

# MESSENGER

## Drodzy Czytelnicy!

Tradycyjnie witamy jesień kolejnym numerem czasopisma. Już od kilku lat w styczniu i lipcu pojawiają się kolejne wersje programu ANSYS. Obecnie wersja 2023R2 prócz nowych funkcjonalności przynosi rozszerzenie tych już znanych. Podzieliliśmy je tematycznie na trzy grupy: dotyczące mechaniki, analiz CFD oraz analiz elektromagnetycznych.

Poza tym prezentujemy ciekawe opisy dwóch funkcjonalności programu LS-Dyna. Jeden dotyczy modułu ANSYS Forming – niedawno wprowadzonego interfejsu do wieloetapowych analiz tłoczenia blach. Pod nowym interfejsem kryje się oczywiście wydajny i niezawodny solver, a samo przygotowanie symulacji jest bardzo wygodne. Drugi opis – w dziale *Tips&tricks* – przybliży symulację procesu spawania. Przy pomocy niewielkiego dodatku do interfejsu LS-Prepost można szybko zdefiniować proces wykonywania spoin razem z ustaleniem kolejności oraz definicją parametrów analizy termicznej i mechanicznej. Wynikiem analiz są cenne dla inżyniera deformacje spawalnicze.

Przy okazji zapraszamy Państwa na nowe szkolenie z ANSYS Motion, poświęcone analizom MBD. Szczegóły w *Aktualnościach*!

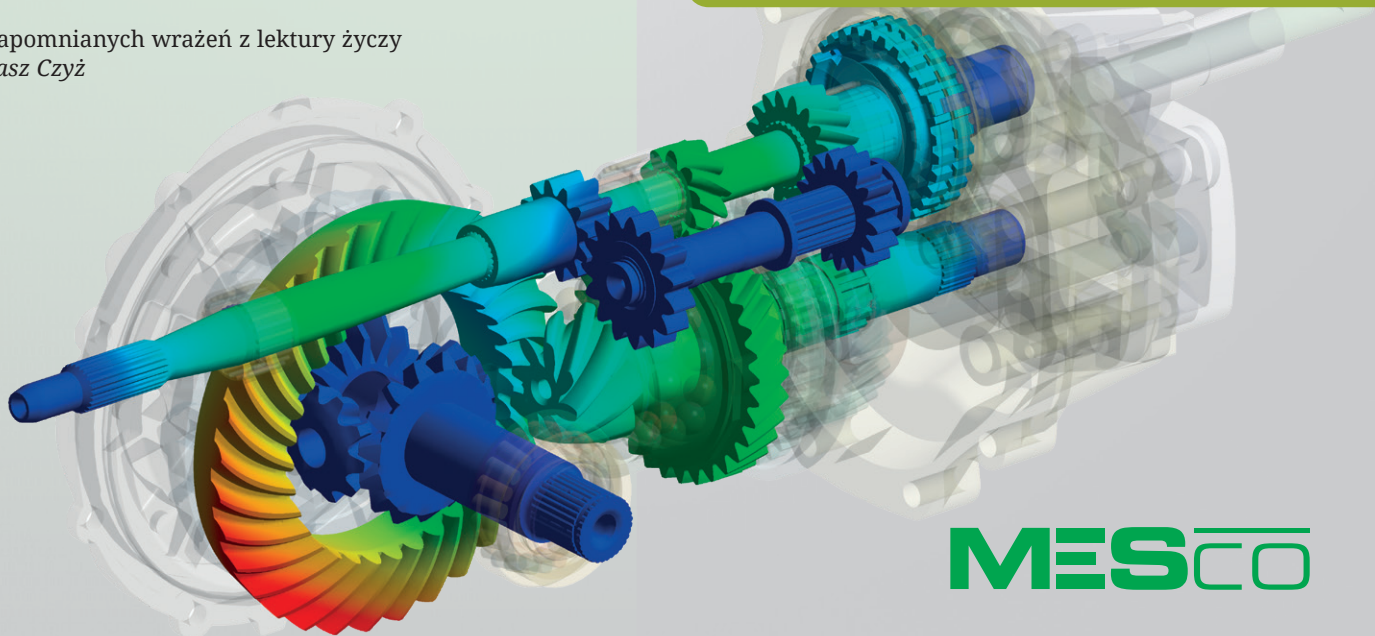
Szymon Wróblewski opisuje wykorzystanie GPU w symulacjach CFD na potrzeby projektowania zaworów wielkogabarytowych. Natomiast entuzjastów nowoczesnych technologii zainteresuje artykuł Stanisława Wowry o tym, jak będzie już niedługo wyglądał nasz inżynierski świat, w którym prym będzie wiodła sztuczna inteligencja, określana przez autora „super Zbyszkciem”. Swoją drogą bardzo dobra nazwa – tak właśnie ma na imię mój teść, który był świetnym inżynierem i odszedł na emeryturę.

Wracając do tematu nowoczesnych technologii, zachęcam do lektury praktycznego opisu dwóch zastosowań programu OptiSLang. Mateusz Kubik porusza temat analizy wrażliwości w poszukiwaniu zgodności symulacji i eksperymentu oraz optymalizacji w celu redukcji kosztów.

Niezapomnianych wrażeń z lektury życzy  
Tomasz Czyż

## W TYM NUMERZE:

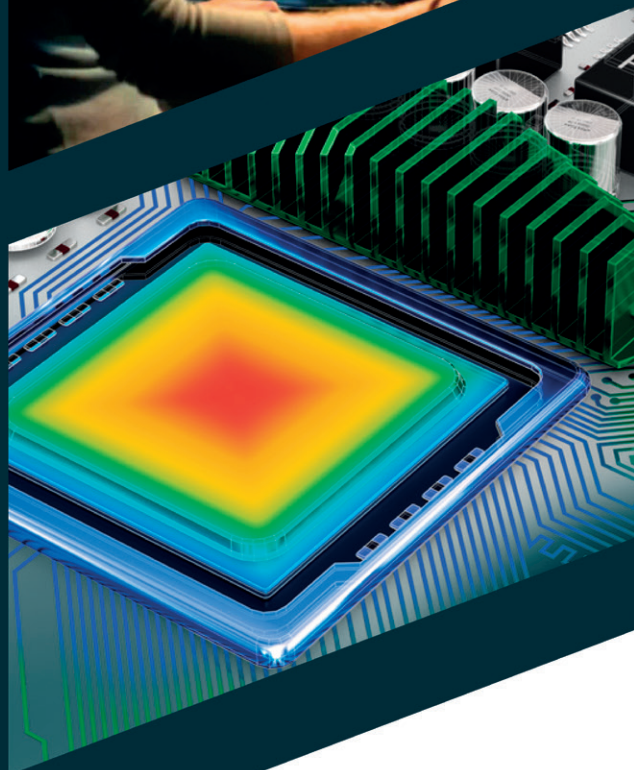
- 3 Aktualności
- 3 Nowe szkolenie:  
Analizy w ANSYS Motion
- 4 Formuła Student i najlepsze zespoły  
studenckie z całego świata!
- 6 Co nowego w analizach  
mechanicznych?
- 10 ANSYS Forming – analiza  
tłoczenia w pięć minut
- 13 Co nowego w analizach CFD?
- 14 Wykorzystanie GPU  
w symulacjach CFD na potrzeby  
projektowania zaworów  
wielkogabarytowych w TB Hydro
- 17 Co nowego w analizach  
elektromagnetycznych?
- 19 ANSYS OptiSLang – osobisty  
doradca projektowy inżyniera
- 22 AI/ML w symulacji,  
czyli „super Zbyszek”
- 24 Tips & tricks: Symulacja spawania  
w ANSYS LS-Dyna



MESCO

# SPRAWDŹ OFERTE SZKOLEŃ

OTWARTYCH LUB  
NA ZAMÓWIENIE



MESCO.COM.PL



**Ansys** /

ELITE  
CHANNEL PARTNER



## Nowa wersja oprogramowania ANSYS

W lipcu miała premierę najnowsza wersja oprogramowania ANSYS – 2023R2. Więcej o zmianach wprowadzonych w zakresie analiz mechanicznych, przepływowych i elektromagnetycznych przeczytaj Państwo na kolejnych stronach biuletynu.



## Jesienna sesja szkoleniowa

Przed nami kolejna sesja ogólnodostępnych szkoleń. Wychoząc naprzeciw Państwa oczekiwaniom, stale rozszerzamy ofertę kursów wprowadzających i zaawansowanych.

W zbliżającej się sesji po raz pierwszy proponujemy szkolenie poświęcone analizom kinematycznym, statycznym i dynamiką liniową w ANSYS Motion. Więcej na temat tego szkolenia przeczytaj Państwo na dole strony.

Pełna oferta szkoleń jest dostępna na:

<https://mesco.com.pl/uslugi/wdrozenia-oprogramowania-szkolenia-i-kursy-ansys/otwarte>

lub po zeskanowaniu kodu QR.



## MESco rośnie w siłę

Ostatni rok w MESco to czas intensywnych zmian. Nasz zespół został wzmocniony przez: Martynę Zyzik (dział marketingu), Grzegorza Woźniaka, Mateusza Kubika i Łukasza Borgula (dział sprzedaży), a także Michała Misiewicza (dział analiz elektromagnetycznych).

Nadal poszukujemy chętnych do działu technicznego na stanowisko **Application Engineer – symulacje mechaniczne**.

Szczegóły znajdują Państwo na naszej stronie internetowej w zakładce **oferty pracy**.



## Zawody Formuły Student

W ostatnich dniach sierpnia w Grójcu na torze wyścigowym Autodrom Słomczyn odbyły się zawody Formuły Student. Było to pierwsze takie wydarzenie organizowane w Polsce. Tym bardziej cieszymy się, że zespół MESco miał zaszczyt objąć to wydarzenie swoim patronatem. Dla nas to ogromne wyróżnienie, a także potężna dawka energii do jeszcze ściślejszej współpracy ze wspieranymi przez nas zespołami studenckimi.

Więcej o zawodach przeczytaj Państwo na stronie 4 naszego biuletynu.



# Nowe szkolenie: Analizy w ANSYS Motion

W ofercie szkoleniowej MESco pojawił się nowy kurs z analiz i modelowania mechanicznego w programie ANSYS Motion. Szkolenie jest poświęcone wprowadzeniu do analiz typu MBD (*multi body dynamics*), zapoznaniu uczestników z narzędziami pre/postprocesora oraz ze sposobem definicji więzów kinematycznych. Ponadto zostaną omówione sposoby modelowania złożonych wymuszeń kinematycznych oraz możliwości postprocesora wraz z prezentacją wyników analiz.

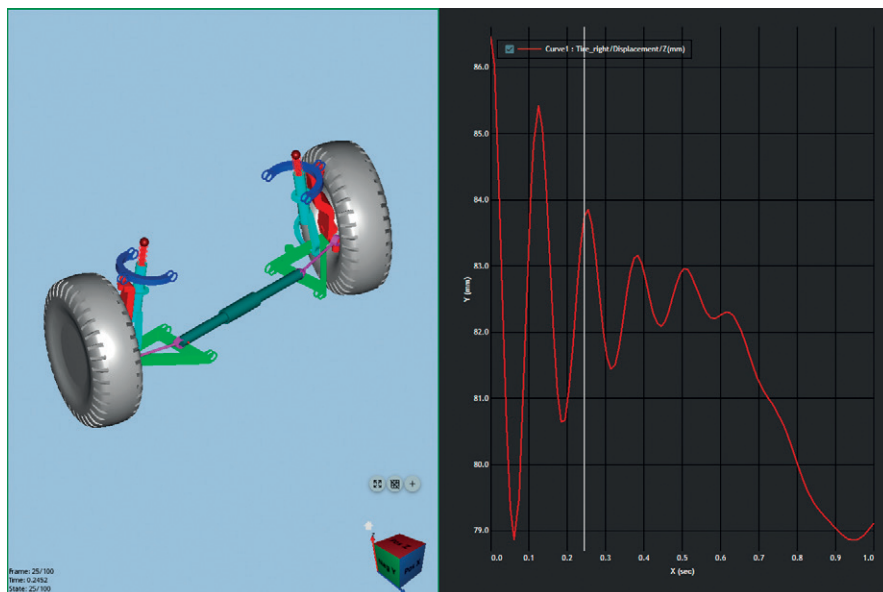
Szkolenie będzie obejmować takie tematy, jak:

- analiza widlastego systemu tłoków z wałem korbowym,
- analiza mechanizmu zamykania drzwi samochodowych,
- liniowa analiza modalna oraz analiza *mode contribution*,
- Links – paski klinowe i zębate,
- Drivetrain – przekładnie zębate,
- analiza ciśnienia akustycznego,
- analiza wytrzymałości zmęczeniowej.

Szkolenie zostanie przeprowadzone przez doświadczonych specjalistów w dziedzinie analizy i modelowania me-

chanicznego. Będzie to doskonała okazja dla uczestników do zdobycia praktycznej wiedzy oraz umiejętności, które można wykorzystać w pracy zawodowej.

Zapraszamy wszystkich zainteresowanych do wzięcia udziału w tym intensywnym i interesującym szkoleniu z analizy i modelowania mechanicznego.



# Formuła Student i najlepsze zespoły studenckie z całego świata!



**Martyna Zyzik** • MESco • mzyzik@mesco.com.pl

W ostatnich dniach sierpnia mieliśmy przyjemność uczestniczyć w zawodach Formuły Student organizowanych po raz pierwszy w Polsce. Nie tylko kibicowaliśmy wspieranym przez MESco zespołom, ale również mogliśmy się przespacerować pomiędzy garażami i z bliska przyrzeć bolidom wyścigowym. Oczywiście pomiędzy konkurencjami nie zabrakło czasu na rozmowy z młodymi inżynierami.

## ► Formuła Student ruszyła jak burza!

A wszystko zaczęło się w 1979 roku..., to wtedy wystartowały pierwsze zawody studenckie Formuły SAE ze Stanów Zjednoczonych, w których co roku rywalizuje już przeszło 100 zespołów z całego świata. Z czasem do grona organizatorów tego prestiżowego wydarzenia dołączyły m.in.: Anglia, Włochy, Japonia, a nawet Brazylia i Australia.

Zespoły studenckie mogą zatem brać udział aż w kilku konkursach Formuły Student odbywających się w różnych krajach. Rywalizują wtedy z konkurencją z całego świata o najlepszy projekt samochodu jednomiejscowego zbudowanego od podstaw.

W tym roku po raz pierwszy zawody odbyły się w Polsce! Jako partnerzy tej inicjatywy cieszymy się, że zespół MESco mógł wesprzeć drużyny studenckie na miejscu. Przyszłokwalifikowaliśmy dla naszych uczestników wiele interesujących niespodzianek.





### ► Kilka słów o zawodach

W konkursie, zgodnie z regulaminem, nie liczy się tylko najszybszy pojazd. Podczas Formuły Student brane są pod uwagę sprawności pojazdu w konkurencji dynamicznej oraz wyniki konkurencji statycznej. Mianowicie: prezentacja planu biznesowego, raport kosztów i omówienie projektu na podstawie dokumentów inżynierskich.

Każda z konkurencji – statyczna i dynamiczna – jest podzielona na kilka kolejnych kategorii. Dodatkowo istotnymi czynnikami są niezawodność, innowacyjność, estetyka, a także wygoda pojazdu.

Za oceny bolidów odpowiadają eksperci z branży motoryzacyjnej. Jeśli studenci przejdą przez wszystkie określone przez regulamin Formuły Student kryteria, osiągają sukces. Samo wydarzenie jest okazją do wejścia w omawiany przemysł i zdobycia kontaktów biznesowych.

Co cennego niesie ze sobą Formuła Student? Przede wszystkim pracę zespołową, umiejętność zarządzania czasem i projektem oraz tworzenia innowacji *automotive*, co daje młodym inżynierom ogromną satysfakcję i pozwala zdobyć doświadczenie. Zawody poszerzają perspektywy na rozwój zawodowy.

Do zobaczenia za rok podczas kolejnej edycji zawodów! ■



### Safran Aircraft Engines Poland

jest wiodącym liderem na rynku przemysłu lotniczego oraz jedną z najprężniej rozwijających się firm z Doliny Lotniczej. W fabryce działającej od 2017 roku, w której pracuje ponad 300 pracowników, produkuje się topatki turbin do silników LEAP-1A i LEAP-1B.



W 2023 roku wspólnie z francuskim oddziałem Safran Aircraft Engines utworzono w Rzeszowie Centrum Badawczo-Rozwojowe. Docelowo zostanie zatrudnionych tu ponad 250 inżynierów. W nowo powstałym biurze R&D inżynierowie zajmować się będą różnymi typami symulacji, dotyczącymi komponentów całego silnika lotniczego. Zakres obowiązków obejmował będzie nie tylko istniejące konstrukcje, ale także rozwój nowych produktów.

Obliczenia numeryczne w centrum R&D typu: analizy statyczne, dynamiczne, termiczne, CFD czy impact dynamics wykonywane są z wykorzystaniem najnowszych i najbardziej zaawansowanych narzędzi, w tym m.in. pakietu ANSYS Workbench. Prężnie rozwijającą się dziedziną jest także analiza materiałów kompozytowych stosowanych w najnowszych rozwiązaniach firmy Safran. Środowisko ANSYS jest tutaj niezwykle pomocne oraz pozwala na symulację wielu skomplikowanych przypadków.



