

Ignacy Bomba

Plan rozmieszczenia ładunku dla wagonu towarowego 2-osowego

JEL: L92 DOI: 10.24136/atest.2019.180

Data zgłoszenia: 05.04.2019 Data akceptacji: 26.06.2019

W artykule zostały przedstawione zagadnienia związane z wyznaczaniem planu rozmieszczenia ładunku na wagonie towarowym 2-osowym. Wykonano model wagonu i na jego podstawie wyznaczono równania opisujące zależność masy ładunku od położenia jego środka ciężkości – spełniającego wymogi związane z obciążeniem statycznym wagonu.

Poprawność modelu i równań zweryfikowano dla wybranego wagonu towarowego, uzyskane wyniki potwierdziły prawidłowość proponowanej procedury.

Słowa kluczowe: wagon, ładunek, rozmieszczenie.

Wstęp

Prawo przewozowe określa, że „przesyłkę towarową stanowią rzeczy przyjęte do przewozu na podstawie jednego listu przewozowego lub innego dokumentu przewozowego” [7]. W obrocie towarowym „rzeczy” nazywane są „towarem”, natomiast z punktu widzenia transportu są to „ładunki” – stanowiące przedmiot przewozu.

W odniesieniu do przedmiotów przewozu stosowane jest wiele zasad i rodzajów klasyfikacji, między innymi:

1. odporność na narażenia transportowe,
2. podatność transportowa,
3. stan skupienia,
4. klasyfikacja statystyczna GUS (ładunki są pogrupowane według gałęzi transportu).

W przewozach kolejowych wyróżnia się kilka rodzajów przesyłek w zależności od wielkości partii:

1. przesyłki drobne,
2. przesyłki wagonowe,
3. przesyłki grupowe i całopociągowe.

Bezpieczne transportowanie ładunków pojazdami jest istotnym elementem logistycznych łańcuchów dostaw.

Przemieszczane ładunki podlegają narażeniom transportowym, ponadto same też stwarzają zagrożenie dla otoczenia. Charakter i skala niebezpieczeństwa zależy od rodzaju i postaci transportowej ładunku, środka transportu oraz metod zabezpieczenia ładunku na czas przewozu.

Wśród narażeń transportowych są narażenia mechaniczne, które występują w formie różnego rodzaju obciążeń. Obciążenia mogą mieć charakter dynamiczny wynikający z działania sił bezwładności oraz statyczny – powodowany oddziaływaniem siły ciężkości.

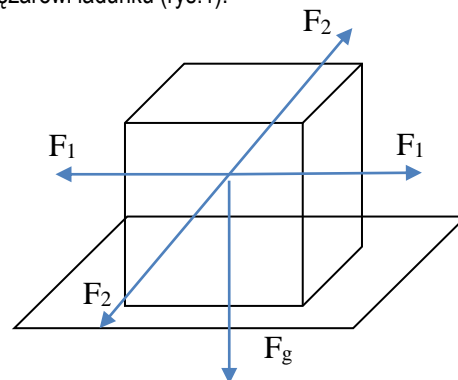
Rzeczywiste narażenia mechaniczne są zazwyczaj wynikiem jednoczesnego działania wielu różnych sił, więc przy ich rozpatrywaniu powinno stosować się zasadę superpozycji. Zgodnie z którą skutek wywołany jednoczesnym działaniem wielu sił jest sumą skutków, które wywołuje każda z tych sił działając osobno [5].

W artykule zostaną zaprezentowane zagadnienia związane z minimalizacją zagrożeń powodowanych narażeniami mechanicznymi o charakterze statycznym, wynikające z niewłaściwego rozmieszczenia ładunku na wagonie.

1. Siły działające na ładunek

Ładunek działa tylko siłą swojego ciężaru, jeżeli pojazd przemieszcza się ze stałą prędkością po linii prostej. Zaburzenie stałego charakteru ruchu pojazdu (np. przez hamowanie, przyspieszanie, jazdę po łuku) powoduje pojawienie się siły bezwładności, z którą ładunek działa na swoje otoczenie.

