



## Oprogramowanie Carl Zeiss do pomiaru krzywych

Pomiary krzywych to zadanie powszechnie wykonywane na maszynach pomiarowych. Dzięki specyficznej ocenie oraz graficznej prezentacji odchylek można uzyskać bardzo przejrzystą i zrozumiałą dla wszystkich informację o jakości wykonania skomplikowanych profili. Dodatkowe algorytmy obliczeń umożliwiają odseparowanie błędów położenia krzywej od jej błędów kształtu, co pozwala na precyzyjne korygowanie procesu wytwarzania.

Pomiary i ocenę krzywych można wykonać przy użyciu oprogramowania Calypso Curve, Blade Pro oraz HOLOS.

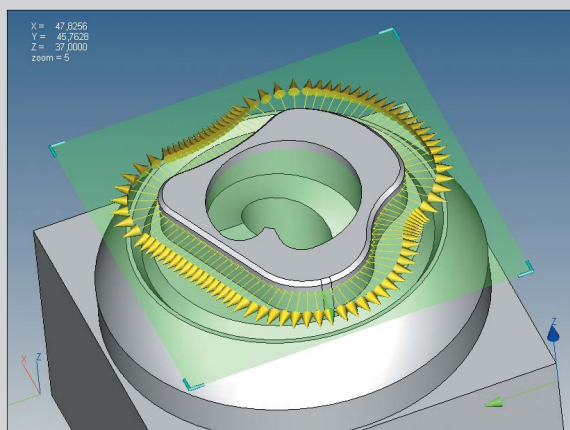
Pracę z krzywymi można podzielić na dwie grupy: pomiary oraz digitalizację. Pomiar polega na porównaniu krzywej nominalnej z krzywą rzeczywistą, a digitalizacja jest procesem definiowania krzywej nominalnej na podstawie pomiaru rzeczywistej części (*reverse engineering*).

### Definicja i rodzaje krzywych

Krzywa jest ciągiem punktów, na których opisany jest wielomian. Każdy punkt krzywej musi posiadać normalną. Normalna niezbędna jest do pomiaru oraz oceny. Jeżeli dostarczone dane krzywej zawierają tylko punkty, to przed wykonaniem pomiaru i oceny niezbędne jest obliczenie normalnych. Jest to standardowa funkcja modułu **Calypso Curve**.

Krzywe można podzielić na następujące typy:

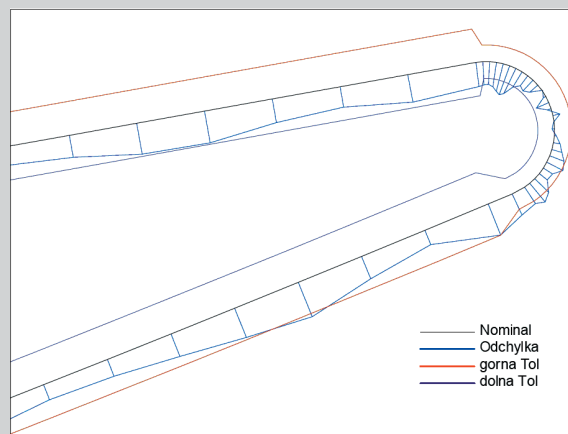
- **krzywa 2D** – wszystkie punkty i normalne leżą w jednej płaszczyźnie; takie krzywe powstają poprzez przecięcie dowolnej bryły płaszczyzną;
- **krzywa 3D** – punkty rozmieszczone są dowolnie, normalne nie leżą w jednej płaszczyźnie i nie są do siebie równoległe (np. spirala 3D);
- **krzywa czołowa** – specyficzna krzywa 3D, która powstaje poprzez przecięcie bryły z walcem; stosowana w mechanizmach krzywkowych.



Rys. 1. Definiowanie krzywej 2D poprzez przecięcie płaszczyzną z modelem – oprogramowanie Calypso Curve

### Krzywa nominalna

Najprostszym sposobem tworzenia krzywych nominalnych jest przecięcie modelu CAD ze zdefiniowaną płaszczyzną lub walcem. Jest to standardowa funkcja Calypso.



