ISSN 1899-699X cena 17,50 zł (w tym 8% VAT)

projektowanie i KONSTRUKCJE inżynierskie

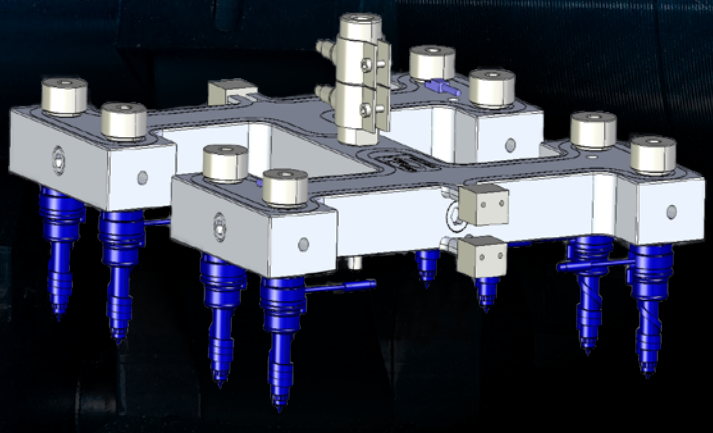
11/12 (182/183) listopad/grudzień 2022

- Algorytmy wizji maszynowej w kamerach przemysłowych
- Czy przejście na niestandardowe części może skutkować redukcją kosztów?
- Pomiary błędu pozycjonowania osi obrabiarek CNC

LASEROWE SPAWANIE HYBRYDOWE

Programy open source do symulacji inżynierskich

Pułapki w analizie doboru dysz w systemach GK



PRODUKTY DODATKOWE

VEP AUTOMATION

ZACISKI PNEUMATYCZNE

CHWYTAKI

SIŁOWNIKI CENTRUJĄCE

SIŁOWNIKI CENTRUJĄCO-ZACISKOWE

SIŁOWNIKI OBROTOWE

JEDNOSTKI LINIOWE

TECHNOLOGIA MOCOWAŃ

Dowiedz się więcej

METAL WORK® PNEUMATIC

Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie

Nr 11/12 (182/183)
listopad/grudzień 2022

rok XVI
ISSN: 1899-699X
www.konstrukcjeinzynierskie.pl

adres do korespondencji
ul. Marszałkowska 111
00-102 Warszawa

redakcja
tel. +48 22 12 28 690
redakcja@konstrukcjeinzynierskie.pl

redaktor naczelny
Przemysław Zbierski
tel. +48 606 416 252
pz@konstrukcjeinzynierskie.pl

prenumerata
tel. +48 532 493 072
prenumerata@iter.com.pl
szczegóły dotyczące prenumeraty czasopisma – na ostatniej stronie

wydawca
ITER
wydawnictwo@iter.com.pl

reklama
tel. +48 22 12 28 690
tel. +48 606 416 252
reklama@konstrukcjeinzynierskie.pl

zdjęcie na okładce: Cloos

ITER © 2022

Drodzy Czytelnicy,

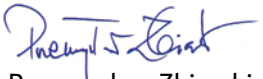
Ze wspomnień generała Józefa Dowbora-Muśnickiego, wybitnego Polaka, wielkiego dowódcy, twórcy I Korpusu Polskiego, wodza Powstania Wielkopolskiego (rzecz dotyczy rozprawy z rewolucyjnymi wichrzycielami w jednym z pułków Korpusu, w czasach wrzenia bolszewickiego na początku 1918 r.):

*Z tym pułkiem miałem jeszcze inne porachunki. Znałem ich prowodyrów, skończonych łotrów, których trzymałem w areszcie. Za rabunek i złodziejstwo mieli być rozstrzelani. (...) Przecież nie mogłem dowodzić niekarną hołotą. Zarządziłem egzekucję w jednym z fortów. Będę sam dowodził. (…) Rano zaszedłem do celi więziennej. Skazańcy modlili się na klęczkach. Gdym wszedł, zerwali się i stanęli na baczność. Zapytałem, czy nie mają jakich życzeń. Poprosili o księdza. Przysłałem kapelana. Wyszedł po pewnym czasie bardzo wzruszony. Wyprowadzono ich. Trzymali się za ręce i płacząc odmawiali „Pod Twoją obronę". Stanęli pod ścianą przed wykopanym dla siebie dołem. Nie prosili o łaskę. Widocznie zrozumieli sens swojej pokuty. Wydałem komendę: „Mierz! Cel!…" Pluton wykonał ruch bronią przepisowo i był gotów do strzału. Wyczekałem chwilę i skomenderowałem: „Wróć! Do nogi broń!…" Zmieniłem wyrok swój w ostatniej chwili, patrząc na ich modlitwę i spowiedź. Człowiekowi, który wyznaje swój błąd i żałuje za niego, trzeba dać jakąś szansę. Chrystus w ostatniej chwili także ułaskawił łotra żałującego za swe winy. Prawda (…)?**

* * *

Przed nami kolejne święta Bożego Narodzenia; Narodzenia Tego, który odmienia ludzkie serca, który niesie prawdziwy pokój, w każdych czasach i w każdych warunkach.

Życzę Państwu aby były piękne i pełne radości, i aby promieniowały tą radością na cały Nowy Rok!



Przemysław Zbierski

* S. Tworkowski: *Krzyż Dowbora*, Veritas, Londyn 1986

Spis treści

Nr 11/12 (182/183)
LISTOPAD/GRUDZIEŃ 2022

Plastikowe kopułki czujnikami 6
Latające taksówki dla Wietnamu 6
Druk 3D metal-plastik 7
Generator energii z drgań impulsowych 8
Miękki robot pływa motylkiem 9
Spartańska terenówka ze Szkocji 10
Komunikacja laserowa 12
Samonaprawiający się kompozyt 13

Laserowe spawanie hybrydowe 14
Aleksander Łukomski

Spawanie z wykorzystaniem systemów gantry firmy Yaskawa 19

Pułapki w analizie doboru dysz w systemach gorącokanałowych 20
Jerzy Dziewulski

Niestandardowe części na zamówienie 25

Aston Martin & Brough Superior 28
Ryszard Romanowski ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

Algorytmy wizji maszynowej stosowane w tzw. kamerach inteligentnych, przeznaczonych do zastosowań w przemyśle 31
Marian Ostrowski, Grzegorz Suwała, Cezary Ziemecki ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

Wolumetryczne pomiary błędu pozycjonowania osi obrabiarek sterowanych numerycznie 34
Paweł Majda, Jakub Grabiec, Karol Miądlicki, Aleksandra Ogórska

Programy open source do symulacji inżynierskich 43
Márton Gróza, Dávid Felhős ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

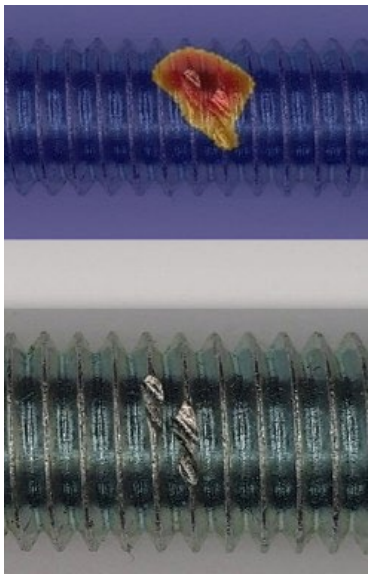
Projektowanie i konstrukcja obrabiarek 46
Aleksander Łukomski ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

Inżynieria odwrotna (*Reverse Engineering*) w CATIA 3DEXPERIENCE; cz. 5 50
Andrzej Wełyczko ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

Czeska Bohema 54
Jacek Zbierski ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM

Citroën Oli 57
Ryszard Romanowski

Who cares? 62
Tomasz Gerard ARTYKUŁ DOSTĘPNY w WYDANIU PŁATNYM



ROZWIĄZANIA

31 Algorytmy wizji maszynowej stosowane w tzw. kamerach inteligentnych, przeznaczonych do zastosowań w przemyśle

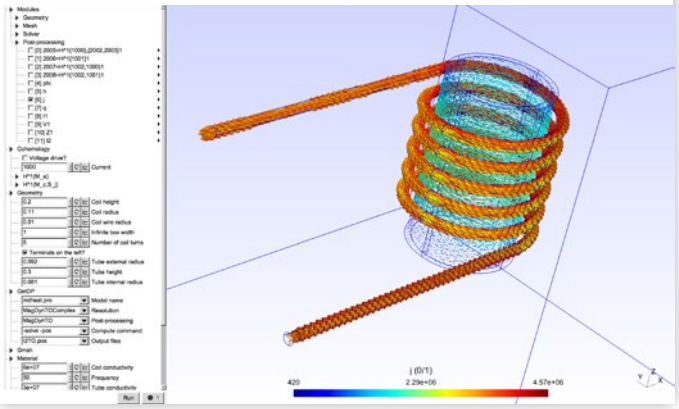
Marian Ostrowski, Grzegorz Suwała, Cezary Ziemecki

Pierwszy krok przykładowej metody wykrywania anomalii polega na ekstrakcji różnych cech obrazu przy pomocy splotowej sieci neuronowej. Cechy są pobierane z różnych warstw sieci różniących się poziomem zagłębienia...

ANALIZY, SYMULACJE

43 Programy open source do symulacji inżynierskich

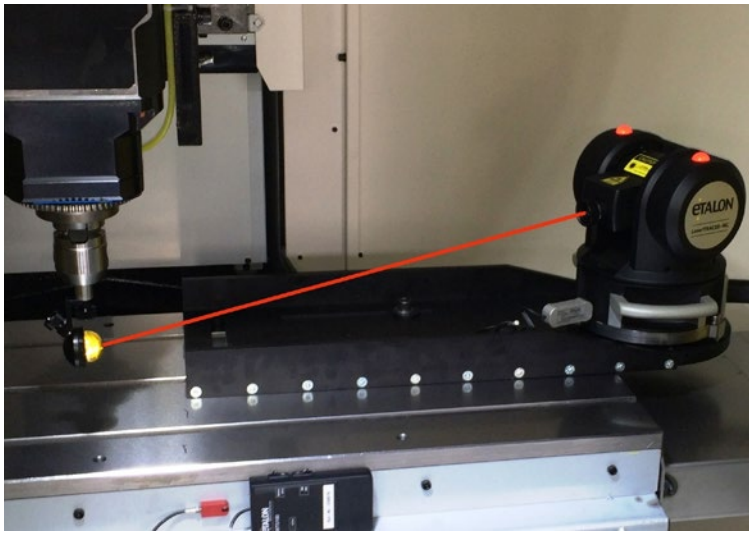
Márton Gróza, Dávid Felhős



PROJEKTOWANIE

46 Projektowanie i konstrukcja obrabiarek

Aleksander Łukomski



BADANIA, ANALIZY

34 Wolumetryczne pomiary błędu pozycjonowania osi obrabiarek CNC

Paweł Majda, Jakub Grabiec, Karol Miądlicki, Aleksandra Ogórska

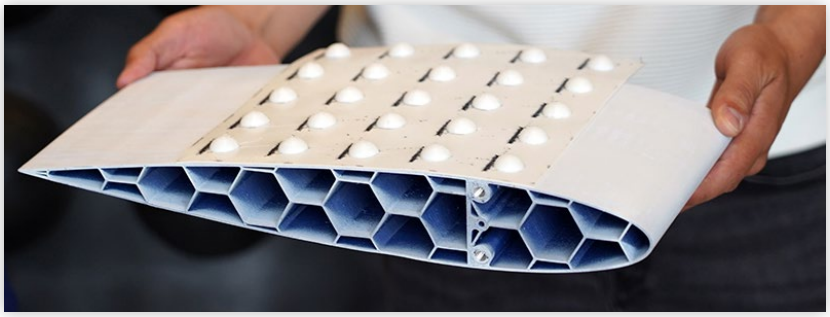
Przez odpowiednią konfigurację położeń interferometru w przestrzeni pomiarowej oraz sekwencyjne wielopunktowe pomiary długości można odpowiednio badać charakterystyki błędów kinematycznych osi translacyjnych, a także rotacyjnych.

Plastikowe kopułki czujnikami

Prof. Andres Ariette z Uniwersytetu Purdue zainteresował się kubkami, w których podaje się napoje na wynos, np. na stacjach paliw. Jego uwagę zwróciły ich wieczka, wyposażone w niewielkie, wytłoczone w plastiku kopułki.

Uznał, że podobne, wykonane z odpowiedniego metamateriału mogą być doskonałymi czujnikami w dronach. Maszyna w przeciwieństwie do człowieka nie potrafi odfiltrowywać informacji. Dla niej wszystkie są jednakowo ważne. Ogromna ilość dostarczanych przez dotychczas stosowane czujniki informacji zakłóca np. „zapamiętywanie" pokonanej trasy. Następuje proces „zatapiania informacji".

Plastikowe kopułki dostarczają tylko niezbędnych informacji. Działają pod wpływem bardzo niewielkich sił. Testy przeprowadzone na uniwersytecie West Lafayette wykazały, że reagują i pozwalają zapamiętać zmiany w czasie zaledwie kilku milisekund. Określa się to pamięcią asocjacyjną poprzez dotyk, którą również dysponują zwierzęta.



Plastikowa kopułka ma tylko dwa stany 0 i 1. Dzięki temu doskonale współpracuje z urządzeniami elektronicznymi. Potrafi z łatwością dostarczyć informacji o minimalnych zmianach ciśnienia i temperatury. Pozwala to m.in. lokalizować przeszkody i zbliżające się obiekty.

Opracowany metamateriał jest tani i można nim z łatwością pokryć np. skrzydło drona.

purdue.edu

Latające taksówki dla Wietnamu

Znana z zapalenia olimpijskiego znicza podczas olimpiady w Tokio firma Sky Drive z Toyota City w Japonii oferuje coraz więcej konstrukcji. Biorąc pod uwagę niezwykły ruch drogowy w metropoliach Azji, który bardzo trudno usprawnić opracowała powietrzną taksówkę. Dwumiejscowy model SD-05 jest w trakcie procesu certyfikacji. Napędzana elektrycznymi silnikami maszyna, ze sterowanym komputerowo systemem lotu, przeszła już pierwsze próby. Premiera wersji produkcyjnej ma mieć miejsce podczas World Expo 2025 Osaka, Kansai. Według danych Sky Drive maszyna pionowego startu i lądowania ma mieć bezpieczny zasięg 10 km i rozwijać maksymalną prędkość 100 km/h. Dzięki komputerowemu wspomaganiu pilot SD-05 nie musi mieć umiejętności pilota śmigłowca. W listopadzie japońskim produktem zainteresowała się wietnamska firma Pacific Group (wiodący eksporter żywności na rynki światowe), która doświadcza problemów z powodu częstych zatorów w ruchu drogowym w miastach. Złożono zamówienie na dziesięć SD-05 z możliwością rozszerzenia o kolejne dziewięćdziesiąt sztuk. Założony w 2018 roku startup już nie musi martwić się o przyszłość.

en.skydrive2020.com

Druk 3D metal-plastik

Plastikowe skomplikowane struktury 3D z dodatkami metalowymi są niezwykle trudne do wydrukowania. Jeżeli chodzi tylko o estetykę, to dotychczasowe metody, mimo że skomplikowane i kosztowne, wydają się wystarczające. Procesy się komplikują, gdy należy wydrukować obwody, które mają przewodzić prąd elektryczny.

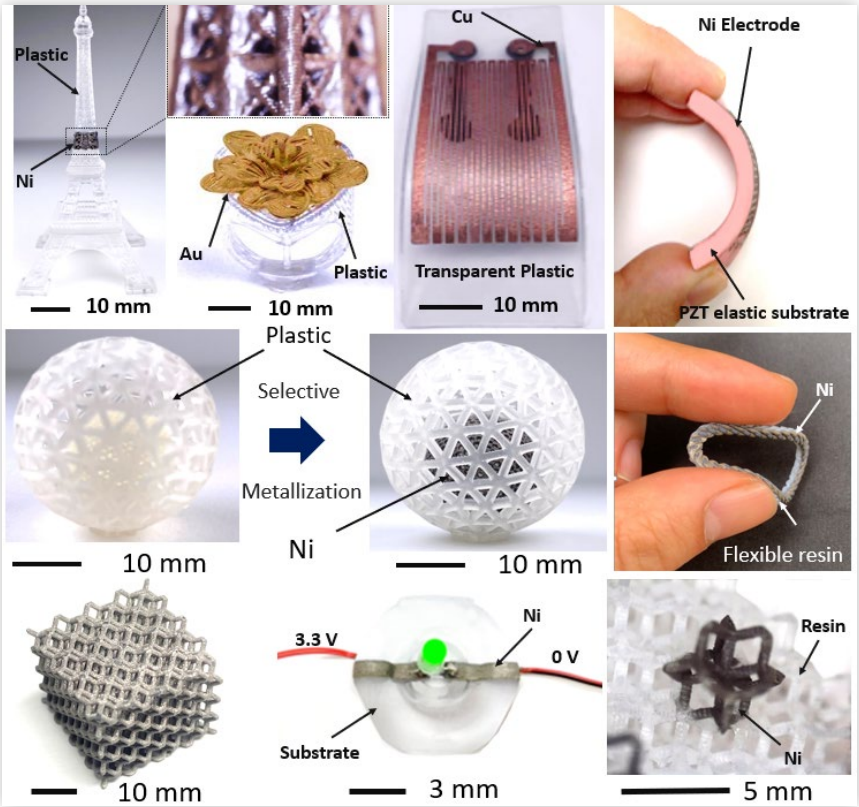
Zespół naukowców z uniwersytetu Waseda, kierowany przez Kewei Songa i Hirotakę Sato z Nyang Technological University z Singapuru opracował nowy sposób druku pozwalający na drukowanie metalem na plastiku dowolnie skomplikowanych struktur.

Proces MM – DLP3DP jest wieloetapowy. Rozpoczyna się od dobrania aktywnych prekursorów czyli związków, które po wydrukowaniu można przekształcić w oczekiwaną substancję. Stosuje się jony palladu wprowadzane do światłoutwardzalnej żywicy. Następuje powlekanie bezprądowe ELP polegające na autokatalitycznej redukcji jonów metalu w roztworze wodnym. Efektem jest wytworzenie powłoki metalicznej.

Aparat MM – DL wytwarza mikrostruktury zawierające gniazda żywicy lub aktywnego prekursora. Następnie przeprowadzanie jest bezpośrednie powlekanie metalowych wzorów w procesie ELP.

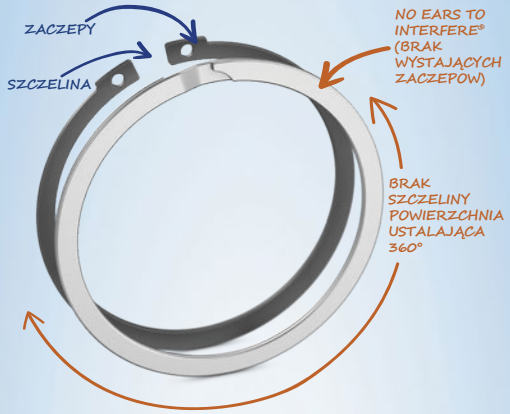
Otrzymana założona, jednakowa grubość metalowych nadruków jest szczególnie ważna w przypadku elektroniki. Dotychczasowe metody nie mogły tego zagwarantować, a ponadto nie działały w przypadku zbyt skomplikowanych struktur.

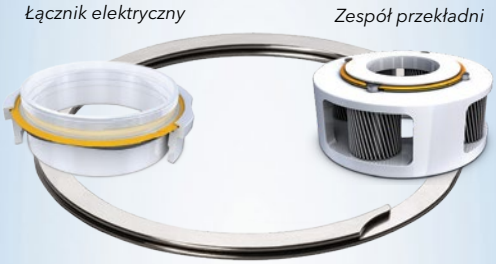
waseda.jp



ZWYKŁY PIERŚCIEŃ 2 POD PRASY INNEJ FIRMY

PIERŚCIEŃ USTALAJĄCY SMALLEY SPIROLOX®





STAL NIERDZEWNA W STANDARDZIE

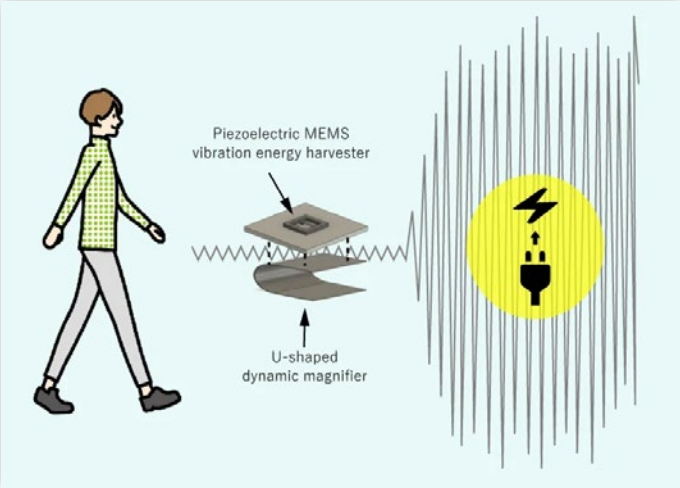
Nasze pierścienie zapewniają takie samo dopasowanie i funkcjonalność jak pierścienie prasowane, ale są łatwiejsze w montażu i demontażu i nie wymagają użycia narzędzi specjalnych. Dostępne części standardowe ze stali nierdzewnej (302 i 316) i stali węglowej. Dostarczamy właściwy pierścień wykonany z odpowiedniego materiału jako rozwiązanie standardowe lub niestandardowe do określonych zastosowań.

SMALLEY®
THE ENGINEER'S CHOICE®
(POLECANY PRZEZ INŻYNIERÓW)

BEZPŁATNE PRÓBKI:
zadzwoń pod numer +33 130 131 575 lub odwiedź witrynę
expert.smalley.com/PKI/piescieni

▪ REKLAMA

Generator energii z drgań impulsowych



Prof. Takeshi Yoshimura z Osaka Metropolitan University kieruje pracami zespołu badawczego, który pracuje nad wynalazkiem, który w przyszłości może umożliwić budowę samoładujących się urządzeń elektrycznych.

Niedawno japońscy naukowcy zaprezentowali opracowany przez siebie piezoelektryczny generator energii z drgań, nazwany MEMS (*microelectromechanical system*). Jest to niewielkie urządzenie, o wymiarach nie przekraczających 2 cm, pozwalające uzyskać z wibracji generowanych przez idącego człowieka nawet dziewięćdziesiąt razy więcej energii elektrycznej niż dotychczasowe rozwiązania.

U podstaw wynalazku leży efekt piezoelektryczny, w ramach którego specyficzne materiały generują napięcie elektryczne pod wpływem ciśnienia. Na tej podstawie budowano systemy pozyskiwania energii z drgań i wibracji o stałej częstotliwości, zdolne do wytwarzania mikrowatów energii np. podczas pracy silnika spalinowego. Ich efektywność drastycznie malała w przypadku drgań impulsowych.

Najnowszy wynalazek zawiera specjalny, U-kształtny wzmacniacz drgań, zwiększający wydajność systemu MEMS bez zwiększania jego wymiarów. Tak skonstruowany system może być zastosowany do zasilania małych urządzeń elektronicznych, które na co dzień nosimy przy sobie, takich jak telefony, a także do zasilania urządzeń peryferyjnych, np. w przemyśle motoryzacyjnym.

omu.ac.jp

Miękki robot pływa motylkiem

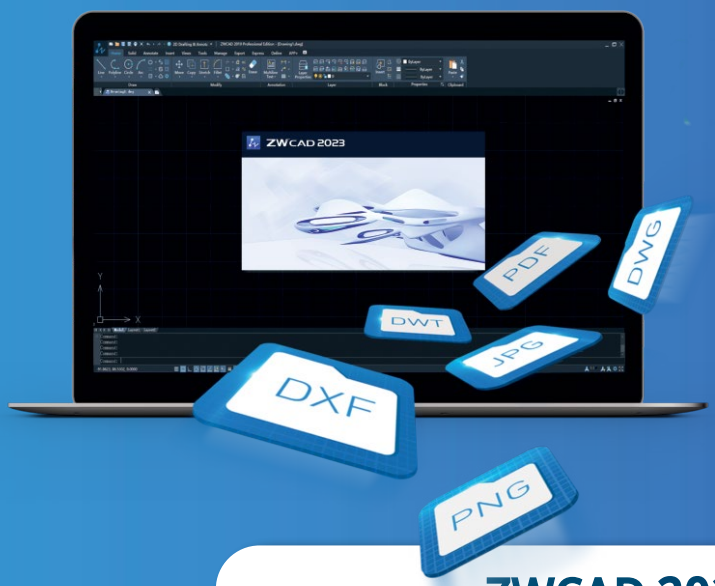
Zainspirowani motoryką pływania manty, naukowcy z North Carolina State University opracowali miękkiego robota pływającego czterokrotnie szybciej od dotychczasowych tego typu aparatów.

Motylkowy robot, nazwany tak ze względu na podobieństwo ruchu jego skrzydeł do charakterystycznego ruchu ramion podczas pływania stylem motylkowym, porusza się z prędkością do 3,74 długości ciała na sekundę. Wyposażony jest w parę elastycznych skrzydeł zamocowanych do miękkiego korpusu w konfiguracji bistabilnej, w której skrzydła osiągają stan stabilny, gdy są wychylone do góry lub do dołu. Ruch postępowy uzyskiwany jest poprzez pneumatyczną aktywację miękkiego korpusu w sposób umożliwiający przejście od jednej pozycji wychylenia skrzydeł do drugiej. Jak na razie zbudowano demonstracyjne aparaty sterowane i zasilane zewnętrznie, za pomocą przewodów pneumatycznych tłoczących powietrze do komór w miękkim korpusie. W dalszej kolejności planowane jest zbudowanie robotów o samodzielnym napędzie.

Motylkowy robot występuje w dwóch wariantach. W konfiguracji z jednym aktuatorem jest szybszy, ale porusza się wyłącznie ruchem prostolinijnym, z kolei w wariancie o dwóch aktuatorach, aktywowanych niezależnie od siebie, charakteryzuje się dużą zwrotnością. Zastosowany napęd prezentuje duży potencjał w porównaniu do robotów napędzanych silnikami. Ciekawe czy doczeka się zastosowania w komercyjnych aparatach podwodnych?

news.ncsu.edu

ZWCAD 2023



- Nowoczesne narzędzia projektowe
- Pełna zgodność DWG & DXF
- Płynna i wydajna praca
- Elastyczna bezterminowa licencja
- Opcjonalne uaktualnienia
- Wsparcie techniczne, szkolenia

ZWCAD 2023 dostępny jest w wersjach Standard, Professional, Architecture, Mechanical

Testuj pracując bez zobowiązań aż 30 dni!

POBIERZ

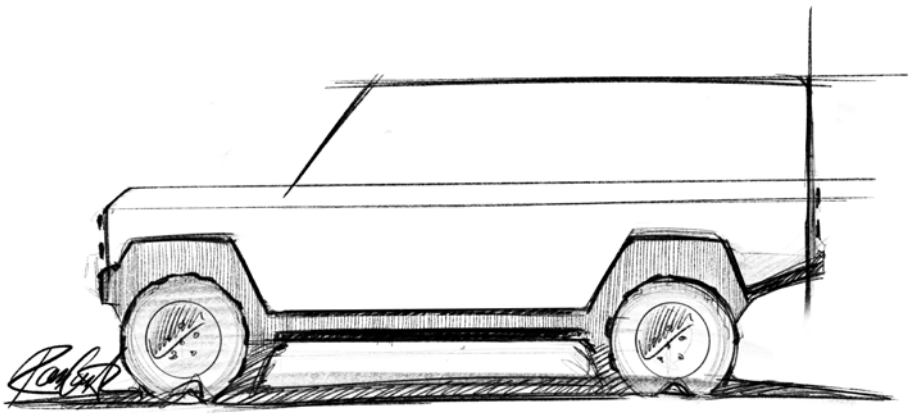
ZWCAD.pl

Usługi Informatyczne SZANSA Sp. z o.o.
33 488 07 20 biuro@zwcad.pl
www.zwcad.pl

Sprawdź i pobierz
www.zwcad.pl

ZWCAD AUTHORIZED DISTRIBUTOR

Spartańska terenówka ze Szkocji



Podczas premiery Land Rovera Defender niewielu wierzyło, że ludzie niezadowoleni ze sposobu, w jaki unowocześniono ten dawniej dość surowy, klasyczny samochód terenowy, dotrzymają słowa i zaprezentują alternatywne podejście do budowy nowych, praktycznych aut typu off road. Russell Peterson i Ross Anderson w 2019 roku założyli firmę, która miała skonstruować taki samochód, o właściwościach jezdnych co najmniej dorównujących dawnemu Defenderowi. I tak w Szkocji powstało przedsiębiorstwo Munro Vehicles.

