WIOSNA 2020 • NR 9

MESSENGER

Drodzy Czytelnicy!

Co ma wspólnego koronawirus z MES? Otóż więcej, niż mogłem sobie wyobrazić...

Z powodu rozprzestrzeniającej się w zawrotnym tempie epidemii po raz pierwszy w historii MESco byliśmy zmuszeni odwołać naszą konferencję Symulacja 2020. Nikt nie wie, kiedy to ogólnoświatowe zamieszanie się skończy, dlatego nawet nie próbujemy wymyślać zapasowych terminów. Następna Symulacja odbędzie się zatem dopiero w przyszłym roku. Szkoda, bo zainteresowanie konferencją i liczba zgłoszeń były ponadprzeciętne.

Z powodu koronawirusa musieliśmy również odwołać wszelkie zbliżające się szkolenia – zarówno te w naszym biurze, jak i wyjazdowe. Zastępujemy je szkoleniami online. Wkrótce się okaże, czy takie rozwiązanie zyska popularność. Obiecujemy, że gdy tylko sytuacja się unormuje, wrócimy do kursów w formie tradycyjnej. W końcu nic nie jest w stanie zastąpić osobistego kontaktu z prowadzącym i innymi kursantami.

Dość jednak narzekania na wirusa! Czas na pozytywne myślenie. Na początku roku odbyła się na Florydzie ogólnoświatowa konferencja ANSYS, w której uczestniczyło ponad 1000 osób.

Firma MESco została wyróżniona tytułem „Best Performer Around Customer Satisfaction". Co to oznacza? Oznacza mianowicie, że na podstawie ankiet rozsyłanych przez koncern ANSYS do klientów zostaliśmy uznani za firmę świadczącą najlepszą obsługę klienta w Europie, Afryce i na Bliskim Wschodzie. Poza tym zostały przyznane tylko dwa takie wyróżnienia: jedno dla Azji i jedno dla Ameryki.

Kolejna dobra wiadomość: dwóch naszych kolegów – Maciej Kryś i Mateusz Pawłucki – ukończyli książkę pt. „CFD dla inżynierów", która już wkrótce ukaże się drukiem. Biorąc pod uwagę długoletnie doświadczenie obu autorów w obszarze analiz CFD, a także pochlebne opinie znawców tematu, myślę, że jest to pozycja bardzo potrzebna na polskim rynku.

Zachęcam do lektury dziewiątego wydania MESsengera. W tym numerze znajdą Państwo wiele interesujących artykułów napisanych zarówno przez naszych klientów, jak i współpracowników.

Mariusz Gorol

W TYM NUMERZE:

3 Partnerstwo Politechniki Wrocławskiej z MESco i ESSS

3 Co nowego w ANSYS 2020 R1?

9 Digital twin looks ahead

13 Projektowanie nowoczesnych części maszyn z wykorzystaniem modułów do optymalizacji w środowisku ANSYS

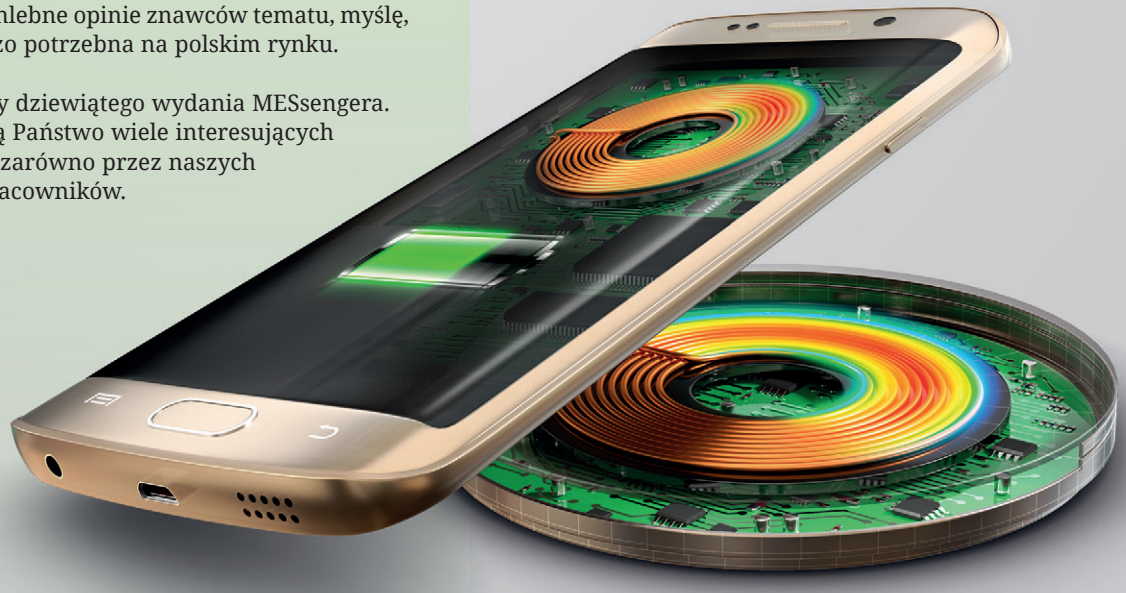
15 Analiza wytrzymałościowa ramy motocykla terenowego

19 ANSYS UDF implementation for simulation of frost formation on the evaporator

21 Projekt, analiza i optymalizacja układu chłodzenia baterii wysokiego napięcia bolidu Formuły Student

24 ANSYS VRXPERIENCE Sound. Nowe narzędzia do kompleksowej analizy hałasu

27 ANSYS Motor-CAD

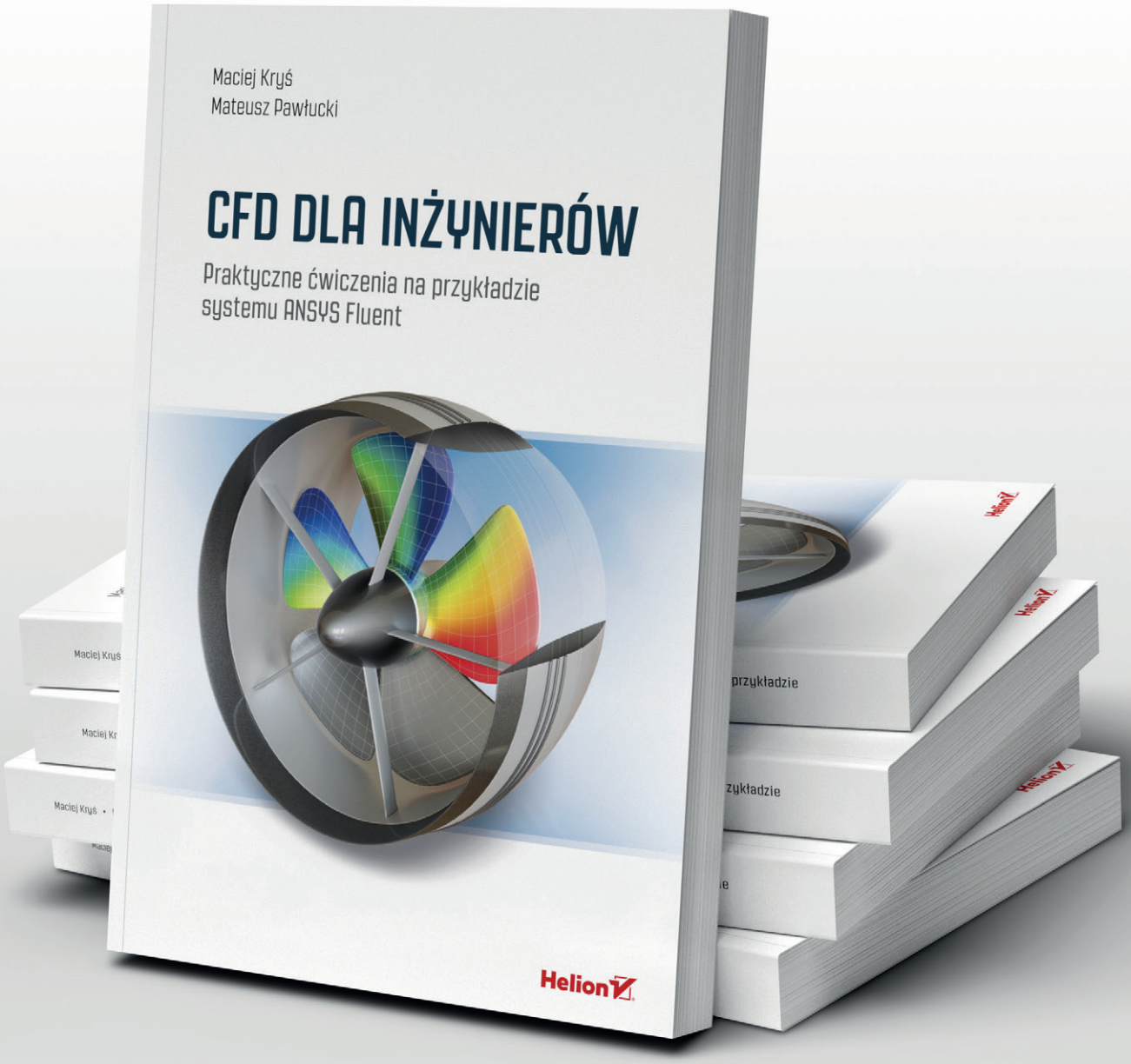


MESCO

Ansys

MESCO

PIERWSZA TAKA KSIĄŻKA
w języku polskim



JUŻ WKRÓTCE W SPRZEDAŻY

Partnerstwo Politechniki Wrocławskiej z MESco i ESSS

Politechnika Wrocławska MESco ESSS

Jest nam niezmiernie miło poinformować, że 17 lutego 2020 r. została podpisana umowa partnerska pomiędzy Politechniką Wrocławską a firmami MESco i ESSS. Na mocy tej umowy uczelnia otrzyma licencję na wykorzystanie oprogramowania Rocky DEM, co pozwoli jej podnieść innowacyjność oraz poszerzyć zakres badań o aplikacje numeryczne z dziedziny symulacji DEM.

To oprogramowanie zostanie wykorzystane w projekcie LIDER pani dr inż. Agaty Kirjanów-Błażej oraz do identyfikacji przyczyn i rozkładu uszkodzeń stalowych linek w rdzeniu taśm – dzięki możliwości potwierdzania wyników symulacji DEM poprzez diagnostykę magnetyczną taśm przenośnikowych. Naszym zdaniem ta aplikacja jest ogromną innowacją o wielkim potencjale i z chęcią podejmujemy się pomocy w jej rozwoju. Jesteśmy zaszczyceni, że mamy swój wkład w rozwój polskiej myśli technicznej, i życzymy zespołowi pana dr. hab. inż. Leszka Jurdziaka z Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii wielu sukcesów związanych z jego działalnością.

* * *

Rocky DEM to narzędzie w pełni kompatybilne ze środowiskiem ANSYS. Służy do modelowania wszelkiego rodzaju materiałów sypkich, wykorzystywanych w wielu gałęziach przemysłu. Na tle produktów konkurencji wyróżnia się możliwością analizowania cząstek o dowolnych kształtach i rozmiarach oraz procesu ich kruszenia.

Co nowego w ANSYS 2020 R1?

Radosław Ciemierkiewicz • MESco Sp. z o.o. • rciemierkiewicz@mesco.com.pl
Adrian Bartoszewicz • MESco Sp. z o.o. • abartoszewicz@mesco.com.pl
Tomasz Kądziołka • MESco Sp. z o.o. • tkadziolka@mesco.com.pl

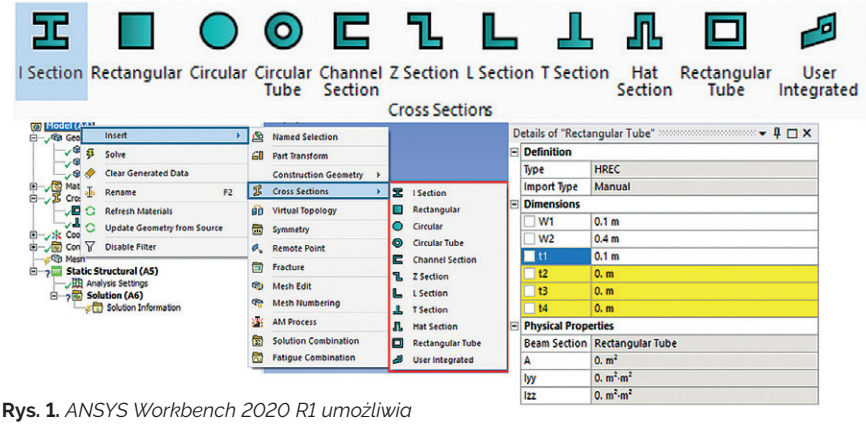
W czasach, gdy potrzeba usprawnienia cyklu życia produktu oraz zwiększenia jego wydajności stale wzrasta, zespoły inżynieryjne wszystkich branż potrzebują najbardziej zaawansowanych technik symulacji. Aby uzyskać optymalną wydajność, solvery symulacyjne muszą działać płynnie w obrębie całej fizyki wśród wszystkich członków zespołu inżynierów.

Oprogramowanie ANSYS 2020 R1 stanowi kontynuację integracji procesów symulacji we wszystkich cyklach życia produktu – zaczynając od idei, a kończąc na wirtualnym testowaniu działania w ANSYS Minerva. Ta najnowocześniejsza platforma pobudza współpracę zespołów inżynieryjnych na różnych etapach cyklu życia produktu oraz zwiększa wymianę danych, co ułatwia wprowadzanie innowacyjnych projektów i obniża koszty ich rozwoju.

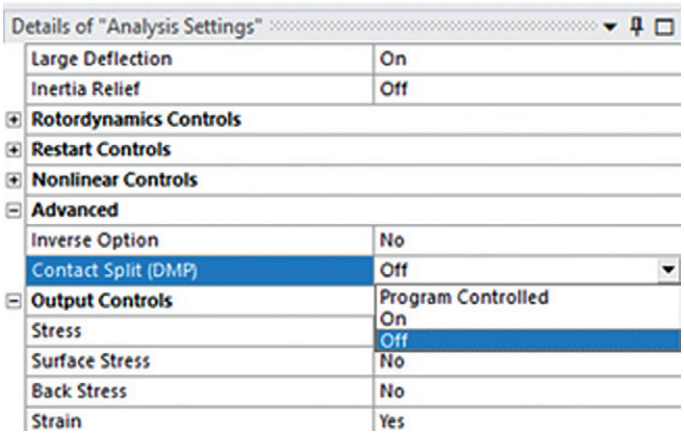
ANSYS 2020 R1 wprowadza ulepszenia w zakresie ANSYS Mechanical, aby pomóc inżynierom w projektowaniu złożonych, wysoce nieliniowych i wyjątkowo dużych modeli. Nowa wersja umożliwia również przygotowywanie modelu w uproszczony sposób w ANSYS Fluent, dzięki czemu nawet początkujący inżynierowie mogą szybko i łatwo wykonywać złożone symulacje wielofazowe. Inne aktualizacje obejmują nowe, dynamiczne narzędzia dla ANSYS HFSS SBR+ i ANSYS Maxwell, które znacznie usprawniają procesy projektowania elektronicznego/elektromagnetycznego.

Co nowego w mechanice?

ANSYS 2020 R1 pozwala na definiowanie własności przekrojów w aplikacji Mechanical bez konieczności uruchamiania w tym celu edytorów graficznych, więc



Rys. 1. *ANSYS Workbench 2020 R1 umożliwia definiowanie własności przekrojowych w obrębie aplikacji Mechanical*



Rys. 2. *Opcja Contact Split (DMP) pozwala na zwiększenie wydajności obliczeniowej solvera pracującego w trybie Distributed*

budowa modeli, zwłaszcza opartych na elementach belkowych, przebiega znacznie szybciej. Ta funkcja znajduje zastosowanie, gdy zachodzi konieczność naniesienia poprawek lub gdy własności przekrojowe nie zostały określone na etapie przed zaimportowaniem modelu geometrycznego do modułu Mechanical. Dla elementów jednowymiarowych dostępne są zarówno przekroje klasyczne, jak i niestandardowe – z możliwością określania własności bezwładnościowych (opcja User Integrated).

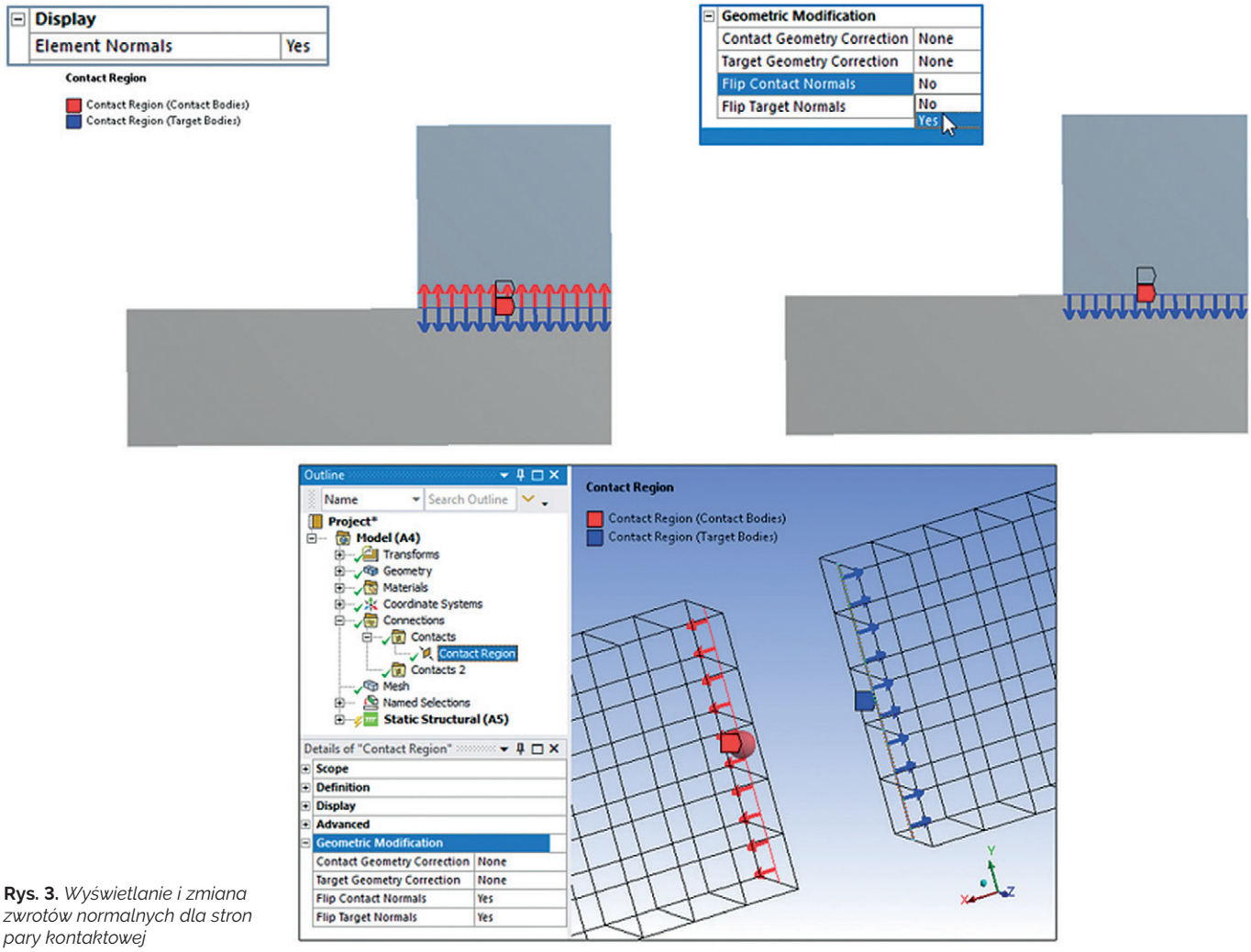
Udogodnieniem, które wcześniej oferowała jedynie wersja testowa, jest opcja Contact Split (DMP), dostępna w aplikacji Mechanical z poziomu Analysis Settings. Pozwala ona zwiększyć efektywność solvera w trybie Distributed, co jest korzystne zwłaszcza wtedy, gdy model zawiera znaczną liczbę kontaktów. Domyślnie ta funkcja jest nieaktywna (Off) – jej uruchomienie może znacząco wpłynąć na skrócenie czasu obliczeń i lepsze rozdystrybuowanie zadań obliczeniowych. Można ją odnaleźć w grupie ustawień Advanced.

W analizach dwuwymiarowych, po przejściu do danego połączenia kontaktowego, można włączyć wyświetlanie zwrotów normalnych dla stron kontaktowych – Contact oraz Target, a także odwrócić kierunek ich działania za pomocą opcji Flip (rys. 3).

