



AWARIA KONSTRUKCJI NOŚNEJ PRZENOŚNIKA TAŚMOWEGO WSKUTEK UDERZENIA PRZEZ SAMOCHÓD CIĘŻAROWY

JACEK HULIMKA, *jacek.hulimka@polsl.pl*
Katedra Inżynierii Budowlanej, Politechnika Śląska

MARCIN SKWAREK
Pracownia Projektowa M. Skwarek, J. Hulimka Sp. J.

Streszczenie: W referacie przedstawiono przypadek stalowej konstrukcji nośnej pod przenośnikiem taśmowym, silnie uszkodzonej w wyniku bezpośredniego uderzenia skrzynią ładunkową samochodu ciężarowego. W efekcie uderzenia doszło do uplastycznienia i pęknięcia pasów blachownic, zrzucenia konstrukcji z łożysk oraz jej trwałego skrzywienia. Analiza rodzaju i zakresu uszkodzeń wykazała brak możliwości wykonania remontu i wzmocnienia konstrukcji, zapewniającego jej długoletnią, bezawaryjną eksploatację. W zaistniałej sytuacji zalecono rozbiórkę uszkodzonej konstrukcji nośnej i zaprojektowano nową, dopasowaną geometrycznie do istniejących łożysk, pomostów obsługowych i podpór taśmy przenośnika.

Słowa kluczowe: konstrukcja stalowa, przenośnik taśmowy, awaria, uplastycznienie, ekspertyza, projekt.

1. Krótki opis konstrukcji

Gospodarka kamieniem wapiennym na terenie cementowni wymaga zapewnienia ciągłości transportu surowca pomiędzy magazynem surowca i młynami. Z uwagi na wielkość i ciągły charakter produkcji używane są tutaj przenośniki taśmowe łączone wieżami przesypowymi.

W opisywanym przypadku pomiędzy zadaszonym magazynem kamienia i pierwszą wieżą przesypową przebiega droga transportowa, co wymusza podniesienie przenośnika do poziomu zapewniającego zachowanie skrajni drogowej, wynikającej z maksymalnych gabarytów użytkowanych samochodów ciężarowych. Nad drogą wykonano konstrukcję nośną przenośnika w postaci wolnopodpartego przęsła z podporą stałą na żelbetowej konstrukcji budynku magazynu kamienia i podporą przesuwą na stalowej konstrukcji wieży przesypowej. Konstrukcję nośną tworzą dwa dźwigary stalowe wykonane w postaci spawanych blachownic o pełnym (dwustronnym) pasie dolnym i niepełnym (jednostronnym) pasie górnym (będącym w rzeczywistości półką kątownika nierównoramiennego, przyspawanego do środka), o rozpiętości w osiach łożysk 15,8 m. Obydwie belki główne połączone są pomostem wspartym na belkach poprzecznych, stanowiących jednocześnie górne pasy kratowych usztywnień poprzecznych. Po obydwu stronach konstrukcji nośnej przebiegają oparte na zastrzałach pomosty obsługowe, połączone z pomostami przebiegającymi wzdłuż dalszych odcinków przenośnika.

Na podłużnych belkach głównych oparta jest konstrukcja własna przenośnika, z taśmą szerokości 1,0 m.

Zgodnie z oryginalną dokumentacją projektową konstrukcję wykonano ze stali St3SX. Zabezpieczenie antykorozyjne wykonano w postaci powłok malarskich.

2. Opis awarii

Na początku czerwca 2014 r. opisana wyżej konstrukcja nośna została uderzona przez przejeżdżający pod nią samochód ciężarowy, a konkretnie przez krawędzie uniesionej skrzyni ładunkowej. W pierwszej fazie uderzony został w dwóch miejscach pas dolny jednej z blachownic, a następnie – znacznie słabiej – pas dolny kolejnej. Różnica energii uderzenia wynikała z „podbicia” konstrukcji przez pierwsze uderzenie, przy jednoczesnym obniżeniu skrzyni ładunkowej samochodu ciężarowego, wskutek czego druga z uderzonych blachownic doznała znacznie mniejszych uszkodzeń. Dla uproszczenia dalszych opisów blachownica uderzona w pierwszej kolejności będzie nazywana zachodnią, a blachownica uderzona w drugiej fazie kolizji wschodnią – zgodnie z rzeczywistym ich usytuowaniem.

