

**Adam MARCINIEC, Małgorzata ZABORNIAK, Tomasz DZIUBEK**  
POLITECHNIKA RZESZOWSKA

## Odtwarzanie geometrii kół zębatach z zastosowaniem WMP oraz systemu CAD

Dr hab. inż. Adam MARCINIEC

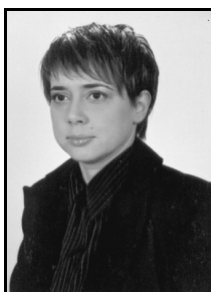
Działalność naukowa koncentruje się głównie na zagadnieniach konstrukcji, technologii i pomiarów przekładni zębatach, w tym szczególnie przekładni stożkowych i hipoidalnych. Ponadto obejmuje problematykę zastosowania narzędzi typu CAD, MES w procesie doskonalenia konstrukcji części i zespołów maszyn.



e-mail: amarc@prz.edu.pl

Mgr inż. Małgorzata ZABORNIAK

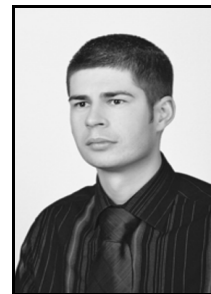
Asystent w Katedrze Konstrukcji Maszyn Politechniki Rzeszowskiej. Praca naukowa dotyczy przekładni zębatach (walcowych oraz stożkowych) ich konstrukcji, wytwarzania, a przede wszystkim pomiarów współrzędnościowych.



e-mail: mzab@prz.edu.pl

Mgr inż. Tomasz DZIUBEK

Asystent Katedry Konstrukcji Maszyn Politechniki Rzeszowskiej. W ramach pracy naukowej zajmuje się przekładniami zębatymi walcowymi jak i stożkowymi w zakresie ich konstrukcji i wytwarzania, oraz pomiarów współrzędnościowych. Ponadto zajmuje się zagadnieniami dotyczącymi wykorzystania narzędzi CAD do projektowania przekładni zębatach.



e-mail: tdziubek@prz.edu.pl

### Streszczenie

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie metodyki odtwarzania nieznannej geometrii koła zębatego przy użyciu WMP i systemu CAD. W przemyśle bowiem pojawia się często problem wykonania zamiennego koła przekładni zębatej, które uległo uszkodzeniu lub kopii koła istniejącego, przy jednoczesnym braku dokumentacji technicznej. Przedstawione zagadnienie ma praktyczne zastosowanie od rekonstrukcji zabytkowych części przekładni samochodowych, poprzez serwisowanie uszkodzonych części zamiennych w przemyśle maszynowym i obrabiarkowym.

**Słowa kluczowe:** inżynieria odwrotna, digitalizacji, modelowanie CAD.

### Reconstruction of gear geometry with application of CMM and CAD system

#### Abstract

The aim of the paper is to present the methodology for reconstruction of unknown gear geometry by means of the CMM and CAD system. The problem of producing an interchangeable gear for that defected or a duplicate when there is no formal technical documentation is one of most common in industry. One of the methods for solving it is the technique of Reverse Engineering – RE. The main stages of the gear geometry reconstruction process included in this paper are as follows:

1. Preliminary identification of basic geometric parameters of the gear (Tab. 1),
2. Modeling of the gear in the CAD system with use of the parametric surface model,
3. Preparation and measurement of the gear in WMP,
4. Analysis of the profile deviations between the gear CAD model and the results obtained from measurements (Figs. 1 and 2).

The presented problem has practical application to reconstruction of gear antique parts by servicing the defected spare parts in machine, automotive and machine-tool industry.

**Keywords:** reverse engineering, digitalization, CAD modeling.

### 1. Wstęp

Projektowanie i wytwarzanie kół zębatach, mimo bardzo szeroko prowadzonych badań i rozwijania wiedzy w tej dziedzinie,

nadal jest zagadnieniem pełnym nowych wyzwań. Potwierdzeniem tego są liczne prace naukowe i konferencje naukowo-techniczne. Główną tematyką jest podwyższanie dokładności i jakości kół zębatach.

Jedną z metod rozwiązania tego zagadnienia może być technika inżynierii odwrotnej (Reverse Engineering - RE).

Artykuł przedstawia analizę etapów procesu inżynierii odwrotnej: etapy digitalizacji na współrzędnościowej maszynie pomiarowej (WMP) koła zębatego walcowego o zębach prostych oraz etapy modelowania i weryfikacji poprawności modelu w systemie CAD.