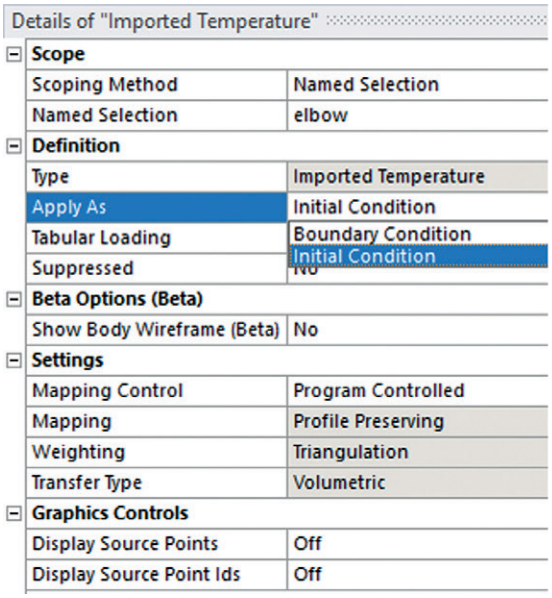
Obsługiwane są nowe typy plików modeli, wprowadzane ze źródeł zewnętrznych, takich jak: Nastran, CDB i Abaqus. W analizach typu Coupled Field Static oraz Coupled Field Transient istnieje możliwość zaimportowania wprowadzonej w tych modelach temperatury w postaci warunku brzegowego. Dodane zostały opcje modelowania zgrzein oraz obserwacji minimalnej i maksymalnej temperatury w modelu (Global Temperature Tracker).

Do nowych możliwości, jakich dostarcza wersja ANSYS Workbench 2020 R1, można też zaliczyć:

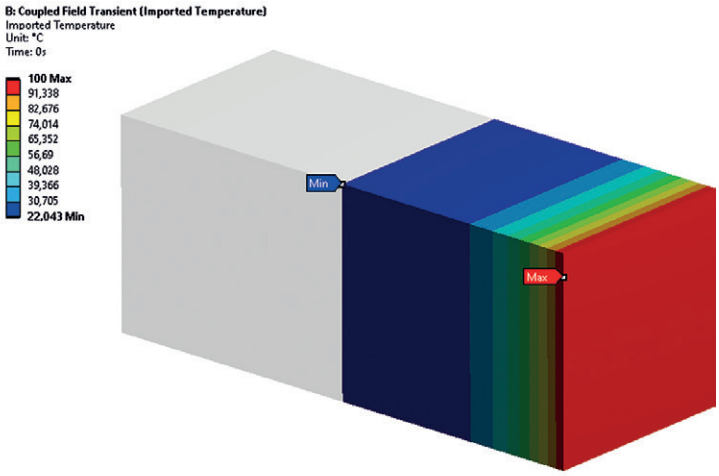
- opcję wprowadzania narzędzia Nonlinear Adaptivity Region przy wyłączonej opcji Large Deflection;
- dodanie do biblioteki elementów skończonych nowego elementu przewodowego CABLE280 o translacyjnych stopniach swobody (do stosowania w układach opartych na współpracy cięgna z kołem);



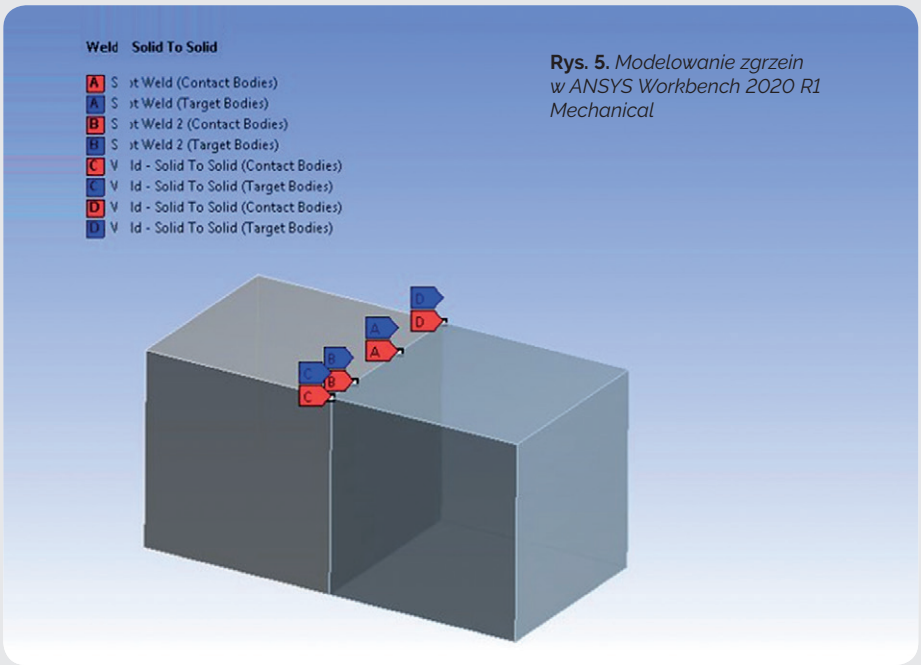
Rys. 3. *Wyświetlanie i zmiana zwrotów normalnych dla stron pary kontaktowej*



Details of "Imported Temperature"	
Scope	
Scoping Method	Named Selection
Named Selection	elbow
Definition	
Type	Imported Temperature
Apply As	Initial Condition
Tabular Loading	Boundary Condition / Initial Condition
Suppressed	No
Beta Options (Beta)	
Show Body Wireframe (Beta)	No
Settings	
Mapping Control	Program Controlled
Mapping	Profile Preserving
Weighting	Triangulation
Transfer Type	Volumetric
Graphics Controls	
Display Source Points	Off
Display Source Point Ids	Off



Rys. 4. *Wprowadzanie zaimportowanych wartości temperatury jako warunku brzegowego (Boundary Condition) lub warunku początkowego (Initial Condition) w analizie Coupled Field Transient*

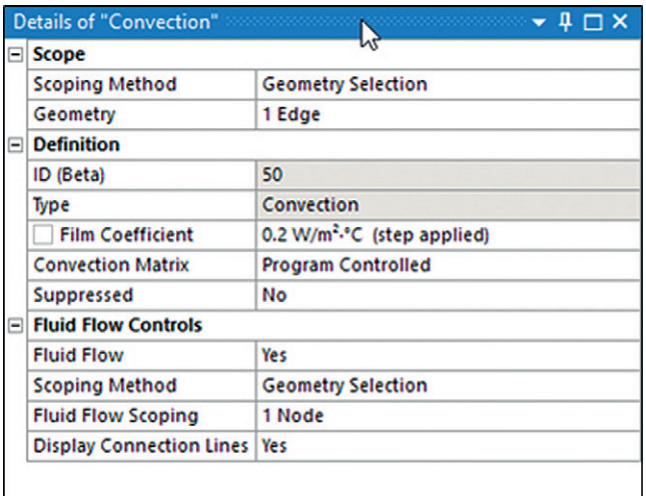


Rys. 5. *Modelowanie zgrzein w ANSYS Workbench 2020 R1 Mechanical*

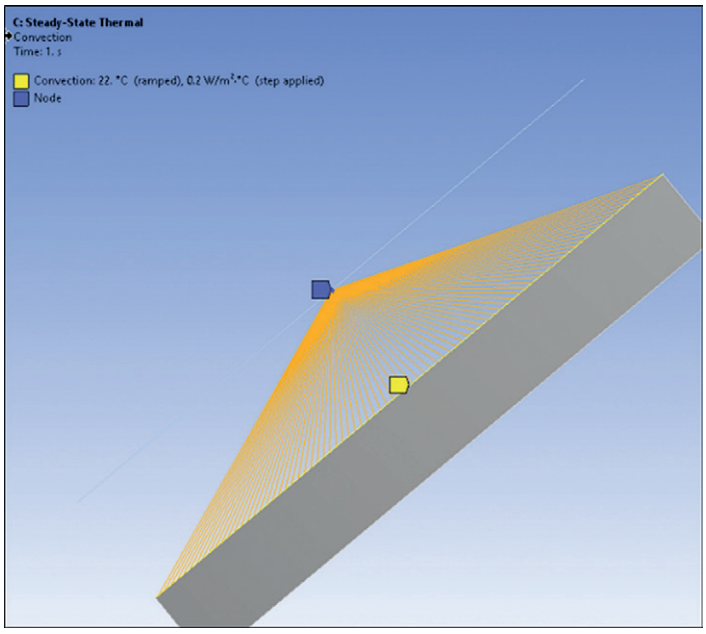
- możliwość wizualizacji przepływu ciepła między powierzchnią, na której zadano warunek konwekcji, a najbliższym węzłem elementu płynnego (typu fluid), biorącym udział w konwekcyjnej wymianie ciepła;
- dodatkowe rodzaje sond pomiarowych w bloku ustawień postprocesora (odnoszące się do połączeń typu joint, mocowań za pomocą sprężyn oraz połączeń belkowych).

Co nowego w przepływach?

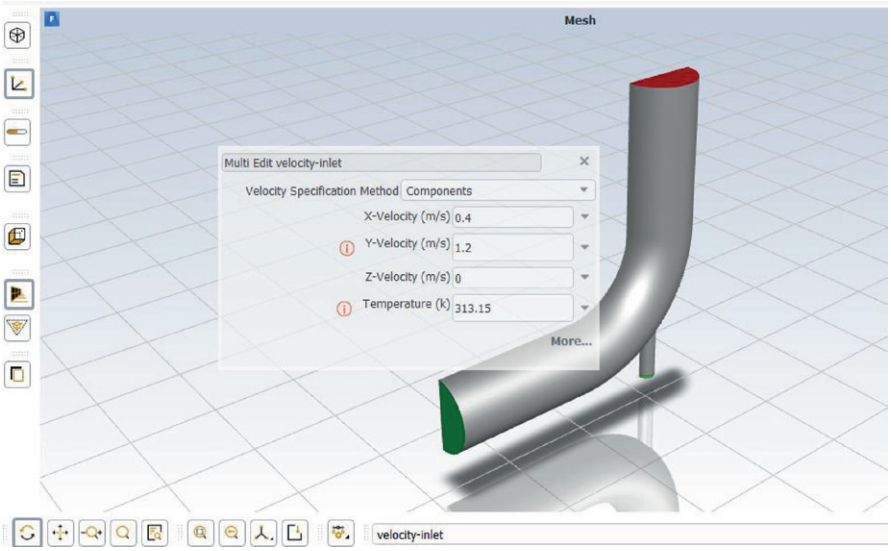
Nowości w module Fluent można zauważyć już od jego uruchomienia. Nowe okno startowe (Launcher) pozwala na wybór ostatnio wczytanych plików oraz automatycznie dobiera ustawienia startowe, bazując na wybranym pliku siatki lub pliku Case. Począwszy od wersji 2020 R1 dostępny jest wyłącznie tryb parallel (istnieje możliwość wyboru jednego procesu).



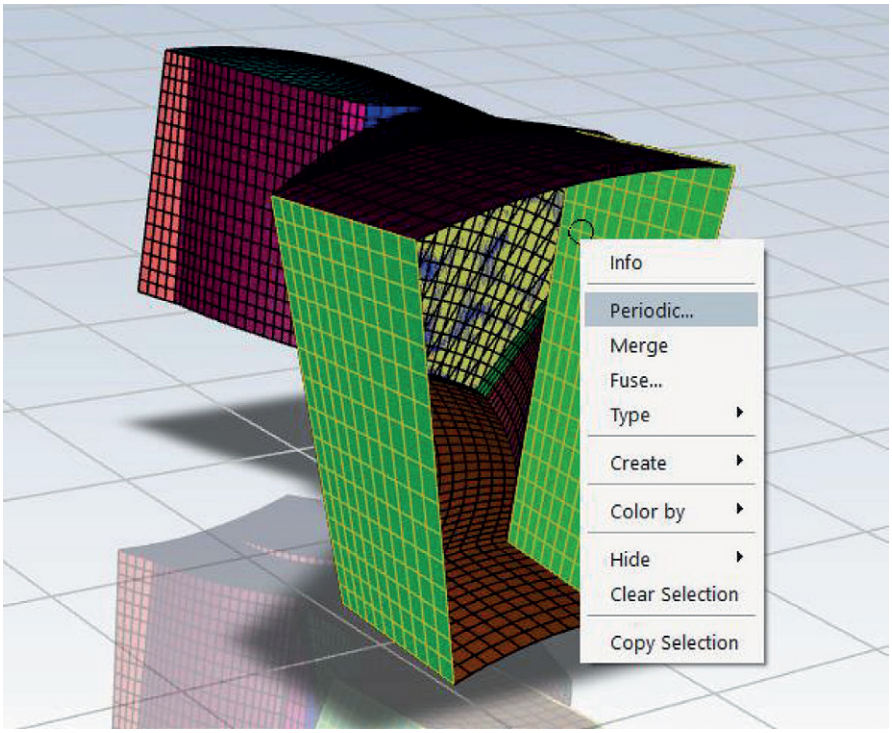
Details of "Convection"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Edge
Definition	
ID (Beta)	50
Type	Convection
Film Coefficient	0.2 W/m²·°C (step applied)
Convection Matrix	Program Controlled
Suppressed	No
Fluid Flow Controls	
Fluid Flow	Yes
Scoping Method	Geometry Selection
Fluid Flow Scoping	1 Node
Display Connection Lines	Yes



Rys. 6. *Nowy sposób wizualizacji warunków brzegowych, m.in. konwekcji, dostępny w aplikacji Mechanical w ANSYS Workbench 2020 R1*



Rys. 7. *Tworzenie i modyfikacja warunków brzegowych z okna graficznego*



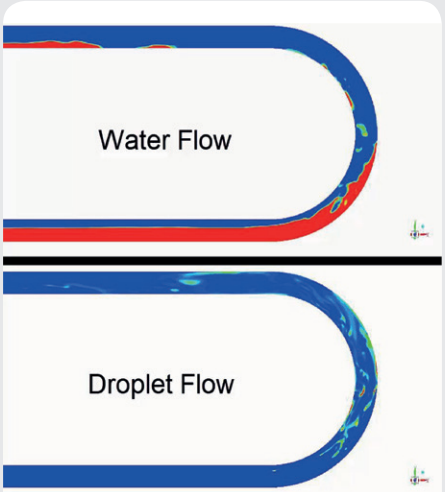
Rys. 8. *Automatyczna definicja periodyczności*

konwekcji naturalnej (Bouyancy Effects). Dotychczas było to dostępne wyłącznie dla modeli z grupy k-ε.

Model radiacji Monte Carlo wzbogacono o możliwość specyfikacji rozproszonego strumienia promieniowania na warunkach brzegowych. Dodano również automatyczne wyznaczanie źródeł promieniowania dla tych modeli.

Wszystkie ustawienia modeli wielofazowych – takie jak typ modelu, ustawienia faz i interakcji pomiędzy nimi – skumulowano w jednym oknie (aby można się było przełączać pomiędzy kartami). Ponadto wprowadzono Population-based model, wcześniej dostępny wyłącznie z konsoli tekstowej.

Największą zmianą w przypadku modelu eulerowskiego jest dodanie nowej metody, opartej na podejściu AIAD (*algebraic interfacial area density*). Pozwala ono na osobne traktowanie fazy ciągłej (np. wody) i fazy rozproszonej (np. kropli) oraz na przejścia z jednej fazy do drugiej. Omawiane podejście ma znacznie lepsze potwierdzenie w eksperymentach niż dotychczasowe metody.



Rys. 9. *Model AIAD*

Kolejną nowością są ulepszenia w obsłudze okien interfejsu. Opcja chowania drzewka modelu do paska bocznego pozwala na powiększenie okna widoku 3D. Sam podgląd graficzny wzbogacono o cienie i refleksy. Z tego poziomu można dodawać oraz edytować warunki brzegowe i płaszczyzny. Gdyby ktoś się martwił o płynność poruszania się w nowym środowisku – w opcjach widoku jest dostępnych kilka predefiniowanych profili wyświetlania: tryb wzbogacony, tryb oszczędny i tryb maksymalizacji wydajności pod kątem płynności.

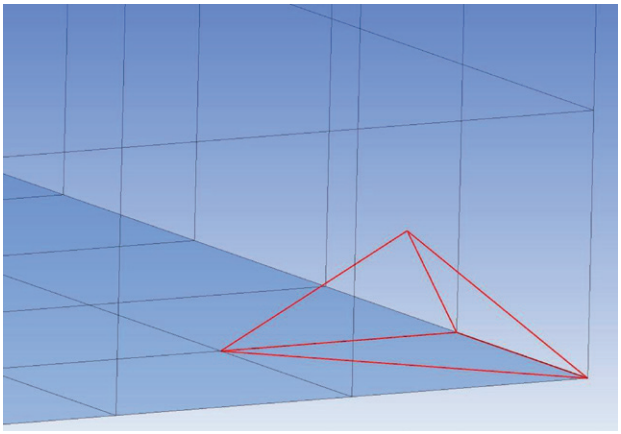
W przypadkach angażujących wykorzystanie interfejsów istnieje możliwość automatycznego tworzenia połączeń bez konieczności wcześniejszego nacinania geometrii. Jedna powierzchnia może więc uczestniczyć w kilku kontaktach, co jest ogromnym ułatwieniem, zwłaszcza w symulacjach CHT z wieloma ciałami stałymi.

Również tryb siatkowania przeszedł wiele zmian. Dodano np. możliwość zadania periodyczności siatki oraz zwiększono wydajność i stabilność procesu siatkowania. Obecnie Fluent oferuje opcję definiowania periodyczności spójnej (inaczej 1:1) za pomocą okna dialogowego zamiast dotychczasowej komendy tekstowej.

Poza wspomnianymi nowościami dotyczącymi obsługi nowa wersja wprowadza liczne ulepszenia dostępnych modeli. Wraz z pojawieniem się wersji 2020 R1 domyślnym ustawieniem dla turbulencji jest model k-ω SST (do tej pory był to model Laminar), który wspiera również intensyfikację turbulencji na skutek

W udoskonalonym modelu VOF są dostępne predefiniowane ustawienia adaptacyjnego zagęszczania siatki pod kątem poprawnego odwzorowania interfejsu. Fluent automatycznie wyznaczy obszar interfejsu międzyfazowego i zagęści tam siatkę. Użytkownik nie musi więc wybierać pomiędzy licznymi opcjami, co dla nowych lub mniej doświadczonych osób bywało kłopotliwe. Oczywiście, wszystkie dotychczasowe opcje nadal są dostępne.

Kolejną zmianą dotyczącą przepływów wielofazowych jest nowa metoda śledzenia cząstek w wysokiej rozdzielczości dla modelu DPM. Po aktywowaniu tej opcji elementy siatki podlegają dekompozycji na mniejsze (subtets), co ma na celu lepszą lokalizację śledzonych cząstek. Wyjątkami, dla których ta opcja nie jest dostępna, są:



Rys. 10. *Subet – nowa metoda śledzenia cząstek*

modele DDPM, przypadki z wykorzystaniem podejścia Overset mesh, przypadki ruchomych i deformowalnych siatek oraz eulerowskie modele wielofazowe. Nowe podejście do śledzenia cząstek sprawdza się np. w badaniach erozji, gdzie przy wykorzystaniu mniejszej liczby śledzonych cząstek potwierdzono dużo wyższą rozdzielczość wyników.

Ostatnią z nowości dla modeli wielofazowych jest wyczekiwana opcja inicjalizacji cząstek na powierzchni dla modelu Lagrangian Wall Film z poziomu GUI. Istnieje tu możliwość inicjalizacji grubości, prędkości i temperatury filmu, jak również ustawienia minimalnej ilości parceli na powierzchnię. W kontekście filmu przyściennego również model eulerowski został ulepszony o nowy schemat obliczeń. Wcześniej do rozwiązywania równań ciągłości i pędu filmu dostępny był jedynie schemat rozdzielony (segregated). Wersja 2020 R1 oferuje rozwiązywanie równań filmu we wspólnej macierzy (coupled), co w niektórych przypadkach (np. przepływu wywołanego działaniem siły grawitacji) istotnie wpływa na jakość wyników.

Pomniejsze usprawnienia dotyczą też bardziej wyspecjalizowanych modułów. W analizach spalania model Flamelet Generated Model (FGM) zyskał opcję zadawania nieadiabatycznych warunków brzegowych, która pozwala na symulowanie przypadków, gdy wpływ zimnych ścian jest pomijalny. Z kolei podczas obliczeń wrażliwości w dodatku Adjoint Solver możliwe jest automatyczne zapisywanie wyników i wykonywanie komend (Execute Commands). Użytkownicy modułu bateryjnego mogą teraz symulować transport jonów litu w bateriach litowo-jonowych podczas ich pracy. Dodatkowo pliki wykorzystywane do estymacji parametrów baterii (w metodach NTGK i ECM) da się wczytać do modułu Fluent za pomocą okna dialogowego. Poza tym możliwe jest użycie plików FMU do symulacji sprzężonych z termiką baterii.

Zaskoczeniem dla wielu użytkowników będzie zapewne fakt, że Fluent ma zabudowany moduł mechaniczny do wykonywania sprzężonych analiz FSI bez udziału solvera mechanicznego (tzw. intrinsic FSI). Ten moduł był już dostępny w poprzednich wersjach, lecz w wersji 2020 R1 pozwala na przeprowadzanie analiz nieliniowych. Jest on kompatybilny z dowolnymi typami elementów, z wyłączeniem siatek polihedralnych.

