



MIECZYŚLAW RYBAK¹⁾
MARIAN SKAWIŃSKI²⁾

OBLICZENIOWE WYZNACZANIE PRZEJEZDNOŚCI 14-OSIOWYCH PRZYCZEP NISKOPODWOZIOWYCH PO MOSTACH PROJEKTOWANYCH WEDŁUG RÓŻNYCH NORM

STRESZCZENIE. Studium dotyczy zagadnień obciążalności i przejezdności mostów projektowanych według różnych norm obciążeń i klas. Celem pracy było wyznaczenie granic obciążalności obiektów projektowanych na określoną klasę określonej normy. Zaproponowano uproszczoną procedurę sprawdzania nośności mostów przy ograniczeniu zakresu pracy do ustrojów o przęsłach swobodnie podpartych. Porównanie samych skutków obciążenia ciężkim pojazdem ze skutkami normowego obciążenia ruchomego odpowiedniej klasy wybranej normy stanowi dostateczne kryterium do określenia umownej "klasy rzeczywistej". Zgodnie z kalibracją według obecnie stosowanej normy wprowadzony współczynnik klasy jest miarą bezpieczeństwa dla rozpatrywanego przypadku.

1. WPROWADZENIE

Transporty w układzie przyczepa wieloosiowa – ciągnik są sposobem przemieszczania dużych nierozbieralnych ładunków, elementów lub urządzeń po drogach i mostach. Transporty te formalnie nie spełniają warunków dotyczących normalnego ruchu pojazdów typowych. Transporty te są konwojowane i stanowią jedyne obciążenie ruchome na moście. Przyczepy są zaopatrzone w mechanizmy równomiernie rozkładające naciski na wszystkie osie przyczepy. Dzięki rozwiązaniom technicznym naciski jednostkowe kół na pola kontaktowe na styku z nawierzchnią nie

¹⁾prof. dr hab. inż. - Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa

²⁾mgr inż. - Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Filia w Kielcach

wykraczają ponad poziom dopuszczalny. W opracowaniu [1] przedstawiono problemy, które wystąpiły podczas transportów przemysłowych dużych elementów, maszyn i urządzeń po drogach Kielecczyny i Małopolski, nie projektowanych na tak ciężkie obciążenia. Przewidywane jest, że w najbliższych latach liczba takich transportów będzie w Polsce wrastać. Dlatego ważne jest opracowanie metodyki określania ich przejezdności po istniejących obiektach mostowych, budowanych w różnych okresach.

Praca [1] dotyczyła transportów potocznie zwanych ponadnormatywnymi. Ujmowała zagadnienie ich przejezdności po istniejących obiektach mostowych, w tym wielu starych, kilkudziesięcioletnich. Niektóre obiekty nie miały dokumentacji. Klasy obciążeń projektowych wykluczały formalnie pojawienie się na tych obiektach obciążeń nawet wiele mniejszych, nie mówiąc już o obciążeniach dopuszczonych w Zarządzeniu Ministra z 1 lutego 1993 r. [2], które odnosi się przede wszystkim do nawierzchni na drogach poza mostami. Tymczasem transporty musiały dotrzeć na miejsce przeznaczenia, a w związku z tym mosty znajdujące się na trasie przejazdu musiały doznać obciążeń, których w swojej długiej historii jeszcze być może nie przenosiły. Mosty nie są projektowane na pojedyncze pojazdy mieszczące się w schemacie normowego obciążenia np. 80, 60 lub 40-tonowe typu *K* [3], [5] lub na TIRY 52, 42 lub 32-tonowe [3], ewentualnie na 30-tonowe pojedyncze ciężarówki [4], ale na siły wewnętrzne wywoływane przez obciążenia normowe stanowiące obwiednie najniekorzystniejszych możliwych obciążeń przewidzianych dla danej klasy obciążenia w okresie eksploatacji obiektu. Dopuszczając przyczepy do ruchu po mostach korzysta się z rezerw bezpieczeństwa zakodowanych w projekcie przez przyjęcie odpowiedniej klasy obciążeń w obowiązującej normie w granicach obciążeń charakterystycznych, a wyjątkowo i ostrożnie – z rezerw obliczeniowych czyli z sięganiem ponad naprężenia dopuszczalne w starych normach [4], [5] lub do obciążeń obliczeniowych w nowej normie [6]. Przyczepy te, w czasie przejazdów przez mosty, nie zatrzymywały się na nich, a więc stanowiły obciążenie krótkotrwałe, a poruszając się z niewielką prędkością nie powodowały oddziaływań dynamicznych.

Ogłędziny obiektów przed i po przejeździe tych kilkudziesięciu "obciążeń próbnych", odgrywały tu zasadniczą rolę. Dokładna rejestracja rys istniejących przed wjazdem na każdy obiekt mostowy i stwierdzenie – równie precyzyjne – tych, które pojawiały się w czasie przejazdu stanowiły procedurę bezwzględnie stosowaną. Dotyczy to oczywiście obiektów żelbetowych i świadczy, o "ocieraniu się" o nieznaną granicę nośności rzeczywistej. Zdarzały się przypadki wkraczające w rezerwę bezpieczeństwa mostów zastrzeżoną do rzadkiego, a nawet bardzo rzadkiego wykorzystywania.

Niniejsze opracowanie stanowi zestaw kilku "metryk kalibracyjnych" obciążalności przeseł obiektów typowych, swobodnie podpартych, o małej szerokości jezdni wynoszącej 6 m. Jest to układ najniebezpieczniejszy; każda większa szerokość wnosi dodatkową rezerwę bezpieczeństwa. Również, jak każdy układ ciągły lub ramowy, w przykładach gospodarowania rezerwami projektowymi bezpieczeństwa zastosowano

kryterium porównania momentów wypadkowych, normowych danej klasy (na ogół najwyższej) i rzeczywistych pochodzących od konkretnego typu przyczepy i ładunku.

