NR 3

MESSENGER

Drodzy Czytelnicy!

W 2002 r., czyli 15 lat temu, jako stosunkowo młode wówczas biuro postanowiliśmy rozpocząć wydawanie własnego biuletynu *MESsenger*. Ten tytuł wskazywał zarówno na tematykę biuletynu (MES), jak i nazwę naszej firmy i logo (MESco).

Na rynku pojawiły się wtedy najnowsze procesory Intel – Celeron i Pentium 4 – oraz oprogramowanie ANSYS w wersji 6.1. W tamtym czasie nikt jeszcze nie słyszał o Workbench, a „potężna" stacja robocza miała 256 MB RAM i dysk twardy 40 GB. O monitorze LCD mogli myśleć tylko bogaci.

Niestety, nasz zapał wydawniczy wystarczył jedynie na dwa numery *MESsengera*, zwłaszcza że jako pięcioosobowy zespół zajęć mieliśmy aż za dużo. Przez kolejne lata nieraz wracaliśmy do tego pomysłu i nareszcie po 15 latach możemy zaprezentować kolejny, trzeci numer biuletynu!

To wydanie ujrzy światło dzienne w zupełnie innych okolicznościach. Symulacja komputerowa staje się coraz bardziej powszechna, o czym świadczy m.in. kilkakrotny wzrost obrotów naszego biura, olbrzymie zainteresowanie szkoleniami i projektami.

Mam nadzieję, że biuletyn przypadnie Państwu do gustu. Proszę wybaczyć wszystkie niedociągnięcia, ale... *nie od razu Kraków zbudowano*. Jesteśmy otwarci na propozycje dotyczące tematyki następnych numerów. Chętnie opublikujemy również opisy Państwa projektów wykonanych z użyciem oprogramowania ANSYS.

Spośród artykułów publikowanych w tym numerze polecam m.in. opracowania Damiana Bodniewicza i Mateusza Pawłuckiego, które otrzymały nagrodę publiczności na konferencji SYMULACJA 2016. SYMULACJA to spotkanie, w którym zdecydowanie warto brać udział. To na nim można spotkać najlepszych w kraju „symulantów", posłuchać, co liczą inni, i dowiedzieć się, co w trawie piszczy, gdy chodzi o software i hardware.

Mariusz Gorol

W TYM NUMERZE:

2 Konferencja SYMULACJA 2017

3 Aktualności
3 Szkolenia MESco – sesja wiosenna 2017

4 Metoda analizy numerycznej komponentów z tworzyw sztucznych ze wzmocnieniem, opracowana w firmie WABCO Polska

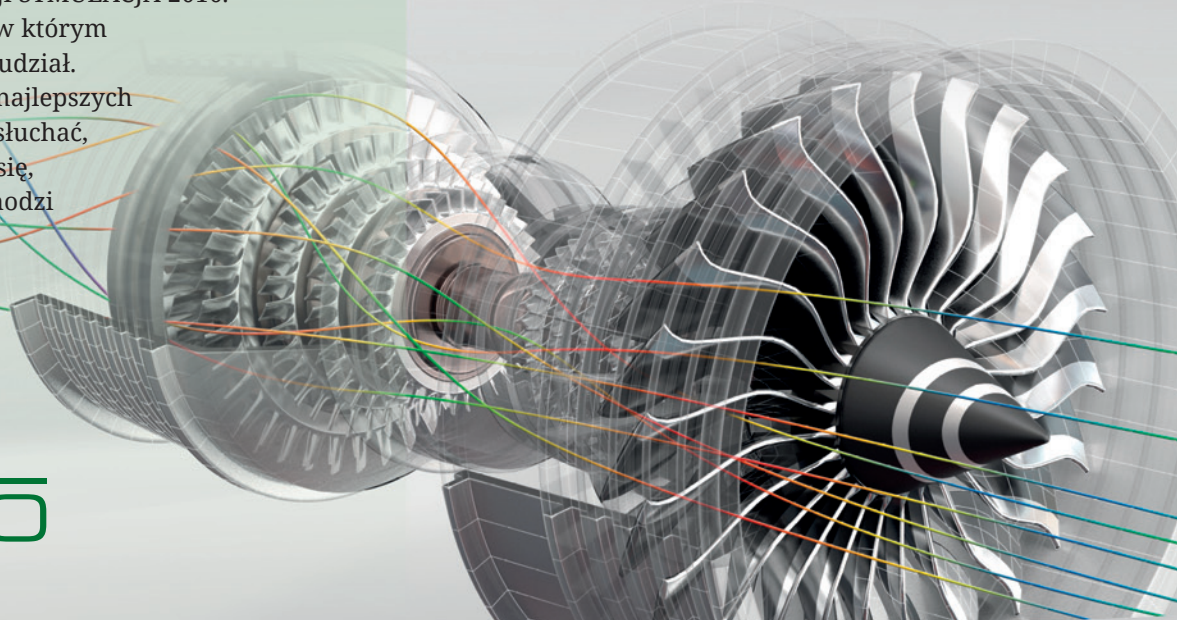
7 Optymalizacja numeryczna otunelowanego napędu śmigłowego

10 Symulacja to więcej niż oprogramowanie

12 ANSYS SpaceClaim w inżynierii odwrotnej – „Skin Surface"
13 Optymalizacja parametrów korbowodu w ANSYS DesignXplorer
14 Wykorzystanie symulacji w projektowaniu aerodynamiki bolidu AGH Racing
16 APDL w ANSYS Workbench

17 HPC: 27 600 km/h

18 Dlaczego warto inwestować w symulację?



MESco

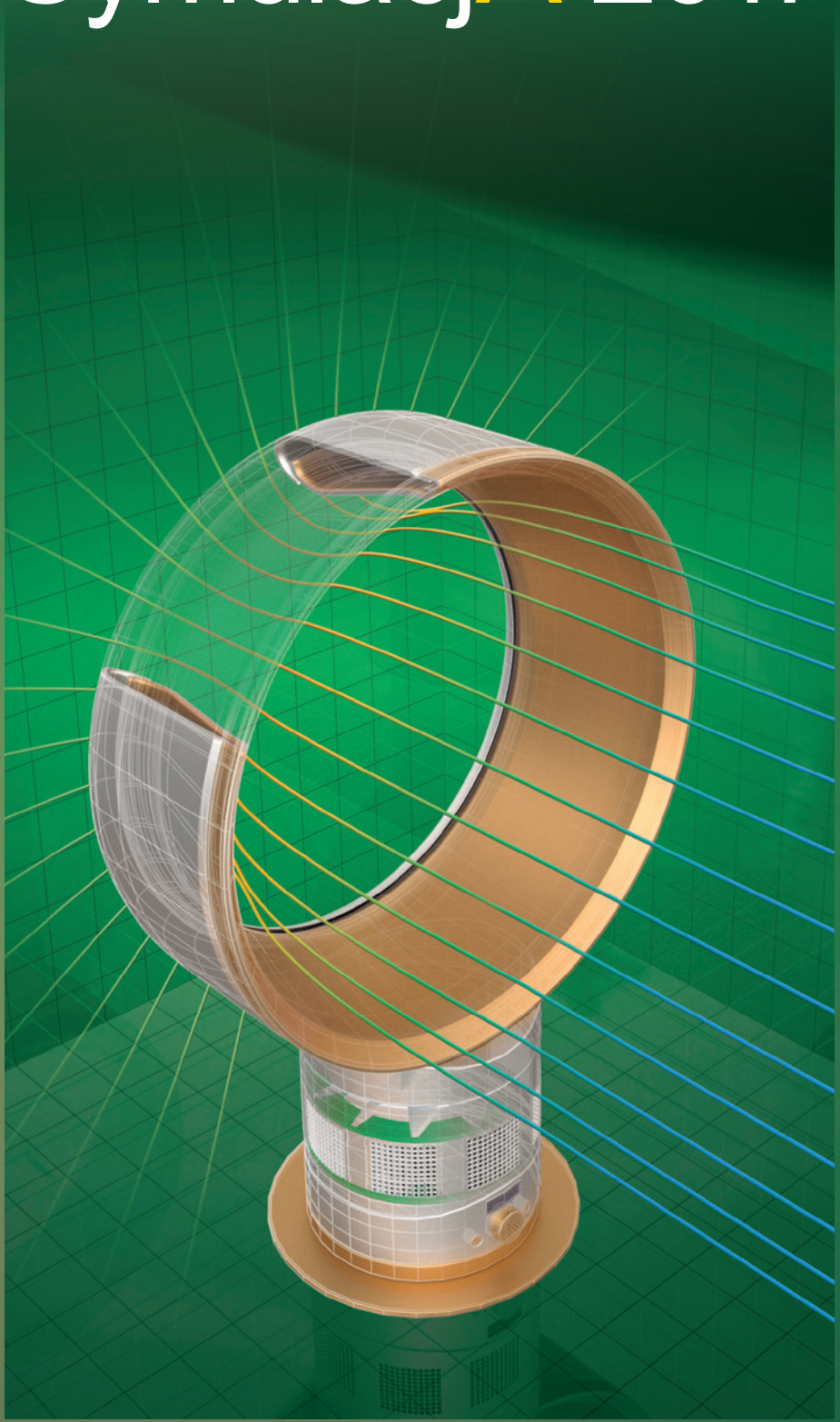
Przygotowujemy następną konferencję z cyklu

SYMULACJA

Kolejne spotkanie użytkowników ANSYS odbędzie się w dniach 10–12 maja 2017 r. w łódzkim hotelu DoubleTree

MESCO ANSYS®

SymulacjΛ 2017



Nasza konferencja to największe tego typu wydarzenie w Polsce. Od samego początku naszą misją było poszerzanie wiedzy i umiejętności inżynierskich uczestników spotkania. Popularność konferencji jest wynikiem bardzo wysokiego poziomu merytorycznego referatów i towarzyszących jej warsztatów z zakresu oprogramowania ANSYS. Wiedza i praktyczne umiejętności zdobyte podczas konferencji SYMULACJA pomagają w rozwiązywaniu codziennych problemów inżynierskich.

Jak co roku nasza kadra będzie prezentować interesujące i przydatne narzędzia dostępne w oprogramowaniu ANSYS. Postaramy się, aby znalazły one zastosowanie w codziennej pracy inżynierów.

Czekamy na Państwa zgłoszenia i referaty!

Miejsce:
Łódź, hotel DoubleTree,
ul. Łąkowa 29, 90–554 Łódź

Ceny:
1500 zł dla klientów posiadających aktywną usługę TECS oraz
1700 zł dla pozostałych osób – w przypadku przesłania zgłoszenia do 7 kwietnia 2017 r.
1900 zł – w przypadku przesłania zgłoszenia po 7 kwietnia 2017 r.

Terminy:
10 marca 2017 r. – przesłanie streszczeń referatów
28 kwietnia 2017 r. – termin nadsyłania ostatecznych wersji referatów

Tematy warsztatów:
- Analizy sprzężone w ANSYS AIM
- SpaceClaim Direct Modeler
- Mechanika pękania w ANSYS

Aktualności

Kolejny zakup firmy ANSYS

Firma ANSYS dokonała przejęcia KPIT medini Technologies AG.

KPIT to lider w dziedzinie analizy bezpieczeństwa funkcjonalnego (ISO 26262) dla przemysłu samochodowego. Flagowym produktem KPIT jest Medini Analize, który pozwala na analizę bezpieczeństwa elementów elektronicznych i elektrycznych – od etapu koncepcyjnego, przez implementację oprogramowania sterującego, po eksploatację. Wprowadzenie tej technologii do portfolio firmy ANSYS pozwoli nam lepiej wspierać naszych klientów w dziedzinie projektowania opartego na symulacji.

Szacuje się, że w ostatnich 10 latach firma ANSYS wydała na akwizycję ponad miliard dolarów (największe z ujawnionych akwizycji to: Fluent za 398 mln dolarów i Apache za 310 mln dolarów).

Nowa wersja oprogramowania ANSYS

W drugiej połowie stycznia 2017 r. pojawi się 18. wersja programu ANSYS. Będzie ona zawierać kolejne usprawnienia i nowe narzędzia. Z uwagą przyglądamy się zwłaszcza funkcji ROM (Reduced Order Modeling), która ma potencjał, by zrewolucjonizować proces optymalizacji i badania projektu.

ANSYS optiSLang

Firma ANSYS może się pochwalić nowym narzędziem do optymalizacji: optiSLang. Jest to wiodące na rynku oprogramowanie do optymalizacji i analiz Six Sigma. Dzięki wykorzystaniu metody RDO (Robust Design Optimization) umożliwia optymalizację w kierunku najlepszej wydajności produktu z jednoczesnym uwzględnieniem wymagań analizy Six Sigma.

ANSYS optiSLang pozwala znaleźć korzystny kompromis między długotrwałymi symulacjami optymalizacyjnymi a najlepszym rozwiązaniem konstruktorskim.

Dzięki ścisłej integracji z systemami CAD optymalizacja jest procesem zautomatyzowanym, natomiast technologia optiSLang zapewnia szybką identyfikację najważniejszych parametrów.

Firma MESco przodownikiem demografii na Śląsku!

Dobre warunki pracy i wysokie płace sprawiają, że nasi inżynierowie są aktywni nie tylko w pracy. W ostatnim roku urodziła się u nas czwórka dzieci, a kolejna dwójka jest w drodze. Zdobędziemy kraj bez jednego wystrzału!

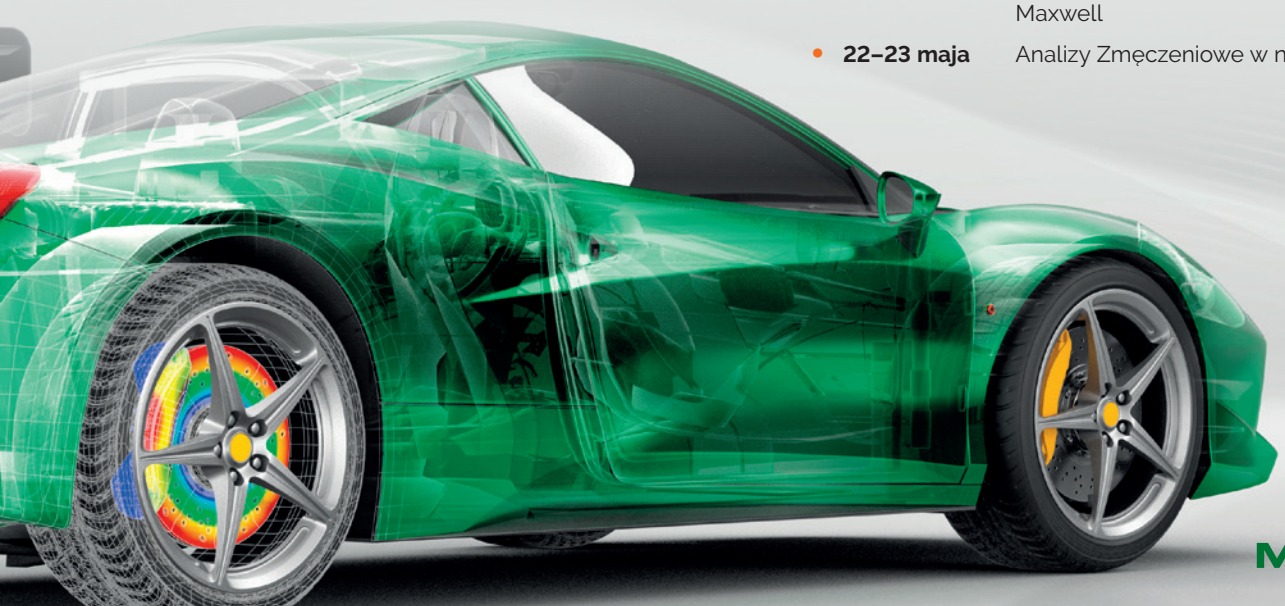
Nowa sala szkoleniowa

Firma MESco zakupiła nową salę szkoleniową wyposażoną w 10 komputerów typu HP ProDesk. Nowe maszyny pozwolą na bardziej stabilną i szybką pracę podczas kursów.

