

Grzegorz Spyra, Witold Beluch
Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej
Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice
email: grzes@spyra.com.pl, witold.beluch@polsl.pl

KOMPUTEROWY SYSTEM WSPOMAGAJĄCY PROJEKTOWANIE ZABUDÓW WYWROTEK

Streszczenie – W pracy przedstawiono opracowany system wspomagający projektowanie, analizę wytrzymałościową i optymalizację wariantową zabudów wywrotek na samochody ciężarowe. System napisano w języku PHP z wykorzystaniem bazy danych MySQL oraz serwera witryn internetowych Apache i jest on dostępny dla użytkownika jako strona internetowa. Zadaniem systemu jest dobór rodzaju, liczby i wymiarów elementów konstrukcyjnych, jak również tworzenie dokumentacji technologicznej produktu. System umożliwia użytkownikowi edycję otrzymanych wyników w celu dopasowania projektu do konkretnych wymagań. Opracowany model konstrukcji jest weryfikowany wytrzymałościowo przy wykorzystaniu oprogramowania MES. Możliwa jest również optymalizacja konstrukcji ze względu na wybrane kryteria.

Słowa kluczowe: zabudowa wywrotka, wspomaganie projektowania, analiza wytrzymałościowa, optymalizacja wariantowa, model parametryczny

1 Wprowadzenie

Samochody ciężarowe z zabudową wywrotką stanowią podstawowy środek transportu wielu różnych surowców. Zazwyczaj przeznaczone są do przewozu materiałów sypkich (piasek, żwir, węgiel itp.), jak również materiałów gorących np. asfaltu. Oprócz tego wywrotka trójstronna musi również spełniać zadania skrzyni ładunkowej stałej i może być wykorzystywana do przewozu materiałów długich. Zabudowy wywrotki są również przystosowane do pracy z różnorodnymi urządzeniami dodatkowymi np. zamiatarkami ulicznymi, frezarkami do asfaltu, rozdrabniarkami do drewna czy sprzętem komunalnym do zimowego utrzymania dróg. Z uwagi na różnorodność samochodów ciężarowych, na które wywrotka może być zamontowana oraz na specyficzne wymagania klienta, zabudowy te są produktami o znikomej powtarzalności i muszą być projektowane indywidualnie.

Opracowano oprogramowanie wspomagające projektowanie podłogi skrzyni ładunkowej zabudowy wywrotki, montowanej na samochodach

ciężarowych od 2,5 t do 26 t dopuszczalnej masy całkowitej pojazdu. Opracowano System Wspomagania Projektowania Zabudów Wywrotek (SWPZW) który na podstawie wprowadzonych danych wejściowych dobiera rodzaj, liczbę oraz wymiary poszczególnych belek w konstrukcji, jak również generuje model CAD oraz dokumentację technologiczną wraz z rysunkami technicznymi rozpatrywanego wyrobu. Opracowany model konstrukcji jest weryfikowany wytrzymałościowo przy wykorzystaniu oprogramowania metody elementów skończonych a następnie może być poddany optymalizacji ze względu na wybrane kryteria.

Projektowanie zabudowy wywrotki rozpoczyna się od doboru podwozia oraz wymiarów gabarytowych zabudowy, spełniających oczekiwania klienta. Następnie, bazując na danych technicznych producenta podwozia, dokonuje się optymalizacji parametrów wybranego pojazdu. W kolejnym etapie tworzony jest projekt konstrukcji zabudowy i powstaje dokumentacja techniczna produktu.

W następnej kolejności możliwa jest weryfikacja wytrzymałościowa konstrukcji metodą elementów skończonych oraz optymalizacja konstrukcji. Uzyskane wyniki służą do stworzenia nowej wersji dokumentacji technicznej produktu.

2 System Wspomagania Projektowania Zabudów Wywrotek

SWPZW został napisany w języku programowania PHP [5]. Interpreter PHP współpracuje z serwerem Apache zainstalowanym w systemie operacyjnym Microsoft Windows. Do przechowywania informacji została wykorzystana baza danych MySQL. Interfejs użytkownika został oparty na kodzie HTML i prezentowany jest jako strona internetowa. Elementy interaktywne napisano w technologii Javascript. Zastosowane rozwiązanie jest architekturą typu klient-serwer.