2. KONCEPCJA UPROSZCZONEJ PROCEDURY SPRAWDZANIA NOŚNOŚCI MOSTÓW

Metoda stosowana przez autorów polega na porównaniu skutków sił wewnętrznych odpowiadających skutkom normowego i rzeczywistego ruchomego obciążenia ustroju, przy podobnym rozkładzie poprzecznym obciążenia. Założono symetryczny przejazd pojazdów po moście. Można to zapisać w postaci równania:

$$\begin{aligned} G_{c.wł.} + G_{c.naloż.} + P + Q_{norm.stat.} + Q_{norm.dyn.} &\geq \\ \geq G_{c.wł.} + G_{c.naloż.} + P + Q_{rzecz.stat.} + Q_{rzecz.dyn.} \end{aligned} \quad (1)$$

Po odjęciu takich samych sił po obu stronach równania pozostaje tylko

$$Q_{norm.stat.} + Q_{norm.dyn.} \geq Q_{rzecz.stat.} + Q_{rzecz.dyn.}, \quad (2)$$

przy czym:

$$Q_{rzecz.dyn} = 0 \quad \text{przy bardzo małej prędkości przejazdu.}$$

We wzorach (1) i (2) przyjęto następujące oznaczenia skutków obciążeń:

- $G_{c.wł.}$ – od ciężaru własnego,
- $G_{c.naloż.}$ – od obciążeń nałożonych,
- P – od stałych sił, np. od sprężania,
- $Q_{norm.stat.}$ – od normowych obciążeń ruchomych statycznych,
- $Q_{norm.dyn.}$ – od normowych obciążeń dodatkowych wynikających z działań dynamicznych,
- $Q_{rzecz.stat.}$ – od rzeczywistych obciążeń ruchomych statycznych,
- $Q_{rzecz.dyn}$ – od rzeczywistych obciążeń dodatkowych wynikających z działań dynamicznych.

Jest to metoda programowo zakładająca określony dobry stan nie jednego obiektu a serii obiektów w ciągu trasy przejeżdżanej przez pojazd szczególnie ciężki. Przyjmuje się, że obiekty na tej trasie były dobrze zaprojektowane na określoną klasę obciążeń i prawidłowo wykonane. Każde odchylenie może być wniesione poprzez stosowny współczynnik redukcyjny.

Obciążalność eksploatacyjna elementu lub konstrukcji jest to takie obciążenie elementu lub konstrukcji, które nie wykracza poza ustalony bezpieczny poziom jej obciążenia przy obciążeniach częstych.

Przejezdność mostu jest to obciążalność przęśła w czasie przejazdu przez określony pojazd lub ich grupę. Obciążalność i przejezdność mogą być charakterystyczne lub obliczeniowe. Charakterystyczne odpowiadają obciążeniu charakterystycznemu, zaś obliczeniowe obliczeniowemu, czyli charakterystycznemu pomnożonemu przez współczynnik obciążenia. Współczynnik ruchomych obciążeń mostowych, wg normy obciążeń PN-85/S-10030, wynosi 1,50. Stara norma obciążeń PN-66/B-02015 operowała wartościami dopuszczalnymi naprężeń. W tym opracowaniu przyjęto współczynnik zastępczy obciążeń 1,30 wynikający z porównania naprężeń dopuszczalnych i wytrzymałości miarodajnej.

Wprowadzono dwa przedziały kalibracji skutków obciążeń: charakterystyczny i obliczeniowy. Skutki obciążeń charakterystycznych to skutki charakterystyczne, zaś obliczeniowych, obliczeniowe. Poniżej skutków charakterystycznych znajduje się cała eksploatacja. Powyżej znajduje się obszar do zagospodarowania przez projektantów i inżynierów transportów szczególnie ciężkich. Każdy taki transport ze względu na stan konstrukcji i różne normy obciążeń, na podstawie których projektowano przekraczany most, jest zagadnieniem trudnym, jeśli chce się wykorzystać tę zakodowaną w projekcie rezerwę bezpieczeństwa.

3. MOMENTY ZGINAJĄCE OD NORMOWYCH OBCIĄŻEŃ RUCHOMYCH

Zasadą oceny przejezdności transportów jest porównywanie sił wewnętrznych od obciążeń ruchomych z podobnymi siłami wywoływanymi przez obciążenia normowe danej klasy, na które zaprojektowany został most.

- **PN-66/B-02015** [4]

Istniejące mosty w Polsce w większości projektowane są na normę [4], która jest nie aktualna od 1985 r. Klasy obciążeń ruchomych oznaczane były symbolami I, II i III. Każdej klasie przyporządkowany był inny schemat. Alternatywnym dla klasy I był pojazd wyjątkowy 4×200 kN o rozstawie osi 1,2 m. Rozróżniano współczynniki dynamiczne dla przęseł betonowych i stalowych (w tym zespolonych): stałe dla $L < 5$ m i zmienne malejące dla pozostałych rozpiętości; nie mogły one przekraczać 1,29 dla betonowych oraz 1,4 dla stalowych i zespolonych mostów.

Przedstawiono porównanie wypadkowych momentów zginających od obciążeń transportami z momentami od obciążeń klasy I, stosowanej dla ważniejszych obiektów mostowych. Do porównań przyjęto obiekty o szerokości jezdni 6 m, które decydują o przejezdności w porównaniu z większymi szerokościami, gdzie występuje mniejsze obciążenie normowe. Niezbędne do graficznego przedstawienia obliczeń porównawczych jest ujęcie momentów od obciążeń rzeczywistych we wzorach dla tego samego zakresu rozpiętości (L). Oto przykład wzorów na momenty według normy [4] lub [5] dotyczące przęseł betonowych:

$$M_{Ib6} = \left(1 + \frac{10}{20 + 3L} \right) \cdot 3,6 \cdot \left[\frac{96}{L} \cdot \left(\frac{L}{2} - 0,4 \right)^2 + 0,6L^2 \right],$$

$$M_{Is6} = \left(1 + \frac{10}{20 + L} \right) \cdot 3,6 \cdot \left[\frac{96}{L} \cdot \left(\frac{L}{2} - 0,4 \right)^2 + 0,6L^2 \right],$$
(3)

gdzie:

- M_I – moment wypadkowy klasy I,
- b (w indeksie) – most betonowy,
- s (w indeksie) – most stalowy lub zespolony,
- 6 (w indeksie) – szerokość jezdni w metrach.

Pierwszy człon w nawiasach to współczynnik dynamiczny.

• **PN-85/S-10030** [6]

W ostatnim piętnastolecu mosty w Polsce projektowane są na obciążenia wg normy [6]. Klasy obciążeń ruchomych w tej normie oznaczane są symbolami: A , B , C , D i E . Współczynnik dynamiczny stosuje się w zakresie $L < 5$ m stały (1,325) i jednako-
wy dla wszystkich materiałów przeseł, zaś w zakresie $5 \text{ m} < L < 70 \text{ m}$ - zmienny, ma-
lejący liniowo do wartości 1,00.

