în diferite moduri: prin îmbunătățirea/ menținerea performanței aerodinamice, simplificând în același timp proiectarea mecanică a sistemului de portanță mare mergând la o singură clapă cu fante, sau prin menținerea

complexității și îmbunătățirea performanțelor aerodinamice chiar mai multe etc. Sunt prezentate un model de tunel aerodinamic, o serie de teste, precum și rezultatele și concluziile.

În al doilea rând, studiul urmărește eficiența sistemelor de portanță mare pentru bordul de fugă, care este esențială pentru viitoarele aeronave de transport lung curier, care evoluează în direcția aripilor cu curgere laminară, deoarece acestea trebuie să compenseze performanța scăzută a dispozitivelor bordurilor de atac.

Secțiunea „**2.3. Combustie**” a tezei prezintă o privire de ansamblu asupra undelor de combustie în sistemele CH₄/aer și H₂/aer, motorul rachetă cu combustibil lichid și arderea uleiului de camelină.

Se analizează undele de detonație și deflagrație începând cu ecuațiile conservative unidimensionale Euler și se propune o metodă combinată analitico-numerică pentru arderea supersonică în jurul unui obstacol conic, luând în considerare căldurile specifice variabile cu temperatura. De asemenea, este prezentată performanța motorului rachetă cu combustibil lichid.

În cele din urmă, camelina este potrivită pentru a fi o cultură de biocombustibil, deoarece semințele sale au în mod natural un conținut ridicat de ulei. Procesul de obținere a bio-kerosenului din uleiul de camelină prin hidrotratament este consumator de timp și costisitor, astfel încât se ia în considerare posibilitatea utilizării uleiului de camelină drept combustibil în aplicații terestre. Se studiază și se prezintă și influența variației temperaturii de preîncălzire a combustibilului. În timpul testelor, compoziția gazelor de evacuare și temperatura acestora au fost monitorizate și înregistrate cu ajutorul a două analizoare de gaze.

În secțiunea „**2.4. Studiul caracteristicilor acustice și al jetului ajutajului pentru curgerea prin ajutaje prevăzute cu un număr diferit de chevroane de forme diferite**” candidatul prezintă o imagine de ansamblu referitoare la studiul analitic și numeric al caracteristicilor acustice și al jetului ajutajului pentru curgerea prin ajutaje prevăzute cu un număr diferit de chevroane de forme diferite.

La început este expusă o comparație a parametrilor curgerii: viteză, temperatură, presiune, densitate, număr Mach, putere acustică printr-un ajutaj convergent și a caracteristicilor jetului produs de acesta, prin metoda analitică și analiza numerică folosind software-ul ANSYS-Fluent.

De asemenea, este prezentată o simulare numerică efectuată pe un ajutaj de motor turboventilator la scară pentru a evalua influența a două configurații de ajutaje asupra performanței curgerii în timp ce ajutajul este situat la o anumită distanță de sol.

Un alt obiectiv al lucrării este de a prezenta o comparație între diferite tipuri de chevroane și influența acestora asupra nivelului puterii acustice radiate de curgerea peste acestea, în 2D.

Apoi, acest capitol conține o mică parte de noțiuni despre chevron și procesul care ajută la reducerea poluării acustice. Pe baza parametrilor geometrici și ai dinamicii gazelor ai unui motor turboreactor simplu flux, se realizează un model de procesare a datelor CFD. În acest proces se observă influența chevroanelor asupra intensității undei acustice produse de jet. Au fost dezvoltate o serie de teste pe chevroane cu șase lobi: diferite tipuri de chevroane pentru a stabili influența parametrilor geometrici asupra curgerii și asupra acusticii jetului. Apoi a fost prezentată contribuția chevroanelor în reducerea poluării acustice.

Ulterior, autorul a studiat o serie de teste asupra chevroanelor triunghiulare - imersii, influența numărului de chevroane asupra curgerii și asupra acusticii jetului.

Ultimul studiu se referă la reducerea zgomotului motorului turboreactor, în special a zgomotului jetului produs de un microturboreactor. Sunt prezentate rezultatele campaniei de măsurare urmate de o analiză a performanțelor care se bazează pe datele măsurate de bancul de probă. În cadrul testelor, pe lângă ajutorul de bază, au fost testate și evaluate alte două ajutăje cu chevroane. Primul tip de ajutoraj este prevăzut cu opt chevroane triunghiulare, lungimea chevroanelor fiind de $l = 10$ procente din diametrul echivalent și un unghi de imersie de $I = 0$ grade. Pentru al doilea ajutoraj s-au menținut lungimea și unghiul de imersie, doar numărul chevroanelor a fost crescut la 16. Micromotorul turboreactor a fost testat la patru regimuri diferite de turație. În ceea ce privește zgomotul, s-a concluzionat faptul că la regimuri de turație joasă zgomotul nu se reduce prin utilizarea chevroanelor, în timp ce la regimuri de turații înalte s-a obținut o reducere totală a acestuia cu 2-3 dB(A). În ceea ce privește performanțele motorului, s-a obținut o scădere a temperaturii la intrarea în turbina, a raportului de comprimare și a debitului de aer de admisie și de combustibil și, de asemenea, o scădere cu câteva procente a forței de propulsie.

Secțiunea „2.5. *Calcul de rezistență și vibrație a unei camere cu detonație pulsatorie (PDC)*” furnizează rezultatele și criteriile de optimizare pentru analiza de rezistență și vibrații a unei camere de ardere cu detonație pulsatorie.

Motoarele cu detonație pulsatorie funcționează similar cu pulsoreactoarele, diferența majoră fiind prezentă în mecanismul de ardere. Având detonație, în loc de arderea convențională, acestea vin cu anumite beneficii, dar și cu câteva probleme majore care vor fi abordate în această lucrare. Aceste modificări vin ca urmare a creșterii cantității de energie eliberate de procesul exploziv, cu viteze și temperaturi ale fluidului mult mai mari care le depășesc cu ușurință pe cele ale motoarelor convenționale. Aceste valori ridicate ale parametrilor termodinamici se dovedesc a fi o provocare tehnologică dură atunci când vine vorba de producerea acestui tip de motoare, astfel că această lucrare își propune să analizeze evoluția acestor parametri pe parcursul unui ciclu de lucru al motorului TIDE și modul în care este afectată structura internă a camerei de detonație. Partea finală a acestui capitol prezintă criteriile de optimizare pentru a reduce încărcările generate de detonațiile pulsatorii.

În secțiunea „2.6. *Sistem de control automat pentru bancul de probă al turbinelor cu gaz*” autorul descrie un sistem destinat monitorizării comenzii și controlului în siguranță a condițiilor de lucru prin automatizarea completă a tuturor funcțiilor de comandă ale unei turbine cu gaz. Sistemul este potrivit pentru toate seriile de aplicații care implică turbine cu gaz, oferind de asemenea o scădere a costurilor de exploatare și întreținere.

Partea a treia a tezei expune planurile de dezvoltare a activităților științifice, profesionale și academice.