



Wykorzystanie wspomagania komputerowego w procesie projektowania silników elektrycznych

Magdalena GREBOSZ

*Politechnika Łódzka, Wydział Organizacji i Zarządzania
ul. Wólczańska 215, 90-924 Łódź
e-mail: magdalena.grebosz@p.lodz.pl*

Artykuł wpłynął do redakcji 10.05.2017 r.

Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 06.11.2017 r.

DOI 10.5604/01.3001.0011.7187

Streszczenie. Kompleksowe procesy projektowania maszyn i urządzeń są obecnie realizowane z zastosowaniem specjalistycznego oprogramowania. Celem artykułu jest omówienie możliwości wspomagania komputerowego w procesie projektowania silników elektrycznych. W artykule wykorzystano informacje pochodzące ze źródeł wtórnych oraz wyniki własnych badań empirycznych prowadzonych w międzynarodowej firmie produkcyjnej.

Słowa kluczowe: inżynieria produkcji, zarządzanie, projektowanie, silniki elektryczne, wspomaganie komputerowe

1. WSTĘP

W warunkach współczesnego rynku producenci silników oprócz tworzenia nowych rozwiązań technicznych, muszą posiadać umiejętność kreowania konkurencyjnej oferty produktowej.

Klienci oczekują zaawansowanych i innowacyjnych rozwiązań w krótkim czasie i po atrakcyjnej cenie. W konsekwencji, współcześni konstruktorzy, oprócz zdolności projektowania, doboru, weryfikacji i optymalizacji cech konstrukcyjnych silników, muszą posiadać umiejętności wykorzystania wspomaganie komputerowego w procesie projektowania, umiejętności pracy w zespole oraz kompleksowego zarządzania projektami, co wiąże się z przygotowaniem planów, kosztorysów oraz koordynacją działań zespołu, przy współpracy z dostawcami, działem produkcji i klientami zewnętrznymi.

Celem artykułu jest omówienie możliwości wykorzystania wspomaganie komputerowego w procesie projektowania silników elektrycznych na rzeczywistym przykładzie międzynarodowej firmy produkcyjnej. W artykule wykorzystano informacje pochodzące ze źródeł wtórnych oraz wyniki własnych badań empirycznych przeprowadzonych w firmie produkcyjnej.

2. WSPOMAGANIE KOMPUTEROWE W PROJEKTOWANIU

Projektowanie jest etapem wstępnym każdej działalności człowieka, która zmierza do przekształcenia istniejącej rzeczywistości i przyczynia się do tworzenia oraz wytwarzania nowych produktów lub przekształcania wyrobów już istniejących [1]. Wiedza projektowa inżynierów jest efektem ich wykształcenia oraz doświadczenia zawodowego. Wiedza ta może być wyrażana przez projektujących i składowana w odpowiednich reprezentacjach komputerowych. Systemy komputerowe umożliwiają magazynowanie wiedzy projektujących, sprawne zarządzanie tą wiedzą [2] oraz wykorzystywanie istniejących informacji podczas realizacji kolejnych projektów.

Rozwój zarówno techniki komputerowej, jak i numerycznych metod rozwiązywania zagadnień z dziedziny projektowania, umożliwia rozszerzenie zakresu komputerowego wspomaganie prac inżynierskich [1]. Komputerowe wspomaganie prac inżynierskich jest dziś obecne na każdym etapie projektu, a dostępne techniki szybkiego prototypowania pozwalają na sprawne wykonanie zaprojektowanego urządzenia lub maszyny.

Dodatkowo, postępująca automatyzacja produkcji i rosnące wymagania jakościowe, przy jednoczesnym dążeniu do ograniczenia kosztów, wymagają bardzo starannego technicznego przygotowania projektu. Skrócenie czasu przygotowania projektu osiąga się przez wykorzystanie komputerowej integracji produktów i procesów [3].

Dobór i projektowanie urządzeń i maszyn mieści się w zakresie technologicznego przygotowania produkcji, czyli opracowania procesów technologicznych wraz z odpowiednią dokumentacją technologiczną. Na tym etapie zastosowanie mają przede wszystkim systemy CAD/CAM wspomagające prace inżynierskie [4].

