

# Akustyka: Aero-akustyka wirnika śmigłowca (AKU-H)

## Krótki opis usługi

Usługa "Akustyka: Aero-akustyka wirnika śmigłowca (AKU-H)" skoncentrowana jest na numerycznej detekcji źródeł hałasu związanych z pracą wirnika nośnego śmigłowca w warunkach zawisu. W szybkim locie postępowym, lub w zawisie z dużą prędkością obrotową, na końcówce łopaty powstają lokalne obszary naddźwiękowe zakończone silnymi falami uderzeniowymi, których cykliczny ruch w przestrzeni generuje impulsy ciśnienia akustycznego o wysokim natężeniu rozchodzące się w płaszczyźnie wirnika na duże odległości. Niestacjonarne zachowanie fal uderzeniowych oraz ich wpływ na warstwę przyścienną i oderwanie generuje silne impulsy akustyczne, które odbierane są przez ucho ludzkie jako intensywny hałas i nazywane wysoko-prędkościowym hałasem impulsowym HSI (ang. High-Speed Impulsive noise). Obecny rozwój nowoczesnych metod numerycznych oraz zastosowanie wieloprocesorowych obliczeń równoległych i superkomputerów umożliwiają z dobrym przybliżeniem przewidywanie charakterystyk pól przepływowych. Określenie na tej podstawie widma generowanego hałasu (aero-akustyka) jest trudne i stanowi odrębną tematykę badawczą.

Zestaw narzędzi analizy zjawiska wysoko-prędkościowego hałasu impulsowego HSI o akronimie AKU-H bazuje na udostępnionym w Infrastrukturze PL-Grid oprogramowaniu komercyjnym Obliczeniowej Dynamiki Płynów (CFD) firmy Numeca Int. (pakiet Fine/Turbo) oraz Tecplot, Inc. (pakiet Tecplot 360). Usługa polega na zintegrowaniu i zautomatyzowaniu wszystkich etapów tworzenia modelu numerycznego (budowy geometrii i siatki obliczeniowej), przeprowadzenia czasochłonnych obliczeń równoległych z wykorzystaniem klastrów HPC (przepływ) oraz obróbki wyników symulacji przepływu i detekcji źródeł hałasu (raportowanie) w jednym narzędziu numerycznym. Zadanie obliczeniowe rozpoczyna się od analizy numerycznej pola przepływu metodami CFD dzielącej się na trzy podstawowe etapy: przygotowanie modelu (pre-processing), rozwiązanie zagadnienia (processing) oraz obróbkę wyników symulacji (post-processing). Na etapie budowy modelu tworzona jest strukturalna siatka numeryczna służąca do przybliżonego rozwiązania nieliniowego układu równań Eulera (przepływ nielepki). Na etapie wyznaczania pola przepływu rozwiązywany jest odpowiedni układ równań dynamiki płynów. W przybliżeniu 1 milion objętości kontrolnych siatki numerycznej wymaga ok. 1 GB pamięci operacyjnej RAM (dla wirnika śmigłowca siatka obliczeniowa zawiera od 5 do 10 milionów objętości kontrolnych na łopate). Rozwiązanie układu równań dynamiki płynów jest bardzo wymagające sprzętowo i czasowo (obliczenia równoległe mogą trwać kilka dni). Ostateczna obróbka danych wynikowych symulacji przepływowej wymaga specjalnych narzędzi pomocnych w interpretacji uzyskanych wyników numerycznych. Uzyskanie widma generowanego hałasu przez źródła aerodynamiczne dokonywane jest również na etapie obróbki wyników symulacji przepływowej.

Każdy ze wspomnianych etapów analizy jest czasochłonny i stanowi wyzwanie z punktu widzenia modelowania. Udostępnienie automatycznych narzędzi AKU-H pozwala na około dziesięciokrotne skrócenie czasu szkolenia, realizacji symulacji i tworzenia raportu z obliczeń numerycznych CFD opływu wirnika śmigłowca w warunkach zawisu oraz równoległą ocenę generowanego hałasu przy zachowaniu niskiego poziomu komplikacji i zwiększonej efektywności wykorzystania zasobów.

