

Mateusz Kania ¹⁾, Mirosław Ferdynus ²⁾

WIRTUALNY PROJEKT PRZEKŁADNI GŁÓWNEJ ŚMIGŁOWCA Z WYKORZYSTANIEM MODELI AUTOGENERUJĄCYCH

Streszczenie: W pracy zaprezentowano projekt przekładni głównej śmigłowca jednowirnikowego w układzie klasycznym. Podczas projektowania wykorzystano modele autogenerujące kół zębatach walcowych oraz stożkowych. Modele te pozwalają na wielowariantowe analizy przekładni.

Słowa kluczowe: Przekładnia główna śmigłowca, koło zębate, model autogenerujący, CatiaV5, śmigłowiec.

WSTĘP

Jednym z głównych kierunków modernizacji śmigłowców jest wzrost udźwigu i związany z nim wzrost masy startowej. Wiąże się to ze zwiększeniem mocy zespołu napędowego. W zależności od konstrukcji, cel ten realizowany jest między innymi poprzez zmianę jednostki napędowej lub zwiększenie ich liczby. Konsekwencją tego są nieuniknione zmiany w przekładni głównej. Przekładnia główna jest najbardziej skomplikowanym zespołem układu przeniesienia mocy. Od jej niezawodności zależy bezpieczeństwo załogi i pasażerów śmigłowca. Spełnienie wymagań odnośnie bezpieczeństwa eksploatacji, przy zachowaniu jak najmniejszej masy, jest bardzo trudne i wielokrotnie zmusza konstruktora do kompromisu pomiędzy odpowiednim zapasem wytrzymałości a minimalną masą przekładni. Duże przełożenia realizowane są za pomocą wielostopniowych planetarnych przekładni głównych.

Projektowanie przekładni głównej wirnika nośnego stanowi zagadnienie wymagające szczególnego potraktowania. W procesie tym wyróżnia się problemy wytrzymałościowe dotyczące ogólnych zasad konstruowania przekładni zębatach i zalecenia specyficzne, odnoszące się do wymagań i warunków pracy przekładni śmigłowca. Podstawowymi zagadnieniami obliczeń przekładni walcowych, stożkowych i planetarnych jest sprawdzenie warunków niewystąpienia: zmęczenia powierzchniowego, złamania zmęczeniowego i zatarcia zębów. Obliczenia wytrzymałościowe kół zębatach należy wykonywać na podstawie zaleceń Międzynarodowego Komitetu Normalizacji ISO 6336.

¹ Instytut Lotnictwa w Warszawie, Engineering Design Center.

² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn.

W przekładniach śmigłowcowych przyjmuje się 5 – 7 klasę dokładności wykonania i zwiększone wymagania odnośnie przylegania zębów. W przekładniach walcowych stosuje się koła o zębach prostych lub śrubowych, o zarysie ewolwentowym.

W kołach o zębach prostych stosowany jest na ogół kąt nominalny kąt zarysu $\alpha_n=20^\circ$. Przyjmuje się również większe kąty α_n , wpływają one na wzrost nośności zębów przy zginaniu. W celu zwiększenia wytrzymałości zęby powinny być korygowane przy zastosowaniu dodatniej korekcji.

Kąt pochylenia linii śrubowej w kołach walcowych przyjmuje się w przedziale $7\div 25^\circ$. Większe kąty są niekorzystne ze względu na duże obciążenia łożysk. Wszystkie zalecenia dotyczące kół o zębach prostych, ważne są również dla kół o zębach śrubowych.

