Piotr MICHALAK, Wojciech JAKUSZKO, Marcin KRUŚ

# PROJEKTY MODERNIZACJI LOKOMOTYW Z WYKORZYSTANIEM ŚRODOWISKA 3D ORAZ SYMULACJI KOMPUTEROWYCH

**Streszczenie**

*W artykule przedstawiono projekty modernizacji dwóch lokomotyw typu 19D i 6Di w kontekście wykorzystywania w pracach projektowych systemów komputerowych. Opisano główne zmiany jakim poddano bazowe lokomotywy. Przedstawiono możliwości oprogramowania komputerowego 3D wspomagającego prace konstrukcyjne oraz prace nad dokumentacją techniczną. Opisano także przykłady symulacji komputerowych przeprowadzonych podczas projektu.*

## WSTĘP

Proces projektowania pojazdów kolejowych w ostatnich 20 latach podlega dynamicznemu rozwojowi dzięki komputerowemu wspomaganiu różnego rodzaju oprogramowania graficznego i obliczeniowego. Obecnie inżynier nie potrafi wyobrazić sobie pracy bez dostępu do nowoczesnego oprogramowania CAD. Pojazdy trakcyjne są jednymi z najbardziej skomplikowanych pojazdów mechanicznych o wysokim stopniu złożoności pod względem mechanicznym oraz elektronicznym.

Projekty lokomotyw powstające na deskach kreślarskich wymagały zaangażowania licznej grupy inżynierów, którzy oprócz dokumentacji konstrukcyjnej wykonywali prace obliczeniowe lub skomplikowane analizy wytrzymałościowe. Obecnie prace te z wykorzystaniem programów komputerowych wymagają znacznie mniejszego zatrudnienia i przede wszystkim krótszego czasu realizacji.

Wykorzystywanie środowiska 3D w projektowaniu lokomotyw ograniczone jest praktycznie wyobraźnią konstruktora.

Stosowane oprogramowanie umożliwia:

- modelowanie bryłowe i przestrzenne skomplikowanych kształtów,
- parametryzację projektu i tworzenia wariantów dotyczących rozmieszczenia poszczególnych zespołów,
- dokonywanie symulacji rozmieszczenia masy,
- konstruowanie części i tworzenia złożeń,
- sprawdzanie poprawności wykonanych konstrukcji
- wykluczanie kolizji,
- przeprowadzanie analiz symulacyjnych,
- tworzenie dokumentacji technicznej.

W niniejszym artykule przedstawiono zalety korzystania ze środowiska 3D na przykładzie przeprowadzonego procesu modernizacji dwóch lokomotyw spalinowych, tj.:

- lokomotywy manewrowej typu 6Di serii SM42 o układzie Bo'-Bo', przeznaczonej do prac manewrowych i przetokowych oraz prowadzenia lekkich pociągów towarowych na liniach normalnotorowych o prześwicie 1435 mm,
- lokomotywy spalinowej typu 19D serii TEM2 o układzie Co'-Co', przeznaczonej do ciężkich prac manewrowych oraz prowadzenia ciężkich składów pociągów towarowych na liniach normalnotorowych o prześwicie 1435 mm.

Poniżej na rys. 1 i 2 przedstawiono ogólny widok omawianych lokomotyw przed procesem modernizacji.

***Rys. 1.*** *Lokomotywa serii SM42 przed modernizacją*

***Rys. 2.*** *Lokomotywa serii TEM2 przed modernizacją*

## 1. PRACE PROJEKTOWE

Proces projektowania modernizowanych lokomotyw można podzielić na kilka zasadniczych etapów, takich jak:

- prace koncepcyjne,
- analizy symulacyjne,
- opracowanie modelu 3D,
- analizy wytrzymałościowe,
- opracowanie końcowej dokumentacji konstrukcyjnej,
- opracowanie dokumentacji technicznej.

### 1.1. Wstępne założenia i koncepcje

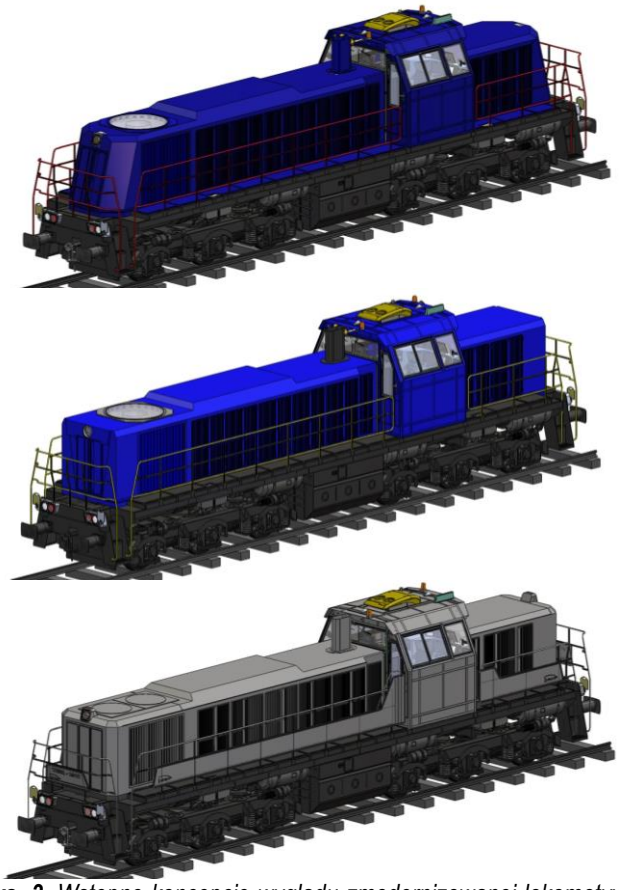
Modernizacja lokomotyw typu 19D i 6Di dotyczyła wszystkich głównych i najważniejszych układów.

