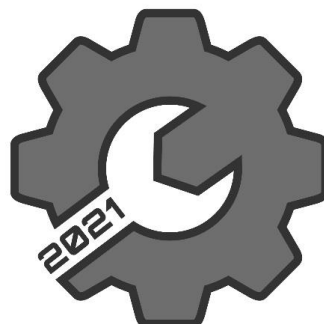


Streszczenia referatów

XXX Sympozjon

PKM

OPOLE



Spis treści

Sesja 2A	2
Sesja 2B.....	4
Sesja 3A	6
Sesja 3B.....	9
Sesja 4A	11
Sesja 4B.....	14
Sesja 5A	16
Sesja 5B.....	18
Sesja 6A	21
Sesja 6B.....	23
Sesja 7A	25
Sesja 7B.....	28
Sesja plakatowa.....	30

Sesja 2A

**TADEUSZ ŁAGODA, PAWEŁ KRYSIŃSKI, AGATA SIERAKOWSKA, TOMASZ CIEŚLAK,
SŁAWOMIR MAŁYS, CEZARY BOROWIECKI**

Walidacja połączeń adhezyjnych w przemyśle kolejowym

Przygotowanie innowacyjnych zestawień materiałowych połączonych w procesie adhezji z zastosowaniem w przemyśle kolejowym, spełniających wymagania norm branżowych. Przygotowanie próbek innowacyjnych zestawów, walidacja oraz wykonanie testów i badań. Zastosowanie wybranych kompozycji w produktach dedykowanych w przemyśle kolejowym.



KRZYSZTOF CIUPKE, KRZYSZTOF PSIUK

Metody koncyptowania w procesie projektowo-konstrukcyjnym. Zagadnienia dydaktyczne.

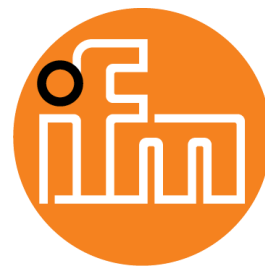
Początkowym etapem procesu projektowo-konstrukcyjnego jest etap koncyptowania. Etap ten często niestety jest traktowany jako mało istotny. Wynika to z wielu powodów. Miedzy innymi z braku znajomości metod koncyptowania i/lub nieumiejętności ich stosowania. W Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej od kilku lat prowadzone są zajęcia dotyczące tej właśnie tematyki. W referacie zostaną przedstawione zagadnienia związane z etapem koncyptowania od strony dydaktycznej. Omówiony zostanie sposób prowadzenia zajęć, ich tematyka, problemy które wynikają w trakcie prowadzenia zajęć. Pokazane zostaną przykłady rozwiązań przygotowanych przez studentów. Ostatecznie podjęta zostanie próba zestawienia wniosków i spostrzeżeń wyływających z prowadzenia zajęć dydaktycznych z wnioskami z obserwacji dokonanymi m.in. w przemyśle.

WOJCIECH RYCZAJ, MACIEJ PALUSZEK, JAKUB URBANIEC, ADRIAN MIŁKOWSKI, MARCIN KONIETZKO

Analiza przyczyn odkształceń elektronicznego programowalnego urządzenia, wykonanego w technologii bezpośredniego wtrysku wysokociśnieniowego tworzywem sztucznym

Wysokie wymagania takie, jak: szczelności obudów, odporności na działanie czynników chemicznych, wibracje, uderzenia oraz duże wahania temperatur stawiane są rozproszonym układom automatyki przemysłowej z uwagi na możliwość ich montażu blisko procesów technologicznych.

ifm w odpowiedzi na wszystkie powyższe wymagania opracował rodzinę inteligentnych rozgałęźników sygnałów, bazujących na standardzie IO-Link oraz opartych na innowacyjnej technologii bezpośredniego obtrysku wysokociśnieniowego tworzywem sztucznym elementów elektronicznych. W zależności od wariantu, dostępne są urządzenia dedykowane do zastosowania w przemyśle maszynowym oraz do aplikacji w przemyśle spożywczym.



Opracowane innowacyjne procesy wytwórcze bazują na wysokociśnieniowym, wielopunktowym bezpośrednim obtrysku tworzywem sztucznym elementów elektronicznych. Uszczelnienie formy wtryskowej odbywa się poprzez zastosowanie elastomerowych uszczelnień, które podczas zamykania formy wtryskowej przylegają na obwodzie tulei złączy rozgałęźników. Opisane rozwiązania technologiczne oraz zastosowanie złączy elektronicznych w standardzie M12 wymusiły szereg konstrukcyjnych kompromisów takich, jak: nierównomierne rozmieszczenie objętości wtryskiwanego tworzywa pod i nad płytką obwodów drukowanych, podzielenie obtrysku wstępnego na segmenty połączone elastycznymi łącznikami.

Celem prowadzonych badań była identyfikacja przyczyn oraz wpływu sierpowatego wygięcia rozgałęźnika w wersji długiej/6R, które zwiększało się z czasem po wyjęciu wypraski z formy wtryskowej, na działanie urządzenia. Postanowiono również zbadać zaobserwowane różnice w wyginaniu się różnych wariantów rozgałęźników po procesie produkcyjnym oraz podczas badań odporności na zmienne warunki temperaturowe. W tym celu wykonano symulację numeryczną procesu wtrysku, gdzie sprawdzono wpływ poszczególnych parametrów wtrysku na skurcz odlewniczy. Zbadano również wpływ zastosowanego materiału obtrysku końcowego oraz odkształcenia wypraski w funkcji temperatury. Wyniki badań numerycznych zweryfikowano na modelu fizycznym, gdzie mierzono strzałkę ugięcia urządzeń w funkcji temperatury otoczenia.

W badaniu dowiedziono, że w zależności od wartości temperatury otoczenia obserwuje się różne strzałki wygięcia - im niższa temperatura, tym większa strzałka. Wykazano również wpływ kształtu elastycznych łączników na wartość początkową wygięcia - w temperaturze otoczenia oraz wpływ zastosowanego tworzywa na wartość maksymalną strzałki ugięcia.

JACEK SPISAK

Ścisła współpraca między obliczeniami numerycznymi i pomiarami, czy to możliwe?

ES TEST SYSTEMS
drgania ♦ akustyka ♦ termowizja ♦ szybkie kamery

Sesja 2B

MICHAŁ BATSCH, TADEUSZ MARKOWSKI

Korekcja asymetrycznego zazębienia ewolwentowego

W pracy zaprezentowano metodykę prowadzenia korekcji asymetrycznych ewolwentowych zazębień przekładni walcowych o zębach prostych. Dokonano oceny możliwości prowadzenia korekcji w stosunku do konwencjonalnych symetrycznych zarysów. Ponadto podano przykład geometrii zazębienia korygowanych na ustaloną odległość osi z rozkładem współczynników przesunięcia zarysów wyrównującym prędkość poślizgu na początku i na końcu przyporu.

KONRAD PAWŁUSIK, ARTUR OLSZEWSKI

Analiza aktualnego stanu wiedzy pod kątem wytycznych projektowania kół zębatych wykonanych z tworzyw sztucznych

Aktualne publikacje dotyczące projektowania kół zębatych w niewielkim stopniu przedstawiają wytyczne, które umożliwiłyby skuteczne zaprojektowanie optymalnej przekładni składającej się z kół zębatych z tworzyw sztucznych. Większość artykułów i opracowań opisuje klasyczny sposób projektowania zarysu zęba uwzględniający wstępne zaprojektowanie lub użycie istniejącego narzędzia, a następnie wykonanie zarysu poprzez obróbkę skrawaniem. Wszelkie wytyczne odnośnie projektowania kół zębatych odnoszą się niemal wyłącznie do elementów wykonanych z metalu. Tymczasem tworzywa sztuczne posiadają nie tylko skrajnie inne właściwości mechaniczne w porównaniu do stali, ale dodatkowo koła zębate z tych materiałów w produkcji masowej wykonywane są przy użyciu technologii wtrysku, a nie poprzez obróbkę skrawaniem. Odmienna technologia produkcji umożliwia wykonanie kół o podwyższonej wytrzymałości i innej geometrii w stosunku do elementów wykonanych poprzez klasyczną obróbkę ubytkową. W artykule podsumowano aktualny stan wiedzy dotyczącej sposobu projektowania kół zębatych, wskazano główne różnice pomiędzy przekładnią wykonaną z metalu oraz z tworzyw sztucznych, określono najczęstsze przyczyny awarii, charakterystyki pracy, właściwości mechaniczne oraz zakres stosowania kół zębatych z tworzyw sztucznych.

Analiza właściwości użytkowych kół zębatych wytwarzanych przy użyciu technik przyrostowych – omówienie stanu zagadnienia

Ustawicznemu rozwojowi innowacyjnych materiałów konstrukcyjnych i technik wytwarzania towarzyszy również wzrost zainteresowania rozwojem niekonwencjonalnych metod wytwarzania kół zębatych, w tym z wykorzystaniem technik przyrostowych. Jednym z powodów takiego stanu rzeczy jest ciągła potrzeba rozwoju konstrukcji układów napędowych zmierzająca do zwiększenia ich zdolności do przenoszenia coraz to większych obciążeń przy jednoczesnym obniżaniu masy konstrukcji, a przede wszystkim kosztów ich wytwarzania.

Wykorzystanie technik przyrostowych w procesie wytwarzania kół zębatych coraz częściej stanowi przedmiot badań liczących się zespołów na całym świecie, a ich wyniki opisywane są w poświęconych tej tematyce periodykach. Na podstawie dokonanego przeglądu literatury wyróżniono dwa obszary badawcze, na których przede wszystkim skupia się uwaga autorów dostępnych opracowań. Pierwszy z nich dotyczy problematyki związanej z kołami zębatymi wytwarzanymi z tworzyw sztucznych, a drugi obejmuje obszar związany z przyrostowym wytwarzaniem kół zębatych z proszków metali i ich stopów. Tematyka poruszana w pracach dotyczących polimerowych kół zębatych wytwarzanych przyrostowo odnosi się w większości do wpływów parametrów procesu na dokładność geometryczną finalnej części, jej końcową masę oraz czas wytwarzania. Podobny zakres badań przedstawiany jest w obszarze kół zębatych wytwarzanych przy użyciu proszków metali. Ponadto zauważono, iż zasadniczą przyczyną ograniczonego zakresu badawczego publikacji naukowych jest wąski asortyment dostępnych materiałów przeznaczonych do wspomnianego typu zastosowań. Następstwem tego jest wykorzystywanie w większości prac proszków stopów oferowanych na rynku, dedykowanych do zupełnie innych obszarów aplikacyjnych. Przeprowadzona analiza literatury umożliwiła wyróżnienie trzech innowacyjnych kierunków w sposobie kształtowania geometrii piasty kół zębatych. Możliwości wynikające z zastosowania technik przyrostowych wpływają na wykorzystanie w pełni wyników procesu optymalizacji topologicznej, czego częstym skutkiem jest obniżenie masy elementu przy zachowaniu jego właściwości wytrzymałościowych. Inną zaletą przyrostowego wytwarzania kół zębatych jest możliwość swobodnego kształtowania układów kanałów chłodzących lub chłodząco-smarujących wewnątrz struktury koła, jednak obecnie problematyka z tym związana jest ograniczona z uwagi na wytrzymałość wieńca zębatego. Zaledwie nieliczna grupa ukazujących się prac jest poświęcona wytrzymałości zmęczeniowej kół zębatych wytwarzanych przyrostowo, co nie pozwala jednoznacznie określić możliwości aplikacji tej techniki w procesie wytwarzania obiektów rzeczywistych.

Implementacja technik przyrostowych do praktyki wytwórczej kół zębatych umożliwia wszczęcie prac nad zupełnie nowymi metodami projektowania i zakresami badań właściwości materiałów i konstrukcji, czego naturalnym następstwem w przyszłości będzie opracowywanie nowych ścieżek technologicznych w produkcji różnych elementów maszyn i konstrukcji inżynierskich. Niezbędna jednak jest wcześniejsza identyfikacja szeroko rozumianych właściwości użytkowych wytworzonych przyrostowo materiałów.

JAKUB ŁUSZCZEK, LUCJAN ŚNIEŻEK, KRZYSZTOF GRZELAK, JANUSZ KLUCZYŃSKI, JANUSZ TORZEWSKI, IRENEUSZ SZACHOGŁUCHOWICZ

Badania właściwości mechanicznych elementów modelowych wytwarzanych przy użyciu selektywnego stapiania laserowego ze stali 21NiCrMo2

Techniki przyrostowe wykorzystujące proszki metali pozwalają na wytwarzanie w pełni funkcjonalnych elementów części maszyn. Istotną przeszkodą w szerokiej aplikacji przemysłowej tych technik jest brak odpowiednio licznego asortymentu proszków materiałów konstrukcyjnych, a niekiedy niewystarczającą ich jakość. Z uwagi na te ograniczenia pojawia się nowa przestrzeń badawcza obejmująca zarówno zagadnienia technologiczne, jak i użytkowe materiałów i wyrobów wytworzonych z proszków materiałów konwencjonalnie stosowanych w procesie produkcji różnego rodzaju metalowych konstrukcji inżynierskich.

W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości mechanicznych elementów z proszku stali 21NiCrMo2 wytworzonych przy użyciu techniki przyrostowej SLM (ang. Selective Laser Melting). Praca zawiera również opis procesu atomizacji zastosowanej stali, a także procedury doboru parametrów wytwarzania, bazującej na minimalizacji procentowego udziału pustek wewnątrz struktury materiału. Atomizację stali wykonano w Instytucie Materiałów Nieżelaznych w Gliwicach. W wyniku przeprowadzenia procedury doboru parametrów wytwarzania ustalono zakres gęstości energii, przy której średnia wartość porowatości struktury wytworzonego materiału jest mniejsza od 0,3%. Ponadto wykonane badania mikrostrukturalne ujawniły lokalne defekty w postaci struktury wyspowej o wymiarach kilkudziesięciu mikrometrów, charakteryzującej się zwiększoną koncentracją pierwiastków stopowych Cr i Ni. Elementy modelowe wytworzone przy użyciu czterech najlepszych grup parametrów wytwarzania poddano statycznym badaniom wytrzymałościowym z uwzględnieniem wpływu wybranych zabiegów postprocesowych. Jako referencyjne potraktowano wyniki badań strukturalnych i wytrzymałościowych stali 21NiCrMo2 wytworzonej konwencjonalnie. Ponieważ stale do nawęglania są powszechnie stosowane do wytwarzania elementów układów napędowych, a w szczególności kół zębatych, rozpoznanie możliwości wytwarzania przyrostowego tych elementów jest wyjątkowo interesujące. Stąd cel pracy ujmujący zbadanie właściwości mechanicznych elementów modelowych wytwarzanych przy użyciu selektywnego stapiania laserowego stali 21NiCrMo2.

Sesja 3A

TADEUSZ SZYMCZAK, JACEK GÓRECKI, TOMASZ SOBOLEWSKI

Tylne Urządzenie Zabezpieczające w badaniach stanowiskowych z wykorzystaniem systemu DIC

Zagadnienie zamieszczone w referacie dotyczy doświadczalnego określania odporności mechanicznej komponentów w postaci tylnej belki do stosowania jako Tylne Urządzenie Zabezpieczające (TUZ) wg wymagań Regulaminu 58 ONZ. Reprezentowane jest zarówno szczegółami doświadczalnymi jak: stanowisko badawcze do zadawania siły i mocowania gabarytowego obiektu badań oraz rezultatami testów, w tym w postaci składowych ugięcia w trójwymiarowym układzie współrzędnych - uzyskanych

przy użyciu systemu cyfrowej korelacji obrazu (DIC) Pontos 5M. Przedstawiono zarówno pozytywne, jak i negatywne wyniki badań względem testowanych komponentów, które pozwalają odpowiednio na: (a) uznanie odporności mechanicznej badanego elementu - jako wystarczającej do ubiegania się o wydanie świadectwa homologacji typu oraz (b) wskazują na konieczność doskonalenia projektowania obiektu badań w zakresie materiałowo-konstrukcyjnym. Rezultaty testów przedstawiono w postaci przebiegów składowych ugięcia, filmów oraz zdjęć, wskazując również na cechy stref podatnych, jak: deformacje trwałe i pęknięcia.

