NR 6

MESSENGER

Drodzy Czytelnicy!

Minęło dopiero pół roku od ostatniego wydania biuletynu „MESsenger", a w firmie MESco zaszło sporo zmian. Najważniejsza z nich to przystąpienie do grupy kapitałowej CADFEM International.

Słyszeli Państwo zapewne, że od lat współpracujemy z niemiecką firmą CADFEM. Nie było to jednak w żaden sposób sformalizowane. Wiosną bieżącego roku ta sytuacja się zmieniła i MESco zostało członkiem grupy CADFEM International.

Warto wytłumaczyć, czym się różni CADFEM International od CADFEM. CADFEM to biuro podobne do naszego, choć znacznie większe. Zajmuje się symulacją komputerową. Wykonuje projekty na zlecenie, dystrybuuje oprogramowanie ze wsparciem technicznym i szkoleniami. Jest też największym na świecie partnerem firmy ANSYS.

CADFEM International to holding mający udziały w wielu przedsiębiorstwach z naszej branży. W Europie jego członkami są firmy z Austrii, Czech, ze Słowacji, Szwajcarii, z Irlandii, Wielkiej Brytanii, Rosji, Ukrainy, Niemiec i ze Szwecji, a od niedawna – z Polski. Należy wspomnieć, że MESco pozostaje kapitałowo niezależne – udziały CADFEM International są mniejszościowe.

Dlaczego zdecydowaliśmy się na ten krok? Ponieważ duży może więcej. Wiadomo, że żadna firma z branży CAE nie jest w stanie profesjonalnie zajmować się wszystkimi zagadnieniami związanymi z symulacją komputerową. Obecnie mamy dostęp do *know-how* pozostałych członków grupy. Jest to przydatne zwłaszcza przy organizacji szkoleń z mniej znanych nam tematów.

Dzięki przynależności do grupy oferta firmy MESco rozszerzyła się o produkt Rocky DEM. Więcej na ten temat można przeczytać w artykule naszego nowego kolegi Adriana Bartoszewicza. Kolejną nowością jest OPTIS – oprogramowanie ANSYS do symulacji oświetlenia.

Zapraszam do lektury!

Mariusz Gorol

W TYM NUMERZE:

3 MESco i ANSYS inwestują w przyszłe pokolenia inżynierów
3 Współpraca Politechniki Rzeszowskiej z firmą MESco
4 Nowy kurs: „Projektowanie oraz weryfikacja połączeń śrubowych zgodnie z normą VDI 2230"

4 ANSYS Discovery Live pomaga w rozwoju firmie ROSA
5 Dokładność ANSYS Discovery Live
6 ANSYS SpaceClaim 19.2 – moduł Mesh

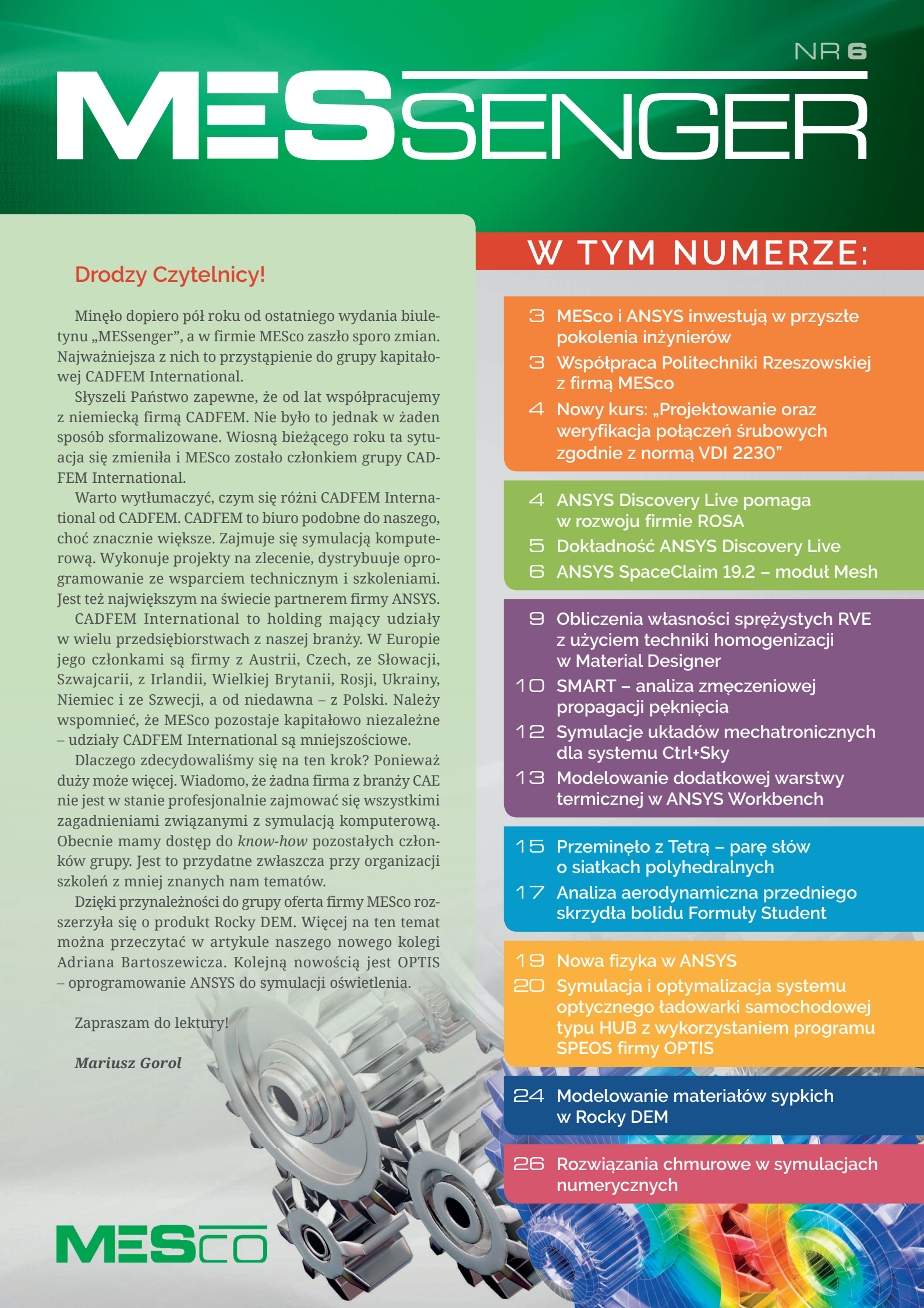
9 Obliczenia własności sprężystych RVE z użyciem techniki homogenizacji w Material Designer
10 SMART – analiza zmęczeniowej propagacji pęknięcia
12 Symulacje układów mechatronicznych dla systemu Ctrl+Sky
13 Modelowanie dodatkowej warstwy termicznej w ANSYS Workbench

15 Przeminęło z Tetrą – parę słów o siatkach polyhedralnych
17 Analiza aerodynamiczna przedniego skrzydła bolidu Formuły Student

19 Nowa fizyka w ANSYS
20 Symulacja i optymalizacja systemu optycznego ładowarki samochodowej typu HUB z wykorzystaniem programu SPEOS firmy OPTIS

24 Modelowanie materiałów sypkich w Rocky DEM

26 Rozwiązania chmurowe w symulacjach numerycznych



MESCO

MESco

ANSYS

Konferencja

SymulacjΛ 2019

25-lecie firmy MESco

10–12.04.2019

Hotel Courtyard by Marriott Katowice City Center

www.mesco.com.pl/symulacja2019

MESco i ANSYS inwestują w przyszłe pokolenia inżynierów

Od początku swojej działalności firma MESco z zaangażowaniem wspiera naukę i rozwój, obejmując swoim patronatem coraz więcej prestiżowych uczelni technicznych i kreatywnych zespołów studenckich. Dzięki temu wielu młodych ludzi może rozwijać swoje pasje i poszerzać kwalifikacje, a pracodawcy mogą liczyć na kompetentnych, zdolnych i chętnych do podejmowania nowych wyzwań pracowników.

Firma MESco zapewnia swoim zespołom studenckim dostęp do pełnej akademickiej wersji oprogramowania ANSYS pozwalającej na wykonywanie obliczeń mechanicznych, termicznych, przepływowych oraz elektromagnetycznych. Oprogramowanie to jest przydatne zarówno do realizacji projektów, jak i do pisania prac dyplomowych, które dzięki szczegółowym obliczeniom z całą pewnością są znacznie ciekawsze niż sucha teoria.

Aby w pełni wykorzystać możliwości ANSYS, potrzeba sporej wiedzy i umiejętności. Z tego powodu, by wesprzeć podopiecznych, którzy są chętni poszerzać swoje horyzonty, MESco zapewnia im bezpłatne miejsca na szkoleniach i warsztatach.

Możemy z radością poinformować, że w ramach wsparcia zespołów studenckich w ostatnim tygodniu września przeszkoliliśmy na Politechnice Śląskiej w Gliwicach przeszło 100 młodych ludzi. W programie znalazły się podstawy mechaniki, przepływów oraz elektromagnetyzmu. Dziękujemy Wydziałowi Mechanicznemu Technologicznemu za udostępnienie miejsca.

Na początku roku, aby zaktywizować podopiecznych firmy i zachęcić ich do pochwalenia się licznymi osiągnięciami, MESco zorganizowało konkurs na najlepszy artykuł prezentujący pracę w oprogramowaniu ANSYS oraz usprawnienia konstrukcji dokonane z jego wykorzystaniem. Z olbrzymiej liczby nadesłanych zgłoszeń zostało wyłonionych czworo zwycięzców, a najlepszy artykuł – „Analiza aerodynamiczna przedniego skrzydła bolidu Formuły Student" (s. 17) – należy do Karoliny Żuk, członkini PolSl Racing.

Obecnie MESco wspiera ponad 20 zespołów studenckich, z czego większość ma na swoim koncie imponujące sukcesy. Wszystkim im gratulujemy, a szczególne wyrazy uznania należą się Iron Warriors Team za zdobycie pierwszego miejsca

w zawodach EducEco 2018 w Valenciennes i pokonanie dystansu 616 km na jednym litrze paliwa! Na podium znalazły się również PRz Racing Team w zawodach Formula Student Andorra 2018 oraz Euroavia Rzeszów w SAE Aero Design 2018. Wszystkim zespołom życzymy dalszych sukcesów. Cieszymy się, że możemy być częścią waszych projektów.

Co roku MESco zapewnia miejsca na praktykach zawodowych kilku osobom przygotowującym się do pracy w zawodzie inżyniera. Stażyści biorą udział w realizacji bieżących projektów, dzięki czemu poszerzają swoją wiedzę i umiejętności wykorzystania oprogramowania ANSYS, a w przyszłości będą efektywniej pracować.

Trzymamy kciuki i mamy nadzieję, że z każdym rokiem młode pokolenia wyszkolonych przez MESco inżynierów będą zasilać szeregi najlepszych pracowników w Polsce, wspierać swoich pracodawców i mobilizować współpracowników do rozwoju.

Marcelina Jureczek

Współpraca Politechniki Rzeszowskiej z firmą MESco

Politechnika Rzeszowska i firma MESco podpisały umowę o współpracy. Będzie ona polegała na dążeniu do optymalizacji współdziałania ośrodków nauki i biznesu, m.in. w ramach prac badawczo-rozwojowych. Umowa zakłada wsparcie kół naukowych w procesie kształcenia oraz w zakresie oprogramowania.

W ramach porozumienia uczelnia uzyskała nieodpłatnie, na okres roku, dostęp do dodatkowego pakietu licencji naukowych i dydaktycznych programu ANSYS. Pozwala to na pełne zaspokojenie potrzeb pracowników i studentów w tym zakresie.

Umowę o współpracy podpisali prof. Tadeusz Markowski, rektor Politechniki Rzeszowskiej, dr hab. inż. Mariusz Oleksy, prof. PRz, prorektor ds. rozwoju i kontaktów z gospodarką, oraz Mariusz Gorol, prezes zarządu MESco.

Podczas spotkania obecni byli również: prof. Grzegorz Budzik, prorektor ds. nauki, dr hab. inż. Stanisław Noga oraz dr hab. inż. Mariusz Korkosz, prof. PRz.

– *Obie strony dzisiaj zyskują. Politechnika Rzeszowska dostaje od MESco pakiet licencji. Natomiast MESco dociera do większego grona odbiorców oferowanego przez siebie oprogramowania. Nawiązujemy też współpracę ze specjalistami z Politechniki Rzeszowskiej dotyczącą symulacji* – powiedział Mariusz Gorol.

– *Podpisywana umowa jest zwieńczeniem wieloletniej współpracy z firmą MESco w zakresie dostarczania i użytkowania pakietu obliczeniowego ANSYS. Pakiet ANSYS w wersji Campus zawiera takie moduły, jak Structures, Fluids i Electronics z możliwością przeprowadzenia analiz wielośrodowiskowych. Oprogramowanie to jest obecnie uznanym na świecie standardem do symulacji komputerowych z wykorzystaniem metody elementów skończonych* – podkreślił dr hab. inż. Stanisław Noga.

Pracownicy i studenci Politechniki Rzeszowskiej otrzymają wsparcie od firmy MESco w postaci szkoleń z obsługi oprogramowania.

Współpraca będzie się opierać na realizacji badań z wykorzystaniem systemów wspomaganych komputerowo oraz struktur dostosowanych do wymogów Przemysłu 4.0, wirtualnego prototypowania i technologii addytywnych. Obejmie badania podstawowe w zakresie nauk ścisłych oraz praktyki studenckie.

Podobne umowy MESco zawarło z Politechniką Gdańską, Politechniką Białostocką, Politechniką Krakowską, Politechniką Śląską, AGH i Politechniką Lubelską.

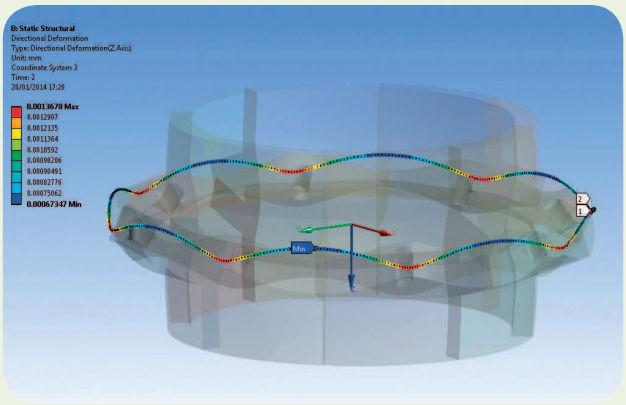
Nowy kurs: „Projektowanie oraz weryfikacja połączeń śrubowych zgodnie z normą VDI 2230”

Już wkrótce w ofercie szkoleń MESco pojawi się nowy kurs. Jego uczestnicy poznają teorię i praktykę związaną z symulacjami połączeń śrubowych.

Tematyka kursu obejmie problemy wynikające z modelowania i weryfikacji wytrzymałościowej połączeń śrubowych w ANSYS Workbench, ścieżki doboru rozmiaru i klasy śrub dla danego połączenia śrubowego i sposoby weryfikacji połączeń śrubowych w zależności od ich klasy – metodą analityczną oraz MES. Wykorzystanie programu ANSYS do obliczeń połączeń śrubowych oraz metodologii normy jest szybkim i niezawodnym sposobem, by poradzić sobie z wadami podejścia analitycznego i trudnościami w interpretacji wyników (*peak stress*).

Norma VDI 2230 opisuje kolejne kroki postępowania przy doborze śrub oraz weryfikacji ich wytrzymałości. Składa się z dwóch części: pierwsza odnosi się do metody analitycznej, a druga – do MES. W trakcie kursu zostanie przedstawiony cel stosowania normy VDI 2230 w analizach numerycznych.

Marek Zaremba



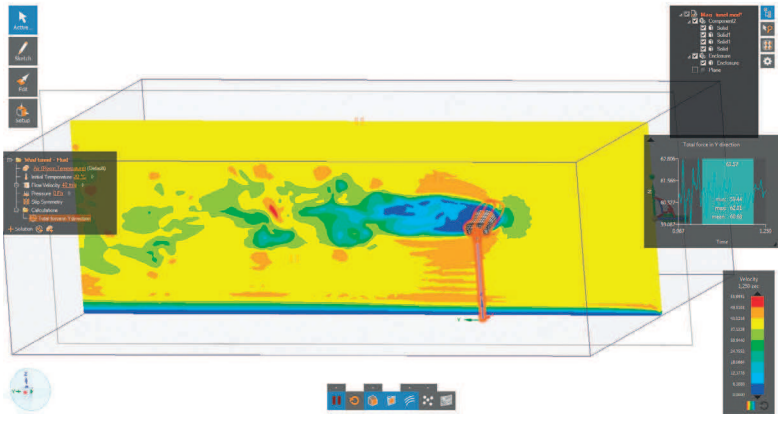
ANSYS Discovery Live pomaga w rozwoju firmie ROSA

Michał Neumann • MESco • mneumann@mesco.com.pl

O tym, że nowe możliwości w dziedzinie symulacji przynoszą realne korzyści, a na podstawie wyników symulacji można podejmować odpowiedzialne decyzje projektowe, najlepiej świadczy przykład firmy ROSA. To jedna z pierwszych firm, które zaraz po premierze oprogramowania ANSYS Discovery Live, na początku roku, włączyły je w swój proces projektowy.

ROSA jest polską firmą oferującą elementy pozwalające złożyć kompletny zestaw oświetlenia zewnętrznego, w tym anodowane słupy aluminiowe produkowane na automatycznej linii produkcyjnej, energooszczędne oprawy oświetleniowe LED, zestawy oświetleniowe, słupy o zewnętrznej warstwie z tworzywa sztucznego, złącza słupowe oraz fundamenty betonowe.

Od początku działalności (w 1992 r.) stawia na innowacyjność i solidność swoich produktów, dlatego stała się liderem w branży oświetlenia zewnętrznego.



ANSYS Discovery Live pozwala firmie ROSA na wyznaczanie współczynnika aerodynamicznego na poziomie tworzenia koncepcji nowego produktu. Obliczenia aerodynamiczne wykonane w ANSYS Discovery Live uzyskują zbieżność z wynikami z tunelu aerodynamicznego na poziomie 95%. Już na etapie projektowania możliwe jest więc sprawdzenie oraz ewentualna korekta kształtu osprzętu montowanego na słupach oświetleniowych.

Inwestycja w innowacje takie jak ANSYS Discovery Live pozwala skrócić czas rozwoju nowych produktów oraz optymalizować ich konstrukcje, co od wielu lat pozwala zachować firmie ROSA pozycję lidera w branży oświetlenia zewnętrznego.

Dokładność ANSYS Discovery Live

Jacek Maj • MESco • jmaj@mesco.com.pl

Szybkość działania to jedna z najważniejszych zalet Discovery Live: symulacja w czasie rzeczywistym, bez przygotowania modelu geometrycznego, bez generowania siatki. Każda zmiana powoduje natychmiastowe odświeżenie wyników symulacji. To wszystko w prostym i intuicyjnym interfejsie typowego systemu CAD.

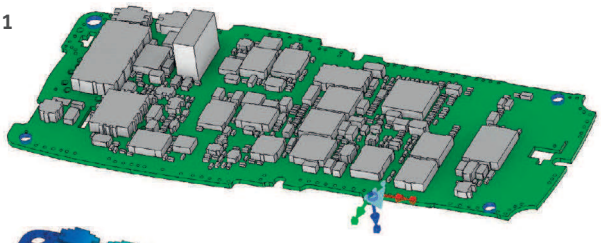
A co z dokładnością? Czy szybkość to jedyny atut ANSYS Discovery Live? Aby to sprawdzić, przeprowadziliśmy serię symulacji. Ich wyniki potwierdziły, że ANSYS jest prawdziwym liderem technologii numerycznych.

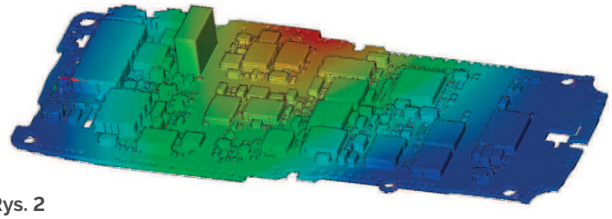
Przykład 1 (rys. 1–3)

Analiza modalna (bardzo popularna symulacja) płytki PCB z materiału FR4. Wszystkie komponenty mają własności żywicy (epoxy). Punkt przytwierdzenia (warunek brzegowy *fixed support*) w miejscu czterech otworów widocznych na rogach. Model był liczony na komputerze z kartą GPU NVIDIA Quadro P5000.

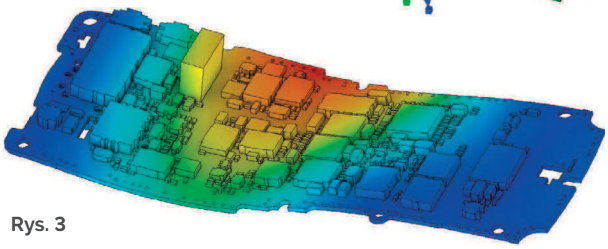
Wynik	Discovery Live, Hz	Discovery Aim, Hz	Różnica, %
Mod 1	303,2	288,8	5,0
Mod 2	622,4	592,3	5,0
Mod 3	835,2	791,5	5,5

Rys. 1





Rys. 2



Rys. 3

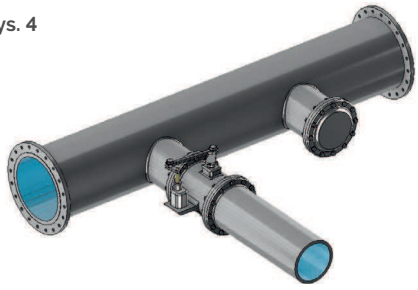
Przykład 2 (rys. 4–6)

Test na modelu trójnika z zaworem motylkowym. Konstrukcja służy do mieszania cieczy o różnej temperaturze.