Z uwagi na konieczność zachowania ciągłości produkcji uszkodzone przęsło zostało niemal natychmiast podparte dodatkową konstrukcją stalową wykonaną na bazie typowego systemu podpór szalunkowych (rys. 1), a taśma przenośnika została zgrubnie zrektyfikowana (z wyłączeniem części rolek prowadzących). W takim stanie obiekt użytkowano przez około 6 tygodni, kiedy to autorom referatu zlecono wykonanie ekspertyzy stanu technicznego i opracowanie projektu dalszych działań.



Rys. 1. Widok konstrukcji (z tymczasową podporą) od strony zachodniej

Szczegółowy przegląd konstrukcji, wykonany z podnośnika koszowego i z rusztowań, wykazał następujące uszkodzenia:

- lokalne zniszczenie (uplastycznienie) pasa dolnego zachodniej blachownicy, bezpośrednio w miejscu uderzenia lewą burtą skrzyni ładunkowej (rys. 2, 3),
- zerwanie spoiny łączącej pas dolny ze środkiem w miejscu jak wyżej (rys. 3),
- trwałe (plastyczne) odkształcenie środka nad miejscem kolizji jak wyżej (rys. 3),
- lokalne trwałe (plastyczne) odkształcenie pasa dolnego zachodniej blachownicy, w miejscu uderzenia prawą burtą skrzyni ładunkowej (rys. 4),
- poprzeczne pęknięcie pasa dolnego w miejscu jak wyżej (rys. 4),
- lokalne trwałe (plastyczne) odkształcenie pasa dolnego dźwigara wschodniego w obydwu miejscach uderzenia,
- trwałe odkształcenie elementów poprzecznych (łączących blachownice), najsilniejsze w strefie uderzenia, lecz widoczne w całej konstrukcji (rys. 5),
- trwałe odkształcenie elementów podporowych pomostu obsługowego po stronie zachodniej (rys. 6),

- zrzucenie pomostu z łożysk przesuwnych (na wieży przesypowej), z przemieszczeniem poprzecznym i pionowym (rys. 7),
- wtórne uszkodzenie (trwałe odkształcenie) drugorzędnych elementów wieży przesypowej, wskutek uderzenia przez podbitą uderzeniem konstrukcję pomostu,
- częściowe zerwanie spoin łączących elementy pomostu z wieżą przesypową (spoiny te założono niezgodnie z projektem i ograniczały one swobodę przesuwu pomostu),
- uszkodzenia w obrębie podpór przenośnika, blach pomostowych i stalowych osłon taśmy.

Stan konstrukcji przed awarią oceniono jako dobry, ze śladami naturalnego zużycia, lecz bez obniżenia nośności lub sztywności.



Rys. 2. Zdeformowany pas dolny belki zachodniej (uderzenie lewą burtą skrzyni ładunkowej)



Rys. 3. Jak wyżej, widoczna pęknięta spoina i uplastyczniony środek



Rys. 4. Zdeformowany i pęknięty pas dolny belki zachodniej (uderzenie prawą burtą)