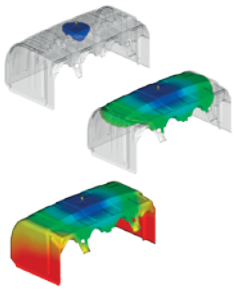
SZKOLENIA MESco

SESJA WIOSENNA 2017

- **6–7 marca** Geometria i Siatki na Potrzeby Analiz CFD
- **8–9 marca** Wprowadzenie do CFD (CFX)
- **10 marca** Wprowadzenie do UDF w ANSYS Fluent
- **14 marca** ANSYS SpaceClaim dla Mechaników
- **15–17 marca** MES dla Praktyków
- **20–22 marca** Zagadnienia Nieliniowe i Kontakt
- **23 marca** Optymalizacja Konstrukcji
- **24 marca** Analizy Termiczne i Termomechaniczne w ANSYS
- **30–31 marca** Wstęp do Obliczeń Dynamicznych w ANSYS LS-DYNA
- **5 kwietnia** Wprowadzenie do Analiz Zmęczeniowych
- **6–7 kwietnia** Dynamika Liniowa w ANSYS
- **10 kwietnia** Programowanie w ANSYS APDL
- **17–19 maja** Analizy Elektromagnetyczne w ANSYS Maxwell
- **22–23 maja** Analizy Zmęczeniowe w nCode DesignLife



Metoda analizy numerycznej komponentów z tworzyw sztucznych ze wzmocnieniem, opracowana w firmie WABCO Polska



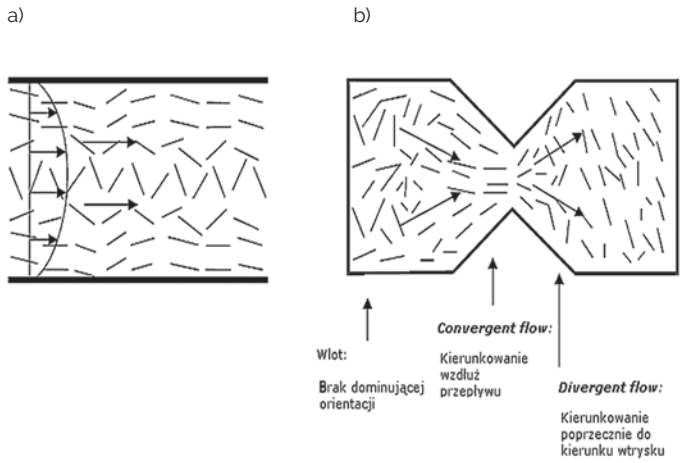
Damian Bodniewicz • WABCO Polska • damian.bodniewicz@wabco-auto.com

Tworzywa sztuczne znalazły szerokie zastosowanie w produkcji opakowań i sprzętu elektronicznego oraz w takich gałęziach przemysłu, jak budownictwo, motoryzacja czy rolnictwo. Według danych [1] roczna produkcja tworzyw sztucznych na świecie systematycznie wzrasta (2012 r. – 288 mln t, 2013 r. – 299 mln t, 2014 r. – 311 mln t), a w Europie utrzymuje się na poziomie ok. 60 mln t. WABCO Polska, jeden z wiodących na świecie dostawców bezpiecznych i wydajnych technologii oraz systemów sterowania do pojazdów użytkowych, oferuje systemy, w których znaczący udział mają komponenty z tworzyw sztucznych wzmacnianych włóknami. Firma dąży do tego, aby jej produkty spełniały rygorystyczne wymagania techniczne, a jednocześnie były oferowane za rozsądną cenę, dlatego dużą wagę przykłada do etapu projektowania nowych części.

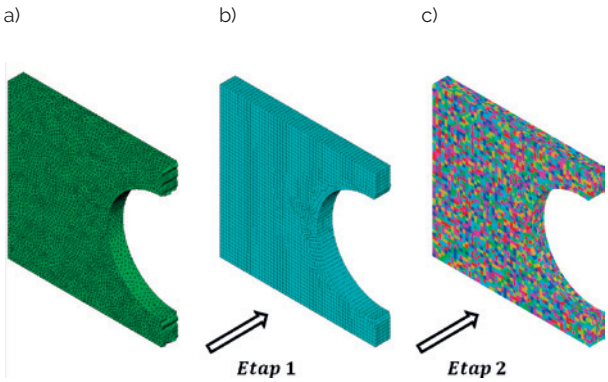
Dział inżynieryjny WABCO Polska korzysta z analiz numerycznych bazujących na metodzie elementów skończonych. Zakres tych analiz obejmuje m.in. symulacje procesu formowania komponentów z tworzyw sztucznych metodą wtrysku do formy (środowisko Autodesk Moldflow) oraz symulacje strukturalne (system ANSYS) uwzględniające obciążenia robocze, jakim poddawane są produkty w trakcie ich użytkowania.

W artykule zaprezentowano autorską metodę pozwalającą na uwzględnienie w obliczeniach strukturalnych rozkładu fazy wzmocnienia w wypraskach produkowanych metodą wtrysku ciśnieniowego. Metoda ta nie wymaga zakupu oprogramowania zewnętrznego (np. Converse, Digimat, MSA, MoldSim) do realizacji transferu anizotropowych właściwości mechanicznych między środowiskami Moldflow i ANSYS. Mapowanie danych materiałowych odbywa się z wykorzystaniem makr w języku APDL (ANSYS Parametric Design Language), który jest częścią systemu ANSYS.

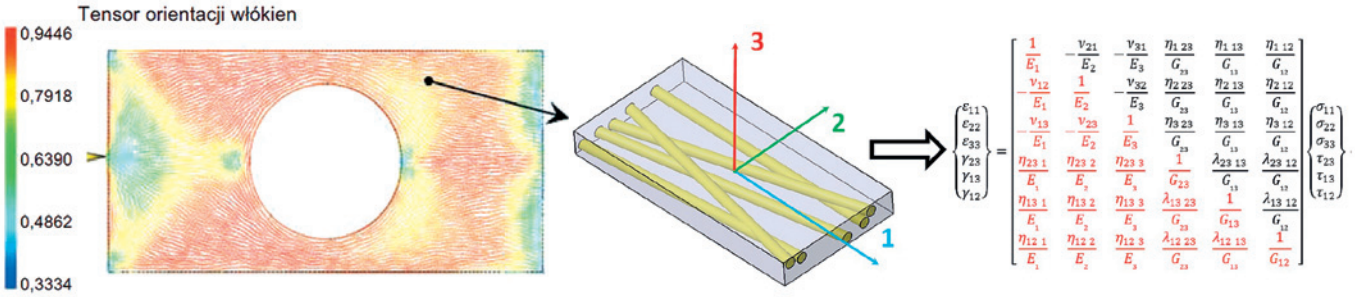
W rezultacie zaawansowane obliczenia z uwzględnieniem anizotropii właściwości mechanicznych można prowadzić bez konieczności ponoszenia jakichkolwiek dodatkowych kosztów na zakup zewnętrznej licencji na oprogramowanie.



Rys. 1. *Proces kierunkowania fazy wzmocnienia podczas wtrysku tworzywa do formy: a) po grubości elementu, b) w wyniku zmiany przekroju kanału we wnętrzu formy [3]*



Rys. 3. *Proces transferu danych materiałowych pomiędzy modelami dyskretnymi tej samej geometrii: etap 1 – lokalizacja i parowanie elementów między dwoma modelami, etap 2 – przypisanie i transfer anizotropowych danych materiałowych do elementów modelu docelowego*



Rys. 2. *Wyznaczanie lokalnych właściwości mechanicznych tworzywa sztucznego ze wzmocnieniem [4]*

Tworzywo ze wzmocnieniem – anizotropia właściwości mechanicznych

Polimer z wypełnieniem w postaci krótkich włókien (o długości ≤ 1 mm) jest z zasady materiałem kompozytowym, w którym fazą wzmacniającą są cząsteczki (o określonej geometrii) zawieszone w lepkim medium [2]. W wyniku wtrysku uplastycznionego materiału do formy dochodzi do kierunkowania włókien w wyprasce, która dodatkowo wykazuje charakter warstwowy po grubości (rys. 1).

Do głównych czynników mających wpływ na proces i stopień orientacji włókien zalicza się:

- ogólną dynamikę uplastycznionego polimeru,
- wartość naprężeń ścinających w polimerze,
- geometrię oraz koncentrację fazy wzmacniającej,
- interakcję uplastycznionego polimeru z fazą wzmacniającą,
- mechaniczne i/lub hydrodynamiczne oddziaływanie między poszczególnymi włóknami.

Środowisko Moldflow firmy Autodesk umożliwia analizę dynamiki przepływu uplastycznionego polimeru z uwzględnieniem jego interakcji z fazą wzmacniającą oraz oddziaływania pomiędzy samymi włóknami. Po określeniu przestrzennej dystrybucji wypełnienia następuje uśrednienie właściwości mechanicznych po objętości poszczególnych elementów skończonych modelu dyskretnego. W efekcie wtrysku do formy tworzywa ze wzmocnieniem otrzymuje się wypraskę wykazującą anizotropię właściwości mechanicznych. Dokładny opis matematyczny jej lokalnych parametrów w zakresie sprężystym wymaga przyporządkowania każdemu z elementów siatki MES unikatowej macierzy sztywności/podatności zawierającej 21 niezależnych składowych (rys. 2). Taka definicja materiału komplikuje obliczenia inżynierskie.

Mapowanie danych numerycznych Moldflow/ANSYS

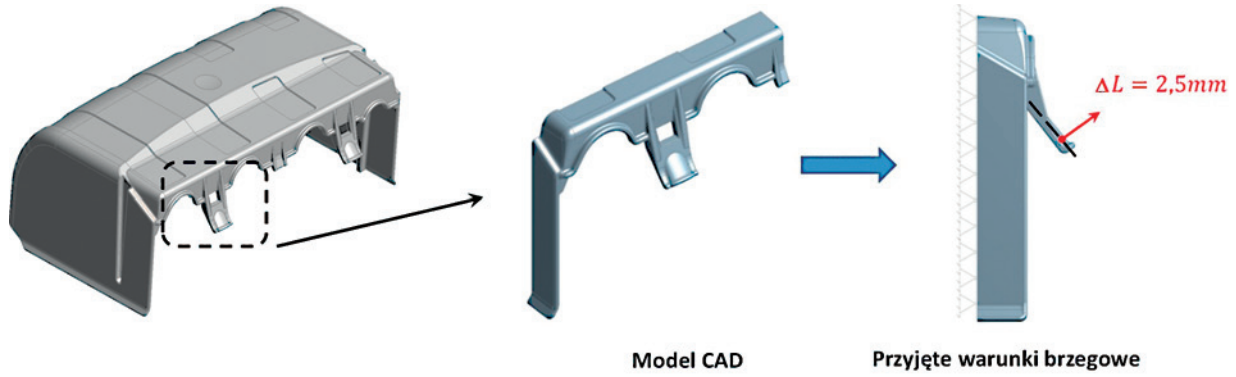
Po określeniu lokalnej dystrybucji i orientacji włókien we wnętrzu wypraski (rys. 3a) możliwe jest przetransferowanie danych numerycznych (orientacji włókien, wypaczenia części i naprężeń resztkowych po wtrysku) na model dyskretny obiektu, który zostanie wykorzystany w analizie strukturalnej (rys. 3b) – określa się to mianem *mapowania*. Cały proces jest realizowany automatycznie za pomocą makra w języku APDL.

Nowy model MES (rys. 3b) może zostać zdyskretyzowany według uznania i doświadczenia użytkownika wykonującego obliczenia wytrzymałościowe, np. z uwzględnieniem zagęszczenia siatki w miejscach przewidywanej koncentracji naprężeń bądź w okolicach linii łączenia strug tworzywa określonych w analizie wtrysku ciśnieniowego do form. Jednocześnie model do analizy strukturalnej może stanowić zaledwie wycinek oryginalnej geometrii, co znacząco skraca czas obliczeń numerycznych, zwłaszcza w analizach nieliniowych. W rezultacie otrzymuje się model z przypisanymi danymi materiałowymi unikalnymi dla każdego elementu siatki (rys. 3c).

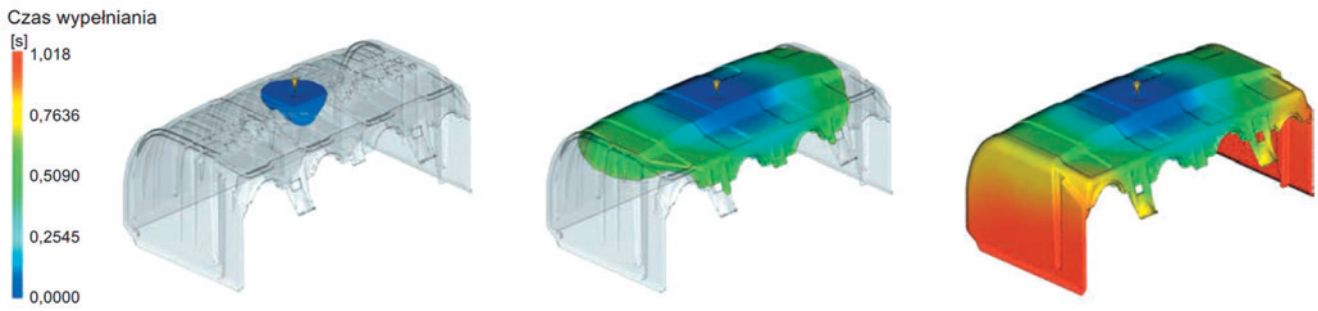
Weryfikacja eksperymentalna algorytmu mapowania

Opisany algorytm transferu anizotropowych danych numerycznych na model do analizy strukturalnej poddano weryfikacji eksperymentalnej. Jako obiekt do testów przyjęto pokrywę elektroniki jednego z produktów oferowanych przez firmę WABCO Polska. Część zamodelowano numerycznie (proces wtrysku wraz z analizą strukturalną) i przetestowano w rzeczywistości. Badany obiekt miał zatrzask, który w trakcie montażu/demontażu ulega odgięciu w kierunku normalnym do osi wskazanej na rys. 4, na odległość ΔL. W odpowiedzi na zadane przemieszczenie rejestrowano siłę reakcji F, którą wyznaczono na drodze testów oraz oszacowano numerycznie.

