

# Wykorzystanie systemów CAx w procesie modelowania i obliczeń reduktora dwustopniowego

## Utilization of CAx systems in the process of modeling and calculation of two-step reducer

RAFAL GOŁĘBSKI \*

Materiały z XX SKWPWiE, Jurata 2016 r.  
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.127

W artykule przedstawiono wykorzystanie aplikacji komputerowego wspomaganie projektowania i obliczeń inżynierskich w procesie budowy reduktora. Zaprezentowano współpracujące ze sobą programy, które znacząco wpływają na jakość produktu i skrócenie procesu jego wytworzenia. Na podstawie wcześniej przeprowadzonych obliczeń elementy przekładni zostały wytworzone za pomocą oprogramowania GearTeq. Elementy te przeniesiono do programu SolidEdge, w którym zamodelowano obudowę i dokonano złożenia poszczególnych części. Analizę obliczeniową MES przeprowadzono z wykorzystaniem środowiska Ansys 14 Workbench.

**SŁOWA KLUCZOWE:** reduktor, analiza MES, dyskretyzacja modelu, systemy CAx

*The article presents an analysis on the use of the application of computer-aided design and engineering calculation in the process of the design of reducer. Presented the influence of programs that can work together affecting significantly the quality of the product and shorten the process of its production. Gearbox components based on previously calculations were generated using software GearTeq. Generated gearbox components have been moved to the Solid Edge software, where successively were developed and finally assembly of whole reducer were made. Computational analysis was performed with the use of MES environment Ansys 14 Workbench.*

**KEYWORDS:** reducer, FEM analysis, model discretization, CAx systems

Modelowanie w oprogramowaniu CAD wykorzystuje właściwości matematyczne oraz techniczne. Dzięki temu jedną część lub detale można wykonać za pomocą wielu różnych rozwiązań. Wraz ze wzrostem skomplikowania detalu zwiększa się ilość sposobów, według których można zamodelować część. Należy jednak pamiętać, że nie wszystkie sposoby dają oczekiwany efekt dokładnego wykonania zaprojektowanego modelu. Zamodelowana część powinna spełnić określone zasady modelowania w celu wykorzystania jej w sposób jak najbardziej wydajny do dalszych czynności związanych z projektowaniem [2]. Takimi zadaniami projektowymi mogą być:

- analiza kinematyki modelu,
- analiza dynamiczna,
- obliczenia MES,
- generowanie dokumentacji technologicznej,
- szybka i łatwa edycja modelu,
- symulacja zespołów zbudowanych z części.

Odpowiednie dobranie metod modelowania jest bardzo ważne, ponieważ zapewnia to bezproblemowe przeprowadzenie dalszych czynności zarówno konstrukcyjnych, jak i analitycznych. Oprogramowanie wykorzystujące metodę elementów skończonych opiera się głównie na symulacji detali importowanych z plików zewnętrznych powstałych w wyniku zapisu geometrii zamodelowanych w aplikacjach CAD.

Analiza MES daje dużą przewagę inżynierowi, ponieważ przy właściwej interpretacji i przeprowadzeniu obliczeń można zobrazować zachowanie się badanego elementu w warunkach zbliżonych do środowiska jego pracy i określić, czy model będzie spełniał stawiane mu wymagania. Aby poprawnie wykonać symulację, należy posiadać odpowiednią wiedzę z zakresu zjawisk towarzyszących obiektowi badań podczas symulacji. Prawidłowe określenie danych materiałowych, warunków brzegowych, a także stopnia i zakresu obciążeń jest w tym przypadku niezbędne.

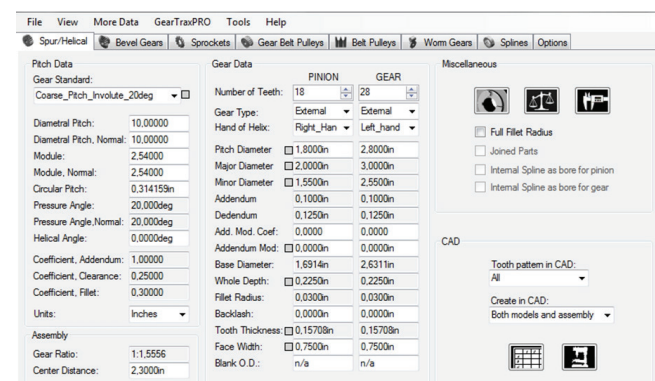
### Modelowanie reduktora w środowisku CAD

Modelowanie reduktora zostało wykonane w programie SolidEdge ST4 z uwzględnieniem wcześniej przeprowadzonych obliczeń [4, 6].