Rys. 5. Trwałe odkształcenia elementów poprzecznych łączących belki główne



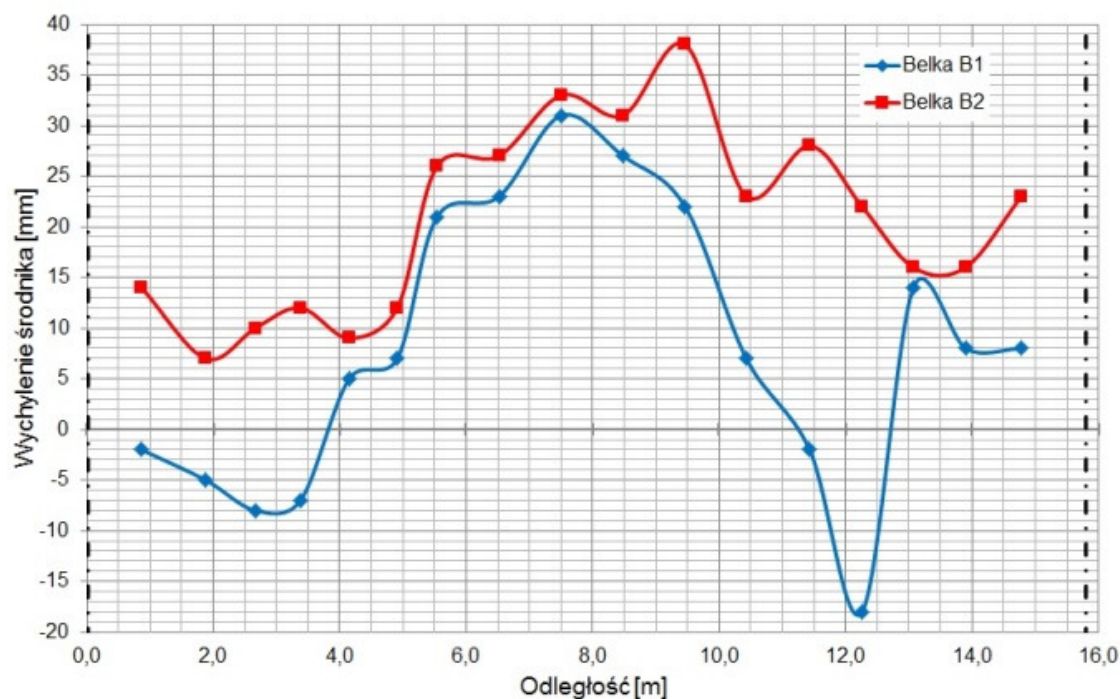
Rys. 6. Trwałe odkształcenia zastrzałów wspierających pomost obsługowy po stronie zachodniej



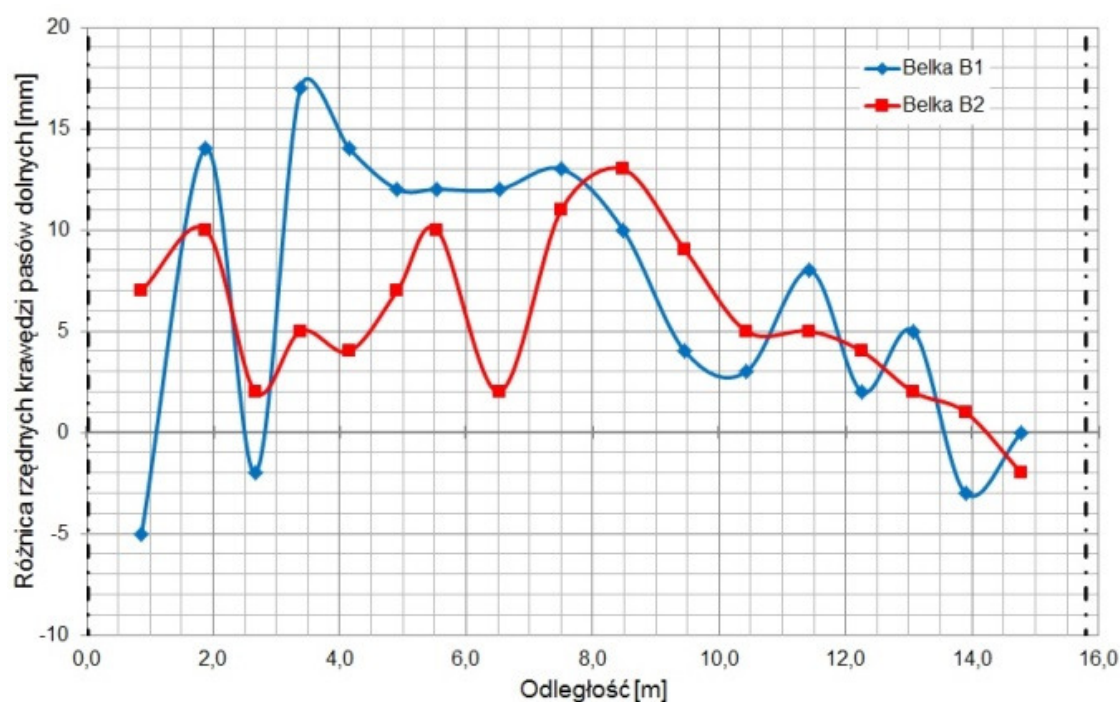
Rys. 7. Przesunięcie poprzeczne belki w stosunku do podstawy łożyska przesuwnej

