

Angelika WRONKOWICZ¹, Dominik WACHLA²

MODEL AUTOGENERUJĄCY CAD ZAZĘBIENIA PRZEKŁADNI ŚLIMAKOWEJ

Streszczenie. W artykule objaśniono pojęcie modelu autogenerującego CAD, jego genezę oraz wynikającą stąd potrzebę budowy tego typu modeli. Krótko omówiono proces tworzenia modelu autogenerującego oraz specyficzne formy zapisu wiedzy stosowane w fazie jego implementacji w różnych systemach CAD. Metodę budowy modelu autogenerującego przedstawiono na przykładzie zazębienia przekładni ślimakowej, który zrealizowano w oprogramowaniu CATIA. Wskazano źródła i rodzaje wiedzy projektowo-konstrukcyjnej potrzebne do zbudowania ww. modelu oraz język UML, jako metodę formalnego zapisu tej wiedzy. Opisano koncepcję budowy modelu, tj. przyjęte założenia oraz strukturę i logikę jego działania. Przedstawiono również wybrane fragmenty projektu, pokazujące, w jaki sposób model został wykonany.

Słowa kluczowe: model autogenerujący, przekładnia ślimakowa, projektowanie bazujące na wiedzy, CATIA

A GENERATIVE CAD MODEL OF A WORM GEAR MESHING

Summary. This article introduces the term of a generative CAD model, its origins and, thus, a need of creating such a type of models. A process of generative model creation as well as specific forms of knowledge recording applied in the implementation phase in various CAD systems are briefly discussed. The example of a worm gear meshing realized by the CATIA software encapsulates the methodology of generative model construction. Sources and types of knowledge for design and construction required for development of the aforementioned model as well as the UML language as a method of formal knowledge recording are presented. The concept of model creation, i.e. assumptions and the structure as well as logic of the model operation are described. Also, the paper addresses selected elements of the project that present the manner in which the model was constructed.

Keywords: generative model, worm gear, knowledge based designing, CATIA

¹ Institute of Fundamentals of Machinery Design, Faculty of Mechanical Engineering, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, e-mail: angelika.wronkowicz@gmail.com.

² Institute of Fundamentals of Machinery Design, Faculty of Mechanical Engineering, Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, e-mail: dominik.wachla@polsl.pl.

1. WPROWADZENIE

Dynamiczny rozwój branży produkcyjnej wymaga stosowania nowych metod wspomagających i usprawniających pracę konstruktorów. W ostatnim czasie można zauważyć wyraźny wzrost zainteresowania działem nauki, jakim jest inżynieria wiedzy. Dziedzina ta obejmuje zagadnienia dotyczące metod pozyskiwania i zapisu szeroko rozumianej wiedzy (w tym również wiedzy projektowo-konstrukcyjnej) oraz jej praktycznego wykorzystania, np. w systemach doradczych wspomagających podejmowanie decyzji. Jednym z obszarów zastosowań tej dziedziny jest komputerowe wspomaganie projektowania CAD. Stosowane obecnie komputerowe systemy CAD umożliwiają zapis wiedzy projektowo-konstrukcyjnej i jej integrację z modelem geometrycznym m.in. przez mechanizm parametryzacji. Umożliwia to budowę tzw. modeli autogenerujących CAD [9, 10]. Na chwilę obecną nie spotyka się dużej liczby publikacji na ten temat. Jest to więc jeszcze stosunkowo nowy, niewyczerpany obszar badawczy. Z tego względu możliwość integracji wiedzy projektowo-konstrukcyjnej z modelem bryłowym projektowanego środka technicznego może stanowić dla konstruktorów nowe ujęcie problemu.

Model autogenerujący CAD jest narzędziem nowoczesnej, bazującej na wiedzy metody projektowania. Powstał w celu ułatwienia i przyspieszenia realizacji procesu konstruowania powtarzalnych elementów maszyn i urządzeń, tj. elementów lub zespołów mających tę samą konstrukcję bazową, lecz różniących się wartościami określonych cech konstrukcyjnych. Z uwagi na pracochłonność przygotowania takiego modelu, nie jest on stosowany w procesie konstruowania innowacyjnych lub jednostkowych środków technicznych [9, 10, 11, 12].