W transporcie siły bezwładności, z jakimi ładunek działa na pojazd, mogą być bardzo duże i w niektórych przypadkach prawie równe ciężarowi ładunku (rys.1).



F_1 – liniowa siła bezwładności, F_2 – siła odśrodkowa, F_g – siła ciężkości

Rys. 1. Siły działające na ładunek

Źródło: opracowanie własne

$$F_1 = -m \cdot a \text{ [N]} \quad (1)$$

gdzie:

m – masa ciała [kg],
 a – przyspieszenia [m/s^2],
 minus we wzorze oznacza, że siła bezwładności działa przeciwnie do przyspieszenia układu nieinercyjnego.

$$F_2 = \frac{m \cdot V^2}{r} \text{ [N]} \quad (2)$$

gdzie:

m – masa ciała [kg],
 V – prędkość ciała [m/s],
 r – promień krzywizny toru jazdy [m].

$$F_g = m \cdot g \text{ [N]} \quad (3)$$

gdzie:

m – masa ciała [kg],
 g – przyspieszenia ziemskie [m/s^2].

Odpowiednie mocowanie ładunku i płynna jazda, bez gwałtownych zmian toru i prędkości jazdy spowoduje, że ładunek będzie działał na pojazd niewielkimi siłami [6].

Odpowiednie przepisy (np. Loading Guidelines. Code of practice for the loading and securing of goods on railway wagons Volume1: Principles Version 01/04/2018, UIC International Union

of Railways; Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1, PKP PLK S.A.) określają:

1. dopuszczalny ciężar całkowity wagonu,

$$F_{DMC} = F_P + F_{GL} \quad [\text{kN}] \quad (4)$$

gdzie:

F_P – ciężar pojazdu [kN],

F_{GL} - granica ładowności wagonu [kN].

2. dopuszczalny nacisk osi pojazdu,

$$F = \frac{F_P + F_L}{L_o} \quad [\text{kN/os}] \quad (5)$$

gdzie:

F_L – ciężar ładunku [kN],

L_o – liczba osi pojazdu,

3. obciążenie liniowe

$$F_L = \frac{F_P + F_L}{L} \quad [\text{kN/m}] \quad (6)$$

gdzie:

L – długość wagonu ze zderzakami [m],

4. proporcję obciążenia osi zestawu kołowego wagonu

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{1}{2} \text{ lub } \frac{E_1}{E_2} = \frac{2}{1} \quad (7)$$

gdzie:

E_1 – nacisk na oś 1 [kN],

E_2 – nacisk na oś 2 [kN].

Niewłaściwe rozmieszczenie i zamocowanie ładunku na pojeździe może spowodować zmianę położenia środka ciężkości ładunku oraz kombinacji pojazd-ładunek. W efekcie może to doprowadzić do zaburzenia właściwego obciążenia osi pojazdu, a tym samym do stworzenia sytuacji zagrażającej bezpieczeństwu w ruchu. Ponadto prowadzi to do nierównomiernego zużywania się powierzchni tocznych kół (rys.1).

a)



b)



Rys.1. Powierzchnie toczne kół wagonowych: a – prawidłowo zużyte, b – nierównomiernie zużyte.

Źródło: opracowanie własne

Aby uniknąć takich zdarzeń, załadunek pojazdu powinien być wykonany zgodnie z planem rozmieszczenia ładunku na pojeździe, a ładunek właściwie zamocowany. Każdy pojazd powinien mieć taki plan, w dalszej części artykułu pokazana będzie procedura wyznaczenia planu rozmieszczenia ładunku dla 2-osioвого wagonu towarowego.

2. Model wagonu towarowego

Wagony towarowe klasyfikuje się ze względu na rodzaje i typy. Rodzaj wagonu jest to nadrzędne pojęcie w systemie klasyfikacyjnym, obejmuje typy konstrukcyjne wagonów o wspólnych cechach eksploatacyjnych. Typ wagonu jest to model, któremu odpowiada partia identycznie zbudowanych wagonów [6].

