

Metoda transformacji Fouriera dla przypadku flatteru łopatk

- 1. Funkcje tutoriala
- 2. Ogólny opis rozwiązywanego problemu
- 3. Uruchamianie CFX-PRE
- 4. Definiowanie przypadku flatter łopatk w CFX-Pre
- 5. Definiowanie transformacji Fouriera dla przypadku flatteru łopatk w CFX-Pre
- 6. Otrzymywanie rozwiązania dla przypadku stacjonarnego (Steady-state case)
- 7. Otrzymywanie rozwiązania przypadku niestacjonarnego wieńca łopatek (Transient blade row)
- 8. Podgląd wyników transformacji Fouriera flatteru łopatk w CFD-Post

1. Funkcje tutoriala

W tym rozdziale nauczysz się o:

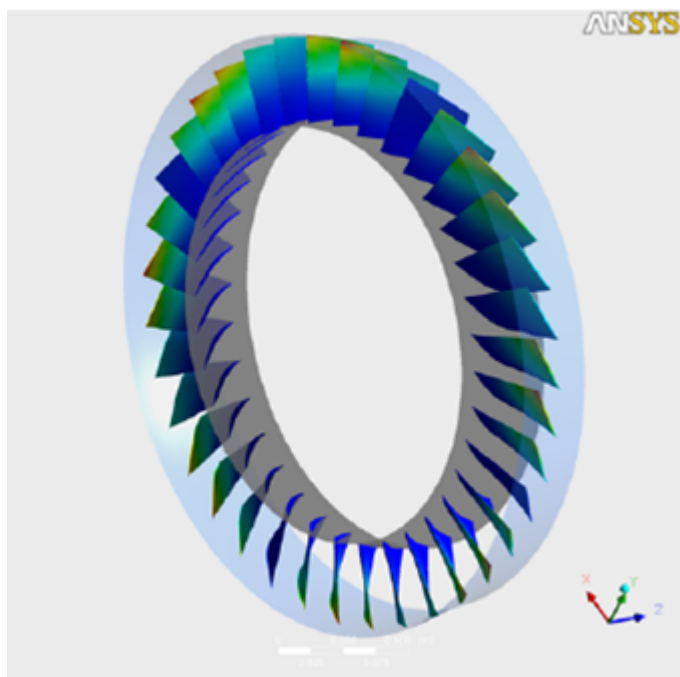
Component	Feature	Details
CFX-Pre	User Mode	General mode
	Analysis Type	Transient Blade Row
	Fluid Type	Air Ideal Gas
	Domain Type	Multiple Domains
		Rotating Frame of Reference
	Turbulence Model	k-Epsilon
	Heat Transfer	Total Energy
	Boundary Conditions	Intlet (Subsonic)
		Outlet(Subsonic)
		Wall (Counter Rotating)
Mesh Motion	Periodic Motion	
	Sliding Mesh	
CFD-Post	Plots	Contour
		Isosurface
		Vectors
		Transient Blade Row Expansion

2. Ogólny opis rozwiązywanego problemu

Celem tej instrukcji jest ustawienie symulacji niestacjonarnego ruchu wieńca łopatek za pomocą transformacji Fouriera jako części modelowania zjawiska drgań samowzbudnych łopatek (flutter). Integralnym krokiem dla modelowania flatteru łopatk są obliczenia współczynnika aerodynamicznego tłumienia jako funkcji możliwych średnic węzłowych (promieniowe linie symetrii po całym obwodzie) dla modelowanego komponentu. Jeśli ilość sekcji w komponencie jest liczbą całkowitą i mnożnikiem średnic węzłów, liczba wymaganych w modelu kanałów łopatkowych o zadanej średnicy węzłów może być istotnie zredukowana poprzez wykorzystanie okresowości warunków brzegowych. Eliminuje to konieczność modelowania całego komponentu/układu. Z użyciem transformacji Fouriera liczba wymaganych kanałów może być utrzymana na poziomie minimalnym, tj. dwóch, dla wszystkich średnic węzłów.

Do zilustrowania podstawowych zasad ustawiania problemu instrukcja ta wykorzystuje sprężarkę osiową, przy prowadzeniu i monitorowaniu obliczeń niestacjonarnego ruchu wieńca łopatek wirnika w CFX. Pełna geometria maszyny składa się z jednego wirnika z 36 łopatkami, podobnie jak na rysunku 36.1: *Single Row Reference Case Containing 36 Blades (strona 736)* pokazanym poniżej:

Rys.1: Pojedynczy rząd łopatek wirnika sprężarki osiowej posiadającego 36 łopatek



Dla niezerowych średnic węzłów istnieje skończony kąt międzyfazowy łopatek (IBPA) pomiędzy sąsiednimi łopatkami. Ta różnica faz pomiędzy łopatkami wyraża się wzorem:

$$IBPA = \frac{2 * \pi}{N_{BL}} ND$$

gdzie liczba łopatek zmienia się w zakresie: $ND=0 \dots N_{BL} - 1$

Poniższa tabela porównuje liczbę kanałów na komponent wymaganą do modelowania zadanej średnicy węzłów z wykorzystaniem okresowości warunków brzegowych lub transformacji Fouriera:

Nodal Diameter	IBPA	Number of Passages per Component to Model	
		Reference Case (Rotational Periodicity)	Fourier Transformations
0	0	1	2
1	10	36	2
2	20	18	2
3	30	12	2
4	40	9	2
5	50	36	2
6	60	6	2
7	70	36	2
8	80	9	2
9	90	4	2

W tej instrukcji będziesz modelować średnicę węzłów (ND – nodal diameter) dla czterech przybliżeń transformacji Fouriera z ograniczeniem do dwóch kanałów. Równoważny model, wykorzystujący okresowość warunków brzegowych (przypadek referencyjny) wymaga dziewięciu kanałów, tj. ¼ obwodu analizowanego wirnika.

