

Akustyka: Aerodynamika turbiny wiatrowej (AERO-T)

Krótki opis usługi

Usługa **"Akustyka: Aerodynamika wirnika turbiny wiatrowej (AERO-T)"** ułatwia prowadzenie analiz numerycznych pola przepływowego związanego z pracą turbiny wiatrowej o osi poziomej. Obecny rozwój nowoczesnych metod numerycznych oraz zastosowanie wieloprocesorowych obliczeń równoległych i superkomputerów umożliwiają z dobrym przybliżeniem przewidywanie charakterystyk pól przepływowych generowanych przez turbiny wiatrowe w różnych warunkach pracy, co stanowi główny cel usługi **AERO-T**.

Zestaw narzędzi analizy opływu wirnika turbiny wiatrowej o akronimie **AERO-T** 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 analizy: tworzenia modelu numerycznego (budowy geometrii i siatki obliczeniowej), przeprowadzenia czasochłonnych obliczeń równoległych z wykorzystaniem klastrów HPC (przepływ) oraz obróbki wyników symulacji (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 ważonych masowo uśrednionych równań Naviera-Stokesa (przepływ turbulenty) uzupełnionych o domknięcie Spalarta-Allmarasa. 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 turbiny wiatrowej siatka obliczeniowa zawiera od 7 do 11 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.

Każdy ze wspomnianych etapów analizy jest czasochłonny i stanowi wyzwanie z punktu widzenia modelowania. Udostępnienie automatycznych narzędzi **AERO-T** pozwala na około dziesięciokrotne skrócenie czasu szkolenia, realizacji symulacji i tworzenia raportu z obliczeń numerycznych CFD opływu wirnika turbiny wiatrowej o osi poziomej przy zachowaniu niskiego poziomu komplikacji i zwiększonej efektywności wykorzystania zasobów.

Aktywowanie usługi

W celu uzyskania dostępu do usługi **"Akustyka: Aerodynamika wirnika turbiny wiatrowej (AERO-T)"** 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 **AERO-T** 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 **AERO-T** jest automatycznie aktywowana bez podawania dodatkowej motywacji.

Ograniczenia w korzystaniu

Ze względu na ograniczenia licencyjne usługa **AERO-T** 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: Aerodynamika wirnika turbiny wiatrowej (AERO-T)"** w portalu należy pobrać archiwum o nazwie **AERO-T.tar.gz** z katalogu **/home/plgrid-groups/plgg-aero-t/AERO-T** 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 **AERO-T** zawierający następującą strukturę katalogów:

1. plik **AERO-T.batch** - główny skrypt uruchamialny usługi **AERO-T**
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 **AERO-T.tar.gz** usługa jest wstępnie pre-konfigurowana dla symulacji numerycznej opływu dwułopatowego wirnika modelowej turbiny wiatrowej NREL pochodzącej z publikacji **Hand M. M., Simms D. A. i in.** (NASA) [1]. Pierwsze uruchomienie usługi jest zalecane dla tej konfiguracji. Inne wirniki turbin wiatrowych 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 **AERO-T.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 AERO-T.batch**".

Wynikiem działania usługi jest utworzenie plików siatki obliczeniowej (**grid.***) w katalogu **STEP1-PRE/GRID**, projektu numerycznego **NREL_rotor.iec** w katalogu **STEP2-SOLV/PROJECTS/NREL_rotor** wraz z rozwiązaniem pola przepływu w katalogu **STEP2-SOLV/PROJECTS/NREL_rotor/NREL_rotor_computation_1**. Ostatecznie wyniki końcowych analiz aerodynamicznych 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 turbiny)
2. plik **c-grid.tif** - zawiera widok siatki numerycznej w przekroju poprzecznym w pobliżu zamocowania łopaty $r/R = 0.25$ (w 25% promienia) wirnika
3. pliki **Cp0_30.tif**, **Cp0_47.tif**, **Cp0_63.tif**, **Cp0_80.tif** i **Cp0_95.tif** - zawierają rozkłady współczynnika ciśnienia w odpowiednich przekrojach poprzecznych łopaty wirnika
4. pliki **Cf&StreamlinesSuctionSide.tif** i **Cf&StreamlinesPressureSide.tif** - zawierają mapy współczynnika tarcia powierzchniowego oraz linie prądu na powierzchni łopaty turbiny
5. plik **qcritterion.tif** - zawiera wizualizację śladu wirnika turbiny w postaci izopowierzchni tzw. kryterium Q pokolorowanego wartością modułu wektora wirowości

[1] Hand M. M., Simms D. A., Fingersh L. J., Jager D. W., Cotrell J. R., Schreck S., Larwood S. M. Unsteady aerodynamics experiment phase VI: wind tunnel test configurations and available data campaigns. National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-500-29955, 2001

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: Aerodynamika wirnika turbiny wiatrowej (AERO-T)**" jest pełna, ale ograniczona do dwułopatowego wirnika turbiny wiatrowej NREL. Planowana jest rozbudowa o nowe funkcjonalności, takie jak:

1. uwzględnienie modyfikacji przez użytkownika podstawowych charakterystyk wirnika: cięciwy, stosunku promienia do cięciwy, kąta natarcia oraz skręcenia geometrycznego łopat
2. uwzględnienie innych profili przekroju łopat
3. uwzględnienie innych, złożonych geometrycznie wirników turbin wiatrowych
4. uwzględnienie innych kształtów końcówek łopat turbin wiatrowych
5. wykorzystanie schematów numerycznych wyższego rzędu w celu ograniczenia dyssypacji numerycznej i dyfuzyjności struktur wirowych w śladzie wirnika

Gdzie szukać dalszych informacji?

Więcej informacji na temat usługi "**Akustyka: Aerodynamika wirnika turbiny wiatrowej (AERO-T)**" będzie można znaleźć w przyjętym do druku artykule [2].

[2] Doerffer P., Martinez J., Szulc O., Tejero F. Aerodynamic analysis of wind turbine rotor blades. TASK Quarterly, 2015

Informacje na temat usług pokrewnych "**Akustyka: Aerodynamika wirnika śmigłowca (AERO-H)**" oraz "**Akustyka: Aero-akustyka wirnika śmigłowca (AKU-H)**" można znaleźć w artykule opublikowanym przez wydawnictwo Springer [3].

[3] 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: Aerodynamika wimika turbiny wiatrowej (AERO-T)**" proszę zadawać poprzez system Helpdesk i kolejkę "Aeroakustyka".

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