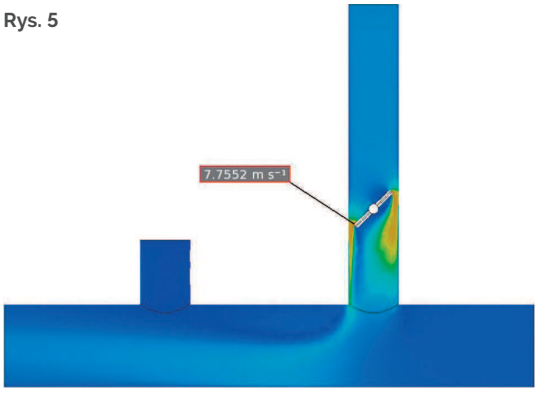
Sprawdzano wydajność konstrukcji przy częściowym otwarciu zaworu. Mieszana była woda o temperaturze 80°C i 20°C. Zwrócono uwagę na profil prędkości i wartość temperatury na wylocie. Prędkość przepływu była na poziomie 1,5 m/s. Prace przeprowadzono na komputerze z kartą GPU NVIDIA Quadro M2000M (laptopie).

Wynik	Discovery Live	Discovery Aim	Różnica, %
Maksymalna prędkość, m/s	7,17	7,75	7,5
Średnia temperatura na wylocie, °C	49,0	51,7	5,2

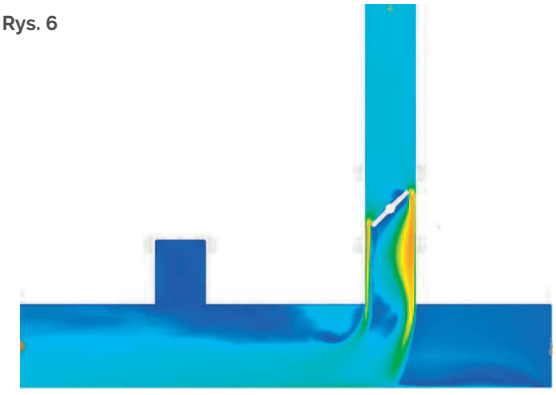
Rys. 4



Rys. 5



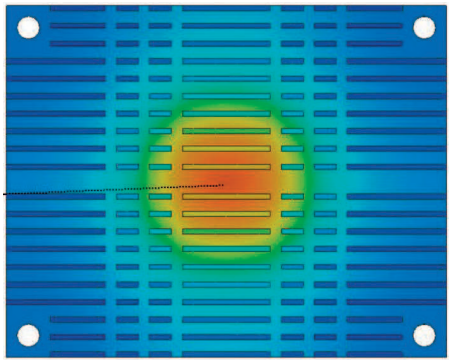
Rys. 6



Przykład 3 (rys. 7–9)

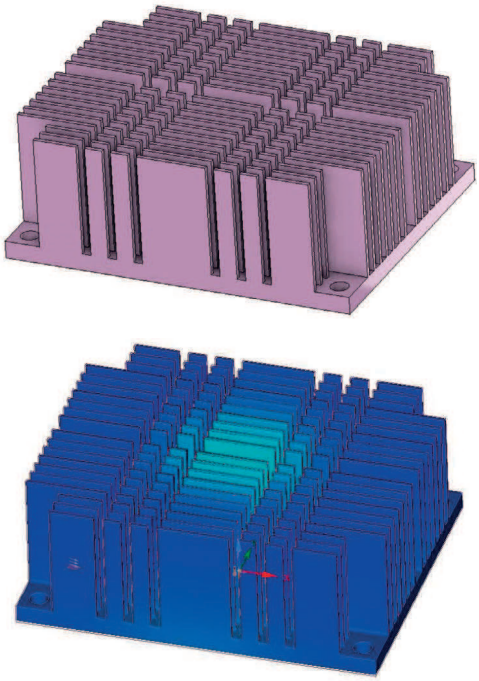
Symulacja stanu ustalonego radiatora wykonanego z aluminium. Chłodzony pakiet generuje moc 5 W. Sprawdzano maksymalną temperaturę na płytce PCB w stanie równowagi. Obliczenia wykonano na komputerze z kartą GPU NVIDIA K6000.

Wyniki	Discovery Live, °C	Discovery Aim, °C	Różnica, %
Temperatura radiatora	42,9	42,6	< 1
Temperatura pakietu chłodzonego	52,5	54,0	2



Rys. 8

Rys. 7



Rys. 9

Te przykłady dowodzą, że ANSYS Discovery Live pozostawia w tyle inne dodatki do systemów CAD dzięki swojej szybkości i zbieżności wyników z wynikami uzyskanymi za pomocą wiodącej technologii numerycznej na rynku.

Więcej przykładów znajdą Państwo na blogu MESco.

ANSYS SpaceClaim 19.2 – moduł Mesh

Marek Zaremba • MESco
• mzaremba@mesco.com.pl

W ANSYS SpaceClaim 19.2 pojawił się nowy moduł – SpaceClaim Mesh. Pozwala on na szybkie utworzenie wysokiej jakości siatki sześciościennej lub czworościennej. Zakładka Mesh łączy koncepcję narzędzia SpaceClaim z potężnymi narzędziami do dyskretyzacji modelu, aby zapewnić proste, ale wydajne narzędzia do tworzenia siatki. Umieszczenie narzędzi geometrii i siatki w tej samej aplikacji usprawnia generowanie siatki i skraca czas potrzebny na stworzenie wysokiej jakości siatki na złożonych modelach.

Należy pamiętać, że moduł Mesh jest wersją beta oraz że dostęp do wstążki Mesh jest możliwy tylko przez platformę Workbench. W platformie Workbench należy włączyć opcję Beta, a następnie utworzyć komórkę geometrii ANSYS SpaceClaim. Po otwarciu programu ANSYS SpaceClaim należy w ustawieniach włączyć wstążkę Mesh (Beta).

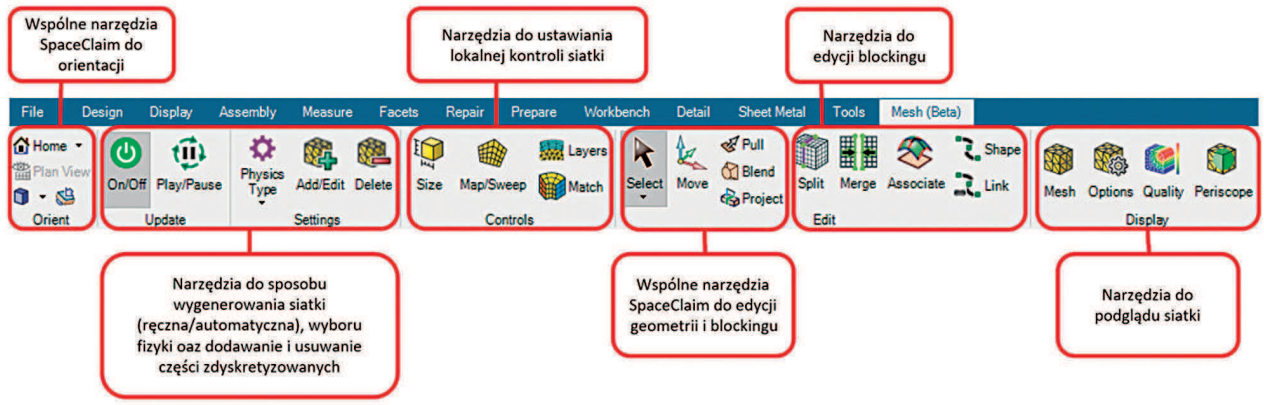
Wstążka Mesh została podzielona na sześć części: Orient, Update, Settings, Controls, Edit i Display (rys. 1).

Orient służy do zmiany orientacji modelu w przestrzeni. Umieszczono tu takie same narzędzia jak we wstążce Design.

Część **Update** dzieli się na narzędzia On/Off oraz Play/Pause. Służą one, odpowiednio, do włączania i wyłączania narzędzi siatkowania oraz do przełączania się między automatyczną a manualną aktualizacją siatki, gdy używane są narzędzia do kontroli siatki lub edycji bloków, np. podział, scalanie.

W części **Settings** ustawia się zagadnienia fizyczne, tj. mechanikę lub dynamikę płynu, tworzy się wstępną siatkę za pomocą systemu blockingu oraz określa jej globalne ustawienia.

W części **Controls** możliwa jest lokalna kontrola gęstości siatki, zmiana typu blockingu, wykonanie warstwy przyściennej na powierzchniach oraz dopasowanie siatki między dwoma powierzchniami. Edycja blockingu – rozumiana jako dzielenie, łączenie, manipulacja i dopasowanie



Rys. 1. *Moduł Mesh*

bloków do modelu – jest możliwa w części **Edit.** Część **Display** pozwala na wyświetlenie siatki oraz jakości poszczególnych elementów.

Funkcjonalność modułu Mesh zostanie zaprezentowana na przykładowej geometrii (rys. 2). W kilku krokach będzie pokazane, jak wygenerować siatkę typu Hex o odpowiedniej jakości elementów.

Należy zacząć od włączenia narzędzi do siatkowania i wybrać odpowiednią część fizyki. Następnie włącza się narzędzie **Add/Edit**, dzięki któremu można wybrać kształt i rozmiar elementu oraz technikę tworzenia blockingu (rys. 3). Technikę dobiera się do kształtu.

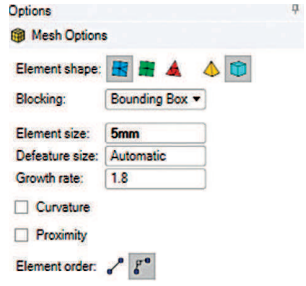
Jest pięć technik blockingu. Za pomocą pierwszej z nich – Free – zostanie utworzony jeden objętościowy blok dla całego ciała i wygenerowana będzie siatka typu Tetra lub Hex Dominant. Kolejne techniki – Standard oraz Agressive – generują siatkę MultiZone, w której obszary *sweepable* są wypełnione czystą siatką sześcienną, a pozostałe bloki – siatką typu Tetra lub Hex Dominant. Następną techniką jest Bounding Box, która tworzy pojedynczy zmapowany blok. Dodatkowo ten blok kształtuje się narzędziami do edycji bloków, takimi jak podział i scalanie bloków. Ostatnią techniką jest Load, która pozwala na wczytywanie wcześniej zapisanych plików z topologią blockingu.

Należy wybrać siatkę typu Hex o rozmiarze 5 mm i technikę Bounding Box. Na rys. 4 pokazano geometrię z wygenerowaną siatką i utworzonym jednym blokiem.

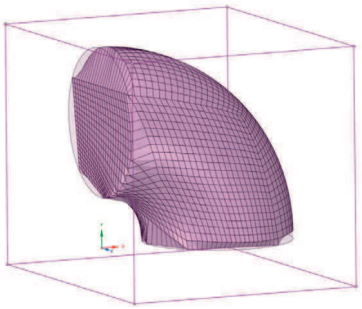
Blok dzieli się na cztery części i usuwa jedną z nich. Do tego służy opcja **Split** oraz **Delete**. Kolejne kroki pokazano na rys. 5. W tym momencie elementy są zniekształcone – jest to spowodowane złym powiązaniem krawędzi bloków z modelem geometrycznym. Dzięki narzędziu **Associate** można utworzyć powiązania między topologią bloków i geometrią CAD. Powiązania powodują zmianę koloru krawędzi bloków:

- Czerwone wierzchołki są powiązane z punktami geometrii. W trakcie ich przenoszenia bez uprzedniego rozłączenia geometria może również zostać zmodyfikowana.
- Zielone wierzchołki i krawędzie są powiązane z krzywymi w geometrii – można przesuwać wierzchołki, ale będą one ograniczone, aby pozostać na powiązanej krzywej.
- Fioletowe wierzchołki i krawędzie są powiązane z powierzchniami – można przesuwać wierzchołki, ale będą one

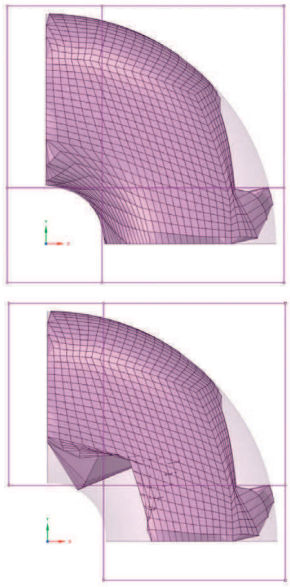
Rys. 2. *Geometria*



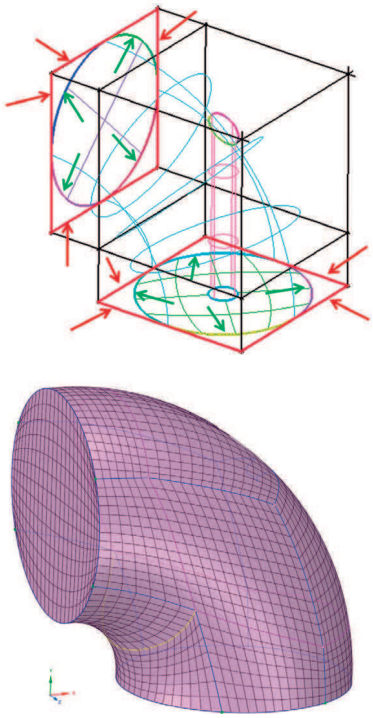
Rys. 3. *Narzędzie Add/Edit*



Rys. 4. *Pojedynczy, zmapowany blok i wygenerowana siatka*



Rys. 5. *Podział i usuwanie bloków*



Rys. 6. *Powiązanie krawędzi z geometrią CAD*

ograniczone, aby pozostać na powiązanej powierzchni.
- Niebieskie wierzchołki i krawędzie nie są powiązane z żadną geometrią – można swobodnie przesuwać wierzchołki.

Po powiązaniu krawędzi bloków z geometrią CAD (rys. 6) przesuwa się węzły bloków za pomocą operacji **Move**. Ten zabieg niweluje kąty rozwarte między krawędziami bloków i podnosi jakość siatki. Na rys. 7 przedstawiono węzły, które należy poprzesuwać.

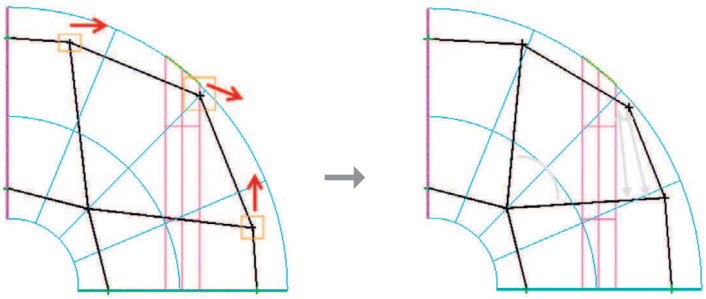
Kolejnym etapem jest wykonanie wycięcia pod otwór. Zastosowano cięcie typu O-Grid na dwóch blokach. Służy do tego narzędzie **Layers**. W kolejnych krokach krawędzie bloków wiąże się z geometrią CAD i usuwa zbędne bloki (rys. 8).

W końcowej fazie znów wykonuje się cięcie O-Grid na wszystkich blokach (rys. 9). Aby nie stosować odsunięcia na danej powierzchni, należy zaznaczyć tę powierzchnię jako Target Faces (niebieski kolor powierzchni; rys. 8 i 9).

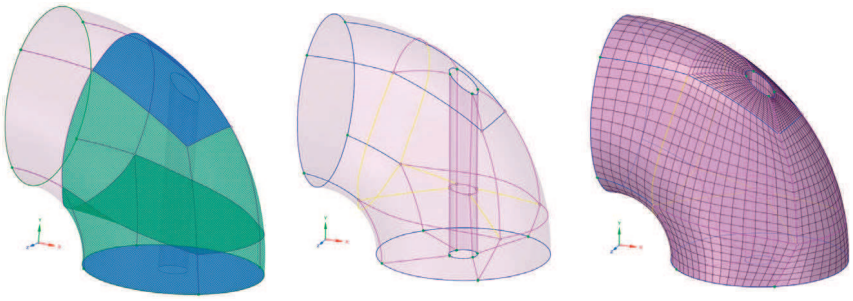
Trzeba dostosować wielkość lub liczbę elementów wzdłuż krawędzi. Do lokalnego ustawienia wielkości siatki służy narzędzie **Size** (rys. 10). Następnie wiąże się krawędzie z modelem CAD. Zauważono, że krawędzie nowo utworzonych bloków nie odwzorowują kształtu geometrii. Narzędzie **Link** pozwala odwzorować kształt krawędzi źródłowej na krawędź docelową (rys. 11).

Następnie należy poprzesuwać kolejne wierzchołki bloków. Dzięki zabiegom Size, Move oraz Link otrzymuje się siatkę o wysokiej jakości, a z wykorzystaniem opisanych narzędzi można uzyskać w całej objętości siatkę typu Hex (rys. 12).

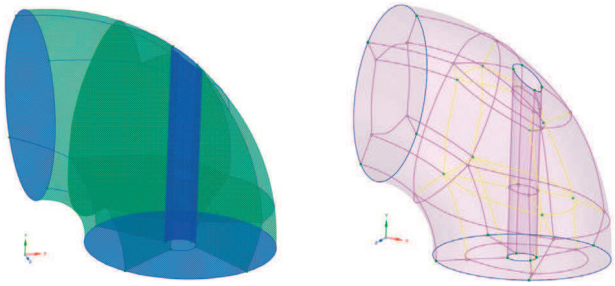
Moduł SpaceClaim Mesh świetnie się sprawdził w tym przykładzie. Została wygenerowana wysokiej jakości siatka Hex. Na razie moduł ten jest w fazie testów, ale w przyszłości może się stać nieodzowną częścią SpaceClaim i mocnym argumentem, aby już w ANSYS SpaceClaim generować siatkę, a następnie importować ją wraz z geometrią bezpośrednio do ANSYS Workbench.



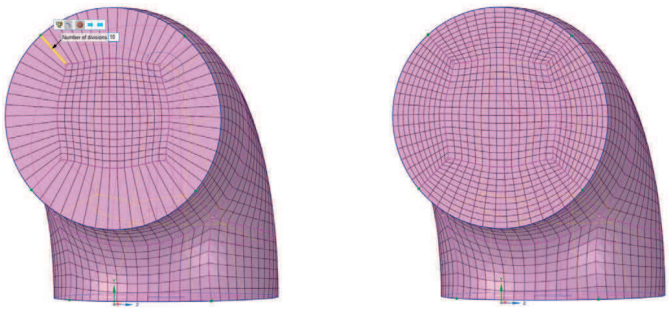
Rys. 7. *Przesuwanie węzłów bloków*



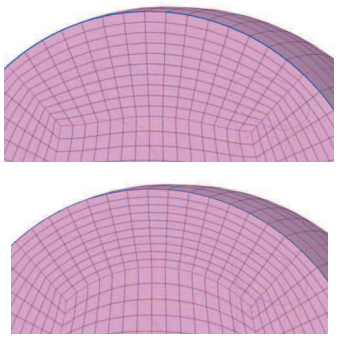
Rys. 8. *Cięcie O-Grid*



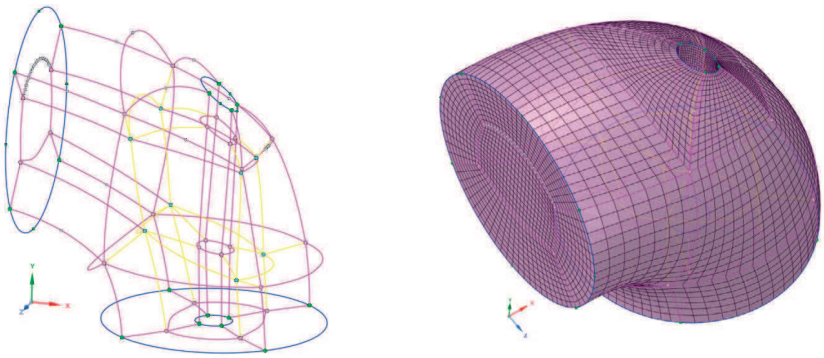
Rys. 9. *Drugie cięcie O-Grid*



Rys. 10. *Lokalne zagęszczenie siatki*



Rys. 11. *Odwzorowanie kształtu krawędzi bloku (kolor różowy) względem krawędzi źródłowej (kolor niebieski)*

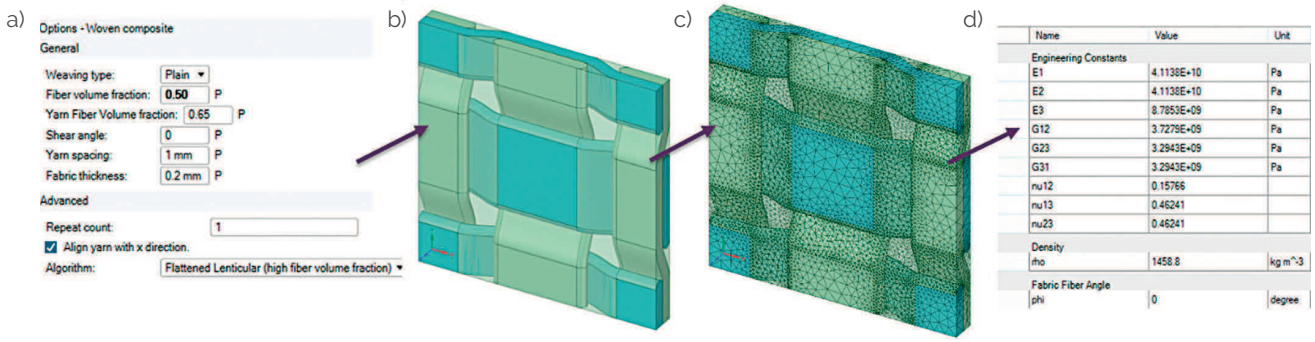


Rys. 12. *Gotowy blocking (po lewej) i gotowa siatka (po prawej)*

Obliczenia własności sprężystych RVE z użyciem techniki homogenizacji w Material Designer

Mateusz Pawłucki • MESco • mpawlucki@mesco.com.pl

W nowej wersji – 19.2 – systemu obliczeń ANSYS użytkownicy otrzymali dwa nowe narzędzia. Jednym z nich jest statyczna analiza odwrotna, w której znany jest kształt po przyłożeniu znanego obciążenia, a rozwiązaniem jest kształt przed obciążeniem. Tego typu analiza może być przydatna np. do korekcji geometrycznej, tak aby produkowany komponent w stanie obciążenia uzyskiwał optymalny kształt ze względu na inne parametry, np. przepływowe. Drugim narzędziem jest ANSYS Material Designer – środowisko do homogenizacji mikrostruktury w celu wyznaczenia własności makroskopowych.