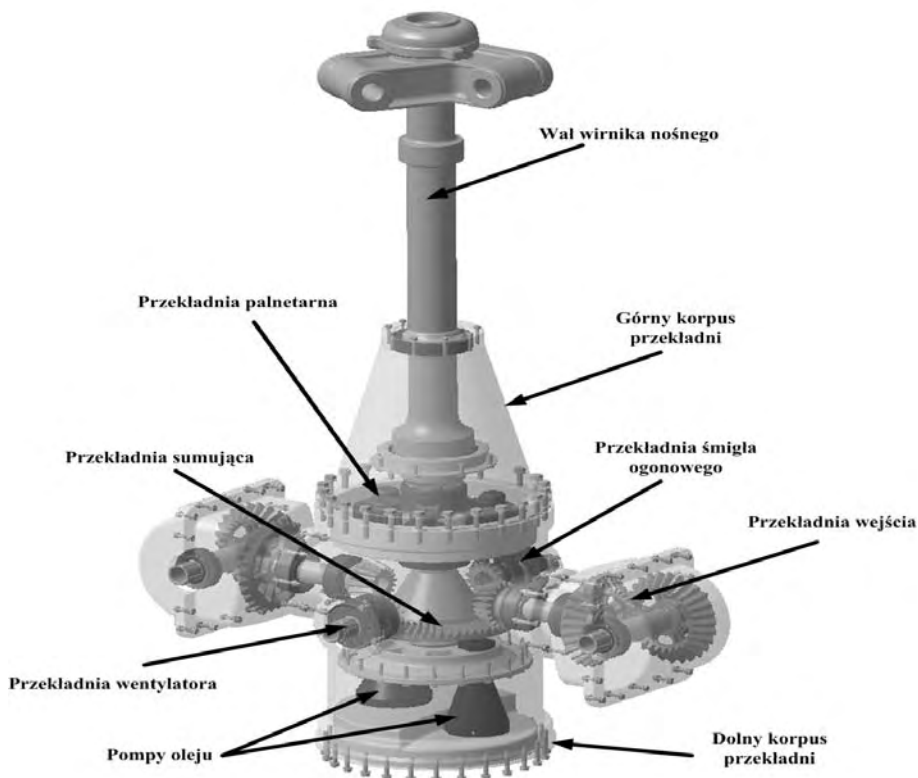
KONCEPCYJNA PRZEKŁADNIA GŁÓWNA DO LEKKIEGO ŚMIGŁOWCA

W niniejszej publikacji przedstawiono projekt śmigłowcowej przekładni głównej, wykonanej w systemie Catia V5, przeznaczonej dla lekkiego śmigłowca o maksymalnej masie startowej 1800kg. Całkowite przełożenie przekładni wynosi 13.773, prędkość obrotowa na wale wirnika nośnego wynosi 437 obr/min, zaś wskaźnik ciężarowy przekładni ma wartość 0,0124.

Przekładnia ta jest zbudowana z dzielonego korpusu, dwóch przekładni kątowych, na których wejściu podłączone są wały wychodzące z dwóch silników turbinowych, jednej przekładni sumującej, do której również dołączone są dwie przekładnie służące do wyprowadzenia momentu obrotowego. Jedna z nich służy do napędu wentylatora chłodzącego cały przedział napędowy, zaś druga odpowiada za dostarczenie momentu obrotowego do napędu wszelkich agregatów zamontowanych na śmigłowcu oraz śmigła ogonowego. Koło sumujące jest połączone na sztywno z wałem, które przekazuje obroty na koło centralne przekładni planetarnej. Koło centralne z wałem sumującym połączone jest za pomocą wielowypustu. Przekładnia planetarna składa się z trzech kół obiegowych oraz jarzma, z którym za pomocą wielowypustu połączony jest wał wirnika nośnego śmigłowca.

Model mechanizmu przekładni został utworzony za pomocą modułu DMU Kinematics systemu Catia V5. W module tym nadano więzy kinematyczne i zdefiniowano sterowania. Więzami, które modelują pracę łożysk są więzy Revolute Joint, zaś pracę ząbionych kół walcowych opisują więzy Gear Joint. Aby stworzyć więzy kinematyczne modelujące pracę przekładni stożkowej należy tak połączyć wały wirnika z korpusem, żeby była możliwość stworzenia z nich więzów Gear, a następnie zadać odpowiednie przełożenie.

Parametrem sterującym układem jest wartość prędkości obrotowej na wałach wychodzących z silników turbinowych.



