

# Wykorzystanie systemów CAD w projektowaniu przenośników transportowych

Grzegorz Chomka, Maciej Kasperowicz

## Streszczenie

W artykule przedstawiono wykorzystanie systemów CAD do modelowania i symulacji występujących naprężeń, przemieszczeń i odkształceń w projektowanym przenośniku transportowym.

**Słowa kluczowe:** modelowanie, systemy CAD, analiza, przenośniki transportowe.

## Wstęp

Rozwój przemysłu, a także związanych z nim gałęzi gospodarki, prowadzi do postępu w bardzo istotnej dziedzinie, a mianowicie w transporcie. Transport zawiera w sobie szereg powiązań z różnymi branżami, co sprawia, że pojęcie transportu jest bardzo szerokie. Powiązanie maszyn i urządzeń technicznych umożliwiających wykonywanie czynności transportowych z zastosowaniem odpowiedniego systemu informatycznego prowadzi do spójności całego systemu transportowego. Jemu należy poświęcić szczególną uwagę w procesach zarządzania w celu usprawnienia organizacji. Jest to dość istotne gdyż właśnie transport jest często najsłabszym ogniwem w przedsiębiorstwach.

Jednym ze sposobów poprawy wydajności gałęzi transportowej w przedsiębiorstwach jest zastosowanie różnego typu podajników w punktach załadunku i rozładunku, co prowadzi do skrócenia czasu transportu pomiędzy nimi. O doborze konkretnego rodzaju podajnika decyduje głównie ciężar transportowanego materiału i prędkości pracy maszyny. W trakcie procesu projektowania należy również zwrócić szczególną uwagę na środowisko i warunki pracy podajnika. Analiza tych dwóch aspektów oraz przeprowadzenie niezbędnych obliczeń umożliwi dobór właściwych materiałów potrzebnych do wykonania konstrukcji nośnej podajnika, a także elementów napędu, takich jak między innymi silnik, rolki oraz przekładnia.

## 1. Wprowadzenie teoretyczne

W procesie przemieszczania i magazynowania surowców, półwyrobów oraz wyrobów gotowych stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym wykorzystywane są różnego rodzaju urządzenia transportu technologicznego. Do tych urządzeń można zaliczyć [1]: dźwignice, dźwigi, ładowarki, wózki transportowe, manipulatory i roboty przemysłowe, przenośniki, paletyzatory i depaletyzatory.

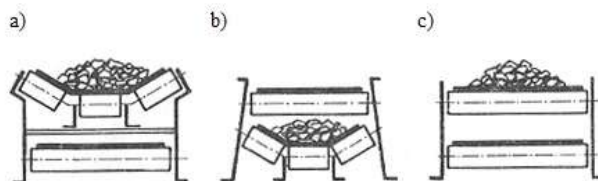
Jednym z powszechnie stosowanych środków transportowych wykorzystywanych do przemieszczania ładunków, rzadziej osób, w poziomie, pionie lub pod kątem są przenośniki. Ich cechą charakterystyczną jest to, że transportują

towary po wyznaczonych geometrycznie trasach, a wzdłuż nich określone czynności technologiczne mogą być wykonywane przez ludzi, manipulatory lub roboty.

Podziału przenośników można dokonać ze względu na rodzaj użytego organu roboczego służącego do przemieszczania ładunków. Wówczas można wyróżnić następujące rodzaje przenośników [1]:

- cięgnowe – materiały transportowane są za pośrednictwem cięgna stanowiącego zamknięty obwód, który jest także głównym elementem nośnym przenośnika. Do grupy tej zaliczane są przenośniki taśmowe, członowe, podwieszane, kubelkowe i zabierakowe,
- beziegnowe – materiały transportowane są bez udziału cięgna, lecz przy użyciu elementów takich jak wały śrubowe lub wykorzystaniu zjawiska tarcia po powierzchni gładkiej, obracających się wałków, impulsów pchających, wstrząsów lub grawitacji. Do grupy tej zalicza się przenośniki zsuwniowe, impulsowe, wałkowe, krążkowe, śrubowe, miotające i wstrząsowe,
- z ośrodkiem pośredniczącym – materiały transportowane są za pośrednictwem strumienia gazu (przenośniki pneumatyczne) lub strumienia cieczy (przenośniki hydrauliczne).