### 2. Istota i zastosowanie technik RE

Inżynieria odwrotna jest techniką pozwalającą na wierne odtworzenie istniejących obiektów. Proces inżynierii odwrotnej łączy współrzędnościową technikę pomiarową, systemy CAD/CAM oraz technologię wytwarzania.

Główne etapy procesu odtwarzania geometrii koła zębatego zawarte w niniejszej pracy:

1. Wstępna identyfikacja podstawowych parametrów geometrycznych koła.
2. Modelowanie koła zębatego w systemie CAD przy użyciu parametrycznego modelu powierzchniowego.
3. Przygotowanie i przeprowadzenie procesu pomiaru koła zębatego na WMP (etap digitalizacji na WMP).
4. Analiza odchylek zarysu pomiędzy modelem CAD koła zębatego, a wynikami otrzymanymi w procesie pomiarów.

### 3. Wstępna identyfikacja podstawowych parametrów geometrycznych koła

Sprawdzanie poszczególnych wielkości pomiarowych można przeprowadzać różnymi metodami, zależnie od rodzaju kół oraz przede wszystkim biorąc po uwagę uzyskanie wymaganej dokładności.

Sprawdzenie walcowych kół zębatach obejmuje:

- pomiary wstępne,
- pomiary grubości zęba,
- sprawdzenie podstawowych wielkości koła zębatego [1].

Najważniejszymi wielkościami, które możliwe są do sprawdzenia (nawet bez użycia specjalistycznych przyrządów pomiarowych) to: liczba zębów –  $z$ , średnica wierzchołkowa –  $d_a$  (przy parzystej liczbie zębów), szerokość wieńca –  $b$ . Inną wielkością, która podlega sprawdzeniu jest moduł normalny koła zębatego –  $m_n$ , przy założeniu wstępnym, że jest on wielkością znormalizowaną – wg PN ISO 54:2001. Znając te podstawowe parametry koła, na bazie znanych zależności matematycznych [1, 2], możliwe jest uzyskanie wstępnych danych geometrycznych odtwarzania koła (tab. 1).

Tab. 1. Dane odtwarzanego koła zębatego (założenia wstępne)  
 Tab. 1. Details of reconstruction gear (initial assumptions)

Parametry			Koło zębate
Moduł normalny	$m_n$	[mm]	5
Kąt zarysu	$\alpha_n$	[°]	20
Liczba zębów	$z$	-	17
Kąt pochylenia linii zęba	$\beta$	[°]	-
Szerokość wieńca	$b$	[mm]	30
Współczynnik przesunięcia zarysu	$x_n$	-	-
Średnica wierzchołkowa	$d_a$	[mm]	95

Najbardziej rozpowszechniony dla kół zębatych jest zarys ewolwentowy. Jedną z zalet jest prosty zarys narzędzia do obróbki. Stosowana obwodniowa metoda wytwarzania kół daje możliwość dużej dokładności wytwarzania oraz możliwy jest pomiar takich kół prostymi przyrządami pomiarowymi. Ponadto koła walcowe o zarysach ewolwentowych są mało wrażliwe na zmianę odległości osi, która nie wpływa na wielkość przełożenia, a więc nie wywołuje sił dynamicznych.

#### 4. Modelowanie koła zębatego w systemie CAD przy użyciu parametrycznego modelu powierzchniowego

Zbudowanie dokładnego modelu koła zębatego nie jest zadaniem prostym. Oprogramowanie CATIA pozwala na modelowanie koła zębatego, symulację procesu obróbki uzębienia, a także na analizę właściwości geometrycznych. Wymaga opracowania metod obliczeniowych tworzonego modelu geometrycznego (lub symulacji obróbki) z uwzględnieniem rzeczywistych cech geometrycznych uzębienia, które wynikają z zastosowanej obróbki i kształtu narzędzi obróbkowych.

Proces wykonania kół zębatych na tym etapie procesu RE oparty został na wykorzystaniu parametrycznego modelu powierzchniowego przekładni zębatej walcowej [3]. Wykonany model, stanowi idealną geometrycznie przekładnię. Przedstawiony model koła zębatego skonstruowano w oparciu o dane wyszczególnione w tabelicy 1. Obliczenia oparto na podejściu przedstawionym w artykule [3].

Wygenerowany model CAD potwierdził wstępną identyfikację podstawowych parametrów odtwarzanego koła zębatego. Jednak, aby w pełni przeprowadzić analizy porównawcze wykonano dodatkowo pomiary koła rzeczywistego na WMP.