Wirnik maszyny obraca się z prędkością kątową 1800 rad/s. Warunki brzegowe dla wlotu są modelowane poprzez zadaną wartość ciśnienia całkowitego (spiętrzenia) i temperatury spiętrzenia w stacjonarnym układzie, dla przyjętego kierunku przepływu w elemencie cylindrycznym. Wylotowy warunek brzegowy jest zadany jako średnie ciśnienie statyczne równe 138 kPa, zróżnicowane jedynie w kierunku promieniowym. Wlotowe warunki brzegowe są wprowadzane z wykorzystaniem pliku o rozszerzeniu .csv.

Wibracja łopatki modelowana jest przez wymuszony ruch okresowy o stałej częstotliwości przy ściśle określonym kącie międzyfazowym. Częstotliwość oraz odkształcenie profilu (postać modalna) są otrzymywane z obliczeń układu cyklicznej symetrii w **ANSYS Mechanical** z użyciem modelu łopatki wyeksportowanego do pliku typu .csv. Dla tego przypadku częstotliwość drgań wynosi 1152,13 Hz, a maksymalne odkształcenie danej postaci modalnej wynosi 0,00129 m. W celu użycia tej zmiany kształtu pojedynczej łopatki do symulacji układu wielołopatkowego, profil musi być powtórzony wokół osi maszyny. Ten powielony profil zawiera numer sektora identyfikujący każdą skopiowaną sekcję z oryginalnego profilu. Numer sektora rośnie zgodnie z regułą prawej dłoni wokół osi maszyny. Numer kanału może być wykorzystany do zadania kierunku zmiany fazy; to znaczy, że może definiować rosnący lub malejący kąt teta (kierunek obwodowy) dla odkształceń.

Dla zamodelowania przesuwania się siatki, u wierzchołków łopatek wykorzystywana jest powierzchnia obrotowa uwzględniająca ruch siatki, a tym samym warunków brzegowych.

Mnożnik kąta fazowego (PAM) ma tą samą wielkość co średnica węzłów (ND), ale ma przeciwny znak. Dodatni PAM wskazuje, że łopatki z wyższym teta przenoszą ruch opóźniony względem innych łopatek o niższej wartości teta. Węzły u powierzchni piasty są zdefiniowane stacjonarnie, podczas gdy węzły powierzchni u wierzchołków mogą podążać za odkształceniem łopatki.

3. Uruchamianie CFX-PRE

1. Przygotuj katalog roboczy z wykorzystaniem następujących plików z folderu examples:

- R37ATM_60k.gtm
- R37_inlet.csv
- R37_model.1p.csv

2. Ustaw katalog roboczy i uruchom **CFX-Pre**.

4. Definiowanie przypadku flutter łopatki w CFX-Pre

Ta sekcja opisuje ustawienia symulacji zagadnienia flatteru łopatki w **CFX-Pre**. Pomimo faktu, że przemieszczenie siatki dla problemu stacjonarnego jest minimalne, zapoznasz się z użyciem warunków początkowych dla transformacji Fouriera w przypadku flatteru łopatki.

1. W CFX-Pre wybierz **File > New Case**.
2. Wybierz **General** i kliknij **OK**.
3. Wybierz **File > Save Case As**.
4. W polu **File name** wprowadź polecenie `FourierBladeFlutterIni.cfx`.
5. Kliknij **Save**.

4.1 Importowanie siatki (Importing the mesh)

1. W drzewie **Outline** kliknij prawym przyciskiem myszy na Mesh i wybierz **Import Mesh > CFX Mesh**. Pojawia się okno dialogowe **Import Mesh**.
2. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Setting	Value
File name	R37ATM_60k.gtm

3. Kliknij **Open**.
Plik ten zawiera siatkę dla pojedynczego kanału. Metoda transformacji Fouriera wymaga dwóch kanałów międzyłopatkowych dla dowolnej liczby IBPA.
4. Kliknij prawym przyciskiem myszy na R37ATM_60k.gtm pod **Outline > Mesh**, następnie wybierz **Transform Mesh** (przekształć siatkę).
5. Pod **Mesh Transformation Editor** wybierz **Transformation > Turbo Rotation**.
6. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Setting	Value
Rotation Option	Principal Axis
Axis	Z

Setting	Value
Passages per Mesh	1
Passages to Model	2
Passages in 360	36

7. Kliknij **Apply** i zamknij okno dialogowe **Mesh Transformation Editor**.

4.2 Rozszerzanie danych profilu (Expanding profile data)

Profil opisujący częstotliwość i kształt modalny jej drgań dla jednej łopatki jest załączony do tej instrukcji. Jeśli modelujemy więcej niż jedną łopatkę, profil ten musi być rozbudowany zanim będzie zainicjowany i użyty do specyfikacji warunków brzegowych.