Budowa modeli autogenerujących polega na wzbogacaniu zwykłego modelu geometrycznego CAD o wiedzę projektowo-konstrukcyjną wprowadzaną do systemu za pomocą różnych form jej reprezentacji, takich jak np. [9]:

- parametry – definiowane za pomocą wartości liczbowych bądź opisowych,
- formuły – najczęściej będące zależnościami matematycznymi,
- reguły i reakcje (zazwyczaj w postaci: „jeśli” *przesłanka* „to” *konkluzja*) – stosowane np. do automatycznego doboru znormalizowanych wartości parametrów lub takich parametrów, które w tradycyjnym projektowaniu konstruktor odczytuje z wykresów bądź tabel,
- sprawdzenia – przez które można powiadomić użytkownika modelu w przypadku niespełnienia pewnych warunków bądź przekroczenia określonych ograniczeń projektowych,
- tablice projektowe i ich konfiguracje – umożliwiające sterowanie aktywnością zestawów wielu parametrów,
- szablony wiedzy – będące formą zarządzania i udostępniania ww. wiedzy.

Nieodłącznym elementem modeli autogenerujących jest formalny zapis pozyskanej wiedzy w postaci diagramów języka UML. Za ich pomocą można w sposób graficzny zapisać zgromadzoną wiedzę projektowo-konstrukcyjną oraz szczegółowo przedstawić sposób działania opracowanego modelu.

Od kilku lat w Instytucie Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej prowadzone są liczne prace badawcze dotyczące pozyskiwania wiedzy projektowo-konstrukcyjnej i jej implementacji w zaawansowanych systemach CAD [10, 11]. Wynikiem tych prac jest biblioteka modeli autogenerujących CAD różnorodnych zespołów maszynowych (przekładnia zębata, przekładnia pasowa, podnośnik śrubowy, zawór zaporowy i inne). Biblioteka jest niekompletna i brak w niej modeli wielu standardowych konstrukcji mechanicznych, w tym m.in. modelu przekładni ślimakowej. W związku z tym podjęto prace dotyczące budowy

modelu zazębienia przekładni ślimakowej, który ma w przyszłości stanowić podstawę do opracowania kompletnego modelu przekładni ślimakowej, obejmującego ślimak i ślimacznice wraz z uzębieniem, wały, układ łożyskowania oraz korpus.

2. WIEDZA PROJEKTOWO-KONSTRUKCYJNA DOTYCZĄCA PRZEKŁADNI ŚLIMAKOWYCH

Przekładnia ślimakowa to mechanizm przeznaczony do przenoszenia ruchu obrotowego. Utworzona jest ze specjalnie ukształtowanych kół, tj. ślimaka (przypominającego śrubę o gwincie trapezowym) oraz koła ślimakowego, zwanego również ślimacznicą. Podstawową zaletą takich przekładni jest możliwość uzyskania dużego przełożenia (nawet powyżej 1:100) oraz równomierności ruchu. Do wad należą nagrzewanie się przekładni oraz stosunkowo niska sprawność. Z uwagi na kształt ślimaka przekładnie te dzielą się na walcowe oraz globoidalne. Stanowią one ważny zespół układów napędowych maszyn roboczych. Są stosowane m.in. w układach napędowych samochodów, manipulatorów przemysłowych, w mechanizmach podziałowych obrabiarek czy też jako reduktory w dźwignicach [1, 5, 7].

2.1. Źródła wiedzy

Istnieje wiele źródeł, z których można czerpać wiedzę o przekładniach ślimakowych. Najbogatszym źródłem tej wiedzy są książki, czasopisma branżowe oraz publikacje naukowe. Inne ważne źródła to katalogi producentów, Polskie Normy, w tym:

- PN-93/M-88527 Polska Norma. Przekładnie i reduktory ślimakowe walcowe ogólnego przeznaczenia. Parametry podstawowe,
- PN-83/M-88532 Polska Norma. Przekładnie ślimakowe walcowe do reduktorów. Podstawowe parametry.

2.2. Obszary wiedzy

Budowa modelu autogenerującego CAD zazębienia przekładni ślimakowej wymaga pozyskania wiedzy z obszarów dotyczących m.in. [2, 3, 5, 7]:

- zakresu stosowania przekładni ślimakowych,
- normalizacji wybranych elementów, wprowadzanej w celu zmniejszenia asortymentu wytwarzanych przekładni, obniżenia kosztów produkcji i redukcji nakładów na narzędzia i oprzyrządowanie,
- technologii wytwarzania (metodą kształtową, obwiedniową), która jest niezbędna do ustalenia sposobu modelowania uzębienia ślimaka i ślimacznicy,
- zaleceń w zakresie stosowania ulepszania cieplnego oraz obróbki wykańczającej (szlifowanie, polerowanie), która jest niezbędna do przeprowadzenia obliczeń na etapie weryfikacji wytrzymałościowej,
- tworzyw stosowanych na koła przekładni ślimakowych (w szczególności dotyczących gatunków i własności stali do produkcji ślimaków oraz odmian brązów i żeliw stosowanych na ślimacznice, a także sposobu doboru tych tworzyw odpowiednio na uzębienie ślimaka i ślimacznicy oraz zalecanych kombinacji obu materiałów),