5 grudnia w Edynburgu zaprezentowano nowy elektryczny samochód terenowy. Zastosowano w nim solidną ramę i sprawdzony układ napędowy 4x4. Pojazd napędzany jest elektrycznym silnikiem Axial Flux o momencie obrotowym 700 Nm. Dobrano optymalne kąty skrętu i natarcia. Prześwit Munro wynosi 480 mm, a głębokość brodzenia 800 mm. Według zapewnień twórców, auto przewiezie pięć osób wraz ze sprzętem – w każdym terenie. Zasięg wynosi około 400 km, a czas ładowania 36 minut. Na razie nieznana jest cena, ale zdaniem producenta wszystko spełnia założenia projektowe. Samochód miał być mocny, solidny, a przy tym prosty i tani.

Powstaje fabryka w okolicach Glasgow, która docelowo ma produkować 2500 pojazdów rocznie. Zanim to jednak nastąpi, do 2024 roku klienci muszą zadowolić się serią przedprodukcyjną 50 egzemplarzy, która ma być zbudowana w prowizorycznych jeszcze warunkach, w roku 2023.

Podczas prezentacji z dumą podkreślano, że jest to pierwszy od czterech dekad samochód budowany w Szkocji.

munro-ev.com

THE FACTORY AUTOMATION COMPANY

FANUC

Najniższe zużycie energii elektrycznej na świecie

Wspólna platforma układu serwo i sterowania CNC

OSZCZĘDNOŚĆ
50 - 70%
vs. wtryskarki hydrauliczne

OSZCZĘDNOŚĆ
10 - 15%
vs. inne wtryskarki elektryczne

Sprawdzony Partner Technologiczny

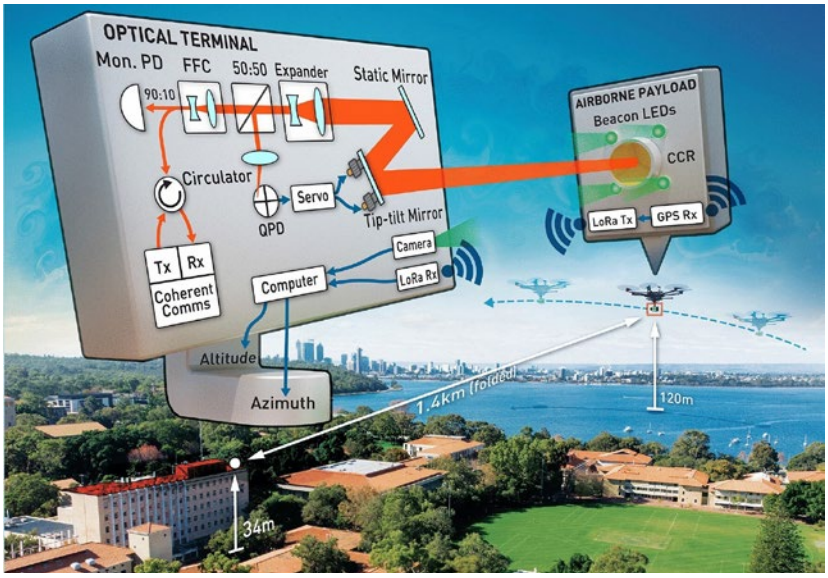
- 100% jakość FANUC
- łatwa kastomizacja
- produkty niezawodne, przewidywalne, łatwe do naprawy
- wsparcie w całym cyklu życia produktu
- globalny serwis

60 lat doświadczenia

Produkty kreowane i wytwarzane w Japonii

WWW.FANUC.PL

Komunikacja laserowa



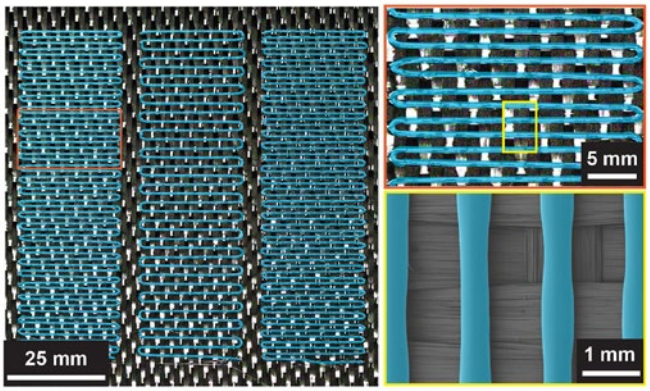
Wykorzystanie światła do komunikowania się ma długą historię. Podczas II wojny eksperymentowano z reflektorami i odbiornikami zmieniającymi światło w dźwięk. Później stosowano lasery i oprócz dźwięku usiłowano przesyłać duże ilości danych. Podczas gdy zalety światłowodów okazały się bezdyskusyjne, promień lasera wrażliwy był na turbulencje meteorologiczne, które go odchylały, przez co nie trafiał precyzyjnie do odbiornika.

Australijskie International Centre for Radio Astronomy Research powróciło do badań nad możliwościami komunikacji przy pomocy lasera. Zwrócono uwagę, że prowadzonych przed laty prac nad tym zagadnieniem nigdy nie ukończono. Fale radiowe wydały się tak doskonałe i niezawodne, że zaprzestano prac badawczych nad użyciem światła. Tymczasem fale radiowe również mają swoje ograniczenia. Jednym z nich jest trudność w komunikacji ze statkami kosmicznymi oraz w warunkach wojennych i podczas dużych klęsk żywiołowych. Utrudniona jest także komunikacja z wszelkimi bezzałogowymi środkami transportu.

Na potrzeby nowej generacji systemu komunikacji laserowej zastosowano optykę adaptacyjną, w której skład wchodzi terminal optyczny i retroreflektor zawieszony na dronie. Błyskawicznie reaguje on na wszelkie zmiany meteorologiczne, korygując promień lasera. Podczas testów osiągnięto transmisję 100 Gb/s oraz brak jakichkolwiek zakłóceń. Rozwiązanie może znaleźć wiele zastosowań w dziedzinach gdzie niezakłócony przesył dużych ilości danych jest niezbędny.

icrar.org

Samonaprawiający się kompozyt



Dotychczas stosowane samonaprawiające się kompozyty są dosyć kłopotliwe, szczególnie w konstrukcjach, do których dostęp jest utrudniony. Elementy samonaprawialne wymagają zwykle, po uszkodzeniu, demontażu i zabiegów pomocniczych, jak np. wygrzanie w piecu. Zwykle powoduje to czasowe wyłączenie urządzenia z eksploatacji, a naprawa na ogół jest jednorazowa.

Prof. Jason Patrick z Uniwersytetu North Carolina analizował konstrukcję łopat turbin wiatrowych. Wykonuje się je z kompozytu składającego się z warstw zbrojenia z włókien szklanych lub węglowych i z żywicy. Mimo wielkiej staranności wykonania zdarzają się defekty polegające na rozklejeniu i uszkodzenia mechaniczne.

Patrick opracował metodę druku 3D termoplastycznego środka regenerującego na materiale wzmacniającym. Aktywowany jest on za pomocą cienkich warstw grzewczych zatopionych w kompozycie. Podwyższenie temperatury topi materiał, który wypełnia uszkodzenie.

Zabieg powtórzono około 100 razy. Naukowcy uważają, że można powtarzać go znacznie częściej. Wyposażona w tę technologię łopata turbiny była tylko nieznacznie droższa od tradycyjnej.

ncsu.edu

▪ REKLAMA

qirox®

ZROBOTYZOWANE SYSTEMY SPAWALNICZE

Dlaczego warto z nami współpracować?

30 — 30 lat doświadczenia na rynku polskim

52 — metry długości przykładowego stanowiska zrobotyzowanego

8 — nawet 8x zwiększona wydajność spawania

20 — masa spawanych detali może wynieść 20 ton i więcej

24 — możliwe uzyskanie 24 osi pracy na jednym stanowisku

CLOOS Polska

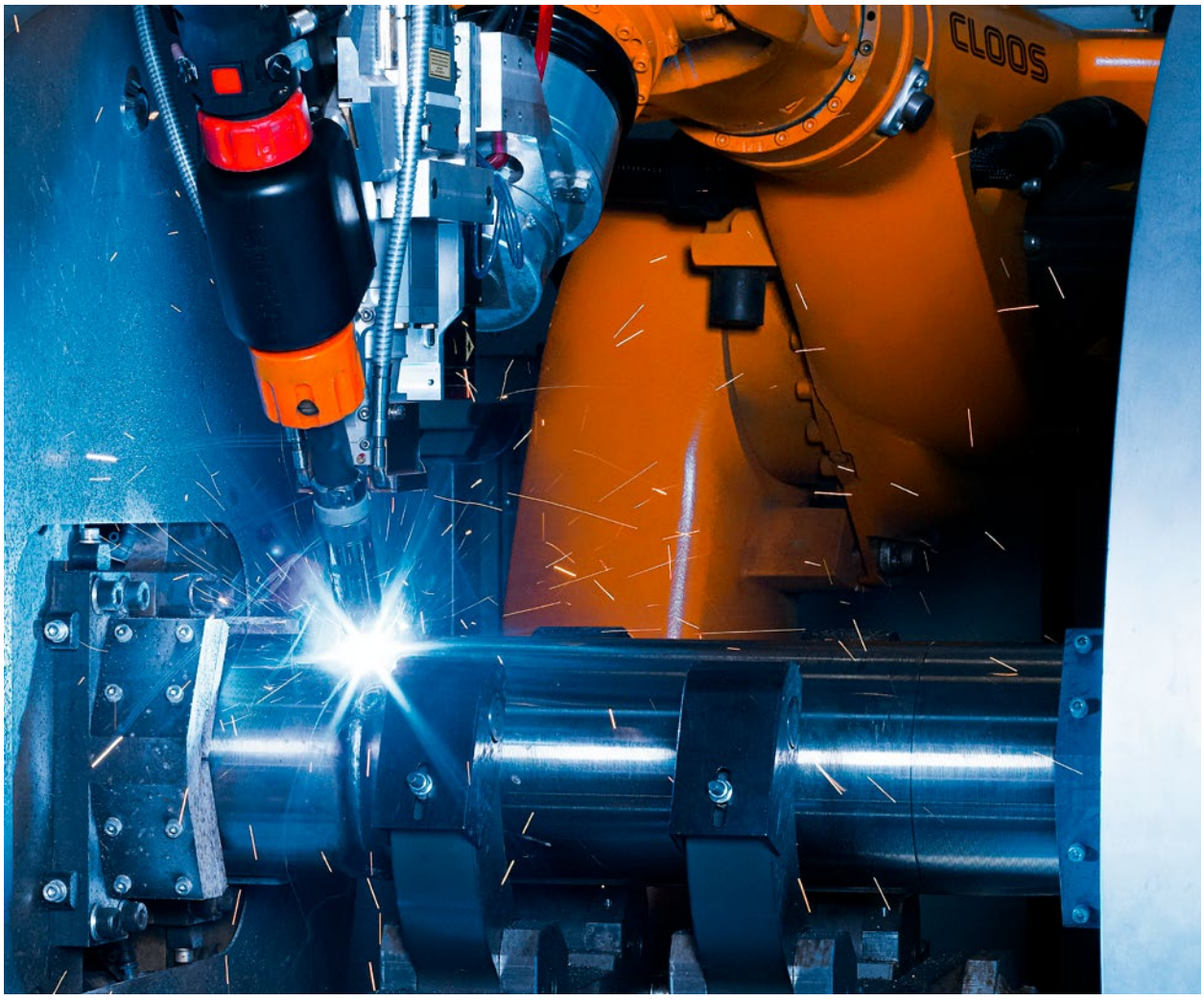
30 1992 2022

ul. Stawki 5, 58-100 Świdnica | 74 851 86 60 | www.cloos.pl | firma@cloos.pl

Laserowe spawanie hybrydowe

W spawalnictwie obserwuje się ciągły postęp. Może się wydawać, że spawanie laserowe, stosowane coraz częściej w produkcji wielkoseryjnej, rozwiązuje większość problemów, związanych z szybkością spawania i jakością spoiny, oraz likwiduje problemy zmian w materiale łączonym podczas spawania.
Dla blach cienkich tak rzeczywiście jest. Jednak przy spawaniu blach grubszych (kilkunastomilimetrowych) ta technologia spawania sprawdza się jakby mniej. W takich przypadkach stosuje się więc spawanie hybrydowe – połączenie dwóch metod: spawania laserowego i metody spawania tradycyjnego, z elektrodą topliwą.

Aleksander Łukomski



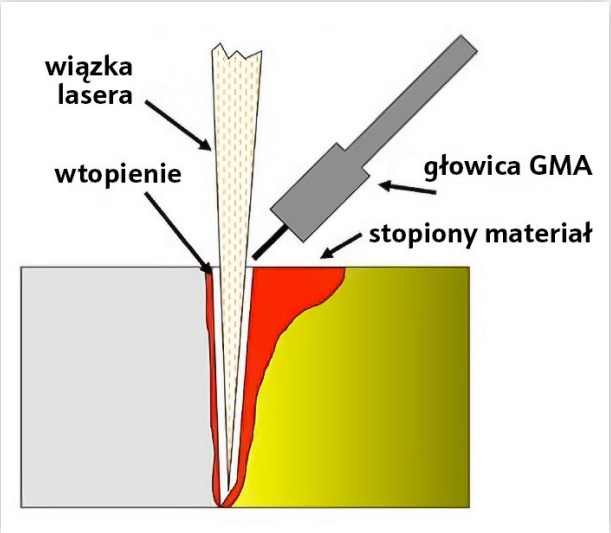
Te dwie metody – spawanie laserowe i metodę z elektrodą topliwą – stosuje się w spawaniu hybrydowym prawie zawsze. Wiązka skoncentrowanej energii szybko topi ściany materiału i może wnikać na duże głębokości spawanych materiałów, a elektroda topliwa po stopieniu powoduje spływanie materiału z tej elektrody do jeziorka spawalniczego. W skrócie proces spawania hybrydowego wygląda następująco. Laser zapewnia dużą gęstość mocy, potrzebną do głębokich spoin, co umożliwia wysokie prędkości spawania, co z kolei zmniejsza dopływ ciepła i ogranicza zniekształcenia. W międzyczasie palnik MIG wypełnia lukę między częściami i zamyka połączenie drutem spawalniczym.

Czas wykonywania spoiny jest krótki. Metoda ta jest niewiele wolniejsza od samego spawania laserowego, a znacznie szybsza od metod MIG (metal w osłonie gazu obojętnego) i MAG (metal w osłonie gazu aktywnego), a także TIG (wolfram w osłonie gazu obojętnego), jak też od spawania plazmowego.

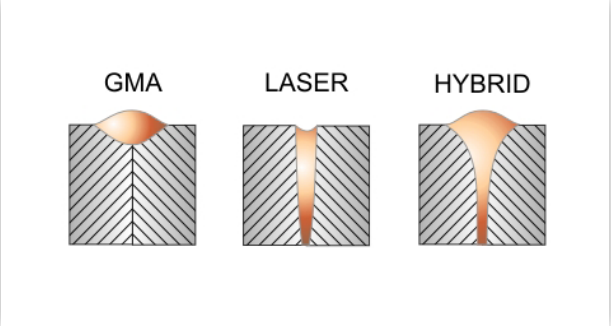
Zastosowanie lasera pozwala skrócić czas spawania elektrodami topliwymi nawet o 80% w stosunku do spawania MIG/MAG. Dzięki tej metodzie można łączyć ze sobą elementy bardzo grube, gdzie proces spawania przebiega nawet na znacznej głębokości. Połączenia wykonane metodą spawania hybrydowego są wysokiej jakości, estetyczne i trwałe.

Występuje tu jednak wysoki koszt urządzeń. Droga jest kabina do spawania laserowego i monitoring spawania, ale też inne urządzenia, ponieważ z reguły takie stanowisko spawalnicze jest najczęściej fragmentem linii produkcyjnej. Koszty samego wykonania spoin są już porównywalne z innymi technikami. Metody tej nie można stosować w terenie ani przy naprawach.

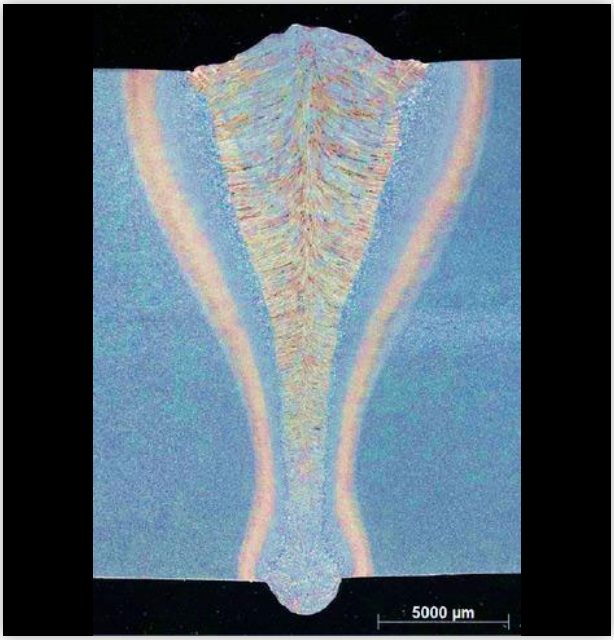
Technologia spawania hybrydowego ma zastosowanie w przypadkach, w których ważna jest jakość spoiny i krótki czas jej wykonania.



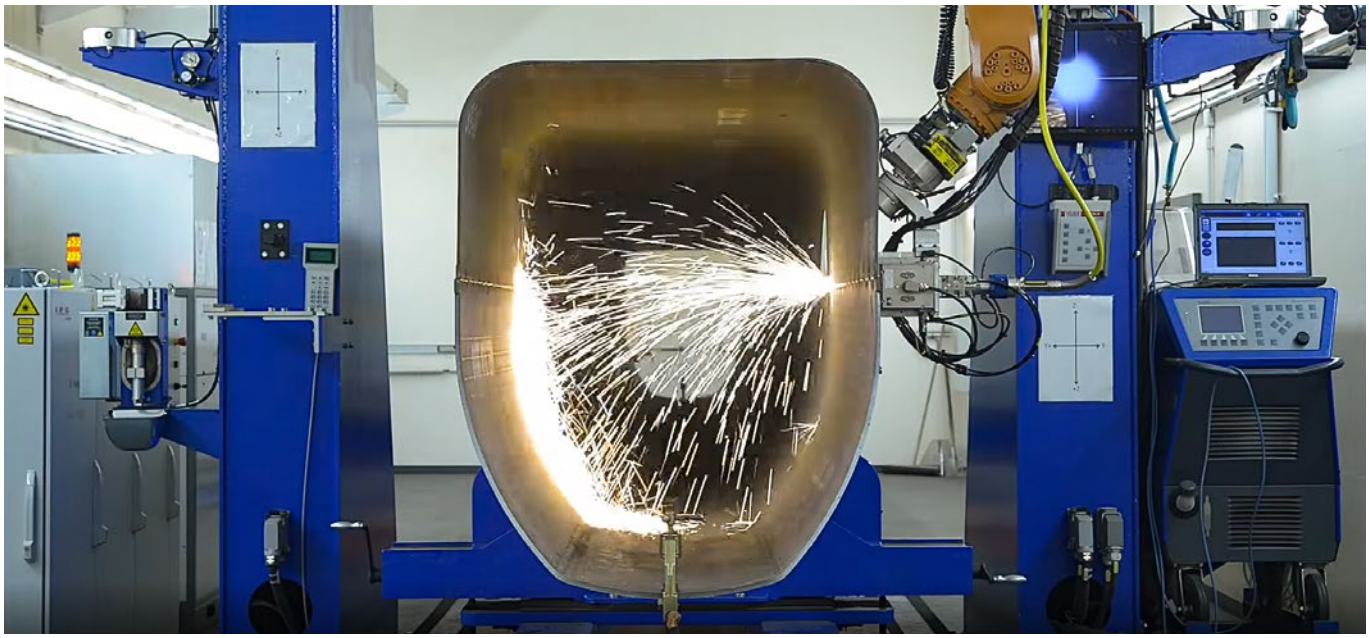
Przykładowy kształt spoiny przy spawaniu hybrydowym Laser + GMA jednym przejściem blach o grubości 18 mm



Porównanie kształtu spoin wykonanych spawaniem GMA, laserowym i hybrydowym

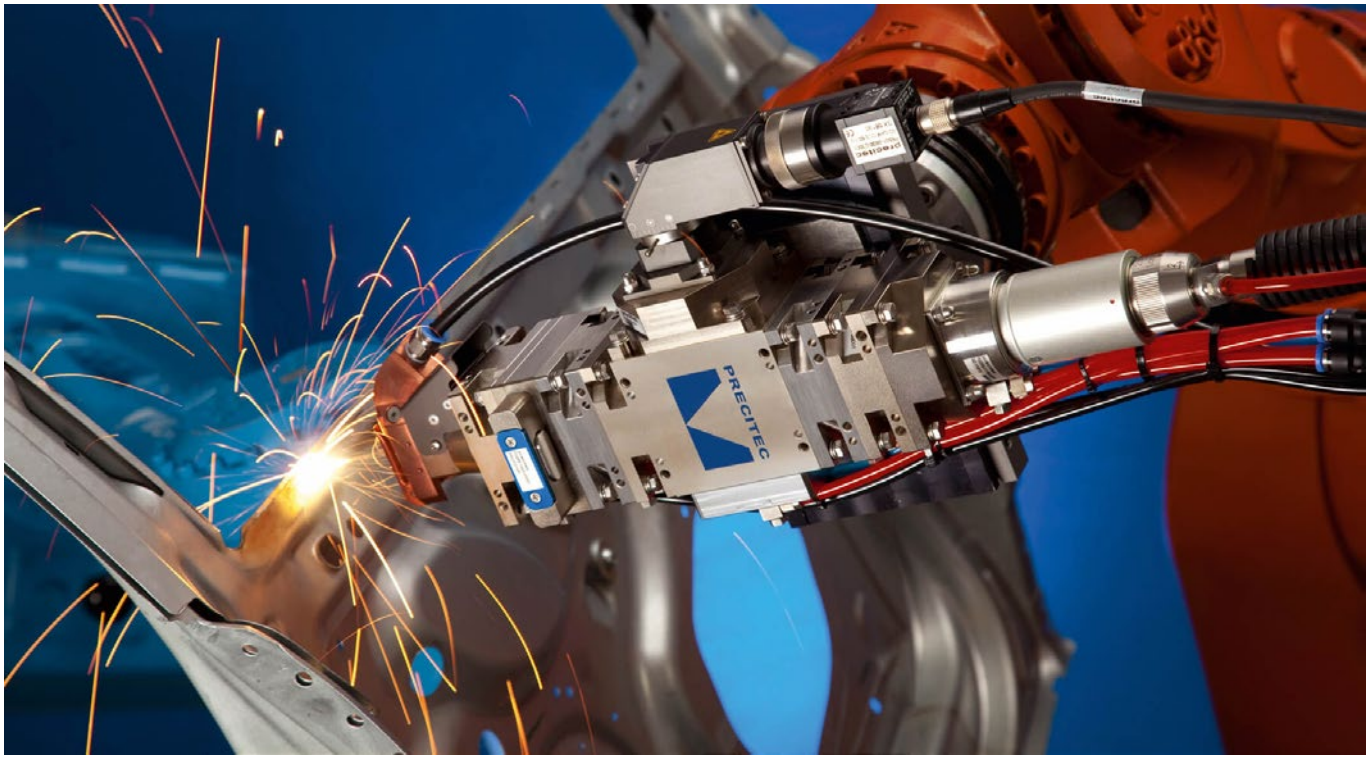


Przekrój spoiny wykonany w jednym przejściu metodą hybrydową; blacha o grubości 18 mm



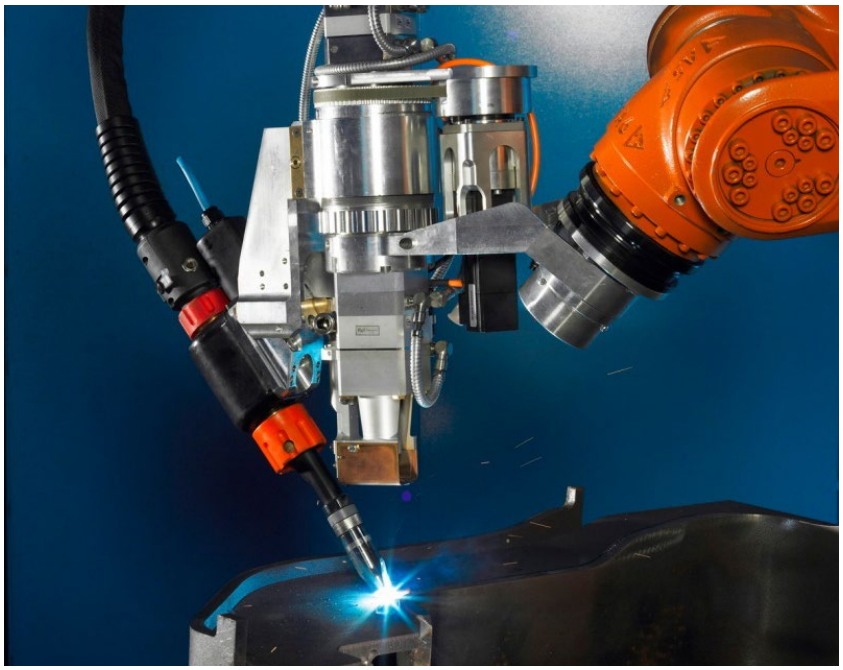
Stanowisko laserowego spawania hybrydowego (źródło: Cloos)

Spawanie tego typu wykorzystywane jest przy tworzeniu spoin w blachach o grubości do kilkunastu milimetrów, doczołowo. Znajduje zastosowanie np. w przemyśle stoczniowym, a także przy spawaniu konstrukcji, w przemyśle ciężkim, głównie do spawania stali stopowych i wysokostopowych. Można też tym sposobem łączyć elementy wykonane z aluminium i stopów aluminium, tytanu, Ni-Cr, stali nierdzewnych i innych metali technicznych. Możliwość łączenia różnych materiałów wraz z krótkim czasem przebiegu spawania sprawia, że technika ta stale znajduje nowe dziedziny zastosowania. Do najbardziej obiecujących obszarów, gdzie spawanie hybrydowe może konkurować ze stosowanymi obecnie technologiami, należą konstrukcje spawane dotąd metodą SAW, czyli łukiem krytym. Innym przykładem zastosowania, spotykanym w energetyce, może



Spawanie hybrydowe cienkich blach karoseryjnych

być spawanie szczelne trudno spawalnej stali T/P24 (specjalna żarowytrzymała stal kotłowa, niskostopowa), którą trudno pospawać klasycznymi metodami. Urządzeniem hybrydowym – laser i GMA (*Gas Metal Arc*, tj. spawanie łukowe w osłonie gazowej elektrodą topliwą) – można spawać ten rodzaj stali bez podgrzania i w szerokim zakresie prędkości, bez ryzyka powstania pęknięć.