**SAFRAN**  
**DOŁĄCZ DO NAS**  
ZESKANUJ KOD QR

Naszym priorytetem jest rozwój niskoemisyjnego przemysłu lotniczego przy wykorzystaniu zaawansowanych technologii. Jeśli chcesz dołączyć do naszego zespołu zeskanuj kod QR, gdzie znajdziesz aktualne oferty pracy.



# Co nowego w analizach mechanicznych?

Marcin Dudała • MESco • mdudala@mesco.com.pl

W najnowszej wersji oprogramowania ANSYS pojawiło się sporo ciekawych opcji. W dziedzinie analiz mechanicznych specjaliści z firmy ANSYS naprawdę rozwinęli skrzydła. Modyfikacje dotyczą drobnych usprawnień istniejących narzędzi i wprowadzają wiele nowych, pozwalających na przyspieszenie procesu przygotowania analiz oraz prezentacji wyników. Tym razem zmiany obejmują od domyślnych ustawień powszechnie używanych obiektów (domyślne sformułowanie kontaktów), aż po wprowadzenie zupełnie nowego rodzaju analizy (Harmonic Balance Analysis). Nie wybiegajmy jednak do przodu, wszystko po kolei. Na co więc warto zwrócić uwagę?

## ► Domyślne ustawienia kontaktów

Jedną z najważniejszych zmian wprowadzonych w ANSYS 2023R2 dotyczy domyślnych ustawień stref kontaktowych, a dokładniej wykorzystywanego w analizie sformułowania. Kwestia ta odnosi się do stref kontaktowych typu Bonded zdefiniowanych pomiędzy ciałami typu Solid-Shell, Shell-Shell oraz Shell-Beam. Opcja Program Controlled będzie od teraz wykorzystywać sformułowanie **MPC** zamiast **Augmented Lagrange** (rys. 1). W rezultacie poprawi się dokładność wyników uzyskiwanych w kontaktach, w których występują szczeliny. Jednocześnie pozwoli to na zmniejszenie problemów związanych z penetracją stron kontaktowych oraz z uzyskaniem zbieżnego rozwiązania. W analizach niebędących analizami mechanicznymi (np. analizach termicznych, analizach *coupled field*), domyślne ustawienie Program Controlled nadal będzie stosować sformułowanie **Augmented Lagrange**.

## ► Mesh Quality Worksheet

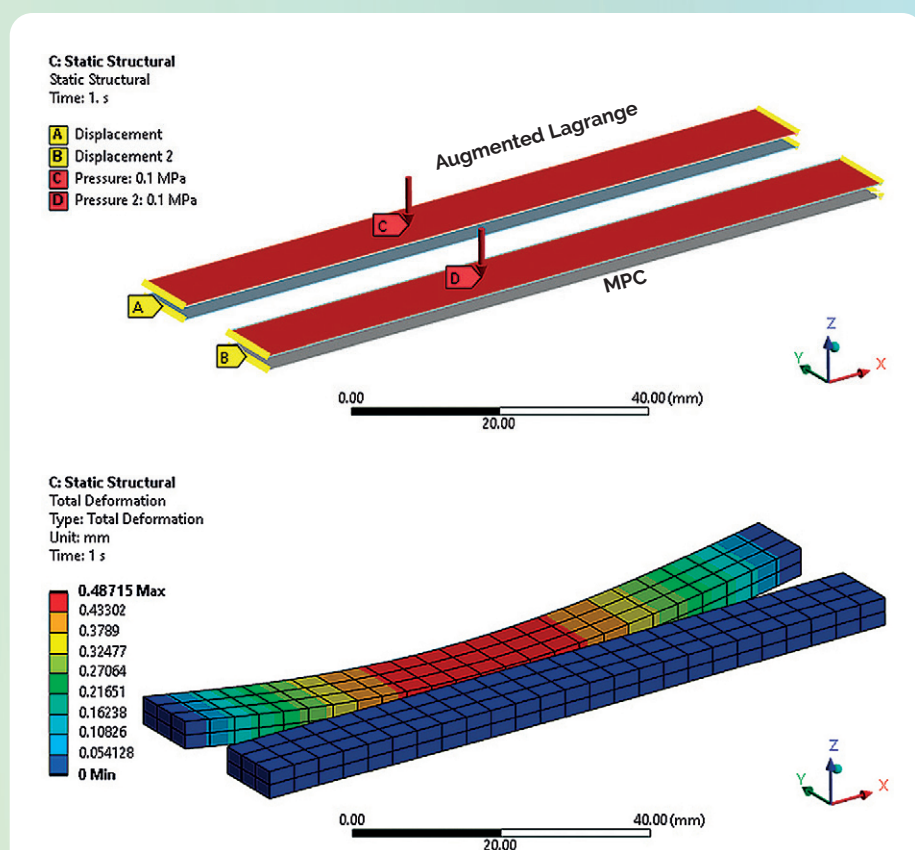
Jednym z głównych składników dobrze przygotowanej analizy jest wysokiej jakości siatka. Również w tym przypadku ANSYS postanowił wyciągnąć pomocną dłoń w kierunku użytkownika. Jednym z ciekawszych narzędzi do kontroli jakości siatki jest wprowadzony w poprzedniej wersji **Quality Worksheet**, który uległ drobnym modyfikacjom, a także doczekał się własnego przycisku (rys. 2).

Kryteria Target Quality zostały przeniesione do zakładki Details (rys. 3). Natomiast sam arkusz wzbogacono o dodatkową kolumnę prezentującą wartości średnie (rys. 4).

Warto wspomnieć, że w przypadku aktywowania Quality Worksheet oraz zmiany trybu wyświetlania w oknie graficznym zmianie ulegnie również

legenda (rys. 5), która zostanie dostosowana do arkusza (kolor żółty – *warning*, kolor czerwony – *error*). Ciekawostką mogą się okazać skróty klawiszowe

Shift + W/Shift + S pozwalające na kolejno dodawanie/odejmowanie aktualnie wyświetlanych warstw elementów skończonych (rys. 6).



Rys. 1. Porównanie sformułowania kontaktów MPC oraz Augmented Lagrange



Rys. 2. Nowy przycisk uruchamiający Quality Worksheet w zakładce Mesh

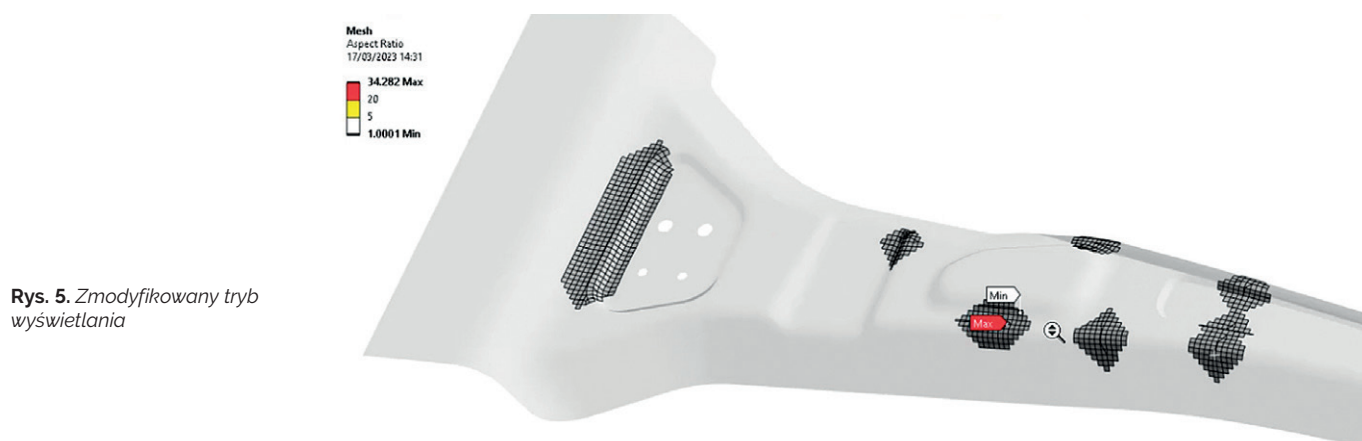
Quality	
Check Mesh Quality	Mesh Quality Worksheet
<input type="checkbox"/> Target Element Quality	Default (0.2)
<input type="checkbox"/> Target Characteristic Length (LS-DYNA)	Default (0.3 mm)
<input type="checkbox"/> Target Aspect Ratio (Explicit)	3.
Smoothing	High
Mesh Metric	None

Rys. 3. Kryteria Target Quality

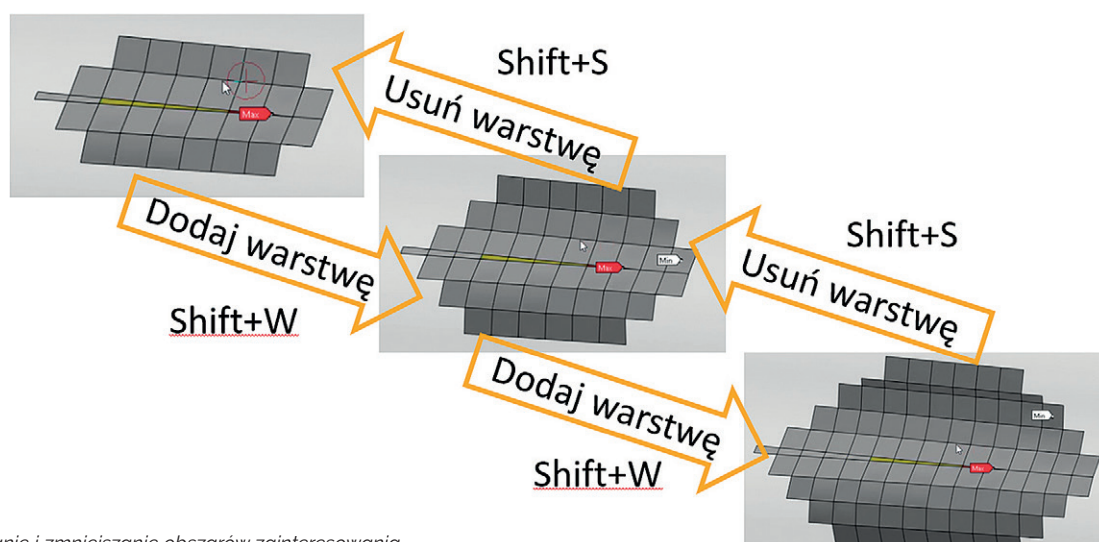


Mesh Quality Worksheet									
<input checked="" type="checkbox"/> Advanced View <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Load"/> <input type="button" value="Save"/> <input type="button" value="Refresh"/>									
<input checked="" type="checkbox"/> Sheet <input checked="" type="checkbox"/> Solid <input checked="" type="checkbox"/> Solid - Surface									
Error Check	Quality Criterion	Warning Limit	Error (Failure) Limit	% Warning	# Warning	% Failed	# Failed	Average	Worst
<input type="checkbox"/>	Max Aspect Ratio	Default (5)	Default (1000)	0.047 %	172	0 %	0	1.876	9.662
<input type="checkbox"/>	Min Element Quality	Default (0.05)	Default (5e-04)	0 %	0	0 %	0	0.826	0.25
<input type="checkbox"/>	Min Jacobian Ratio (Corner Nodes)	Default (0.05)	Default (0.025)	9.8e-03 %	36	0 %	0	0.988	0.025
<input type="checkbox"/>	Min Jacobian Ratio (Gauss Points)	Default (0.05)	Default (0.025)	0 %	0	0 %	0	0.994	0.367
<input type="checkbox"/>	Max Element Edge Length	Default (50 mm)	Default (100 mm)	0 %	0	0 %	0	3.179 mm	14.255 mm
<input type="checkbox"/>	Max Corner Angle	Default (150 °)	Default (170 °)	4.4e-03 %	16	0 %	0	96.714 °	159.27 °
<input type="checkbox"/>	Min Element Edge Length	Default (0.5 mm)	Default (0.05 mm)	0.019 %	68	0 %	0	2.142 mm	0.306 mm
<input type="checkbox"/>	Max Skewness	Default (0.9)	Default (0.999)	6.3e-03 %	23	0 %	0	0.246	0.966
<input type="checkbox"/>	Min Tet Collapse	Default (0.1)	Default (1e-03)	0 %	0	0 %	0	0.737	0.147
<input type="checkbox"/>	Max Warping Angle	Default (20 °)	Default (30 °)	0 %	0	0 %	0	NA	NA

Rys. 4. Arkusz Quality Worksheet



Rys. 5. Zmodyfikowany tryb wyświetlania



Rys. 6. Powiększanie i zmniejszanie obszarów zainteresowania

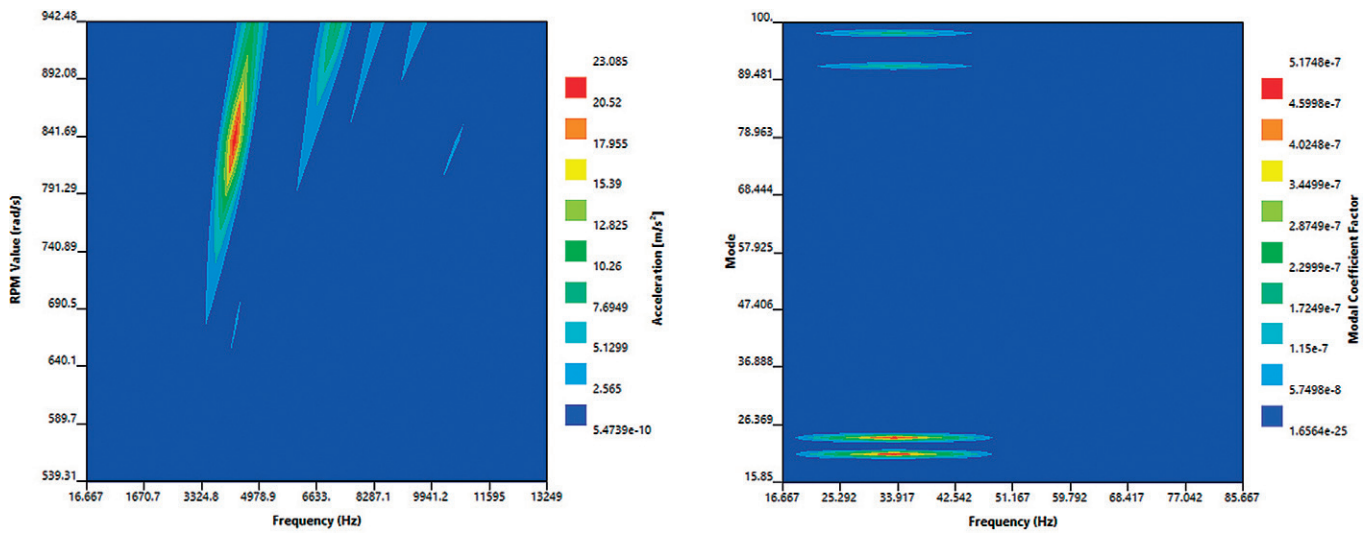
## Postprocessing

W odniesieniu do postprocessingu wielokrokowych analiz **Harmonic Response** rozszerzona została liczba możliwych do wygenerowania wyników. Obecnie takie wielkości, jak: prędkość, przyspieszenie (w funkcji częstotliwości oraz RPM)

lub modal coefficient factors (MCF), będą dostępne w formie wykresów *waterfall* (rys. 7).

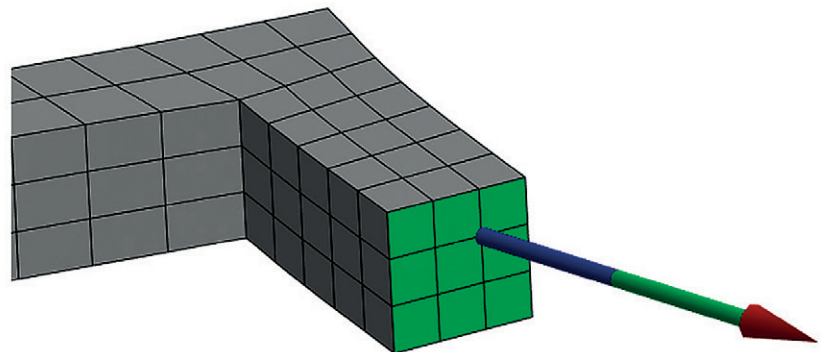
Warto również wspomnieć o nowej możliwości wyciągania sił i momentów reakcji bezpośrednio z wybranych przez użytkownika **Element Faces** (rys. 8).

Natomiast korzystając z kolejnej nowej pozycji **Contour Edge Line Weight**, dostępnej teraz w zakładce **Graphics** w oknie opcji, można bez problemu zmieniać grubość krawędzi, na których wyświetlane są mapy konturowe wyników (rys. 9).