1. Wybierz **Tools > Expand Profile Data**.
2. Pod **Data File to Expand** kliknij *Browse*.
3. Z twojego katalogu roboczego wybierz R37_model_1p.csv.
4. Pod **Write to Profile** wprowadź R37_model_36p.csv.
5. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Section	Setting	Value
Passage Definition	Passages in Profile	1
	Passages in 360	36
	Rotation Axis	Global Z

kliknij **OK**

4.3 Inicjalizacja danych profilu (Initializing profile data)

Funkcje napływu (inflow) i **mode1** są zdefiniowane przy pomocy profili znajdujących się w pliku .csv dostarczonym z tą instrukcją. Dane profilu muszą zostać zainicjowane zanim będą one użyte dla potrzeb funkcji napływu i mode1.

1. Wybierz **Tools > Initialize Profile Data**.
2. Pod **Data File** kliknij *Browse*.
3. Z katalogu roboczego wybierz R37_inlet.csv.
4. Kliknij **Open**.
5. Kliknij **Apply**.

Warunki napływu są wczytane do pamięci roboczej.

1. Pod **Data File** kliknij *Browse*.
2. Z katalogu roboczego wybierz R37_model_36p.csv.
3. Kliknij **Open**.
4. Kliknij **OK**.

4.4 Tworzenie domeny (Creating the domain)

Domena płynu używana dla tej symulacji zawiera powietrze, jako gaz idealny. W związku z tym musisz również ustawić ruch siatki dla łopatek.

1. Wybierz **Insert > Domain** z głównego menu.
2. W oknie dialogowym **Insert Domain** wprowadź R1.
3. Kliknij **OK**, aby stworzyć nową domenę.
4. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Location and Type	Entire Rotor Passage
	> Location	
	Fluids and Particle Definitions...	Air Ideal GasDomain Models

> Fluid 1	
> Material	
Domain Models > Reference Pressure	0 [Pa]
Domain Models >Domain Motion >Option	Rotating
Domain Models >Domain Motion >Angular Velocity	-1800 [radians s ⁻¹]
Domain Models > Domain Motion > Alternate Rotation Model	(Selected)
Domain Models > Mesh Deformation > Option	Regions of Motion Specified
Domain Models > Mesh Deformation > Displacement Relative To	Initial Mesh
Domain Models > Mesh Deformation > Mesh Motion Model > Option	Displacement Diffusion
Domain Models > Mesh Deformation > Mesh Motion Model > Mesh Stiffness > Option	Value
Domain Models	1 [m ² s ⁻¹]*(1.0E-6 [m ³] / Volume of Finite Volumes) ²

	<ul style="list-style-type: none"> > Mesh Deformation > Mesh Motion Model > Mesh Stiffness 	[2] [3]
Fluid Models	<ul style="list-style-type: none"> Heat Transfer > Option 	Total Energy

1. Zauważ, że ujemna wartość prędkości kątowej jest używana ze względu na obrót maszyny zgodnie z ruchem wskazówce zegara względem osi obrotu.
2. Wyrażenie dla sztywności siatki oparte na wielkości objętości kontrolnej jest wprowadzone w celu **poprawy odporności siatki na płynność algorytmów siatki**.
3. Kliknij ikon *Enter Expression*, aby określi wyrażenie CEL

Kliknij OK

4.5 Tworzenie granic

4.5.1 Granica wlotu

1. Utwórz nową granicę nazwaną R1 Inlet.
2. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Boundary Type	Inlet
	Location	Entire Rotor IN-FLOW
	Frame Type	Stationary
	Profile Boundary Conditions	(Selected)
	> Use Profile Data	
	Profile Boundary Conditions	Inflow
	> Profile Boundary Setup	
	> Profile Name	

3. Kliknij **Generate Values**.

4. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Boundary Details	Mesh Motion	Stationary
	> Option	
	Mass and Momentum	Stat. Frame Tot. Press.
	> Option	
	Mass and Momentum	Inflow.Total Pressure(r) ^[1]

> Relative Pressure	
Flow Direction	Cylindrical Component
> Option	
Flow Direction	Inflow.Velocity Axial(r) ^[1]
> Axial Component	
Flow Direction	Inflow.Velocity Radial(r) ^[1]
> Radial Component	
Flow Direction	Inflow.Velocity Circumferential(r) ^[1]
> Theta Component	
Flow Direction	Medium (Intensity = 5%)
> Theta Component	
Heat Transfer	Stat. Frame Total Temp.
> Option	
Heat Transfer	Inflow.Total Temperature(r) ^[1]
> Stat. Frame Total Temp.	

5. Kliknij ikonę *Enter Expression*, aby określić wyrażenie CEL.

6. Kliknij **OK**.

4.5.2 Granica wylotu

1. Stwórz nową granicę nazwaną R1 Outlet.
2. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Boundary Type	Outlet
	Location	Entire Rotor OUTFLOW
	Frame Type	Stationary
Boundary Details	Mesh Motion > Option	Stationary
	Mass and Momentum > Option	Average Static Pressure
	Mass and Momentum > Relative Pressure	138 [kPa]
	Mass and Momentum > Pres. Profile Blend	1

	Pressure Averaging > Option	Radial Equilibrium
	Pressure Averaging > Radial Reference Position > Option	Specified Radius
	Pressure Averaging > Radial Reference Position > Specified Radius	0.215699 [m]

3. Kliknij **OK**.

4.5.3 Granica na ściankach

Piasta wirnika (hub) i obudowa zewnętrzna (shroud) oraz łopatka w obszarze płynu wymagają określenia brzegu w postaci ścianki.