TOMASZ MACURA, ANNA TIMOFIEJCZUK

Metoda Follow The Sun w projektowaniu dla branży Automotive

W dzisiejszych czasach fizyczna odległość między dwiema osobami lub całymi zespołami projektowymi nie jest już barierą stojącą na drodze do realizacji złożonych i wymagających projektów. Wraz z wprowadzeniem szerokopasmowego globalnego Internetu, pojawiły się nowe możliwości bezproblemowej kooperacji zespołów oddalonych nawet o tysiące kilometrów od siebie.

Obecnie firmy na rynku motoryzacyjnym nieustannie poszukują nowych rozwiązań i praktyk w celu utrzymania pozycji lidera. Stała optymalizacja wewnętrznych procesów i procedur jest kluczem do osiągnięcia tego celu. Jednym z aktualnych, głównych trendów w branży motoryzacyjnej jest inwestowanie i budowanie nowych lokalizacji w krajach, które są obecnie w fazie intensywnego rozwoju. Takie kraje mogą zaoferować znacznie większą liczbę inżynierów, przy bardzo rozsądnych kosztach. Tego typu podejście prowadzi do powstania szeregu nowych wyzwań, z którymi firmy muszą się zmierzyć, aby stworzyć dobre podstawy współpracy pomiędzy swoimi lokalizacjami rozmieszczonymi na całym świecie.

Tematyka dostępu i kosztu nowych inżynierów to niestety nie jedyny czynnik, z którym borykają się obecnie firmy z branży automotive. Parametr „Time to market” (TTM) staje się coraz ważniejszy dla utrzymania atrakcyjności firmy, w szczególności będącej dostawcą kategorii OEM. TTM określa, ile czasu dana firma potrzebuje na zaprojektowanie, wyprodukowanie i wprowadzenie na rynek finalnego produktu. Wraz ze skróceniem tego czasu, przy równoczesnym zachowaniu stałej jakości, atrakcyjność danego producenta znacznie się poprawia.

W celu sprostania tego typu wyzwaniom w branży motoryzacyjnej bardzo popularne jest wdrażanie nowych modeli współpracy zespołowej. Referat jest syntetyczną prezentacją modelu współpracy zespołowej - „Follow the Sun” (FTS). FTS daje możliwość nie tylko obniżenia kosztów, ale także parametru TTM poprzez wykorzystanie zalety posiadania zespołów projektowych pracujących w różnych strefach czasowych.

GRZEGORZ BUDZIK, BOGDAN KOZIK, MARIUSZ DĘBSKI, ŁUKASZ PRZESZŁOWSKI

Badania wytrzymałości na skręcanie części wytwarzanych z zastosowaniem ekstruzji warstwowej i odlewania niskociśnieniowego

Jedną z najpopularniejszych metod wytwarzania przyrostowego stosowanych do wytwarzania części maszyn lub prototypów jest metoda ekstruzji warstwowej, która polega na przetłaczaniu termoplastycznego polimeru. Ograniczeniem tej techniki druku 3D jest zmiana wytrzymałości wytwarzanych elementów w zależności od orientacji modelu w komorze roboczej urządzenia. Wytrzymałość elementów obniża się w kierunkach obciążeń zbliżonych do kierunku budowy modelu (przeważnie oś pionowa). Natomiast dokładność wymiarowa i geometryczna, szczególnie w przypadku elementów obrotowych, w kierunku pionowym jest najwyższa. Głównym celem badań było opracowanie technologii wytwarzania elementów z materiałów polimerowych o podwyższonych właściwościach mechanicznych w oparciu o metodę ekstruzji warstwowej i odlewania pod obniżonym ciśnieniem. Sposób wytwarzania oparty jest o cienkościenną formę wytwarzaną metodą ekstruzji warstwowej i stanowi szkielet do uzyskania właściwego modelu, który powstaje w skutek wypełniania cienkościennej geometrii chemoutwardzalnym polimerem w technologii odlewania pod obniżonym ciśnieniem (Vacuum Casting). W publikacji przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych w postaci statycznej próby skręcania na stanowisku badawczym. Próbkę do badań wykonano przy użyciu drukarki 3D Prusa i3 MK3, metodą modelowania uplastycznionym tworzywem (FFF). Do wykonania cienkościennej formy użyto kopolimeru ABS oraz polilaktydu, natomiast jako wypełnienie zostały zastosowane żywice chemoutwardzalne: PRC1819, PR2000, PR700 firmy Synthene. Na podstawie otrzymanych wyników zaobserwowano wyraźny wpływ hybrydowego zastosowania polimerów termoplastycznych z polimerami chemoutwardzalnymi na wytrzymałość części. Rezultaty badań wykazują uzyskanie przynajmniej porównywalnej wytrzymałości modeli wytwarzanych metodą ekstruzji warstwowej oraz technologią odlewania pod obniżonym ciśnieniem w kierunku budowy modelu w stosunku do modeli wytwarzanych przyrostowo w płaszczyźnie poziomej wyłącznie metodą ekstruzji warstwowej.

**GRZEGORZ BUDZIK, TOMASZ DZIUBEK, ŁUKASZ PRZESZŁOWSKI, MAŁGORZATA GONTARZ,
BARTŁOMIEJ DRZAŁ**

Badania wytrzymałościowe wybranych materiałów konstrukcyjnych stosowanych w przyrostowym wytłaczaniu

W referacie są przedstawione wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie próbek o różnej gęstości wypełnienia wytworzonych z sześciu wybranych materiałów polimerowych stosowanych w technologiach przyrostowych. Próbkę zostały wykonane przy użyciu urządzenia pracującego na zasadzie przetłaczania przyrostowego polimerowych materiałów termoplastycznych. Zostały przedstawione i opisane wyniki badań próby statycznego rozciągania wraz z opisami i zdjęciami przełomów wybranych próbek po przeprowadzonym badaniu. Na podstawie wyników badań zostały wyciągnięte wnioski.

Sesja 3B

GRZEGORZ ŚWIACZNY, MAREK WYLEŻOŁ

Efektywne tworzenie modeli 3D z użyciem systemów klasy Cax

Wraz z rozwojem zaawansowanych technologii wytwarzania efektywne tworzenie modeli 3D zaczyna odgrywać coraz większą rolę w procesie projektowania inżynierskiego. Wychodząc temu naprzeciw, podjęto próbę ukazania elementów składowych procesu tworzenia modeli 3D z użyciem systemów klasy CAx, które znacznie przyczyniają się do wzrostu jego efektywności.

W referacie zaprezentowane są podstawowe pojęcia z zakresu komputerowego wspomagania inżynierskiego projektowania. Autor przedstawia wymagania bezpośrednio związane z procesem tworzenia modeli 3D, a następnie charakteryzuje osobę odpowiedzialną za tworzenie tych modeli – konstruktora. Autor zwraca uwagę w jaki sposób konstruktor przyczynia się do wypełnienia wcześniej przedstawionych wymagań. W referacie wykorzystano przykłady w postaci wcześniej przygotowanych modeli 3D. Przykłady te, jak i zdjęcia pomocnicze zostały wykonane z użyciem systemu CATIA v5, jednak wszystkie informacje zawarte w referacie odnoszą się do każdego innego systemu klasy CAx, umożliwiające projektowanie z wykorzystaniem parametryzacji i asocjatywności.

Głównym celem referatu jest jednak zwrócenie uwagi na proces projektowania elementu w fazie tworzenia wirtualnego modelu, mającego znaczący wpływ na pomyślny przebieg pozostałych faz tego procesu, ze szczególnym uwzględnieniem podatności modelu na dokonywanie zmian.

SEBASTIAN RZYDZIK, FILIP WOJTUSIAK

Narzędzie wspomagające automatyzację produkcji czujników rezystorowych poziomu paliwa dla branży automotive

W artykule przedstawiono narzędzie pozwalające usprawnić procesy wytwórcze związane z produkcją czujników rezystorowych stosowanych w zbiornikach paliwowych samochodów osobowych. Opracowana konstrukcja narzędzia umożliwia przejście z manualnego procesu lutowniczego wykonywanego przez człowieka na proces automatyczny. Nie od dzisiaj wiadomo, że branża automotive stawia coraz bardziej rygorystyczne normy jakościowe i wydajnościowe. W celu dotrzymania tempa rozwoju i konkurencji rynkowej firmy produkcyjne muszą zdecydować się na wprowadzanie idei Przemysłu 4.0. Ta myśl również towarzyszyła od początku powziętych prac projektowo-konstrukcyjnych.

Czujniki rezystancyjne poziomu paliwa wykonywane są ze spieków ceramicznych, w postaci tzw. kart, z naniesioną warstwą rezystancyjną. Powoduje to, że czynniki wynikające z procesów produkcyjnych, takie jak temperatura oraz naciski, mają istotny wpływ na jakość produktu końcowego. Założenia projektowo-konstrukcyjne uwzględniały, że narzędzie powinno: wywierać jak najmniejszy nacisk na kartę ceramiczną, umożliwiać skuteczne odprowadzenie ciepła, wymuszać jednoznaczną orientację

komponentów, chronić części kart rezystorowych niezwiązane z procesami lutowniczymi oraz umożliwić montaż czujników temperatury i siły nacisku na potrzeby monitorowania parametrów procesowych.

Wymienione założenia pozwoliły opracować szereg koncepcji i wybrać jedną z nich jako najbardziej obiecującą. Opracowana konstrukcja zbudowana jest z dwóch wzajemnie ruchomych elementów, w których utworzono gniazda o kształtach odpowiadających postaci geometrycznej czujników oraz innych elementów towarzyszących. Po ułożeniu kart rezystorowych w gniazdach i ich utwierdzeniu jedynymi dostępnymi z zewnątrz częściami są znajdujące się na nich pola lutownicze. Do ważniejszych zalet opracowanej konstrukcji należy zaliczyć: mała masa narzędzia, możliwość zastosowania do kart o różnych kształtach, szybkie odprowadzanie zbędnego ciepła, prosta konserwacja oraz skuteczne pozycjonowanie łączonych elementów.

W celu wykonania prototypu narzędzia planowane jest wykonanie wydruku 3D. Pozwoli to zweryfikować przyjęte rozwiązania konstrukcyjne, w tym zmierzyć rzeczywiste naciski oddziałujące na karty ceramiczne.

DAWID MROCKOWSKI, MAREK WYLEŻOŁ

Optymalizacja topologiczna konstrukcji ramy rowerowej

Przedmiotem pracy magisterskiej było zastosowanie metody optymalizacji topologicznej w celu udoskonalenia ramy rowerowej istniejącego roweru miejskiego. Przeprowadzono analizę wytrzymałościową pierwotnego kształtu ramy, a następnie na podstawie wyniku optymalizacji topologicznej opracowano szereg wariantów nowej konstrukcji ramy, spośród których wybrano wariant optymalny pod względem masy. Nowo uzyskany kształt porównano z pierwotnym kształtem ramy i opracowano wyniki.

Celem pracy magisterskiej było udoskonalenie kształtu istniejącej konstrukcji ramy rowerowej z wykorzystaniem metody optymalizacji topologicznej. Modernizację zaplanowano w zakresie zmiany kształtu, przekroju i grubości elementów ramy rowerowej, tak aby zmniejszyć ilość materiału wykorzystywanego do wytworzenia ramy.

Założono, że rama rowerowa po zredukowaniu masy (bez zmiany materiału, z którego została wykonana) oraz zwiększeniu jej wytrzymałości w dalszym ciągu będzie zgodna z wymogami wytrzymałościowymi określonymi w normie ISO EN ISO 4210-6:2015.

Ponadto odpowiedni dobór przekroju poszczególnych elementów ramy rowerowej korzystnie wpłynie na aerodynamikę roweru, a sama modyfikacja nada ramie innowatorski wygląd i poprawi ogólną aparycję.

Obiektem badań była rama rowerowa roweru miejskiego, której kształt został udoskonalony przy pomocy modułów oferowanych przez oprogramowanie do komputerowego wspomaganie projektowania CAD NX Unigraphics firmy Siemens dostarczone przez Politechnikę Śląską oraz oprogramowanie ANSYS 2021 R2 (licencja studencka) służące do przeprowadzenia analizy wytrzymałościowej i optymalizacji topologicznej.

Stosując metodę optymalizacji topologicznej uzyskano ok. 31% redukcję masy ramy rowerowej dla ram o grubościach 1,2 mm. Zmiana konstrukcji ramy spowodowała ok. 4% (1,51) spadek wartości współczynnika bezpieczeństwa dla badania z siłą pionową oraz ok. 8% (1,16) spadek wartości współczynnika bezpieczeństwa dla badania z siłami poziomymi. Oba współczynniki w dalszym ciągu są wyższe od założonej bezpiecznej wartości wynoszącej 1.1, a ich procentowy spadek na tle uzyskanej procentowej redukcji masy jest akceptowalny.

DAMIAN SKUPNIK

Zastosowanie narzędzia Autodesk Generative Design do tworzenia zoptymalizowanych elementów maszyn

W referacie przedstawiona zostanie idea działania oraz przykładowe wyniki zastosowania narzędzia Generative Design środowiska Autodesk Fusion 360. Narzędzie to umożliwia automatyczne generowanie wielu wariantów geometrycznych cech konstrukcyjnych danego elementu, zoptymalizowanego, np. ze względu na kryterium minimalnej masy lub maksymalnej sztywności, z uwzględnieniem różnych tworzyw oraz procesów technologicznych. Ponadto określany jest również szacunkowy koszt wykonania wybranych rozwiązań.

Sesja 4A

KATARZYNA BULANDA, MARIUSZ OLEKSY, RAFAŁ OLIWA, DARIUSZ KRAJEWSKI, KAMIL CZECH, GRZEGORZ BUDZIK, ŁUKASZ PRZESZŁOWSKI

Kompozyty Polimerowe Stosowane w Technologii Szybkiego Prototypowania

W ramach pracy otrzymano kompozyty polimerowe stosowane w technologii druku 3D, szczególnie technologii Melted and Extruded Manufacturing (MEM). Zbadano wpływ modyfikowanych napełniaczy, takich jak krzemionki modyfikowanej tlenkiem glinu, bentonitu modyfikowanego czwartorzędową solą amoniową, hybrydowego napełniacza lignina/dwutlenek krzemu i niemodyfikowanych wielowarstwowych nanorurek węglowych na właściwości kompozytów na podstawie poliwęglanu (PC). W pierwszej części pracy polimer oraz jego kompozyty zawierające od 0,5 do 3% wagowo napełniacza posłużyły do otrzymania filamentu z wykorzystaniem autorskiej linii technologicznej. Kształtki do badań właściwości użytkowych uzyskano z wykorzystaniem techniki druku 3D i wtryskiwania do formy. W dalszej części pracy zbadano właściwości reologiczne - masowy wskaźnik szybkości płynięcia (MFR) i mechaniczne - twardość wg Rockwella, udarność wg Charpy'ego i wytrzymałość przy statycznym rozciąganiu wraz z modułem Young'a. Opisano również strukturę otrzymanych kompozytów, którą określono z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM). Natomiast właściwości fizykochemiczne przedstawiono na podstawie wyników badań: analizy termogravimetrycznej (TGA), skaningowej kalorymetrii różnicowej (DSC) oraz spektroskopii w podczerwieni (FT-IR). Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że zarówno ilość, jak i rodzaj

napełniacza zasadniczo wpływa na zbadane w pracy właściwości użytkowe kompozytów. Opracowane kompozyty w przyszłości mogą zostać wykorzystane do produkcji elementów służących jako zamienniki wybranych elementów maszyn technologią szybkiego prototypowania oraz wtryskiwania do formy.