Po przeprowadzonym procesie modernizacji lokomotywy charakteryzują się następującymi rozwiązaniami:

- zabudowanymi nowoczesnymi silnikami spalinowymi spełniającymi wymagania etapu IIIA i IIIB (Zgodnie z wymogami Dyrektywy 2004/26/WE Parlamentu Europejskiego),
- nowoczesnymi zespołami prądnic,
- układem elektronicznym spełniającym wymagania w zakresie zakłóceń i hałasu,
- nowoczesnym układem hamulcym,
- mikroprocesorowym układem sterowania i diagnostyki,
- zmodernizowanymi w zakresie prowadzenia zestawów kołowych wózkami trakcyjnymi (dotyczy lokomotywy 19D),
- nowoczesnymi systemami wykrywania i sygnalizacji oraz gaszenia pożarów w przedziałach maszynowych,
- nowoczesnymi kabinami sterowniczymi z ergonomicznymi pulpitami i układami poprawiającymi komfort pracy.

W ramach prac koncepcyjnych opracowano różne wersje wyglądu lokomotyw, które zostały poddane zatwierdzeniom.

Dzięki zastosowaniu modeli 3D oraz wykonanym obliczeniom skrajni kinematycznej pojazdu, już na wstępnym etapie projektu można było zaprezentować wstępne koncepcje wyglądu lokomotywy typu 19D i 6Di.



***Rys. 3.*** *Wstępne koncepcje wyglądu zmodernizowanej lokomotywy typu 19D*

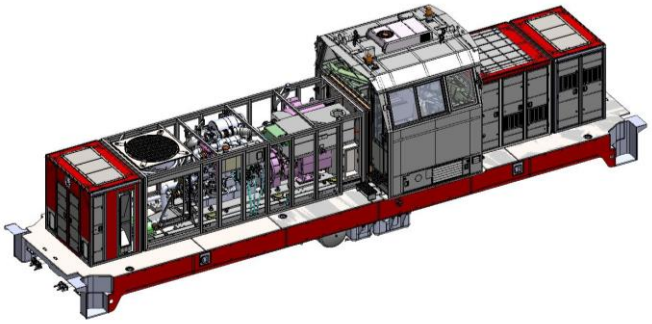
***Rys. 4.*** *Wstępna koncepcja zmodernizowanej lokomotywy typu 6Di*

Kolejnym głównym etapem, mającym wpływ na dalszy przebieg realizacji projektu związanego z budową lokomotywy, było opracowanie planu rozmieszczenia urządzeń i zespołów na modernizowanych lokomotywach.

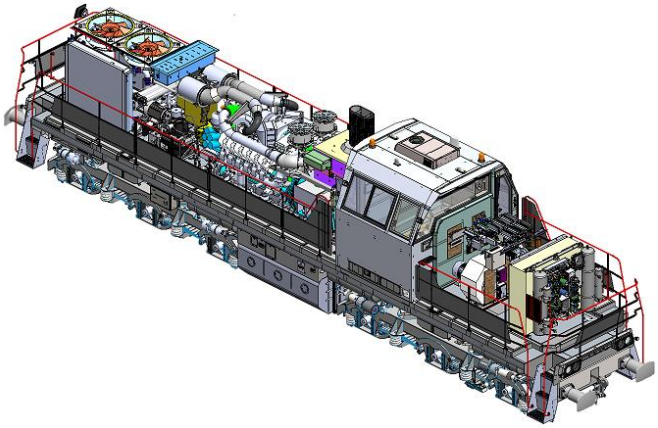
Przy takich analizach gdzie z reguły wykorzystuje się już w pełni środowisko 3D, dużą uwagę należy zwrócić na wymagania urządzeń takie jak: temperatura pracy, zachowanie odpowiednich odległości – z uwagi na drgania i przemieszczenia pionowe i wzdłużne, masy, przeznaczenie, przestrzenie serwisowe oraz łatwy dostęp w przypadku awarii.

Skompletowanie wszystkich modeli głównych urządzeń umożliwiło wykonywanie analiz rozmieszczenia poszczególnych zespołów, przy jednoczesnej kontroli rozłożenia mas na pojeździe.

Na rys. 5 i 6 przedstawiono rozplanowanie głównych zespołów i urządzeń w trakcie realizacji projektów modernizacji lokomotyw.