1. Stwórz nową granicę nazwaną R1 Hub.
2. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Basic Settings	Wall
	Location	Entire Rotor HUB
	Frame Type	Rotating
Boundary Details	Mesh Motion > Option	Stationary

3. Kliknij **OK**.
4. Stwórz nową granicę nazwaną R1 Shroud.
5. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Boundary Type	Wall
	Location	Entire Rotor BLADE
	Frame Type	Rotating
	Profile Boundary Conditions	(Selected)
	> Use Profile Data	
	Profile Boundary Conditions > Profile Boundary Setup > Profile Name	mode1
Boundary Details	Mesh Motion > Option	Stationary

6. Kliknij **OK**.
7. Utwórz nową granicę nazwaną R1 Blade.
8. Skonfiguruj następnie ustawienia:

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Boundary Type	Wall
	Location	Entire Rotor BLADE

	Frame Type	Rotating
	Profile Boundary Conditions	(Selected)
	> Use Profile Data	
	Profile Boundary Conditions	mode1
	> Profile Boundary Setup	
	> Profile Name	
Boundary Details	Mesh Motion	Stationary
	> Option	

9. Kliknij **OK**.

4.6 Tworzenie Interfejsu domeny

Teraz utworzysz parę interfejsów w domenie płyn-płyn wzdłuż szczeliny wierzchołkowej (tip gap) dla każdej łopatki.

1. Kliknij **Insert > Domain Interface** i w wyświetlonym oknie dialogowym ustaw wartość **Name** na R1 Blade Tip Gap.
2. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Interface Type	Fluid Fluid
	Interface Side 1	R1
	> Domain (Filter)	
	Interface Side 1	Rotor SHROUD TIP GGI SIDE 1
	> Region List	
	Interface Side 2	R1
	> Domain (Filter)	
Mesh Connection	Interface Side 2	Rotor SHROUD TIP GGI SIDE 2
	> Region List	
	Interface Models	General Connection
	> Option	
Mesh Connection	Interface Connection Method	GGI
	> Mesh Connection	
	> Option	

3. Kliknij **OK**.
4. Kliknij **Insert > Domain Interface** i w wyświetlonym oknie dialogowym ustaw wartość **Name** na R1 Blade Tip Gap 2.
5. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Interface Type	Fluid Fluid
	Interface Side 1	R1
	> Domain (Filter)	
	Interface Side 1	Rotor SHROUD TIP GGI SIDE 1 2
	> Region List	
	Interface Side 2	R1

	> Domain (Filter)	
	Interface Side 2	Rotor SHROUD TIP GGI SIDE 2 2
	> Region List	
	Interface Models	General Connection
	> Option	
Mesh Connection	Interface Connection Method	GGI
	> Mesh Connection	
	> Option	

6. Kliknij **OK**.

7. Kliknij **Insert > Domain Interface** i w wyświetlonym oknie dialogowym ustaw wartość **Name** na R1 to R1 Periodic.

8. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Interface Type	Fluid Fluid
	Interface Side 1	R1
	> Domain (Filter)	
	Interface Side 1	Rotor PER1
	> Region List	
	Interface Side 2	R1
	> Domain (Filter)	
	Interface Side 2	Rotor PER2
	> Region List	
	Interface Models	Rotational Periodicity
> Option		
Interface Models	Coordinate Axis	
> Axis Definition		
> Option		
Interface Models	Global Z	
> Axis Definition		
> Rotation Axis		
Mesh Connection	Interface Connection Method	GGI
	> Mesh Connection	
	> Option	

9. Kliknij **OK**.

W odniesieniu do dwóch interfejsów płyn-płyn, metoda transformacji Fouriera wymaga interfejsu domeny pomiędzy dwoma kanałami. Ta metoda interfejsu będzie użyta przez transformację Fouriera do zebrania informacji o przepływie. Dane będą przeniesione z powrotem do okresowych warunków na brzegach z odpowiednim opóźnieniem czasowym.

Uwaga

Okresowe i przykładowe interfejsy muszą korzystać z połączenia siatki GGI

10. Kliknij **Insert > Domain Interface** i w wyświetlonym oknie dialogowym ustaw wartość **Name** na R1 Sampling Interface.

11. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Interface Type	Fluid Fluid
	Interface Side 1	R1
	> Domain (Filter)	
	Interface Side 1	Rotor PER2
	> Region List	
	Interface Side 2	R1
	> Domain (Filter)	
Mesh Connection	Interface Side 2	Rotor PER1 2
	> Region List	
	Interface Models	General Connection
	> Option	
Mesh Connection	Interface Connection Method	GGI
	> Mesh Connection	
	> Option	

12. Kliknij OK.

Odwzorowania warunków brzegowych okresowej transformacji Fouriera są związane z ruchem siatki zastosowanym do interfejsu okresowego. Możesz uniknąć tego poprzez zmianę opcji ruchu siatki dla Periodic i Sampling na stacjonarną.