- zarysów zębów ślimaka i koła ślimakowego oraz ich konstrukcji geometrycznej (zarys spiralny, konwolutowy lub ewolwentowy) potrzebnej do opracowania profilu, za pomocą którego „nacinane” będą zęby w modelu,
- obliczeń podstawowych wymiarów przekładni oraz geometrii zazębienia, która jest potrzebna do ustalenia konkretnych wartości parametrów określających jednoznacznie wielkość ślimaka i ślimacznicy oraz ich uzębienia (jak np. moduł, liczba zębów i ich wysokość, średnica podziałowa); podsumowanie tego zakresu wiedzy stanowi pierwsza część algorytmu pokazanego na rys. 1,
- weryfikacji wytrzymałościowej, obejmującej: stan obciążenia, tj. rozkład oraz wartości sił działających w zazębieniu i ewentualnie ich zmienność, obliczenia zmęczeniowe na naprężenia stykowe, zginanie zębów koła ślimakowego oraz na zagrzanie przekładni; podsumowanie tego zakresu wiedzy stanowi druga część algorytmu widocznego na rys. 1.

2.3. Formy zapisu wiedzy

Ważną kwestią jest odpowiednia i przejrzysta metoda zapisu wiedzy. W zależności od specyfiki pozyskiwanej wiedzy, sposób jej zapisu może przybierać różne formy, m.in.:

- wiedzę o tworzywach stosowanych na ślimak i ślimacznice można umieścić w tabeli zawierającej m.in. takie dane, jak nazwa tworzywa, skład chemiczny, własności mechaniczne R_e , R_m , wymaganą twardość i inne,
- wiedzę dotyczącą wyboru odległości międzyosiowej przekładni ślimakowej można przedstawić w postaci reguły złożonej (jej fragment pokazano w tabeli 1), która dobiera odpowiednią wartość tej odległości spośród wartości znormalizowanych (wg PN-93/M-88527 [6]), na podstawie wyników obliczeń wstępnych,

Tabela 1

Fragment reguły doboru odległości międzyosiowej przekładni ślimakowej a_w [12]

<i>Jeżeli</i>	$a_w \leq 40$ [mm]	<i>to</i>	$a_w = 40$ [mm]
	$40 < a_w \leq 45$ [mm]		$a_w = 45$ [mm]
	$45 < a_w \leq 50$ [mm]		$a_w = 50$ [mm]
	(...)		(...)
	$450 < a_w \leq 500$ [mm]		$a_w = 500$ [mm]
	$a_w > 500$ [mm]		Zmiana parametrów wejściowych. Obliczona odległość osi przekracza wartości znormalizowane.

- związek funkcyjny istniejący pomiędzy rozpatrywanymi zmiennymi można zapisać w postaci odpowiedniego równania, np. zapis dla wyznaczenia wartości skoku zwoju ślimaka s_f [5]:

$$s_f = p_x z_f \quad (1)$$

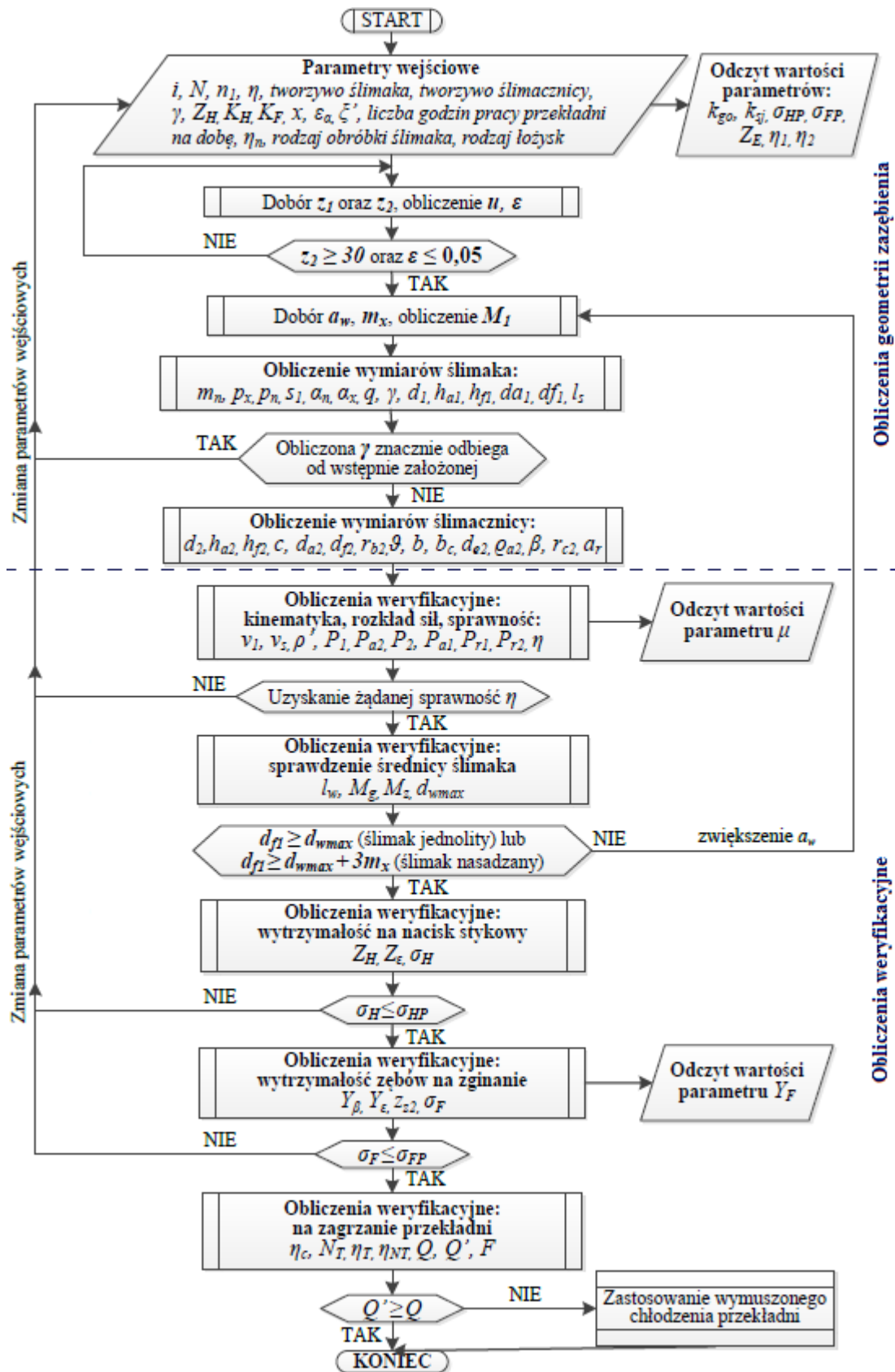
gdzie:

p_x – podziałka osiowa [mm],

z_f – liczba zębów ślimaka.

- określone wymagania i warunki wytrzymałościowe można zapisać za pomocą odpowiednich nierówności ostrych i słabych, np. warunek maksymalnej dopuszczalnej, względnej odchyłki przełożenia ε , wynoszącej 5% [8], można przedstawić w postaci:

$$\varepsilon \leq 0,05 \quad (2)$$



Rys. 1. Algorytm obliczeniowy przekładni ślimakowej [12]

Fig. 1. A worm gear calculation algorithm [12]

3. KONCEPCJA MODELU

Ze względu na złożoność konstrukcji przekładni ślimakowych założono, że budowany model autogenerujący będzie dotyczył tylko zazębienia przekładni ślimakowej walcowej zewnętrznej, o ewolwentowym zarysie zębów, jako najczęściej stosowanej konstrukcji tego typu [5]. Ponadto, przyjęto, że model zostanie opracowany w oprogramowaniu CATIA V5, które ma rozbudowany moduł implementacji wiedzy projektowo-konstrukcyjnej *Knowledgware* [9] i dodatkowo jest dostępne w Instytucie Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej.

Na podstawie pozyskanej wiedzy dotyczącej przekładni ślimakowych oraz narzędzi *Knowledgware* dostępnych w oprogramowaniu CATIA V5, zaproponowano strukturę i logikę działania modelu autogenerującego. Założono, że jego struktura będzie składała się z trzech plików:

- pliku złożenia, w którym zostaną zdefiniowane podstawowe parametry przekładni ślimakowej oraz będą realizowane obliczenia wartości tych parametrów na podstawie określonych danych wejściowych,
- dwóch plików ze sparametryzowanymi modelami bryłowymi odpowiednio ślimaka i wieńca ślimacznicy oraz algorytmami obliczającymi wartości cech geometrycznych tych elementów na podstawie danych przekazanych z pliku złożenia.