Ponadto w terminologii istnieje pojęcie serii wagonów. Zgodnie z katalogiem PKP CARGO „wagon dzieli się na serie według ich cech techniczno-eksploatacyjnych, w jednej serii mogą znaleźć się wagony różnych typów konstrukcyjnych, czyli budowanych według tej samej dokumentacji technicznej, od innych serii różnią się one szczegółami konstrukcyjnymi, zastosowaniem odmiennych materiałów” [3].

Wśród wagonów towarowych można wyróżnić rodzaje i typy:

1. kryte typu normalnego,
2. kryte typu specjalnego,
3. węglarki typu normalnego,
4. węglarki typu specjalnego,
5. platformy typu normalnego,
6. platformy typu specjalnego,
7. specjalne,
8. chłodnie.

Wagon zbudowany jest z dwóch zasadniczych części: nadwozia i podwozia. Główną częścią podwozia jest ostoja, oparta na zestawach kołowych w wagonach osiowych lub na wózkach wagonowych. Zestaw kołowy składa się z dwóch kół osadzonych na osi, koła mogą być monoblokowe lub obręczowe. Na rys.3 pokazano przykłady zestawów kołowych.

a)



b)



Rys. 3. Zestawy kołowe: a- zestaw kołowy typu BA004 zgodny z kartą UIC 510-1 i kołami monoblokowymi, przeznaczony do wagonów towarowych o maksymalnej prędkości eksploatacyjnej $V = 120$ km/h i nacisku na oś do 23.5t; b – koło obręczowe z namalowanymi białymi paskami w miejscu połączenia obręczy z kołem bosym w celu ułatwienia lokalizacji ewentualnego wystąpienia luzu pomiędzy tymi elementami.

Źródło: [9,10]

W wagonach na wózkach najczęściej stosowane są wózki dwuosiowe, a w wagonach dużej ładowności – wózki o większej liczbie osi (rys.4).

a)

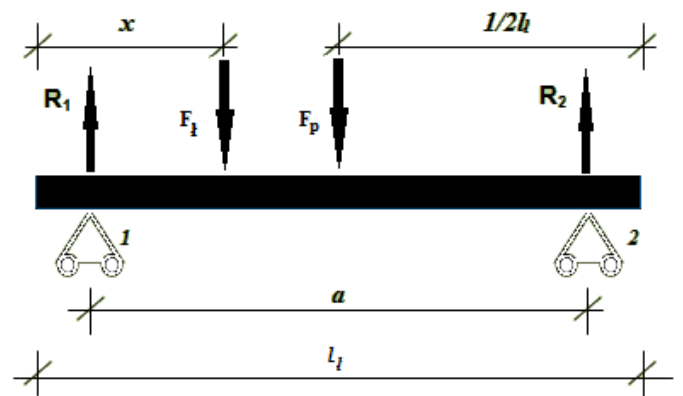


b)



Rys.4. Wózki kolejowe produkowane przez Tatravagónka a.s. Poprad: a – dwuosiowy typu TVP2007 z naciskiem na oś do 22.5 t, b – trzyosiowy typu BA 714.3 z naciskiem na oś do 22.5 t.
Źródło: [2]

Wykorzystując prawa mechaniki można stworzyć model wagonu 2-osiowego, w postaci belki na dwóch podporach i obciążonej siłami ciężkości pojazdu i ładunku (rys.5).



x – położenie środka ciężkości ładunku względem początku wagonu, F_P – ciężar wagonu, F_L – ciężar ładunku, R_1 – reakcja osi przedniej, R_2 – reakcja osi tylnej, l_1 – długość ładunkowa, a – rozstaw osi

Rys. 5. Model 2-osiowego wagonu towarowego.

