

Jarosław Siczka

jaroslaw.siczka@wat.edu.pl; nr ORCID:0000-0002-6358-6593

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Logistyki, Instytut Logistyki

Bezpieczeństwo w przewozach ładunku transportem samochodowym

Safety in transporting cargo by road transport

Artykuł został poświęcony omówieniu procedur związanych z przewozem ładunków przez transport samochodowy. Zaprezentowano sposoby mocowania ładunków do podłogi przestrzeni ładunkowej samochodu. Omówiono sposoby wyliczania sił działających na ładunek podczas przewożenia oraz sił jakie działają na niego podczas hamowania i pokonywania zakrętów. Słowa kluczowe: logistyka, transport samochodowy, ładunek.

The article is devoted to the discussion of procedures related to the carriage of cargo by road transport. Methods of fixing loads to the floor of the cargo space of the car are presented. Methods of calculating the forces acting on the load during transport and the forces acting on it during braking and cornering are discussed.

Key words: logistics, sea transport, land transport, transshipment.

WSTĘP

Realizacja przewozu ładunków najczęściej opiera się na wykorzystaniu transportu samochodowego. Jest to najważniejsza gałąź transportowa ze względu na uniwersalne zastosowanie i szeroko dostępną infrastrukturę. Dzięki temu istnieje możliwość przewiezienia ładunku w każde miejsce i o każdej porze dnia czy nocy. Kolejnym czynnikiem decydującym o powszechnym stosowaniu transportu samochodowego jest jego duża dostępność pod względem wykorzystania przestrzeni ładunkowej, co umożliwia przewóz praktycznie każdego ładunku jaki w danej chwili chcemy przewozić.

Stąd należy stwierdzić, że podstawowym zadaniem transportu jest przewóz ładunków z miejsca początkowego czyli nadania do miejsca odbioru w odpowiednim jego czasie, składzie i stanie. Z czego dwa pierwsze elementy są ściśle przestrzegane w zarządzaniu i dysponowaniu pojazdami samochodowymi, to ten trzeci czynnik dotyczący stanu, jest przez niektórych przewoźników niedostrzegany i wręcz czasami bagatelizowany. Dlatego spojrzenie na ten, jednak absorbujący czynnik jakim jest bezpieczne przewożenie ładunków, jest istotny ze względu na konsekwencje jakie mogą wynikać ze źle zamocowanego ładunku do podłoża w przestrzeni ładunkowej i o tyle ważne, że odpowiedzialność za szkody wynikające z nieprawidłowego przewożenia towaru spoczywają na przewoźniku.

Konsekwencją takiego postępowania mogą być: zagrożenie w ruchu drogowym, utrata właściwości i wartości ładunku oraz narażenie uszkodzenia ciała podczas rozładunku w sytuacji kiedy ładunek się przemieścił i następuje problemy przy wyładowaniu za pomocą urządzeń przeładunkowych.

W Polsce temat właściwego mocowania ładunku pod względem bezpieczeństwa jest często niedostrzegany na tle standardów państw zachodnich. Przepisy w większym stopniu koncentrują się na konieczności i sposobach odpowiedniego oznakowania ładunków niż na poprawnym jego mocowaniu. Dlatego problem badawczy jaki przyjęto do rozważenia brzmi następująco: **W jaki sposób zamocować ładunek aby nie przemieszczał się podczas transportu i nie stwarzał zagrożenia w ruchu drogowym?** Tak sformułowany problem badawczy pozwoli w dalszej części artykułu, wskazać istniejące zagrożenia podczas przewozu, sposoby mocowania do podłoża oraz wyliczenie działających sił na ładunek i dobór mocowania adekwatny do bryły ładunku. Do rozwiązania problemu badawczego użyto głównie analizę i syntezę w pierwszej części dotyczącej teoretycznych zagadnień związanych ze środkami transportowymi i ładunkami, a w drugiej dokonano obliczeń umożliwiających dobranie stosownego zabezpieczenia do przewożonego ładunku.

1. BEZPIECZEŃSTWO PRZEWOZU ŁADUNKU

Na ocenę bezpieczeństwa składa się szereg złożonych zagadnień, takich jak:

- stan infrastruktury drogowej, która ma w większości przypadków niebagatelne znaczenie głównie ze względu na stan nawierzchni i układu pobocza;
- organizacja ruchu, w wielu przypadkach transport samochodowy z ładunkiem o dużej masie jest realizowany po drogach na których istnieją liczne skrzyżowania powodujące hamowanie i przyspieszanie co wpływa na ładunek w przestrzeni ładunkowej;
- umiejętności kierowców, wielu z nich zasiada za kierownicą nie zdając sobie sprawy jakie siły oddziałują na ładunek oraz bezpośrednio na konstrukcję pojazdu;
- zagadnienia związane z przestrzeganiem przez kierujących przepisów ruchu drogowego i obowiązujących do przewożonego ładunku (ADR), edukacji i czynników wyprzedzających np. szkolenia kierowców na symulatorach sprawdzających ich zachowanie w różnych zmiennych sytuacjach np. pogodowych.

Wiele krajów, aby zapobiec powstawaniu zagrożeń na drogach, analizuje powstałe zagrożenia nie tylko pod kątem samych uczestników, ale również które wynikały ze źle umocowanych ładunków. Ocenę zagrożenia można dokonać na podstawie:

- wypadków drogowych, do których dochodzi głównie na drogach o dużej intensywności przejazdów z udziałem samochodów ciężarowych przewożących ładunki;
- zdarzeń drogowych z udziałem pojazdów o różnej ładowności, umożliwia to opracowanie i wskazanie przyszłych zagrożeń i ich wyeliminowanie;
- prognozowanych wielkości wskaźników zagrożenia, uzależnionych głównie od intensywności przejazdów.

Bezpieczeństwo w ruchu drogowym należy upatrywać jako czynne (aktywne) i bierne. Oba mają w sposób bezpośredni lub pośredni wpływ na bezpieczeństwo przewozów ładunków w transporcie samochodowym, ze względu na możliwość przemieszczania się ładunku w przestrzeni ładunkowej pojazdu.

Bezpieczeństwo czynne silnie wiąże się z właściwościami dynamicznymi pojazdu, do których zaliczamy:

- zdolność do ograniczenia poślizgu oraz zarzucania, związane to jest z urządzeniami zamontowanymi na pojeździe powodującymi złagodzenie tych czynników np. drogi hamowania, poślizgu na zakręcie, do takich systemów należy zaliczyć układ przeciwblokujący ABS, układ przeciwoślizgowy;
- zmniejszenie odrywania koła od powierzchni drogi podczas hamowania i pokonywania zakrętów lub łuków, takimi elementami są sprawne i właściwie dobrane amortyzatory w pojeździe, za ich pomocą jest właściwe pochłanianie drgań i występujących nierówności na drodze;
- zdolność do przyśpieszania na śliskiej nawierzchni drogi, są to systemy umożliwiające równomierne przekładanie napędu na koła pojazdu, jest to istotne w chwili obciążenia pojazdu do takich należy zaliczyć napęd na cztery koła.

Bezpieczeństwo bierne jest zespołem cech pojazdu mających na celu zmniejszenie skutków zaistniałej awarii, kolizji lub wypadku drogowego. Do takich elementów zalicza się układy chroniące kierowcę, pasażerów oraz osoby trzecie przed obrażeniami, bądź utratą życia.

Istotą bezpieczeństwa biernego jest odpowiednia konstrukcja nadwozia zapewniająca sztywność kabiny oraz stref kontrolowanego zgniotu, do nich należą również:

- odpowiednie umieszczenie zbiornika paliwa oraz akumulatora, powinno być w takim miejscu aby akumulator nie spowodował zapłonu paliwa w przypadku kolizji lub wypadku;

- zagwarantowanie odpowiedniej widoczności, istotne w przypadku samochodów ciężarowych, dotyczy to szczególnie w sytuacji przewożenia ładunków w przestrzeni ładunkowej pojazdu i ładunków ponadnormatywnych;
- ergonomiczne fotele, wpływające na komfort sterowania pojazdem i w jak najmniejszym stopniu zmęczenie kierowcy, co w zasadniczy sposób wpływa na bezpieczeństwo przewozu;
- eliminacja materiałów łatwopalnych.