3. Wyniki pomiarów geodezyjnych

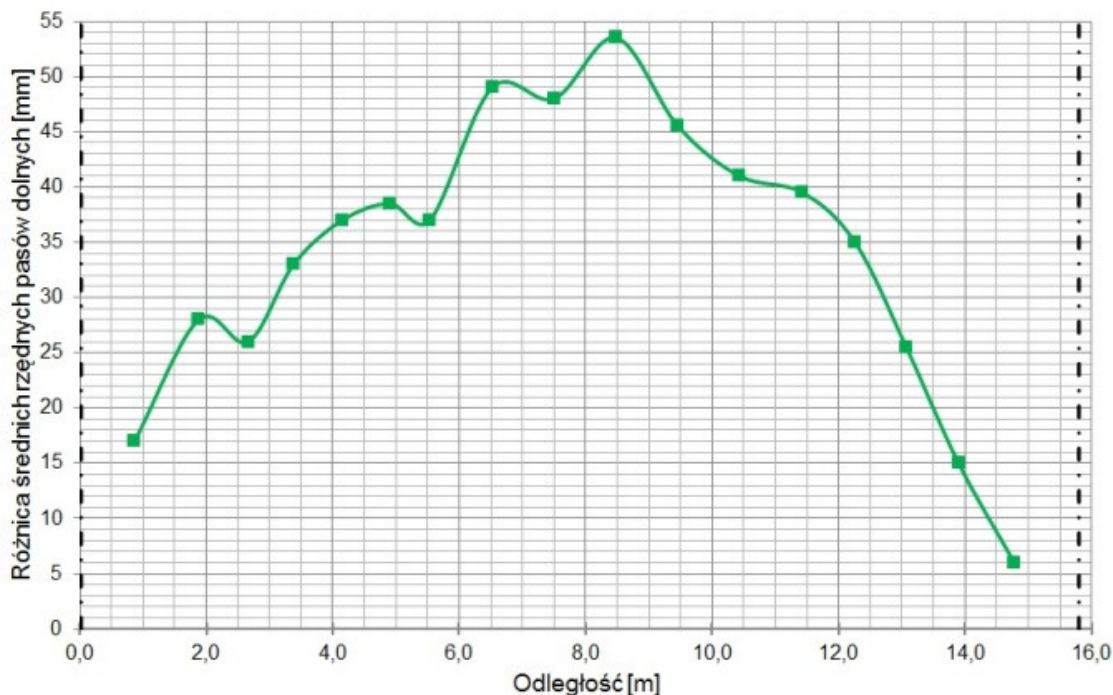
Wobec widocznych gołym okiem nieliniowości głównych elementów konstrukcyjnych zlecono wykonanie pomiarów geodezyjnych w zakresie geometrii głównych dźwigarów. Uzyskane wyniki opracowano w formie dodatkowych wykresów (rys. 8–10) obrazujących deformację (skręcenie) środników i pasów oraz skręcenie całego pomostu. Symbolem B1 oznaczono blachownicę zachodnią (od strony uderzenia), a B2 wschodnią.



Rys. 8. Wychylenie środników z płaszczyzny pionowej



Rys. 9. Różnica poziomów krawędzi pasów dolnych



Rys. 10. Różnica poziomów pomiędzy osiami pasów dolnych

Wychylenie z pionu środków belek osiągnęło wartość 38 mm, co przy różnicy poziomów pomiaru rzędu 750 mm oznaczało skręcenie o około 3° . Znacznie gorzej wyglądało skręcenie pasów, gdzie różnica rzędnych krawędzi pojedynczego pasa dochodziła do 17 mm, co przy szerokości 200 mm oznaczało obrót o około 5° . Cały pomost wykazywał różnicę poziomów sięgającą 53 mm, co oznaczało skręcenie o ponad 2° . Cytowane dane świadczą o znacznej trwałej deformacji konstrukcji, skutkującej niemożliwymi do oszacowania naprężeniami. Znajduje to odniesienie w normie PN-B-06200:2002 *Konstrukcje stalowe budowlane. Warunki wykonania i odbioru. Wymagania podstawowe* definiującej dopuszczalne odchyłki wykonawcze (a z takimi można porównywać trwałe deformacje konstrukcji) – zmierzone wartości kilkakrotnie przekraczają wielkości dopuszczone normą.