Wymiana danych pomiędzy plikiem złożenia a plikami modeli bryłowych zostanie zrealizowana z wykorzystaniem mechanizmu parametrów zewnętrznych. Przyjęto, że przy założonej strukturze modelu proces generowania będzie składał się z następujących etapów:

- wskazanie wartości parametrów wejściowych, m.in.: przełożenie nominalne, moc, sprawność przekładni, prędkość obrotowa wału ślimaka, tworzywo ślimaka i ślimacznicy, wstępnie dobrany kąt wzniosu linii śrubowej ślimaka, czołowy wskaźnik zazębienia, zakładana liczba godzin pracy na dobę, stopień obciążenia przekładni, rodzaj obróbki ślimaka, rodzaj łożyskowania itd.,
- obliczenie wartości podstawowych cech konstrukcyjnych przekładni ślimakowej, a następnie przekazanie wyników obliczeń do plików z modelem bryłowym ślimaka i modelem bryłowym wieńca ślimacznicy, z wykorzystaniem ww. mechanizmu parametrów zewnętrznych,
- obliczenie wartości cech geometrycznych ślimaka i wieńca ślimacznicy z wykorzystaniem algorytmów zaimplementowanych w plikach z modelami bryłowymi tych elementów,
- wygenerowanie modeli bryłowych ślimaka i wieńca ślimacznicy na podstawie wyznaczonych wartości cech geometrycznych i sparametryzowanych modeli bryłowych tych elementów.

Na podstawie wyżej przedstawionej struktury i logiki działania, sporządzone zostały diagramy UML, zawierające szczegółowy zapis opracowanego modelu autogenerującego zazębienia przekładni ślimakowej.

4. IMPLEMENTACJA MODELU

Zgodnie z przyjętą koncepcją modelu, w oprogramowaniu CATIA utworzono zestaw odpowiednich plików, a następnie wprowadzono parametry oraz konstrukcje geometryczne niezbędne do wygenerowania modelu bryłowego zazębienia przekładni ślimakowej. Proces automatycznego generowania modelu został podzielony na dwa etapy:

- wyznaczenie podstawowych cech konstrukcyjnych zazębienia przekładni ślimakowej wraz z weryfikacją wytrzymałościową,
- automatyczna budowa modelu bryłowego na podstawie wyznaczonych cech konstrukcyjnych i sparametryzowanego modelu geometrycznego zazębienia.

4.1. Obliczenia parametrów geometrycznych oraz weryfikacja wytrzymałościowa

Do zbudowania algorytmu obliczeniowego (rys. 1) [4] wykorzystano dostępne w systemie CATIA narzędzia zapisu wiedzy, tj. m.in. formuły, reguły, tablice projektowe, sprawozdania itd. [9]. Znaczną część obliczeń realizowanych wg algorytmu pokazanego na rys. 1 stanowią równania. Zostały one zaimplementowane w postaci odpowiednich formuł. Pozostałe fragmenty algorytmu obliczeniowego (m.in. warunki sprawdzające, dobór tworzyw i wartości parametrów normalizowanych) zaimplementowano z wykorzystaniem odpowiednich reguł i pozostałych, ww. narzędzi zapisu wiedzy.

Wprowadzone zostały m.in. reguły z dialogiem, za pomocą których użytkownik może określić rodzaj łożysk, jakie będą zastosowane w przekładni, oraz rodzaj obróbki ślimaka. Na podstawie wybranego rodzaju łożysk system automatycznie przypisuje wartość sprawności łożyskowania, co wpływa na sprawność całkowitą przekładni. Wybór rodzaju obróbki ślimaka steruje doбором współczynnika tarcia. Jego wartość zależy nie tylko od rodzaju zastosowanej obróbki cieplnej, ale również od zastosowanej obróbki wykańczającej oraz wyliczonej z równania wartości prędkości poślizgu. Na przykład przy prędkości poślizgu równej 4 m/s dla ślimaków toczonych i ulepszanych cieplnie, wartość współczynnika tarcia wynosi $\mu = 0,06$, z kolei dla ślimaków o bokach zwojów utwardzanych powierzchniowo i szlifowanych – $\mu = 0,022$ [4].

