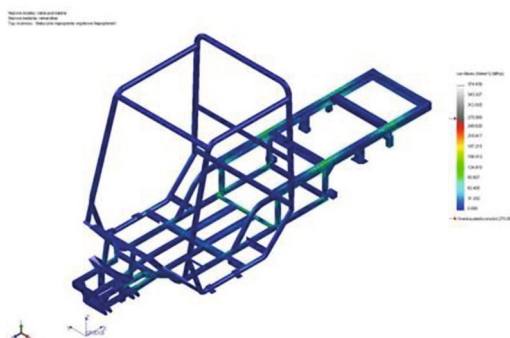


Nowy pojazd dostawczy N.Truck firmy MELEX – od pomysłu do realizacji

Andrzej Barszcz, Mirosław Chłosta, Marek Szlęzak

Wstęp

W przedsiębiorstwie MELEX podjęto przedsięwzięcie opracowania dostawczego samochodu BEV. Istotne znaczenie ma tu duże doświadczenie przedsiębiorstwa MELEX w konstrukcji pojazdów elektrycznych rekreacyjnych oraz pojazdów UTV. Założono więc, że w przypadku nowej konstrukcji samochodu elektrycznego o dmc do 3,5 t będzie miał on konstrukcję bazującą na nowoczesnym podejściu do ustrojów nośnych ramowych i ochronnych oraz modułowej budowy pojazdu. Z uwagi na zasadnicze przeznaczenie pojazdu – jako samochodu dostawczego – wysoko zaakcentowano konieczność opracowania rozwiązań o poziomie bezpieczeństwa biernego zwiększonym w stosunku do konstrukcji dotychczas produkowanych.



Rys. 1. Nowoczesne pojazdy elektryczne produkowane w firmie MELEX – seria N.Car

Zarys techniczny oraz metodologia konstrukcji pojazdu

Głównym założeniem projektu było opracowanie pojazdów spełniających wymagania homologacji w kategorii N1. Stąd przyjęto konieczność szeregu zmian gabarytowych, warunkujących zarówno własności użytkowe, jak i ergonomiczne. Na

Streszczenie: Polityka ekologiczna nakłada na poszczególne państwa członkowskie UE wymagania dotyczące bezemisyjnego transportu. W tym zakresie podjęto działania związane z opracowaniem nowego pojazdu dostawczego o dmc do 3,5 t. Pomysł został zrealizowany z wykorzystaniem środków NCBiR – projekt nr POIR.01.02.00-00-0194/16 – w ramach programu sektorowego INNOMOTO. Realizacja projektu wymagała zaprojektowania od podstaw nowego pojazdu firmy MELEX. W niniejszym artykule przedstawiono wybrane zagadnienia związane z nową konstrukcją.

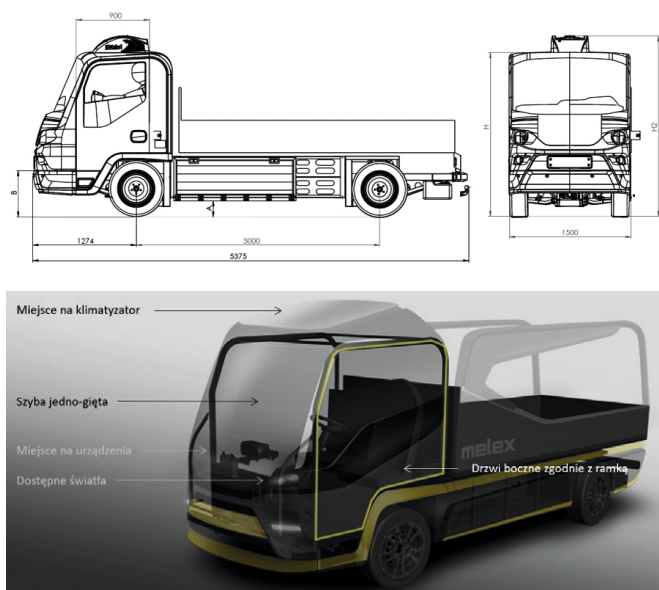
Słowa kluczowe: pojazd elektryczny, konstrukcje modułowe, bezpieczeństwo bierne, obliczenia wytrzymałościowe, elektryczny układ napędowy

Abstract: Environmental policy imposes on individual EU Member States requirements for emission-free transport. In this regard, measures were taken to develop a new delivery vehicle with a DMC up to 3.5. The idea was implemented with the use of NCBiR funds – project no. POIR.01.02.00-00-0194/16 – under the INNOMOTO sector program. The implementation of the project required designing a new MELEX vehicle from scratch. This article presents selected issues related to the new structure.