Możliwości stosowania systemów CAD przy projektowaniu dotyczą tworzenia rysunków nowych części i rysunku złożeniowego, doboru elementów znormalizowanych, czy przeprowadzenia obliczeń konstrukcyjnych. Jednak coraz częściej oprócz tradycyjnych systemów CAD/CAM, firmy wykorzystują bardziej zaawansowane oprogramowanie wspomagające procesy projektowania, korzystając zarówno z oferty dostępnej na rynku, jak i z autorskich programów. Dodatkowo podczas realizacji projektów wykorzystywane jest oprogramowanie wspomagające przygotowywanie planów, kosztorysów oraz koordynację działań.

3. PROCES PROJEKTOWANIA SILNIKÓW ELEKTRYCZNYCH W FIRMIE MIĘDZYNARODOWEJ

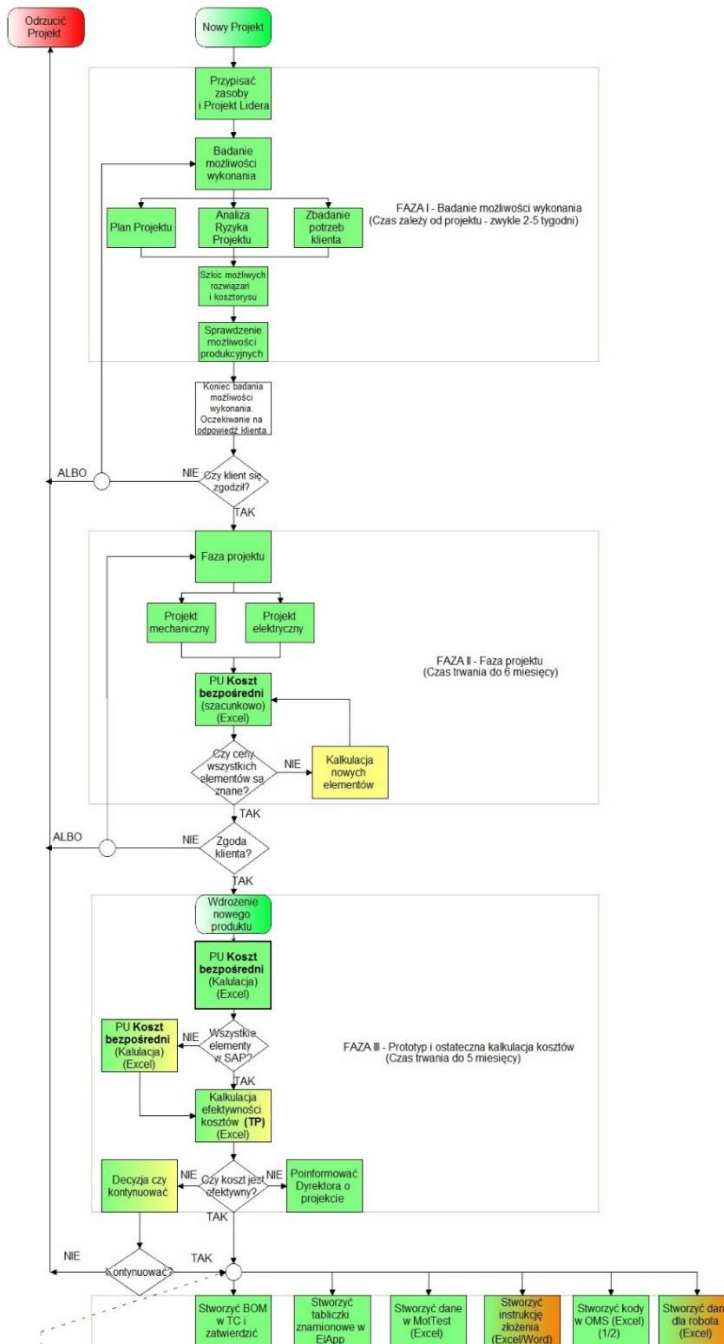
Proces projektowania silników elektrycznym w badanej firmie międzynarodowej opiera się na współpracy pomiędzy konstruktorami, poszczególnymi działami firmy, dyrekcją oraz klientem. Proces przygotowania projektu trwa nawet do jednego roku.