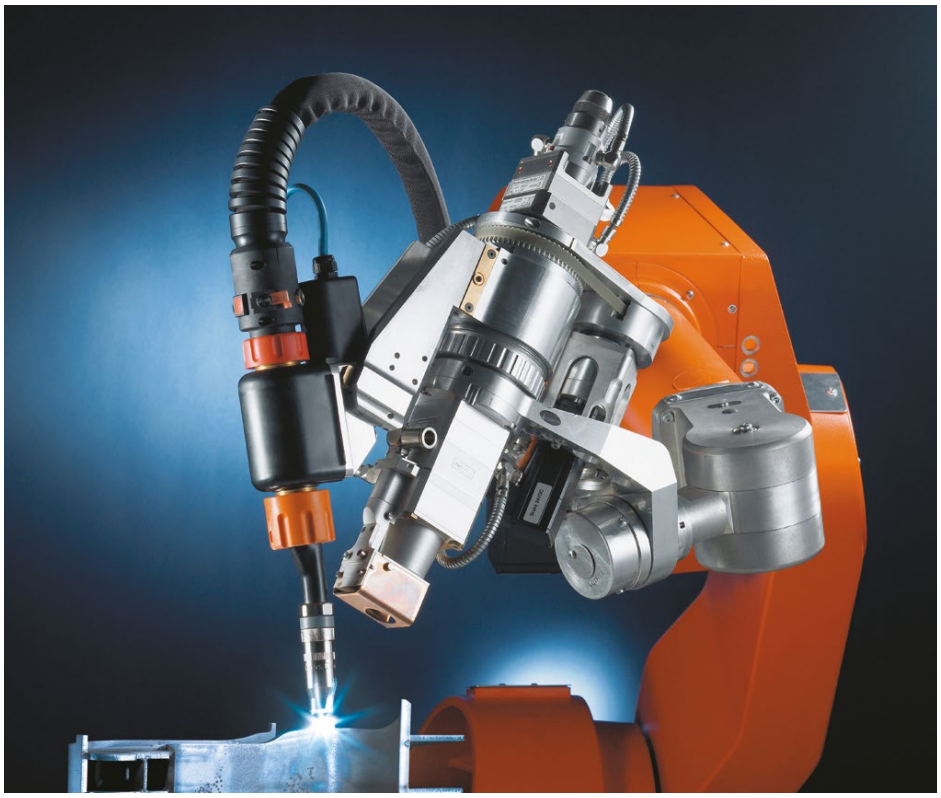
W przemyśle stoczniowym i w energetyce metody te są stosowane dość powszechnie. Dość dobre wyniki tą techniką spawania uzyskuje się także przy spawaniu tworzyw sztucznych, np. w przemyśle samochodowym, gdzie stosowane są do wykonywania reflektorów zespolonych. Łączą one lasery o małej mocy i halogenowe źródła ciepła. Spawanie laserowe elementów z tworzywa sztucznego umożliwia wykonywanie konstrukcji o bardzo złożonych kształtach. Dobre wyniki osiąga się też przystosowaniu tej metody przy napawaniu.

Podejmowane są próby innych jeszcze połączeń hybrydowych, np. laser + GTAW/TIG (*Gas Tungsten Arc Welding*, tj. spawanie łukowe w osłonie gazu obojętnego, przy zastosowaniu nietopliwej elektrody wolframowej; osłona łuku gazem dostarczanym z zewnątrz) czy też nawet laser + PAW (*Plasma Arc Welding*, tj. spawanie łukowe nietopliwą elektrodą wolframową w osłonie gazów obojętnych). To ostanie połączenie jednak mało się sprawdza, gdyż laser i plazma wykazują wiele podobieństw i stosowane są osobno, jako składniki spawania hybrydowego.

Podejmowane są próby połączenia hybrydowego metody plazmowej z klasyczną. Spawanie plazmowe stawia mniejsze wymagania w przygotowaniu materiału i samym prowadzeniu procesu od spawania plazmowego, i w wielu przypadkach może być konkurencyjne dla spawania hybrydowego laser + metody klasyczne.

Częstym działaniem jest stosowanie hybrydowego spawania z wykorzystaniem robotów i to zarówno w pojedynczych stanowiskach, jak i w gniazdach czy liniach zrobotyzowanych. Parametry technologiczne uzyskiwane w tej metodzie spawania idealnie nadają się do pracy w liniach zrobotyzowanych, gdzie występuje krótki takt

Zdjęcie spoiny wykonanej metodą hybrydową (źródło: Cloos)



Zintegrowana głowica do laserowego spawania hybrydowego (źródło: Cloos)

pracy. Dostawcami tego typu aparatury spawalniczej są często producenci robotów spawalniczych oraz firmy zajmujące się spawaniem laserowym.

Do korzyści ze spawania hybrydowego można zaliczyć między innymi:

- Poprawę jakości spawów, polegającą na eliminacji niekontrolowanych i nadmiernych odkształceń w konstrukcjach spawanych.
- Krótszy czas spawania, spowodowany dużą szybkością procesu spawalniczego
- Eliminacja naprężeń spawalniczych, które występują w tradycyjnych metodach spawania i ujawniają się podczas użytkowania konstrukcji spawanej.
- Połączenie dwóch niezależnych procesów spawania w jeden hybrydowy daje bardziej stabilny proces spawania.

Ze względu na swoje zalety prawdopodobne jest zastępowanie spawania laserowego spawaniem hybrydowym, które lepiej wpisuje się w zapotrzebowanie przemysłu. Może znaleźć zastosowanie w produkcji taboru szynowego, przemyśle motoryzacyjnym, wszelkich, odpowiedzialnych konstrukcjach stalowych i wielu innych branżach i dziedzinach techniki. W Polsce są firmy inżynierskie pracujące nad zastosowaniem spawania hybrydowego, chociaż ze względu na pewne trudności w opanowaniu tego procesu, na wyniki tych prac trzeba będzie trochę poczekać. Trwają np. prace konstrukcyjne dotyczące linii produkcyjnej cystern, których proces technologiczny sam w sobie jest trudny, nawet bez spawania hybrydowego. Cysterny, zwłaszcza do transportu materiałów niebezpiecznych, muszą być wykonane wg specjalnych wymagań. Są one wykonane z grubszych blach, np. 14 mm lub nawet 24 mm dla cystern przeznaczonych do przewożenia gazu, wykonywanych ze specjalnych stali. Spawanie dokonywane jest wzdłuż carg, po zwinięciu pierścienia z blachy oraz obwodowo, przy łączeniu carg między sobą lub z dennicą. Wymaga to stosowania skomplikowanego oprzyrządowania, zapewniającego odpowiednie położenie spawanych krawędzi na całym obwodzie, bez wprowadzania naprężeń mechanicznych, oraz zapewniającego pozycję podolną spawania.

Ze względu na duże zalety tej metody spawania i jej obiecujące perspektywy w zastosowaniach przemysłowych, będziemy wracać do tego tematu w przyszłości.

Aleksander Łukomski

Spawanie z wykorzystaniem systemów gantry firmy Yaskawa

Firma Yaskawa jest jednym z wiodących dostawców systemów gantry zaprojektowanych w celu zapewnienia niezawodnych, dokładnych i ekonomicznych rozwiązań spawalniczych przy produkcji bardzo dużych elementów. Systemy te przeznaczone są do dynamicznych procesów z dużą ilością cykli, które wymagają większej przepustowości i wysokiej precyzji.

ZASTOSOWANIE 24-OSIOWEGO SYSTEMU SPAWALNICZEGO YASKAWA W PROCESIE PRODUKCJI KONTENERÓW

Doskonałym przykładem zastosowania systemu gantry jest instalacja w firmie Afrit, która na potrzeby projektu zbudowała nową fabrykę o powierzchni 12 500 m². Aplikacja obejmuje dwa roboty Yaskawa Motoman MA2010 pokrywające znaczny obszar roboczy i monitorujące za pomocą kamer spawanie w czasie rzeczywistym. Tory przesuwu Z i Y (poziomej i pionowej osi serwo) wynoszą do 3 m i 3,5 m, natomiast długość przesuwu całego systemu 24 metry, przy czym kolumny nośne mają ponad trzy metry wysokości. Aplikacja obejmuje także rozwiązanie do programowania i symulacji offline Delfoi Apexiz.

Ponieważ zrobotyzowany system spawania Yaskawa Motoman ma konstrukcję modułową, umożliwia on robotom poruszanie się wzdłuż kontenerów i spawanie, podczas gdy dwa pozycjonery obracają kontenery. Ponadto system przystosowany jest do różnych rozmiarów elementów.

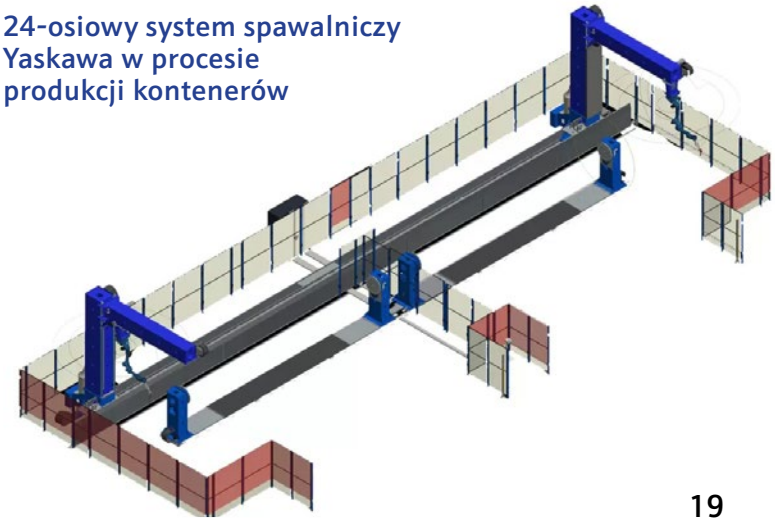
Dodatkową inwestycją był zakup rurowego lasera światłowodowego oraz giętarki do rur, które umożliwiły zwiększenie wydajności procesu spawania. Zautomatyzowany laser rurowy 3D BLM LT 8.10 wspomaga optymalizację procesów produkcyjnych. Stałe, predefiniowane punkty kontrolne zapewniają wydajność i praktycznie eliminują ryzyko błędów. Drugą maszyną jest w pełni elektryczna giętarka do rur BLM E-Turn 40, która może giąć rury okrągłe, kwadratowe, prostokątne, o płaskim boku, owalne i eliptyczne o średnicy zewnętrznej od 6 mm do 40 mm.

Dokładność i powtarzalność tych dwóch maszyn miały wpływ na skrócenie czasu ustawiania, obniżenie kosztów na komponent i zwiększenie możliwości produkcyjnych na etapie zrobotyzowanego spawania obrabianych komponentów.

24-osiowy system gantry Yaskawa Motoman przyniósł firmie Afrit korzyści w zakresie realizacji procesu produkcyjnego kontenerów. System liczący 24 m długości, a także znaczący obszar roboczy robotów MA2010 oraz zakres pracy osi Z i Y wynoszące do 3 m i 3,5 m stanowią imponujący przykład doświadczenia firmy Yaskawa w realizacji projektów z zastosowaniem systemów gantry.

Spawanie dużych elementów, dzięki systemom gantry Yaskawa

Zrobotyzowany proces spawania detali wielkogabarytowych



24-osiowy system spawalniczy Yaskawa w procesie produkcji kontenerów

www.yaskawa.pl

Pułapki w analizie doboru dysz w systemach gorącokanałowych

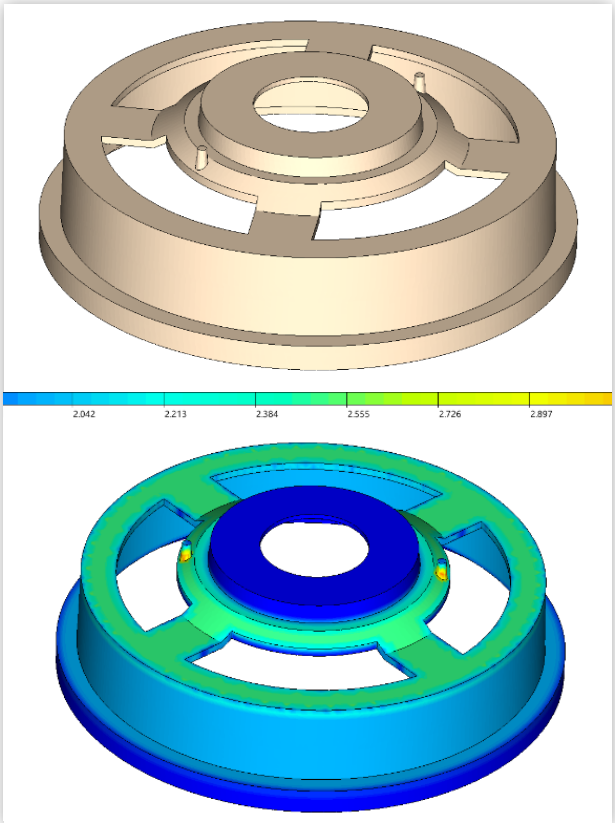
Systemy gorącokanałowe (GK) są powszechnie stosowane w budowie form wtryskowych ze względu na swoje niewątpliwe zalety, chociaż mają również pewne wady (nie będziemy rozpisywać się na ten temat, jako że literatura w tym zakresie jest bardzo obfita). Zajmiemy się zagadnieniem doboru dyszy w systemach GK i pewnymi problemami, które mogą się pojawić właśnie przy dobieraniu dysz.

Jerzy Dziewulski

Projektując formę wtryskową zwykle przykładamy wlewek w powierzchnię płaską lub lekko zakrzywioną. W omawianym przypadku klient zdecydował, że stop będzie podany w dwa słupki na powierzchni czołowej wypraski. Częściej zdarza się, że zleceniodawcy chcą zasilić wypraskę przez żebro. Obie sytuacje są jednak niekorzystne, ze względu na bardziej intensywny odbiór ciepła z obszaru przewężki.

W momencie kiedy konstruktor decyduje o zastosowaniu dyszy GK w budowie formy, wysyła zapytanie do dostawcy – wyspecjalizowanej firmy produkującej systemy GK. Technicy dostawcy, stosując odpowiednie kryteria, dobierają dysze. Podstawowe kryteria to masa wypraski, rodzaj przetwarzanego polimeru i dodatkowo stosunek długości drogi płynięcia do grubości ścianki. Niektóre firmy wykonują symulacje wtrysku i sprawdzają prędkość ścinania, naprężenia ścinające i temperaturę w przewężce, dobierając zarazem jej średnicę. Jeśli klient przekaże odpowiednie informacje związane z budową formy, można przeprowadzić dodatkowo również analizę chłodzenia i deformacji wypraski.

Na podstawie konkretnej wypraski przeanalizujmy procedurę doboru dyszy.



Rys. 1 Wypraska z ABS+20% włókna szklanego, o masie 88 gr. Grubość ścian zawiera się w zakresie od 1,7 do 3,2 mm

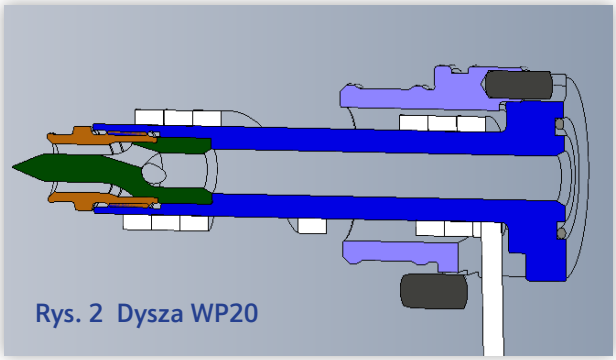
Klient przekazał dostawcy model wypraski i typ tworzywa, z którego wypraska będzie produkowana. Jest to typowe zapytanie od prawie wszystkich klientów. Wychodząc z podanych wyżej kryteriów

dostawca systemu wytypował do analizy dyszę WP20 firmy WadimPlast, o średnicy kanału 6,5 mm i przewężce o średnicy 2 mm. Specyfiką tej dyszy jest termiczne zamykanie przewężki i otwieranie ciśnieniem na początku wtrysku, pod warunkiem, że pozwoli na to lepkość stopu.

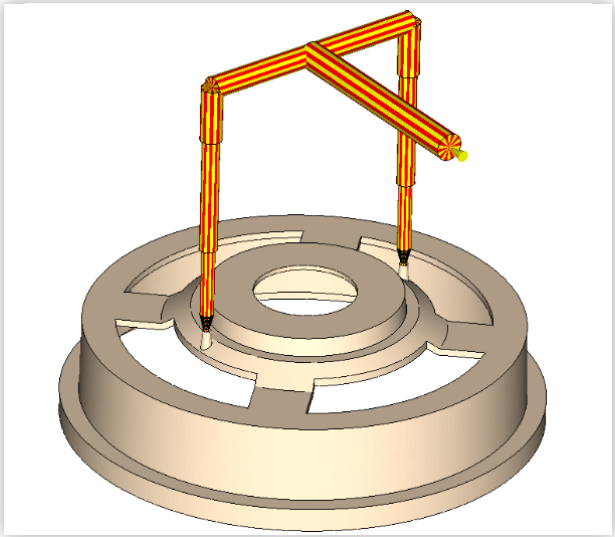
Do produkcji detali została przewidziana forma czterogniazdowa, więc analizę można było przeprowadzić dla całego systemu GK. Analityk dodatkowo zamodelował kanały rozdzielacza, żeby sprawdzić spadek ciśnienia i czas zalegania stopu w systemie GK.

Analiza została wykonana bez uwzględnienia kanałów chłodzenia, przy założeniu stałej, jednakowej temperatury powierzchni formującej. Kanały dysz i rozdzielacza zostały zamodelowane jako belki o stałej zadanej temperaturze.

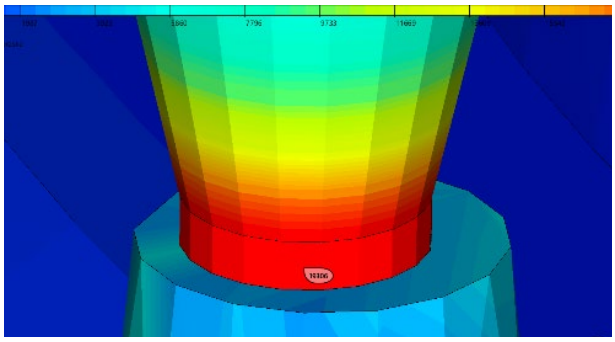
W następstwie wykonanej symulacji dostawca doszedł do wniosku, że dysze WP20 pozwolą wykonać produkcję detali bez zakłóceń. System został zaprojektowany, wykonany i dostarczony do klienta.



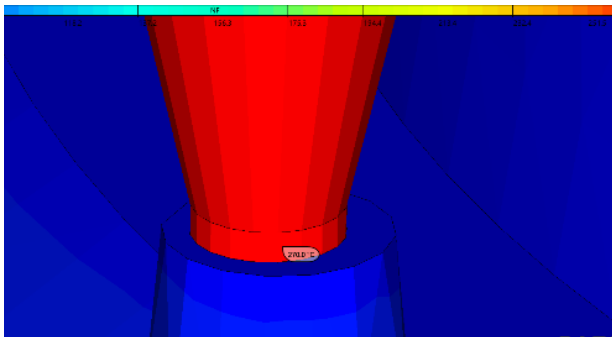
Rys. 2 Dysza WP20



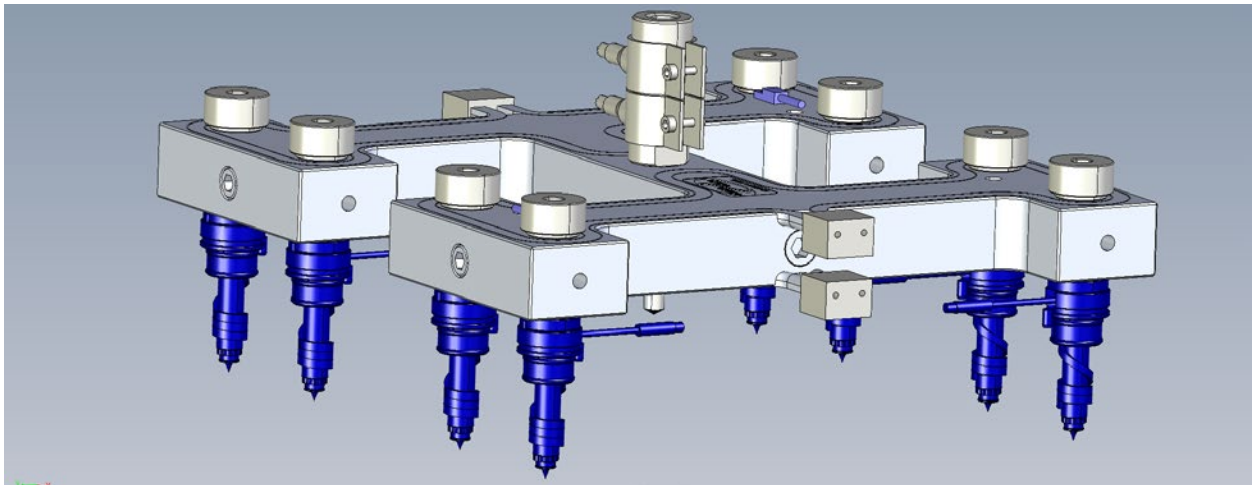
Rys. 3 Model jednego gniazda formy



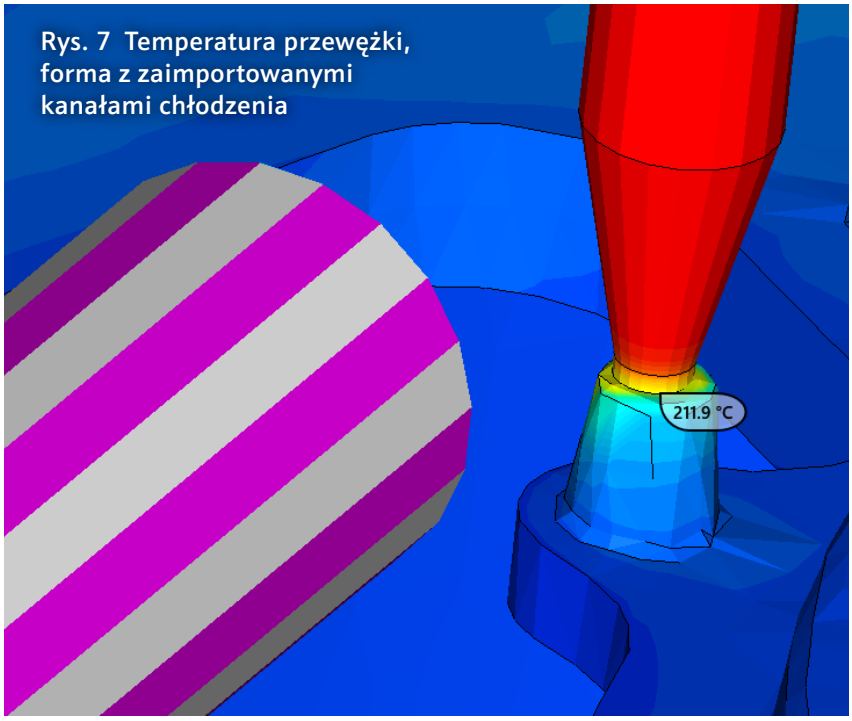
Rys. 4 Prędkość ścinania na poziomie 20000 1/s



Rys. 5 Temperatura przewężki 270 °C

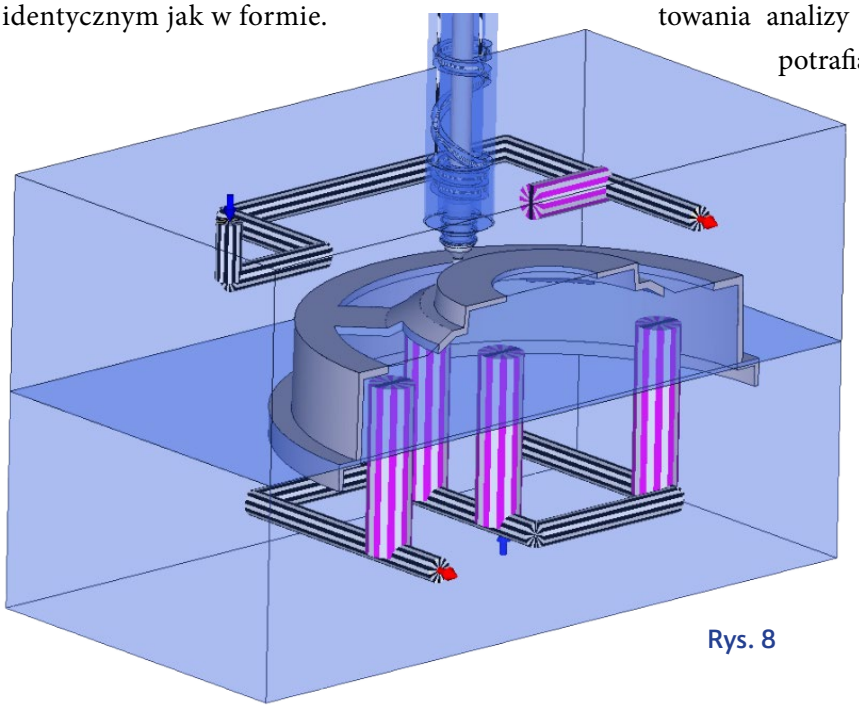


Rys. 6 System GK do formy 4-gniazdowej, dwie dysze na każdą wypraskę



Rys. 7 Temperatura przewężki, forma z zaimportowanymi kanałami chłodzenia

System został zamontowany do formy i rozpoczęto próby technologiczne. Forma pracowała poprawnie, niestety okazało się, że podczas przerw w pracy przewężki krzepły i ponowne uruchomienie formy sprawiało dużo problemów. W efekcie została wysłana reklamacja do dostawcy systemu. Po wspólnych dyskusjach najpierw zalecono sprawdzenie geometrii przewężki i komory dyszy. Pomiary wykazały, że geometria jest zgodna z zaleceniami i wtedy postanowiono powtórzyć analizę z wstawionym układem chłodzenia, identycznym jak w formie.



Rys. 8

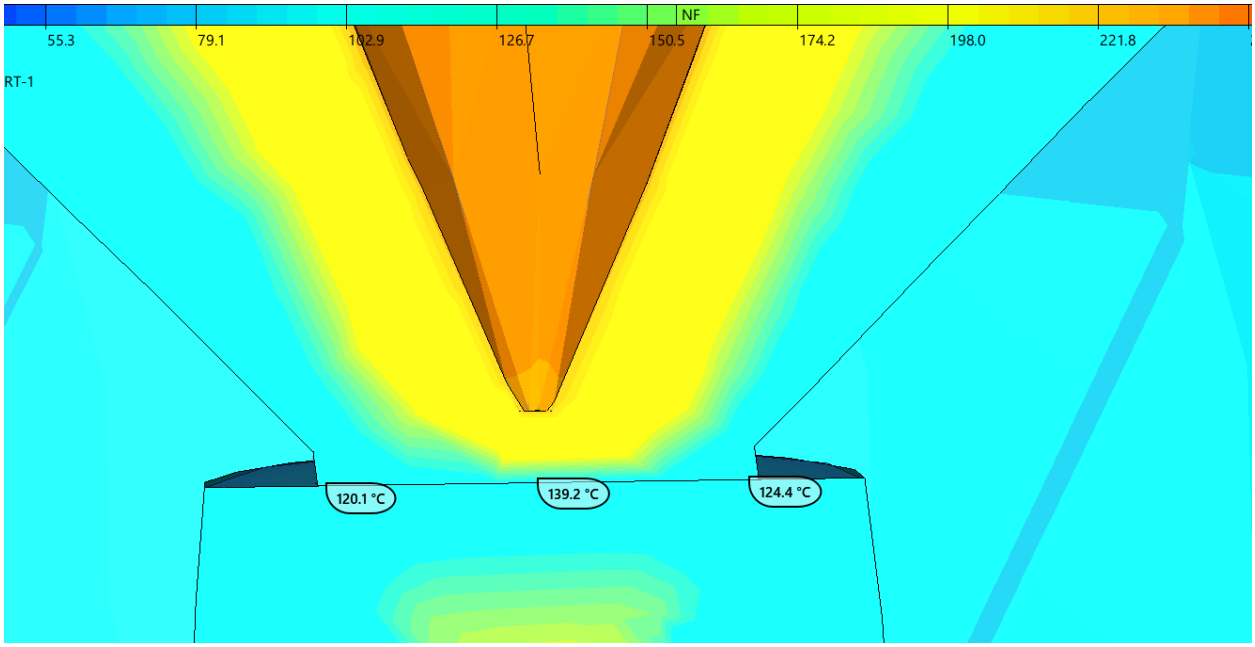
Dla tego tworzywa temperatura NF (*no flow* – tworzywo nie płynie poniżej tej temperatury) wynosi 155 °C. Analiza pokazała, że po otwarciu formy przewężka ma temperaturę 212 °C (Rys. 7). Co się dzieje, gdzie tkwi błąd w procesie doboru dyszy?