Rys. 1. *Etapy obliczeń i homogenizacji mikrostruktury, od lewej: a) podanie podstawowych danych geometrycznych, b) wygenerowanie geometrii mikrostruktury, c) utworzenie siatki elementów i poddanie jej obciążeniom testowym, d) wyznaczenie własności sprężystych i opcjonalnie termicznych*

Material Designer wykorzystuje kilka narzędzi zaszytych pod interfejsem graficznym podobnym do narzędzia SpaceClaim. Na pierwszym etapie użytkownik podaje typ RVE (*representative volume element*) i jego podstawowe cechy geometryczne. Program sam generuje geometrię ze zbioru predefiniowanych typów (rys. 2).

Przy niektórych typach RVE dobór wycinka mikrostruktury jest dosyć oczywisty ze względu np. na istnienie trzech płaszczyzn symetrii (UD, *woven*, *lattice*). W pozostałych przypadkach użytkownik musi przeliczyć kilka rozmiarów domen i ocenić, w którym momencie stają się one reprezentatywne z makroskopowego punktu widzenia.

Na kolejnym etapie generowana jest siatka elementów skończonych i zostają automatycznie zdefiniowane odpowiednie kontakty, np. typu Bonded, między włóknem a osnową laminy. Rola użytkownika jest tu ograniczona do minimum, choć za sprawą kilku funkcji ma on wpływ na jakość dyskretyzacji.

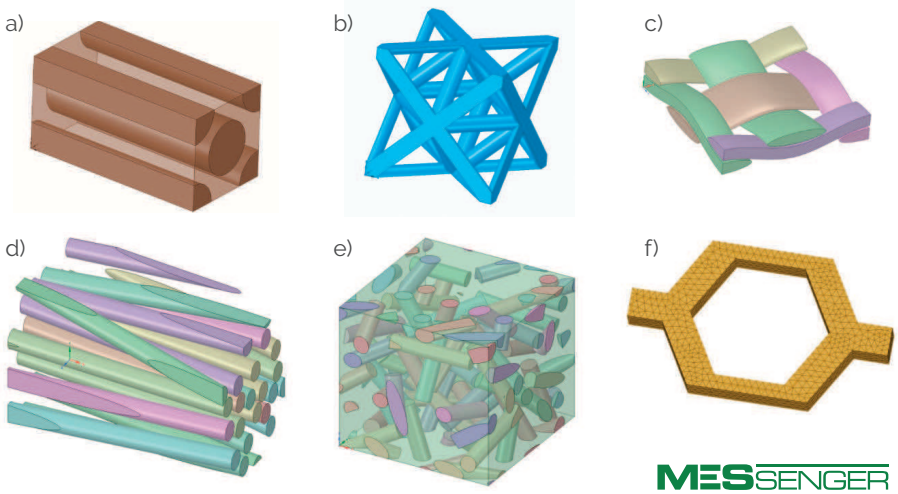
Na koniec program automatycznie przykłada obciążenia testowe (solver MAPDL), aby wyznaczyć ortotropowe własności sprężyste i opcjonalnie termiczne lub aby wyznaczyć macierz sztywności, gdy zdefiniowano anizotropowy model materiału. Dodatkowo z analizy MES uzyskiwana jest informacja o wypadkowej gęstości, pojemności cieplnej i współczynnikach rozszerzalności cieplnej. Jeśli na etapie definicji cech geometrycznych zdefiniowano niektóre z nich jako zmienne (parametry wejściowe), program wykona tyle obciążeń testowych, ile wynika z analizy parametrycznej. Tak wyznaczone cechy materiałowe będą funkcjami parametrów wejściowych.

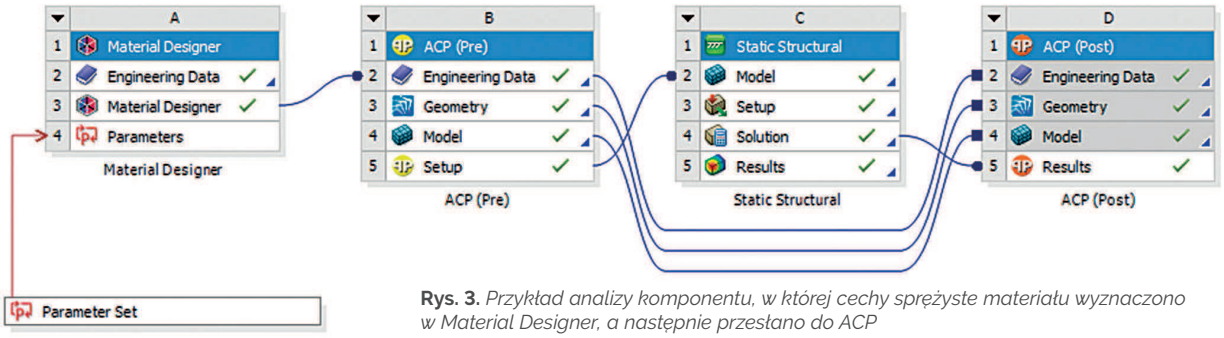
Przykładem może być kąt krzyżowania się włókien w laminie dwukierunkowej. Gdy z analizy drapingu, przeprowadzonej w ANSYS Composite PrepPost (ACP), wynika, że kąty krzyżowania odbiegają od początkowych, własności sprężyste w elementach skończonych również będą się zmieniać, adekwatnie do cech wyznaczonych w Material Designer.

Analiza Drapingu dostępna w ACP dostarcza informacji o tym, jak dobrze tkanina danego typu jest w stanie odwzorować nierozwijalną powierzchnię i jakie zmiany zajdą w tej tkaninie po próbie tego odwzorowania. Zmiany te to np. kąty krzyżowania się włókien w tkaninie symetrycznej, w której lamina przestaje mieć cechy ortotropowe.

Tego rodzaju element kompozytowy można w różny sposób analizować w ANSYS Mechanical. Oczywiście dane wyznaczone w Material Designer w żaden sposób nie odpowiadają na pytanie, jaki jest dopuszczalny stan wytężenia

Rys. 2. *Generowanie geometrii ze zbioru predefiniowanych typów: a) lamina zbrojona jednokierunkowo (UD), b) struktura kratownicowa – druk 3D (lattice), c) lamina zbrojona symetrycznie (woven), d) lamina jednokierunkowa z losowym odchyleniem (misaligned UD), e) mata 3D z włókien ciętych (chopped fiber), f) RVE użytkownika (user-defined)*

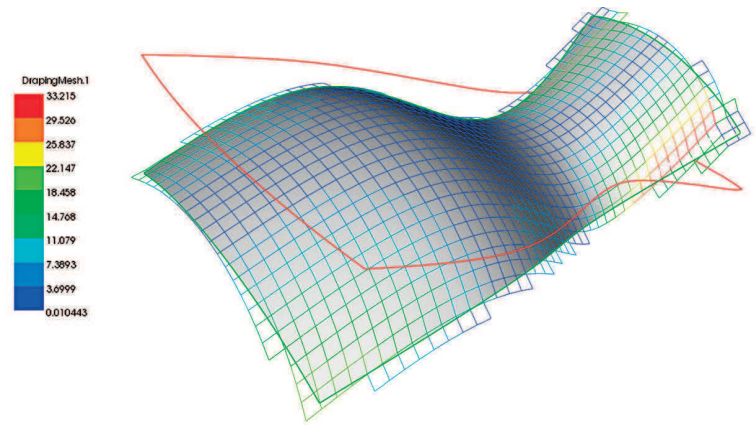




Rys. 3. *Przykład analizy komponentu, w której cechy sprężyste materiału wyznaczono w Material Designer, a następnie przesłano do ACP*

kompozytu. Jednak w przypadku prostych hipotez wytężeniowych, bazujących np. na maksymalnych odkształceniach czy hipotezie Tsai-Wu, można dosyć dobrze oszacować parametry krytycznego wytężenia na podstawie wzorów empirycznych podanych w literaturze (np. [1]). W praktyce zdarza się też, że w analizie nie jest najważniejsze wytężenie, lecz poszukiwana jest informacja, na ile równomiernie przez każdą z warstw przenoszone jest obciążenie.

Narzędzie ANSYS Material Designer jest alternatywą wykorzystującą techniki homogenizacji numerycznej do wyznaczania cech materiału, np. metodami doświadczalnymi czy homogenizacji w oparciu o reguły mieszania. Inną ciekawą możliwością, jaką daje to narzędzie, jest optymalizacja konstrukcji na poziomie mikrostruktury materiału, np. poprzez sterowanie stopniem napełnienia (objętościową zawartością włókien).



Rys. 4. *Przykład komponentu o nierozwijalnej powierzchni, na którym przeprowadzono analizę Drapingu dla tkaniny bazowanej w pewnym punkcie i kierunku. Widoczne maksymalne kąty skoszenia włókien oraz kontur tkaniny przed nałożeniem, który można wyeksportować np. na ploter*

LITERATURA

1. **Boczkowska A. i in.** *Kompozyty.* Wyd. II. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003.
2. **ANSYS, Inc.** *Material Designer User's Guide*. *ANSYS Help* [online], 2018.

SMART – analiza zmęczeniowej propagacji pęknięcia

Marcin Hatłas • MESco
• mhatlas@mesco.com.pl

SMART (*separating morphing and adaptive re-meshing technology*) Crack-Growth pozwala na analizowanie rozwoju pęknięcia pod wpływem zewnętrznych obciążeń. Umożliwia symulację statycznej i zmęczeniowej propagacji oraz dostarcza użytkownikowi informacje o końcowej postaci pęknięcia, możliwości spełnienia warunków braku propagacji, czy liczby cykli obciążenia powodujących zniszczenie materiału. Metoda opiera się na prawach mechaniki pękania oraz metodach numerycznych, pozwalających na określanie parametrów opisujących stan materiału w okolicy wierzchołka pęknięcia, takich jak współczynnik intensywności naprężeń czy wartość całki J. Ograniczeniem tej metody jest jak na razie możliwość wykonywania tylko symulacji liniowych – nie są uwzględniane efekty uplastycznienia materiału, duże przemieszczenia ani nieliniowe kontakty.

Od wersji 19.2 SMART może być wykorzystywany w trybie pamięci SMP, co pozwala na zrównoleglenie obliczeń i znaczne przyspieszenie symulacji dużych modeli numerycznych. W artykule przedstawiono zastosowanie technologii SMART w obliczeniach inżynierskich.

Ciekawym przykładem symulacji z użyciem SMART Crack-Growth może być analiza pokrywy zaworu. Pokrywa jest mocowana za pomocą połączeń śrubowych do obudowy zaworu, co zostało odwzorowane z wykorzystaniem warunków Frictionless Support. Na model narzucono obciążenia wynikające ze współpracy pokrywy z rurociągiem oraz ciśnienie wewnętrzne związane z oddziaływaniem medium roboczego.

Warunki brzegowe oraz obciążenia przedstawiono na rys. 1*a*. Wynikiem analizy jest rozkład naprężeń na modelu,

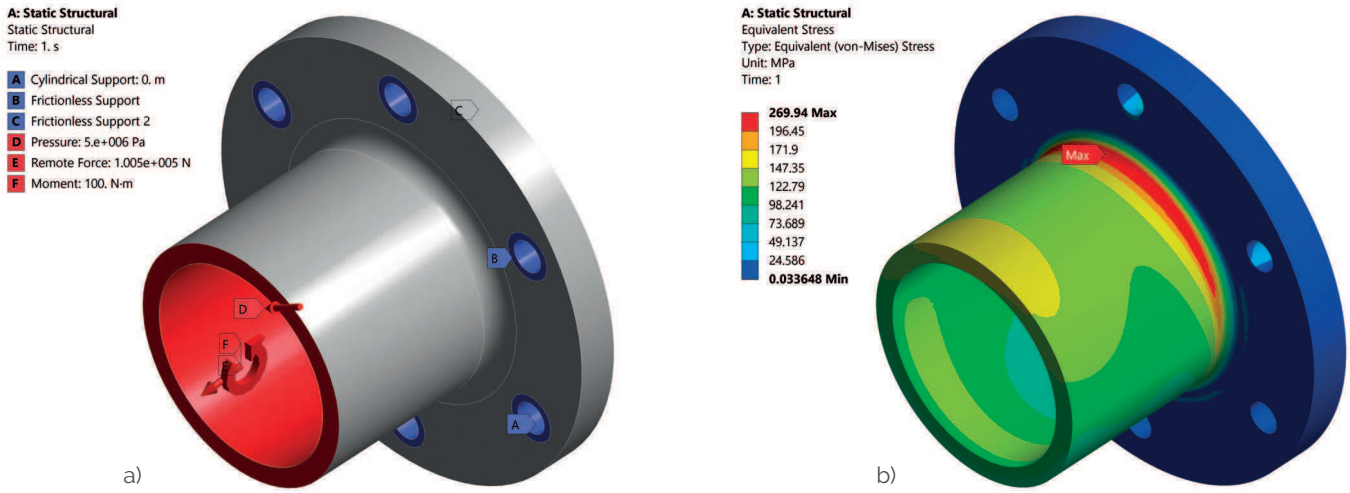
który sugeruje silną koncentrację naprężeń na spoinie pokrywy (rys. 1*b*). Dodatkowo przy zadanym obciążeniu w miejscu koncentracji pojawia się stan trójosiowego rozciągania, który sprzyja powstawaniu pęknięć, zwłaszcza w kierunku prostopadłym do największego naprężenia rozciągającego.

Na podstawie tych informacji z użyciem narzędzia Semi-Elliptical Crack zaproponowano postać i umiejscowienie pęknięcia, które może się pojawić podczas pracy pokrywy.

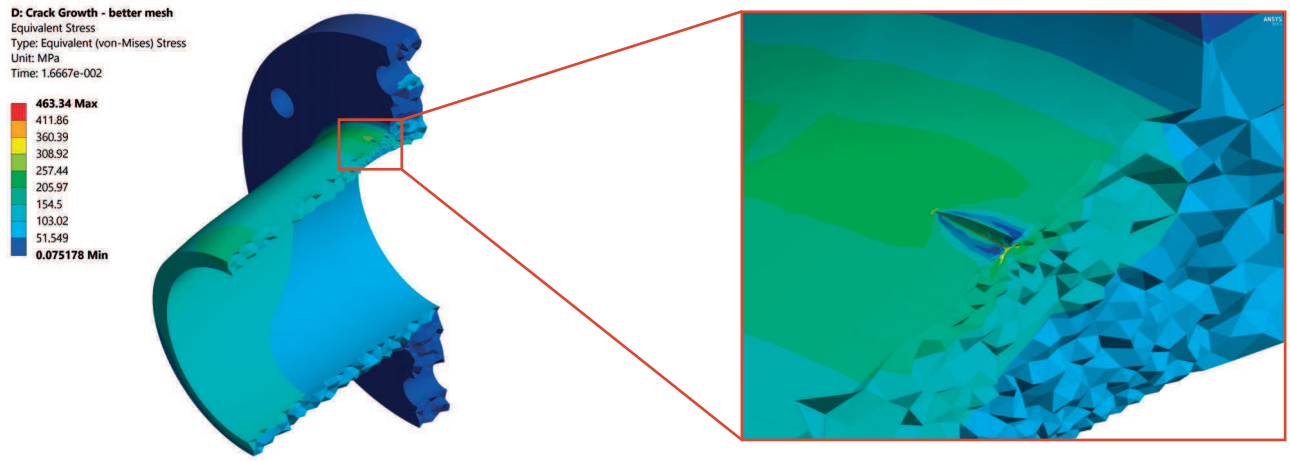
Geometrię oraz wynik naprężeń dla obszaru wokół utworzonego pęknięcia przedstawiono w formie przeskalowanej na rys. 2.

Za pomocą narzędzia SMART przeprowadzono symulację zmęczeniowej propagacji pęknięcia dla zadanych własności materiałowych. Wynikiem analizy jest postać pęknięcia dla kolejnych etapów propagacji oraz informacja dotycząca liczby cykli obciążenia prowadzących do otrzymania kolejnej postaci. Geometrię oraz wynik naprężeń dla obszaru wokół pęknięcia w chwili rozerwania pokrywy przedstawiono na rys. 3.

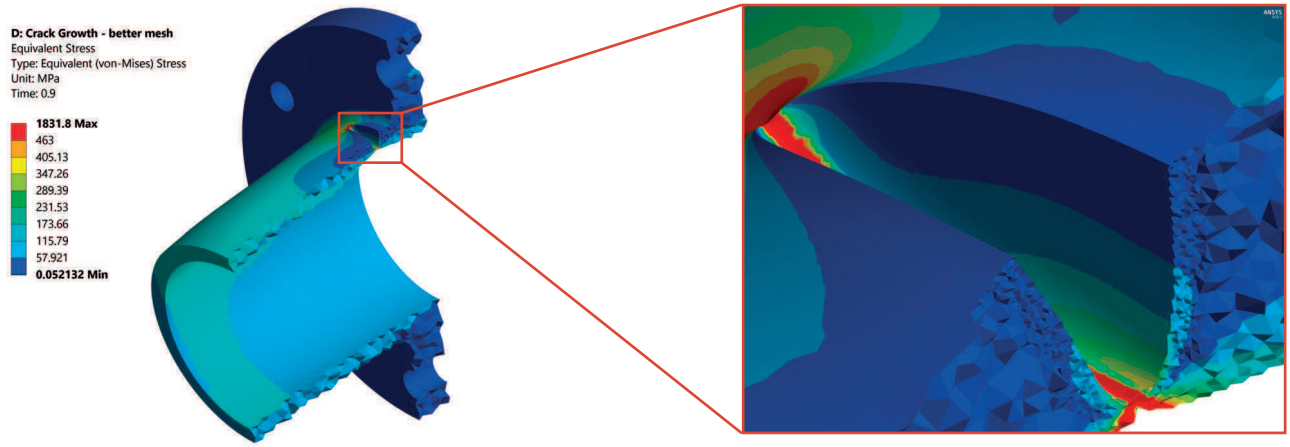
Dzięki technologii SMART symulacja pozwala na oszacowanie liczby cykli obciążenia, które spowodują zniszczenie pokrywy i doprowadzą do jej rozerwania czy rozszczelnienia. Dodatkowo analiza postaci pęknięcia w kolejnych fazach propagacji umożliwia dobranie narzędzi diagnostycznych do oceny trwałości i bezpieczeństwa użytkowania już pękniętego obiektu, np. na podstawie długości widocznej linii pęknięcia.



Rys. 1. *Model pokrywy: a) warunki brzegowe, b) wynik naprężeń redukowanych*



Rys. 2. *Kształt pęknięcia oraz wyniki naprężeń redukowanych dla stanu początkowego pęknięcia*



Rys. 3. *Kształt pęknięcia oraz wyniki naprężeń redukowanych dla stanu końcowego pęknięcia*

Symulacje układów mechatronicznych dla systemu Ctrl+Sky

Sławomir Nowak • Advanced Protection Systems • s.nowak@apsystems.tech

Wielosensorowy system detekcji i neutralizacji dronów Ctrl+Sky dzięki wykorzystanym w nim rozwiązaniom z zakresu elektroniki, oprogramowania i przetwarzania sygnałów jest w stanie z najwyższą skutecznością zapewnić bezpieczeństwo przestrzeni powietrznej strefy chronionej. Został on wyróżniony nagrodą Defender podczas Międzynarodowego Salonu Przemysłu Obronnego. Wysoka jakość komponentów systemu Ctrl+Sky wynika z tworzenia rozwiązań dedykowanych, w całości opracowanych przez zespoły inżynierów z Advanced Protection Systems z Gdyni.