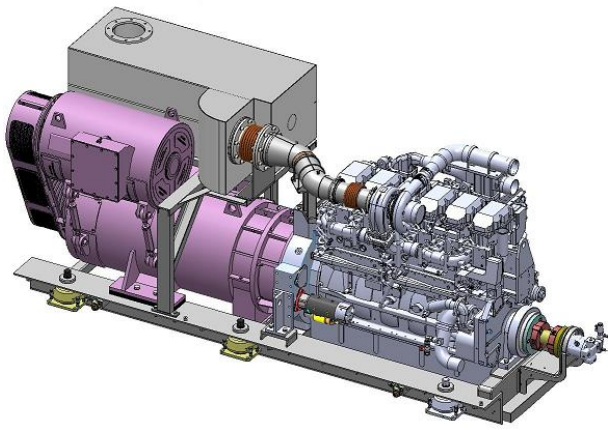
***Rys. 5.*** *Rozplanowania głównych urządzeń i zespołów na lokomotywie 6Di*



***Rys. 6.*** *Rozplanowania głównych urządzeń i zespołów na lokomotywie 19D*

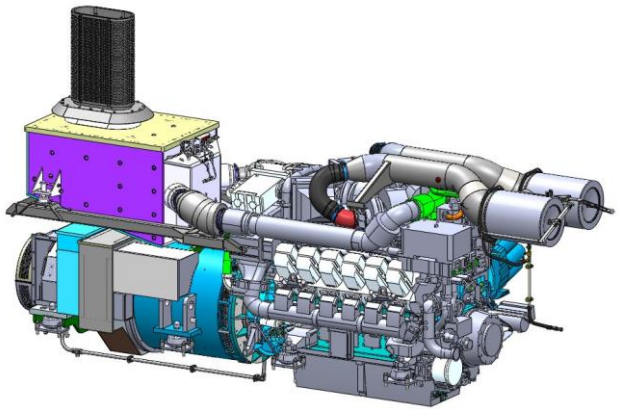
Głównym zespołem w lokomotywie spalinowej jest agregat prądotwórczy. Obecnie modele 3D dostarczane przez producentów znacznie przyspieszają prace przy konfiguracji i zabudowie agregatu składającego się z silnika spalinowego oraz zespołu prądnic.

Przykład gotowego zespołu prądotwórczego z tłumikiem spalin zabudowanego na wspólnej ramie dla modernizowanej lokomotywy typu 6Di z silnikiem Cummins QSK 23 L-900 wraz z zespołem prądnic produkcji EMIT S.A. przedstawiono poniżej na rys.7.



***Rys. 7.*** *Zespół prądotwórczy lokomotywy typu 6Di*

Sposób podłączenia zespołu prądotwórczego z tłumikiem / filtrem cząstek stałych i filtrami powietrza do turbosprężarek silnika spalinowego dla lokomotywy typu 19D pokazano na rys.8. W skład całego zespołu wchodzi silnik spalinowy firmy MTU 12V4000 R84 wraz z zespołem prądnic prądu przemiennego z układem prostowników firmy Jenoptik.



***Rys. 8.*** *Zespół prądotwórczy lokomotywy typu 19D*

Kolejnym przykładem projektowania w 3D o którym należy nadmienić było wykonanie kompletnych kabin sterowniczych w obu projektach.

Zaprojektowanie kabin maszynistów, które zostały wykonane zgodnie z wymaganiami obowiązującej karty UIC 651. Mając ukształtowaną geometrię stanowiska sterowniczego, było można z łatwością podjąć prace nad rozmieszczaniem urządzeń sterujących, wskaźników oraz pozostałych aparatów elektronicznych, pneumatycznych zgodnie z wymaganiami karty UIC 612. Równolegle z zabudową urządzeń kształtowano strukturę szkieletową stanowiska.

Dzięki ciągłej kontroli nad wykonywanymi operacjami, uzyskano zamierzony efekt, spełniający warunki ergonomii, bezpieczeństwa, funkcjonalności, przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich wymaganych przepisów.

Należy nadmienić iż dzięki zastosowanej izolacji od drgań generowanych przez urządzenia zabudowane w przedziale maszynowym znacząco poprawił się komfort pracy maszynisty.

Kabiny zostały wyposażona w okna panoramiczne, szyby w oknach i drzwiach wykonano ze szkła bezpiecznego klejonego, dzięki czemu charakteryzuje się znakomitą widocznością ze stanowiska maszynisty do przodu i do tyłu. Okna czołowe oraz szyby w drzwiach wyposażone zostały w elektryczne wycieraczki ze spryskiwaczami oraz ogrzewanie. W bocznych ścianach kabiny zamontowano po dwa okna w tym po jednym odskokowo – przesuwnym, dodatkowe wyposażenie stanowią rolety przeciwsłoneczne.

Wstępne i końcowe efekty rozplanowania urządzeń i zespołów w kabinach dla zmodernizowanej lokomotywy typu 19D i 6Di przedstawiono na rys. 9÷12.

***Rys. 9.*** *Widok pulpitu sterowniczych na lokomotywie 19D – rozplanowanie głównych urządzeń i zespołów w środowisku 3D*

***Rys. 10.*** *Widok pulpitu sterowniczego na zmodernizowanej lokomotywie 19D*

***Rys. 11.*** *Widok kabiny maszynisty z zabudowanym pulpitem sterowniczych na lokomotywie 6Di w środowisku 3D*

***Rys. 12.*** *Widok pulpitu sterowniczego na zmodernizowanej lokomotywie 6Di*

## 2. ANALIZY SYMULACYJNE I WYTRZYMAŁOŚCIOWE Z WYKORZYSTANIEM MODELI 3D

W procesie projektowania zarówno w przypadku modernizacji istniejących konstrukcji pojazdów kolejowych jak i nowych pojazdów jednym z istotnych etapów są analizy symulacyjne i obliczenia wytrzymałościowe głównych zespołów mających wpływ na bezpieczeństwo w trakcie eksploatacji.

