

Spis treści:

WAŻNIEJSZE OZNACZENIA	4
1. PODSTAWA FORMALNA WYKONANIA OPRACOWANIA	6
2. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA	6
3. ZADANIA DO REALIZACJI W RAMACH OPRACOWANIA	6
4. WNIOSKI Z ZADAŃ ZREALIZOWANYCH W ETAPIE I	7
4.1. Analiza przepisów prawnych i technicznych oraz dokumentów normalizacyjnych i wiedzy technicznej w zakresie dopuszczenia do ruchu pojazdów o maksymalnej masie całkowitej nie większej niż 60 ton	7
4.1.1. Maksymalna masa całkowita i maksymalny nacisk osi pojazdów dopuszczonych do ruchu po obiektach mostowych w Polsce na podstawie różnych normatywów obciążenia	7
4.1.2. Maksymalna masa całkowita i maksymalny nacisk osi pojazdów ciężarowych dopuszczonych do ruchu drogowego w Europie	8
4.1.3. Maksymalne wymiary pojazdów ciężarowych dopuszczonych do ruchu drogowego w Europie	8
4.1.4. Rzeczywista masa całkowita, nacisk osi i wymiary pojazdów nienormatywnych dopuszczonych do ruchu drogowego w Polsce na podstawie zezwolenia kategorii V i VI	8
4.1.5. Analiza parametrów technicznych pojazdów ciężarowych dopuszczonych do ruchu drogowego w Europie i pojazdów nienormatywnych dopuszczonych do ruchu drogowego w Polsce na podstawie zezwolenia	9
4.2. Analiza parametrów technicznych pojazdów nienormatywnych wykonana na podstawie danych przekazanych przez GDDKiA	10
4.3. Zadania zrealizowane w etapie 1	10
Bibliografia do rozdziału 4	11
5. ANALIZA PARAMETRÓW TECHNICZNYCH OBIEKTÓW MOSTOWYCH NA DROGACH ZARZĄDZANYCH PRZEZ GDDKiA	12
5.1. Wprowadzenie	12
5.2. Analiza ogólna danych zawartych w Zestawieniu MLC	14
5.3. Analiza danych dotyczących obiektów mostowych zbudowanych wg PN-85/S-10030	14
5.3.1. Klasa projektowa obiektów	14
5.3.2. Schemat statyczny i rodzaj konstrukcji niosącej obiektów	15
5.3.3. Szerokość jezdni na obiekcie	16
5.3.4. Nośność projektowa i nośność użytkowa obiektów oraz ich klasa MLC	17
5.4. Analiza danych dotyczących obiektów zbudowanych wg normatywów obowiązujących przed 1985 r.	19
5.4.1. Klasa projektowa obiektów	19
5.4.2. Schemat statyczny i rodzaj konstrukcji niosącej obiektów	21
5.4.3. Szerokość jezdni na obiekcie	22
5.4.4. Nośność projektowa i nośność użytkowa obiektów oraz ich klasa MLC	23
5.5. Porównanie nośności obiektów z ich klasą MLC	25
5.5.1. Porównanie nośności normowej obiektów z ich klasą MLC	26

5.5.2. Porównanie nośności użytkowej obiektów z ich klasą MLC	27
5.6. Porównanie parametrów geometrycznych obiektów zbudowanych wg PN-85/S-10030 i wg wcześniejszych normatywów	28
5.6.1. Długość obiektu i rozpiętość przęsła	28
5.6.2. Szerokość obiektu	31
5.7. Wnioski z analizy parametrów technicznych obiektów mostowych	35
5.7.1. Wprowadzenie	35
5.7.2. Wnioski dotyczące obiektów mostowych zbudowanych według normy PN-85/S-10030	35
5.7.3. Wnioski dotyczące obiektów mostowych zbudowanych według normatywów obowiązujących przed 1985 r.	36
6. METODYKA ANALIZY DROGOWYCH OBIEKTÓW MOSTOWYCH, OKREŚLAJĄCEJ MOŻLIWOŚĆ BEZPIECZNEGO PRZEJAZDU PO OBIEKTACH POJAZDÓW O RZECZYWISTEJ MASIE CAŁKOWITEJ NIE WIĘKSZEJ NIŻ 60 TON	38
6.1. Podstawowa zasada przy wyznaczaniu bezpiecznego przejazdu po obiektach mostowych pojazdów o rzeczywistej masie całkowitej nie większej niż 60 t	38
6.1.1. Wprowadzenie	38
6.1.2. Obiekty mostowe zaprojektowane według normy PN-85/S-10030 z 1985 r.	38
6.1.3. Obiekty mostowe zaprojektowane według norm wydanych przed 1985 r. dla których wyznaczono wojskową klasę obciążenia MLC	40
6.1.3.1. Obciążanie pojazdami wojskowymi o danej klasie MLC	40
6.1.3.2. Wojskowa klasa obciążenia MLC	42
6.2. Założenia dotyczące obiektów mostowych	42
6.3. Założenia wynikające z ogólnych zasad naukowo-technicznych	43
6.4. Obciążenie eksploatacyjne	44
6.4.1. Parametry techniczne pojazdów	44
6.4.2. Obciążenie poszczególnych pasów ruchu	45
Bibliografia do rozdziału 6	47
7. RZĘDNE LINII WPŁYWU ROZDZIAŁU POPRZECZNEGO OBCIĄŻENIA W BELKOWYCH I PŁYTOWYCH PRZĘŚLACH MOSTOWYCH	48
7.1. Usytuowanie obciążenia w przekroju poprzecznym przęsła	48
7.2. Rzędne linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia w belkowych przęsłach mostowych	50
7.2.1. Równania do wyznaczania rzędnych linii wpływu metodą sztywnej poprzecznicy	50
7.2.2. Rzędne linii wpływu w osi belek	51
7.2.3. Rzędne linii wpływu w osi obciążenia	52
7.2.4. Rzędne linii wpływu w osi obciążenia MLC	53
7.3. Rzędne linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia w płytowych przęsłach mostowych	54
7.3.1. Wprowadzenie	54
7.3.2. Nomogramy do wyznaczania rzędnych linii wpływu metodą szeregów sinusowych	58
7.3.3. Rzędne linii wpływu na skraju pasm płytowych	60
7.3.4. Rzędne linii wpływu w osi obciążenia	64

7.3.5. Rzędne linii wpływu w osi obciążenia MLC	65
Bibliografia do rozdziału 7	66
8. KLASYFIKACJA DROGOWYCH OBIEKTÓW MOSTOWYCH UZYSKANA NA PODSTAWIE OPRACOWANEJ METODYKI, Z UWAGI NA MOŻLIWOŚĆ I SPOSÓB PRZEJAZDU PO OBIEKTACH POJAZDÓW O RZECZYWISTEJ MASIE CAŁKOWITEJ NIE WIĘKSZEJ NIŻ 60 TON	67
8.1. Analiza sił wewnętrznych przy obciążeniu jednego pasa ruchu o szerokości 3,5 m	67
8.1.1. Obciążenie według normy PN-85/S-10030 z 1985 r.	67
8.1.2. Obciążenie pojazdem ciężkim o masie równej 60 t	68
8.1.3. Obciążenie pojazdem o masie równej 40 t	68
8.1.4. Porównanie obciążenia normowego z obciążeniem eksploatacyjnym - pojazdem o masie 60 t i obciążeniem równomiernie rozłożonym 0,4 t/m²	69
8.2. Klasyfikacja obiektów mostowych zaprojektowanych według PN-85/S-10030	73
8.3. Klasyfikacja obiektów mostowych zaprojektowanych według norm obciążenia wydanych przed 1985 r., dla których wyznaczono wojskową klasę obciążenia MLC	75
9. KRYTERIA I WARUNKI PRZEJAZDU PO DROGOWYCH OBIEKTACH MOSTOWYCH POJAZDÓW O RZECZYWISTEJ MASIE CAŁKOWITEJ NIE WIĘKSZEJ NIŻ 60 TON ORAZ WNIOSKI ZAWIERAJĄCE WYTYCZNE DOTYCZĄCE UŻYTKOWANIA OBIEKTÓW MOSTOWYCH EKSPLOATOWANYCH	78
SCHEMAT BLOKOWY PRZEJAZDU PO OBIEKTACH MOSTOWYCH POJAZDÓW O MASIE DO 60 t	80

WAŻNIEJSZE OZNACZENIA

litery łacińskie:

- b - szerokość jezdni;
- b_q - szerokość pasma obciążenia równomiernie rozłożonego na dodatniej gałęzi wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia;
- d_i - odległość od osi i -tej belki do osi przęsła;
- E - moduł sprężystości Younga;
- E_m - oś obciążenia eksploatacyjnego na m -tym pasie ruchu;
- F_K - siła wewnętrzna przy obciążeniu normowym siłami skupionymi K , które wywołuje efekt dynamiczny;
- F_{60} - siła wewnętrzna przy obciążeniu pojazdem o rzeczywistej masie całkowitej równej 60 t, wywołującym efekt dynamiczny;
- F_{40} - siła wewnętrzna przy obciążeniu pojazdem dopuszczonym do ruchu bez ograniczeń o rzeczywistej masie całkowitej równej 40 t, wywołującym efekt dynamiczny;
- F_p - siła wewnętrzna przy obciążaniu eksploatacyjnym równomiernie rozłożonym, w którym efekt dynamiczny jest uwzględniony w wartości obciążenia;
- F_q - siła wewnętrzna przy obciążaniu normowym równomiernie rozłożonym, w którym efekt dynamiczny jest uwzględniony w wartości obciążenia;
- K - oś obciążenia siłami skupionymi K ;
- $k1$ - klasa *MLC* pojazdów kołowych poruszających się w jednej kolumnie;
- $k2$ - klasa *MLC* pojazdów kołowych poruszających się w dwóch kolumnach;
- L - długość obiektu mostowego;
- l - rozpiętość przęsła;
- M_K - jednostkowy moment zginający przy obciążeniu siłami skupionymi K ;
- M_q - jednostkowy moment zginający przy obciążeniu równomiernie rozłożonym na 1 m szerokości jezdni;
- $M1$ - oś obciążenia jedną kolumną pojazdów wojskowych;
- $M2$ - oś obciążenia drugą kolumną pojazdów wojskowych;
- MLC* - wojskowa klasa obciążenia (akronim angielskich słów: Military Load Classification);
- N - pojazd normatywny dopuszczony do ruchu po drogach publicznych;
- NN - pojazd nienormatywny dopuszczony do ruchu po drogach publicznych na mocy zezwoleń V lub VI kategorii;
- $NN60$ lub 60 - pojazd nienormatywny o masie 60 t dopuszczony do ruchu po drogach publicznych na mocy zezwoleń V i VI kategorii;
- NP - pojazd nienormatywny dopuszczony do ruchu po drogach publicznych pod warunkiem pilotowania;
- n - liczba belek albo umownych pasm płytowych;

m -	liczba pasów ruchu na jezdni;
q -	obciążenie równomiernie rozłożone na 1 m szerokości jezdni;
R -	stosunek rzeczywistej masy całkowitej do rozstawu skrajnych osi pojazdu;
s -	rozstaw osiowy skrajnych belek;
S -	obciążenie usytuowane w osi jezdni;
T_K -	siła poprzeczna przy obciążeniu siłami skupionymi K ;
T_q -	siła poprzeczna przy obciążeniu równomiernie rozłożonym na 1 m szerokości jezdni;
t -	grubość płyty;

litera greckie:

α -	nacisk osi, zależny od klasy obciążenia;
η_{Em} -	rzędna linii wpływu w osi obciążenia eksploatacyjnego na m -tym pasie ruchu;
η_K -	rzędna linii wpływu w osi obciążenia siłami skupionymi K według normy PN-85/S-10030;
η_{M1} -	rzędna linii wpływu w osi obciążenia jedną (lub pierwszą) kolumną wojskowych pojazdów kołowych danej klasy MLC, według umowy standaryzacyjnej STANAG 2021;
η_{M2} -	rzędna linii wpływu w osi obciążenia drugą kolumną wojskowych pojazdów kołowych danej klasy MLC, według umowy standaryzacyjnej STANAG 2021;
η_n -	rzędna linii wpływu w osi belki albo na skraju umownego pasma płytowego nr n ;
η_q -	rzędna linii wpływu w osi obciążenia równomiernie rozłożonego q według normy PN-85/S-10030;
η_S -	rzędna w osi jezdni albo rzędna linii wpływu w osi wszystkich belek przy założeniu, że obciążenie jest przenoszone przez wszystkie belki jednakowo (jak przy zginaniu walcowym);
η_1 -	rzędna linii wpływu w osi belki nr 1;
φ -	normowy współczynnik dynamiczny;
ν -	współczynnik Poissona;
ξ -	stosunek rozpiętości płyty l do jej szerokości b .