DOMINIKA GÓRNIOWICZ, STANISŁAW JÓŹWIĄK, ZBIGNIEW BOJAR

Wykorzystanie empirycznych modeli do oceny i wyznaczenia twardości rzeczywistej nowo projektowanych materiałów

Pomiary twardości to najpowszechniej stosowana metoda oceny właściwości mechanicznych materiałów konstrukcyjnych. Łatwość wykonania pomiarów, szybkie uzyskanie wyników, nieznaczne uszkodzenia powierzchni badanych przedmiotów to główne zalety tego rodzaju prób. Ponadto wartość twardości badanego tworzywa stanowi szereg informacji inżynierskich pozwalających przewidywać strukturę materiału, identyfikować przeprowadzoną obróbkę cieplną, plastyczną, a także szacować inne właściwości mechaniczne, jak chociażby wytrzymałość na rozciąganie czy też granicę plastyczności. Niemniej jednak szereg parametrów materiałowych: sposób przeprowadzenia próby twardości, zakres stosowanych obciążeń, kształt i rodzaj materiału wgłębnika istotnie wpływa na wartość mierzonej twardości, powodując, iż porównywanie twardości jest możliwe tylko w zakresie jednej metody i to z wieloma zastrzeżeniami, głównie dotyczącymi prawa podobieństwa Kicka. Wszystkie powyżej wymienione obwarowania mają jeszcze większy wpływ w przypadku badań laboratoryjnych na obiektach uniemożliwiających wykonanie pomiarów przy wykorzystaniu obciążenia charakterystycznego dla zakresu twardości rzeczywistej. Wymusza to stosowanie pomiarów w zakresach małych obciążeń lub w tzw. przedziale mikrotwardości, które to ze względu na obserwowany wpływ odkształceń sprężystych silnie oddziałują na wartość uzyskiwanej twardości. W przypadku badań prowadzonych w niniejszej pracy na wieloskładnikowych stopach o wysokiej entropii stwierdzono, iż wartość twardości badanego materiału, w zależności od zastosowanego obciążenia w metodzie Vickersa (10-1000G), zmienia się w przedziale od 1050HV do 1600HV, uniemożliwiając tym samym jednoznaczne wyznaczenie wartości twardości rzeczywistej nowo projektowanego materiału. W związku z powyższym, na podstawie pomiarów mikrotwardości wykonanych w obszarze wpływu odkształceń sprężystych (tzw. obszar ISE - ang. Indentation Size Effect), wykorzystując empiryczne modele separacji obciążenia na zakres plastyczny i sprężysty, wyznaczono wartość twardości rzeczywistej badanego stopu. Przeprowadzona analiza literatury pozwoliła do obliczeń wykorzystać następujące modele: PSR (ang. proportional specimen resistance), MPSR (modified PSR), Hays'a Kendalla i Nix & Gao. Dla każdego modelu poprawność podziału siły obciążającej na zakres sprężysty i plastyczny przeprowadzono wykorzystując prawo zmiennej twardości Meyera oraz prawo podobieństwa Kicka. Skrajne wartości uzyskanych wyników, w zależności od zastosowanego modelu, różniły się o około 10%, co przy średniej wartości około 1000HV stanowi nieakceptowalną, z inżynierskiego punktu widzenia, różnicę. Dlatego też przeprowadzono na materiałach referencyjnych, o wartości twardości z przedziału 200-1400HV, badania dodatkowe, które jednoznacznie wykazały, iż modelem odzwierciedlającym najlepiej rzeczywistą wartość twardości jest model PSR, cechujący się około 2% błędem.

Materiały polimerowe stosowane na elementy maszyn

Ze względu na ciągłą poprawę właściwości mechanicznych i użytkowych rozszerza się zakres stosowania materiałów polimerowych w budowie maszyn. Dobór i wprowadzenie określonych napełniaczy i nanonapełniaczy oraz innych modyfikatorów w procesie wytwarzania materiałów polimerowych umożliwia zmianę ich właściwości z uwzględnieniem prognozowanych warunków pracy. Należy podkreślić, że podstawowe właściwości materiałów polimerowych wciąż wyraźnie różnią się od właściwości dotychczas stosowanych materiałów metalicznych. Stopy metali cechują się większą gęstością, wyższą temperaturą topnienia oraz temperaturą pracy, również sztywnością i właściwościami wytrzymałościowymi, a także lepszą przewodnością elektryczną i cieplną. Materiały polimerowe natomiast lepiej tłumią drgania mechaniczne.

Wprowadzenie materiałów polimerowych jako zamienników stopów metali w celu zapewnienia ekonomiczności produkcji wymaga zwykle całkowitej zmiany koncepcji konstrukcji wyrobów. Jednocześnie zastosowanie polimeru umożliwia znaczne uproszczenie konstrukcji wyrobu i poprawę jego funkcjonalności. Trzeba jednak zauważyć, że w zbliżonych warunkach eksploatacji materiały polimerowe zachowują się pod pewnymi względami zupełnie inaczej niż materiały metaliczne. Brak analizy porównawczej właściwości fizykochemicznych i mechanicznych może więc prowadzić do nieprzemysłanych decyzji zamiany wyrobu metalowego na wyrób z materiału polimerowego. Należy zatem podkreślić, że właściwości polimerów determinują zarówno przebieg procesu projektowania wyrobów, jak również ich zastosowanie w budowie maszyn.

RAFAŁ OLIWA

Ognioodporne kompozyty polimerowo-włókniste stosowane w kolejnictwie

Branża kolejowa daje możliwość strukturalnego wykorzystania kompozytów polimerowych, co przyczynia się do zmniejszenia wagi poszczególnych elementów, redukując zużycie paliwa i zwiększając szybkość tych pojazdów oraz ładowność. Jednak chcąc szerzej wykorzystywać polimerowe kompozyty włókniste w publicznych środkach transportu, należy stosować się do surowych przepisów bezpieczeństwa pożarowego. Dlatego modyfikacja osnowy polimerowej pod kątem poprawy jej ognioodporności jest jednym z podstawowych zagadnień służących do opracowania zupełnie nowych klas polimerowych materiałów konstrukcyjnych. W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące opracowania kompozytów polimerowo-włóknistych o zwiększonej odporności na płomień i zmniejszonej intensywności wydzielania dymów. Jako matrycę zastosowano proszkową żywicę epoksydową z dodatkiem uniepalniaczy na bazie fosforu, azotu i krzemu. Zawartość uniepalniaczy wynosiła 30% mas. Dodatkowo, w celu zmniejszenia intensywności wydzielania dymów do kompozycji dodano 15% mas. boranu cynku. Sześciowarstwowe kompozyty wzmocnione tkaniną szklaną o gramaturze 350g/m² otrzymano metodą prasowania niskociśnieniowego. Następnie zbadano wpływ ilości i rodzaju zastosowanych układów antypirenów na właściwości użytkowe otrzymanych kompozytów pod kątem zastosowania jako materiały konstrukcyjne w elementach wagonów.

Scharakteryzowano proces palenia z wykorzystaniem mikrokalorymetru stożkowego, wyznaczono indeks tlenowy (LOI) oraz zbadano gęstość optyczną wydzielanych dymów. Ponadto przeprowadzono analizę termogravimetryczną (TGA), zbadano właściwości mechaniczne oraz opisano strukturę otrzymanych kompozytów. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że zarówno ilość, jak i rodzaj uniepalniaczy wpływa na właściwości użytkowe otrzymanych kompozytów. Ponadto zastosowanie boranu cynku pozwoliło na znaczne zmniejszenie maksymalnej średniej intensywności wydzielania ciepła (MAHRE), gęstości optycznej właściwej po 4 minutach badania (Ds(4)) oraz pola powierzchni pod krzywą gęstości optycznej właściwej po 4 minutach badania (VOF4). W efekcie materiały te spełniają wymagania R6 dla tych wielkości wg PN-EN 45545-2:2013+A1:2015 dla poziomu zagrożenia HL1 i HL2.

Sesja 4B

GRZEGORZ DOMEK, ANDRZEJ KOŁODZIEJ, PIOTR KRAWIEC

Problem połączeń pasów napędowych

W pracy poruszony zostanie problem łączenia pasów napędowych, tak aby zbliżyć się do jakości pasów produkowanych bezkońcowo. Łączenie pasów znacznie ułatwia technologię budowania skomplikowanych systemów napędowych. Problem dotyczy wszystkich pasów napędowych, gdyż samo wystąpienie połączenia redukuje wielkość przenoszonej mocy blisko o 50%. W pracy przedstawione zostaną wyniki badań i poszukiwań rozwiązań tego problemu oraz rozwiązania dostępne na rynku pasów napędowych.

RAFAŁ DUDEK, SŁAWOMIR RUTKOWSKI

Wybrane problemy regeneracji elementów maszyn w kopalniach odkrywkowych

Kruszywa są podstawowym materiałem w budownictwie i drogownictwie. Pozyskiwanie ich odbywa się teraz w coraz bardziej wydajnych procesach technologicznych. Wymusza to coraz cięższe warunki pracy maszyn w kopalniach odkrywkowych. W artykule wybrano do przedstawienia problemu zrywak wibracyjny XR 42 Xcentric Ripper oraz kruszarkę Makrum 40.80. Autorzy przedstawili problem zużycia wybranych elementów tychże maszyn, jak również przedstawili autorskie rozwiązania wydłużenia trwałości dla analizowanych elementów. Do regeneracji wykorzystano metodę napawania. Następnie przeprowadzono badania laboratoryjne, a następnie wykonano badania przemysłowe. Otrzymane wyniki pokazały właściwe dobery technologii, która wydłużyła trwałość i obniżyła koszty.

Projektowanie układu napędowego zautomatyzowanej zgrzewarki doczołowej

Pasy napędowe i transportujące są powszechnie stosowane w przemyśle przetwórczym i wydobywczym. Jednym z ich rodzajów, często stosowanym w przemyśle lekkim, jest pas o przekroju kołowym i średnicy kilku milimetrów, wykonany z elastomerów termoplastycznych, a w szczególności poliuretanu. Produkcja tego typu cięgna wymaga przeprowadzenia operacji technologicznej łączenia końców pasa do postaci zamkniętego obwodu. Połączenie to zazwyczaj uzyskiwane jest poprzez ręczne zgrzewanie doczołowe, metodą gorącej płyty. W odpowiedzi na zapotrzebowanie przemysłu, autorzy podjęli prace projektowe nad urządzeniem zgrzewającym, realizującym ten proces technologiczny w sposób zautomatyzowany. Podjęte działania, uzupełnione o prace badawcze nad operacją zgrzewania doczołowego tego typu materiałów, zwieńczone zostały wdrożeniem urządzenia do seryjnej produkcji pasów. Jednym z etapów procesu projektowania maszyny zgrzewającej było opracowanie rozwiązania konstrukcyjnego elektro-pneumatycznego układu napędowego, wprawiającego w ruch kluczowe mechanizmy robocze, odpowiedzialne m.in. za: docisk końcówek pasa, ucinanie materiału, a także dozowanie cięgna. W pracy przedstawiono procedurę doboru komponentów, wykorzystanych do budowy tego układu, w szczególności elektrycznych i pneumatycznych elementów wykonawczych. W pierwszej kolejności na podstawie wymagań funkcjonalnych, dotyczących poszczególnych mechanizmów roboczych, opracowano strukturę kinematyczną napędów. Następnie, wykorzystując znane lub zakładane parametry technologiczne, wykonano obliczenia mające na celu określenie zapotrzebowania na moc w poszczególnych węzłach kinematycznych, uwzględniające dynamikę działania. Na podstawie ich wyników dokonano finalnego doboru komponentów oraz ukształtowania części i zespołów odpowiedzialnych za napęd tego urządzenia.

ARKADIUSZ BYDEŁEK, MACIEJ BERDYCHOWSKI, KRZYSZTOF TALAŚKA

Analiza ruchu nawijarki bębnowej

W pracy przedstawiono projekt koncepcyjny urządzenia do nawijania na szpulę pasów wykonanych z poliuretanu lub poliestru. Pasy te w postaci linki o średnicy od 2 do 6 mm wykorzystuje się w maszynach przemysłowych do transportu towarów oraz napędzania mechanizmów. W artykule przedstawiono także analizę dynamiki ruchu wspomnianego urządzenia, w którym zaprojektowany mechanizm korbowy odgrywa kluczową rolę, gdyż jest odpowiedzialny za równomierne nawijanie się linki na szpulę.

Sesja 5A

JAROSŁAW KACZOR

Wpływ położenia płaszczyzny obciążenia na wielkość zacisku wstępnego w układzie łożysk kulkowych skośnych

Łożyska kulkowe skośne są zwykle stosowane w takich sytuacjach, kiedy potrzebne jest uzyskanie dużej sztywności łożyskowania. Jednakże znaczące zwiększenie sztywności można uzyskać dopiero dzięki wprowadzeniu napięcia wstępnego (tzw. zacisku montażowego) do układu łożysk skośnych.

Celem tej pracy jest określenie, jak wpływa położenie płaszczyzny obciążenia na dobór zacisku wstępnego w układzie łożysk kulkowych skośnych, a przez to i na trwałość łożyskowania.

STANISŁAW ADAMCZAK, MATEUSZ WRZOCHAŁ, RYSZARD DOMAGALSKI, SYLWESTER WNUK, GRZEGORZ PIOTROWICZ

Laboratoryjna koncepcja badania łożysk tocznych w aspektach prac naukowych i zajęć dydaktycznych

Politechnika Świętokrzyska posiada własne laboratorium badań łożysk tocznych oparte na rozwiązaniach pracowników naukowych uczelni. Dzięki w pełni skomputeryzowanemu stanowiskowi wyposażonemu w nowoczesne systemy pomiarów i sterowania możliwe jest kontrolowanie stanu dynamicznego łożysk tocznych. Ze względu na to, że budowa laboratorium nie była obciążona pomocą publiczną, od samego otwarcia w 2014 roku uczelnia świadczy usługi dla firm zainteresowanych oceną jakości łożysk tocznych. Obecnie w laboratorium prowadzone są liczne badania naukowe mające na celu poszerzenie wiedzy dotyczącej trudno uchwytnych zjawisk dynamicznych, powstałych w skutek pracy łożyska tocznego. Testy wykonywane w laboratorium są przedmiotem licznych publikacji, prac inżynierskich, magisterskich, a także doktorskich.

Prezentowany referat przedstawia trzy urządzenia badawcze: stanowisko do badania momentu oporowego łożysk tocznych, urządzenie do badania trwałości łożysk tocznych oraz stanowisko do badania drgań łożysk tocznych. Odpowiedniki tych urządzeń znajdują się w zakładach produkcyjnych. Mają więc one potencjalne zastosowanie w kontroli nowo wytworzonych łożysk. W referacie zostanie przedstawiona konstrukcja mechaniczna tych urządzeń, zasada ich działania, a także powiązane problemy pomiarowe i badawcze.