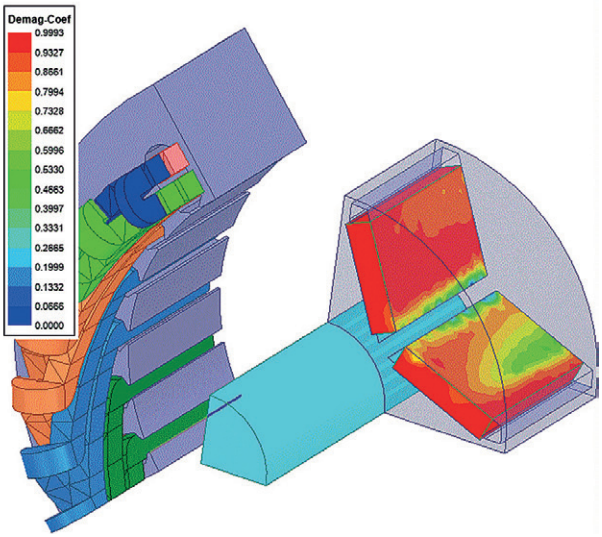
Ostatnią nowością, o której warto wspomnieć, jest domyślny zapis plików symulacji w formacie hierarchicznym – w przypadku pracy w standardowej wersji Standalone Fluent (poza platformą Workbench). Ten format okazuje się dużo szybszy w zapisie, zwłaszcza w przypadku obliczeń równoległych. Należy jednak zaznaczyć, że w środowisku Workbench pliki nadal będą zapisywane w klasycznym formacie ze względu na brak ich kompatybilności z aplikacją CFD-Post.

Co nowego w elektromagnetyzmie?

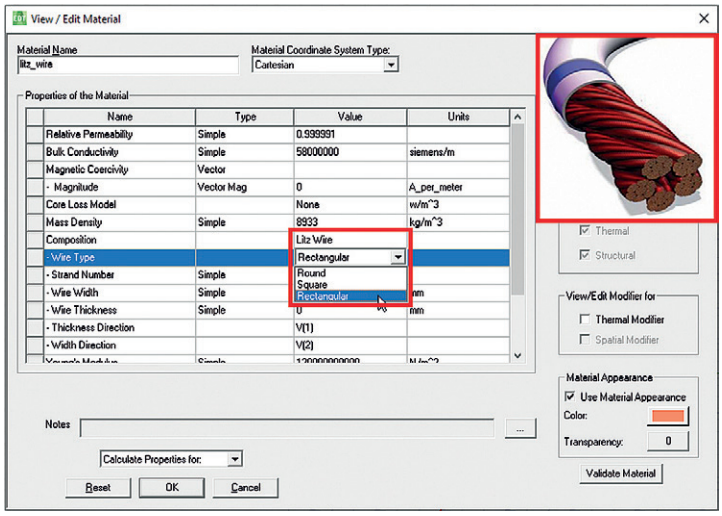
Wraz z wersją AEDT 2020 R1 wprowadzono nowy sposób licencjonowania dla produktów elektromagnetycznych. Od tego roku dostępne są licencje: Pro, Premium i Enterprise.

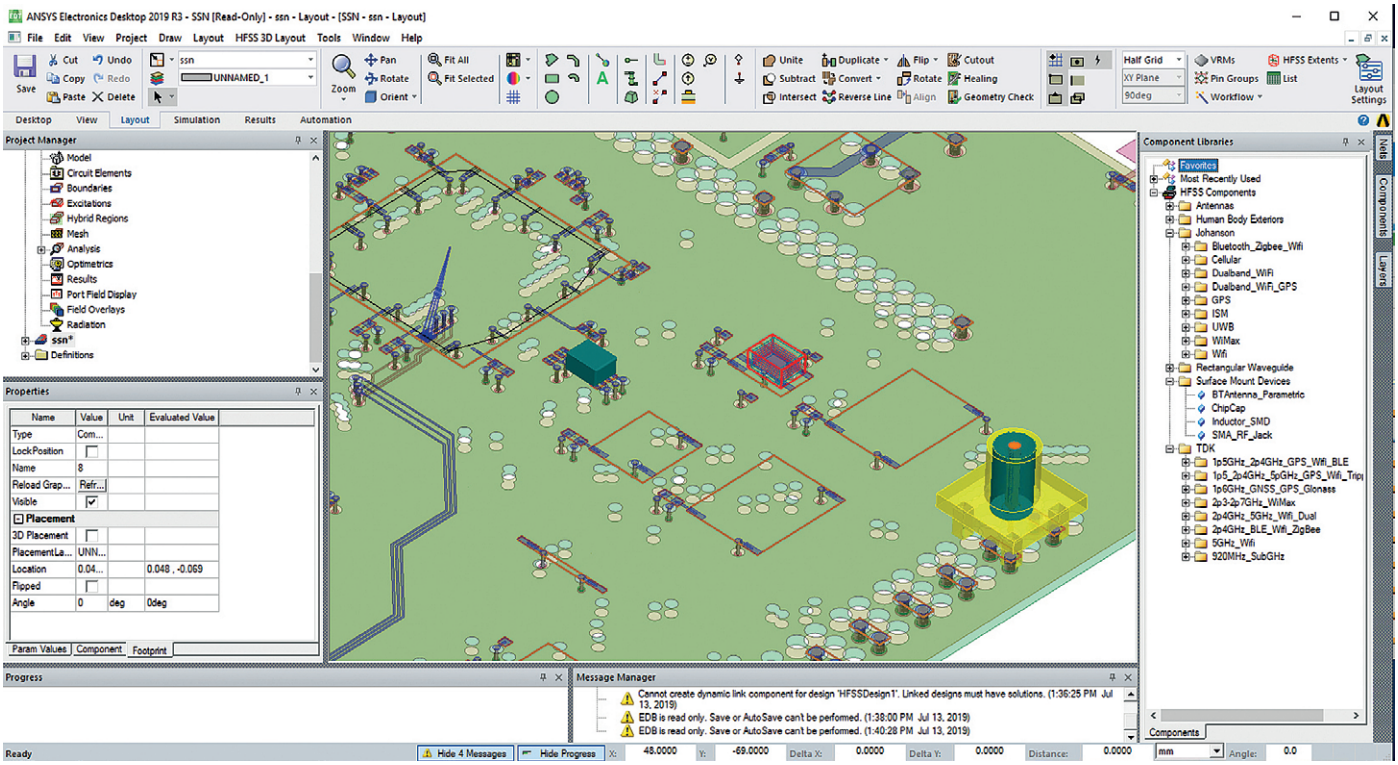
Inne zmiany, które dotyczą całego portfolio produktów elektromagnetycznych, to nowe konfiguracje zasobów sprzętowych dostępne w usłudze ANSYS Cloud, a także oficjalna wersja nowego algorytmu siatkowania – TAU Flex. TAU Flex znacząco przyspiesza proces generowania siatki bez upraszczania geometrii bardzo skomplikowanych struktur, np. telefonów komórkowych. W wersji 2020 R1 jest możliwość eksportowania z modułu Maxwell do modułu Harmonic Response objętościowych sił o charakterze harmonicznym, wyznaczonych w elementach (element-based – solvery Eddy Current oraz Transient Magnetic). Ta funkcja pozwala na import gęstości sił objętościowych i ma na celu otrzymanie odpowiedzi harmonicznej obiektu, a ostatecznie – widma akustycznego. Stanowi rozszerzenie możliwości oprogramowania ANSYS pod kątem popularnych analiz NVH. Nowa wersja zawiera także opcję przeniesienia sił harmonicznych z modelu 2D, zawierającego skos, do modelu 3D w module Mechanical. Wcześniej w przypadku maszyn ze skosem

Rys. 11. *Wizualizacja współczynnika demagnetyzacji bezpośrednio na modelu*



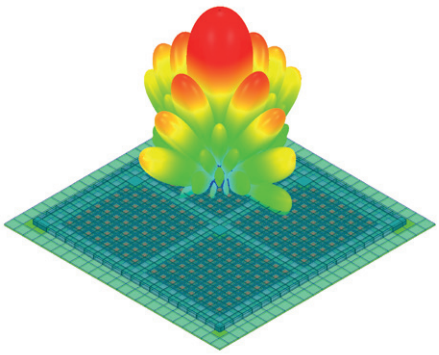
Rys. 12. *Definicja przewodu licowego w oknie definicji danych materiałowych (ANSYS Maxwell)*

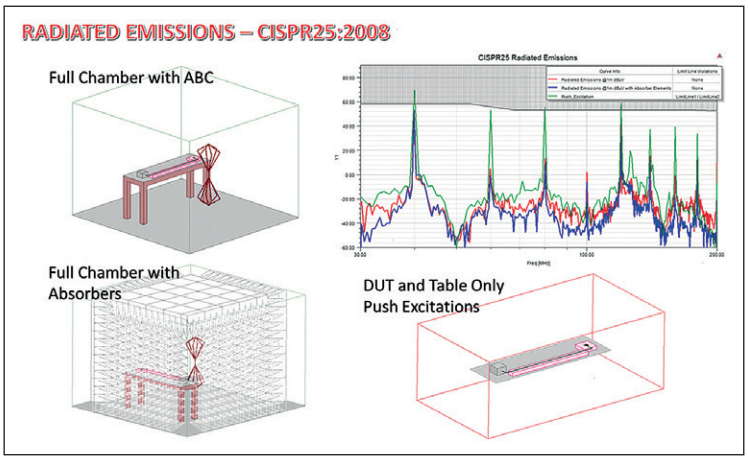




Rys. 13. *Możliwość integracji komponentów 3D w ramach interfejsu 3D Layout (ANSYS HFSS)*

Rys. 14. *Wykorzystanie komponentów 3D do modelowania anteny macierzowej – na ilustracji przedstawiono antenę 5G (4 × 64, tj. 256 elementów)*





Rys. 15. *W folderze instalacyjnym ANSYS AEDT są dostępne gotowe przykłady przedstawiające wybrane testy EMI/EMC*

wymagany był model elektromagnetyczny stworzony w module Maxwell 3D.

Ponadto wersja 2020 R1 oferuje: wizualizację współczynników demagnetyzacji magnesów trwałych z poziomu wykresów 2D i 3D, modelowanie strat AC dla licy w solverze Eddy Current (wcześniej tylko Transient Magnetic), możliwość dodania uzwojenia do obiektu 3D Components oraz nowy sposób łączenia szeregowego i równoległego indukcyjności L i rezystancji R (solver Eddy Current). Wersja beta solvera mechanicznego w AEDT zapewnia import siatki z modelu elektromagnetycznego oraz realizację sprzężenia dwustronnego (straty → temperatura, temperatura → straty).

Icepak 2020 R1 przynosi szereg ulepszeń w funkcjonowaniu oprogramowania. Główną nowością jest oficjalne wydanie solvera transient. Ten nowy solver pozwala na definiowanie parametrów symulacji w funkcji czasu, obejmujące m.in. wymuszenia (np. źródło ciepła – wielkość stała, funkcja liniowa, o przebiegu sinusoidalnym, prostokątnym i in.). Rozszerzono możliwości posprocessingu o wykonywanie animacji pokazujących zmianę temperatury po czasie, wprowadzono funkcję siatkowania po obiektach (modelowanie przewodzenia, niespójna siatka), zoptymalizowano działanie algorytmu siatkowania (np. płaskie elementy siatkowane są metodą 2D MLM). Kolejnymi usprawnieniami są: wyświetlanie map strat z solvera DCIR bezpośrednio w oprogramowaniu Icepak, a także możliwość wizualizacji temperatury na poszczególnych warstwach geometrii PCB.

HFSS 2020 R1 – technologie 5G nabierają rozpędu. Idąc za ciosem, firma ANSYS wprowadziła usprawnienia w HFSS, obejmujące m.in. nowy solver 5G mmWave Array Solver, pozwalający na tworzenie macierzy anten w formie 3D komponentów (solver wykorzystuje metodę DDM). Na razie użytkownicy HFSS mają okazję przetestować nowy solver iteracyjny w wersji beta, ale pierwsze rezultaty wskazują, że umożliwi on wyraźne zredukowanie czasu obliczeń i zużycie pamięci RAM przez oprogramowanie. Wraz z instalacją ANSYS AEDT użytkownik otrzymuje dostęp do gotowych modeli z przykładami symulacji EMI/EMC, w tym testów przewodzenia (CISPR25), wyładowań elektrostatycznych (IEC 61000–4-2) itp.

SIwave 2020 R1 to zmiany i poprawki w działaniu funkcji HFSS Region, która pozwala na rozwiązanie fragmentu obwodu płytki PCB z wykorzystaniem HFSS. EMI Xplorer – nowy dodatek do narzędzia EMI Scanner – umożliwia analizy what-if w czasie rzeczywistym. Kluczowe modyfikacje wprowadzono również w solverach SIwave, poprawiono rozpoznawanie sprzężeń pomiędzy ścieżkami. Wszystko to zapewni otrzymywanie jeszcze dokładniejszych wyników.

CADFEM ANSYS IN PRACTICE

Virtual sensors provide early warning against potential breakdowns

Digital twin looks ahead

Verbund in cooperation with CADFEM ITficient

The hydropower plant of the future will be a "transparent power plant." What that means is that comprehensive, detailed information about the current and expected state of the plant will be available on a continuous basis, ideally precise to the second. VERBUND Hydro Power GmbH (VHP) – one of the major European hydropower companies – aims to achieve this goal using digital twins and virtual sensors.

Figure 1: The Rabenstein power station on the Mur (Styria) was selected for the pilot application.

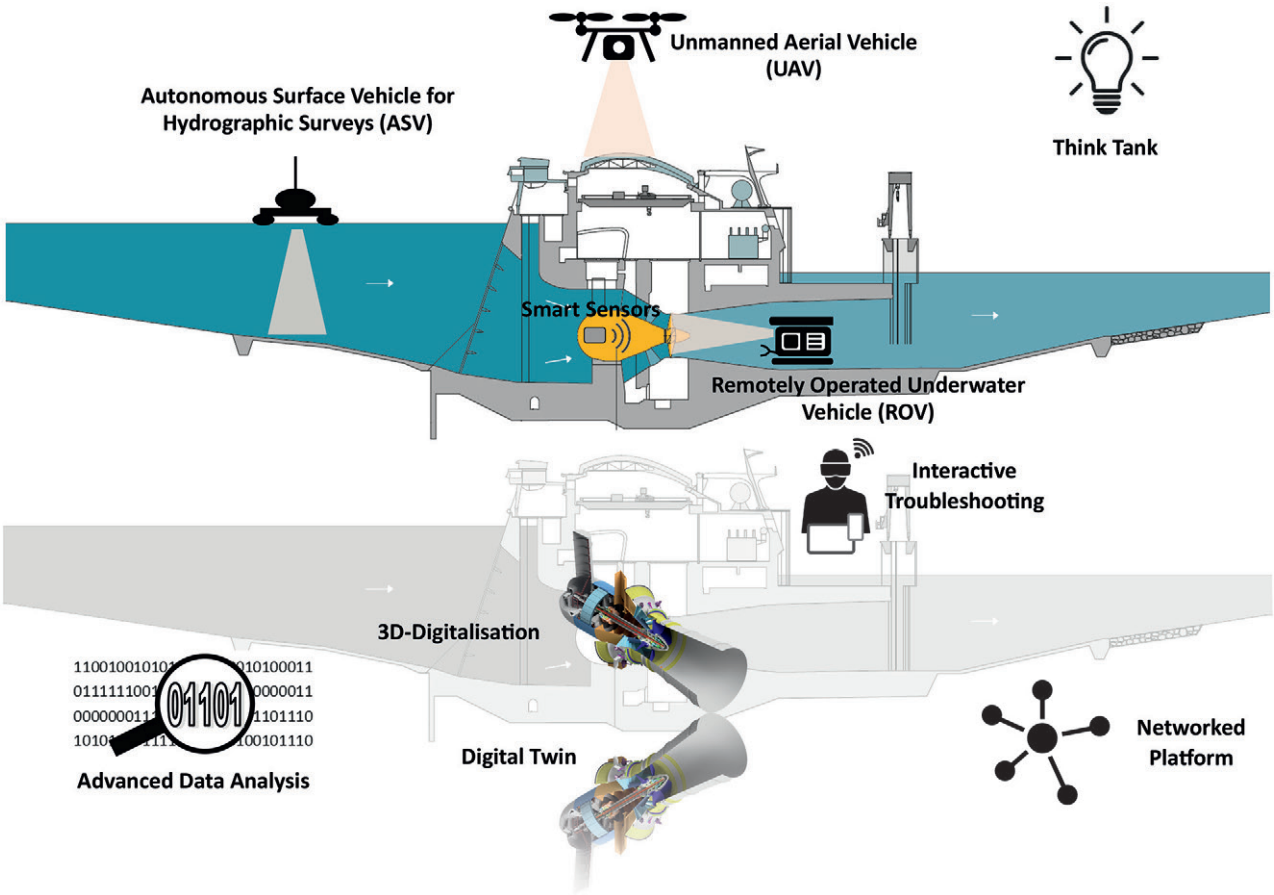


Figure 2: In addition to the Digital Twin, new tools for surveying and inspecting the river beds will pave the way to the Digital Hydropower Plant.

With our innovation program 'Hydropower 4.0 – Digital Hydropower Plant,' we are staking out ambitious new goals. We are examining every conceivable possibility to make use of existing and future digital assistance methods in hydropower applications. In the process, we are breaking new ground in order to tap additional significant reserves in terms of efficiency and safety," says Managing Director Karl Heinz Gruber, describing the strategic objectives of VHP. This includes interactive troubleshooting and digitalized predictive diagnosis functions for systems and components.

Thanks to new analytical methods and the use of self-learning computer systems, the resulting deluge of data can then be used to generate new insights into the current state of the system. With computer simulations drawing on the status updates and forecasts, coupled with the system's "history," downtimes and repair times can be reduced by enabling the operator to identify potential breakdowns due to unplanned incidents in good time.

Greater transparency in the "digital hydropower plant"

Either alone or with partners, VHP operates over 120 hydropower plants in Austria and Germany. Together with internal and external experts, the research community, consultants and equipment manufacturers, VHP focused on two main issues with the new initiative: "digital workflow management" – i.e. mobile solutions for digital planning and processing of work processes by colleagues onsite – and the "digital hydropower plant," with a very broadly conceived project description and an innovative character. Engineer Dr. Bernd Hollauf, director for the Digital Hydropower Plant-Project, explains: "Our Digital Hydropower Plant-Project was already 100% automated and is controlled through centralized bases. As a rule, the power plants are therefore unmanned and people are only on location for checks, when errors occur or inspections are carried out. There is sensor technology in place for machinery, buildings and the environment, including central process data archiving."

However, the systems are generally still stand-alone solutions, and the aim now is to connect them as far as possible. To achieve this, Dr. Hollauf and his colleagues are taking a look at many different industries to identify solutions that can be used to connect a wide range of different digitalization technologies. "Our objective is to provide the most comprehensive support possible for staff on location using digital aids," emphasizes Dr. Hollauf. One part of that is examining what added value we can generate out of the existing data. At the same time, in addition to the digital twin, we are also testing new tools for measurement and inspection of the river- beds, for instance with autonomous vehicles from the surface of the water or with remotely operated underwater vehicles (ROV)."

Pilot application at the Rabenstein power plant

The representative Rabenstein power plant in Styria, a medium-sized run-of-river plant on the Mur river, was selected for the pilot application. The plans for the roughly

Images: VERBUND hydropower

"In addition to achieving the highest possible availability of hydropower plants, we also aim to get a more well-founded forecast of their remaining service lives. We also expect benefits in terms of the condition-based servicing and the avoidance of expensive repairs."

Dipl.-Ing. Dr. Bernd Hollauf, project director for the digital hydropower plant at Hydro Power GmbH

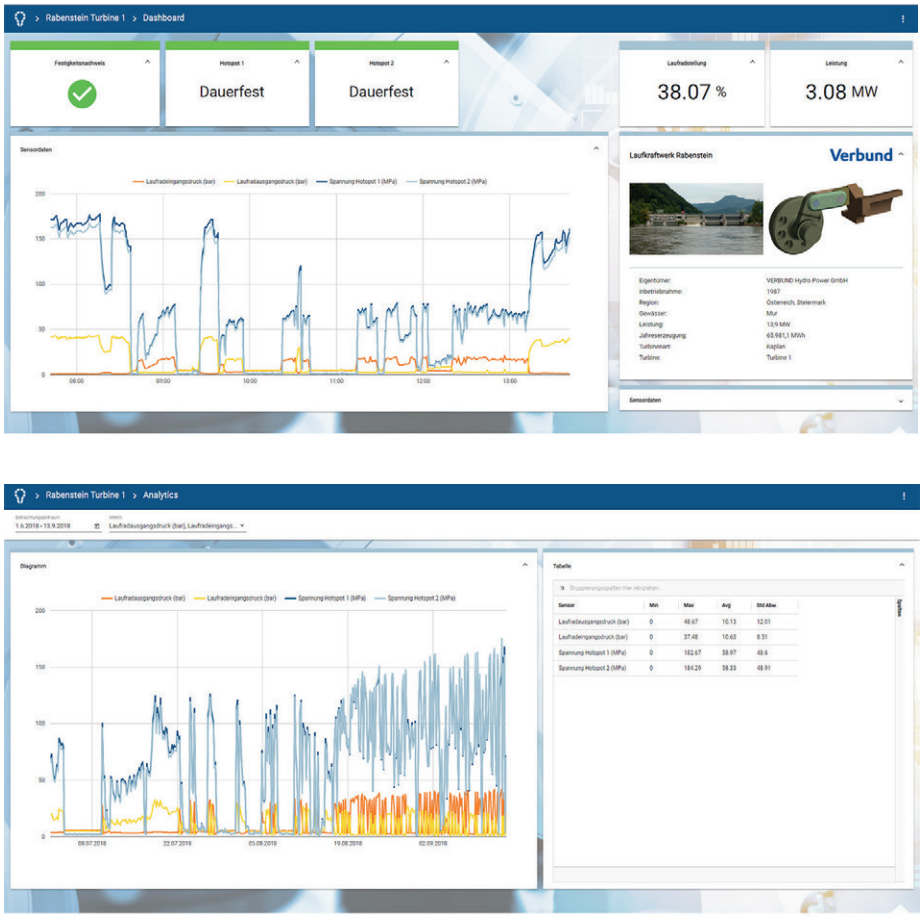


Figure 3: A dashboard provides a real-time overview of the entire Rabenstein turbine 1, showing the data from sensors and virtual sensors as well as the remaining service life.