W pierwszej kolejności wykonano symulację wypełniania formy tworzywem



Rys. 4. *Badany obiekt (pokrywa elektroniki) wraz ze schematem obciążenia wypraski w trakcie jej montażu*



Rys. 5. *Proces wypełniania formy tworzywem sztucznym pod ciśnieniem*

z 30% udziałem włókien szklanych (rys. 5), aby uzyskać informację na temat rozkładu i kierunkowości fazy wzmocnienia w całej objętości wypraski (rys. 6).

Następnie, aby oszacować wpływ sposobu definiowania właściwości polimeru ze wzmocnieniem w obliczeniach numerycznych, przygotowano dwie analizy strukturalne dla następujących modeli materiałowych:

- z wykorzystaniem algorytmu mapowania danych („MES – wł. anizotropowe"),
- przy założeniu stałego modułu sztywności odczytanego z karty materiału od dostawcy („MES – wł. izotropowe").

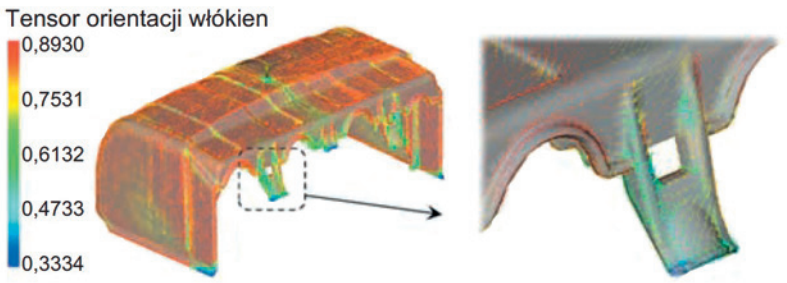
Model przyjęty do obliczeń strukturalnych stanowił wycinek pokrywy, na który nałożono warunki brzegowe zaprezentowane na rys. 4. Wyznaczono deformację wypraski oraz zmianę siły reakcji w funkcji przemieszczenia punktu kontrolnego na zatrzasku. Otrzymane numerycznie przebiegi siły porównano z wartościami zarejestrowanymi podczas testów próbek (testy 1–4). Zestawienie wyników pokazano na rys. 7b.

Analiza rys. 7b wskazuje na wysoką zgodność wyników eksperymentalnych z wartościami otrzymanymi z symulacji uwzględniającej anizotropię materiału („MES – wł. anizotropowe"). Zaprezentowane przebiegi są zwłaszcza zbliżone w zakresie przemieszczenia punktu kontrolnego zatrzasku do 2 mm. Wytłumaczeniem rozbieżności występującej powyżej tego poziomu może być nieliniowy charakter krzywej umocnienia materiału $\sigma(\varepsilon)$ przy wyższych wartościach odkształcenia bądź przejście materiału z zakresu sprężystego do sprężysto-plastycznego. Tych zjawisk nie uwzględniono w analizie numerycznej ze względu na wykorzystany w trakcie mapowania liniowy model materiału anizotropowego. Trwają prace nad rozbudowaniem przedstawionej metody o zakres plastycznej deformacji materiału w oparciu o nieliniowe krzywe umocnienia $\sigma(\varepsilon)$ otrzymane z prób jednoosiowego rozciągania próbek materiałowych.

Jednocześnie rys. 7b wskazuje, że siła reakcji zarejestrowana przy założeniu stałej wartości modułu sztywności („MES – wł. izotropowe") była zdecydowanie wyższa od wartości odczytanych dla modelu anioztropowego i danych eksperymentalnych. Bezpośrednim powodem takiego zachowania jest sposób wyznaczania modułu Younga dla tworzyw sztucznych ze wzmocnieniem w próbie jednoosiowego rozciągania (dane te są dostępne w kartach producentów). W rzeczywistości próbki materiałowe (zazwyczaj wiosełkowe, zgodne z normą ISO 527) mają fazę wzmocnienia w części pomiarowej zorientowaną zgodnie z kierunkiem obciążania. W rezultacie rejestrowana jest wysoka wartość modułu sztywności, co powoduje przesztywnienie modelu numerycznego w miejscach o niższym poziomie orientacji włókien lub tam, gdzie ułożenie włókien nie jest zgodne z kierunkiem przenoszenia obciążenia. Oba zjawiska zaobserwowano w obszarze analizowanego zatrzasku (rys. 6).

Podsumowanie

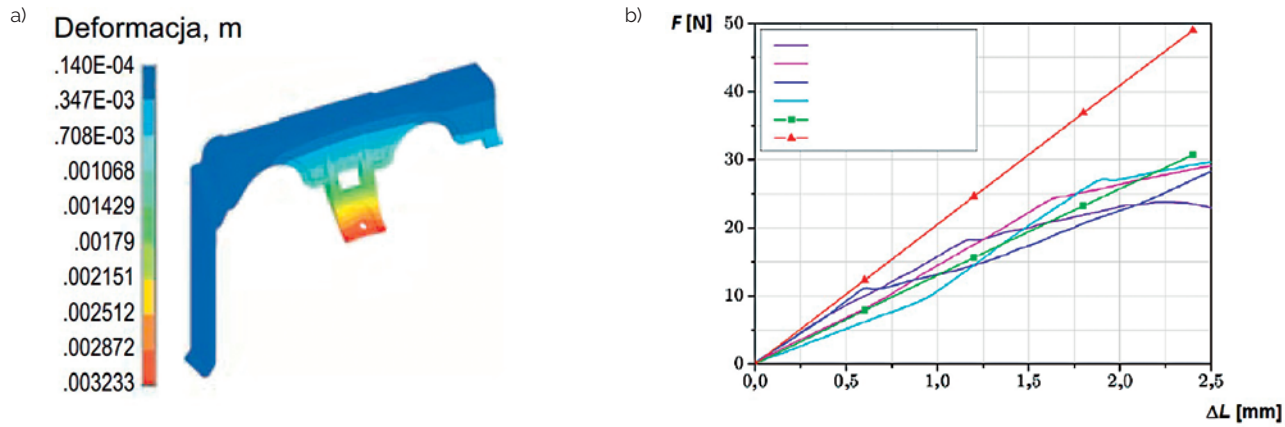
Na podstawie analiz numerycznych (Moldflow, ANSYS) wykazano zasadność stosowania autorskiej metody mapowania anizotropowych danych materiałowych z analizy numerycznej procesu wtrysku w programie Moldflow do analizy wytrzymałościowej w systemie ANSYS. Zaprezentowany algorytm umożliwia uwzględnienie w obliczeniach wytrzymałościowych: wpływu ukierunkowania fazy wzmacniającej, naprężeń resztkowych powstałych w procesie produkcyjnym, skurczu/wypaczenia komponentu, wady wtryskowej w postaci linii łączenia strug (*weld line*).



Rys. 6. *Dystrybucja fazy wzmocnienia wraz ze stopniem jej ukierunkowania*

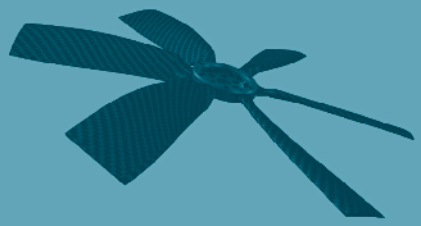
LITERATURA

1. www.plasticseurope.org. *„Tworzywa sztuczne – fakty 2015: Analiza produkcji, zapotrzebowania oraz odzysku tworzyw sztucznych w Europie"* (dostęp: 13.09.2016 r.).
2. knowledge.autodesk.com (dostęp: 11.09.2016 r.).
3. Oumer A.N., Mamat O. "A review of effects of molding methods, mold thickness and other processing parameters on fiber orientation in polymer composites". *Asian Journal of Scientific Research*. Vol. 6 (2013): pp. 401–410.
4. Vasiliev V.V., Morozov E.V. "Fundamentals of mechanics of solids". *Mechanics and Analysis of Composite Materials*. Holand: Elsevier Science Ltd., 2001.



Rys. 7. *Wyniki strukturalnej analizy numerycznej: a) deformacja zatrzasku, b) przebiegi siły reakcji w funkcji wartości zadanego wymuszenia – zestawienie danych otrzymanych eksperymentalnie (testy 1–4) i numerycznie (MES)*

Optymalizacja numeryczna otunelowanego napędu śmigłowego



Mateusz Pawłucki • Flytronic sp. z o.o., WB Group • mateusz.pawlucki@flytronic.pl

Artykuł jest podsumowaniem przeprowadzonej optymalizacji numerycznej łopaty śmigłowej w otoczeniu dyszy przyspieszającej (dyszy Korta). Przedstawione zagadnienia dotyczą wykorzystania metod CFD do analizy tego typu konstrukcji, a także zaawansowanych metod pre- i postprocessingu oraz optymalizacji numerycznej z uwzględnieniem algorytmów genetycznych. Celem badań było wyznaczenie parametrów geometrycznych łopaty śmigła otunelowanego w obecności kadłuba o zdefiniowanej geometrii – tak aby zmaksymalizować ciąg statyczny przy zadanych parametrach napędowych na wale silnika.

Intensywny rozwój oprogramowania inżynierskiego wykorzystującego algorytmy numeryczne na potrzeby symulacji zjawisk fizycznych połączony z ciągłym wzrostem mocy obliczeniowych współczesnych komputerów doprowadził do sytuacji, że w branżach, w których podstawą są zaawansowane technologie, walidacja konstrukcji na etapie projektowania odbywa się z zastosowaniem metod numerycznych. Rzeczywiste testy na prototypie, które wykonuje się obowiązkowo bez względu na szczegółowość modelu numerycznego, w wielu przypadkach ograniczają się do jednej iteracji. Ma to bardzo ważny aspekt ekonomiczny, gdyż koszty testów skomplikowanych urządzeń wielokrotnie przekraczają koszty symulacji. Wysoka jakość urządzeń produkowanych przez firmy konkurencyjne wymusza zaś uwzględnienie optymalizacji w procesie projektowania.

Klasyczne napędy śmigłowe, które w dużych konstrukcjach lotniczych zostały częściowo wyparte, są powszechnie wykorzystywane w lżejszych samolotach i w lotnictwie bezzałogowym. Jest to również podstawowe rozwiązanie w większości konstrukcji, które mogą realizować lot w kierunku pionowym – np. w wiropłatach. Siła ciągu jest wytwarzana na skutek zmiany pędu powietrza w otoczeniu pracującego pędnika. Ta zmiana jest konsekwencją skoku ciśnienia oraz przekazywania energii wału napędzającego do strumienia masy przepływającej przez płaszczyznę śmigła. Pędnik może też pracować w innych stanach niż stan pracy śmigłowej [1].

W przypadku śmigieł otunelowanych dodatkowy element konstrukcyjny w postaci pierścienia przyspieszającego bądź opóźniającego może znacząco zmieniać osiągi i cechy napędu. Na rys. 1 przedstawiono dwa podstawowe typy konstrukcyjne takiego pierścienia. W przypadku konstrukcji typu dysza Korta prędkość strugi w płaszczyźnie dysku roboczego jest wyższa niż w przypadku śmigła pracującego w przestrzeni otwartej. To prowadzi do zwiększenia masowego strumienia przepływającego przez płaszczyznę roboczą śmigła oraz do wzrostu wartości siły ciągu.

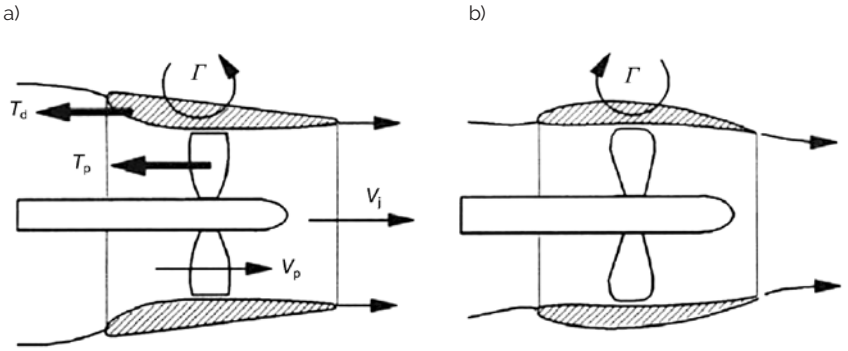
Na rys. 1 zaznaczono również kierunek cyrkulacji dla profilu tworzącego pierścień. Ten kierunek – jak wynika z teorii linii nośnej [2] – określa dodatnią bądź ujemną wartość przyrostu ciągu. W omawianym zagadnieniu istotny jest fakt, że bliskie sąsiedztwo pierścienia pozwala na znacznie większe obciążenie końcówki łopaty w stosunku do śmigła pracującego w strumieniu otwartym.

W przypadku pierścienia opóźniającego (*pump-jet*) dochodzi do spadku siły ciągu, a jednocześnie zmniejsza się tendencja do zjawiska kawitacji i spada poziom hałasu aerodynamicznego. Ten fakt wykorzystuje się w projektowaniu niektórych konstrukcji specjalnych w branży zbrojeniowej, gdzie funkcjonalność przeważa nad osiągami i sprawnością zamiany energii.

Przepływ informacji w środowisku obliczeniowym

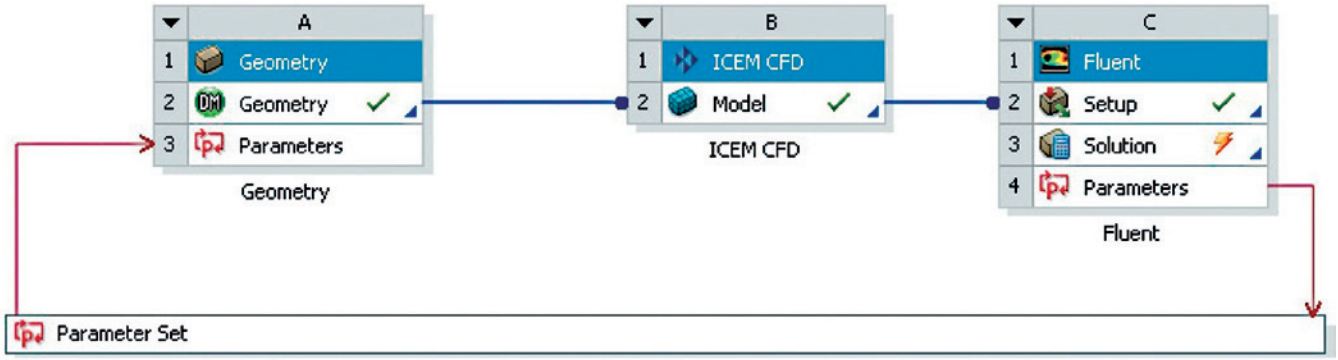
Śmigło w otoczeniu dyszy przyspieszającej zamodelowano w środowisku CAD – Solidworks (rys. 2), następnie zaś opracowano schemat obliczeń w programie ANSYS Workbench.