Ze względu na istotność łożyska tocznego jako elementu maszyn i urządzeń mechanicznych oraz potrzeby podwyższania kwalifikacji absolwentów uczelni wyższych została przedstawiona również koncepcja wykorzystania stanowisk badawczych w aspekcie dydaktycznym. Referat zawiera propozycję sześciu ćwiczeń mogących być potencjalnym tematem zajęć laboratoryjnych dla studentów studiów pierwszego lub drugiego stopnia.

JÓZEF DREWNIAK, MICHAŁ HAĆ

Obliczenia stateczności śrub podnośników z uwzględnieniem podatności połączenia gwintowego

Praca zawiązana jest z obliczeniami stateczności podnośników śrubowych jedno- i wielostopniowych. Przedstawione rozważania pozwolą na udoskonalenie metod obliczeniowych stosowanych w projektowaniu podnośników śrubowych, jak również znajdą zastosowanie w obszarze dydaktyki przy ocenie dokładności obliczeń podnośników samochodowych w ramach zajęć projektowych Podstaw Konstrukcji Maszyn. Podstawowym założeniem przy obliczeniach wyoboczeniowych tego typu mechanizmów jest założenie, że każdy stopień podnośnika ma taką samą smukłość. W pracy przedstawiono dokładniejsze obliczenia analityczne, bazujące na tzw. metodach energetycznych, pozwalające badać wyoboczenie prętów o zmiennym przekroju. Obliczenia na wyoboczenie przeprowadzono dla zakresu sprężystego oraz sprężysto-plastycznego. W tym drugim przypadku wprowadzono pojęcie średniej smukłości, ułatwiającej obliczenia wytrzymałościowe. Dodatkowo w modelu obliczeniowym uwzględniono podatność połączenia gwintowego (śruba - nakrętka, a w podnośniku wielostopniowym: śruba wewnętrzna - nakrętka - śruba zewnętrzna - nakrętka zewnętrzna), zakładając różne materiały śruby (stal) i nakrętki (brąz, mosiądz). Badania Autorów wykazały, że błąd względny obliczeń uproszczonych stosowanych w obliczeniach na potrzeby dydaktyki, wynikający z założenia o stałej smukłości poszczególnych członów podnośnika, może być znaczny i wynosić nawet ponad 20% (zależnie od przyjętych danych), a otrzymane wyniki zaniżają wartość siły krytycznej, a więc znajdują się po stronie niebezpiecznej. Brak uwzględnienia podatności połączenia śrubowego zwiększa obszar błędu o dodatkowe kilka procent.

ROBERT BARAN, KRZYSZTOF MICHALCZYK, MARIUSZ WARZECHA

Wpływ przyłożonych i szlifowanych zwojów końcowych na statyczne charakterystyki sprężyn śrubowych naciskowych

Sprężyny śrubowe naciskowe znajdują szerokie zastosowanie w konstrukcji maszyn. Pomimo, że podstawowym zadaniem tego rodzaju sprężyn jest przenoszenie osiowej siły ściskającej, istnieje szereg aplikacji, w których sprężyny te przenoszą również obciążenia prostopadłe do osi, a znajomość ich charakterystyk poprzecznych jest istotna z punktu widzenia projektowania właściwości dynamicznych całej maszyny. Przykładem takich zastosowań są m. in. układy zawieszonych maszyn wibracyjnych oraz pojazdów szynowych. Sposób wykonania zwojów końcowych oraz ich liczba wpływa zarówno na sztywność osiową, jak i poprzeczną sprężyny śrubowej. W pracy przedstawiono wybrane sposoby ukształtowania zwojów końcowych oraz dokonano analizy ich wpływu na charakterystyki statyczne sprężyn. Wskazano na zaobserwowane w przeprowadzonych doświadczeniach różnice w sztywnościach poprzecznych sprężyny w zależności od kierunku działania siły. Zjawisko to nie jest uwzględniane w znanych z literatury zależnościach, jednak na jego praktyczne znaczenie wskazuje fakt, że sprężyny stosowane w układach usprężynowania pojazdów szynowych montowane są w ściśle określonych pozycjach. Wyniki przeprowadzonych badań, zarówno w odniesieniu do sztywności osiowej, jak i sztywności poprzecznej, zostały porównane z wynikami zależności literaturowych. Porównanie to wykazało istotne rozbieżności wyników, zwłaszcza w odniesieniu do sztywności

poprzecznych. Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie wniosków, mogących ułatwić konstruktorom projektowanie układów zawieszonych, wykorzystujących naciskowe sprężyny śrubowe o zwojach końcowych przygiętych i szlifowanych.

ZBIGNIEW DĄBROWSKI, JACEK DZIURDŹ, GRZEGORZ KLEKOT

Wykorzystanie modelu kinematycznego ząbienia ewolwentowego do analizy wibroaktywności pary zębatej

Zwarta budowa sprawia, że często drgania korpusu i hałas w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu są jednymi z niewielu stosunkowo łatwych do zmierzenia sygnałów niosących informację o stanie technicznym przekładni. Złożona struktura wymuszeń i dróg przenoszenia sprawiają jednak, że wyodrębnienie cech sygnału wibroakustycznego świadczących o zmianach stanu technicznego poszczególnych elementów i zespołów stanowi poważny problem poznawczy. Zasadnym jest więc wykorzystanie do tego celu opisu kinematyki pary zębatej, ponieważ jednoznacznie potwierdzono związek między prędkością poślizgu a przyspieszeniem drgań. Opis kinematyki bazuje na współrzędnej związanej z linią przyporu. W szczególności interesujące wydają się wyniki badań symulacyjnych (w dziedzinie czasu i częstotliwości) zmian parametrów związanych z poślizgiem międzyzębnym dla różnych dokładności wykonania i błędów położenia elementów współpracujących. Rezultaty uzyskane na drodze symulacji numerycznej porównano z wybranymi wynikami badań przekładni zębatej w warunkach eksperymentu stanowiskowego. Przykłady potwierdzają, że modelowanie pracy pary zębatej można wykorzystać podczas szeroko rozumianej optymalizacji konstrukcji oraz do oceny stanu technicznego przekładni zębatych.

Sesja 5B

JAN ZWOLAK

Analiza struktury wewnętrznej przekładni zębatych power shift

W pracy przedstawiono analizę dwóch przekładni zębatych (przekładnia typu A i przekładnia typu B) power shift, mających jednakową liczbę przełożeń i jednakową ich wartość, a różniących się strukturą wewnętrzną utworzoną przez koła zębate, sprzęgła i wały. Głównym celem analizy jest ustalenie wymiarów gabarytowych korpusu przekładni oraz naprężeń kontaktowych i naprężeń zginających w poszczególnych kołach zębatych przy zadanym wejściowym momencie obciążającym. Naprężenia kontaktowe i naprężenia zginające wyznaczono za pomocą autorskiego programu komputerowego z możliwością optymalizacji wielokryterialnej, odnosząc je równocześnie do wyznaczonych doświadczalnie wartości liczbowych zmęczenia wytrzymałości kontaktowej σ_{Hlim} oraz zmęczenia wytrzymałości objętościowej stopy zęba σ_{Flim} . Różnice w strukturze wewnętrznej przekładni wykazano liczbą zębów w poszczególnych kołach zębatych przy jednakowym module oraz zintegrowaniem odpowiednich kół z odpowiednimi sprzęgłami i wałami. W oparciu o przedstawione

schematy kinematyczne w układzie osiowym i w układzie promieniowym zapisano iloczyny elementarnych przełożeń poszczególnych par zębatych dających przełożenie całkowite na każdym stopniu przełożenia. Przekładnia typu A jak i przekładnia typu B ma osiem stopni przełożenia. Stopnie od 1 do 4 umożliwiają jazdę maszyny do przodu, a stopnie od 5 do 8 jazdę do tyłu. Uzyskane wyniki z analizy dają możliwość dokonania wyboru typu przekładni ze względu na określone kryteria (w tym przypadku wymiary gabarytowe korpusu i naprężenia boku zęba oraz stopy zęba).

ROMAN KRÓL, KAZIMIERZ KRÓL

Optymalizacja nieliniowa przekładni cykloidalnej z ograniczeniami równościowymi na wymiary obudowy

W artykule przedstawiono rezultaty optymalizacji nieliniowej przekładni cykloidalnej z ograniczeniami na wymiary obudowy. Przedstawiona metoda optymalizacyjna uwzględnia wiele ograniczeń, które muszą być uwzględnione w celu spełnienia wymagań konstrukcyjnych. Są to ograniczenia na sąsiedztwo sworzni i otworów, ograniczenia kostkowe na zmienne projektowe, ograniczenia na maksymalne naprężenia od zginania sworzni zewnętrznych i wewnętrznych, ograniczenia na naprężenia kontaktowe oraz ograniczenia na promienie krzywizny zębów i stóp koła obiegowego.

Dla wszystkich wariantów optymalizacyjnych uzyskano promień przekładni spełniający wymagania nakładane przez wymiary obudowy. Odręczne projektowanie przekładni przedstawionej w artykule może wymagać wielu podejść w celu spełnienia wymagań wytrzymałościowych i gabarytowych. Przedstawiona metoda optymalizacji niezawodnie rozwiązuje problem projektowania przekładni z ograniczeniami na wymiary obudowy.

KRZYSZTOF KOŁODZIEJCZYK

Wybrane zagadnienia projektowania jednostopniowej przekładni cykloidalnej

Obiegowe przekładnie cykloidalne znajdują coraz szersze zastosowanie w technice napędowej, m.in. w robotyce. Jest to związane z faktem, iż przekładnie te charakteryzują się wysokimi stopniami przełożeń na pojedynczym stopniu i dużą obciążalnością przy zachowaniu małych luzów oraz wysokiej precyzji ruchu. Dodatkowymi ich zaletami są mniejsza, zwarta budowa i mniejsza liczba elementów, co umożliwia ich łatwą zabudowę w układach napędowych maszyn i urządzeń.

Głównymi elementami przekładni cykloidalnych są dwa cykloidalne koła obiegowe zabudowane mimośrodowo na wale napędowym. Koła te współpracują z elementami tocznymi umieszczonymi obwodowo z korpusie przekładni. Z kołami obiegowymi współpracuje mechanizm równowodowy, który przekazuje ruch na wał wyjściowy.

W procesie projektowania przekładni cykloidalnych w oparciu o przyjęte założenia konieczne jest przeprowadzenie obliczeń analitycznych w celu wygenerowania zarysu geometrii uzębienia oraz wyznaczenia sił działających na elementy przekładni. Kolejnymi etapami są obliczenia i dobór

elementów tocznych i mechanizmu równowodowego, a także łożysk oraz zaprojektowanie wału napędowego i wyjściowego.

W referacie poruszone zostaną wybrane zagadnienia związane w projektowaniem jednostopniowej przekładni cykloidalnej w zakresie obliczeniowym i konstrukcyjnym wynikające z doświadczeń Autora. Dodatkowo poruszony zostanie wpływ doboru elementów tocznych i mechanizmu równowodowego na parametry pracy w oparciu o badania prototypowej przekładni cykloidalnej.

CHODOŁA ŁUKASZ, MAZURKOW ALEKSANDER, MARKOWSKI TADEUSZ, HOMIK WOJCIECH

Metoda pomiaru temperatury w zazębieniu kół zębatych przekładni spiroidalnej

W pracy przedstawiono budowę, zasadę działania oraz sposób smarowania przekładni spiroidalnej. Ponadto omówiono metodę pomiaru oraz stanowisko badawcze do pomiaru temperatury w zazębieniu kół zębatych.

BOGUSŁAW ŁAZARZ, ŁUKASZ MAZUREK

Identyfikacja właściwości wibroakustycznych przemysłowej przekładni mechanicznej na podstawie modelowania numerycznego przy wykorzystaniu oprogramowania MSC Actran

Wzrost konkurencyjności produktów oferowanych przez różnorodne branże inżynierskie powoduje konieczność ciągłego doskonalenia technologicznego nie tylko samych produktów, ale również procesów związanych z ich projektowaniem, wytwarzaniem oraz wprowadzaniem na rynek. Szczęólnego znaczenia nabiera tu faza projektowania i rozwoju produktu – często bowiem odbywa się ona w działach badawczo-rozwojowych firm produkcyjnych. W procesie projektowania różnorodnych produktów nie sposób również pominąć wszelkich wymagań i obostrzeń wynikających z regulacji prawnych – zarówno tych obowiązujących na terenie danego kraju, jak również wynikających z regulacji Unii Europejskiej. Jednym z takich wymagań jest poziom emitowanego hałasu podczas pracy urządzenia – jako przykład można tu podać test „pass-by-noise” – poziom emitowanego natężenia dźwięku przez przejeżdżający pojazd na specjalnie do tego przygotowanym torze pomiarowym. Stąd też dąży się obecnie do optymalizacji właściwości dynamicznych oraz akustycznych wszelkiego rodzaju maszyn i urządzeń, dlatego też niebagatelnego znaczenia nabierają analizy określane ogólnie jako NVH (Noise, Vibration and Harshness).

W niniejszym artykule Autorzy przedstawili możliwość określenia właściwości wibroakustycznych przemysłowej przekładni zębatej TDB230 na podstawie modelowania numerycznego z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania MSC Actran. Na podstawie wcześniej przygotowanej analizy odpowiedzi wymuszeniowej układu określono zakres potencjalnie niebezpiecznych dla przekładni wartości częstotliwości i te wartości jak również pola przemieszczeń obudowy przekładni zostały wykorzystane jako dane wejściowe do przeprowadzenia analizy wibroakustycznej z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych.

Efektom prac są przedstawione pola z naniesionymi warstwicami konturowymi ciśnienia akustycznego (tzw. sound-pressure level, SPL), jak również przebiegi częstotliwościowe zarejestrowanego poziomu ciśnienia akustycznego ze zdefiniowanych wcześniej tzw. wirtualnych mikrofonów. Przebiegi częstotliwościowe mogą być bowiem porównywane bezpośrednio z danymi testowymi uzyskanymi z badań przekładni zębatej w komorze bezdechowej.

Sesja 6A

ROBERT KOSTUREK, LUCJAN ŚNIEŻEK, JANUSZ TORZEWSKI

Wybrane problemy niskocyklowego zmęczenia połączeń FSW stopu AA2519

Proces FSW (ang. friction stir welding – zgrzewanie tarciove z przemieszaniem) pozwala na uzyskanie wysokiej jakości połączeń trudnospawalnych stopów aluminium, w tym dedykowanego zastosowaniom militarnym stopu AA2519. Rozważając materię zachowania się połączeń FSW narażanych na występowanie obciążeń zmiennych, należy mieć na uwadze szereg aspektów mikrostrukturalnych czyniących je lokalnie podatnym na odkształcenie plastyczne, na przykład: obszar niskiej twardości, czy granice pomiędzy poszczególnymi strefami złącza. Dodatkowym czynnikiem są tu zmiany zarysu spajanych elementów oraz naprężenia własne, występujące jako efekt procesu łączenia. Wszystkie te składowe stanowią karby: mikrostrukturalne, geometryczne oraz naprężeniowe, powodujące lokalne spiętrzenie naprężeń prowadzące do stopniowej utraty spójności połączenia w warunkach obciążeń zmiennych. W tym zakresie, na szczególną uwagę zasługują właściwości zmęczeniowe w domenie wytrzymałości niskocyklowej, z uwagi na specyfikę samego złącza, wpływającego na lokalizację maksymalnego odkształcenia sprężysto-plastycznego. W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań własnych niskocyklowego zmęczenia połączeń FSW stopu AA2519, pozwalające scharakteryzować główne czynniki wpływające na dekohezję połączeń, poprzez odniesienie wyników obserwacji makro i mikrofraktograficznego przebiegu pęknięcia zmęczeniowego do wyznaczonych rozkładów naprężeń własnych i wyników analizy mikrostrukturalnej zgrzein.