W przypadku omawianych lokomotyw spalinowych przeprowadzono analizy numeryczne sprawdzające poprawność wykonanych elementów istniejących jak i nowo projektowanych. Przeprowadzono obliczenia wytrzymałościowe głównie nadwozia (poszczególnych modułów, kabin maszynistów).

Ze względu na modyfikacje związane z nowymi wspornikami zabudowanymi na głównej ramie nośnej i wózkach jezdnych modernizowanych lokomotyw, zdecydowano się na poddanie tych zespołów również analizie wytrzymałościowej.

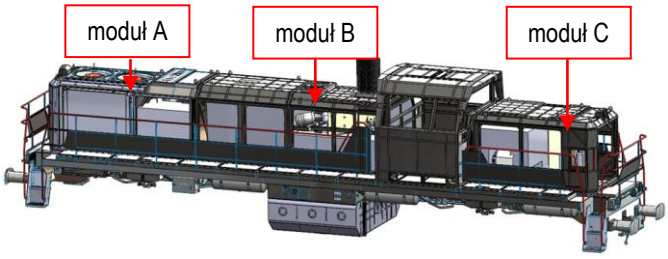
Na podstawie wymagań zawartych w normie PN-EN 12663-1 określono rodzaje obciążeń nadzwyczajnych do sprawdzenia wytrzymałości statycznej konstrukcji poszczególnych układów modernizowanych lokomotyw.

### 2.1. Analizy wytrzymałościowe

***Analiza wytrzymałości statycznej MES modułu***

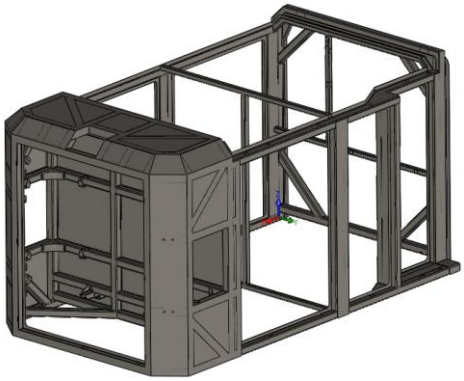
Obliczenia wytrzymałościowe na poniższym przykładzie zostały wykonane metodą elementów skończonych w programie SolidWorks Simulation. Podczas przeprowadzonej analizy symulacyjnej przyjęto obowiązujące wymagania wytrzymałościowe zgodnie z normą PN-EN 12663-1 dotyczącą wytrzymałości pudeł kolejowych.

Wszystkie moduły zostały zaprojektowane jako konstrukcje spawane, wykonane głównie z profili zamkniętych. W zależności od usytuowania zawierały w sobie inne urządzenia i zespoły. Na rys.13 pokazano widok lokomotywy z rozplanowaniem poszczególnych modułów.




***Rys. 13.*** *Widok ogólny lokomotywy 19D z uwzględnieniem analizowanych modułów*

Poniżej na rys. 14 przedstawiono model obliczeniowy dla modułu C zmodernizowanej lokomotywy 19D.



***Rys. 14.*** *Model obliczeniowy modułu C modernizowanej lokomotywy 19D*

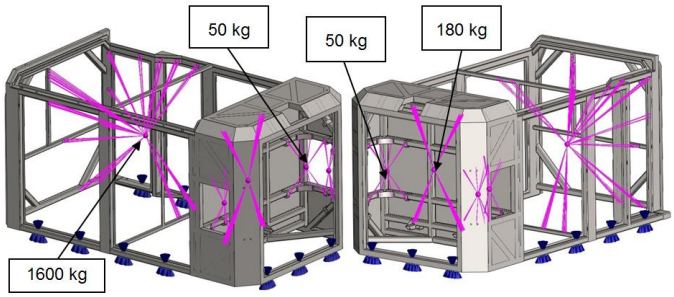
Na podstawie wymagań zawartych w normie PN-EN 12663-1 określono rodzaje obciążeń nadzwyczajnych konieczne do przeprowadzenia oceny wytrzymałości statycznej konstrukcji modułów:

- przyspieszenie w momencie zderzenia w kierunku osi X (kierunek jazdy) ±3 g
- przyspieszenie w kierunku osi Y ±1 g
- przyspieszenie w kierunku osi Z +1,5 g
- unoszenie (50% nadwyżki dynamicznej) przyspieszenie w kierunku osi Z +1,5 g.

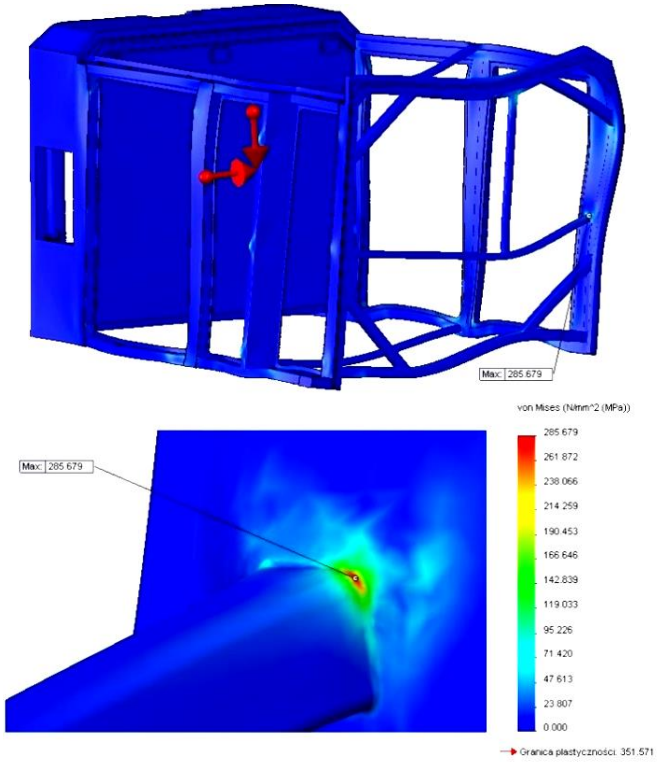
Rozpatrzono również wytrzymałość zmęczeniową modułów uwzględniając obciążenia dla normalnych warunków eksploatacji:

- przyspieszenie w kierunku osi X ±0,15 g
- przyspieszenie w kierunku osi Y ±0,2 g
- przyspieszenie w kierunku osi Z +0,75 g oraz +1,25 g

W modelach obliczeniowych poszczególnych modułów zostały uwzględnione elementy mające wpływ na prace układu nośnego oraz właściwe odebranie analizowanych obciążeń




***Rys. 15.*** *Przykładowy schemat obliczeniowy modułu C*




***Rys. 16.*** *Rozkład naprężeń zredukowanych wg Misesa w MPa w konstrukcji modułu C lokomotywy 19D*

Uzyskane wyniki obliczeń przeprowadzonych w celu oceny wytrzymałości konstrukcji modułów wykazały, iż posiadają one wystar-

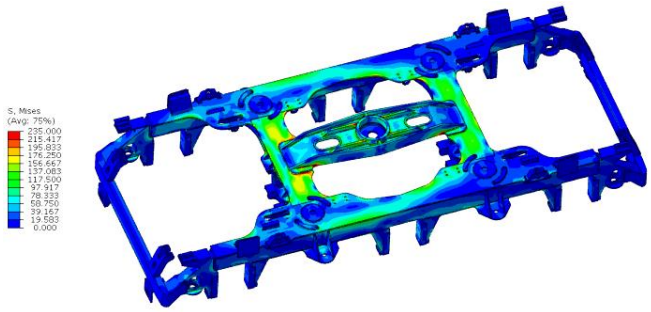
czającą wytrzymałość na przeniesienie podstawowych obciążeń występujących w eksploatacji wymaganych aktualnymi przepisami. Dodatkowo przeprowadzona analiza zmęczeniowa i analiza stateczności konstrukcji potwierdziła, iż zaproponowane rozwiązania są poprawne pod względem wytrzymałościowym.

### *Analiza wytrzymałości statycznej MES ramy wózka*

Ze względu na brak obliczeń wytrzymałościowych dla ramy wózka lokomotywy TEM2 niezbędne było przeprowadzenie oceny wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej ramy.

Przeprowadzona analiza w przypadku ramy wózka dla zmodernizowanej lokomotywy typu 19D wykazała że poziom naprężeń powstających w ramie dla kombinacji nadzwyczajnego obciążenia pionowego, poprzecznego, obciążenia pochodzącego od nadzwyczajnego hamowania, sił wzdłużnych diagonalnych oraz obciążenia powstającego podczas wykolejenia nie przekracza wartości dopuszczalnych określonych w normie PN-EN 13749.

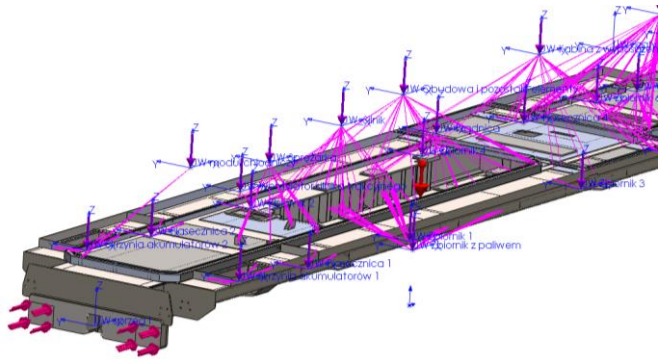
Rozkład naprężeń w konstrukcji ramy wózka przedstawiono na rys. 17



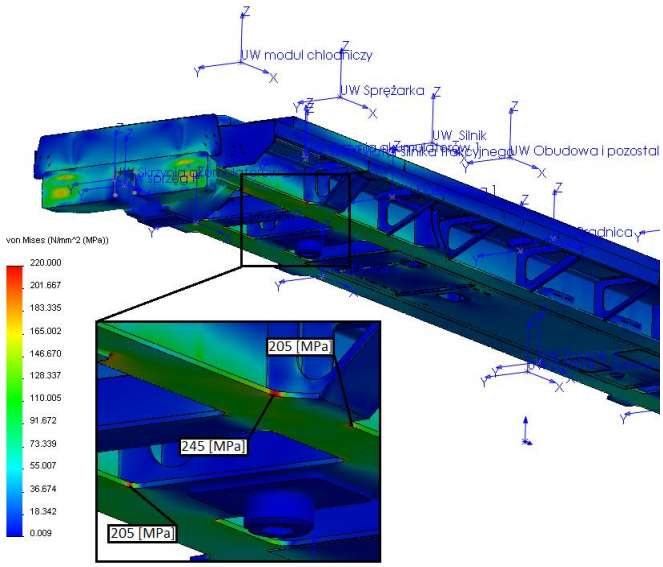
***Rys. 17.*** *Rozkład naprężeń zredukowanych wg Misesa w MPa w konstrukcji ramy wózka lokomotywy 19D*

### *Analiza wytrzymałości statycznej MES ostoi lokomotywy*

Schemat przeprowadzenia obliczeń dla ostoi zmodernizowanej lokomotywy typu 19D i wybór norm był identyczny z tokiem postępowania opisanym wcześniej dla modułu C. Wyniki analiz wytrzymałości ostoi dały wynik pozytywny i potwierdziły poprawność przyjętych rozwiązań. Poniżej na rysunkach pokazano wyniki analiz modelu obliczeniowego ostoi lokomotywy.