Odpowiednio zamocowany ładunek to pewność bezpieczeństwa osób które są zaangażowane w załadunek, przejazd i rozładunek oraz innych uczestników ruchu drogowego, a także samego ładunku jak i pojazdu.

Prawo transportowe, inaczej przepisy normujące transport towarów, reguluje wiele krajowych i międzynarodowych aktów prawnych.

W Polsce obowiązuje od 2004 r. Norma PN-EN 12195, która reguluje sposoby i metody poprawnego zabezpieczenia ładunków w transporcie samochodowym, określając poprawne zastosowanie urządzeń mocujących i blokujących oraz użycie mat antypoślizgowych w celu zneutralizowania sił bezwładności działających na transportowany ładunek podczas hamowania, przyspieszania i na zakrętach. Norma omawia [Stokłosa 2012]:

- zasady wyliczania sił mocujących ładunek;
- budowę i warunki wytrzymałościowe dla pasów mocujących
- budowę i warunki wytrzymałościowe dla odciągów łańcuchowych;
- budowę, zakończenie i warunki wytrzymałościowe dla stalowych lin mocujących.

Ponadto zawiera wzory matematyczne pozwalające na dobór liczby i zdolności mocujących urządzeń służących do zabezpieczenia towaru na środku transportowym w oparciu o największe przyspieszenie działające na towar podczas jazdy.

Mocowanie ładunków na skrzyni ładunkowej służy głównie do zabezpieczenia ładunku przed przesunięciem lub przewróceniem. Siła tarcia ładunku o platformę skrzyni ładunkowej zazwyczaj nie jest dostateczna, aby przeciwdziałać przemieszczaniu tego ładunku. Dlatego istnieje wiele możliwości zabezpieczenia ładunku przy użyciu różnorodnych elementów, do takich należą [Starkowski 2012]:

- mocowanie blokowo,
- mocowanie przy użyciu odciągów,
- zwiększenie siły tarcia między ładunkiem a podłogą,
- zabezpieczenie powierzchniowe,
- metody kombinowane.

Mocowanie **blokowe** polega na unieruchomieniu ładunku tak, aby opierał się pośrednio lub bezpośrednio o sztywne i stałe elementy nadwozia, tj. ściany czy kłonicę. Umieszczenie ładunku bezpośrednio przy ścianach nadwozia jest korzystne, gdyż ściany przejmują siły bezwładności, które działają na ładunek.

Mocowanie za pomocą **odciągów** polega na zabezpieczeniu ładunku przez zwiększenie siły docisku między ładunkiem a powierzchnią ładunkową, zwiększając przy tym siłę tarcia. Do odciągów zaliczyć można: pasy mocujące, łańcuchy lub liny stalowe. Urządzenia te zazwyczaj stosowane są do mocowania ciężkich i dużych ładunków.

Zwiększenie **siły tarcia** między ładunkiem a podłogą można uzyskać poprzez:

- docisk ładunku do podłogi pojazdu, używając np. pasów mocujących;
- zwiększenie współczynnika tarcia używając np. mat antypoślizgowych.

Odpowiednia liczba zastosowanych środków mocujących zależy przede wszystkim od współczynnika tarcia pomiędzy ładunkiem a podłogą nadwozia. Aby zmniejszyć liczbę zamocowanych np. pasów mocujących należy zwiększyć siłę tarcia. W tym celu stosuje się maty antypoślizgowe.

Zabezpieczenie powierzchniowe polega na zabezpieczeniu ładunku siatką, której brzegi mocowane są do nadwozia. Siatki są proste i szybkie w użyciu, dopasowują się do kształtu przewożonego ładunku, co jeszcze bardziej zwiększa jakość mocowania. Przystosowane są do mocowania ładunków o całkowitej masie od 500 do 1500 kg. Zazwyczaj stosuje się je do lekkich materiałów, które przewożone są luzem na otwartych skrzyniach ładunkowych, np. ładunki sypkie, odpady czy makulatura.

Mocowanie kombinowane polega na zabezpieczeniu ładunku za pomocą kilku metod. Jest najczęściej stosowaną i najbardziej efektywną metodą skutecznego mocowania ładunku, która jest uzależniona od wielkości, masy i rodzaju przewożonego ładunku. Opisane wcześniej metody pozwalają na łączenie ze sobą urządzeń mocujących, gwarantujących jeszcze większe bezpieczeństwo przewożonego ładunku.

Dlatego przewoźnik powinien, dobrać takie metody i sposoby mocowania, aby były one najbardziej optymalnym rozwiązaniem dla przewożonego towaru, nie narażając ładunku na uszkodzenia oraz gwarantując bezpieczeństwo podczas jazdy.

Zgodnie z przepisami ładunek powinien [Płaczek 2014]:

- nie przekraczać dopuszczalnej masy całkowitej lub dopuszczalnej ładowności pojazdu,
- nie przekraczać dopuszczalnych nacisków osi pojazdu na drogę,
- być właściwie zabezpieczony przed przemieszczaniem się,

- nie wywoływać nadmiernego hałasu,
- nie wydzielać odrażającej woni.

Ponadto należy stosować się do następujących wytycznych [Kędzior 2010]:

- ładunek wystający poza obrys pojazdu może być umieszczony tylko wtedy, gdy zachowa się następujące warunki: szerokość pojazdu z ładunkiem nie przekroczy 2,55 m lub 3 m, gdy szerokość pojazdu wynosi 2,55 m, wystawać z tyłu na 2 m a z przodu na 0,5 m i 1,5 m od siedzenia kierowcy, ponadto powinien być odpowiednio oznakowany;
- ładunek nie może naruszać stateczności pojazdu;
- ładunku nie można umieszczać tak, aby utrudniał kierowanie pojazdem lub widoczności drogi oraz zasłaniać świateł;
- urządzenie mocujące powinno być zabezpieczone przez rozluźnianiem się, spadnięciem podczas jazdy lub swobodnym zwisem;
- ładunki sypkie mogą być tylko przewożone w szczelnych skrzyniach;
- wysokość pojazdu wraz z ładunkiem nie może przekraczać 4 metrów;
- środek masy ładunku powinien być w miarę równomiernie rozłożony na całej powierzchni ładunkowej oraz powinien mieć w miarę jednakową wysokość;
- środek ciężkości ładunku powinien znajdować się możliwie jak najniżej nad podłogą nadwozia;
- należy uwzględnić dopuszczalne możliwości łączenia różnych rodzajów ładunków w jednej skrzyni ładunkowej.

W przeciwnym wypadku należy :

- stosować przegrody uniemożliwiające przesuwanie się ładunków oraz oddzielające poszczególne rodzaje przewożonego towaru;
- wolne przestrzenie między ładunkami powinny być wypełnione przy zastosowaniu pomocniczych elementów blokujących;
- ładunek powinien być umieszczony przy przedniej ścianie nadwozia w przypadku niepełnego wykorzystania skrzyni ładunkowej.

Etap mocowania ładunku polega na:

- ustaleniu, czy dany ładunek powinien być przewożony w pojeździe;
- ustaleniu współczynnika tarcia oraz masy ładunku;
- ustaleniu punktu ciężkości ładunku;

- wyliczeniu sił, uwzględniając masę ładunku, punkt ciężkości ładunku oraz współczynnik tarcia;
- dobraniu odpowiednich środków mocujących, a następnie zamocowanie ładunku;
- sprawdzeniu zamocowania, jeśli ładunek jest niedostatecznie zabezpieczony, stosuje się dodatkowe środki mocujące.