30-year-old power plant are still in paper form, which means it will be possible to apply the experience gained here to other power plants, which are usually older. "Our conception of a digital twin includes the use of simulations. That is why we selected the CADFEM Group, which has worked with us as a simulation partner in product development for many years, and supported us with advice and assistance as our ANSYS provider, as our partner," says engineer Michael Artmann, Project Manager for the "Digital Twin" subproject in the "Digital Hydropower Plant"-project at VERBUND Hydro Power GmbH. The project is being headed up by the Swiss company ITficient AG, a start-up that is a part of the CADFEM Group and which specializes in big data analysis and the preparation and integration of sensor data and other data sources.

Simulation-based digital twins are most useful where components are subjected to varying stresses that cannot be predicted in advance. This makes it possible, for example, to predict wear or degradation such as crack formation due to excessive stresses, which in turn enables timely replacement of the component before damage occurs. To conduct a pilot project, a component was selected that is located in the adjustment mechanism of the turbine runner.

Simulation models for strength calculations

As the basis for the simulation, the first step was to create a 3D CAD model of this adjustment lever using the existing design drawings. The subsequent strength calculations showed the critical points with the maximum stresses on the component. In order to carry out a rapid yet precise calculation, a simplifi ed behavioral model was generated based on that information. With that in place, physical sensor data makes it possible to determine the current stresses at the hot spots with a high degree of certainty at any time, enabling a robust service life calculation on that basis.

As for the integration of requisite calculations under the FKM guideline (analytical strength assessment of mechanical components), Michael Artmann explains: "The respective movements on the real system then supply the corresponding stresses for the digital twin operating in parallel. The service life assessment, which we had previously conducted with an Excel spreadsheet based on the load spectra derived from the manner of operation, can now be further developed, thanks to the introduction of the digital twin, into an evaluation based on the actually occurring load spectra." This pilot project served as a proof of concept for the digital twin concept proposed by ITficient and CADFEM and was successfully completed.

Dashboard provides complete overview in real time

The digital twin and the accompanying data analysis were designed as a platform-neutral solution that could be easily integrated into the existing VHP infrastructure. In the solution, all data required for the calculation – and much more – is managed, analyzed and visualized by ITficient. A dashboard provides an overview of Rabenstein turbine 1 in real time, including the

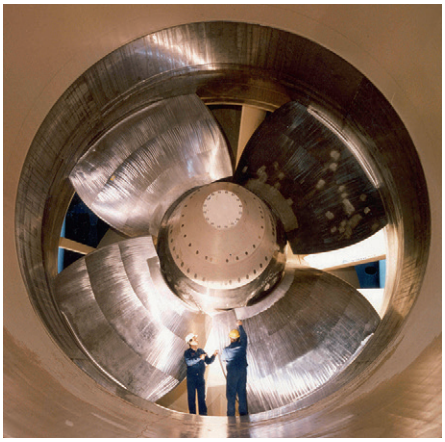


Figure 4: Simulation-based digital twins are most useful where components are exposed to varying, previously unknown loads.

"This process of asking 'what if X happens' can provide us with greater insight into how to operate the system in a system-friendly way or what it means for the service life if the system is operated under very high loads."

Dipl.-Ing. Michael Artmann,
Project Manager for the "Digital Twin" subproject at Hydro Power GmbH

data from sensors and virtual sensors as well as the remaining service life. This makes it possible to assess the availability of relevant system components and initiate any necessary measures in good time. For the analysis, individually defined time periods and metrics can be examined and the selected data displayed in graphic or tablular form. This makes it possible to select specific correlations between different data points independently.

The next step is to include further components as digital twins, with aspects such as flow analysis and electromagnetic simulations being possible candidates in addition to structural calculations. Insights that lead to a change in the operating conditions are invaluable information. Simulations make it possible to investigate any number of different use scenarios, which in turn make it possible to select the ideal operating mode (optimized operation) based on the actual system status. In the subsequent prototype phase, the respective pilot projects are then prepared and implemented by ITficient and CADFEM.

Assessing different scenarios

"While we were looking at the potential benefits of the digital twin, it became clear to us that we should start by focusing on just a few components and study a wide variety of different scenarios for them," says Michael Artmann. "This process of asking 'what if X happens' can provide us with greater insight into how to operate the system in a system-friendly way or what it means for the service life if the system is operated under very high loads."

The strategic objectives are the provision of the requisite amount of energy at the right time and the possibility of combining volatile photovoltaic and wind power generation with network-controlled hydropower in an economical manner. In addition to the evaluation of system operating modes from an economic standpoint, another significant motivation behind the digital twin is the information gained about the state of the system and the implementation of predictive maintenance so as to avoid unplanned downtimes and maximize availability.

One interesting sub-aspect is the question of how much the empirically determined length of inspection cycles can be extended. Dr. Hollauf was particularly pleased that in commissioning ITficient and CADFEM, they were able to tap an existing partnership. Moreover, he appreciates the agile development process, with short development steps and direct implementation of feedback from Verbund: "With the milestones in place, we're able to assess very quickly whether we're on the right track together or whether we need to make adjustments or perhaps change course. That was particularly useful at the beginning, when we first had to develop a common perspective and objective, which we then set about doing step by step."

Individual recommendations for power plants

Overall, everyone involved in the VHP project is very pleased with what has been accomplished to date. Within a space of ten weeks, the proof of concept was developed and implemented from the 2D drawing to the operable digital twin. "Based on what we've achieved here, we are very optimistic that we will be able to expand the pilot phase, or perhaps even bring the evaluation to a close, in 2020 in order to roll it out more fully following a positive assessment," reports Dr. Hollauf. "In addition to achieving the highest possible availability of the hydropower plants, we also aim to get a more well-founded forecast of their remaining service lives.

We also expect benefits in terms of condition-based servicing and the avoidance of expensive repairs. Furthermore, we intend to create recommendations for the individual power plants in order to make the plants more economical through network-controlled operation. Based on damage analyses and pattern recognition using artificial intelligence, we aim to enhance the individual power plants on a system-specific basis."

Verbund

InfoCompany
VERBUND Hydro Power GmbH
www.verbund.com

InfoContact | VERBUND
Dipl.-Ing. Dr. Bernd Hollauf
bernd.hollauf@verbund.com

InfoContact | ITficient
Teresa Alberts
Tel. +41 (0) 79 368 02 02
teresa.alberts@itficient.com

InfoContact | CADFEM
Christof Gebhardt
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-65
cgebhardt@cadfem.de

Projektowanie nowoczesnych części maszyn z wykorzystaniem modułów do optymalizacji w środowisku ANSYS

Grzegorz Fiuk • g.fiuk@doktorant.po.edu.pl • Politechnika Opolska, koło Creative Students działające w ŁUKASIEWICZ – Instytucie PIAP

Maciej Cader • mcader@piap.pl • kierownik Laboratorium Szybkiego Prototypowania i Obliczeń Numerycznych ŁUKASIEWICZ – Instytutu PIAP, opiekun koła Creative Students

Laboratorium Szybkiego Prototypowania i Obliczeń Numerycznych (LSP) – PIAP design, działające w ŁUKASIEWICZ – Instytucie PIAP, zakupiło komercyjną licencję na specjalistyczne oprogramowanie ANSYS. Jest to jeden z elementów strategii rozwoju laboratorium, ukierunkowanej na produkcję ultralekkich części maszyn w oparciu o obliczenia numeryczne. W pierwszej fazie wdrożenia oprogramowania laboratorium skoncentruje się na optymalizacji konstrukcji części mechanicznych do produkowanych przez PIAP robotów mobilnych. W tym celu podejmowane są intensywne prace optymalizacyjne – obejmujące zarówno optymalizację topologiczną, jak i parametryczną konstrukcji części maszyn. Przy laboratorium działa również koło naukowe Creative Students, którego członkowie – aktywnie wspierani przez firmę MESco (dostawcę oprogramowania ANSYS i strategicznego sponsora LSP) – realizują niekomercyjne prace badawcze przewidziane w strategii rozwoju laboratorium.

Projektowanie topologiczne nowoczesnych, ultralekkich części maszyn w LSP jest ukierunkowane na ich produkcję z wykorzystaniem zarówno technik addytywnych (tzw. druku 3D), jak i klasycznej obróbki skrawaniem. Nadrzędnym celem wszystkich prac optymalizacyjnych jest zminimalizowanie masy części z zachowaniem jej oczekiwanej wytrzymałości i pełnej funkcjonalności. Obecnie prace badawcze studentów koła Creative Students przebiegają dwukierunkowo. Pierwszy kierunek obejmuje pełną optymalizację parametryczną geometrii części maszyny, tj. optymalizację wykonywaną na zbiorach zdefiniowanych parametrów geometrycznych oraz bazującą na tzw. punktach projektowych (ang. *design points*) i poszukiwaniu minimów lub maksimów funkcji celu na wyznaczonych (z wykorzystaniem wspomnianych punktów projektowych) powierzchniach odpowiedzi. Drugi kierunek dotyczy optymalizacji topologicznej, co w bardzo w dużym uproszczeniu polega na analizie poziomu udziału obciążenia w strukturze części maszyny (analizie zmian sztywności), poszukiwaniu na tej podstawie obszarów w objętości części, w których sztywność nie uległa zmianie, a następnie na redukcji tych obszarów, czyli redukcji materiału części.

W obu przypadkach prace badawcze przebiegają bardzo sprawnie dzięki oprogramowaniu ANSYS, które umożliwia relatywnie szybkie otrzymanie zbioru wyników quasi-optymalnych oraz wyznaczenie rozwiązań optymalnych dla zadanych warunków brzegowych.

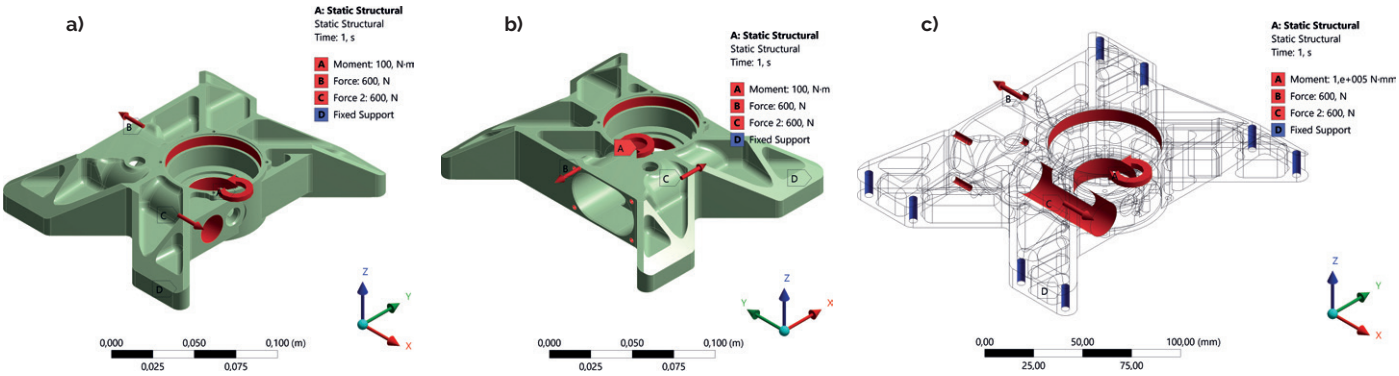
Rys. 1. *PIAP Gryf – mobilny robot pirotechniczny produkcji ŁUKASIEWICZ – Instytut PIAP*

Obiektami badań są części do specjalistycznych robotów mobilnych, projektowanych i wytwarzanych w ŁUKASIEWICZ – Instytucie PIAP. Reprezentatywny przykład takiej konstrukcji robota pokazano na rys. 1.

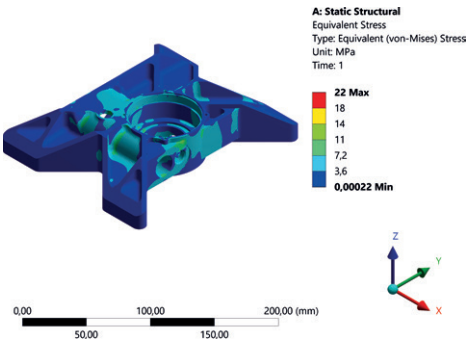
W ramach jednej z prac badawczych realizowanych przez koło Creative Students postanowiono zredukować masę jednej z części (rys. 2) robota PIAP Gryf, stanowiącej podstawę manipulatora, przymocowaną do bazy mobilnej.

Określono warunki brzegowe modelu i jako docelowy materiał wybrano aluminium – zarówno w przypadku wytwarzania metodą obróbki skrawaniem, jak i metodą przyrostową (druk 3D). W analizach posłużono się modelem materiałowym dostępnym w bibliotece ANSYS Granta. Analizy wytrzymałościowe wykonano dla czterech wariantów możliwych układów sił dla warunków „+" oraz „–", krzyżowo z momentem „+" oraz „–". W efekcie wyznaczono pola odkształceń części oraz pola naprężeń (rys. 3).

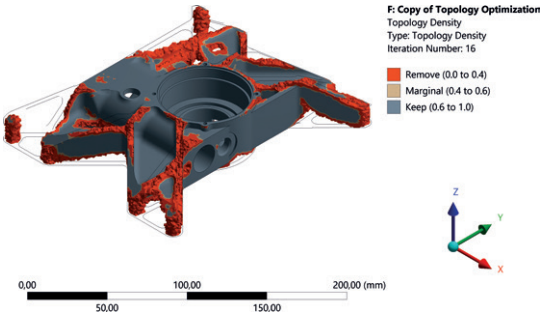
Dla geometrii bazowej wykonano pierwszą optymalizację konstrukcji części – minimalizację masy przy ograniczeniu „Global von-Mises" równym 20 MPa. Wyniki nie przyniosły jednak dobrych rozwiązań walidacyjnych (rys. 4). Z tego powodu poszerzono przestrzeń optymalizacyjną (przez rozbudowę objętości elementów odpowiedzialnych za przytwierdzenie części do bazy mobilnej) i wypełniono jej korpus (rys. 5). Dzięki temu uzyskano akceptowalne rozwiązanie topologiczne (rys. 6) geometrii części reprezentatywnej.



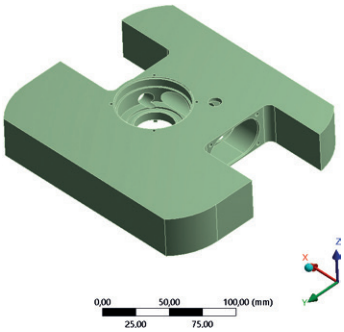
Rys. 2. *Model geometryczny reprezentatywnej części stosowanej w robocie PIAP Gryf. Na rysunkach widoczne są warunki brzegowe zadane do optymalizacji*



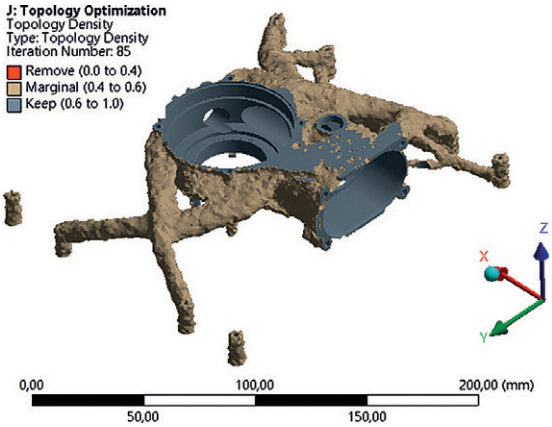
Rys. 3. *Pole naprężeń wyznaczone dla warunków brzegowych przedstawionych na rys. 2*



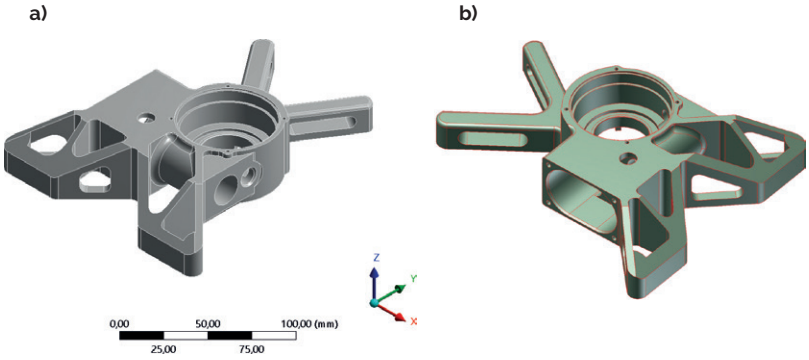
Rys. 4. *Wyniki pierwszej optymalizacji topologicznej, wykonanej dla części reprezentatywnej*



Rys. 5. *Poszerzona przestrzeń części reprezentatywnej, przygotowana pod drugą iterację optymalizacji topologicznej*



Rys. 6. *Wynik drugiej iteracji optymalizacji topologicznej, który był podstawą do zmian geometrii części bazowej*



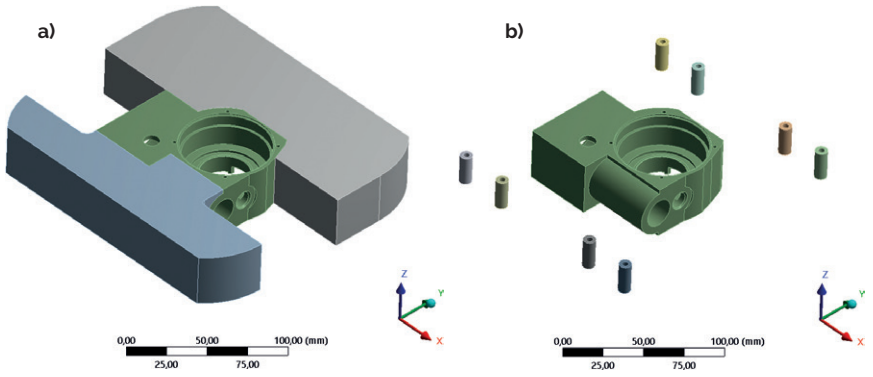
Rys. 7. *Cześć reprezentatywna quasi-optymalna, zaprojektowana na podstawie wyników analizy topologicznej i zaadaptowana do produkcji metodą obróbki skrawaniem*

Następnie uzyskane rozwiązanie posłużyło do zaadaptowania nowego kształtu części reprezentatywnej do produkcji metodą obróbki skrawaniem – bazując na wynikach analizy topologicznej, wykonano nowy projekt części reprezentatywnej, ale już quasi-optymalnej (rys. 7), pod kątem zmniejszenia masy oraz zachowania założonej wytrzymałości i funkcjonalności.

Na kolejnym etapie zaprojektowano tę część do wytworzenia metodą addytywną. W tym celu poprzedni, poszerzony model zaadaptowano przez wydzielenie geometryczne przestrzeni optymalizacyjnej dla miejsca mocowań części do korpusu (rys. 8).

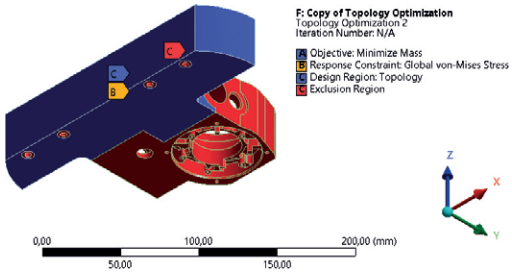
W wyniku obliczeń MES i optymalizacji osobnych przestrzeni dla miejsca zamocowania części do korpusu bazy mobilnej otrzymano wydzielone, zoptymalizowane obszary, które nie naruszały najważniejszych geometrycznych obszarów korpusu części reprezentatywnej – mocowania i kadłuba. W efekcie tych prac proces adaptacji geometrii części do produkcji metodą druku 3D dał akceptowalny rezultat (rys. 10).

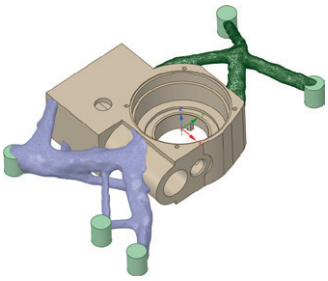
Dzięki oprogramowaniu ANSYS technika addytywna przynosi mierzalne korzyści w przypadku aplikacji przemysłowych. Jedną z polskich jednostek, która wdrożyła to oprogramowanie do procesów projektowania topologicznego, jest ŁUKASIEWICZ – Instytut PIAP. Jego specjaliści od ponad dekady stosują technikę przyrostową do produkcji nowoczesnych części maszyn. Swoją wiedzę łączą z możliwościami programów komputerowych, wykorzystujących metody numeryczne do optymalizacji konstrukcji (w których ANSYS wiedzie prym), aby zredukować koszty wytwarzania. Dzięki oprogramowaniu ANSYS drukarka 3D jest w stanie wytworzyć część o wyraźnie zredukowanej masie (co oznacza mniejsze zużycie materiałów) w krótszym czasie i z zachowaniem pełnej funkcjonalności tej części. Najlepszym podsumowaniem wszystkich tych operacji jest tabela korzyści, opracowana dla części aluminiowej.