Proces składa się z trzech faz (rysunek 1):

- Faza I – badanie możliwości wykonania projektu; w zależności od stopnia zaawansowania produktu, etap ten trwa od 2 do 5 tygodni,
- Faza II – wykonanie projektu właściwego; etap ten może trwać do 6 miesięcy,
- Faza III – przygotowanie prototypu, dokonanie ostatecznej kalkulacji kosztów i ceny; etap ten trwa do 5 miesięcy.

Faza I procesu projektowania rozpoczyna się od wyznaczenia tzw. lidera projektu – osoby odpowiedzialnej za jego koordynację, kontakty z działem sprzedaży i klientem oraz osobami zaangażowanymi w przygotowanie projektu. Liderem projektu może być inżynier mechanik, będący jednocześnie konstruktorem silnika. W pierwszej fazie weryfikowane są zasoby niezbędne do realizacji procesu, poprzez badanie możliwości wykonania projektu. W tym celu lider opracowuje plan projektu oraz dokonuje oceny jego ryzyka w oparciu o zidentyfikowane wcześniej potrzeby klienta. W fazie tej konstruktorzy przygotowują także szkic możliwych rozwiązań oraz wstępny kosztorys, a lider we współpracy z działem produkcji i zaopatrzenia weryfikuje możliwości produkcyjne, niezbędne w przypadku akceptacji projektu przez klienta i jego realizacji w ramach produkcji seryjnej. Wstępna dokumentacja projektu wraz z kosztorysem jest wysyłana do regionalnego kierownika sprzedaży, który przekazuje informacje klientowi.

W przypadku braku zgody ze strony klienta, projekt zostaje odrzucony, w przypadku jego akceptacji, następuje przejście do fazy II, nazywanej fazą projektu właściwego. Faza II procesu projektowania trwa do 6 miesięcy i obejmuje przede wszystkim działania konstruktorskie.



Rys. 1. Schemat procesu projektowania silnika w badanej firmie

Fig.1. Diagram of the motor's design process

Przygotowywany jest projekt mechaniczny i elektryczny silnika, za który odpowiedzialnych jest dwóch konstruktorów dedykowanych do realizacji projektu. Zwykle pracują oni w tej samej jednostce, choć zdarza się, że projekt jest przygotowywany przez konstruktorów z różnych krajów. Lider projektu koordynuje prace konstrukcyjne oraz dokonuje szacunkowej kalkulacji kosztów bezpośrednich w oparciu o ceny części niezbędnych do budowy silnika. Jeżeli części nie ma w dostępnej bazie, są poszukiwane u dostawców lub projektowane, co wiąże się z dodatkową pracą i koniecznością dokonania kalkulacji uzupełniających, co wydłuża proces projektowania. Po przygotowaniu, projekt wraz z kalkulacją właściwą trafia do klienta.

W przypadku braku zgody ze strony klienta, realizacja projektu nie jest kontynuowana, w przypadku jego akceptacji, następuje przejście do fazy III. Faza III procesu, trwająca do 5 miesięcy, ma na celu przygotowanie prototypów, wprowadzenie ewentualnych poprawek oraz przygotowanie projektu do procesu produkcji. Lider projektu dokonuje kalkulacji kosztów produkcji dla jednostki produkcyjnej (w której będzie realizowany proces produkcyjny), jednocześnie weryfikując, czy wszystkie części niezbędne do procesu wytwarzania znajdują się w systemie SAP (w przypadku ich braku, elementy są wprowadzane wraz z opisem kosztów). Następnie przeprowadzana jest kalkulacja ceny końcowej dla klienta. W zależności od efektywności projektu, dyrekcja fabryki decyduje o jego kontynuacji lub odrzuceniu. W ostatnim etapie fazy III, w systemach informatycznych przygotowywane są listy części, tworzone są tabliczki znamionowe, wprowadzane są dane do programu testującego silniki elektryczne, tworzone są kody części składowych w systemie do składania zamówień, przygotowywane są instrukcje oraz wprowadzane są dane dla robota, który jest wykorzystywany w procesie produkcji.