Źle zamocowany ładunek, nawet wtedy, gdy jest prawidłowo umieszczony na skrzyni może spowodować utratę stateczności pojazdu podczas gwałtownych manewrów pojazdem. Dlatego kluczowym elementem jest odpowiednie szkolenie przewoźników z tematyki zabezpieczenia ładunku w czasie jazdy, przy użyciu odpowiednich elementów mocujących.

Nieprzewidziane sytuacje drogowe z udziałem pojazdów ciężarowych przewożących źle zabezpieczony towar przeważnie kończą się podobnie – ładunek wypada, często z ogromną siłą, niszcząc wszystko co napotka na swojej drodze.

2. MOŻLIWOŚCI PRZEWOZOWE TRANSPORTU SAMOCHODOWEGO

Ciągniki samochodowe różnią się od samochodów ciężarowych tym, że nie posiadają stałego nadwozia, dołączane są do nich naczepy bądź przyczepy, które tworzą zespół pojazdów. Zadaniem ciągników siodłowych jest ciągnięcie naczepy za pomocą umieszczonego w tylnej części siodła, które służy do połączenia ciągnika z naczepą. Podczas przewożenia ładunków należy stosować się do krajowych i międzynarodowych przepisów prawnych, które regulują np. rozstaw osi, położenia siodła czy dopuszczalny nacisk na oś. Do przewozu ładunków najczęściej stosuje się naczepy kurtynowe i skrzyniowe.

Naczepy kurtynowe służą do przewożenia różnych rodzajów towarów. Powierzchnia ładunkowa naczepy jest tak skonstruowana, że pozwala na przewóz zarówno zawartości luzem, zapakowanych w opakowania zbiorcze czy umieszczonych na paletach. Podstawowe informacje na temat konstrukcji naczepy kurtynowej to [Prochowski 2009]:

- burta przednia i rama z tylnymi drzwiami są zamocowane na stałe do ramy podłogowej;
- kłonicie (słupki boczne) i profil górny (obramowanie dachowe) montuje się w sposób stały bądź przesuwany, które wyznaczają ściany boczne;
- kłonicie stanowią podstawę do mocowania ładunków oraz podstawę do stosowania drugiego poziomu ładunkowego.

Ważnym elementem naczepy kurtynowej jest przednia burta, która zabezpiecza przewożony towar przed przemieszczeniem się ładunku z naczepy do kabiny. Dla ułatwienia mocowania ładunków montuje się specjalne uchwyty i otwory, które są rozmieszczone na obrzeżach podłogi naczepy, a wzdłuż burt o wysokości 2 – 3 cm jest wbudowany rant, który zapobiega przemieszczaniu się w kierunku bocznym ładunku podczas pokonywania zakrętów.

Do podłogi między kłonicami często stosowane są wkładane listwy, tzw. łąty, ich zadaniem jest zabezpieczenie ładunku przed wysunięciem go poza granicę platformy. Większość przewożonych towarów w dzisiejszych czasach jest spaletyzowana o określonej wysokości, dostosowanej do maksymalnej wysokości standardowych naczep. Dlatego dla jeszcze lepszego i wydajniejszego transportu ładunków w naczepach stosuje się system podnoszenia i opuszczania mechanicznie dachu. Wymiary wewnętrzne naczepy to:

- szerokość – 2470 mm,
- wysokość – 2750 mm lub 2950 mm,
- długość – 13600 mm.

Ładowność techniczna skrzyń kurtynowych wynosi około 32 000 kg, jest w stanie pomieścić 34 euro palety lub 26 palet przemysłowych. Zastosowanie naczepy kurtynowej w ciągniku siodłowym pozwala uzyskać największą objętość skrzyni ładunkowej względem innych rodzajów naczep.

Rozmieszczenie palet z towarem na skrzyni ładunkowej powinno odbywać się równomiernie, na całej powierzchni. Aby uniknąć przemieszczenia, przewrócenia lub przechylenia ładunek należy odpowiednio zabezpieczyć, do tego stosuje się wiele rodzajów mocowań. Warto tutaj zwrócić uwagę na mocowanie towaru za pomocą odciągów. Każdy ładunek powinien być zamocowany tyłoma odciągami, ile wychodzi z obliczeń, uwzględniając następujące parametry:

- tarcie między podłogą a ładunkiem i paletą będący ważnym czynnikiem ze względu na samoistne przemieszczanie,
- stosunek powierzchni podłoża do wysokości,
- masa załadowanej palety.

Samochody ciężarowe z nadwoziem uniwersalnym przeznaczone są do przewozu różnych ładunków, zaczynając od piasku, węgla, czy gruzu, kończąc na przewozie palet, maszyn czy narzędzi. Ładowność tych samochodów zależy od nośności podwozia i rodzaju oraz masy nadwozia. Głównym parametrem charakteryzującym jest iloraz jego masy całkowitej i ładowności, który zwany jest wskaźnikiem ładowności. Wyrażany jest w procentach i pokazuje, jaką część masy całkowitej pojazdu stanowi masa ładunku.

$$W_{\text{Ł}} = \frac{m_{\text{ŁC}}}{m_{\text{C}}} \times 100\% \quad (1)$$

gdzie:

$W_{\text{Ł}}$ – wskaźnik ładowności,

$m_{\text{ŁC}}$ – maksymalna ładowność,

m_c – maksymalna masa całkowita.

Wskaźnik ładowności może osiągnąć wartości [Prochowski 2009]:

- 60 – 65% dla pojazdów o maksymalnej masie całkowitej, nie przekraczającej 12 t.;
- 65 – 70% dla pojazdów o maksymalnej masie całkowitej większej niż 12 t.

Nadwozia uniwersalne samochodów ciężarowych dzielimy na takie, które mają otwartą skrzynię ładunkową i zamkniętą skrzynię ładunkową, tzw. furgony.

Typowa otwarta skrzynia ładunkowa zbudowana jest z ramy, do której mocowana jest podłoga oraz ściany boczne. Rama skrzyni ładunkowej montowana jest zaś do ramy podwozia samochodu. Burtę boczne i tylna jest na zawiasach przytwierdzana do podłogi, tak, aby można je odchyłać podczas trwającego załadunku i wyładunku. Aby dodatkowo zabezpieczyć ładunek stosuje się oponcze, które rozpinane są na pałkach, przytwierdza się je do bocznych burt.

Zamknięte skrzynie ładunkowe, typu furgon zbudowane są z ramy, burt bocznych, podłogi i dachu. Skrzynia ładunkowa wykonana jest w postaci kratownicy (szkieletu), która nadaje nadwoziu odpowiednią sztywność i nośność.

Urządzeniami mocującymi stosowanymi w takich samochodach są przeważnie pasy mocujące, kliny, drążki rozporowe czy materiały sztauerskie (palety lub poduszki powietrzne). Mocowane są one zazwyczaj do specjalnych uchwytów lub otworów. W samochodach ciężarowych z nadwoziem uniwersalnym często używa się urządzeń pomocniczych ułatwiających załadunek i wyładunek, np. platformy załadowcze lub żurawie samochodowe.

Transport ładunków poddawany jest licznym ograniczeniom, m.in. prędkości, masy i wymiarów pojazdu i ładunku, rodzaju przewożonego towaru oraz szkodliwym oddziaływaniom na środowisko. Rodzaj przewożonego ładunku ma znaczący wpływ na cały proces transportowy. Każdy z ładunków jest inaczej przewożony, dlatego ważnym elementem jest odpowiednie jego rozmieszczenie, tak aby jego środek ciężkości znajdował się jak najniżej, a sam ładunek nie przekraczał dopuszczalnych nacisków na osie. Ponadto każdy z przewożonych towarów powinien być odpowiednio przymocowany do skrzyni ładunkowej tak, aby uniemożliwił jego przesunięcie, przechylenie, przewrócenie lub wypadnięcie za pojazd transportowy.