4. Analiza możliwości dalszego użytkowania konstrukcji

Analiza stanu konstrukcji, a w tym jej trwałych odkształceń, wskazywała na awaryjny stan obejmujący praktycznie cały pomost, lecz najsilniej uwidoczny w belce zachodniej. Bardzo silne deformacje plastyczne dolnych półek blachownic, pęknięcie poprzeczne jednej z półek, deformacje środka, zerwanie części spoin oraz trwałe skręcenie całego pomostu i poszczególnych jego części skutkowało dwoma problemami. Pierwszym było różnego stopnia (lokalnie niemal całkowita) redukcja nośności poszczególnych elementów konstrukcyjnych. W przypadku dalszego użytkowania konstrukcji wszystkie naruszone elementy musiałyby zostać wymienione lub wzmocnione – a trzeba mieć świadomość, że dotyczyło to prawie całej blachownicy zachodniej, fragmentów blachownicy wschodniej oraz znacznej części elementów drugorzędnych. Drugim problemem była bardzo silna deformacja przestrzenna całej konstrukcji, skutkująca nieznanym i niemożliwym do oszacowania układem naprężeń, sumujących się z naprężeniami od ciężaru własnego i obciążeń eksploatacyjnych. Tym samym niemożliwe było wiarygodne określenie rzeczywistego stanu wyłączenia konstrukcji, a zatem bezpieczeństwa jej użytkowania. Problem był jeszcze poważniejszy, bowiem cały pomost został zrzuty z łożysk

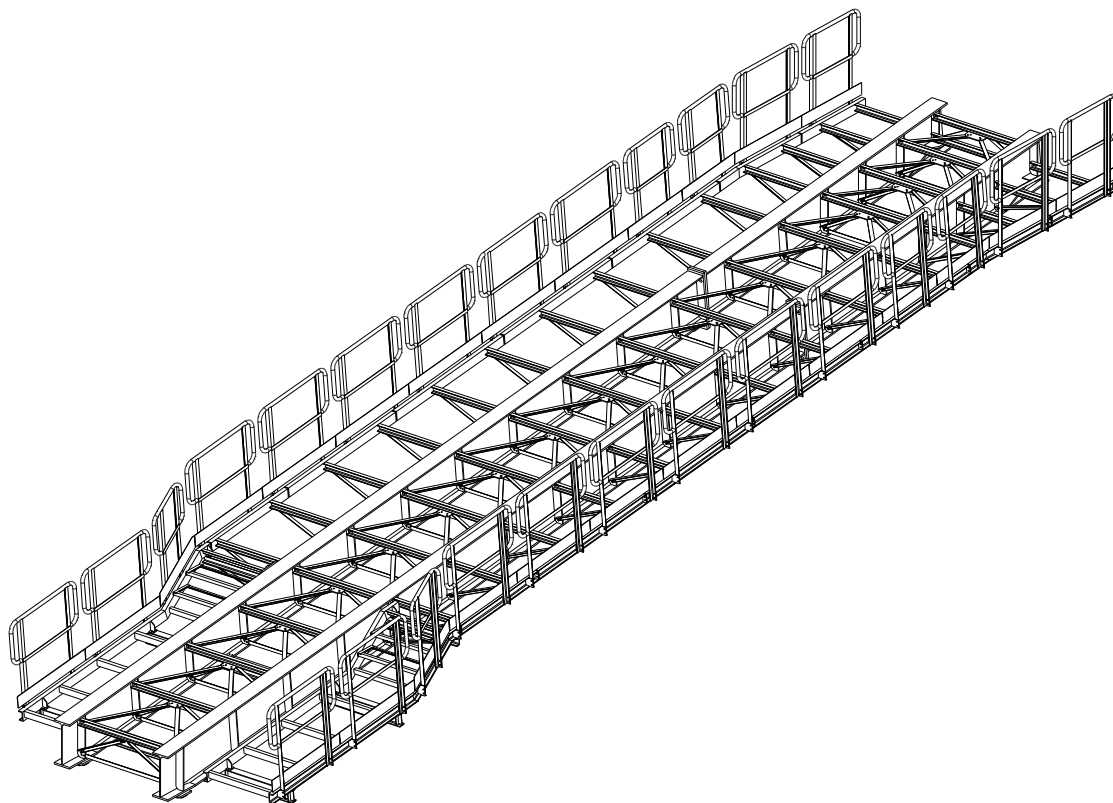
przesuwnych, a jego powtórne naprowadzenie na łożyska spowodowałoby kolejną, niemożliwą do zdefiniowania zmianę układu naprężeń.

Trzeba mieć tutaj świadomość, że wykonanie ewentualnych wzmocnień istniejącej konstrukcji nie było w stanie zredukować „zamrożonych” w niej naprężeń, a wciągnięcie do współpracy nowych fragmentów konstrukcji było jednoznaczne z kolejnymi odkształceniami (a zatem naprężeniami) w elementach istniejących.