Keywords: electric vehicle, modular structures, passive safety, strength calculations, electric drive system

drodze kolejnych modyfikacji założeń przyjęto projekt pojazdu przedstawiony na rysunku 2.

Nowy pojazd oparto o modułową budowę zespołów głównych (konstrukcja nośna, konstrukcja kabiny, zawieszenie), która umożliwia dostosowanie do oczekiwań Klienta. Założono przy tym eksploatację w ruchu drogowym, jak również w przemyśle, co wymagało zróżnicowanego podejścia do odmiennych zagadnień bezpieczeństwa. W ramach projektu nawiązano współpracę pomiędzy firmą MELEX, Politechniką Warszawską oraz Siecią Badawczą Łukasiewicz – Instytutem Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego. Przyjęto metodologię polegającą na powiązaniu symulacji komputerowych (modelowanie 3D) w zakresie zespołów głównych z badaniami modeli rzeczywistych. Umożliwiło to wprowadzanie kluczowych zmian na etapie modeli komputerowych, a więc ograniczenie kosztów prac konstrukcyjnych.

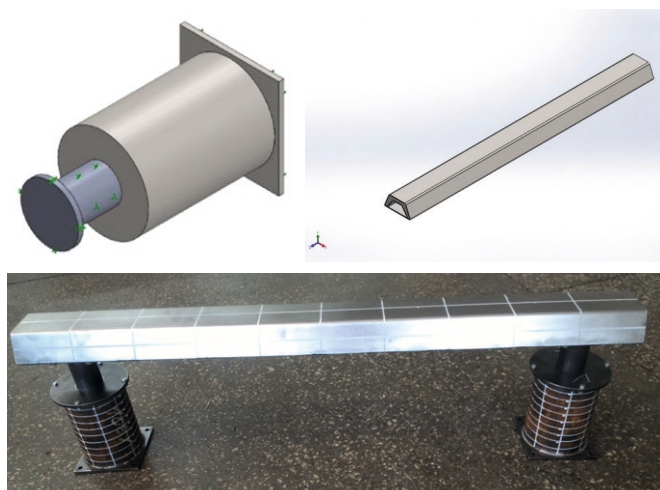


Rys. 2. Zarys wyjściowy oraz wstępna wizualizacja nowego pojazdu N.Truck – rysunek MELEX

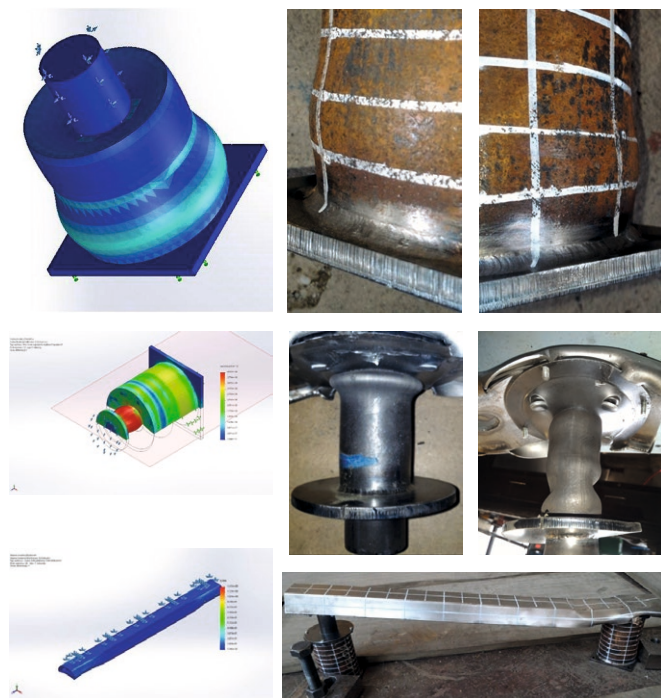
Konstrukcja pochłaniająca energię

Uzyskane doświadczenia Łukasiewicz – IMBiGS w zakresie konstrukcji chroniących operatorów wykorzystano podczas opracowania stref energochłonnych dla pojazdu N.Truck. Opracowano konstrukcję ochronną obejmującą zderzak ze specjalnymi absorberami energii. Wzorem były rozwiązania stosowane w samochodach *pick-up*. W odróżnieniu od klasycznych zespołów ochronnych (jednorazowe) głównym zadaniem było zapewnienie wielokrotnego działania w zakresie małych obciążeń. Cel osiągnięto poprzez zastosowanie przekładek elastomerycznych współpracujących z ruchomym względem elementu zewnętrznego rdzeniem o specjalnym ukształtowaniu.