Źródło: opracowanie własne

Korzystając z zasad mechaniki [1] otrzymujemy równania opisujące stan równowagi belki:

– względem podpory 1

$$\sum M_1 = R_2 \cdot a - F_L \cdot \left(x - \frac{l_1 - a}{2} \right) - F_P \cdot \frac{1}{2} a = 0 \quad (8)$$

– względem podpory 2

$$\sum M_2 = R_1 \cdot a - F_L \cdot \left(\frac{l_1 + a}{2} - x \right) - F_P \cdot \frac{1}{2} a = 0 \quad (9)$$

Za R_1 i R_2 należy przyjąć graniczne obciążenie osi (R), wynikające z klasy linii (tab.1), granicy ładowności wagonu (przykład tab.2) rodzaju ruchu (tab.3):

$$R = f(A, B, C, D, E, G_t, S) \quad (10)$$

gdzie:

A, B, C, D, E – klasa linii,
 G_i – granica ładowności wagonu,
 S – rodzaj ruchu.

Tab. 1. Klasy linii kolejowych

Oznaczenie klasy linii	Nacisk osi [kN/os]	Obciążenie liniowe [kN/m]
A	157 (16,0t)	49 (5,0t/m)
B1	177 (18,0t)	49 (5,0t/m)
B2	177 (18,0t)	63 (6,4t/m)
C2	196 (20,0t)	63 (6,4t/m)
C3	196 (20,0t)	71 (7,2t/m)
C4	196 (20,0t)	78 (8,0t/m)
D2	221 (22,5t)	63 (6,4t/m)
D3	221 (22,5t)	71 (7,2t/m)
D4	221 (22,5t)	78 (8,0t/m)
E4	245 (25,0t)	78 (8,0t/m)
E5	245 (25,0t)	86 (8,8t/m)

Źródło: [8]

Tab.3. Granica ładowności wagonu

	A	B	C	D	
S	37,0t	45,0t	53,07t	63,0t	Oznaczenie klasy linii kolejowej
SS	0,00t (wagon próżny)				Obciążenie dla ruchu S
					Obciążenie dla ruchu SS

Źródło: opracowanie własne na podstawie [3]

Tab.4. Rodzaje ruchu

Oznaczenie rodzaju ruchu	Prędkość [km/h]
S	100
SS	120

Źródło: [4]

Dokonując odpowiednich przekształceń równań 8÷10, otrzymujemy wzory opisujące:

- dopuszczalną masę ładunku zależną od położenia jego środka ciężkości i ograniczoną dopuszczalnym naciskiem na oś przednią

$$m_{LP}(x) = \frac{2a(R - 0,5m_{PP})}{a + l_i - 2x} \quad (11)$$

gdzie:

$m_{LP}(x)$ - masa ładunku [t],

m_{PP} - masa pustego pojazdu [t],

- dopuszczalną masę ładunku zależną od położenia jego środka ciężkości i ograniczoną dopuszczalnym naciskiem na oś tylną

$$m_{LT}(x) = \frac{2a(R - 0,5m_{PP})}{2x - l_i + a} \quad (12)$$

gdzie:

$m_{LT}(x)$ - masa ładunku [t].

W wagonach 2-osiowych stosunek obciążenia jednej osi do obciążenia drugiej nie może być większy niż 2:1 [4].

Warunek ten został uwzględniony w układzie równań:

suma sił

$$\sum F = R_1 + R_2 - F_P - F_L = 0$$

suma momentów względem podpory 1

$$\sum M_1 = F_L \left(x - \frac{l_i - a}{2} \right) + F_P \cdot \frac{a}{2} - R_2 \cdot a = 0 \quad (13)$$

proporcja obciążenia osi

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{2}$$

suma sił

$$\sum F = R_1 + R_2 - F_P - F_L = 0$$

suma momentów względem podpory 2

$$\sum M_2 = R_1 \cdot a - F_L \left(\frac{l_i + a}{2} - x \right) - F_P \cdot \frac{a}{2} = 0 \quad (14)$$

proporcja obciążenia osi

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{2}{1}$$

Dokonując odpowiednich przekształceń, otrzymujemy równania opisujące:

- dopuszczalną masę ładunku zależną od stosunku nacisków osi (2:1):

$$m_{2:1}(x) = \frac{m_{PP} \cdot a}{6x - a - 3l_i} \quad (15)$$

gdzie:

$m_{2:1}(x)$ - masa ładunku [t].