3. PRZEWÓZ ŁADUNKÓW

Analiza przewozu ładunku zostanie przeprowadzona na bazie transportu trzech ładunków uformowanych na europaletach o parametrach podanych w tabeli 1. W celu

realizacji tej usługi należy określić właściwy sposób rozmieszczenia ładunków na pojeździe oraz sposób zamocowania ładunków.

Tabela 1. Parametry ładunków

Parametr	Oznaczenie	Wartość
Długość	L_L	800 mm
Szerokość	B_L	1200 mm
Wysokość	H_L	1000 mm
Masa	m_L	1000 kg

Źródło: Opracowanie na podstawie [Marzec 2017].

Charakterystyka dostępnego pojazdu zawiera tabela 2.

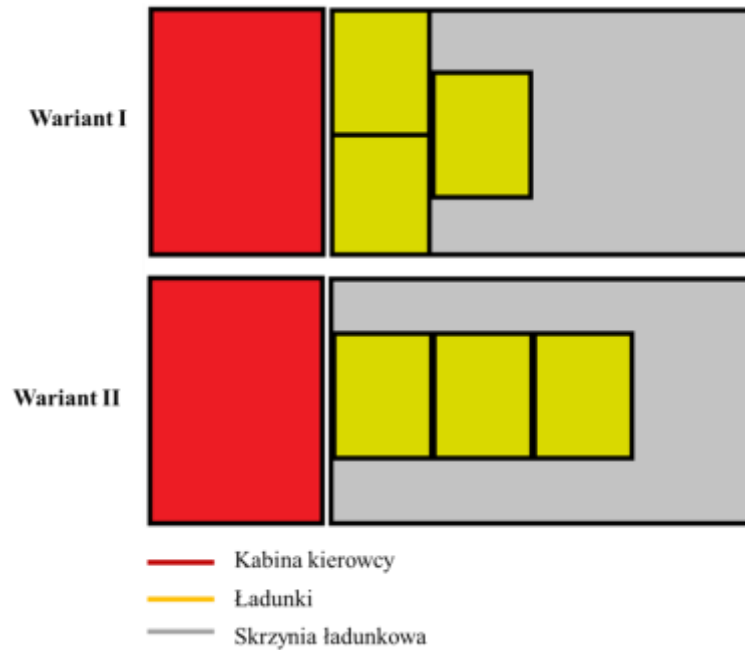
Tabela 2. Parametry samochodów ciężarowych

Parametr	Oznaczenie	Wartość
Maksymalna masa całkowita	m_C	12 000 kg
Masa własna	m_S	3 700 kg
Maksymalna ładowność	m_{LC}	8 300 kg
Maksymalny nacisk osi przedniej	N_{max1}	43 kN
Maksymalny nacisk osi tylnej	N_{max2}	84 kN
Nacisk osi przedniej pojazdu bez ładunku	Z_{1S}	25 kN
Nacisk osi tylnej pojazdu bez ładunku	Z_{2S}	12 kN
Zwis tylny	L_T	1,6 m
Długość samochodu	L_C	6,0 m
Wysokość samochodu	H	2,6 m
Szerokość samochodu równa szerokości skrzyni ładunkowej	B	2,45 m
Rozstaw osi	L	3,1 m
Długość nadwozia	L_n	4,5 m
Wysokość podłogi ładunkowej	H_p	1,0 m

Źródło: Opracowanie na podstawie [Marzec 2017].

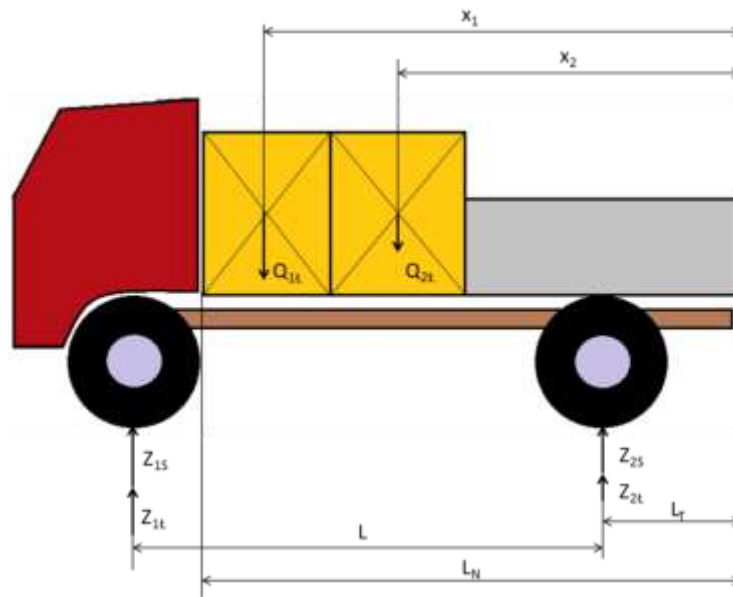
Właściwe rozmieszczenie ładunków na skrzyni ładunkowej nie powinno naruszać parametrów technicznych samochodu ciężarowego w zakresie nacisków maksymalnych na osie pojazdu określone przez jego producenta.

Na potrzeby realizacji usługi transportowej rozpatrzone zostały dwa warianty rozmieszczenia ładunku na skrzyni ładunkowej, które przedstawiono na rys. 1.



Rysunek 1. Rozpatrywane warianty rozmieszczenia ładunków na pojeździe
Źródło: Opracowanie na podstawie [Marzec 2017].

Na rys. 2 przedstawiono schemat działających sił na pojazd oraz podstawowe wymiary dla wariantu I rozmieszczenia ładunków.



Rysunek 2. Rozmieszczenie ładunku na pojeździe wg wariantu I
Źródło: Opracowanie na podstawie [Marzec 2017].

Dla wariantu I przeprowadzono następujące kalkulacje nacisków na osie pojazdu:

$$Z_1 = Z_{1S} + Z_{1ł} = Z_{1S} + \frac{Q_{1ł} \times (x_1 - L_T) + Q_{2ł} \times (x_2 - L_T)}{L} \quad (2)$$

$$Z_2 = Z_{2S} + Z_{2ł} = Z_{2S} + \frac{Q_{1ł} \times (L - x_1 + L_T) + Q_{2ł} \times (L - x_2 + L_T)}{L} \quad (3)$$

$$Q_{1ł} = 2m_{ł}g \quad (4)$$

$$Q_{2ł} = m_{ł}g \quad (5)$$

$$x_1 = L_n - \frac{L_{\Sigma}}{2} \quad (6)$$

$$x_2 = L_n - \frac{3L_{\Sigma}}{2} \quad (7)$$

gdzie:

Z_1 – nacisk kół przednich

Z_2 – nacisk kół tylnych

Po podstawieniu danych wartości z tabeli 1 i 2 otrzymano następujące wyniki:

$$Q_{1\Sigma} = 2 \times 1000 \times 10 = 20000 \text{ N}$$

$$Q_{2\Sigma} = 1000 \times 10 = 10000 \text{ N}$$

$$x_1 = 4,5 - \frac{0,8}{2} = 4,1 \text{ m}$$

$$x_2 = 4,5 - \frac{3 \times 0,8}{2} = 3,3 \text{ m}$$

$$Z_1 = 25\,000 + \frac{20000 \times (4,1 - 1,6) + 10000 \times (3,3 - 1,6)}{3,1} = 46\,612,90 \text{ N}$$