1. PODSTAWA FORMALNA WYKONANIA OPRACOWANIA

Podstawą formalną wykonania opracowania jest umowa nr 3245/2012 zawarta między Skarbem Państwa – Generalnym Dyrektorem Dróg Krajowych i Autostrad, z siedzibą przy ul. Żelaznej 59 w Warszawie, a Instytutem Badawczym Dróg i Mostów, z siedzibą przy ul. Instytutowej 1 w Warszawie.

2. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem opracowania jest **określenie zasad kwalifikowania i oznakowania drogowych obiektów mostowych**, pozwalających na bezpieczne przejazdy po tych obiektach pojazdów o maksymalnej masie całkowitej nie większej niż 60 ton. Przejazdy takie mogą być realizowane przez przewoźników na podstawie zezwoleń kategorii V lub VI, wydanych na podstawie zapisów ustawy o zmianie ustawy – Prawo o ruchu drogowym oraz niektórych innych ustaw [2].

W odniesieniu do przejazdu po drogowych obiektach mostowych pojazdów o rzeczywistej masie całkowitej nie większej niż 60 ton, zakres pracy obejmuje:

- analizę przepisów prawnych i technicznych oraz dokumentów normalizacyjnych i wiedzy technicznej,
- opracowanie metodyki analizy i oceny obiektów mostowych,
- ustalenie zasad (tj. kryteriów i warunków) przejazdu pojazdów po obiektach mostowych oraz propozycję oznakowania obiektów.

3. ZADANIA DO REALIZACJI W RAMACH OPRACOWANIA

W ramach opracowania należy zrealizować następujące zadania:

Zadanie 1:

Analiza przepisów prawnych i technicznych oraz dokumentów normalizacyjnych i wiedzy technicznej w zakresie przejazdu po drogowych obiektach mostowych pojazdów o rzeczywistej masie całkowitej nie większej niż 60 ton.

Zadanie 2:

Opracowanie metodyki analizy i oceny drogowych obiektów mostowych, określających możliwość bezpiecznego przejazdu po obiektach pojazdów o rzeczywistej masie całkowitej nie większej niż 60 ton, z określeniem zasad (tj. kryteriów i warunków) przejazdu (w tym m.in. propozycja oznakowania pionowego).

Przy opracowywaniu metodyki można wykorzystać bazy danych, takie jak:

- **baza SGM** obiektów mostowych zlokalizowanych w ciągach dróg krajowych, zarządzanych przez Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad;
- **baza wojskowych klas obciążenia MLC** obiektów mostowych, wyznaczonych metodą MILORY i **baza nośności użytkowych** obiektów mostowych, wyznaczonych metodą RYM-IBDiM;
- **baza wniosków o zezwolenie na przejazd pojazdów nienormatywnych** o maksymalnej masie całkowitej nie większej niż 60 ton.

Zadanie 3:

Klasyfikacja drogowych obiektów mostowych uzyskana na podstawie opracowanej metodyki, z uwagi na możliwość i sposób przejazdu po obiektach pojazdów o rzeczywistej masie całkowitej nie większej niż 60 ton.

Zadanie 4:

Wnioski zawierające wytyczne dotyczące użytkowania obiektów mostowych eksploatowanych i nowoprojektowanych obciążonych pojazdami o rzeczywistej masie całkowitej nie większej niż 60 ton. Przedstawienie niezbędnych zmian w obowiązujących przepisach oraz podanie kierunków dalszych prac dotyczących ruchu po drogach publicznych pojazdów o rzeczywistej masie całkowitej nie większej niż 60 ton.

Praca jest podzielona na dwa etapy:

Etap I

Realizacja zadań w zakresie działań doraźnych, zapewniających bezpieczeństwo konstrukcji obiektów mostowych i ich użytkowników

Termin realizacji etapu I – 15 września 2012 r.

Etap II

Realizacja zadań w zakresie działań docelowych, zapewniających bezpieczeństwo konstrukcji obiektów mostowych i ich użytkowników

Termin realizacji etapu II – 15 grudnia 2012 r.

Niniejsze opracowanie stanowi realizację etapu II.

4. WNIOSKI Z ZADAŃ ZREALIZOWANYCH W ETAPIE I

4.1. Analiza przepisów prawnych i technicznych oraz dokumentów normalizacyjnych i wiedzy technicznej w zakresie dopuszczenia do ruchu pojazdów o maksymalnej masie całkowitej nie większej niż 60 ton.

4.1.1. Maksymalna masa całkowita i maksymalny nacisk osi pojazdów dopuszczonych do ruchu po obiektach mostowych w Polsce na podstawie różnych normatywów obciążenia

W Polsce w ciągach dróg publicznych znajduje się ponad 30 000 obiektów mostowych. Przy projektowaniu tych obiektów na przestrzeni prawie 100 lat korzystano z 8. różnych normatywów dotyczących obciążenia, w których występują różne klasy obciążania (im wyższa klasa, tym większe obciążenie). Były to normatywy wydane w latach: 1920 [4], 1926 [5], 1945 [7], 1952 [8], 1956 [9], 1966 [10] i 1985 [11], a na obszarach zachodniej i północnej części kraju - była to niemiecka norma DIN – 1072 [6], wydana w 1931 r.

W ciągach dróg publicznych od 1945 r. projektowano obiekty mostowe na różne klasy obciążania. Po obiektach tych mogły poruszać się pojazdy o masie ściśle związanej z klasą obciążania. Na przykład na podstawie normatywów projektowania z roku 1956 i 1966 po obiektach zaprojektowanych na najwyższą klasę mogły poruszać się pojazdy o masie 30 t, a najniższą klasę – 10 t.

Zazwyczaj w ciągach dróg krajowych znajdują się obiekty mostowe zaprojektowane na najwyższą klasę obciążenia (pierwszą lub A). Po obiektach zaprojektowanych na tę klasę obciążenia w latach od 1945 r. do 1956 r. były dopuszczone do ruchu na podstawie zapisów normowych pojazdy o masie do 20 t, od 1956 r. do 1985 r. - pojazdy o masie do 30 t, a od 1985 r. do chwili obecnej – pojazdy o masie do 50 t.

4.1.2. Maksymalna masa całkowita i maksymalny nacisk osi pojazdów ciężarowych dopuszczonych do ruchu drogowego w Europie

Zgodnie z dyrektywą Rady WE [1] w krajach europejskich są obecnie dopuszczone do ruchu po drogach publicznych pojazdy pięcioosiowe o dopuszczalnej masie całkowitej do 40 t i sześćoosiowe o masie do 44 t, przewożące 40-stopowy kontener według normy ISO. Zgodnie z art. 4 ust. 2 dyrektywy [1] Państwa Członkowskie na swoim terytorium mogą dopuścić do ruchu pojazdy o większej masie, niż podana w dyrektywie. Na tej podstawie w nielicznych krajach europejskich dopuszczono do ruchu pojazdy o maksymalnej masie całkowitej równej: 48 t – w Republice Czeskiej i Danii, 50 t – w Holandii oraz 60 t – w Finlandii i Szwecji. W Polsce w rozporządzeniu ministra właściwego ds. transportu [3] dopuszczono do ruchu po drogach publicznych pojazdy o parametrach takich, jak w dyrektywie Rady.

4.1.3. Maksymalne wymiary pojazdów ciężarowych dopuszczonych do ruchu drogowego w Europie

Zgodnie z dyrektywą Rady 96/53/WE [1] do ruchu po drogach publicznych są obecnie dopuszczone pojazdy członowe o długości do 16,50 m i zespoły pojazdów o długości do 18,75 m. W Polsce w rozporządzeniu ministra właściwego ds. transportu [3] dopuszczono do ruchu po drogach publicznych pojazdy o parametrach takich, jak w dyrektywie Rady. Należy zauważyć, że w rozporządzeniu [3] dopuszczono do ruchu również zespół pojazdów o długości do 22,00 m, złożony z trzech pojazdów, w którym pojazdem ciągnącym jest pojazd wolnobieżny lub ciągnik rolniczy.

4.1.4. Rzeczywista masa całkowita, nacisk osi i wymiary pojazdów nienormatywnych dopuszczonych do ruchu drogowego w Polsce na podstawie zezwolenia kategorii V i VI

Na mocy ustawy z dnia 18 sierpnia 2011 r. [2] zezwolenia kategorii V i VI na przejazd pojazdu nienormatywnego mogą być wydawane na okres do 24 miesięcy.

Według art. 64 ust. 1 ppkt 3) ustawy [2], przejazd pojazdu nienormatywnego jest pilotowany, gdy jest przekroczona co najmniej jedna z następujących wielkości:

- długość – 23,0 m,
- szerokość – 3,2 m,
- wysokość – 4,5 m,
- rzeczywista masa całkowita – 60 t.

W ustawie [2] podano parametry pojazdów wymagających zezwolenia na przejazd różnych kategorii – od I do VII, w tym kategorii V i VI dotyczą przejazdu pojazdów o masie do 60 ton.

Parametry pojazdu, który wymaga zezwolenia na przejazd kategorii V są następujące:

- wysokość jest nie większa niż 4,3 m;
- długość jest nie większa niż:
 - 15 m, w odniesieniu do pojedynczego pojazdu,
 - 23 m, w odniesieniu do zespołu pojazdów,
 - 30 m, w odniesieniu do zespołu pojazdów o skrętnych osiach;

- szerokość jest nie większa niż 3,4 m;
- nacisk osi jest nie większy niż dopuszczalny na danej drodze;
- masa całkowita jest nie większa niż 60 t.

Parametry pojazdu, który wymaga zezwolenia na przejazd kategorii VI:

- wysokość i długość pojazdu oraz masa całkowita są takie, jak w zezwoleniu kategorii V;
- szerokość jest nie większa niż:
 - 3,4 m, w odniesieniu do drogi jednojezdniowej,
 - 4,0 m, w odniesieniu do drogi dwujezdniowej klasy A, S i GP;
- nacisk osi jest nie większy niż 11,5 t.

4.1.5. Analiza parametrów technicznych pojazdów ciężarowych dopuszczonych do ruchu drogowego w Europie i pojazdów nienormatywnych dopuszczonych do ruchu drogowego w Polsce na podstawie zezwolenia

W tablicy 4.1. porównano parametry techniczne:

- pojazdów, które można uznać za normatywne, dopuszczonych do ruchu w krajach europejskich na podstawie dyrektywy WE [1] i w Polsce na podstawie rozporządzenia [3],
- pojazdów nienormatywnych, których przejazd wymaga zezwolenia na podstawie ustawy [2],
- pojazdów nienormatywnych, których przejazd wymaga zezwolenia i pilotowania, na podstawie ustawy [2].

