

Jarosław JAJCZYK\*  
Robert KAMIŃSKI\*

## WYKORZYSTANIE OPROGRAMOWANIA CAD DO TRÓJWYMIAROWEJ WIZUALIZACJI ELEMENTÓW ELEKTROWNI WIATROWEJ

W artykule przedstawiono możliwości oprogramowania CAD w wersji trójwymiarowej, jako narzędzia wykorzystywanego podczas prac projektowych oraz przy tworzeniu prototypów nowych urządzeń. Przedstawiono możliwości oprogramowania pod względem parametryzacji obiektów. Wskazano korzyści płynące z symulacji oddziaływań między badanym obiektem, a otoczeniem. Opisano, w jaki sposób praca z nowoczesnym oprogramowaniem CAD przyspiesza wymianę informacji między jednostkami związanymi z realizacją projektów.

SŁOWA KLUCZOWE: CAD, 3D, wizualizacja, symulacja

### 1. WPROWADZENIE

Współcześnie wymaga się szybkiej i skutecznej komunikacji. Jakość przekazu informacji zależy przede wszystkim od sposobu ich przedstawienia. Ludzie z natury są wzrokowcami, dlatego najlepszym sposobem pełnego zrozumienia pewnych zagadnień podczas procesu projektowania jest wizualizacja – najlepiej w trzech wymiarach.

Projektowanie wspomagane komputerowo CAD (ang. *Computer Aided Design*) już od wielu lat jest jednym z głównych narzędzi wspomagających projektowanie inżynierskie. Od lat 90 XX wieku oprogramowanie tego typu zapoczątkowało nowy etap w sposobie projektowania, wprowadzając schematy inżynierskie w trzeci wymiar. Obecnie oprogramowanie to osiągnęło poziom zaawansowania, pozwalający na symulację zjawisk fizycznych w rzeczywistości wirtualnej. Otwiera to nowe horyzonty w dziedzinie optymalizacji procesów projektowania.

Modelowanie 3D umożliwia nie tylko na wizualizację w celach marketingowych i szkoleniowych, jest ono również narzędziem usprawniającym pracę inżynierów projektantów. Stworzone modele 3D

---

\* Politechnika Poznańska.

pozwalają na wygenerowanie dowolnego widoku lub przekroju projektowanego elementu, co znacząco skraca czas tworzenia schematów. Zmodelowane obiekty mogą zostać poddane symulacjom takim jak np. wymiana ciepła pomiędzy poszczególnymi częściami, symulacja naprężeń i odkształceń wywołanych działaniem sił itd. Przedstawione w artykule możliwości projektowania wspomaganego komputerowo zostały zastosowane przy tworzeniu koncepcji systemu autonomicznego zasilania ze źródłem w postaci turbiny wiatrowej o osi pionowej. Wykorzystanie nowoczesnego projektowania daje oszczędność czasu oraz nakładów finansowych włożonych w testowanie zachowań układu przy określonych warunkach oraz możliwość wprowadzania szybkich poprawek w przypadku zmiany założeń projektowych.

Parametryzacja elementów na podstawie wyników obliczeń umożliwia szybką zmianę gabarytów projektowanych urządzeń w zależności od danych wejściowych. Elementy programowania logicznego zawarte w nowoczesnych systemach CAD pozwalają m. in. na dokonanie optymalizacji produkcji i kosztów projektowanych urządzeń poprzez automatyczną minimalizację zużytego materiału przy zachowaniu dopuszczalnych parametrów.

## 2. PARAMETRYZACJA MODELU

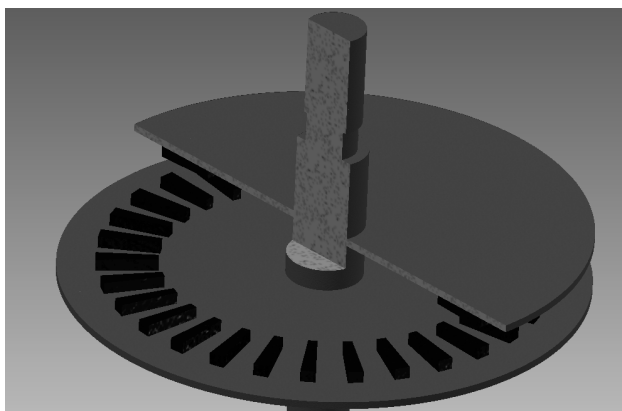
Tworzenie modeli trójwymiarowych oparte jest na szkicach (najczęściej dwuwymiarowych) oraz na operacjach ich wyciągania w przestrzeni. Każda z operacji musi być opisana co najmniej jednym parametrem. Wszystkie parametry wygenerowane podczas tworzenia modelu mają przypisaną nazwę identyfikacyjną i są dostępne w tabeli parametrów. Ponadto, każda wartość może być wyrażona za pomocą równania korzystającego z pozostałych wartości wygenerowanych podczas tworzenia modelu. W ten sposób odpowiednie elementy projektowanego urządzenia mogą pozostawać w korelacji między sobą. Istnieje również możliwość sprzężenia oprogramowania CAD z arkuszem kalkulacyjnym, co umożliwia zmianę określonych parametrów tworzonego elementu na podstawie wyników obliczeń sporządzonych w arkuszu kalkulacyjnym.