Wzory na momenty wypadkowe od obciążeń klasy A wg normy [6] na przęsłach swo-
bodnie podpartych o szerokości jezdni 6 m są następujące:

- w zakresie $5 \text{ m} < L < 70 \text{ m}$

$$M_{P_6}(L) = (1,35 - 0,005L) \cdot 200(L - 2,4) + 0,5 \cdot 6L^2,$$
(4)

- w zakresie $L > 70 \text{ m}$

$$M_{P_{6,x}}(L) = 200(L - 2,4) + 0,5 \cdot 6L^2,$$
(5)

gdzie:

- M_P – moment wypadkowy klasy A ,
- 6 (w indeksie) – szerokość jezdni w metrach,
- x (w indeksie) – $L > 70 \text{ m}$.

Pierwszy człon w nawiasach to współczynnik dynamiczny.

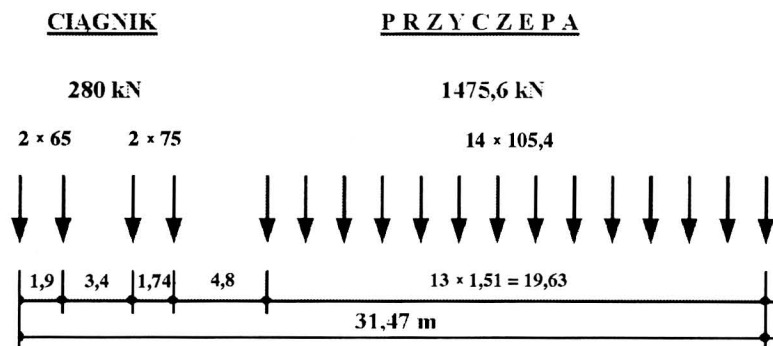
Większość obiektów na trasie transportów [1] była projektowana na obecnie nieaktu-
alną normę [4], lub podobny w zakresie I klasy, normatyw [5]. Do wyjątków nale-
żały obiekty projektowana na normę aktualną [6].

Zapis funkcji momentów wypadkowych według normy [4] w zakresie $L \geq 5 \text{ m}$ bez

ograniczenia od góry jest jeden. Natomiast przy stosowaniu normy [6] należy rozróżnić dwa zakresy powyżej $L = 5$ m: jeden w przedziale $5 \text{ m} < L < 70 \text{ m}$, czyli w zakresie stosowania współczynnika dynamicznego, a drugi w zakresie $L > 70 \text{ m}$.

4. OBCIĄŻENIE TRANSPORTAMI PONADNORMATYWNymi

We wszystkich wariantach transportu przyjęto stałe rozkłady osi. Naciski w przyczepie C10 wynosiły 105,4 kN, w przyczepie C12,5 – 125,4 kN, zaś w przyczepie C15 – 150,7 kN. Odległość skrajnej osi zewnętrznej przyczepy od skrajnej zewnętrznej ciągnika jest stała we wszystkich transportach i wynosi 4,8 m. Przyjęto stałe naciski w ciągniku we wszystkich wariantach transportów. Na rysunku 1 podano schemat obciążenia transportem C10. Rozkład osi w pozostałych schematach jest taki sam.



Rys.1. Schemat obciążenia transportem C10

Fig.1. The loading schema of transport system C10

Transporty ponadnormatywne można rozróżnić na podstawie rozpiętości przęseł:

- 1) $L < 20 \text{ m}$ – przęsło mniejsze od długości przyczepy,
- 2) $20 \text{ m} < L < \text{ok. } 30 \text{ m}$ – przęsło równe długości przyczepy, ale bez ciągnika i bez odstępu między skrajnymi osiami przyczepy i ciągnika,
- 3) $L > 30 \text{ m}$ – przęsło o długości równej sumie długości przyczepy i dwóch odstępów między ciągnikiem i przyczepą oraz długości ciągnika lub w wariantcie rozpiętości, przy której momenty max od przyczepy zrównują się z momentem od przyczepy i od ciągnika (przy stosowaniu maxmax ta długość jest pośrednią między skrajnymi dla tych wariantów).

Analiza porównawcza dokonana została z pominięciem ciężarów własnych konstrukcji przęsła. Przy uwzględnieniu ciężaru konstrukcji przekroczenia poziomu obciążalności będą zredukowane.

5. OBCIĄŻENIE TRANSPORTAMI MAŁYCH PRZĘSŁ ($L < 20$ M) - PIERWSZY ZAKRES

5.1. MOMENTY WYWOŁANE PRZYCZEPĄ 14 - OSIOWĄ

Zakres obejmuje przęsła o rozpiętości nie większej niż długości przyczepy, czyli $L < 20$ m. Podstawowym składnikiem wszystkich transportów były czternastoosiowe przyczepy o naciskach od 100 kN do 150 kN na oś. Osie były rozstawione w identycznej odległości 1,51 m. To zdecydowało o tym, że przęsło o rozpiętości $L = 20$ m było w przybliżeniu równomiernie obciążone. Obliczono następujące zastępcze obciążenia:

- przy nacisku na oś 100,4 kN : $q_{100} = \frac{100,8}{1,51} = 66,5$ kN/m,
- przy nacisku na oś 125,8 kN : $q_{125} = \frac{125,8}{1,51} = 83$ kN/m,
- przy nacisku na oś 150,7 kN : $q_{150} = \frac{150,7}{1,51} = 100$ kN/m.

We wszystkich wariantach zakres $L = 19,63$ m był graniczny, gdyż $13 \times 1,51 = 19,63$ m.

Istota zastosowanej metody sprawdzenia przejezdności polega na kalibracji konstrukcji analogicznie do "wagi sprężynowej": konstrukcję traktujemy jako "wagę", na którą wprowadzamy sprawdzane obciążenie. Relacja skutków przeciążenia rzeczywistego do skutków obciążenia klasy A lub I stosowanego obciążenia normowego jest miarą wyczerpania dopuszczalnej obciążalności.

Na skali oznacza się poziom skutku obciążenia charakterystycznego i obliczeniowego. Poziom skutku może znaleźć się poniżej poziomu charakterystycznego, wtedy nie ma wątpliwości - most jest przejezdny. Jeżeli poziom skutku pokrywa się z poziomem charakterystycznym wiadomo, że osiągnięty został poziom obciążalności eksploatacyjnej. Natomiast jeżeli poziom miary skutku osiągnie poziom obliczeniowy to wyczerpany został poziom obliczeniowy obciążalności.