PIOTR SWACHA, ADAM LIPSKI

Badania trwałości zmęczeniowej w zakresie gigacyklowym przy zastosowaniu rezonansowej maszyny wytrzymałościowej. Budowa i zasada działania

Nowoczesne konstrukcje, takie jak silniki samochodowe osiągają trwałości rzędu 108 cykli, silniki okrętowe czy napędy kolei wysokich prędkości osiągają 109 cykli, trwałości turbin przekraczają 1010 cykli obciążenia. 5000 godzin pracy przekładni redukcyjnej śmigłowca odpowiada trwałości zmęczeniowej wynoszącej 109 cykli obciążenia. W związku z tym konieczne jest określanie własności zmęczeniowych w obszarze przekraczającym klasyczną granicę 107 cykli, potocznie określanym jako zakres zmęczenia gigacyklowego.

Istotnym ograniczeniem dla prowadzenia badań zmęczeniowych w obszarze powyżej 10^7 cykli jest czas badania pojedynczej próbki. Czas ten do osiągnięcia 10^7 cykli przekracza 11 dni w przypadku zastosowania klasycznych hydraulicznych maszyn wytrzymałościowych przy częstotliwości obciążenia wynoszącej 10Hz. Próba zmęczeniowa zmierzająca do osiągnięcia 10^{10} cykli w tym przypadku trwałaby 32 lata. W praktyce badania w zakresie zmęczenia gigacyklowego (Very High-Cycles Fatigue - VHCF) są możliwe dzięki zastosowaniu specjalnych maszyn, które pozwalają na realizację testów z częstotliwością obciążenia wynoszącą 20kHz. W tym przypadku badanie pojedynczej próbki do osiągnięcia trwałości 10^7 cykli trwa około 8 minut, a do osiągnięcia 10^{10} cykli mniej niż 6 dni. W pracy przedstawiono budowę i zasadę działania rezonansowej maszyny wytrzymałościowej umożliwiającej realizację badań zmęczeniowych w zakresie gigacyklowym z częstotliwością obciążenia wynoszącą 20kHz.

GRZEGORZ GOLAŃSKI

Mikrostruktura i wybrane właściwości mechaniczne nowoczesnej stali dla energetyki Thor 115

W referacie przedstawiono tło powstania oraz charakterystykę mikrostruktury i wybranych właściwości mechanicznych nowoczesnej stali konstrukcyjnej dla energetyki Thor 115. Mikrostrukturę badanej stali opisano za pomocą skaningowego i transmisyjnego mikroskopu elektronowego. Badanie właściwości mechanicznych obejmowało: pomiar twardości, statyczną próbę rozciągania oraz próbę udarności. Badania metaloznawcze przeprowadzono nie tylko na materiale w stanie dostawy, ale również po długotrwałym starzeniu w temperaturze zbliżonej do przewidywanej temperatury długotrwałej pracy.

MACIEJ OBST, WERONIKA PRUS, JAKUB MAJER, SZYMON RZEPczyk

Badania doświadczalne urazowości głowy chronionej kaskiem motocyklowym

Badania przy udarowym oddziaływaniu obciążenia są prowadzone w celu oceny skuteczności środków ochrony głowy, takich jak np. kaski rowerowe, kaski motocyklowe oraz urazowości organizmu człowieka. W przypadku środków ochrony głowy celem badań jest określanie pochłanianej energii uderzenia, sprawdzenie sztywności obiektu oraz wyznaczenie odporności mechanicznej paska podbródkowego. Wytyczne homologacyjne odnośnie kasków ochronnych są różne w różnych krajach. Przykładowo wymagania stosowane w UE są opisane w dyrektywach: E/ECE/324 i E/ECE/TRANS/505 oraz obecnie nowej normie ECE 22.06. Literatura tematyczna jest bogata zarówno w ujęcie medyczne urazowości poszkodowanych w wypadkach motocyklowych, jak również aspekty techniczne, gdzie przedstawiane są wyniki badań doświadczalnych, symulacyjnych i analitycznych. Znaczącą część opracowań tematycznych zajmuje ocena statystyczna wypadkowości i urazowości wśród motocyklistów, prowadzona w różnych krajach.

Autorzy pracy przeprowadzili doświadczalne badania udarowe modelu głowy celem oceny przyspieszeń translacyjnych oraz rotacyjnych rejestrowanych przez akcelerometry cyfrowe umieszczone w strefie podtwardówkowej głowy chronionej kaskiem motocyklowym. Badania przeprowadzono przy różnych prędkościach uderzenia bijaka o głowicy sferycznej w różne części kasku motocyklowego chroniącego drewniany model głowy dorosłego człowieka, wyposażony w system mocowania odzwierciedlający reprezentatywną, wyznaczoną na podstawie badań biomechanicznych sztywność karku. W badaniach wykorzystano szybką kamerę rejestrującą przemieszczenia układu: bijak model głowy chroniony kaskiem. Otrzymane wyniki pozwoliły także na ocenę energochłonności układu: szyja - głowa - kask ochronny oraz sztywności układu badanego. Charakterystyki doświadczalne wykorzystano do oceny przebiegu procesu uderzenia. Autorzy nie mogą przedstawić szczegółowo stanowiska badawczego ze względu na aktualny status zgłoszenia patentowego. Autorskie stanowisko zostało skonstruowane w taki sposób, że można odwzorować nieliniową charakterystykę dynamiczną sztywności szyi człowieka.

Sesja 6B

**IRENEUSZ SZACHOGŁUCHOWICZ, BARTOSZ FIKUS, LUCJAN ŚNIEŻEK, JANUSZ KLUCZYŃSKI,
KRZYSZTOF GRZELAK, JANUSZ TORZEWSKI, JAKUB ŁUSZCZEK**

Badania właściwości mechanicznych stali M300 o podwyższonej odporności balistycznej M300 wytwarzanej przyrostowo

Konstrukcje specjalne o przeznaczeniu militarnym charakteryzują się podwyższoną odpornością na dynamiczne oddziaływanie cząstek stałych. Jedną z najczęściej stosowanych metod zapewnienia odpowiedniego poziomu ochrony balistycznej jest stosowanie osłon wykonywanych ze stali pancernych. Skład chemiczny i właściwości mechaniczne w znacznym stopniu ograniczają możliwości kształtowania i spajania tego typu osłon, które w wielu przypadkach mają postać dodatkowego panelu ochronnego powodującego zwiększenie masy i zmianę położenia środka ciężkości konstrukcji. Zastosowanie stali pancernych na konstrukcję nośną pociąga za sobą konieczność stosowania prostych kształtów konstrukcji, nie pozwalających na optymalne wykorzystanie wewnętrznej przestrzeni. W pracy podjęto próbę przyrostowego wytworzenia stali M300 o podwyższonej odporności balistycznej przeznaczonej do kształtowania ekranów balistycznych o złożonych kształtach. Zwiększa to możliwości racjonalnego wykorzystywania tej stali jako materiału konstrukcyjnego na konstrukcje specjalne o podwyższonej odporności balistycznej. Do wytworzenia materiału M300 techniką przyrostową wykorzystano urządzenie SLM 125HL. Zasadniczą część badań strukturalnych z uwzględnieniem porowatości i wytrzymałościowych poprzedzono doбором parametrów przyrostowego wytwarzania. Otrzymany materiał poddano badaniom w dwóch stanach: przed i po dodatkowej obróbce cieplnej polegającej na wygrzaniu przez 1 godzinę w temperaturze 820°C, chłodzeniu w powietrzu oraz ponownym wygrzewaniu w temperaturze 480°C i chłodzeniu w powietrzu. W kolejnej części pracy badane materiały poddano próbie odporności balistycznej przy użyciu 5,56 x 45 mm NATO M855 (SS109). Zjawiska towarzyszące perforacji panelu podczas ostrzału zarejestrowano za pomocą kamery cyfrowej o szybkości skanowania 6 315 obrazów na sekundę. W ostatniej części pracy przedstawiono wyniki badań przełomów powstałej przestrzeliny z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej. Wyniki przeprowadzonych badań materiału M300 wytwarzanego techniką przyrostową jako materiału na konstrukcje o podwyższonej odporności

balistycznej pozwalają na rozważenie tej techniki wytwarzania jako alternatywnej w odniesieniu do wytwarzania konwencjonalnego i zachęcają do dalszych prac.

MARCIN JANUSZKA

Techniki poszerzonej rzeczywistości w cyklu życia naczepy

W dzisiejszych czasach wytwory (produkty) mają często bardzo złożony i skomplikowany cykl życia (ang. Product Lifecycle). Złożoność ta wynika często ze skomplikowania technicznego oraz wielu wymagań, które są stawiane środkom technicznym. Duża liczba istotnych wymagań nie tylko wpływa na proces projektowania środków technicznych, ale także na przebieg dalszego procesu produkcyjnego i pozostałe etapy cyklu życia produktu: marketing i promocję, eksploatację, utylizację. Najbardziej istotne wymagania brane pod uwagę w procesie opracowania obiektów technicznych obejmują wymagania techniczne funkcjonalne, ekonomiczne oraz ergonomię i bezpieczeństwo. Opracowane rozwiązania konstrukcyjne podlegają częstej weryfikacji i walidacji. Pomimo nowych możliwości prezentacji i analiz na etapie projektowania i konstruowania fizyczne prototypy nadal odgrywają ważną rolę w takiej weryfikacji środków technicznych. Ponadto istnieje tendencja do tworzenia prototypów środków technicznych na kilku etapach procesu ich opracowania. W niektórych przypadkach jest to niezwykle kosztowne, podyktowane wyłącznie potrzebą przedstawienia produktu do interesariusza, który nie ma wiedzy pozwalającej ocenić kolejną wersję rozwiązania, wyłącznie bazując na typowej reprezentacji technicznej. Naturalnym krokiem w rozwoju wsparcia wizualizacji produktów, na różnych etapach cyklu życia, wydaje się być zastosowanie zaawansowanych technik komputerowego wspomaganie. Ich przykładem są techniki poszerzonej rzeczywistości (ang. augmented reality, AR). Techniki AR pozwalają łączyć świat generowany komputerowo ze światem rzeczywistym w taki sposób, że stanowią jedno ujednoczone środowisko. Zastosowanie AR techniki dają możliwość efektywnej wizualizacji danych i wiedzy o produktach, zastępując często prototypy lub fizyczne modele, zachowując przy tym istotne cechy takiej prezentacji rzeczywistych obiektów. Stosowane mogą być na wielu różnych etapach cyklu życia produktu, co Autor przedstawia w artykule. Przedstawione przykłady zastosowania technik AR obejmują naczepy ciężarowe.

SEBASTIAN KOZIOŁEK, MAREK MYSIOR, GRZEGORZ PIETRUCHA

Badania i zastosowanie paneli o strukturze komórkowej w budowie przyczep lekkich

W artykule zaprezentowano wyniki badań przemysłowych oraz prac rozwojowych uzyskanych w wyniku realizacji projektu POIR.01.01.01-00-0563/17. Rezultaty badań przemysłowych stanowią wyniki komputerowej analizy wytrzymałościowej z zastosowaniem MES oraz eksperymentalnych badań laboratoryjnych na komponentach i modułach przyczepy zbudowanej z paneli o strukturze komórkowej. Badania te obejmują również doświadczenia laboratoryjne na próbkach honeycomb jako elementów konstrukcyjnych wykonanych w różnych wariantach rdzenia oraz zewnętrznych warstw panelu. Wyniki prac rozwojowych przedstawiają badania eksperymentalne na prototypach przyczep zaprojektowanych i wykonanych zgodnie z metodologią Inżynierii Wynalazczości.

MIROŚLAW NADER, JAROSŁAW KORZEB

Innowacyjne rozwiązanie wagonu kolejowego do przewozu technicznych środków transportu

Referat omawia założenia innowacyjnego rozwiązania wagonu kolejowego i systemu transportu kolejowego, które może być wykorzystane w systemie transportu intermodalnym. Autorskie rozwiązanie obejmuje opatentowane rozwiązanie wagonu posiadającego wysuwaną bocznie platformę, na której przewożone mogą być jednostki kontenerowe, naczepy oraz całe zestawy drogowe. Rozwiązanie nie musi konkurować z istniejącymi rozwiązaniami, lecz stanowi uzupełnienie portfela posiadanych przez operatora rozwiązań. Przewagą omawianego rozwiązania jest niski czas załadunku, uniknięcie kolejkowania FIFO oraz stosunkowo niski koszt zaplecza technicznego, którego minimum stanowi rampa najazdowa, a w przypadku przewozu samych jednostek kontenerowych wystarczą typowe urządzenia załadunku pionowego. Technicznie rozwiązanie oparte jest o typowe wózki Y25 i standardową konstrukcję wagonu z obniżoną podłogą.

Sesja 7A

DARIUSZ KURPISZ, MACIEJ OBST, SEBASTIAN GŁOWIŃSKI

Wpływ obciążeń dynamicznych na wybrane charakterystyki mechaniczne taśmy samochodowego pasa bezpieczeństwa

Intensywny rozwój przemysłu samochodowego, a w konsekwencji wzrost liczby eksploatowanych pojazdów, powoduje zwiększenie liczby wypadków i incydentów drogowych. Rozwijane niemalże od początków motoryzacji systemy ochrony bezpieczeństwa biernego zyskują więc coraz większe znaczenie. Szczególnie istotną rolę wśród nich pełnią pasy bezpieczeństwa, których podstawowym zadaniem jest zatrzymanie ruchu człowieka w trakcie kolizji. Mimo iż w trakcie pracy poddane są one działaniu obciążeń dynamicznych, to wymogi homologacyjne w zakresie oceny ich wytrzymałości ograniczają się jedynie do wyznaczenia charakterystyk statycznych. Celem niniejszej pracy jest zestawienie eksperymentalnych charakterystyk dynamicznych taśmy pasa bezpieczeństwa, poddanego oddziaływaniu obciążeń dynamicznych spowodowanych nabieganiem bijaka o masie 5kg, przy różnych prędkościach uderzenia. Przeprowadzając badania na dedykowanym stanowisku pomiarowym (zbudowanym z wieży spadkowej i systemu mocowania pasa – rewersor) wyznaczono (przy użyciu szybkiej kamery, dla pięciu różnych wysokości zrzutu) eksperymentalne zależności przyrostu długości, wyodrębnionego wcześniej fragmentu taśmy pasa (o długości odcinka pomiarowego – 200mm), od czasu, uzyskano zależności siły od przyrostu długości oraz energii dysypowanej od prędkości nabiegania uderzającego bijaka. Wyznaczono także wartości powstałych przeciążeń, niewralgiczne ze względu na ocenę bezpieczeństwa pasażera.

Projektowanie systemu sterowania robota eksploracyjnego wsparte jego modelem

Robotyka mobilna cieszy się wciąż rosnącą popularnością. Roboty wyręczają człowieka w pracy, a także zastępują go podczas działań w środowisku niebezpiecznym. Przykładem są roboty eksploracyjne stosowane do prowadzenia działań rozpoznawczych, badawczych, a niekiedy również ratunkowych. Zastosowanie robotów eksploracyjnych wykracza niekiedy poza granice Ziemi, czego przykładem stanowią tzw. łaziki marsjańskie, jak opracowane przez NASA Curiosity czy Perseverance, badające powierzchnię Marsa. Marsjańskie roboty eksploracyjne stały się tematem przewodnim licznych zawodów, w tym amerykańskiego University Rover Challenge (URC) oraz jego europejskiego odpowiednika – European Rover Challenge (ERC). Podczas przebiegu procesu projektowo-konstrukcyjnego tego typu platformy mobilnej szczególnie przydatne może okazać się zastosowanie metod projektowania wspartego modelem (ang. Model-Based Design, MBD) oraz środowiska symulacyjnego pozwalającego odtworzyć warunki panujące na innej planecie.