## Aktywowanie usługi

W celu uzyskania dostępu do usługi "Akustyka: Aero-akustyka wirnika śmigłowca (AKU-H)" należy:

1. posiadać aktywne konto w portalu PL-Grid (zakładanie konta w portalu PL-Grid)
2. zalogować się do portalu PL-Grid (<https://portal.plgrid.pl>)
3. przejść do Katalogu Aplikacji i Usług (<https://aplikacje.plgrid.pl/>)
4. wyszukać usługę AKU-H i kliknąć w link "Aplikuj"
5. upewnić się, że usługa nadrzędna "Lokalny dostęp do klastrów TASK" jest aktywna
6. przejść do zakładki Granty w portalu PL-Grid
7. upewnić się, że na liście grantów użytkownika istnieje chociaż jeden grant o statusie "aktywny" dla centrum obliczeniowego TASK w Gdańsku

Usługa AKU-H jest automatycznie aktywowana bez podawania motywacji.

## Ograniczenia w korzystaniu

Ze względu na ograniczenia licencyjne usługa AKU-H dostępna jest tylko w ośrodku obliczeniowym TASK w Gdańsku. Dla zapewnienia funkcjonalności usług obliczeniowych platformy dziedzicznej: Akustyka (AKU-H, AERO-H i AERO-T) przeznaczono dwie licencje na oprogramowanie komercyjne firmy Numeca (Fine/Turbo). Oznacza to, że równoległe mogą być uruchomione dwie analizy numeryczne spośród wyżej wspomnianych, każda do maksymalnie 16 procesów obliczeniowych na klastrze. Oprogramowanie uzupełnione jest przez jedną licencję na oprogramowanie komercyjne firmy Tecplot, Inc. (Tecplot 360) służące do obróbki wyników symulacji.

## Pierwsze kroki

Po aktywowaniu usługi "Akustyka: Aero-akustyka wirnika śmigłowca (AKU-H)" w portalu należy pobrać archiwum o nazwie **AKU-H.tar.gz** z katalogu /home/plgrid-groups/plgg-aku-h/AKU-H położonego w systemie plików dostępnym na klastrze obliczeniowym Tryton w Centrum Informatycznym TASK w Gdańsku. Po rozpakowaniu archiwum tworzony jest nowy folder usługi o nazwie **AKU-H** zawierający następującą strukturę katalogów:

1. plik AKU-H.batch - główny skrypt uruchamialny usługi AKU-H
2. katalog bin - katalog zawierający skrypt czyszczący "clean\_all"
3. katalog DOC - katalog zawierający dokumentację usługi oraz pakietów Fine/Turbo i Tecplot 360
4. katalog INPUT - katalog zawierający skrypt INPUT\_user\_parameters.py definiujący wspólne parametry wejściowe analizy
5. katalog STEP1-PRE - katalog zawierający zestaw skryptów generujących siatkę obliczeniową wraz z ustawieniem warunków brzegowych (pakiet Fine/Turbo, IGG)
6. katalog STEP2-SOLV - katalog zawierający zestaw skryptów tworzących projekt numeryczny (pakiet Fine/Turbo, Fine) dla kodu obliczeniowego Euranus (pakiet Fine/Turbo)
7. katalog STEP3-RUN - katalog zawierający skrypt RUN.sh uruchamiający symulację kodem Euranus (pakiet Fine/Turbo)
8. katalog STEP4-POST - katalog zawierający zestaw skryptów służących do obróbki wyników symulacji (Tecplot 360) oraz katalog FIGURES z wizualizacjami graficznymi wyników symulacji

**UWAGA!** Po rozpakowaniu archiwum AKU-H.tar.gz usługa jest wstępnie pre-konfigurowana dla symulacji numerycznej impulsów ciśnienia akustycznego generowanych przez dwułopatowy wirnik modelowy o przekroju NACA 0012 pochodzący z publikacji T. W. Purcella (NASA) [1]. Pierwsze uruchomienie usługi jest zalecane dla tej konfiguracji. Inne wirniki śmigłowcowe mogą być symulowane poprzez zmianę wspólnych parametrów wejściowych analizy znajdujących się w pliku INPUT\_user\_parameters.py położonym w katalogu INPUT usługi.

Na wstępie głównego skryptu uruchamialnego usługi AKU-H.batch znajdują się parametry niezbędne dla systemu kolejkowego PBS, które należy dostosować (np. liczba węzłów, procesów, czas symulacji, nazwa kolejki, nazwa zadania, nazwa grantu, etc.). Analizę numeryczną uruchamia się poleceniem "qsub AKU-H.batch".