Stworzenie SWPZW jako tzw. aplikacji webowej niesie ze sobą kilka udogodnień. Wygenerowane wyniki po zatwierdzeniu przez konstruktora są natychmiast widoczne dla innych użytkowników. Nie jest wymagana instalacja programu na komputerach klienckich; potrzebna jest tylko dowolna przeglądarka internetowa. Aktualizacje są wdrażane natychmiastowo dla wszystkich użytkowników. Jest również możliwa praca zdalna. Tego typu podejście pozwala na lepsze zabezpieczenie danych, gdyż administrator ma pełną kontrolę nad dostępem określonych użytkowników do konkretnych informacji.

Do wad tego rozwiązania można zaliczyć konieczność stałego dostępu użytkownika do sieci. W przypadku awarii serwera cały system przestaje działać. Zabezpieczeniem przed takim przypadkiem jest regularne tworzenie kopii zapasowych serwera lub, w przypadku dłuższej naprawy, przekierowanie zapytań klientów na inny serwer, posiadający aktualną kopię danych.

Interfejs SWPZW został podzielony na cztery moduły: "SAMOCHODY", "OPRACOWANIE", "WYNIKI" oraz "HISTORIA".

Moduł "SAMOCHODY", zawiera informacje na temat pojazdów, dla których zostanie wykonana zabudowa wywrotka i umożliwia modyfikację danych podwozia.

W module "OPRACOWANIE" (rysunek 1) użytkownik podaje wymiary zabudowy oraz ewentualne opcje dodatkowe. Program sprawdza poprawność wymiarów na podstawie ograniczeń z bazy danych. Z poziomu tego modułu użytkownik uruchamia proces doboru profili a następnie zostaje przekierowany na stronę modułu "WYNIKI".

The screenshot shows the 'OPRACOWANIE' (Configuration) module of the SWPZW software. The interface is in Polish. At the top, there is a navigation menu with buttons for 'SAMOCHODY', 'OPRACOWANIE', 'WYNIKI', 'HISTORIA', and 'POWRÓT'. The main content area is divided into several sections. The top section displays vehicle information: 'MAN TGS', 'SP 3 / 2014', 'OCZEKUJĄCE', and 'SZCZEGÓŁY'. Below this, there is a section for 'OPCJE DODATKOWE' (Additional Options) with two checked items: 'burtki bezcenne dzielone słupkami (standard przy długości od 5000 mm)' and 'zabudowa szmacioma (ciężkie warunki pracy)'. A 'WYMIARY [mm]' section shows a truck diagram with dimensions: 5200 (total length), 2000 (wheelbase), and 700 (width). Below the diagram, there are input fields for 'SZEROKOŚĆ ZABUDOWY:' (2550) and 'SZEROKOŚĆ RAMY:' (900). A 'PRZELICZ' button is at the bottom.

Rys. 1. Przykładowy ekran modułu OPRACOWANIE

W module WYNIKI dostępne są efekty działania programu. Po wyborze zabudowy użytkownik uzyskuje dostęp do listy dobranych elementów składowych konstrukcji oraz jej dokumentacji. Istnieje również możliwość edycji wyników oraz ponownego uruchomienia obliczeń. Pod nazwą danego elementu znajduje się szkic przekroju poprzecznego. Rysunek z zielonym tłem oznacza dobrany profil. Pozostałe szkice stanowią przekrój alternatywny. Do konstruktora należy ostateczna decyzja, który z nich zostanie zastosowany w zabudowie. Przykładowa lista dobranych przez program profili została przedstawiona na rysunku 2.

Moduł "HISTORIA" zawiera zlecenia zarchiwizowane oraz usunięte.

MAN TGS

DMC: 26 000 kg
VIN: 0000000000000000
DATA: 02.12.2014

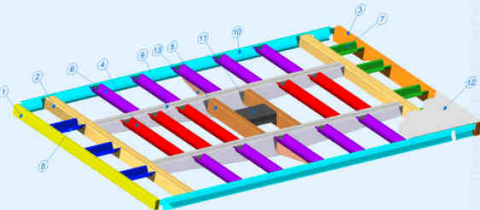
SP 3 / 2014

OPRACOWANE


OPRACOWANE

SZCZEGÓŁY

WYNIKI

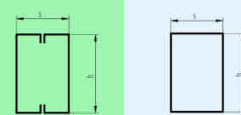


1 Profil przedni



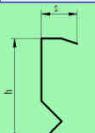
DLUGOŚĆ	2 240,0	[mm]	ŚCIANKA	8,0	[mm]	PRZYWRÓĆ DOMYŚLNE
SZEROKOŚĆ (a)	80,0	[mm]	MATERIAL	S355		
WYSOKOŚĆ (b)	160,0	[mm]				