Jako miarę porównawczą przyjęto momenty wypadkowe dla przęsła o rozpiętości $L = 20$ m i o szerokości 6 m. Każde przęsło o większej szerokości będzie bezpieczniejsze. Momenty maksymalne od obciążeń według trzech wariantów nacisku na oś przyczepy w zakresie przęsła $L < 20$ m określone są następująco:

$$\begin{aligned}
 M_{100} &= 66,5 \cdot \frac{L^2}{8} , \\
 M_{125} &= 83 \cdot \frac{L^2}{8} , \\
 M_{150} &= 100 \cdot \frac{L^2}{8} .
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

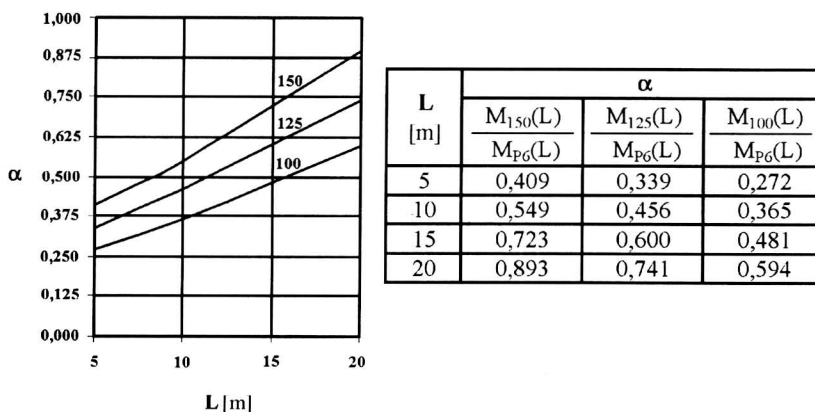
5.2. PORÓWNANIE MOMENTÓW WYWOŁANYCH TRANSPORTAMI PONADNORMATYWNYMI Z MOMENTAMI OD NORMOWYCH OBCIĄŻEŃ RUCHOMYCH KLAS NAJWYŻSZYCH WG [4], [5], [6]

Relacje momentów rzeczywistych i normowych ilustrują wyczerpanie obciążalności mostów zaprojektowanych na obciążenie klasy *A* lub klasy *I* wg wymienionych norm przedstawione są na rysunkach 2, 3 i 4. Na wykresach i w tablicach podano kalibrację skutków obciążeń w jednostkach, którymi są skutki obciążeń klas najwyższych stosowanej normy, a zatem klasy *A* przy stosowaniu PN-85/S-10030 oraz klas *Ib* i *Is* przy stosowaniu PN-66/B- 02015.

Przykład korzystania z wykresu lub tablicy:

- w przypadku $L = 15$ m, $b = 6$ m oraz przyczepy 14-osiowej o nacisku 150 kN na oś niezbędna klasa obciążenia wynosi 0,723 *A*, czyli odpowiada w przybliżeniu klasie *B* wg PN-85/S-10030.

Z rysunku 2 można odczytać, że klasa *A* wg PN-85/S-10030, przy szerokości jezdni $b = 6$ m gwarantuje przejezdność bez ograniczeń, natomiast klasa *B* tylko w zakresie współczynnika kalibracyjnego 0,75, tj. z wyjątkiem $L > 15$ m, gdy przejezdność wykorzystalaby 0,125 rezerwy bezpieczeństwa z zapasu obliczeniowego 0,50 przy współczynniku bezpieczeństwa 1,50. Obiekty projektowane na klasę *C* dostępne byłyby dla przejazdu przyczep o naciskach 100 kN na oś z minimalnym naruszeniem rezerwy obliczeniowej przy $L > 15$ m.



Rys.2. Kalibracja obciążalności charakterystycznej przyczep o naciskach na oś 100, 125 i 150 kN na przęsłach o rozpiętościach do $L = 20$ m (klasa *A* wg PN-85/S-10030)

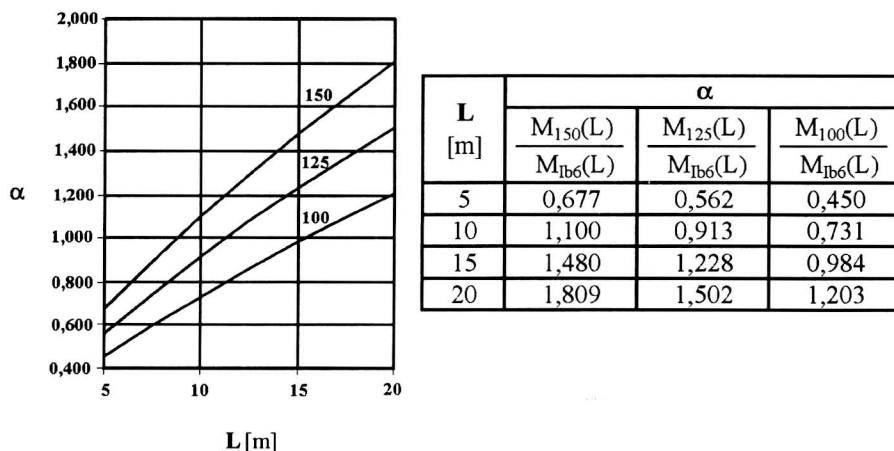
- wymagane klasy $\alpha \times A$ dla L

Fig.2. The calibration diagram of characteristic load for lorries with axle loads 100, 125 and 150 kN on spans L up to 20 m (class *A* according to PN-85/S-10030)

- required classes $\alpha \times A$ for different L

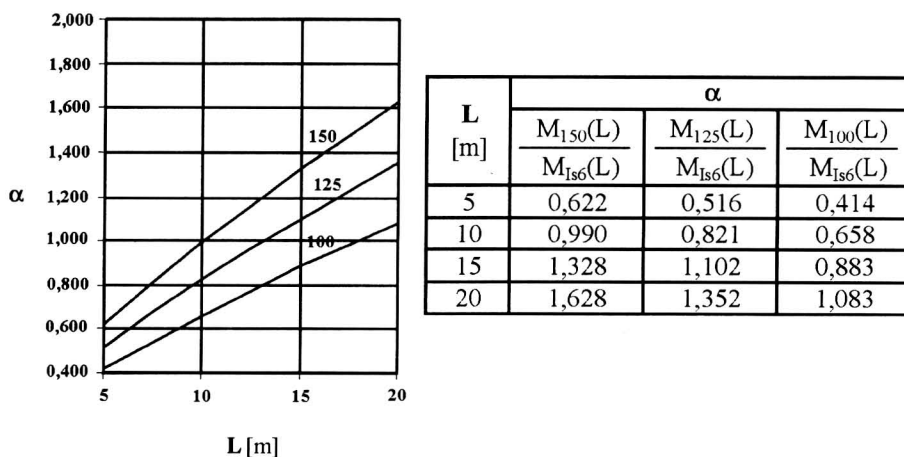
W przypadku obiektów betonowych projektowanych na klasę *I* można zapewnić przejezdność przyczepy o naciskach 100 kN pod warunkiem naruszenia rezerwy obliczenio-

wej przy $L > 15$ m. Pozostałe przyczepy mogłyby korzystać z bezpiecznej przejezdności tylko przy $L \leq 12$ m (o naciskach 150 kN) i $L \leq 17$ m (o naciskach 125 kN).