Opracowana konstrukcja została poddana symulacjom komputerowym, a następnie badaniom uderowym z energią oszacowaną z uwzględnieniem masy i prędkości pojazdu dla określonych scenariuszy zdarzeń. Badania potwierdziły spełnienie założeń oraz zgodność z wynikami symulacji



Rys. 3. Zespół ochronny opracowany w Łukasiewicz – IMBiGS



Rys. 4. Porównanie wyników symulacji i badań konstrukcji chroniącej

komputerowych. W pierwszej fazie (obciążenia małe) występowało odkształcanie elastomerów. W drugiej fazie następował proces deformacji zespołów metalowych przy niszczeniu elastomerów. Na rysunku poniżej przedstawiono porównanie wyników symulacji komputerowych oraz badań modelu testowego.

W wyniku analiz stwierdzono poprawną pracę belki zderzaka oraz zbyt wysoką wytrzymałość absorberów. Przeprowadzono zmiany konstrukcyjne zespołów metalowych. Po wykonaniu modyfikacji absorberów zostały ponownie przeprowadzone badania uderowe.

Modyfikacja rdzenia pozwoliła na kontrolowaną osiową deformację. Całkowita deformacja po uderzeniu wyniosła 68 mm. W wyniku modyfikacji elementu zewnętrznego uzyskano deformację zbliżoną do odkształceń typowych dla

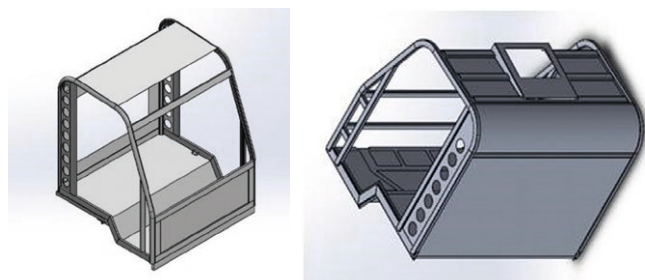


Rys. 5. Elementy absorbera po modyfikacji przed wykonaniem badań oraz po ich przeprowadzeniu

absorberów stosowanych w „automotive”. Kilkukrotne badania pozwoliły na wyciągnięcie wniosku, że deformacje mają charakter kontrolowany i powtarzalny.

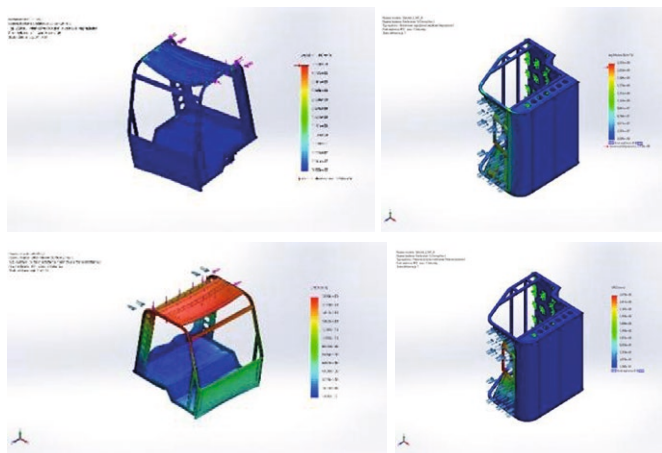
Modelowanie i badania konstrukcji ochronnych kabin

Do opracowania konstrukcji typu ROPS-FOPS dla pojazdu N.Truck przyjęto wytyczne określające wytrzymałość kabin maszyn roboczych – wybrano wywrotkę budowlaną. Na bazie tych założeń opracowane zostały modele komputerowe oraz dobrano przekroje profili głównych. Przyjęte do dalszych prac modele kabin zostały przedstawiony na rysunku poniżej.



Rys. 6. Modele 3D kabiny stalowej (przemysłowa) oraz aluminiowej lekkiej (drogowa)

Modele 3D kabin zostały poddane symulacjom MES w zakresie obciążeń wynikających z norm. Wartości obliczeniowe sił określono na podstawie masy własnej pojazdu. Wyniki symulacji przedstawiono na poniższych rysunkach.



Rys. 7. Wyniki symulacji komputerowych kabiny stalowej oraz aluminiowej, od góry naprężenia, poniżej przemieszczenia

Stwierdzono, że projektowane kabiny spełniają wymagania dotyczące przenoszonych sił oraz pochłoniętej energii. Na podstawie wyników symulacji zostały wykonane modele obiektów do badań stanowiskowych. Dla kabiny przemysłowej wykonano cykl obejmujący badania FOPS oraz ROPS zgodnie z wymaganiami norm:

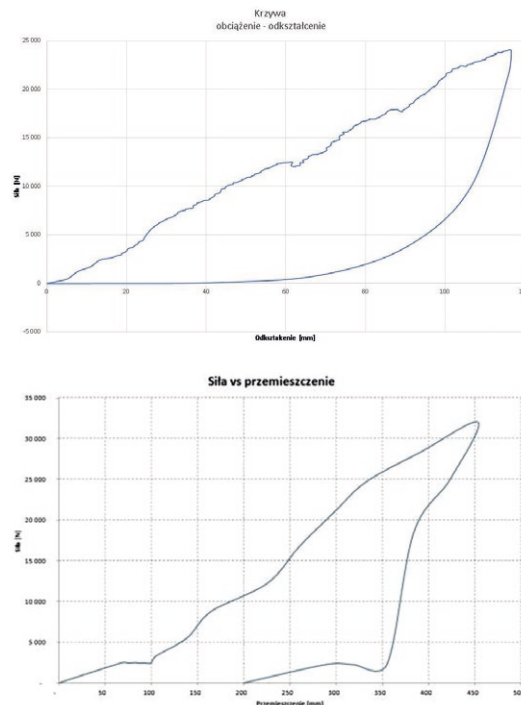
- PN-EN ISO 3449:2009: „Maszyny do robót ziemnych. Konstrukcje chroniące przed spadającymi przedmiotami. Wymagania i badania laboratoryjne”;

- PN-EN ISO 3471:2009: „Maszyny do robót ziemnych. Konstrukcje chroniące przy przewróceniu się maszyny. Badania laboratoryjne i wymagania techniczne”.

Badania kabiny drogowej zostały przeprowadzone analogicznie, za wyjątkiem badania FOPS (niewymagane).



Rys. 8. Przebieg badania FOPS i ROPS kabiny stalowej oraz ROPS kabiny aluminiowej

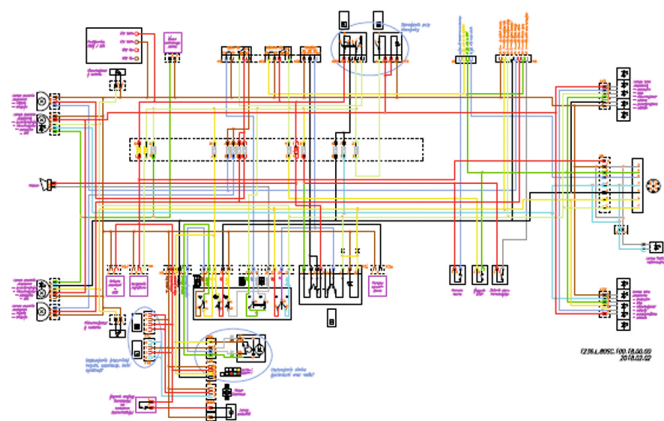


Rys. 9. Krzywe zależności siła – ugięcie dla badań obciążenia poprzecznego kabiny stalowej oraz aluminiowej pojazdu N.Truck

Spełniono wymagania dla założonego poziomu sił i zaabsorbowanej przez konstrukcję energii. W żadnej chwili tego badania pionowa symulowana płaszczyzna podłoża (VSGP) nie naruszyła makiety DLV. Wyniki badań potwierdziły rezultaty symulacji wytrzymałościowych MES uzyskane na etapie modelowania komputerowego konstrukcji ochronnych kabin. Kabina stalowa spełnia wszystkie wymagania dotyczące konstrukcji ochronnej ROPS-FOPS. Kabina drogowa spełnia wymagania wytrzymałościowe. Z uwagi na materiał (aluminium) nie może (w świetle normy) zostać uznana za strukturę ROPS.

Instalacja elektryczna

Realizacja projektu N.Truck wymagała opracowania komponentów elektrycznych z uwzględnieniem ich parametrów mechanicznych, środowiskowych, termicznych, jak również narażenia i emisji elektromagnetycznej. W pierwszym etapie zostały wykonane schematy instalacji elektrycznych dla rodziny pojazdów. Kolejny etap dotyczył modelowania 3D rozmieszczenia komponentów elektrycznych i elektronicznych, co pozwoliło na opracowanie wiązek instalacji elektrycznych dla poszczególnych pojazdów.



Rys. 10. Przykładowy schemat instalacji elektrycznej pojazdu N.Truck

Na bazie dokumentacji wykonano modele instalacji elektrycznych do badań wytrzymałości mechanicznej oraz odporności oddziaływania środowiska. Do przeprowadzenia badań środowiskowych wytypowano kluczowe fragmenty instalacji elektrycznej siłowej, sterowniczej oraz oświetleniowej. Wiązki przewodowe zostały wykonane w firmie MELEX z zastosowaniem przewodów elektrycznych oraz elementów złącznych i skrzynek z modułami wyposażeniowymi.