Wynikiem działania usługi jest utworzenie plików siatki obliczeniowej (grid.\*) w katalogu STEP1-PRE/GRID, projektu numerycznego Purcell\_rotor.iec w katalogu STEP2-SOLV/PROJECTS/Purcell\_rotor wraz z rozwiązaniem pola przepływu w katalogu STEP2-SOLV/PROJECTS/Purcell\_rotor/Purcell\_rotor\_computation\_1. Ostatecznie wyniki końcowych analiz akustycznych są zawarte w folderze STEP4-POST/FIGURES w formie wizualizacji zapisanych w formacie graficznym .tif:

1. plik topology.tif - zawiera widoki topologii siatki numerycznej (całość oraz zbliżenie łopaty wirnika)
2. plik grid.tif - zawiera widoki siatki numerycznej (całość oraz zbliżenie łopaty wirnika)
3. plik c-grid.tif - zawiera widok siatki numerycznej w przekroju poprzecznym łopaty  $r/R = 0.80$  (w 80% promienia) wirnika
4. plik sonic\_front.tif - zawiera widok od strony krawędzi natarcia powierzchni względnej liczby Macha  $Ma = 1.0$  w pobliżu końcówki łopaty wirnika
5. plik sonic\_top.tif - zawiera widok z góry powierzchni względnej liczby Macha  $Ma = 1.0$  w pobliżu końcówki łopaty wirnika
6. plik pprime.tif - zawiera przebieg ciśnienia akustycznego w wybranym punkcie w pobliżu końcówki łopaty wirnika wraz z określeniem całkowitego poziomu ciśnienia akustycznego OASPL dB
7. plik pprime\_spectrum.tif - zawiera wynik analizy Fourier'a (spektrum) zarejestrowanego przebiegu ciśnienia akustycznego w wybranym punkcie w pobliżu końcówki łopaty wirnika wraz z określeniem całkowitego poziomu ciśnienia akustycznego OASPL dB

[1] Purcell T. W. CFD and transonic helicopter sound. Proceedings of the 14<sup>th</sup> European Rotorcraft Forum, Milano, Italy, 1988

## Zaawansowane użycie

Specyfikację parametrów wejściowych analizy w pliku INPUT\_user\_parameters.py można uzupełnić poprzez modyfikację dodatkowych parametrów wejściowych zdefiniowanych w:

1. STEP1-PRE/PRE\_parameters.py - skrypt kontrolujący generację siatki obliczeniowej
2. STEP2-SOLV/SOLV\_parameters.py - skrypt kontrolujący tworzenie projektu numerycznego
3. STEP4-POST/POST\_parameters.py - skrypt kontrolujący tworzenie wizualizacji wyników symulacji

## Rozwój usługi

Obecnie funkcjonalność usługi "Akustyka: Aero-akustyka wirnika śmigłowca (AKU-H)" jest pełna, ale ograniczona do dwułopatowych wirników nośnych opartych na profilu lotniczym NACA 0012. Planowana jest rozbudowa o nowe funkcjonalności, takie jak:

1. uwzględnienie innych profili lotniczych przekroju łopat (np. rodzin NACA, ILH, OLS, etc.)
2. uwzględnienie skrzywienia geometrycznego łopat
3. uwzględnienie innych, złożonych geometrycznie wirników nośnych (np. śmigłowców AH-1, 7AD, UH-60A, PZL W-3, etc.)
4. uwzględnienie innych kształtów końcówek łopat
5. wykorzystanie schematów numerycznych wyższego rzędu w celu ograniczenia dyssypacji numerycznej i dyfuzyjności struktur wirowych w śladzie wirnika oraz polepszenia rozwiązania w rejonie fal uderzeniowych generowanych na końcówkach łopat
6. uwzględnienie warunków lotu postępowego

## Gdzie szukać dalszych informacji?

Więcej informacji na temat usługi "Akustyka: Aero-akustyka wirnika śmigłowca (AKU-H)" można znaleźć w artykule opublikowanym przez wydawnictwo Springer [2].

[2] Doerffer P., Szulc O., Tejero F. E., Martinez J. S. Aerodynamic and aero-acoustic analysis of helicopter rotor blades in hover. eScience on Distributed Computing Infrastructure, Lecture Notes in Computer Science Volume 8500, Springer, 2014

Pytania odnośnie działania usługi "Akustyka: Aero-akustyka wirnika śmigłowca (AKU-H)" proszę zadawać poprzez system Helpdesk i kolejkę "Aeroakustyka".

- [Strony pomocy dla użytkowników PL-Grid](#)