Powyższe zagadnienia są tematem przewodnim niniejszego artykułu, w którym wykorzystano podejście MBD oraz środowisko Unity do rozwiązania problemu nawigacji w ramach zadania Science Task. Analizowany fragment zadania, będącego jedną z konkurencji ERC, polega na autonomicznym osiągnięciu przez robota zadanej pozycji z maksymalną dokładnością, wykorzystując m.in. lokalizację wg znaczników AR. W tym celu zbudowano model kinematyczny robota eksploracyjnego na podstawie modelu CAD robota rozwijanego przez zespół Silesian Phoenix w ramach prac SKN Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI-METH działającego przy Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej. Opracowano także szczegółową scenę pracy robota, odpowiadającą tej wykorzystywanej podczas zawodów ERC. System sterowania robotem został przygotowany z wykorzystaniem sieci ROS, zgodnie z metodyką budowy szkieletowych systemów sterowania, wykorzystując połączenie modeli wiedzy bazujących na regułach logicznych oraz głębokich sieciach neuronowych. Badania weryfikacyjne przeprowadzono dwuetapowo według metodyki MBD. W pierwszym etapie przeprowadzono testy wykorzystujące wyłącznie środowiska symulacyjne (ang. Model-In-the-Loop, MIL). Następnie uruchomiono system sterowania na docelowym module obliczeniowym Nvidia Jetson Nano, za pomocą którego sterowano modelem symulacyjnym robota (ang. Processor-In-the-Loop, PIL). Efektywność działania modelu oceniono, stosując takie wskaźniki jak przebyta odległość, czas trwania misji oraz dokładność pozycjonowania.

ANNA JASKOT, PAWEŁ KWIATOŃ, BOGDAN POSIADAŁA

Badania eksperymentalne ruchu czterokołowej platformy mobilnej z uwzględnieniem poślizgu

W pracy opisano stanowisko badawcze i metodykę badań eksperymentalnych ruchu kołowych robotów mobilnych z uwzględnieniem występowania poślizgu na przykładzie czterokołowej platformy mobilnej. Z wykorzystaniem opracowanej metodyki badań zrealizowano badania eksperymentalne przy użyciu czterokołowego robota LEO Rover. W pracy zaprezentowano wyniki badań przejazdów testowych, które dotyczą ruchu robota po trajektorii prostoliniowej. Uzyskane parametry ruchu

odzwierciedliły zachowanie robota pod wpływem zapisanych wymuszeń zadanej konfiguracji impulsów napędów kół jezdnych robota w porównaniu do zapisu rzeczywistego ruchu robota pod wpływem tych wymuszeń. Wyniki prędkości i przemieszczeń porównanych zbiorów danych zostały przedstawione w pracy w postaci graficznej, ze szczególnym wskazaniem miejsc wzrostu i spadku prędkości, czyli odpowiednio w pierwszej (rozruchu) i ostatniej (hamowania) fazach ruchu robota, gdzie w największym stopniu widoczne jest zjawisko poślizgu kół w czasie ruchu. Badania eksperymentalne przeprowadzono w ramach weryfikacji przyjętych modeli dynamiki ruchu takich platform, co opisano w innych pracach autorów.

Zaprezentowane wyniki badań wykazują istnienie zjawiska poślizgu kół w czasie ruchu platformy, a porównanie wyników symulacyjnych uzyskanych przy użyciu opracowanych modeli dynamiki platformy z wynikami badań eksperymentalnych potwierdziło użyteczność opracowanych modeli obliczeniowych w zakresie badanych parametrów ruchu rozważanych rodzajów platform.

DARIUSZ SZPICA, ROMAN KACZYŃSKI

Uwzględnienie zmiennej sztywności skrętnej w modelowaniu dwumasowego koła zamachowego

W opracowaniu przedstawiono uproszczony model matematyczny dwumasowego koła zamachowego, (DKZ) uwzględniający zmienną sztywność skrętną układu sprężyn. Przy tworzeniu modelu bazowano na bilansie sił zewnętrznych i wewnętrznych. Wartość wejściową w postaci momentu obrotowego obliczano na podstawie przebiegu ciśnienia w cylindrze silnika spalinowego, z kolei dane techniczne DKZ zaczerpnięto z literatury. Do zainicjowania obliczeń niezbędnym było zdefiniowanie warunków początkowych, gdzie zaproponowano wykorzystanie charakterystyk sztywności, celem skrócenia czasu niezbędnego do ustabilizowania pracy analizowanego układu. Obliczenia przeprowadzono w środowisku Matlab-Simulink, gdzie równania różniczkowe opisujące ruch obu mas DKZ rozwiązywano numerycznie metodą trapezów (schematem niejawnym) połączoną z różniczkowaniem wstecznym. W analizie uwzględniono różne prędkości obrotowe silnika spalinowego i zmienną sztywność układu sprężyn w DKZ. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono poprawność zarówno modelu matematycznego, jak i sposobu określania warunków początkowych. Opracowany model może być wykorzystany w modelowaniu działania całego układu napędowego pojazdu lub jako podstawa do oceny wpływu modyfikacji DKZ na jego działanie.

Sesja 7B

ARTUR KRÓL, ANNA TIMOFIEJCZUK, TOMASZ ŁUKASIK

Cyfrowy bliźniak w procesie projektowania produktu

Referat przybliży tematykę planowanego wdrożenia metody Cyfrowego Bliźniaka do procesu projektowania produktu w dziale rozwojowo-badawczym przedsiębiorstwa z branży samochodowej. Przedmiotowy projekt jest realizowany w ramach doktoratu wdrożeniowego. Autorzy przybliżają specyfikę procesu projektowania części samochodowych w dużym międzynarodowym koncernie, z naciskiem na proces projektowania w fazie ofertowania. Istotą problemu jest relatywnie krótki czas dostępny na przeanalizowanie wymagań producenta samochodów i dobranie rozwiązania technicznego, które to musi spełniać wewnętrzne standardy, jak i zarówno wymagania techniczne klienta. W związku z krótkim czasem dostępnym na opisywany proces ofertowania, czasami nie dłuższy niż 2 tygodnie, jednostki badawczo-rozwojowe posługują się metodami symulacji komputerowych celem przyspieszenia doboru rozwiązania technicznego. Zaletą tego podejścia jest również obniżenie kosztów poprzez zastąpienie kosztownego testowania prototypów metodami symulacyjnymi. Aby symulacje komputerowe odzwierciedlały zachowanie rzeczywiste projektowanych części, należy dokonać korelacji modelu z wynikami testu elementu rzeczywistego. Autorzy referatu przybliżają również metodę Cyfrowego Bliźniaka jako jednego z elementów Przemysłu 4.0. Poprzez strukturalne uporządkowanie zestawów danych i zapewnienie poprawnego przepływu danych można uzyskać model numeryczny skorelowany względem zgromadzonych danych z testów części fizycznych. Dzięki temu powstała symulacja jest swoistym Cyfrowym Bliźniakiem, na której można dokonywać wirtualnej optymalizacji i wirtualnego testowania różnych wariantów technicznych, w krótszym czasie i przy mniejszym zaangażowaniu środków finansowych.

MATEUSZ MARKIEFKA, JACEK RYSIŃSKI

Wykorzystanie oprogramowania symulującego dynamikę wieloobiektową do minimalizacji wahań ładunku zawieszonoego na żurawiu

W artykule przedstawiony został sposób wykorzystania oprogramowania symulującego dynamikę wieloobiektową do badań nad stabilizacją ładunku zawieszonoego na żurawiu. W oprogramowaniu wykorzystany został model robota Kawasaki RS005L o 6-ciu stopniach swobody, który jest kinematycznym odpowiednikiem żurawia. Przeprowadzone symulacje są punktem wyjściowym do prac na obiekcie rzeczywistym. Program symulacyjny został połączony z oprogramowaniem Simulink, w którym wykonano układ sterowania i akwizycji danych. W oparciu o otrzymane wyniki z symulacji, zostanie na późniejszym etapie badań zastosowana metoda minimalizacji wahań ładunku.

Model wirtualny schodofazu dla osób z niepełnosprawnością motoryczną

Przedmiotem pracy magisterskiej było opracowanie modelu wirtualnego schodofazu dla osób z niepełnosprawnością motoryczną, obsługiwanego przez osobę trzecią.

Rosnący poziom starzenia się społeczeństwa oraz związane z tym liczne problemy zdrowotne (osłabienie masy mięśniowej, układu kostnego, różne schorzenia) powodujące wystąpienie niepełnosprawności motorycznej u osób starszych zwiększyły zapotrzebowanie rynkowe na urządzenia ułatwiające ich odpowiednie funkcjonowanie czy opiekę nad nimi. Jedną z ważniejszych trudności dla takich osób są schody. Część budynków nie jest wyposażona w odpowiedni sprzęt – dźwigi schodowe lub windy, dlatego w celu zniwelowania tej bariery architektonicznej powstały schodofazy – urządzenia umożliwiające poruszanie się użytkownika pomiędzy kondygnacjami budynku. Omówione w pracy urządzenie jest przeznaczone dla osób starszych. Ważnym aspektem jest też zapewnienie niskiego kosztu wyrobu, gdyż obecne ceny rynkowe niejednokrotnie uniemożliwiają zakup schodofazu

Celem projektu było stworzenie wirtualnego trójwymiarowego modelu schodofazu ręcznego (na podstawie opracowanej koncepcji) dla osób z niepełnosprawnością motoryczną, obsługiwanego przez osobę trzecią (bez wspomagania napędem elektrycznym), uwzględniając niezbędne wymagania prawne, wytrzymałościowe oraz ergonomiczne.

W pracy opracowano zbiór koncepcji pożądanego schodofazu, z których w wyniku optymalizacji wielokryterialnej wyłoniono optymalne rozwiązanie ze względu na opracowany zbiór kryteriów. Optymalizacji zostały poddane rozwiązania mechanizmu umożliwiającego korzystanie ze schodów, mechanizmy regulacji wysokości i odległości elementów (zagłówek, podłokietniki, uchwyty do asekuracji) oraz mechanizmy uniemożliwiające samoczynne przemieszczanie się sprzętu (hamulce).

Następnie zamodelowano model wirtualny schodofazu, który posłużył również do przeprowadzenia uogólnionej analizy MES. Na koniec wykonano weryfikację ergonomiczną modelu.

ROBERT PASZKOWSKI, FILIP JÓŹWIAK

Zastosowanie inżynierii odwrotnej w procesie rekonstrukcji granatnika wz. 36

W artykule omówiono proces modelowania repliki granatnika produkcji polskiej (wz. 36) na podstawie opracowania danych pozyskanych za pomocą skanera 3D. Historyczny egzemplarz granatnika (używanego w kampanii wrześniowej 1939) został przygotowany do procesu akwizycji danych geometrycznych, a pozyskana w procesie digitalizacji chmura punktów pomiarowych posłużyła do odwzorowania kształtu granatnika. Omówiono przygotowanie obiektu i układu pomiarowego do pozyskania danych, zastosowane oprogramowanie oraz sposoby digitalizacji obiektu wielkogabarytowego – wykraczającego poza objętość pomiarową użytego skanera. W wyniku podjętych działań powstał model 3D granatnika, umożliwiający odtworzenie repliki, a co za tym idzie rekonstrukcję tego ciekawego przykładu polskiej myśli technicznej okresu międzywojennego.

Sesja plakatowa

MATEUSZ KOPEĆ

Wysoce wydajny proces „FAST” tłoczenia na gorąco paneli tytanowych

Zapotrzebowanie na materiały o niskiej gęstości i masie oraz wysokiej wytrzymałości w sektorze lotnictwa zwiększyło się dzięki ambitnym celom zredukowania konsumpcji paliwa pojazdów lotniczych oraz obniżenia produkcji CO₂. Konwencjonalne technologie formowania blach tytanowych wymagają bardzo niskich prędkości formowania, temperatury powyżej 950°C oraz jednoczesnego wygrzewania matryc oraz materiału wsadowego w trakcie procesu, co przekłada się na czasochłonność oraz wysoki wydatek energetyczny tych metod. Alternatywną metodą formowania stopów tytanu staje się technologia Fast Light Alloys Stamping Technology (FAST) wykorzystująca szybki proces nagrzewania oraz formowanie przeprowadzane za pomocą matryc w temperaturze otoczenia. Wpływ parametrów nagrzewania na właściwości mechaniczne po formowaniu zbadano za pomocą wysokotemperaturowej próby rozciągania. Zaobserwowano, że stop Ti6Al4V wygrzany do 950°C z szybkością nagrzewania 100°C/s, a następnie schłodzony do 700°C i poddany rozciąganiu charakteryzował się wydłużeniem ponad 3 razy wyższym niż przy konwencjonalnej próbie rozciągania w 700°C z wygrzewaniem w tej temperaturze. Technologia FAST pozwoliła z powodzeniem uformować tytanowy usztywniacz skrzydeł w czasie krótszym niż 70 sekund, łącznie z nagrzewaniem, przenoszeniem materiału wsadowego i formowaniem zachowując 90% właściwości mechanicznych materiału wyjściowego. Element ten jest pierwszym na świecie pełnowymiarowym, uformowanym usztywniaczem skrzydła, którego wykonanie nie było możliwe z wykorzystaniem komercyjnie dostępnych technik. Implementacja technologii FAST pozwala zwiększyć efektywność procesu formowania o ponad 80%, redukując czas formowania z ~6 min do ~1 min.

KAROL CZEKAJ, ADAM NIESŁONY

Modelowanie dynamiki MES przy układach mechanicznych z uwzględnieniem kolizji podzespołów

Testy wibracyjne o charakterze losowym są jednymi z podstawowych testów w celu sprawdzenia wytrzymałości urządzeń w branży automotive. Obecny stan wiedzy i metody mogące służyć do analizy drgań konstrukcji układów mechanicznych nie uwzględniają nieliniowości zderzeń między współpracującymi częściami podczas eksploatacji. Symulacje nieliniowe dużych modeli (> 2,5 mln węzłów) na chwilę obecną są nieefektywne. Dlatego obecnie podstawowym kryterium dopuszczenia konstrukcji do produkcji jest test walidacyjny, który odzwierciedla pracę na pojeździe wraz z kolizją podzespołów. Testy takie przeprowadza się najpierw na prototypach, a następnie na produktach seryjnych, co generuje wysokie koszty i wydłuża czas wprowadzenia produktu na rynek.

Stale rosnące wymagania producentów w branży automotive tworzą potrzebę ciągłego doskonalenia i szybkiego procesu projektowania. Opracowanie liniowego modelu MES, który będzie odzwierciedlać nieliniowe zachowanie układu (zderzenia między częściami) pozwoli na bardzo szybką i niemal

bezkosztową weryfikację wytrzymałościową układów, umożliwi zaprojektowanie prototypów bez błędów konstrukcyjnych z punktu widzenia ich wytrzymałości i pozwoli na uniknięcie wielokrotnych testów zmęczeniowych na prototypach, a przeprowadzanie tylko jednorazowych testów wytrzymałościowych, jako ostatnia faza weryfikacji produktu.