Najbardziej rozpowszechnionym typem przenośnika cięgnowego jest przenośnik taśmowy, którego przykładową konstrukcję przedstawiono na rys. 1. Elastyczna taśma przewija się po bębnach zwrotnych, z których co najmniej jeden jest napędzany, najczęściej za pomocą silnika elektrycznego [2].



**Rys. 1.** Rodzaje przenośników taśmowych: a) taśma nośna górna nieckowa, b) taśma nośna dolna nieckowa, c) taśma nośna płaska [2]

Przenośniki taśmowe wykorzystuje się do transportu kruszyw. Taśma na całej swej długości podtrzymywana jest przez specjalne krążki. Ich nachylenie pod odpowiednim kątem wpływa na ładowność przenośnika oraz maksymalną objętość załadowanego kruszcu [3].

Ładowność przenośnika taśmowego zależy od kilku czynników, takich jak przekrój taśmy koryta, prędkość taśmy, gęstości materiału i kąt załadunku. Wykorzystując algorytmy genetyczne możliwy jest dobór odpowiedniego kształtu koryta dla rodzaju transportowanego materiału.

Drugą pod względem uniwersalności zastosowania grupę przenośników cięgowych stanowią przenośniki członowe. Transport materiałów, przy zastosowaniu tych przenośników, odbywa się na odpowiednio ukształtowanych członach. Łączy się je ze sobą za pomocą ciągną pojedynczego lub podwójnego. Ze względu na różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych oraz dużą dowolność w układaniu tras transportowych przenośniki członowe znalazły bardzo szerokie zastosowanie na halach, liniach produkcyjnych i w magazynach. Mają zdecydowanie większą nośność w porównaniu do przenośników taśmowych jednak są jednocześnie wolniejsze.

Kolejną grupę stanowią przenośniki kubekowe. Służą głównie do transportu materiałów sypkich. W porównaniu do poprzednio omawianych rodzajów przenośników materiał jest transportowany w określonych porcjach, które bezpośrednio zależą od objętości zainstalowanych kubeków.

Ze względu na sposób załadunku i rozładunku materiału transportowanego wyróżnia się dwa rodzaje podajników kubekowych:

- grawitacyjne (wolnobieżne) – kubki zasypywane są przez otwór nasypowy w stopie podajnika, gdzie zazwyczaj znajduje się bęben napinający ciągną, a opróżnianie grawitacyjne odbywa się w głowicy podajnika,
- odśrodkowe (szybkobieżne) - kubki czerpią materiał z dna stopy podajnika - a w głowicy wyrzucają go siłą odśrodkową.

## 2. Założenia projektowe i modelowanie konstrukcji

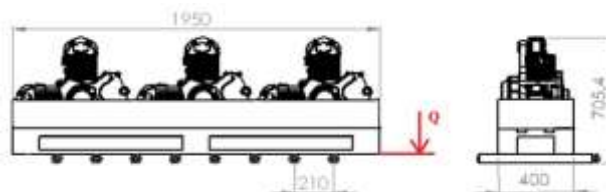
Przed przystąpieniem do etapu modelowania określono wstępne założenia projektowe podajnika rolkowego z napędem łańcuchowym. Będzie on pracował na linii do transportu silników motocyklowych. Detale transportowane będą na prostym odcinku o długości 10m, na paletach o wymiarach 550x1700mm i masie do 200 kg z prędkością  $V=10\text{m/min}$  w środowisku o agresywności korozyjnej C2 wg ISO12944-2. W trakcie pracy urządzenia pracownicy będą kontrolować poprawność ułożenia silników na paletce, co determinuje wysokość podajnika w granicach 0,9-1,1m.

Wstępnie przyjęto do dalszych obliczeń, że ciężar pakietu transportowego  $Q=1962\text{ N}$ . Dodatkowo założono, że jest równomiernie rozłożony, w danej chwili, na ośmiu rolkach zgodnie z rys. 2. Zatem obciążenie pojedynczej rolki wynosi  $Q_i=245,25\text{ N}$ . W oparciu o przeprowadzone obliczenia, korzystając z katalogu firmy Interroll dobrano rolki transportowe, po których będzie przemieszczała się paleta z silnikami. Zasadniczymi parametrami rolki jest jej nośność, szerokość oraz typ zębátky przenoszącej moment obrotowy.

Podstawowe parametry dobranej rolki transportowej są następujące:

- typ: Series 3500,
- nośność: 300N,
- długość:  $EL=600\text{mm}$ ,
- średnica:  $d=50\text{mm}$ ,

- grubość ścianki:  $t=1,5\text{mm}$
- typ zębátky: polimerowy simplex,
- ilość zębów:  $z=11$ .