W dalszej kolejności utworzono bibliotekę zawierającą podstawowe dane dotyczące własności najczęściej stosowanych w praktyce tworzyw na ślimaki i wieńce ślimacznicy. Bibliotekę utworzono w formie tablic projektowych. Tablice te umożliwiają wybór odpowiedniego tworzywa zarówno na ślimak, jak i wieniec ślimacznicy. Wraz z wyborem tworzywa następuje automatyczne przypisanie odpowiednich wartości dopuszczalnych naprężeń zginających i dopuszczalnych nacisków stykowych. Powyższe parametry służą do wstępnego obliczenia rozstawu osi przekładni oraz do weryfikacji przyjętych kryteriów wytrzymałościowych.

Zgodnie z pozyskaną wiedzą projektowo-konstrukcyjną, w modelu zaimplementowano wiele reguł dobierających odpowiednie wartości normalizowanych parametrów przekładni ślimakowej, takich jak np.: liczba zębów ślimaka i ślimacznicy (wg PN-83/M-88532), odległość między osiami ślimaka i kołem ślimakowym, moduł nominalny, wskaźnik średnicowy (wg PN-93/M-88527) itp.

Zaimplementowano również reguły doboru wartości parametrów, które są zależne od wartości innych parametrów, np. wysokość głowy i stopy zębów ślimaka oraz ślimacznicy jest zależna od wartości kąta wzniosu linii śrubowej ślimaka. Gdy kąt ten jest mniejszy bądź równy 15° , wysokość zębów obliczana jest z zależności bazującej na module nominalnym (osiowym), natomiast gdy jest większy od 15° , stosowana jest zależność bazująca na module normalnym [5].

W modelu wprowadzono również mechanizm sprawdzeń, kontrolujący m.in.:

- wartości naprężeń zginających oraz nacisków stykowych,
- wartość dopuszczalnej odchyłki przełożenia (stosunek przełożenia rzeczywistego do przełożenia nominalnego),
- wartość średnicy wału ślimaka,
- wielkość podcięcia zębów ślimacznicy,

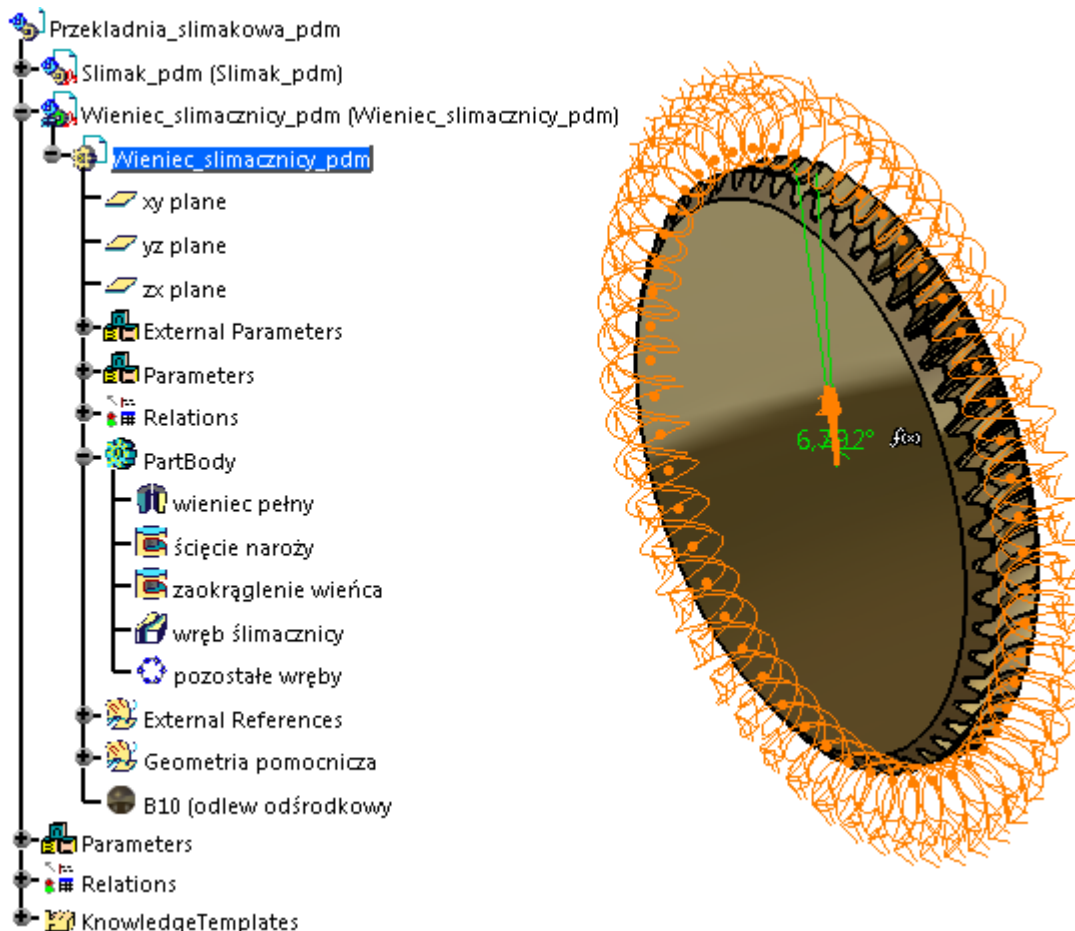
- wartość założonej sprawności przekładni,
- poprawność działania modelu autogenerującego.

