

*Tadeusz Pawłowski, Jan Szczepaniak, Kazimierz Mielec, Ryszard Grzechowiak
Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych, Poznań*

ZASTOSOWANIE METOD MODELOWANIA, SYMULACJI KOMPUTEROWEJ I WALIDACJI W PROCESIE WDRAŻANIA DO PRODUKCJI NOWYCH MASZYN ROLNICZYCH

Streszczenie

W pracy przedstawiono zakres i możliwości wykorzystania nowoczesnych systemów modelowania i symulacji w procesie projektowania maszyn rolniczych. Umożliwiają one przeprowadzanie efektywnych symulacji i analizę zachowań maszyny przed powstaniem prototypu.

Słowa kluczowe: maszyny rolnicze, model, projektowanie, symulacje, badania

Wprowadzenie

Obserwujemy obecnie istotne zmiany w metodach prac konstrukcyjno-technologicznych dokonujące się wskutek rozwoju komputerowych systemów wspomaganie projektowania i wytwarzania. Przeprowadzanie wiarygodnych symulacji komputerowych zachowania maszyny już na wstępnych etapach projektowania pozwala zaoszczędzić wiele czasu oraz pieniędzy.

Próby wprowadzenia nowoczesnych, z informatyzowanych narzędzi napotykają jednak często na trudne do pokonania bariery. Są one natury materialnej, organizacyjnej i personalnej. Materialnej, bo sprzęt i oprogramowanie, pozwalające na rzeczywiście efektywne polepszenie wydajności pracy, są znacznie droższe od komputerów i oprogramowania, z którymi na co dzień ma się do czynienia. Zakup pełnych wersji programów i rozbudowanych konfiguracji komputerowych przekracza czasami możliwości przedsiębiorstw, szczególnie tych małych. Powstaje wobec tego problem wyboru takiego systemu lub jego modułów, które będą najlepiej i jednocześnie możliwie najtaniej realizować rzeczywiste potrzeby przedsiębiorstwa. To samo dotyczy oczywiście sprzętu komputerowego. Trzeba tutaj zauważyć, że nie popłaca nadmierna, krótkowzroczna oszczędność. Nieprzemysłana rezygnacja z zakupu drobnego niekiedy modułu oprogramowania lub elementu konfiguracji sprzętowej może spowodować ich nieefektywne działanie, a przez to znaczne straty finansowe.

Niektóre zagadnienia komputeryzacji prac projektowych

Konkurencja panująca na współczesnym rynku powoduje, że trudno jest osiągać na nim trwałe sukcesy. Dobrze rozwinięte służby marketingowe, zaplecze badawcze oraz szybka wymiana informacji powodują, że chwilowa przewaga związana ze specyfiką rynku, satysfakcją użytkowników, kosztem produktu lub dowolną inną wybraną cechą jest krótkotrwała. Jedynym istotnym czynnikiem różnicującym przedsiębiorstwa jest czas wprowadzenia produktu na rynek. Jest to czas reakcji przedsiębiorstwa na nowe rozwiązania techniczne, na chwilową koniunkturę. To przedsiębiorstwo, które pierwsze odpowiada nowemu wyzwaniu zagarnia większość zysku, wydłuża serie produkcyjne, a zdobywając nowe środki może być jeszcze bardziej aktywne.

Do środków, które mogą przyspieszyć proces projektowania i uruchamiania produkcji należą niewątpliwie komputerowe symulacje zachowań projektowanych maszyn i urządzeń oraz oprogramowanie CAD. Niestety wdrażanie umożliwiającego takie symulacje oprogramowania jest rozwiązaniem kosztownym, wymagającym zarówno odpowiednio przeszkolonej kadry, jak i kosztownego sprzętu oraz oprogramowania, a także spełnienia wielu wymagań organizacyjnych. Nie zawsze zatem można pozwolić sobie na pełną, kompleksową komputeryzację procesu projektowania. Skutecznym, choć w mniejszym stopniu, narzędziem poprawienia jakości i skrócenia czasu projektowania mogą być także odpowiednio wybrane pojedyncze moduły lub programy.