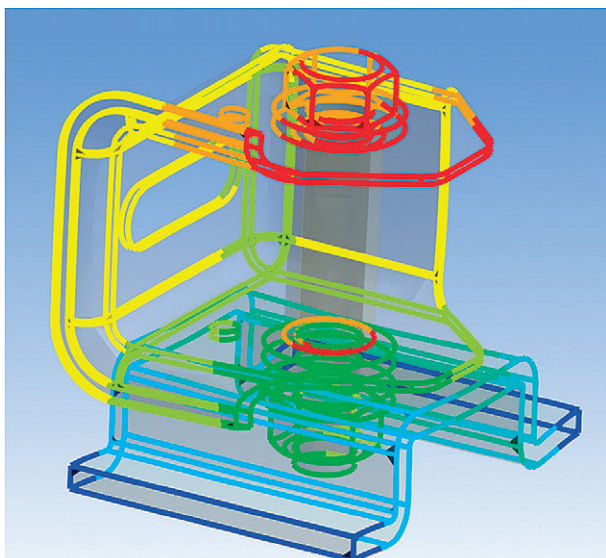


Rys. 7. Przykładowe wykresy waterfall

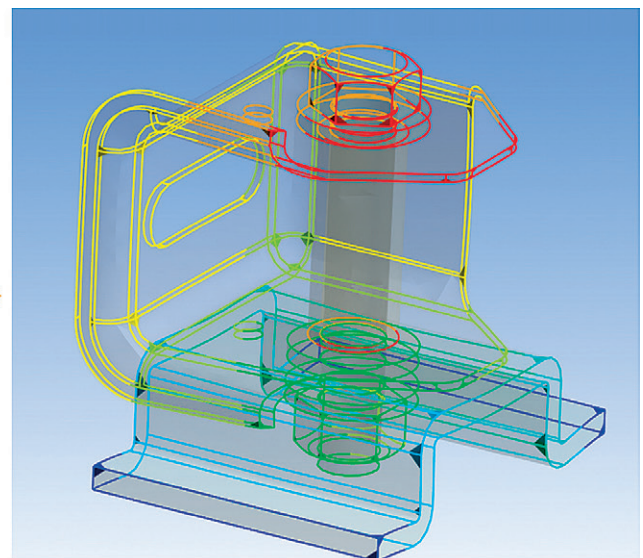
Details of "Force Reaction"	
<b>Definition</b>	
Type	Force Reaction
Location Method	Geometry Selection
Geometry	9 Element Faces
Orientation	Global Coordinate System
Suppressed	No
<b>Options</b>	
Result Selection	All
<input type="checkbox"/> Display Time	End Time
<b>Results</b>	
<b>Maximum Value Over Time</b>	
<input type="checkbox"/> X Axis	21.432 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	2.6808e-012 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	-50. N
<input type="checkbox"/> Total	54.4 N
<b>Minimum Value Over Time</b>	
<input type="checkbox"/> X Axis	21.432 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	2.6808e-012 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	-50. N
<input type="checkbox"/> Total	54.4 N
<b>Information</b>	



Rys. 8. Obiekt Force Reaction zdefiniowany na ściankach elementów skończonych



Original contour edge line weight of 5

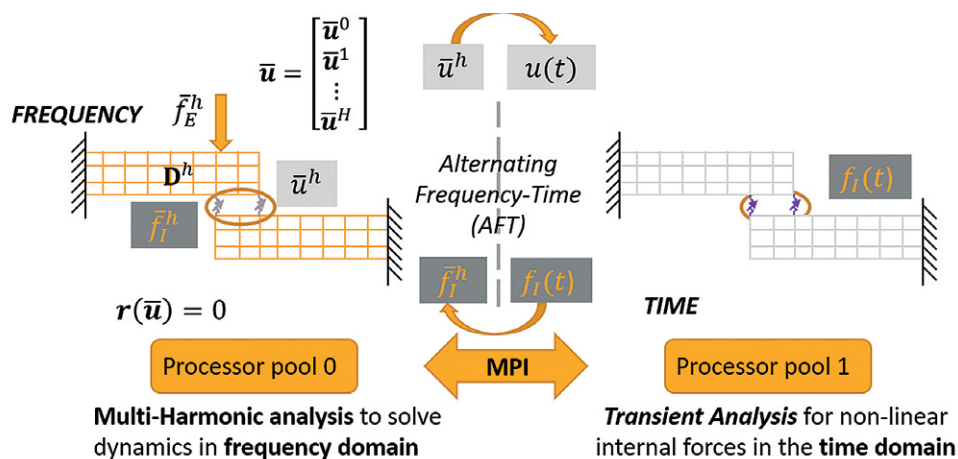


New contour edge line weight of 1

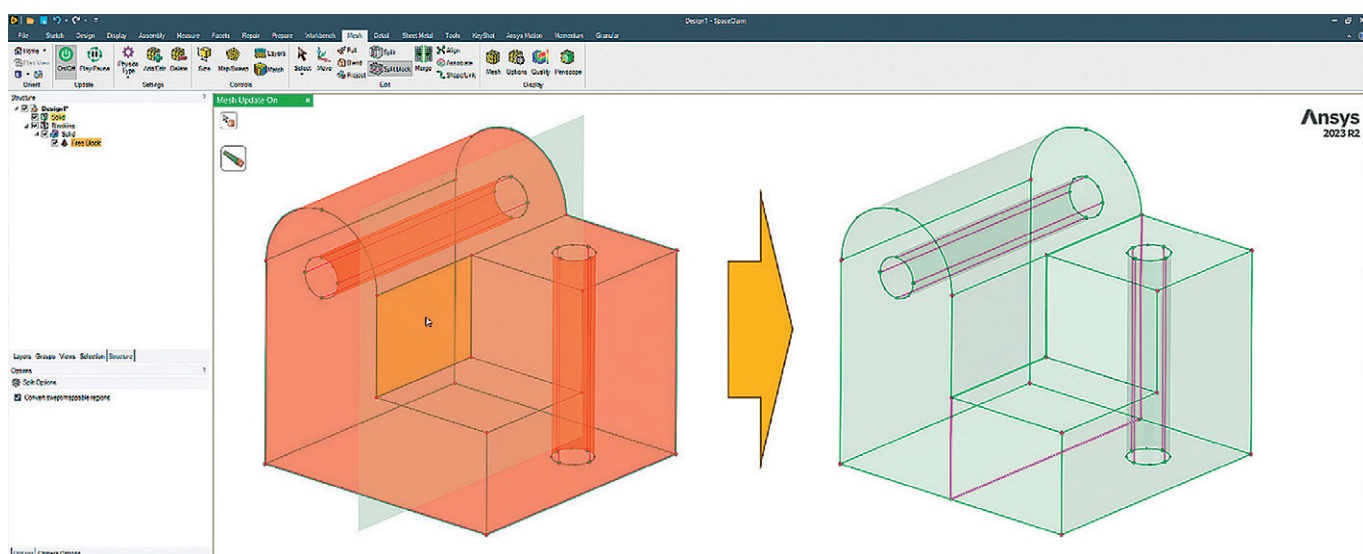
Rys. 9. Porównanie różnych współczynników wagi wyświetlania



Rys. 10. Schemat sposobu rozwiązywania analizy HBM



Rys. 11. Nowe narzędzie Split Blocks by Plane



## ► Harmonic Balance Method (HBM) Analysis

Wspomniany już nowy rodzaj analizy jest przydatny w przypadku potrzeby analizowania problemów dotyczących wymuszeń harmoniczných z lokalnymi nieliniowościami. Przykładami mogą być modele mające szczeliny, pęknięcia, tłumiki tarcieowe czy skręcane komponenty.

Siły nieliniowe pochodzące od elementów nieliniowych są obliczane w dziedzinie czasu. Metoda przemiennej częstotliwości i czasu (AFT) jest stosowana do łączenia analizy multiharmonicznej wykonywanej na elementach liniowych i sekwencyjnych analiz przejściowych przeprowadzanych na elementach nieliniowych. Procedura metody równowagi harmonicznej automatycznie dzieli model podczas rozwiązywania, aby działał w pamięci rozproszonej równolegle (DMP) z użyciem dwóch procesorów. Nieliniowe rozwiązanie multiharmoniczne działa na jednym procesorze, w głównym procesie MPI, podczas gdy analiza transient AFT działa na innym procesorze (rys. 10).

## ► SpaceClaim Meshing

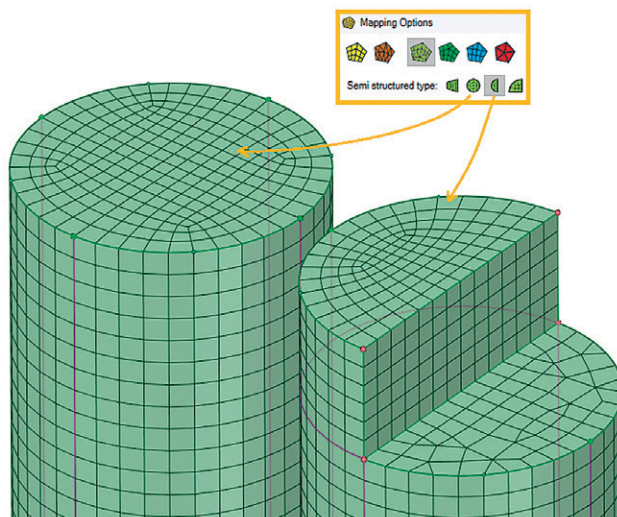
Główne zmiany w SpaceClaim Meshing dotyczą usprawnień z zakresu pracy nad

blokami. Możliwe jest teraz wybieranie powierzchni na podstawie grup (Named Selection) oraz cięcie bloków z użyciem płaszczyzn (rys. 11).

Rozbudowane zostało również narzędzie wykorzystywane do mapowania siatki powierzchniowej typu semi-structured (rys. 12). Opcje mapowania pozwalają teraz na uzyskanie jeszcze

wyższej jakości elementów skończonych bez konieczności dodatkowego podziału bloków za pomocą tzw. O-, C-, oraz L-Gri-dów. Ponadto poprawiono ogólną stabilność programu oraz przyspieszono prędkość generowania siatki regularnej. Wisienką na torcie jest możliwość bezpośredniego łączenia ze sobą obiektów Blocking.

Rys. 12. Niektóre z nowych sposobów mapowania siatki powierzchniowej



# ANSYS Forming – analiza tłoczenia w pięć minut

Michał Sobota • MESco • msobota@mesco.com.pl

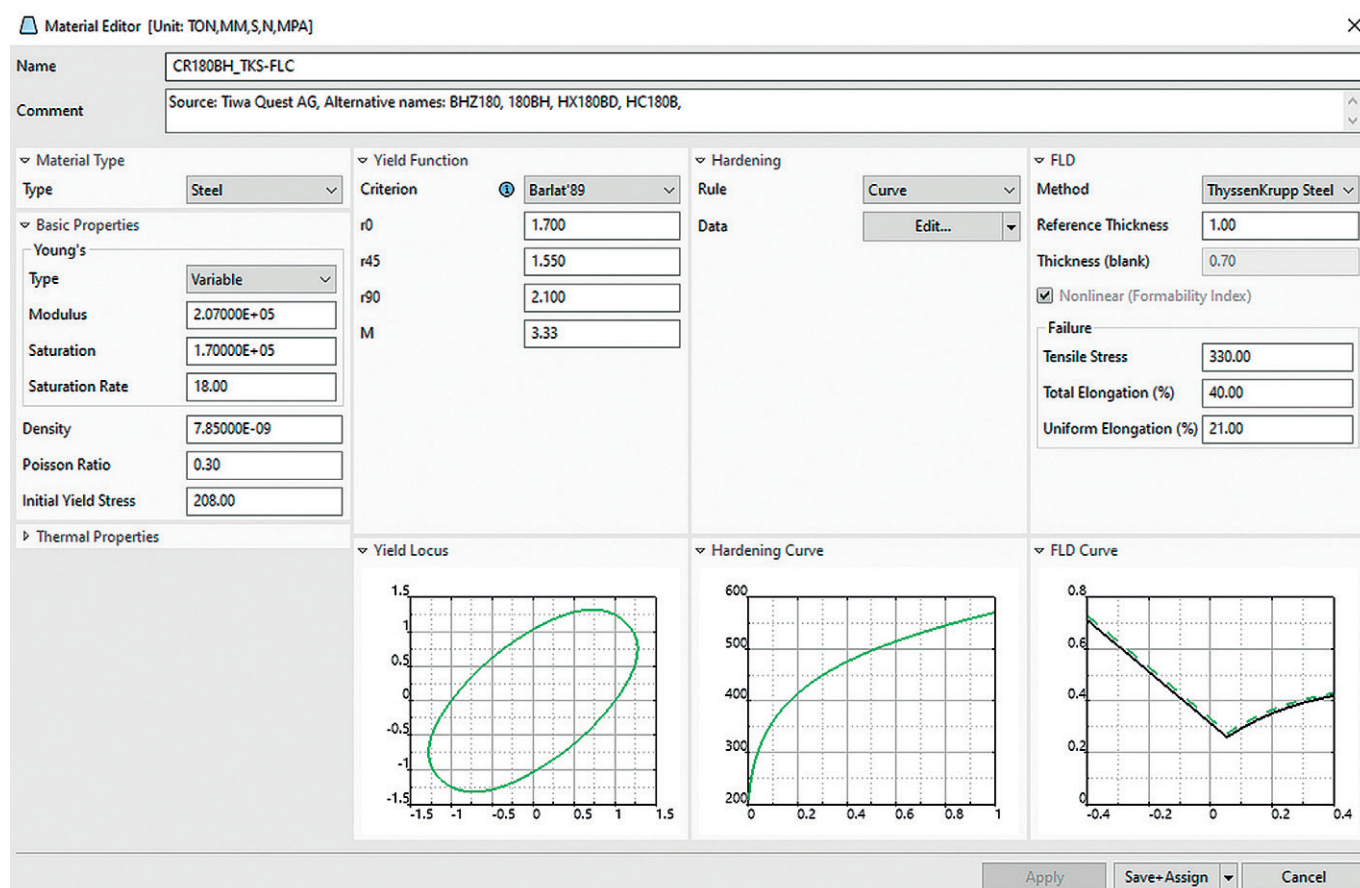
ANSYS Forming to narzędzie stworzone w celu uproszczenia procesu przygotowywania i postprocessingu analiz tłoczenia. Użytkownik jest prowadzony krok po kroku przez proces symulacyjny, więc nawet osoby bez doświadczenia w analizach numerycznych są w stanie przeprowadzić obliczenia i wyciągnąć odpowiednie wnioski na podstawie otrzymanych wyników. Podczas obliczeń ANSYS Forming używa znanego i dokładnego solvera LS-Dyna. Dzięki temu nawet użytkownicy dobrze zaznajomieni z LS-Dyną skorzystają na znacznym uproszczeniu i przyspieszeniu pre- i postprocessingu.

Ze względu na skomplikowany ruch narzędzi i ich geometrię, mały wpływ bezwładności na wyniki oraz wieloetapowość procesu przygotowanie analiz tłoczenia i odpowiednie dobranie parametrów obliczeniowych zajmowało zazwyczaj dużo czasu. W programie ANSYS Forming wszelkie operacje wykonywane przez użytkownika podczas tworzenia modelu zostały maksymalnie uproszczone. Na przykład siatka elementów skończonych jest generowana automatycznie na blasze i na narzędziach, a automatyczny remeshing

podczas obliczeń zapewnia właściwą dyskretyzację modelu. Nie jest nawet konieczne odpowiednie ustawienie narzędzi w pozycjach wyjściowych. Wystarczy zaimportować powierzchnie robocze narzędzi w pozycji zamkniętej i właściwie je opisać, a program sam ustawi je w pozycjach wyjściowych. Użytkownik ma też dostęp do wielu różnych definicji ruchu narzędzi, co pozwala na odwzorowanie zachowania takich elementów jak sprężyny gazowe. Wszelkie niepotrzebne operacje typu ruch stempla przed kontaktem z blachą

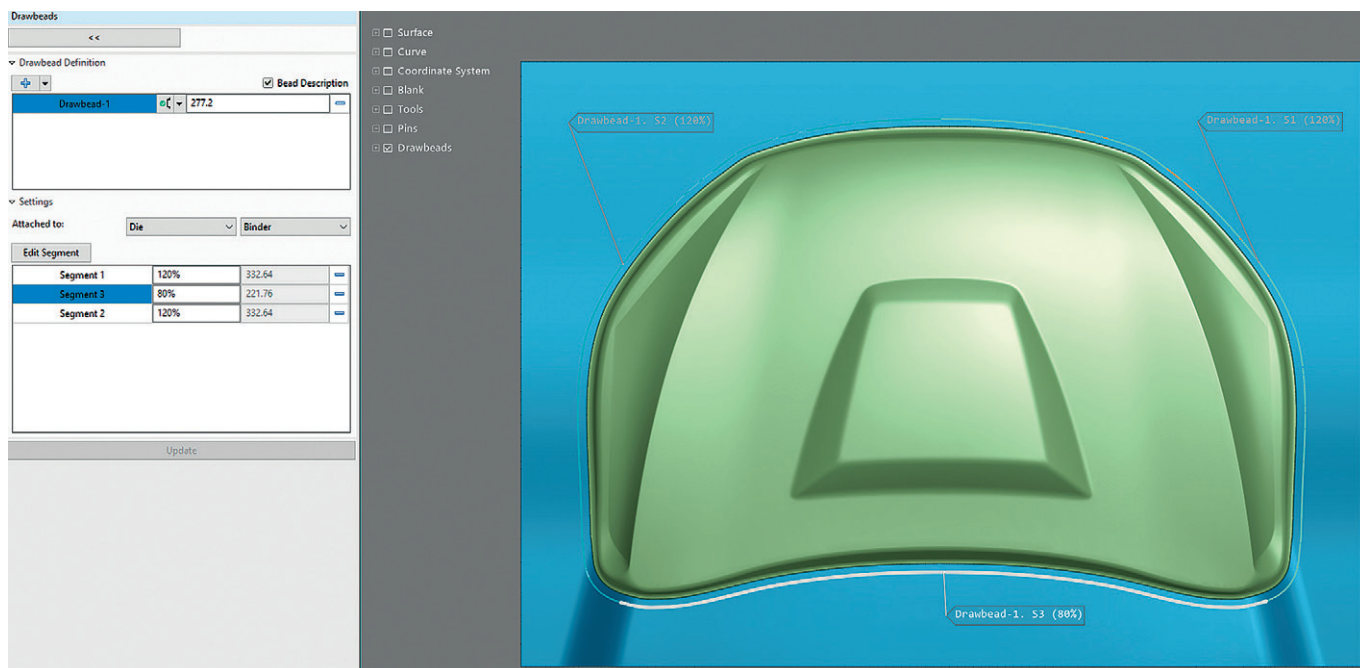
są niwelowane. Dzięki temu solver explicit jest w stanie dostarczyć rozwiązanie w ekspresowym tempie.