Badania zostały przeprowadzone na stanowiskach testowych w laboratorium Łukasiewicz – IMBiGS w zakresie wytrzymałości mechanicznej, odporności na oddziaływanie środowiska o podwyższonej zawartości soli (symulacja klimatu morskiego) oraz odporności na zmienne cykle temperaturowe (od -20°C do $+20^{\circ}\text{C}$) z dwudziestokrotnym przejściem.

W wyniku tych badań nie stwierdzono negatywnych śladów oddziaływania środowiska o podwyższonej zawartości soli w zakresie złącz zewnętrznych specjalnych. Nieliczne ślady zanotowano na złączach wewnętrznych.



Badania wiązek w komorze solnej

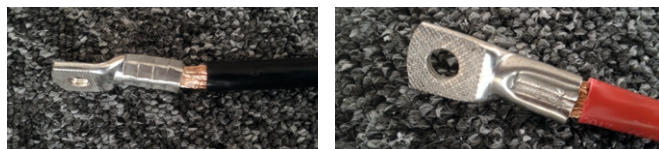
Badania wiązek w komorze klimatycznej

Badania wytrzymałości mechanicznej

Rys. 11. Badania środowiskowe i mechaniczne wiązek przewodowych instalacji elektrycznej

W wyniku badań wytrzymałościowych stwierdzono, że przewody z zakuciami sześciokątnymi przenosiły siłę rozciągającą o wartości 8723,40 N, a z zakuciami typu „oczkowego” o wartości 3461,50 N.

Uzyskane wyniki pozwoliły na dobór uszczelnień oraz wybór rodzaju zakuć przewodów.



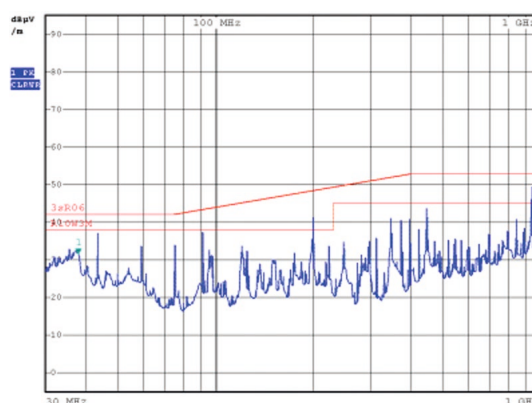
Rys. 12. Wyniki badania wytrzymałościowego złącz

Wykonana z uwzględnieniem wyników badań instalacja została zamontowana w modelu funkcjonalnym pojazdu. Na tym pojeździe dokonano szeregu testów w zakresie rozkładu temperatur kluczowych komponentów – sterownik napędu, silnik, bateria. Pomiar rozkładu temperatur pozwolił na weryfikację kluczowych komponentów instalacji elektrycznej oraz weryfikację prawidłowości połączeń elektrycznych.



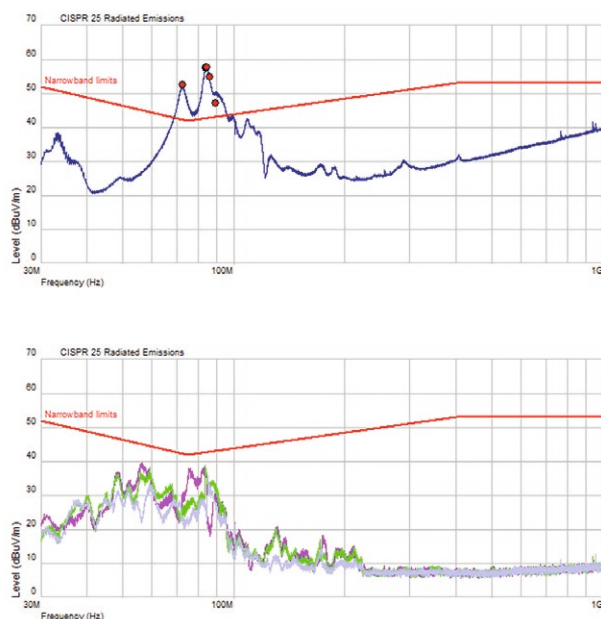
Rys. 13. Pomiar rozkładu temperatury w komorze baterii

W następnym etapie zostały przeprowadzone badania kompatybilności elektromagnetycznej pojazdu i jego komponentów. Przykładowe wyniki badań zostały przedstawione na poniższych rysunkach.



Rys. 14. Badanie emisji komponentów instalacji elektrycznej na pojeździe

Uzyskane wyniki badań komponentów instalacji elektrycznej oświetlenia w komorze wskazały konieczność zastosowania rdzeni ferromagnetycznych na paśmie 70–90 MHz.