4. WSPOMAGANIE KOMPUTEROWE W ANALIZOWANYM PROCESIE PROJEKTOWANIA SILNIKÓW

W omówionym procesie projektowania silników elektrycznych, pracownicy badanej firmy korzystają z oprogramowania pochodzącego z zewnętrznych i wewnętrznych źródeł. Firma stosuje zarówno podstawowe narzędzia oprogramowania Windows, jak i klasyczne oprogramowanie do projektowania inżynierskiego (jak AutoCAD). Wykorzystywane są także autorskie rozwiązania firmy, służące m.in. do tworzenia kodów części, tabliczek znamionowych, czy realizacji testów elektrycznych silników (Tabela 1).

W pierwszej fazie procesu projektowania, lider projektu ogranicza się do wykorzystania oprogramowania Windows. Informacje są zbierane i projekt jest opisywany w programie OneNote, a wstępny kosztorys jest przygotowywany w programie Excel.

Tabela 1. Oprogramowanie wykorzystywane w procesie projektowania silników elektrycznych

Table 1. Software used in the process of electric motors designing

| Faza | Działanie | Oprogramowanie |
|----------|---|-------------------|
| Faza I | Plan projektu Analiza ryzyka | Windows - OneNote |
| | Szkielet kosztorysu | Windows - Excel |
| Faza II | Projekt mechaniczny | AutoCAD |
| | Projekt mechaniczny | Inventor |
| | Projekt mechaniczny | Nx |
| | Kalkulacja kosztów | Excel |
| | Weryfikacja części w systemie | SAP |
| | Projekt elektryczny | ADEPT |
| Faza III | Kalkulacja kosztów Kalkulacja ceny Kalkulacja efektywności projektu | Excel |
| | Weryfikacja części w systemie | SAP |
| | Stworzenie listy części | Team Center |
| | Stworzenie tabliczek znamionowych | ElApp |
| | Opis projektu | Windows - Word |
| | Testy elektryczne silnika | MotTest |
| | Stworzenie kodów części | OMS |

Podczas projektowania silników elektrycznych, podstawowym oprogramowaniem wykorzystywanym do tworzenia szczegółowych przestrzennych (3D) modeli bryłowych oraz ich wektorowych rysunków (2D) jest oprogramowanie AutoCAD, Inventor oraz Nx.

Oprogramowanie AutoCAD jest stosowane podczas całego procesu projektowania inżynierskiego, od projektu wstępnego silników. Oprogramowanie umożliwia analizę wielu wariantów projektu dla uzyskania optymalnej wersji przeznaczonej dla klienta, przy jednoczesnym ograniczeniu liczby fizycznych prototypów.

Oprogramowanie do projektowania mechanicznego 3D, Autodesk Inventor Professional oferuje opcje tworzenia kształtów swobodnych, opcje modelowania bezpośredniego i parametrycznego, posiada narzędzia do automatyzacji projektowania oraz zaawansowane narzędzia do wizualizacji i symulacji [5].

Autodesk Inventor Professional jest systemem 3D do projektowania mechanicznego o wysokiej wydajności, który służy do modelowania projektowanego silnika jako modelu 3D, a następnie wygenerowania na podstawie modelu rysunków złożeniowych, wykonawczych, eksplodujących, ofertowych, poglądowych i innych. Wszystkie zmiany wprowadzone w modelu są automatycznie uwzględnione na wszystkich rysunkach płaskich. Program pozwala także na tworzenie własnych bibliotek parametrycznych części [6].

Oprogramowanie Nx do projektowania jest zintegrowanym rozwiązaniem, usprawniającym i przyspieszającym proces projektowania silników przez inżynierów. W przeciwieństwie do rozwiązań obejmujących jedynie funkcje CAD i zamkniętych rozwiązań korporacyjnych, oprogramowanie Nx oferuje wyższy poziom integracji między różnymi dziedzinami projektowania w otwartym środowisku współpracy. Oprogramowanie Nx to rozwiązanie do projektowania produktów w ramach najściślej zintegrowanego rozwiązania CAD/CAM/CAE. Oprogramowanie Nx oferuje także funkcje sprawdzania poprawności projektu, pozwala na stałe monitorowanie projektów pod kątem zgodności z normami branżowymi oraz umożliwia tworzenie projektów zgodne z wytycznymi firmy i wymaganiami klientów. Wizualna synteza danych PLM przyspiesza proces projektowania i usprawnia proces decyzyjny [7].