Moment przerwania materiału blachy zależy od stanu naprężeń w nim występujących. Jego ustalenie wymaga od użytkownika przeprowadzenia wielu testów wytrzymałościowych (np. testu Nakajimy). ANSYS Forming zawiera jednak pokazną bazę materiałową (rys. 1) najczęściej spotykanych materiałów poddawanych tłoczeniu, stworzoną dzięki współpracy z liderami rynku (m.in. TiwaQuest,



Rys. 1. Przykładowa karta materiałowa



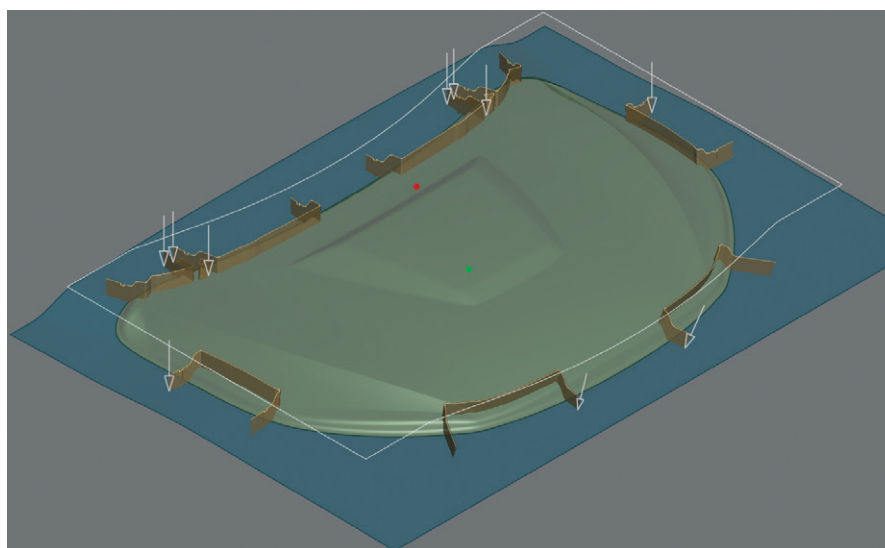


Rys. 2. ANSYS Forming znacząco ułatwia definiowanie progów ciągowych

VoestAlpine). Takie rozwiązanie gwarantuje olbrzymią oszczędność czasu i pieniędzy. Użytkownik ma też możliwość modyfikowania lub stworzenia od podstaw własnego materiału, korzystając z kilku zaawansowanych modeli materiałowych. Jest w stanie uwzględnić anizotropię wynikającą z kierunku walcowania materiału wsadowego. Istotne operacje, takie jak cięcie lub uwzględnienie progów ciągowych, mogą być opisane jako krzywe w przestrzeni, co znacząco skraca czas ich definiowania. Dodatkowo użytkownik ma możliwość uwzględnienia wpływu grawitacji oraz sprężynowania wyrobu przed każdą operacją i po niej dzięki funkcji solver implicit. Wystarczy w takim przypadku zdefiniować punkty, w których blacha ma być przytrzymywana.

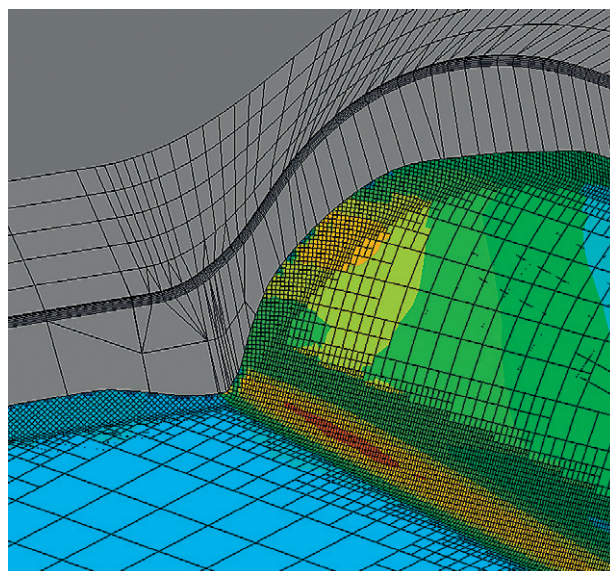
Kolejną zaletą oprogramowania jest łatwość definiowania następujących po sobie operacji (rys. 2). Analiza może się składać nawet z kilkunastu kroków, w których odkształcona blacha po poprzedniej operacji jest importowana na początek nowej. Jest też możliwość przeglądania wyników z poprzednich operacji w trakcie obliczeń, a nawet przeglądania wyników obecnie liczącej się operacji! Skraca to znacząco czas wprowadzania poprawek do analizy w przypadku złego zadania warunków brzegowych lub niewystarczającej wytrzymałości materiału blachy.

Zastosowanie LS-Dyna jako solvera pozwala na używanie do czterech rdzeni w podstawowej wersji licencji i korzystanie z licencji LS-Dyna HPC do zwiększenia liczby rdzeni. Podczas postprocesingu można użyć narzędzia FLD (Forming Limit Diagram), czyli wykresu, który pokaże problematyczne miejsca na wyrobie (rys. 5). Dzięki odpowiedniemu



Rys. 3. Przykładowa operacja cięcia z ukazaną kinematyką narzędzi

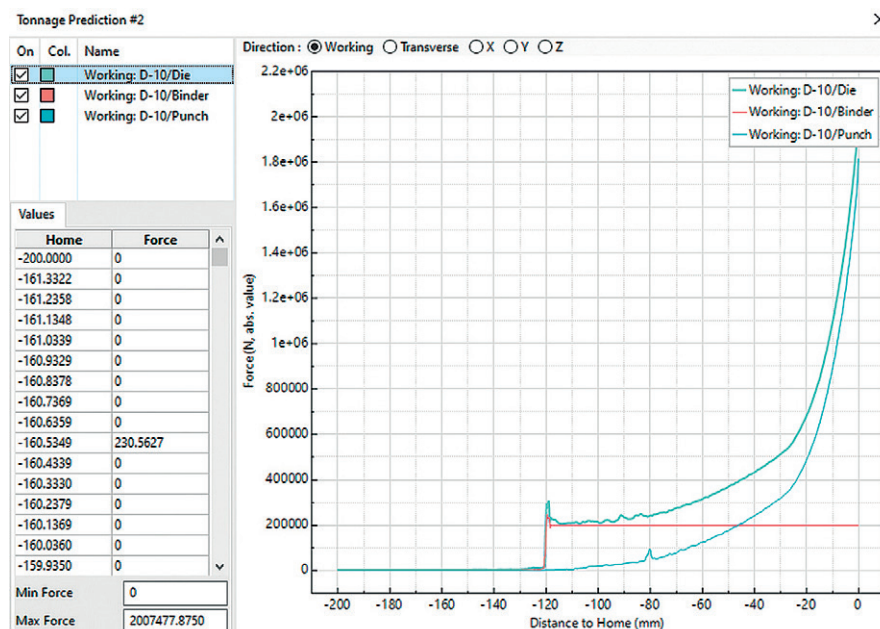
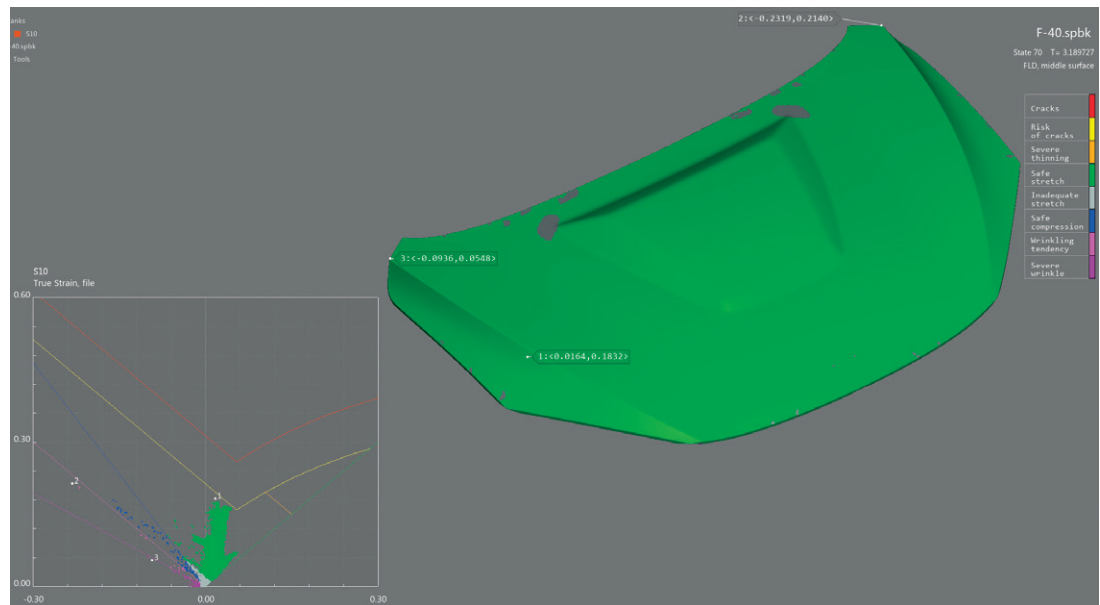
Rys. 4. Remeshing pozwala na zachowanie dokładności wyników nawet w przypadku najbardziej złożonych geometrii





Rys. 5.

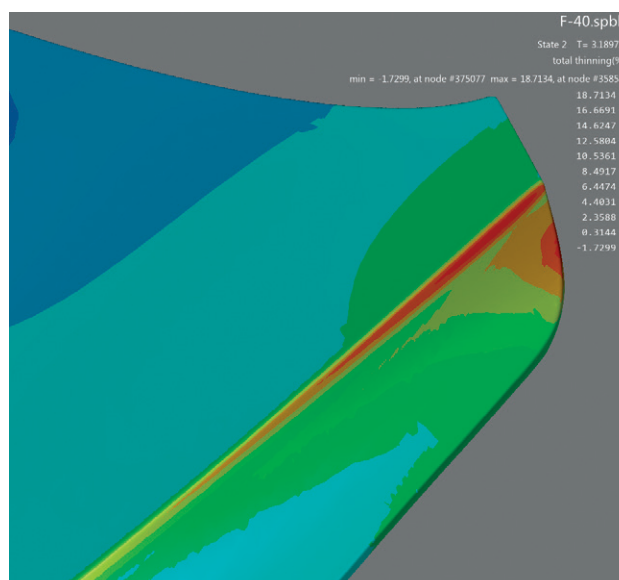
Wykres FLD pozwala określić formowalność danego wyrobu



Rys. 6. Przewidywana siła działająca na narzędzia

Rys. 7.

Procentowe pocienienie blachy



kolorowaniu wyników oraz nanoszeniu ich na geometrię można szybko ocenić, które operacje będą stanowiły problem. Dodatkowo można wyświetlić takie informacje, jak: pocienienie, rozciąganie krawędzi, siły działające na narzędzia, a nawet szacowaną jakość powierzchni, co jest bardzo istotne, gdy ma powstać przyjemny dla oka detal (rys. 6, 7). Za pomocą narzędzia Springback można sprawdzić odchyłki geometryczne przeliczonego wyrobu od idealnej geometrii.

ANSYS Forming jest relatywnie nowym produktem, dlatego obecnie wspiera jedynie operacje tłoczenia na zimno. W przyszłych wersjach będzie jednak możliwe analizowanie tłoczenia z uwzględnieniem temperatury w postaci analizy silnie sprzężonej. Zostanie również zaimplementowana opcja solvera wstecznego w celu kompensacji odchyłków wyrobu. Polega ona na iteracyjnych modyfikacjach kształtu narzędzi, tak aby powstały wyrób po sprężynowaniu idealnie odpowiadał oczekiwanej geometrii. Dodatkowo twórcy oprogramowania ANSYS Forming będą dążyli do zaimplementowania wszelkich usprawnień proponowanych przez użytkowników, aby stworzyć oprogramowanie *all-in-one* na potrzeby formowania blach.

Podsumowując: ANSYS Forming powinien zainteresować każdego, kto zmagają się z procesem tłoczenia blach, niezależnie od jego stopnia zaawansowania w analizach numerycznych. Intuicyjne GUI oraz predefiniowane ustawienia analizy pozwalają na znaczne skrócenie fazy obliczeniowej w każdym projekcie. Pokażna baza materiałowa z zaawansowanymi modelami materiałowymi zapewni dokładność obliczeń przy jednoczesnym braku konieczności wykonywania własnej korelacji modelu. Użytkownicy mogą być pewni, że dalszy rozwój tego narzędzia rozszerzy jego możliwości, które będą nakierowane na potrzeby inżynierów.



# Co nowego w analizach CFD?

Maciej Bara • MESco • mbara@mesco.com.pl

Wersja 2023R2 w przypadku przepływowych komponentów pakietu ANSYS jest swego rodzaju ewolucją starszej wersji i ma za zadanie poprawić wydajność oraz stabilność działania wprowadzonych funkcjonalności.

## ANSYS Fluent

Wersja 2023R1 przyniosła użytkownikom nową funkcjonalność, czyli solver GPU. Narzędzie to pozwala na wykorzystanie procesorów graficznych, a tym samym przyspieszenie często bardzo długich symulacji. Więcej o solverze GPU i benchmarkach mogą Państwo przeczytać w artykule: *ANSYS Fluent GPU: szybki, ale czy dokładny?* – znajdującym się na naszym blogu.

W wersji 2023R2 postawiono na udoskonalenie oraz poprawę pracy alternatywnego solwera GPU. Znaczącą zmianą jest możliwość zastosowania sprzężonego solwera coupled. Opcja ta jest dostępna na razie dla użytkowników jako funkcja beta. Z punktu widzenia prowadzenia analiz przepływowych z pewnością wpłynie to na stabilność wykonywanych obliczeń.

Nowa wersja została również rozszerzona o możliwość modelowania domen obrotowych metodą *sliding mesh* oraz o symulację procesu spalania z wykorzystaniem modelu Eddy Dissipation (EDM). W poprzedniej wersji opcje te były dostępne jako funkcje beta.

Kilka znaczących poprawek otrzymała funkcjonalność pyFluent, która pozwala na sterowanie pracą oprogramowania skryptami w języku python. PyFluent rozbudowano o obsługę kolejnych ustawień, tj. model DPM (Discrete Phase Model), radiację czy Species Transport, co znacząco wpłynie na automatyzację symulacji.

Light-Weight Mode to nowa opcja dostępna w wersji 2023R2 umożliwiająca zmianę ustawień zapisanej symulacji przy znacznie szybszym otwieraniu pliku w formacie \*.cas.h5 oraz wpływająca na zmniejszenie zużycia pamięci. Ograniczeniem jest tu brak dostępności operacji związanych z modyfikacją siatki, tj. dezaktywacji stref czy dzielenia powierzchni. Wielomilionowe siatki zaczytujące się około kilku minut dzięki opcji *light-weight* można zaimportować już po kilku sekundach.

Model VBM (Virtual Blade Model) to funkcjonalność pozwalająca na uwzględnienie efektu działania wirników jako źródła pędu, bez konieczności modelowania i uwzględniania takiej geometrii w symulacji. Od wersji 2023R2 model VBM jest w pełni dostępny w oprogramowaniu Fluent, poprzednio był częścią funkcji beta.