Rys. 2. Rozłożenie pakietu na rolkach podczas transportu

Kolejną częścią składową projektowanego podajnika rolkowego wymagającą przeprowadzenia obliczeń, a następnie odpowiedniego doboru był motoreduktor. Określono moment tarcia między rolkami a paletą ( $M_T=24,5\text{ Nm}$ ) oraz prędkość obrotową silnika ( $n=63,8\text{ obr/min}$ ), a także moc wypadkową i niezbędną moc silnika ( $P_s=0,2\text{ kW}$ ). Korzystając z katalogu firmy Bonfiglioli Riduttori dobrano silnik (VF 49) o mocy  $P_s=0,25\text{ kW}$  wraz z reduktorem (BN71B6), służący do napędu rolek podajnika.

Dalsze obliczenia przeprowadzono w celu wstępnego doboru materiałów na konstrukcję nośną podajnika (rys. 3). Przyjęto, że słupy podtrzymujące ramę zostaną wykonane ze stalowego profilu kwadratowego 60x60x4. Ze względu na występowanie, w połowie długości podajnika, znacznej ilości elementów odpowiedzialnych za napęd konieczne będzie odpowiednie usztywnienie tego miejsca w celu uniknięcia nadmiernych naprężeń. Jednym ze sposobów jest usztywnienie konstrukcji podpór poprzez zastosowanie zastrzałów.



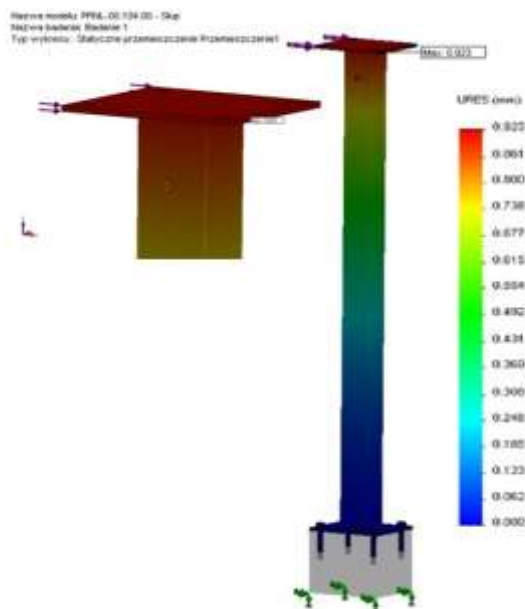
Rys. 3. Wstępny wygląd projektowanego podajnika rolkowego

## 3. Badania wytrzymałościowe

Oprócz obliczeń wytrzymałościowych przeprowadzono także analizę wytrzymałościową korzystając z modułu Simulation oprogramowania SolidWorks. Podczas pracy podajnika górna część słupa zostanie obciążona momentem pochodzącym od momentu obrotowego motoreduktora przekazującego napęd na rolkę główną. Zatem słup będzie poddawany zginaniu w kierunku zgodnym z ruchem przemieszczającego się ładunku.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że siła działająca na słup nie spowoduje jego zniszczenia  $\sigma_g \leq k_{gj}$ . Wartość strzałki ugięcia wynosi  $f=1,71\text{mm}$ . Rozkład

przemieszczeń uzyskany z analizy komputerowej przedstawiono na rys. 4.



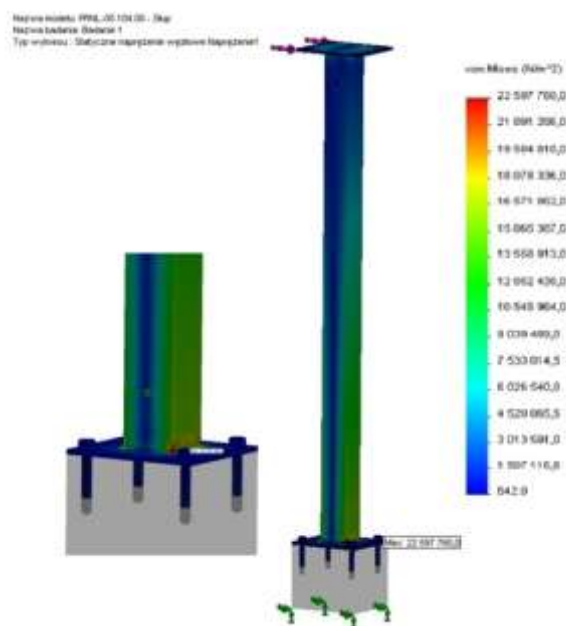
**Rys. 4.** Rozkład przemieszczeń w słupie podajnika