2 Belka główna - spawana



DLUGOŚĆ	2 240,0	[mm]	ŚCIANKA	8,0	[mm]	PRZYWRÓĆ DOMYŚLNE
SZEROKOŚĆ (a)	120,0	[mm]	MATERIAL	S355		
WYSOKOŚĆ (b)	120,0	[mm]				

3 Żyłp duży



DLUGOŚĆ	2 240,0	[mm]	ŚCIANKA	8,0	[mm]	PRZYWRÓĆ DOMYŚLNE
SZEROKOŚĆ (a)	60,0	[mm]	MATERIAL	S355		
WYSOKOŚĆ (b)	180,0	[mm]				

4 U - duże

Rys. 2. Moduł WYNIKI dla przykładowej zabudowy.

Głównymi elementami opracowanego systemu są algorytmy odpowiedzialne za dobór elementów konstrukcji oraz algorytmy służące do generowania dokumentacji technicznej i modelu 3D.

3 Algorytm doboru elementów konstrukcji

Algorytm służący do doboru i obliczania elementów konstrukcji rozpoczyna swoje działanie od zaklasyfikowania konstrukcji do jednej z pięciu grup na podstawie jego dopuszczalnej masy całkowitej. Następnie wyświetlana jest strona wprowadzania danych pojazdu z odpowiednimi opcjami dodatkowymi i rysunkami. Algorytm sprawdza poprawność wprowadzonych przez użytkownika danych i zapisuje je do bazy danych. Wprowadzone dane weryfikowane są w oparciu o bazę danych. Dla odpowiednich parametrów zabudowy przypisane są dopuszczalne zakresy wymiarowe. Wymiar znajdujący się poza zakresem uniemożliwia rozpoczęcie obliczeń lub zostanie automatycznie skorygowany. W dalszej części algorytmu występują funkcje odpowiedzialne za wczytanie z bazy danych odpowiednich przekrojów poprzecznych profili, uwzględniających kategorię wagową oraz wybrane opcje dodatkowe.

Po przeprowadzeniu szeregu obliczeń skutkujących dobraniem profili następuje zmiana statusu zabudowy na "opracowane". Wszystkie wyniki obliczeń zostają zapisane w bazie danych, a użytkownik zostaje przekierowany na stronę z wynikami obliczeń. Schemat algorytmu doboru elementów konstrukcji przedstawiono na rysunku 3.