W trybie siatkowania Fluent otrzymał możliwość importowania geometrii

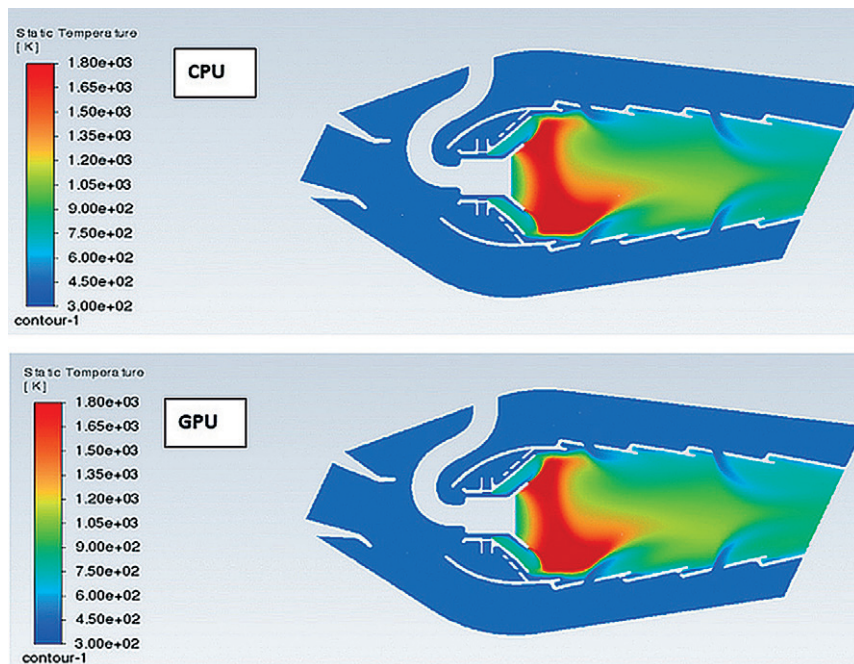
będących wynikiem wykorzystania metody wrappingu w ANSYS Spaceclaim lub ANSYS Discovery. Oczywiście dotyczy to szablonu *watertight*, a takie geometrie mogą zostać zaimportowane wraz z innymi obiektami.

## ANSYS Rocky

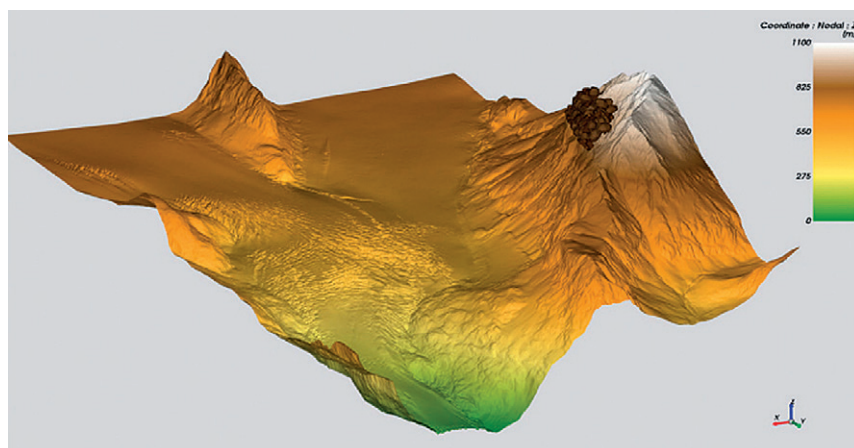
Istotnym udoskonaleniem oprogramowania Rocky w najnowszej wersji jest możliwość zastosowania sprzężenia

CFD-SPH. Funkcjonalność ta pozwala jednak obecnie na prowadzenie symulacji z ustalonym w czasie polem prędkości.

Dosyć kosmetyczną zmianą, ale poprawiającą znacząco pracę oprogramowania, jest zaawansowany algorytm renderowania dużych topologii. Pozwala nie tylko na skrócenie czasu wczytywania geometrii w formacie STL, ale również na maksymalizację zasobów obliczeniowych.



Rys. 1. Porównanie symulacji procesu spalania modelem Eddy Dissipation prowadzonej z wykorzystaniem klasycznego solwera i solwera GPU



Rys. 2. Topologia terenu górskiego w formacie STL złożona z ogromnej liczby powierzchni trójkątnych



# Wykorzystanie GPU w symulacjach CFD na potrzeby projektowania zaworów wielkogabarytowych w TB Hydro



Szymon Wróblewski

TB Hydro • [szymon.wroblewski@tbhydro.net](mailto:szymon.wroblewski@tbhydro.net)

TB Hydro sp. z o.o. to firma specjalizująca się w projektowaniu, produkcji oraz remontach armatury i innych urządzeń na potrzeby energetyki wodnej oraz ciepłownictwa. Główna siedziba firmy, której początki sięgają 1989 r., znajduje się w Poznaniu, a zakład produkcyjny – w Wągrowcu.

TB Hydro praktycznie od początku swego istnienia oferuje analizy numeryczne. Najpierw były to tylko symulacje wytrzymałościowe (MES), a obecnie oferowane są również analizy przepływowe (CFD) i sprężone (FSI). Firma produkuje zawory na zlecenie klientów według konkretnych, często unikatowych specyfikacji, dlatego większość jej produktów jest analizowana pod względem wytrzymałościowym i zmęczeniowym. Od roku 2018 w TB Hydro wykonywane są także analizy CFD. Początkowo z użyciem ANSYS CFX, jednak z czasem zastąpiono go dającym dużo więcej możliwości programem ANSYS Fluent. Głównym motywem zmiany solvera było wprowadzenie technologii Fluent Mosaic Meshing, która znacznie skraca czas przygotowania modelu numerycznego, dając siatkę o bardzo dobrych parametrach jakościowych przy stosunkowo małym nakładzie pracy i czasu. Kolejnym ważnym powodem był sam czas obliczeń, który wraz z pojawieniem się solvera GPU uległ drastycznej redukcji.

Przez lata jedyną możliwością przyspieszenia obliczeń CFD było użycie dużej liczby procesorów (CPU) lub zastosowanie GPU. Obecnie można korzystać z zupełnie nowego solvera, który wykorzystuje wyłącznie karty GPU. Początkowo w przemysłowych realiach ta technologia nie była popularna, co mogło wynikać z dostępności odpowiednich kart GPU. Dziś, gdy

jest do dyspozycji ANSYS w najnowszej wersji 2023R1, można z całą pewnością powiedzieć, że wsparcie GPU działa i realnie skraca czas symulacji!

W TB Hydro do symulacji CFD wykorzystuje się stację roboczą HP Z4 G4 (Intel Xeon W-2133, 64GB DDR4 ECC RAM, Nvidia Quadro P4000 8GB) lub elastyczną chmurę obliczeniową Google Cloud (w zależności od potrzeb do 128CPU, 512GB RAM).

## ► CPU + GPU – różnica?

W TB Hydro wykonaliśmy serię porównawczych symulacji, aby ustalić, jaki wpływ na czas symulacji ma wsparcie CPU za pomocą GPU. W tym celu wykorzystano typowy dla firmy przypadek symulacji przepustnicy typu BTW, który jest naszym popularnym produktem. Analizy CFD dla tego typu zaworów z reguły są wykorzystywane do wyznaczania współczynnika strat, a także do analiz momentów hydraulicznych działających na dysk. Model badawczy składał się z około 1,75 mln elementów wykonanych metodą poly-hexcore (Fluent Mosaic Meshing). Przeprowadzono wiele symulacji dla kilku wersji zasobów: 4CPU i 3CPU + 1GPU (na co pozwala standardowa licencja 1-stanowiskowa) oraz dodatkowo 5CPU + 1GPU (co wymaga już licencji HPC). Symulacje wykonano także na dwóch wersjach oprogramowania ANSYS: 2022R1 oraz 2023R1.

Poniżej przedstawiono wykres, dla którego punktem wyjścia jest symulacja

wykonana na 4CPU w ANSYS Fluent w wersji 2022R1 (100%) oraz procentowe porównanie szybkości symulacji dla innych wersji (zasobów i/lub wersji oprogramowania) (rys. 4). Wszystkie symulacje wykonały 100 iteracji w *steady-state*, osiągając podobną zbieżność.

Wzrost wydajności z wersji na wersję (2022R1 vs 2023R1) jest odczuwalny. W przypadku najprostszej konfiguracji 4CPU uzyskuje się wzrost szybkości o około 7%, natomiast w przypadku 3CPU + 1GPU ten przyrost to już 10%.

Co najważniejsze, wsparcie GPU jest także doskonale widoczne w obu analizowanych wersjach oprogramowania. Zamieniając 4CPU na 3CPU + 1GPU, czyli mieszcząc się w limitach standardowej licencji, otrzymuje się wzrost wydajności rzędu 31% (dla wersji 2022R1) i 35% (dla wersji 2023R1).

## ► Obliczenia tylko na GPU

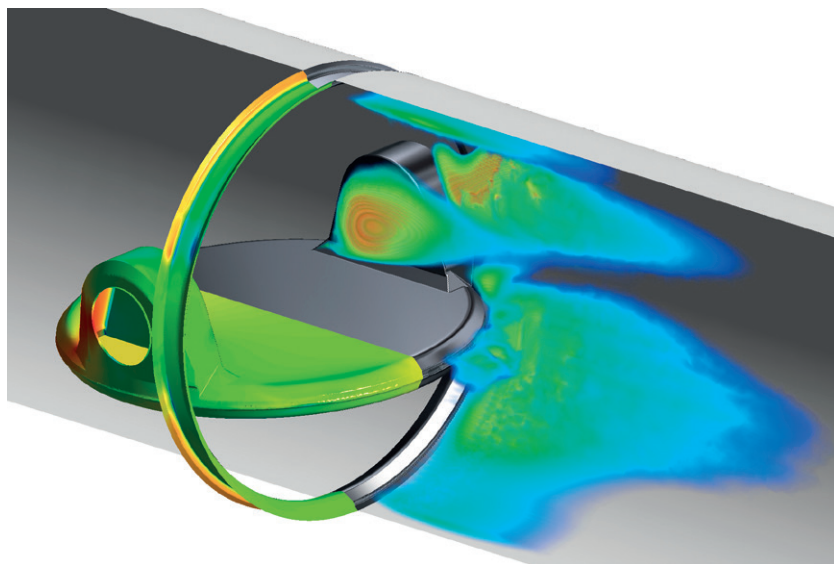
Wersja Fluent 2023R1 wprowadziła także znaczącą nowość – solver native GPU. Solver ten mocno przyspiesza czas symulacji (nawet kilkukrotnie!), a wykorzystuje do tego w całości naszą kartę GPU. Co prawda jest on jeszcze dość mocno ograniczony – ograniczona liczba modeli turbulencji (obecny jest  $k-\omega$  SST), dostępny tylko schemat SIMPLE (brak COUPLED), ma też kilka innych barier. Native GPU dostępny jest tylko w licencji CFD Enterprise. Jednak jeśli poziom



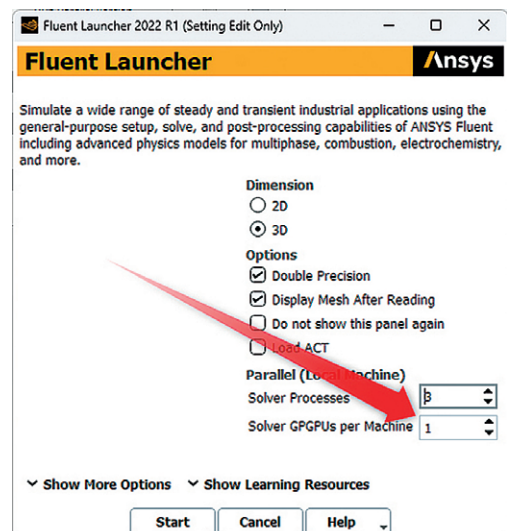


Rys. 1. Przepustnica typu BTV-B DN3250 PN4 – montaż w warsztacie TB Hydro

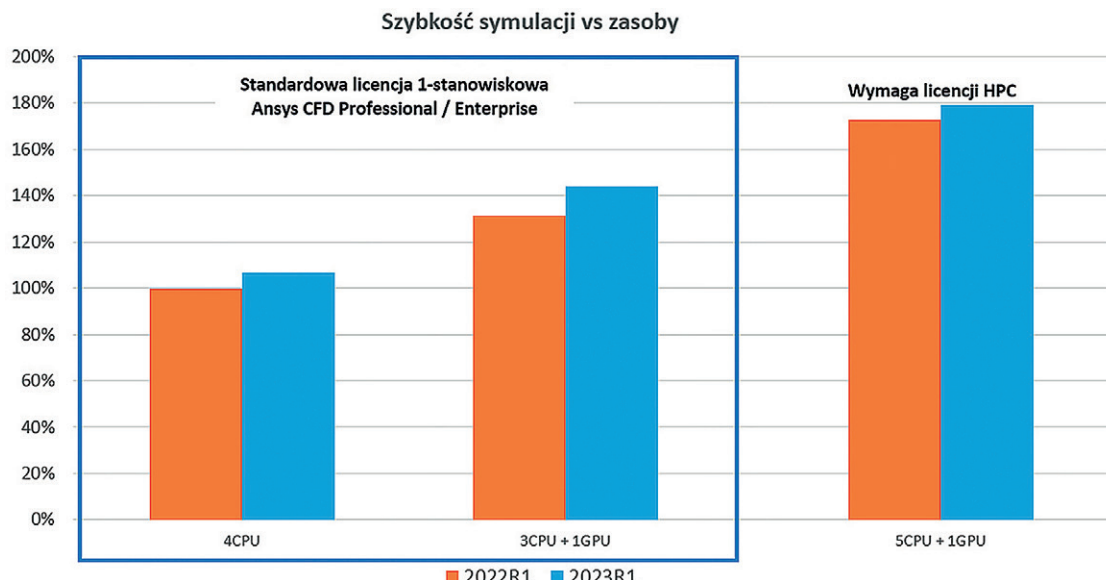
Rys. 2. Przepustnica typu BTV – analiza strat ciśnienia i momentu hydraulicznego



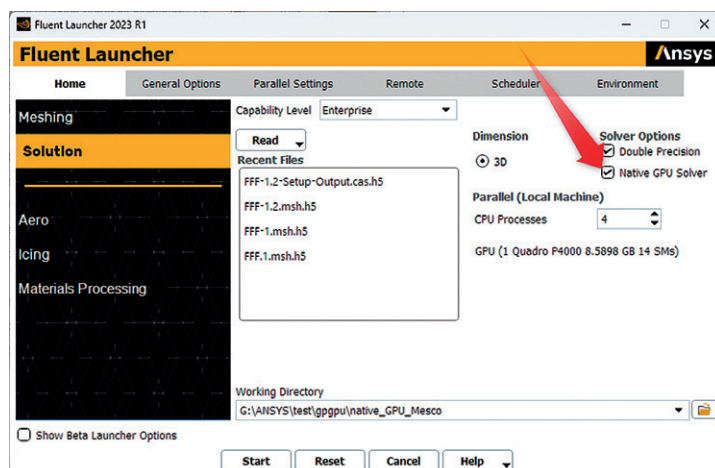
Rys. 3. Fluent Launcher 2022R1 – aktywacja wspomaganie GPU



Rys. 4. Szybkość symulacji – CPU vs CPU wspomagane GPU



Rys. 5. Fluent Launcher 2023R1 – aktywacja funkcji native GPU solver



**Szybkość symulacji vs zasoby**



Rys. 6. Szybkość symulacji – CPU solver vs native GPU solver

ograniczeń jest dla nas akceptowalny, to finalnie możemy uzyskać naprawdę szybką symulację o jakości wyników nie odbiegającej od klasycznego solvera CPU. TB Hydro wraz z MESco przeprowadziło symulacje porównawcze między solverem CPU (wykorzystując procesory Intel Xeon W-2133 oraz Intel Xeon Gold 6242R) a solverem native GPU (wykorzystując układy GPU Quadro P4000 oraz Quadro RTX 8000). Otrzymano bardzo obiecujące wyniki, które dają nadzieję na realne skrócenie czasu symulacji i ograniczenie kosztów związanych z symulacją CFD.

Na karcie P4000 uzyskaliśmy przyspieszenie rzędu 500%, a w przypadku karty RTX 8000 było to prawie 700%! Oznacza to, że w tym samym czasie można wykonać znacznie więcej symulacji, co daje większą elastyczność w procesie rozwoju produktów.

Podsumowując, dysponując aktualną wersją oprogramowania ANSYS 2023R1 oraz stacją roboczą wyposażoną w choćby średniej klasy kartę GPU, można znacząco wpłynąć na czas symulacji, co bezpośrednio przekłada się na redukcję kosztów. Każde z rozwiązań (łączenie CPU z GPU lub native GPU solver) ma jednak pewne ograniczenie – analizowany *case* musi się mieścić w RAM-ie karty GPU. W naszym przypadku (Nvidia Quadro P4000 8GB) dla trybu *double precision* jest to limit około 2 mln elementów, co dla siatkowania metodą poly-hexcore jest wcale niemało. Dodatkowo liczbę elementów można dwukrotnie zwiększyć, działając w trybie *single precision*. Dla solvera native GPU dochodzi dodatkowo cały szereg innych ograniczeń. Należy mieć na uwadze, że solver native GPU dopiero co debiutuje i można przypuszczać, że będzie szybko aktualizowany i wzbogacany o kolejne funkcjonalności. Można zatem pokusić się o stwierdzenie, że w niedalekiej przyszłości solver GPU na stałe zagości w świecie CFD.



# Co nowego w analizach elektromagnetycznych?

Michał Misiewicz • MESco • mmisiewicz@mesco.com.pl

W nowej wersji programu ANSYS – 2023R2 – klienci otrzymują dalsze ulepszenie działania kernela Parasolid. Wprowadzono usprawnienia i nowe funkcje, m.in. dla: HFSS, Icepak, Maxwell, Motor-CAD, Mechanical, Q3D Extractor, Circuit, EMIT, Twin Builder oraz SIwave.

## HFSS

W wersji 2023R2 skupiono się głównie na usprawnieniach w HFSS 3D Layout. Dodany został solver RaptorX jako wersja beta oraz zintegrowano Q3D w trybie IC, co daje możliwość uzyskania wyników dla analiz DCRL, ACRL oraz CG. Z wersji beta wyszła za to obsługa elastycznych płytek PCB.