1. W drzewie (Outline Tree) edytuj: R1 to R1 Periodic Side 1, pod: **Flow Analysis 1 > R1**.
2. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Boundary Details	Mesh Motion	Stationary
	> Option	

3. Kliknij OK.
4. Powtórz krok 2 dla następujących deklaracji: R1 to R1 Periodic Side 2, R1 Sampling Interface Side 1, R1 Sampling Interface Side 2.

4.7 Tworzenie pliku solvera CFX-Solver Input (.def) File

1. Kliknij *Write Solver Input File*.
2. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Setting	Value
File Name	FourierBladeFlutterIni.def

3. Kliknij **Save**.
4. Zapisz symulację.

5. Definiowanie transformacji Fouriera dla przypadku flatteru łopatki w CFX-Pre

W tej drugiej części instrukcji będziesz modyfikować symulację stacjonarną z części pierwszej w celu zamodelowania nieustalonego ruchu wieńca łopatek. Wyniki ze stacjonarnej symulacji są użyte jako pierwsze przybliżenie w celu przyspieszenia zbieżności symulacji.

Jeśli masz zamiar rozpocząć symulację automatycznie używając pliku instrukcji tutoriala, uruchom: FourierBladeFlutter.pre. Szczegóły jego uruchamiania znajdziesz na stronie 6: *Playing a Tutorial Session File*. Następnie przejdź do strony 758: *Obtaining a Solution to the Transient Blade Row Case*.

5.1 Otwieranie istniejącego przypadku

Krok ten obejmuje otwarcie oryginalnej symulacji i zapisanie jej pod inną lokalizacją.

1. Jeśli **CFX-Pre** nie jest otwarty, uruchom go.
2. Jeśli oryginalna symulacja nie jest otwarta, otwórz: FourierBladeFlutterInl.cfx.
3. Zapisz ją, jako: FourierBladeFlutter.cfx w katalogu roboczym.

5.2 Modyfikowanie typu analizy

Zmodyfikuj typ analizy w następujący sposób:

1. Edytuj: Analysis Type.
2. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Setting	Value
Analysis Type	Transient Blade Row
> Option	

3. Kliknij **OK**.

5.3 Modyfikowanie domeny

Zmodyfikuj domenę w następujący sposób:

1. Edytuj: R1 w drzewie: **Outline**, pod: **Flow Analysis 1**.
2. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Passage Definition	2
	> Pass. in Component	
	Passage Definition	36
	> Passages in 360	

3. Kliknij **OK**.

5.4 Tworzenie wyrażeń dla częstotliwości i współczynnika skali

Następnym krokiem jest utworzenie wyrażeń definiujących częstotliwość (Frequency), maksymalne przemieszczenie okresowe (Maximum periodic displacement) oraz współczynnik skali (Scaling factor), które będą użyte w definicji brzegów łopatk.

1. Z głównego menu wybierz: **Insert > Expressions, Functions and Variables > Expression**.
2. W oknie dialogowym: **Insert Expression** wprowadź: VibrationFrequency.
3. Kliknij **OK**.
4. Ustaw wartość: **Definition** na poziomie 1152.13 [Hz].
5. Kliknij: **Apply**, aby stworzyć wyrażenie.

Utworzysz wyrażenie definiujące maksymalne przemieszczenie okresowe.

1. Utwórz wyrażenie nazwane: MaxPeriodicDisplacement.
2. Ustaw wartość: **Definition** na: 0.0015 [m].
3. Kliknij **Apply**.

5.5 Modyfikowanie Granicy łopatk R1

1. Edytuj: R1 Blade w drzewie: **Outline**, pod: **Flow Analysis 1**.
2. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Basic Settings	Boundary Type	Wall
	Location	Entire Rotor BLADE
	Frame Type	Rotating
	Profile Boundary Conditions	(Selected)
	> Use Profile Data	
	Profile Boundary Conditions	mode1
	> Profile Boundary Setup	
	> Profile Name	

3. Kliknij: **Generate Values**.

4. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Boundary Details	Mesh Motion	Periodic Displacement
	> Option	
	Mesh Motion	Cartesian Components
	> Periodic Displacement	
	> Option	
	Mesh Motion	mode1.meshdisptot x(Initial X,Initial Y, Initial Z)
	> Periodic Displacement	
	> X Component	
Mesh Motion	mode1.meshdisptot y(Initial X,Initial Y, Initial Z)	
> Periodic Displacement		
> Y Component		
Mesh Motion	mode1.meshdisptot z(Initial X,Initial Y, Initial Z)	
> Periodic Displacement		
> Z Component		
Mesh Motion	VibrationFrequency ^[1]	
> Periodic Displacement		
> Frequency		

Mesh Motion	ScalingFactor [1]
> Periodic Displacement	
> Scaling	
Mesh Motion	Phase Angle Multiplier
> Periodic Displacement	
> Phase Angle	
> Option	
Mesh Motion	4
> Periodic Displacement	
> Phase Angle	
> Phase Angle Multiplier	
Mesh Motion	Mode1.Sector Tag(Initial X,Initial Y,Initial Z)
> Periodic Displacement	
> Phase Angle	
> Passage Number	
1. Kliknij ikonę <i>Enter Expression</i> , aby określić wyrażenie CEL.	

5. Kliknij **OK**.

5.6 Ustawienia nieustalonego modelu wieńca łopatek (Transient blade row model)

W tej sekcji będziesz ustawiać rozwiązanie symulacji z użyciem metody transformacji Fouriera.