4 Algorytm tworzenia modelu CAD 3D

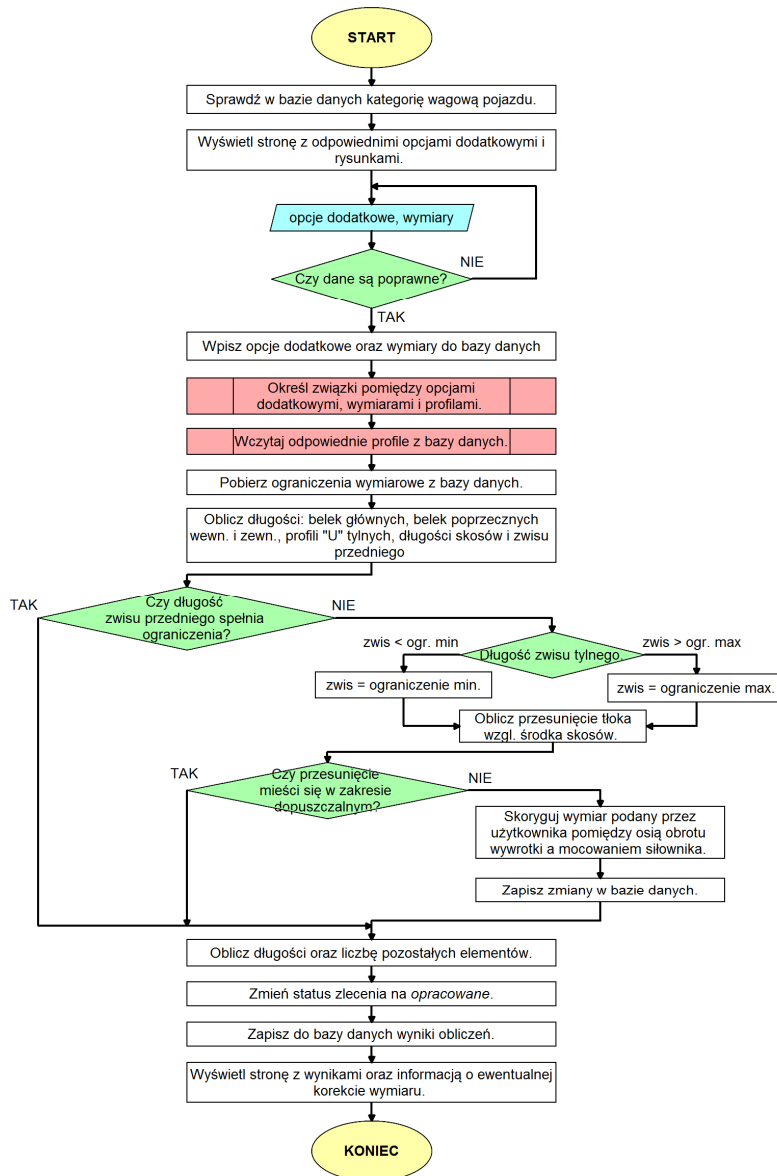
Model 3D konstrukcji został stworzony przy użyciu programu Solid Edge ST7 [3], który umożliwia budowanie modeli parametrycznych. Model tego typu posiada wszystkie wymiary i parametry opisane przez zmienne, relacje lub funkcje, które definiują wzajemne zależności poszczególnych elementów modelu. Model CAD aktualizowany jest automatycznie po każdej zmianie dowolnego parametru.

Solid Edge udostępnia specjalne narzędzie do opisu modeli parametrycznych. Wszystkie zmienne danego modelu przedstawiane są w tabeli.

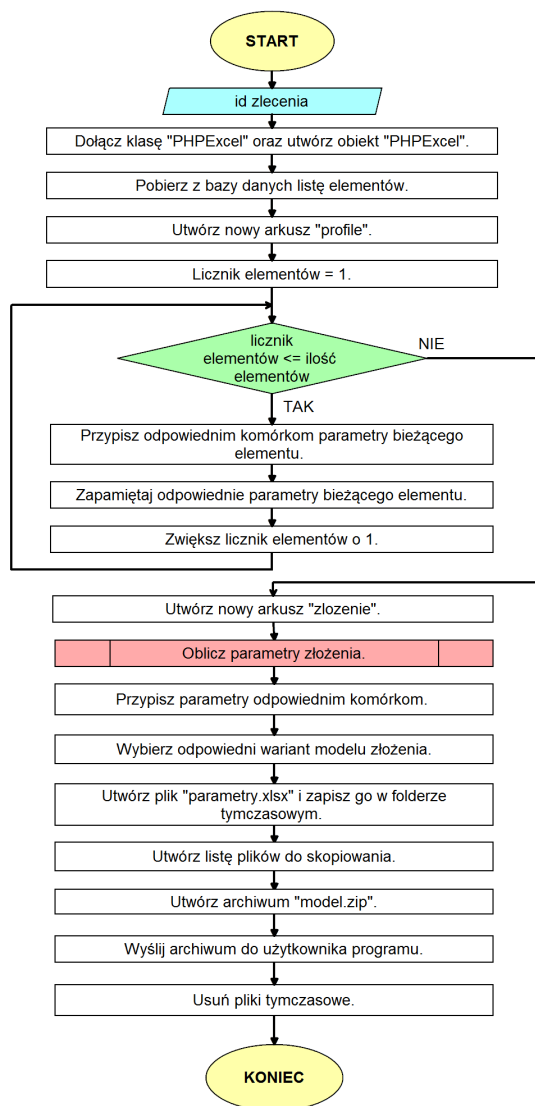
Algorytm służący do generowania modelu podłogi skrzyni ładunkowej wywoływany jest poprzez wybranie odnośnika zawierającego numer identyfikacyjny zabudowy. Tworzony jest obiekt PHPEXCEL [6], który umożliwia w dalszym etapie wygenerowanie dokumentu programu Excel z parametrami złożenia. Z bazy danych pobierana jest lista elementów składowych konstrukcji. Ich wymiary oraz parametry przypisywane są do odpowiednich komórek arkusza kalkulacyjnego.