Poza tworzeniem urządzeń do detekcji oraz neutralizacji celów zadaniem inżynierów z APS jest opracowywanie projektów mechatronicznych. To one determinują finalny wygląd produktu i zapewniają nieprzerwaną, optymalną pracę systemu nawet w najtrudniejszych warunkach. Takie możliwości dają m.in. autorskie układy zabudowy, chłodzenia i uszczelnień oraz stosowanie wyłącznie materiałów i produktów najwyższej jakości, od renomowanych dostawców.

W APS stawia się na skuteczność działania. Ważne, aby już na etapie projektowania móc określić, jak dane urządzenie będzie funkcjonowało. W tym celu układy mechatroniczne przechodzą wiele symulacji komputerowych służących identyfikacji zjawisk z zakresu m.in. termodynamiki czy wytrzymałości materiałów, zachodzących podczas pracy systemu. Nieocenionym narzędziem jest tu oprogramowanie ANSYS Workbench.

Jednym z aktualnych projektów, stanowiących bazę dla systemu mobilnego Ctrl+Sky, jest dedykowany podnośnik nożycowy działający na bazie siłownika elektrycznego prądu stałego.

Autorskie rozwiązanie powstało, aby:

- wyeliminować oddziaływanie warunków atmosferycznych na pracę i stan podnośnika poprzez zastosowanie w konstrukcji nośnej materiałów wysokiej jakości, o właściwościach antykorozyjnych (inaczej niż w większości rozwiązań komercyjnych);
- wyeliminować układ hydrauliczny (który w rozwiązaniach komercyjnych powoduje zazwyczaj konieczność zasilania układu napędowego napięciem trójfazowym) poprzez zastosowanie odpornego na ekstremalne warunki atmosferyczne siłownika elektrycznego zasilanego napięciem stałym 24 V;
- optymalnie wykorzystać przestrzeń na skrzyni pojazdu, dzięki zastosowaniu technologii skanu 3D o dokładności pomiaru rzędu 0,05 mm.

Pierwszym wyzwaniem było określenie kinematyki ruchu mechanizmu nożycowego, która pozwoliłaby na uzyskanie optymalnych wartości takich parametrów, jak: nośność, wysokość maksymalna czy minimalna. Założeniami projektowymi w tym przypadku były wysokość minimalna oraz wymagany udźwig podnośnika.

Metodą iteracyjną szukano kąta pochylenia siłownika, który pozwalałby uzyskać jak największy wysięg z wykorzystaniem maksymalnego skoku elementu wykonawczego. Ograniczeniem – poza wymiarami konstrukcji – była siła działająca na tłok siłownika podczas podnoszenia. W przypadku przeciążenia silnik elektryczny wewnątrz siłownika uległby uszkodzeniu.

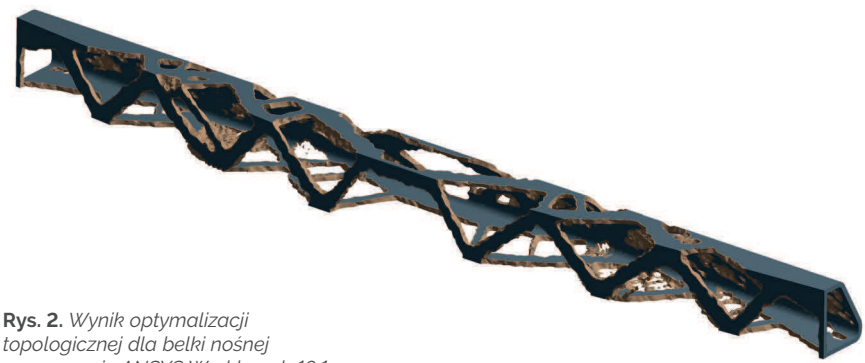
Dzięki oprogramowaniu ANSYS Workbench możliwe było monitorowanie siły powstającej w siłowniku i uzyskanie optymalnego kąta nachylenia siłownika oraz uniknięcie sytuacji awaryjnej, a potencjalnie – również kosztów naprawy elementu wykonawczego.

Kolejnym krokiem podczas symulacji pracy urządzenia było badanie naprężeń powstających wewnątrz elementów konstrukcji nośnej. Wykorzystano tu moduł Static Structural.

Newralgicznymi elementami w kwestii odkształceń okazały się belki nośne, do których przymocowany jest siłownik. Podniesienie wytrzymałości na zginanie i skręcanie poprzez zwiększenie przekroju poprzecznego pozwoliło na zredukowanie odkształceń do żądanego, bezpiecznego poziomu.

Seria symulacji statycznych umożliwiła zbadanie wpływu zwiększenia pola przekroju w konkretnym kierunku na odkształcenia belek konstrukcji nośnej podnośnika nożycowego. Zwiększenie pola przekroju powoduje wzrost masy konstrukcji. Tymczasem ma ona kluczowe znaczenie ze względu na montaż na pojeździe – stąd poszukuje się rozwiązań umożliwiających redukcję masy

Rys. 1. *Podnośnik nożycowy mobilnego systemu detekcji i neutralizacji dronów Ctrl+Sky*



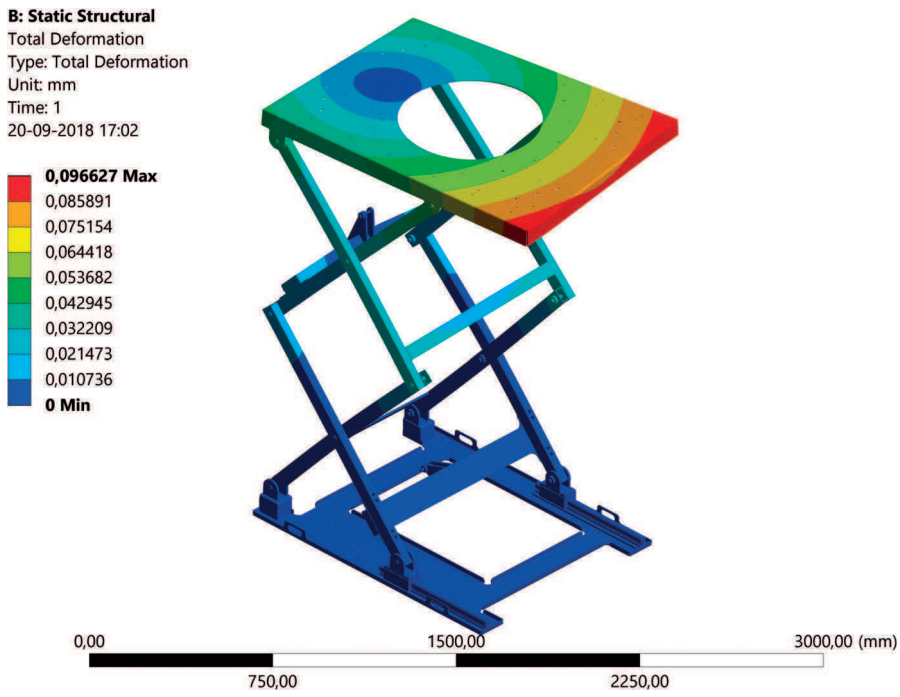
Rys. 2. *Wynik optymalizacji topologicznej dla belki nośnej w programie ANSYS Workbench 19.1*

poszczególnych komponentów. ANSYS Workbench jest wyposażony w narzędzie do optymalizacji topologicznej – Topology Optimization. Na bazie symulacji statycznej i parametrów wejściowych dąży ono do uzyskania elementu o zbliżonej wytrzymałości, lecz o zredukowanej masie. Przełożyło się to na zwiększenie nośności podnośnika z jednoczesnym „odchudzeniem" samej konstrukcji.

Podczas integracji pozostałych podsystemów wchodzących w skład mobilnego systemu detekcji i neutralizacji dronów Ctrl+Sky powstała obawa co do sił działających na konstrukcję podnośnika, pochodzących od obrotowej platformy znajdującej się na jego stole. Symulacja całej konstrukcji pokazała, że moment skręcający powstały w wyniku ruchu platformy nie wywołuje nieprawidłowości w działaniu systemu i nie wpływa negatywnie na stan konstrukcji mechanizmu nożycowego.

Na koniec przeprowadzono symulacje weryfikacyjne z uwzględnieniem poprawek naniesionych w projekcie. Oprogramowanie ANSYS umożliwiło sprawdzenie różnej temperatury pracy urządzenia. Dodatkowo przeprowadzono badania zmęczeniowe określające liczbę cykli podnoszenia i opuszczania podnośnika.

Stworzenie prototypu funkcjonalnego jest kluczowym elementem przy wdrażaniu nowego produktu. Pozwala on na przeprowadzenie testów w rzeczywistych warunkach pracy, pokazuje trudności, jakie można napotkać podczas produkcji czy montażu urządzenia. Dzięki symulacjom komputerowym



Rys. 3. *Rezultaty symulacji momentu skręcającego działającego na podnośnik nożycowy – z użyciem modułu Static Structural w programie ANSYS Workbench 19.1*

można uniknąć sytuacji niebezpiecznych, znacząco skrócić czas powstawania docelowej wersji produktu oraz z wyprzedzeniem i mniejszym kosztem przewidzieć wiele sytuacji i zjawisk nieprawidłowych.

ANSYS Workbench pozwolił na ciągłe monitorowanie własności mechanicznych konstrukcji nośnej podnośnika podczas procesu projektowania, co dało pewność, że powstający prototyp nie ulegnie uszkodzeniu przy przewidzianej masie ładunku w pełnym zakresie temperaturowym pracy systemu.

Ctrl+Sky to system bezpieczeństwa. W Advanced Protection Systems stawia się na rozwiązania pewne i sprawdzone, aby klient mógł korzystać z systemu i czuł się bezpiecznie w dowolnym miejscu na świecie. Dlatego w kwestii symulacji niezastąpione jest oprogramowanie ANSYS Workbench.

Modelowanie dodatkowej warstwy termicznej w ANSYS Workbench

Tomasz Czyż • MESco • tczyz@mesco.com.pl

Użytkownicy środowiska Workbench i analiz mechanicznych od wersji 18.2 mają do dyspozycji narzędzie do szybkiego nakładania dodatkowych warstw, czyli powłok na obiektach typu solid. W mechanice służą one do precyzyjnego wyciągania naprężeń z powierzchni brył lub standardowo jako warstwy wierzchnie. Niestety nie ma takiej funkcjonalności w analizach termicznych, a przydałaby się np. do modelowania różnego typu izolacji. ANSYS z pewnością uzupełni tę lukę w przyszłych wersjach, a do tego czasu można wykorzystać krótkie makro w APDL.

Do modelowania dodatkowych warstw termicznych można podejść na kilka sposobów.

Najprostsze jest zmodyfikowanie współczynnika wnikania w konwekcji, tak aby uwzględniał dodatkową warstwę o określonym oporze termicznym według wzoru:

$$\alpha_z = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{t}{\lambda}}$$

gdzie: α_z – zastępczy współczynnik wnikania, α – zewnętrzny współczynnik wnikania, t – grubość warstwy, λ – przewodność dodatkowej warstwy.

Jeśli problem się skomplikuje i trzeba będzie jeszcze uwzględnić przewodność warstwy zależną od temperatury, wygodniej będzie stworzyć dodatkowe elementy typu SHELL131 lub 132.

Zastosowanie tego podejścia przedstawiono na prostym przykładzie: celem zadania jest dodanie warstwy o określonej

grubości i przewodności na powierzchni w Named Selection (rys. 1).

Trzeba wstawić dwa obiekty komend. Jeden – pod dowolny obiekt w gałęzi Geometry, a drugi – w gałąź analizy (rys. 2).

Pierwsze makro pod obiektem SYS-2\Solid wygląda następująco:

```
et,100,132
keyopt,100,3,0
keyopt,100,6,1

MP,DENS,100,7850,! kg m^-3
MP,KXX,100,0.1,  ! kg m^2 s^-3 C^-1

et,101,surf152
keyopt,101,11,1
keyopt,101,8,5
```

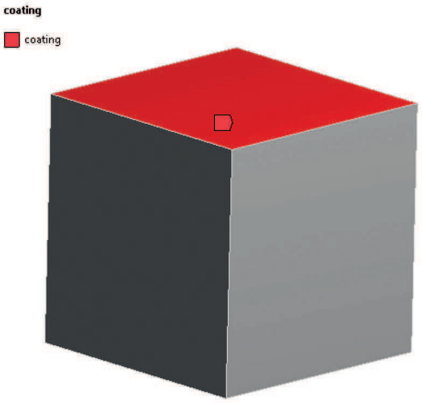
Początkowe trzy wiersze definiują nowy typ dla elementów powłokowych, w tym przypadku z kwadratową funkcją kształtu. Keyopt 3 = 0 ustala kwadratową zmienność temperatury na warstwie, a keyopt 6 = 1 to specjalna opcja dla elementów, które mają leżeć na elementach typu solid, a nie być samodzielną powłoką termiczną.

Komendy MP definiują parametry materiałowe warstwy. Nic nie stoi na przeszkodzie, żeby uzależnić je np. od temperatury za pomocą odpowiedniej tablicy.

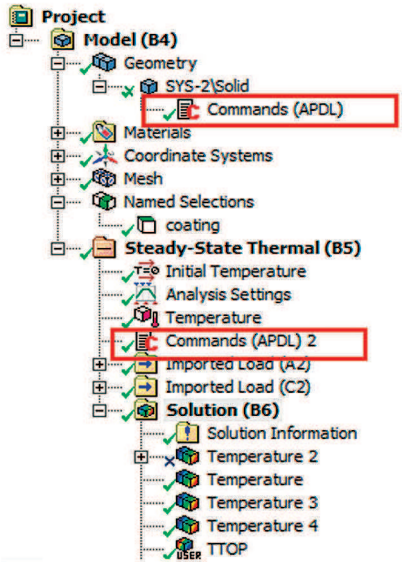
Ostatnie trzy komendy definiują dodatkowy typ elementów SURF152, który jest potrzebny w przypadku obciążenia termicznego warstwy, np. aby założyć na nią konwekcję. Konwekcja w środowisku Workbench standardowo nie będzie przystosowana do tego typu rozwiązania, stąd dodatkowy, zmodyfikowany typ, na który trzeba zamienić standardowe elementy SURF152.

Makro pod gałęzią analizy wygląda następująco:

```
/prep7
cmsel,s,coating
type,100
mat,100
secn,100

sect,100,shell
secdata,0.1,100
secoffset,BOT

esurf

esln,,1
esel,r,ename,,152
emodif,all,TYPE,101

allsel,all
/solu
```



Rys. 1. *Named Selection w miejscu dodatkowej warstwy*



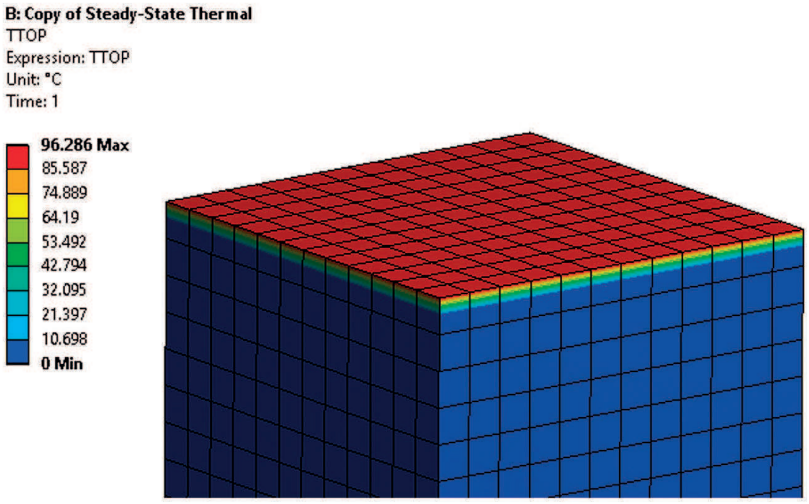
Rys. 2. *Obiekty komend w strukturze drzewka analizy*

Pierwsze makro tylko stworzyło nowe typy elementów. Teraz trzeba wygenerować te elementy. Przechodzi się do preprocesora /prep7, zaznacza komponent Named Selection coating i ustawia typ, materiał oraz sekcję elementów SHELL132. Kolejne trzy komendy zaczynające się od sec- definiują sekcję, w której określa się grubość 0.1 warstwy. Komenda esurf generuje elementy warstwy. Pozostało jeszcze tylko wymienić typ elementów SURF152, na których działają obciążenia na warstwie, na utworzony dodatkowy typ. Służy do tego komenda emodif.

Przedstawione podejście jest na tyle uniwersalne, że można na taką warstwę mapować nawet temperatury i współczynniki konwekcji za pomocą modułu External data. Dodatkowo można zamapować grubość samej warstwy.

Po analizie uzyskuje się dostęp do wyników pod warstwą – to standardowy wynik Temperature, ale także do temperatur na powierzchni zewnętrznej warstwy – wynik TTOP. Ten wynik należy dodać do drzewka jako UserDefinedResults albo wybrać z listy wyników Worksheet w gałęzi Solution (rys. 3).

Na koniec dodam, że pracując z komendami w Workbench, należy zwrócić uwagę na układ jednostek analizy oraz ten, który się używa do wprowadzania danych do komend w APDL.



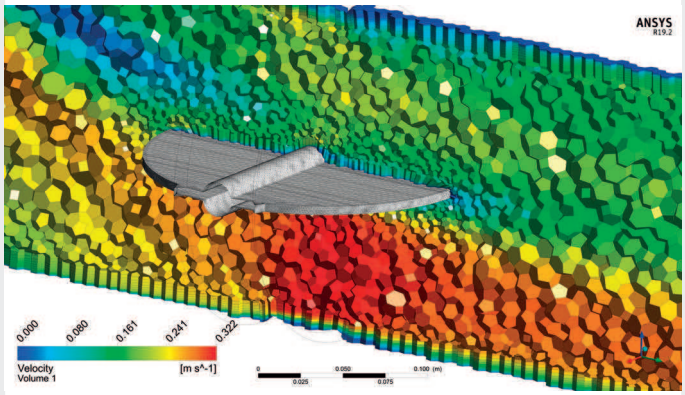
Rys. 3. *Wynik TTOP – temperatura na powierzchni dodatkowej warstwy*

PRZEMINĘŁO Z TETRĄ – parę słów o siatkach polyhedralnych

Maciej Kryś • MESco • mkrys@mesco.com.pl

W ostatnim czasie można zauważyć szybki rozwój technologii ułatwiających wykonywanie symulacji komputerowych. Te usprawnienia mają nie tylko poprawić komfort pracy inżyniera, lecz także skrócić czas przeprowadzania pojedynczej analizy. To przekłada się oczywiście na zwiększenie liczby przypadków, które inżynier może wykonać w tym samym czasie. Do takich technologii zaliczają się na pewno narzędzia z serii Discovery, które swoimi innowacyjnymi rozwiązaniami wielokrotnie przyspieszają proces projektowy.

ANSYS intensywnie rozwija swoje flagowe produkty – wprowadza w nich nowe rozwiązania, a także usprawnia już istniejące. Jedną z technologii z zakresu analiz przepływowych, która przeżywa swoisty renesans, jest siatka polyhedralna.



Rys. 1. *Przykład siatki polyhedralnej*

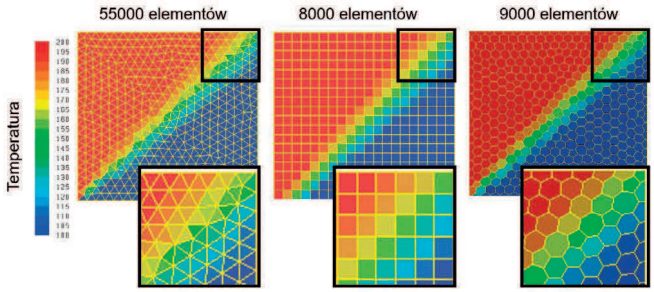
Czy więcej znaczy lepiej?

Siatka polyhedralna (lub wielościenna) to typ elementu, który nie ma odgórnie określonej liczby ścian bocznych. Z tego powodu elementy polyhedralne mogą mieć dowolną liczbę sąsiadów. Najczęściej ściany takiej komórki przyjmują kształt sześcio- lub pięcioboku (rys. 2).

Rys. 2. *Element hexahedralny (czerwony), tetrahedralny (niebieski) i polyhedralny (zielony).*

Siatka typu wielościennego jest przeznaczona wyłącznie do rozwiązywania zagadnień przepływowych, a zwłaszcza dla narzędzia Fluent. Ze względu na sposób rozumienia siatki, CFX nie obsługuje takich siatek.

W porównaniu z siatkami tetrahedralnymi, które są najbardziej powszechne, siatki polyhedralne mają mniej elementów przy tym samym rozmiarze elementu. Dzięki dużej liczbie ścian mogą zmniejszyć efekt dyfuzji numerycznej powodowanej transportem masy w kierunku nieprostopadłym do ścian komórki. Zwłaszcza przy przepływach mocno zawirowanych, gdzie ruch płynu nie jest zdominowany w jednym kierunku. Dodatkowo kąty wewnętrzne elementów polyhedralnych są dużo większe niż tetrahedralnych, co skutkuje wyższą jakością i ostatecznie lepszą stabilnością rozwiązania.