Rys. 8. *Wydzielenie geometryczne przestrzeni optymalizacyjnej, ukierunkowane na wyznaczenie quasi-optymalnego kształtu części do wytworzenia metodami druku 3D*

Rys. 9. *Warunki dla przestrzeni optymalizacyjnej, ukierunkowane na wyznaczenie quasi-optymalnego kształtu geometrycznego części przeznaczonej do produkcji metodą druku 3D*





Rys. 10. *Reprezentatywna część quasi-optymalna, zaprojektowana na podstawie wyników analizy topologicznej i zaadaptowana do produkcji metodą addytywną*

Ten reprezentatywny przykład pokazuje mierzalną korzyść wynikającą z wykorzystania: wiedzy nt. optymalizacji konstrukcji, możliwości techniki addytywnej, drukarki 3D jako narzędzia i środowiska ANSYS jako skutecznego oprogramowania do optymalizacji. Wskazany procent zmniejszenia masy części bezpośrednio przekłada się na redukcję kosztów wytwarzania i skrócenie czasu produkcji – czyli na realne oszczędności przy jednoczesnym zachowaniu skalowalnego wolumenu produkcyjnego i pełnej funkcjonalności części.

Rys. 11. *Gotowa do montażu część prototypowa, wydrukowana w 3D*

Tabela. *Redukcja masy części aluminiowej po zmianie sposobu wytwarzania na technikę przyrostową*

Część	Technika wytwarzania	Masa [g]	Redukcja masy względem części bazowej [%]
Część bazowa (rys. 3)	Obróbka skrawaniem	500	–
Część po optymalizacji ukierunkowanej na produkcję metodą obróbki skrawaniem (rys. 7)	Obróbka skrawaniem	370	26
Część po optymalizacji topologicznej (rys. 11)	Wytwarzanie przyrostowe	340	32

Analiza wytrzymałościowa ramy motocykla terenowego

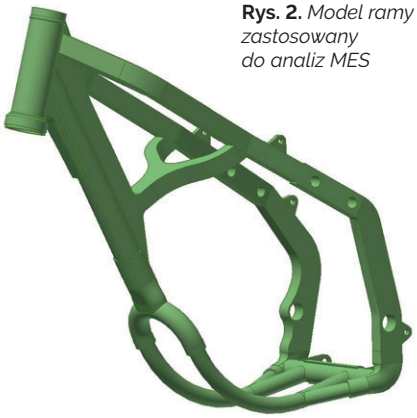
Szymon Kurpiel • szkurpiel@agh.edu.pl • Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Jacek Krupa • Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Motocykle, będące popularnym środkiem transportu, rekwizytem licznych dyscyplin sportowych, a nawet życiową pasją wielu ich użytkowników, zasadniczo różnią się między sobą co do rozmiarów i konstrukcji, w zależności od przeznaczenia. Jednoślady mogą być wykorzystywane zwłaszcza do poruszania się po nawierzchni utwardzanej (motocykle szosowe, skutery) lub jazdy terenowej (motocykle off-roadowe), w celach komunikacyjnych, turystycznych, rekreacyjnych, sportowych, a także wyczynowych. Niezależnie jednak od zastosowania motocykla podstawowym elementem nośnym jego konstrukcji jest rama, od której w dużej mierze zależy bezpieczeństwo kierowcy. Z tego powodu ramy motocykli muszą być poddawane wnikliwym analizom wytrzymałościowym – zarówno teoretycznym, jak i eksperymentalnym.

Niniejsze opracowanie zawiera analizy wytrzymałościowe ramy komercyjnego motocykla terenowego Kawasaki KX 125 (rys. 1).

Podjęcie tego tematu wynikało z prowadzonych w ramach Koła Naukowego Mechaników prac nad zaprojektowaniem oraz wykonaniem konstrukcji motocykla terenowego o napędzie elektrycznym. Zgodnie z przyjętą wstępnie koncepcją rama tego motocykla ma być oparta na konstrukcji ramy motocykla Kawasaki KX 125 z uwzględnieniem wymaganych modyfikacji. W związku z tym zdecydowano się na opracowanie numerycznego modelu MES tej ramy, który stanowił punkt wyjścia do oceny wpływu wprowadzonych modyfikacji na właściwości wytrzymałościowe i tym samym na bezpieczeństwo użytkowników konstruowanego motocykla.

Rys. 1. *Rama motocykla terenowego Kawasaki KX 125, będąca obiektem analiz*



Rys. 2. *Model ramy zastosowany do analiz MES*

Model geometryczny ramy motocykla

Na pierwszym etapie praca polegała na stworzeniu numerycznego modelu geometrii analizowanej konstrukcji. W tym celu metodą skaningu laserowego odtworzono zewnętrzny obrys powierzchni ramy, a następnie z zastosowaniem metody ultradźwiękowej przeprowadzono pomiary grubości profili, z jakich została wykonana rama. Dane te umożliwiły opracowanie wstępnego modelu bryłowego ramy w programie SpaceClaim DM, a następnie stworzenie jej geometrycznego modelu w programie Autodesk Inventor 2017 (rys. 2).

Warunki analizy MES

W celu walidacji numerycznego modelu założono, że przeprowadzone symulacje MES dotyczyły statycznego obciążenia całej konstrukcji nośnej motocykla wraz z układem zawieszenia. Schemat obciążenia ramy, uwzględniający jej warunki podparcia, przedstawiono na rys. 3. Podpory umieszczono w środku osi tylnego i przedniego koła, a punktowi przyłożenia siły F, znajdującemu się w miejscu usadowienia kierowcy, pozostawiono możliwość przemieszczania się jedynie w kierunku pionowym (Y), zgodnie z warunkami zamocowania ramy podczas badań na maszynie wytrzymałościowej (rys. 8). Dla uproszczenia analizy przyjęto, że wszystkie elementy składowe konstrukcji (przednie i tylne zawieszenie oraz koła) z wyjątkiem badanej ramy są elementami sztywnymi, tj. nieodkształcalnymi pod obciążeniem, a ich rolą w symulacji MES jest odpowiednie przyłożenie obciążenia do poszczególnych punktów ramy.

Efektem opisanych założeń było przebudowanie elementów składowych konstrukcji na wirtualne więzy (rys. 4). Aby nie doprowadzić do przesztywnienia analizowanej ramy, połączenia typu rama–subframe zamodelowano jako połączenia cylindryczne. Podczas analiz siatkę elementów skończonych wygenerowano za pomocą funkcji *sizing* z regulacją średniej wielkości elementu, czego wynikiem jest zestaw typu Solid187 i Beam188.

Ze względu na brak informacji na temat materiału ramy przyjęto, że ma on właściwości idealnie sprężyste, odpowiadające właściwościom stali chromowo-molibdenowej 42CrMo5 (moduł Younga E = 205 GPa, liczba Poissona ν = 0,27). W analizie MES zastosowano pięć poziomów obciążenia – 1, 2, 3, 4 i 5 kN – odpowiadających szczytowym wartościom sił zadawanych na maszynie wytrzymałościowej podczas kontrolowanego obciążania konstrukcji motocykla.

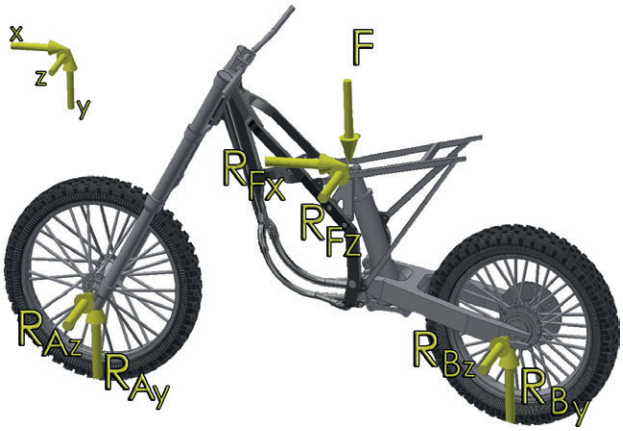
Wyniki analizy MES

Symulacje przeprowadzone w programie ANSYS Mechanical dostarczyły wyników, które odpowiadały obciążeniu siłą F = 3 kN (rys. 3), w postaci: maksymalnych naprężeń normalnych (rys. 5), maksymalnych odkształceń normalnych (rys. 6) oraz naprężeń zredukowanych według hipotezy Hubera–Misesa–Hencky'ego (HMH) (rys. 7).

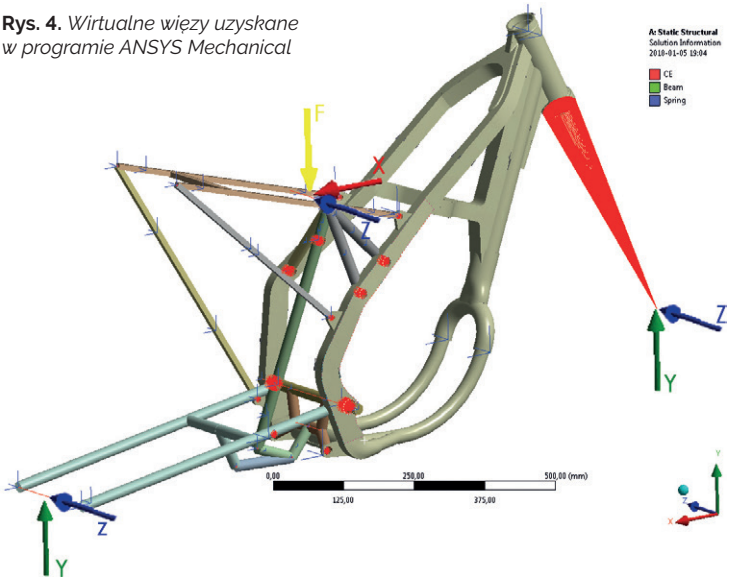
Pomiary odkształceń ramy w warunkach jej kontrolowanego obciążania

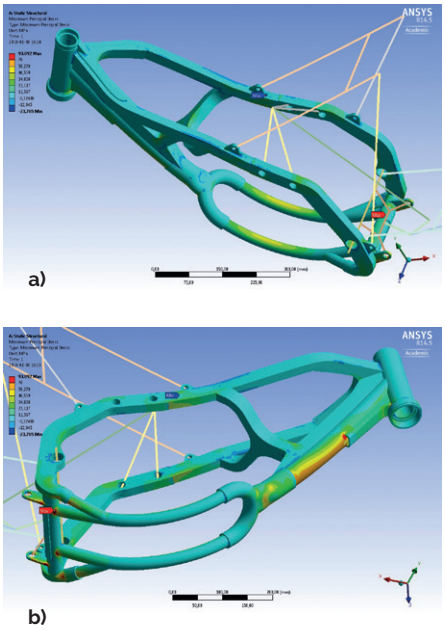
Mimo że w badaniach konstrukcji, m.in. w badaniach wytrzymałości, powszechnie wykorzystuje się analizy i symulacje komputerowe, to nadal wykonuje się eksperymenty, umożliwiające walidację modeli teoretycznych. Aby zweryfikować opracowany model MES, w ramach niniejszej pracy przeprowadzono tensometryczne pomiary odkształceń wybranych fragmentów rzeczywistej konstrukcji przy jej kontrolowanym obciążaniu (rys. 8) – zgodnie z warunkami przyjętymi w obliczeniach. Koła motocykla zostały umieszczone na szynie wykonanej z walcowanego ceownika, zamocowanego w dolnej szczęce maszyny wytrzymałościowej. Obciążenie zadawano poprzez specjalnie przygotowany element pośredniczący, zamocowany w górnym uchwycie maszyny i pełniący funkcję przegubu kulistego. Dzięki takiemu rozwiązaniu zapewniono symetryczne obciążenie ramy i uniknięto jej przesztywnienia, tj. wyeliminowano możliwość wprowadzenia skupionego momentu siły w miejscu oddziaływania obciążenia w związku z deformacją konstrukcji. Warunki podparcia i warunki obciążenia całej konstrukcji, zrealizowane w sposób maksymalnie zbliżony do rzeczywistości, odpowiadały warunkom brzegowym przyjętym w analizach MES. Za pomocą aparatury pomiarowej rejestrowano wartości odkształceń $\varepsilon(t)$ w dziewięciu wybranych punktach pomiarowych.

Rys. 3. *Warunki analizy MES*

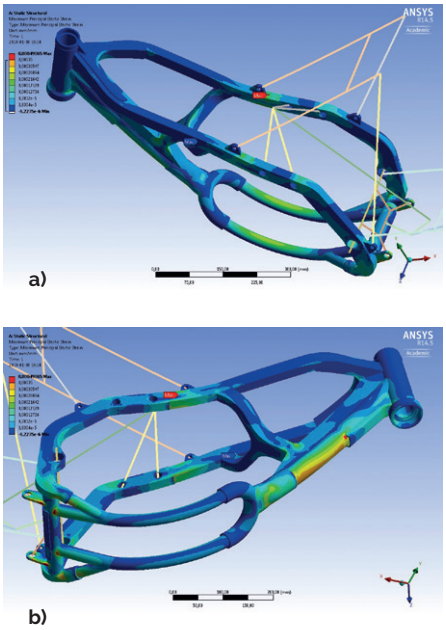


Rys. 4. *Wirtualne więzy uzyskane w programie ANSYS Mechanical*

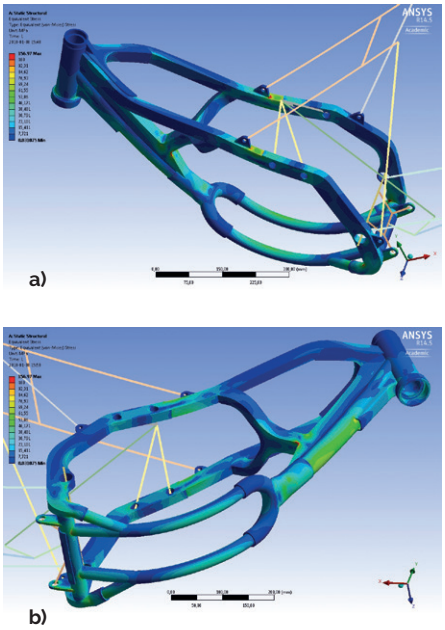




Rys. 5. *Rozkład maksymalnych naprężeń głównych (σ_1) w analizowanej ramie przy obciążeniu siłą F = 3 kN: a) rzut główny, b) rzut pomocniczy*

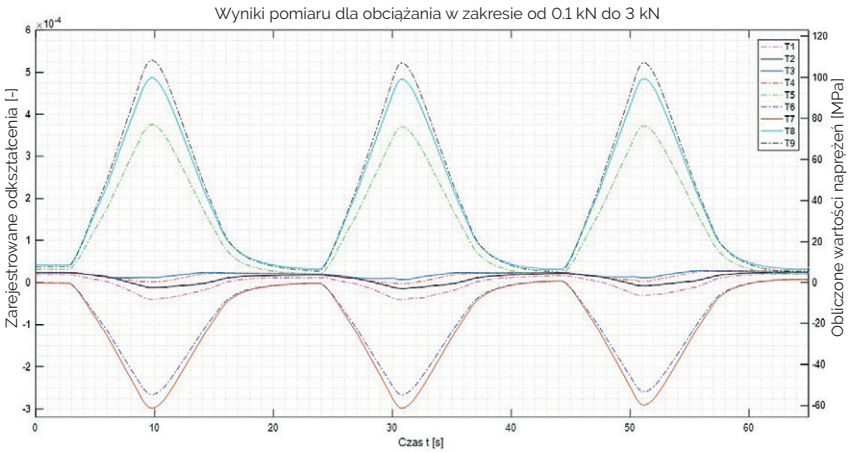


Rys. 6. *Rozkład maksymalnych odkształceń głównych (ε_1) w analizowanej ramie przy obciążeniu siłą F = 3 kN: a) rzut główny, b) rzut pomocniczy*



Rys. 7. *Rozkład naprężeń zredukowanych według hipotezy HMH przy obciążeniu siłą F = 3 kN: a) rzut główny, b) rzut pomocniczy*

Rys. 8. *Sposób zamocowania konstrukcji motocykla na maszynie wytrzymałościowej w trakcie kontrolowanego obciążania*



Rys. 9. *Przebiegi odkształceń i obliczonych na ich podstawie naprężeń w miejscach naklejenia tensometrów T1–T9 przy obciążeniu konstrukcji motocykla siłą zmieniającą się w zakresie od 0,1 do 3 kN*

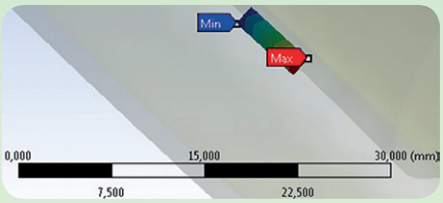
Przykładowe wyniki badań doświadczalnych dla F = 3 kN przedstawiono na wykresie (rys. 9). Aby ułatwić odczyt wyników, na wykresie umieszczono wartości naprężeń σ, obliczone (przy założeniu, że E = 205 GPa) z wykorzystaniem zależności:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

gdzie:
E – moduł Younga,
ε – odkształcenie liniowe materiału.

Weryfikacja modelu MES na podstawie wyników badań

W tych miejscach ramy, gdzie dokonywano pomiarów odkształceń z użyciem tensometrów, wyznaczono – w programie ANSYS Mechanical – teoretyczne średnie wartości odkształceń osiowych oraz wartości naprężeń normalnych w obszarach naklejenia tensometrów, na kierunkach zgodnych z ich orientacją, dla każdego z pięciu maksymalnych poziomów obciążenia. Określenie rozkładu tych naprężeń każdorazowo wymagało zdefiniowania lokalnego układu współrzędnych, zgodnego z orientacją tensometru. Przykładowy rozkład tak wyznaczonych naprężeń przedstawiono na rys. 10.



Rys. 10. *Rozkład naprężeń normalnych wzdłuż tensometru*

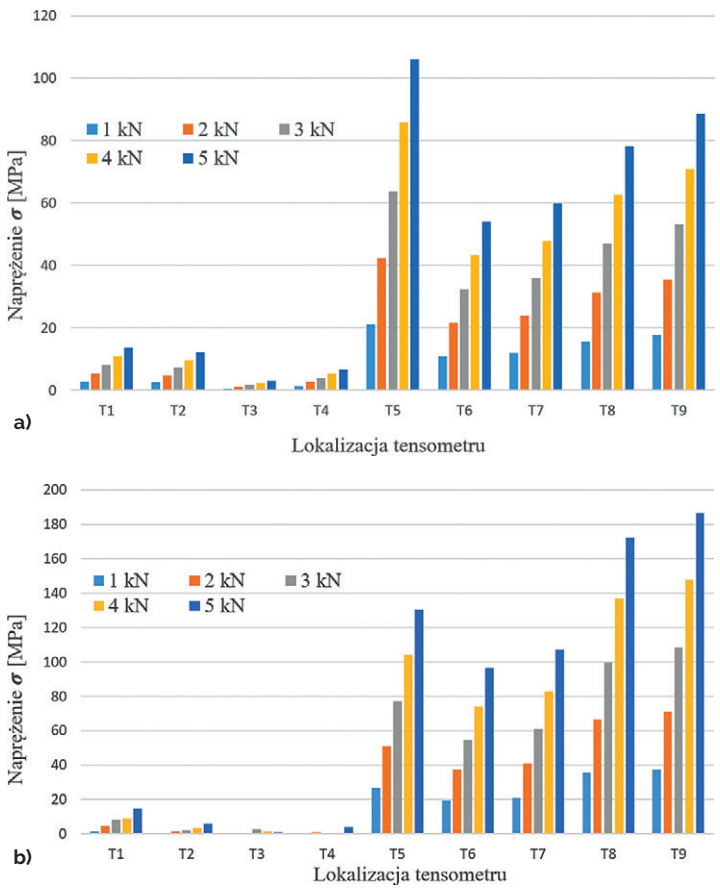
Wartości naprężeń w poszczególnych punktach pomiarowych ramy, przy różnych wartościach obciążenia, wyznaczone odpowiednio na podstawie analiz MES oraz pomiarów eksperymentalnych, przedstawiono na rys. 11. Porównując oba wykresy, można stwierdzić dobrą (pod względem jakościowym) zgodność naprężeń teoretycznych i wyznaczonych doświadczalnie. Oba podejścia zgodnie identyfikują strefy wysokich i niskich naprężeń. Da się również zaobserwować liniową zależność lokalnych naprężeń od przyłożonego obciążenia, co w przypadku sprężystych analiz MES jest oczywiste, lecz w przypadku pomiarów doświadczalnych stanowi pośredni dowód, że w układzie nie wystąpiły istotne czynniki bądź zjawiska nieliniowe, wprowadzające odstępstwa od założonego schematu obciążenia.