Parametry modelu podłogi skrzyni ładunkowej są obliczane na podstawie wymiarów zabudowy podanych przez użytkownika oraz zapamiętanych w poprzednim etapie informacji o poszczególnych elementach składowych. Na podstawie typów zastosowanych

elementów dobierany jest odpowiedni wariant modelu konstrukcji. Kolejnym krokiem jest utworzenie folderu skompresowanego .zip i umieszczenie w nim stosownych plików. Archiwum jest wysyłane do przeglądarki internetowej użytkownika, który ma możliwość jego pobrania. Schemat algorytmu przedstawiony został na rysunku 4.



Rys. 3. Algorytm doboru elementów konstrukcji



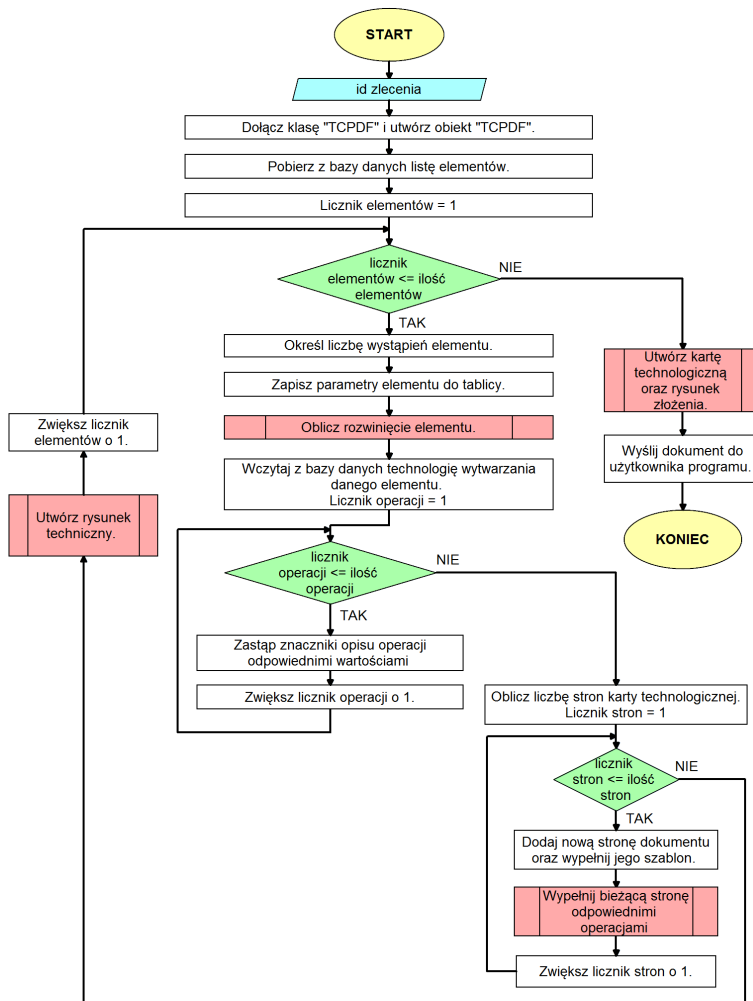
Rys. 4. Algorytm tworzenia modelu 3D

5 Algorytm generowania dokumentacji technicznej

Algorytm służący do generowania dokumentacji technicznej (rysunek 5) wywoływany jest poprzez kliknięcie w odpowiedni odnośnik, zawierający numer identyfikacyjny zabudowy. Tworzony jest obiekt TCPDF [7], który umożliwi później wygenerowanie odpowiedniego dokumentu. Z bazy danych pobierana jest lista elementów składowych konstrukcji. Określana jest liczba każdego z elementów składowych

potrzebna do wykonania konstrukcji. Ich wymiary są zapisywane do tablicy, która jest przekazywana do funkcji obliczającej rozwinięcie. W kolejnym etapie z bazy danych pobierana jest technologia wytwarzania danego elementu. Wypełniany jest jej szablon karty technologicznej oraz wypisywane są poszczególne operacje wymagane do wyprodukowania danego elementu.