W procesie projektowania – zarówno w fazie II, jak i III, badana firma wykorzystuje potencjał oprogramowania SAP, na etapie weryfikacji posiadanych części. Dzięki systemowi SAP możliwe jest planowanie zasobów firmy, z uwzględnieniem potrzeb nowego projektu oraz dostęp do danych i możliwość ich analizy w czasie rzeczywistym, co pozwala na szybkie podejmowanie decyzji i wprowadzanie zmian w planach.

W fazie II, inżynierowie elektrycy wykorzystują także wewnętrzny autorski program ADEPT. Program jest stosowany do wykonania symulacji pracy silnika, w zależności od potrzeb klienta.

Jest to szczególnie istotne, biorąc pod uwagę brak standardów elektrycznych na świecie i międzynarodowy charakter zamówień. Dzięki zastosowaniu programu ADEPT możliwe jest stworzenie projektu silnika, który z jednej strony spełni oczekiwania klienta, a z drugiej utrzyma założone parametry.

Dodatkowo w fazie II lider projektu korzysta ze wsparcia oprogramowania Windows Excel podczas dokonywania szacunkowych obliczeń kosztów.

W ostatniej fazie projektowania lider projektu korzysta – podobnie jak w pierwszej i drugiej fazie projektu - z oprogramowania Windows oraz SAP. W programie Excel obliczane są koszty bezpośrednie, koszty dla jednostki produkcyjnej, cena silnika oraz efektywność projektu. Program Word wykorzystywany jest do przygotowania kompletnego opisu oferty. Dostęp do systemu SAP umożliwia kalkulację ostatecznej ceny prototypu.

Jest to istotne ze względu na fakt, iż ceny części składowych wykorzystywanych podczas konstrukcji silnika są ustalane kwartalnie i potwierdzane w SAPie. SAP pozwala także określić stany magazynowe części do prototypów, ich miejsce w magazynie oraz umożliwia utworzenie zamówienia wewnętrznego - PO (*Production Order*), które jest oficjalnym potwierdzeniem i widnieje w systemie. Dzięki temu, linie produkcyjne są zobowiązane do wytworzenia komponentów, niezbędnych do produkcji prototypu silnika.

Program Team Center pozwala na tworzenie biblioteki części. Członkowie zespołu mogą wykorzystać istniejące części. W przypadku ich braku w systemie, możliwe jest stworzenie kodów nowych części i silników, które w przyszłości będą funkcjonować w systemie SAP. Firma wykorzystuje do tego autorskie rozwiązanie OMS. Dodatkowo system OMS pozwala klientom dokonać zamówienia silnika. Dzięki dostępnym danym mogą oni porównywać i konfigurować silniki, a także sprawdzać ich dane techniczne.

Wewnętrzny system ElApp umożliwia tworzenie tabliczek znamionowych. Informacje, które są utworzone w systemie tabliczek znamionowych są obowiązujące i wiążące. Oznacza to, że informacje te odzwierciedlają stan faktyczny projektu. Na tabliczce znamionowej znajdują się dane dotyczące napięcia, natężenia, sprawności, rezystancji, wagi, numeru seryjnego, mocy, czy też prędkości obrotowej silnika. Są też informacje o użytych łożyskach, kraju produkcji oraz kliencie. System ElApp może być także wykorzystany w przypadku projektowania silnika podobnego do już produkowanych modeli. Konstruktorzy korzystając z bazy ElApp mają wgląd do danych tzw. silników bazowych, które mogą wykorzystać podczas procesu projektowania.

Z kolei oprogramowanie MotTest umożliwia gromadzenie danych z tabliczek znamionowych. Jest to system globalny, a wprowadzone dane są niezbędne do przygotowania i realizacji obowiązkowych testów silnika.