Rys. 1. Wirtualny model śmigłowcowej przekładni głównej
Fig. 1. Virtual model of main helicopter transmission gear

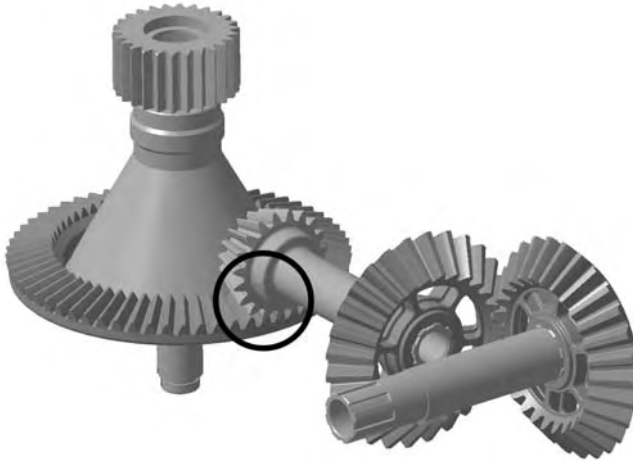
Proces projektowania prototypu przekładni wiąże się z analizą poprawności wykonania, w której sprawdzamy wystąpienie kolizji (Clash) w projektowanym elemencie i czy występują właściwe odstępy- luzy (Clearance) w przekładni w stanie spoczynkowym. Elementy właściwie dopasowane będą posiadać relację typu Contact. Następnie bada się przekładnię w ruchu sprawdzając czy nie występują kolizję i nadmierne zbliżenie się elementów do siebie. Do tego celu używa się narzędzia DMU Space Analysis, którego okno przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Okno analizy odległości
Fig. 2. Space analysis window

Korzystanie z tej funkcji skutkuje pojawieniem się w drzewie struktury modelu gałęzi Interferencje, w której system będzie zapisywał wszelkie typy relacji (kontakt, kolizję prześwit / luz). Analiza kolizji w trakcie ruchu możliwa jest również w trakcie symulacji poprzez uaktywnienie opcji Activate Sensors- Detect Clashes.

Przykład takiej analizy dla przedstawionego w tej pracy prototypu został zamieszczony na rysunku 3.



Rys. 3. Kolizja wału przekładni wejściowej z kołem sumującym
Fig. 3. Clash of sum and entry gear

Miejsce kolizji zaznaczone zostało okręgiem. Kolizja ta została niejako sprowokowana w celu prezentacji i w dopracowanej konstrukcji nie może mieć miejsca.

MODELE AUTOGENERUJĄCE W KONSTRUKCJI MASZYN

Model autogenerujący automatyzuje proces konstruowania uwzględniając aspekt wariantowania konstrukcji. Teoria modeli autogenerujących rozwinęła się jako efekt nowoczesnych metod projektowania opartego na wiedzy (Knowledge Based Engineering - KBE). W nowoczesnych przedsiębiorstwach powstały struktury odpowiedzialne za zarządzanie wiedzą i implementowanie jej do opracowywanych projektów. Powstało stanowisko zwane inżynier wiedzy. Na etapie projektowania funkcjonują tzw. szablony konstrukcyjne Power Copy, Part Template i Produkt Template, które wydatnie skracają i automatyzują proces powstawania części i całego wyrobu. Uwalnia to konstruktora od wykonywania pewnych powtarzających się czynności w trakcie tworzenia urządzenia i bazowania na pewnym szablonie opracowanym po to, by usprawnić projektowanie. Model autoge-

nerujący jest kolejnym etapem rozwoju projektowania opartego na wiedzy (KBE). Konstruktor wraz z inżynierem wiedzy identyfikuje cechy konstrukcyjne i tworzy sparametryzowany model, który pozwala na generowanie obiektu na podstawie wprowadzanych parametrów. Jednakże sposób użycia zintegrowanej wiedzy i zakres parametryzacji jakościowo przewyższa zwykłą parametryzację. Olbrzymią korzyścią zastosowania modeli autogenerujących jest możliwość błyskawicznego wygenerowania modeli dla różnych danych wejściowych. Model autogenerujący zawiera w sobie: zidentyfikowane cechy funkcjonalne i konstrukcyjne sterujące powstaniem ostatecznego wyrobu, zależności pomiędzy nimi oraz reguły np. eksploatacyjne czy też wynikające z technologiczności. Bardzo często model autogenerujący jest zintegrowany z metodą elementów skończonych, co pozwala na szybkie prowadzenie wielowariantowych analiz wytrzymałościowych.