Podsumowując powyższe, jednoznacznie uznano próbę naprawy i wzmocnienia przedmiotowej konstrukcji jako nieuzasadnioną, bowiem prowadzącą do uzyskania elementu nośnego o nieznanym i niemożliwym do oszacowania układzie naprężeń, grożącego – pomimo wykonania ewentualnych wzmocnień – awarią w postaci sekwencyjnego zniszczenia, obejmującego w pierwszej kolejności oryginalne fragmenty, a dalej nowowbudowane elementy wzmacniające. Tym samym, jako uzasadnione względami technicznymi, wskazano usunięcie uszkodzonej konstrukcji i wbudowanie w jej miejsce nowej. Rozwiązanie takie skutkowało również krótszym przestojem w produkcji, było zatem uzasadnione ekonomicznie.

5. Projekt nowej konstrukcji nośnej

Z uwagi na ściśle uwarunkowania geometryczne, wynikające z konieczności oparcia konstrukcji nośnej na istniejących łożyskach (nieprzesuwnych na budynku magazynu kamienia i przesuwnych na wieży przesypowej) projektowanie rozpoczęto od inwentaryzacji geodezyjnej wzajemnego położenia łożysk. W tak określonej przestrzeni zaprojektowano przęsło galerii jako stalową konstrukcję złożoną z dwóch wzajemnie stężonych belek pełnościennych (rys. 11). Pomosty obsługowe zaprojektowano w nawiązaniu do istniejących na wieży przesypowej i budynku magazynu. W projekcie pozostawiono oryginalną konstrukcję własną przenośnika, dostosowując do niej układ elementów wsporczych na belkach głównych.



Rys. 11. Schematyczny rysunek konstrukcji nowego pomostu

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe wykonano zgodnie z normami Eurokod, korzystając z licencjonowanego oprogramowania.

Konstrukcję zaprojektowano ze stali S235, zabezpieczonej antykorozyjnie metodą cynkowania ogniowego.

6. Podsumowanie

Przedstawiony w referacie przypadek dotyczy konstrukcji, której stan techniczny przed zaistniałym wypadkiem określono jako dobry, pozwalający na wieloletnią, bezpieczną eksploatację. W wyniku banalnego i łatwego do uniknięcia błędu, jakim była jazda samochodem ciężarowym z podniesioną skrzynią ładunkową, konstrukcja ta w ciągu kilku sekund doprowadzona została do stanu awaryjnego, niepozwalającego na wykonanie napraw lub wzmocnień zapewniających odzyskanie odpowiedniej nośności i sztywności.

Zakres i waga obserwowanych uszkodzeń spowodowały konieczność demontażu konstrukcji i zastąpienia jej nową, dopasowaną do geometrii istniejących łożysk, pomostów i podpór taśmy. Operację dodatkowo komplikował fakt lokalizacji uszkodzonego przęsła nośnego w ciągu transportowym długości kilkuset metrów. Tym samym konieczne było rozcięcie taśmy przenośnika, a następnie jej zszycie i naprężenie do parametrów eksploatacyjnych. Cała ta operacja wymagała oczywiście czasowego zatrzymania transportu kamienia, w efekcie czego obniżeniu uległa zdolność produkcyjna zakładu.

Tym samym pozornie błahе zaniechanie kierowcy spowodowało brzemienną w skutki awarię, a tylko przypadek sprawił, że nie doszło do całkowitego zniszczenia konstrukcji wsporczej, skutkującego wielodniowym zatrzymaniem produkcji, a być może także ofiarami w ludziach.

FAILURE OF SUPPORTING STRUCTURE OF CONVEYOR BELT AS RESULT OF IMPACT BY TRUCK

Abstract: The paper presents a case study of a steel structure supporting a conveyor belt heavily damaged by the direct impact of a truck trailer. Plastic deformation and cracking of the chords were observed after the accident. Moreover the structure was permanently twisted. The detailed analysis of the damages resulted in the conclusion that there was no possibility of repair or strengthening the structure ensuring safe and long-term operation. In this situation, demolition of the existing structure and design a new, geometrically matched to the existing conditions supporting structure were recommended.

Keywords: steel structure, conveyor belt, failure, plastic deformation, technological evaluation, project.