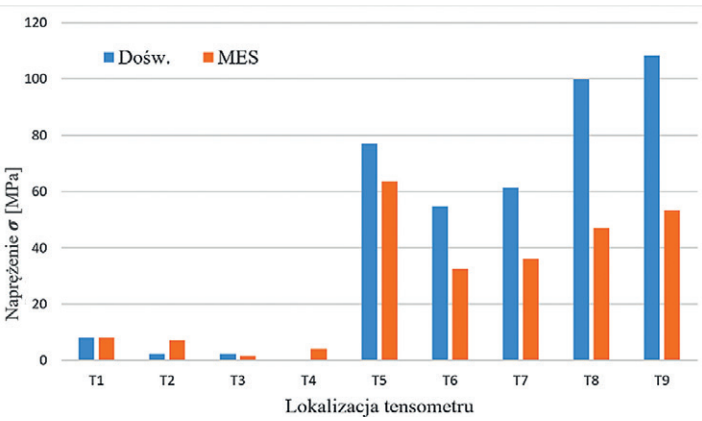
Porównanie wyników badań doświadczalnych i teoretycznych analiz w poszczególnych punktach pomiarowych przedstawiono na rys. 12.

Rys. 11. *Wartości naprężeń w poszczególnych punktach pomiarowych, wyznaczone na podstawie:*

a) analiz MES,

b) pomiarów eksperymentalnych





Rys. 12. *Porównanie naprężeń określonych na podstawie MES i pomiarów tensometrycznych w poszczególnych punktach pomiarowych przy obciążeniu ramy siłą F = 3 kN*

Podsumowanie i wnioski

Porównanie wartości naprężeń w poszczególnych punktach pomiarowych ramy, wyznaczonych na podstawie analiz MES i pomiarów eksperymentalnych, pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- Pod względem jakościowym uzyskano dobrą zbieżność naprężeń teoretycznych i wyznaczonych doświadczalnie. Oba podejścia w zgodny sposób identyfikowały strefy wysokich i niskich naprężeń w analizowanej ramie.
- Pomijając miejsca ramy, gdzie rejestrowano znikomo małe odkształcenia, zaobserwowano liniową zależność lokalnych naprężeń (wyznaczonych eksperymentalnie) od przyłożonego obciążenia, co jest pośrednim dowodem, że w badanym układzie nie wystąpiły istotne czynniki bądź zjawiska nieliniowe, wprowadzające odstępstwa od założonego schematu obciążenia.
- Pod względem ilościowym różnice pomiędzy naprężeniami wyznaczonymi teoretycznie i doświadczalnie można uznać za akceptowalne – z wyjątkiem czterech lokalizacji, w których konsekwentnie, przy każdym z rozważanych poziomów obciążenia, naprężenia wynikające z pomiarów eksperymentalnych były niemal dwukrotnie wyższe od naprężeń wyznaczonych teoretycznie. Może to wskazywać, że przyjęto zbyt dużą grubość profili, dla których zanotowano wspomniane rozbieżności, zwłaszcza że akurat w tych przypadkach wyniki pomiaru grubości były niejednoznaczne.

Na podstawie porównania wyników pomiarów doświadczalnych i teoretycznych analiz naprężeń badanej ramy da się wskazać kolejne kroki, które można podjąć w celu udoskonalenia opracowanego modelu MES. Są to:

- Weryfikacja na obiekcie rzeczywistym, a następnie odpowiednia korekta przyjętych w modelu grubości ścianek tych profili ramy, w przypadku których stwierdzono systematyczne i znaczące różnice pomiędzy wartościami naprężeń wyznaczonych teoretycznie i doświadczalnie.
- Uwzględnienie odkształceń wszystkich elementów pośredniczących w przenoszeniu obciążenia, w tym również opon i elementów tłumiących.
- Uwzględnienie mocowań i kontaktów wszystkich elementów ramy.
- Optymalizacja parametrów siatki generowanej w trakcie analiz MES.
- Dokładna identyfikacja i konsekwentne uwzględnienie w modelu właściwości mechanicznych materiałów wszystkich części składowych analizowanej konstrukcji.

LITERATURA

1. Balonek J., Gozdur S. „*Wprowadzenie do Metody Elementu Skończonego*". Kraków: Akademia Górniczo-Hutnicza, 1999.
2. Deputat J. „*Badania ultradźwiękowe*". Gliwice: Instytut Metalurgii Żelaza im. Stanisława Staszica, 1979.
3. Hoffman K. "*Introduction to Measurements using Strain Gauges*". Alsbach RFN, 1989.
4. Krupa J. „*Analiza wytrzymałościowa MES ramy motocykla enduro.*" Kraków: Akademia Górniczo-Hutnicza, 2018.
5. Krupa J., Lachendro M., Nowak W. „Przegląd ram motocyklowych oraz zawieszeń tylnych w odniesieniu do projektu E-Moto AGH". *54. Konferencja Studenckich Kół Naukowych*, Kraków 2017.
6. Będkowski K., Wężyk P. „Skaning laserowy". *Teledetekcja i fotogrametria obszarów leśnych w Polsce.* Warszawa: Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, 2014, s. 326–343.
7. Porębska R. „*Wybrane zagadnienia oceny własności mechanicznych kompozytów termoplastycznych*". Rozprawa doktorska. Kraków: Politechnika Krakowska, 2008.
8. Rakowski G., Kacprzyk Z. „*Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji*". Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2016.
9. Siemieniec A., Wolny S. „*Wytrzymałość materiałów. Cz. 2*". Kraków: AGH Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, 2004.
10. Siemieniec A., Wolny S. „*Wytrzymałość materiałów. Cz. 4*". Kraków: AGH Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, 2007.

ANSYS UDF implementation for simulation of frost formation on the evaporator

Daria Krasota • daria_krasota@whirlpool.com • Whirlpool

The evaporators in the refrigerators work at extremely cold temperatures and when the moist air comes in contact with the cold fins and tubes of the evaporator, the vapor in the air tends to sublimate to form a thin layer of ice on the evaporator surfaces, called frost. This frost results in an increase of thermal resistance and blocks air passages, and hence, reduces system heat transfer efficiency of the evaporator. The purpose of the article is to share the learnings achieved from the studies for developing a CFD capability to predict the frost formation in the refrigerator evaporators using ANSYS Fluent solver.

To predict the frost formation, a phase change model with mass transfer which can convert the vapor phase into solid ice phase is required. There is no built-in model in Fluent for the same. Therefore, it was made a decision to proceed with UDF for mass transfer – provided by the ANSYS team. The results further were compared to the similar studies described in the journal article ("Numerical Simulation of Frosting on Fin-and-tube Heat Exchanger Surfaces" – Xiaomin Wu et al., 2017).

Geometry

The part of the evaporator fin with two rows of tubes was considered (triangular staggered arrangement) as it is presented on Fig. 1.

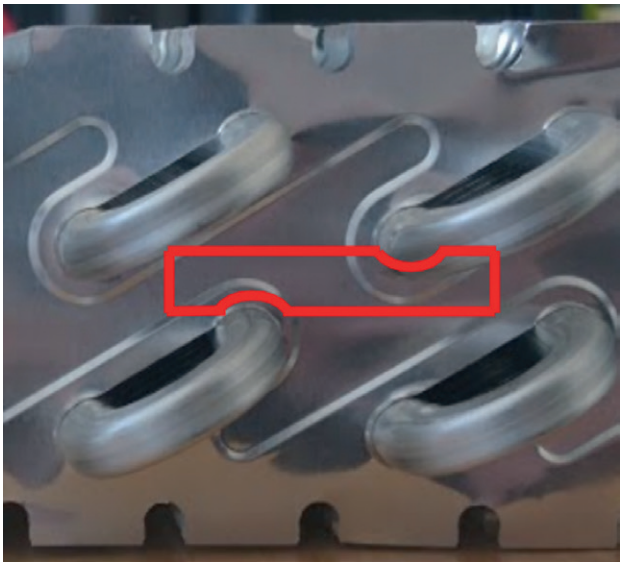
Simulation model consisted of three air flow passages (over and under the fin) – an inlet, an outlet section and air domain surrounding the fin (Fig. 2). The air flow passage height was half the difference between the fin pitch (1.50 mm) and the fin thickness (0.11 mm).

The inlet section was 15 mm long, while the outlet section was 7 mm long. The calculational domain was divided into the humid air domain (containing the three air flow passages, described before) and the aluminum fin domain (containing only the solid fin).

The boundary conditions for the system were as follows:

- tube wall temperature: –5°C,
- inlet air temperature: 2°C,
- inlet air velocity: 1 m/s,
- relative humidity: 85%.

Fig. 1. *Evaporator fin*



The mesh

The first step was to evaluate meshes for the model with two goals: (1) to have less than 5% variation in results with mesh change, and (2) to have a mesh as coarse as possible without affecting the accuracy, to be able to use a larger time step with the model. Since, the final goal is to be able to run the simulation on a full evaporator system, the time and resources required for the simulation need to remain practical.

After no phase change studies for the same case it was chosen CFD uniform mesh of cell size 0.3 mm. Total mesh count of ~0.14 million. Important for the mesh for further ANSYS UDF implementation was to have at least two rows of cells in the fin domain so the software will be able to calculate temperature changes through aluminum thickness of fin driven by conduction.

Next to the tube region also next to the inlet and outlets, the cells have the smallest size – as it is shown on Fig. 3. In such areas, particularly high accuracy of calculations is required.

Fig. 2. *Simulation model – evaporator fin part with air domain*

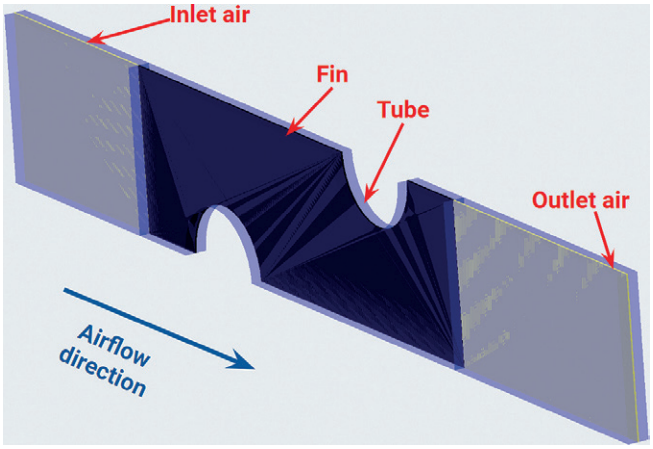


Fig. 3. *Simulation model mesh*

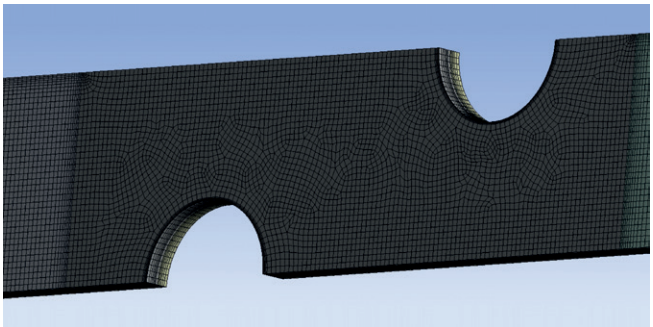


Fig. 4. *Fin surface temperature distribution*

Fig. 5. *Velocity contours of the airflow over the fin surface after 50 minutes*

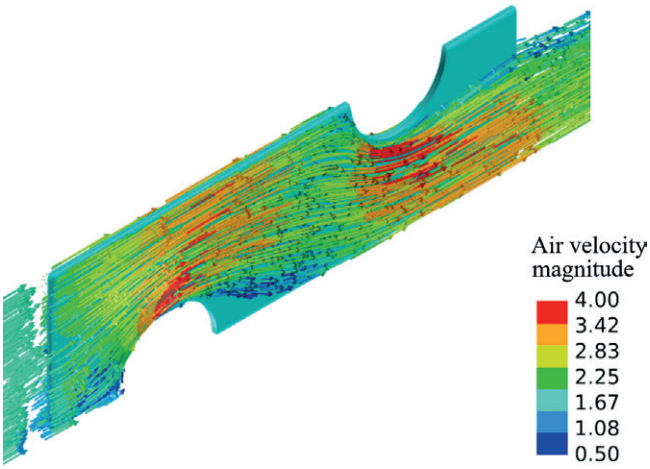


Fig. 6. *Air velocity magnitude and the volume of frost layer after 50 minutes of calculations*

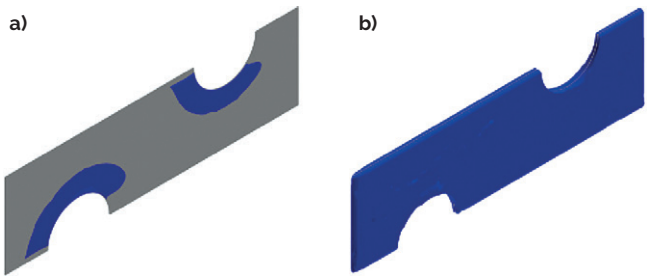


Fig. 7. *Frost layer growth: a) after 10 minutes of calculations, b) after 50 minutes of calculations*

Mass transfer model

The ANSYS UDF is based on the principle of the Lee's evaporation-condensation model, called the departure from equilibrium model. In the model, separate conservation equations (mass, momentum and energy) are solved for each phase and the interaction between the phases is taken into account via the interfacial mass (evaporation/condensation/freezing), momentum (drag) and energy (interfacial heat transfer) terms. These interfacial terms appear as source terms in the conservation equations and account for the modifications caused by the mass transfer. The phases are coupled via the fact that the sum of volume fractions of all phases equals to 1. However, the Lee's model uses the temperature difference ($T - T_{sat}$) as the driving force, while the frosting model uses the pressure dependent vapor mass fraction difference as the driving mechanism.

The mass transfer in frost process is based on the difference between the vapor pressure of the water vapor in the humid air and the saturation vapor pressure of the water vapor at the given temperature. When the vapor pressure of the water vapor becomes greater than the saturation vapor pressure, the vapor would convert into liquid form and when that liquid is exposed to temperatures below freezing temperature, it would convert into ice or frost in this case. Hence, in the model here, the mass transfer coefficient is non-zero only if the temperature in the cell under computation would be less than the freezing temperature.

An essential step in the ANSYS UDF is to mark the boundaries and their 1-cell regions where the frost is expected to start to grow.

Model limitations

- The model does not consider any melting of the frost.
- The humid air is considered as the incompressible ideal gas.
- The saturation pressure is calculated as a function of temperature of the humid air (a variation of August–Roche–Magnus formula).
- The model has a max limit on the volume fraction of frost in a cell. This limit is applied based on several experimental and validation results that a frost volume fraction maximum of 0.03÷0.08 can accumulate in a cell in three hours run time. However, this limit can be changed.
- The frost is considered to be motionless so as to stick to the fin surface.

Results

Figure 4 shows a temperature map of the fin surface after 50 minutes of physical time calculations. Similarly to the article, simulations are showing higher values next to the inlet region, while the colder spots are next to the tube – due to the constant boundary conditions (T = –5°C).

Velocity contours of airflow next to the fin surface are in the range of 0.5÷4 m/s. The lowest values are at the top and bottom parts right after the tube region. The airstream accelerates through the length of the channel and reaches higher velocity values there (2.25÷4 m/s).

Figure 6 shows the fraction of frost volume on the fin surface with the airflow streams after a frosting time of 50 minutes. The frost volume is higher near the tubes on the windward side and lower near the inlet. The frost distributions is dependent on the temperature map and air velocity distribution. The biggest contributors to the frost volume are following parameters: humidity of the air (for the case it was set up to 85%), and following coefficient (applied as the parameter in Fluent) max_frost_vof – average frost density expected in the required run time divided by the solid ice density at atmospheric conditions.

Figure 7 shows the frost zones – firstly frost is formed at the region next to the tube, which occurs due to the low temperature of the tube walls, then the frost covers the fin surface with time, leaving lower thickness spots in the area right after the tubes and the inlet.

Summary

There was developed a frost model for CFD using ANSYS software and the UDF. The model is predicting frost growth based on the principle of the Lee's evaporation-condensation model. Results were further compared to the data from the article. Good correlation was achieved for the temperature contour plots (lower temperature next to the tubes region) as well as for the velocity vectors (higher velocity in the middle). Unfortunately in the article there were no values of frost volume changes with time, therefore further investigation and test repetition will be the next step of model understanding and improvement. Nevertheless the pattern remains very similar – lower thickness of frost is noticed next to the tubes (at the right side) as well as at the inlet section (comparing to the outlet section).

Projekt, analiza i optymalizacja układu chłodzenia baterii wysokiego napięcia bolidu Formuły Student

Damian Uchyła • damian.uchyla@racing.polsl.pl • koło naukowe PolSl Racing

PolSl Racing, zespół Formuły Student z Politechniki Śląskiej, po zbudowaniu dwóch spalinowych samochodów wyścigowych i elektrycznego motocykla terenowego rozpoczął proces projektowania swojego pierwszego elektrycznego samochodu wyścigowego. W artykule opisano prace nad projektem kompletnego układu chłodzenia akumulatora wysokiego napięcia. Analizę CFD przeprowadzono w programie ANSYS Fluent. Analizy 2D i 3D wykonano dla ustalonych warunków przepływu. System chłodzenia powietrzem wybrano ze względu na prostotę konstrukcji, a także jej niezawodność, niską masę i mały koszt – powietrze otoczenia jest wpychane do wnętrza akumulatora podczas ruchu pojazdu i przepływa wokół ogniw.

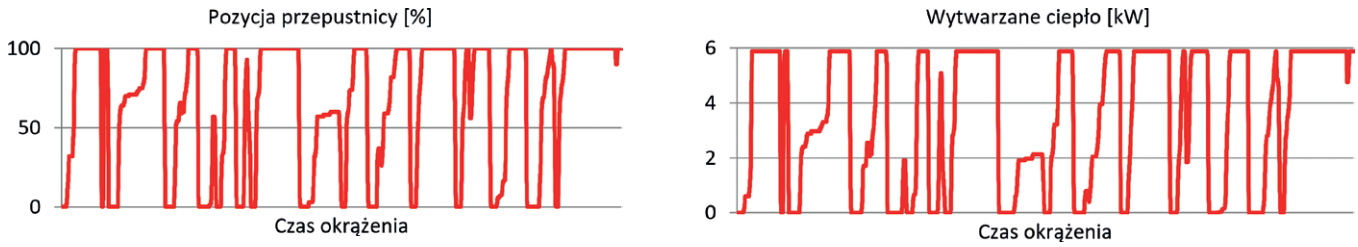
Obliczanie ciepła wytwarzanego w baterii

Aby obliczyć średnią wartość ciepła wytwarzanego w akumulatorze wysokiego napięcia samochodu startującego w zawodach, konieczne były: pozyskanie danych telemetrycznych z poprzednich samochodów i analiza wykresu użytkowania przepustnicy (rys. 1). Dla każdego kroku czasu obliczono oczekiwane wartości parametrów, które pojawiłyby się w akumulatorze samochodu elektrycznego – natężenia prądu elektrycznego [A] i strat mocy [kW]. Średni obliczony strumień ciepła to 3,33 kW.

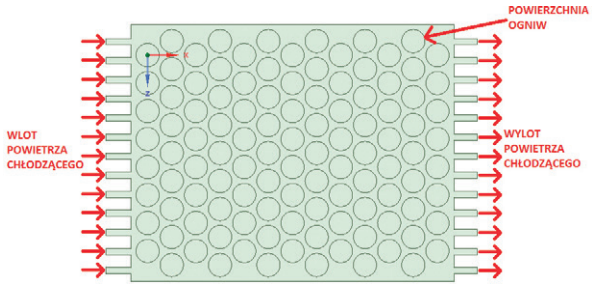
Analiza na geometrii testowej

Zanim przeprowadzono pełną analizę, wykonano serię szybkich analiz 2D CFD dla uproszczonej geometrii (rys. 2), aby określić wpływ siatki, modeli lepkości i metod rozwiązania na jakość obliczeń i wyniki. W ten sposób sprawdzono ponad 40 ustawień. Geometria testowa posłużyła również do szybkiego zbadania wpływu prędkości powietrza na wlocie na temperaturę ogniw (rys. 3). Pierwsze wyniki wskazują, że chłodzenie powietrzem może być odpowiednią metodą chłodzenia akumulatora w założonych warunkach.

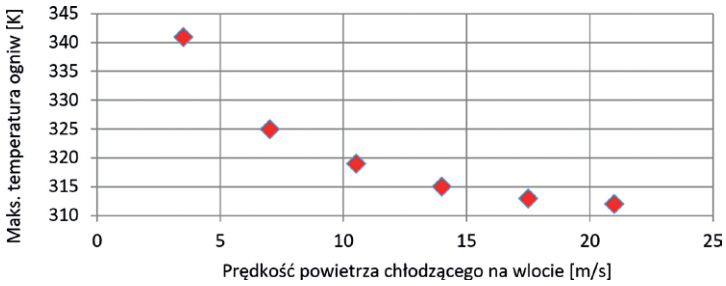
Aby skrócić czas optymalizacji projektu, dla testowej geometrii opracowano również wewnętrzny układ ogniw. Sprawdzono, która z wartości bliskości ogniw i który układ są najkorzystniejsze. Każdy wariant przeanalizowano dla kilku wartości prędkości na wlocie powietrza chłodzącego (rys. 4–7).