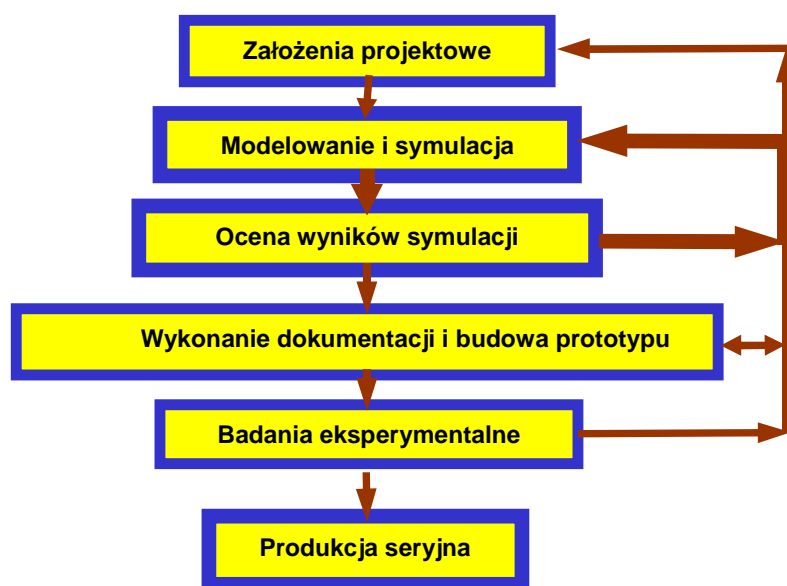
Właściwa implementacja sprzętu i oprogramowania, nawet tylko dla niektórych etapów projektowania, pozwoli przedsiębiorstwu oczekiwać wymiernych korzyści, takich jak:

- skrócenie czasu projektowania, modyfikowania, a w konsekwencji skrócenie czasu wprowadzenia produktu na rynek,
- dostosowanie produktu do specyficznych wymogów użytkownika,
- umożliwienie poprawy jakości,
- maksymalizowanie potencjalnego zysku i wydłużanie serii produkcyjnej.

Podstawowy schemat prac projektowych z wykorzystaniem komputerowych metod symulacji

Na rys. 1 przedstawiono podstawowe etapy procesu projektowania i wdrażania do produkcji nowych maszyn rolniczych. W prezentowanym artykule poświęcamy najczęściej uwagi etapom modelowania i symulacji oraz ocenie wyników symulacji.

Głównymi celami stosowania modelowania i symulacji są z jednej strony uzyskanie lepszej jakości zastosowanych rozwiązań, a z drugiej usunięcie dużej części usterek i błędów konstrukcyjnych (w przypadku idealnym wszystkich) już na tym etapie. Innymi słowy, chodzi o to, by problemy konstrukcyjne w możliwie największym zakresie rozwiązywać w pętli zaznaczonej na rys. 1 grubszymi strzałkami.



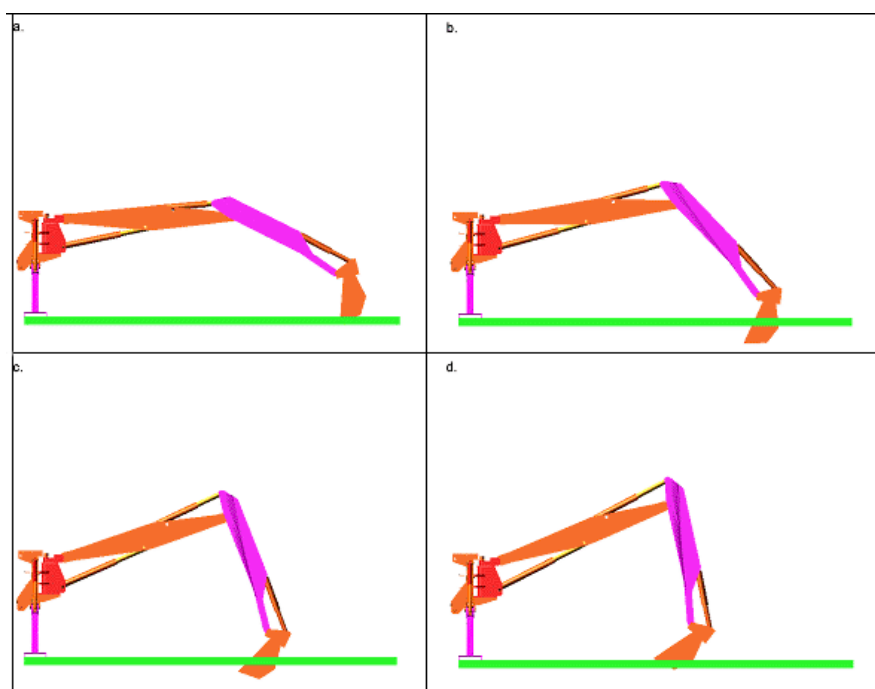
Rys. 1. Główne etapy prac projektowych z wykorzystaniem komputerowych metod symulacji

