

13. Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anul 2025 (Anexa 2)

Cifra proiectului: 25.80013.5007.59RO MD

Denumirea Proiectului: Analiza performanței aerodinamice și reducerea zgomotului pentru profiluri aerodinamice utilizând controlul pasiv al fluxului prin plăci perforate și bord de fugă zimțat.

Rezumat

Activitățile de documentare, analiză și fundamentare teoretică au urmărit stabilirea unui cadru complet pentru evaluarea performanțelor aerodinamice ale profilurilor de aripă dotate cu soluții de control pasiv al fluxului, precum plăcile perforate și marginile posterioare zimțate.

Revizuirea literaturii internaționale a evidențiat evoluția conceptelor de la abordările clasice de control al fluxului laminar și de întârziere a separării până la tehnicile contemporane care vizează modificarea pasivă a câmpurilor turbulente și reducerea zgomotului aeroacustic. Un număr semnificativ de studii experimentale și numerice arată că perforațiile distribuite adaptiv pot diminua intensitatea vortexurilor marginale, pot uniformiza gradientul de presiune și pot îmbunătăți controlul stratului limită, în timp ce marginile zimțate contribuie la dispersia energiei acustice și la reducerea interacțiunilor vorticale de la bordul de fugă.

Analiza bazelor de date clasice și moderne (*NACA*, *S-series*, *Epler*, *UIUC*, *NREL/DU*) a permis selectarea unui set de profiluri relevante pentru aplicațiile vizate: turbine eoliene, elici de aeronave și rotoare cu solicitări complexe. Pe această bază, au fost definite condițiile operaționale reprezentative, incluzând numere *Reynolds* și *Mach* specifice, precum și intervale de incidență caracteristice regimurilor de funcționare în sarcină nominală și parțială. A fost stabilit un profil de referință care va constitui punctul de pornire pentru simulările ulterioare și pentru analiza influenței soluțiilor pasive.

În paralel, a fost realizată o evaluare a tehnicilor de prototipare la scară mică utilizate în studiile recente: imprimare 3D de înaltă rezoluție pentru generarea rapidă de geometrii, matrițe CNC pentru reproducerea exactă a profilurilor compozite, precum și tehnologii de micro-perforație cu laser sau jet de apă. Revizuirea brevetelor și articolelor dedicate creșterii rezistenței structurale a aripilor și elicelor a evidențiat direcții precum utilizarea materialelor compozite hibride, optimizarea formelor pentru reducerea fenomenelor de oboseală și integrarea elementelor flexibile capabile să atenueze solicitările dinamice.

Un accent deosebit a fost pus pe fundamentarea metodelor de modelare 3D și simulare numerică. Procedurile curente de generare a rețelelor (nestructurate și hibride, cu rafinare pe stratul limită), modelele avansate de turbulență (*SST $k-\omega$* , *DES*, *LES*), precum și strategiile de cuplare fluid-structură au fost analizate critic pentru a identifica parametrii de configurare adecvați. Aceste aspecte au permis definirea unui model de referință robust, incluzând geometria inițială, condițiile de frontieră, criteriile de stabilitate numerică și indicatorii de performanță utilizați în evaluare (coeficienți aerodinamici, câmpuri de presiune, distribuții de vorticitate).

Prin agregarea tuturor rezultatelor, etapa de documentare oferă o bază solidă pentru dezvoltarea unei metodologii integrate de optimizare a profilurilor aerodinamice cu control pasiv al fluxului. Această fundamentare susține în mod direct etapele următoare de simulare, optimizare parametrică și validare experimentală, contribuind la elaborarea unor soluții eficiente pentru aplicații în domeniul aeronauticii și al turbinelor eoliene.

Summary

The documentation, analysis, and theoretical groundwork undertaken in this stage aimed to establish a comprehensive framework for evaluating the aerodynamic performance of airfoil profiluris equipped with passive flow-control concepts such as perforated surface plates and serrated trailing edges. The international literature review highlighted the evolution from classical laminar-flow control and separation-delay strategies to contemporary approaches focused on passive manipulation of turbulence structures and aeroacoustic noise mitigation. Numerous experimental and numerical studies demonstrate that adaptively distributed perforations can weaken trailing-edge vortices, smooth pressure gradients, and improve boundary-layer stability, while serrated edges promote acoustic energy diffusion and reduce vortex-interaction noise.

An extensive review of major airfoil databases (NACA, S-series, Epler, UIUC, NREL/DU) enabled the selection of a representative set of profiluris suitable for wind-turbine blades, aircraft propellers, and rotor systems operating under complex loading. Based on this assessment, representative operational conditions were defined, including relevant Reynolds and Mach numbers along with typical angles of attack corresponding to nominal and partial-load regimes. A suitable baseline airfoil was established as a reference for upcoming simulations and comparative analyses.

In parallel, recent prototyping techniques for small-scale aerodynamic models were evaluated. These include high-resolution 3D printing for rapid geometry production, CNC-machined molds for accurate composite fabrication, and micro-perforation technologies such as laser drilling and water-jet machining. The review of patents and research articles related to structural enhancement of wings and propellers revealed trends such as the adoption of hybrid composite reinforcements, shape optimization for improved fatigue resistance, and the integration of flexible or adaptive elements capable of mitigating dynamic loads.

Significant emphasis was placed on consolidating the theoretical foundation for 3D modelling and numerical simulation. Current practices in mesh generation (unstructured and hybrid grids with boundary-layer refinement), advanced turbulence models (SST $k-\omega$, DES, LES), and aero-structural coupling methods were critically analyzed to determine the most suitable numerical configuration. These findings supported the definition of a robust reference model that includes the initial geometry, boundary conditions, numerical-stability criteria, and the performance metrics used for evaluation (aerodynamic coefficients, pressure fields, vorticity distributions).

By consolidating the outcomes of all activities, this documentation stage provides a solid basis for developing an integrated methodology dedicated to the optimization of airfoil profiluris featuring passive flow-control devices. The theoretical foundation developed here directly supports the forthcoming stages of advanced numerical simulation, parametric optimization, and experimental validation, ultimately contributing to the creation of efficient aerodynamic solutions for modern aeronautical and wind-energy applications.

Conducătorul de proiect

Data: 04.12.2025

L.Ş.