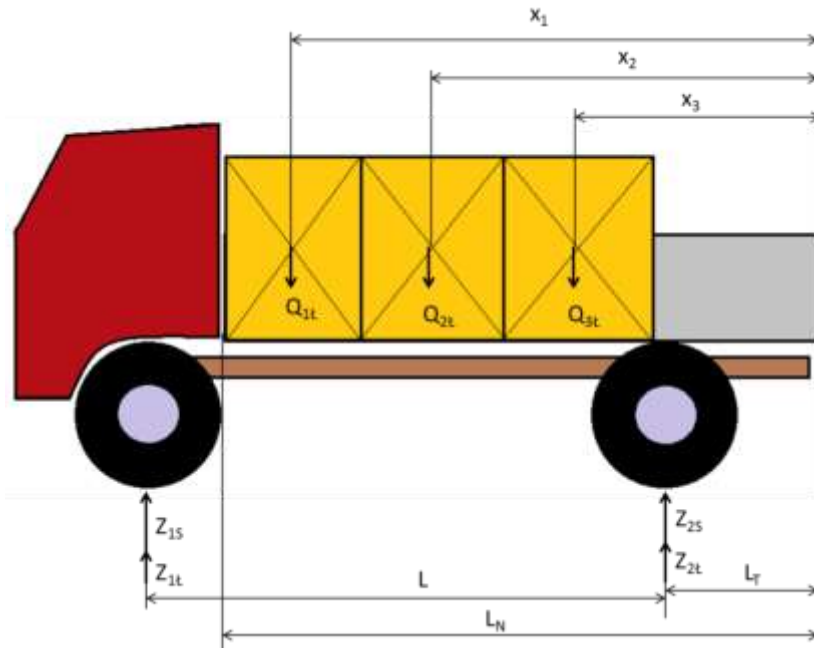
$$Z_2 = 25\,000 + \frac{20000 \times (3,1 - 4,1 + 1,6) + 10000 \times (3,1 - 3,3 + 1,6)}{3,1} = 33\,387,10 \text{ N}$$

$$Z_1 > N_{max1} \quad (8)$$

$$Z_2 < N_{max2} \quad (9)$$

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że w wariancie I naciski maksymalne na przednią oś zostały przekroczone. Zatem ten sposób rozmieszczenia ładunku na pojeździe jest niewłaściwy i mógłby spowodować uszkodzenie pojazdu oraz stwarzałby zagrożenie w ruchu drogowym, poprzez na przykład pęknięcie opony, utratę panowania nad kierownicą, uszkodzenie zawieszenia pojazdu, uszkodzenie skrzyni ładunkowej pojazdu lub niewłaściwe rozłożenie sił podczas hamowania.

Na rys. 3 przedstawiono schemat działających sił na pojazd oraz podstawowe wymiary dla wariantu II rozmieszczenia ładunków.



Rysunek 3. Rozmieszczenie ładunku na pojeździe wg wariantu II

Źródło: Opracowanie na podstawie [Marzec 2017].

Dla wariantu II przeprowadzono następujące kalkulacje nacisków na osie pojazdu:

$$Z_1 = Z_{1s} + Z_{1ł} = Z_{1s} + \frac{Q_{1ł} \times (x_1 - L_T) + Q_{2ł} \times (x_2 - L_T) + Q_{3ł} \times (x_3 - L_T)}{L} \quad (10)$$

$$Z_2 = Z_{2s} + Z_{2ł} \quad (11)$$

$$Z_2 = Z_{2s} + \frac{Q_{1ł} \times (L - x_1 + L_T) + Q_{2ł} \times (L - x_2 + L_T) + Q_{3ł} \times (L - x_3 + L_T)}{L} \quad (12)$$

$$Q_{1ł} = Q_{2ł} = Q_{3ł} = m_{ł}g \quad (13)$$

$$x_1 = L_n - \frac{L_{ł}}{2} \quad (14)$$

$$x_2 = L_n - \frac{3L_{ł}}{2} \quad (15)$$

$$x_3 = L_n - \frac{5L_{ł}}{2} \quad (16)$$

Po podstawieniu danych wartości z tabeli 1 i 2 otrzymano następujące wyniki:

$$Q_{1ł} = Q_{2ł} = Q_{3ł} = 1000 \times 10 = 10000 \text{ N}$$

$$x_1 = 4,5 - \frac{0,8}{2} = 4,1 \text{ m}$$

$$x_2 = 4,5 - \frac{3 \times 0,8}{2} = 3,3 \text{ m}$$

$$x_3 = 4,5 - \frac{5 \times 0,8}{2} = 2,5 \text{ m}$$

$$Z_1 = 25\,000 + \frac{10000 \times (4,1 - 1,6) + 10000 \times (3,3 - 1,6) + 10000 \times (2,5 - 1,6)}{3,1}$$

$$= 41\,451,61 \text{ N}$$

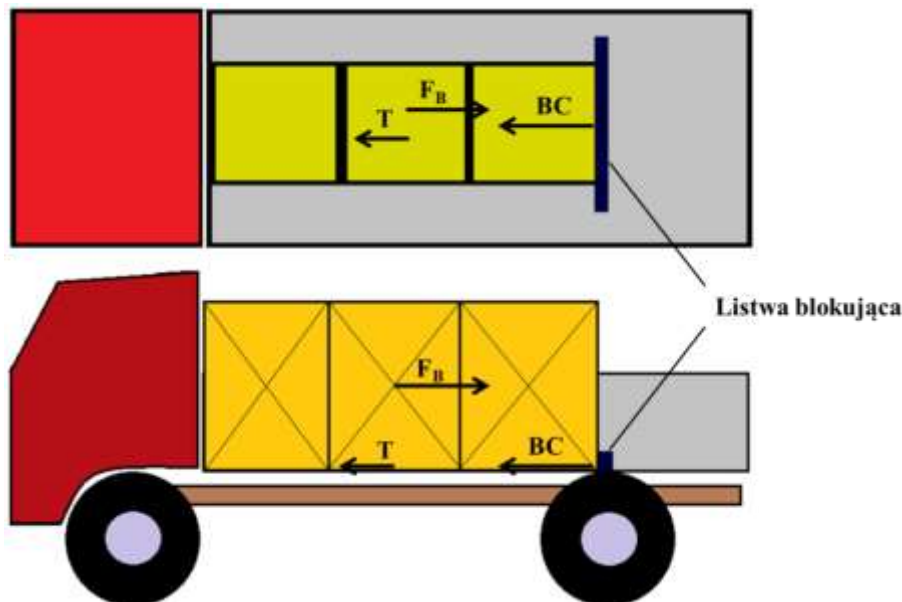
$$Z_2 = 25\,000 + \frac{10000 \times (3,1 - 4,1 + 1,6) + 10000 \times (3,1 - 3,3 + 1,6)}{3,1} + \frac{10000 \times (3,1 - 2,5 + 1,6)}{3,1} = 38\,548,39\,N$$

$$Z_1 < N_{max1} \quad (17)$$

$$Z_2 < N_{max2} \quad (18)$$

W przypadku wariantu II maksymalne naciski na oś pojazdu nie zostały przekroczone, co oznacza, że ten sposób rozmieszczenia ładunku na pojeździe jest właściwy. Do dalszych rozważań i kalkulacji będzie brany pod uwagę jedynie wariant II.

W celu zamocowania ładunków na pojeździe metodą blokowania użyto listwy blokującej, którą umiejscowiono za trzecim ładunkiem. Schemat tego sposobu zamocowania ładunków oraz działające siły przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 4. Schemat mocowania ładunków za pomocą listwy blokującej (widok z góry i z boku) T – siła tarcia, F_B – siła bezwładności, BC – siła blokująca

Źródło: Opracowanie na podstawie [Marzec 2017].