Taka procedura doboru jest stosowana powszechnie, ale fakty są nieubłagane, próby formy wykazały, że podczas przerw w pracy przewężka zamyka się.

Praktyk w tej sytuacji zaproponowałby na czas rozruchu podniesienie temperatury dyszy np. o 20 °C. Tak często się postępuje, ale klient miał obawy, że może dojść do degradacji tworzywa i pojawienia się sporej ilości braków. Można również podnieść temperaturę formy, ale ten zabieg wydłuża czas cyklu, na co żadna wtryskownia się nie zgodzi.

Analityk wykorzystał jeszcze jedną możliwość, którą oferuje program symulacyjny. Postanowił sprawdzić temperaturę przewężki poprzez zamodelowanie zespołu formującego (matrycy i stempla) oraz dyszy GK (procedura T-box). Proces przygotowania analizy jest pracochłonny, a obliczenia potrafią długo trwać (kilka, a czasem nawet kilkanaście godzin). Trzeba również dysponować silnym komputerem.

Aby przyśpieszyć obliczenia zdecydowano się na zamodelowanie połowy zespołu formującego z połową wypraski (Rys. 8). Jest to możliwe, gdyż wypraskę obsługują dwie dysze ustawione symetrycznie, a nas interesuje głównie temperatura przewężki.



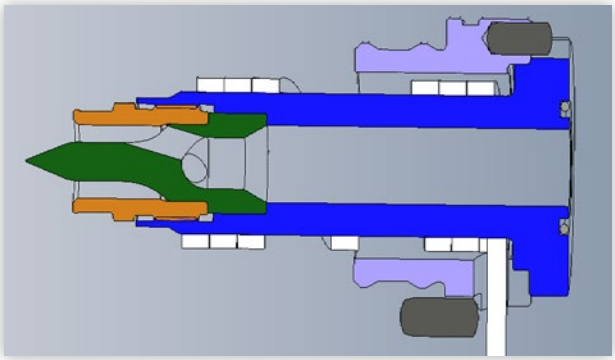
Rys. 9

Jak widać na rysunku 9, przy tym sposobie obliczeń temperatura przewężki jest sporo niższa niż temperatura NF. Można dyskutować, czy przewężka jest zamknięta, czy otwarta. Wsunięcie torpedy (która ma na końcu temperaturę 245,8 °C) bardziej w przewężkę, zmieniłoby termikę tego obszaru i być może problem zamykania przewężki by nie zaistniał.

Najciekawsze dociekania nie mogą się jednak przedłużać. Dlatego też doświadczony technik, z ogromną wiedzą praktyczną, zaproponował wymianę dyszy na większą. Wybrano dyszę WP 29, o większej średnicy, wyższej mocy, z kanałem stopu o średnicy 12 mm. Po wymianie dysz i przeprowadzeniu prób, okazało się, że forma pracuje poprawnie i przerwy w pracy nie zamykają przewężki.

Analityk postanowił sprawdzić termikę przewężki z nową dyszą i stworzył nowy model formy do obliczeń.

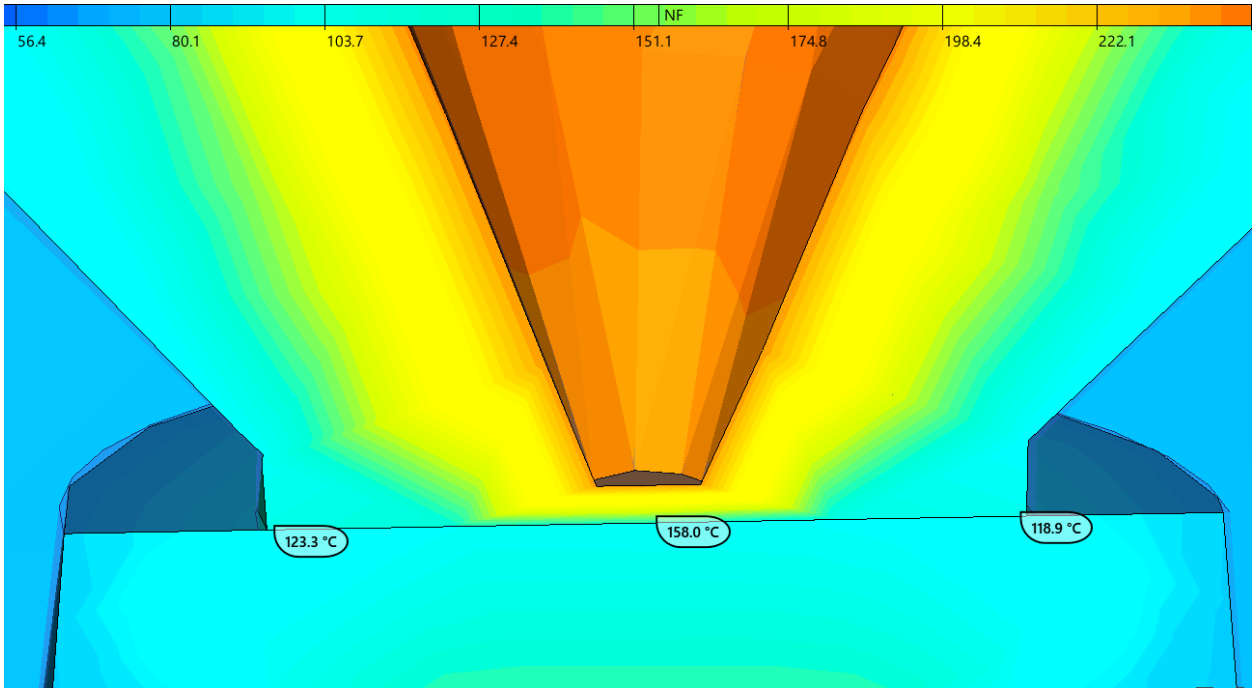
Na rysunku 11 widać, że dysza WP29 ma w przewężce spory obszar stopu z temperaturą wyższą niż temperatura NF. Ale jeśli teraz porównamy termikę przewężki dla dyszy WP20 i WP29, to okaże się, że praktycznie różnice dla obu dysz są minimalne. Widać że dysza WP29 ma większy obszar uplastycznionego stopu, o nieco wyższej temperaturze niż dysza WP20. Tak niewielkie różnice temperatury nie powinny mieć tak dużego wpływu na pracę obu przewężek. Albo zawiodła nas



Rys. 10 Dysza WP29

analiza (może analityk wybrał niewłaściwy solwer do zamodelowania tego zjawiska?), albo wyjaśnienia faktu, że dysza WP29 prawidłowo otwierała przewężkę należy szukać gdzieś indziej, np. w... psychologii. Pytanie – czy mamy do czynienia z błędem obliczeniowym, czy z autosugestią, czy też z obiektywnym faktem?

Znam ciekawy przypadek z jednej z polskich fabryk, która produkowała urządzenia z dużym udziałem zespołów elektronicznych i sama wykonywała płytki drukowane. Przygotowanie płytek polegało na wywiercaniu otworków, w które wchodziły nóżki elementów elektronicznych. Otwory wiercono wiertłami (średnica ok. 1 mm) importowanymi ze Szwajcarii. W pewnym momencie pojawiły się wiertła polskiej produkcji. Produkcja płytek stanęła, pracownicy stwierdzili, że polskie wiertła są do niczego. Dopiero jeden bardziej



Rys. 11

pomysłowy pracownik zażegnał impas przepakowując polskie wiertła do szwajcarskich pudełek. I produkcja ruszyła bez zahamowań.

Drugi tego typu przypadek zdarza się od czasu do czasu w jednej z narzędziowni. Jeśli forma po próbach jest zwracana do narzędziowni na poprawki, właściciel bez zaglądania przetrzymuje narzędzie przez kilka dni i przekazuje z powrotem do wtryskowni. Wtryskownia uruchamia próby, nie ma uwag i rozpoczyna produkcję.

Zwykle w swoim katalogu dostawca systemów GK podaje wytyczne doboru dyszy, zależne od masy wypraski i typu tworzywa. W trudniejszych przypadkach, jak cienkościenna lub nietechnologiczna wypraska (duże różnice w grubości ścian) oraz przy trudnych tworzywach technicznych (PA66, POM, PBT) takie podejście jest niewystarczające i może prowadzić do poważnych błędów. I dla takich przypadków należy stosować dokładne analizy z wykorzystaniem programów symulacyjnych.

Poprawne zamodelowanie dyszy GK i jej pracy jest skomplikowane i jednocześnie może być obarczone błędami. Dlatego warto stosować sprawdzone programy i jednocześnie weryfikować wyniki obliczeń z obserwacjami prowadzonymi podczas pracy form GK.

Zaletą stosowania do takich przypadków symulacji z zamodelowaną formą, jest to, że rozkłady temperatur uzyskane w analizach są poprawne i bardzo zbliżone do rzeczywistości.

Kilka lat temu, gdy pewna firma opracowywała swoje systemy GK, do sprawdzenia każdej koncepcji konstrukcyjnej były stosowane analizy. Wyniki analiz podpowiadały, która geometria dyszy i grzałki, oraz zastosowane materiały, dają najkorzystniejszy rozkład temperatury. Najlepsza koncepcja była wdrażana do badań na stworzonej do tego celu formie doświadczalnej. Dzięki takiemu podejściu weryfikowane były jednocześnie wyniki analiz. Nawet jeśli wyniki symulacji odbiegały liczbowo od pomiarów, to wybrana optymalna koncepcja okazywała się najlepsza w praktyce.

Oczywiście każde wyniki symulacji są obarczone mniejszymi lub większymi błędami, więc aby uzyskać dobry produkt należy przede wszystkim korzystać z doświadczenia i obserwacji. Jednak często wykorzystuje się te symulacje w celu porównania różnych koncepcji i wtedy dają one ogromny zasób wiedzy na temat pracy badanych rozwiązań. Jest to wiedza bezcenna, która pozwala przewidywać i optymalizować konstrukcję.

Jerzy Dziewulski

Niestandardowe części na zamówienie

Czy przejście na niestandardowe części może skutkować redukcją kosztów?

Spróbujmy sobie to wyobrazić – przeglądają Państwo nasz **poradnik doboru pierścieni** z zamiarem znalezienia stosownego pierścienia dla Państwa zastosowań, znajdują Państwo serię produktową, która wygląda obiecująca, a następnie wertują Państwo katalog w poszukiwaniu części standardowej, by w końcu odkryć, że rozmiarówka nie pokrywa się z wymaganymi przez Państwa wymiarami. Czy w tym momencie powinni Państwo przeprojektować całe złożenie by umieścić w nim standardową część, czy raczej spróbować pozyskać niestandardową część na zamówienie?

W idealnych warunkach możliwe jest zbudowanie optymalnych konstrukcji przy użyciu komponentów standardowych. Jednak nie zawsze tak jest, szczególnie jeśli w Państwa zastosowaniu pewne charakterystyki mają znaczenie krytyczne. Podczas gdy części standardowe są łatwo dostępne od ręki, nie zawsze stanowią najlepsze bądź najbardziej ekonomiczne rozwiązanie dla wszystkich zastosowań. Czasem warto poświęcić trochę czasu na sprawdzenie czy lepszym wyborem będzie rozwiązanie standardowe, czy dedykowane.

Podejmując taką decyzję, trzeba uwzględnić bezpośrednie koszty materiałowe w stosunku do całkowitej wartości zakupu. Komponenty standardowe mogą mieć niższą cenę jednostkową, ale pełna analiza procesu produkcyjnego może dać zaskakujące wyniki w kontekście realnej wartości rozwiązania niestandardowego. Poniżej przedstawiamy prawdziwą historię przypadku, w którym

zamówienie niestandardowych części początkowo nie wchodziło w rachubę z powodu dużych kosztów początkowych, ale w ostatecznym rozrachunku faktycznie przyniosło oszczędności.

UKRYTA WARTOŚĆ KOMPONENTÓW NIESTANDARDOWYCH

Współpracowaliśmy z przedsiębiorstwem z branży motoryzacyjnej, które nie było przekonane do możliwości opracowania dedykowanej części na zamówienie.

Jeśli mam już produkt, który kosztuje mniej i działa prawidłowo, dlaczego miałbym to zmieniać?

Nasz klient wykorzystywał konwencjonalne pierścienie osadcze, które spełniały swoją rolę, jednak stanowiły czynnik ograniczający wydajność procesu produkcyjnego (tzw. wąskie gardło) ze względu na długi czas instalacji, wynoszący ok. 30 sekund na każdy pierścień. **Kiedy zaprojektowaliśmy niestandardowy pierścień ustalający Smalley, udało nam się zredukować czas montażu o dwie trzecie.** Przy dużych rozmiarach produkcji w skali roku, nasz klient uzyskał znaczące oszczędności w zakresie kosztów pracy, czyniąc cały proces produkcyjny bardziej wydajnym i ekonomicznym. To właśnie oszczędność czasu potrzebnego na instalację jest jedną z zalet przejścia na dedykowane rozwiązania opracowane na zamówienie.

W rzeczywistości z komponentami standardowymi często jest tak, że muszą Państwo pójść na ustępstwa względem optymalnej konfiguracji, by zrobić dla nich miejsce. Poniżej przedstawiamy krótki poradnik o usprawnieniach przy użyciu niestandardowych części.

SZEŚĆ ZALET KOMPONENTÓW NIESTANDARDOWYCH

1. Zoptymalizowane dopasowanie

Podczas optymalizacji konstrukcji, całokształt złożenia może zyskać na redukcji rozmiarów. Dla przykładu, interesuje Państwa standardowa sprężyna falista o nośności 45 kg na danej wysokości roboczej. Jeśli w Państwa złożeniu nie ma miejsca na otwór, w którym zmieściłaby się standardowa sprężyna falista, jesteśmy gotowi zaprojektować dla Państwa dedykowaną sprężynę zapewniającą żądane parametry udźwigu na danej wysokości roboczej. Dzięki użyciu niestandardowej sprężyny wystarczy wywiercenie mniejszego otworu, co zapewnia redukcję czasu, kosztów i materiału, jak też pozwala uzyskać bardziej zwartą konstrukcję złożenia. Z kolei bardziej kompaktowe złożenie pozwala na funkcjonowanie produktu w mniejszej przestrzeni roboczej, co może przyczynić się do dalszej redukcji masy wyrobu, co jest bardzo istotne w niektórych gałęziach przemysłu.

2. Materiał

Wśród standardowych materiałów znajdą Państwo stal węglową, stale nierdzewne 302, 316 i 17-7 PH. Dobór innego materiału może przyczynić się do dalszego zwiększenia trwałości, wydajności i niezawodności. Decyzja o doborze niestandardowego materiału zależy od czynników definiujących środowisko pracy. Przykładowo w przemyśle paliwowym występują ekstremalne warunki, wykluczające zastosowani stali węglowej ze względu na konieczność częstej wymiany części szybko ulegających korozji. W firmie Smalley polegamy na materiałach rekomendowanych przez NACE, wychodząc naprzeciw potrzebom przemysłu paliwowego w zakresie sprężyn i pierścieni ustalających.

3. Instalacja i demontaż

Nasze pierścienie ustalające są zaprojektowane z myślą o instalacji ręcznej, ale do zastosowań seryjnych możemy zaproponować specjalne warianty końcówek, ułatwiających instalację i demontaż.

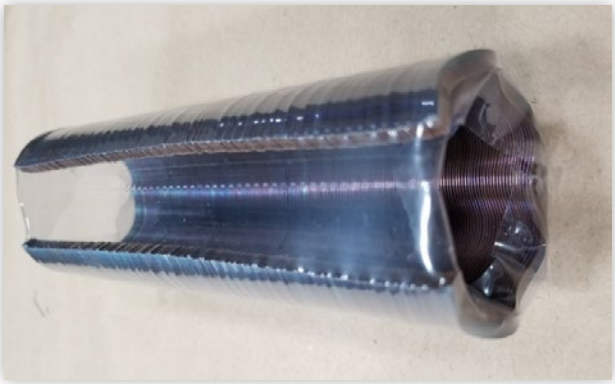
Oferujemy rowki demontażowe, otwory a nawet zaginamy końcówki. Dzięki opracowaniu dedykowanych **konfiguracji końcówek**, możliwe jest stosowanie kombinerek i innych narzędzi, pozwalających na redukcję czasu instalacji i demontażu.

4. Dodatkowe funkcje

Istnieje możliwość doboru dodatkowej funkcjonalności dedykowanej do Państwa zastosowań. Wszędzie tam, gdzie istotne jest wyważenie konstrukcji, proponujemy użycie **wyważonych pierścieni ustalających**. Takie pierścienie posiadają specjalną szczelinę po przeciwnej stronie obwodu względem końcówek, zapewniając równowagę statyczną. Dodatkowo oferujemy **samoblokujące pierścienie**, wyposażone w specjalne wypustki, zapobiegające rozszerzeniu się pierścieni działających w zastosowaniach wysokoobrotowych.

5. Pakowanie

Niestandardowe **pakowanie** może znacznie przyspieszyć Państwa procesy technologiczne. Przykładem dedykowanego rozwiązania w zakresie pakowania jest orientacja końcówek pierścieni ustalających pod kątem zastosowania na zautomatyzowanej linii produkcyjnej.



6. Produkcja prototypów

Standardowe części są konwencjonalnie związane z dużymi kosztami wstępnymi, ze względu na koszty narzędziowe, co powoduje, że zasadniczo tylko seryjna produkcja jest opłacalna. My jednak, dzięki naszemu procesowi **nawijania krawędziowego** jesteśmy w stanie produkować i modyfikować niestandardowe części na każdym etapie prototypowania, bez dodatkowych kosztów narzędziowych. Prototypowanie niestandardowych komponentów nigdy nie było bardziej przystępne, niezależnie od rozmiarów produkcji.

Nadal nie mogą się Państwo zdecydować czy wybrać rozwiązanie standardowe czy dedykowane?

W firmie Smalley mogą Państwo od ręki dobrać rozwiązanie spośród 10 tysięcy standardowych sprężyn i pierścieni na stanie magazynowym lub wypracować z naszym zespołem inżynierów dedykowane rozwiązanie dla Państwa potrzeb.

Niezależnie od stawianych przez Państwa wymagań, zawsze stawiamy sobie za cel wypracowanie rozwiązania odpowiedniego dla Państwa i Państwa klientów. Zapraszamy już dziś do **kontaktu z inżynierami firmy Smalley**, by przekonać się, czy niestandardowe części sprawdzą się w Państwa zastosowaniach.

□

Aston Martin & Brough Superior

Listopadowe targi motocyklowe EICMA w Mediolanie uważane są za największą tego typu imprezę na świecie. Sytuacja wielkich motoryzacyjnych ekspozycji w ostatnich latach zupełnie się zmieniła. O ile te niegdyś największe – samochodowe pełne były nowych konstrukcji i rozwiązań, to od kilku lat stały się nieefektowne i zdominowane przez klasyki, reprezentujące technikę z przed lat. Tymczasem rynek motocyklowy wygląda zupełnie inaczej.

Ryszard Romanowski

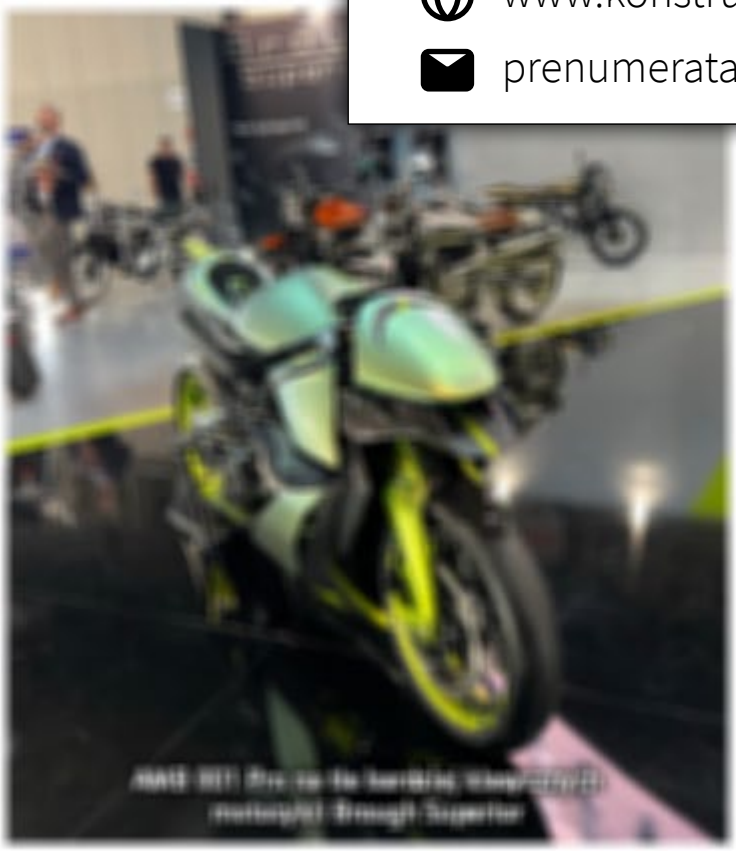
*Esposizione Internazionale Ciclo Motociclo e Accessori*czyli EICMA, trwające od 8 do 13 listopada, zajmowało zaledwie część hal na ogromnej przestrzeni targowej Mediolanu. Mimo to – jak opowiada Wiktoria Włodarczyk* – było wszystko, co każdy zainteresowany motocyklami chciałby zobaczyć. Najnowsze konstrukcje firm japońskich, włoskich i brytyjskich, motocykle z Chin, które już dawno przestały być tandetą i dzielnie rywalizują z uznanymi od dziesięcioleci markami, nie tylko zastosowanymi rozwiązaniami, lecz również jakością. Były również firmy polskie, zajmujące się produkcją odzieży i akcesoriów motocyklowych. Prezentowano także maszyny, które mimo, że niedawno opuściły linię produkcyjną, już są zaliczane do „kultowych" (choć zwykle określenie to bywa używane w przypadku dawnych motocykli, które wyróżniały się rozwiązaniami technicznymi, niezawodnością i osiągnięciami w sporcie). Takim właśnie mianem określa się też maszyny wskrzeszonej marki Brough Superior, współpracującej w zakresie jednośladów z równie słynną marką Aston Martin.

Działający w okresie od 1919 do 1940 roku w Nottingham Brough Superior od pierwszego modelu stał się sławny z powodu swoich osiągów i niezwykłej wówczas jakości. Niestety maszyny nie nadawały się dla wojska i w 1940 roku firma zaprzestała produkcji motocykli. Odrodziła się na przełomie stuleci we Francji. W tym miejscu warto przypomnieć nieco faktów z historii francuskich motocykli końca XX stulecia. Kraj, który niegdyś był znaczącym producentem motocykli, po II wojnie znany był głównie z produkcji skuterów i motorowerów. Dopiero w latach dziewięćdziesiątych powstała marka Voxan. Niemal od razu zaimponowała jakością. Silniki w układzie V2, rozchylone o 72°, o pojemności 996 cm^3, imponowały trwałością i użytymi materiałami. Moce oscylujące wokół 100 KM były aż nadto wystarczające. Jacques Gardette wraz z designerem Alainem Chevallierem budowali efektowne i niekonwencjonalne maszyny, przy wsparciu finansowym i technologicznym koncernu Dassault, producenta m.in. myśliwców dla francuskich wojsk lotniczych. Voxan z powodzeniem rywalizował jakością z japońską tzw. wielką czwórką, ale niestety nie był konkurencyjny w przypadku ceny.

Marka nie przetrwała kryzysu 2007 roku, kiedy to z finansowania wycofał się Dassault. Jej wielki potencjał docenił wówczas pewien biznesmen z Monako. Wykupił firmę przestawiając ją na

* Pani Wiktoria Włodarczyk jest właścicielką salonu i serwisu motocyklowego Dominator

Stoisko Brough Superior i Aston Martina na targach EICMA w Mediolanie



Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

www.konstrukcjeinzynierskie.pl
prenumerata@iter.com.pl

Algorytmy wizji maszynowej

stosowane w tzw. kamerach inteligentnych, przeznaczonych do zastosowań w przemyśle

Rozwój mobilnych procesorów równoległego przetwarzania danych graficznych (GPU) utworzył kilka lat temu nową ścieżkę rozwoju przemysłowych systemów wizyjnych nazywanych kamerami inteligentnymi (ang. *Smart Camera*). Kamery tego typu różnią się od wcześniej stosowanych systemów zdolnością do przetwarzania dużych ilości danych w swoich własnych zasobach obliczeniowych, nie wymagając do działania zewnętrznego komputera. W odróżnieniu od wcześniej stosowanych kamer, umożliwiają zastosowanie rozbudowanych algorytmów przetwarzania obrazu, dając nowe lub znacznie ulepszone możliwości.

Marian Ostrowski, Grzegorz Suwała, Cezary Ziemecki

Typowe zastosowania systemów wizyjnych w procesach produkcyjnych można podzielić na zadania związane z wskazywaniem celów robotom przemysłowym, zadania kontroli jakości i geometrii wyrobów, zadania rozpoznawania napisów i kodów informacyjnych oraz różnorakie inne aplikacje nie mieszczące się w tych ramach.

Roboty przemysłowe są urządzeniami sterowanymi w sposób ściśle zdefiniowany; można porównać to do pracy obrabiarek sterowanych numerycznie. Sterowanie to odbywa się zazwyczaj poprzez określenie zbioru punktów charakterystycznych, połączonych określoną trajektorią interpolowaną przez algorytmy robota. W przypadku losowego położenia i/lub kształtu obiektu, na którym urządzenie ma wykonać operację (przykładowo może to być podniesienie części lub przemieszczanie się po krawędzi obiektu w celu nałożenia warstwy kleju), konieczne jest wcześniejsze zmierzenie pozycji oraz orientacji istotnych punktów definiujących zadanie. Jednym z możliwych źródeł informacji są systemy wizji maszynowej. Systemy te po uzyskaniu odpowiednich współczynników transformujących układy odniesienia uzyskanego obrazu do układu odniesienia robota, są w stanie przekazywać informacje za pomocą odpowiedniego protokołu transmisji danych.

W przypadku zagadnień dotyczących kontroli jakości, typowe zastosowania można podzielić na zadania z zakresu pomiaru geometrii wyrobu, kontroli stanu kompletacji złożeń czy detekcji wad powierzchniowych, lub ubytków w kształcie części. Tutaj istotne jest przede wszystkim stwierdzenie czy wyrób mieści się w określonych ramach (wskazanie OK), czy też należy go skontrolować ręcznie, bądź od razu skierować do ponownego przetworzenia (wskazanie NOK). W wybranych przypadkach pożądane jest także gromadzenie i monitorowanie statystyk związanych z jakością, choćby w celu pozyskania informacji o konieczności kontroli stanu zużywających się narzędzi produkcyjnych.

Rys. 1 Widok sieciowego interfejsu użytkownika pokazujący wyszukane części przy pomocy algorytmu dopasowania wzorca TM (a) oraz widok wzorca części z widocznymi cechami używanymi w wyszukiwaniu (b)

PRZYKŁADY ALGORYTMÓW 2D DO NAPROWADZANIA ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH

Omówimy teraz trzy różne wybrane metody naprowadzania robotów przemysłowych przy pomocy informacji pochodzących z kamery 2D. Metody te różnią się cechami użytkowymi i zakresem możliwego zastosowania. Jednak wspólną i niezmienną ich cechą jest możliwość wykonania procesu uczenia bezpośrednio za pomocą tzw. kamery inteligentnej, czyli bez konieczności użycia zewnętrznych zasobów obliczeniowych.

Pierwsza z nich – algorytm dopasowania wzorca TM (*Template Matching*) służy do precyzyjnej lokalizacji obiektu pasującego do wcześniej wskazanego wzorca. Narzędzie to jest przeznaczone do wyszukiwania pozycji obiektów o dobrze zdefiniowanym kształcie, umożliwiając precyzyjną subpikselową lokalizację części. Działanie algorytmu odbywa się w dwóch etapach: generowanie charakterystycznego wzorca cech na podstawie jednego zdjęcia obiektu (wykonywane tylko na etapie konfiguracji) oraz znajdowanie i dokładna lokalizacja elementu na obrazie, wykonywane w trybie wyszukiwania (Rys. 1).