***Rys. 18.*** *Model obliczeniowy ostoi lokomotywy typu19D*




***Rys. 19.*** *Rozkład naprężeń zredukowanych wg Misesa w MPa dla obciążeń pionowych i wzdłużnych - ostoja lokomotywy 19D*

### *Analizy symulacyjne wytrzymałościowa koła*

Koło poddawane jest działaniu trzech różnych rodzajów obciążeń. Pierwsza grupa obejmuje obciążenia związane z technologią montażu.

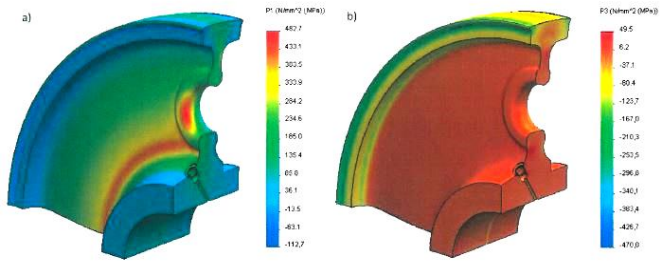
Druga grupa obciążeń pochodzi od naprężeń termicznych powstających w procesie hamowania. Emitowane wówczas ciepło prowadzi do rozszerzenia obręczy i pomniejszenia rzeczywistej wartości wcisku w parze koło bose obręcz.

Trzecia grupa obciążeń wiąże się z oddziaływaniami występującymi w trakcie jazdy pomiędzy kołem a szyną.

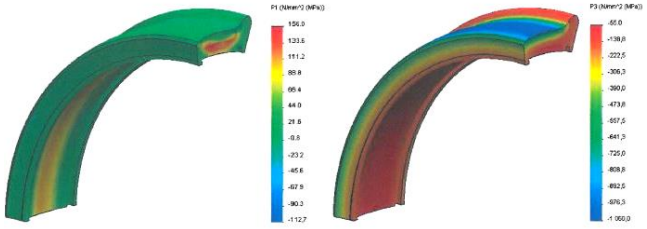
Dodatkowej ocenie w przypadku lokomotywy typu 19D poddano luzowanie obręczy na kole bosym w efekcie dostarczania energii cieplnej w procesie hamowania

Podobnie jak w poprzednich przypadkach podczas przeprowadzanych symulacji wykorzystany został program SolidWorks Simulation.

Poniżej na rys. 15 i 16 pokazano przykładowe rozkłady naprężeń termicznych oddziaływujących na koło bose i obręcz w trakcie hamowania.




***Rys. 15.*** *Rozkład składowej naprężenia termicznego koła bosego: maksymalnej a) i minimalnej b) w trakcie hamowania*

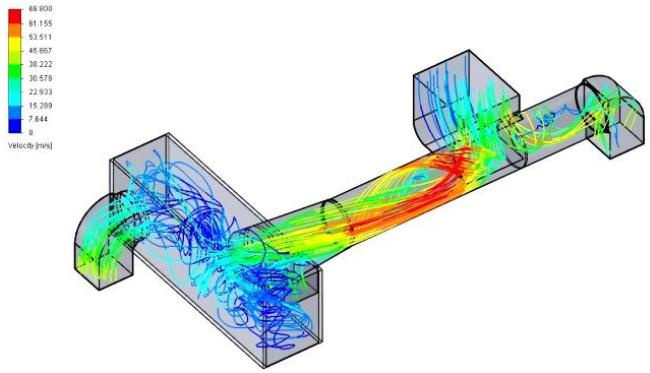


***Rys. 16.*** *Rozkład składowej naprężenia termicznego obręczy koła: maksymalnej i minimalnej w trakcie hamowania*

### 2.2. Symulacyjne analizy przepływu powietrza

W lokomotywie 19D wykonano szereg analiz z wykorzystaniem modeli 3D różnych układów. W związku z zabudową nowych wentylatorów silników trakcyjnych oraz zmianą ich lokalizacji konieczne okazało się wykonanie analiz przepływu powietrza w kanałach wentylacyjnych. Przeprowadzona analiza miała na celu ukształtowanie kanałów w sposób pozwalający na równomierne rozprowadzenie powietrza z wentylatora do trzech silników trakcyjnych z najmniejszymi stratami ciśnienia.

Na podstawie modelu obliczeniowego wybranego jednego z kanałów zaprezentowano na rys.17 rozkład prędkości przepływu powietrza.