W reduktorze zostanie użyta przekładnia zębata z kołami o zębach skośnych. Zgodnie z obliczeniami parametry przekładni to:

- moduł – 5 mm,
- kąt pochylenia zębów  $\beta = 10^\circ$ ,
- szerokość wieńca koła czynnego – 70 mm,
- liczba zębów koła czynnego – 22,
- szerokość wieńca koła czynnego – 70 mm,
- liczba zębów koła biernego – 28,
- odległość między osiami kół – 250 mm.

Koła zębate zostały wygenerowane przez oprogramowanie GearTeq. Jest to program posiadający możliwości generowania różnego rodzaju przekładni: od przekładni o zębach prostych, skośnych czy śrubowych, aż po przekładnie ślimakowe. Interfejs oprogramowania jest intuicyjny i przy znajomości zasad konstrukcji przekładni nie stanowi dla operatora problemu. Generowanie kół polega na uruchomieniu kompatybilnego z programem GearTeq oprogramowania CAD. W tym przypadku jest to oprogramowanie SolidEdge. Aby wygenerować odpowiedni rodzaj przekładni, należy wybrać właściwą zakładkę odpowiadającą rodzajowi przekładni i uzupełnić okna dialogowe danymi niezbędnymi do generowania przekładni – rys. 1.



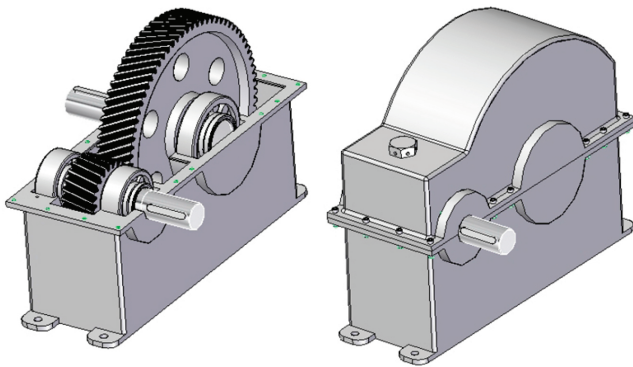
Rys. 1. Okno wprowadzania danych przekładni oprogramowania GearTeq

\* Dr inż. Rafał Gołębski (golebski@itm.pcz.pl) – Instytut Technologii Mechanicznych, Politechnika Częstochowska

Liczba pól do wprowadzania danych przekładni może wydawać się bardzo duża, lecz po wprowadzeniu kilku kluczowych parametrów pozostałe okna są uzupełniane po wykonaniu przez program niezbędnych kalkulacji. Program daje również możliwość generowania odpowiednich rodzajów piast montażowych kół zębatych zgodnie z obowiązującymi normami.

Na kolejnym etapie zaprojektowano wał czynny i bierny. SolidEdge posiada odpowiednie narzędzie do modelowania wałów. Narzędzie wykorzystuje inżynierskie zasady modelowania do generowania parametrycznej części 3D. Automatycznie tworzy modele części na podstawie wzorów technicznych i warunków eksploatacyjnych. Dodatek bez problemów modeluje rowki wpustowe, powierzchnie stożkowe oraz gwinty. Po odpowiednim wygenerowaniu wału istnieje wgląd do obliczeń związanych z wałem.

Po wykonaniu wału czynnego i biernego można przystąpić do tworzenia złożenia zespołów części. Łożyska, pierścienie osadcze oraz wpusty są elementami znormalizowanymi i zostały dobrane z katalogów w postaci modelu 3D. Program SolidEdge w module złożenia posiada zakładkę Relacje. W niej znajduje się grupa relacji, dzięki którym można powiązać ze sobą modele i zadać im odpowiednie wiązania zapewniające poprawność złożenia części. Widok złożonego zespołu wału czynnego i biernego zamontowanego w korpusie reduktora przedstawiono na rys. 2. Po wykonaniu złożenia zespołów wału czynnego i biernego stworzono obudowę reduktora, przy założeniu, iż ma być wykonana z żeliwa szarego przy minimalnej grubości ścianki wynoszącej 8 mm. Obudowę zamodelowano z dwóch części: korpusu (wraz z podporami pod łożyska wałów) oraz pokrywy. Mając zamodelowane obudowy oraz zespoły wału czynnego i biernego, utworzono złożenie kompletne reduktora. Korzystając z modułu SolidEdge'a Assembly, definiuje się relacje wprowadzające wiązania między obudową a zespołami przekładni. Reduktor po złożeniu wszystkich części obudowy zaprezentowano na rys. 2.