Wyszukiwanie polega na przesuwaniu odpowiednio przetworzonej informacji o kształcie wzorca po mapie obrazu w czterech stopniach swobody (translacja X, translacja Y, obrót i skala) i poszukiwaniu ekstremów funkcji dopasowania. W metodzie tej wykorzystywany jest filtr Sobela, w wyniku działania którego zostaje utworzona mapa gradientu obrazu, której lokalne ekstrema reprezentują charakterystyczne cechy obiektu (krawędzie), a zapisywane są własności takie jak wartość i kierunek gradientu, służące do określania funkcji dopasowania. W celu przyspieszenia działania algorytmu wykorzystywana jest piramida Gaussa, złożona z obrazów o coraz mniejszej rozdzielczości. Zabieg ten pozwala znacząco przyspieszyć proces lokalizacji obiektu poprzez przybliżone przeszukanie obrazów metodą regularnego przeszukiwania (tzw. *brute-force*) na najwyższym poziomie piramidy o jak najniższej rozdzielczości, na którym możliwa jest ich lokalizacja. Następnie zostają wstępnie wykryte obszary, w których mogą istnieć obiekty. Kolejno wyszukiwane są obiekty w tak określonym najbliższym otoczeniu na pozostałych poziomach o wyższej rozdzielczości. Umożliwia to eliminację

Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

www.konstrukcjeinzynierskie.pl
prenumerata@iter.com.pl

Wolumetryczne pomiary błędu pozycjonowania osi obrabiarek sterowanych numerycznie

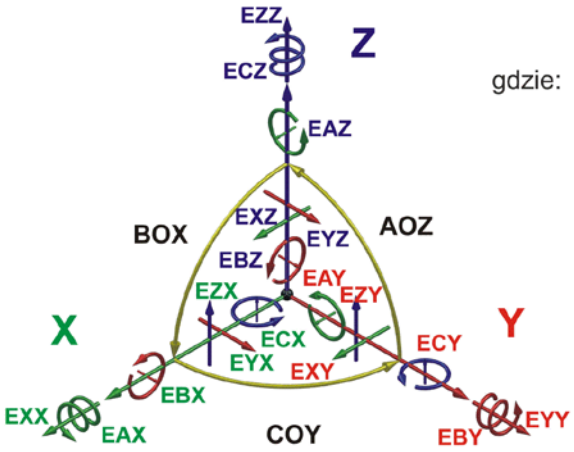
Wymagania dotyczące złożoności i dokładności geometrycznej wszystkich rodzajów obrabianych części stają się coraz bardziej rygorystyczne. Utrzymanie wymaganych wąskich tolerancji jest problematyczne, zwłaszcza na dużych maszynach i podczas obróbki na obrabiarkach wieloosiowych. Im więcej osi sterowanych numerycznie ma obrabiarka, tym więcej jest źródeł błędów oraz tym trudniej jest spełnić rygorystyczne wymagania dla dokładności geometrycznej przedmiotów obrabianych. Wychodząc tym problemom naprzeciw, współczesne układy sterowania obrabiarek mają m.in. możliwości kompensowania własnych błędów kinematycznych w całej objętości obróbczej. Mówimy wówczas o numerycznej kompensacji błędu wolumetrycznego (*volumetric error* – VE). Dzięki takiej kompensacji punkt środkowy narzędzia (*tool center point* – TCP) znacznie poprawia dokładność pozycjonowania w odniesieniu do nominalnej ścieżki narzędzia (*tool path* – TP). W artykule omówiono aspekty pomiarów wolumetrycznych oraz implementacji ich wyników w sterownikach obrabiarek. Zaprezentowano także wyniki obrazujące poprawę dokładności pozycjonowania TCP typowej frezarki sterowanej numeryczne w trzech osiach, po zastosowaniu kompensacji błędu wolumetrycznego w jej układzie sterowania. Jako ciekawostkę, a nawet rozprawę z mitem istotności poziomowania obrabiarki ze względu na jej dokładność, pokazano wyniki pomiaru wolumetrycznego frezarki przed poziomowaniem i po poziomowaniu jej stołu.

Paweł Majda, Jakub Grabiec, Karol Miądlicki, Aleksandra Ogórska

Po wielu latach intensywnej pracy międzynarodowi eksperci z ISO TC 39 opublikowali raport techniczny ISO TR 16907 „Machine tools – numerical compensation of geometric errors". Dokument ten definiuje terminologię, przedstawia korzyści i ograniczenia dotyczące numerycznej kompensacji błędów obrabiarek sterowanych numerycznie (CNC) i maszyn pomiarowych (CMM). Daje to producentom maszyn i użytkownikom ważne informacje na temat zastosowania kompensacji numerycznej. ISO TR 16907 jest dokumentem przeznaczonym dla działów rozwoju i badań producentów maszyn, a także jest dobrą lekturą dla użytkowników obrabiarek. Daje bardzo wszechstronny przegląd zagadnień odnoszących się do badań dokładności przestrzennego pozycjonowania TCP względem TP.

Norma ISO 230-1 wymienia osiem istotnych rodzajów błędów dla osi liniowej (sześć błędów składowych i dwa istotne błędy pozycji) oraz jedenaście dla osi obrotowej (sześć błędów składowych i pięć istotnych błędów pozycji). Przeciwdziałanie takim błędom na poziomie mechanicznym wymaga niezwykłej staranności przy projektowaniu i przy montażu obrabiarki. Jednak nawet po najdokładniejszym montażu obrabiarki zawsze pozostanie tzw. błąd resztkowy, którego detekcja zależna jest jedynie od dokładności metody pomiaru. Jeśli nastąpił progres w rozwoju dokładności obrabiarek to był to efekt m.in. dopracowania na skalę komercyjną metod pomiaru i kompensowania błędów resztkowych obrabiarek zwanych dzisiaj wolumetryczną kompensacją – VE. Błędy wolumetryczne są szczególnie widoczne na maszynach pięcioosiowych i bardzo dużych maszynach. Historycznie w obrabiarkach CNC kompensowało się typowo błędy pozycjonowania dla osi liniowych i osi rotacyjnych, oraz błędy osiowych i rotacyjnych wartości zwrotnych (zwanych potocznie luzami). Obecnie producenci obrabiarek oferują ich użytkownikom (jako dodatkową opcję przy zakupie, tj. dodatkowy pomiar oraz dodatkową opcję zaimplementowaną w układzie sterowania) możliwość skompensowania VE. Pomiary przeprowadza się po montażu obrabiarki w siedzibie jej użytkownika. Prowadzi to do znacznej poprawy dokładności obrabiarki, czyniąc ją towarem tzw. podwójnego zastosowania. Producenci sterowników obrabiarek dostarczają opcje kompensacji błędów na różnym poziomie złożoności (jedno- i/lub dwukierunkowe, jednoosiowe, trójwymiarowe) i jak się okazuje mają też różne podejście do implementacji mapy VE. Najczęściej w sterowniku implementowane są algorytmy bazujące na standardowych modelach kinematyki bryły sztywnej. Opisowi podlegają ruchy brył o sześciu stopniach swobody oraz błędy pozycji i orientacji w układzie współrzędnych obrabiarki początków układu odniesienia osi liniowych i/lub środki obrotu osi obrotowych. Danymi wejściowymi do kompensowania są charakterystyki kinematycznych błędów (pozycjonowania, prostoliniowości, skoku, schodzenia z kursu i beczki; osobno lub jako błąd prostoliniowości kompensuje się także błąd wzajemnej prostopadłości osi) w funkcji aktualnie rozpatrywanego punktu nominalnej ścieżki narzędzia. Przez modyfikowanie w czasie rzeczywistym parametrów tych charakterystyk nawet błędy indukowane termicznie mogą być kompensowane po ich wykryciu przez dodatkowe czujniki i PLC. Przykładowo firma FANUC dostarcza oprócz rozwiązań bazujących na modelach kinematyki bryły sztywnej także rozwiązanie na bazie równomiernie rozmieszczonych węzłów siatki elementów prostopadłościennych. Znane wartości (tj. wcześniej zmierzone) błędu VE w węzłach tej siatki są interpolowane dla dowolnej pozycji TCP wewnątrz przestrzeni obróbczej.

Błędy przestrzenne TCP można na przykład zmierzyć za pomocą interferometru laserowego i przekształcić je w tabele kompensacji. Producenci systemów pomiarowych do wyznaczania przestrzennego rozkładu VE dostarczają odpowiednie postprocesory do generowania plików korekcji VE dla sterowników obrabiarek. W przedmiotowym zakresie trwa obecnie rywalizacja o zdominowanie rynku pomiarów i kompensacji VE. Między innymi zdarzają się na tym rynku oferty niepoważne (reklamowane jako szybkie i efektywne), które bazują na zastosowaniu trakerów laserowych, w których pomiar kąta obrotu jest podstawą do wyznaczania pozycji przestrzennej punktu. Ze względu na błąd Abbego systemy takie nie są w stanie sprostać docelowej dokładności pomiaru długości, jaką stawia się chociażby tzw. obrabiarkom zwykłej dokładności, wg normy ISO 10791-4. Z kolei ze względu na zbyt długi czas wykonywania pomiarów (nawet kilka dni), wydaje się, że tzw. metody bezpośrednie, czyli indywidualne mierzenie charakterystyk błędów kinematycznych (translacyjnych i kątowych), wg normy ISO 230-1, nie stanowi konkurencji dla metod, jakie pojawiły się na rynku. Poważnie należy tutaj potraktować i rozważać dwie metody. Są to: pomiary bezpośrednie z użyciem interferometru laserowego z elementem optycznym, który w jednym przejściu



gdzie: X, Y, Z - osie układu odniesienia,
EXX, EYY, EZZ - błąd pozycjonowania - sztuk 3,
EYX, EXY, EYZ - błąd prostoliniowości w płaszczyźnie poziomej - sztuk 3,
EZX, EZY, EXZ - błąd prostoliniowości w płaszczyźnie pionowej - sztuk 3,
EAX, EBY, ECZ - beczka, błąd rotacji, (ang. roll) - sztuk 3,
EBX, EAY, EAZ - skok, błąd rotacji (ang. pitch) - sztuk 3,
ECX, ECY, EBZ - schodzenie z kursu, błąd rotacji (ang. yaw) - sztuk 3,
COY - prostopadłość osi X do Y,
AOZ - prostopadłość osi Y do Z,
BOZ - prostopadłość osi X do Z

Rys. 1 Schemat oznaczania kinematycznych błędów osi liniowych obrabiarek wg ISO 230-1

pozwala mierzyć wszystkie (sześć sztuk) charakterystyki błędów kinematycznych lub pomiary pośrednie interferometrem laserowym tych charakterystyk na bazie identyfikacji parametrów modelu ruchu kinematyki brył sztywnych.

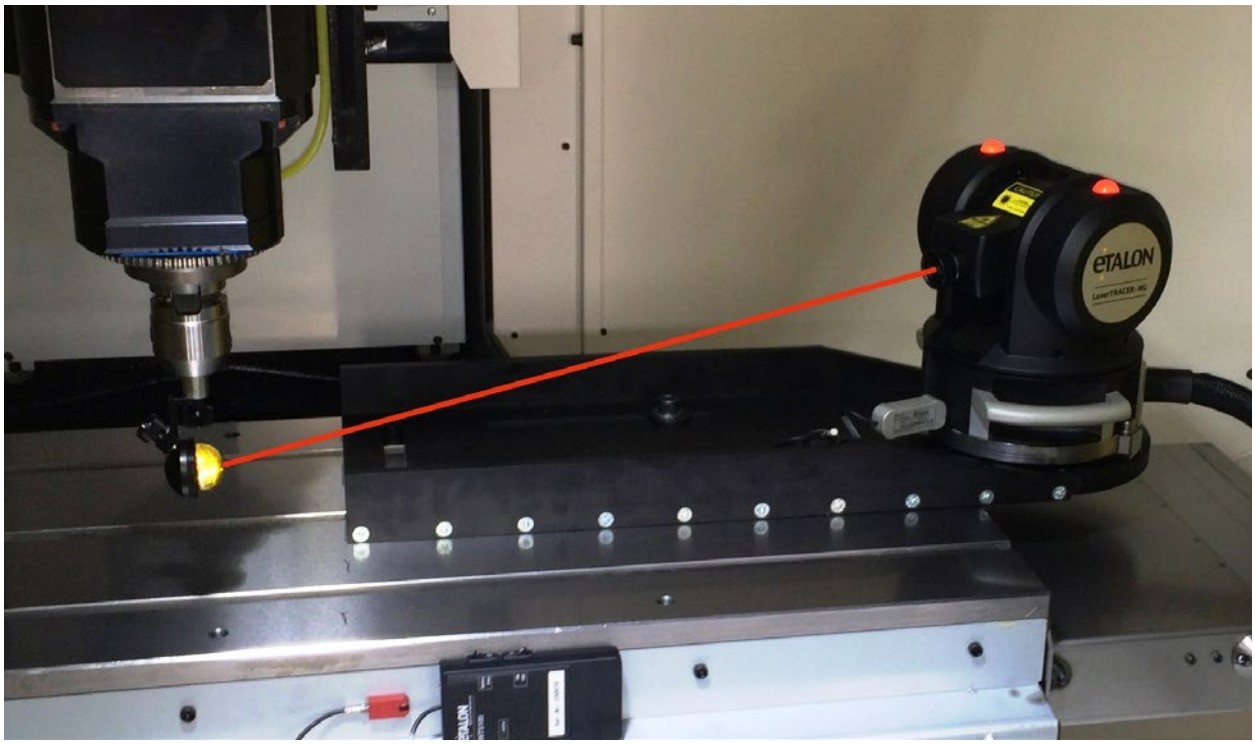
W dyskusji o wadach i zaletach metod często zapomina się o podaniu czasu, jaki jest potrzebny na czynności przygotowawcze, synchronizację programów sterujących z programami generowanymi dla ścieżki narzędzia, czasu wykonywania czynności przez operatora obrabiarki, czasu poświęconego na powtórzenie pomiarów oraz czasu weryfikacji wyników pomiarów po implementacji plików korekcyjnych do układu sterowania obrabiarki. Dlatego czas wykonywania samych pomiarów dla wymienionych wyżej metod wydaje się, że nie będzie decydującym kryterium, które zaważy na akceptacji użytkowników tych systemów pomiarowych. Dokładność pomiaru długości interferometrem laserowym raczej także nie będzie kryterium akceptacji, bo producenci profesjonalnych interferometrów deklarują ją, jako nie gorszą od 0,5 µm/m. Decydującymi będą tutaj raczej inne walory metrologiczne rozważanych metod, takie jak odtwarzalność ze względu na zmianę wykonujących pomiar (różne laboratoria, ta sama obrabiarka) [1] czy algorytm wyznaczania charakterystyk błędów kinematycznych [2] dla różnych konfiguracji pętli strukturalnych badanych maszyn.

POMIARY BŁĘDU WOLUMETRYCZNEGO TRÓJOSIOWEJ FREZARKI FANUC ROBODRILL α-D21LiB5[1]

Celem do zrealizowania w ramach badania było wyznaczenie wektorowego pola błędu pozycjonowania TCP względem nominalnej pozycji, tj. w całej przestrzeni obróbczej. Badanie takie przeprowadzono z użyciem interferometru śledzącego Etalon-Laser-Tracer-NG. Zakres pomiaru wynosi 200÷15000 mm ze stałą niepewnością 0,2 µm oraz składową systematyczną, zależną od mierzonej długości 0,2 µm/m oraz składową losową 0,2 µm/m. Wartości tych niepewności są użyte do szacowania niepewności pomiaru metodą Monte-Carlo. Użycie interferometru śledzącego pozwala wyznaczyć błąd przestrzennego pozycjonowania dla szeregowych struktur kinematycznych. Wyniki takich pomiarów umożliwiają analizę błędów kinematycznych osi sterowanych obrabiarek, w tym osi liniowych (18 składowych) i jeśli występują – rotacyjnych (8 składowych) łącznie z błędami prostopadłości osi (3 składowe błędów). Na rysunku 1 pokazano oznaczenia błędów obrabiarek wg normy ISO 230-1.

Przez odpowiednią konfigurację położeń interferometru w przestrzeni pomiarowej oraz sekwencyjne wielopunktowe pomiary długości można odpowiednio badać charakterystyki błędów kinematycznych osi translacyjnych, a także rotacyjnych.

1 Badania realizowane na aparaturze badawczej zakupionej w ramach realizacji projektu nr RPZP.01.03.00-32-0004/17. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Zachodniopomorskiego 2014 –2020 i ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

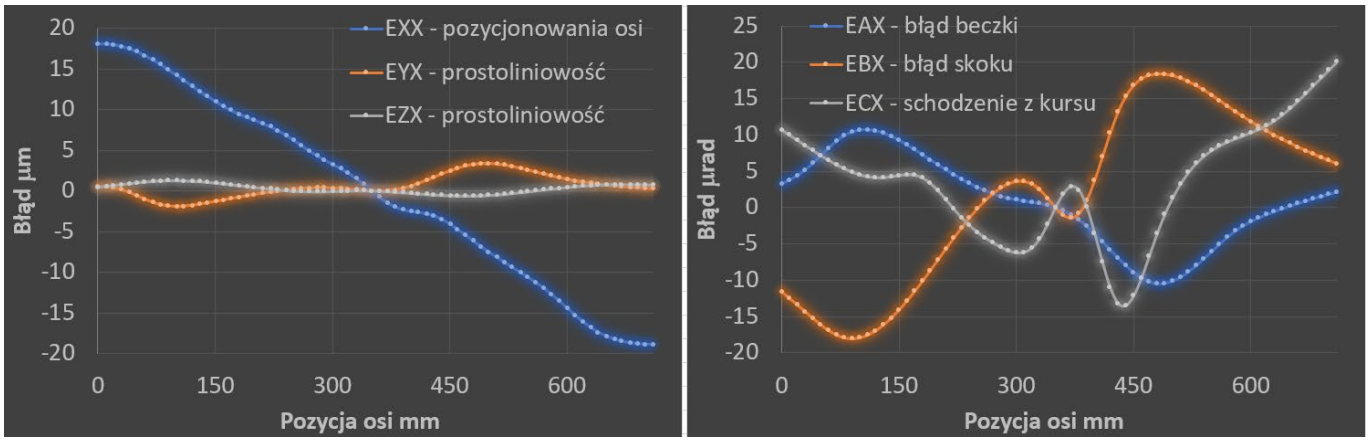


Rys. 2 Widok systemu pomiarowego w trakcie realizacji pomiarów na frezarce

Charakterystyki te wyznaczane są na bazie algorytmu multilateracji. Danymi wejściowymi (mierzonymi wielkościami) są tylko wskazania zmian długości z interferometru śledzącego między dwoma punktami odniesienia w postaci reflektorów. Jeden z reflektorów, tzw. „kocie oko", montuje się w oprawce narzędziowej. Obrabiarka wykonuje najazdy na zaprogramowaną pozycję punktu pomiarowego w przestrzeni trójwymiarowej. Interferometr śledzący automatycznie śledzi „kocie oko" i dokonuje pomiaru długości w momencie ustabilizowania wskazania na odpowiednio niskim poziomie szumu, tj. podczas postoju na zaprogramowanej pozycji. Ponadto deklarować do pomiaru należy odpowiedni model pętli strukturalnej obrabiarki, czyli schemat kolejności realizacji przesuwów liniowych prowadnic, od przedmiotu obrabianego do narzędzia. W prezentowanym tutaj przykładzie pomiarów dla obrabiarki FANUC Robodrill ze stołem krzyżowym był to model struktury XYZ. Wymiary przestrzeni obróbczej odpowiednio wynosiły [700/400/330] mm. Głowice lasera przestawia się w trakcie pomiarów w różne pozycje na stole obrabiarki. Na rysunku 2 pokazano jedną z czterech pozycji, dla której realizowano pomiary. W trakcie pomiarów oprócz charakterystyk środowiskowych do kompensacji długości fali światła laserowego, w różnych punktach rejestruje się temperaturę obrabiarki. Odpowiednio z użyciem tych wskazań normuje się do 20 °C zmierzone wyniki.

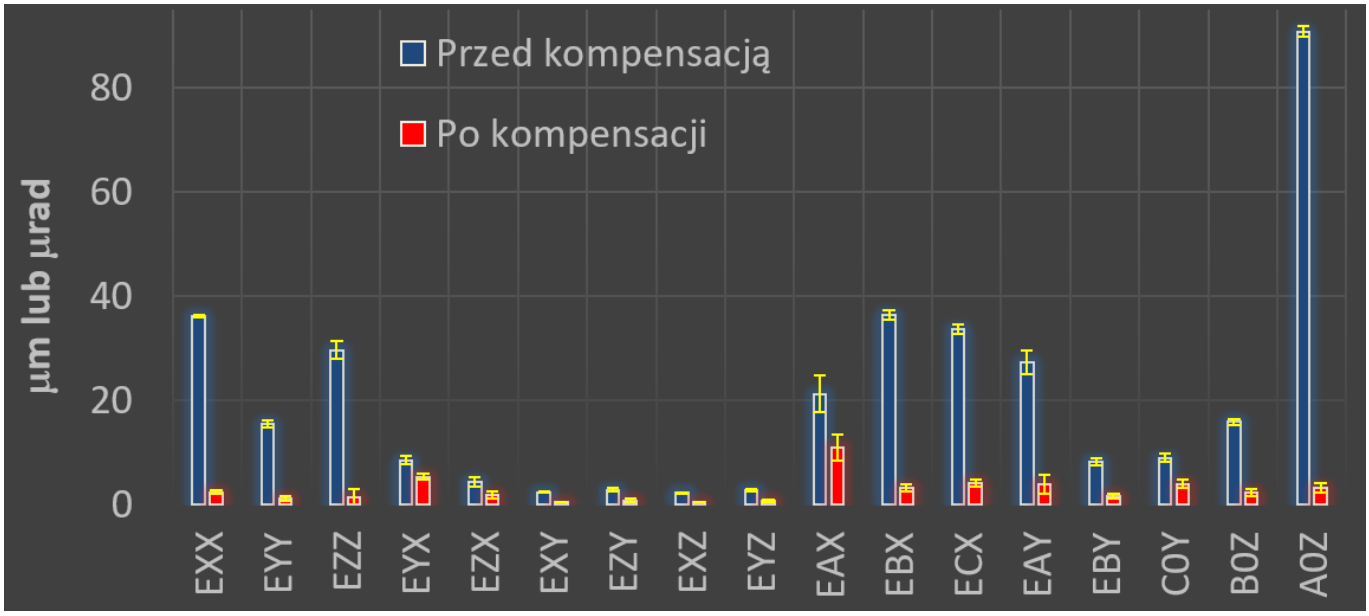
Przystępując do pomiarów ustala się warunki pracy obrabiarki ze szczególnym uwzględnieniem wszelkiego rodzaju aktywowania funkcji korygowania pozycji zadanej w układzie sterowania. Prezentowane na rysunku 3 wyniki charakterystyk błędów kinematycznych dla osi X przedmiotowej frezarki otrzymano przy wyłączonej funkcji korygowania pozycji zadanej, przy włączonej funkcji korygowania wartości osiowej zwrotnej, potocznie nazywanej luzem (*backlash*), oraz bez opcji korygowania odkształceń termicznych. Podobne wykresy jak na rysunku 3 dla osi X otrzymano oczywiście dla osi Y oraz Z. Podejmując próbę obrazowego (bez wnikania w matematyczne szczegóły[2]) wytłumaczenia

2 Gdyby kogokolwiek jednak interesowały matematyczne szczegóły wyznaczania charakterystyk błędów kinematycznych ze wskazań mierzonej długości interferometrem śledzącym to zapraszamy do współpracy i kontaktu z autorami artykułu. Multilateracja, jednorodne przekształcenia macierzowe dla różnych struktur kinematycznych obrabiarek, analiza niepewności z uwzględnieniem odkształceń termicznych, błędów wskazania, odtwarzalności i powtarzalności to tematyka, w której się specjalizujemy.

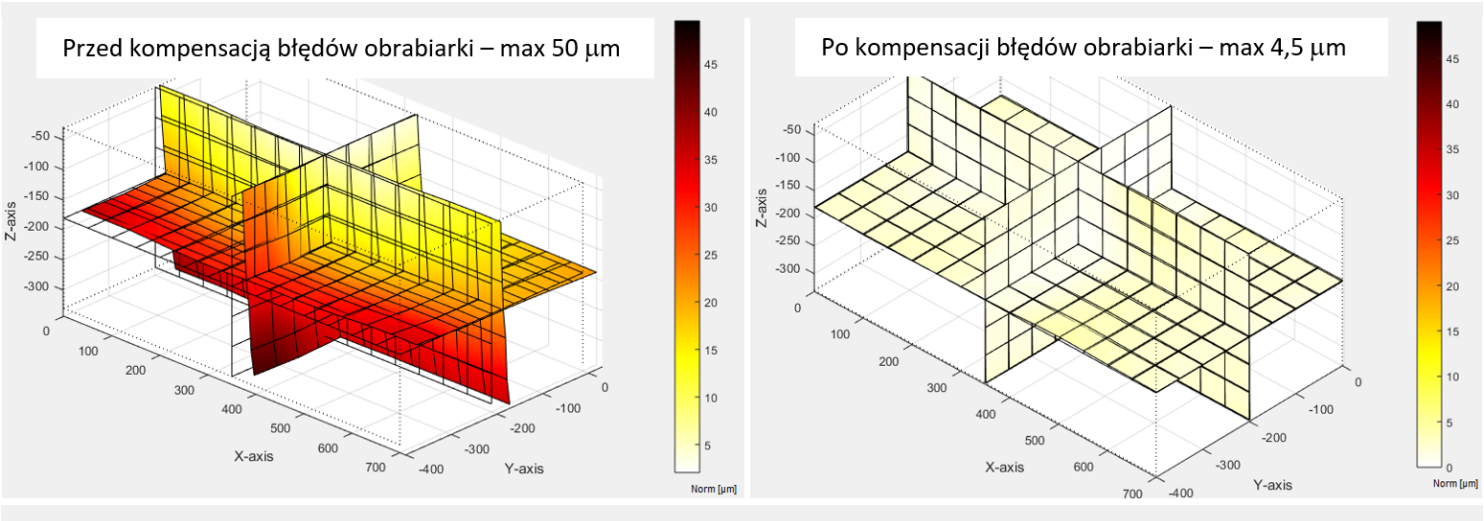


Rys. 3 Charakterystyki błędów kinematycznych osi X frezarki; w układzie sterowania wyłączono funkcję korygowania błędu pozycji zadanej

działania algorytmów zastosowanych przez producenta interferometru można powiedzieć, że dopasowują one charakterystyki widoczne na rysunku 3 do równań modelu struktury kinematycznej obrabiarki. To jest pełna analogia do dyskusji o dopasowaniu linii, wielomianu czy jakiejkolwiek innej krzywej do punktów pomiarowych. Oczywiście dopasowanie to przebiega jednocześnie dla wszystkich punktów z przestrzeni trójwymiarowej, w której wykonuje się pomiary. Uzyskany rezultat pozwala odtworzyć, w sensie najlepiej dopasowanego modelu, odchyłkę od nominalnej (programowanej w układzie sterowania obrabiarki) pozycji punktu w każdym rozważanym punkcie przestrzeni obróbczej. Niewątpliwie taka idea zastosowana do uzyskania wyników pomiarów będzie przyczyną niepewności pomiaru, wynikającą z niedoskonałej realizacji definicji wielkości mierzonej. Czyli porównując uzyskane charakterystyki tą metodą z metodami bezpośredniego pomiaru odchyłek liniowych bądź kątowych należy się spodziewać różnic. Czy są to istotne różnice? Dzisiaj nie wiemy. Jest to szczególnie trudne do rozważenia, jeśli zaczyna się myśleć o wpływie usytuowania (bazowania) elementów optyki pomiarowej na odkształcalnych elementach struktury nośnej obrabiarki [1]. Ze względu na odchyłki kątowe i wynikający z tego błąd Abbego nikt do dzisiaj nie odważył się podjęcia próby sformułowania wniosków ogólnych w tym zakresie.