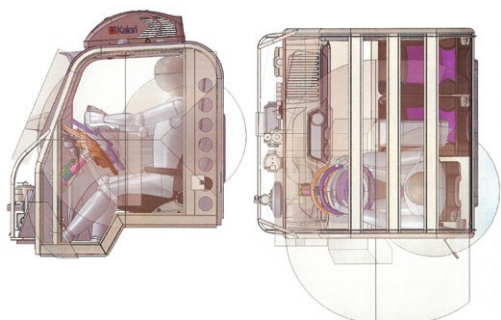
Rys. 15. Wynik pomiaru emisji komponentów instalacji oświetlenia przed oraz po zastosowaniu rdzeni ferrytowych

Przeprowadzony szereg badań komponentów elektrycznych, jak również instalacji elektrycznych pozwolił na wypracowanie rozwiązań docelowych dla serii przedprodukcyjnej pojazdów.

Ergonomia wnętrza

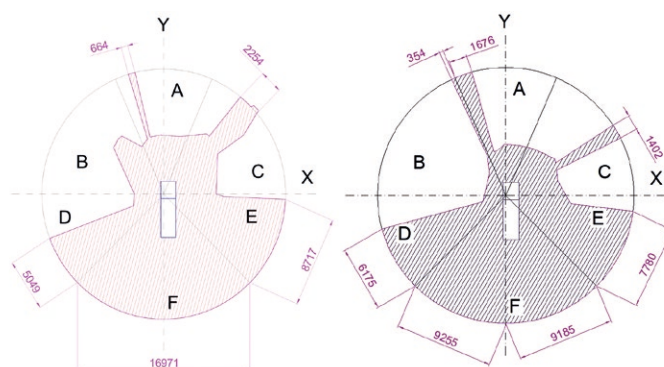
Miejsce pracy kierowcy zaprojektowano z wykorzystaniem modelowania 3D przy użyciu manekina zgodnego z wymaganiami ergonomicznymi. Model komputerowy uwzględniał strefy wygody oraz zasięgu powiązane z fotelem kierowcy (SIP). Modelowaniu poddano przestrzeń roboczą oraz główne zespoły sterowania pojazdem. Pod uwagę przyjęto dwu- i trzyosobową wersję wykonania kabiny. Wyniki symulacji uwzględniono w wykonaniu funkcjonalnego modelu pojazdu.

Rys. 16. Modelowanie ergonomiczne kabiny



Rys. 17. Widok wnętrza kabiny nowego pojazdu N.Truck firmy MELEX

Model funkcjonalny kabiny pojazdu został poddany weryfikacyjnym badaniom ergonomicznym. Badania wykazały, że główne zespoły sterownicze zostały usytuowane zgodnie z modelami komputerowymi w strefach wygody. Ponadto określono widoczność z miejsca kierowcy z wykorzystaniem manekina badawczego oraz teodolitu. Długości sektorów zasłonięcia widoczności obliczono metodą komputerową, podaną w normie ISO 5006: 2017 p.9.2, alternatywną do badania za pomocą wielopunktowego źródła światła. Uzyskane rezultaty przedstawiono na poniższym rysunku.



Rys. 18. Widoczność z miejsca kierowcy dla kabiny dwuosobowej oraz trzyosobowej

Z uwagi na znaczne ograniczenie widoczności bezpośredniej do tyłu pojazdu (tylna ściana bez przeszklenia) została zastosowana kamera wspomagająca, przekazująca obraz za pojazdem na wyświetlacz umieszczony na pulpicie operatora. Widok został przedstawiony na rysunku poniżej.



Rys. 19. Widoczność z miejsca kierowcy pojazdu N.Truck – obrazowanie na wyświetlaczu

Badania hałasu – model pojazdu

Badania hałasu przeprowadzono na terenie Łukasiewicz – IMBiGS w Warszawie, w warunkach jazdy po torze testowym o nawierzchni asfaltowej. Pomiary przeprowadzono w zakresie hałasu oddziałującego na operatora podczas jazdy z prędkościami ustalonymi oraz symulacji ruchu miejskiego. Wyniki pomiarów zostały przedstawione w tablicy poniżej.

Tabela 1. Wyniki pomiarów hałasu działającego na operatora – model I

Lp.	LA _{eq}	LA _{max}	Lc _{peak}	Uwagi
1	64,8	76,4	111,4	Jazda z prędkością ustaloną 10 km/h
	64,3	77,1	113,8	
	64,5	73,2	111,8	
2	70,3	78,2	112,2	Jazda z prędkością ustaloną 20 km/h z przerwami
	72,1	81,8	116,2	Jazda z prędkością ustaloną 20 km/h
	72,1	81,5	117,4	
3	75,1	85,3	118,8	Jazda w trybie miejskim z prędkościami od 0 do 45 km/h
	75,1	81,9	116,6	

Analiza wyników pozwoliła na wprowadzenie zmian dotyczących izolacji akustycznych w pojeździe prototypowym.