Określono następujące parametry geometryczne, które w kolejnych krokach optymalizacji ulegały zmianom: kąty nastawienia, cięciwy dla środkowego i końcowego przekroju łopaty oraz wymiar szczeliny pomiędzy końcówką łopaty a ścianą tunelu (ze względu na możliwość wystąpienia tzw. naprężeń broczących [1]). Te parametry były dwukierunkowo przesyłane (z wykorzystaniem interfejsu ANSYS) pomiędzy programami Solidworks i ANSYS Workbench. Najpierw następował import geometrii z programu Solidworks do ANSYS Workbench,



Rys. 1. *Rodzaje pierścieni wraz z zaznaczonym kierunkiem cyrkulacji [4]: a) śmigło w otoczeniu dyszy Korta, b) śmigło w otoczeniu pierścienia opóźniającego, tzw. pump-jet*

Rys. 2. *Model geometryczny śmigła przeznaczonego do pracy w otoczeniu dyszy przyspieszającej*

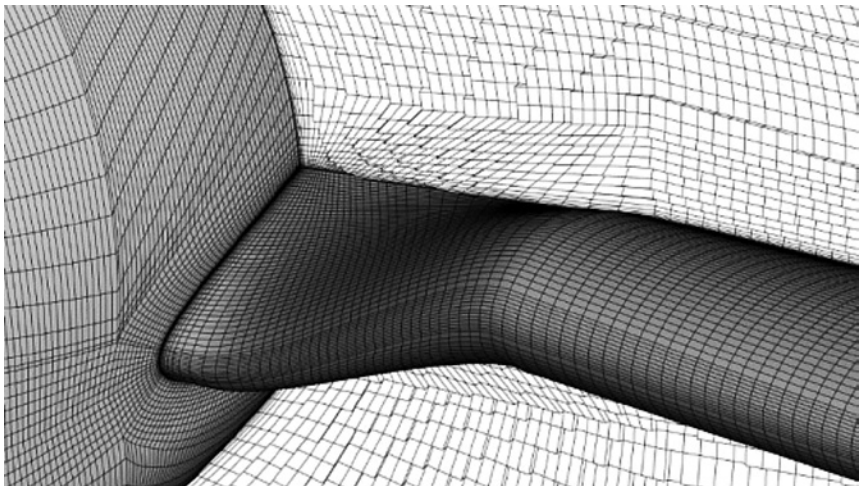


Rys. 3. *Przepływ danych w środowisku ANSYS Workbench*

a następnie nowy zestaw parametrów do przebudowy geometrii był przesyłany z ANSYS Workbench do Solidworks. Pomiędzy tymi wymianami danych realizowany był cykl operacji polegających na: przebudowaniu siatki elementów skończonych, przeprowadzeniu obliczeń CFD i wyprowadzeniu parametrów wyjściowych (rys. 3).

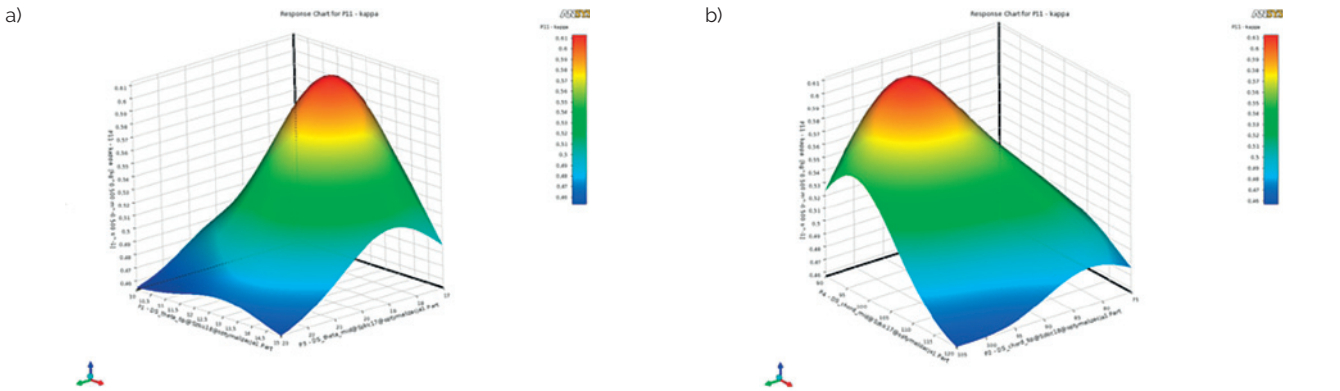
Siatkę elementów skończonych utworzono za pomocą ICEM CFD – narzędzia służącego do dyskretyzacji modeli, wyposażonego m.in. w dwie ważne funkcje: modelowania siatek heksahedralnych na bazie topologii hipersześcianu, tzw. *blocking* (rys. 4), oraz możliwość nagrywania skryptu.

Ponieważ w symulacjach CFD duże znaczenie ma jakość (a nie tylko rozdzielczość) siatki, najbardziej profesjonalnym podejściem, aczkolwiek okupionym długim czasem potrzebnym do zbudowania topologii hipersześcianu odpowiadającej topologii geometrii, jest modelowanie siatek heksahedralnych. W przypadku optymalizacji zastosowanie siatek, które dają duże błędy dyfuzji numerycznej, zaokrągleń itp., mogłoby doprowadzić do sytuacji, że niepewność symulacji przekroczy wartość poprawy wynikającej z optymalizacji. Gdy nie ma możliwości zminimalizowania błędów symulacji CFD (w tym błędu wynikającego z dyskretyzacji), warto się zastanowić, czy optymalizacja nie doprowadzi do błędnych konkluzji.



Rys. 4. *Siatka elementów skończonych uzyskana metodą blockingu. Szare elementy reprezentują ścianki typu QUAD, Białe elementy typu HEXA reprezentują objętości skończone płynu w pewnym przekroju*

Nagrywanie skryptu polega na opisie kolejnych czynności budowy topologii oraz konwersji do formatu wymaganego dla solvera. Wykonywana automatycznie optymalizacja po wcześniejszym zbudowaniu struktury obliczeń uruchamia tę aplikację w trybie pracy w tle. Wynika to z każdorazowej przebudowy modelu po uaktualnieniu parametrów



Rys. 5. *Powierzchnia odpowiedzi dla wartości sprawności zawisowej w odniesieniu do: a) kątów nastawienia przekrojów, b) cięciw w tych przekrojach*

oraz konieczności przeprowadzenia dyskretyzacji na nowo.

Zagadnienie przepływu w oprogramowaniu ANSYS Fluent rozwiązywano według schematu, który był identyczny dla każdego kroku. Rozwiązywane było podstawowe równanie RANS z uwzględnieniem modelu turbulencji Transition SST, a więc z uwzględnieniem czterech dodatkowych równań:

- energii kinetycznej turbulencji (k),
- właściwej szybkości dyssypacji (ω),
- intermitencji (γ),
- liczby Reynoldsa odniesionej do grubości straty pędu (Re_θ).

Układ równań jest domykany przez hipotezę Boussinesqa i zagadnienie daje się rozwiązać iteracyjnie [3].

Ponadto w modelu uwzględniono wpływ ściśliwości poprzez dołączenie równania gazu doskonałego. Jako kryterium zbieżności ustalono wartość reszt skończonych na poziomie 2E–4.

Parametry wyjściowe (funkcje celu) były następujące:

- wartość siły ciągu napędu pionowego dla wszystkich elementów typu ścianka (w tym na poszyciu kadłuba),
- wartość momentu dla elementów typu ścianka związanych ze śmigłem.

Efektem omówionych działań był projekt obliczeń wraz ze zdefiniowanymi parametrami wejściowymi i wyjściowymi.

Optymalizacja numeryczna

Dość szeroka paleta metod optymalizacji dostępna w ANSYS DesignXplorer umożliwiła na tym etapie automatyczne przeliczenie kolejnych zestawów parametrów oraz wyznaczenie optymalnego rozwiązania. Wykorzystano schemat Response Surface Optimization [3]:

- wygenerowanie zestawów parametrów i obliczenie wartości funkcji celu,
- utworzenie powierzchni odpowiedzi,
- przeprowadzenie optymalizacji na podstawie powierzchni odpowiedzi.

Najpierw określono warunki brzegowe optymalizacji (wymiary graniczne), a ponadto parametry wyjściowe – ciąg i moment – połączono w jeden parametr, korzystając z definicji sprawności zawisowej [1].

Program przygotował (z uwzględnieniem warunków brzegowych oraz liczby parametrów) zestawy wymiarów, które następnie były przeliczane w kolejnych krokach optymalizacji.

Wartości funkcji celu, zapisywane dla każdego cyklu obliczeń, stanowiły jednocześnie punkty, z których na dalszym etapie program utworzył powierzchnię odpowiedzi (rys. 5). Do interpolacji danych pomiędzy rozwiązaniami dyskretnymi zastosowano model regresji nieparametrycznej.

Na ostatnim etapie przeprowadzono optymalizację z użyciem algorytmu genetycznego, który dopuszcza uwzględnianie w obliczeniach wielu funkcji celu i wyznacza kilka propozycji rozwiązań optymalnych w sensie Pareto. Aby spełnić założenia projektu, zdefiniowano zadanie maksymalizacji sprawności zawisowej z jednoczesnym kryterium momentu z zakresu odpowiadającego charakterystyce momentowej silnika elektrycznego. Warto zaznaczyć, że obliczenia prowadzone tą metodą nie są wykonywane przez solvery znajdujące się w pętli projektu obliczeń. Wartości funkcji celu są brane z utworzonej powierzchni odpowiedzi.

Wyniki optymalizacji

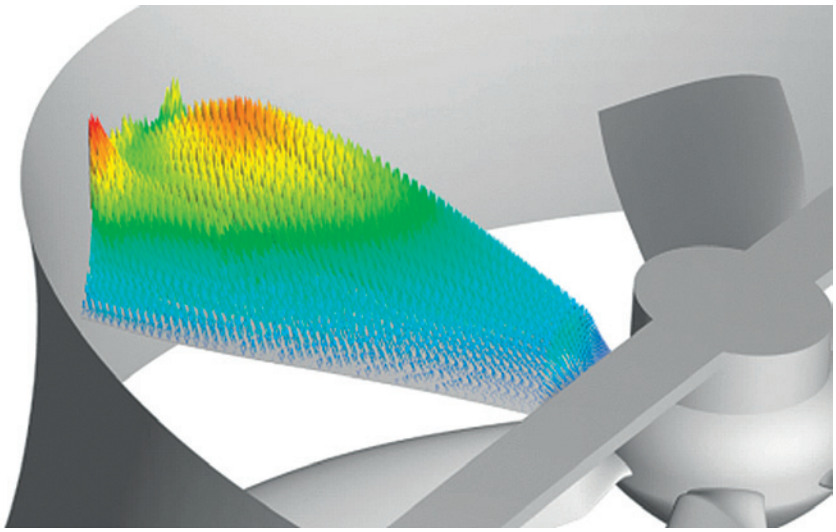
Dla finalnego zestawu przeprowadzono obliczenia sprawdzające. Uzyskany wzrost ciągu przy tej samej wartości mocy na wale silnika napędzającego wyniósł 17% (rys. 6).

W celu weryfikacji stworzono model numeryczny odpowiadający pomiarowi parametrów statycznych śmigła na hamowni. Wynik eksperymentu dla kilku parametrów pracy był bardzo dobrze skorelowany z modelem CFD – różnice nie przekraczały 0,5%. Dokładniejsze określenie poziomu błędu wymagałoby jednak oszacowania błędów pomiaru czujników oraz błędu dyskretyzacji modelu (np. poprzez parametr GCI – *grid convergence index*).

Podsumowanie

Programy komputerowe pozwalające na rozwiązywanie zagadnień z pogranicza wielu dziedzin fizyki (symulacje sprzężone) czy optymalizację konstrukcji ze względu na różne typy funkcji celu (przepływowe, elektromagnetyczne, wytrzymałościowe) są dziś wykorzystywane przez większość czołowych firm z branży zaawansowanych technologii. Obecne narzędzia optymalizacji umożliwiają uwzględnianie rozkładu statystycznego parametrów wejściowych. Można więc wziąć pod uwagę np. odchyłki produkcyjne, odchyłki parametrów materiałowych czy zmienność warunków brzegowych oraz usunąć z przestrzeni rozwiązań rozwiązania zbyt czułe.

Dostępne narzędzia obliczeniowe, współpracujące ze sobą wewnątrz jednego środowiska, stwarzają niemal nieograniczone możliwości modelowania i optymalizacji rozwiązań technicznych. W artykule przedstawiono jedynie mały fragment tych możliwości, który jednak potwierdza opłacalność stosowania symulacji komputerowych i nowoczesnych narzędzi optymalizacji.



Rys. 6. *Rozkład wektorów sił na górnej powierzchni łopaty (strona ssąca). Widoczne duże obciążenie końcówki łopaty w wyniku bliskiego sąsiedztwa ściany pierścienia*

LITERATURA

1. Strzelczyk P. *„Wybrane zagadnienia aerodynamiki śmigieł”*. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2011.
2. Houghton E. *„Aerodynamics for Engineering Students”*. 6th ed. Elsevier, 2012.
3. ANSYS Inc., ANSYS Help, 2013.
4. Lewis R.I. *„Turbomachinery performance analysis”*. New York: Wiley, 1996.

Symulacja to więcej niż oprogramowanie

Tomasz Kądziołka

Poprzez sukcesywną akwizycję liderów w poszczególnych branżach symulacji firma ANSYS stała się największym producentem oprogramowania do analiz numerycznych. W ostatniej dekadzie wykupiła m.in. CFX, Fluent, ANSOFT, Apache, Delcross czy Esterel. Dzięki temu może zaoferować dostęp do szerokiej gamy uznanych narzędzi do symulacji i optymalizacji.

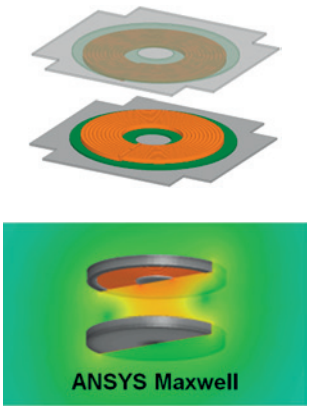
Firma ANSYS rozszerza możliwości poszczególnych modułów o analizy sprzężone w ramach wspólnej platformy ANSYS Workbench. Dodatkowo dzięki grupie programów eksperckich umożliwia szybkie prototypowanie maszyn elektrycznych (RMxprt) oraz dławików energoelektronicznych (PExprt).

Analizy sprzężone pozwalają użytkownikowi jeszcze lepiej poznać zjawiska, które mogą towarzyszyć np. przepływowi prądu: zjawisko wypierania, zbliżenia czy zmiany konduktywności materiału pod wpływem temperatury (wzrost strat). Bardzo dobrym przykładem symulacji sprzężonej (rys. 1) może być analiza rozkładu temperatury oraz strat w szynoprzewodach rozdzielnicy, a więc połączenie analizy elektromagnetycznej (straty, siła) z analizą termiczną (temperatura) i mechaniczną (naprężenia/odkształcenia pochodzące od siły oraz temperatury).