Przykładem wykorzystania parametryzacji może być model wirnika prądnicy tarczowej z umieszczonymi na niej magnesami trwałymi (rys. 1).

Na rysunku 2 przedstawiona została tabela parametrów opisujących model wirnika. Do nazw identyfikacyjnych poszczególnych wymiarów przypisano równania wyrażone za pomocą parametrów stworzonych w arkuszu kalkulacyjnym. Ich wartości zależą od wyników obliczeń umieszczonych w innych zakładkach arkusza kalkulacyjnego [2]. Pozwala to szybką zmianę szeregu zmiennych modelu w przypadku zmiany wyniku obliczeń.

Zmieniając np. wymaganą wartość indukcji pola magnetycznego w szczelinie między dwoma tarczami, na podstawie obliczeń umieszczonych w pliku programu Excel, zostają dobrane nowe wymiary magnesów umieszczonych na tarczy. Wraz

ze zmianą wymiarów magnesów zmienia się również średnica zewnętrzna wirnika. Tego typu operacje związania parametrów pozwalają na prostą i szybką modyfikację badanego obiektu (rys. 3).



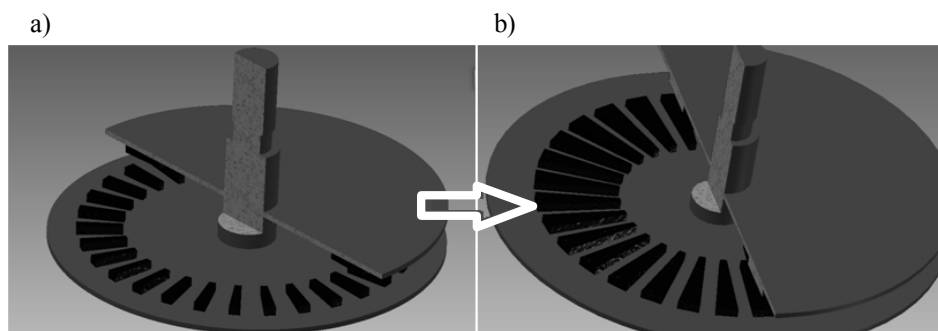
Rys. 1. Widok modelu wirnika prądnicy tarczowej

Parameter Name	Unit/T	Equation	Nominal Va	Tol.	Model Value	Key		Comment
Model Parameters								
śr_wewn	mm	wewn_sr_bla chy	100,000...	○	100,000...	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
śr_zewn	mm	pol_sr_mag + 2 ul * wys_mage + 20 mm	681,971...	○	681,971...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
grubosc_bla chy	mm	grub_bla chy	10,000000	○	10,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d3	deg	0,0 deg	0,000000	○	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
środek_mag	mm	pol_sr_mag	501,971...	○	501,971...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
polowa_wys_mag	mm	wys_mage / 2 ul	40,000000	○	40,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
podst1_mag	mm	gor_podst_mag	12,000000	○	12,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
podst2_mag	mm	dol_podst_mag	20,000000	○	20,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
wys_mag	mm	grub_mag	16,000000	○	16,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d9	deg	0,0 deg	0,000000	○	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ilosc_mag	ul	il_mag	30,000000	○	30,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d11	deg	360 deg	360,000...	○	360,000...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
szczelina	mm	szczel / 2 ul	15,000000	○	15,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d17	mm	300 mm	300,000...	○	300,000...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d18	mm	40 mm	40,000000	○	40,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d20	mm	35 mm	35,000000	○	35,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d21	mm	40 mm	40,000000	○	40,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d22	mm	40 mm	40,000000	○	40,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d23	mm	170 mm * 2 ul	340,000...	○	340,000...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