Rys. 1. *Wykresy użycia przepustnicy i obliczone ciepło wygenerowane w samochodzie elektrycznym Formuły Student*

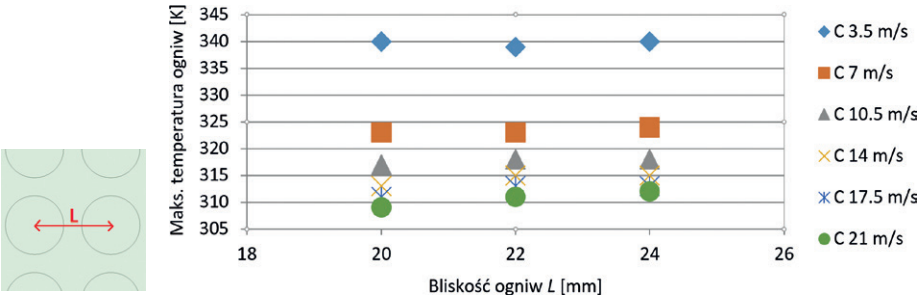


Rys. 2. *Geometria testowa wnętrza baterii*

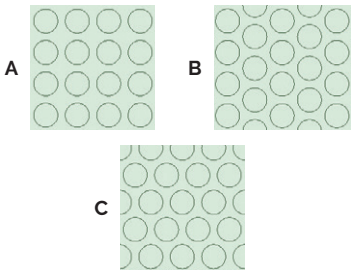


Rys. 3. *Wpływ prędkości powietrza na wlocie na temperaturę ogniw*

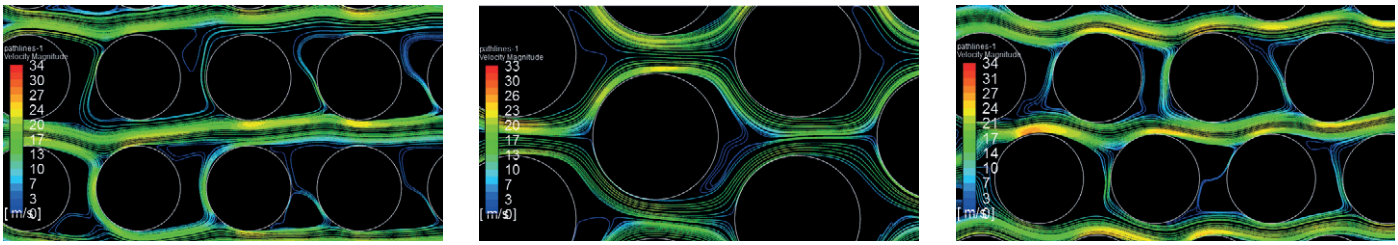
Rys. 4. *Wpływ prędkości powietrza na wlocie i bliskości ogniw L na maksymalną temperaturę ogniw (dla układu C – patrz rys. 5)*



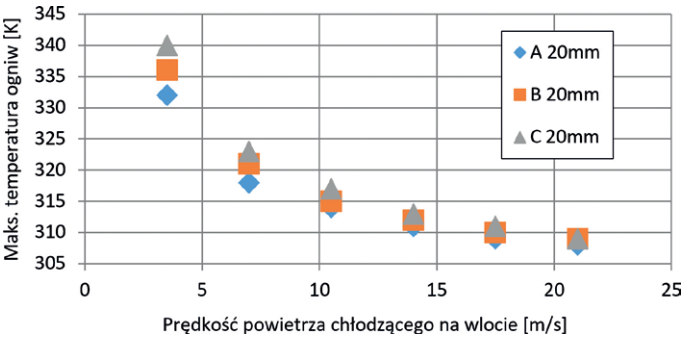
Rys. 5. *Sprawdzane układy ogniw*



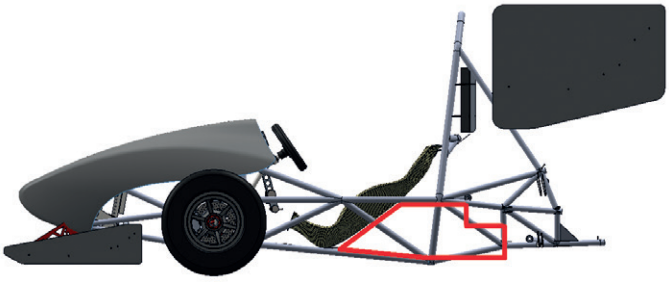
Układ A **Układ B** **Układ C**



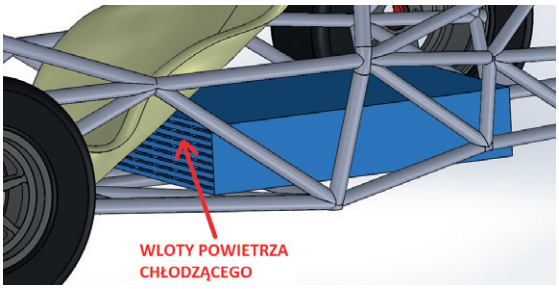
Rys. 6. *Linie pływu powietrza owiewającego ogniwa*

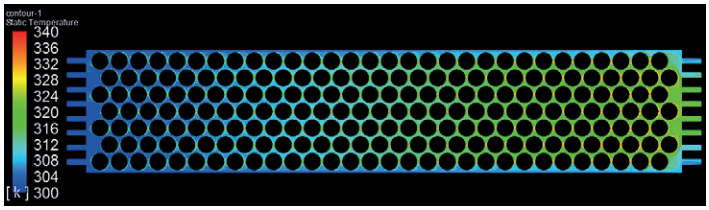


Rys. 7. *Wpływ prędkości powietrza chłodzącego na wlocie i układu ogniw na ich temperaturę (przy bliskości 20 mm)*

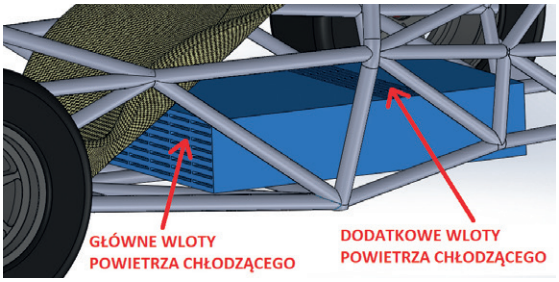


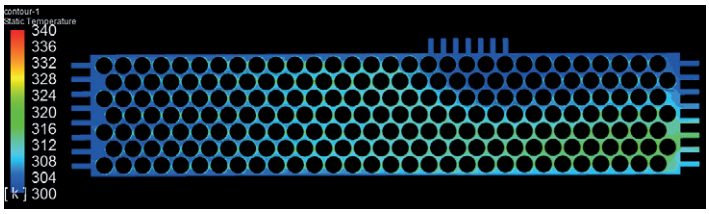
Rys. 8. *Przestrzeń dostępna na baterię wysokiego napięcia w bolidzie PolSl Racing SW-03E*



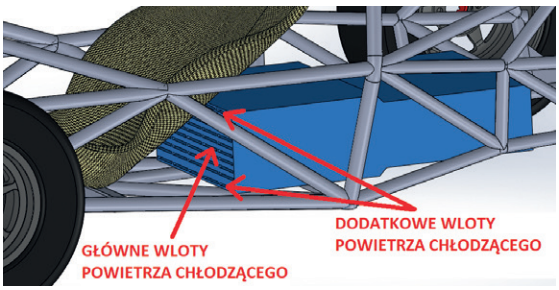


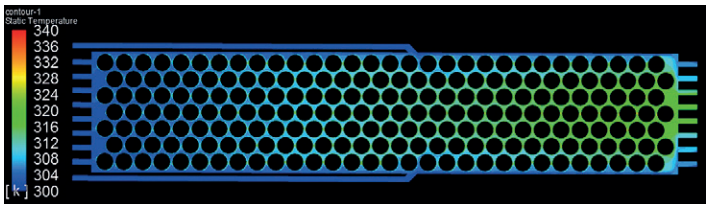
Rys. 9. *Koncepcja A – model CAD i wyniki analizy CFD 2D przy 14 m/s*



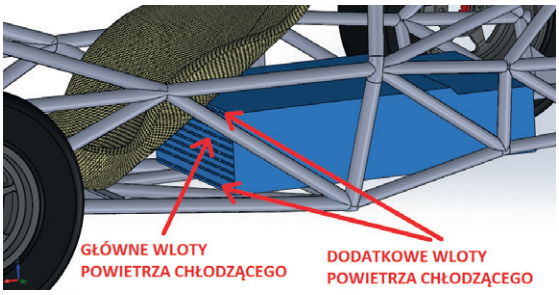


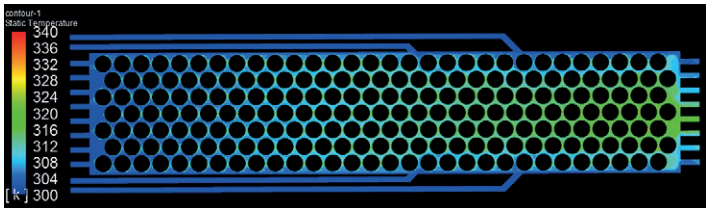
Rys. 10. *Koncepcja B – model CAD i wyniki analizy CFD 2D przy 14 m/s*



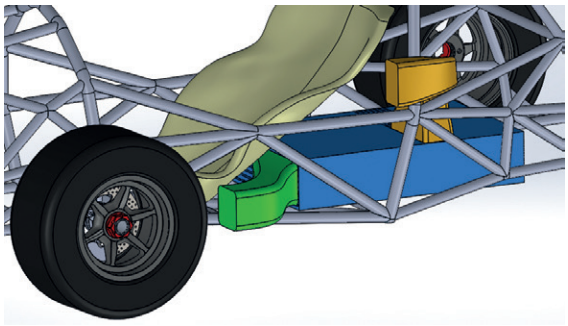


Rys. 11. *Koncepcja C – model CAD i wyniki analizy CFD 2D przy 14 m/s*

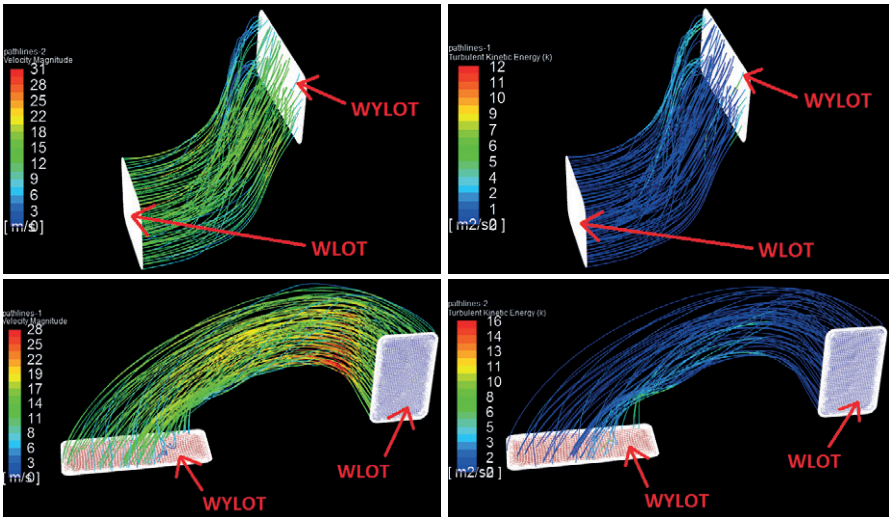




Rys. 12. *Koncepcja D – model CAD i wyniki analizy CFD 2D przy 14 m/s*



Rys 13. *Bolid PolSl Racing SW-03E z baterią i kanałami wlotowymi – model CAD*



Rys. 14. *Linie pływu w przednim i górnym wlocie powietrza z pokazanymi prędkościami i energią kinetyczną turbulencji (przy 14 m/s)*

Koncepcje kształtu akumulatora

Przed rozpoczęciem projektowania akumulatora wysokiego napięcia zespół PolSl Racing musiał przygotować dostępną przestrzeń dla każdego elementu (rys. 8). Zanim wybrano sposób umieszczenia akumulatora, ustawiono kilka elementów istotnych dla projektu samochodu. Przygotowano cztery koncepcje projektu do obliczeń CFD (przy kilku prędkościach powietrza), różniące się przede wszystkim liczbą i położeniem wlotów powietrza chłodzącego (wpływa to na ilość przepływającego przez nie powietrza i rozkład prędkości przepływu wewnątrz akumulatora) (rys. 9–12).

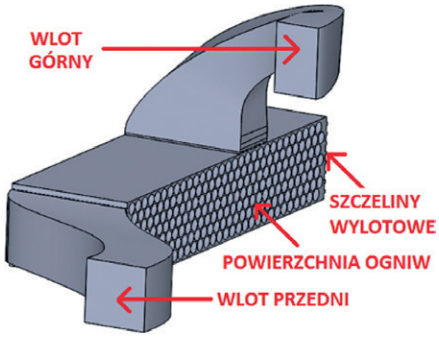
Do dalszej analizy wybrano koncepcję B ze względu na najlepsze właściwości chłodzące oraz konstrukcję, która jest prosta i tania w produkcji. Jedynym dodatkowym działaniem projektowym, mającym na celu wykorzystanie całego potencjału tej koncepcji, jest zamontowanie kanałów wlotowych z przodu i na górze akumulatora. Maksymalna temperatura ogniwa przy prędkości powietrza na wlocie 14 m/s wynosi 53°C, czyli jest niższa od zakładanej wartości granicznej, tj. 60°C.

Analiza wlotów powietrza

Aby zwiększyć przepływ powietrza chłodzącego, zastosowano po dwa kanały wlotowe po obu stronach samochodu. Zaprojektowano je tak, aby uzyskać możliwie gładki kształt, zapewniający jak najmniejsze turbulencje i opór. Nie było to łatwe z uwagi na małą ilość wolnej przestrzeni w samochodzie, jednak analiza CFD potwierdziła, że przepływ w kanałach jest bliski laminarnemu (rys. 13 i 14).

Końcowa analiza projektu

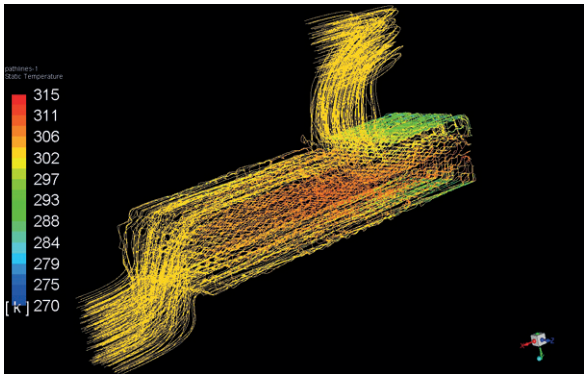
Pomyślne wstępne analizy CFD skłoniły do przeprowadzenia pełnowymiarowej analizy CFD 3D wnętrza akumulatora i kanałów wlotowych (rys. 15).



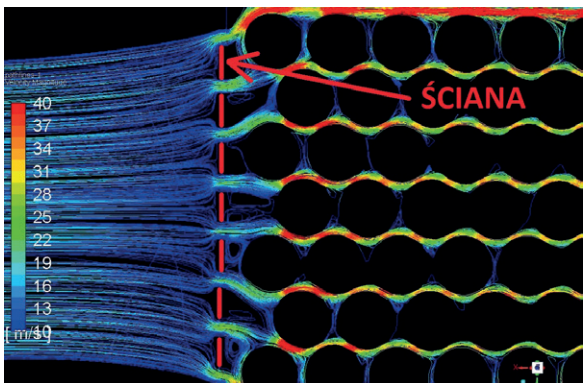
Rys. 15. *Akumulator i kanały wlotowe do końcowej analizy CFD 3D*

Ostateczne wyniki (rys. 16–17) potwierdziły przewidywania wynikające z analiz 2D: układ chłodzenia powietrzem jest wystarczająco wydajny, aby można go było zastosować w samochodzie wyścigowym Formuły Student. Maksymalna temperatura ogniwa przy założonej średniej prędkości samochodu 14 m/s jest znacznie niższa od granicy bezpieczeństwa 60°C.

W niedalekiej przyszłości zostanie zbudowana bateria, co pozwoli na przeprowadzenie testów samochodu i przygotowanie go do użycia w warunkach wyścigowych.



Rys. 16. *Linie pływu powietrza chłodzącego płynącego przez wloty i wnętrze akumulatora z zaznaczoną temperaturą statyczną*



Rys. 17. *Linie pływu powietrza wpływającego do baterii z przedniego wlotu z zaznaczoną prędkością*

ANSYS VRXPERIENCE Sound

Nowe narzędzia do kompleksowej analizy hałasu

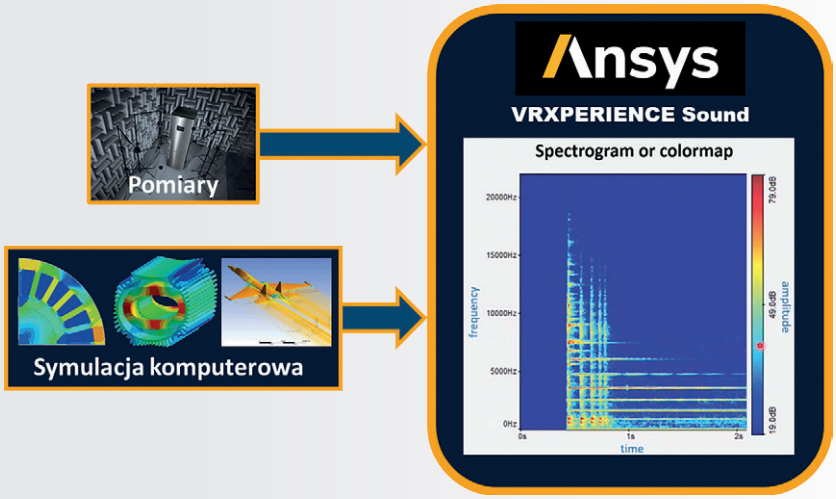
Tomasz Kądziołka • MESco Sp. z o.o. • tkadziolka@mesco.com.pl
Jacek Maj • MESco Sp. z o.o. • jmaj@mesco.com.pl

ANSYS VRXPERIENCE Sound to nowe narzędzie w rodzinie produktów ANSYS, służące do diagnostyki, weryfikacji normowej i oceny estetycznej produktów na podstawie generowanych przez nie dźwięków i drgań mechanicznych. To oprogramowanie pozwala na szczegółową analizę akustyczną dzięki kombinacji sygnałów pochodzących z pomiarów w domenie częstotliwości i czasu. W ten sposób użytkownik może bardzo precyzyjne „wybierać" z obserwowanego spektrum interesujące go częstotliwości oraz amplitudy.

Dane wejściowe – z pomiarów lub z symulacji

Ważną zaletą ANSYS VRXPERIENCE Sound jest możliwość korzystania zarówno z danych wejściowych pochodzących z pomiarów, jak i z danych uzyskanych w symulacjach przeprowadzonych w innych programach ANSYS. Dzięki temu znacznie ograniczamy liczbę koniecznych pomiarów i prototypów w procesie weryfikacji czy doskonalenia danego produktu.

Bardzo istotną cechą narzędzia ANSYS VRXPERIENCE Sound jest także możliwość wyizolowania z badanego systemu dźwięków generowanych przez konkretny komponent. Dodatkowo ANSYS VRXPERIENCE Sound jest prosty w obsłudze.



DYSON – Przykład zastosowania

Analiza dźwięku pozwala producentowi określić, co jest źródłem szumu: drgania mechaniczne, przepływ medium (powietrza, płynu) czy drgania pochodzące z pracy silnika elektrycznego. Właśnie taki problem musiała rozwiązać firma DYSON – czołowy producent odkurzaczy na świecie.

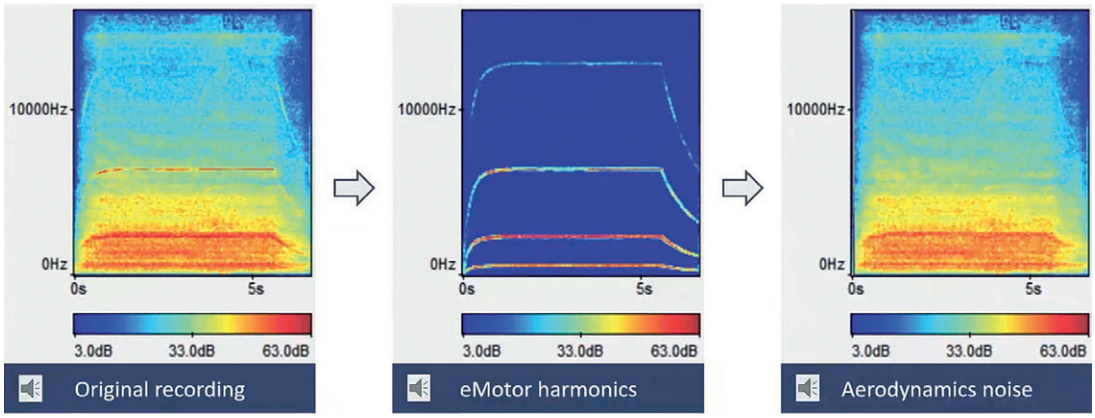
Dzięki oprogramowaniu ANSYS VRXPERIENCE Sound ze słyszanego szumu odkurzacza można było wyizolować szum pochodzący od przepływu powietrza i szum pochodzący od pracy silnika elektrycznego. Proces zajął mniej niż minutę!

Następnie stworzono wirtualny prototyp silnika elektrycznego, generującego znacznie mniej słyszalnego hałasu, który został nałożony na istniejące spektrum szumu pochodzącego z przepływu powietrza. Dzięki tym próbom udało się opracować odkurzacz, którego tzw. sygnatura dźwiękowa była dużo przyjemniejsza dla użytkownika.