Rys.3. Kalibracja obciążalności charakterystycznej przyczep o naciskach na oś 100, 125 i 150 kN na przęsłach betonowych o rozpiętościach do $L = 20$ m (klasa I wg PN-66/B-02015) - wymagane klasy $\alpha \times lb$ dla L

Fig.3. The calibration diagram of characteristic load for lorries with axle loads 100, 125 and 150 kN on spans L up to 20 m (class I according to PN-66/B-02015) - required classes $\alpha \times lb$ for different L (concrete bridges)



Rys.4. Kalibracja obciążalności charakterystycznej przyczep o naciskach na oś 100, 125 i 150 kN na przęsłach stalowych lub zespolonych o rozpiętościach do $L = 20$ m (klasa I wg PN-66/B-02015) - wymagane klasy $\alpha \times ls$ dla L

Fig.4. The calibration diagram of characteristic load for lorries with axle loads 100, 125 and 150 kN on spans L up to 20 m (class I according to PN-66/B-02015) - required classes $\alpha \times ls$ for different L (steel and composite bridges)

Obiekty stalowe i zespolone byłyby przejezdne w nieco szerszym zakresie niż betonowe. Przyczepy o naciskach 125 kN mogłyby przemieszczać się po nich z wykorzystaniem rezerwy obliczeniowej przy $L > 15$ m, natomiast przyczepy o naciskach 100 kN z lekkim sięgnięciem po rezerwę przy $L = 20$ m. Przyczepy o naciskach 150 kN przy zakresie $10 \text{ m} < L < 15 \text{ m}$ musiałyby korzystać z rezerwy obliczeniowej, zaś przy $L > 15$ m rezerwa obliczeniowa byłaby za mała.

Bezwymiarowe współczynniki α na wykresach lub w tablicach oznaczają krotność przewyższenia podstawowej klasy; A wg PN-85/S-10030 lub I_b i I_s wg PN-66/B-02015. Jeżeli ta krotność jest niższa od 1,0 mamy do czynienia z zakresem eksploatacyjnym (charakterystycznym), jeżeli natomiast jest wyższa od 1,0 wkraczamy w zakres obliczeniowy. Liczba wskazuje tu stopień przekroczenia obciążalności charakterystycznej.

Na rysunkach 2, 3 i 4 pokazano skutki charakterystyczne obciążeń przyczepą jako obciążeniem samodzielnym, dla L mniejszych od długości przyczepy. Rzędne relacji momentów rzeczywistych i normowych (charakterystycznych) oznaczają krotność klasy normowej obciążeń. Tę krotność oznaczono współczynnikiem klasy A lub I . Współczynnik α oznacza umowną krotność klasy podstawowej niezbędnej do spełnienia warunku przejezdności (obciążalności) charakterystycznej; tak właśnie pokazano na rysunkach 2, 3 i 4. Przyczepy z naciskami osiowymi 150 kN odpadły z dalszych rozważań, gdyż nie mieściły się nie tylko w warunkach przejezdności charakterystycznej, ale i obliczeniowej.

6. OBCIĄŻENIE TRANSPORTAMI PONADNORMATYWNYMI PRZESEŁ ŚREDNICH ($20 \text{ M} < L < 36 \text{ M}$)

6.1. WZORY NA WYPADKOWE MOMENTY ZGINAJĄCE

Zakres obejmuje przęsła, na których mieści się cała przyczepa bez ciągnika oraz dwa odstępy między przyczepą a ciągnikiem: 4,8 m i 8,4 m. Poniżej podane są wzory na kolejne momenty wypadkowe, wywołane przyczepą o naciskach 100 kN, 125 kN oraz 150 kN:

$$\begin{aligned} M_{1410}(L) &= 100,4 (3,5L - 36,75) , \\ M_{1412,5}(L) &= 125,8 (3,5L - 36,75) , \\ M_{1415}(L) &= 150,7 (3,5L - 36,75) . \end{aligned} \quad (7)$$

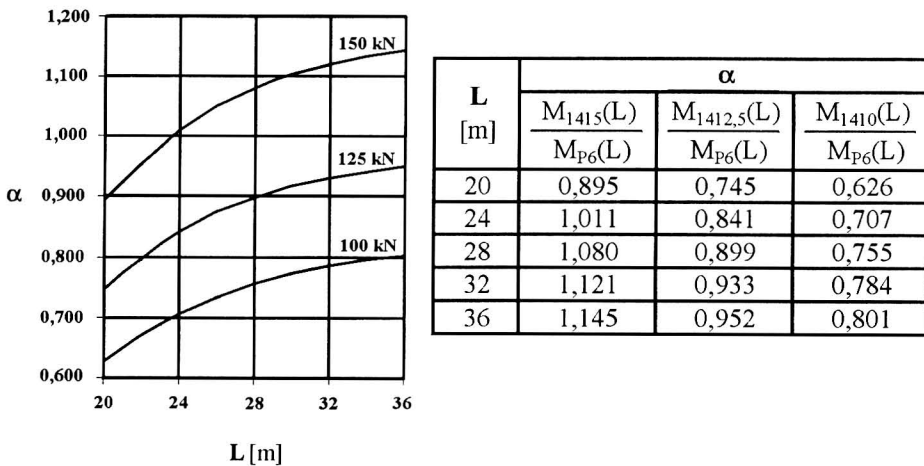
Przyjęto następujące oznaczenia:

- | | |
|---------------------------|---|
| 14 (w indeksie) | – liczba osi przyczepy, |
| 10; 12,5; 15 (w indeksie) | – nacisk osi w tonach, zaokrąglony do 0,5 tony. |

6.2. RELACJE MIĘDZY MOMENTAMI ZGINAJĄCYMI

Na rysunkach 5, 6 i 7 oraz na towarzyszących im tablicach podano krotności przekroczenia obciążalności charakterystycznej przęsła o zakresie rozpiętości od $L = 20$ m do $L = 30$ m, kiedy sama przyczepa stanowi obciążenie na odcinku 12 m.

Można stwierdzić, że transporty przyczepami o naciskach 100 kN i 125 kN na oś mają gwarantowaną przejezdność bez naruszania rezerwy obliczeniowej, zaś przyczepa o naciskach 150 kN w granicach powyżej $L = 24$ m będzie naruszała rezerwy obliczeniowe bezpieczeństwa, ale jeszcze w dopuszczalnych granicach.