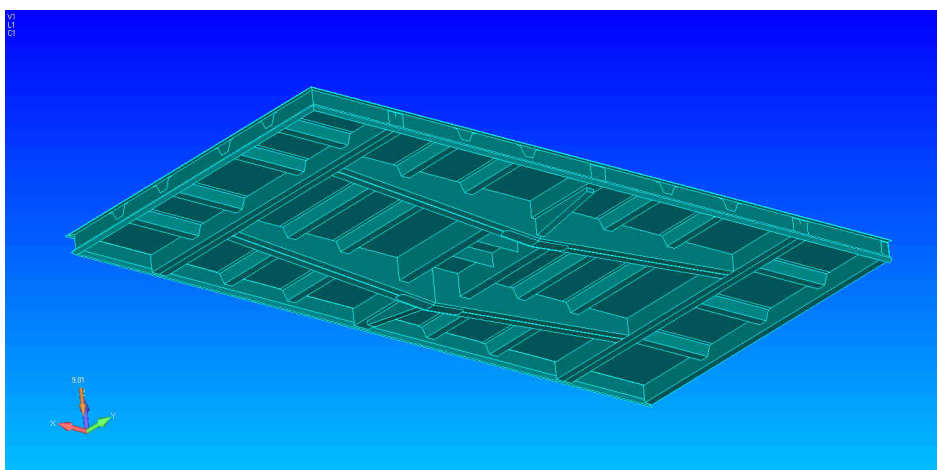
Tworzone są właściwe rysunki techniczne. Należy podkreślić, że dokumentacja może być przez użytkownika przeglądana bez konieczności posiadania programu Solid Edge. Generowana jest ponadto karta technologiczna dla całej podłogi skrzyni ładunkowej oraz jej rysunku złożeniowego. Dokument jest następnie wysyłany do przeglądarki internetowej użytkownika.



Rys. 5. Algorytm tworzenia dokumentacji technicznej

6 Analiza wytrzymałościowa i optymalizacja konstrukcji

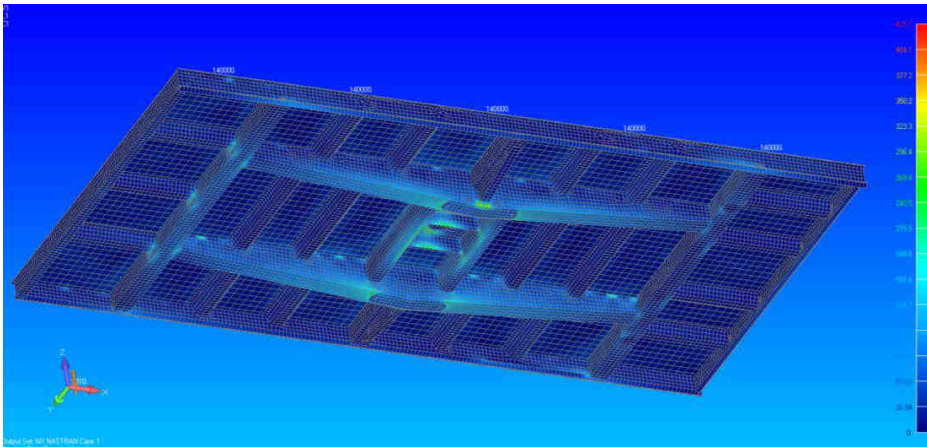
Przeprowadzono analizę wytrzymałościową i optymalizację podłogi skrzyni ładunkowej na przykładzie samochodu MAN TGM 18.250 o dopuszczalnej masie całkowitej 18 000 kg. Długość gabarytowa zabudowy wynosi 4600 mm a szerokość 2550 mm. Odległość mocowania siłownika hydraulicznego od osi obrotu zabudowy to 1600 mm. Długość zwisu tylnego to 700 mm, natomiast szerokość ramy głównej wynosi 864 mm. Na podstawie dobranego przez program rozwiązania zabudowy został utworzony model 3D konstrukcji (rysunek 6).



Rys. 6. Model 3D podłogi skrzyni ładunkowej

Przyjęto obciążenie 14 000 kg przy założonym współczynniku bezpieczeństwa 1,4. Obciążenie przyłożono równomiernie do górnej powierzchni skrzyni ładunkowej. Dodatkowo model został obciążony masą własną konstrukcji. Przyjęto dla wszystkich elementów konstrukcji naprężenia dopuszczalne 450 MPa.