Badania wibroakustyczne – prototyp pojazdu

Badania wykonano w celu określenia parametrów wibroakustycznych pojazdu podczas jazdy po przewidywanych nawierzchniach eksploatacyjnych. Testy wykonano na obszarze przylegającym do siedziby firmy MELEX w Mielcu, przy ulicy Inwestorów 25. Zakres badań akustycznych i drgań pojazdu obejmował badania emisji hałasu występującego na stanowisku operatora oraz drgań mechanicznych oddziałujących na operatora. Badania przeprowadzono podczas różnych trybów jazdy, stopniując prędkość jazdy i prędkość obrotów wentylatora kabiny.



Rys. 20. Pojazd na torze badawczym asfaltowym

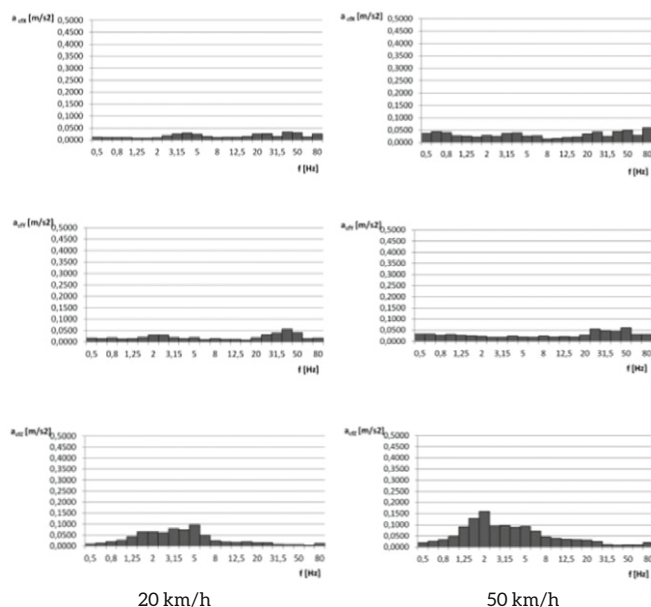
Tabela 2. Wyniki pomiarów parametrów hałasu działającego na operatora – model II

Tryb jazdy	10 km/h bieg I wentyla- tor 0	10 km/h bieg I wentyla- tor 1	10 km/h bieg I wentyla- tor 2	10 km/h bieg I wentyla- tor 3
LA _{eq} [dB(A)]	42,5	60,9	66,1	68,8*
Tryb jazdy	20 km/h bieg I wentyla- tor 0	20 km/h bieg I wentyla- tor 1	20 km/h bieg I wentyla- tor 2	20 km/h bieg I wentyla- tor 3
LA _{eq} [dB(A)]	58,2	62,7	66,3	69,3*
Tryb jazdy	20 km/h bieg II wentyla- tor 0	30 km/h bieg I wentyla- tor 0	50 km/h bieg I wentyla- tor 0	miejska bieg I wentyla- tor 0
LA _{eq} [dB(A)]	57,7	64,8	68,2	66,3
Tryb jazdy	miejska bieg I wentyla- tor 3	wyboje bieg I wentyla- tor 0	10 km/h DMC bieg I wentyla- tor 0	20 km/h DMC bieg I wentyla- tor 0
LA _{eq} [dB(A)]	71,0*	64,1	56,7	64,6

Wyniki badań akustycznych prototypu pojazdu potwierdziły, że wykonane zmiany dotyczące wygłuszeń były skuteczne. Wartości hałasu oznaczone * podwyższone zostały przez pracujący na pełnej prędkości wentylator nadmuchu.

Badanie drgań działających na całe ciało operatora

Pomiary drgań ogólnych działających na kierowcę wykonano podczas jazdy po gładkiej asfaltowej nawierzchni. Wyniki przedstawiono w postaci graficznej na rysunku poniżej.



Rys. 21. Tercjowa analiza skutecznej wartości przyspieszenia drgań ogólnych działających na operatora – tryb jazdy 20 km/h oraz 50 km/h

Badania drgań wykazały skuteczne ich pochłanianie przez zespoły zawieszenia oraz zastosowane indywidualne fotele.