**Tablica 4.1. Porównanie parametrów technicznych
pojazdów ciężarowych dopuszczonych do ruchu drogowego w Europie
i pojazdów nienormatywnych dopuszczonych do ruchu drogowego w Polsce
na podstawie zezwolenia**

Parametr		Pojazdy ciężarowe	<i>N</i>	<i>NN</i>	<i>NP</i>
wysokość	[m]	Pojazdy wszystkie	≤ 4,00	≤ 4,30	> 4,50
szerokość	[m]	Pojazdy wszystkie,	≤ 2,55 ^{**)}	≤ 3,40 lub 4,00	> 3,20
		z wyjątkiem z izolacją termiczną	≤ 2,60		
długość	[m]	Pojazd samochodowy	≤ 12,00	≤ 15,00	> 23,00
		Pojazd członowy	≤ 16,50	≤ 23,00 ÷30,00 ^{***)}	
		Zespół pojazdów,	≤ 18,75		
		z wyjątkiem złożonego z 3 pojazdów ^{*)}	≤ 22,00		
nacisk osi	[t]	Pojazdy wszystkie	≤ 11,5	≤ 11,5	-
masa	[t]	Pojazdy 5. osiowe	≤ 40,0	≤ 60,0	> 60,0
		Pojazdy 6. osiowe, przewożące 40-stopowy kontener ISO	≤ 44,0		

^{*)} według rozporządzenia [3] pojazdem ciągnącym jest pojazd wolnobieżny lub ciągnik rolniczy

^{**)} w ustawie [2] za normatywny uznano pojazd o szerokości do 3,00 m

^{***)} zespół pojazdów o osiach skrętnych

W tablicy przyjęto następujące oznaczenia:

N – pojazd normatywny dopuszczony do ruchu po drogach publicznych w Europie na podstawie dyrektywy [1] i Polsce na podstawie rozporządzenia [3],

NN – pojazd nienormatywny dopuszczony do ruchu po drogach publicznych na mocy zezwoleń V lub VI kategorii, wydawanych na okres do 24 miesięcy na podstawie ustawy [2],

NP – pojazd nienormatywny dopuszczony do ruchu po drogach publicznych na podstawie ustawy [2] pod warunkiem pilotowania.

4.2. Analiza parametrów technicznych pojazdów nienormatywnych wykonana na podstawie danych przekazanych przez GDDKiA

Analizę parametrów technicznych pojazdów przeprowadzono odnośnie do pojazdów nienormatywnych uprawnionych do poruszania się po drogach publicznych na podstawie zezwoleń wydanych przez Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad za rok 2010, 2011 oraz I półrocze 2012 r. w zakresie pojazdów o masie całkowitej pojazdu z ładunkiem do 60 ton łącznie.

Zezwolenia dotyczyły ponad 50 000 pojazdów o różnych gabarytach i parametrach technicznych. Zestawienie liczby pojazdów nienormatywnych w rozbiciu na lata i masę całkowitą przedstawiono w tablicy 4.2.

Tablica 4.2. Zestawienie liczby wydanych zezwoleń

Pojazdy o masie całkowitej [t]	Liczba zezwoleń wydanych w okresie:		
	2010 r.	2011 r.	I-VI 2012 r.
1	2	3	4
wszystkie	22 008	21 875	6 641
do 60	20 461	19 559	6 086
od 40 do 60	10 043	10 000	2 975

4.3. Zadania zrealizowane w etapie I

W ramach realizacji etapu I wykonano następujące zadania pracy:

1. Wykonano zadanie 1: Analiza przepisów prawnych i technicznych oraz dokumentów normalizacyjnych i wiedzy technicznej w zakresie dopuszczenia do ruchu pojazdów o maksymalnej masie całkowitej nie większej niż 60 ton.

2. Z zadania 2 przeprowadzono analizę parametrów technicznych pojazdów nienormatywnych uprawnionych do poruszania się po drogach publicznych na podstawie zezwoleń wydanych przez Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad.

Wnioski z realizacji etapu I, które wykorzystano w etapie II, podano we wnioskach z realizacji etapu II.

Bibliografia do rozdziału 4

- [1] Dyrektywa Rady 96/53/WE z dnia 25 lipca 1996 r. ustanawiająca dla niektórych pojazdów drogowych poruszających się na terytorium Wspólnoty maksymalne dopuszczalne wymiary w ruchu krajowym i międzynarodowym oraz maksymalne dopuszczalne obciążenie w ruchu międzynarodowym (Dz. Urz. WE L 235 z 17.09.1996, z późn. zm.).
- [2] Ustawa z dnia 18 sierpnia 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo o ruchu drogowym oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2011 r. Nr 222, poz. 1321).
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz. U. z 2003 r. Nr 32, poz. 262, z późn. zm.).
- [4] Tymczasowe przepisy o budowie i utrzymaniu mostów drogowych. Ministerstwo Robót Publicznych. Warszawa 1920.
- [5] Przepisy o budowie i utrzymaniu mostów drogowych. Ministerstwo Robót Publicznych. Warszawa 1926.
- [6] DIN 1072 (1931). *Der Brückenbau der Reichsautobahnen*. Volk und Reich Verlag. Berlin Prag Wien, 1942.
- [7] Tymczasowe przepisy o budowie i utrzymaniu mostów drogowych. Warszawa 1945.
- [8] Przepisy o budowie i utrzymaniu mostów drogowych i miejskich. Część ogólna – O. Warszawa 1952.
- [9] Normatyw techniczny projektowania mostów na drogach samochodowych. Obciążenia ruchome. Ministerstwo Transportu Drogowego i Lotniczego. Warszawa 1956.
- [10] Polska Norma PN-66/B-02015: Mosty, wiadukty i przepusty. Obciążenia i oddziaływania.
- [11] Polska Norma PN-85/S-10030: Obiekty mostowe. Obciążenia.

5. ANALIZA PARAMETRÓW TECHNICZNYCH OBIEKTÓW MOSTOWYCH NA DROGACH ZARZĄDZANYCH PRZEZ GDDKiA

5.1. Wprowadzenie

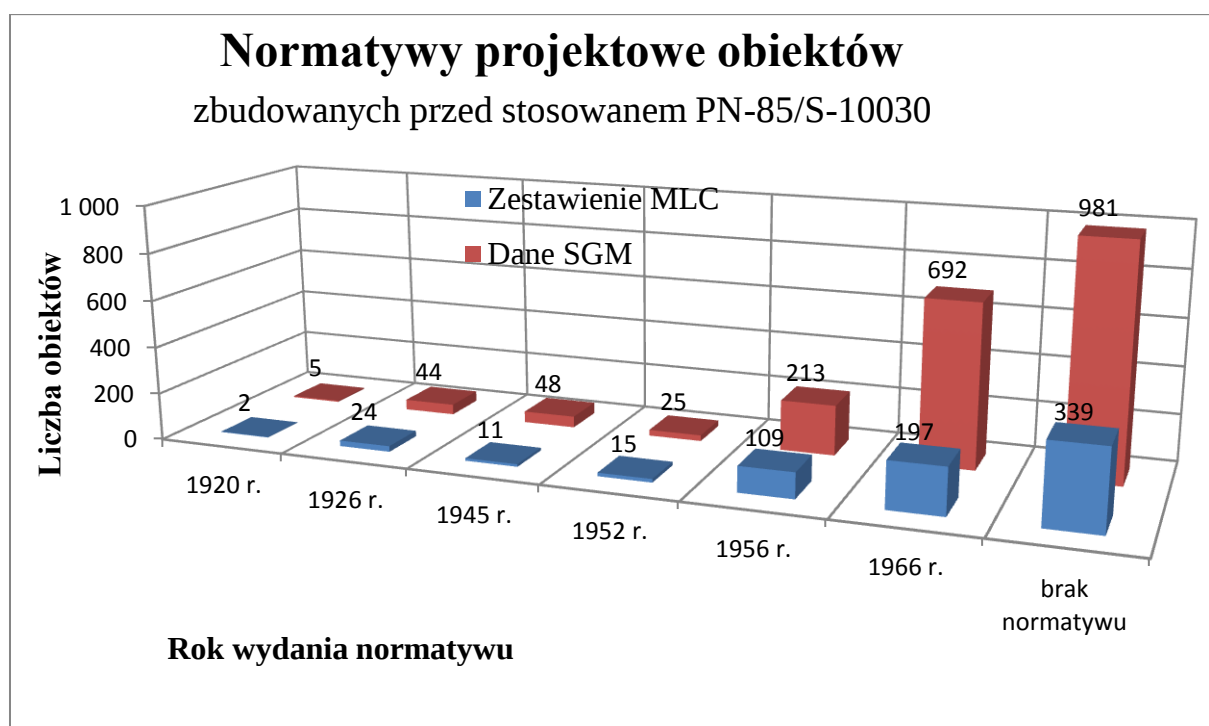
Analizę obiektów mostowych przeprowadzono korzystając z danych przekazanych przez GDDKiA w formie kilku plików Excel. Pliki obejmowały:

- „Zestawienie MLC.excel”:
 - arkusz o nazwie „wg JN1” - 4647 obiektów,
 - arkusz o nazwie „w ciągu drogi” – 3731 obiektów.
- „Dane SGM 17_08_2012.excel” (dalej zwane *Dane SGM*):
 - arkusz o nazwie „arkusz 1” – 4921 obiektów.

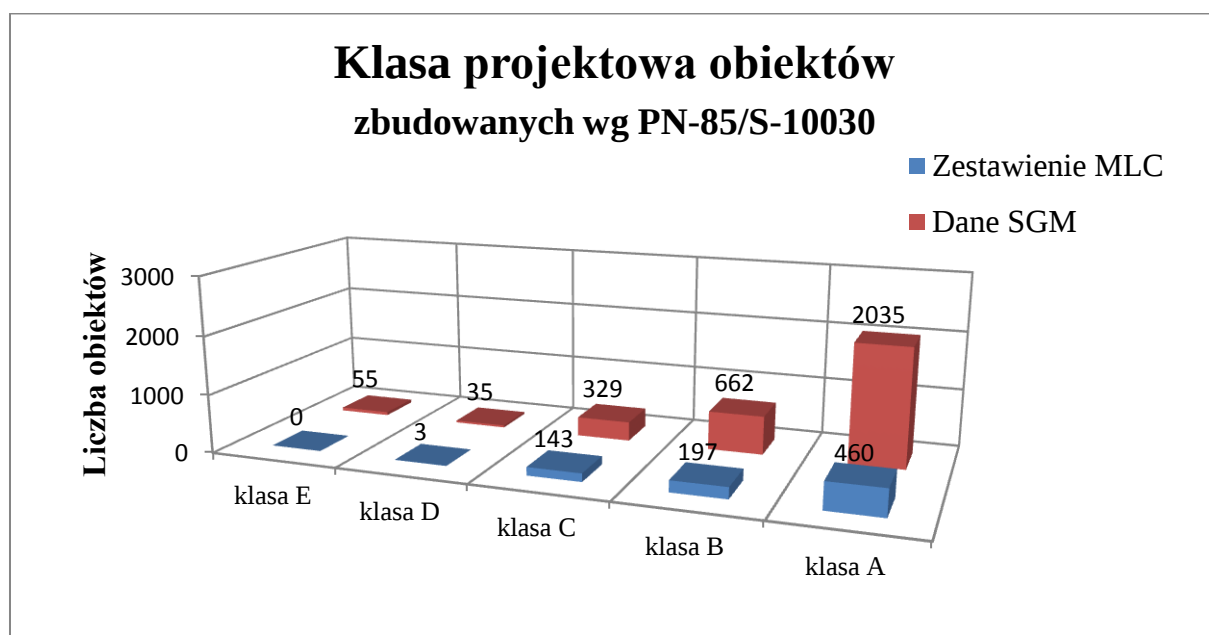
Należy zaznaczyć, że uzyskane dane dotyczące obiektów mostowych niekiedy mają charakter danych niepełnych, przykładowo:

- w pliku *Dane SGM* między innymi:
 - 981 obiektów (~20%) nie ma podanego normatywu, według którego obiekt był lub mógł być zaprojektowany,
 - 682 obiekty nie mają określonej nośności projektowej lub użytkowej,
 - 119 obiektów nie ma podanego roku budowy,
 - 185 obiektów nie ma określonego schematu statycznego konstrukcji niosącej,
 - 122 obiekty nie mają określonego rodzaju konstrukcji niosącej dźwigara,
 - 364 obiekty nie mają podanej szerokości skrajni na obiekcie,
 - po odrzuceniu obiektów, które mają niekompletne dane pozostaje 2948 obiektów, z których żaden nie ma podanej klasy *MLC*;
- w pliku „Zestawieniu *MLC*” między innymi:
 - arkusz „wg JN1”:
 - 2972 obiekty nie mają wyznaczonej klasy *MLC* k2,
 - 3096 obiektów nie ma wyznaczonej klasy *MLC* k1,
 - arkusz „w ciągu drogi”:
 - 2100 obiektów nie ma wyznaczonej klasy *MLC* k2,
 - 2216 obiektów nie ma wyznaczonej klasy *MLC* k1,
 - 339 obiektów nie ma podanego normatywu, według którego obiekt był lub mógł być zaprojektowany,
 - wątpliwości budzi informacja na temat roku budowy i zastosowanego normatywu, przykładowo 286 obiektów, dla których wskazano normatyw PN-85/S-10030 zostało wybudowanych przed rokiem 1980 (w tym 109 obiektów ma podany rok budowy wcześniejszy niż rok 1950).

Niżej na rys. 5.1.1. i 5.1.2. zaprezentowano przykładowe informacje dotyczące normatywów projektowych podanych w wykazach obiektów w analizowanych plikach danych.



Rys. 5.1.1. Liczba obiektów wybudowanych według normatywów stosowanych przed wydaniem normy PN-85/S-10030



Rys. 5.1.2. Liczba obiektów wybudowanych na klasę A, B, C, D lub E według normy PN-85/S-10030 wykazanych w omawianych plikach danych

Do dalszych analiz przyjęto plik Zestawienie *MLC* – arkusz o nazwie „w ciągu drogi” (dalej zwany Zestawienie *MLC*), zawierający dane dotyczące nośności obiektów, w tym klasy *MLC*.

5.2. Analiza ogólna danych zawartych w Zestawieniu MLC

Na 3731 obiektów wykazanych w Zestawieniu MLC 1632 obiekty miały wyznaczoną którąś z klas MLC (dla pojazdów kołowych lub gąsienicowych, poruszających się w jednej lub dwóch kolumnach), a 1511 obiektów miało wyznaczone obie klasy MLC dla pojazdów kołowych poruszających się w jednej lub w dwóch kolumnach (k1 i k2). Te obiekty przyjęto do dalszej analizy.

Wśród 1511 obiektów 744 obiekty (49,2%) miały klasę MLC k1 nie mniejszą niż 100, a 943 obiekty (62,4%) zostały wybudowane przed rokiem 1984, tj. przed wejściem w życie normy PN-85/S-10030.

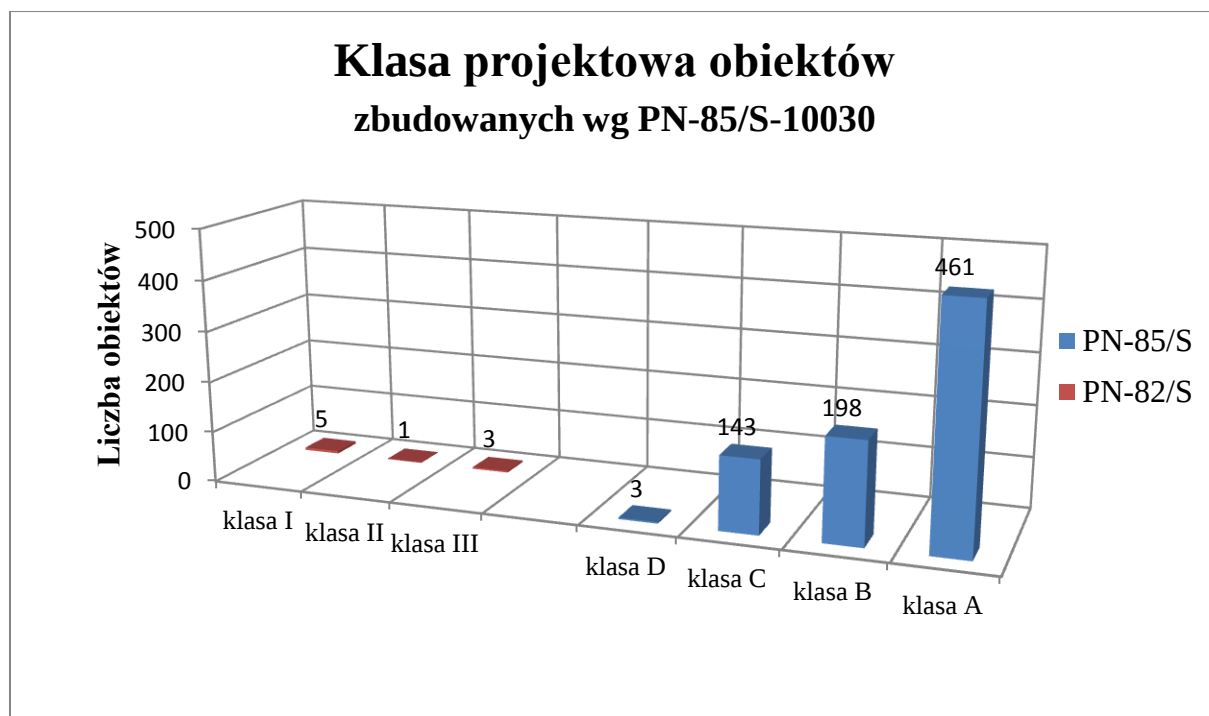
W odniesieniu do 814 obiektów podano, że zostały wybudowane według normy PN-85/S-10030 (ewentualnie jej wcześniejszej wersji z 1982 r.). Z czego wynika, że 697 obiektów zostało zbudowanych na podstawie innego normatywu niż norma PN-85/S-10030. Te 1511 obiektów zostanie poddane dalszej analizie.

5.3. Analiza danych dotyczących obiektów mostowych zbudowanych wg PN-85/S-10030

5.3.1. Klasa projektowa obiektów

Wśród 814 obiektów zakwalifikowanych do grupy obiektów zbudowanych wg normatywu z 1985 r. znajdują się obiekty zaprojektowane na klasę A÷D (1985 r.) oraz na klasę I÷III (1982 r.).

Liczbę obiektów zbudowanych na poszczególne klasy przedstawiono niżej oraz na rys. 5.3.1.



Rys. 5.3.1. Liczba obiektów w poszczególnych klasach wg PN-85/S i PN-82/S

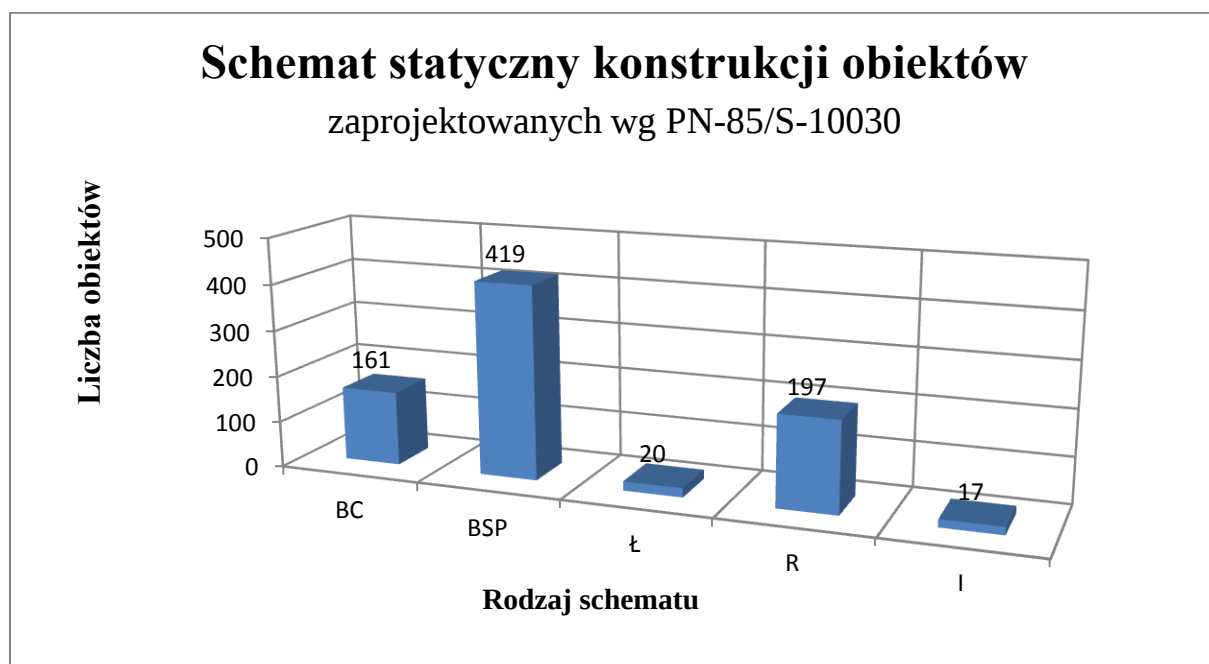
- wg PN-85/S:
 - klasa D: 3 obiekty;
 - klasa C: 143 obiekty;
 - klasa B: 198 obiektów;
 - klasa A: 461 obiektów;
- wg PN-82/S:
 - klasa III: 3 obiekty;
 - klasa II: 1 obiekt;
 - klasa I: 5 obiektów.

5.3.2. Schemat statyczny i rodzaj konstrukcji niosącej obiektów

Wyniki poniższych analiz przedstawiono na rys. 5.3.2. i 5.3.3.