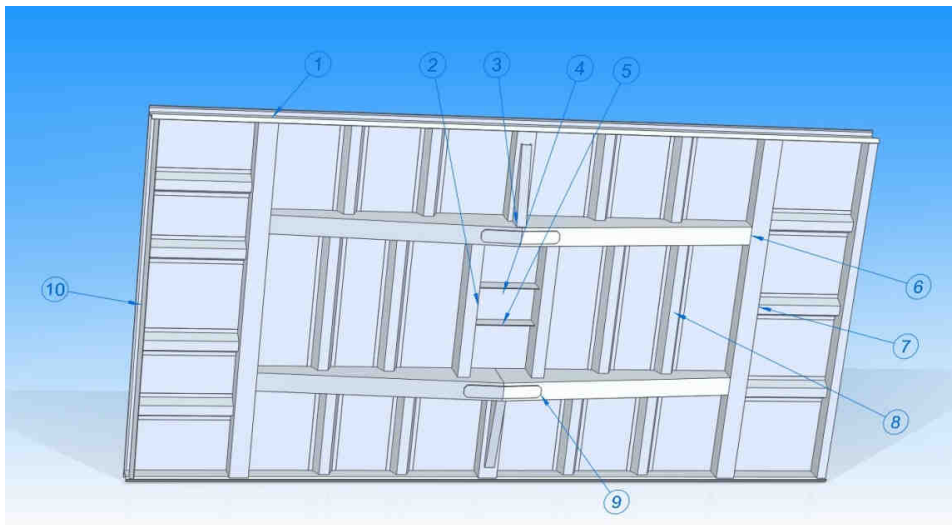
Do utworzenia siatki zostały wykorzystane elementy czworokątne z kwadratowymi funkcjami kształtu. Model został podparty w trzech miejscach: dwa fragmenty tylnej belki głównej, co odpowiada osi obrotu zabudowy oraz fragment środkowego profilu w miejscu mocowania siłownika. Jest to sytuacja początkowej fazy podnoszenia skrzyni ładunkowej do tyłu. Rozkład naprężeń zredukowanych [2] w dolnej części konstrukcji przedstawia rysunek 7. Maksymalne naprężenie zredukowane w konstrukcji wynosi 297,3 MPa.



Rys. 7. Rozkład naprężeń zredukowanych [MPa] w dolnej części konstrukcji

Celem optymalizacji wieloparametrowej było zminimalizowanie masy konstrukcji a tym samym obniżenie kosztów produkcji. Redukcja masy następowała poprzez zmniejszanie grubości ścianek poszczególnych elementów składowych zabudowy wywrotki. Sposób ten jest najszybszy i najprostszy do wdrożenia w procesie technologicznym produkcji.

W celu porównania wpływu modyfikacji na naprężenia w danym kroku, wybrano 10 punktów, w których sprawdzane były naprężenia (rysunek 8).



Rys. 8. Punkty pomiarowe konstrukcji

Do wykonania obliczeń wytrzymałościowych wykorzystano program FEMAP 10.1 z solverem NX Nastran [8]. Wyniki analiz konstrukcji metodą elementów skończonych [4] zebrano w tabeli 1. Kolumna "L.p." oznacza krok analizy. Pierwszy wiersz tabeli opisuje przypadek wyjściowy.

Tabela. 1. Wyniki optymalizacji wieloparametrowej

L.p.	Naprężenia zredukowane w punktach pomiarowych [MPa]										Q [mm]	Masa [kg]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	113,9	199,7	148	297,3	217,8	96,8	176,5	10,3	184,9	31,4	19,3	933,4
2	120	205,4	151,3	375,3	227,4	100,2	193,2	13,3	199,7	37,6	21,1	768,4
3	120,8	205,1	151,4	374,7	226,9	102,5	180,5	18,2	199,3	39	21,2	746,6
4	140,9	205,4	152	375,2	227,2	105,3	189,6	18,5	200,2	44,6	21,6	743,1
5	141,5	205,8	151,4	376,1	227,8	134,4	230,2	17,4	199,2	49,9	22,6	725,9
6	143,9	263	152,7	385,3	231,2	134,6	229,9	17,4	200,3	50	23	709,8
7	148,7	269,7	155,7	439,6	237,6	139,7	246,5	21,3	204,4	50,6	28,7	627,2
8	186,6	353,3	174,2	402,5	240	206,3	294,9	16,5	264,4	68,5	29,1	554,3

Jako najkorzystniejszą przyjęto konstrukcję otrzymaną w kroku nr 6. Jej masa zmniejszyła się o 223,6 kg w stosunku do masy wyjściowej (redukcja masy o ok. 24%.) przy maksymalnych naprężeniach zredukowanych nie przekraczających 400 MPa.