Rys. 2. Graficzna ocena krzywej – gęstość punktów zależna od krzywizny, różne pola tolerancji

Oprogramowanie HOLOS umożliwia tylko przecięcia z płaszczyzną.

Stworzony w ten sposób przekrój należy następnie podzielić na punkty. Podział krzywej na punkty może nastąpić ze stałą rozdzielczością lub z rozdzielczością zależną od krzywizny. Ten drugi sposób jest stosowany w przypadkach, gdy profil ma duże zmiany krzywizny (np. łopatki turbin o bardzo małych promieniach natarcia i spływu). Odpowiednia gęstość i dystrybucja punktów nominalnych mają decydujący wpływ na dokładność pomiaru krzywej.

Moduł **Calypso Curve** umożliwia także wczytywanie dowolnych krzywych z innych systemów. Krzywe można wczytywać poprzez formaty VDA, DXF lub ze zwykłego pliku tekstowego. W Calypso możliwe jest także generowanie krzywej na podstawie wprowadzonego wzoru matematycznego.

W razie potrzeby można przeprowadzić edycję punktów i wektorów normalnych krzywej. Możliwe są obroty, przesunięcia oraz offset.

### Pomiary

Pomiar krzywej może być przeprowadzony na dwa sposoby: pomiar pojedynczymi punktami lub skanowanie.

Skanowanie zapewnia większą dokładność oraz znaczącą redukcję czasu pomiaru. Jest to bardzo ważne, gdyż krzywe nominalne przeważnie zawierają od kilkudziesięciu do kilkuset punktów. Podczas skanowania zalecane jest, by liczba punktów zmierzonych była większa niż liczba punktów nominalnych. Zapewnia to większą dokładność obliczania wielomianu rzeczywistego.

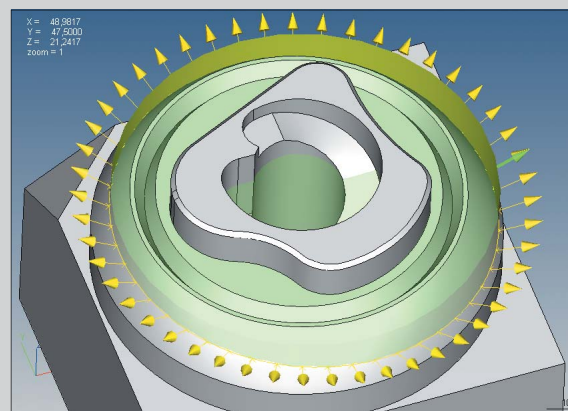
Pomiary pojedynczymi punktami wykonywane są na maszynach z głowicami impulsowymi lub w przypadkach, gdy spodziewany jest duży błąd krzywej (rzędu kilku czy nawet kilkunastu milimetrów). W przypadkach gdy nie ma możliwości pomiaru krzywej jednym trzpieniem, można zdefiniować segmenty. Każdy segment krzywej będzie mierzony innym trzpieniem.

Po zakończeniu pomiaru obliczana jest krzywa rzeczywista, która służy do obliczania odchyłek w poszczególnych punktach.

## Ocena

Zasadniczą zaletą pomiarów krzywych jest możliwość oceny graficznej. Obserwacja wykresu krzywej nominalnej i rzeczywistej, wraz z polem tolerancji, umożliwia łatwą analizę błędów wykonania, z uwzględnieniem obszarów krytycznych. Jest to szczególnie istotne w przypadkach krzywych nieciągłych, gdyż w niektórych przypadkach informacja o maksymalnej odchyłce nie odzwierciedla faktycznego stanu wykonania krzywej. Standardowy sposób obliczania odchyłek krzywej polega na obliczeniu odchyłki w kierunku normalnym, w każdym punkcie nominalnym. Jeżeli jest to wymagane, możliwe są także inne sposoby obliczania odchyłek (np. odległość punkt – punkt).

Podczas oceny krzywej obliczane są: maksymalna i minimalna odchyłka lub kształt profilu.