Fig. 1. Main stages of design work with using computer simulation methods

Modelowanie i symulacja

Do przeprowadzania symulacji numerycznych zachowania się projektowanych maszyn i urządzeń niezbędny jest odpowiedni model matematyczny. Może on być zbudowany przez projektantów specjalnie do potrzeb aktualnie realizowanego projektu, ale najczęściej do przeprowadzania symulacji wykorzystuje się modele przygotowane za pomocą specjalnych programów. Na podstawie założeń projektowych tworzony jest wstępny model geometryczny. Na jego podstawie, po uzupełnieniu o warunki brzegowe oraz dane o obciążeniach, system komputerowy automatycznie tworzy model obliczeniowy. Szczegółowość modelu geometrycznego zależy od stopnia zaawansowania projektu oraz od specyfiki wykorzystywanego systemu komputerowego oraz od celu symulacji.

Jako pierwsze przeprowadzane są zwykle symulacje zachowań kinematycznych badanej konstrukcji. Umożliwiają one zebranie informacji dotyczących ruchów analizowanego urządzenia, stateczności w czasie pracy oraz sił działających w węzłach konstrukcji. Wykonywane są także obliczenia optymalizacyjne umożliwiające np. zmniejszenie sił występujących podczas pracy maszyny. Istotną cechą modeli geometrycznych wykorzystywanych do zachowań kinematycznych jest to, że mogą być znacznie uproszczone. Elementy konstrukcyjne, które nie wywierają istotnego wpływu na wyniki przeprowadzonych symulacji mogą zostać w modelu pominięte. Jest to ważne, gdyż symulacje te są przeprowadzane na wstępnym etapie projektowania, gdy wiele szczegółów konstrukcji jest jeszcze nie znanych. Przykładowo model geometryczny wykorzystywany w systemie ADAMS może zawierać stosunkowo mało szczegółów (rys. 2), gdyż uproszczenia geometrii wpływają na wyniki obliczeń symulacyjnych w tym systemie jedynie w niewielkim stopniu. Istotniejsze są położenia markerów, więzów i innych elementów modelu.

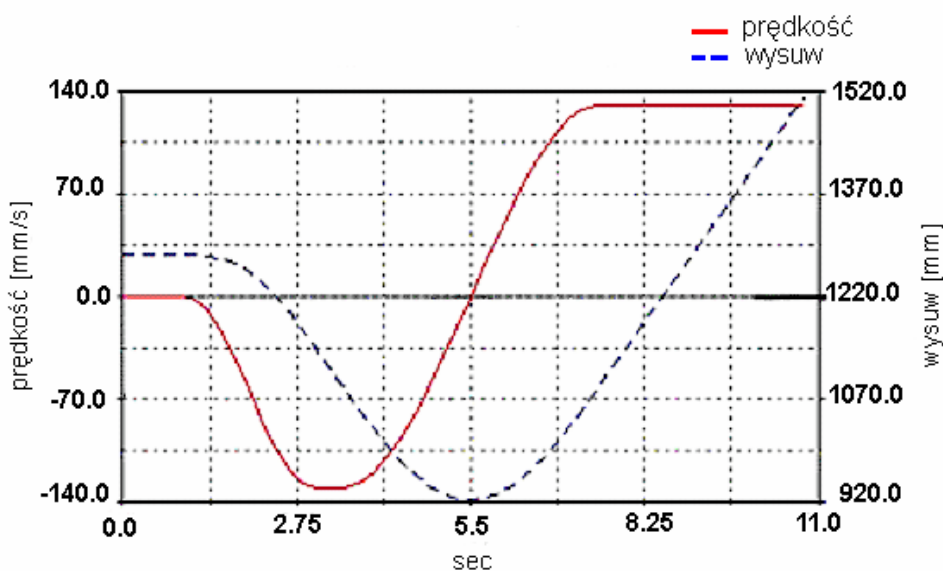


Rys. 2. Fazy ruchu modelu ładowacza w czasie symulacji zachowań kinematycznych (system ADAMS)[Szczepaniak 2003]

Fig. 2. The motion phases of front loader during front loader kinematic behaviour simulation (ADAMS system)[Szczepaniak 2003]