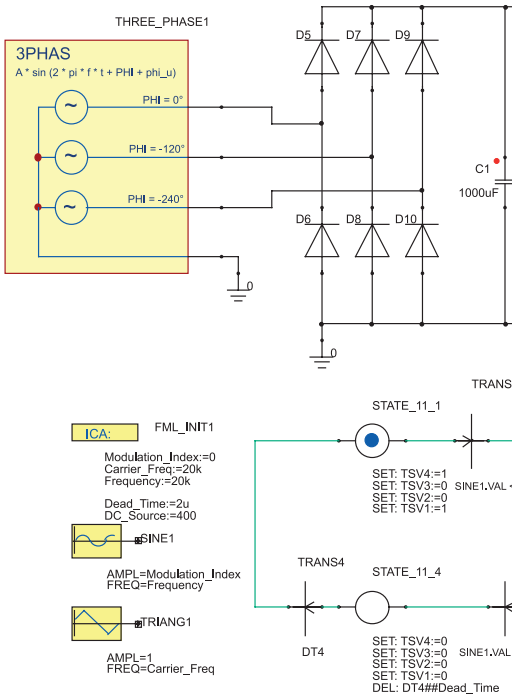
Dalej przedstawiono praktyczny przykład pokazujący proces projektowania oraz optymalizacji układu ładowania indukcyjnego w samochodzie elektrycznym (rys. 2), na który składają się: część obwodowa (zasilanie, energoelektronika, zasobnik energii, układ rezonansowy) oraz część polowa w postaci dwóch cewek sprzężonych magnetycznie, przesyłających energię elektryczną na odległość.

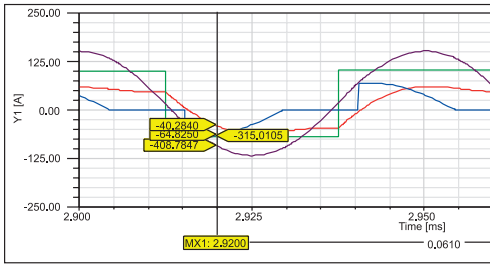
W tym konkretnym przypadku na sprawność układu będą miały wpływ konstrukcja cewek (kształt cewek, odległość między nimi, liczba zwojów, rdzeń magnetyczny itd.) oraz parametry obwodu zasilającego (obwód rezonansowy, układ sterowania), czyli sprzężenie części obwodowej (ANSYS Simplorer) z magnetyczną (ANSYS Maxwell).

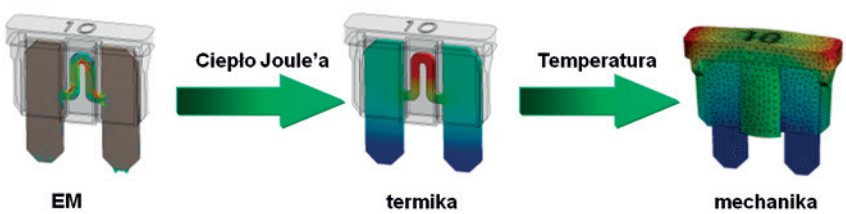
ANSYS Maxwell umożliwia wykonanie obliczeń elektromagnetycznych w celu: określenia liczby zwojów i kształtu cewki (rys. 3) oraz materiałów magnetycznych (praca na liniowej części charakterystyki BH), wyznaczenia sił, momentów, indukcyjności własnych i wzajemnych, a także sprawdzenia wpływu odległości oraz przesunięcia cewek na sprawność układu magnetycznego. ANSYS Maxwell znajduje również zastosowanie w projektowaniu



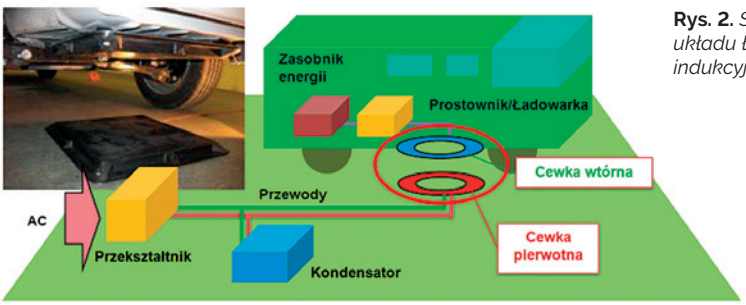
Rys. 3. *Model polowy cewek w programie ANSYS Maxwell*







Rys. 1. *Przykład analizy sprzężonej*



Rys. 2. *Schemat układu ładowania indukcyjnego*

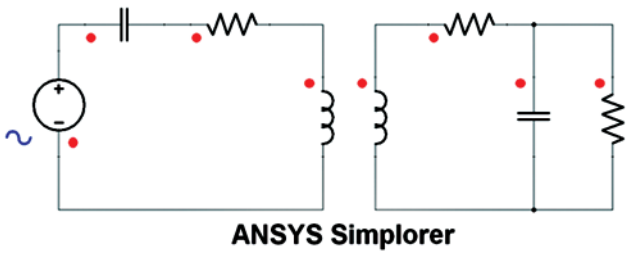
układów elektromechanicznych, takich jak: silniki, generatory i elektrozawory.

ANSYS Simplorer pozwala na zamodelowanie obwodu elektrycznego (rys. 4) – składającego się z zasilania, przekształtnika, układu sterowania, obwodu rezonansowego i odbiornika – oraz indukcyjności własnych i wzajemnych, które zostały wyliczone w programie ANSYS Maxwell. Ponadto w ANSYS Simplorer można prowadzić analizy kompletnych systemów złożonych z komponentów elektrycznych, mechanicznych i przepływowych. Program współpracuje z innymi produktami z rodziny ANSYS.

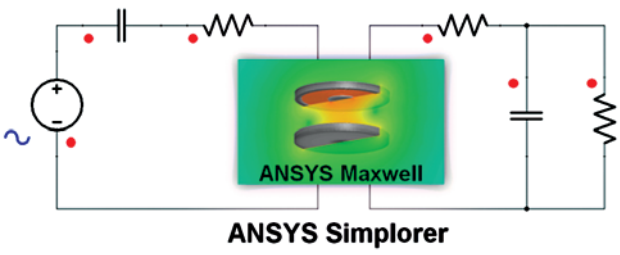
Połączenie programów ANSYS Simplorer i ANSYS Maxwell, a więc sprzężenie modelu obwodowego z modelem polowym (rys. 5), pozwala na określenie sprawności kompletnego układu ładowania indukcyjnego z uwzględnieniem nieliniowej części magnetycznej. To połączenie bardzo często wykorzystuje się w badaniu wpływu układu sterowania na dynamikę systemów elektromechanicznych oraz strat w obwodzie magnetycznym wywołanych zasilaniem prądem z zawartością wyższych harmonicznych.

Na rys. 6 zaprezentowano kompletny model symulacyjny otrzymany z zastosowaniem programów ANSYS Maxwell i ANSYS Simplorer oraz przebiegi napięcia i prądu (sieć zasilająca, prostownik, falownik, układ rezonansowy, zasobnik energii oraz układ sterowania).

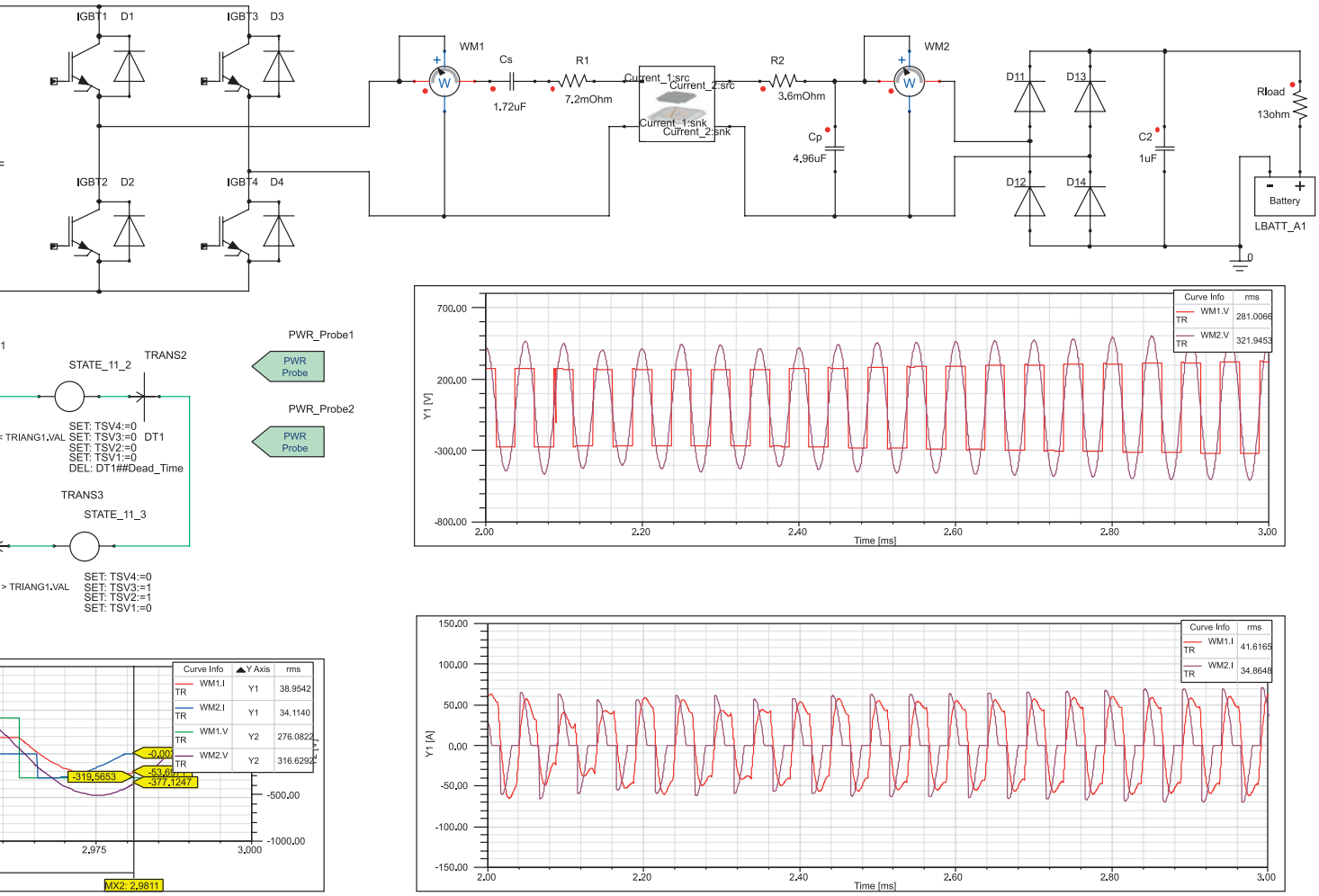
Symulacja komputerowa pozwala na lepsze poznanie konstrukcji istniejących produktów i tym samym na ich ulepszanie, a ponadto wspomaga prace nad nowymi produktami. Dzięki zaawansowanym technikom numerycznych, możliwości wizualizacji zjawisk fizycznych zachodzących w konstrukcjach, a także optymalizacji opartej na wykonywaniu wirtualnych prototypów znacząco skraca się czas od pomysłu do wdrożenia nowego produktu i – co najważniejsze – liczba kosztownych prototypów zostaje ograniczona do absolutnego minimum. Symulacja jest zatem najlepszą inwestycją.



Rys. 4. *Model obwodowy w programie ANSYS Simplorer*



Rys. 5. *Sprzężenie części obwodowej z polową*



Rys. 6. *Pełny model symulacyjny układu ładowania indukcyjnego*

ANSYS SpaceClaim

w inżynierii odwrotnej – „Skin Surface”

Marek Zaremba

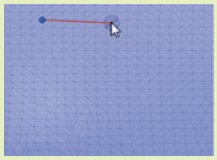
W praktyce inżynierskiej coraz częściej pojawia się potrzeba uzyskania modelu CAD dla istniejących produktów – np. wtedy, gdy oryginalne pliki lub rysunki techniczne zostały utracone lub doszło do nieoczekiwanego zachowania się produktu. Inżynieria odwrotna bywa skomplikowana, czasochłonna i często frustrująca, zwłaszcza gdy nie dysponuje się odpowiednimi narzędziami. Na szczęście ANSYS SpaceClaim oferuje narzędzia, które idealnie się sprawdzają w takim przypadku. Opcja „Facets” pozwala naprawić i przygotować modele STL oraz odtworzyć model 3D na podstawie modelu STL. Pod względem technologii, ergonomii i elastyczności SpaceClaim nie ma sobie równych.

Narzędzie „Skin Surface” pozwala utworzyć model powierzchniowy na podstawie powierzchni zewnętrznych modelu STL.

1 Wczytaj plik STL

2 Wybierz narzędzie „Skin Surface” w opcjach „Insert”

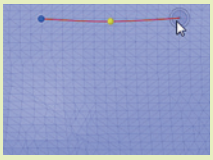
3 Kliknij raz na siatkę, aby rozpocząć rysowanie pożądanego kształtu

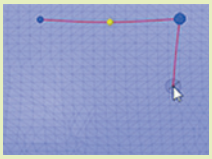


4 Jednorazowe kliknięcie umożliwia stworzenie wewnętrznego punktu, który można dowolnie przesuwać. Dwukrotne kliknięcie pozwala na utworzenie narożnika

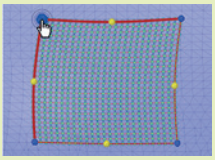
5 Kontynuuj tworzenie krawędzi oraz narożników aż do uzyskania pożądanego kształtu

6 Zamknij kształt poprzez pojedyncze kliknięcie na punkt startowy

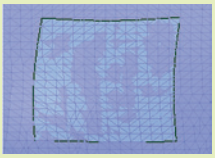




7 Utworzona powierzchnia jest wyświetlana jako poglądowa – teraz możesz dowolnie przesuwać żółte punkty

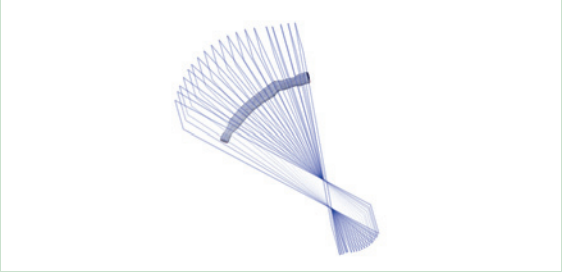


8 Kliknij ✓ „Complete”, aby utworzyć powierzchnię

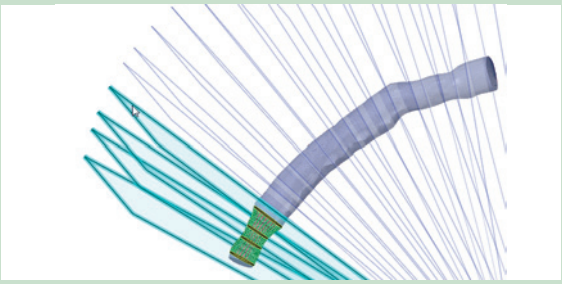


W przypadku modeli cylindrycznych, można skorzystać z funkcji „Periodic Surface”

1 Utwórz dwie lub więcej płaszczyzn przecinających model



2 Wybierz pierwszą płaszczyznę, a następnie – trzymając wciśnięty klawisz Ctr – kolejne płaszczyzny. Program będzie pokazywał poglądowo powierzchnie



3 Kliknij ✓ „Complete”, aby utworzyć powierzchnię

Technologia ANSYS SpaceClaim Direct Modeler pozwala na szybkie stworzenie modelu CAD z modeli STL. Jest to przydatne zwłaszcza w pracy ze skanowanymi geometriami lub w optymalizacji topologicznej.