Rys. 3. *Porównanie efektu dyfuzji numerycznej różnych typów elementów w podobnym rozmiarze*

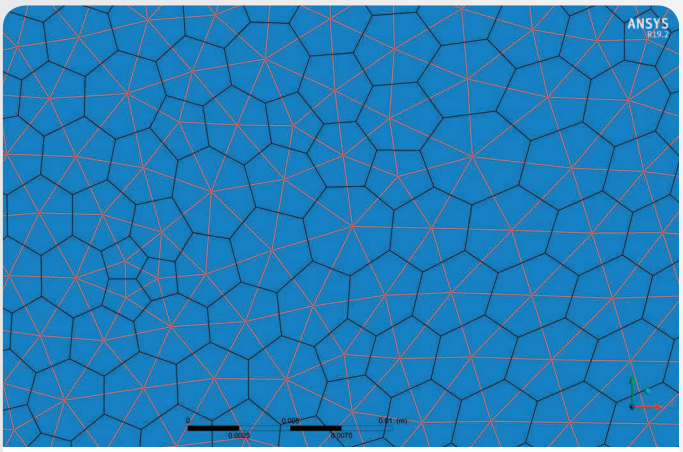
Gdzie szukać?

Są dwa główne sposoby generowania siatki polyhedralnej. Pierwszy składa się z dwóch podstawowych kroków. Na początek tworzy się klasyczną siatkę tetrahedralną w dowolnej aplikacji. Następnie importuje się ją do narzędzia Fluent i tam, komendą Make Polyhedra, konwertuje na siatkę polyhedralną.

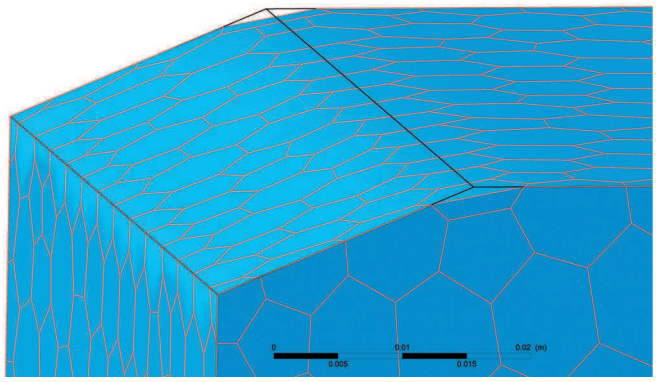
W jaki sposób dochodzi do zamiany? Bardzo prosto. Węzły siatki tetrahedralnej stanowią centralne punkty elementów polyhedralnych. Z kolei na środku każdego boku elementu tetrahedralnego tworzona jest prostopadła ściana, łącząca dwa sąsiadujące środki elementów tetrahedralnych (rys. 4).

Druga metoda to stworzenie natywnej polyhedry z użyciem Fluent Meshing. W aplikacji można wykonać siatkę bezpośrednio do formatu wielościennego. Takie rozwiązanie ma wiele zalet: mniejsze użycie pamięci ram, mniejsza liczba komórek czy wyższa jakość siatki. Z kolei sporym ograniczeniem jest generowanie siatki na jednym rdzeniu, podczas gdy konwersja korzysta z wielu rdzeni. Należy jednak zaznaczyć, że wersja równoległa jest w opracowaniu i ostatecznie powinna trafić do użytkowników.

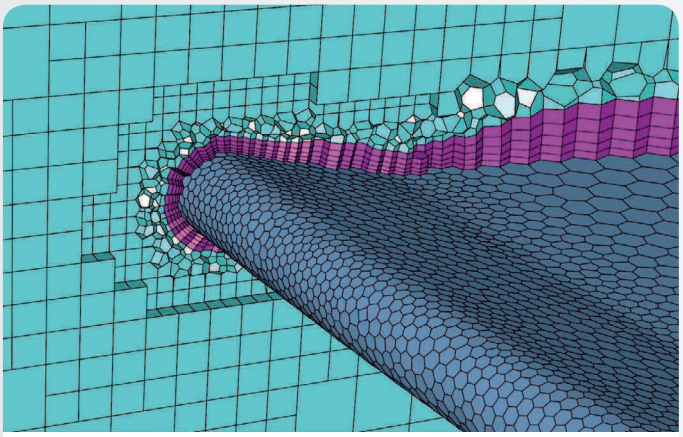
W kontekście Fluent Meshing warto również wspomnieć o opatentowanej przez firmę ANSYS technologii Mosaic. Algorytm ten potrafi spójnie łączyć siatkę polyhedralną z dowolnym innym typem elementu w obrębie jednej bryły. W wersji ANSYS 19.2 został oddany użytkownikom pierwszy z zapowiadanej serii algorytmów – Poly-Hexcore (rys. 5). Łączy on siatkę



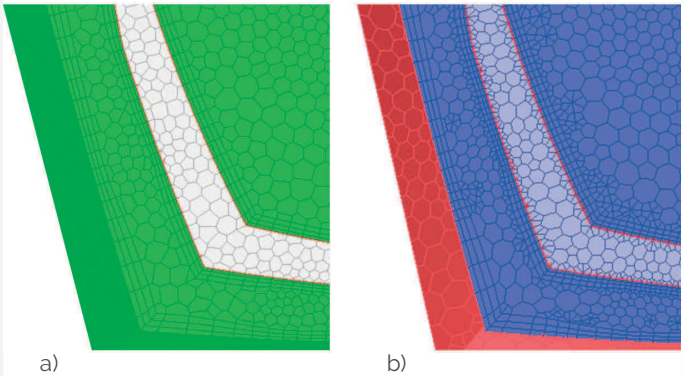
Rys. 4. *Sposób konwersji siatki tetrahedralnej (linie czerwone) na polyhedralną (linie czarne)*



Rys. 6. *Krawędź pominięta przy konwersji siatki*



Rys. 5. *Przykład siatki Poly-Hexcore*



Rys. 7. *Porównanie siatki: a) natywnej i b) konwertowanej*

polyhedralną generowaną przy ścianach modelu z algorytmem Hexcore tworzonym w środku objętości. Poly-Hexcore charakteryzuje się bardzo wysoką jakością elementów przy jednoczesnej redukcji ich liczby.

Na krawędzi jakości

Pracując na elementach polyhedralnych, należy pamiętać o kilku aspektach. Jednym z wyzwań podczas tworzenia siatek wielościennych są załamania na ostrych krawędziach.

W przypadku wystąpienia krawędzi algorytm siatkowania sprawdza kąt pomiędzy powierzchniami, które współdzielą krawędź. Jeżeli jest on większy niż założona tolerancja (domyślnie 30°), część z elementów na krawędzi zostaje podzielona, tak aby krawędź elementów leżała na krawędzi geometrii. Z kolei gdy kąt jest mniejszy, krawędź jest pomijana (rys. 6). To zjawisko użytkownik może oczywiście kontrolować kątem krytycznym.

W takich lokalizacjach należy też uważać na zdegenerowane elementy. Gdy rozmiar elementu na pomijanej krawędzi jest zbyt duży, mogą się pojawić elementy typu *left-handed*, które mają niepoprawną topologię. Warto po konwersji sprawdzić siatkę komendami Mesh Check i Mesh Quality.

Innym czułym punktem metody są wąskie szczeliny. Przy konwertowaniu siatki powinno się sprawdzać wszelkie przewężenia geometrii. Problem pojawia się przy niedostatecznie zagęszczonej siatce tetrahedralnej. Przy konwersji należy założyć, że elementy wielościenne mogą być o 30% większe niż tetrahedralne. Dodatkowo zmniejsza się liczba elementów, więc tam, gdzie między powierzchniami szczeliny przed konwersją były 2–3 elementy, może się okazać, że po konwersji zostaje tylko jeden.

Nie dotyczy to natywnego generowania siatki (rys. 7), gdyż w tym przypadku użytkownik wprost definiuje rozmiary docelowego elementu.

Jeżeli siatkę uzyskuje się na skutek konwersji, konieczne jest również zadbanie o możliwie wysoką jakość siatki bazowej. Polyhedra z zasady poprawia skośność siatek tetrahedralnych, jednak mocno skośne elementy blisko ścian mogą zostać zdegenerowane. Przyjmuje się, że siatka tetrahedralna powinna się charakteryzować maksymalną wartością skośności (*skewness*) na poziomie 0,9.

Gra o tron

Siatka wielościenna stanowi doskonałą alternatywę dla siatek tetrahedralnych. Charakteryzuje ją niższa liczba elementów, wyższa jakość i mniejsza dyfuzja numeryczna.

Polyhedra, jak każda metoda, ma też swoje słabe strony. Użytkownik musi zadbać o wystarczającą jakość elementów przed konwersją, kontrolować krawędzie modelu czy wąskie przestrzenie. Z kolei natywny algorytm oferuje siatkowanie tylko na jednym rdzeniu, w zupełnie nowym dla wielu użytkowników środowisku. Wydaje się jednak, że są to niewielkie koszty w porównaniu z zaletami tej metody.

Czy to oznacza, że już wkrótce pożegnamy siatki tetrahedralne? Zapewne nie. Mimo że sam pomysł elementu wielościennego nie jest nowy, to algorytm natywny czy Poly-Hexcore stawiają dopiero pierwsze (choć pewne) kroki. Niemniej – jak przekonują publikowane przez ANSYS porównania – wielość zalet, dynamiczny rozwój dostępnych narzędzi czy świeżo opatentowana technologia Mosaic świadczą, że jest to bardzo obiecująca metoda, nad którą z pewnością warto się pochylić.

Analiza aerodynamiczna przedniego skrzydła bolidu Formuły Student

Karolina Żuk • SKN PolSl Racing, Politechnika Śląska • karolina.zuk@racing.polsl.pl

Studenckie Koło Naukowe PolSl Racing w sezonie 2019 zaprezentuje nowy samochód wyścigowy. Jedną ze zmian wprowadzonych w porównaniu ze starym bolidem jest doposażenie pakietu aerodynamicznego w przednie oraz tylne skrzydło.

Najważniejszym kryterium, do którego dążono w czasie analizy, było uzyskanie jak największej siły docisku; redukcja siły oporu była kryterium drugorzędnym. Zdecydowano też, że przednie skrzydło ma się składać z dwóch płatów – głównego i dodatkowego, albo z trzech płatów – głównego i dwóch dodatkowych, przy czym profile płatów dodatkowych mają być jednakowe, ponieważ ułatwi to w późniejszym czasie ich wykonanie.

Jako najbardziej odpowiednie dla projektowanej konstrukcji wybrano profile (rys. 1):

- dla skrzydła głównego: NACA 6412, NACA 9418, EPPLER e63,
- dla skrzydła dodatkowego: EPPLER e423, Selig S1223, EPPLER 420.

Podczas analizy wykorzystano:

- model numeryczny CFD;
- dyskretyzację metodą objętości skończonych w schemacie wysokiej rozdzielczości;
- turbulencje: model SST, łączący zalety modelu k–ω Wilcoxa przy ścianach geometrii ze standardowym modelem k–ε, który lepiej się sprawdza w otwartej objętości;
- optymalizację wyników z zastosowaniem tzw. płaszczyzny odpowiedzi (*response surface optimization*), by znaleźć ustawienie parametrów charakterystycznych dla geometrii, dające najwyższą wartość siły docisku.

Stworzono macierz punktów eksperymentu metodą Central Composite Design. Do parametrów charakterystycznych dla każdej analizy dobierano zakresy, w których mogą one zmieniać swoje wartości.

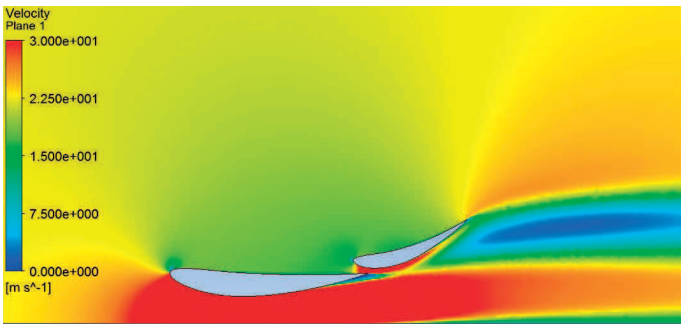
Wygenerowano powierzchnię odpowiedzi w oparciu o metodę Genetic Aggregation. Na drodze zaawansowanych algorytmów genetycznych tworzy ona populacje różnych powierzchni odpowiedzi, rozwiązywanych równolegle. Wygenerowana w ten sposób powierzchnia odpowiedzi może być powierzchnią pojedynczego typu lub kombinacją kilku typów powierzchni.

Do właściwej optymalizacji stworzonego metamodelu wybrano metodę ewolucyjnego algorytmu MOGA (Multi-Objective Genetic Algorithm). Naśladuje on biologiczny proces ewolucji. W każdej iteracji generowana jest populacja osobników (rozwiązań problemów), które z kolei są reprezentowane przez chromosomy będące wektorami zmiennych analizy. Każda następna generacja osobników jest tworzona z użyciem procesu selekcji lub krzyżowania. W tym kroku im lepsze przystosowanie mają dane osobniki, tym większą mają szansę na wybranie. Dodatkowo niektóre osobniki mogą ulec mutacji.

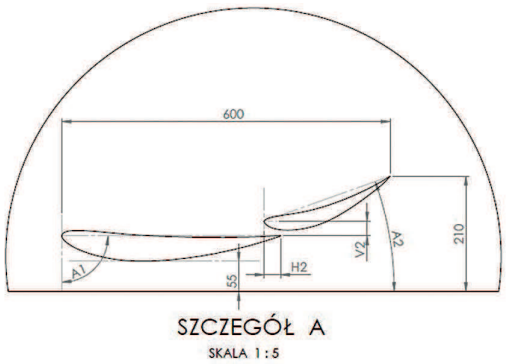
Analiza dwuwymiarowa

Rozpoczęcie analizy konstrukcji od analizy dwuwymiarowej dwóch płatów było o tyle korzystne, że siatka takiej geometrii jest relatywnie niewielka, co znacznie ułatwia i skraca obliczenia, a jednocześnie daje miarodajne wyniki.

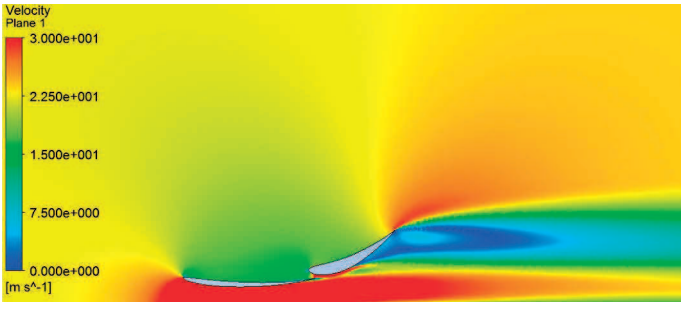
Stworzone geometrie optymalizowano w oparciu o parametry: kąta natarcia płata głównego A_1, kąta natarcia płata dodatkowego A_2 oraz szerokość i wysokość szczeliny pomiędzy płatami – H_2 i V_2. (rys. 2). Były to parametry kluczowe dla geometrii,



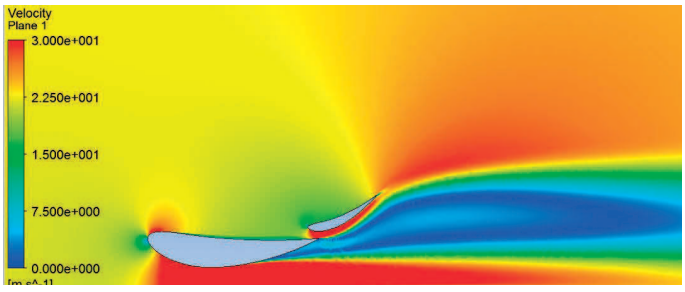
Rys. 1. *Rozkład prędkości dla badanego wariantu geometrii – NACA 6412 + EPPLER e423*



Rys. 2. *Podstawowe wymiary geometrii*



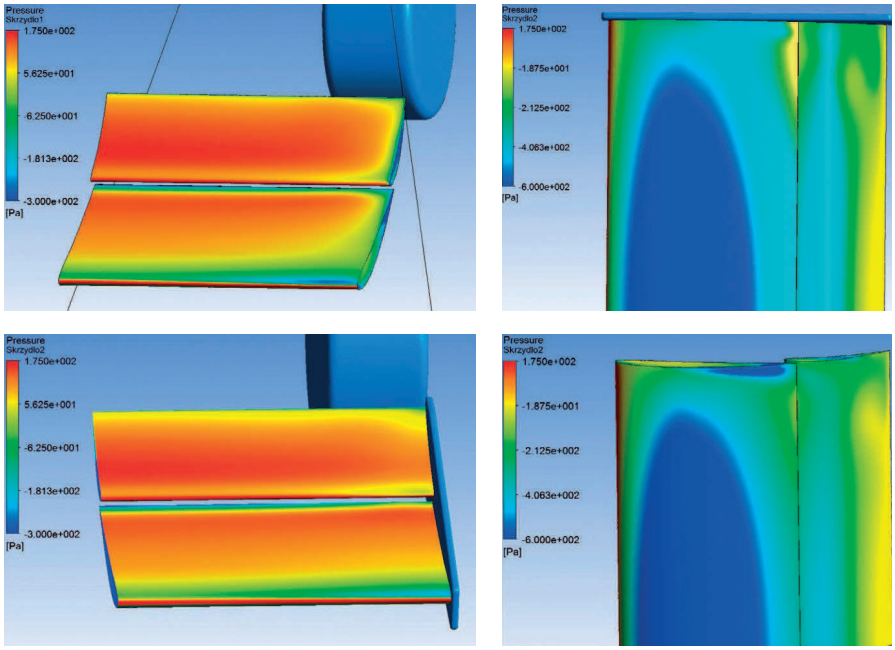
a)



b)

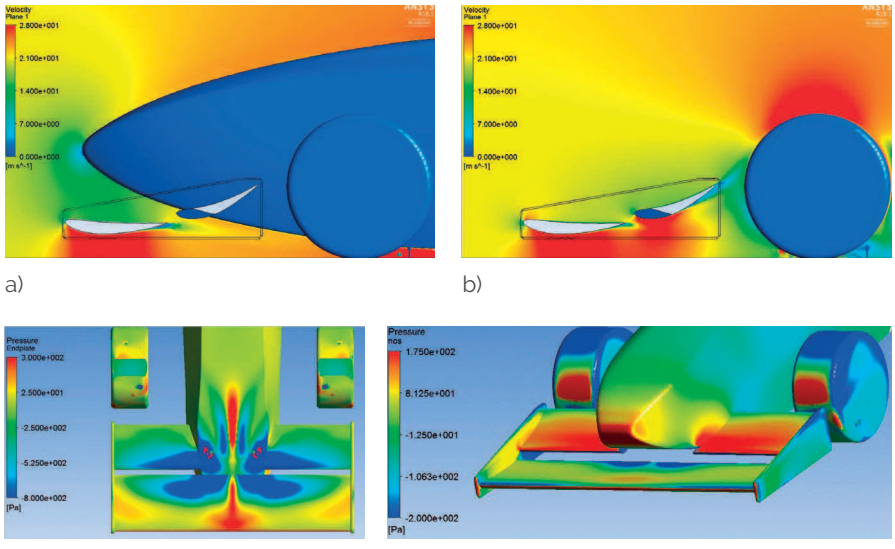
Rys. 3. *Rozkład prędkości dla odrzuconego wariantu geometrii: a) EPPLER e63 + EPPLER e423, b) NACA 9418 + EPPLER e423*

Płat główny	Płat dodatkowy	Siła docisku, N	Siła oporu, N	Stosunek *L/D*
NACA 6412	EPPLER e423	946,4	34,6	27,4
NACA 6412	2 × EPPLER e423	1172,2 [+24%]	64,4 [+86%]	18,2 [-33%]
NACA 6412	Selig S1223	891,0	54,8	16,3
NACA 6412	2 × Selig S1223	1175,9 [+32%]	92,8 [+69%]	12,7 [-22%]
NACA 6412	EPPLER 420	941,2	40,7	23,1
NACA 6412	2 × EPPLER 420	872,8 [-7%]	81,9 [+101%]	10,7 [-54%]



a) b)

Rys. 4. *Rozkład ciśnienia: a) na górnej stronie płatów (geometria bez płyty końcowej oraz z płytą końcową), b) na dolnej części płatów (geometria bez płyty końcowej oraz z płytą końcową)*



a) b)

c) d)

Rys. 5. *Rozkład prędkości: a) w płaszczyźnie symetrii geometrii, b) w płaszczyźnie ustawionej w połowie szerokości koła. Rozkład ciśnień: c) na dole geometrii, przedstawiony na powierzchniach elementów, d) na górze geometrii, przedstawiony na powierzchniach elementów*

ponieważ od nich zależy współoddziaływanie pomiędzy powierzchniami płatów.