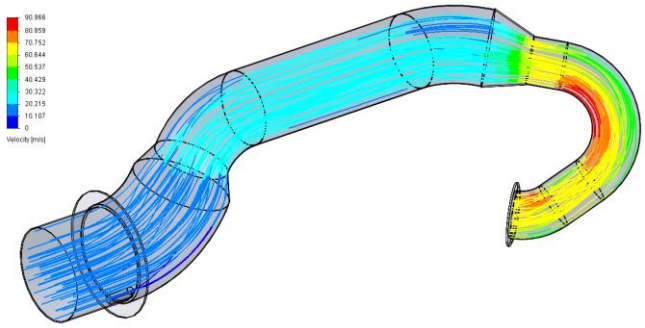
***Rys. 17.*** *Rozkład prędkości przepływu powietrza w układzie wentylacyjnym silników trakcyjnych lokomotywy 19D*

Dzięki analizom numerycznym przepływów możliwe było zaprojektowanie kanałów wentylacyjnych z nadwyżką ciśnienia. Pozwaliło to w przypadku konieczności dokonania regulacji układu wentylacji na gotowym pojeździe na zastosowanie kryz i przepustnicy celem efektywnego rozdziału powietrza.

Podobne analizy przeprowadzono w przypadku kanału do poboru powietrza do silników spalinowych.

Producent silnika oprócz wymagań związanych z montażem silnika – jego sposobu przytwierdzenia do ostoi lokomotywy, sposobu połączenia silnika z zespołem prądnic, sposobu montażu pompy układu hydrostatycznego napędu wentylatora chłodnic, duży nacisk kładzie na układ poboru powietrza. Celem spełnienia wymagań producenta konieczne było przeprowadzenia analiz symulacyjnych dla danych układów. Z uwagi na ograniczoną przestrzeń i skomplikowane zespoły kanałów, wykonana została analiza układu poboru powietrza do silnika. Celem analizy było opracowanie optymalnego kanału łączącego turbosprężarkę silnika z filtrami powietrza, który powinien charakteryzować się oporami przepływu akceptowalnymi przez dostawcę silnika.

Przykład rozkładu prędkości dla finalnego kształtu kanału dolotowego powietrza przedstawiono na rys.18.



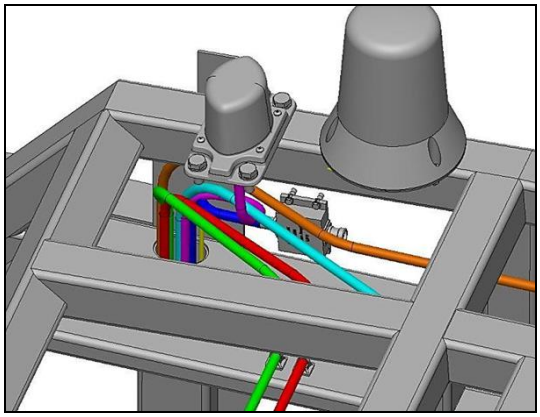
***Rys. 18.*** *Rozkład prędkości przepływu powietrza dla kanału dolotowego do silnika spalinowego.*

Wyniki symulacji komputerowych zostały potwierdzone podczas uruchomienia lokomotywy. Dokonano pomiaru równomierności przepływu powietrza w kanałach wentylacyjnych silników trakcyjnych oraz podciśnienia w kanałach ssących silnika spalinowego z wynikiem pozytywnym.

## 3. DOKUMENTACJA TECHNICZNA

Projektowanie lokomotyw w środowisku 3D pozwala na szereg udogodnień przy opracowywaniu dokumentacji konstrukcyjnej i technicznej. Model 3D lokomotywy pozwala na przygotowanie np. podręcznika maszynisty czy opisu technicznego przed zbudowaniem lokomotywy, gdzie w miejsce zdjęć rzeczywistego obiektu wklejone zostają zdjęcia modelu. Ponadto model 3D pozwala na opracowanie szeregu instrukcji do budowy prototypu takich jak instrukcja prowadzenia przewodów w kabinie maszynisty.

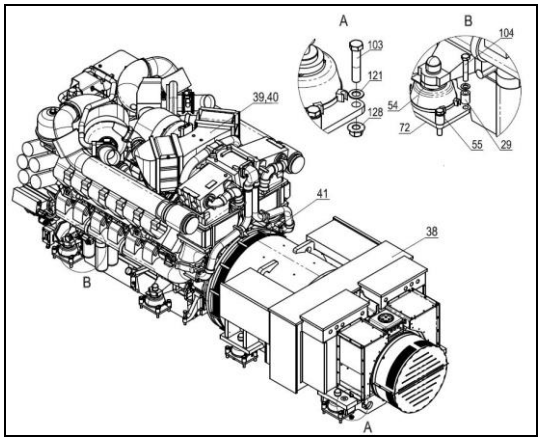
Fragment instrukcji przedstawiono na rys.19



***Rys. 19.*** *Instrukcja montażu okablowania w lokomotywie 19D - okablowanie dachu*

Kolejnym przykładem wykorzystania modelu 3D jest opracowany katalog części zamiennych, który jest bardzo czytelny i pozwala w łatwy sposób zorientować się gdzie część, której szukamy znajduje się w lokomotywie.

Poniżej na rys. 20 przedstawiono fragment katalogu części zamiennych dla lokomotywy 19D.




***Rys. 20.*** *Zabudowa agregatu prądotwórczego lokomotywy 19D - katalog części zamiennych*

Dokumentacja 3D oprócz wymienionych powyższych zalet w znacznym stopniu, dzięki optymalizacji oprogramowania umożliwia szybkie wykonywanie dokumentacji 2D niezbędnej przy budowie pojazdów w zakładach produkcyjnych.