Optymalizacja parametrów korbowodu w ANSYS DesignXplorer

Marcin Hatłas

Celem projektu była optymalizacja kształtu korbowodu łączącego cylinder z wałem korbowym silnika spalinowego. Podczas pracy silnika na korbowód działają różnorodne siły związane ze sprężaniem i z rozprężaniem mieszanki paliwowej oraz jej wybuchem, a także z siłami masowymi wywołanymi szybkimi ruchami korbowodu oraz reakcjami na wale korbowym, wynikającymi z bezwładności napędzanego mechanizmu. Do obciążeń wału należy dodać również obciążenie termiczne spowodowane generowaniem ciepła podczas wybuchu mieszanki paliwowej.

Ze względu na złożony sposób obciążenia korbowodu numeryczna analiza wytrzymałościowa powinna obejmować analizy dynamiczne z uwzględnieniem pełnego zakresu ruchu oraz obciążeń korbowodu albo analizy statyczne przypadków największego obciążenia korbowodu.

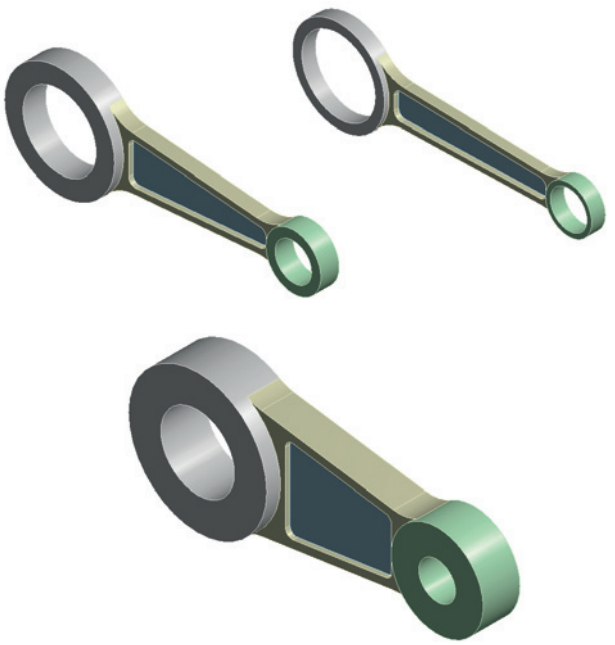
W ramach realizowanej pracy wykonano optymalizację geometrii korbowodu, biorąc pod uwagę cztery przypadki maksymalnego obciążenia korbowodu. Jako metodę optymalizacji przyjęto algorytm ewolucyjny.

Do rozwiązania zagadnienia zastosowano metodę elementów skończonych zaimplementowaną w komercyjnym oprogramowaniu ANSYS Workbench. W tym środowisku utworzono sparametryzowaną geometrię korbowodu (rys. 1), zdefiniowano siatkę elementów skończonych, nałożono warunki brzegowe, a następnie przeprowadzono liniowe, statyczne analizy termiczne i mechaniczne (sprzężenie słabe).

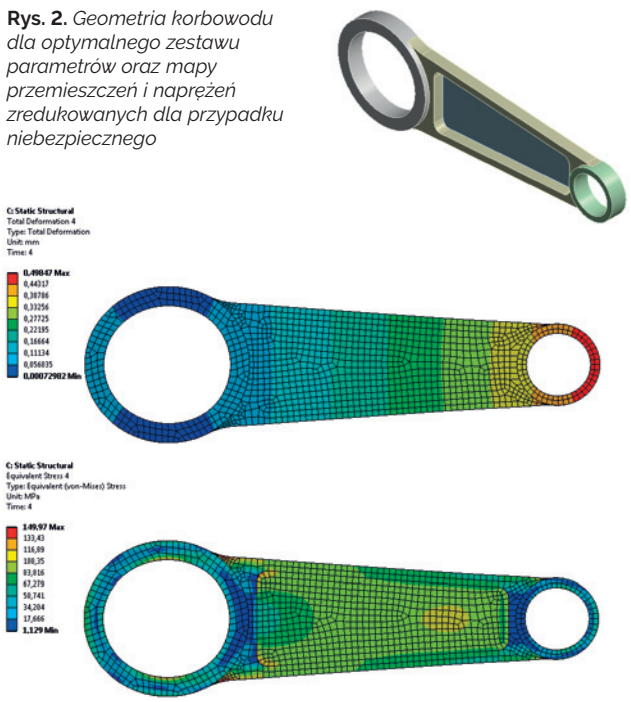
Warunki brzegowe w analizie mechanicznej zadano dla czterech położeń korbowodu, w których jest on poddany maksymalnym obciążeniom. Nałożone obciążenia siłowe odpowiadają reakcjom od wału korbowego oraz obciążenia cylindra mieszanką paliwową. Nałożone przyspieszenia odpowiadają jednostajnemu ruchowi obrotowemu wału korbowego, prędkości kątowej i przyspieszeniu kątowemu korbowodu w kolejnych położeniach. Aby umożliwić analizę statyczną, odebrano stopnie swobody w postaci punktowego utwierdzenia osi piasty wału korbowego. Dodatkowym warunkiem brzegowym był wstępny rozkład odkształceń termicznych, otrzymany w wyniku analizy termicznej.

Celem optymalizacji była minimalizacja masy korbowodu, powodująca zmniejszenie bezwładności mechanizmu silnika, co z kolei pozwala na uzyskanie większego przyspieszenia i skutkuje zmniejszeniem zużycia paliwa. Do optymalizacji parametrów korbowodu posłużył algorytm ewolucyjny MOGA, wbudowany w środowisku ANSYS DesignXplorer. Ograniczeniami optymalizacji były maksymalne wartości osiąganych przemieszczeń i naprężeń w kolejnych krokach obciążenia.

Wynikiem optymalizacji są wartości parametrów wejściowych, odpowiadające minimalnej wyznaczonej masie modelu – przy założeniu, że spełnione są nałożone ograniczenia. Geometrię rozwiązania optymalnego przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. *Geometria korbowodu dla różnych zestawów parametrów*



Rys. 2. *Geometria korbowodu dla optymalnego zestawu parametrów oraz mapy przemieszczeń i naprężeń zredukowanych dla przypadku niebezpiecznego*

Rys. 1. *Bolid AGH Racing na torze F1 w Barcelonie*

Wykorzystanie symulacji w projektowaniu aerodynamiki bolidu AGH Racing

Tomasz Biela • AGH Racing

Projektowanie bolidu wyścigowego to skomplikowane zadanie, wymagające wykorzystania zaawansowanych rozwiązań. Zespół AGH Racing nie boi się trudnych wyzwań i co roku podejmuje się zaprojektowania oraz zbudowania nowej konstrukcji spełniającej wymagania regulaminu zawodów Formuła Student. Nie byłoby to możliwe bez profesjonalnego oprogramowania oraz wsparcia ekspertów z firmy MESco.

Ważną częścią bolidu (rys. 1) jest pakiet aerodynamiczny składający się z przedniego i tylnego skrzydła oraz dyfuzora. Każdy z tych elementów jest odpowiedzialny za generowanie siły docisku, która pozwala utrzymać bolid na torze – przez ograniczenie poślizgu kół – podczas pokonywania zakrętów. Projekt musiał być tak dopracowany, aby zmaksymalizować docisk z zachowaniem możliwie niskiej siły oporu.

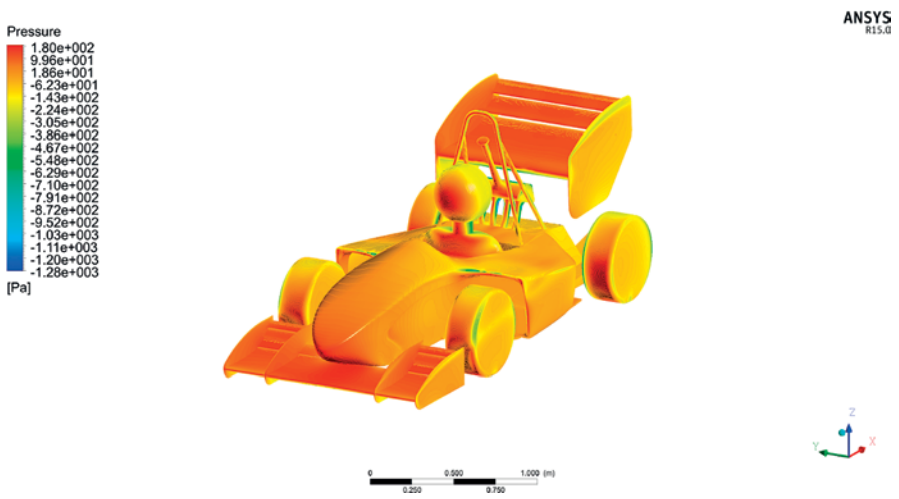
Projekt rozpoczęto od wyboru odpowiednich profili lotniczych, odwrócenia ich i przeprowadzenia serii symulacji 2D w programie ANSYS Fluent. Pozwoliło to zbadać rozkład ciśnienia wokół profili oraz zoptymalizować ich wzajemne ustawienie i kąty natarcia. Zastosowanie parametryzacji znacznie skróciło czas wykonywania obliczeń. Łatwy eksport danych oraz ich analiza umożliwiły szybkie znalezienie odpowiedniej konfiguracji i zbudowanie modeli 3D, na których przeprowadzono właściwe symulacje przepływu (rys. 2 i 3). Obserwacja linii prądu na etapie postprocessingu uwidoczniła miejsca oderwania strugi i powstawania turbulencji, dzięki czemu udało się je zredukować przez zmianę geometrii. Ze względu na symetrię bolidu możliwe było zredukowanie o połowę liczby elementów w siatce numerycznej. W efekcie udało się wyznaczyć współczynniki docisku i oporu aerodynamicznego. Następnie sprawdzono wzajemną interakcję elementów aerodynamicznych i na tej podstawie zweryfikowano ich położenie oraz wyznaczono odpowiedni balans aerodynamiczny – tak aby środek ciśnienia leżał stosunkowo blisko środka ciężkości bolidu. W ten sposób wyeliminowano problem pod- i nadsterowności podczas konkurencji dynamicznych.

Ważną kwestią w projektowaniu aerodynamiki bolidu jest zapewnienie

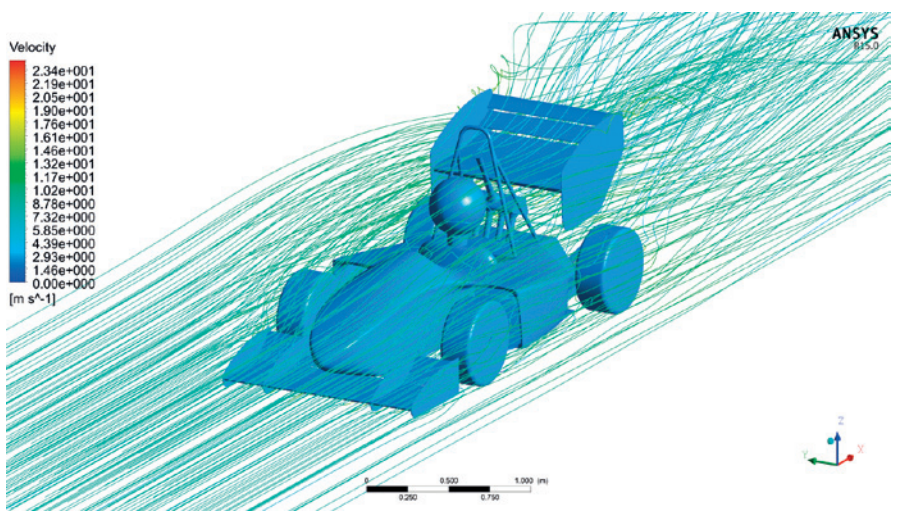
odpowiedniego chłodzenia silnika przez zimne powietrze dopływające do chłodnicy (rys. 4). W tym celu w jednym z tuneli poszycia, w miejscu położenia powierzchni czołowej chłodnicy, założono monitor przepływu masowego. Znając minimalną wartość przepływu w zależności od prędkości, dobrano taką konfigurację przedniego skrzydła, aby osiągnąć założone minimum. Dalsza analiza wykazała występowanie dużego podciśnienia za kołem, co powoduje wysysanie powietrza sprzed chłodnicy, a tym samym obniża jej sprawność i generuje duże turbulencje. Okazało się, że dolny prawy róg praktycznie nie spełnia swojej roli, dlatego zastosowano dodatkowy tunel separujący przepływ – pozwoliło to wyeliminować zaistniały problem i zwiększyć przepływ masowy o 11%.

Aby zagwarantować stabilne położenie elementów aerodynamicznych, przeprowadzono analizę wytrzymałościową w programie ANSYS Static Structural. Maksymalne naprężenia określono na podstawie zaimportowanego rozkładu ciśnienia na poszczególnych elementach, uzyskanego w wykonanych uprzednio symulacjach CFD. Umożliwiło to dobranie odpowiednich wymiarów mocowań i wprowadzenie korekty geometrii w miejscach koncentracji naprężeń.

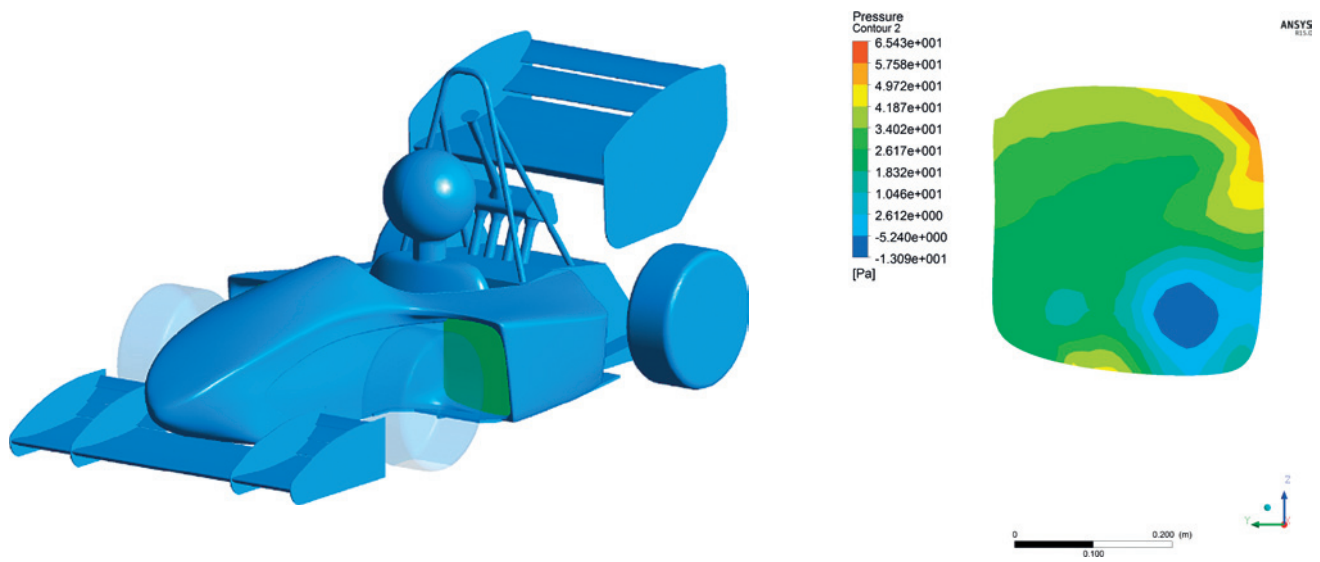
Podsumowując, zastosowanie pakietu aerodynamicznego bolidu pozytywnie wpłynęło na jego właściwości jezdne i pozwoliło uzyskać lepsze czasy okrążeń podczas zawodów. Przy średniej prędkości przejazdu wynoszącej 15 m/s uzyskano docisk aerodynamiczny równy ok. 268 N oraz balans aerodynamiczny przód/tył: 51/49%. Osiągnięcie takiego rezultatu nie byłoby możliwe bez zaawansowanych narzędzi oraz wsparcia specjalistów z firmy MESco.