Po problemach z generowaniem siatki odrzucono z dalszych analiz profil EPPLER e63. Nie spełniał on również wymagań stawianych promieniowi zaokrąglenia elementów, które mogą mieć kontakt z pieszymi. Wyeliminowano także profil NACA 9418, ponieważ na jego dolnej powierzchni następowało zbyt duże oderwanie strugi przepływającego powietrza (rys. 3).

W podobny sposób przeprowadzono analizę dwuwymiarową trzech płatów. Geometrię stworzono, modyfikując istniejące geometrie dwóch płatów poprzez dodanie drugiego profilu płata dodatkowego (tabela).

Przedstawione wyniki analizy geometrii dwóch i trzech płatów oraz ich optymalizacji prowadzą do wniosku, że należy porzucić dalsze rozważanie geometrii składającej się z trzech płatów, ponieważ dodanie dodatkowego profilu prowadzi do znacznego zwiększenia siły oporu, a jednocześnie nie daje zadowalająco wysokiego przyrostu wartości siły docisku.

Do analizy trójwymiarowej wybrano zatem geometrię złożoną z dwóch płatów: NACA 6412 i EPPLER e423.

Analiza trójwymiarowa

Analizę trójwymiarową, wariantową rozpoczęto od doboru płyty końcowej do konstrukcji dwóch płatów. Jej zastosowanie jest konieczne ze względu na późniejsze ułatwienie montażu skrzydła.

Analizowano geometrię bez płyty, by uzyskać odniesienie, oraz z trzema jej wariantami. Geometria z wybranym wariantem płyty końcowej wytwarza siłę docisku porównywalną z geometrią bez płyty, zmniejszając jednocześnie o około 10% wartość siły oporu. Użycie płyty końcowej wyrównuje również tworzenie obszaru nadciśnienia i podciśnienia na powierzchniach płatów, które zajmują teraz całą rozpiętość.

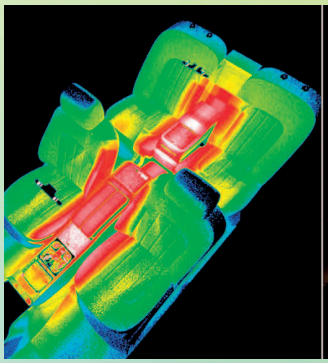
Na końcu przeprowadzono analizę z całą geometrią przodu bolidu – projektowanym przednim skrzydłem, nosem oraz kołami. Była ona uproszczona o brak geometrii zawieszenia przy kołach oraz odbicie lustrzane nosa za kołami. Chciano w ten sposób zniwelować wpływ silnych turbulencji, które wytworzyłyby się, gdyby zostawiono geometrię gwałtownie zakończonego nosa bez dalszej części poszycia bolidu.

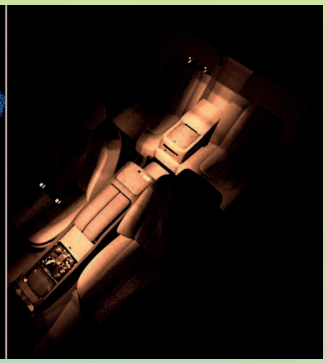
Uznano, że otrzymana wartość siły docisku 265,8 N jest poprawna i możliwa do osiągnięcia w warunkach rzeczywistych oraz satysfakcjonująca, gdyż generowane około 25 kg dodatkowego docisku będzie stanowiło około 10% wagi nowego bolidu. Zaprojektowana konstrukcja spełnia postawione wstępnie założenia oraz ograniczenia regulaminowe.

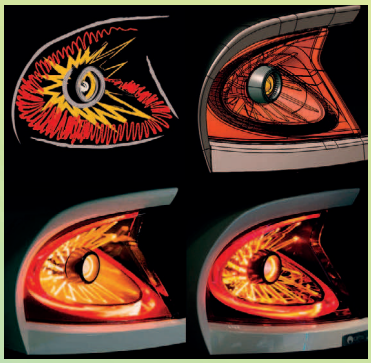
Nowa fizyka w ANSYS

Stanisław Wowra • MESco • swowra@mesco.com.pl

Firma ANSYS od ponad 40 lat nieustannie rozwija oferowane oprogramowanie, by dostarczać klientom rozwiązania z najwyższej półki. Dzięki stałemu wysokiemu poziomowi inwestycji w rozwój i kluczowym akwizycjom stała się największym dostawcą oprogramowania do symulacji na świecie (jest trzykrotnie większa od kolejnego konkurenta).







Od samego początku świat symulacji nie był dla inżynierów z firmy ANSYS płaski. Od prawie samego początku użytkownicy mogli modelować wytrzymałość, termikę, przepływy czy elektromagnetyzm. Nie bez znaczenia jest fakt, że przez lata flagowym produktem firmy była licencja ANSYS Multiphysics.

Jako lider na rynku firma ANSYS stale poszukuje nowych rozwiązań wytyczających trendy rozwoju. Ostatnie akwizycje pokazują, jak ważne są segment pojazdów autonomicznych, tworzenie krytycznego oprogramowania i druk 3D. Najnowsze przejęcie otwiera natomiast nowy rozdział w zakresie możliwych do zamodelowania fizyk.

Przejmując firmę OPTIS, ANSYS powiększył swoje portfolio o możliwość modelowania oświetlenia i pola widzenia – inaczej optyki. Jest to ważny element, składający się m.in. na narzędzia wykorzystywane w samochodach autonomicznych.

Oprogramowanie firmy OPTIS w dużej mierze jest wykorzystywane w branży automotive. Jego liczne moduły pozwalają na modelowanie pełnego zakresu zagadnień – zaczynając od symulacji rozchodzenia się światła od jego źródła do miejsca, które ma zostać podświetlone, na pełnym renderingu kończąc. Pozwala poprawnie zaprojektować geometrię kanałów, dobrać materiał, czy tak rozmieścić diody, aby uzyskać pożądany efekt w postaci np. równomiernego podświetlenia kokpitu, odpowiedniej barwy czy natężenia światła.

Kolejnym zastosowaniem jest modelowanie efektów podświetlania, np. kabiny samochodu. Można sprawdzić, jak zostaną oświetlone elementy wnętrza, czy światło będzie się np. odbijać na szybie, czy w końcu, jak padające z zewnątrz światło będzie operowało na projektowanych elementach.

Ten sam moduł można wykorzystać do projektowania oświetlenia zewnętrznego – lamp przednich i tylnych. Poza zasymulowaniem padania wiązek światła można użyć narzędzi do rzeczywistego renderingu, by zobaczyć, jak będzie się prezentowała np. lampa, zanim zostanie wyprodukowana.

Całość można dodatkowo wesprzeć rozwiązaniami z zakresu wirtualnej rzeczywistości. Przez gogle VR można oglądać swoje projekty wraz z pełnym renderingiem.

Ostatnią, lecz nie mniej ważną funkcjonalnością jest modelowanie urządzeń typu LIDAR (*light detection and ranging*), które do oceny odległości i detekcji używają światła. Jest to technologia wykorzystywana w samochodach autonomicznych.

Poza testowaniem nowych projektów urządzeń można także sprawdzić ich rozmieszczenie i pracę na wirtualnym torze jazdy.

Szeroka funkcjonalność i sprawdzona technologia gwarantująca poprawne wyniki zapewniły oprogramowaniu firmy OPTIS duże grono użytkowników. Do ponad 2500 firm korzystających z tych rozwiązań należą Audi, Mazda, Bentley, a także wielu dostawców OEM, np. TRW i Delphi. W Polsce jest już kilku użytkowników z branży automotive i spośród firm zajmujących się projektowaniem oświetlenia.

Wszystkich zainteresowanych zapraszamy na stronę producenta: www.optis-world.com.

Kolejny artykuł w tym dziale przedstawia przykład zastosowania opisywanego oprogramowania przez jednego z naszych klientów. Miłej lektury!

Symulacja i optymalizacja systemu optycznego ładowarki samochodowej typu HUB z wykorzystaniem programu SPEOS firmy OPTIS

Damian Łabusiewicz • damian.lab@o2.pl

Michał Ciesielski • michal.ciesielski1856@gmail.com

Symulacje komputerowe są już znane niemal w każdej gałęzi przemysłu, począwszy od branży kosmicznej, poprzez lotniczą, a skończywszy na okrętowej. Warto jednak wyróżnić bardzo dynamicznie rozwijającą się w Polsce i na świecie branżę automotive. Zrzesza ona wielu pasjonatów nowych technologii, konstruktorów, analityków, menedżerów projektu i innych fanów motoryzacji.

Symulacje inżynierskie w branży automotive są przede wszystkim kojarzone z metodą elementów skończonych, dzięki której można przedstawić takie zjawiska, jak: termika, dynamika, zmęczenie materiału, przepływ czy elektromagnetyzm. Nie stanowią one jednak całości zjawisk, które dostarcza dzisiejsza technologia.

Elementem rozwoju branży motoryzacyjnej są różnego typu podświetlenia. Nie sposób tu nie wymienić chociażby reflektorów samochodowych, które w dzisiejszych czasach w znacznej mierze są obsługiwane za pomocą nowoczesnych systemów optycznych (rys. 1), w których źródłem światła jest dioda LED.

To tylko mała część innowacji w branży automotive. Warto przyjrzeć się bliżej takim rozwiązaniom, jak: podświetlane listwy wykończeniowe, wyświetlacze HUD na szybach pojazdów, podświetlenie ambiente czy urządzenia komunikacyjne i ładowarki typu HUB.

W stronę światła

Kierunek rozwoju analiz komputerowych wyznaczyło wykorzystanie programów inżynierskich firmy ANSYS | OPTIS do symulacji zjawisk luminancji światła. Platforma, na której są wykonywane takie symulacje, nazywa się SPEOS i jest zintegrowanym modułem w pełni kompatybilnym z programem NX firmy Siemens.

Takie zestawienie narzędzi inżynierskich znacznie podnosi wydajność w trakcie projektowania złożonych elementów mechaniczno-optycznych. Owa konfiguracja pozwala również na płynne przełączanie się pomiędzy modułami, co skraca czas pracy.

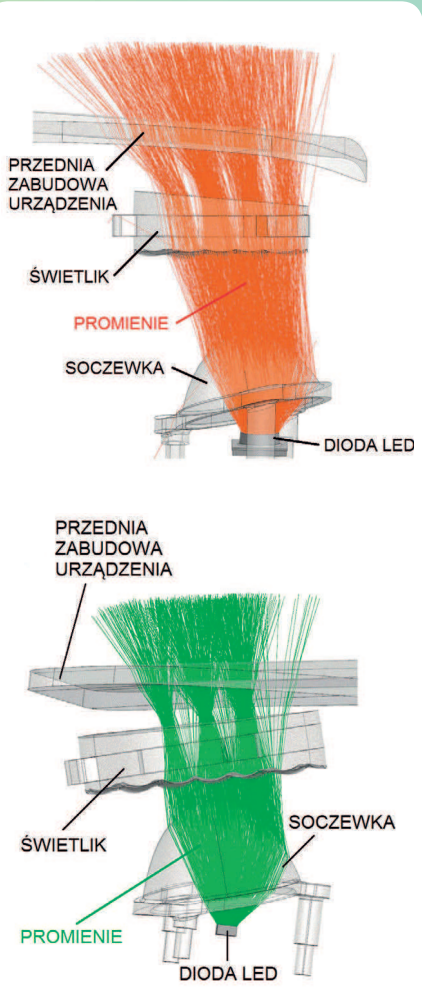
Cel projektu i przedmiot badań

Celem projektu było wykonanie symulacji podświetlenia dla systemu optycznego ładowarki samochodowej typu HUB i optymalizacja układu optycznego, by zapewnić odpowiednią homogeniczność podświetlenia i intensywność koloru piktogramu funkcyjnego.

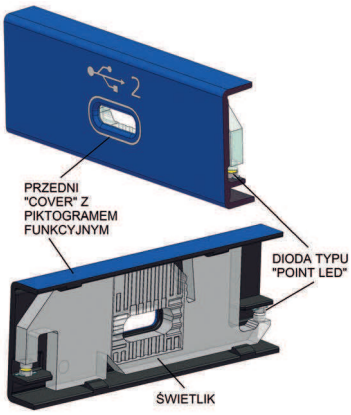
W artykule przedstawiono innowacyjną metodę symulacji propagacji promieni światła w geometrii 3D systemu optycznego typu dioda LED–świetlik––element zabudowy ładowarki (rys. 2). Zatem przedmiotem badań była analiza luminancji i natężenia piktogramu funkcyjnego.

Propagacja światła – interaktywna symulacja

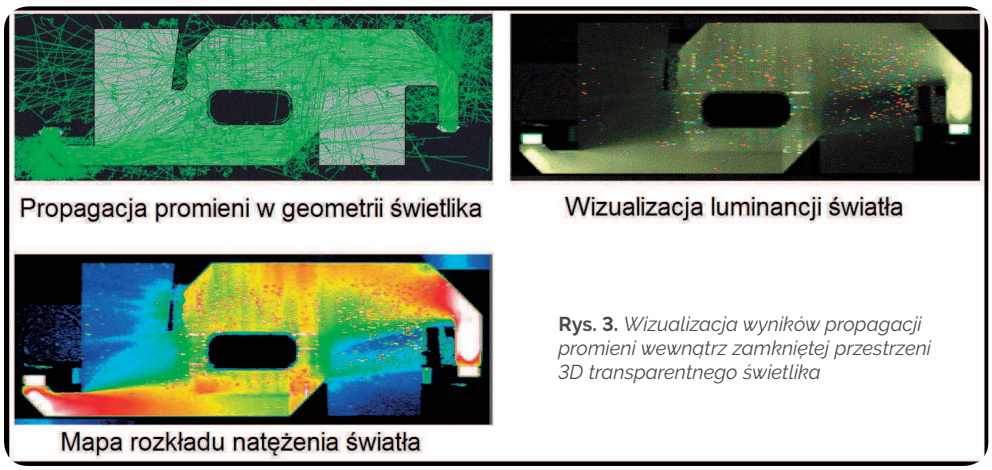
Na potrzeby symulacji użyto solvera typu *interactive*. Takie rozwiązanie daje dużą elastyczność podczas optymalizacji modeli świetlików lub światłowodów. Działa to na zasadzie propagacji promieni ze źródła (np. diody LED, żarówki) i obserwowania promieni w analizowanej geometrii. Można rzec, że gdy załączana jest dioda LED, wychodzące z niej promienie trafiają do przestrzeni geometrycznej i odbijają się pod różnymi kątami od napotkanych załamanych ścianek. Na skutek tego propagują światło w określonym kierunku z różną intensywnością (rys. 3).



Rys. 1. *Przykładowe systemy optyczne typu dioda LED–soczewka–świetlik––element zabudowy urządzenia*



Rys. 2. *Model 3D systemu optycznego analizowanego urządzenia typu HUB*



Rys. 3. *Wizualizacja wyników propagacji promieni wewnątrz zamkniętej przestrzeni 3D transparentnego świetlika*

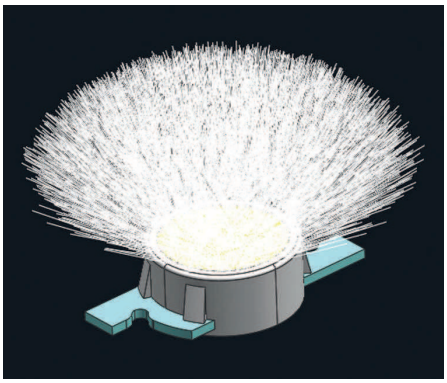
Za pomocą interaktywnej symulacji nie można zmierzyć ilości światła, ale jest ona doskonałym narzędziem, by uzyskać wizualną informację zwrotną o propagacji promieni. Ten typ symulacji jest bardzo przydatny, by zrozumieć, w jaki sposób modyfikacja wybranej części w projekcie zmienia zachowanie optyczne układu [1].

Właściwości optyczne i charakterystyka diody LED

Nieodłącznym etapem każdej symulacji jest dobór materiałów na poszczególne części w projekcie. Inżynier musi mieć przy tym na uwadze to, że dane charakterystyki materiałowe powinny mieć zdefiniowane właściwości optyczne, takie jak refrakcja światła, absorpcja, odbicie; bardzo istotna jest również przepuszczalność światła, wyrażona w procentach według teorii Gaussa lub Lamberta.

Ważne jest też to, żeby właściwości optyczne danego materiału były przypisane do objętości i na powierzchnię danej części w projekcie. Mówiąc prościej: w projekcie jest konieczność wybrania właściwości dla SOP i VOP (*surface optical properties, volume optical properties*). W analizowanym przypadku dla układu optycznego typu dioda LED––świetlik–element zabudowy (przedni cover urządzenia) zostały wybrane materiały o właściwościach optycznych podanych w tabeli I.

Kolejnym krokiem na drodze do wykonania poprawnej symulacji jest dobór źródła światła i jego odpowiedniej charakterystyki. Do tego celu wykorzystano białą diodę LED, a jej spektrum długości



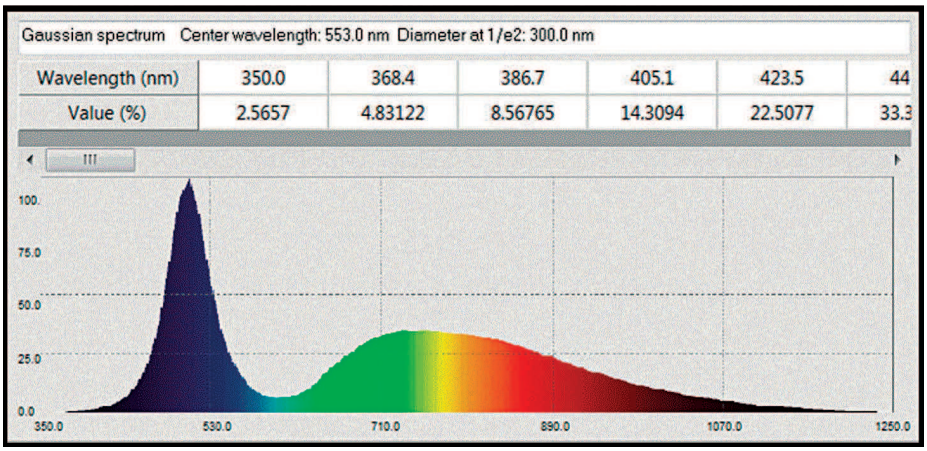
Rys. 4. *Model 3D diody typu point LED z wizualizacją propagacji promieni*

Tabela I. *Właściwości optyczne wybranych części*

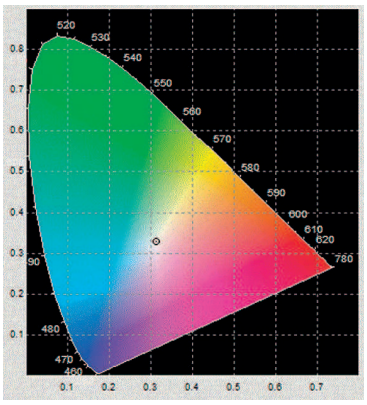
Nazwa części	VOP	SOP
dioda LED	nieprzepuszczający	biały lakier
świetlik	transparentne PC o przepuszczalności 90%	optyczny poler
przedni cover	białe PC o przepuszczalności 9,5%	czarny lakier

Tabela II. *Charakterystyka diody*

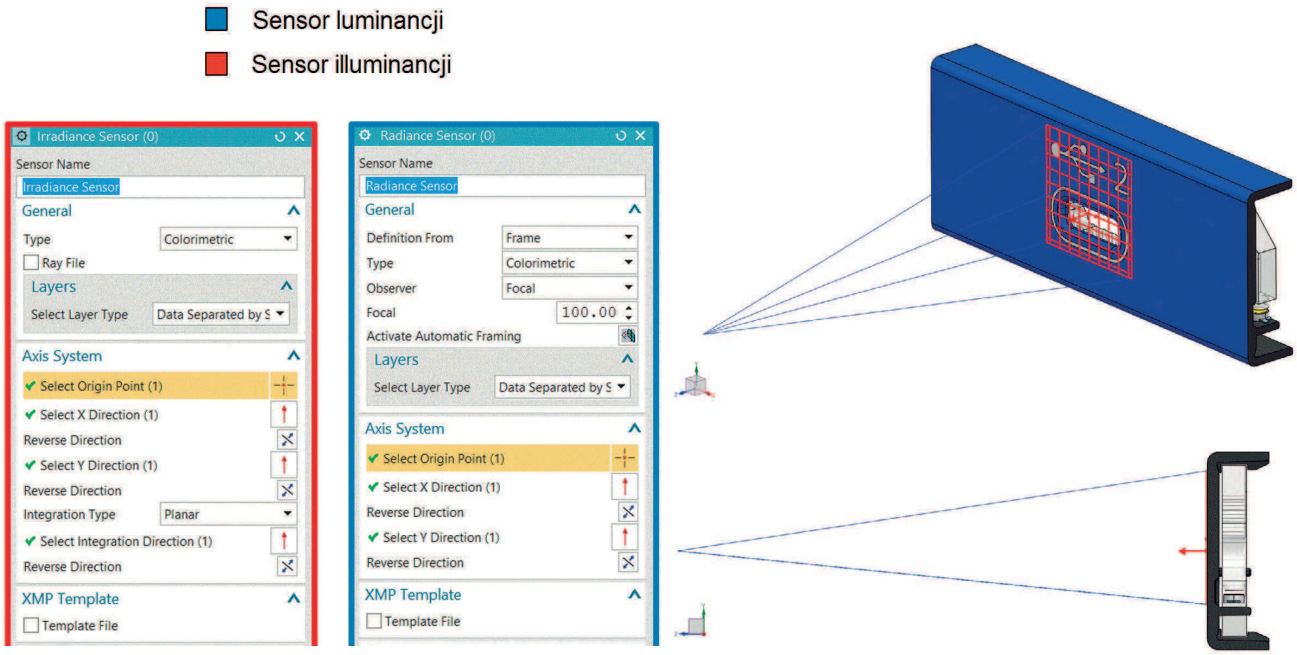
Typ diody	Kolor	Binacja	Strumień świetlny
point led	biały	IKO	ϕv = 3,78 lm



Rys. 5. *Rozkład Gaussa dla spektrum długości fali białej diody LED*



Rys. 6. *Wykres chromatyczności barw ze wskazaniem punktowym dla współrzędnych koloru*



Rys. 7. *Definiowanie ustawień sensorów dla powierzchni piktogramu funkcyjnego ładowarki*

fali według teorii Gaussa i współrzędne koloru (rys. 5 i 6) zaimplementowano w programie SPEOS jako *imput file*.