1. Stwórz nowy obiekt wieńca łopatek wybierając: **Insert > Transient Blade Row Models** z głównego menu.
2. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Setting	Value
Transient Blade Row Model	Fourier Transformation
> Option	

3. Pod Fourier Transformation kliknij ikonę *Add new item* , zaakceptuj nazwę domyślną i kliknij **OK**.
4. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Setting	Value
Fourier Transformation 1	Blade Flutter
> Option	
Fourier Transformation 1	R1 to R1 Periodic

> Phase Corrected Intf.	
Fourier Transformation 1	R1 Sampling Interface
> Sampling Domain Intf.	
Fourier Transformation 1	R1 Blade
> Blade Boundary	
Transient Details	Value
> Time Period	
> Option	
Transient Details	$1/\text{VibrationFrequency}^{[1]}$
> Time Period	
> Period	
Transient Details	Number of Timesteps per Period
> Time Steps	
> Option	
Transient Details	64 ^[2]
> Time Steps	
> Timesteps/Period	
Transient Details	Number of Periods per Run
> Time Duration	
> Option	
Transient Details	10
> Time Duration	
> Periods per Run	
<p>1. Kliknij ikonę <i>Enter Expression</i> , aby określić wyrażenie CEL.</p> <p>2. Liczba kroków czasowych jest wielokrotnością 2 i wartości mnożnika kąta fazowego (Phase Angle Multiplier). Gwarantuje to, że obie łopatki będą osiągać te same deformacje w przeciągu okresu.</p>	

5. Kliknij OK.

5.7 Ustawienia kontroli danych wyjściowych i tworzenie punktów monitorowania

W tej sekcji będziesz tworzyć punkty monitorowania całkowitych parametrów przepływu i przemieszczeń siatki. Punkty monitorowania dostarczają przydatnych informacji o jakości etapu referencyjnego oraz częstotliwości otrzymanej w wyniku symulacji. Punkty te powinny również służyć kontroli zbieżności i wzorców wypracowanych przez symulację.

Uwaga

- Podczas porównywania wykresu transformacji Fouriera do przypadku referencyjnego upewnij się, że punkty monitorowania w obu przypadkach są umieszczone relatywnie w tej samej lokalizacji względem konfiguracji początkowej.
- Monitorowanie ciśnienia i prędkości dostarcza dane do równania zachowania pędu, podczas gdy monitorowanie temperatury wprowadza dane do równania energii. Punkty monitorowania pomagają sprawdzić poprawność rozwiązywania równań przez solver.

Ustaw solver na wyniki nieustalone, aby przeanalizować narzucone wartości przemieszczeń siatki. Analiza niestacjonarna wieńca łopatek oferuje metodę kompresji Fouriera w celu gromadzenia okresowych danych.

1. Kliknij: *Output Control*.
2. Kliknij etykietę: **Tm Results**.
3. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Setting	Value
Transient Blade Row Result > Extra Output Variables List	(Selected)
Transient Blade Row Results > Extra Output Var. List	Total Pressure, Total Temperature, Total Mesh Displacement, Wall Work Density, Wall Power Density

4. Kliknij: **Apply**.
5. Kliknij etykietę: **Monitor**.

Dla tej symulacji będziesz ustawiać dwa typy punktów monitorowania. Najpierw ustawisz punkty monitorowania dla kontroli zmiennych we właściwych współrzędnych cylindrycznych wewnątrz domeny. Współrzędne cylindryczne są przydatne w aplikacjach dla maszyn wirnikowych, ponieważ pozwalają ulokować punkty monitorowania w relatywnie tym samym położeniu wewnątrz różnych kanałów poprzez zmianę składowej teta przez równoważną podziałkę kanału międzyłopatkowego. Po drugie, punkty monitorowania będą służyć kontroli wartości określanych z równań.

6. Wybierz: **Monitor Objects**.
7. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Setting	Value
Monitor Objects > Monitor Points and Expressions	Create a monitor point named LE1pass1 ^[1]
Monitor Objects > Monitor Points and Expressions > LE1pass1 > Option	Cylindrical Coordinates
Monitor Objects > Monitor Points and Expressions > LE1pass1 > Output Variables List	Pressure, Temperature, Total Pressure, Total Temperature, Velocity, Velocity in Stn Frame ^[2]
Monitor Objects > Monitor Points and Expressions > LE1pass1 > Output Variables List > Cylindrical Coordinates	(0 [m], 0.23 [m], -7.49472 [degree])

1. Aby stworzyć nowy punkt kliknij ikonę *Add new item*, a następnie wprowadź wymaganą nazwę i kliknij **OK**.

2. Kliknij ikonę *Multi-select from extended list* i przytrzymaj klawisz **Ctrl** podczas zaznaczania każdej z wypisanych zmiennych.