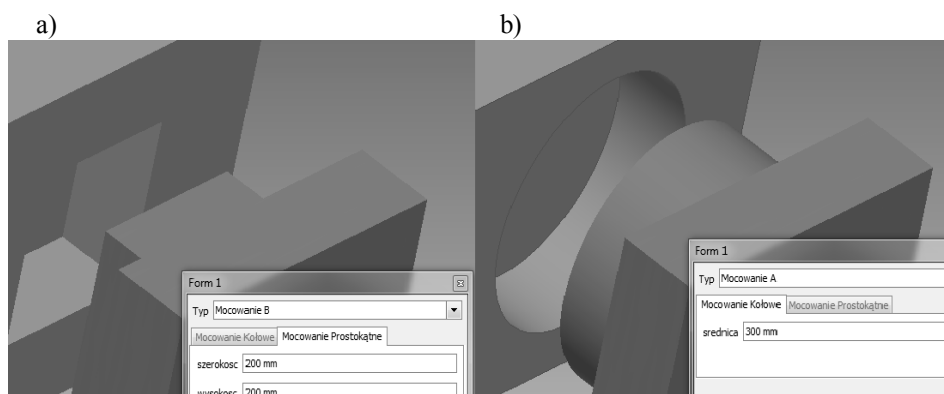
Rys. 2. Przykładowa tabela parametrów modelu

Nowoczesne oprogramowanie CAD umożliwia również użytkownikowi stworzenie układu logicznych zależności między parametrami, a poszczególnymi operacjami wykonanymi w projekcie. Daje to możliwość stworzenia bazy wariantów, których cechy zależne będą od wymagań stawianych przez użytkownika [2, 5]. Narzędzie wykorzystywane jest do tworzenia różnych wersji tego samego elementu umożliwiając dobranie

poszczególnych cech. Przykładem może być zmiana sposobu połączeń między elementami, aby to zobrazować został stworzony układ składający się z dwóch bloków (rys. 4).



Rys. 3. Zobrazowanie zmian zachodzących podczas zmiany powiązanych parametrów (indukcji magnetycznej w szczelini): a) wirnik prądnicy przed zmianą, b) wirnik prądnicy po zmianie



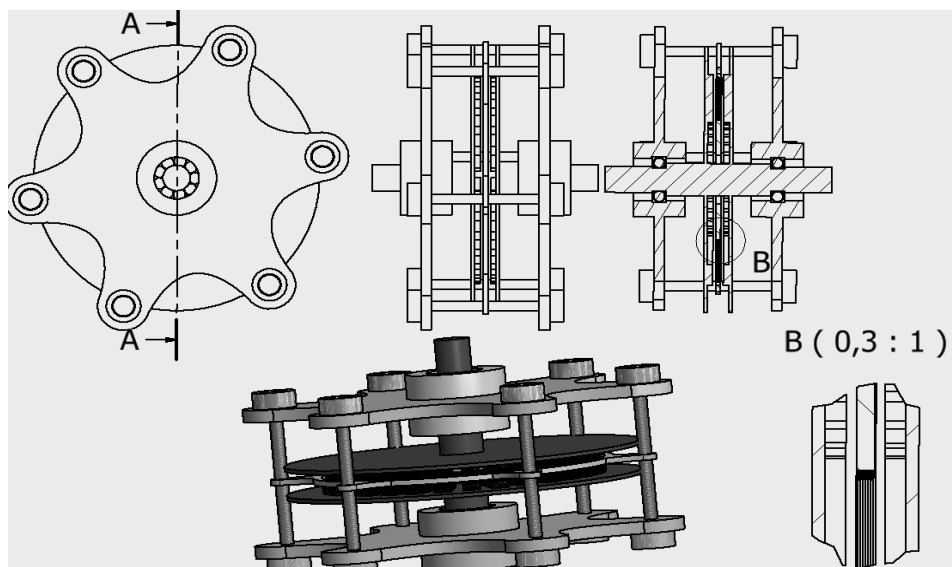
Rys. 4. Zmiana za pomocą narzędzi logicznych rodzaju mocowań między elementami:  
a) mocowanie za pomocą wpustu prostokątnego, b) mocowanie za pomocą wpustu kołowego

Za pomocą operacji logicznych zmiana mocowań ogranicza się jedynie do zarejestrowania zmian w formularzu stworzonym w programie. Usprawnia to znacząco tworzenie bardziej złożonych projektów, w których wymagana jest baza wielu elementów dostępnych w wielu wersjach.