W rozpatrywanym przypadku zostało wzięte pod uwagę tylko obciążenie statyczne pochodzące z masy ładunku oraz masy konstrukcji. Na rzeczywistą konstrukcję działa również wiele innych sił pochodzących np. ze zmiany prędkości pojazdu.

7 Podsumowanie

W ramach pracy stworzono oprogramowanie wspomagające konstruktora zabudów wywrotek na samochody ciężarowe. Oprogramowanie zostało napisane przy współpracy z jedną z firm zajmujących się produkcją zabudów na samochody ciężarowe. Jest ono dedykowane osobom zajmującym się projektowaniem oraz technologią wytwarzania w tego typu przedsiębiorstwach.

System Wspomagania Projektowania Zabudów Wywrotek dostępny dla użytkownika jako strona internetowa napisano w języku PHP z wykorzystaniem bazy danych MySQL oraz serwera witryn internetowych Apache. Zadaniem SWPZW jest dobór rodzaju, liczby i wymiarów elementów konstrukcyjnych, jak również tworzenie dokumentacji technologicznej produktu w formacie. pdf wraz z rysunkami technicznymi.

SWPZW umożliwia użytkownikowi edycję otrzymanych wyników w celu dopasowania projektu do konkretnych wymagań.

Możliwa jest edycja otrzymanych wyników przez konstruktora w celu dostosowania projektu do specyficznych wymagań klienta lub uwzględnienia aktualnych stanów magazynowych. Tworzona dokumentacja techniczna przyspiesza rozpoczęcie produkcji opracowanej konstrukcji. Utworzony model 3D może stanowić bazę do dalszego projektowania zabudowy oraz pozwala konstruktorowi na dokładne zapoznanie się z tworzoną konstrukcją i poprawę ewentualnych błędów na etapie projektowania.

Ponadto możliwa jest analiza dobranej konstrukcji z zastosowaniem oprogramowania metody elementów skończonych i optymalizacja wariantowa struktury na podstawie otrzymanych wyników z zastosowaniem wybranych kryteriów. Przedstawione przykłady potwierdzają skuteczność opracowanego systemu.

W ramach rozbudowy systemu planowana jest integracja z algorytmami optymalizacji globalnej, jak np. algorytmy ewolucyjne [1]. Do tego typu celów w programie FEMAP udostępniony jest specjalny interfejs programistyczny.

8 Literatura

- [1] Arabas J., *Wykłady z algorytmów ewolucyjnych*, WNT, Warszawa 2004.
- [2] Bąk R., Burczyński T., *Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego*. Warszawa, WNT, 2001.
- [3] Kazimierczak G., *Solid Edge, Komputerowe wspomaganie projektowania*. Gliwice, Helion, 2004.
- [4] Majchrzak E., Mochnacki B., *Metody numeryczne - podstawy teoretyczne, aspekty praktyczne i algorytmy*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2004.
- [5] Meloni J. C., *PHP, MySQL i Apache dla każdego*. Helion, Gliwice, 2007.
- [6] Dokumentacja biblioteki PHPEXCEL: <https://phpexcel.codeplex.com/> [dostęp 16.03.2015].
- [7] Dokumentacja biblioteki TCPDF: <http://www.tcpdf.org/> [dostęp 06.04.2015].
- [8] Dokumentacja programu FEMAP 10.1.1 with NX Nastran 7.

COMPUTER AID SYSTEM FOR DESIGN OF DUMP BODY FOR TRUCKS

Summary: The paper presents an developed computer aid system for design, strength analysis and variant optimization of dump body for trucks. The system is written in PHP using MySQL database and Apache server web sites and it is available to the user as a web page. The purpose of the system is the choice of the type, number and dimensions of structural elements, as well as creating technological documentation of the product. The system allows the user to edit the results in order to design for specific requirements. The model is verified using FEM software. It is also possible to optimize the structure due to the selected criteria.

Keywords: dump body, aided design, strength analysis, variant optimization, parametric model