Analiza rodzaju schematu statycznego konstrukcji niosącej wskazuje, że dla następującej liczby obiektów zastosowano:

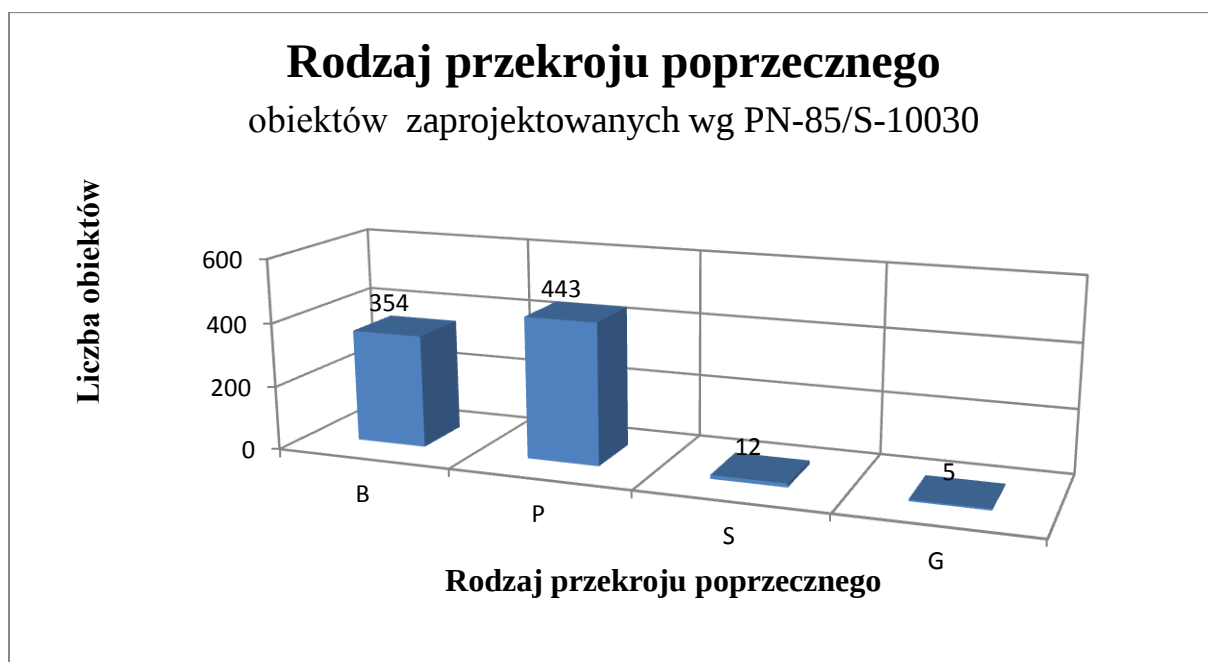
- schemat belki ciągłej (BC) - 161 obiektów,
- schemat belki swobodnie podpartej (BSP) - 419 obiektów,
- schemat łukowy (Ł) - 20 obiektów,
- schemat ramowy (R) - 197 obiektów,
- schemat inny (I) - 17 obiektów.



Rys. 5.3.2. Liczba obiektów, w których schemat statyczny konstrukcji niosącej określono, jako schemat: belki ciągłej (BC), belki swobodnie podpartej (BSP), łukowy (Ł) lub inny (I)

Wyróżniono następujące rodzaje przekroju poprzecznego konstrukcji niosącej:

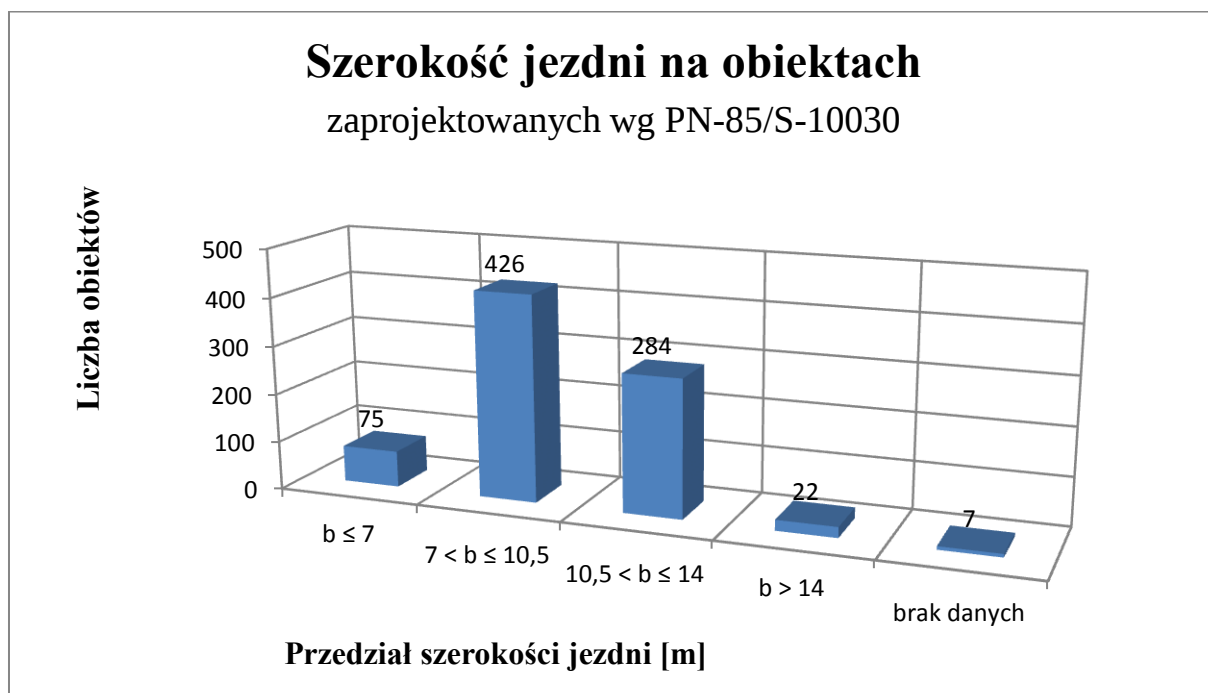
- belkowy (B) - 354 obiekty,
- płytowy (P) - 443 obiekty,
- sklepiony (S) - 12 obiektów,
- gruntowo-powłokowy (G) - 5 obiektów.



Rys. 5.3.3. Liczba obiektów, w których przekrój poprzeczny konstrukcji niosącej określono jako: belkowy (B), płytowy (P), sklepiony (S) lub gruntowo-powłokowy (G)

5.3.3. Szerokość jezdni na obiekcie

Określono liczbę obiektów w zależności od szerokości jezdni b [m]. Wynik oceny przedstawiono niżej i na rys. 5.3.4.



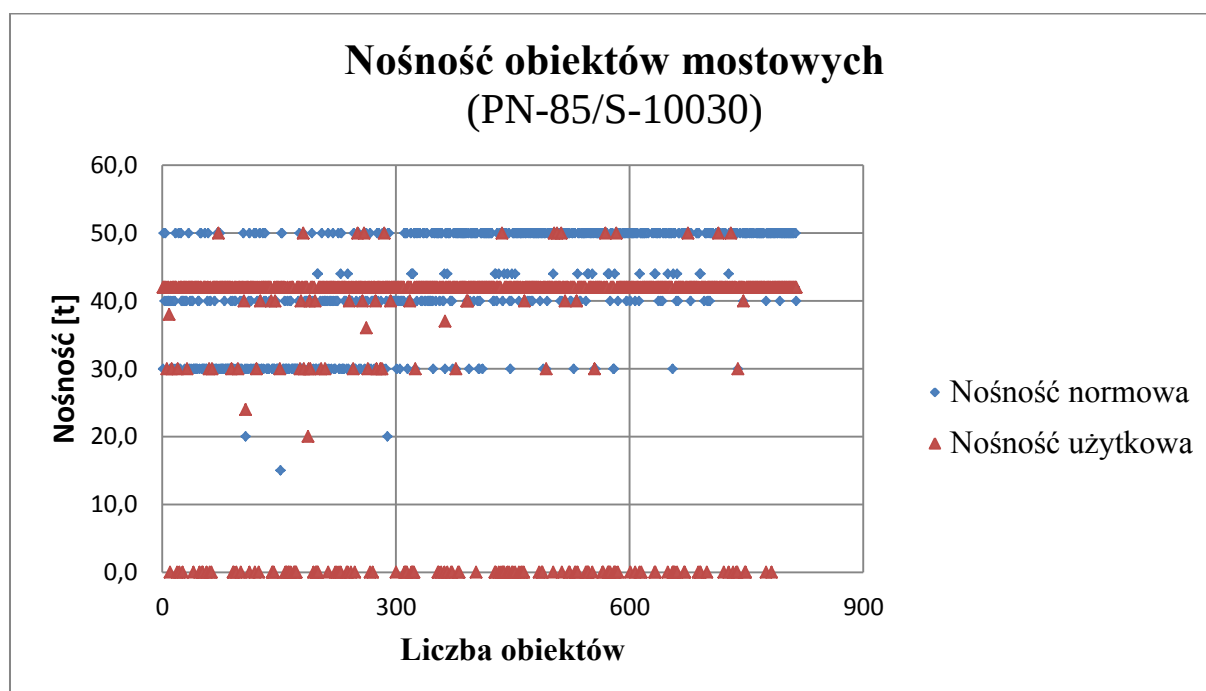
Rys. 5.3.4. Liczba obiektów o szerokości jezdni w przyjętych przedziałach

Przyjęto 4 przedziały szerokości jezdni:

- $b \leq 7\text{m}$ - 75 obiektów
- $7\text{m} < b \leq 10,5\text{m}$ - 426 obiektów,
- $10,5\text{m} < b \leq 14\text{m}$ - 284 obiekty,
- $b > 14\text{m}$ - 22 obiekty,
- w odniesieniu do 7 obiektów podano informację „bez ograniczeń”.

5.3.4. Nośność projektowa i nośność użytkowa obiektów oraz ich klasa MLC

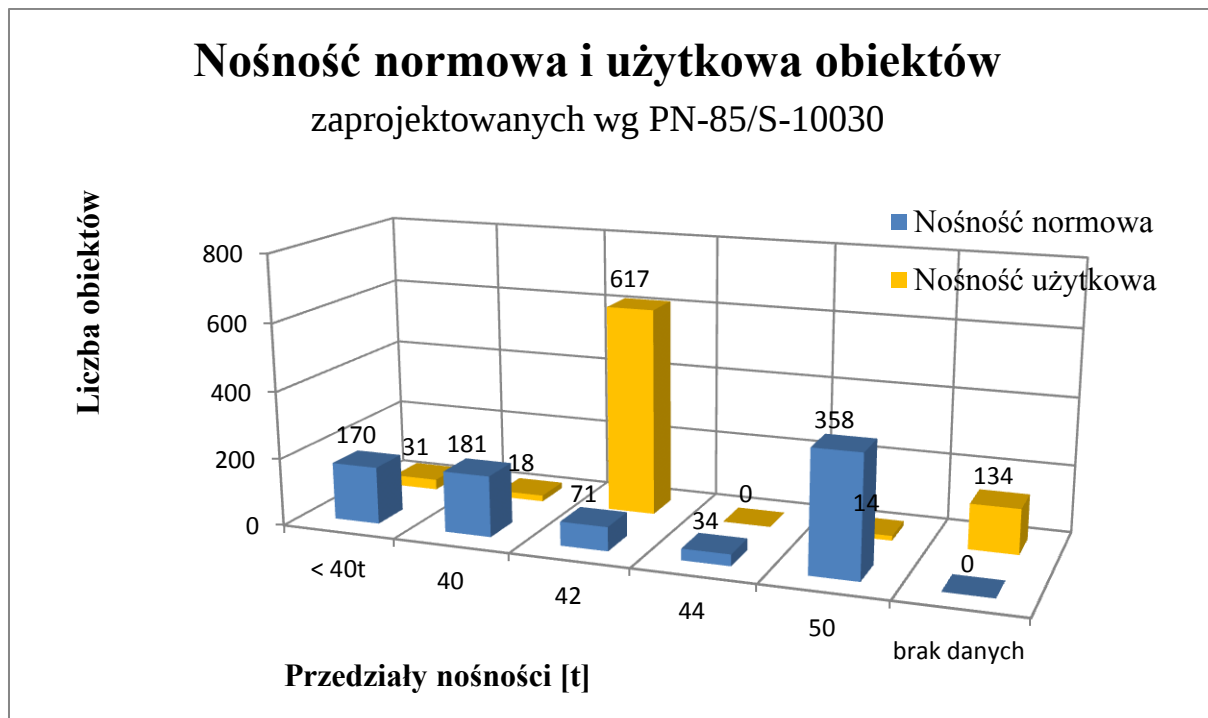
Przeprowadzono analizę porównawczą nośności projektowej z nośnością użytkową oraz klasy MLC obiektów. Porównanie nośności projektowej z nośnością użytkową 814 obiektów zaprojektowanych według normy PN-85/S-10030 przedstawiono na rys. 5.3.5.



Rys. 5.3.5. Porównanie nośności normowej i nośności użytkowej obiektów zaprojektowanych na normatyw obowiązujący od 1985 r.