Listwa blokująca, aby skutecznie przeciwdziałać sile bezwładności ładunku na kierunku wzdłużnym, musi posiadać odpowiednią wartość siły blokującej.

$$BC \geq F_B - T = c_{xt}mg - \mu mg = (c_{xt} - \mu)mg \quad (19)$$

gdzie:

BC – siła blokująca listwy,

F_B – siła bezwładności ładunków na kierunku wzdłużnym,

T – siła tarcia,

μ – współczynnik tarcia ładunków o podłogę skrzyni ładunkowej,

c_{xt} – współczynnik siły bezwładności działające na kierunku wzdłużnym do tyłu,

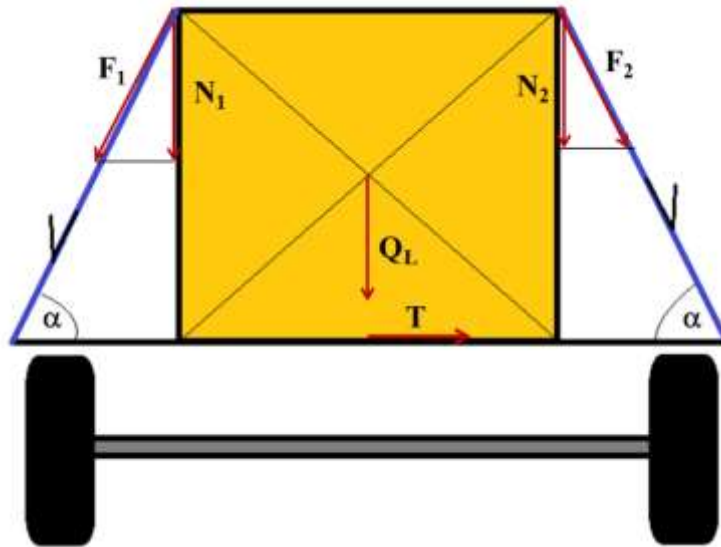
m – masa ładunków,
 g – przyspieszenie ziemskie

W analizowanym przykładzie występują następujące wartości zmiennych:

- $c_{xt} = 0,5$;
- $\mu = 0,3$;
- $m = 3000$ kg;
- $g = 10$ m/s².

Dla przyjętych założeń otrzymano wartość siły blokującej listwy $BC \geq 6000$ N. Należy zaznaczyć, iż listwa blokująca działa jedynie na kierunku wzdłużnym, a na poprzecznym jedynie siła tarcia przeciwdziała sile bezwładności ładunków. Dlatego istnieje potrzeba sprawdzenia czy taki sposób mocowania ładunków jest właściwy i bezpieczny.

Do opasania ładunków używa się pasów mocujących z jednym bądź dwoma napinaczami i o różnych wartościach siły rozciągającej w zależności od ich parametrów technicznych. W analizowanym przykładzie zastosowano pasy z dwoma napinaczami o sile rozciągającej równej $LC = 1000$ daN. Z uwagi na fakt, iż ładunki znajdują się na trzech oddzielnych paletach, każdą z nich potraktowano w kalkulacjach jako oddzielny ładunek. Sposób mocowania ładunków przedstawiono na rys. 5.



Rysunek 5. Schemat opasania ładunku wraz z działającymi siłami (widok z tyłu pojazdu)

Q_L – siła ciężkości ładunku; T – siła tarcia; F_1, F_2 – siły napinające pasy mocujące; N_1, N_2 – składowe pionowe sił F_1 i F_2 , dociskające ładunek do podłogi nadwozia pojazdu; α – kąt opasania ładunku.

Źródło: Opracowanie na podstawie [Marzec 2017].

1. Obliczenie ciężaru ładunku.

$$Q_L = m * g = 1000 \times 10 = 10000 \text{ N} \quad (20)$$

$$Q_{\Sigma} = 10 \text{ kN}$$

2. Obliczenie stateczności ładunku

Warunek stateczności ładunku:

$$x_c > 0,8h_c \quad \text{oraz} \quad y_c > 0,7h_c \quad (21)$$

gdzie:

- x_c – położenie środka ciężkości ładunku w kierunku wzdłużnym,
- y_c – położenie środka ciężkości ładunku w kierunku poprzecznym,
- h_c – położenie środka ciężkości ładunku w kierunku pionowym.

$$x_c = \frac{L_{\Sigma}}{2} = \frac{0,8}{2} = 0,4 \text{ m}$$

$$y_c = \frac{B_{\Sigma}}{2} = \frac{1,2}{2} = 0,6 \text{ m}$$

$$h_c = \frac{H_{\Sigma}}{2} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ m}$$

$$0,8h_c = 0,8 \times 0,5 = 0,4 \text{ m}$$

$$0,7h_c = 0,7 \times 0,5 = 0,35 \text{ m}$$

$$x_c = 0,8h_c \quad (22)$$

$$y_c > 0,7h_c \quad (23)$$

Warunek stateczności nie został spełniony. Analizowany ładunek jest zatem niestateczny. Dla tego rodzaju ładunków przyjmuje się następujące wartości współczynników przyspieszenia:

- do przodu $C_{xp} = 0,8$;
- do tyłu $C_{xt} = 0,5$;
- na boki $C_y = 0,7$;
- na kierunku pionowym $C_z = 1$.

3. Obliczanie sił działających, tzw. „Akcje”.

$$F_{b_{xp}} = C_{xp} \times Q_{\Sigma} = 0,8 \times 10 = 8 \text{ kN} \quad (24)$$

$$F_{b_{xt}} = C_{xt} \times Q_{\Sigma} = 0,5 \times 10 = 5 \text{ kN} \quad (25)$$

$$F_{b_y} = C_y \times Q_{\Sigma} = 0,7 \times 10 = 7 \text{ kN} \quad (26)$$

4. Obliczanie sił działających, tzw. „Reakcje”.

Na kierunku do przodu:

$$x_p: T_Q + F_{Br} = \mu \times Q_{\Sigma} + F_{Br} \quad (27)$$

gdzie:

- T_Q – siła tarcia związana z ciężarem ładunku,
- F_{Br} – siła reakcji od przedniej burty.

$$F_{Br} = 0,4 \times Q_{max} \quad (28)$$

gdzie:

Q_{max} – maksymalny ciężar ładunku.

Przy czym F_{Br} może osiągać wartości do 10 kN. ($F_{Br} \leq 10$ kN)

$$Q_{max} = m_{LS} \times g = 8300 \times 10 = 83000 \text{ N} = 83 \text{ kN}$$

$$F_{Br} = 0,4 \times 83 = 33,2 \text{ kN}$$

Zgodnie z założeniem przyjęto: $F_{Br} = 10$ kN

$$T_Q + F_{Br} = 0,3 \times 10 + 10 = 13 \text{ kN} \quad (29)$$

Na kierunku do tyłu:

$$x_t: T_Q = \mu \times Q_L = 0,3 \times 10 = 3 \text{ kN} \quad (30)$$

Na kierunku na boki:

$$y (y_L; y_P): T_Q = \mu \times Q_L = 0,3 \times 10 = 3 \text{ [kN]} \quad (31)$$

5. Ocena relacji “Akcji” i “Reakcji”.

Tabela. 3. Ocena relacji.

Kierunek działania sił	„Akcje” [kN]	„Reakcje” [kN]	Czy „Reakcja” przeciwdziała w pełni „Akcji”
x_p	8	13	TAK
x_t	5	3	NIE
y	7	3	NIE

Źródło: Opracowanie na podstawie [Marzec 2017].

W tabeli 3 przedstawiono analizę relacji “Akcji” i “Reakcji”. Po jej przeanalizowaniu istnieje konieczność zastosowania pasów mocujących w celu zabezpieczenia ładunku przed przemieszczaniem.

6. Dobór elementów mocujących

Do tego rodzaju pojazdu i ładunku przyjęto pasy o nominalnej sile rozciągającej $S_{TF} = 1000$ daN z dwoma napinaczami ($k=2$). Dla tych założeń przeprowadzono następujące kalkulacje.