W referacie przedstawiono prace nad metodą do analizy drgań nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych układów zawieszenia sprężarek do pojazdów osobowych. Metoda ma uwzględniać zderzenia między elementami zawieszenia podczas eksploatacji pojazdu, co pozwoli na wyznaczanie wytrzymałości zmęczeniowej komponentów, wykorzystując liniowe symulacje MES we wczesnej fazie projektowania. Przedstawiono wyniki pierwszych symulacji i testów wibracyjnych układu badawczego oraz wpływ zderzeń na zmianę odpowiedzi dynamicznej układu. Wysunięto hipotezy badawcze odnośnie liniowego modelowania dynamiki MES, które będą testowane w kolejnych etapach.

DARIUSZ KRAJEWSKI, MARIUSZ OLEKSY, RAFAŁ OLIWA, KATARZYNA BULANDA, KAMIL CZECH

Wpływ modyfikacji osnowy na przewodnictwo elektryczne kompozytów polimerowych

W ramach pracy otrzymano kompozyty polimerowe na osnowie żywicy epoksydowej (EP) modyfikowane nanonapełniaczami węglowymi. Zbadano wpływ dodatku grafitu, grafenu i sadzy na właściwości kompozytów, ze szczególnym uwzględnieniem przewodności elektrycznej. W pierwszej części pracy wytypowano optymalne ilości modyfikatorów i zbadano ich wpływ na właściwości użytkowe osnowy polimerowej. Następnie otrzymano próbki metodą Vacuum Casting i zbadano właściwości mechaniczne otrzymanych kompozytów – wytrzymałość przy statycznym rozciąganiu, wytrzymałość przy 3-punktowym zginaniu, udurowienie wg Charpy'ego i twardość wg Rockwella. Zbadano także przewodność elektryczną – powierzchniową i objętościową. Analizując otrzymane wyniki stwierdzono, że modyfikacja żywicy epoksydowej nanonapełniaczami węglowymi ma pozytywny wpływ na jej konduktywność. Właściwość ta jest uzależniona zarówno od rodzaju, jak i ilości użytego modyfikatora. Wybrane kompozycje o najlepszych właściwościach użytkowych zostaną wykorzystane do otrzymania kompozytów wzmocnionych włóknem węglowym, które mogą być zastosowane w przemyśle lotniczym i zbrojeniowym.

KAMIL CZECH, MARIUSZ OLEKSY, RAFAŁ OLIWA, KATARZYNA BULANDA, DARIUSZ KRAJEWSKI

Modyfikacja osnowy i wzmocnienia przekładkowych kompozytów polimerowych stosowanych w przemyśle zbrojeniowym

Celem pracy było opracowanie modyfikacji osnowy i wzmocnienia przekładkowych kompozytów polimerowych, przyczyniającej się do poprawy właściwości mechanicznych przy jednoczesnym obniżeniu ciężaru właściwego. W pierwszym etapie kompozyty otrzymywano techniką Vacuum Infusion Proces (VIP). Modyfikacji poddano zarówno żywicę epoksydową stanowiącą osnowę,

okładziny z tkaniny aramidowej, a także rdzeń otrzymany z gąbki polipropylenowej oraz maty szklanej. Modyfikacja polegała na wprowadzaniu nanonapełniaczy, takich jak kulki szklane, krzemionka oraz bentonit do osnowy. W przypadku wzmocnienia nanonapełniacze nanoszono technikami: na sucho, maceracją w rozpuszczalniku oraz z wykorzystaniem płynu zagęszczającego się przy ścinaniu. W kolejnym etapie zbadano właściwości mechaniczne kompozytów: zginanie 3-punktowe, udarność wg Charpy'ego, a także właściwości reologiczne otrzymanych kompozycji zawierających wytypowane modyfikatory osnowy. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że zarówno ilość, rodzaj oraz metoda wprowadzania/preparacji napełniacza zasadniczo wpływa na zbadane w pracy właściwości mechaniczne kompozytów. Opracowane kompozyty w przyszłości mogą zostać wykorzystane w przemyśle zbrojeniowym do produkcji osłon i pancerzy balistycznych pojazdów opancerzonych, łodzi oraz helikopterów.

ALEKSANDRA BISZCZANIK

Konstrukcja stanowiska badawczego do empirycznej weryfikacji naprężenia zagęszczającego i przetłaczającego suchy lód w zależności od wybranej geometrii matrycy

Suchym lodem nazywamy skryształizowany dwutlenek węgla powstający w wyniku rozprężenia ciekłego CO₂. Materiał ten ma temperaturę -78,5 °C i w warunkach normalnych intensywnie sublimuje. W celu zmniejszenia prędkości sublimacji i przemysłowego wykorzystania jest on zagęszczany z postaci sypkiej (gęstość na poziomie około 500 kg/m³) do postaci odpowiednio ukształtowanego peletu o gęstości na poziomie około 1625 kg/m³. Do wytwarzania peletu służą peletyzery pracujące w technice tłokowej. Wyposażone są one w matryce nadające formowanemu peletowi ostateczny kształt przekroju. Zaprezentowane stanowisko ma posłużyć do wyznaczenia współczynnika sprężystości suchego lodu oraz do weryfikacji sił jego zagęszczania i przetłaczania w zależności od wybranej geometrii matrycy. Podczas projektowania stanowiska badawczego brano pod uwagę temperaturę materiału oraz wynikającą z niej konieczność chłodzenia stanowiska w celu zmniejszenia prędkości sublimacji suchego lodu. Założenia projektu dotyczyły: wykorzystania techniki tłokowej, możliwości badania matryc o zmiennej średnicy zewnętrznej w zakresie od 30 do 50 mm oraz zmiennej geometrii otworów wewnątrz matrycy kształtującej, możliwość zagęszczania materiału bez jego przetłaczania, zabezpieczenie powierzchni matrycy przed kolizją z powierzchnią stempla, minimalizację luzu i niewspółosiowości pomiędzy częściami ruchomymi - stemplem i wnętrzem komory zagęszczającej, możliwość zamrożenia jedynie wybranych elementów stanowiska, łatwy demontaż układu w celu pomiaru masy, zasypu materiału i wymiany matrycy. W celu ustawienia osiowego elementów i ograniczenia oporów własnych stanowiska założono prowadzenie tłoka, wykorzystując do tego prowadnice, które zamocowane w układzie prowadzącym nie podlegały mrożeniu. Różnice w rozszerzalności cieplnej materiału uwzględniono, planując odpowiednie luzy pomiędzy układem prowadzącym a demontowaną tuleją i stemplem. Wagę stanowiska starano się zminimalizować ze względu na konieczność częstego demontażu wybranych elementów. Skręcana obudowa pozwoliła na łatwą wymianę elementów wewnętrznych dopasowanych do wybranej matrycy, a kształt tulei pozwolił na łatwe umieszczanie i wyjmowanie jej z układu prowadzącego. Wraz z możliwością wymiany matrycy uwzględniono możliwość wymiany tłoka. Poprawność konstrukcji i pracy układu zweryfikowano po wykonaniu prototypu i wprowadzono modyfikacje w wymiarach pasowań wynikające z różnic w czasie chłodzenia/ogrzewania poszczególnych części oraz problemów ze zbyt dużą szczelnością układu.

Zastosowanie koncepcji modelu kinematycznego wyznaczania modelu trwałości zmęczeniowej przy obciążeniach blokowych

W pracy opisano model kinematyczny modelu wyznaczania trwałości zmęczeniowej dla obciążeń blokowych. Proponowany model ma zastosowanie w zakresie dużej liczby cykli. Wykorzystując wybrane wyniki badań eksperymentalnych w dostępnej literaturze, dokonano weryfikacji zaproponowanego modelu. Model został opracowany na podstawie wcześniejszych hipotez kumulacji uszkodzeń Palmgrena-Minera przy użyciu ważonej amplitudy stopnia m , czyli nachylenia wykresu Basquina. W ostatecznej wersji proponuje się obliczenie zmiennej amplitudy średniej, w danej chwili czasu, na podstawie tych dwóch modeli.

MACIEJ KACZOR, ANNA TIMOFIEJCZUK, MARCIN JANUSZKA

Analiza równoważenia obciążeń linii produkcyjnej do wytwarzania ram naczep kurtynowych

Z uwagi na wysokie i ciągle rosnące zapotrzebowanie na standardowe naczepy kurtynowe potrzebą stało się zwiększenie możliwości produkcyjnych. Niewystarczająca zdolność wytwarzania ram naczep kurtynowych w procesie produkcyjnym w odniesieniu do zapotrzebowania klientów nie pozwala na budowanie coraz silniejszej pozycji na rynku. Głównymi przyczynami mającymi wpływ na zdolność wytwarzania są: zachwiana równowaga obciążenia poszczególnych stanowisk linii produkcyjnej, brak ulepszeń, modyfikacji linii wpływających na skrócenie czasu produkcji, niestabilny proces ciągłego doskonalenia w obszarze produkcji ram naczep kurtynowych, brak dedykowanej metody oraz oprogramowania pozwalającego na analizę i modelowanie procesu produkcyjnego w celu jego zbalansowania, zachwiany proces dostawy komponentów na stanowiska linii produkcyjnej (czas, jakość, ilość), nieoptymalizowany proces spawania.

Biorąc pod uwagę powyższe podjęto decyzję w firmie Wielton o rozpoczęciu optymalizacji procesu wytwarzania ram naczep kurtynowych. Głównym celem optymalizacji będzie m.in. kryterium minimalizacji taktu linii i cyklu na stanowiskach wchodzących w skład linii produkcyjnej dla ram naczep kurtynowych. Założeniem jest, że rezultatem bezpośrednim optymalizacji będzie zbalansowanie linii produkcyjnej, które przełoży się na zwiększenie liczby produkowanych ram naczep kurtynowych w jednostce czasu np. w 24 godzinach. Autorzy w swoim referacie przedstawiają wyniki prac dotyczące zbalansowania linii produkcyjnej do wytwarzania ram naczep kurtynowych w firmie Wielton.

**KRZYSZTOF PSIUK, MACIEJ MALCZYK, PIOTR REKUS, MICHAŁ SOBOTA, ADRIAN SZCZYŻ,
MARCIN SZEWCZYK, WOJCIECH SZYMIK**

Zagadnienia projektowe studenckiego bolidu napędzanego sprężonym powietrzem

Tematem referatu jest przedstawienie zagadnień projektowych związanych z opracowaniem projektu bolidu napędzanego sprężonym powietrzem, a przygotowanym przez zespół studentów zrzeszonym w ramach koła naukowego działającego przy Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej. W referacie zostaną opisane problemy i efekty prac z jakimi zmagali się projektanci bolidu. Zostaną opisane wyniki przeprowadzonych analiz oraz prac projektowych związanych z wykonaniem projektu ramy bolidu, układu przeniesienia napędu, układu sterowania, a także poszycia samego bolidu. Przewidywany zostanie również opracowany dla potrzeb bolidu system telemetrii.

ANNA GNACY-GAJDZIK, PIOTR PRZYSTAŁKA

Identyfikacja anomalii wywołujących fałszywie negatywne wyniki w procesie testowania oprogramowania wbudowanego

Stale wzrastająca rola mechatroniki w budowie i eksploatacji pojazdów samochodowych jest źródłem wielu wyzwań dla inżynierów projektujących oraz integrujących ze sobą poszczególne rozwiązania mechaniczne, elektroniczne oraz programistyczne. Oprogramowanie wbudowane w sterowniki ECU realizuje coraz bardziej złożone funkcje. Systemy sterujące samochodem mogą pośrednio lub nawet bezpośrednio wpływać na zdrowie i życie ludzkie. Ważnym elementem zapewnienia jakości oraz bezpieczeństwa eksploatacyjnego pojazdów stało się testowanie, zdefiniowane jako złożony proces przez normę ISO 26262 oraz standard ASPICE. Aby zoptymalizować koszty oraz czas trwania poszczególnych etapów testowania producenci oprogramowania wbudowanego dążą do jego automatyzacji. Na poziomie testów jednostkowych oraz testów integracyjnych ingerencja człowieka w proces testowania kończy się na zaprojektowaniu przypadku testowego i jego implementacji. Włączenie gotowych skryptów testowych w praktykę ciągłej integracji (ang. Continuous Integration – CI) pozwala na automatyczne wykonywanie testów regresyjnych po każdym uaktualnieniu plików w repozytorium przez inżyniera systemów wbudowanych. W przypadku negatywnego wyniku serwer ciągłej integracji automatycznie przekazuje informacje o niepowodzeniu testu. W przypadku testów kwalifikacyjnych weryfikujących wymogi bezpieczeństwa oprogramowania wymagane jest testowanie oprogramowania w czasie rzeczywistym w środowisku docelowym. Rekomendowane przez normę ISO 26262 środowisko testowe to docelowy pojazd samochodowy. Jednak ze względu na koszty oraz trudności błędów podczas testowania powszechnie stosowanym środowiskiem jest symulacja Hardware In the Loop (HIL). Projektując przypadki testowe w obydwu tych środowiskach należy brać pod uwagę wiele warunków wpływających na wynik testu. W praktyce projektanci przypadków testowych koncentrują się na testowanej funkcjonalności, analizując w przypadku negatywnego wyniku testu przyczyny niepowodzenia i decydując o tym, czy należy zgłaszać defekt. Pojawianie się tzw. testów migoczących (dających wyniki pozytywne oraz negatywne przy kilkakrotnym wykonaniu testu na tej samej wersji oprogramowania wbudowanego i w tym samym środowisku) przyczynia się do tego, że testy kwalifikacyjne rzadko włączane są w praktykę CI. W niniejszej pracy przeprowadzona została analiza testów dających wyniki migoczące, wykonana na podstawie raportów z wykonania

testów oraz logów zawierających sygnały z magistral komunikacyjnych, wartości wielkości fizycznych mierzonych w symulacji HIL. Miała ona na celu identyfikację i kategoryzację anomalii występujących podczas wykonywania tych testów i wpływających na ich rezultat. Wyniki przedstawionej analizy zostaną wykorzystane w dalszych pracach badawczych, których celem jest opracowanie metodyki automatycznej weryfikacji negatywnych wyników testów układów wbudowanych.

Projekt współfinansowany przez Ministerstwo Edukacji i Nauki w ramach dotacji nr DWD/4/55/2020

GRZEGORZ WOJNAR, MICHAŁ JUZEK

Ocena wpływu modyfikacji budowy wewnętrznej koła zębatego na jego częstotliwości modalne

Przekładnie zębate stanowią kluczowy podzespół wielu układów przeniesienia napędu stosowanych w różnych środkach transportu. Mimo stopniowo zwiększającej się liczby pojazdów samochodowych wykorzystujących alternatywne źródła napędu, często mylnie uważanych za rozwiązania niewymagające konieczności stosowania różnego rodzaju przekładni, zauważalny jest wzrost zgłoszeń patentowych wiodących firm z branży układów przeniesienia napędu, dotyczących innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych kół zębatych oraz pozostałych elementów przekładni. W przypadku środków transportu niezwykle istotnym jest dążenie do projektowania tzw. „cichych kół zębatych”, a tak naprawdę kół zębatych, które w mniejszym stopniu przenoszą drgania ze strefy zazębienia na korpus przekładni, a przez to ograniczają hałas generowany przez samą przekładnię. Dążenie to wynika z potrzeby zwiększenia komfortu pasażerów oraz pozostałych użytkowników przekładni. Tematyka obejmująca wiobroaktywność przekładni nieustannie stanowi cel badawczy w wielu światowych publikacjach naukowych. Zawarte w nich prace skupione są na poszukiwaniu możliwości ograniczenia emisyjności drganiowej przekładni w wielu obszarach takich jak: modyfikacje konstrukcji elementów wewnętrznych i zewnętrznych przekładni, opracowanie optymalnego kształtu korpusu, optymalizacja parametrów materiałowych i środków smarnych, czy dobór charakterystyk sprzęgieł podatnych. Warto jednak podkreślić, że jedno z głównych źródeł drgań pracującej przekładni stanowi strefa zazębienia. Ograniczenie transmisji drgań z tego obszaru na pozostałe elementy przekładni może skutkować znaczącym ogólnym obniżeniem emisyjności drgań i hałasu przekładni. W tym celu poszukuje się rozwiązań umożliwiających tłumienie drgań już na drodze strefy zazębienia - korpus przekładni. Jednym z takich rozwiązań jest opisana w zgłoszeniu patentowym P.435585 innowacyjna konstrukcja koła zębatego, którego zaletą jest możliwość ograniczenia transmisji drgań ze strefy zazębienia na pozostałe elementy przekładni. W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych wykorzystujących metodę MES, których celem było wyznaczenie oraz porównanie częstotliwości modalnych koła o klasycznej budowie wewnętrznej względem koła o zmodyfikowanej konstrukcji według zgłoszenia patentowego P.435585. Analiza uzyskanych wyników wykazała znaczące różnice wyznaczonych częstotliwości modalnych obu badanych rozwiązań.