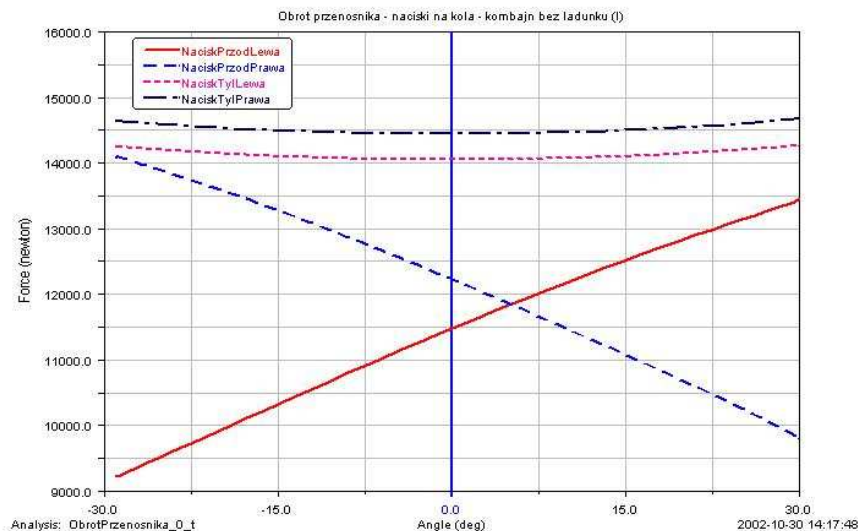
Symulacje zachowań kinematycznych umożliwiają zebranie informacji dotyczących ruchów analizowanego urządzenia (rys. 3), stateczności w czasie pracy (rys. 4) oraz sił działających w węzłach konstrukcji. Wykonywane są także obliczenia optymalizacyjne umożliwiające np. zmniejszenie sił występujących podczas pracy maszyny. Użytkowany w PIMR system ADAMS umożliwia definiowanie własnych funkcji kryterialnych oraz swobodny wybór zmiennych decyzyjnych

Wyniki uzyskane dzięki symulacji zachowań kinematycznych są wykorzystywane do sprawdzania i ewentualnej modyfikacji konstrukcji, a także (szczególnie wartości sił) podczas obliczeń wytrzymałościowych.



Rys. 3. Wykres prędkości wysuwu oraz wartości wysuwu siłowników ładowacza czołowego podczas symulacji [Szczepaniak 2003]

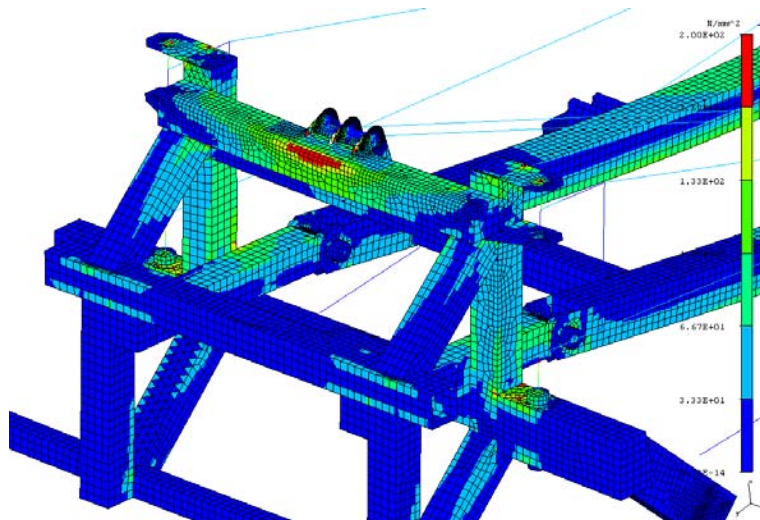
Fig. 3. Diagram of front loader hydraulic servo velocity and moving during simulation [Szczepaniak 2003]



Rys. 4. Naciski na koła w czasie pionowych ruchów przenośnika taśmowego kombajnu do przetwarzania materiałów organicznych [Szczepaniak, Pawłowski, Mac, Grzechowiak 2002]

Fig. 4. Manure processing combine wheel load during band conveyor moving [Szczepaniak, Pawłowski, Mac, Grzechowiak 2002]

Po przeanalizowaniu kinematyki i wprowadzeniu ewentualnych zmian konstrukcyjnych, oraz po uszczegółowieniu projektu, przeprowadzane są obliczenia wytrzymałościowe. Dane o obciążeniach uzyskuje się na podstawie wiedzy projektantów oraz z opisanej powyżej analizy kinematycznej. Do obliczeń wykorzystywana jest zwykle metoda elementów skończonych (MES). Modele obliczeniowe stosowane w metodzie elementów skończonych pozwalają analizować przemieszczenia, naprężenia i siły zarówno w ujęciu globalnym jak i lokalnym z uwzględnieniem sztywności elementów konstrukcji. Jakość i dokładność otrzymywanych wyników MES zależy w znacznym stopniu od sposobu odwzorowania warunków rzeczywistych pracy maszyny. Zatem wymaga stosunkowo dużej dokładności w przygotowaniu modelu oraz właściwej definicji obciążeń i więzów. Szczególnie ważne i nastroczające wiele problemów jest odwzorowanie naturalnej sztywności złożeń konstrukcji.