Wnioski

1. Uzyskane za pomocą metod obliczeniowych (MES) zrealizowanych dla modeli 3D konstrukcji chroniących operatora wyniki symulacji wykazały wysoką zgodność z wynikami badań modeli rzeczywistych dla tych konstrukcji ochronnych. Odkształcenia podzespołów konstrukcji ochronnych kabin oraz absorberów energii uderzenia są zgodne z przyjętymi założeniami. Realizacja projektu zgodnie z obraną metodologią potwierdziła słuszność koncepcji przeniesienia głównego ciężaru prac projektowych na metody CAD-CAM.
2. Możliwa jest optymalizacja opracowywanych zespołów – poprzez obliczenia i badania modeli testowych z uwzględnieniem właściwości materiałów konstrukcyjnych – pozwalająca przy zachowaniu najbardziej korzystnego mechanizmu zniszczenia konstrukcji na uzyskanie jej najmniejszej masy własnej.
3. Kabina stalowa spełnia wszystkie wymagania dotyczące konstrukcji ochronnej ROPS-FOPS i może zostać w pełni uznana za taką strukturę ochronną. Przedstawiona do badań kabina z pozytywnym wynikiem przeszła badania w zakresie FOPS poziom I, natomiast dla badania FOPS poziom II stwierdzono nadmierne przemieszczenie konstrukcji (przy zachowaniu integralności), które doprowadziło do naruszenia przestrzeni DLV. Zaznaczyć tu jednak należy, że pojazdy tego rodzaju nie muszą przejść z wynikiem pozytywnym badania FOPS poziom II.

4. Badania pozwoliły na potwierdzenie, że kabina lekka drogowa spełnia wysokie wymagania dotyczące zagadnień wytrzymałościowych zgodnie z metodyką badania ROPS. Jednak z uwagi na zastosowany materiał – aluminium – nie może w świetle postanowień normy PN-EN ISO 3471 zostać uznana za strukturę ochronną tego rodzaju.

Zaplanowany cykl prac badawczych – obejmujący modelowanie komputerowe 3D konstrukcji pojazdu, wykonanie szerokich symulacji komputerowych w zakresie MES oraz własności ergonomicznych, a następnie badania obiektów modelowych i badania prototypów pojazdów – pozwoli na wykonanie aktualnej analizy rynkowej oraz realizacji produktu końcowego spełniającego przyjęte założenia. Szerokie analizy oraz modyfikacje konstrukcyjne na etapie modelowania komputerowego zespołów pozwoliły na ograniczenie kosztów realizacji projektu.

Literatura

- [1] Dyrektywy UE: 96/27/EC; 98/79/EC.
- [2] Normy i Regulaminy ECE:
 - ECE R 32 (Uderzenie w tył nadwozia);
 - ECE R 95 (Uderzenie boczne);
 - ECE R 94.01 (Uderzenie czołowe z 40% przekryciem);
 - ECE R 33 (Uderzenie czołowe w sztywną barierę);
 - ECE R 42 (Zderzaki);
 - FMVSS 216 (USA) (Odkształcenie dachu);
 - FMVSS 311 (USA) (Uderzenie masą w tył nadwozia);
 - PN-EN ISO 3449:2009 „Maszyny do robót ziemnych. Konstrukcje chroniące przed spadającymi przedmiotami. Wymagania i badania laboratoryjne”;
 - PN-EN ISO 3471:2009 „Maszyny do robót ziemnych. Konstrukcje chroniące przy przewróceniu się maszyny. Badania laboratoryjne i wymagania techniczne”.
- [3] KOPCZYŃSKI A., RUSIŃSKI E.: *Bezpieczeństwo bierne. Pochłanianie energii przez profile cienkościenne*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2010.
- [4] Materiały opracowane w ramach projektów celowych CI – NOT (projekty w ramach współpracy z firmą MELEX).
- [5] web.iitd.ac.in/.../7 – Design of vehicle structures for crash energy management.
- [6] RAMESH KOORA, RAMAVATH SUMAN, SYED AZAM PASHA QUADRI: *Design Optimization of Crush Beams of SUV Chassis for Crashworthiness*. IJSR 2016 Vol. 5 issue 2.
- [7] HESHAM KAMEL IBRAHIM: *Design Optimization of Vehicle Structures for Crashworthiness Improvement*. Concordia University Montreal, Quebec, Canada 2009.
- [8] AHMED ABD EL-RAHMAN KHATTAB: *Investigation of an adaptable crash energy management system to enhance vehicle crashworthiness*. Concordia University Montreal, Quebec, Canada 2010.
- [9] Materiały producentów pojazdów i samochodów.

Andrzej Barszcz – Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego
e-mail: andrzej.barszcz@imbigs.lukasiewicz.gov.pl;
Mirosław Chłosta – Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego
e-mail: miroslaw.chlosta@imbigs.lukasiewicz.gov.pl;
Marek Szlęzak – MELEX Sp. z o.o., e-mail: marek.szlezak@melex.com.pl