Zastosowanie modeli autogenerujących podczas projektowania przekładni

W projektowanej przekładni zastosowano modele autogenerujące kół zębatych stożkowych stopnia głównego przekładni oraz walcowych pochodzących z przekładni planetarnej. Dzięki zastosowaniu tej techniki w prosty sposób można generować koła zębate o określonych parametrach geometrycznych i zabudowywać je w projektowanej przekładni dzięki niezwykle dokładnej metodzie tworzenia ewolwentowego zarysu zębów, model spełnia warunki dokładności by użyć go w metodzie elementów skończonych w obliczeniach naprężeń kontaktowych.

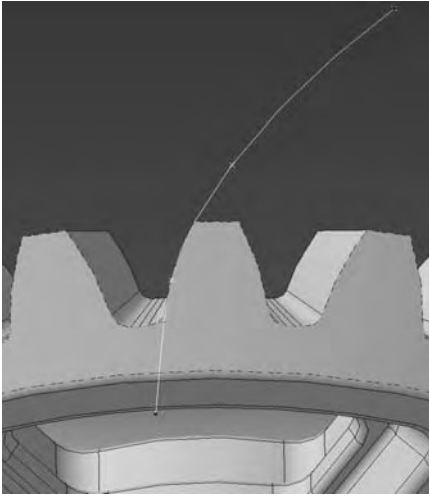
Model koła stożkowego

Model autogenerujący koła zębatego stożkowego o ewolwentowym zarysie zęba został wykonany przy pomocy modułów Generative Shape Design, Part Design oraz Knowledge Advisor. Dane niezbędne do stworzenia tego modelu, podawane za pomocą narzędzia „Formuła” przedstawione zostały w poniższej tabeli.

Tabela 1. Parametry wejściowe stożkowego koła autogenerującego
Table 1. Parameters of autogenerate conical gear model

Nazwa parametru	Symbol	Jednostka
Liczba zębów koła 1	Z_1	-
Liczba zębów koła 2	Z_2	-
Kąt zarysu	α	deg
Moduł	m	mm
Szerokość zęba	b	mm
Współczynnik korekcji	X_1	mm
	c	mm

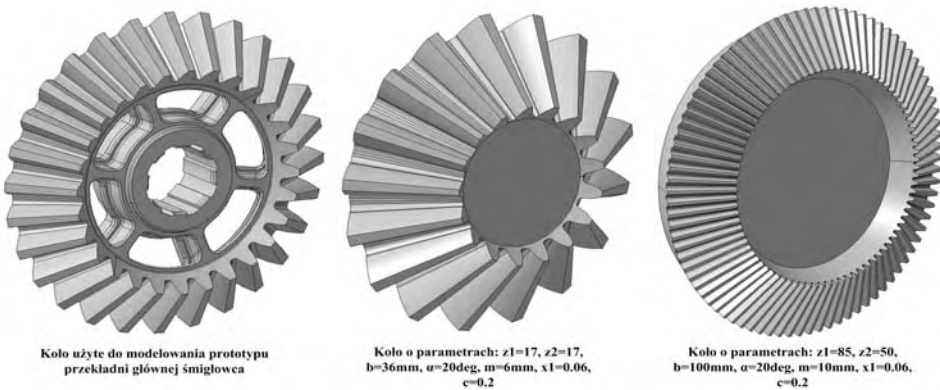
Zarys zęba został utworzony na podstawie samogenerującej się krzywej ewolwentowej przedstawionej na rysunku 4:



Rys. 4. Samogenerująca się linia ewolwentowa

Fig. 4. Autogenerated involute line

W oparciu o ewolwentę zostaje wygenerowana w module Generative Shape Design powierzchnia zęba, która następnie zostaje zamknięta powierzchnią podstaw walca dzięki funkcji Close Surface, tworząc powierzchnie typu Volume wypełnioną następnie materiałem. W ten sposób sparametryzowany model powierzchniowy automatycznie zmienia się w model bryłowy. Przykłady wygenerowanych za pomocą tego modelu kół, znajdują się na ilustracji 5.