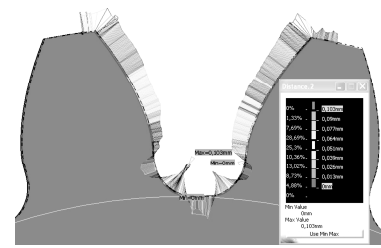
#### 5. Przygotowanie i przeprowadzenie procesu pomiaru koła zębatego na WMP

Etap odtwarzania geometrii koła polegający na odwzorowaniu zarysu koła zębatego został zrealizowany z wykorzystaniem współrzędnościowej maszyny pomiarowej.

Koło zębate poddane zostało pomiarom skaningowym na WMP. Skanowanie pozwoliło na szybką digitalizację obiektu rzeczywistego oraz umożliwiło pełniejszą analizę geometryczną, przy jednoczesnym zmniejszeniu niepewności otrzymanych wyników. Pomiar przeprowadzono w przekroju czołowym na jednym wrębie w płaszczyźnie środkowej. W wyniku przeprowadzonego pomiaru otrzymano współrzędne punktów  $X, Y, Z$ .

#### 6. Analiza porównawcza modelu CAD koła zębatego z wynikami otrzymanymi w procesie pomiarów

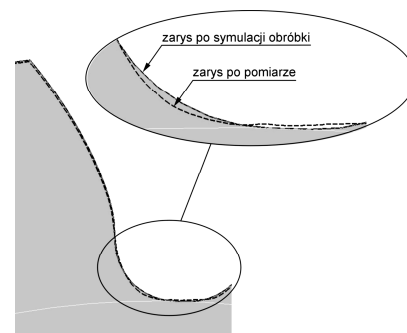
Uzyskany w procesie digitalizacji zarys koła rzeczywistego (współrzędne punktów) importowany jest do systemu CATIA V5. W module *Shape (FreeStyle)* dostępne jest narzędzie do analizy *Distance Analysis*. Na podstawie przeprowadzonej analizy sporządzono wykres odchylek zarysu (rys. 1).



Rys. 1. Wykres odchylek zarysu modelu CAD koła zębatego z danymi uzyskanymi z pomiaru na WMP

Fig. 1. CAD system outline deviations of a bevel gear with data obtained from measurements by WMP

Z przeprowadzonej szczegółowej analizy wynika, że odchyłki mieszczą się w granicach od minimum wynoszącego 0 mm do maksimum wynoszącego 0,103 mm. Analizując czynny zarys zęba wartości odchylek wzrastają od krzywej przejścia aż do wierzchołka zęba. Mimo to maksimum znajduje się na krzywej przejścia. Na taki rozkład odchylek miał wpływ użyty do analizy model CAD koła zębatego, który nie uwzględniał krzywej przejścia, gdyż została ona przybliżona promieniem. Ze szczegółowej analizy (Rys.2.) wynika, że użyty parametryczny model powierzchniowy nie jest narzędziem wystarczającym do pełnej analizy geometrii kół zębatych.



Rys. 2. Szczegółowa analiza zarysu odtwarzanego zęba

Fig. 2. Detailed analysis of the reconstruction gear profile

#### 7. Wnioski

Przedstawiony sposób odtwarzania geometrii kół zębatych stanowi podstawę do dalszych prac naukowych. Zaletą przedstawionego systemu jest możliwość sprzężenia poszczególnych etapów w jeden zintegrowany system. Parametryczny model powierzchniowy (system CATIA) umożliwia generowanie zarysów zębów z pominięciem geometrii krzywej przejścia u podstawy. Koniecznym zadaniem staje się jednak uwzględnienie procesów towarzyszących obróbce kół zębatych m.in. modyfikacji uzębienia i ząbienia oraz analizy zjawisk takich jak podcięcie stopy zęba czy zaostrenie głowy.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2010 jako projekt badawczy rozwojowy (N R03 0004 04/2008).

#### 8. Literatura

- [1] Ochęduszek K.: Koła zębate t.1. Konstrukcja, WNT, Warszawa 1985.
- [2] Jaśkiewicz Z., Waśniewski A.: Przekładnie walcowe. WKŁ, Warszawa 1995.
- [3] Dziubek T., Czado J.: Wykorzystanie systemu CATIA w procesie projektowania i analiz przekładni zębatych. Materiały konferencyjne XXIII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn Rzeszów-Przemysł 2007.
- [4] Marciniak A., Dziubek T., Zaborniak M.: Zastosowanie współrzędnościowej techniki pomiarowej i systemów CAD do pomiaru wybranych odchylek walcowych kół zębatych o zębach śrubowych wykonywanych technikami szybkiego prototypowania. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, seria Mechanika, z.75, Rzeszów 2008.