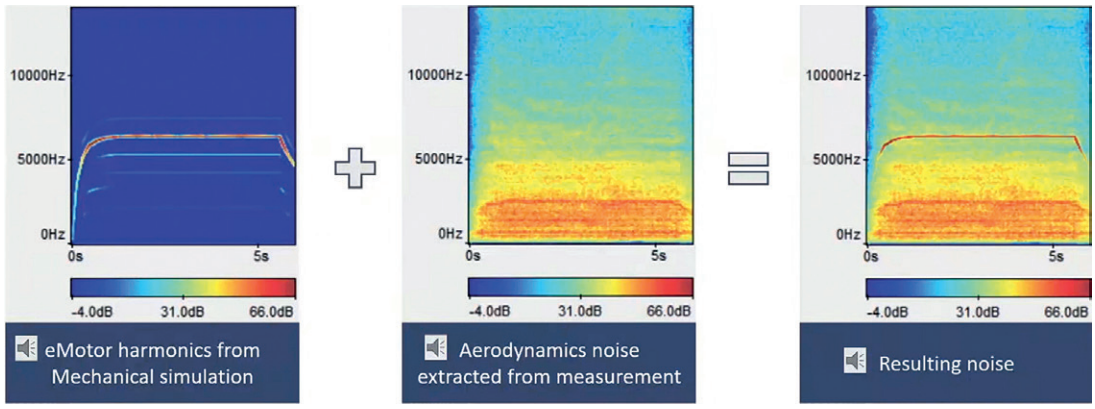
Na dalszych etapach prac firma DYSON eksperymentowała z odpowiednim dostosowaniem prędkości obrotowej silnika elektrycznego, tak aby generował on możliwie najmniejszy hałas.

Bez ANSYS VRXPERIENCE Sound konieczne byłoby wykonywanie fizycznych prototypów i pomiarów w przypadku każdego nowego pomysłu. Dzięki oprogramowaniu ANSYS wszystkie koncepcje można było zweryfikować, korzystając tylko z jednego bazowego modelu fizycznego. Dało to firmie DYSON dużą swobodę eksperymentowania – w ten sposób stworzyła produkty, które są dla użytkowników przyjemniejsze w odbiorze, i zdobyła istotną przewagę rynkową.

Wyizolowanie ze słyszanego spektrum szumu pochodzącego od przepływu powietrza i pracy silnika elektrycznego



Wirtualny prototyp silnika elektrycznego, który generuje znacznie mniej słyszalnego hałasu, nałożony na istniejące spektrum szumu pochodzącego z przepływu powietrza

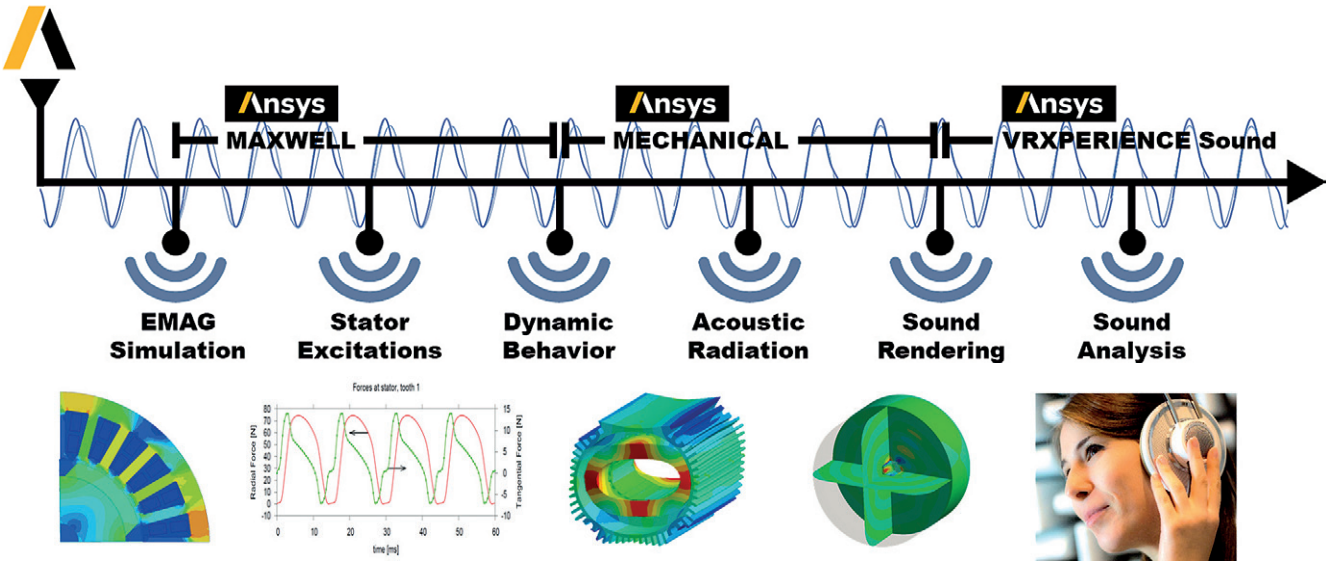


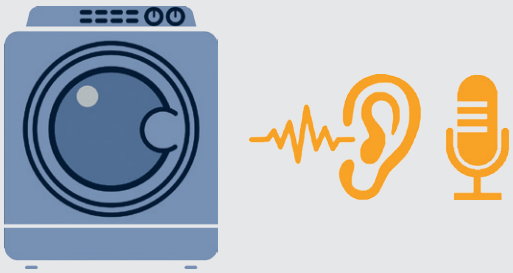
NVH – Noise Vibration and Harshness

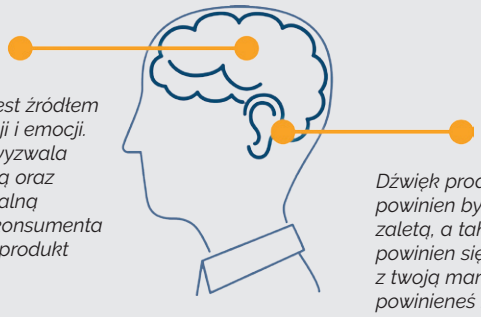
ANSYS VRXPERIENCE Sound pozwala na wyraźne zredukowanie liczby fizycznych pomiarów i prototypów, wymaganych do zweryfikowania produktu przed uruchomieniem jego masowej produkcji. Co więcej, ANSYS VRXPERIENCE Sound umożliwia nie tylko weryfikację produktu, ale i całego systemu, w którym dany produkt funkcjonuje. Natomiast dzięki rozbudowanym narzędziom do analizy dźwięku można sprawdzić, co jest źródłem dźwięku.

Analizy NVH nie muszą być ostatnim stadium weryfikacji produktu, ale mogą być częścią procesu rozwojowego projektu. Dzięki wynikom z symulacji mechanicznej da się przewidzieć poziom hałasu i częstotliwość dźwięku jeszcze przed powstaniem pierwszego prototypu. Jak to możliwe? Symulacja drgań akustycznych, wykonana w programie ANSYS, może dostarczyć danych wejściowych do ANSYS VRXPERIENCE Sound. Wysoka dokładność obliczeń daje pewność, że analizowane spektrum odzwierciedla rzeczywiste zachowanie produktu.

ANSYS VRXPERIENCE Sound jest również doskonałym narzędziem do kontroli jakości. Użytkownik może stworzyć referencyjne widmo, które będzie porównywane z każdą wykonaną próbką. Ponieważ izolowanie otoczenia jest w tym oprogramowaniu bardzo proste, badania akustyczne mogą się odbywać bezpośrednio na linii produkcyjnej.







Nadaj zupełnie inne brzmienie produktowi dzięki ANSYS VRXPERIENCE Sound!

Za pomocą ANSYS VRXPERIENCE Sound można analizować dźwięk generowany przez produkt, a następnie nadać mu unikatową sygnaturę!

Dlaczego sposób, w jaki odbierany jest dźwięk, ma znaczenie?

Każdy produkt generuje dźwięk, a to, w jaki sposób klient odbiera ten produkt, jest kluczowe z punktu widzenia sprzedaży oraz kreowania marki. Nikt z nas nie chce używać produktów, które źle brzmią lub źle wyglądają. To nasza percepcja sprawia, że z danym produktem się identyfikujemy lub nie. Dźwięk produktu wpływa na jego postrzeganie oraz wartość.

Jak działa ANSYS VRXPERIENCE Sound?

To narzędzie w rękach inżyniera umożliwia odsłuch, analizę oraz projektowanie źródła dźwięku. Pozwala na tworzenie przestrzennych scenariuszy dźwięku 3D, pomaga ulepszyć odczucia słuchowe produktów na podstawie nagrań dźwięku, symulacji CAE oraz wirtualnej rzeczywistości (VR).

Oddzielaj, definiuj, twórz!

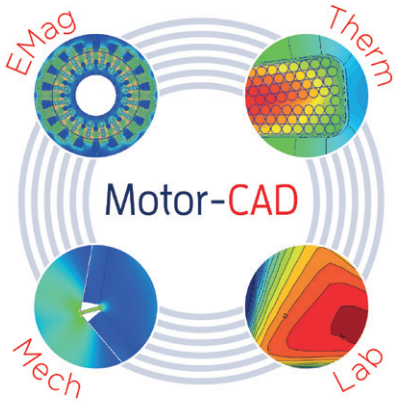
ANSYS VRXPERIENCE Sound oferuje użytkownikowi zestaw narzędzi analitycznych skoncentrowanych na brzmieniu danego urządzenia oraz sposobie, w jaki klient odbiera je poprzez zmysły. VRXPERIENCE Sound pomaga inżynierom usłyszeć, przeanalizować i poprawić odbiór dźwięku.

Wyizoluj poszczególne dźwięki, aby lepiej zrozumieć ich wpływ na ogólny odbiór

Oceń odbiór dźwięku na podstawie testów percepcji oraz psychoakustycznych

Nadaj zupełnie nowe brzmienie swoim produktom

ANSYS Motor-CAD



Tomasz Kądziołka • tkadziolka@mesco.com.pl • MESco Sp. z o.o.

W dniu 8 października 2019 r. w Pittsburghu została podpisana umowa partnerska pomiędzy firmami ANSYS Inc. a Motor Design Limited (MDL). Brytyjska firma MDL powstała w 1998 r. z inicjatywy założyciela Davida Stantona, który jako doktorant na Uniwersytecie w Sheffield w latach 80. rozpoczął prace nad oprogramowaniem CAD przeznaczonym do projektowania maszyn elektrycznych.

Oprogramowanie ANSYS Motor-CAD, rozwijane przez firmę ANSYS, wspiera proces projektowania silników elektrycznych poprzez symulację komputerową. Firma MDL jest niekwestionowanym liderem w tworzeniu zaawansowanych narzędzi i programów do szybkiego prototypowania maszyn elektrycznych.

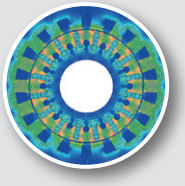
Motor-CAD umożliwia użytkownikowi sprawdzenie wielu koncepcji oraz topologii maszyn w pełnym zakresie ich pracy, a także optymalizację pod kątem wymiarów geometrycznych, właściwości ruchowych czy sprawności. Motor-CAD to cztery w pełni zintegrowane moduły – EMag, Therm, Lab oraz Mech – pozwalające na wykonywanie szybkich wielowariantowych obliczeń wielofizycznych w bardzo krótkim czasie.

Obecnie na rynku obserwujemy znaczące skrócenie cyklu rozwoju produktów. Projektanci maszyn elektrycznych muszą odważnie podejmować kluczowe decyzje, które w późniejszym czasie mogą zaważyć na powodzeniu danego projektu. Szybkie obliczenia i sprawny proces modyfikacji danych wejściowych pozwalają użytkownikom Motor-CAD na sprawdzenie większej liczby wariantów maszyny oraz ocenę wpływu strat na początku procesu projektowania.

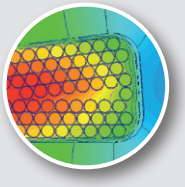
Program ma intuicyjny interfejs graficzny, oparty na zdefiniowanych szablonach maszyn: indukcyjnych, synchronicznych, reluktancyjnych, z magnesami trwałymi itd.

Moduły elektromagnetyczny, termiczny i mechaniczny zapewniają ograniczenie do absolutnego minimum liczby specjalistów pracujących nad rozwojem konstrukcji, dzięki czemu konstruktor ma większą kontrolę i może podejmować świadome decyzje.

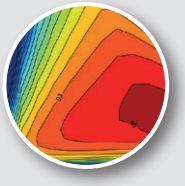
Motor-CAD – dostępne moduły



EMag | Weryfikacja parametrów elektromagnetycznych i właściwości ruchowych
Moduł EMag służy do szybkich obliczeń parametrów elektromagnetycznych i ruchowych maszyn elektrycznych. Wykorzystuje kombinację zaawansowanych równań analitycznych i obliczenia bazujące na metodzie elementów skończonych (2D).



Therm | Temperatura oraz zaawansowane układy chłodzenia maszyn elektrycznych
Moduł Therm to unikalne narzędzie do analiz termicznych maszyn elektrycznych (dostępne na rynku od ponad 20 lat). Pozwala na wyznaczanie temperatury w stanie ustalonym i nieustalonym, do czego wykorzystuje zaawansowane modele sieci termicznych.



Lab | Efektywne wyznaczanie map sprawności z uwzględnieniem cyklu pracy
Narzędzie Lab umożliwia szybką i dokładną analizę dowolnej maszyny elektrycznej w pełnym zakresie pracy, w tym wyznaczenie sprawności z uwzględnieniem cyklu pracy.

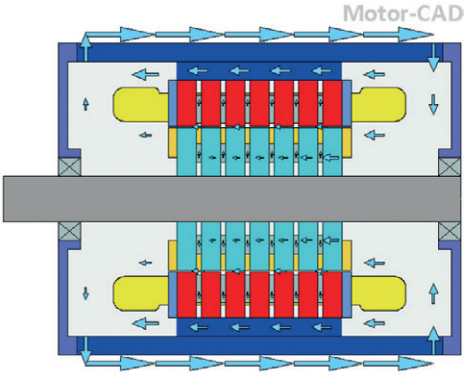
Mech | Analiza mechaniczna konstrukcji
Moduł Mech wykorzystuje metodę elementów skończonych (2D) do analizy naprężeń i przemieszczeń podczas pracy maszyny elektrycznej.

Kultura pracy w Motor-CAD

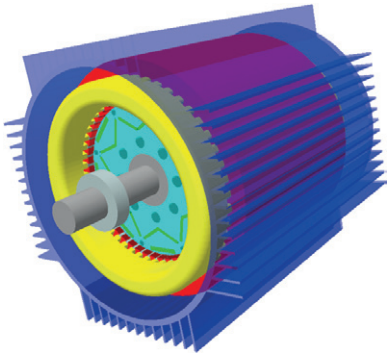
W odróżnieniu do innych produktów z rodziny ANSYS Motor-CAD skupia się na rozwiązywaniu problemów z zakresu wirujących maszyn elektrycznych. Do obliczeń wykorzystuje kombinację metody elementów skończonych i równań analitycznych, więc łączy dwie kluczowe dla każdego konstruktora cechy: szybkość i dokładność obliczeń.

Przyjrzyjmy się teraz możliwościom programu w zakresie obliczeń EM, a te są imponujące. Program pozwala na wyznaczanie momentów, mocy, strat, napięć, prądów, indukcyjności oraz charakterystyk ruchowych, obliczonych na podstawie: wprowadzonej geometrii stojana, wirnika, parametrów materiałowych, danych nawojowych uzwojenia, a także rodzaju pracy maszyny (silnikowa, generatorowa, hamulcowa). Otrzymane wyniki, np. straty, w kolejnym kroku mogą zostać wykorzystane do wyznaczenia temperatury maszyny (z uwzględnieniem konwekcji naturalnej i wymuszonej, chłodzenia cieczą i in.). Jeżeli wyznaczona temperatura jest zbyt wysoka, mamy możliwość zmiany lub optymalizacji zastosowanego układu chłodzenia, np. przez zabudowanie płaszcza wodnego w kadłubie silnika. Użytkownik, który ma wszystkie niezbędne informacje na temat strat w maszynie (m.in. strat w uzwojeniu, żelazie, łożyskach i in.), może od razu przejść do modułu termicznego Motor-CAD oraz badać wpływ konstrukcji mechanicznej i sposobu chłodzenia na oddawanie ciepła do otoczenia.

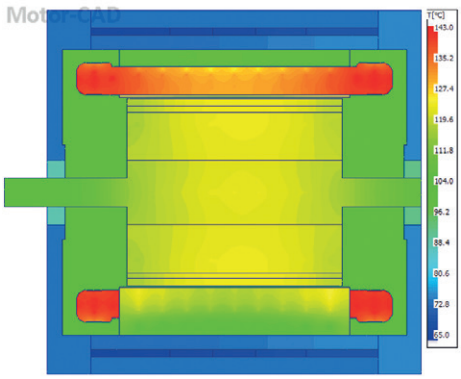
Największą zaletą programu jest opcja wykonywania tzw. sprzężenia dwustronnego pomiędzy modułem elektromagnetycznym i termicznym. W takim przypadku użytkownik szacuje wartości temperatury dla modelu elektromagnetycznego (warto przypomnieć, że straty m.in. w uzwojeniu zależą od temperatury, podobnie jak własności magnesów



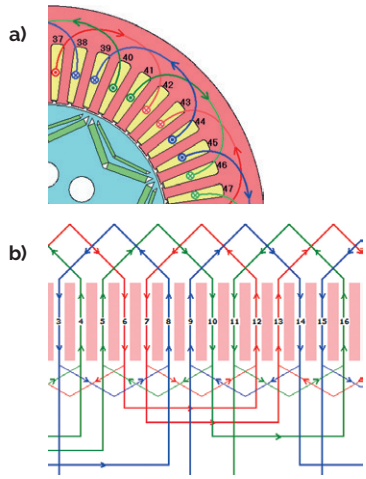
Rys. 1. *Wizualizacja sposobu chłodzenia maszyny elektrycznej w module Therm*



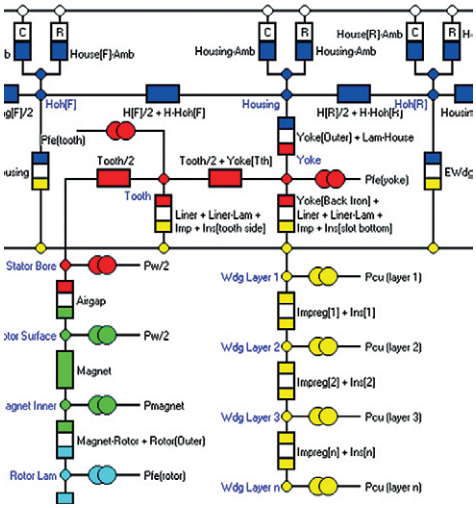
Rys. 2. *Wizualizacja 3D projektowanego silnika*



Rys. 3. *Rozkład temperatury w przekroju maszyny*



Rys. 4. *Dwa sposoby reprezentacji graficznej schematu uzwojenia*



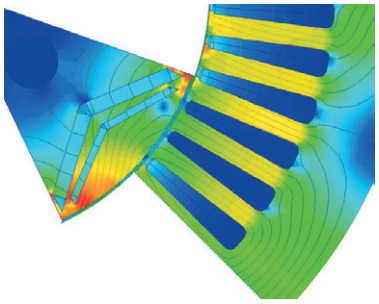
Rys. 5. *Fragment modelu sieci termicznej otrzymanej w ANSYS Motor-CAD*

trwałych), a potem wykonuje obliczenia termiczne.

Następnie wartości temperatury wyznaczone w module termicznym są przenoszone do modułu elektromagnetycznego, gdzie na ich podstawie wyznaczane są nowe parametry uwzględniające zmianę temperatury. Użytkownik może zdefiniować kryterium zbieżności, dzięki któremu program w sposób automatyczny wykona kilka iteracji pomiędzy modułem EM a termicznym do momentu, gdy temperatura pomiędzy poszczególnymi iteracjami nie zmieni się o więcej niż np. o 0,5%.

Bardzo często użytkownicy chcą wiedzieć, do jakiej temperatury nagrzeje się maszyna podczas pracy w rzeczywistym środowisku. Załóżmy, że jesteśmy konstruktorami napędu do pojazdu elektrycznego i obowiązuje nas norma WLTP, określająca cykl pracy silnika w rzeczywistym środowisku (prędkość pojazdu, moment, straty itd.). Tu z pomocą przychodzi nam moduł Lab, w którym zdefiniujemy cykl pracy. Na tej podstawie program oszacuje m.in. moment oraz straty w funkcji czasu (bazując na module EM), a to z kolei pozwoli na wyznaczenie przyrostów oraz rozkładu temperatury dla rzeczywistego cyklu pracy maszyny.

Warto nadmienić, że to tylko wybrane funkcjonalności oprogramowania ANSYS Motor-CAD. W przypadku dodatkowych pytań zachęcamy do kontaktu z firmą MESco.



Rys. 6. *Rozkład indukcji magnetycznej w maszynie – analiza polowa*

Ansys
CERTIFIED ELITE CHANNEL PARTNER

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.

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.

Wydawca: MESCO Sp. z o.o.
al. Legionów 4, 41-902 Bytom
tel. +48 (32) 768 36 36, faks +48 (32) 768 36 35
plac Konstytucji 6/83, 00-550 Warszawa
info@mesco.com.pl, www.mesco.com.pl

Redakcja i korekta: Małgorzata Pilewicz, Anna Wojewódzka
Projekt graficzny i skład: Marzena Rosochacz