Powyższy przykład pokazuje możliwości kompleksowego wykorzystania wspomagania komputerowego w całym procesie projektowania.

Zastosowanie różnorodnych systemów informatycznych umożliwia uczestnikom projektu dostęp do danych w czasie rzeczywistym oraz skraca czas realizacji projektu.

5. PODSUMOWANIE

Aplikacje komputerowe dla konstruktorów są w warunkach współczesnego rynku niezbędnym i powszechnym narzędziem pracy, zarówno na etapie projektowania maszyn i urządzeń, jak i przygotowywania oferty dla klienta finalnego, który wśród wielu rozwiązań poszukuje się najlepszego pod względem technologicznym i ekonomicznym.

Wykorzystanie komputerowego wspomagania w procesach projektowania jest koniecznością i podstawą konkurencyjności współczesnych przedsiębiorstw [8]. Zakres technologii informatycznych dedykowanych do projektowania obejmuje zarówno kompleksowe oprogramowanie do projektowania silników, jak i zinformatyzerowane elementy wspomagania procesu, w tym systemy do wymiany i magazynowania informacji, kontroli stanu i przepływów części niezbędnych do procesu produkcji oraz do zarządzania relacjami z partnerami.

Wybór systemów powinien uwzględniać specyfikę przedsiębiorstwa i samego produktu, zasoby finansowe przedsiębiorstwa, dostępność danych, kompetencje pracowników oraz stopień informatyzacji zarówno producenta, jak i dostawców [8]. Jest to niezbędne do prawidłowej realizacji procesu projektowania, przepływu danych oraz ich efektywnego wykorzystania.

Omówiony w artykule przykład procesu projektowania silnika elektrycznego realizowany w międzynarodowej firmie produkcyjnej pokazuje, że wachlarz technologii informatycznych dedykowanych do projektowania jest niezwykle szeroki i obejmuje zarówno autorskie rozwiązania firmy, jak i dostępne na rynku systemy informatyczne. Wspomaganie komputerowe w procesie projektowania silników nie ogranicza się w firmach do wykorzystania oprogramowania typu CAD, ale uwzględnia także bardziej złożone systemy, które pozwalają przedsiębiorstwom efektywnie zarządzać cyklem życia produktu z uwzględnieniem wszystkich zasobów oraz kosztów, od etapu koncepcji i projektowania, poprzez wprowadzenie silnika do produkcji i przekazanie klientowi.

LITERATURA

- [1] Osiński Zbigniew, Jerzy Wróbel. 1995. *Teoria konstrukcji*. Warszawa: PWN.
- [2] Pokojski Jerzy. 2016. „Modelowanie wiedzy inżynierskiej w projektowaniu koncepcyjnym”. *Mechanik 7*: 791-793.
- [3] Piotrowski Andrzej, Piotr Boral. 2016 „Wykorzystanie zintegrowanych systemów CAD/CAM w przygotowaniu produkcji”. *Mechanik 7*: 798-799.
- [4] Czech-Dudek Katarzyna. 2016 „Komputerowo wspomagane projektowanie uchwytu obróbkowego”. *Mechanik 7*: 672-673.
- [5] <http://www.autodesk.pl/products/inventor/overview> (2017)
- [6] <http://www.aplikom.com.pl/autodesk-inventor> (2017)
- [7] https://www.plm.automation.siemens.com/pl_pl/products/nx (2017)
- [8] Grębosz Magdalena, Marianna Kazimierska. 2016. „Wspomaganie komputerowe w zarządzaniu cyklem życia produktu”. *Mechanik 7*: 694-695.

The Use of Computer Aided During the Process of Design of Electric Motors

Magdalena GRĘBOSZ

*Politechnika Łódzka, Wydział Organizacji i Zarządzania
ul. Wólczańska 215, 90-924 Łódź*

Abstract. The complex processes of machines and devices designing are currently implemented using specialized software. This aim of this article is to discuss the possibilities of computer aided in the design of electric motors. In the article, information from secondary sources and the results of their empirical research conducted in an international manufacturing company are used.

Keywords: production engineering, management, design, electric motors, computer aided