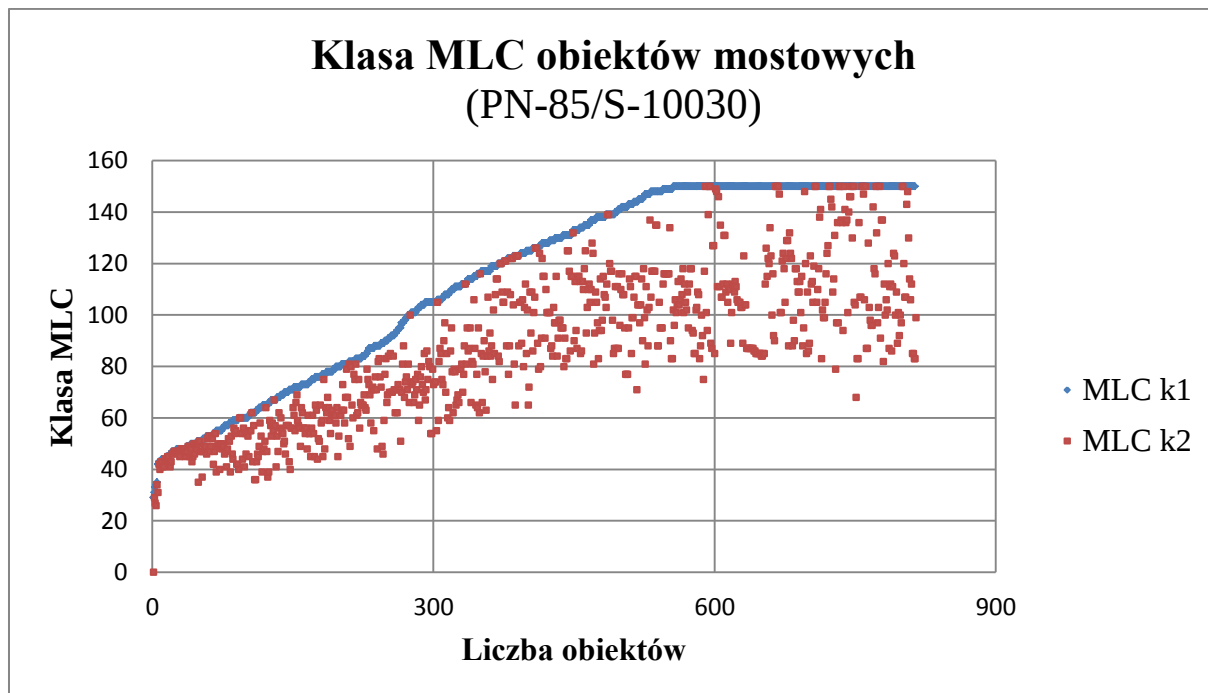
Z analizy porównawczej nośności normowej i nośności użytkowej obiektów mostowych zaprojektowanych na normatyw obowiązujący od 1985 r. wynika, że:

- w zakresie nośności normowej:
 - 170 obiektów ma nośność normową mniejszą niż 40t,
 - 181 obiektów ma nośność normową równą 40t,
 - 71 obiektów ma nośność normową równą 42t,
 - 34 obiekty mają nośność normową równą 44t,
 - 358 obiektów ma nośność normową równą 50t;
- w zakresie nośności użytkowej:
 - 31 obiektów ma nośność użytkową mniejszą niż 40t,
 - 18 obiektów ma nośność użytkową równą 40t,
 - 617 obiektów ma nośność użytkową równą 42t,
 - 14 obiektów ma nośność użytkową 50t,
 - 134 obiekty nie mają wyznaczonej nośności użytkowej (rys. 5.3.5. - wartość 0).

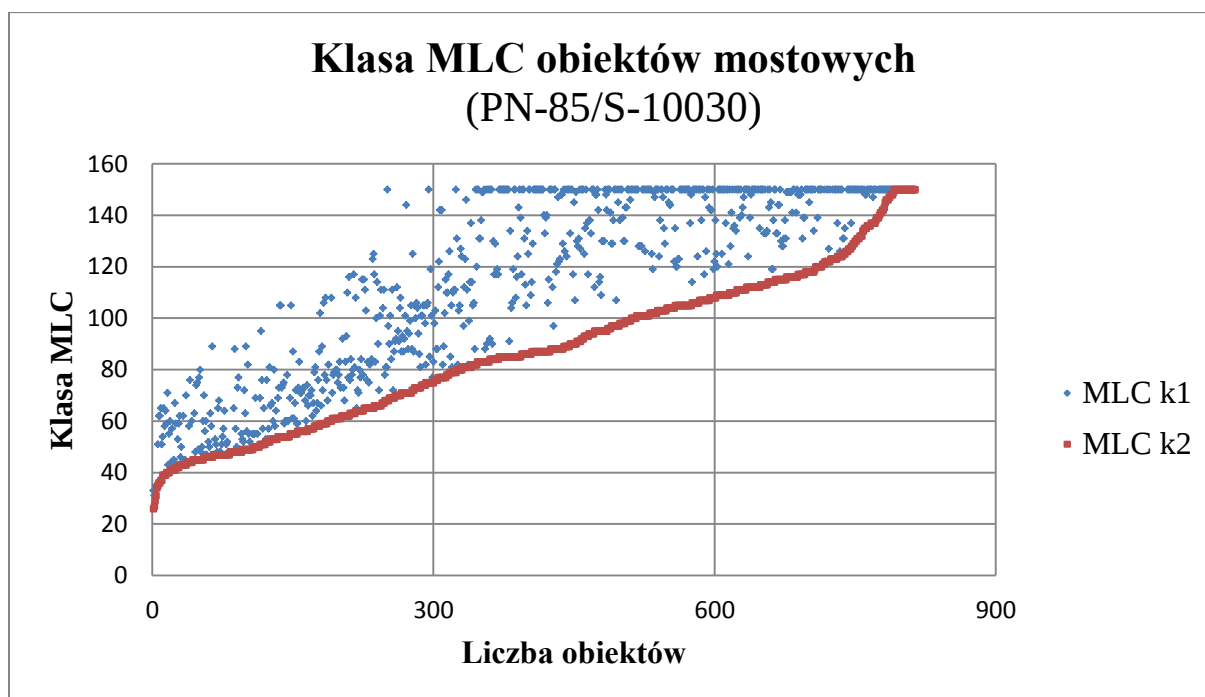


Rys. 5.3.6. Porównanie nośności normowej i nośności użytkowej obiektów zaprojektowanych na normatyw obowiązujący od 1985 r.

Porównanie klasy *MLC* 814 obiektów przedstawiono niżej. Obiekty uszeregowano według rosnącej wartości klasy *MLC* *k1* (rys. 5.3.7.) i klasy *MLC* *k2* (rys. 5.3.8.). Na osi odciętych podano numer obiektu w danym uszeregowaniu od wartości minimalnej do maksymalnej.



Rys. 5.3.7. Porównanie klasy *MLC* obiektów uszeregowanych wg wartości klasy *MLC* *k1*



Rys. 5.3.8. Porównanie klasy *MLC* obiektów uszeregowanych wg wartości klasy *MLC* k2

Z zaprezentowanych wykresów (rys. 5.3.7. i 5.3.8.) wynika, że nie ma prostej zależności między klasą *MLC* k1 i *MLC* k2. Oznacza to, że na podstawie klasy pojazdów poruszających się w jednej kolumnie nie można w łatwy sposób wyznaczyć klasę pojazdów poruszających się w dwóch kolumnach, bez dodatkowych obliczeń.

Uogólniając wyniki analizy klasy *MLC* należy stwierdzić, że w odniesieniu do:

- ruchu pojazdów w jednej kolumnie (klasa *MLC* k1):
 - 691 obiektów ma klasę *MLC* ≥ 66 ,
 - 123 obiekty mają klasę *MLC* < 66 ,
- ruchu pojazdów w dwóch kolumnach (klasa *MLC* k2):
 - 578 obiektów ma klasę *MLC* ≥ 66 ,
 - 236 obiektów ma klasę *MLC* < 66 .

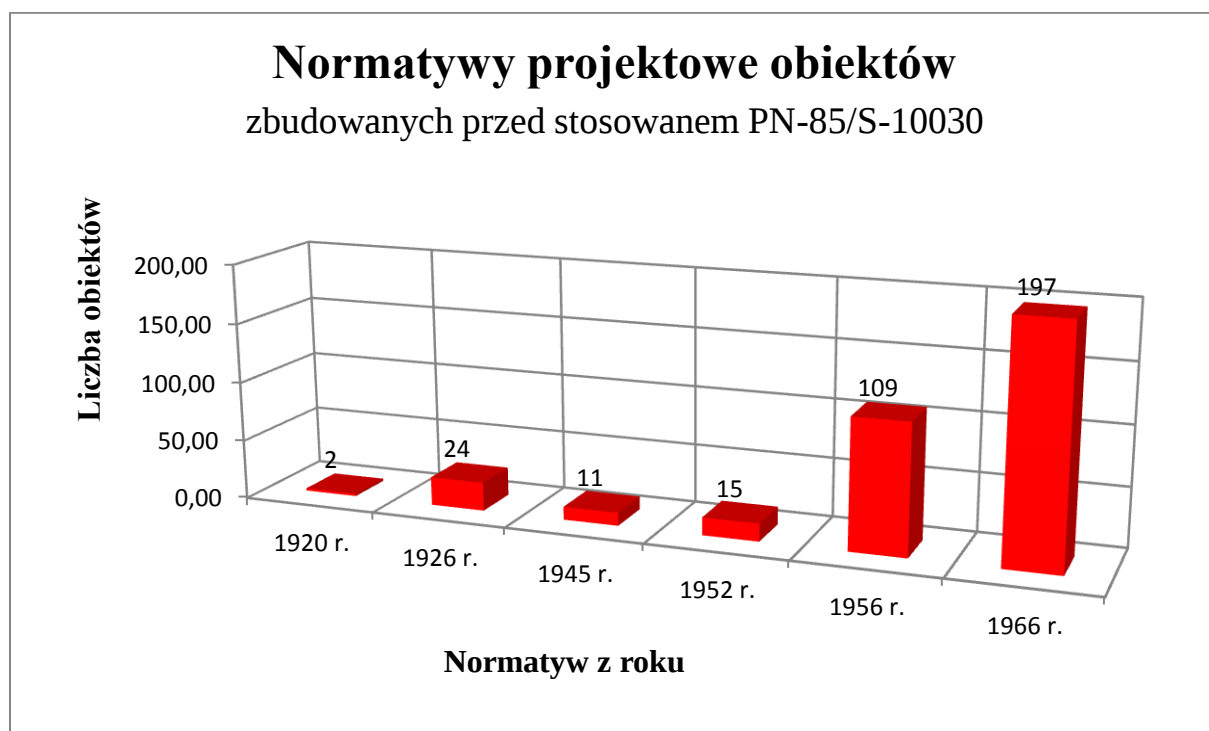
5.4. Analiza danych dotyczących obiektów zbudowanych wg normatywów obowiązujących przed 1985 r.

5.4.1. Klasa projektowa obiektów

Analiza została przeprowadzona dla 697 obiektów, dla których w *Zestawieniu MLC* wskazano normatyw projektowania obowiązujący przed 1985 r. lub nie podano normatywu (339 obiektów), który mógł służyć do zaprojektowania obiektu.