- dopuszczalną masę ładunku zależną od stosunku nacisków osi (1:2):

$$m_{1:2}(x) = \frac{m_{PP} \cdot a}{3l_i - a - 6x} \quad (16)$$

gdzie:

$m_{1:2}(x)$ - masa ładunku [t].

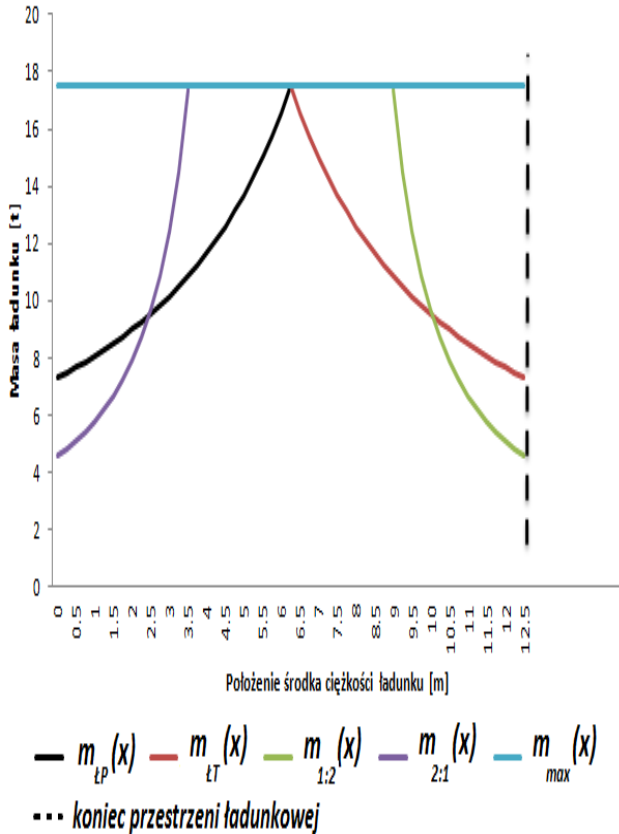
Ponadto w planie rozmieszczenia ładunku należy uwzględnić granice ładowności wagonu, która powinna uwzględniać klasę linii i masę konstrukcyjną wagonu:

$$m_{\max}(x) = 2R - m_k \quad (17)$$

gdzie:

m_k - masa konstrukcyjna wagonu [t].

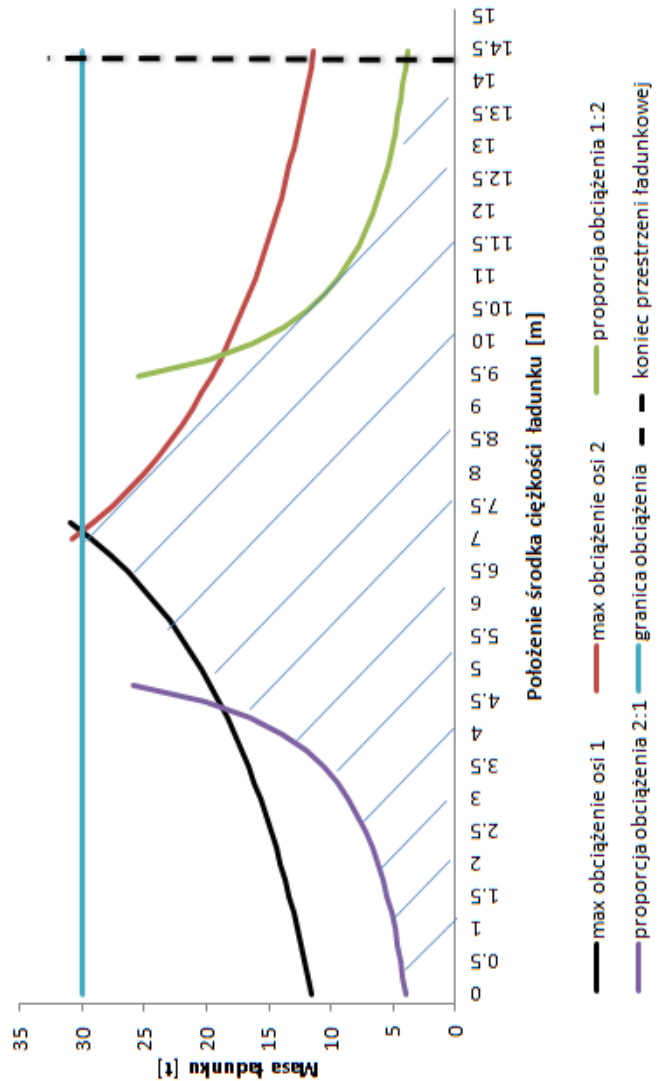
Teoretyczny układ krzywych opisanych równaniami: 11, 12, 16 i 17 ukazuje rys.6,