8. Kliknij **Apply**.

9. Stwórz dodatkowe punkty monitorowania z tymi samymi zmiennymi wyjściowymi. Nazwy i współrzędne cylindryczne podane są w tabeli:

Setting	Value
LE1pass2	(0 [m], 0.23 [m], 2.50528 [degree])
LE2pass1	(0 [m], 0.23 [m], -2.49472 [degree])
LE2pass2	(0 [m], 0.23 [m], 7.50528 [degree])
TE1pass1	(0 [m], 0.23 [m], -0.011463 [degree])
TE1pass2	(0 [m], 0.23 [m], 9.794967 [degree])
TE2pass1	(0 [m], 0.23 [m], 4.988537 [degree])
TE2pass2	(0 [m], 0.23 [m], 14.794967 [degree])

10. Kliknij: **Apply** na każdym punkcie monitorowania.

11. Utwórz dodatkowe punkty monitorowania z następującymi wyrażeniami:

Setting	Value
Force on Blade	force()@REGION:Rotor BLADE
Force on Blade 2	force()@REGION:Rotor BLADE 2
Max Displ Blade	maxVal(Total Mesh Displacement)@REGION:Rotor BLADE
Max Displ Blade 2	maxVal(Total Mesh Displacement)@REGION:Rotor BLADE 2
Power on Blade	areaInt(Wall Power Density)@REGION:Rotor BLADE
Power on Blade 2	areaInt(Wall Power Density)@REGION:Rotor BLADE 2
Work on Blade	areaInt(Wall Work Density)@REGION:Rotor BLADE
Work on Blade 2	areaInt(Wall Work Density)@REGION:Rotor BLADE 2

12. Kliknij **OK**

5.8 Tworzenie pliku danych solvera CFX-Solver Input (.def) File

1. Kliknij: *Write Solver Input File*.

2. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Setting	Value
File Name	FourierBladeFlutter.def

3. Kliknij **Save**.

6. Otrzymywanie rozwiązania dla przypadku stacjonarnego (Steady-state case)

1. Wybierz: **File > Define Run**.

Wyświetla się okno dialogowe: **Define Run**.

2. Pod: **Solver Input File**, kliknij: *Browse* i wybierz: FourierBladeFlutterIni.def.

3. Wybierz: **Double Precision** (podwójna precyzja).

4. Kliknij: **Start Run**.CFX-Solver uruchamia się i stara się otrzymać rozwiązanie.

Na końcu, po uruchomieniu wyświetla się okno dialogowe informujące o zakończeniu symulacji.

5. Wyczyść zawartość: **Post-Process Results**.

6. Kliknij: **OK**.

7. Otrzymywanie rozwiązania przypadku niestacjonarnego wieńca łopatek (Transient blade row)

Aby zredukować czas symulacji dla analizy flatteru łopatki, symulacja będzie zainicjowana z użyciem przypadku stacjonarnego (Steady-state).

1. Kliknij: **File > Define Run**.
2. Pod: **Solver Input File**, kliknij: *Browse* i wybierz: *FourierBladeFlutter.def*.
3. Wybierz: **Run Definition > Initial Values Specification**.
4. Pod: **Initial Values Specification > Initial Values**, wybierz: *Initial Values 1*.
5. Pod: **Initial Values Specification > Initial Values > Initial Values 1 Settings > File Name**, kliknij: *Browse*.
6. Wybierz *FourierBladeFlutterIni_001.res* z katalogu roboczego.
7. Kliknij **Open**.
8. Ustaw wartość **Initial Values Specification > Use Mesh From** na *Solver Input File*.
9. Wybierz: **Double Precision**.
10. Kliknij: **Start Run**.

CFX-Solver uruchamia się i stara się otrzymać rozwiązanie. Może to zająć dużo czasu w zależności od twojego systemu. Na końcu może się wyświetlać okno dialogowe.

Uwaga

- Zanim rozpocznie się symulacja, w pliku: „Transient Blade Row Post-Processing Information” z rozszerzeniem *.out*, wyświetli zakres kroku czasowego, z którym solver będzie gromadził współczynniki Fouriera. Szczegóły znajdziesz w: *Post-processing Information* zawarte w poradniku: *CFX-Solver Manager User's Guide*.
- Podobnie, podsumowanie: „Fourier Transformation Stability” w pliku typu *.out* wyświetli krok czasowy, z jakim jest aktywowany pełny model transformacji Fouriera.
- Punkty monitorowania o zbliżonych wartościach mogą być grupowane poprzez kliknięcie prawym przyciskiem myszy na etykietę: **User Point**, wybranie: **New Monitor** i kliknięcie: **OK**. W oknie dialogowym: **New Monitor** możesz ustawić nazwę nowego punktu monitorowania i wybrać zmienne jakie chcesz kontrolować w oknie dialogowym: **Monitor Properties**.
- Symulacja powinna być wykonywana do momentu osiągnięcia okresowości wartości punktów monitorowania.

Możesz zaobserwować ewolucję określonych wyrażań. Siły działające na każdą łopatkę mogą zostać wykreślone z uwzględnieniem jej przemieszczenia. W tym celu:

1. Wybierz: **Workspace > New Monitor** i zaakceptuj nazwę domyślną.
2. Pod: **Plot Lines** rozwiń drzewo: **USER POINT** i wybierz: *Work on Blade*.
3. Kliknij: **Apply**.
4. Pod etykietą: **Range Settings** wybierz: *Simulation Time* w sekcji: **Plot Data By**.

To wyświetli historię czasu symulacji pracy na łopatkę 1.

Możesz powtórzyć ten proces dla łopatki 2 poprzez zastąpienie zmiennych: *Work on Blade* deklarując: *Work on Blade 2*.