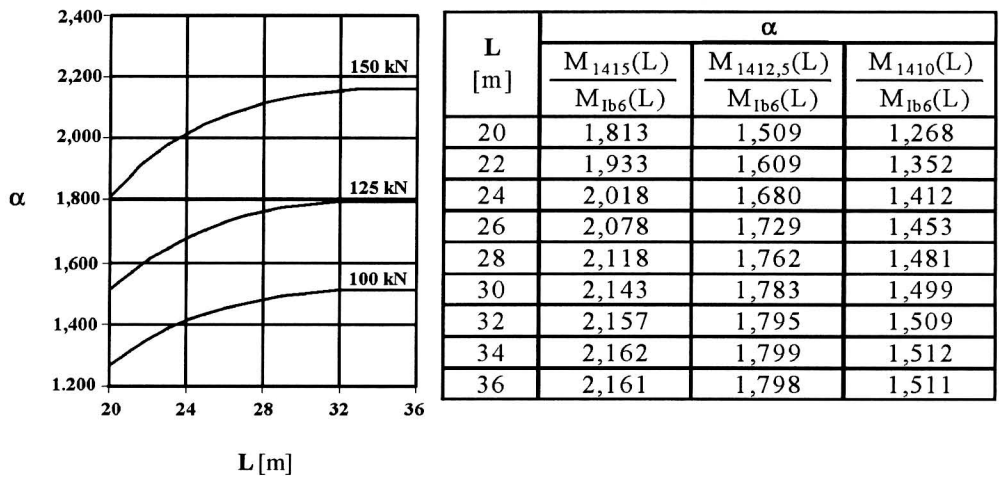


Rys.5. Przejezdność przyczep o naciskach na oś 100, 125 i 150 kN na przęsłach o rozpiętościach L od 20 do 36 m (klasa A wg PN-85/S-10030) - wymagane klasy α x A dla L

Fig.5. The crossing ability of bridges for transports of lorries with axle loads 100, 125 and 150 kN on spans L from 20 m to 36 m (class A according to PN-85/S-10030) - required classes α x A for different L

Przejezdność po obiektach betonowych projektowanych na klasę I jest praktycznie niemożliwa przy obciążeniu przyczepą o naciskach 100 kN, 125 kN oraz 150 kN z wyjątkiem minimalnego zakresu rozpiętości 20 m i tylko przy naciskach 100 kN z wykorzystaniem rezerw obliczeniowych. W przypadku przęsła betonowego wg normy klasy I PN-66/B-02015 przy $L = 20$ m niezbędne jest przekroczenie naprężeń dopuszczalnych o 30 %.

Tylko przyczepy o naciskach 100 kN na oś mają szansę na przejezdność po przęsłach stalowych w zakresie $20 \text{ m} < L < 36 \text{ m}$ z wykorzystaniem rezerwy obliczeniowej bezpieczeństwa.

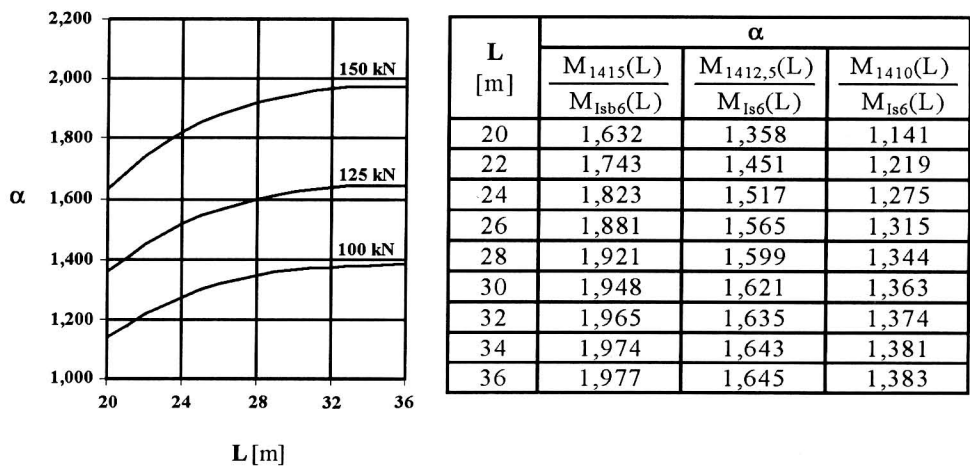


Rys.6. Przejedność przyczep o naciskach na oś 100, 125 i 150 kN na przęsłach betonowych o rozpiętościach L od 20 do 36 m (klasa I wg PN-66/B-02015)

- wymagane klasy $\alpha \times lb$ dla L

Fig.6. The crossing ability of bridges for transports of lorries with axle loads 100, 125 and 150 kN on spans L from 20 m to 36 m (class I according to PN-66/B-02015)

- required classes $\alpha \times lb$ for different L



Rys.7. Przejedność przyczep o naciskach na oś 100, 125 i 150 kN na przęsłach stalowych lub zespolonych o rozpiętościach L od 20 do 36 m (klasa I wg PN-66/B-02015)

- wymagane klasy $\alpha \times ls$ dla L

Fig.7. The crossing ability of bridges for transports of lorries with axle loads 100, 125 and 150 kN on spans L from 20 m to 36 m (class I according to PN-66/B-02015)

- required classes $\alpha \times ls$ for different L

7. OBCIĄŻENIE TRANSPORTAMI PRZĘSEŁ DUŻYCH ($L > 40$ M)

7.1. WZORY NA MOMENTY ZGINAJĄCE

Kolejne wzory wyrażają momenty zginające wywołane transportami według schematów C10, C12,5 i C15 (uzyskano przy wykorzystaniu metody maxmax):

$$\begin{aligned}
 M_{C_{10}}(L) &= \frac{1755,6}{L} \cdot \left[\left(\frac{L}{2} + 0,908 \right)^2 - 3,628L \right], \\
 M_{C_{12,5}}(L) &= \frac{2036,6}{L} \cdot \left[\left(\frac{L}{2} + 0,727 \right)^2 - 3,315L \right], \\
 M_{C_{15}}(L) &= \frac{2389,8}{L} \cdot \left[\left(\frac{L}{2} + 0,559 \right)^2 - 3,023L \right].
 \end{aligned} \tag{8}$$