Rys. 2. *Rozkład ciśnienia na bolidzie przy prędkości 15 m/s*



Rys. 3. *Przebieg linii prądu przy prędkości 15 m/s*



Rys. 4. *Położenie powierzchni czołowej chłodnicy (po lewej) i rozkład ciśnienia na jej powierzchni (po prawej)*

APDL w ANSYS Workbench

Tomasz Czyż

Język APDL to język skryptowy, w którym zapisany jest plik wsadowy do obliczeń w solverze ANSYS. Program po kolei wykonuje komendy APDL i odpowiednio na nie reaguje. Makra, czyli zestawy komend, mogą być używane zarówno w naturalnym, klasycznym środowisku języka APDL, czyli ANSYS MAPDL, jak i w ANSYS Workbench. W tym krótkim artykule pokazano współpracę skryptu APDL ze środowiskiem ANSYS Workbench w sposób umożliwiający wykorzystanie zalet środowiska Workbench w obszarze parametryzacji, analiz wariantowych i optymalizacji.

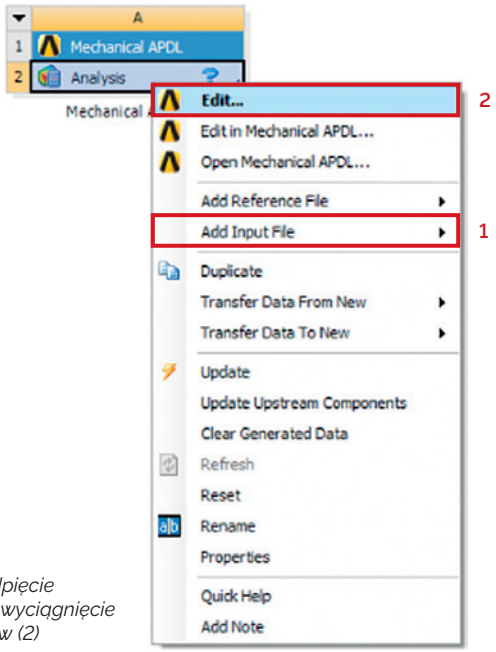
Aby wykonać skrypt APDL w środowisku Workbench, należy użyć obiektu Mechanical APDL i podpiąć makro opcją *Add Input File* (rys. 1). Następnie można wyciągnąć parametry z makra za pomocą opcji *Edit*.

Program sam znajduje parametry w makrze i wyświetla je w tabeli. Wtedy łatwo jest ustalić, które parametry są parametrami wejściowymi INPUT, a które wyjściowymi OUTPUT (rys. 2). Parametry wejściowe mogą być definiowane przez proste przypisanie lub komendę *SET, a parametry wyjściowe – również przez proste przypisanie lub komendę *GET.

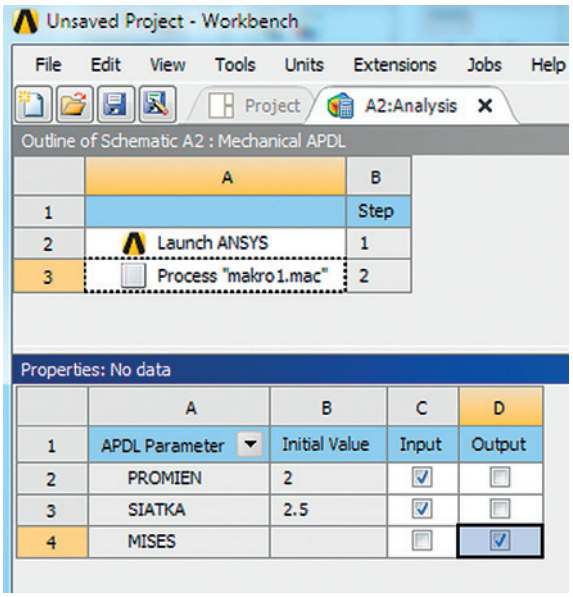
Parametry znalezione w makrze, które mają przypisany odpowiedni typ, są widoczne w menedżerze parametrów środowiska Workbench (rys. 3).

Tak podłączone makro APDL w środowisku Workbench ma możliwość szybkiej zmiany parametrów, przygotowania kilku analiz z różnymi wartościami parametrów bądź użycia aplikacji DesignXplorer w celu optymalizacji.

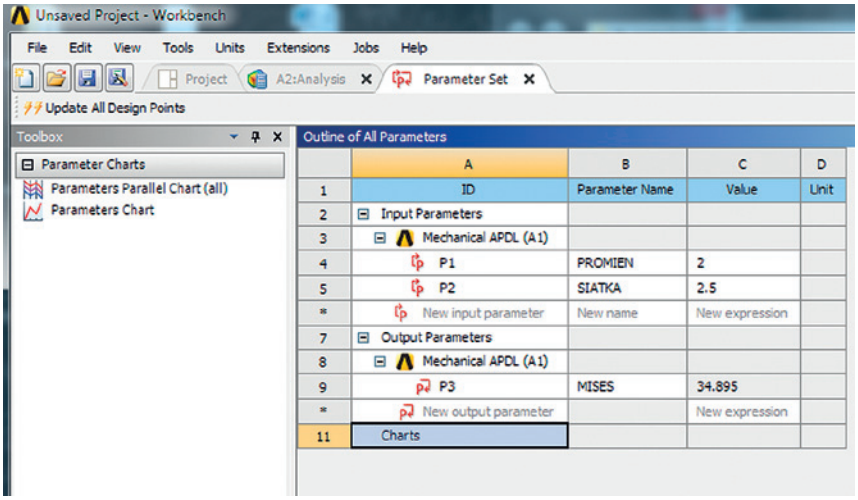
Na rys. 4 przedstawiono powierzchnię odpowiedzi wygenerowaną za pomocą prostego makra z trzema parametrami: A, B i C = sin(A)*sin(B).



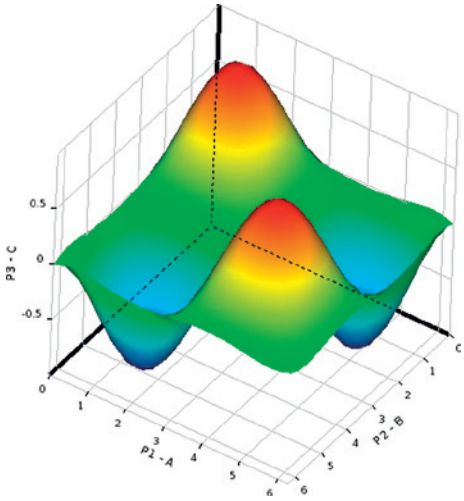
Rys. 1. *Podpięcie makra (1) i wyciągnięcie parametrów (2)*



Rys. 2. *Ustalanie typu znalezionych parametrów*



Rys. 3. *Menedżer parametrów*



Rys. 4. *Powierzchnia odpowiedzi funkcji sin(A)*sin(B)*

HPC: 27 600 km/h

Gdy stawka jest wysoka, prawdziwi pionierzy potrzebują dostępu do najnowocześniejszych technologii, takich jak stacje robocze HP z serii Z.

Adam Łokieć

Klienci często pytają, dlaczego te stacje robocze, a zwłaszcza zawarte w nich rozwiązania, są polecane do pracy w programie ANSYS. W skrócie odpowiedź brzmi: ze względu na **wydajność i niezawodność**. Za tym hasłem kryją się oczywiście liczne rozwiązania związane z architekturą techniczną ukrytą pod obudowami stacji. Najważniejsze z nich to:

- rodzina profesjonalnych procesorów Intel Xeon (czwartej generacji: 4C/6C/8C/10C/12C/14C/18C/22C) z technologią NUMA (Non-Uniform Memory Access), kontrolą parzystości pamięci RAM i częstotliwością FSB 2400 MHz,
- profesjonalne karty graficzne z rodziny nVidia QUADRO lub ATI FirePRO,
- szybkie rozwiązania pamięci masowej (SATA3/SAS oraz PCIe) o realnym transferze ponad 2000 MB/s (HP Z-TurboDrive),
- specjalizowane karty obliczeniowe GPU nVidia TESLA, koprocesor Intel Xeon Phi,
- wydajne i zoptymalizowane układy chłodzenia (HP Z-Cooler) pozwalające na długotrwałe, pełne obciążenie stacji roboczej podczas obliczeń,
- warunki gwarancji – element często niedoceniany przez użytkowników, podczas gdy możliwość szybkiego przeserwisowania stacji w miejscu jej instalacji, bez potrzeby wysyłania do serwisu zewnętrznego, oznacza szybsze wznowienie korzystania z tego narzędzia i minimalizację strat wynikających z przestojów,
- dodatkowe oprogramowanie, np. HP Performance Advisor czy HP Remote Graphics System,
- certyfikat ISV (Independent Software Vendor).

Analogiczne rozwiązania zastosowano również w **mobilnych stacjach roboczych z serii Z-Book**: procesory z rodziny Intel Xeon, pamięci ECC, napędy HP Z Turbo Drive, profesjonalną grafikę z rodziny nVidia QUADRO. Dodatkowe zalety to: obudowa aluminiowo-magnezowa, w pełni frezowana, z krawędziami ciętymi diamentowo, o grubości 18 mm (ZBook 15 G3); wydajne akumulatory z rodziny Long Life; matryce DreamColor i spełnianie wysokich standardów wojskowych (MIL STD 810G) – odporność na upadek, wstrząsy i napromieniowanie.

Rodzina stacji roboczych HP z serii Z obejmuje:

- **Z1** (rys. 1) – pierwszą stację roboczą typu „All-in-One". Wyróżnia ją zwarta konstrukcja, dotykowy monitor 27", dostępny również w technologii DreamColor;
- **Z240 MT/SFF** (rys. 2) – małe stacje robocze (w dwóch wariantach obudowy: Tower i SFF), idealne do pre- i postprocessingu oraz mniej wymagających obliczeń numerycznych;
- **Z440** (rys. 3) – stację roboczą zapewniającą nowy poziom wydajności i możliwości rozbudowy. Można ją polecić zwłaszcza użytkownikom, którzy szukają bezkompromisowej wydajności w stosunku do ceny. Rodzina procesorów Intel Xeon E5–16xx 4C/6C/8C, opcja rozbudowy pamięci RAM DDR4/ECC do 128 GB, zoptymalizowane i wysoko wydajne układy chłodzenia Z-Cooler, możliwość stosowania profesjonalnych kart graficznych i obliczeniowych oraz szybkich dysków Z-TurboDrive, kontroler RAID SATA/SAS, karty sieciowe do 10 Gbps oraz przystosowanie stacji do montażu w szafie typu RACK (19"/4U) to cechy wyróżniające tę stację;
- **Z640** – wszechstronną i elastyczną stację godną polecenia osobom, które szukają kompromisu pomiędzy stacją jedno- a dwuprocesorową i dla których Z440 jest niewystarczająca, a Z840 – nieco na wyrost. Stacja dysponuje procesorami z rodziny Intel Xeon E5–16xx oraz 26xx i 256 GB pamięci RAM DDR4 ECC;
- **Z840** (rys. 4) – bezkompromisową stację roboczą wyposażoną w dwa procesory Intel Xeon E5 26xx – od 4 do 22 rdzeni na procesor – oraz do 2 TB pamięci RAM. Niespotykane u konkurencji możliwości rozbudowy, siedem gniazd PCIe, do 10 wnęk na napędy wewnętrzne, możliwość wykorzystania jednocześnie silnej karty graficznej i dwóch kart obliczeniowych nVidia TESLA. Obudowa zapewnia beznarzędziowy dostęp i montaż w szafach typu RACK (19"/5U). Stację warto polecić użytkownikom wykorzystującym w obliczeniach licencje HPC (High Performance Computing). Oprogramowanie HP Remote Graphics Solutions pozwala zdalnie wykorzystać pełnię możliwości stacji – pod względem mocy obliczeniowej i grafiki. Jednocześnie zapewniona jest obsługa dowolnego urządzenia podpiętego do portu USB stacji klienckiej użytkownika (funkcja Remote USB);
- **DL380z** – zwirtualizowaną stację roboczą, która sprawdzi się w centralizowanych systemach, od początku nastawionych na montaż w serwerowniach (19"/2U) i obsługę jednocześnie paru użytkowników. Ta stacja na pierwszy rzut oka przypomina rodzinę serwerów HP ProLine, gdyż bazuje na ekosystemie tych serwerów.

Mobilne stacje robocze obejmują:

- **ZBook Workstation Ultrabook** – z ekranem 14" lub 15,6" – kompromis pomiędzy mobilnością, wydajnością a ceną;
- **ZBook Studio Mobile Workstation** – nowy wymiar stacji roboczej (15,6") dla osób pożądających dużej mocy przy zachowaniu cech ultrabooka;
- **ZBook Workstation 15/17** – bezkompromisowe pod względem wydajności mobilne stacje robocze 15,6" i 17".

Niniejszy artykuł jest jedynie wprowadzeniem do tematu stacji roboczych, który będzie kontynuowany w kolejnych numerach *MESsengera*.

Rys. 1. *Stacja Z1*

Rys. 2. *Stacje Z240 MT/SFF*

Rys. 3. *Stacja Z440*

Rys. 4. *Stacja Z840*

NASA wybrała stacje robocze HP Z-Book na potrzeby dowodzenia misją, sterowania i podtrzymywania życia na podróżującej w nieznane Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Zostało na nią wysłanych 120 mobilnych stacji roboczych HP ZBook 15.

Większość rynku przejmuje zawsze firma, która pierwsza dotrze do konsumentów z produktem (tzw. *first-mover advantage*). To uniwersalne prawo niektórym spędza sen z powiek, a innym dodaje otuchy. O 5% wyższa sprawność, pobór mocy niższy o 10%, większa wytrzymałość itd. – te z pozoru niewielkie zmiany pozycjonują markę na rynku, a w dalszej perspektywie prowadzą do gruntownych zmian w architekturze wyrobu. Tak powstaje nowa jakość.

Jacek Maj

DLACZEGO WARTO inwestować w symulację?