Ciekawostką w HFSS może być dodanie 3D Component array wraz z otaczającą geometrią. Oznacza to, że można mieć macierz komponentów oraz dodatkowe zewnętrzne geometrie (jak płytkę PCB) ścieżki. Zredukowano rozmiar pliku, w którym zapisywane są informacje o obliczonych polach 3D dla analiz wykorzystujących równania mieszanego rzędu (rys. 1).

Ver.	Avg Order	Disk
23.1	0.8	417 MB
23.2	0.8	301 MB

Rys. 1. Porównanie zajętości pliku w wersji 23.2 i 23.1

## Icepak

W nowej wersji dołożono możliwość włączenia opcji Stair-stepping meshing przy ustawieniach tworzenia siatki opierających się na suwaku. Może to być przydatne zwłaszcza dla mniej zaawansowanych użytkowników. Poprawiono siatkowanie poprzez dodanie automatycznego usprawniania siatki w miejscach użycia ciepła Joule'a. Program dodaje dodatkową warstwę siatki na takich obiektach, co prowadzi do poprawy wyników (rys. 2).

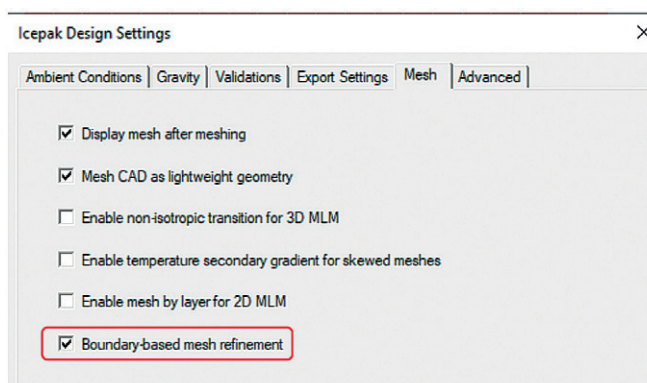
Zoptymalizowano również proces ładowania siatki oraz generowania pliku wejściowego symulacji. To oszczędza czas i umożliwia przeprowadzenie większej liczby symulacji w tym samym czasie – jest to zauważalne przyspieszenie (rys. 3).

Pod suwakiem ustawień ogólnej siatki jest teraz możliwość włączenia Stair-stepping meshig, i to automatycznie.

## Maxwell

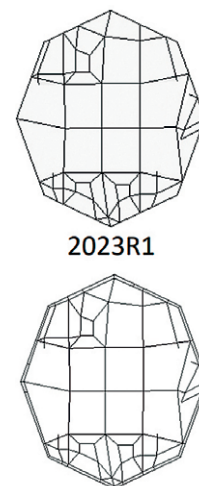
Dodano możliwość modelowania małych szczelin za pomocą obiektów typu *shell*. Warunek brzegowy zadany na powierzchni odwzorowuje fizykę zachowania się szczeliny. Rozwiązanie to może poprawić dokładność obliczeń w porównaniu z modelami ze słabą jakością siatki utworzonej w rzeczywistej szczelinie (rys. 4).

Maxwell obsługuje teraz komponenty PCB (ECAD) (rys. 5), które można użyć do wyznaczenia sił Lorentza pomiędzy ścieżkami, a także sprawdzić wpływ zewnętrznego pola magnetycznego na te siły. Wyznaczone siły można następnie użyć do wyznaczenia wibracji, a z nich można uzyskać odpowiedź akustyczną. Płytkę PCB można edytować w HFSS 3D Layout i tam skonfigurować wymuszenia typu



Rys. 2. Usprawnianie siatki

Rys. 3. Poziomy przyspieszenia podczas generowania pliku wejściowego symulacji



2023R2

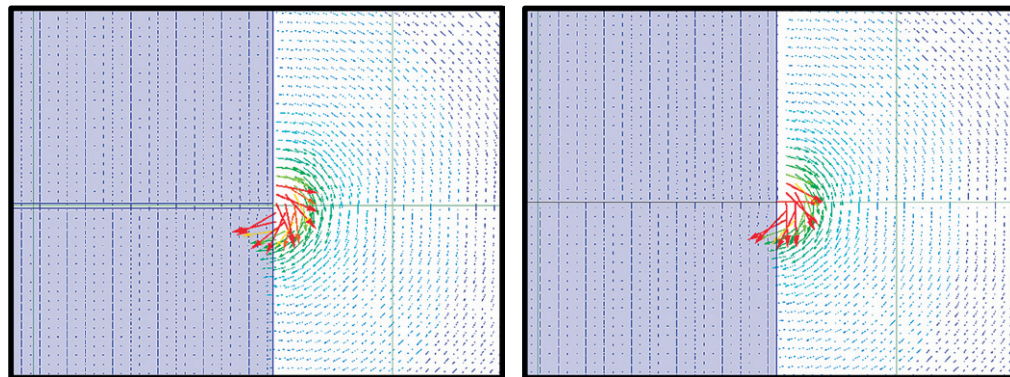
Solver input file generation:  
R23.2 vs R23.1

Model Name	23.1	23.2	Speed up
Model 1	600	241	2.5x
Model 2	18123	7499	2.4x
Model 3	22373	3406	6.6x
Model 4	548	225	2.4x
Model 5	462	187	2.5x
Model 6	33351	4065	8.2x
Model 7	4897	3045	1.6x
Model 8	615	113	5.4x
Model 9	31669	2775	11.4x
Model 10	1534	477	3.2x
Model 11	81	60	1.4x
Model 12	1995	204	9.7x
Model 13	43074	4806	8.9x
Model 14	12543	4475	2.8x

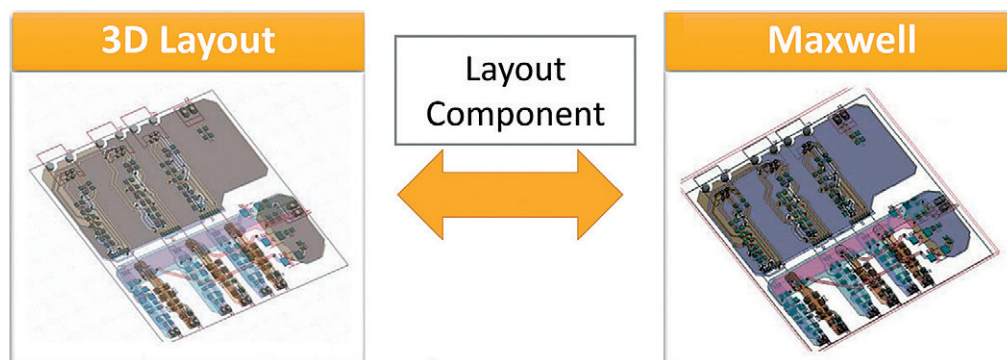
Solver input file generation:  
R23.2 vs Classic

Model Name	Classic	23.2	Speed up
Model 15	417	241	1.7x
Model 16	9100	7499	1.3x
Model 17	438	459	1.0x
Model 18	521	225	2.3x
Model 19	984	187	5.3x
Model 20	510	438	1.1x
Model 21	2100	1598	1.3x
Model 22	185	113	1.7x
Model 23	3064	2974	1.04x
Model 24	1841	477	3.9x
Model 25	93	60	1.6x

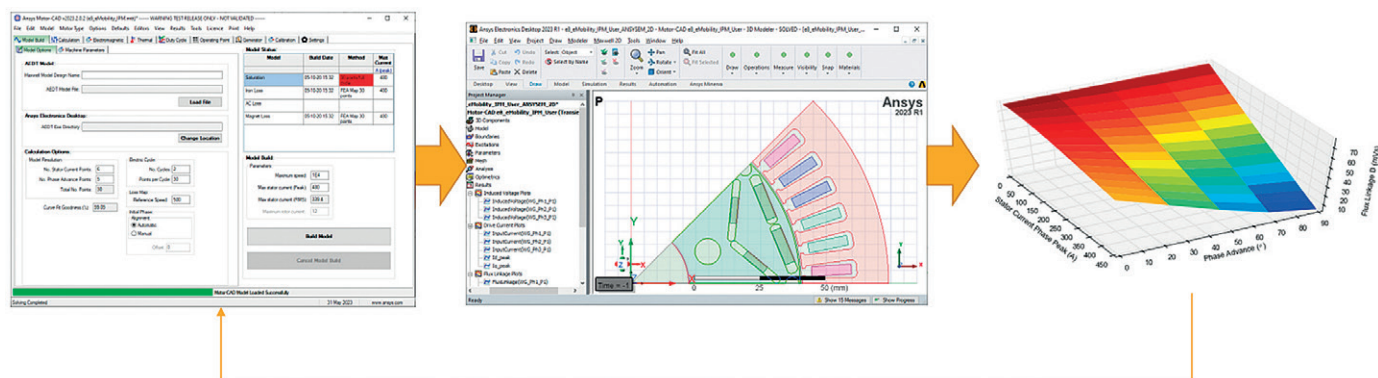
**Rys. 4.** Porównanie modelu z rzeczywistą szczeliną z modelem, w którym zastosowano element typu shell imitujący zachowanie szczeliny



**Rys. 5.** Obsługa ECAD przez Maxwella



**Rys. 6.** Wykorzystanie Maxwella przez Motor-CAD-a



Circuit, które zostaną automatycznie przeniesione do Maxwella po wczytaniu komponentu. Skonfigurowaną płytkę z wymuszeniami w Maxwella można połączyć z Simplorerem.

Usprawniono również tworzenie siatki – ma ona większą rozdzielczość dla zakrzywionych powierzchni oraz jest automatycznie poprawiana w miejscach warunków brzegowych i wymuszeń (rys. 7).

Pojawiła się możliwość dodawania komponentów w postaci laminatu, czyli Layout components, wraz z mapowaniem ścieżek na jego warstwy w podobny sposób, jak odbywa się to w Icepacku.

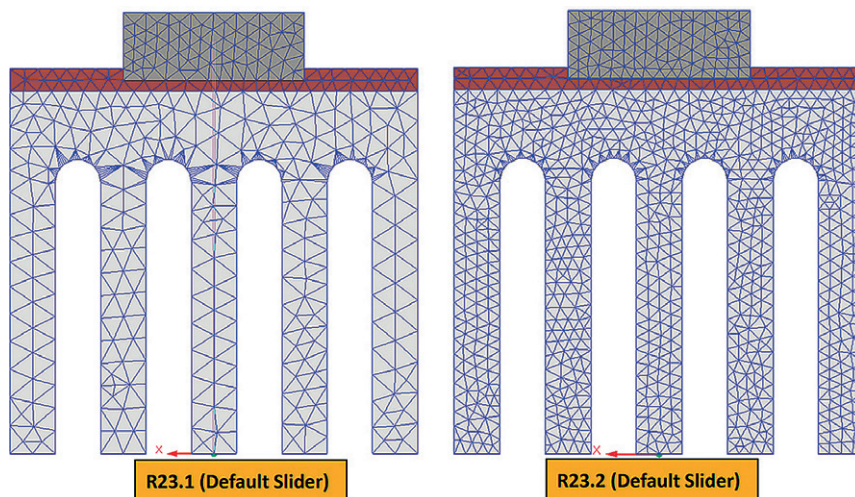
## Motor-CAD

Dla większej dokładności obliczeń zaimplementowano solver Maxwella 2D/3D do Motor-CAD-a w trybie Lab.

API Python automatycznie skonfiguruje analizę w Maxwella, obliczy wydajność maszyny, korzystając z analizy parametrycznej, a następnie wyeksportuje wyniki do Motor-CAD-a. Obliczone zostaną momenty elektromagnetyczne, straty, a także strumienie skojarzone w osiach DQ. Maxwell zajmuje się wszystkimi obliczeniami, a Motor-CAD jest używany jedynie do przedstawienia wyników (rys. 6).

## AEDT Mechanical

Dodano nowy typ symulacji – Transient Thermal. Teraz już można przeprowadzać symulacje termiczne w czasie rzeczywistym.



**Rys. 7.** Porównanie siatek na domyślnych ustawieniach w AEDT Mechanical



# ANSYS OptiSLang – osobisty doradca projektowy inżyniera

Mateusz Kubik • MESco • mkubik@mesco.com.pl

Podczas rozwiązywania problemów inżynierskich dużo czasu poświęca się na znalezienie odpowiedzi na kilka kluczowych pytań. Jak zminimalizować koszty produkcji? Na jakie zagrożenia narażony jest dany produkt i jak ich uniknąć? Które parametry mają największy wpływ na właściwości produktu? Jak je wykorzystać, by uzyskać najlepsze rozwiązanie? Z odpowiedzią na te i wiele innych pytań stawianych przez inżynierów przychodzi ANSYS OptiSLang.

OptiSLang to zaawansowane i kompleksowe oprogramowanie do integracji procesów symulacji oraz do optymalizacji (PIDO – Process Integration and Design Optimization). Umożliwia ono integrację wielu narzędzi i technologii na jednej platformie w celu przeprowadzenia procesu optymalizacji produktu wymagającego użycia wielu parametrów i procesów. OptiSLang pozwala na obsługę plików o różnych formatach, dlatego różne systemy mogą ze sobą współpracować bez konieczności eksportu do uniwersalnych formatów wymiany danych. Ułatwia to import i analizę danych z arkuszy kalkulacyjnych, systemów CAD, oprogramowania do analiz numerycznych itp. Działanie OptiSLanga opiera się przede wszystkim na analizie wrażliwości, ocenie niezawodności (*robustness evaluation*) oraz algorytmach do rozwiązywania zadań Robust Design Optimization (RDO), takich jak: Metamodel of Optimal Prognosis (MOP)<sup>1</sup> oraz Coefficient of Prognosis (CoP)<sup>2</sup>.

Dodatkowo do procesów optymalizacji można użyć zaawansowanych nowoczesnych narzędzi wykorzystujących AI oraz ML. Ucząc własną sieć neuronową, jesteśmy w stanie szybko przeliczać setki DesignPointów, czyli wariantów optymalizacyjnych. Dzięki innowacyjnym rozwiązaniom klienci mogą rozpocząć prawdziwą przygodę z optymalizacją.

## ► Analiza wrażliwości na przykładzie rozciągania stalowego pręta

Złożone funkcjonalności i narzędzia dostępne w OptiSLangu umożliwiają inżynierom przeprowadzenie pełnej

analizy wrażliwości. Oznacza to, że program jest zdolny do określenia wpływu parametrów wejściowych na wrażliwość produktu na badaną cechę i tym samym do przewidywania jego zachowania pod wpływem zmiany tych parametrów.

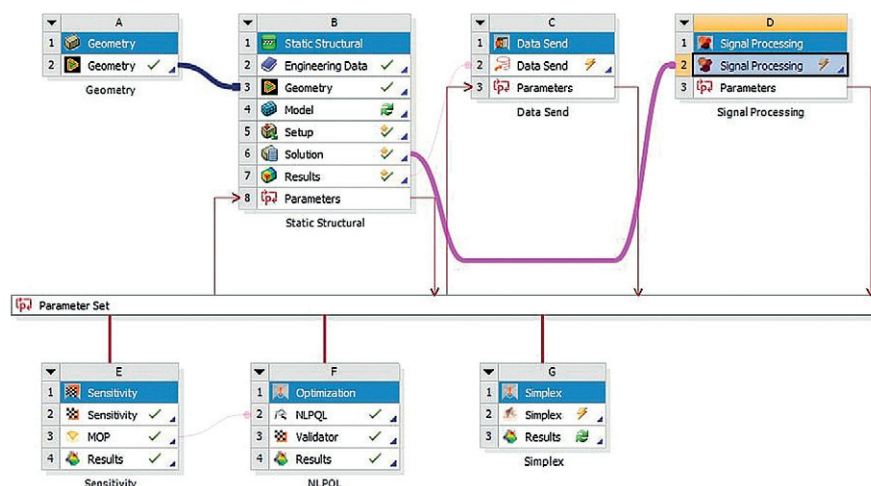
Jako przykład może posłużyć analiza rozciągania belki ze stali sprężynowej (rys. 1). Celem tej analizy było takie dopasowanie wejściowych parametrów materiałowych, by wykres zależności siły od przemieszczenia całkowitego był jak naj-

bardziej zbliżony do wyników z eksperymentu. Taki zabieg pozwala na uzyskanie drogą symulacji modelu, który w znacznym stopniu odpowiada właściwościom modelu rzeczywistego, co jest przydatne na dalszych etapach rozwoju produktu.