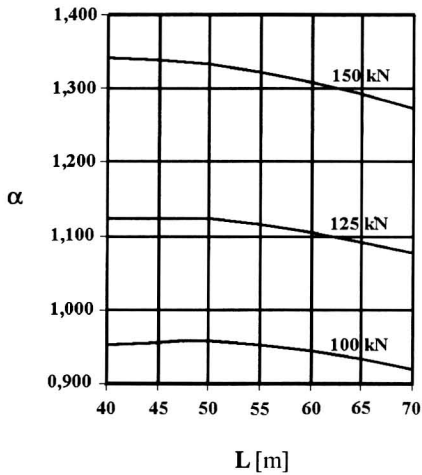
Przyjęto następujące oznaczenia:

- | | |
|---------------------------|---|
| C (w indeksie) | – zestaw transportowy z przyczepą Cornetto, |
| 10; 12,5; 15 (w indeksie) | – nacisk osi w tonach, zaokrąglony do 0,5 tony. |

7.2. ZAKRESY WAŻNOŚCI WZORÓW

Przy $L \approx 40$ m transport znajduje się w całości na przęśle w położeniu wywołującym moment zbliżony do maxmax. W przypadku szacowania przejezdności według PN-85/S-10030 należy rozpatrzyć dwa przedziały rozpiętości przęsła: jeden zamknięty $40 \text{ m} < L < 70 \text{ m}$, a drugi jednostronnie otwarty $L > 70 \text{ m}$. Spowodowane jest to okolicznością, że współczynnik dynamiczny w PN-85/S-10030 stosowany jest w zakresie $L < 70 \text{ m}$. Ta rozpiętość jest graniczna dla zakresu stosowania współczynnika dynamicznego. Natomiast w przypadku szacowania przejezdności na podstawie normy PN-66/B-02015 współczynnik dynamiczny zapisany jest w postaci jednej formuły w zakresie $L > 5 \text{ m}$. Dlatego osobno przedstawione jest oszacowanie przejezdności charakterystycznej i obliczeniowej na podstawie PN-85/S-10030 w dwu zakresach L oraz osobno wg PN-66/B-02015 w jednym zakresie $L > 40 \text{ m}$ (rys. 8 - 11).

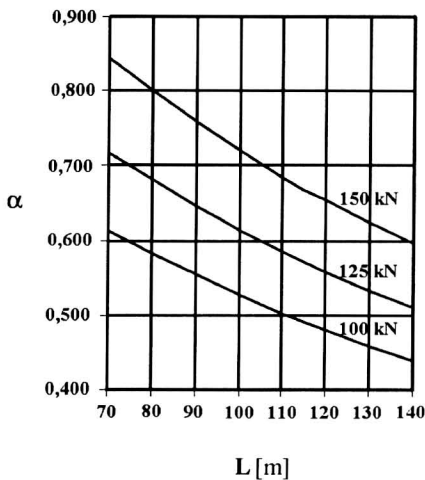
Zakres rozpiętości L od 40 do 50 m jest krytyczny dla przejezdności transportu jako całości. Wszystkie transporty na mostach projektowanych na klasę *A* wg PN-85/S-10030 do $L = 70 \text{ m}$ mieszczą się w zakresie obciążalności obliczeniowej. Przy $L > 50 \text{ m}$ następuje spadek poziomu wyczerpania rezerw w przypadku mostów projektowanych na obciążenia wg norm. Paradoksalnie im większe przęsło tym bezpieczniejszy jest ciężki transport kontrolowany. Podkreślić należy, że ten paradoks odnosi się tylko do transportów skoncentrowanych i kontrolowanych. Kontrolowanie



L [m]	α		
	$\frac{M_{C15}(L)}{M_{P6}(L)}$	$\frac{M_{C12,5}(L)}{M_{P6}(L)}$	$\frac{M_{C10}(L)}{M_{P6}(L)}$
40	1,341	1,124	0,953
50	1,335	1,124	0,957
60	1,309	1,104	0,943
70	1,274	1,076	0,920

Rys.8. Przejedność transportów C10, C12,5 i C15 na przęsłach o rozpiętościach L od 40 do 70 m (obciążenia charakterystyczne - klasa A wg PN-85/S-10030)
- wymagane klasy α x A dla L

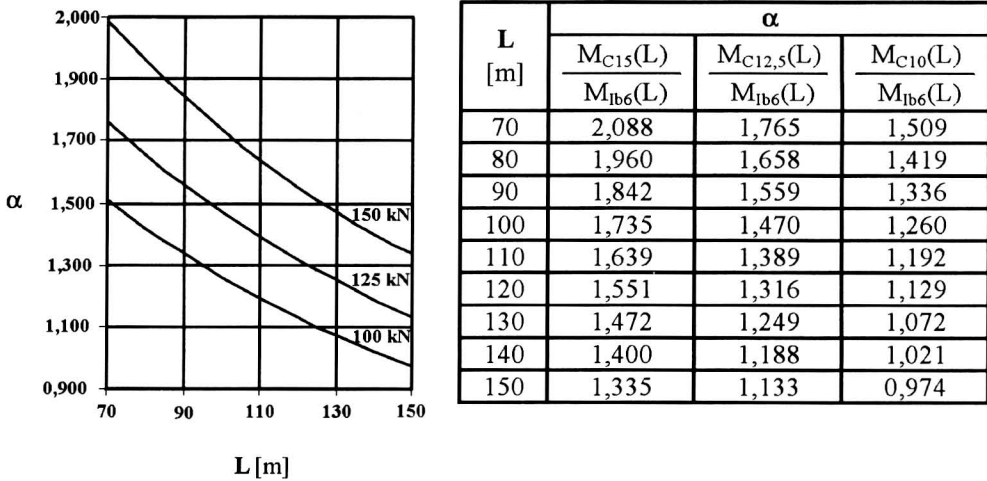
Fig.8. The crossing ability of bridges for transports C10, C12,5 i C15 for spans L from 40 m to 70 m (class A according to PN-85/S-10030)
- required classes α x A for different L



L [m]	α		
	$\frac{M_{C15}(L)}{1,5M_{P6x}(L)}$	$\frac{M_{C12,5}(L)}{1,5M_{P6x}(L)}$	$\frac{M_{C10}(L)}{1,5M_{P6x}(L)}$
70	0,844	0,717	0,613
80	0,800	0,681	0,583
90	0,758	0,646	0,554
100	0,720	0,614	0,527
110	0,685	0,585	0,502
120	0,653	0,558	0,479
130	0,624	0,533	0,457
140	0,597	0,510	0,438