Rys.6. Zależność masy ładunku od położenia jego środka ciężkości.

3. Weryfikacja modelu

Poprawność wykonanego modelu i otrzymanych na jego podstawie równań została zweryfikowana dla wagonu towarowego Hbbins. Dane techniczne pojazdu, które posłużyły do obliczeń przedstawiono w tabeli 5. Zależności opisane równaniami: 11,12,15,16 i 17 dla wagonu Hbbins przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Zależność masy ładunku od położenia jego środka ciężkości dla wagonu Hbbins.

Źródło: opracowanie własne

Obszar zakreślony wykresu oznacza właściwe położenie na skrzyni ładunkowej pojazdu - środka ciężkości ładunku o określonej masie.

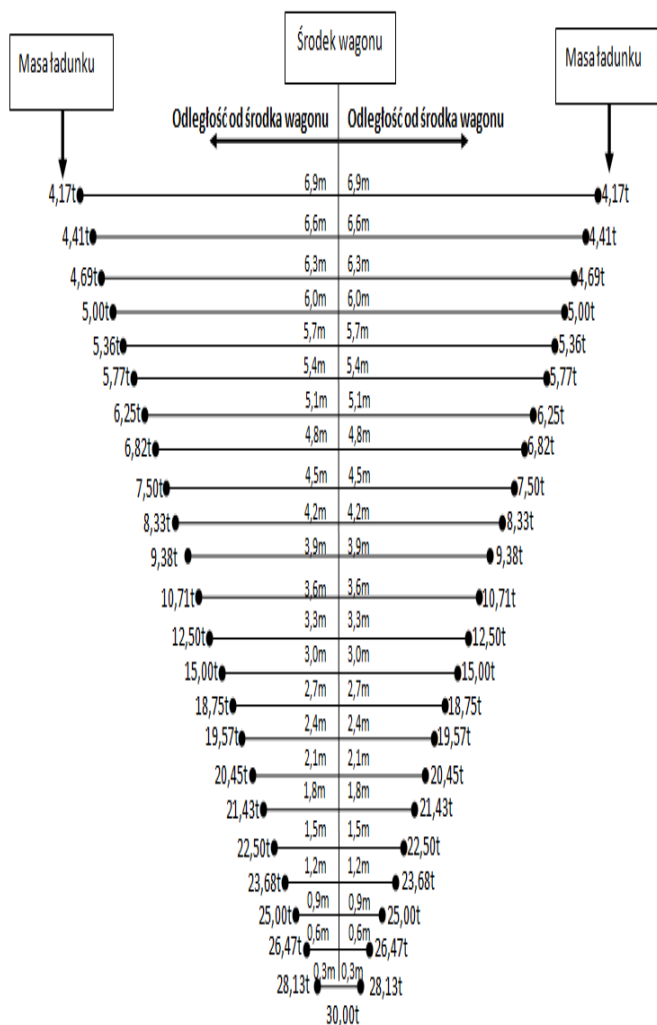
Tab. 5. Wybrane parametry techniczne wagonu Hbbins