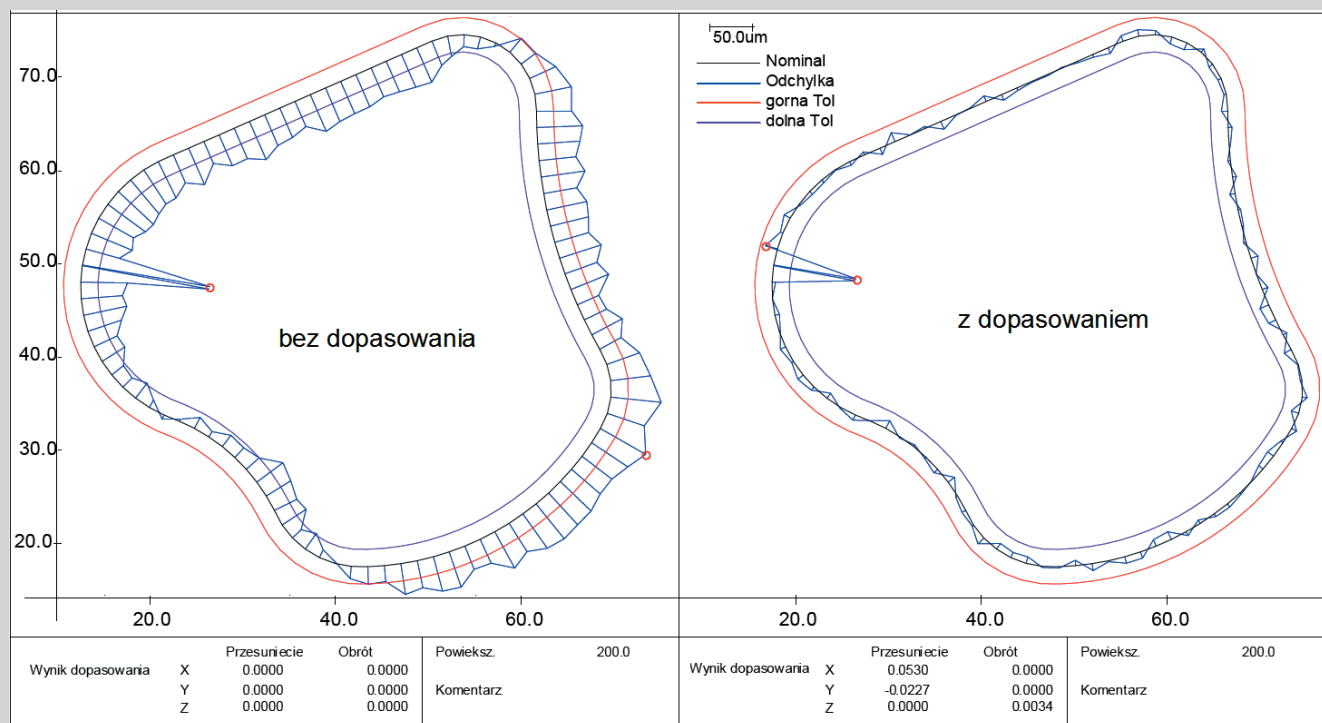
Rys. 4. Krzywa 3D powstała jako przecięcie walca z modelem – oprogramowanie Calypso Curve

liwość określenia stopni swobody przemieszczeń krzywej (przesunięcie, obrót) oraz wykluczenia punktów, które nie będą brane pod uwagę podczas obliczania dopasowania.

Wykresy krzywej można poddawać różnej edycji (powiększenie, powiększenie odchyłek, oś) można także umieścić kilka krzywych na jednym wykresie.

Jeżeli jest to wymagane, można także wyświetlić listę odchyłek dla wszystkich punktów krzywej.