Rys. 5. Przykłady kół stożkowych utworzonych dzięki użyciu modelu autogenerującego

Fig. 5. Example of autogenerating conical gear

Model koła walcowego

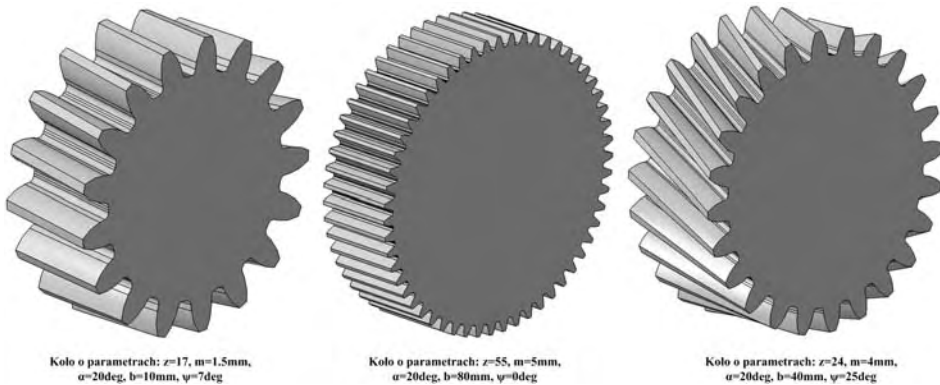
Model autogenerujący koła zębatego walcowego o ewolwentowym zarysie zęba został wykonany przy pomocy modułów Part Design oraz Knowledge Advisor zawartych w systemie CatiaV5. Model ten jest uniwersalnym narzędziem do

generowania kół o zębach prostych i śrubowych. Parametry służące do stworzenia koła zostały umieszczone w tabeli 2.

Tabela 2. Parametry autogenerującego koła walcowego
 Table 2. Parameters of autogenerate cylindrical gear model

Nazwa parametru	Symbol	Jednostka
Liczba zębów koła	Z	-
Kąt zarysu	α	deg
Moduł	m	mm
Szerokość zęba	b	mm
Kąt linii śrubowej	ψ	mm

Kilka przykładów utworzonych kół walcowych przedstawia rysunek 6.



Rys. 6. Przykłady kół walcowych utworzonych dzięki użyciu modelu autogenerującego
 Fig. 6. Example of autogenerating cylindrical gear

WNIOSKI

Przedstawiony projekt przekładni śmigłowej dzięki zastosowaniu modeli autogenerujących jest przystosowany do wielowariantowych analiz. Zakres zastosowania modeli autogenerujących można rozszerzyć na przykład o wałki i powiązać je z kołami zębatymi. Zastosowane procedury analizy kolizyjności i prześwitów/ luzów i zapisanie ich w drzewie struktury modelu pozwalają na błyskawiczną weryfikację prawidłowości opracowanej konstrukcji. Jakość modeli autogenerujących kół zębatych zwłaszcza, jeśli chodzi o generowanie ewolwentowego zarysu zęba oraz otworów odchudzających pozwala na zastosowanie tych modeli w wielowariantowych analizach MES badających ich wytrzymałość zwłaszcza stykową. Jest to niezwykle ważne ze względu na fakt, że zamodelowanie dokładnej geometrii do modelu MES jest niezwykle czasochłonne.

PIŚMIENNICTWO

1. Jaśkiewicz Z., Wąsiewski A.: Przekładnie walcowe. Projektowanie. WKŁ. Warszawa 1995.
2. Skarka W.: Catia v5. Podstawy budowy modeli autogenerujących. Helion. Gliwice 2009.
3. Wełyczko A.: Catia v5. Przykłady efektywnego zastosowania systemu w projektowaniu mechanicznym. Helion. Gliwice 2005.
4. Wyleżoł M. : Catia v5. Modelowanie i analiza układów kinematycznych. Helion. Gliwice 2007.

VIRTUAL PROTOTYPING OF THE HELICOPTER MAIN GEARBOX USING AUTOGENERATE MODELS

Summary

In this paper we presented virtual prototype of main helicopter rotor transmission gear in classic configuration. During work on this project we use auto-generating cylindrical and conical gear models. This models allow to analysis this transmission gear in some different ways..

Keywords: CatiaV5, helicopter, gear, transmission gear, autogenerating model, main helicopter transmission gear.