11. Kiedy CFX-Solver zakończy pracę wybierz okienko obok **Post-Processor Results**.

12. kliknij **OK**

8. Podgląd wyników transformacji Fouriera flatteru łopatki w CFD-Post

Niestacjonarna analiza obliczeniowa wieńca łopatek daje szereg dodatkowych zmiennych w rozwiązaniu w porównaniu do tych, które dodano w: *Setting Output Control and Creating Monitor Points* (strona 754). Te zmienne są skompresowane przy użyciu dyskretniej transformacji Fouriera, a odnoszące się do nich współczynniki są gromadzone w pliku z wynikami. CFD-Post pozwala rozwinąć te transformacje na interesujące nas wartości zmiennych w wybranej chwili czasu. Selektor kroków czasowych pokaże chwilowe parametry, które są reprezentatywne dla wartości użytych przez solver. Ponadto, gdy stanie się to konieczne, w odniesieniu do istniejących wartości czasowych mogą być dodane lub usunięte dodatkowe wartości czasowe.

W tej sekcji stworzysz kilka wykresów ilustrujących wykorzystanie selektora kroków czasowych dla analizy przejściowej wieńca łopatek. Ponadto, stworzysz zdefiniowaną przez użytkownika zmienną dla pracy całej ścianki i użyjesz tej zmiennej do stworzenia konturu i animacji ruchu łopatki.

Aby rozpocząć wykonaj poniższe kroki:

1. Kiedy CFD-Post się uruchomi, możesz zobaczyć informację odnoszącą się do Transient Blade Row postprocessing (przejściowy ruch łopatek – postprocessing), kliknij: **OK**.
2. Możesz też zobaczyć okno dialogowe: **Domain Selector**. Jeśli tak, upewnij się, że wszystkie domeny zostały wybrane i kliknij: **OK**.

8.1 Wyświetlanie całkowitej pracy na ścianie łopatki (Total wall work on the blade)

1. Wybierz: **Insert > Variable** i ustaw nazwę na: Total Wall Work.
2. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Name	Setting	Value
Total Wall Work	Method	Expression
	Scalar	(Selected)
	Expression	Wall Work Density * Area
	Calculate Global Range	(Selected)

3. Kliknij: **Apply**, aby utworzyć nową zmienną.

Możesz przejrzeć zmienną: Total Wall Work w etykietce: **Variables**, pod: User Defined.

8.2 Tworzenie wykresu konturowego dla całkowitej pracy na ścianie łopatki

1. Kliknij: **Insert > Contour** i zaakceptuj nazwę domyślną.
2. Skonfiguruj następujące ustawienia:

Tab	Setting	Value
Geometry	Locations	R1 Blade
	Variable	Total Wall Work
	Range	Local
	# of Contours	21
Render	Show Contour Lines	(Selected)
	Constant Coloring	(Selected)
	Color Mode	Default

3. Kliknij: **Apply**.

Wykres konturowy pokazuje chwilowe wartości dla Total Wall Work.

8.3 Tworzenie animacji całkowitej pracy na ścianie łopatki

Używając wykresu konturowego stworzonego wcześniej, teraz utworzysz animację dla łopatki dla pierwszej fazy.

1. Korzystając z okna dialogowego: **Timestep Selector** upewnij się, że wybrana jest wartość czasu równa 0[s].
2. Pod: **Timestep Sampling** wybierz: Uniform.
3. Wybierz: **Tools > Animation** lub kliknij: *Animation* .Pojawia się okno dialogowe **Animation**.
4. Wybierz: **Keyframe Animation** (animacja kluczowa).
5. Kliknij *New* aby utworzyć KeyframeNo1.
6. Podświetl: KeyframeNo1, a następnie zmień: **#of Frames** na wartość 48.
7. Wybierz krok czasowy dla pierwszej fazy (krok czasowy numer 32) korzystając z okna dialogowego **Timestep Selector**.
8. Kliknij *New* , aby stworzyć KeyframeNo2.
Parametr **# of Frames** nie ma wpływu na ostatnią klatkę kluczową, pozostaw wartość domyślną.
9. Wybierz: **Save Movie**.
10. Ustaw: **Format** na MPEG1.
11. Kliknij: *Browse* obok: **Save Movie**, aby ustawić ścieżkę i nazwę dla filmu.

Jeśli ścieżka nie jest podana, plik zostanie zapisany w lokalizacji, z której został uruchomiony CFD-Post.

12. Kliknij: **Save**.

Nazwa filmu (łącznie ze ścieżką) będzie ustawiona, ale film nie został jeszcze utworzony.

13. Jeśli klatka 1 nie jest załadowana (pokazane w okienku tekstowym **F**: na środku okna dialogowego **Animation**), żeby ją załadować kliknij: *To Beginning* .

Zaczekaj, aż CFD-Post zakończy ładowanie obiektów dla tej klatki przed kolejnym krokiem.

14. Kliknij: *Play the animation* .

Zostanie utworzony film w czasie jak będzie się odtwarzać animacja. Będzie to dość powolne, ponieważ musi być załadowany krok czasowy, a obiekty muszą zostać utworzone dla każdej klatki z osobna. Aby odtworzyć plik z filmem potrzebujesz skorzystać z odtwarzacza obsługującego format MPEG.

15. Zapisz wyniki przez wybranie **File > Save Project** z głównego menu.