W wyniku przeprowadzonej analizy wytrzymałościowej słupa projektowanego podajnika uzyskano przemieszczenie (strzałkę ugięcia) na poziomie 0,92mm. Jest to wartość mniejsza od wyliczonej i pozwala stwierdzić, że zaproponowane rozwiązanie zapewni odporność konstrukcji podajnika na przemieszczenie. Wykorzystując MES w module Simulation przeprowadzono analizy wytrzymałości spiny łączącej podstawę ze słupem (rys. 5) oraz określono wartość występujących odkształceń (rys. 6).

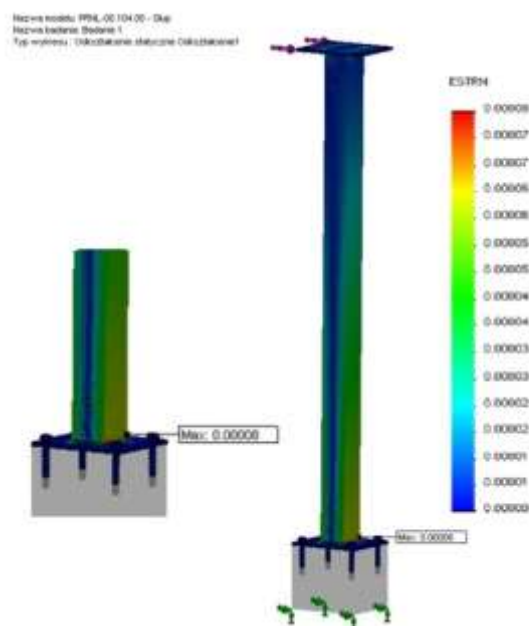
Symulacja rozkładu naprężeń oraz przemieszczeń potwierdziła wyniki przeprowadzonych wcześniej obliczeń wytrzymałościowych. Dokonane analizy pozwalają stwierdzić, że materiały oraz kształty dobranych słupów i podstaw podajnika spełniają wymagania projektu i gwarantują odpowiednią wytrzymałość podczas pracy urządzenia. Warto podkreślić, że moduł Simulation umożliwia jednoczesną analizę całego podzespołu (złożenia), co znacznie przyspiesza prowadzenie odpowiednich badań wytrzymałościowych.

Badaniom symulacyjnym poddano model całego urządzenia. W ten sposób sprawdzono występowanie miejsc szczególnie narażonych na działanie obciążeń. Szczególną uwagę skupiono na analizie ramy podajnika, którą wzmocniono dzięki wprowadzeniu zastrzałów. Z uwagi na to, że w trakcie pracy urządzenia, w ciągu jednej chwili, na podajniku może znajdować się maksymalnie 5 palet, o ciężarze 1962N każda, szyny główne podajnika obciążono łączną siłą o wartości 10000N. Rozkład przemieszczeń występujących w podajniku zaprezentowano na rys. 7, natomiast na rys. 8 przedstawiono rozkład naprężeń

W analizowanym urządzeniu występują bezpieczne wartości przemieszczeń, naprężeń i odkształceń w wyniku działania obciążeń na ramę podajnika. Wielkość tych oddziaływań nie przekracza wartości dopuszczalnych więc nie wpływa na wytrzymałość konstrukcji.



**Rys. 5.** Rozkład naprężeń zredukowanych w złożeniu słupa podajnika



**Rys. 6.** Rozkład odkształceń równoważnych w złożeniu słupa podajnika

Podczas prowadzonych analiz ramy podajnika uproszczono model konstrukcyjny, w celu usprawnienia procesu tworzenia siatki oraz poprawy wydajności przeprowadzania obliczeń. Zastosowane uproszczenia polegały na wygaszeniu wybranych operacji. Wśród wygaszonych operacji znalazły się fazowania krawędzi, zaokrąglenia, spoiny spawalnicze oraz elementy łączne. Przeprowadzone czynności nie wpłynęły w znaczący