Wśród 697 analizowanych obiektów do grupy obiektów zbudowanych wg konkretnego normatywu obowiązującego przed normatywem z 1985 r. zakwalifikowano 358 obiektów (rys. 5.4.1.) zaprojektowanych na następujące klasy:

- normatyw z 1920 r.:
 - klasa I: 2 obiekty,
- normatyw z 1926 r.:
 - klasa I: 24 obiekty,
- normatyw z 1945 r.:
 - klasa I: 11 obiektów,
- normatyw z 1952 r.:
 - klasa I: 13 obiektów,
 - klasa I obciążenia specjalnego: 2 obiekty,
- normatyw z 1956 r.:
 - klasa I: 76 obiektów,
 - klasa II: 4 obiekty,
 - obciążenie wyjątkowe T-80: 17 obiektów,
 - obciążenie wyjątkowe T-60: 12 obiektów,
- normatyw z 1966 r.:
 - klasa I K-80: 123 obiekty,
 - klasa I: 74 obiekty.



Rys. 5.4.1. Liczba obiektów zaprojektowanych przed obowiązywaniem PN-85/S-10030

5.4.2. Schemat statyczny i rodzaj konstrukcji niosącej obiektów

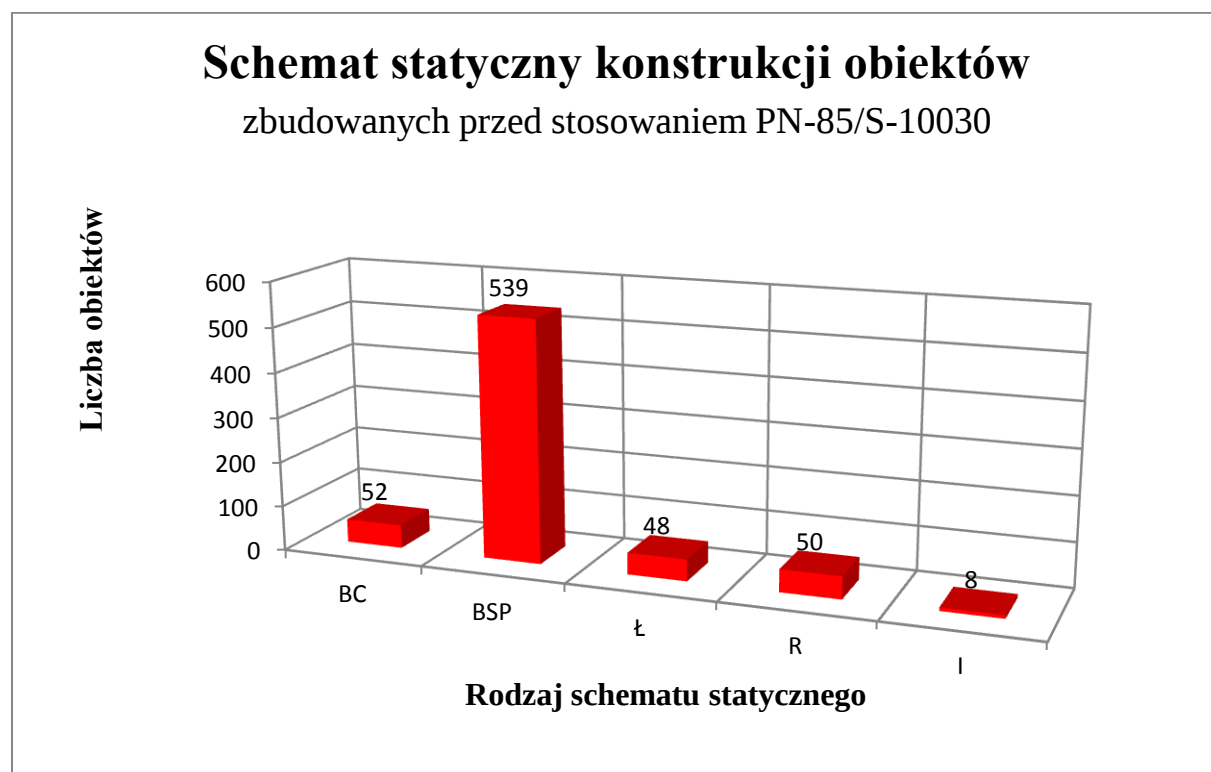
Wyniki poniższych analiz przedstawiono na rys. 5.4.2. i 5.4.3.

Analiza rodzaju schematu statycznego konstrukcji niosącej (rys. 5.4.2.) wskazuje, że dla następującej liczby obiektów zastosowano:

- schemat belki ciągłej – 52 obiekty,
- schemat belki swobodnie podpartej – 539 obiektów
- schemat łukowy – 48 obiektów,
- schemat ramowy - 50 obiektów,
- schemat inny – 8 obiektów.

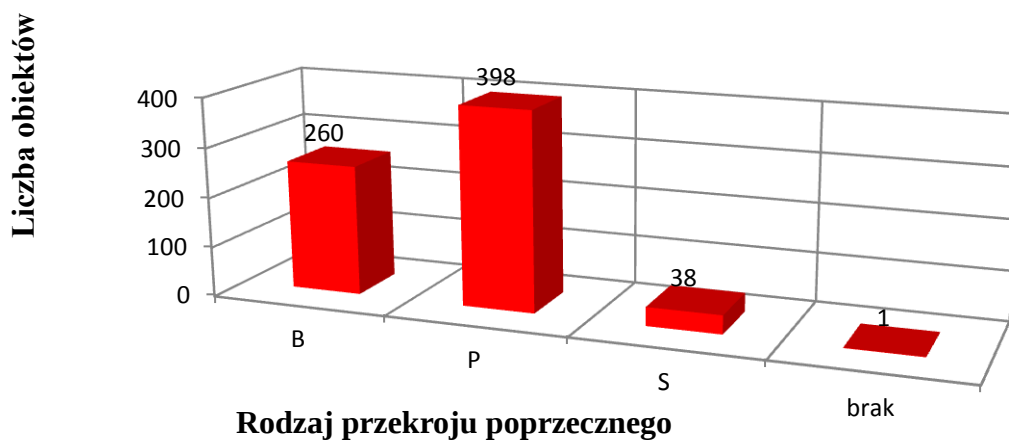
Wyróżniono następujące rodzaje przekroju poprzecznego konstrukcji niosącej:

- belkowy – 260 obiektów,
- płytowy – 398 obiektów,
- sklepiony – 38 obiektów,
- inny – 1 obiekt.



Rys. 5.4.2. Liczba obiektów, w których schemat statyczny konstrukcji niosącej określono jako schemat: belki ciągłej (BC), belki swobodnie podpartej (BSP), łukowy (Ł) lub inny (I)

Rodzaj przekroju poprzecznego obiektów zbudowanych przed stosowaniem PN-85/S-10030

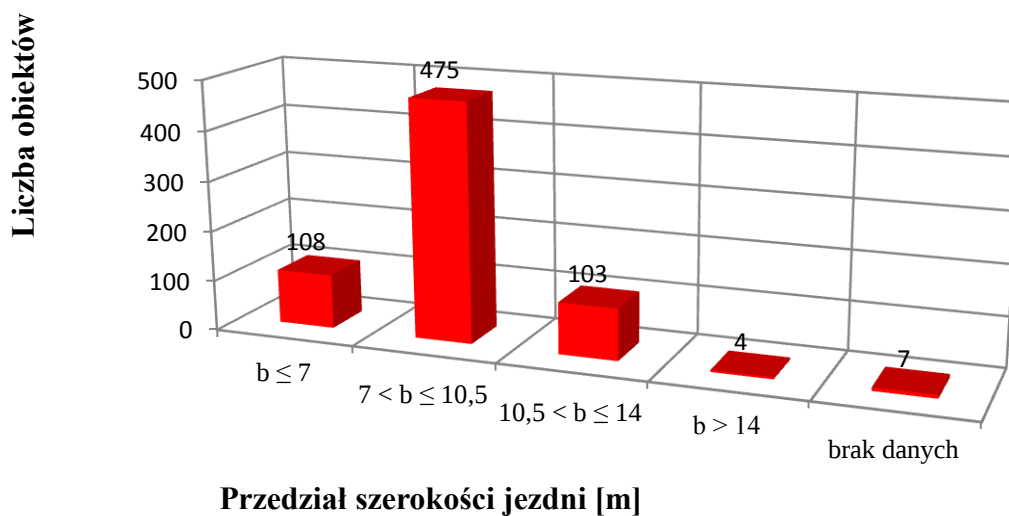


Rys. 5.4.3. Liczba obiektów, w których przekrój poprzeczny konstrukcji niosącej określono jako: belkowy (B), płytowy (P) i sklepiony (S)

5.4.3. Szerokość jezdni na obiekcie

Określono liczbę obiektów w zależności od szerokości jezdni b [m]. Wynik oceny przedstawiono niżej i na rys. 5.4.4.

Szerokość jezdni na obiektach zbudowanych przed stosowaniem PN-85/S-10030



Rys. 5.4.4. Liczba obiektów o szerokości jezdni w przyjętych przedziałach

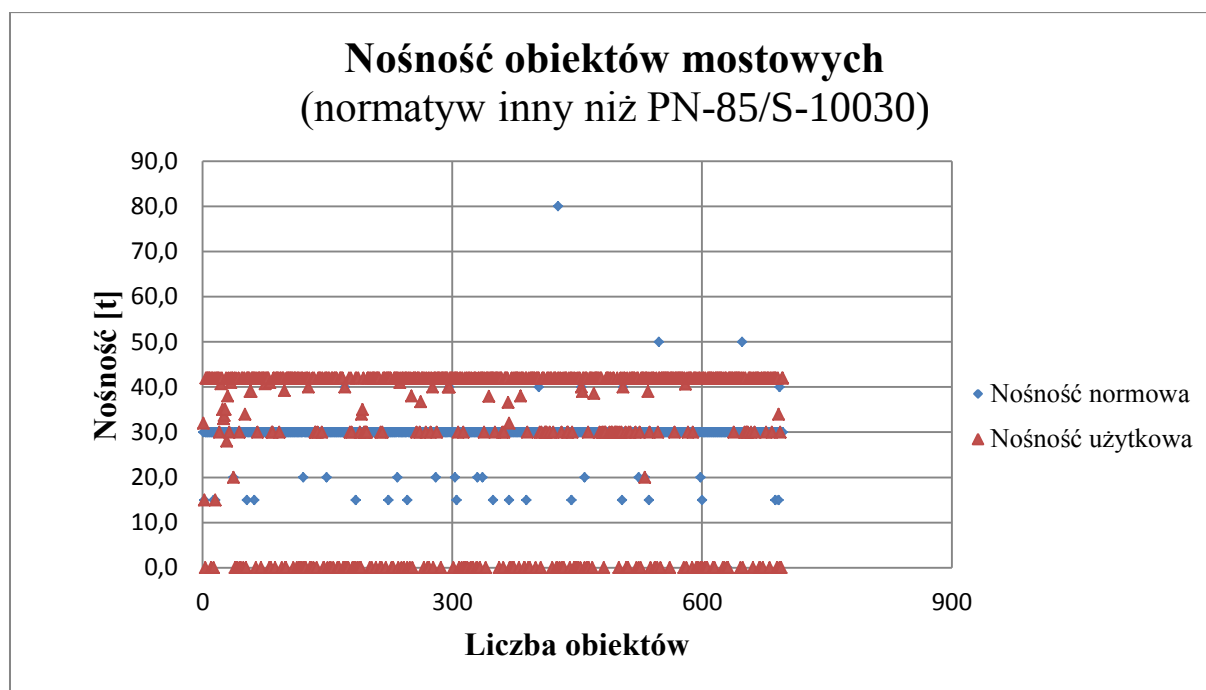
Przyjęto 4 przedziały:

- $b \leq 7\text{m}$ - 108 obiektów,
- $7\text{m} < b \leq 10,5\text{m}$ - 475 obiektów,
- $10,5\text{m} < b \leq 14\text{m}$ - 103 obiekty,
- $b > 14\text{m}$ - 4 obiekty,
- w odniesieniu do 5 obiektów podano informację „bez ograniczeń”,
- w odniesieniu do 2 obiektów podano „brak danych”.