### 3. TWORZENIE SCHEMATÓW

Każdy model trójwymiarowy jest bazą dla niezliczonej liczby rysunków trójwymiarowych, których sposób wykonania zależy wyłącznie od aktualnych potrzeb projektanta [4]. Stworzenie rysunku przedstawiającego dowolny przekrój lub rzut wraz z oznaczeniami możliwe jest po kilku operacjach.

Takiego typu przedstawienie projektowanych urządzeń dostarcza kompleksowych informacji o lokalizacji poszczególnych części ułatwiając pracę personelowi wykonawczemu oraz wyszczególnienie określonych miejsc przy analizie zagadnień podczas procesu projektowania (rys. 5).



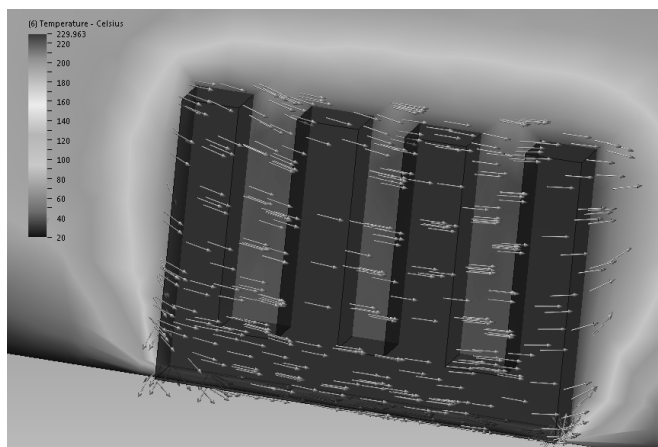
Rys. 5. Przykład możliwości oprogramowania CAD 3D w zakresie tworzenia schematów

W przedstawionym przykładzie (rys. 5) zostały stworzone dwa rzuty, przekrój oraz szczegół, zamodelowanej wolnoobrotowej prądnicy tarczowej wykorzystanej do realizacji projektu systemu autonomicznego zasilania ze źródłem w postaci turbiny wiatrowej osi pionowej. Stworzenie tego typu schematów za pomocą oprogramowania CAD 2D zajęłoby wiele godzin. Dzięki nowoczesnym rozwiązaniom operacje te ograniczają się do kilku minut dając pełną dowolność przedstawienia.

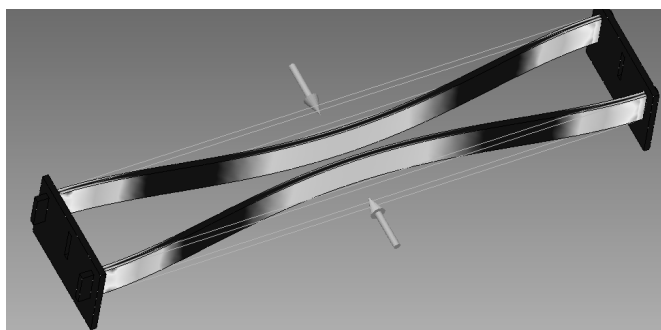
#### 4. SYMULACJA STANÓW ELEKTRODYNAMICZNYCH

Modelowane obiekty mogą być poddane szeregowi symulacji CFD (*ang. Computational Fluid Dynamics*) pozwalających na wizualizację skutków oddziaływań na obiekt takich jak: wymiana ciepła, rozkład temperatur, rozkład ciśnień, prędkości przepływu płynów przez badany element. Na rys. 6 został przedstawiony rozkład temperatur wokół nagrzewającego się radiatora [1, 3, 5] oraz rozkład i lokalizacja warstw powietrza o tej samej gęstości.

Projektowanie 3D daje możliwość przeprowadzenia badań wytrzymałościowych projektowanych części (rys. 7).