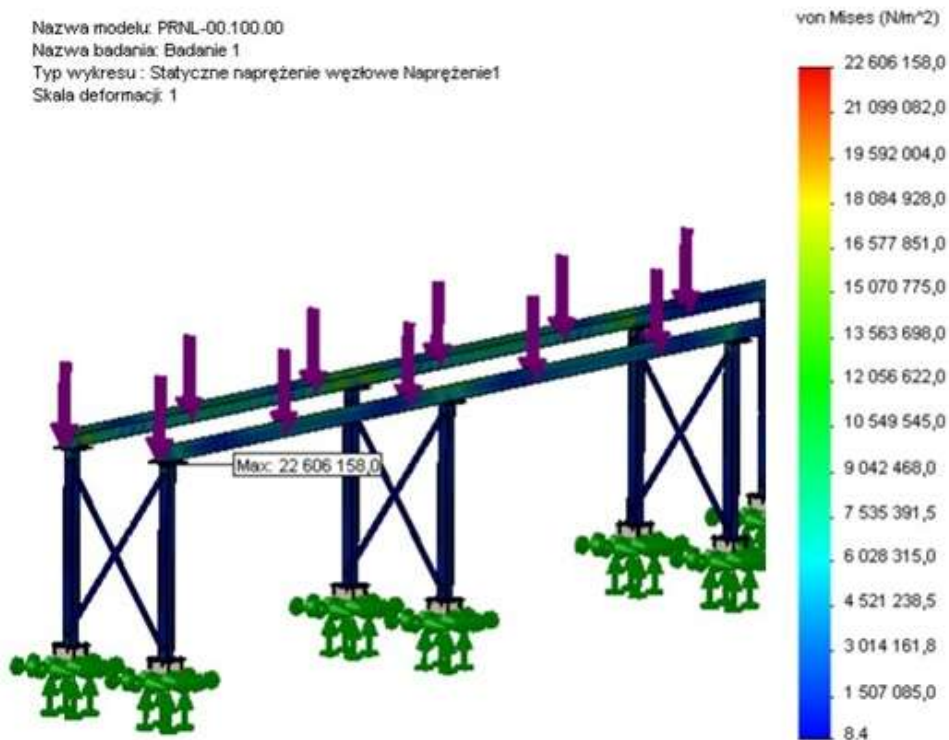
sposób na wyniki symulacji dzięki czemu wykresy naprężeń, odkształceń i przemieszczeń należy traktować jako prawidłowe.

Konstrukcję zaprojektowanego przenośnika poddano renderyzacji. Dzięki temu zabiegowi uzyskano model 3D urządzenia (rys. 9) najbardziej zbliżony do wyglądu

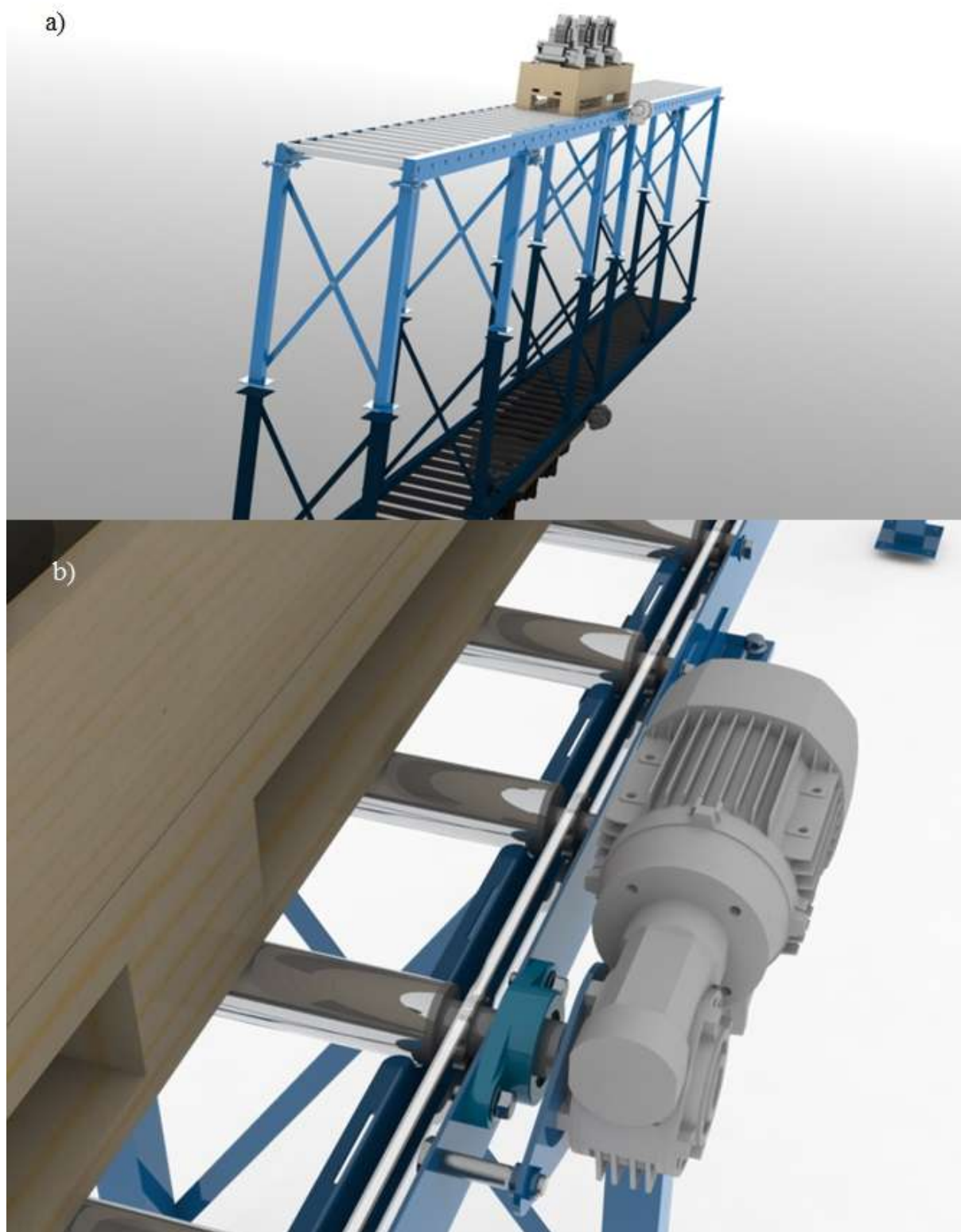
rzeczywistego. Wygenerowany obraz może z powodzeniem zostać użyty w broszurach reklamowych a w połączeniu z dokumentacją techniczną stanowi kompletną informację o zaprojektowanym urządzeniu.