Zaimplementowane reguły sprawdzające poprawność działania opracowanego modelu autogenerującego nie są związane bezpośrednio z obliczeniami zazębienia przekładni ślimakowych. Zadanie tych reguł polega na uniknięciu przerwania procesu autogenerowania w przypadku niezgodności wykonywanej operacji z cechami opisującymi przyjęty wariant modelu. Przykładem jest reguła dezaktywująca funkcję *circular pattern* w operacji powielania zwoju ślimaka, gdy dobrany został ślimak o liczbie zwojów równej 1.

W przypadku wystąpienia komunikatu lub grupy komunikatów informujących o niespełnieniu któregoś z warunków weryfikacyjnych, użytkownik ma możliwość zmiany parametrów wejściowych. Zatwierdzanie wprowadzonych zmian wymaga potwierdzenia poprzez ręczną aktualizację modelu. Proces ten można powtarzać do momentu uzyskania pożądaných wartości parametrów generowanego modelu zazębienia.

4.2. Budowa modelu bryłowego

W pierwszym kroku budowy modelu geometrycznego zazębienia przekładni ślimakowej utworzona została tzw. geometria pomocnicza, będąca bazą do wygenerowania gotowego modelu bryłowego ślimaka i wieńca ślimacznicy.

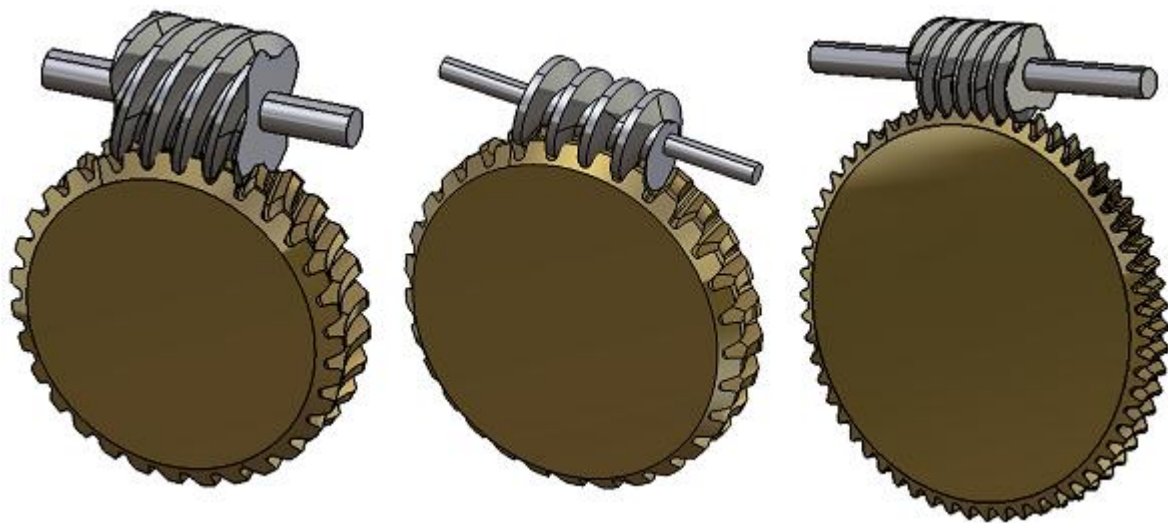


Rys. 2. Generowanie modelu bryłowego wieńca ślimacznicy
Fig. 2. A worm wheel solid model generating

Złożyły się na nią charakterystyczne dla przekładni ślimakowych punkty, osie, okręgi, płaszczyzny oraz inne elementy pomocnicze, jak np. fragment ewolwenty, stanowiący zarys zębów ślimacznicy.