W przypadku oprogramowania **Blade Pro** możliwe jest także obliczanie specyficznych parametrów łopatek



Rys. 3. Graficzna ocena krzywej – wynik obliczeń bez dopasowania i z dopasowaniem

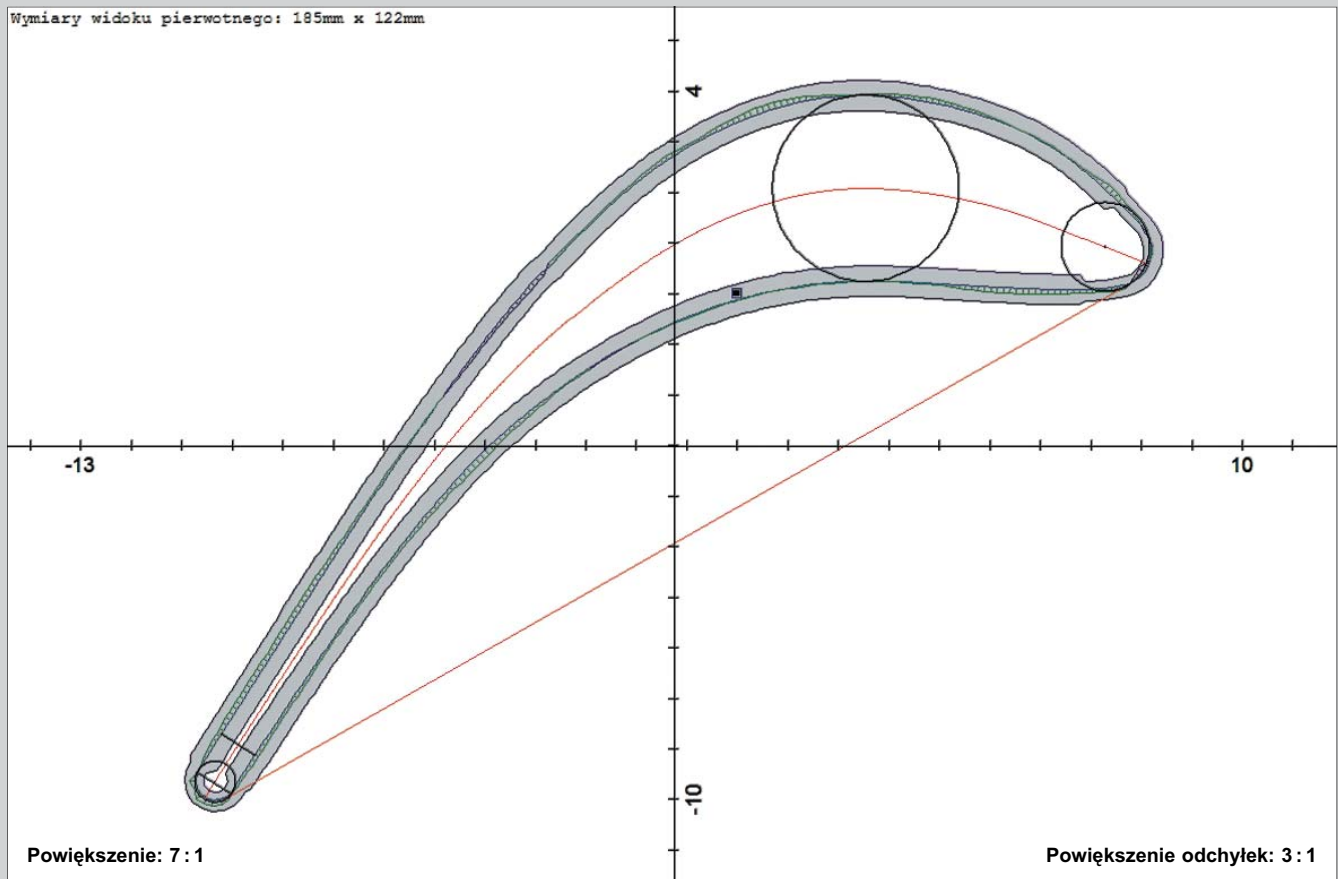
Można także obliczyć maksymalną odchyłkę skoku krzywej (największa różnica odchyłek sąsiednich punktów) oraz offset.

Bardzo ważną funkcją podczas oceniania krzywych jest możliwość wykonania dopasowania. Dopasowanie umożliwia oddzielenie informacji o położeniu krzywej od informacji o jej błędzie kształtu.