Charakterystyki poszczególnych materiałów, diod LED i innych źródeł światła są dostępne na stronie firmy OPTIS (*portal.optis-world.com/portal/libraries/libraries.asp*). Szczegóły dotyczące charakterystyki diody zostały podane w tabeli II.

Na rys. 4 przedstawiono model 3D diody LED z wizualizacją propagujących promieni światła.

Sensory w układach optycznych

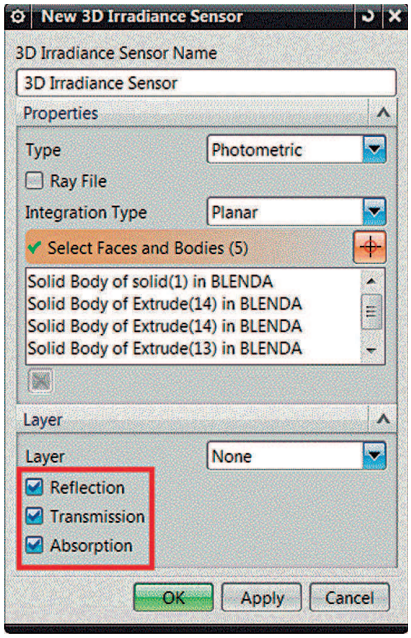
Sensor optyczny można porównać do obiektywu kamery przeznaczonej do pomiaru ilości światła. Sensory w symulacji to inaczej czujniki, których zadaniem jest wyłapywanie promieni z układów optycznych badanych urządzeń.

Wyróżnia się trzy podstawowe typy sensorów. Dwa z nich dają możliwość wyświetlania wyników na powierzchniach:

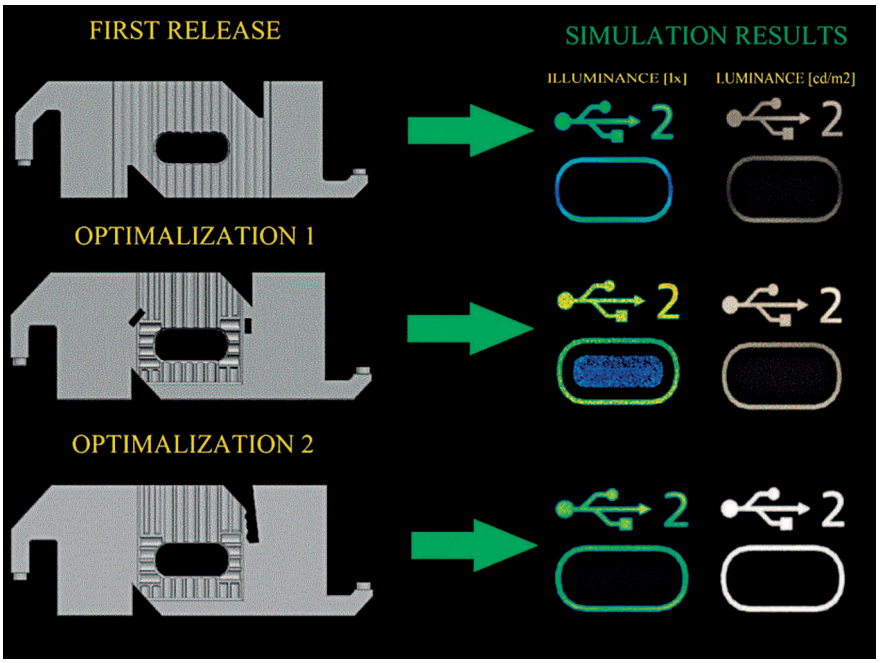
- *radiance (luminance) sensor* – umożliwia wyświetlanie wyników w postaci luminancji w jednostkach [cd/m^2],
- *irradiance (illuminance) sensor* – umożliwia wyświetlanie wyników w postaci natężenia w jednostkach [lux] [2].

Trzeci typ sensora – *3D irradiance sensor* – może wyświetlać wyniki (mapy konturowe) na modelach 3D. W przypadku skomplikowanych systemów optycznych, z wieloma elementami, jest opcja wybrania kilku powierzchni bądź części w projekcie. Mapy konturowe są wyświetlane na powierzchniach w przestrzeni 3D.

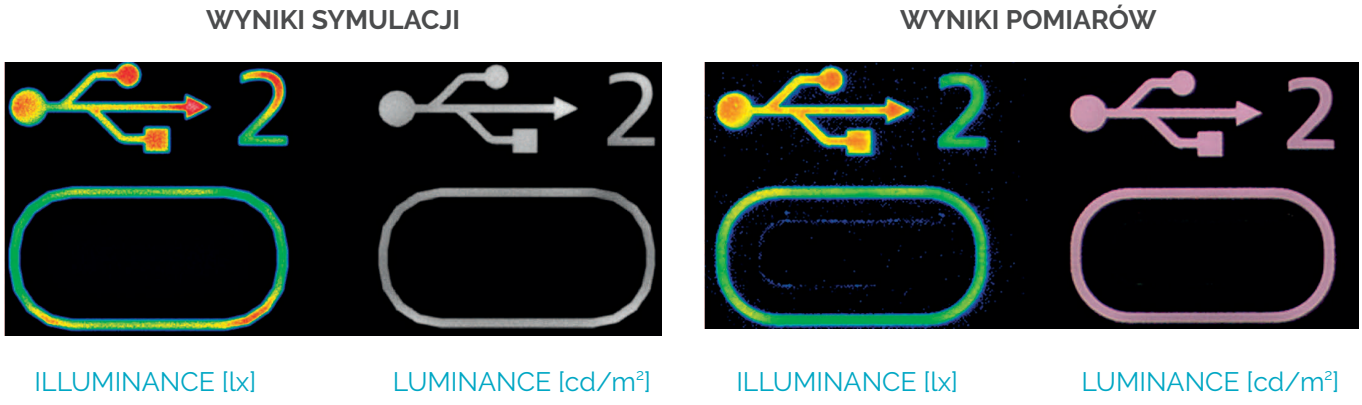
Bardzo łatwo zauważyć, jak współpracujące elementy, np. PCB, absorbują, transmitują bądź odbijają światło wychodzące z diody LED. Sensor ten daje również możliwość zmierzenia natężenia i luminancji na wskazanych powierzchniach i – co najważniejsze – rejestruje promienie, które odbijają się we wszystkich kierunkach. Takie rozwiązanie pozwala uniknąć wielu problemów już



Rys. 8. *Okno ustawień sensora 3D Irradiance*



Rys. 9. *Kolejne pętle optymalizacyjne świetlika wraz z wynikami natężenia i luminancji*



Rys. 10. *Wizualizacja wyników pomiaru luminancji i natężenia dla pomiarów rzeczywistych i z symulacji*

na wstępnym etapie projektowania kompletnego urządzenia wraz z PCB i elementami elektronicznymi.

W projekcie wykorzystano dwa typy sensorów (rys. 7 i 8).

Optymalizacja geometrii świetlika wspomagana solverem Direct

Solver Direct jest używany, by otrzymać mierzalne wartości luminancji z wykorzystaniem bardzo dużej liczby promieni propagujących z diody LED (rzędu kilku miliardów). Można rzec, że jest to etap zaawansowany, w którym sama analiza śledzenia promieni w geometrii jest niewystarczająca i istnieje potrzeba wyświetlenia dokładnych pomiarów luminancji.

Światło ma w rzeczywistości nieskończoną liczbę promieni. Bardzo ważne jest wykorzystanie w symulacji jak największej ich części. Dzięki temu wyniki są bardzo zbliżone do tych otrzymanych podczas testów podświetlenia. Analiza wyników wykonana w solverze Direct umożliwia wyświetlenie na powierzchni map konturowych 2D, z których bezpośrednio odczytuje się poziom natężenia i luminancji światła.

Optymalizacja świetlika odbywała na zasadzie zmian geometrycznych, które miały na celu równomiernie podświetlenie piktogramu urządzenia. Dla badanego świetlika wystarczające było wykonanie dwóch pętli optymalizacyjnych, żeby odpowiednio doświetlić piktogram funkcyjny urządzenia (rys. 9).

Analiza wyników – symulacja *versus* rzeczywistość

Oczywiście symulacje powinny znaleźć odbicie w rzeczywistości podczas badań eksperymentalnych. Badania podświetlenia przeprowadza się w specjalnym zaciemnionym pomieszczeniu, a wyniki w postaci obrazu luminancji w środowisku rzeczywistym rejestruje się na wyspecjalizowanej wysokiej klasy kamerze LMK (Luminanz Messung Kamera). Dzięki zastosowaniu przetwornika RGB możliwy jest pomiar luminancji oraz barwy.

Na rys. 10 porównano wyniki luminancji i natężenia z pomiarów rzeczywistych i symulacji, uzyskane w programie SPEOS.

Wnioski z analiz i symulacji

Przeprowadzone optymalizacje wykazały znaczną poprawę propagacji promieni w geometrii, co w dużym stopniu wpłynęło na jednorodność podświetlenia piktogramu na przedniej zabudowie urządzenia typu HUB. Po analizach luminancji piktogramów porównano wyniki eksperymentalne i z symulacji. Badania wykazały wysoką zbieżność między nimi.

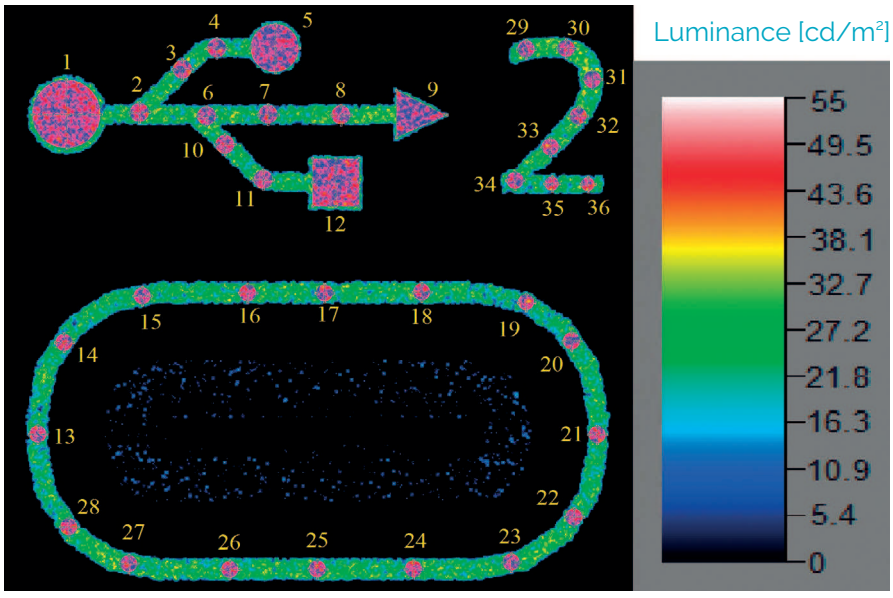
Opisane wyniki przedstawiają tylko wizualizację luminancji i natężenia bez ich mierzalnych wartości. W celu pokazania mierzalnych wartości luminancji dla rzeczywistych i symulowanych piktogramów należałoby zdefiniować jeszcze punkty pomiarowe wybranych obszarów piktogramu i odczytać ich wartości w jednostce [cd/m²] (rys. 11).

Podsumowanie

Analiza numeryczna to cenione na całym świecie narzędzie, pozwalające na skrócenie czasu pracy oraz poznanie zjawisk, których badanie eksperymentalne jest czasami niemożliwe. Możliwości, jakie dają tego typu analizy, wykorzystuje się nawet przy konstruowaniu bardzo skomplikowanych urządzeń, także wtedy, gdy brak jest określonych wymagań klienta, zwłaszcza jeżeli dotyczy to zagadnień związanych z podświetleniem.

LITERATURA

1. SPEOS for NX Light & Human Vison Simulation User Guide 2016.
2. OPTIS Training SPEOS for Nx – Photometry User Guide 2014.



Rys. 11. *Przykładowe punkty pomiarowe dla obszaru funkcyjnego piktogramu*

Modelowanie materiałów sypkich w Rocky DEM

Adrian Bartoszewicz • MESco • abartoszewicz@mesco.com.pl

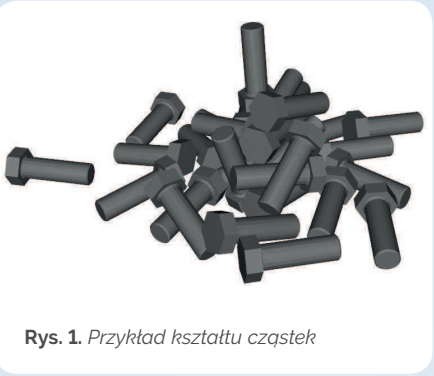
Dostępne rozwiązania pozwalają na przeprowadzenie symulacji DEM z założeniem sferyczności cząstek. Oprogramowanie Rocky DEM wychodzi naprzeciw oczekiwaniom współczesnego przemysłu, dostarczając proste w obsłudze narzędzie do modelowania dowolnego kształtu cząstek. Kształt i rozmiar cząstek można dobrać z katalogu lub wczytać jako plik STL, co daje praktycznie nieograniczone możliwości pod tym względem. Co więcej, Rocky DEM umożliwia również wykorzystanie produktów ANSYS do symulacji mechanicznych lub przepływowych poprzez jedno- albo dwukierunkowe połączenie.

Metoda DEM

Metoda DEM polega na bezpośrednim śledzeniu cząstek jako elementów dyskretnych. To zapewnia dokładniejsze modelowanie oddziaływań cząstek na siebie i na ściany zawarte w geometrii. Rocky DEM uwzględnia również parametry materiałowe cząstek oraz sposób ich niszczenia.

Dodatkowo program pozwala na analizę zużycia materiału oraz wymianę ciepła między cząstkami a ścianami, a w połączeniu z programem Fluent – na wymianę ciepła z płynem.

Rocky DEM wyróżnia się na tle konkurencji dowolnością kształtowania cząstek. Możliwy jest wybór cząstek z bogatej biblioteki albo użycie własnej geometrii w formacie STL (rys. 1), co w połączeniu z możliwościami inżynierii odwrotnej pozwala na dokładniejsze odwzorowanie zachodzących procesów.



Rys. 1. *Przykład kształtu cząstek*

CFD – DEM coupling

W przedstawionym przykładzie wykorzystano dwukierunkowe połączenie programu Rocky DEM oraz ANSYS Fluent 18.2 do symulacji zamrażania owoców. Zamrażanie odbywa się na sicie wibracyjnym poprzez przepływ zimnego powietrza od spodu sita (rys. 2).

Ruch cząstek oraz sita został zadany w programie Rocky DEM, natomiast przepływ powietrza był rozpatrywany w programie ANSYS Fluent 18.2. Rocky DEM pozwala na uproszczenie procesu obliczeń i wykorzystanie jako pliku wejściowego geometrii pliku CAS, wygenerowanego w programie ANSYS Fluent. Ponadto każdy ruch siatki zapisany w pliku CAS zostanie przypisany do odpowiedniej geometrii w programie Rocky DEM.

Dodatkową zaletą jest możliwość symulacji ruchu geometrii bez jej fizycznego przemieszczenia. Odbywa się to poprzez zdefiniowanie ruchu w programie Rocky DEM, a następnie wybranie opcji Keep in place. Powoduje to, że na węzłach wybranej geometrii przekazywana jest cząstkom informacja o prędkości bez fizycznego przemieszczenia geometrii. Jest to niezwykle przydatne np. w modelowaniu skomplikowanej geometrii przenośników taśmowych (rys. 3).

DEM – FEM coupling

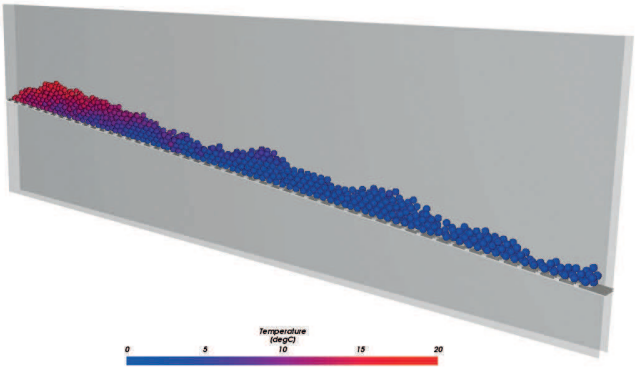
Możliwości wykorzystania kodu Rocky DEM do symulacji obciążeń mechanicznych przedstawiono na przykładzie napełniania wagonu kolejowego. Wykorzystano tu połączenie z programem ANSYS Mechanical 18.2.

Konstrukcja wagonu została uproszczona do powierzchni wewnętrznych, a obciążeniem działającym na te powierzchnie były cząstki spadające do wnętrza wagonu. Symulacja pozwoliła na zbadanie nie tylko naprężeń i odkształceń wynikających z rozmieszczenia masy wewnątrz wagonu, lecz także zmienności tych parametrów w czasie napełniania (rys. 4–5).

Warto wspomnieć, że geometrią importowaną do programu Rocky DEM może być plik MSH, czyli siatka numeryczna wykorzystana w symulacji mechanicznej. Pozwala to na zachowanie spójnej siatki i jednakowego pola ciśnienia dla obu symulacji – DEM oraz FEM. Kolejną zaletą takiego rozwiązania jest spora oszczędność czasu pracy, ponieważ nie ma potrzeby generowania dodatkowej siatki do symulacji DEM.

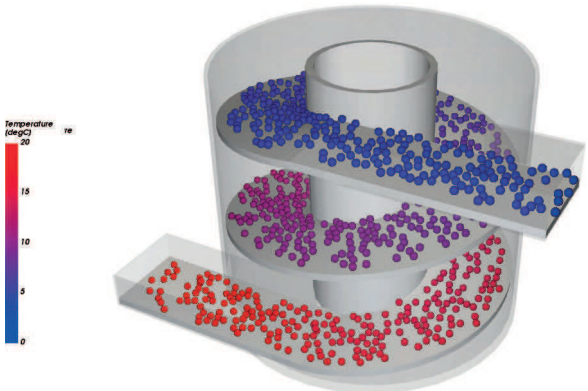
Modelowanie procesu mieszania

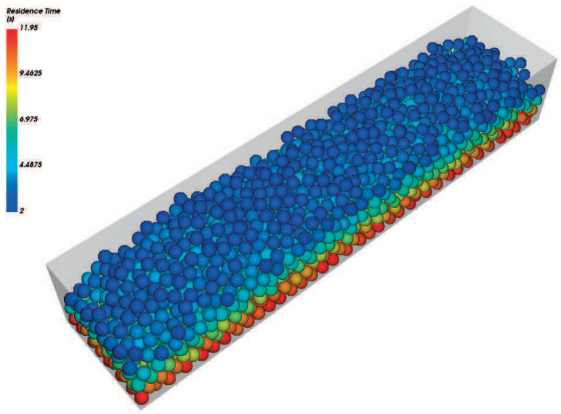
Na przykładzie złoża fluidalnego zaprezentowano możliwości wykorzystania programu Rocky DEM do modelowania zjawiska mieszania (rys. 7). W przeciwieństwie do powszechnie stosowanych metod, DEM umożliwia dokładne śledzenie poszczególnych cząstek lub całych grup.