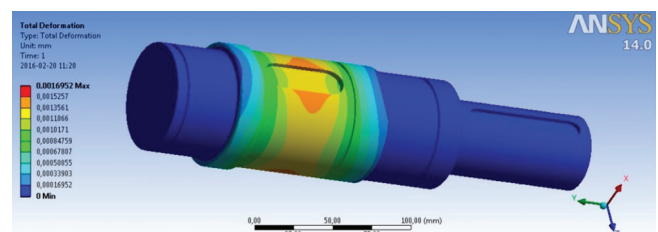
Rys. 2. Widok złożonego zespołu reduktora

### Analiza MES reduktora – Ansys 14.0 Workbench

Po zamodelowano w oprogramowaniu CAD zespołu reduktora można przystąpić do analizy metodą elementów skończonych. Analizie zostały poddane wały, na których osadzone są koła przekładni, oraz części korpusów. Celem analizy wałów będzie porównanie wyników obliczeń maksymalnego dopuszczalnego ugięcia metodami analitycznymi z wynikami uzyskanymi z oprogramowania MES, jako ugięcia rzeczywistego. Model wałów po zapisaniu plików w formacie IGES został zaimportowany do modułu static structural środowiska Ansys. Wszystkie przeprowadzone analizy miały charakter statyczny, jako pierwsze wykonano obliczenia maksymalnego rzeczywistego ugięcia wałów. Na samym początku bardzo istotnym krokiem jest właściwe dobranie danych materiałowych, według których zostały wykonane wały. Przyjęto materiał 15CrNi6. Na podstawie danych katalogowych [5] została utworzona własna biblioteka materiału

przyjętego w późniejszym procesie symulacji. Po zaimportowaniu pliku wału, aby zapewnić prawidłowe wyniki symulacji, należy zmienić typ materiału z domyślnie dodanego Structural Steel na wprowadzony materiał użytkownika, czyli 15CrNi6. Kolejnym etapem było generowanie siatki elementów skończonych. Jest to ważny etap symulacji, ponieważ od poprawności i wielkości elementów siatki zależy dokładność otrzymanych wyników. Siatkę wygenerowano, korzystając z automatycznych opcji programu, a następnie w miejscu działania siły gnącej na wał dokonano jej zagęszczenia [1], określając wielkość elementu siatki na 0,8 mm.

W miejscach osadzenia łożysk na wale przyjęto obszar utwierdzenia i odebrano modelowi wszystkie stopnie swobody, natomiast w miejscu osadzenia koła wał poddano działaniu maksymalną dopuszczalną siłą określoną wcześniej w przeprowadzonych obliczeniach analitycznych. W ustawieniach solwera obliczeniowego przyjęto oczekiwany wynik w postaci maksymalnego odkształcenia wału, oraz maksymalnych naprężeń zredukowanych. Przeprowadzono obliczenia, aby otrzymać wyniki – rys. 3. Obliczenia w analogicznym układzie warunków brzegowych i walidacji siatki przeprowadzono także dla wału czynnego.



Rys. 3. Wynik analizy wału biernego – Total Deformation – ANSYS

### Podsumowanie

W artykule przedstawiono etapy procesu modelowania elementów czynnych reduktora oraz obudowy z wykorzystaniem oprogramowania CAD. Opisana aplikacja GearTeq do modelowania przekładni w żaden sposób nie zwalnia projektanta z przeprowadzenia wcześniejszych obliczeń projektowych przekładni. Tylko takie podejście może zapewnić właściwą organizację pracy nad całym projektem. W kolejnym etapie przeprowadzono obliczenia. W tabelicy przedstawiono porównanie wyników otrzymanych drogą analityczną [4] i z obliczeń MES. Podczas przeprowadzonej symulacji otrzymane rezultaty odkształcenia wału czynnego i biernego nie przekraczają dopuszczalnych maksymalnych odkształceń otrzymanych w obliczeniach analitycznych.

### TABELICA

|            | Odkształcenie maksymalne z analizy MES [mm] | Odkształcenie dopuszczalne obliczone analitycznie [mm] | Wartość maksymalnych naprężeń zredukowanych z analizy MES [MPa] |
|------------|---|--|---|
| Wał czynny | 0,00294                                     | 0,095  | 21,653  |
| Wał bierny | 0,00170                                     | 0,066  | 12,522  |

### LITERATURA

- Krzesiński G., Zagrajek T., Marek P. „Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji, ćwiczenia z zastosowaniem systemu ANSYS”. Oficyna Wydawnictwa PW, 2005.
- Kurmaz L.W., Kurmaz O.L. „Projektowanie węzłów i części maszyn”. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2004.
- Mazanek E. „Przykłady obliczeń z podstaw konstrukcji maszyn”, WNT, Warszawa 2005.
- Military Handbook. „Metallic materials and elements for aerospace vehicle structures”. Department of Defense, USA, 1998.
- Włodarczyk M. „Zastosowanie oprogramowania MES w komputerowym wspomaganii projektowania”. Politechnika Częstochowska, 2014. ■