Rys. 5. Model MES ramy wału uprawowego o szerokości 12 m (fragment) z zaznaczonymi wartościami naprężeń zredukowanych (system I-Deas) [Szczepaniak J. i in. 2004]

Fig. 5. FEM model of agricultural rollers of 12 m width (fragment) with reduced stress map [Szczepaniak J. i in. 2004]

Także w systemach MES istnieje możliwość przeprowadzania optymalizacji konstrukcji. Sposób jej przeprowadzania i możliwości zależą od wykorzystywanego oprogramowania. Funkcje kryterialne mogą być definiowane przez użytkownika (Nastran) lub wybierane z zestawu (I-Deas, Cosmos). Podobne różnice występują w procesie doboru zmiennych decyzyjnych i definiowaniu ograniczeń. Możliwe jest również zbadanie wrażliwości konstrukcji na zmianę wybranych parametrów fizycznych typu grubość lub wymiarów charakterystycznych i na ich podstawie dokonanie zmian konstrukcyjnych w projekcie maszyny.

Obliczenia wytrzymałościowe dostarczają dokładnych informacji dotyczących wyczerpania analizowanej konstrukcji w różnych warunkach pracy (naprężenia, przemieszczenia siły reakcji) oraz częstości i postacie własne. Umożliwiają lokalizację miejsc narażonych na uszkodzenia oraz wprowadzenie do projektu niezbędnych zmian.

Badania eksperymentalne

Po zakończeniu obliczeń symulacyjnych oraz zbudowaniu prototypów przeprowadzane są dodatkowe badania laboratoryjne i polowe w celu potwierdzenia poprawności przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych. Wprawdzie właściwe wykorzystanie metod zaprezentowanych powyżej sprawia, że prototyp jest skonstruowany poprawnie, ale dotyczy to tylko własności objętych obliczeniami symulacyjnymi. Nie są nimi objęte zwykle funkcje obróbki masy roślinnej, np. zbiór roślin, ich separacja (np. ziemniaków w kombajnach ziemniaczanych).

Do badań wykorzystywana jest nowoczesna wielokanałowa aparatura umożliwiająca zebranie dużej liczby danych z czujników rozmieszczonych w wielu punktach badanej maszyny. Najczęściej wykorzystywane są czujniki do pomiaru naprężeń oraz przyspieszeń. Wykonywane są także badania momentów obrotowych, ciśnienia w instalacji hydraulicznej itp. Uzyskiwane wyniki przetwarzane są do postaci wygodnej dla użytkownika np. za pomocą komputerowych, działających w środowisku Matlab.

Uwagi końcowe

Z doświadczeń z symulacji modeli maszyn rolniczych oraz przeprowadzanych następnie badań eksperymentalnych przeprowadzanych w PIMR wynika, że otrzymane obu metodami wyniki w dużym stopniu pokrywają się ze sobą, co wskazuje na przydatność i opłacalność stosowania metod symulacji numerycznej w procesie projektowania maszyn rolniczych. Inwestycje poniesione na etapie projektu szybko zwracają się dzięki uniknięciu wielokrotnego nieraz przekonstruowania prototypu i uzyskiwania produktu o wysokiej jakości i trwałości.

Bibliografia

Szczepaniak J. i in. 2004. Typoszereg wałów uprawowych o szerokościach roboczych 9, 12 i 15 metrów”. Zad. 2, 3, 4, 7 i 8. PIMR. Poznań.

Szczepaniak J. i in. 2003. Ładowacz chwytakowy zawieszany na ciągniku rolniczym. Zad. 1. PIMR. Poznań.

Szczepaniak J., Pawłowski T., Mac J., Grzechowiak R. 2002. Kombajn do przetwarzania materiału organicznego. Zad. 1. PIMR. Poznań.

**APPLICATION OF MODELING, COMPUTER SIMULATION
AND VALIDATION METHOD
IN THE NEW AGRICULTURAL MACHINE IMPLEMENTATION**

Summary

The scope and abilities of modern modeling and simulation systems were presented in the paper. Its enable carrying out efficiently simulation and analysis of machine behavior before prototype is made.

Key words: agricultural machine, model, designing, simulation, testing