Siła nacisku pasa mocującego wylicza się ze wzoru:

$$N = N_1 + N_2 = k \times S_{TF} \times \sin \alpha \quad (32)$$

$$\sin \alpha = \frac{H_L}{\sqrt{(H_L)^2 + \left(\frac{B-B_L}{2}\right)^2}} \quad (33)$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{1^2 + \left(\frac{2,45-1,2}{2}\right)^2}} \approx 0,848$$

$$N = 2 * 1000 * 0,848 = 1696 \text{ daN} = 16960 \text{ N}$$

Siła nacisku pasów mocujących musi powodować wzrost siły tarcia, który spełni poniższe nierówności:

$$T_N \geq F_{bxt} - T_Q \quad (34)$$

$$T_N \geq F_{by} - T_Q \quad (35)$$

$$T_N = \mu \times N \times n \quad (36)$$

Podstawiając wcześniej otrzymane wartości:

$$T_N \geq 4 \text{ kN}$$

Liczba pasów potrzebnych do zamocowania jednej palety wynosi:

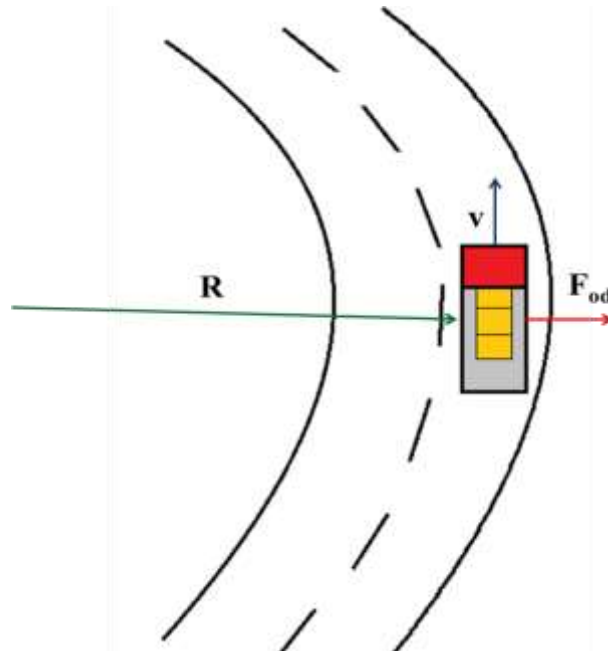
$$n \geq \frac{T_N}{\mu \times N} \quad (37)$$

$$n \geq \frac{4000}{0,3 \times 16960} \approx 0,79 \rightarrow n = 1$$

Na podstawie powyższych wyliczeń, w celu zamocowania jednej palety potrzeba jednego pasa mocującego o wartości siły S_{TF} równej 1000 daN. Dla zamocowania całego ładunku składającego się z trzech palet należy użyć trzech takich pasów mocujących.

4. DZIAŁANIE SIŁ NA ŁADUNEK PODCZAS JAZDY

Szczególnie niebezpiecznym etapem poruszania się samochodu ciężarowego z ładunkiem jest jazda na łuku drogi. W tym czasie na pojazd i na ładunek działa siła odśrodkowa, która dąży do zmiany jego toru ruchu. Na rysunku 6 przedstawiono schemat poruszania się pojazdu na łuku drogi wraz z działaniem siły odśrodkowej.



Rysunek 6. Poruszanie się pojazdu z ładunkiem po łuku drogi

R - promień łuku drogi, v - prędkość pojazdu, F_{od} - siła odśrodkowa
Źródło: Opracowanie na podstawie [Marzec 2017].

Do dalszej analizy przyjęto następujące dane:

- promień łuku drogi $R = 50$ m,
- prędkość pojazdu $v = 70$ km/h.

Podczas jazdy na łuku drogi zarówno na pojazd jak i na ładunek umieszczony na jego skrzyni ładunkowej działa siła odśrodkowa. Jest ona wprost proporcjonalna do masy i kwadratu prędkości oraz odwrotnie proporcjonalna do promień toru ruchu.

$$F_{od} = m \times a_{od} = \frac{m \times v^2}{R} \quad (38)$$

gdzie:

- F_{od} – siła odśrodkowa,
- a_{od} – przyspieszenie odśrodkowe,
- m – masa,
- v – prędkość,
- R – promień krzywizny toru ruchu.

Jeżeli pojazd porusza się z prędkością 70 km/h ($\approx 19,44$ m/s) na łuku drogi o promieniu 50 m to na ładunek oddziałuje siła odśrodkowa równa:

$$F_{od} = \frac{3000 \times (19,44)^2}{50} \approx 22\,674,82 \text{ N}$$

Dla wariantu I mocowania ładunków sile odśrodkowej przeciwdziała siła tarcia ładunków o skrzynię ładunkową pojazdu spowodowana siłą ciężkości, równa:

$$T_I = m_L \times g \times \mu = 3000 \times 10 \times 0,3 = 9\,000 \text{ N}$$

Dla wariantu II mocowania ładunków sile odśrodkowej przeciwdziała siła tarcia ładunków o skrzynię ładunkową pojazdu spowodowana siłą ciężkości i nacisku pasów mocujących na ładunek, równa:

$$T_{II} = m_L \times g \times \mu + 3 \times N \times \mu = 3000 \times 10 \times 0,3 + 3 \times 16960 \times 0,3 = 24\,264 \text{ N}$$

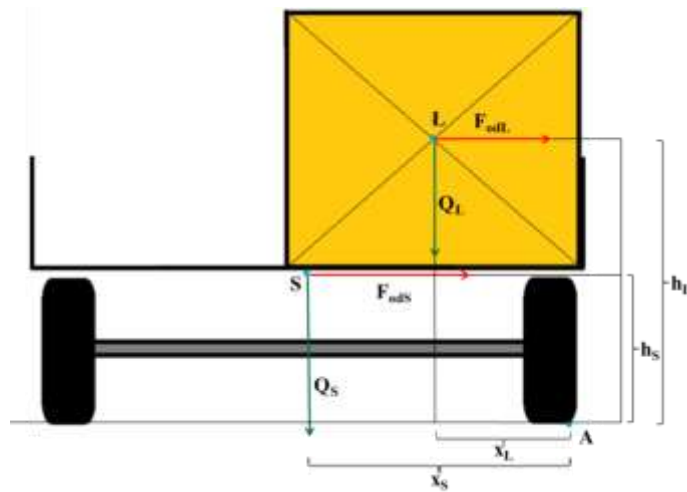
Na podstawie powyższych obliczeń stwierdzono, że wariant I mocowania ładunku nie przeciwdziała wystarczająco przemieszczeniu ładunku w kierunku poprzecznym. Podczas jazdy na łuku drogi o promieniu 50 m z prędkością 70 km/h nastąpi przemieszczenie ładunku. Natomiast dla wariantu II ładunki pozostaną nieruchomo rozmieszczone na skrzyni ładunkowej pojazdu.

$$T_I < F_{od} \quad (39)$$

$$T_{II} > F_{od} \quad (40)$$

Rozważając wariant I mocowania ładunków, należy przeanalizować skutki przemieszczenia palet na skrzyni ładunkowej pojazdu. Na rysunku 7 przedstawiono położenie ładunku po przesunięciu w wyniku działania siły odśrodkowej. Kolejnym etapem analizy będzie określenie stateczności pojazdu z paletami. Istotą tej analizy jest porównanie momentu

stabilizującego i momentu wywracającego sił ciężkości i sił odśrodkowych pojazdu oraz ładunków względem zaznaczonego na rysunku poniżej punktu A.



Rysunek 7. Rozkład działających sił po przesunięciu ładunków

Źródło: Opracowanie na podstawie [Marzec 2017].