Rys. 4 Wartości rozstępu (tj. max-min) charakterystyk błędów kinematycznych frezarki dla włączonej i wyłączonej w układzie sterowania funkcji „3d error compensation" korygowania błędu pozycji zadanej

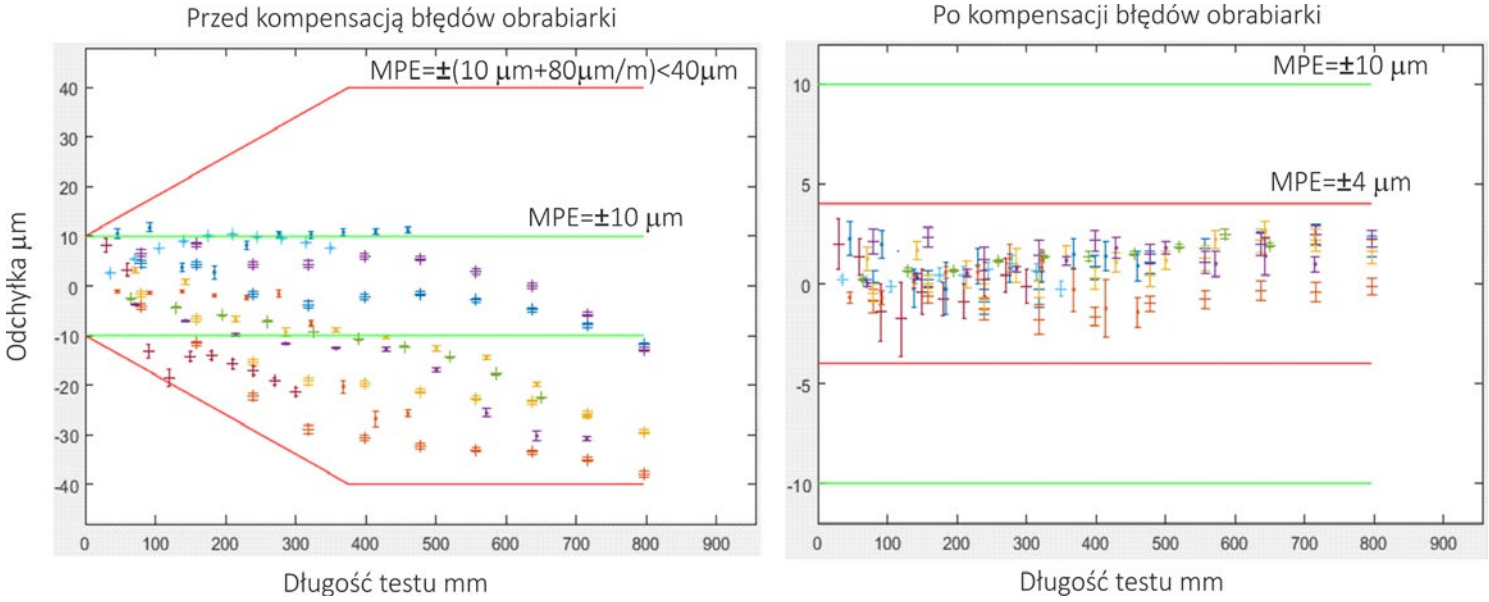


Rys. 5 Wizualizacja 3D rozkładu błędu pozycjonowania przed i po kompensacji wolumetrycznej w układzie sterowania frezarki, tj. przed i po aktywowaniu funkcji „3d error compensation"

Mając zmierzone charakterystyki błędów kinematycznych wszystkich osi (takie jak na rysunku 3) generuje się pliki korekcyjne dla układu sterowania obrabiarki. Jedną z wielu funkcji (w zależności od stopnia złożoności, z którego chcemy skorzystać) dostarczanych przez producenta układu sterowania CNC jest funkcja „3d error compensation". Na rysunku 4 pokazano wyniki pomiarów i porównanie, jakie uzyskano z wyłączoną oraz aktywowaną funkcją „3d error compensation" w układzie sterowania obrabiarki. Są to wyniki dwóch niezależnych sesji pomiarowych, jakie wykonano w czasie sześciu godzin.

Wizualizując uzyskane wyniki w całej przestrzeni obróbczej można wygenerować warstwice 3D, takie jak na rysunku 5. Jest to szczególnie przydatne do oceny rozkładu wolumetrycznego błędu względem tzw. punktu zerowego obrabiarki, czyli punktu, dla którego należy wygenerować i zaimplementować pliki korekcyjne do układu sterowania obrabiarki.

Wykresy na rysunku 6 obrazują maksymalny błąd graniczny (MPE) odwzorowania długości przez TCP w układzie współrzędnych przedmiotu obrabianego. Wyniki pomiarów przedstawiono dla równoległego przesuwu wzdłuż badanych osi X, Y



Rys. 6 Maksymalny błąd graniczny długości mierzonej interferometrem śledzącym przed i po kompensacji wolumetrycznej w układzie sterowania frezarki, tj. przed i po aktywowaniu funkcji „3d error compensation"

i Z oraz dla pomiarów diagonalnych (przekątnych). Producent frezarki deklaruje, że dwukierunkowa dokładność pozycjonowania osi wg ISO 230-2:1988 wynosi mniej niż 6 µm, a dwukierunkowa powtarzalność pozycjonowania wg ISO 230-2:1997,2006 wynosi mniej niż 4 µm. Mając na uwadze, że wskaźniki te dotyczą badania tylko jednej osi (1D) oraz biorąc pod uwagę niepewność pomiarów, wydaje się rozsądnym przyjąć jako kryterium oceny docelowego wskaźnika charakteryzującego dokładność pozycjonowania osi (3D) badanej frezarki na poziomie 10 µm. Stąd na rysunku 6 linią zieloną zaznaczono granice tego kryterium jako MPE. Natomiast czerwoną linią oznaczono granice dla aktualnie wyznaczonego MPE.

Dopuszczalne wartości tolerancji wskaźników dokładności wg PN ISO 10791-4 dla tzw. obrabiarek zwykłej dokładności i przesuwu osi od 500 do 800 mm wynoszą odpowiednio:

- Dwukierunkowa dokładność pozycjonowania A = 25 µm,
- Dwukierunkowa systematyczna odchyłka pozycjonowania E = 18 µm,
- Średnia dwukierunkowa odchyłka pozycjonowania M = 12 µm.

Wartość błędu odwzorowania długości MPE, dochodząca do 40 µm dla badanej obrabiarki, znacznie przekracza wymienione wyżej wartości. Na tym etapie zaleca się dużą ostrożność w interpretacji przedstawianego tutaj rezultatu. Należy mieć świadomość, że prezentowane wyniki uzyskano przy całkowicie wyłączonej funkcji korygowania błędu pozycjonowania osi CNC. Producenci obrabiarek zawsze opcję taką aktywują przy standardowym zakupie. Stąd wiadomo, że przy typowych testach pozycjonowania osi wg ISO 230-2 każdy producent każdej obrabiarki zapewni deklarowane przez siebie parametry dokładnościowe pozycjonowania osi liniowych i obrotowych. Natomiast należy zauważyć przy interpretacji powyższego rezultatu badań wolumetrycznych, że zastosowanie funkcji „3d error compensation" pozwoliło uzyskać błąd graniczny odwzorowania długości na imponującym poziomie MPE < 4 µm w całej przestrzeni obróbczej maszyny. Wynik ten jest niezależny od kierunku określania MPE (wzdłuż osi, diagonalnie i inne), czyli obowiązuje w całej przestrzeni obróbczej (dla przestrzennej pozycji TCP).

POMIARY BŁĘDU WOLUMETRYCZNEGO PRZED ORAZ PO WYPOZIOMOWANIU STOŁU FREZARKI TRÓJOSIOWEJ

Analizując wyniki prezentowane na rysunku 4 widzimy, że dominującym błędem obrabiarki (bez aktywowania numerycznej kompensacji błędów obrabiarki) jest błąd prostopadłości AOZ (czyli prostopadłość wzajemna osi Y do Z) na poziomie 90 µm/m.

Bywa, że w różnych sytuacjach życiowych można trafić na „ekspertów", którzy (często nieproszeni o zdanie) z niezachwianym przekonaniem wyrażają swoje opinie i interpretują przyczyny i efekty występowania różnych zjawisk. Otóż w siedzibie przedsiębiorcy, u którego badano prezentowaną tutaj frezarkę, taki właśnie „ekspert" się znalazł. Stwierdził stanowczo, że dominująca odchyłka wzajemnej prostopadłości osi jest tylko efektem niestarannego wypoziomowania obrabiarki, i że wystarczy tylko starannie wypoziomować frezarkę, a dominująca odchyłka geometryczna ulegnie zmniejszeniu, czego efektem będzie istotna poprawa dokładności pozycjonowania obrabiarki. Przekładając powyższe kryterium na język techniczny równoznaczną będzie teza, że relacje geometryczne rozpatrywane w układzie współrzędnych obrabiarki są zależne od orientacji tego układu względem układu odniesienia Ziemi. Zatem powstał pomysł i chęć zweryfikowania takiej tezy. Wystarczyło zmienić poziomowanie obrabiarki i sprawdzić, jaki to będzie miało wpływ na charakterystyki wolumetrycznego błędu pozycjonowania TCP przed wypoziomowaniem oraz po wypoziomowaniu obrabiarki. Do poziomowania stołu frezarki użyto poziomnic o rozdzielczości wskazania 20 µm/m. Widok tych poziomnic na stole badanej frezarki przedstawiono na rysunku 7.

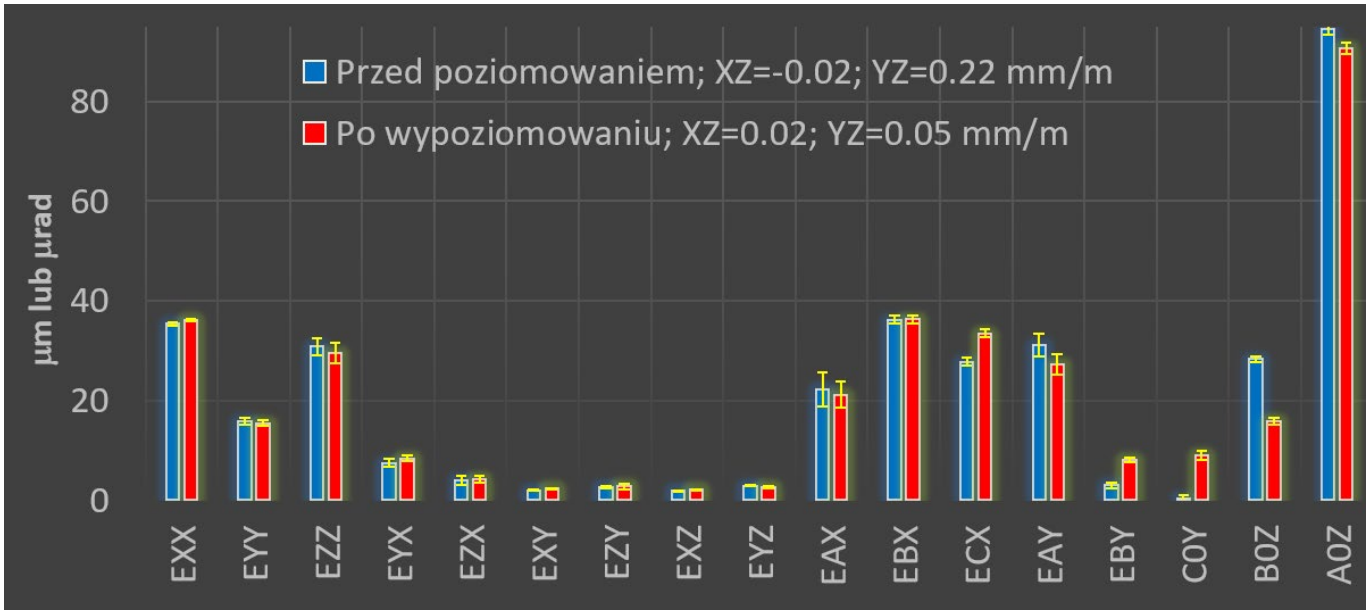
Badania zostały przeprowadzone w dwóch etapach. Pierwsze pomiary wykonano dla maszyny w stanie przed poziomowaniem. W stanie tym odchyłki w płaszczyznach odpowiednio wynosiły: XZ ≈ –20 oraz YZ ≈ 220 µm/m. Następnie pomiary powtórzono dla wypoziomowanego stołu maszyny, uzyskując odpowiednio w płaszczyźnie YZ odchyłkę dochodzącą do 50 µm/m, oraz w płaszczyźnie XZ ≈ 20 µm/m. W założeniach eksperyment ten miał potwierdzić, że lepsze wypoziomowanie stołu obrabiarki, zwłaszcza w płaszczyźnie YZ może zmniejszyć dominujący błąd prostopadłości wzajemnej osi obrabiarki AOZ, czyli błąd prostopadłości osi Y do Z. Przy takich założeniach spodziewaliśmy się (wg sugestii „eksperta"), że błąd AOZ osiągający wartość 90 µm/m dla maszyny w stanie przed poziomowaniem ulegnie istotnemu zmniejszeniu. Uzyskane rezultaty dla stanu przed oraz po wypoziomowaniu przedstawiono na rysunku 8.

Rys. 7 Widok poziomnic wykorzystanych do poziomowania stołu frezarki

PODSUMOWANIE

Wartości błędów kinematycznych pozycjonowania osi oraz ich prostoliniowości przed wypoziomowaniem i po wypoziomowaniu stołu obrabiarki osiągają różnice mieszczące się w zakresie niepewności ich wyznaczania. Dlatego należy stwierdzić, że poziomowanie stołu obrabiarki nie ma istotnego wpływu na wartości tych błędów. Pojawiły się natomiast różnice (większe od niepewności) w wartościach błędów rotacyjnych i prostopadłości osi. Różnice te są dodatnie lub ujemne. Czyli po poziomowaniu maszyny niektóre z tych błędów się powiększają, a inne zmniejszają. Utrudnia to jednoznaczną interpretację. Ale można stwierdzić, że bezwzględne wartości różnic omawianych błędów są nieduże, bo doszły maksymalnie do ok. 13 µm/m dla błędu prostopadłości BOZ, czyli prostopadłości osi X do Z. Absolutnie nie potwierdzono tezy, że polepszając poziomowanie w odpowiedniej płaszczyźnie można uzyskać istotną zmianę błędu prostopadłości wzajemnej osi obrabiarki. Jednak zakłada się tutaj, że nie popełniono rażącego niedbalstwa przy poziomowaniu, np. przez nadmierne napięcie jednej podpory obrabiarki. Ponad czterokrotne zmniejszenie, bo z 220 do 50 µm/m odchyłki poziomowania stołu w płaszczyźnie YZ spowodowało tylko zmniejszenie z 94 do 91 błędu prostopadłości osi AOZ (czyli osi Y do Z). Nie uzyskano zatem spodziewanego istotnego zmniejszenia błędu AOZ. Uzyskane rezultaty wskazują raczej, że jeśli maszyna ma błędy montażu elementów korpusowych i prowadnic, to poziomowanie stołu maszyny nie jest efektywną metodą postępowania przy minimalizacji ich wpływu na dokładność pozycjonowania osi.

Dla obrabiarki zaprezentowanej w tym artykule dokładność przestrzennego pozycjonowania centralnego punktu narzędzia względem nominalnej i trójwymiarowej ścieżki narzędzia osiągnęła wartość mniejszą od 4 µm. Odpowiada to



Rys. 8 Wartości rozstępu (tj. max-min) charakterystyk błędów kinematycznych frezarki przed oraz po wypoziomowaniu stołu; w układzie sterowania wyłączono funkcję korygowania błędu pozycji zadanej

poziomowi dwukierunkowej powtarzalności pozycjonowania, jaką deklaruje producent obrabiarki w badaniu jednej osi wg ISO 230-2. Uzyskanie tak imponującego wskaźnika charakteryzującego dokładność przestrzenną obrabiarki, jak pokazano w tym artykule, uzyskuje się obecnie po pomiarach wolumetrycznego błędu pozycjonowania osi (*volumetric error*) i zastosowaniu ich wyników do numerycznej kompensacji pozycji zadanej w układzie sterowania obrabiarki. Pomiary takie, np. z użyciem interferometru śledzącego, zarówno przed jak i po kompensacji błędów obrabiarki w jej sterowniku, można dzisiaj przeprowadzić w czasie jednej zmiany roboczej (tj. mniej niż 8 godzin).

Paweł Majda, Karol Miądlicki, Aleksandra Ogórska
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki

Jakub Grabiec
FANUC Polska Sp. z o.o.

Bibliografia:

1. J.M. Linaresa, J.Ch. Jacob, H. Schwenke, A. Longstaff, S. Fletcher, J. Flore, E. Uhlmann, J. *Wintering: Impact of measurement procedure when error mapping andcompensating a small CNC machine using a multilateration-laser interferometer*, Precision Engineering 38, 2014, pp. 578–588
2. H. Schwenkea, M. Franke, J. Hannaford, H. Kunzmannc: *Error mapping of CMMs and machine tools by a single tracking interferometer*, CIRP Annals, Vol. 54, Issue 1, 2005, pp. 475-478
3. S. Moustafa, N. Gerwien F. Haertig, K. Wendt: *Comparison of error mapping techniques for coordinate measuring machines using the plate method and laser tracer technique*, XIX IMECO World Congress Fundamental and Applied Metrology, September 6-11, 2009, Lisbon, Portugal
4. P. Majda: *Modelling of geometric errors of linear guideway and their influence on joint kinematic error in machine tools*, Precision engineering – Journal of the international societies for precision engineering and nanotechnology, 36, 2012, pp. 369–378

Programy open source do symulacji inżynierskich

Większość osób zaangażowanych w problematykę symulacji na pewno zdaje sobie sprawę z istnienia w szerokim spektrum oprogramowania na potrzeby analiz inżynierskich także programów należących do kategorii open source. W artykule przyjrzymy się tego typu programom, starając się przedstawić ich genezę i zasady działania. Przygotowując artykuł, autorzy oparli się na wymianie opinii i doświadczeń z twórcami tych programów i użytkownikami technologii.

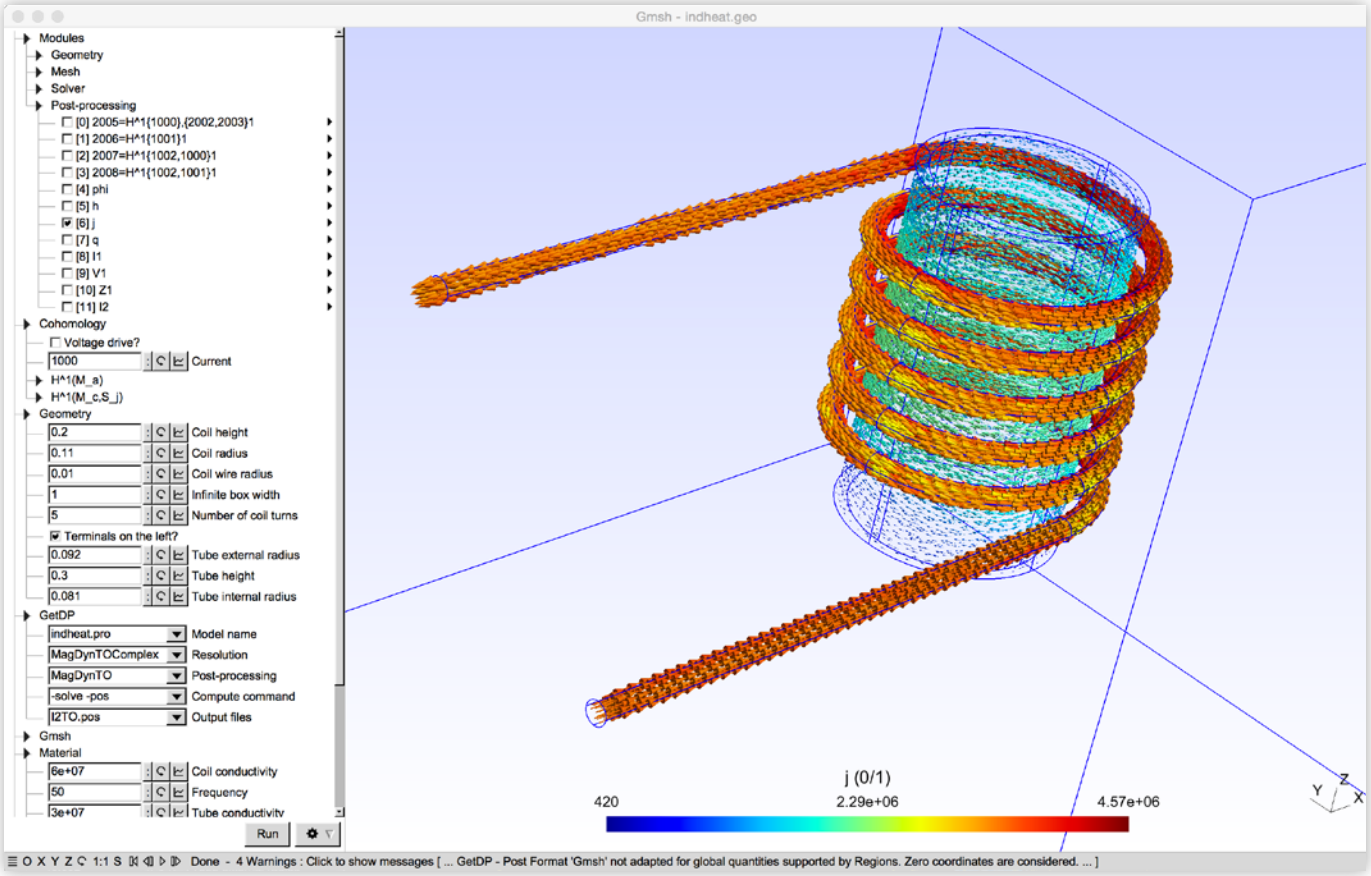
Márton Gróza, Dávid Felhős

Czym dla nas, inżynierów symulacji, jest oprogramowanie? Możemy je zdefiniować jako narzędzie, pomagające w realizacji wykonywanych zadań. Do realizacji każdego projektu musimy przygotowywać właściwe narzędzia, a także musimy dysponować odpowiednią wiedzą teoretyczną i praktycznym know-how. Podczas gdy wiedza teoretyczna jest przekazywana przez instytucje edukacyjne i akademickie, praktyczne know-how zdobywa się poprzez doświadczenie, niejednokrotnie przy wsparciu ze strony twórców oprogramowania. Mając na uwadze powyższe uwagi możemy się zagłębić w świat programów open source.

Oprogramowanie open source jest rozpowszechniane na podstawie różnego rodzaju postanowień licencyjnych, w ramach których właściciel-twórca nadaje użytkownikom prawa do obsługi, badania, wprowadzania zmian, a także udostępniania programów i ich kodu źródłowego komukolwiek, w jakimkolwiek celu [3]. Te prawa w wielu przypadkach są pod pewnymi względami ograniczone, dlatego należy starannie zapoznawać się z zasadami licencjonowania danego programu. Listę różnych rodzajów licencji można znaleźć na stronie internetowej: opensource.org/licenses [4].

By lepiej zrozumieć jak rozpoczyna się praca nad oprogramowaniem open source przyjrzyjmy się drodze, jaką przebył generator siatki trójwymiarowych elementów skończonych Gmsh [5]. Gmsh to jeden z najpopularniejszych generatorów siatki elementów skończonych 3D z wbudowanym silnikiem CAD. Jest rozwijany od lat, głównie za sprawą inicjatorów całego przedsięwzięcia, którymi są prof. Christophe Geuzaine z Uniwersytetu Liège i prof. Jean-François Remacle z Katolickiego Uniwersytetu Louvain. Z biegiem czasu Gmsh stał się oprogramowaniem wieloplatformowym, wyposażonym w moduły przygotowywania geometrii, generowania siatki, solvera i post-processingu. A wszystko zaczęło się jako projekt poboczny w ramach badań naukowych.

Około 1996 roku twórcy programu uświadomili sobie ile czasu tracą członkowie ich dwudziestoosobowego zespołu badawczego czekając w kolejce by skorzystać z jedynego stanowiska komputerowego, umożliwiającego przygotowanie siatki. Zainspirowani refleksją „jak trudne by to było, gdyby to zrobić samemu", zaczęli poświęcać wieczory na pracę nad kodem do siatkowania. Około roku 2005 zyskali pierwszego sponsora, spółkę energetyczną

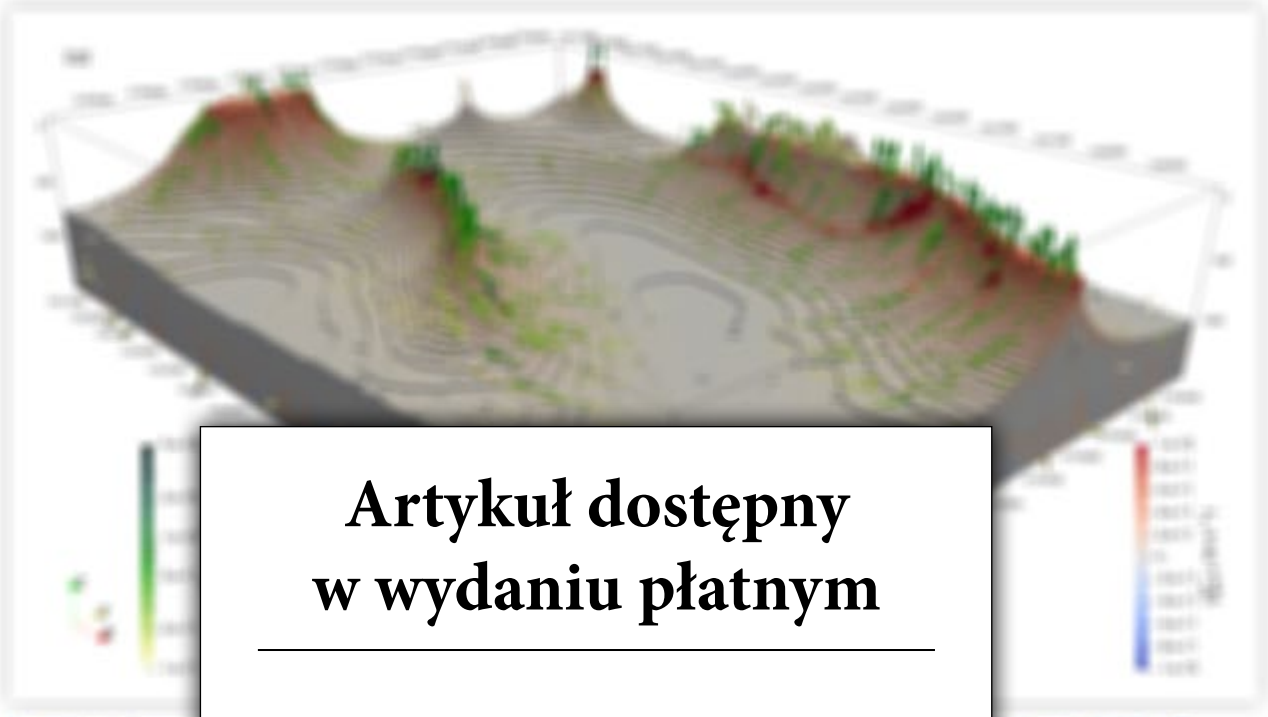


Interfejs użytkownika pakietu oprogramowania ONELAB (łączącego generator siatki Gmsh i solver GetDP) [2]

EDF [6]. W podobny sposób wiele innych programów open source zapoczątkowano w ramach projektów naukowych. Twórcami takiego oprogramowania są często naukowcy, koncentrujący się na aktualnych problemach badawczych. Tak docieramy do kolejnego przykładu, jakiego dostarcza historia, którą opowiedział nam dr Peter Råback, kierownik produktu i jeden z twórców programu Elmer FEM. Elmer jest znany przede wszystkim za sprawą możliwości wielofizycznych, przy czym obecnie jego rozwój koncentruje się na zagadnieniach elektromagnetycznych.