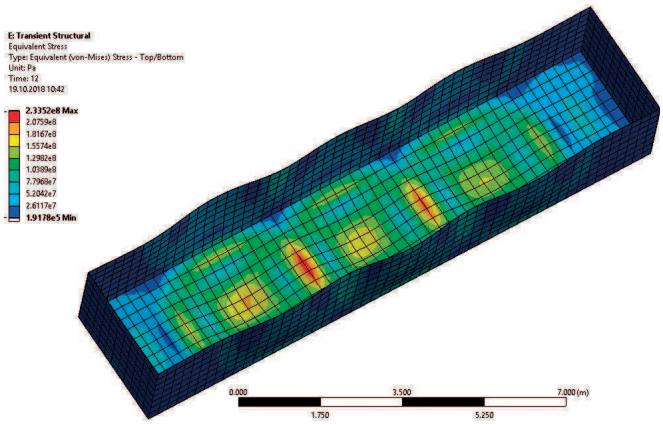
Rys. 2. *Chłodzenie na sicie wibracyjnym*

Rys. 3. *Przykład trasy przenośnika taśmowego*

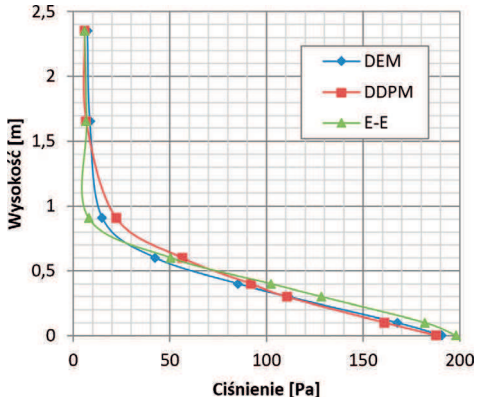




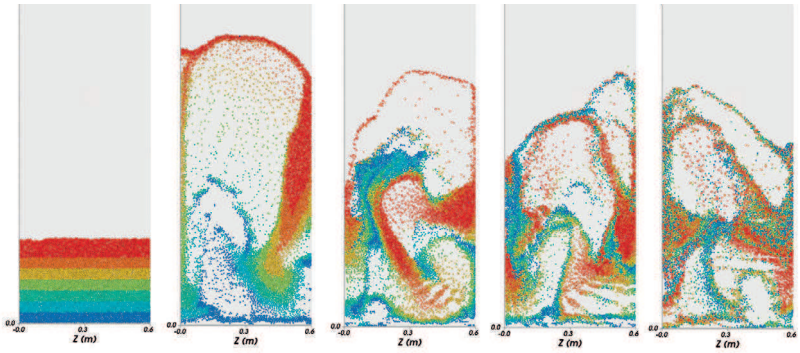
Rys. 4. *Napełnianie wagonu cząstkami w programie Rocky DEM*



Rys. 5. *Analiza naprężeń powstałych w wyniku napełniania*



Rys. 6. *Rozkład ciśnienia na wysokości złoża*



Rys. 7. *Proces mieszania w złożu fluidalnym*

W przedstawionym przykładzie złoże w stanie początkowym podzielono na osiem części, a poszczególnym cząstkom przypisano przynależność do danej grupy w wybranym momencie symulacji (tutaj: stan początkowy). Następnie aktywowano połączenie z programem ANSYS Fluent 18.2 w celu symulacji procesu fluidyzacji.

Należy pamiętać, że wszystkie operacje post-processingu mogą być wykonywane i zapisywane w trakcie obliczeń, włączając w to możliwość renderowania animacji.

Do walidacji wyników obliczeń wykorzystano doświadczenie w modelowaniu złóż fluidalnych z użyciem metody Euler–Euler oraz hybrydowej metody Euler–Lagrange (model DDPM). W badanej domenie wyznaczono powierzchnie pomiarowe, na których mierzono spadek ciśnienia złoża jako średnią po czasie i powierzchni. Wyniki tej symulacji przedstawiono na rys. 6. Jak łatwo zauważyć, wszystkie metody dały porównywalne wyniki spadku ciśnienia, będącego podstawowym parametrem walidacji obliczeń numerycznych złóż fluidalnych.

Zasadniczą przewagą metody CFD–DEM, z wykorzystaniem programu Rocky DEM, jest możliwość wyboru, jakie zasoby ma obciążyć dany program. W trakcie symulacji program Rocky DEM wykonywał obliczenia, obciążając jednostkę GPU, natomiast Fluent – jednostkę CPU. Takie rozwiązanie przyspiesza obliczenia ze względu na brak konieczności współdzielenia zasobów pomiędzy programami.

CZY JESTEŚ GOTOWY DO SYMULACJI?

Rodzina stacji roboczych HP serii Z

Zapytaj nas o Twoją konfigurację!

MESCO ANSYS

Preferred Partner

Wybierając połączenie HP i ANSYS – wybierasz zwycięską kombinację

HP Z4 G4:
procesor 6C: Intel Xeon W-2133 3.6Ghz 2666MHz
pamięć RAM: 32GB DDR4-2666MHz ECC (max do 256GB)
grafika: nVidia QUADRO P1000 (RAM 4GB)
dyski: 256GB SSD Z-TurboDrive + 1TB 7.2krpm
OS: Windows 10 Pro 64 Workstations Plus POL
gwarancja: 3 lata, onsite, Next Business Day

cena netto: 2550,- €

HP Z8 G4:
2 procesory 8C: Intel Xeon 6134 3.2Ghz 2666MHz
pamięć RAM: 96GB DDR4-2666MHz ECC (max do 3TB)
grafika: nVidia QUADRO P4000 (RAM 8GB)
dyski: 1TB SSD Z-TurboDrive + 2x 4TB 7.2krpm Ent.(RAID)
OS: Windows 10 Pro 64 Workstations Plus POL
gwarancja: 3 lata, onsite, Next Business Day

cena netto: 9900,- €

Rozwiązania chmurowe w symulacjach numerycznych

Adam Łokieć • MESco • alokiec@mesco.com.pl

O rozwiązaniach chmurowych w zastosowaniach informatycznych można było usłyszeć już parę lat temu. Pierwsze takie rozwiązania powstały raczej z myślą o obróbce dużej ilości danych, np. baz danych (w tym serwery www), dokumentów, magazynów danych. Obecnie rozwiązania chmurowe stają się coraz bardziej ukierunkowane na zastosowania specjalistyczne. Należą do nich obliczenia numeryczne, dla których rezerwuje się odpowiedniej klasy serwery oraz infrastrukturę sieciową, mogącą podołać najbardziej wymagającym zadaniom.

Gdy rozmawiam z użytkownikami (m.in. ANSYS), często napotykam błędne przekonania, w tym wątpliwości typu: *Czy moja symulacja jest bezpieczna w chmurze? Czy muszę zakupić specjalne licencje? Czy potrzebuję dodatkowej osoby w IT, aby uruchomić ANSYS w chmurze? Zarządzanie danymi (projekt, wyniki) w chmurze jest skomplikowane* itp.

Chciałbym odpowiedzieć na te pytania oraz przybliżyć ideę działania chmury obliczeniowej.

Elastyczność

Do podstawowych zalet chmury obliczeniowej należą elastyczność i dostępność na żądanie (*on-demand*). Oznacza to, że można zarezerwować tyle zasobów, ile potrzeba w danej chwili. Jedyne ograniczenia to dostępność licencji, skalowalność modelu oraz... budżet. Jeśli zajdzie taka konieczność, zwiększenie zasobów dla projektu może trwać jeden dzień, a nie miesiąc.

Nie potrzeba dodatkowej osoby do administrowania całą infrastrukturą IT (serwerami bądź klastrem). Nie trzeba się martwić amortyzacją nietaniego sprzętu komputerowego. Dodatkowo można pracować zdalnie, z dowolnego komputera (terminala), gdyż wszystkie dane projektu są (mogą być) w chmurze.

Użytkownik może jednocześnie korzystać z infrastruktury firmowej lub infrastruktury w chmurze. Może również mieszać zasoby infrastruktury własnej z infrastrukturą w chmurze. Dotyczy to zarówno zasobów sprzętowych, jak i licencyjnych.

Zalet wykorzystania chmury obliczeniowej jest więc wiele, ale co np. z bezpieczeństwem danych?

Bezpieczeństwo

Partnerzy ANSYS, udostępniający zasoby HPC w chmurze obliczeniowej, przywiązują dużą wagę do bezpieczeństwa danych. Jest to potwierdzone wieloma certyfikatami (m.in.: ITAR, HIPAA, CSA, SSAE 16), gwarantującymi m.in. szyfrowane połączenia, obsługę wykwalifikowanego personelu 24 godz./dobę, zapewniającą ciągły monitoring, z dostępem wymagającym co najmniej dwóch poziomów autoryzacji (biometrycznej, karty, klucza).

ANSYS współpracuje z wieloma partnerami, którzy są w stanie dostarczyć usługi chmurowe – zarówno pod kątem sprzętowym, jak i licencji. Do największych należą: CADFEM Cloud, Rescale, Nimbix, Penguin Computing i UberCloud.

Aktualne dane na temat partnerów ANSYS w rozwiązaniach chmurowych znajdują się na stronie: www.ansys.com/cloud-partners

Modele licencyjne

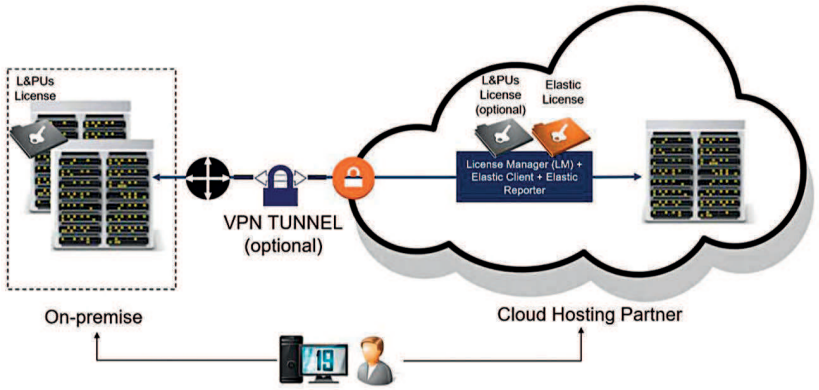
Jedną z opcji skorzystania z chmury obliczeniowej jest użycie własnych licencji ANSYS i posiłkowaniem się jedynie zasobami sprzętowymi dostawcy zewnętrznego (*public cloud provider*).

Drugą opcją jest skorzystanie w pełni z usług hostingowych jednego z oficjalnych partnerów ANSYS, również z użyciem licencji typu ANSYS Elastic Units (ale o tym dalej).

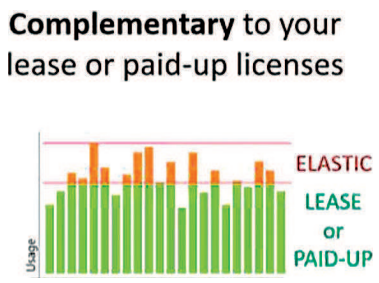
W przypadku korzystania z dodatkowych licencji ANSYS (w tym licencji ANSYS HPC) w środowisku chmury użytkownik może wybrać najbardziej odpowiadający mu model opłaty za licencje:

- *pay-per-use* – czyli płać tyle, ile zużyjesz (opcja najdroższa w przeliczeniu na czas symulacji, natomiast dająca największą elastyczność),
- krótkoterminową dzierżawę licencji,
- licencję stałą lub roczną dzierżawę (to najtańsze opcje w przeliczeniu na czas symulacji).

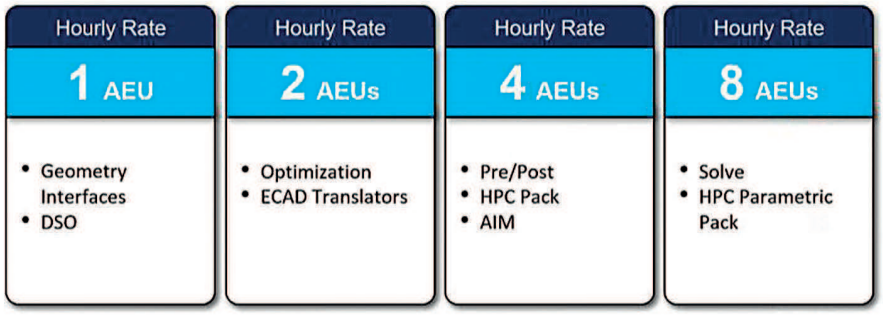
O ile zakup lub dzierżawa licencji są stosowane od dawna, na uwagę zasługuje model *pay-per-use*, czyli ANSYS Elastic Licensing Model.



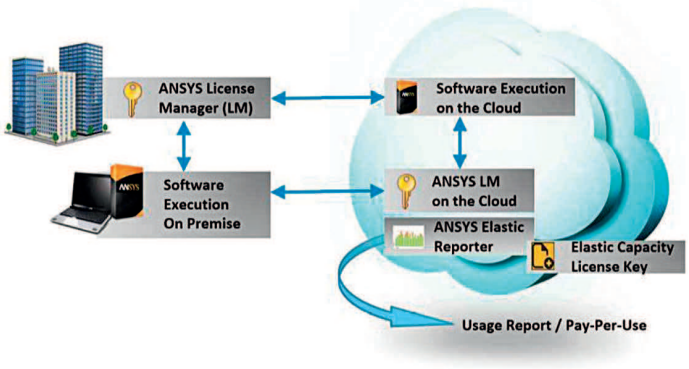
Rys. 1.



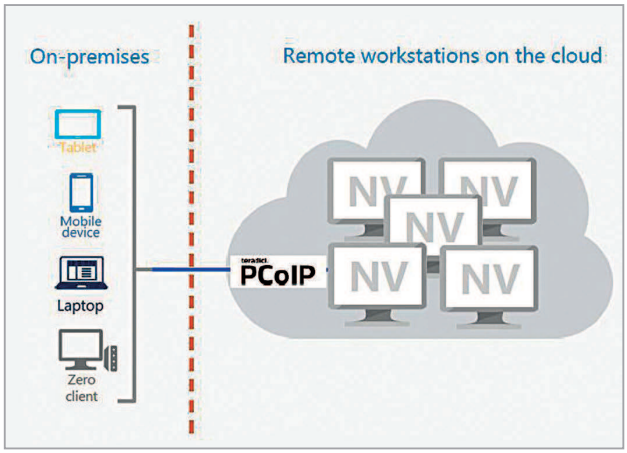
Rys. 2.



Rys. 3.



Rys. 4.



Rys. 5.

ANSYS Elastic Licensing Model

W opcji *pay-per-use* użytkownik może skorzystać z tzw. licencji wirtualnych (dostępnych jedynie w otoczeniu chmury) – ANSYS Elastic Licensing (AEUs).

Elastyczny sposób licencjonowania jest oparty na systemie czterech koszyków, podzielonych według modułów ANSYS, i rozliczany jest godzinowo (rys. 3).

Przykładowy sposób wykorzystania modelu licencjonowania oparty na jednostkach AEUs przedstawiono na rys. 2.

Użytkownik ma pełną kontrolę nad ilością zużytych jednostek AEUs.

Opcje chmur

Istnieje kilka rozwiązań chmurowych wspieranych przez ANSYS. Dwa najważniejsze to:

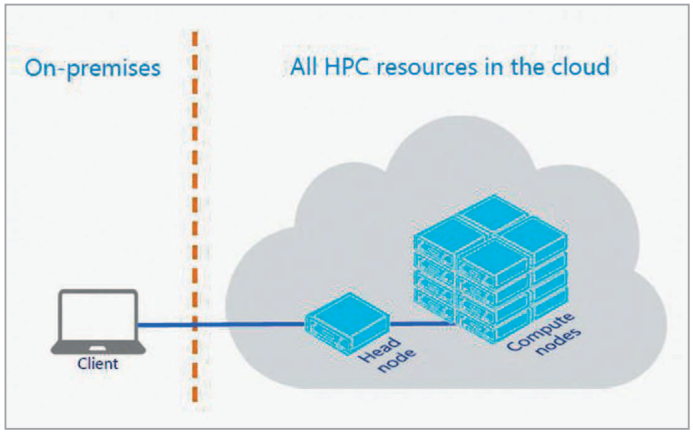
- IaaS (Infrastructure as a Service),
- SaaS (Software as a Service).

Pierwsze z nich dostarcza głównie infrastrukturę sprzętową, drugie – dodatkowo – preinstalowane oprogramowanie, np. ANSYS.

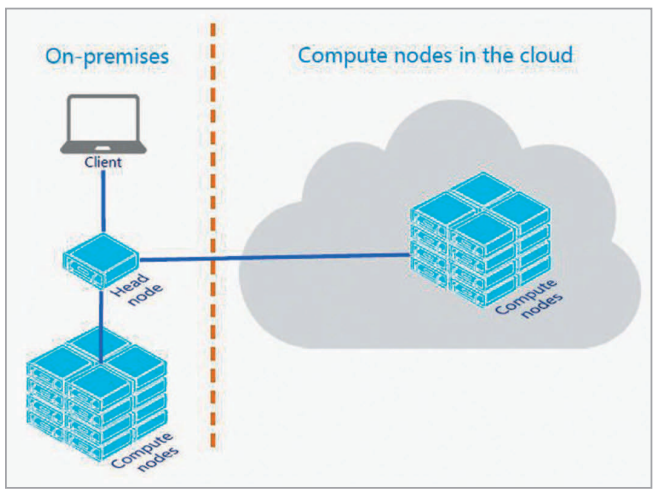
Przykładem serwisów typu SaaS są np. Rescale i UberCloud.

Większą elastyczność w podejściu do definicji własnej chmury obliczeniowej, ale okupioną dodatkową potrzebą konfiguracji, oferują serwisy typu IaaS. Przykładem IaaS jest chmura Microsoft Azure.

MESco – jako firma promująca i wdrażająca najnowsze technologie w przemyśle i w nauce – podpisało w tym roku umowę o współpracy z firmą Microsoft na dostawę serwerów i klastrów w chmurze Microsoft Azure. Uczestnicy tegorocznej konferencji Symulacja 2018 mieli możliwość zapoznania się z tą technologią dzięki obecności przedstawicieli firmy Microsoft HPC.



Rys. 6.



Rys. 7.

Istotą rozwiązań Azure jest dostawa pełnej infrastruktury, czyli serwerów wirtualnych (wykorzystujących najnowsze procesory CPU oraz rozwiązania kart GPU) połączonych szybką infrastrukturą sieciową typu RDMA Infiniband FDR – pozwalającą łączyć wirtualne maszyny (węzły) w superwydajne klastry obliczeniowe.

Dzięki rozwiązaniom Microsoft Azure można stosować dwa modele (rys. 6):

- klaster obliczeniowy jest w całości oparty, łącznie z systemem kolejkowym (w przypadku korzystania z ANSYS Remote Solve Managera), na rozwiązaniach chmury,
- system kolejkowy (np. ANSYS RSM) może zostać po stronie klienta, natomiast po stronie chmury pozostają jedynie maszyny wykonujące poszczególne fragmenty analizy.

Wspierane w ten sposób systemy to również: Microsoft HPC Pack, Univa Grid Engine, Bright Cluster Manager, Altair PBS Pro, Tibco DataSynapse Grid Engine, IBM Platform LSF & Symphony).

Na uwagę zasługuje sposób predefiniowania i zarządzania własnymi serwerami w chmurze Microsoft Azure. Raz predefiniowany serwer lub klaster może być włączany i wyłączany w dowolnej chwili (operacja tzw. deploydowania). Czyli użytkownik może zwolnić zajmowane zasoby poprzez zrzucenie obrazów na dysk – miejsce przypisane do swojego konta. Wówczas koszty ograniczają się jedynie do opłat za wykorzystane miejsce na dysku na przechowywanie. W przypadku potrzeby podniesienia serwera, jest on przywracany na podstawie wcześniej stworzonych obrazów, bez potrzeby ponownej konfiguracji.

Czy warto korzystać z rozwiązań chmurowych i ile to kosztuje?

Na to pytanie nie ma w zasadzie jednej odpowiedzi. Rozwiązania chmurowe odciążają klientów od potrzeby zakupu drogich serwerów obliczeniowych i zatrudniania dodatkowych osób do opieki nad tym sprzętem. Jednak korzystanie z rozwiązań chmurowych też kosztuje.

Przykładowo: za jeden serwer w chmurze Azure oparty na najnowszym CPU 16C z 224 GB pamięci RAM, 2 TB przestrzeni dyskowej SSD, dostępem do Infiniband 40 Gbps zapłacimy ok. 2 euro za godzinę jego pracy. W przypadku serwerów wyposażonych w cztery karty obliczeniowe GPU (np. TESLA P100) stawka zaczyna się od ok. 9 euro za godzinę. Oczywiście można rezerwować zasoby na dłuższy czas, wówczas te ceny maleją proporcjonalnie do długości okresu rezerwacji. W przypadku wykorzystania dodatkowych rdzeni obliczeniowych trzeba również pomyśleć o dodatkowych licencjach (w tym licencjach HPC).

Podsumowując – do korzystania z chmury obliczeniowej należy podchodzić bardzo rozsądnie, zgodnie z zasadą: *Cloud is not viable if we do not save money* (*Chmura jest nieopłacalna, jeśli nie oszczędzamy przy tym pieniędzy*).

Osoby zainteresowane szczegółami odnośnie do definicji własnego klastra prosimy o kontakt.

Dodatkowe informacje znajdą Państwo również w postaci webinarii na stronie: www.ansys.com/cloud-webinars.

ANSYS®

hp

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, Anna Wojewódzka
Projekt graficzny i skład: Marzena Rosochacz

MESCO jest przedstawicielem firmy ANSYS w Polsce oraz Preferowanym Partnerem Hewlett-Packard.

Firma wykonuje zlecone symulacje komputerowe z zakresu mechaniki, przepływów i elektromagnetyzmu, tworzy specjalistyczne oprogramowanie, prowadzi sprzedaż i wsparcie techniczne oprogramowania ANSYS, nCode i LSTC.

MESCO jako Partner HP w Polsce oferuje wsparcie IT i dostarcza prekonfigurowane stanowiska pracy, oparte na rozwiązaniach sprzętowych HP – od mobilnych stacji roboczych po serwery obliczeniowe.