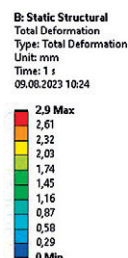
Dzięki integracji OptiSLanga z ANSYS Workbench cały proces analizy i optymalizacji tej próby odbywa się w jednym oknie, co zapewnia inżynierowi wygodę i przejrzystość (rys. 2). Pierwszym etapem była symulacja rozciągania belki w programie ANSYS Mechanical. Jej wynik przedstawiono na rys. 3. Następnie na podstawie uzyskanych wyników symulacji zdefiniowano parametry wejściowe i wyjściowe, które przebadano z użyciem MOP oraz porównano z sygnałem referencyjnym, wyznaczonym na podstawie wyników eksperymentu. Kolejnym etapem była analiza wrażliwości z wykorzystaniem modułu Sensitivity (rys. 2), do którego dane wejściowe zostały dostarczone z modułów Data Send oraz Signal Processing odpowiadających za pobranie i przetworzenie wyników symulacji. Moduł Sensitivity dostarcza w tej analizie informacji dotyczących warunków ekstrakcji sygnału z użyciem: podanych wartości granicznych parametrów, rozkładu wartości modułu



Rys. 1. Model 2D belki do analizy rozciągania wykonany w ANSYS Spaceclaim



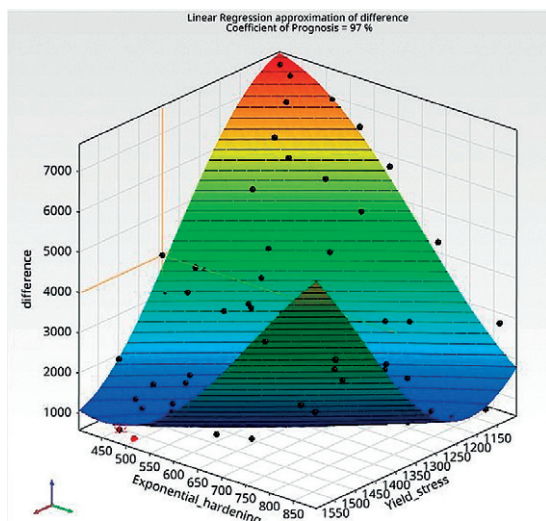
Rys. 2. Schemat blokowy programów użytych w procesie optymalizacji w ANSYS Workbench



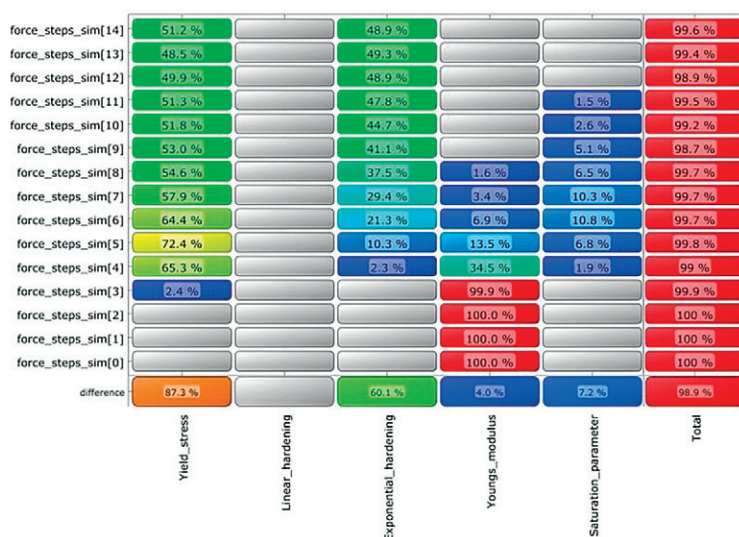
Rys. 3. Wyniki symulacji rozciągania belki według wartości przemieszczenia całkowitego w ANSYS Mechanical

<sup>1</sup> MOP opiera się na poszukiwaniu optymalnego zestawu zmiennych wejściowych oraz najodpowiedniejszego modelu przybliżającego (w postaci wielomianu lub metody najmniejszych kwadratów z liniową lub kwadratową bazą).

<sup>2</sup> CoP to współczynnik, który pomaga określić, jak dobrze metamodel prognozuje rzeczywiste wyniki na podstawie danych treningowych. Im wyższa jakość prognoz metamodelu, tym wyższa będzie wartość tego współczynnika, co oznacza, że metamodel jest dokładny i skuteczny w przewidywaniu wyników dla nowych zestawów parametrów.



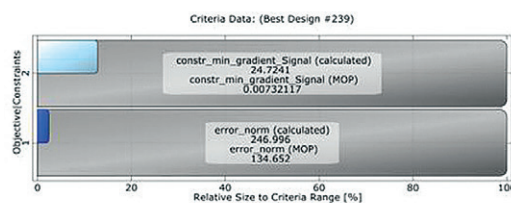
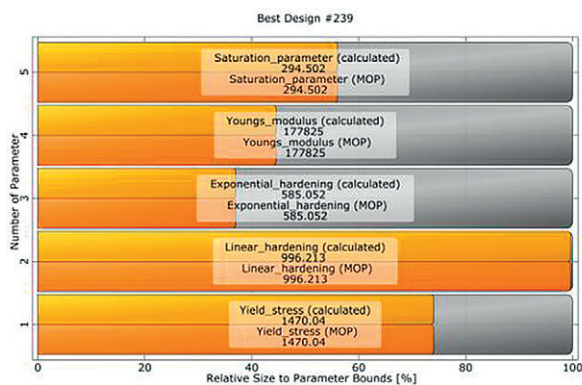
Rys. 4. Metamodel przedstawiający regresję liniową różnicy sygnału referencyjnego i interpolowanego sygnału wejściowego w zależności od współczynnika umocnienia i granicy plastyczności



Rys. 5. Macierz CoP z wynikami analizy wrażliwości

Rys. 6.

Wyniki optymalizacji MOP z porównaniem wartości uzyskanych w eksperymencie i po optymalizacji



Younga, granicy plastyczności czy regresji liniowych wprowadzonych parametrów.

Po analizie wrażliwości otrzymano wyniki w postaci hiperpłaszczyzny MOP (rys. 4) oraz macierzy CoP (rys. 5). Hiperpłaszczyzna przedstawiła wpływ dwóch parametrów wejściowych – tj. współczynnika wzmocnienia wykładniczego (oś Y) i granicy plastyczności (oś X) – na wartość różnicy między sygnałem referencyjnym a interpolowanym (oś Z). Natomiast macierz CoP określiła w procentach wpływ wejściowych parametrów materiałowych w poszczególnych krokach symulacji na przemieszczenie badanej próbki. Na podstawie tej macierzy można wywnioskować, że wraz ze wzrostem wartości przemieszczenia spada wpływ wartości modułu Younga i rośnie wpływ wartości współczynnika wzmocnienia wykładniczego. Taka analiza dostarcza szczegółowych informacji o kluczowych parametrach w poszczególnych fazach procesu rozciągania.

Ostatnim etapem było przeprowadzenie optymalizacji za pomocą modułu Nonlinear Programming by Quadratic Lagrangians (NLPQL) z zastosowaniem MOP. NLPQL to metoda optymalizacji wykorzystująca sekwencyjne programowanie kwadratowe (SQP), która rozwiązuje problemy z gładką, ciągle różniczkowalną funkcją celu. Algorytm wykorzystuje kwadratową

aproksymację funkcji Lagrange'a oraz liniową aproksymację ograniczeń.

Na rys. 6 pokazano rezultaty tej optymalizacji. Tabela Best Design zawiera porównanie eksperymentalnej i wyznaczonej przy użyciu MOP wartości modułu Younga, granicy plastyczności i współczynnika umocnienia wykładniczego. Na jej podstawie można zaobserwować bardzo dobrą zgodność między MOP a wartościami wyznaczonymi podczas eksperymentu. Widać to również na rys. 7, który przedstawia porównanie wykresów sygnału otrzymanego na podstawie eksperymentu oraz sygnału uzyskanego po

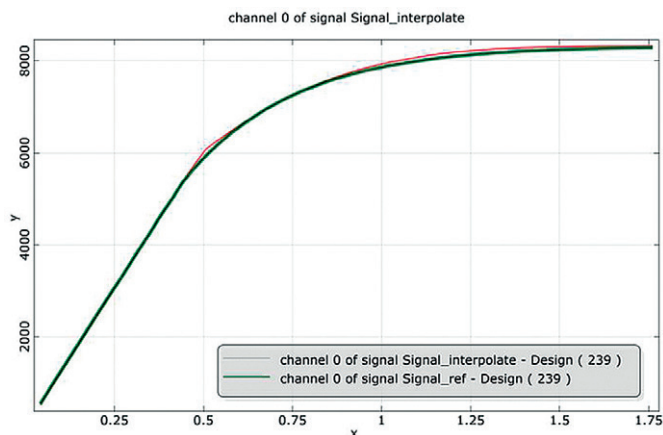
optymalizacji. Natomiast z analizy tabeli Criteria Data wynika również, że wartość błędu normalnego po optymalizacji metodą MOP spadła o ok. 54% w porównaniu z początkowym zestawem parametrów. Można zatem stwierdzić, że optymalizacja metodą NLPQL z użyciem MOP przybliżyła znacznie wynik symulacji do wyniku z eksperymentu.

### ► Automatyczna optymalizacja produktu na przykładzie stalowego haka

OptiSlang jest również narzędziem stosowanym do optymalizacji produktów

Rys. 7.

Porównanie wykresów zależności siły od przemieszczenia całkowitego dla wyników eksperymentu (Signal\_ref) i sygnału uzyskanego na podstawie symulacji (Signal\_interpolate)





zgodnie z określonymi kryteriami. Optymalizacja może służyć m.in. do redukcji kosztów produkcyjnych lub zwiększenia wydajności i funkcjonalności wyrobów.

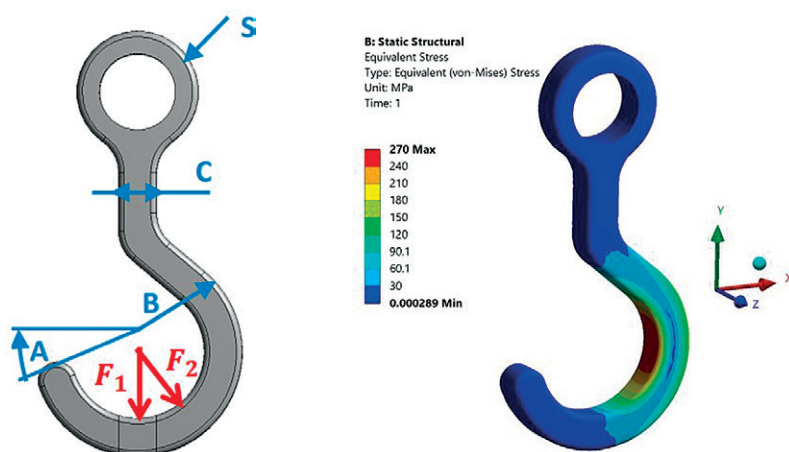
Dobrym przykładem jest projekt optymalizacji stalowego haka. Celem tego projektu było takie zoptymalizowanie geometrii haka, by obniżyć jego masę z zachowaniem odpowiedniej wytrzymałości na rozciąganie. Taki zabieg pomaga zredukować ilość materiału potrzebnego do wytworzenia haka, co przekłada się na obniżenie kosztów produkcji. Odpowiednia parametryzacja geometrii (rys. 8), analiza wrażliwości oraz optymalizacja metodą MOP pozwoliły na uzyskanie geometrii spełniającej wszystkie przyjęte na początku założenia.

Jako dane wejściowe przyjęto kilka parametrów geometrycznych opisujących kąty, długości i grubości poszczególnych elementów haka, siły  $F_1$  i  $F_2$  o wartości 6 kN oraz podporę cylindryczną. Na rys. 9 przedstawiono wyniki symulacji wytrzymałościowej przeprowadzonej w ANSYS Mechanical dla haka przed optymalizacją.

Z kolei metamodel na rys. 10 pokazuje zależność masy haka od jego długości i średnicy podpory cylindrycznej, co pozwala wywnioskować, jakie wartości tych parametrów geometrycznych mają największy wpływ na redukcję masy. Na rys. 11 pokazano rezultaty optymalizacji, czyli wartości parametrów wyjściowych stanowiących odpowiedź dla najlepszego zestawu parametrów wejściowych. Skuteczność OptiSLanga w uzyskiwaniu rozwiązań redukujących koszty doskonale widać na rys. 12, na podstawie którego można wywnioskować, że zaproponowana przez program geometria jest aż o 15% lżejsza od modelu początkowego. Taka optymalizacja może się przyczynić do znacznego obniżenia kosztów produkcji.

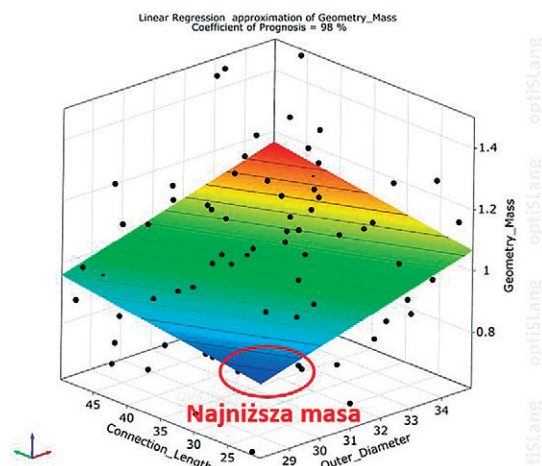
Podsumowując: dzięki zaawansowanym funkcjom ANSYS OptiSLang integruje procesy symulacji i optymalizacji. Umożliwia skuteczną minimalizację kosztów oraz pozwala na znalezienie optymalnych rozwiązań projektowych. To sprawia, że każdy inżynier może podejść do swoich projektów z większą pewnością

i efektywnością, osiągając wyższą jakość produktów. Wbudowane algorytmy optymalizacyjne oraz integracja ze wszystkimi formatami plików z programów CAE i CAD w OptiSLang znacznie skracają czas poszukiwania optymalnego rozwiązania. Nie ma potrzeby eksportu z natywnych formatów danych lub geometrii do formatów uniwersalnych, co zazwyczaj wiąże się z utratą istotnych danych lub ich czasochłonną korektą. Zastosowanie OptiSLang może znacząco skrócić drogę od koncepcji do optymalnego rozwiązania, co jest zazwyczaj najdłuższym i najdroższym etapem każdego projektu. W erze rozwoju sztucznej inteligencji oraz machine learningu OptiSLang ma ogromne szanse, by stać się podstawowym narzędziem do poprawy jakości wszelkich produktów i projektów w wielu gałęziach przemysłu. *Last but not least*, sama technologia jest przyjazna dla użytkownika i pomimo groźnie brzmiących nazw algorytmów czy samego pojęcia sztucznej inteligencji w łatwy sposób pozwala rozpocząć optymalizację produktu. ■

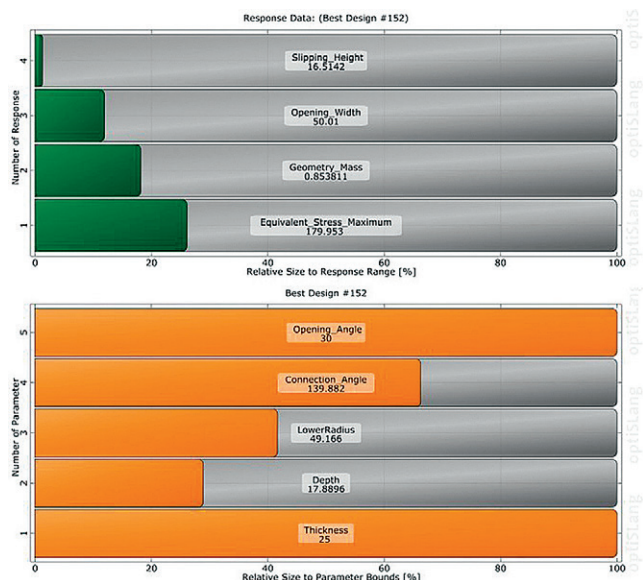


Rys. 8. Parametryzacja geometrii haka

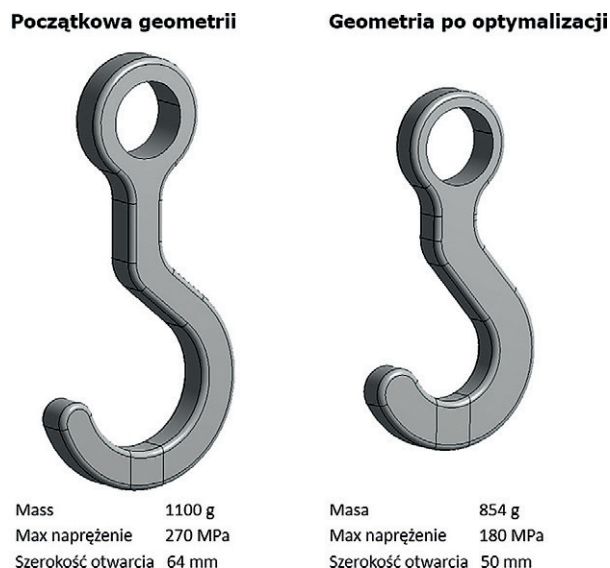
Rys. 9. Wyniki symulacji wytrzymałościowej haka przed optymalizacją, przeprowadzonej w programie ANSYS Mechanical



Rys. 10. Wyniki analizy wrażliwości masy geometrii z użyciem MOP



Rys. 11. Wyniki optymalizacji geometrii haka



Rys. 12. Porównanie parametrów przed optymalizacją haka i po niej



# AI/ML w symulacji, czyli „super Zbyszek”

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

Termin „sztuczna inteligencja” nie jest nowy. Pierwsze wzmianki o niej pojawiły się w latach 50. ubiegłego wieku. Dlaczego dopiero dzisiaj wywołuje tyle emocji i co się zmieniło w tym zakresie? Miało na to wpływ wiele czynników. Faktem jest, że – patrząc z perspektywy nawet ostatnich 15 lat – o temacie wspominali głównie fanteści i naukowcy, natomiast przez ostatnie 2–3 lata obserwujemy eksplozję zastosowań i aplikacji sztucznej inteligencji. Zaczynając od prymitywnych botów mających zautomatyzować obsługę klienta, poprzez narzędzia do podkładania głosu, obróbki obrazu, przez *deep fake*, na chatGPT pewnie nie kończąc. Całość budzi jednocześnie fascynację i niepokój.