Rozwój Elmera był uwarunkowany rzeczywistymi problemami fizycznymi, napotkanymi podczas pracy badawczej. Co ciekawe, w konsekwencji np. element typu BEAM, jeden z najprostszych i najczęściej stosowanych w modelowaniu strukturalnym, został zaimplementowany tu dopiero w 2021 roku. Można więc dojść do wniosku, że prace nad oprogramowaniem otwartoźródłowym (open source) są ściśle powiązane z prowadzonymi badaniami naukowymi, nie pozostawiając czasu na wdrożenie bardziej podstawowych funkcjonalności, mniej atrakcyjnych z badawczego punktu widzenia.

Przyjrzawszy się początkom programów open source i okolicznościom, w jakich często powstają, przejdźmy teraz do zastosowań praktycznych, gdzie programy te nieraz spotykają się z komercyjnymi rozwiązaniami. Dla przykładu platforma 3D CAD – Open Cascade Technology (OCCT) [9] jest wykorzystywana zarówno w programach open source (FreeCAD, Salome, KiCad, Gmsh, FORAN), jak i w rozwiązaniach komercyjnych (CAD Processor, DMU Reviewer, Asset Revamping). Wspomniany wcześniej Gmsh może współpracować z komercyjnym Parasolid. Niektórzy autorzy oprogramowania, np. Simscale [11], Meshparts [12] czy CFDSupport [2] oferują komercyjne rozwiązania, wyposażone w interfejs przyjazny użytkownikom, zbudowane w oparciu o technologie open source typu OpenFOAM [13], Code_Aster [14] czy Calculix [15].



Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

www.konstrukcjeinzynierskie.pl
prenumerata@iter.com.pl

Projektowanie i konstrukcja obrabiarek

Pojęcie obrabiarki obejmuje znaczeniowo większość maszyn technologicznych budowanych w przemyśle elektromaszynowym lub ciężkim. Obrabiarki skrawające do metalu stanowią w tym pojęciu osobną grupę maszyn o specyfice obejmującej wiele zagadnień technicznych i fizycznych, i pewnym podejściu do budowy, projektowania i konstruowania tych maszyn.

Aleksander Łukomski

Projektowanie obrabiarek różni się od konstruowania. Jest procesem, w którym bierze się pod uwagę zakres oddziaływania projektowanej obrabiarki na bliższe i dalsze jej otoczenie, a także bardziej szczegółowo analizuje się jej możliwości wykonawcze i możliwe konfiguracje różnych rozwiązań obrabiarki. Natomiast konstruowanie jest jednym z elementów projektowania i obejmuje działania prowadzące w efekcie do wytworzenia dokumentacji technicznej, umożliwiającej wykonanie i eksploatację obrabiarki. Konstrukcja jest poprzedzona projektowaniem. Jest wiele rozważań i prób zdefiniowania tych procesów, które można znaleźć w odpowiedniej literaturze technicznej. Jednak poprzez analogię do budownictwa – do pracy architekta i konstruktora budowli – łatwiej jest te pojęcia wyodrębnić.

Proces projektowania może obejmować większy lub mniejszy zakres działań analitycznych, natomiast efektem konstruowania jest konkretna dokumentacja, której zakres jest zawsze znany i wynika z pewnych aktów prawnych i norm, oraz zasad obowiązujących w fizyce i technice. Bardzo często projektowanie przenika się z konstruowaniem i jest dokonywane przez ten sam zespół projektowo-konstrukcyjny lub tego samego projektanta-konstruktora. Obrabiarki ze względu na swoją złożoność prawie zawsze projektowane i konstruowane są przez zespół osób. Działania projektanta sprowadzają się w zasadzie do analizy i optymalizacji rozwiązań prowadzących do wyboru jednej z wielu koncepcji. Wielokrotne poddawanie ocenom i dokonywanie wyborów jest charakterystyczne dla procesu projektowego. Najczęściej ocenę całości projektu, często w stadium projektu wstępnego, dokonują kolegialne zespoły ekspertów i rzeczoznawców, np. komisje oceny lub rady techniczne, również z udziałem inwestora, który zleca wykonanie obrabiarki. Prawie zawsze działanie to dotyczy obrabiarki lub linii obróbczej specjalnej. Oceny dokonuje się wg pewnych ustalonych kryteriów, aby uniknąć ocen subiektywnych i arbitralnych. Kryteria te są zawarte w pogrupowanych zbiorach. Najważniejsze, przykładowe podano poniżej:

Kryteria działania, w których występują:

- dokładność obróbki, czyli jedno z najbardziej podstawowych kryteriów;
- wydajność obróbki, kryterium podstawowe dla doboru parametrów technologicznych;
- sztywność, kryterium decydujące o kształtach i wymiarach obrabiarki;
- trwałość, a nade wszystko trwałość dokładności;
- sprawność, która dotyczy zespołów przekładniowych i par ciernych.

Kryteria użytkowe:

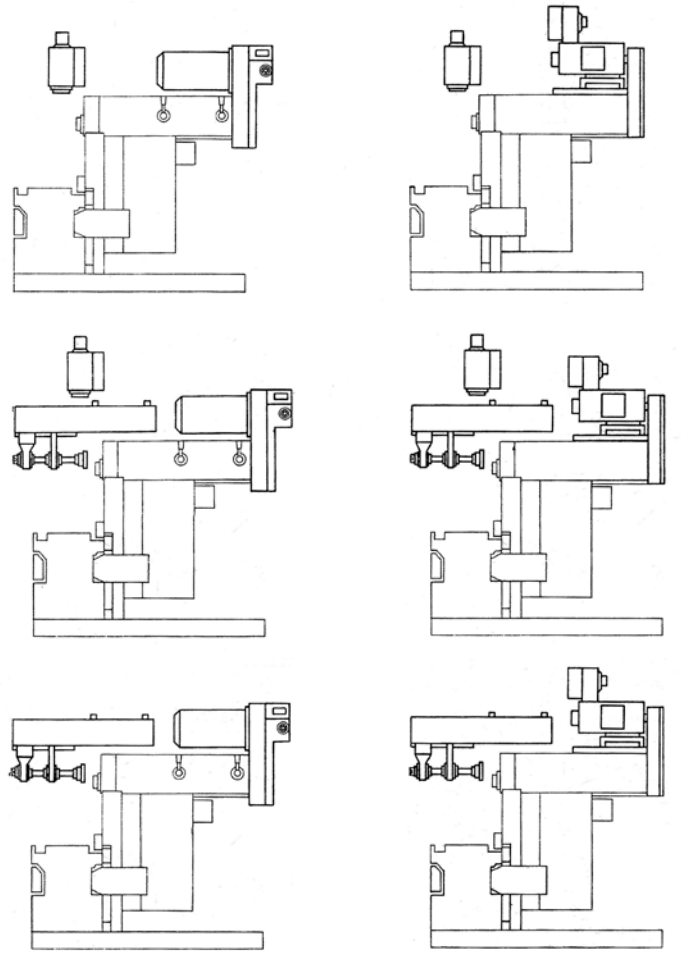
- wymiary przestrzeni roboczej, ustalane na podstawie przeznaczenia i zadań obróbkowych obrabiarki;
- zakres zadań obróbkowych, ustalany często na podstawie wymagań odbiorców;
- niezawodność, przedwczesna utrata zdolności produkcyjnych; ma szczególne znaczenie w obrabiarkach automatycznych i o złożonych cyklach pracy;
- pracochłonność przygotowania programów obróbczych i przezbrojenia obrabiarki, a także wymiana narzędzi;
- ergonomiczność, optymalizacja relacji między człowiekiem a obrabiarką, BHP, wygoda pracy, estetyka wyglądu zewnętrznego;
- pracochłonność i materiałochłonność napraw oraz eksploatacji.

Kryteria ekonomiczne:

- oszczędność materiałów i energii, prowadząca do minimalizacji użycia materiałów i energii;
- koszt wytwarzania, który powinien być współmierny do dokładności i wydajności obrabiarki;
- koszty eksploatacji, dążenie do minimalizacji tych kosztów, stosownie do przeznaczenia i efektów pracy obrabiarki;
- zajmowana powierzchnia, która może wywierać wpływ na układ nośny obrabiarki, np. pozioma lub pionowa;
- atrakcyjność i konkurencyjność, a więc wprowadzenie nieznanych dotąd rozwiązań.

Kryteria wytwórcze, w tym:

- technologiczność konstrukcji, polegająca na poprawnym technologicznie konstruowaniu, co ma wpływ na koszt wykonania i później utrzymaniu obrabiarki w trakcie eksploatacji;
- możliwości wykonania przy użyciu dostępnych środków technicznych, wymagająca od konstruktora znajomości dostępnych środków wytwórczych, takich jak obrabiarki, wydziały i zakłady;
- udział zespołów i części gotowych, normalnych i typowych, co upraszcza proces projektowania i konstruowania, sprzyja zwiększeniu niezawodności oraz zmniejsz koszty wykonania.



Rys 1 Różne rozwiązania konstrukcyjne tej samej frezarki uniwersalnej

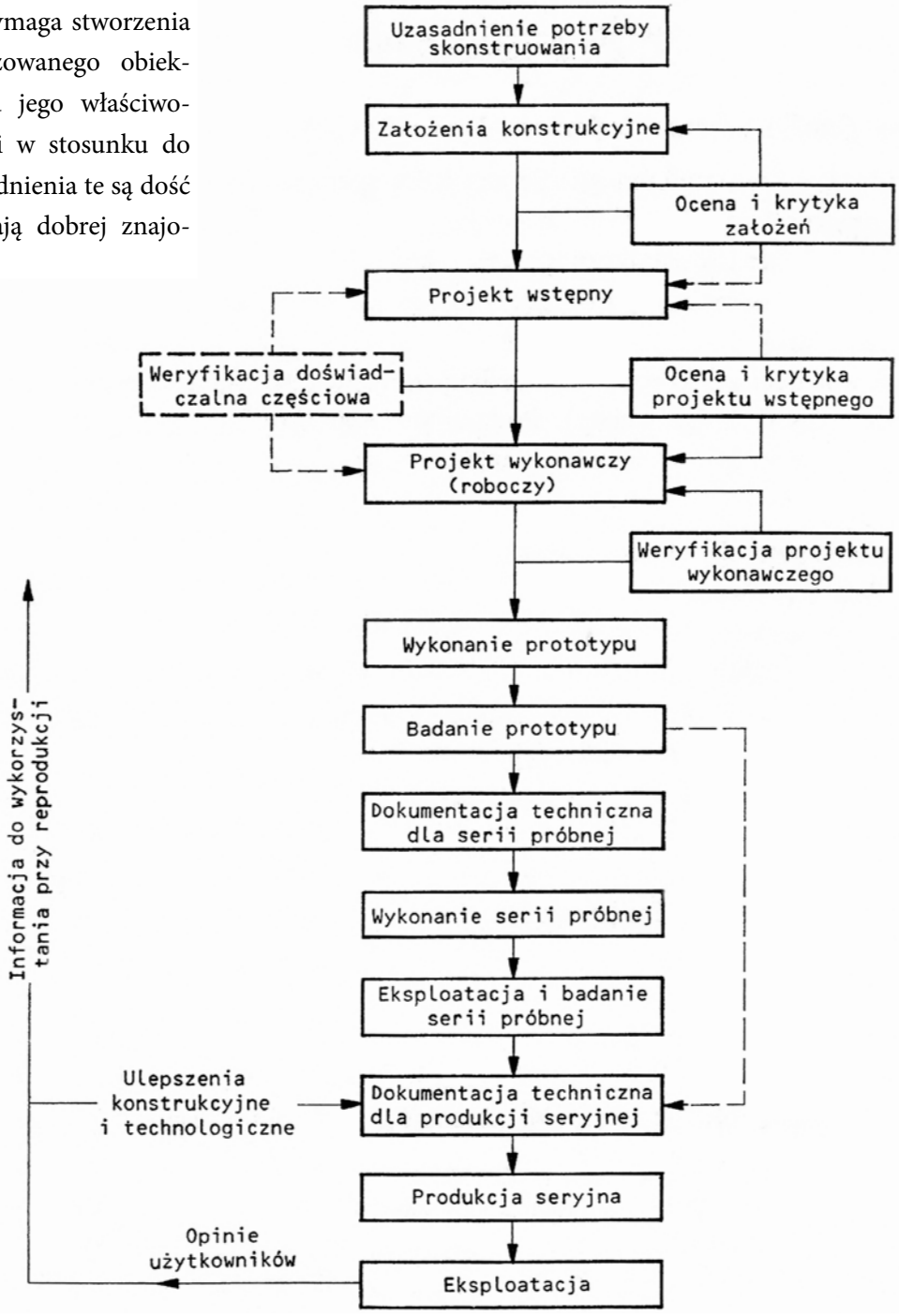
Powyżej podane kryteria mogą być uzupełniane lub modyfikowane. Za każdym z tych kryteriów kryje się odpowiednia procedura oceny obejmująca wyliczenia, tworzenie wykresów, analizy porównawcze, tu ze względu na ramy artykułu, jej zakres i omówienie pominięto.

Oceny konstrukcji obrabiarki według podanych kryteriów służą optymalizacji konstrukcji. Optymalizacja oznacza działania zmierzające do takiego rozwiązania problemu, które jest najlepsze ze względu na wybrane kryteria i spełnia zadane ograniczenia. Optymalny (łac. *optimus*) znaczy najlepszy, z określonych powodów. Rozwiązanie nie może być najlepsze w ogóle, może być jedynie optymalne ze względu na określone kryteria. Optymalizacja w procesie projektowania, to zabiegi metodyczne, polegające na doborze cech konstrukcji tak, żeby uzyskać wytwór najlepiej spełniający przyjęte kryteria. Każdy problem konstrukcyjny jest możliwy do

rozwiązania wieloma różnymi sposobami. Są różne metody optymalizacji, które występują w dwóch podstawowych grupach: heurystycznej i analitycznej. Metody heurystyczne są to wszelkie uporządkowane w jakiejś mierze wskazania, które pomagają w rozwiązaniu problemów bez przesądzania z góry osiągnięcia zamierzonego wyniku. Wymaga to rzetelnej wiedzy, doświadczenia i zdrowego rozsądku projektanta-konstruktora. Stosowanie analitycznych metod optymalizacji wymaga stworzenia matematycznego modelu analizowanego obiektu, czyli matematycznego opisu jego właściwości: cech strukturalnych i relacji w stosunku do oddziaływań zewnętrznych. Zagadnienia te są dość trudne i obszerne oraz wymagają dobrej znajomości matematyki wyższej, jak również umiejętności graficznego przetwarzania wyników optymalizacji.

Projektowanie obrabiarki powinno zakończyć się dokumentacją przynajmniej w stadium koncepcji. Powinien powstać rysunek obrabiarki z pokazaniem ważnych i istotnych zespołów i wymiarami gabarytowymi, oraz wymiarami głównych zespołów i przestrzeni roboczej. Powinny być podane parametry technologiczne obrabiarki i opis sposobu działania. Na tym etapie powinna być również przynajmniej wstępna ocena zgodności z zasadniczymi wymaganiami oraz innymi wymaganiami prawnymi, np. rozporządzeniami branżowymi i innymi przepisami. Również obliczenia przynajmniej wstępne geometryczne, kinematyczne i wytrzymałościowe oraz schematy – kinematyczny, hydrauliczny i pneumatyczny oraz smarowania. Także opisany wstępnie system sterowania oraz wyniki analiz.

Często zdarza się, że zespół projektantów opracowujący projekt obrabiarki kontynuuje później wykonanie dokumentacji technicznej



Rys. 2 Przykładowy algorytm działań przy powstawaniu nowej obrabiarki powszechnego użytku

Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

www.konstrukcjeinzynierskie.pl
prenumerata@iter.com.pl

INŻYNIERIA ODWROTNA (*Reverse Engineering*) w CATIA 3DEXPERIENCE

cz. 5

Jeśli rezultat skanowania wskazuje na konieczność rekonstrukcji powierzchni swobodnych, to ich definicja może być wykonana podobnie jak w „klasycznym" modelowaniu powierzchniowym, czyli za pomocą krzywych. Jednak zastosowanie poleceń typu *Multi-sections Surface, Sweep* czy *Blend* byłoby mało efektywne, bo takie zadanie musi uwzględniać nie tylko krzywe, ale także najlepsze dopasowanie do siatki wygenerowanej na podstawie rezultatu skanowania.

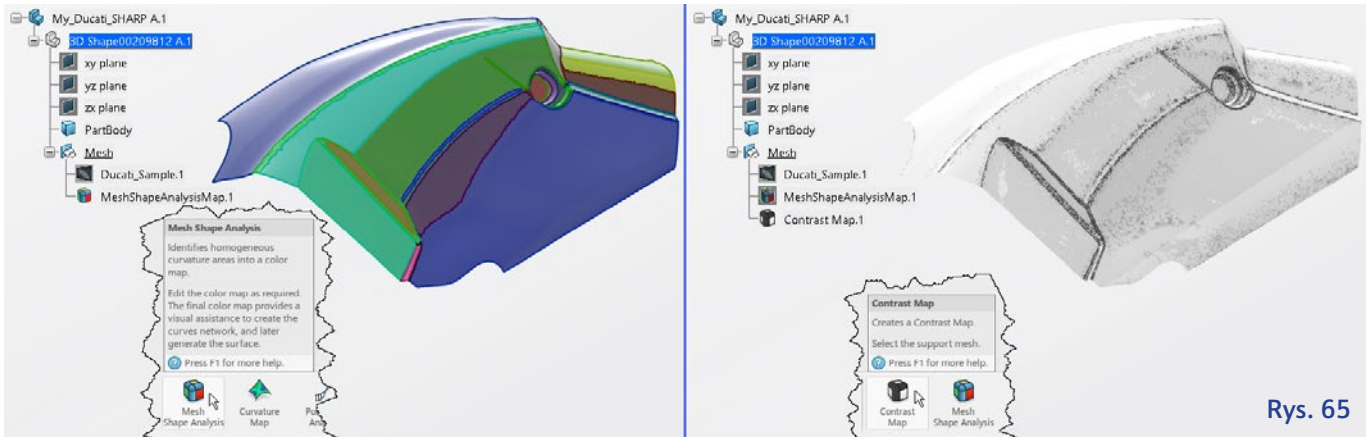
Andrzej Wełyczko

W każdym procesie rekonstrukcji modelu powierzchniowego, który bazuje na krzywych, musimy mieć na uwadze podstawową zasadę: model powierzchni jest tak dobry, jak dobre są krzywe zastosowane w jego definicji. Co to jest dobra krzywa? Dobra krzywa to taka, która ma wymagany rozkład krzywizny, czyli płynną zmianę promienia krzywizny bez niepożądanych punktów przegięcia. W procesie rekonstrukcji na podstawie rezultatu skanowania istotna jest także jakość wejściowej chmury punktów, bo ta w istotny sposób wpływa możliwą do uzyskania dokładność rekonstrukcji oraz na rozkład odległości definiowanych krzywych i powierzchni od siatki (*mesh*). Przecież dobra, czyli gładka krzywa nie musi leżeć na rekonstruowanej siatce, która z natury nie jest idealna. I tu pojawia się pytanie: w jaki sposób efektywnie zdefiniować takie krzywe?

PRZYKŁAD 5

W procesie rekonstrukcji dla zadanej siatki można zdefiniować krzywe brzegowe (polecenie *Free Edges*) lub przekroje (polecenia *Planar Sections* oraz *Curve from Scan*). Jednak to rozwiązanie nie jest efektywne, bo takie krzywe nie mogą być modyfikowane. Ponadto płaskie krzywe przekrojowe tylko z pewnym przybliżeniem pozwalają odtworzyć kształt powierzchni z uwzględnieniem krzywych charakterystycznych. Czym są krzywe charakterystyczne? Te są najlepiej widoczne po zastosowaniu jednego z poleceń do analizy siatki (Rys. 65):

- *Mesh Shape Analysis* – granice kolorów wskazują krzywe charakterystyczne,
- *Contrast Map* – obszary ciemne, czyli takie, dla których promień krzywizny jest mały są wskazówką, gdzie należy zdefiniować krzywe charakterystyczne.



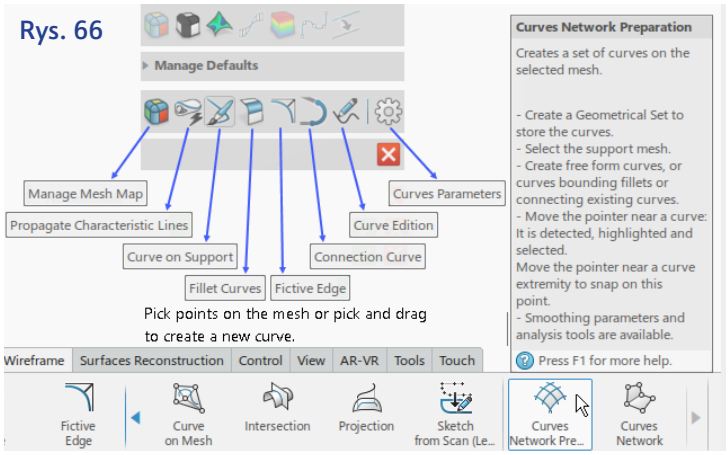
Rys. 65

Najbardziej efektywną metodą rekonstrukcji takiego modelu jest definicja siatki krzywych (krzywe krawędziowe, charakterystyczne oraz jeśli trzeba krzywe pomocnicze) i w kolejnym kroku definicja płatów powierzchni pomiędzy tymi krzywymi. Jeśli celem jest rekonstrukcja modelu powierzchniowego za pomocą krzywych edytowalnych, to najlepiej zastosować polecenie *Curves Network Preparation* (Rys. 66), które w sposób kompleksowy wspomaga definiowanie różnego typu krzywych:

- *Propagate Characteristic Lines* – rozpoznawanie i definicja krzywych charakterystycznych,
- *Curve on Support* – definiowanie krzywych użytkownika (powiązanych z siatką),
- *Fillet Curves* – definiowanie krzywych dla powierzchni typu Fillet,
- *Fictive Edge* – definiowanie fikcyjnych krawędzi,
- *Connection Curve* – definiowanie krzywych łączących wcześniej zdefiniowane krzywe.

Domyślne parametry modelu matematycznego każdej z powyższych krzywych (stopień krzywej i liczba segmentów) oraz maksymalna odległość od siatki mogą być ustalone za pomocą polecenia

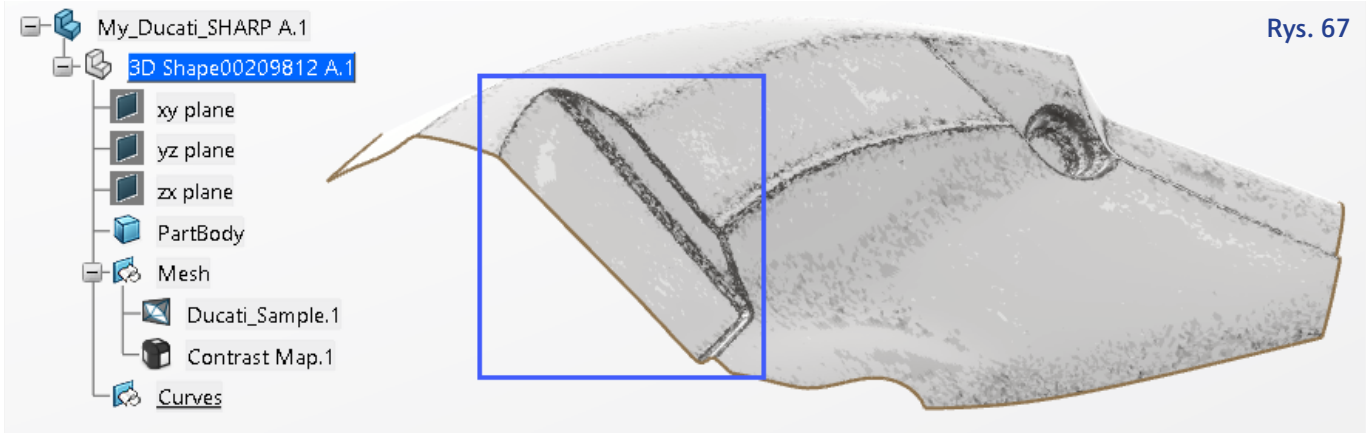
Rys. 66



Curves Parameters, a definicja każdej krzywej może być modyfikowana za pomocą polecenia *Curve Edition*.

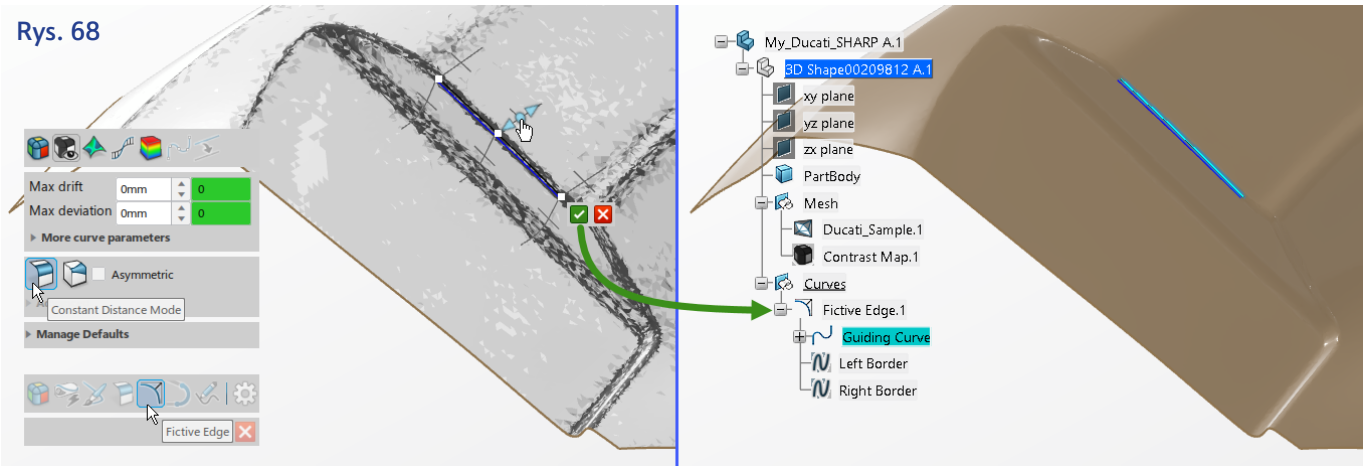
Rozważmy rekonstrukcję (*My_Ducati_SHARP* na Rys. 67) modelu powierzchniowego z ostrymi krawędziami, które oczywiście w kolejnym kroku powinny być odpowiednio „zaokrąglone". Jak zdefiniować fikcyjne krawędzie we wskazanym obszarze?