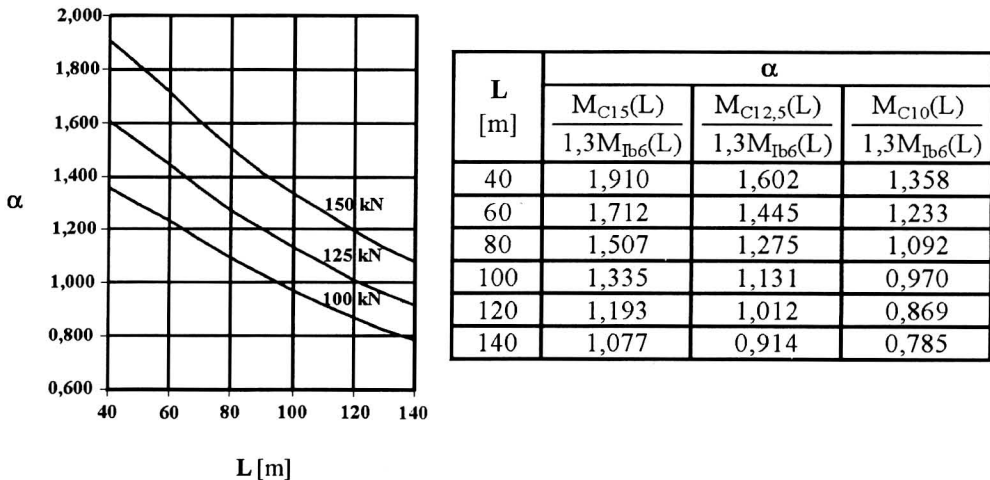
Rys.9. Przejedność transportów C10, C12,5 i C15 na przęsłach o rozpiętościach L od 70 do 140 m (obciążenia obliczeniowe - klasa A wg PN-85/S-10030)
- wymagane klasy α x A dla L

Fig.9. The crossing ability of bridges for transports C10, C12,5 i C15 for spans L from 70 m to 140 m (class A according to PN-85/S-10030)
- required classes α x A for different L



Rys. 10. Przejedność transportów o naciskach na oś 100, 125 i 150 kN na przęsłach betonowych o rozpiętościach L od 70 do 150 m (obciążenia charakterystyczne - klasa I wg PN-66/B-02015)
- wymagane klasy $\alpha \times lb$ dla L

Fig. 10. The crossing ability of bridges for transports with axle loads 100, 125 and 150 kN for spans L from 70 m to 150 m (class I according to PN-66/B-02015)
- required classes $\alpha \times lb$ for different L



Rys. 11. Przejedność transportów o naciskach na oś 100, 125 i 150 kN na przęsłach betonowych o rozpiętościach L od 40 do 140 m (obciążenia normowe - klasa I wg PN-66/B-02015)
- wymagane klasy $\alpha \times lb$ dla L

Fig. 11. The crossing ability of bridges for transports with axle loads 100, 125 and 150 kN for spans L from 40 m to 140 m (class I according to PN-66/B-02015)
- required classes $\alpha \times lb$ for different L

ma na celu uniknięcie superpozycji innych obciążeń równoczesnych. Zagrożenie obciążeniem zatorom pojazdów ciężkich lub ich kolumną nie maleje przy większych rozpiętościach ze względu na inną genezę tego typu obciążenia.

Obciążenia pojazdami C15 zostały wykluczone na podstawie analizy dla zakresu L bliskich 20 m, dla których wszystkie mosty wykazywały niedostateczną obciążalność obliczeniową i zostało wyeliminowane z planu transportów opisywanych w [1]. Dzięki redukcji obciążenia rzeczywistego na oś, z wykorzystaniem możliwych do wykorzystania rezerw bezpieczeństwa, uzyskano możliwość przejazdów C12,5 i C10.

Klasa obciążenia, przy której zapewniona jest przejezdność transportu po mostach dużych rozpiętości maleje wraz ze wzrostem rozpiętości. Jest to reguła.

8. WNIOSKI

Studium wykazało złożoność problematyki przejezdności tras po mostach projektowanych na różne normy obciążeń. Wprowadzono dwa przedziały kalibracji skutków obciążeń na przęsła mostów: charakterystyczny i obliczeniowy. Na podstawie wprowadzonych bezwymiarowych współczynników α określono krotność przewyższenia podstawowej klasy (A wg PN-85/S-10030 lub I_b i I_s wg PN-66/B-02015).

Przejezdność trasy określona jest przejezdnością najsłabszego obiektu. Wielokrotnie zmieniano trasy aby spełnić, choćby obarczone ryzykiem, warunki przejezdności. Ryzyko jest wpisane zawsze w taki przejazd wyczerpujący obciążalność do dopuszczalnych granic. Aby to robić trzeba przede wszystkim rozumieć istotę pracy konstrukcji i wagę uszkodzeń.

W przypadku transportów ponadnormatywnych należy się liczyć, z zasady, z możliwością powstania drobnych uszkodzeń. Zespół doświadczonych inżynierów powinien ocenić wzrost zagrożenia konstrukcji i zalecić sposób naprawy. Koszty naprawy wlicza się wtedy w koszty transportu. Podstawową rolę grają oględziny mostu przed przejazdem. Rejestracja rys powinna być dokonana z fotograficzną dokładnością z zaznaczeniem ich rozwarcia i długości (zasięgu) rys w sposób trwały na konstrukcji oraz na rysunkach. Przegląd po przejeździe polega na nanoszeniu przyrostu rys. Poszczególne przejazdy powinny mieć również metrykę geodezyjną pomiaru przemieszczeń pionowych z zaznaczeniem wartości maksymalnych i pozostałości trwałej.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Skawiński M.: Przejazdy ładunków nie normatywnych (ekspertyzy, nadzór, badania). Prace IBDiM, nr 3-4/1999

- [2] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 1 lutego 1993 r.
- [3] *Rybak M.*: Przejezdność pojazdów o dużych masach po mostach. Drogownictwo, nr 10/1999
- [4] PN-66/B-02015 Mosty, wiadukty i przepusty - Obciążenia i oddziaływania
- [5] Normatyw techniczny projektowania mostów na drogach samochodowych, obciążenia ruchome. Warszawa, 1954
- [6] PN-85/S-10030 Obiekty mostowe - Obciążenia

CALCULATION OF CROSSING ABILITY OF 14 - AXLES LORRIES OVER BRIDGES DESIGNED ACCORDING TO VARIOUS STANDARDS

Abstract

The study addresses problems of carrying capacity and crossing ability of bridges on the basis of different load models and classes. It is assumed however that the characteristic resistance of bridges follows design requirements. In this situation comparison of sole effects due to heavy vehicle loadings with standard loading for the appropriate loading class in chosen standard creates a sufficient criterion for determining a real loading class in calibration system proposed in a used standard. The real class factor α is a relation of the "safe" class to the designed in particular case.