## PODSUMOWANIE

Lokomotywy typu 19D i 6Di są przykładami projektów opracowywanych w środowisku 3D z wykorzystaniem szeregu analiz symulacyjnych. Wykorzystując środowisko modelu 3D podczas projektowania istnieje możliwość rozwiązania większości problemów związanych z kształtowaniem konstrukcji, zabudową urządzeń, wykrywaniem i eliminowaniem występujących niejednokrotnie kolizji oraz optymalizowania rozwiązań dzięki wykonywaniu wielu symulacji.

Możliwości wykonania wstępnych analiz symulacyjnych-wytrzymałości naprężeń głównych ustrojów nośnych lokomotyw umożliwiła we wstępnej fazie projektowania wykryć i zniwelować słabe punkty konstrukcji.

Poniżej na rys. 19 i 20 przedstawiono efekt końcowy modernizacji spalinowych lokomotyw typu 6Di i 19D przy wykorzystaniu środowiska 3D.

***Rys. 19.*** *Widok zmodernizowanej lokomotywy typu 6Di*

***Rys. 20.*** *Widok zmodernizowanej lokomotywy typu 19D*

Po modernizacji lokomotyw typu 6Di i 19D, zyskały cechy nowych pojazdów. Zabudowane nowoczesne urządzenia na zmodernizowanych lokomotywach są urządzeniami sprawdzonymi w dotychczasowej eksploatacji na lokomotywach eksploatowanych w kraju oraz podobnych lokomotywach za granicą cechujących się wysoką niezawodnością. Znacznej poprawie uległy warunki pracy drużyny trakcyjnej dzięki zastosowaniu nowoczesnych i ergonomicznych pulpitów maszynisty, foteli, klimatyzacji, okien panoramicznych oraz wibroizolatorów.

## BIBLIOGRAFIA


1. Michalak P., Jakuszko W., Czerwiński J: Projekt lokomotywy 19D jako podstawa wersja platformy zmodernizowanych lokomotyw serii SM48 i ST44. IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa „najnowsze technologie w transporcie szynowym., Józefów k. Warszawy – 2015r.
2. Czerwiński J., Dobrowolski P., Jakuszko W., Michalak P.: Możliwości zmiany istotnych dla środowiska parametrów eksploatacyjnych spalinowych lokomotyw 6-osiowych przez modernizację zespołów. Pojazdy Szynowe, 2015 nr 4.
3. Marciniak Z.: Projekty modernizacyjne spalinowych lokomotyw liniowych i manewrowych wykonanych w Instytucie Pojazdów Szynowych. Logistyka, 2010 nr 4.
4. Czerwiński J., Dobrowolski P., Jakuszko W., Michalak P.: Możliwości zmiany istotnych dla środowiska parametrów eksploatacyjnych spalinowych lokomotyw 6-osiowych przez modernizację zespołów. Pojazdy Szynowe, 2015 nr 4.
5. Czerwiński J., Jakuszko W., Michalak P.: Proces projektowania zmodernizowanej lokomotywy 19D. Pojazdy Szynowe, 2016 nr 3.
6. Michalak P., Jakuszko W.: Nowe rozwiązania i układy w modernizowanej lokomotywie spalinowej typu 19D serii SM48 zwiększające niezawodność i bezpieczeństwo w eksploatacji. VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, „Systemy Logistyczne Teoria i Praktyka”, Warszawa 2015r.
7. Miklasz R., Antkowiak T., Michalak P.: Modernizacja wózków lokomotywy 19D w kierunku zmniejszenia częstości obsługi eksploatacyjnej. IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa „najnowsze technologie w transporcie szynowym., Józefów k. Warszawy – 2015r.
8. Marciniak Z.: Projekty modernizacyjne spalinowych lokomotyw liniowych i manewrowych wykonanych w Instytucie Pojazdów Szynowych, Logistyka, 2010 nr 4.
9. Marciniak Z., Jakuszko W., Michalak P.: Nowe układy i rowiązania techniczne w modernizowanej lokomotywie serii SM 42 typu 6Di. Pojazdy Szynowe, 2013 nr 1.
10. Czerwiński J., Marciniak Z.: Modułowe konstrukcje jedno- i dwukabinowych lokomotyw elektrycznych i spalinowych. Pojazdy Szynowe, 2014 nr 1.
11. Marciniak Z., Mielniczuk J., Jakuszko W., Michalak P.: Konstrukcja układu napędu hybrydowego dla wybranych zmodernizowanych lokomotyw spalinowych do ruchu manewrowego i przetokowego. Pojazdy Szynowe, 2014 nr 2.
12. Krawczyk J.: Zmodernizowane kabiny sterownicze lokomotyw elektrycznych i spalinowych. Pojazdy Szynowe, 2014 nr 2.
13. Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu - Opracowania własne.


# PROJECTS OF LOCOMOTIVES MODERNIZATION USING 3D ENVIRONMENT AND COMPUTER SIMULATIONS


***Abstract***

*The article presents the projects of modernization of two locomotives of 19D and 6Di types in the context of using the computer systems in the design works. The main changes, that the based locomotives were subjected to, are described. The possibilities of 3D computer software supporting the constructional works and the works on technical documentation are presented. The examples of computer simulations carried out during the project are also described.*



Autorzy:
mgr inż. **Piotr Michalak** – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu, lokomotywy@tabor.com.pl
mgr inż. **Wojciech Jakuszko** – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu, towarowy@tabor.com.pl
mgr inż. **Marcin Kruś** – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu, lokomotywy@tabor.com.pl