Na podstawie geometrii pomocniczej utworzono szkice przekrojów koła ślimakowego i wałka ślimaka oraz pozostałe elementy niezbędne do uzyskania końcowej postaci modelu bryłowego. Na rys. 2 pokazano ostatni etap (operacja nacinania wrębów) generowania modelu bryłowego uzębienia ślimacznicy wraz z drzewem struktury opracowanego modelu, widocznym z lewej strony rysunku.

Ostatnim etapem budowy modelu było utworzenie szablonu wiedzy [9], umożliwiającego automatyczne generowanie modelu zazębienia przekładni ślimakowej w zależności od zadanych wartości parametrów wejściowych. Działanie szablonu sprawdzono dla wielu różnych wariantów wartości wejściowych. Na rys. 3 przedstawiono trzy przykładowe modele zazębień uzyskane w trakcie przeprowadzonej weryfikacji opracowanego modelu autogenerującego.



Rys. 3. Przykłady różnych wariantów wygenerowanych modeli zazębienia przekładni ślimakowej
Fig. 3. Examples of various alternatives of generated models of a worm gear meshing

5. PODSUMOWANIE

Model autogenerujący CAD jest nowoczesnym narzędziem wspomagającym pracę konstruktora. Pozwala integrować wiedzę projektowo-konstrukcyjną z modelem bryłowym CAD. Jego główną zaletą jest możliwość automatyzacji rutynowych zadań wykonywanych przez projektanta. Dzięki temu możliwe jest szybkie sprawdzenie wielu wariantów konstruowanego środka technicznego, co skutkuje wzrostem efektywności procesu projektowo-konstrukcyjnego.

W artykule przedstawiono proces budowy modelu autogenerującego CAD, dla zazębienia przekładni ślimakowej. W zbiorze modeli autogenerujących CAD, opracowanych w Instytucie Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej, model zazębienia przekładni ślimakowej do tej pory nie był dostępny. Model został opracowany przez autorkę niniejszego artykułu w ramach pracy dyplomowej magisterskiej [12].

Zrealizowana praca wskazuje na znaczną pracochłonność procesu budowy modeli autogenerujących CAD. Wynika to przede wszystkim z konieczności akwizycji odpowiedniej wiedzy projektowo-konstrukcyjnej, przekształcenia i zapisu pozyskanej wiedzy do postaci

(diagramy UML) umożliwiającej jej implementację i integrację z modelem bryłowym konstruowanego środka technicznego w wybranym środowisku CAD. Opracowany model może zostać w przyszłości wykorzystany jako składowa modelu autogenerującego kompletnej przekładni ślimakowej.

Bibliografia

1. Dziama A., Michniewicz M., Niedźwiedzki A.: Przekładnie zębate. PWN, Warszawa 1995, s. 19, 26-27.
2. Kornberger Z.: Przekładnie ślimakowe. Konstrukcja, wykonanie, sprawdzanie. WNT, Warszawa 1971, s. 221.
3. Kurmaz L.W.: Podstawy konstrukcji maszyn. Projektowanie. PWN, Warszawa 1999, s. 22.
4. Mazanek E.: Przykłady obliczeń z podstaw konstrukcji maszyn. Cz. II. WNT, Warszawa, s. 328, 333.
5. Ochęduszek K.: Koła zębate. Konstruowanie. WNT, Warszawa 1985, s. 307-308, 314, 319.
6. PN-93/M-88527. Przekładnie i reduktory ślimakowe walcowe ogólnego przeznaczenia. Parametry podstawowe.
7. Dietrich M. (red.): Podstawy konstrukcji maszyn. Tom 3. WNT, Warszawa 2008, s. 558, 560, 580.
8. Sabiniak H.G.: Obliczenia projektowe zasadniczych wielkości przekładni ślimakowych. Przegląd mechaniczny, z. 2/2009, s. 26.
9. Skarka W.: CATIA V5. Podstawy budowy modeli autogenerujących. Helion, Gliwice 2009, s. 9, 36, 43-47.
10. Skarka W.: Metodologia procesu projektowo-konstrukcyjnego opartego na wiedzy. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
11. Skarka W.: Modelowanie bazy wiedzy dla budowy modeli autogenerujących w systemie CATIA z zastosowaniem języka UML. Modelowanie inżynierskie, Gliwice 2007, s. 145.
12. Wronkiewicz A.: Praca dyplomowa magisterska. Model autogenerujący przekładni ślimakowej. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013, s. 6, 11-12, 46.