Rys. 6. Przykład wizualizacji wyników symulacji CFD nagrzewania radiatora

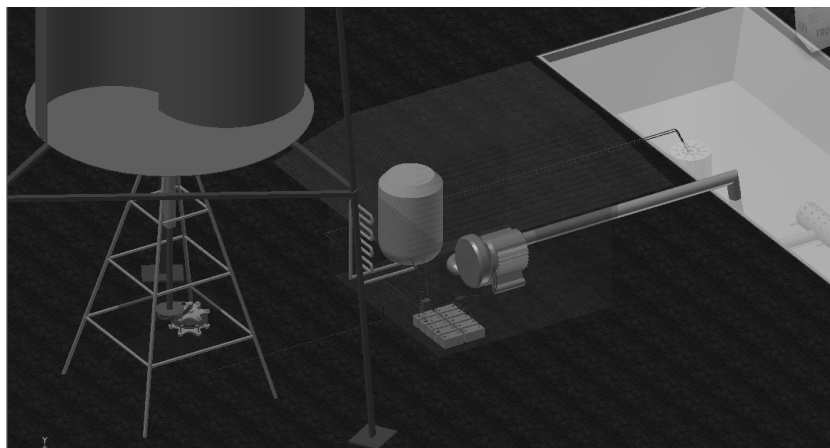


Rys. 7. Przykład wizualizacji wyników badań wytrzymałościowych szynoprzewodów

Przykładem wykorzystania tego typu symulacji w elektrotechnice może być analiza odkształceń i naprężeń jakim poddawane są szyny prądowe, na które działa siła elektrodynamiczna [3, 6] związana z polem magnetycznym pobliskiego szynoprzewodu (rys. 7).

## 5. ANIMACJA DZIAŁANIA PROJEKTOWANYCH SYSTEMÓW

Wizualizacja rozwiązań poprzez animację działania projektowanych systemów pozwala na pełne zrozumienie przez kontrahenta przedstawianych koncepcji bez konieczności odczytywania schematów [4]. Dzięki możliwości animacji modelu w ruchu przy uwzględnieniu oddziaływań pomiędzy częściami, modele 3D stanowią idealne narzędzie edukacyjne przy przedstawianiu zasad działania systemów. Na rysunku 8 przedstawiono model systemu zasilania za pomocą turbiny wiatrowej o osi pionowej.



Rys. 8. Przykład wizualizacji projektu wykorzystującej animację 3D

## 6. UWAGI I WNIOSKI KOŃCOWE

Artykuł ma na celu przedstawienie możliwości płynących z zastosowania nowoczesnego oprogramowania CAD 3D (np. Autodesk Inventor) oraz zobrazowanie korzyści wynikających z jego zastosowania na przykładzie zagadnień inżynierskich występujących podczas opracowywania koncepcji układu autonomicznego systemu zasilania ze źródłem w postaci turbiny wiatrowej o osi pionowej.

Oprogramowanie tego typu jest idealnym narzędziem dla konstruktorów rozwiązań niestandardowych, pozwalając na pełne przedstawienie idei projektu oraz dokonanie symulacji potwierdzających słuszność przedsięwzięcia.

Oprogramowanie typu CAD 3D stanowi również narzędzie umożliwiające elastyczną współpracę między inżynierami lub między inżynierami a kontrahentami dając możliwość wnoszenia szybkich poprawek oraz analizę ich wpływu na całość projektu.

Trójwymiarowe narzędzia CAD nie stanowią konkurencji dla dwuwymiarowych odpowiedników, gdyż stanowią ich integralne rozszerzenia. Dlatego opanowanie obu rodzajów tego typu oprogramowania jest ówczesnie niezbędne w nowoczesnych oddziałach konstrukcyjnych.

## LITERATURA

- [1] Jeziński E., Transformers. Design and Structure, Science – Technical Publishers, edition II, Warsaw, 1963 (in Polish).
- [2] Jaskulski A., Autodesk Inventor 2009PL/2009+ metodyka projektowania, PWN, 2009.

- [3] Pinkiewicz I., Kaźmierski M., Olech W., Malinowski J., Sopocki R., On-site Processing of Insulation System of Large Power Transformers and Hot-spot Computer Determination, CIGRE, Session 2004, A2-208.
- [4] Toryia H., Chiyokura H., 3D CAD principles and application, Springer-Verlag, 1993.
- [5] Zheng Li J., CAD, 3D Modeling, Engineering Analysis, and Prototype Experimentation, Industrial and Research Applications; Springer, 2014.
- [6] Zhou L.J., Wu G.N., Yu J.F., Zhang X.H., Thermal Overshoot Analysis for Hot-Spot Temperature Rise of Transformer, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 14, No 5, 2007.

**USE OF SOFTWARE CAD  
FOR THREE-DIMENSIONAL VISUALIZATION ELEMENTS  
OF WIND POWER PLANT**

The paper presents the possibility of CAD software in a three-dimensional version as a tool for the design work and for prototyping new devices. The possibilities of the software in terms of parameter objects were showed. Identified opportunities arising from the simulation of the interaction between the test object and the environment. Described how to work with modern CAD software accelerates the exchange of information between individuals associated with the execution of projects.