Lp.	Parametr	Oznaczenie	Wartość
1.	Masa konstrukcyjna	m_k	15t
2.	Rozstaw osi	a	9m

3.	Długość ładunkowa	<i>l</i>	14,236m															
4.	Granica obciążenia wagonu w zależności od klasy linii kolejowej.		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>D</td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>17,0</td> <td>21,0</td> <td>25,0</td> <td>30,0</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td colspan="4">00,0</td> </tr> </table> <p>Wartości liczbowe określają maksymalną masę ładunku [t], jaki może być przewożony w wagonie w zależności od klasy linii kolejowej oraz prędkości z jaką wagon może kursować.</p>		A	B	C	D	S	17,0	21,0	25,0	30,0	120	00,0			
	A	B	C	D														
S	17,0	21,0	25,0	30,0														
120	00,0																	

Źródło: opracowanie własne na podstawie [3]

Na podstawie rys. 7 wyznaczono plan rozmieszczenia ładunku dla wagonu Hibbis (rys.8).



Rys. 8. Plan rozmieszczenia ładunku na wagonie Hibbis.

Źródło: opracowanie własne

Ułożenie ładunku zgodne z planem rozmieszczenia spełnia wymogi związane z:

- maksymalnym naciskiem osi wagonu,

- zachowaniem dopuszczalnych proporcji między obciążeniem osi wagonu,
- ładownością wagonu,
- obciążeniem liniowym.

Podsumowanie

Ładunek w czasie czynności transportowych podlega narażeniom mechanicznym, ponadto sam stanowi zagrożenie dla środka transportu i otoczenia. Zagrożenia te można minimalizować przez właściwie wykonany załadunek i zabezpieczenie ładunku.

Plan rozmieszczenia ładunku powinien być wyznaczony dla wagonów towarowych i stosowany przy załadunkach. Przestrzeganie zasad właściwego rozmieszczenia ładunku (w czym pomocny jest plan rozmieszczenia ładunku), pozwala zachować wszystkie zalecenia związane z obciążeniem osi pojazdu. W znacznym stopniu podnosi to bezpieczeństwo ruchu, zachowując właściwą stabilność pojazdu.

Bibliografia

1. Hendzel Z., Żylski W., Mechanika ogólna. Statyka, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2000.
2. Katalog produktów firmy Tatravagónka a.s. Poprad.
3. Katalog Wagonów PKP CARGO S.A., Warszawa 2018.
4. Loading Guidelines. Code of practice for the loading and securing of goods on railway wagons Volume1: Principles Version 01/04/2018, UIC International Union of Railways
5. Praca zbiorowa pod redakcją Sitki A, Prace ładunkowe w kolejnictwie, WKiŁ, Warszawa 1990.
6. Stokłosa J., Koszałka G., Gil L., Analiza sił w elementach mocujących ładunki na pojazdach samochodowych, Postępy Nauki i Techniki nr 12, 2012.
7. Ustawa z dnia 15 listopada 1984r. Prawo przewozowe, Dz.U. 1984 Nr 53 poz. 272.
8. Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1, PKP PLK S.A, Warszawa 2005.
9. <http://www.fablok.com.pl/index.php?l=pl&c=3&id=217>.
10. <http://www.transportszynowy.pl/zestawykolowe1.php>.

Load distribution plan for a 2-axle freight wagon

This article presents a procedure for determining load distribution plan of the wagon. It was made model wagon and on the basis determined equations describing the dependence of the weight load on the position of its center of gravity. The correctness of the model and equations were verified for selected wagon, the results confirmed the accuracy of the proposed procedure.

Keywords: railway wagon, cargo, loading

Autor:

dr inż. Ignacy Bomba – UTH w Radomiu, WTIE, i.bomba@uthrad.pl