Rys. 7. Rozkład przemieszczeń w ramie podajnika



Rys. 8. Rozkład naprężeń zredukowanych występujących w ramie podajnika



Rys. 9. Model 3D zaprojektowanego podajnika po renderyzacji: a) widok ogólny, b) napęd



### Podsumowanie

Projektowanie przenośnika transportowego odbyło się kilkietapowo. W pierwszej części określono założenia wstępne, zaś w części drugiej przeprowadzono niezbędne obliczenia wytrzymałościowe, które stanowiły punkt wyjściowy do doboru rolki transportowej i motoreduktora. W następnym etapie zamodelowano konstrukcję urządzenia i przeprowadzono analizy wytrzymałościowe. Należy stwierdzić, że wszystkie komponenty urządzenia spełniają warunki wytrzymałościowe, a cała konstrukcja jest trwała i bezpieczna.

Współczesne systemy CAD umożliwiają korzystanie z gotowych części znormalizowanych, co bezpośrednio przyczynia się do skracania czasu projektowania i wprowadzania zmian. Wbudowane moduły analizy wytrzymałościowej pozwalają z kolei przeprowadzać niezbędne

badania modelu, który można obciążać zgodnie z warunkami panującymi podczas pracy. Należy pamiętać aby w odpowiedni sposób przykładać obciążenia i umocowania, bowiem popełniane błędy mogą prowadzić do niepoprawnych wyników. Zatem trzeba posiadać niezbędną wiedzę teoretyczną oraz znać warunki pracy i działania urządzenia.

### Bibliografia

1. Wojciechowski Ł., Wojciechowski A., Kosmatka T.: *Infrastruktura magazynowa i transportowa*. Wyższa Szkoła Logistyki Poznań (2009).
2. Kijewski J.: *Maszynoznawstwo*. WSiP Warszawa (2011).
3. Grzelak E.: *Transport wewnętrzny przemysłu kruszyw budowlanych*. IMBiGS Warszawa (1981).

## The use of CAD systems in the design of transport conveyors

### Abstract

*The article presents the use of CAD systems for modeling and simulation of the stresses, displacements and strain in the designed transport conveyor.*

**Key words:** modeling, CAD system, analysis, transport conveyor.

### Autorzy:

Dr inż. **Grzegorz Chomka** – Politechnika Koszalińska

Mgr inż. **Maciej Kasperowicz** – Politechnika Koszalińska