Świeczka, żarówka wolframowa i dioda LED mają dokładnie tę samą funkcjonalność, jednak to producent diod LED zaopatruje w swój towar niemal wszystkie gałęzie przemysłu, czego nie można powiedzieć o wytwórcy świeczek.

Innowacja nie jest dziełem przypadku, lecz wynikiem starannego planowania i wdrażania pionierskich technologii. W tym procesie ważną rolę odgrywa symulacja komputerowa, pozwalająca na dokładne poznanie produktu na długo przed stworzeniem pierwszego prototypu. Dzięki oprogramowaniu ANSYS można badać, jak poszczególne komponenty produktu oddziałują na siebie, a następnie optymalizować nie tylko wybrany detal, lecz także cały system (rys. 1).

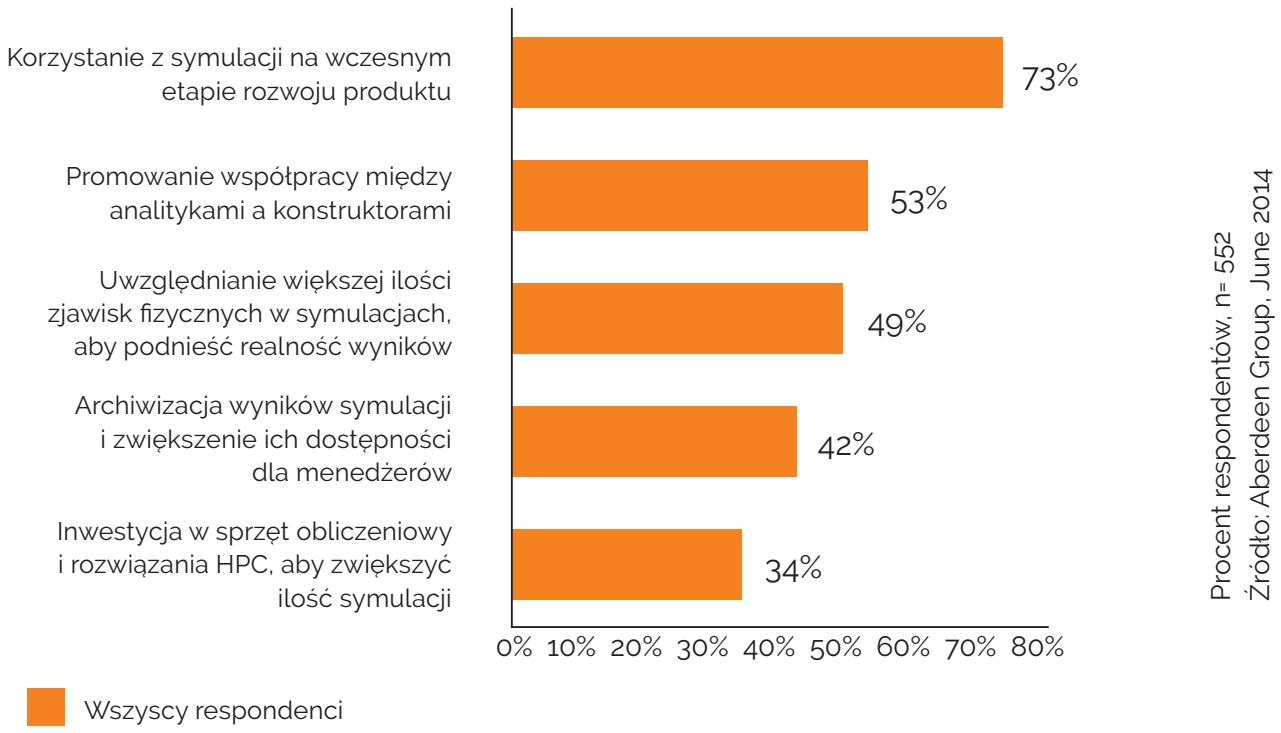
ANSYS to uniwersalne narzędzie, umożliwiające wyjście poza intuicję konstruktorów i projektowanie innowacyjnych produktów o przewidywalnym zachowaniu się podczas testów. Daje to komfort planowania kierunków rozwoju firmy i pozwala na prowadzenie bardziej agresywnej polityki produktowej.

Rys. 1. *Przykłady optymalizacji produktów*

Digital Twin – tylko z ANSYS

Firmy ANSYS Inc. i General Electric podpisały wieloletni kontrakt na rozwijanie tzw. **Digital Twin**. Celem tej inicjatywy biznesowej jest zminimalizowanie liczby testów fizycznych systemów i instalacji oraz określanie optymalnych warunków pracy produktu. Sposobem osiągnięcia tego celu jest stosowanie danych wejściowych z pomiarów jako warunków brzegowych do symulacji komputerowej. Efektem jest niemal idealne odwzorowanie fizycznego modelu w wirtualnej rzeczywistości, a w konsekwencji pojawia się możliwość optymalizacji całego systemu i badanie w czasie rzeczywistym wpływu poszczególnych komponentów na siebie nawzajem. Otwiera to nowe perspektywy w systemowym podejściu do projektowania (System Level Simulation). Dzięki technologii ANSYS inżynier nie musi się ograniczać do badania jednego rodzaju zjawisk, ale może brać pod uwagę wzajemne zależności między domeną płynów, mechaniką układu oraz oddziaływań pól elektromagnetycznych.

Z **Digital Twin** bezpośrednio jest związany nowy produkt GE: **Predix** – platforma serwisowa, która dostarcza szczegółowych informacji o urządzeniach i instalacjach, a jednocześnie pozwala na przewidywanie zachowania się w czasie wybranych komponentów. Platforma **Predix** została stworzona, by zoptymalizować terminy serwisowe i uniknąć skutków niepożądanych zachowań instalacji. Do systemu spływają dane pomiarowe (z czujników), które następnie służą do zdefiniowania warunków brzegowych w symulacji komputerowej. Za każdym razem gdy wynik



Rys. 2. *Wyniki badania, podczas którego członków zarządu i kierowników projektów z 552 największych firm zapytano, co jest konieczne do poprawy procesu projektowego*

pomiaru odbiega od normy, prowadzona jest symulacja w celu określenia przyczyn i ewentualnych skutków tych odchyleń. Dzięki temu inżynier może lepiej ocenić stan instalacji.

Predix to nowa jakość na rynku platform serwisowych i rewolucja techniczna, która nie byłaby możliwa bez oprogramowania ANSYS.

Nalepsi w przemyśle

Członków zarządu i kierowników projektów zapytano, co jest konieczne do poprawy procesu projektowego – wniosek był prosty: symulacja to nie opcja, lecz konieczność (rys. 2). Badano 552 największe firmy reprezentujące wszystkie główne gałęzie przemysłu.

Firma Aberdeen Group przeprowadziła badania porównawcze, których celem było określenie, jak – w stosunku do minionych dwóch lat – poziom wykorzystywania symulacji wpływa na osiąganie strategicznych celów, takich jak terminowość oraz jakość finalnego produktu odniesiona do założeń projektowych. Oto wyniki pokazujące, w jakim stopniu poszczególne grupy przedsiębiorstw osiągnęły swoje założenia (rys. 3).

Jest wyraźny związek między stosowaniem symulacji komputerowej w procesie rozwoju a osiąganiem założeń projektowych. Warto zauważyć, że ANSYS jest podstawowym narzędziem w działach B+R w 96 spośród 100 największych producentów produktów przemysłowych.

→ **Terminowe dotarcie na rynek**
- wiodące przedsiębiorstwa – 89%
- firmy w środku klasyfikacji – 69%
- przedsiębiorstwa o niskim udziale w rynku – 38%

→ **Zakładany koszt produktu**
- wiodące przedsiębiorstwa – 88%
- firmy w środku klasyfikacji – 68%
- przedsiębiorstwa o niskim udziale w rynku – 38%

→ **Zakładana jakość produktu w dniu premiery**
- wiodące przedsiębiorstwa – 91%
- firmy w środku klasyfikacji – 78%
- przedsiębiorstwa o niskim udziale w rynku – 63%

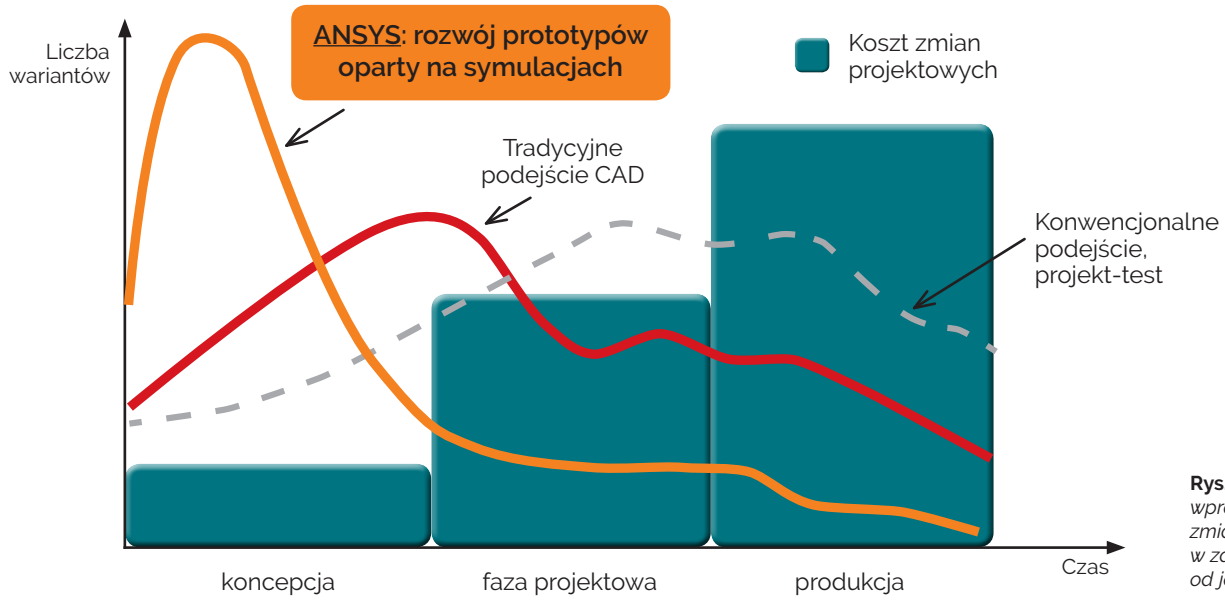
→ **Uzyskanie zakładanego zysku**
- wiodące przedsiębiorstwa – 88%
- firmy w środku klasyfikacji – 71%
- przedsiębiorstwa o niskim udziale w rynku – 41%

→ **Skrócenie czasu rozwoju projektowego w stosunku do ostatnich dwóch lat**
- wiodące przedsiębiorstwa – o 22%
- firmy w środku klasyfikacji – o 13%
- przedsiębiorstwa o niskim udziale w rynku – o 8%

Rys. 3. *Stopień osiągnięcia założeń przez firmy badane przez Aberdeen Group (liczba badanych firm: 552)*

Im szybciej, tym taniej

Dokonywanie zmian projektowych we wczesnej fazie rozwoju produktu jest nieporównywalnie tańsze i znacznie szybsze niż modyfikacje po fazie testów – przede wszystkim dlatego, że angażuje dużo mniej osób i zasobów. Innym bardzo ważnym, pozytywnym aspektem wykorzystywania symulacji komputerowej jest możliwość analizowania niespotykanej w testach ilości parametrów oraz ich wzajemnego wpływu (rys. 4).



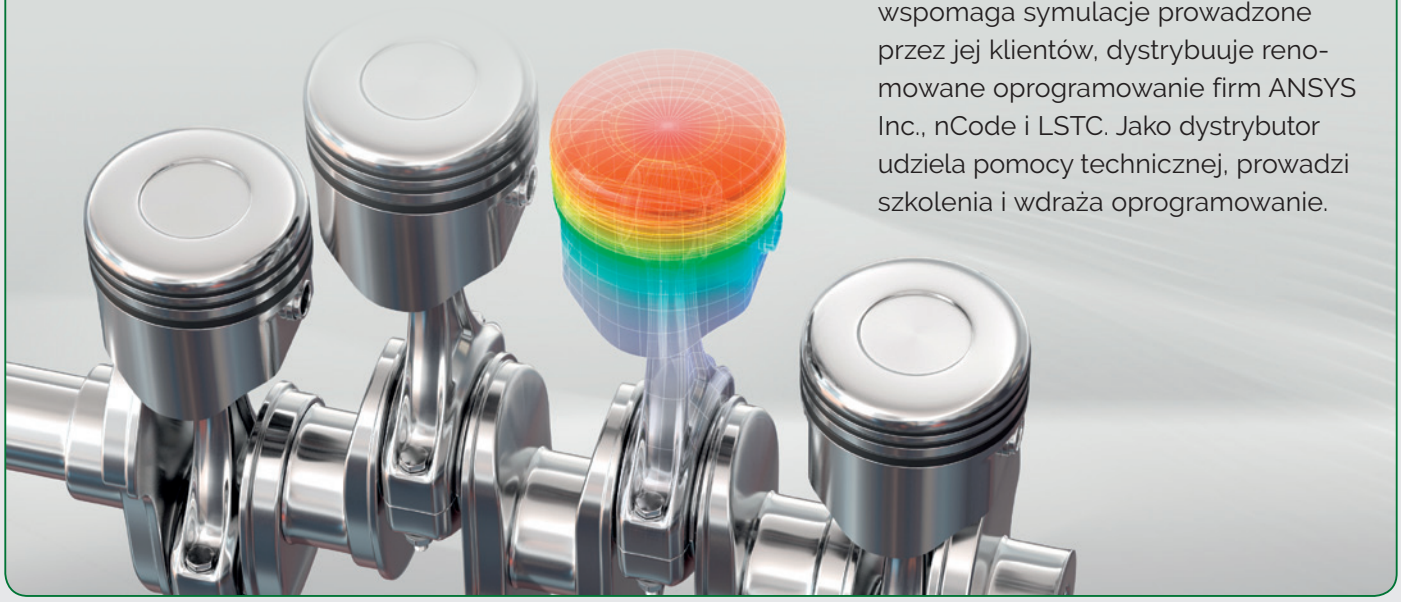
Rys. 4. *Koszty wprowadzania zmian w projekcie w zależności od jego fazy*

MESSENGER

Wydawca: MESCO Sp. z o.o.
ul. Górnicza 20A, 42-600 Tarnowskie Góry
tel. +48 (32) 768 36 36, faks +48 (32) 768 36 35
info@mesco.com.pl, www.mesco.com.pl

Redakcja i korekta: Małgorzata Pilewicz
Projekt graficzny i skład: Marzena Rosochacz

Firma MESCO istnieje od 1994 r. Do jej klientów należą wiodące na polskim rynku przedsiębiorstwa i większość uczelni technicznych.

MESCO – jako ANSYS Channel Partner – od początku swego istnienia popularyzuje i wdraża system ANSYS w Polsce.

Firma wykonuje zlecone analizy numeryczne, tworzy specjalistyczne oprogramowanie na zamówienie, wspomaga symulacje prowadzone przez jej klientów, dystrybuuje renomowane oprogramowanie firm ANSYS Inc., nCode i LSTC. Jako dystrybutor udziela pomocy technicznej, prowadzi szkolenia i wdraża oprogramowanie.