Moment stabilizujący oblicza się ze wzoru:

$$M_S = Q_S \times x_S + Q_L \times x_L \quad (41)$$

gdzie:

M_S – moment stabilizujący,

Q_S – ciężar pojazdu,

x_S – ramię działania siły ciężkości pojazdu względem punktu A,

Q_L – ciężar ładunków,

x_L – ramię działania siły ciężkości ładunków względem punktu A.

$$x_S = \frac{B - 0,20}{2} = \frac{2,45 - 0,20}{2} = 1,125 \text{ m}$$

$$x_L = \frac{B_L}{2} = \frac{1,2}{2} = 0,6 \text{ m}$$

$$M_S = 37000 \times 1,125 + 30000 \times 0,6 = 59\,625 \text{ Nm}$$

Moment wywracający oblicza się ze wzoru:

$$M_W = F_{odS} \times h_S + F_{odL} \times h_L \quad (42)$$

gdzie:

M_W – moment wywracający,

F_{odS} – siła odśrodkowa działająca na pojazd,

h_S – wysokość środka ciężkości pojazdu,

F_{odL} – siła odśrodkowa działająca na ładunek,

h_L – wysokość środka ciężkości ładunków.

$$h_S \approx H_p = 1 \text{ m}$$

$$h_k = H_p + \frac{H_k}{2} = 1 + \frac{1}{2} = 1,5 \text{ m}$$

$$F_{odS} = m_s \times a_{od} = m_s \times \frac{v^2}{R} \quad (43)$$

$$F_{odS} = 3700 \times \frac{(19,44)^2}{50} = 27\,965,61 \text{ N}$$

$$F_{odS} = m_s \times a_{od} = m_s \times \frac{v^2}{R} \quad (44)$$

$$F_{odS} = 3000 \times \frac{(19,44)^2}{50} = 22\,674,82 \text{ N}$$

$$M_w = 27\,965,61 \times 1 + 22\,674,82 \times 1,5 = 61\,977,84 \text{ Nm}$$

$$M_w > M_s \quad (45)$$

Na podstawie powyższych obliczeń stwierdzono, iż moment wywracający działający na pojazd i ładunki podczas jazdy z prędkością 70 km/h na łuku drogi o promieniu 50 m jest większy od momentu stabilizującego. Skutkiem tego będzie wywrócenie pojazdu.

Konsekwencje tego zdarzenia mogą być następujące:

- uszkodzenie lub nawet zniszczenie przewożonych ładunków,
- uszkodzenie pojazdu,
- narażenie kierowcy na uszczerbek na zdrowiu, a nawet śmierć,
- stworzenie zagrożenia dla innych pojazdów poruszających się w niedalekiej odległości od samochodu ciężarowego,
- niewywiązanie się z umowy na usługę transportową,
- czasowe zmniejszenie zdolności świadczenia usług transportowych przez przedsiębiorstwo spowodowane niedyspozycją kierowcy i pojazdu,
- konsekwencje prawne z tytułu niewłaściwej realizacji przewozu ładunków,
- pogorszenie wizerunku przedsiębiorstwa na rynku, postrzeganie go jako niedbającego o bezpieczeństwo ruchu drogowego,
- zmniejszenie liczby przyszłych klientów.

W zależności od wartości pojazdu i ładunków oraz od wystąpienia innych następstw wypadku samochodu ciężarowego, straty poniesione przez przedsiębiorstwo można szacować od kilku do nawet kilkudziesięciu tysięcy złotych. Zatem istotnym czynnikiem w realizacji przewozów ładunków w transporcie drogowym jest dbanie o bezpieczeństwo poprzez właściwe mocowanie ładunków.

5. PODSUMOWANIE

Istotą artykułu była odpowiedź na problem badawczy: **W jaki sposób zamocować ładunek aby nie przemieszczał się podczas transportu i nie stwarzał zagrożenia w ruchu drogowym?**. Aby odpowiedzieć na to pytanie, dokonano analizy rozmieszczenia ładunku na skrzyni ładunkowej w dwóch wariantach, wyznaczono optymalne rozmieszczenie ładunku tak, aby nie naruszał parametrów technicznych samochodu ciężarowego w zakresie nacisków maksymalnych na osie pojazdu. Wybrano sposób mocowania ładunku, w tym przypadku była to metoda blokowania przy użyciu listew blokujących i opasania ładunku z wykorzystaniem pasów mocujących. W dalszej części analizy zostało przeprowadzone sprawdzenie, jaki sposób mocowania ładunków jest właściwy i bezpieczny oraz jak ładunek zachowa się podczas pokonywania zakrętu. Problematyka doboru metod mocowania ładunków, poprzez dobór najoptymalniejszej metody jest wieloaspektowa, a wybranie odpowiedniej nie może wynikać z przypuszczenia, tylko z odpowiednich wyliczeń i doświadczenia osób pracujących przy załadunku towaru. Źle zabezpieczony ładunek niesie za sobą ogromne straty, zarówno finansowe, jak i zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia pozostałych uczestników ruchu drogowego.

Jako najważniejsze należy przyjąć że w realizacji przewozu ma znaczenie:

- dobór optymalnego środka transportowego do przewozu danego ładunku,
- odpowiednie rozmieszczenie ładunku w przestrzeni skrzyni ładunkowej,
- dobór optymalnej metody mocowania ładunków w zależności od ładunku,
- dobór metody mocowania w oparciu o wzory i wartości liczbowe, stanowiącej podstawę do podejmowania optymalnych rozwiązań,
- ocena zagrożenia i bezpieczeństwa w ruch drogowym,
- rodzaje bezpieczeństwa transportu ładunków.

LITERATURA

Chłopek Z. (2012). Ekologiczne aspekty motoryzacji i bezpieczeństwo ruchu drogowego. Warszawa. Politechnika Warszawska.

Landowski B., Kwasińska J. (2014). Ocena stanu i analiza bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz próba jego poprawy. Bydgoszcz. Studia i materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą nr 69/2014.

Mirosław K. (2017) Wpływ mocowania ładunków w transporcie samochodowym na bezpieczeństwo w ruchu drogowym. Niepublikowana praca magisterska. Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna.

Norma PN-EN 12642:2006, Zabezpieczenie ładunków na pojazdach drogowych. Budowa nadwozi pojazdów do przewozu towarów. Wymagania minimalne.

- Płaczek K. (2014). Mocowanie ładunków – jak bezpiecznie przewozić towar, Wiedza i Praktyka.
- Prochowski L., Żuchowski A. (2009). Technika transportu ładunków. Warszawa. WKŁ.
- Sieczka J., (2013). Transport komponentów ekspedycyjnych SZ RP poza granice państwa. Gospodarka Materiałowa i Logistyka 5/2013 na płycie CD str. 531-540.
- Sieczka, J. (2018). Kryteria w modelowaniu transportu intermodalnego. Gospodarka Magazynowa i Logistyka, 5/2018, na płycie CD 595-615.
- Sieczka, J. (2018). Realizacja procesów przeładunkowych w porcie morskim. Gospodarka Magazynowa i Logistyka nr 12/2018, str. 1011-1032.
- Starkowski D., Bieńczak K., Zwierzycki W. (2012). Samochodowy transport krajowy i międzynarodowy. Kompendium wiedzy praktycznej. Tom I, Systherm Technik, Poznań.
- Stokłosa J., Koszałka G., Gil L. (2012). Analiza sił w elementach mocujących ładunek na pojazdach samochodowych, tom. 12. Postępy Nauki i Techniki nr 12, Lublin. Oddział SIMP.
- Tutak W. (2013). Układy bezpieczeństwa czynnego w pojazdach samochodowych, Unia Europejska, Europejski Fundusz Społeczny.
- Ustawa z dnia 20 czerwca 1997r., Prawo o ruchu drogowym (Dz.U. 1997 Nr 98 poz. 602).
- Wojciechowski Ł., Wojciechowski A., Kosmatka T. (2009). Infrastruktura magazynowa i transportowa, Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań: Wyższa Szkoła Logistyki.