Rozwój sztucznej inteligencji nazywany jest często kolejną rewolucją przemysłową i porównywany do wynalezienia maszyny parowej czy komputera. Tak jak wcześniejsze rewolucje często eliminowały proste prace i generowały nowe, bardziej zaawansowane zawody, ze sztuczną inteligencją może się okazać, że sprawy mają się inaczej.

Cechą obecnych technologii jest to, że świetnie sobie radzą z powtarzalnymi działaniami oraz z pracą na dużej ilości danych. Nadają się do analizy trendów, znajdowania zależności, bardzo dobrze sprawdzają się w diagnostyce, ale niekoniecznie radzą sobie w pracy twórczej i myśleniu *out-of-the-box*. Ale czy tylko? Mamy AI tworzące obrazy, odpowiadające na pytania i zdające egzaminy. Za chwilę nie będziemy w stanie rozpoznać, czy rozmawiamy online z człowiekiem, czy z botem. Wydaje się, że wszelkie działania i zawody polegające na odtwórczym albo powtarzalnym działaniu są dziś na celowniku sztucznej inteligencji.

## ▶ Sztuczna inteligencja w dziale konstrukcyjnym i R&D – jak działa AI/ML

Praca inżyniera kojarzona jest często z pracą twórczą, ale mającą w sobie spory zakres działań powtarzalnych czy odtwórczych. Dodając do niej potencjał sztucznej inteligencji, można uzyskać bardzo duże wsparcie i rozszerzyć możliwości zastosowania symulacji komputerowych.

Jak działa AI/ML? Przekładając to na język obrazowy, to pewnie każdy pracujący w firmie z wieloletnią tradycją miał okazję spotkać przysłowiowego „pana Zbyszka”. Pan Zbyszek zjadł zęby na produktach danej firmy i wystarczy, żeby popatrzeć przez ramię młodego inżyniera na ekran monitora, a już będzie wiedział, co nie zadziała albo co trzeba poprawić. Skąd? Ano lata doświadczeń. Przekładając to na język AI, ma zabudowaną sieć neuronową wyszkoloną pod kątem projektowania np. zaworów. Tacy pracownicy są niezwykle cenni. Problem pojawia się, kiedy przechodzą na emeryturę albo do konkurencji. Zabierają „wytrenowaną sieć neuronową” ze sobą.

A teraz wyobraźmy sobie sytuację, gdy zebrane zostaną wszystkie projekty przeliczone w firmie od samego początku, do tego zostaną dołożone wyniki pomiarów, wyniki prac nad nowymi projektami i to wszystko zostanie wykorzystane do uczenia sztucznej sieci neuronowej.

Nie wchodząc w szczegóły, polega to na tym, że wrzuca się projekt, podaje warunki brzegowe i sieć neuronowa „zgaduje” wynik. Następnie porównuje swój wynik z wynikiem z symulacji i na podstawie różnicy wprowadza modyfikację sieci neuronowej. Proces jest powtarzany, aż sieć będzie zwracać akceptowane wyniki. Na koniec otrzymuje się zestaw modeli weryfikacyjnych, na którym sprawdza się poprawność działania sieci.

Stosując to podejście, można uczyć sieć neuronową, a co więcej, można ją cały czas szkolić, angażując w nowe projekty z całkiem nowymi podejściami. Można stworzyć „super Zbyszka”, który będzie się cały czas rozwijał dzięki nowym projektom realizowanym przez zespół ludzi. Jest to całkowicie skalowalne podejście. „Super Zbyszek” zawsze każdemu pomaga, zwraca wyniki w trzy sekundy, nie

chodzi o L4 i nie przejdzie na emeryturę, zabierając całą wiedzę ze sobą.

## ▶ AI/ML w ANSYS

ANSYS jako lider technologii ma już w swoich narzędziach pierwsze aplikacje AI i pracuje nad kolejnymi.

Najprostszym przykładem jest narzędzie do estymacji czasu obliczeń wytrzymałościowych. ANSYS przeanalizował przeliczone przypadki, ocenił siatkę, skomplikowanie modelu, warunki brzegowe i jest w stanie oszacować czas i zasoby potrzebne na przeliczenie nawet modelu nieliniowego. Mała rzecz a cieszy.

Także w symulacjach CFD można wykorzystać uczenie maszynowe. Fluent jest w stanie za pomocą wbudowanej sieci neuronowej wyszukiwać współczynniki korekcyjne do modelu turbulencji *k- $\omega$*  GEKO, aby automatycznie dostosować parametry symulacji do pomiarów i zachować idealną zgodność w kolejnych symulacjach.

W narzędziu OptiSLang zabudowane są sieci neuronowe. Przy optymalizacji parametrycznej z dużą liczbą parametrów czy wieloma wartościami program





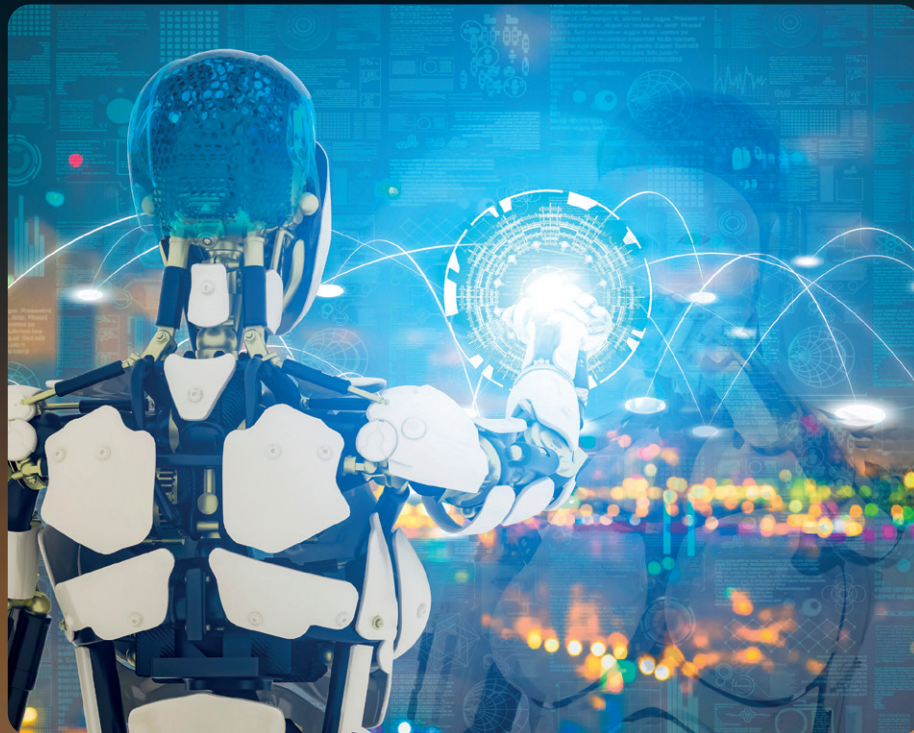
przelicza DesignPointy i trenuje nimi sieć neuronową. W efekcie kolejne DP są rozwiązywane przez sieć neuronową w parę sekund – zamiast czekać kilka godzin czy dni na obliczenia z zastosowaniem tradycyjnego solvera. Otwiera to możliwości kompleksowej optymalizacji, niedostępnej tradycyjnymi metodami.

Na początek roku 2024 ANSYS zapowiada kolejną nowinkę, o której nie mogę jeszcze głośno mówić, ale na pewno usprawni ogromnie pracę inżynierów.

#### ► Co się dzieje z AI/ML poza standardowymi narzędziami ANSYS-a?

Pojawiają się ciekawe aplikacje, które często niezależnie od narzędzia pozwalają wyszkolić sieć neuronową wynikami symulacji i/lub danymi z pomiarów. Z takim *know-how* w kapsułce można rozwinąć działania działu technicznego na paru poziomach:

- „Demokratyzując” użycie symulacji, udostępniając wytrenowaną sieć konstruktorom lub nawet osobom nie-technicznym, które, definiując dane wejściowe w postaci modeli czy parametrów, w krótką chwilę otrzymają wyniki symulacji. Można stworzyć spersonalizowane firmowe narzędzie, np. do przeliczania zaworów. Są już aplikacje, które bazują nie tylko na parametrach, ale także na modelach geometrycznych (np. w postaci STL). Wrzuca się nowy model CAD i w parę sekund dostaje wyniki dla całego modelu.
- Używając sieci neuronowej jako „solvera” do optymalizacji parametrycznej. Dzięki temu można w krótkim czasie poszukiwać optymalnego rozwiązania w przestrzeni tysięcy DesignPointów. Coś co do tej pory nie było możliwe.
- Używając do optymalizacji produktu czy procesu, korzystając z zadania odwrotnego. Jako wsad daje się pożądaný efekt, a program sam będzie poszukiwał takiego projektu, który najlepiej spełni zadane cele.



Jak widać, AI/ML na pewno będzie mocno obecne w przemyśle. Pojawia się wątpliwość: pomoże, czy będzie zagrożeniem? A może zrewolucjonizuje całkowicie obecne działy konstrukcyjne i R&D? Na pewno będzie miało wpływ na sposób pracy, a także strukturę zatrudnienia, przewartościuje pracę, odciąży nas od rutynowych zadań, ale i wymusi kreatywność.

Już dzisiaj można obserwować zmianę trendów chociażby w branży IT, gdzie tworzenie kodów jest powoli wypierane przez algorytmy. Z jednej strony zmienia strukturę zatrudnienia, redukując zapotrzebowanie na programistów, a z drugiej zwiększa zapotrzebowanie właśnie w dziale tworzenia aplikacji AI.

Jak będzie się miała sprawa z inżynierami?

AI z jednej strony ułatwi działania przy projektowaniu, pozwoli analizować gigantyczne ilości danych, znajdować korelacje

oraz przeszukiwać prawie nieograniczoną przestrzeń. Z drugiej strony jednak może zautomatyzować wiele procesów, eliminując potrzebę pracy człowieka. Odpowiednio wytrenowana sieć neuronowa może wyekstrahować wiedzę z człowieka i stworzyć superpracownika, który będzie posiadał doświadczenie dziesiątków inżynierów prowadzących symulacje i testy.

W końcu, jak będzie wyglądało szkolenie nowych inżynierów? Czy w erze ulepszonych chatów GPT lub narzędzi do podmiary głosu i obrazu w czasie spotkań online studia w obecnej formie przestaną mieć sens? Czy finalnie nie wrócimy do interakcji *face to face* i nauki bazującej na relacji uczeń i mistrz wskazujący drogę, zamiast hurtowej produkcji dyplomów?

Jak będzie wyglądała przyszłość? Obawiam się, że dowiemy się tego szybciej, niż nam się wydaje. A z samą technologią będzie pewnie jak z dynamitem. To, jak jej użyjemy, będzie zależało od nas. ■

# MESCO

**Wydawca:** MESco Sp. z o.o.

al. Legionów 4, 41-902 Bytom

tel. +48 (32) 661 94 36

oddział Warszawa: tel. +48 530 785 464

oddział Szczecin: tel. +48 605 390 228

info@mesco.com.pl, www.mesco.com.pl

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

# Ansyes

CERTIFIED  
ELITE CHANNEL  
PARTNER

MESco jako Elite Channel Partner firmy ANSYS w Polsce prowadzi sprzedaż, szkolenia i wsparcie techniczne oprogramowania ANSYS, a także wykonuje analizy numeryczne na zlecenie.

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.

&tips  
tricksSymulacja spawania  
w ANSYS LS-Dyna

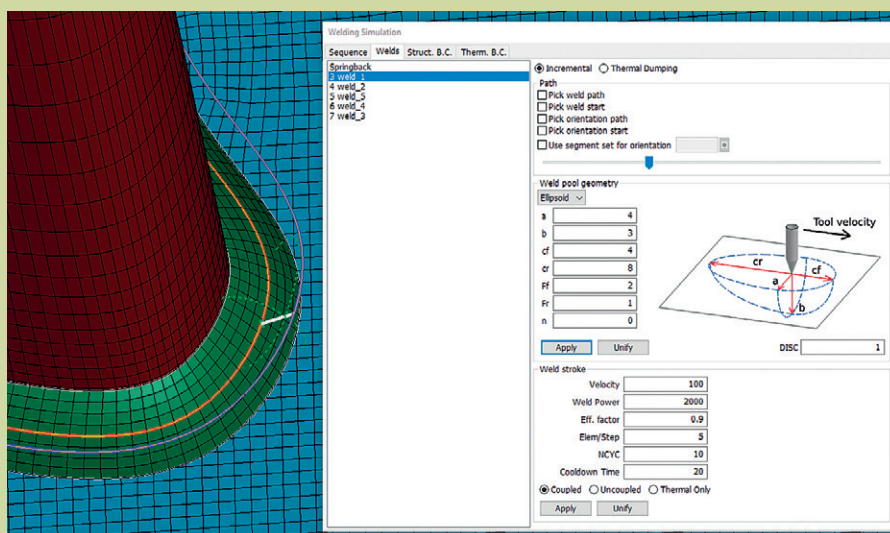
Michał Sobota • MESco • msobota@mesco.com.pl

Interfejs graficzny dedykowanego procesora LS-PrePost dla solvera LS-Dyna nie należy do najłatwiejszych w obsłudze, jednak sam solver umożliwia analizowanie mnóstwa fizyk i zjawisk. Jednym z takich zjawisk jest proces spawania. LS-Dyna zawiera zaawansowane modele materiałowe modelujące przemiany fazowe i przemiany alotropowe. Są to m.in. modele: \*MAT\_CWM, \*MAT\_THERMAL\_CWM, \*MAT\_GENERALIZED\_PHASECHANGE oraz \*MAT\_UHS\_STEEL, przy czym ten ostatni może uwzględnić aż 5 faz i wpływ 15 pierwiastków! Aby uprościć proces tworzenia wieloetapowych analiz spawania, można skorzystać z narzędzia Welding Simulation.

Narzędzie Welding Simulation w programie LS-PrePost uruchamia się, przechodząc do zakładki Application, a następnie → Tools → Welding Simulation (rys. 1). Po kliknięciu pojawia się osobne okno, w którym można definiować przebieg wieloetapowej analizy spawania. Aby zdefiniowane operacje zostały uwzględnione w analizie, należy zapisać keyword za pomocą opcji Export. W celu zdefiniowania spoiny ciało typu Solid lub Shell musi w swojej nazwie zawierać słowo „weld”. Wtedy pojawi się ono w tabeli i będzie stanowiło pojedynczą operację kładzenia spoiny. Aktywacja spoiny w określonym etapie odbywa się poprzez kliknięcie na jedno z pól pod nagłówkami 1–5 (istnieje możliwość dodania dowolnej liczby nagłówków). Po poprawnym zdefiniowaniu parametrów pojedynczej operacji lub mechanicznego/termicznego warunku brzegowego odpowiadające mu pole zmienia kolor na zielony.

Rys. 1 Tabela kolejności kładzenia spoin i aktywacji warunków brzegowych

Sequence	Welds	Struct. B.C.	Therm. B.C.
Springback			
3 weld_1			
4 weld_2			
5 weld_5			
6 weld_4			
7 weld_3			
== Struct. B.C. ==			
1nodes_weldingseam_path			
2nodes_plate_edge_side1			
3nodes_plate_edge_side2			
== Therm. B.C. ==			
Air segm.			
1segments_weldingseam_path			
2segments_rad_and_conv			
3segments_weldingseam_contact			
4SET_SEGMA			



Rys. 2 Okno ustawień objętościowego źródła ciepła

Operacja spawania pozwala na zdefiniowanie dowolnej ścieżki, którą podąża elektroda spawalnicza. Ścieżkę oraz orientację elektrody w przestrzeni można zdefiniować za pomocą elementów typu Beam.

Użytkownik ma też możliwość wybrania i zdefiniowania kształtu, prędkości, mocy i wydajności objętościowego źródła ciepła. Analiza spawania może być sprzężona silnie lub słabo. Jest też opcja przeprowadzenia wyłącznie analizy termicznej (rys. 2).

Kolejną interesującą funkcjonalnością jest możliwość wygenerowania skryptu sterującego kolejnością operacji spawania. Skrypt może być zacytany do programu optymalizacji parametrycznej LS-OPT, gdzie jesteśmy w stanie zoptymalizować proces spawania pod kątem

dobrania optymalnej długości chłodzenia, kolejności kładzenia spoin, mocy źródła itp. (rys. 3).

Rys. 3 Plik sterujący kolejnością kładzenia spoin

Welding simulation - LS-PrePost (R) V4.10.5-23Jun2023									
*SEQUENCE	STAGEID	TYPE	ID	HEADPART	ORIENPART	HEADNODE	ORIENNODE		
1	1	1	3						
2	2	2	2						
3	3	3	0						
4	4	4	2						
5	5	5	3						
6	6	6	0						
7	7	7	2						
8	8	8	3						
9	9	9	3						
10	10	10	6						
11	11	11	3						
12	12	12	3						
13	13	13	3						
14	14	14	1						
15	15	15	2						
16	16	16	3						
17	17	17	3						