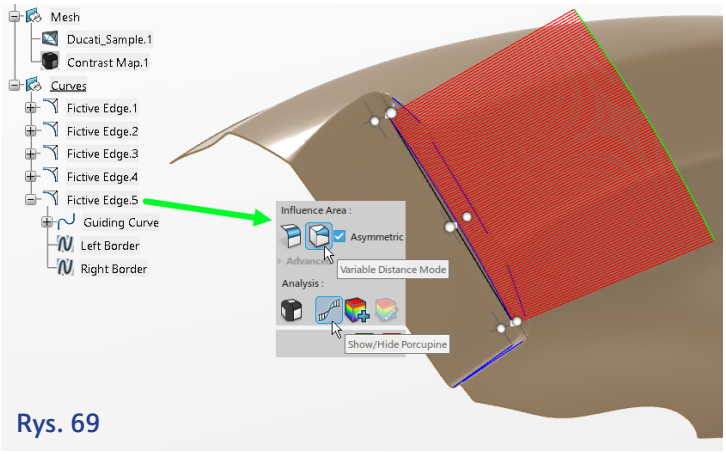
Krawędź fikcyjna, to krawędź wspólna dwóch sąsiednich płatów powierzchni przed jej zaokrągleniem, którą trzeba zrekonstruować na podstawie siatki i następnie zastosować w definicji



Rys. 67

Rys. 68



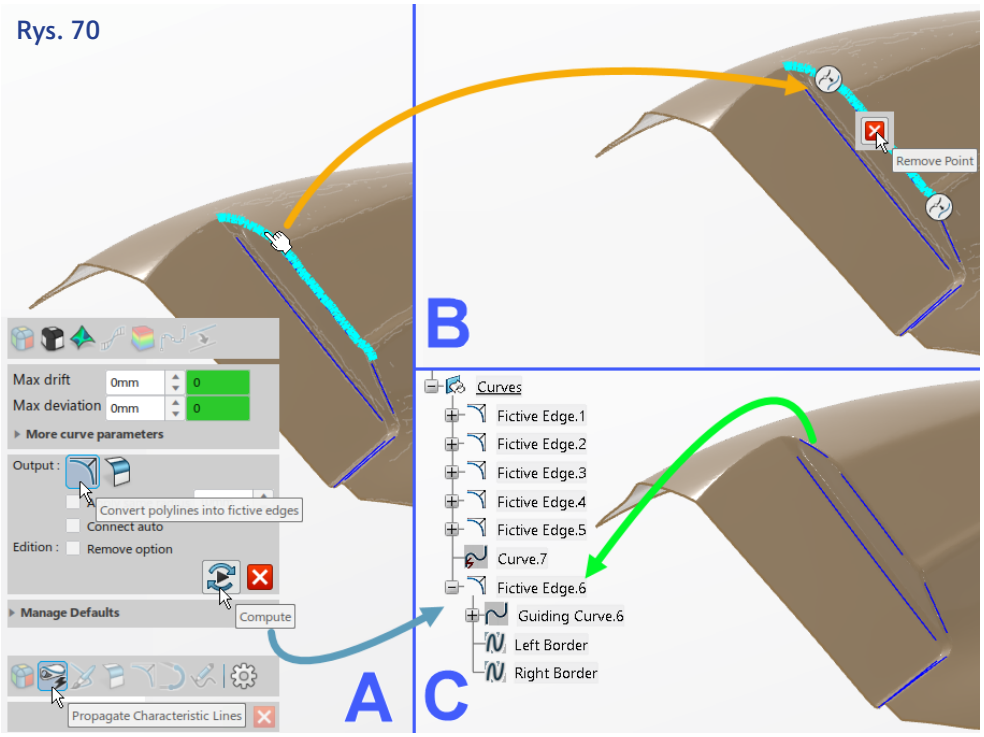


Rys. 69

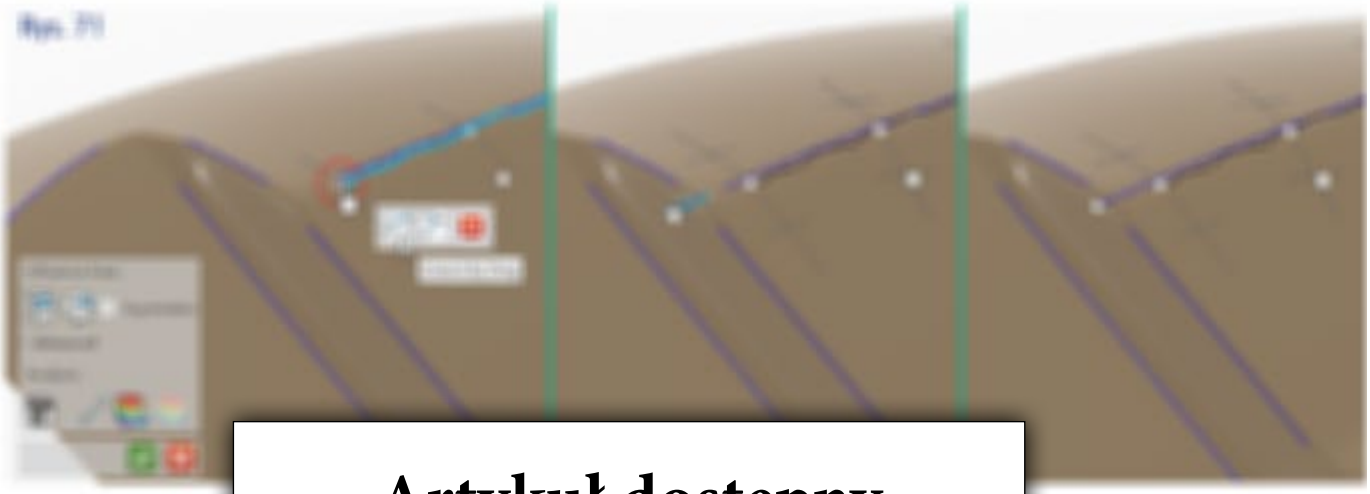
rekonstruowanych powierzchni. W tym celu zastosujemy polecenie *Fictive Edge* (Rys. 68), które jest dostępne po uruchomieniu polecenia *Curves Network Preparation*. Po wskazaniu punktów siatki system tworzy krzywą prowadzącą *Guiding Curve* (zdefiniowaną za pomocą wskazanych punktów siatki), a następnie analizuje sąsiadujące ze sobą obszary siatki (czyli fikcyjne powierzchnie) i proponuje fikcyjną krawędź wspólną tych powierzchni (tu *Fictive Edge.1*), której kształt jest zależny od:

- Wskazanych punktów siatki (to oczywiste),
- Wielkości obszarów siatki (po obu stronach fikcyjnej krawędzi), które mają wpływ na definicję fikcyjnej krawędzi – te mogą być modyfikowane za pomocą suwaka: symetrycznie po obu stronach krawędzi lub asymetrycznie (aktywny tryb *Asymmetric*),
- Typu zaokrąglenia fikcyjnej krawędzi: *Constant Distance Mode* lub *Variable Distance Mode*.

Rys. 70



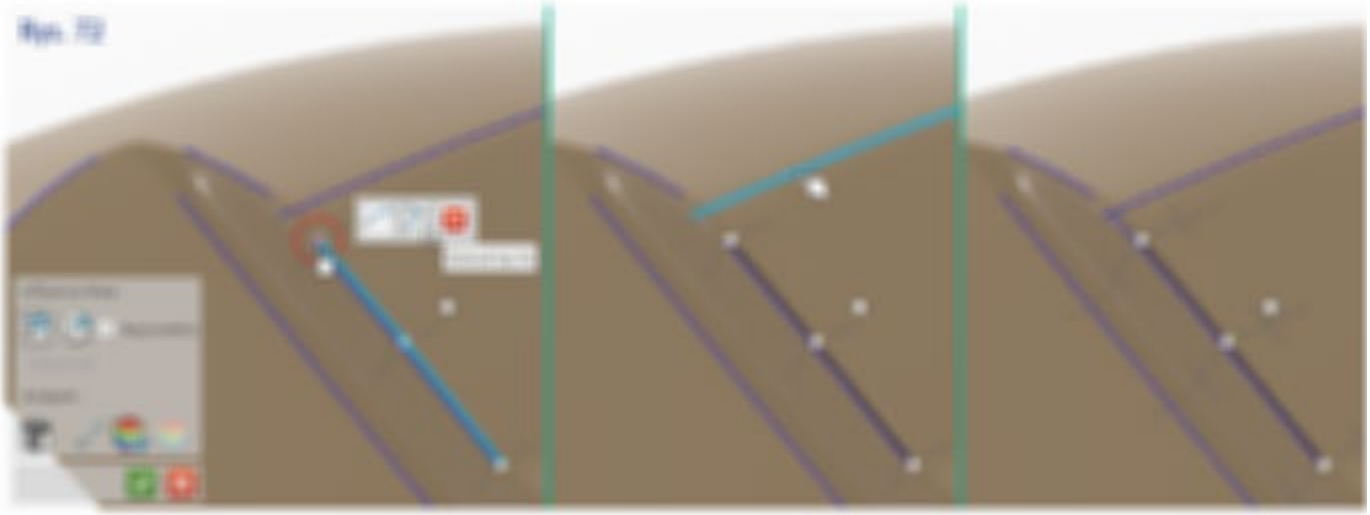
Kształt każdej, zdefiniowanej w taki sposób fikcyjnej krawędzi, może być dowolnie modyfikowany (Rys. 69): zmiana położenia punktów na siatce, dodanie lub usunięcie punktu, zmiana trybu z *Constant Distance Mode* na *Variable Distance Mode* czy włączenie trybu *Asymmetric*. Po wykonaniu każdej modyfikacji warto sprawdzić rozkład krzywizny krzywej, bo jak wspomniałem na wstępie dobre krzywe gwarantują dobrą jakość powierzchni zdefiniowanych za ich pomocą.



Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

www.konstrukcjeinzynierskie.pl
prenumerata@iter.com.pl



Czeska Bohema

Praga, czeska marka znana pasjonatom historii motoryzacji, ma za sobą burzliwe dzieje. W jej zakładach produkcyjnych powstawały niegdyś samochody, motocykle, ciężarówki, autobusy, ciągniki rolnicze, a nawet czołgi i samoloty. W latach 90-tych, po trzydziestu latach przerwy, Praga wróciła do produkcji ciężarówek i zwróciła na siebie uwagę odnoszącymi sukcesy motocyklami enduro. To właśnie w sportach motorowych ujawniły się ambicje marki. Pojazdy Pragi sprawdziły się w rywalizacji sportowej, od enduro i gokartów po rajd Dakar i wyścigi wytrzymałościowe serii Britcar. Prawdziwym marzeniem Pragi był jednak powrót na szosy. Spełnieniem tych marzeń jest nowy samochód marki, nazwany Bohema. Seria 89 egzemplarzy nowego modelu ma uczcić 89 rocznicę zwycięstwa Pragi w wyścigu 1000 mil Czechosłowacji i otwiera nowy rozdział w historii marki.

Jacek Zbierski

W 1933 roku w Czechosłowacji zorganizowano międzynarodowy wyścig uliczny na trasie Praga-Bratysława-Praga, zainspirowany włoskim wyścigiem Mille Miglia. W pierwszej edycji wyścigu zwyciężył Petr Mucha, kierowca wyścigowy, a zarazem konstruktor Pragi, za kierownicą modelu Alfa. Praga Alfa, z wykonanym z magnezu sześciocylindrowym silnikiem o pojemności 1,8 l, startowała w kategorii 2000 cm^3, ale pokonała również zagraniczne konstrukcje, startujące w kategorii bez limitów, takie jak Bugatti czy Chrysler. Sukces zapoczątkował sportową tradycję marki, do której Praga powróciła w XXI wieku, po długiej przerwie, również odnosząc sukcesy. W listopadzie tego roku Ian Roberts za kierownicą Pragi R1 dwukrotnie zajmował pierwsze miejsce w ramach drugiej rundy wyścigów Gulf ProCar, pokonując takie auta jak Ferrari 488 Challenge EVO czy Porsche GT3 Cup. Wyścigowa Praga R1 z czterocylindrowym, turbodoładowanym silnikiem o pojemności 1998 cm^3 i mocy 365 KM, ważąca zaledwie 643 kg stanowi demonstrację potencjału zespołu konstrukcyjnego Pragi. Czescy inżynierowie postanowili jednak pójść krok dalej i zbudowali model Bohema, zaliczany do klasy supersamochodów.

Praga Bohema w założeniu miała być samochodem osiągającym na torze wyścigowym wyniki porównywalne do aut z grupy GT3, ale jednocześnie homologowanym i zdolnym do normalnej jazdy szosowej. Kolejnym celem,

Praga R1

Juraj Mitro, główny projektant Pragi przy pracy nad Bohemą

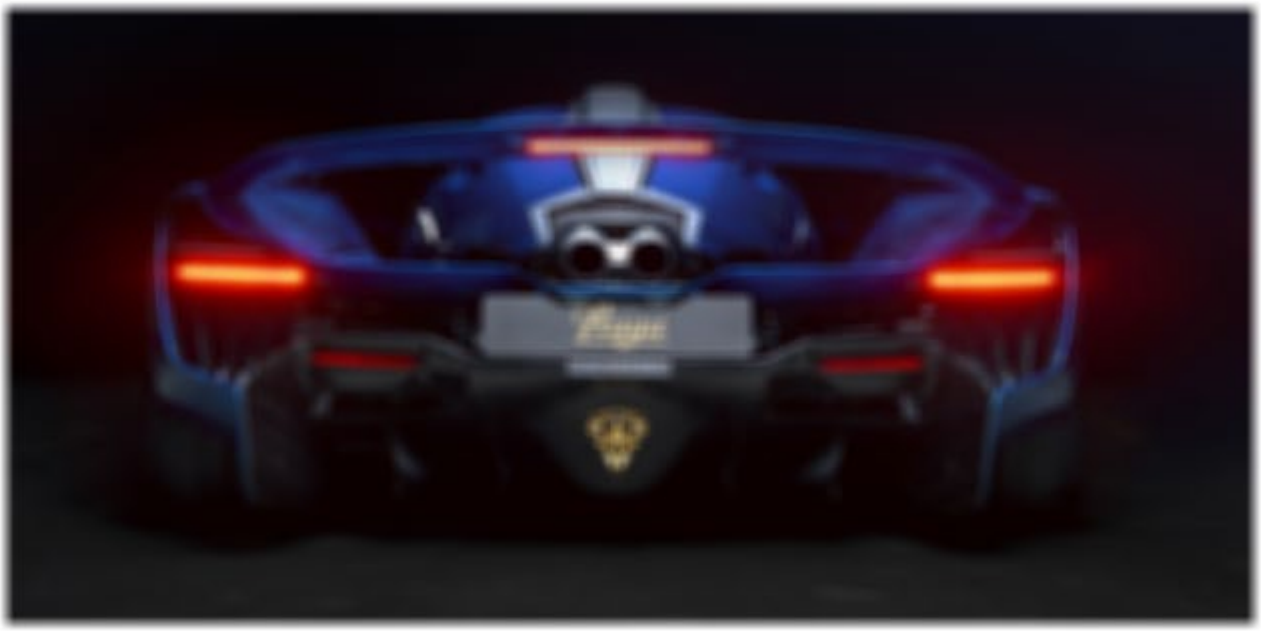
Praga Bohema wewnątrz

Wszechobecne kompozyty węglowe: detale aerodynamiczne Bohemy

Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

www.konstrukcjeinzynierskie.pl
prenumerata@iter.com.pl



Citroën Oli

Paryski Mondial de l'Auto 2022 zapowiadał się niezbyt ciekawie z punktu widzenia techniki samochodowej. Zanosiło się na to, że podobnie jak na innych tego typu ekspozycjach w ostatnich latach, najciekawsze będą klasyki. Tymczasem Citroën przygotował niespodziankę.

Ryszard Romanowski

Zaprezentowany koncept Oli to coś zupełnie innego od lansowanych powszechnie rozwiązań. Dyrektor generalny Citroëna Vincent Cobée nie krył, że nazwa nowego modelu nawiązuje do spuścizny po modelu Ami i jego ostatniego, elektrycznego wcielenia. Ten niewielki samochodzik miał być krokiem do zagwarantowania mobilności dla każdego. Oli to już stosunkowo duże auto zbudowane zgodnie z tą samą „filozofią".

– Modę na „więcej" zamieniamy na konstrukcyjne „wystarczająco", dając tyle ile trzeba, zamiast 2,5-tonowego pałacu na kółkach, pełnego gadżetów. Chcemy zapewnić niedrogą mobilność, biorąc pod uwagę ograniczenia ekonomiczne i niepewność zasobów. Era obfitości dobiega końca, między innymi z powodu zaostrzających się przepisów i rosnących kosztów – mówił Cobée.

Warto nieco rozwinąć zagadnienie popularności dużych samochodów typu SUV. Wszystko zaczęło się gdzieś w okolicach kryzysu 1974 roku. Wtedy to rosnące cła na amerykańskie towary spowodowały potrzebę zwiększenia mobilności małych przedsiębiorców. Powstawać zaczęły małe ciężarówki. Przepisy ekologiczne, nawet tak ostre jak kalifornijskie, traktowały te pojazdy na równi z ciężarówkami, zwalniając z większości obostrzeń. Małe ciężarówki robiły się coraz bardziej luksusowe i coraz częściej kupowane przez osoby niezwiązane z żadnym małym biznesem.

Tymczasem przepisy się nie zmieniały. W przypadku samochodów osobowych wciąż podnoszono normy emisji i bezpieczeństwa. Van'ów i pick-up'ów, za oceanem zwanych truckami (nawet bez przedrostka mini) zmiany nie dotyczyły. Miał się tym

zająć rząd Ronalda Reagana, ale miał więcej poważniejszych spraw na głowie. Tymczasem ogromne pojazdy, być może na zasadzie tzw. *american dream* stawały się coraz większymi obiektami pożądania na innych kontynentach, szczególnie w Europie. Tak to wyglądało w wielkim skrócie.

Zobaczmy teraz jak w kontekście regulacji prawnych prezentuje się stan motoryzacji na starym kontynencie. Również w wielkim skrócie, bo temat zapewne kiedyś doczeka się specjalnego ogólnodostępnego opracowania, które zajmie dziesiątki stron. Nie od rzeczy jest przy tym pamiętać o ciągłym rozwoju techniki motoryzacyjnej. Mamy znacznie większą paletę materiałów niż jeszcze dwie, trzy dekady temu. Parametry silników i ich „czystość" znacznie wzrosły. Można więc produkować lekkie, praktyczne i bezpieczne samochody o niewielkiej emisji, poczynając od najmniejszych – segmentu A, poprzez pozostałe segmenty. Nawet zachowanie rozwiązań spełniających wysokie standardy bezpieczeństwa nie wpływa w drastyczny sposób na wzrost masy samochodu.

Tu mała dygresja. W latach siedemdziesiątych najbardziej restrykcyjne wówczas przepisy USA ujednoliciły zderzaki. Podniosło to znacznie poziom bezpieczeństwa, chociaż straszliwie popsuło wygląd eksportowanych za Atlantyk samochodów europejskich. Obecnie podczas kolizji auta typu SUV z normalnym samochodem osobowym prawdopodobieństwo śmierci pasażerów tego ostatniego sięga niemal 50%. Po prostu działają prawa fizyki.

Liczba najmniejszych modeli stojących w salonach dilerskich gwałtownie maleje. Nowe wersje takich modeli jak np. Toyota Aygo czy Renault Clio gwałtownie „tyją". Analitycy przepowiadają, że przyszłością motoryzacji są wielkie auta umownie określane nazwą SUV.

Niewiele się pisze o tym, że wpływa na to prawodawstwo. Ustalono nieraz bardzo karkołomne przepisy, dotyczące emisji wprowadzanych na rynek samochodów. Określono np. że emisja dwutlenku węgla nie może przekraczać 95 g na kilometr. Wprowadzono wyjątki. Jeżeli samochód jest cięższy o 100 kilogramów niż 1200 kg, jego emisja może być wyższa o 3,39 g i tak co 100 kg. W praktyce kary egzekwowane są za auta segmentu A i większość samochodów segmentu B. Można dojść do wniosku, że ich produkcja staje się coraz mniej opłacalna dla dużych koncernów samochodowych.

Citroën Oli (z lewej) i Ami (z prawej) – oba są elektryczne, ale każdy jest inny

Ciekawe dane dotyczące polskiego rynku opublikował IBRM Samar. Dotyczą one zmian, jakie zaszły od roku 2000 do 2022. W tym czasie udział sprzedaży modeli SUV wzrósł z 0,8% do 50% rynku. Średnia moc sprzedanych samochodów wzrosła z 73,1 KM do 166,9 KM, przy wzroście średniej pojemności skokowej z 1,31 do 1,64 l. Średnia cena sprzedanego samochodu wzrosła z 40.097 zł do 162.164 zł.

Powyższy wywód nie ma na celu deprecjonowania SUV'ów. Z całą pewnością jest to segment aut przydatnych dla pewnej grupy osób. Chodzi bardziej o działania marketingu, który potrafi tworzyć osobliwe mody w skali globalnej, mając na celu maksymalizację zysków.

Powróćmy do Citroëna. Oli zaskoczył wyglądem nawet tych, którzy już zdążyli się przyzwyczaić do

ekstrawagancji stylistycznych Citroëna, które po latach stawały się „kultowe". Wystarczy przypomnieć modele 2CV, DS, Ami, Mehari czy dostawcze H.

Szef działu projektowego Rene Leclerq opowiadając o bryle auta zauważył, że żadna inna firma nie odważyłaby się na połączenie wyłącznie kontrastujących linii poziomych i pionowych. W przypadku tego projektu kierowano się obowiązującą od lat zasadą wzornictwa przemysłowego, która przede wszystkim podkreśla funkcjonalność, uzależniając od niej estetykę bryły.

W konstrukcji modelu Oli użyto takiej ilości materiałów, jaka naprawdę jest potrzebna. Podczas projektowania zwracano szczególną uwagę na niską masę własną oraz wykorzystanie w jak największym stopniu materiałów z recyklingu, nadających się do ponownego odzysku. Założeniami projektu były: przystępność cenowa, trwałość i długowieczność. Zbudowano swoiste laboratorium na kołach.

Samochód waży niespełna 1000 kg. Ograniczono prędkość maksymalną do 110 km/h uznając, że większa i tak jest zabroniona na drogach Francji, chyba że na suchej autostradzie.

W efekcie stosunkowo niewielki akumulator zapewniający 10 kWh/100 km pozwala osiągnąć zasięg 400 km. Ładowanie od 20 do 80% trwa 23 minuty. Przy czym można wykorzystywać funkcje ładowania dwukierunkowego V2G i V2L. Produkowane auta o tym zasięgu i podobnych gabarytach zwykle mają dwa razy większe akumulatory.

Jak stwierdził szef działu projektowego, producenci wpadają w błędne koło – zwiększając zasięg powiększają akumulatory, a tym samym masę pojazdu.

W nowym Citroënie usunięcie głośników, materiałów wygłuszających i okablowania pozwoliło obniżyć masę o 7 kg, czyli o 20% w stosunku do tradycyjnych rozwiązań. Oszczędności masy sprzyja również ciekawy, trapezowy system otwierania okien.

Zderzaki, płaskie panele skrzyni pick-upa, przeszklenia, wykonano z lekkich materiałów. Przy czym dach, panele skrzyni i maskę wykonano z... tektury, o strukturze plastra miodu, pochodzącej z recyklingu. Ten materiał najbardziej zaskoczył zwiedzających. Tymczasem zalety tektury doceniono już podczas II wojny wykonując z tego materiału dodatkowe zbiorniki paliwa dla myśliwców.

Panele o strukturze plastra miodu wykonano z... tektury

Szkieletowo-siateczkowe fotele

Minimalistyczna deska rozdzielcza

W felgach zastosowano rozwiązanie tkwiące korzeniami w USA. Zamiast drogich felg aluminiowych wykorzystano stalowe obręcze z wnętrzem zbudowanym ze stopu aluminium. Takie rozwiązanie nie tylko obniża znacznie koszty, ale jest również bardziej odporne na typowe uszkodzenia.

W samochodzie koncepcyjnym zastosowano specjalnie dla niego zaprojektowane i również koncepcyjne opony Goodyear Eagle GO. Gwarantują one dobrą przyczepność w różnych warunkach, przy bardzo niskich oporach toczenia.

Kolejnym nietypowym rozwiązaniem jest rezygnacja z kosztownego oprogramowania takich firm jak np. Microsoft. Oli może „odpalić" bez dodatkowej elektroniki. Konstruktorzy wyszli z założenia, że niemal każdy nosi przy sobie smartfon. Po co więc dublować aplikacje lub narzucać je klientowi. System „przynieś własne urządzenie" wymaga jedynie umieszczenia telefonu w otworze na desce rozdzielczej. Możemy wtedy połączyć aplikacje telefonu z elektroniką samochodu i korzystać z tego, do czego jesteśmy przyzwyczajeni.

Koncepcyjna opona Eagle GO na koncepcyjnej, stalowo-aluminiowej feldze

Wnętrze Oli jest niezwykle praktyczne. Fotele mają siatkowe oparcia, a podłoga wykonana jest z tworzywa podobnego do tego, z którego wykonuje się podeszwy butów sportowych. Wszystko jest lekkie, funkcjonalne i trwałe.

Oglądanie nadwozia Citroëna Oli niektórych szokuje, a już na pewno wywołuje pytanie, gdzie podziała się aerodynamika, która podobnie jak masa działa na zużycie energii.

Okazuje się, że pionowa przednia szyba jest nieco myląca. To ukształtowanie maski sprawia, że podczas jazdy przed szybą tworzy się poduszka powietrzna, pozwalając na niezakłócony przepływ powietrza od krańca maski poprzez płaski panel dachowy, tzw. Air Duct.

Wnętrze Oli pozwala na różnorodne konfiguracje, co akurat w przypadku marki Citroën nie jest niczym nowym.

Samochód ten byłby niemal niezniszczalny, gdyby wszedł do produkcji, a jego dalsze losy przebiegały po myśli projektantów. Konstrukcja samochodu zapewnia łatwe naprawy. Samochód po załóżmy pięcioletniej eksploatacji zostaje odnowiony przez wymianę części, takich jak np. panele nadwozia, przeszklenia, elementy wnętrza. Auto ma wtedy zalety nowego samochodu, lecz jego cena spada, odpowiednio do rocznika. Konstruktorzy przewidują, że takie zabiegi można będzie przeprowadzać przez co najmniej piętnaście lat. Kolejny nabywca kupi lub wyleasinguje np. 10-letni pojazd o właściwościach fabryczne nowego. Zużyte, wymienione części poddane zostaną recyklingowi, do czego przygotowane zostały już na etapie projektowania.

Szkoda, że koncepcyjny Oli nigdy jednak nie wejdzie do produkcji. Ciekawa by była wersja spalinowa. Niestety, ten model pozostanie jeżdżącym laboratorium.

Rozwiązania z tego konceptu niebawem pojawią się w nowszych modelach marki. Będzie można obserwować jak ma się realny świat motoryzacji do wizji projektantów.

Ryszard Romanowski

citroen.com

Who cares?

Jak wynika z cyklicznego badania EKO- coś tam, aż 65% Polaków opowiada się za wprowadzeniem w Polsce przepisu zakazującego sprzedaży owoców i warzyw w plastikowych opakowaniach. Ktoś, kto się trochę orientuje w ankietowaniu ludzi wie, że żeby uzyskać taką informację, w ankiecie musiało zostać postawione konkretne pytanie – czy chcesz, żeby zakazać tego czy tamtego.

Tomasz Gerard

Artykuł dostępny w wydaniu płatnym

SPRAWDŹ
jak zamówić wydanie

www.konstrukcjeinzynierskie.pl
prenumerata@iter.com.pl

PRENUMERATA

PRENUMERATA ROCZNA

e-wydanie: 1 egzemplarz na 1 komputer (dla wielu użytkowników) lub dla 1 osoby (na wiele urządzeń)

- prenumerata zwykła, krajowa: 105 zł
- dla uczniów i studentów: 84 zł
- prenumerata z licencją do wykorzystania na większej liczbie stanowisk – od 10 do powyżej 200 stanowisk (koszt zależny od liczby stanowisk)

Prenumeratę można rozpocząć od dowolnego miesiąca w roku.
Prenumerata obejmuje 6 kolejnych wydań w wersji elektronicznej.

POJEDYNCZE WYDANIE

Koszt pojedynczego e-wydania (od 2023 r.): 20,25 zł

WYDANIA ARCHIWALNE

- dostępne pojedyncze wydania i całe roczniki (w wersji elektronicznej, jak i papierowej – oprócz numerów o wyczerpanym nakładzie oraz wybranych wydań z 2020 r.)

Pojedyncze wydania archiwalne z lat 2009-2020 dostępne są w cenie:
17,50 zł – wersja papierowa
12,50 zł – wersja elektroniczna
Pojedyncze e-wydania archiwalne z lat 2020-2022 dostępne są w cenie: 17,50 zł
Przy zamówieniach większej liczby egzemplarzy oferujemy korzystne upusty cenowe.

DANE DO ZAMÓWIENIA

Wpłat prosimy dokonywać na konto wydawcy:
ITER, ul. Marszałkowska 111, 00-102 Warszawa
mBank SA, nr konta: 10 1140 2017 0000 4102 0885 4194

W tytule przelewu prosimy podać szczegóły zamówienia
(np. rodzaj prenumeraty, numer i rok zamawianego wydania).
Prosimy także o podanie dokładnych danych adresowych i adresu email.
Na życzenie wystawiamy faktury VAT (8%).

projektowanie i KONSTRUKCJE inżynierskie

tel. +48 532 493 072
tel. +48 22 112 86 90
prenumerata@iter.com.pl