Ta informacja umożliwia właściwe skorygowanie procesu wytwarzania. Podczas dopasowania istnieje moż-

turbin, takich jak np.: maksymalna grubość (maksymalny okrąg wpisany w krzywą rzeczywistą), promień krawędzi natarcia i spływu, maksymalna długość czy długość linii szkieletowej.

Wszystkie te parametry wykorzystują do obliczeń krzywą rzeczywistą. Dodatkową i wyjątkową funkcją **Blade Pro** są algorytmy dopasowania. Do dyspozycji mamy opatentowany przez Carl Zeiss algorytm dopasowania z wydłużeniem oraz dopasowania z wydłużeniem



Rys. 5. Wyniki pomiaru w Blade Pro, ocena profilu, maksymalna grubość, styczna do profilu oraz średnie promienie krawędzi natarcia i spływu

krawędzi. Metody te umożliwiają ocenę profilu z uwzględnieniem przepływu wzdłuż łopatki.

Również w przypadku Calypso element krzywa może być wykorzystany także do innych obliczeń, np. do przecięcia z innym elementem lub obliczenia okręgu stycznego do krzywej. Dla krzywej czołowej można zdefiniować specyficzne charakterystyki, jak np. skok.

### Digitalizacja

Moduł Calypso Krzywa umożliwia także pomiary krzywych nieznanymi 2D oraz 3D. W przypadku krzywej 2D definiuje się punkt początkowy, punkt końcowy oraz płaszczyznę pomiaru. Następnie dokonywany jest pomiar punktów ze stałą lub zmienną rozdzielczością. Po

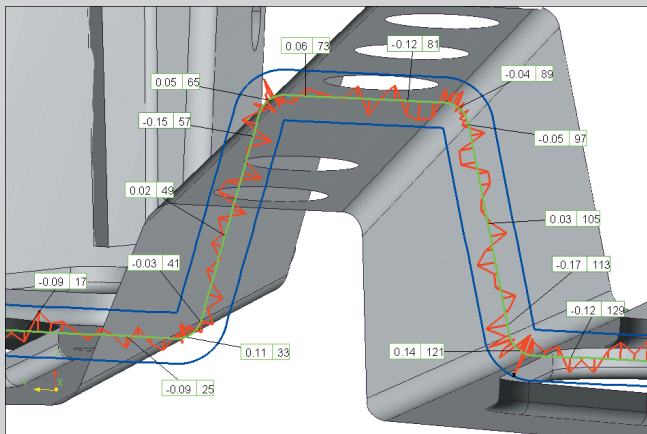
pomiarze można dokonać korekcji krzywej o promień kulki, ale uprzednio należy obliczyć wektory normalne.

Następnie należy wyeksportować dane krzywej (jako plik VDA lub TXT). Jeżeli krzywe 2D mają posłużyć do zbudowania powierzchni, to zalecany jest eksport środków kulek. Korekcję o promień kulki należy wykonać w systemie CAD, po obliczeniu powierzchni.

W przypadku krzywych 3D można przeprowadzić digitalizację pojedynczej krzywej 3D, krzywej czołowej oraz siatki krzywych 3D.

Przedstawione informacje są skróconym opisem funkcji oprogramowania Calypso Curve, Blade Pro oraz HOLOS. Szczegółowe funkcje i opcje nie zostały tutaj opisane. Zalecaną formą zapoznania się z możliwościami oprogramowania jest jego prezentacja w centrum pomiarowym Carl Zeiss w Warszawie lub w Mikołowie.

Opracowanie: Robert Sowiński  
Carl Zeiss Sp. z o.o. – Metrologia Przemysłowa



Rys. 6. HOLOS – ocena krzywej nałożona na model wraz z opisem wybranych odchyłek



### Carl Zeiss Sp. z o.o. Metrologia Przemysłowa

ul. Św. Andrzeja Boboli 8/4  
02-525 Warszawa  
tel. 022 881 02 49, -50  
fax 022 848 23 53  
e-mail: [imt@zeiss.pl](mailto:imt@zeiss.pl)  
[www.zeiss.pl](http://www.zeiss.pl)  
[www.zeiss.de/imt](http://www.zeiss.de/imt)