PRZEMYSŁAW JASZAK, JANUSZ SKRZYPACZ, ROBERT WOJTYNEK, ŁUKASZ ZAŃKO

Metoda doboru sprężyn zaworu bezpieczeństwa, bazująca na hydrodynamicznym modelu przepływu

Zawory bezpieczeństwa to głównie elementy zabezpieczające instalacje ciśnieniowe przed nadmiernym wzrostem ciśnienia. Z tego powodu konstrukcja zaworu musi zapewnić jego perfekcyjną i niezawodną pracę. Aby zawór bezpieczeństwa pracował w wąskim zakresie parametrów b_1 i b_2 , należy bardzo precyzyjnie dobrać charakterystykę sprężyny. W artykule przedstawiono metodykę doboru sprężyny, bazującą na charakterystykach sił hydrodynamicznych działających na elementy zamykające zaworu, otrzymane przy wykorzystaniu CFD.

KINGA CHRONOWSKA-PRZYWARA

Wpływ wybranych parametrów badań na deformacje i pękanie powłok TiN

W artykule przedstawiono wyniki badań tribologicznych powłok TiN pozwalające określić wytrzymałość i odporność powłok na pękanie. Badania przeprowadzono dla powłok pojedynczych o grubości od $1\mu\text{m}$ do $5,2\mu\text{m}$. Wszystkie powłoki nałożono na podłoże ze stali austenitycznej X5CrNi18-10. Do badań użyto diamentowego wgłębnika o promieniach zaokrąglenia 20, 50, 200 i $500\mu\text{m}$. Przy użyciu Mikro Combi testera wykonano testy zarysowania oraz indentacje w zakresie sił do 3N. Do analizy Lc1, Lc2 oraz lokalizacji pęknięć użyto obrazów z profilometru optycznego, zdjęć z mikroskopu skaningowego i zdjęć z Micro Combi Testerera - CSM Instruments. W wyniku przeprowadzonych badań zaobserwowano, że cienkie powłoki $1,4\mu\text{m}$ i $2,1\mu\text{m}$ pękają przy niższych obciążeniach wgłębnika o promieniu $20\mu\text{m}$ niż grube powłoki $4,1\mu\text{m}$ i $5,2\mu\text{m}$. Wynoszą one odpowiednio 70-110mN i 150-399mN. Zauważono również, że wraz ze wzrostem promienia zaokrąglenia wgłębnika dochodzi do dużej delaminacji powłoki od podłoża w przypadku cienkich powłok.

BŁAŻEJ KURPIEL, ANNA TIMOFIEJCZUK, WITOLD KŁOPOT

Optymalny wybór sterowania ciśnieniem w układzie hydraulicznym stanowiska do testów wysokotemperaturowych

Dynamiczny rozwój przemysłu motoryzacyjnego powoduje, że od producentów części samochodowych wymaga się szybkich odpowiedzi na potrzeby rynku i dostarczania innowacyjnych produktów, które charakteryzują się wysoką jakością oraz atrakcyjną ceną. Aby sprostać tym wymaganiom oraz coraz bardziej rozbudowanym specyfikacjom, firmy z przemysłu motoryzacyjnego wychodzą naprzeciw nowym oczekiwaniom klienta, produkując i testując elementy samochodowe przy stosowaniu coraz nowszych technik. Poprawne przetestowanie tych części wpływa na bezpieczeństwo, osiągi oraz komfort prowadzonego samochodu.

W firmie Tenneco realizowanych jest wiele projektów dotyczących projektowania oraz produkcji amortyzatorów pasywnych oraz półaktywnych. Są to elementy produkowane na pierwszy montaż dla wielu marek samochodowych z segmentu premium. Przeprowadza się precyzyjne badania oraz walidacje produktu w warunkach, które odzwierciedlają rzeczywistą pracę zawieszenia pojazdu podczas jazdy. Dla nowych specyfikacji testu powstała potrzeba opracowania nowego stanowiska pomiarowego, przy pomocy którego można badać wytrzymałość uszczelnień amortyzatora w zależności od warunków pracy. Testowane próbki składają się z odseparowanych uszczelnień lub uszczelnień z łożyskiem ślizgowym. Głównymi parametrami testu są wysokie ciśnienie w układzie hydraulicznym, które narasta w czasie oraz wysoka temperatura, która również zmienia się w czasie trwania testu. Stanowisko do testów wysokotemperaturowych powinno zapewnić sterowanie ciśnieniem w układzie hydraulicznym na poziomie 300 bar, natomiast źródło ciepła zainstalowane na stanowisku powinno zapewnić sterowanie temperaturą do 200°C.

Mając na uwadze to, że wysoka temperatura pochodząca ze źródła ciepła, może spowodować uszkodzenie podzespołów układu hydraulicznego, należy optymalnie dobrać budowę tego stanowiska oraz układ sterowania ciśnieniem. Dobry układ hydrauliczny powinien zminimalizować transfer ciepła do części układu hydraulicznego, które nie są odporne na wysoką temperaturę.

Niniejsza praca dotyczy procesu koncipowania oraz doboru optymalnego układu hydraulicznego, dla stawianych warunków pracy.

ANDRZEJ GAĞOROWSKI

Wpływ elementów konstrukcyjnych układu wylotowego silnika spalinowego na przepływ energii akustycznej

W samochodowym układzie wylotowym można wyróżnić elementy konstrukcyjne tworzące kanały przepływowe i transportowe oraz urządzenia przetwarzające energię chemiczną, cieplną, mechaniczną i akustyczną. Jego podstawowe funkcje związane są z poprawną pracą silnika, oczyszczaniem spalin oraz redukcją hałasu. Badając układ wylotowy z punktu widzenia ograniczania emisji energii akustycznej do środowiska należy brać pod uwagę całą jego konstrukcję w tym poszczególne podzespoły oraz elementy połączeniowe. W konstrukcjach samochodowych można spotkać różne ich rozwiązania. W artykule przedstawiono badania wpływu wybranych elementów na poziom i przepływ energii akustycznej w systemie silnik - układ wylotowy z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania AVL AST.

KAROLINA GŁOWACKA, RAFAEL MIOZGA, TADEUSZ SMOLNICKI

Zastosowanie cyfrowej korelacji obrazu do wyznaczenia stałych inżynierskich w materiale kompozytowym

W ostatnich latach rośnie popularność materiałów kompozytowych w zastosowaniach konstrukcyjnych. Jednak ich zastosowanie nadal nie jest powszechne ze względu na ograniczoną

wiedzę na temat ich właściwości. Jednym z interesujących parametrów są stałe inżynierskie, które są zależne od poszczególnych komponentów, ich udziału procentowego, a także połączenia pomiędzy materiałami składowymi. W przypadku warstwowych laminatów kompozytowych, charakteryzujących się właściwościami ortotropowymi, pojawia się dodatkowa trudność, wynikająca z faktu, że macierz sztywności opisywana jest aż dziewięcioma niezależnymi stałymi inżynierskimi. Oczywiście istnieje możliwość przewidzenia tych wartości na podstawie właściwości komponentów, przede wszystkim z wykorzystaniem teorii mieszanin oraz odwrotnej teorii mieszanin, jednak uzyskiwane rezultaty często są poddawane w wątpliwość, szczególnie w przypadku wyznaczania modułu ścinania, gdzie uzyskiwane wyniki są zauważalnie zaniżone. W związku z tym postanowiono wyznaczyć wartości stałych inżynierskich w materiale kompozytowym w inny sposób, tj. z wykorzystaniem cyfrowej korelacji obrazu, a następnie porównać je z wynikami uzyskanymi na drodze obliczeniowej. Badania przeprowadzono na przykładzie laminatu warstwowego, w którym funkcję osnowy pełni polipropylen, natomiast funkcję wzmocnienia pełnią ciągłe włókna szklane ułożone jednokierunkowo. Aby uprościć analizę, wzięto pod uwagę jedynie płaski stan naprężenia, dzięki czemu do uzyskania macierzy sztywności konieczne było wyznaczenie jedynie modułu Younga w kierunkach wzdłuż włókien E1 i w poprzek włókien E2 oraz liczby Poissona ν_{12} i modułu ścinania G12 w płaszczyźnie wyznaczonej kierunkami, dla których wyznaczone zostały moduły Younga.

RAFAEL MIOZGA, ANDRZEJ KUREK, MARTA KUREK, MARCIN WACHOWSKI

Wpływ orientacji druku DMLS na wytrzymałość materiałów przed i po obróbce cieplnej

Podstawowe właściwości mechaniczne określone są na podstawie odpowiednich eksperymentów przeprowadzonych na próbkach wyciętych z badanego materiału. W większości przypadków ani miejsce, ani kierunek pobierania próbek nie wpływa na właściwości mechaniczne próbki. W takim przypadku mówimy, że badany materiał jest jednorodny i izotropowy. Jednak w przypadku materiałów wytwarzanych przyrostowo jest inaczej. Próbki ze stali MS1 wykonano za pomocą technologii DMLS, która umożliwia bezpośrednią produkcję wysokiej jakości części metalowych na podstawie modeli 3D CAD.

W pracy przedstawiono wyniki statycznej próby rozciągania próbek drukowanych przed i po obróbce cieplnej. Celem pracy jest zbadanie wpływu orientacji druku na właściwości mechaniczne i skłonność do pęknięcia badanego materiału, z uwzględnieniem obróbki cieplnej.

MALAWSKI KAMIL, GRZEJDA RAFAŁ

Ocena stopnia samoczynnego luzowania połączeń śrubowych

Połączenia śrubowe są bardzo często stosowane do łączenia konkretnych elementów konstrukcji oraz komponentów maszyn. Odpowiednio zaprojektowane mogą przenosić znaczne obciążenia, a także umożliwiają ich łatwą wymianę, naprawę oraz serwisowanie. Zalety stosowania takich połączeń sprawiają, że są one chętnie wybierane podczas konstruowania maszyn i w przemyśle produkcyjnym.

Śruba obciążona statycznie jest utrzymywana w zadanym położeniu przez siły tarcia występujące pod tłem i na gwincie, jednak połączenia śrubowe mogą ulegać niepożądanemu, samoczynnemu luzowaniu. Przyczynami tego zjawiska mogą być m. in.: warunki klimatyczne działające na dane połączenie śrubowe, przemieszczenia na skutek drgań, działania różnego rodzaju sił. Świadomość tego problemu doprowadziła do powstania wielu metod mających na celu ocenę stopnia luzowania połączeń śrubowych.

W pracy przedstawiono sposoby oceny stopnia luzowania połączeń śrubowych na bazie opublikowanych metod oraz wyników badań. Celem pracy jest dokonanie przeglądu istniejących metod i usystematyzowanie najważniejszych informacji na ich temat. Zakresem pracy objęto porównanie tych metod i ich weryfikację w zakresie dokładności, ilości czasu wymaganego do przeprowadzenia konkretnego badania oraz warunków, w których dana metoda jest najkorzystniejsza.

IZABELA BARWIŃSKA, TOMASZ DUREJKO, MATEUSZ KOPEĆ, ZBIGNIEW L. KOWALEWSKI

Wykorzystanie systemu LENS do oceny możliwości regeneracji części maszyn i urządzeń wykonanych ze stopu Inconel 625

W pracy zaproponowano wykorzystanie laserowej metody przyrostowej Laser Engineered Net Shaping (LENS) do oceny regeneracji modelowych elementów wykonanych ze stopu Inconel 625. W badaniach wstępnych wykorzystano sferyczny proszek stopu Inconel 625 o średniej wielkości cząstek równej 70 μm oraz podłoże wykonane z tego samego materiału. Optymalizację parametrów technologicznych przeprowadzono przy stałej mocy lasera równej 550 W, zmieniając posuw głowicy laserowej, szybkość podawania proszku, czas zwłoki włączenia/wyłączenia lasera (Laser On/Off Wait) względem startu napawania oraz włączenie/wyłączenie lasera ściśle skorelowane z ruchem głowicy (Laser Off/On Shutter Delay). Podczas regeneracji z wykorzystaniem modułu Teach and Learn w opcji bez i z budowaniem konturu (odpowiednio Hatch Only i Hatch Fill) wykonano napoinę nie wykazującą defektów strukturalnych w objętości. Stwierdzono, że odpowiednio dobrane parametry technologiczne procesu LENS (moc lasera 550 W i szybkość podawania proszku 12 RPM) oraz podniesienie temperatury podłoża do 300°C umożliwi precyzyjną regenerację wybranych elementów części maszyn i urządzeń. Ponadto ubytki powinny być wypełnianie w co najmniej trzech przejściach, co z kolei zagwarantuje otrzymanie napoiny o wysokiej jakości metalurgicznej oraz bez występowania nieciągłości w strefie przejścia napoina/materiał podłoża.

SZYMON BECZAŁA, PAWEŁ CHRZANOWSKI

Prototyp układu wydechowego o zmiennej geometrii do silnika dwusuwowego

W artykule przedstawiono wyniki prowadzonych badań w zakresie realizacji projektu, budowy oraz weryfikacji prototypu układu wydechowego o zmiennej geometrii do silnika dwusuwowego. Omówiono cel oraz zakres realizacji prototypu na podstawie przeglądu istniejących rozwiązań. Następnie omówiono założenia projektu oraz sposób opracowania dokumentacji i wykonania

prototypu. Dla wykonanego układu wydechowego omówiono plan badań, a dalej zamieszczono wyniki badań na motocyklowej inercyjnej hamowni podwoziowej.

Uzyskane wyniki badań przeprowadzonych na hamowni pokazują, że zastosowanie układu wydechowego o zmiennej geometrii może skutkować rozszerzeniem zakresu prędkości obrotowych silnika, w których występuje minimum 65% maksymalnego momentu obrotowego jednostki napędowej nawet o 41%. Podobnie wygląda wpływ omawianego prototypu na przebieg krzywej mocy silnika. Skutkuje to wyraźnym zwiększeniem zakresu użytecznych prędkości obrotowych jednostki napędowej, co przekłada się na poprawę dynamiki i elastyczności wyposażonego weń pojazdu. Dzięki zastosowaniu zmiennej geometrii rezonans występuje w szerszym zakresie prędkości obrotowych silnika, co przekłada się na wzrost jego sprawności, a w konsekwencji zmniejszenie zapotrzebowania na paliwo.

Wyniki przeprowadzonych badań pokazują, że układ wydechowy o zmiennej geometrii ma spory potencjał, gdyż pozwala na wymierną poprawę przebiegu krzywych mocy i momentu obrotowego silnika bez zmian w budowie jednostki napędowej. Powinno przekładać się to na zwiększenie sprawności i dynamiki pojazdów wyposażonych w takie urządzenia.