5.4.4. Nośność projektowa i nośność użytkowa obiektów oraz ich klasa MLC

Przeprowadzono analizę porównawczą nośności projektowej z nośnością użytkową oraz klasy MLC obiektów.

Porównanie nośności projektowej z nośnością użytkową 697 obiektów zaprojektowanych według innego normatywu niż norma PN-85/S-10030 przedstawiono na rys. 5.4.5.



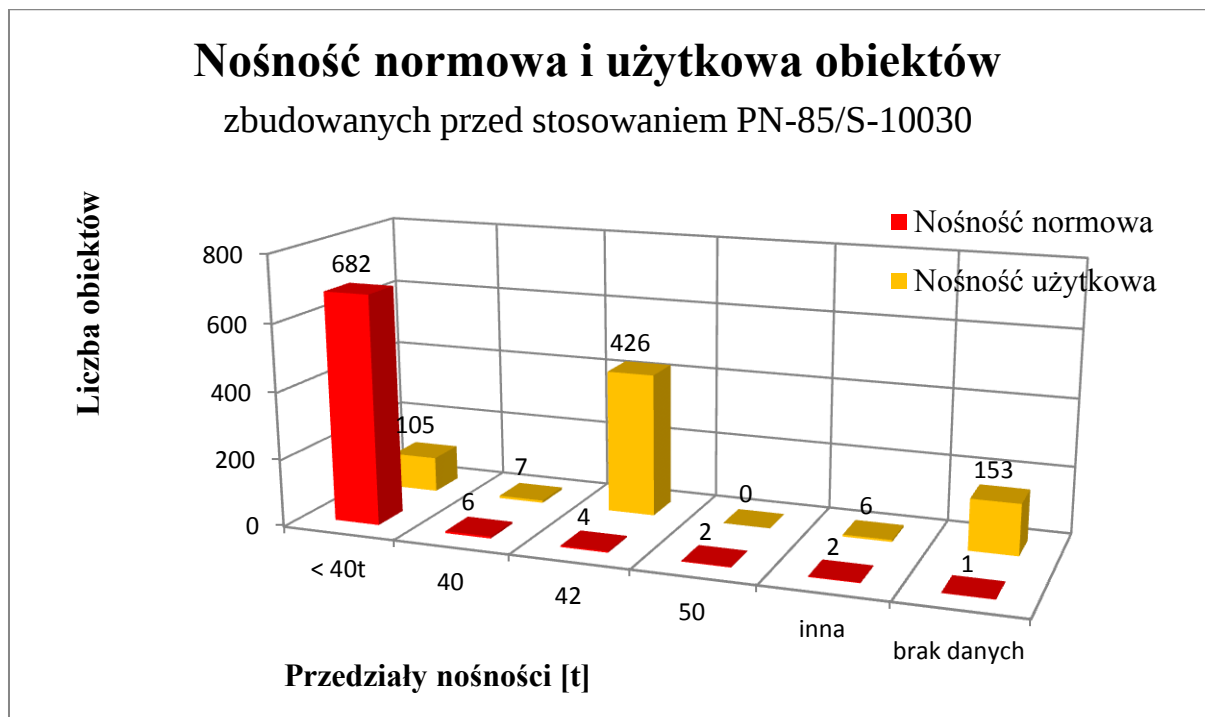
Rys. 5.4.5. Porównanie nośności normowej i nośności użytkowej obiektów zaprojektowanych na inny normatyw niż obowiązujący od 1985 r.

Z analizy porównawczej nośności normowej i nośności użytkowej obiektów mostowych zaprojektowanych na normatyw obowiązujący przed stosowaniem normy PN-85/S-10030 wynika, że:

- w zakresie nośności normowej:
 - 682 obiekty mają nośność normową mniejszą niż 40t,
 - 6 obiektów ma nośność normową równą 40t,
 - 1 obiekt ma nośność normową równą 40,7t
 - 4 obiekty mają nośność normową równą 42t,
 - 2 obiekty mają nośność normową równą 50t,
 - 1 obiekt ma nośność normową równą 80t,
 - 1 obiekt nie ma podanej nośności normowej (na rys. 5.4.5. - wartość 0);

- w zakresie nośności użytkowej:
 - 105 obiekty mają nośność użytkową mniejszą niż 40t,
 - 7 obiektów ma nośność użytkową równą 40t,
 - 6 obiektów ma nośność użytkową większą niż 40t i mniejszą niż 42t,
 - 426 obiektów ma nośność użytkową równą 42t,
 - 153 obiekty nie mają podanej nośności użytkowej (na rys. 5.4.5. - wartość 0).

Przedstawione wyżej wyniki analizy danych zawartych w pliku *Zestawienie MLC* zaprezentowano także na rys. 5.4.6.

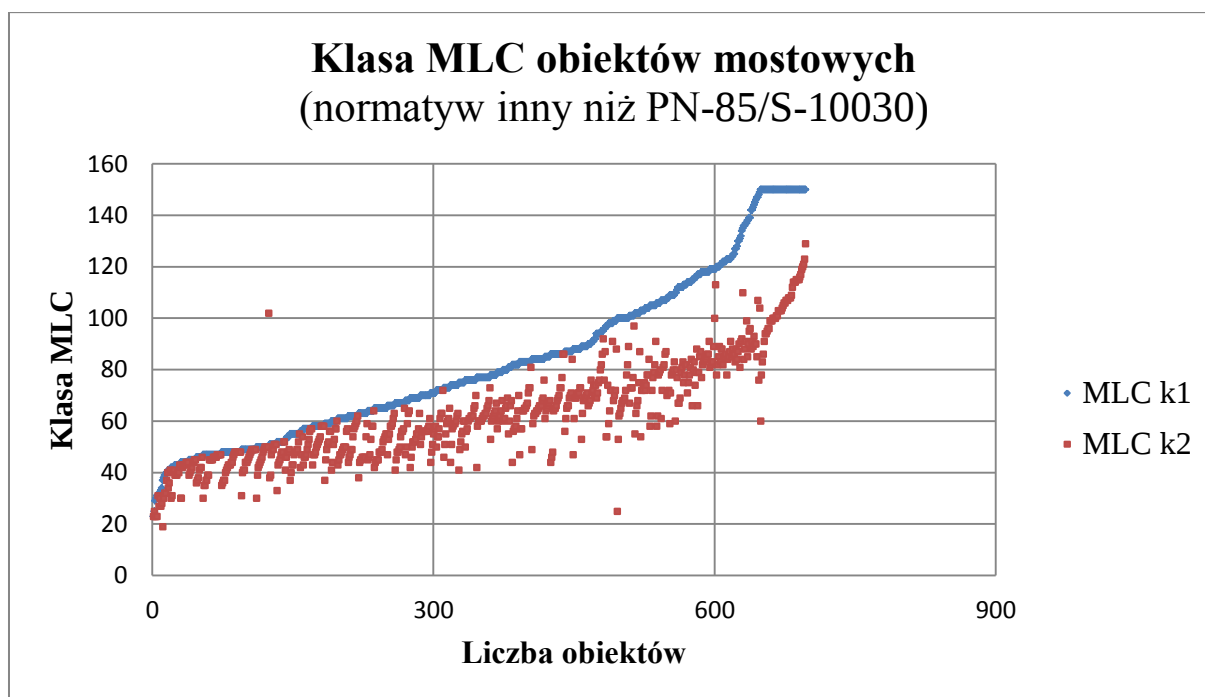


Rys. 5.4.6. Porównanie nośności normowej i nośności użytkowej obiektów zaprojektowanych na inny normatyw niż obowiązujący od 1985 r.

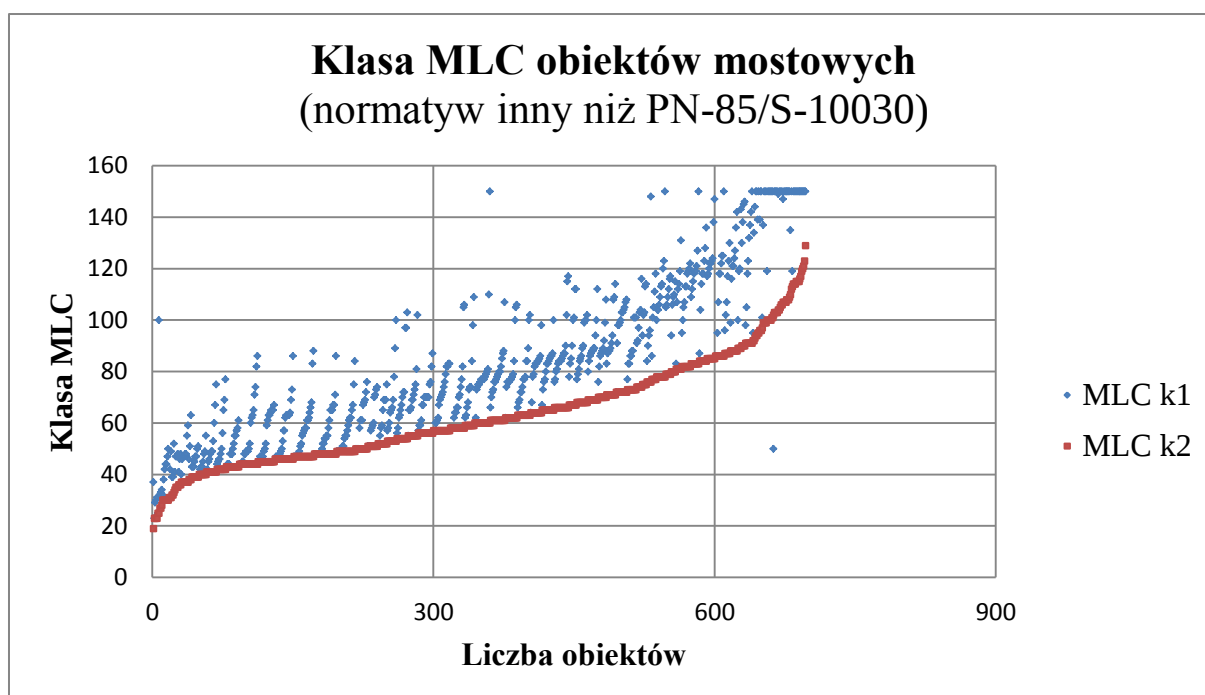
Zestawienie porównawcze klasy *MLC k1* i *MLC k2* 697 obiektów przedstawiono na rys. 5.4.7 i 5.4.8. Obiekty uszeregowano odpowiednio według rosnącej wartości klasy *MLC k1* (rys. 5.4.7.) i klasy *MLC k2* (rys. 5.4.8.). Na osi odciętych podano numer kolejny obiektu w danym uszeregowaniu od wartości minimalnej do maksymalnej.

Uogólniając wyniki analizy należy stwierdzić, że w odniesieniu do:

- ruchu pojazdów w jednej kolumnie (klasa *MLC k1*):
 - 447 obiektów ma klasę *MLC* ≥ 66 ,
 - 250 obiektów ma klasę *MLC* < 66 ,
- ruchu pojazdów w dwóch kolumnach (klasa *MLC k2*):
 - 269 obiektów ma klasę *MLC* ≥ 66 ,
 - 428 obiektów ma klasę *MLC* < 66 .



Rys. 5.4.7. Porównanie klasy *MLC* obiektów uszeregowanych wg wartości klasy *MLC* k1



Rys. 5.4.8. Porównanie klasy *MLC* obiektów uszeregowanych wg wartości klasy *MLC* k2

5.5. Porównanie nośności obiektów z ich klasą *MLC*

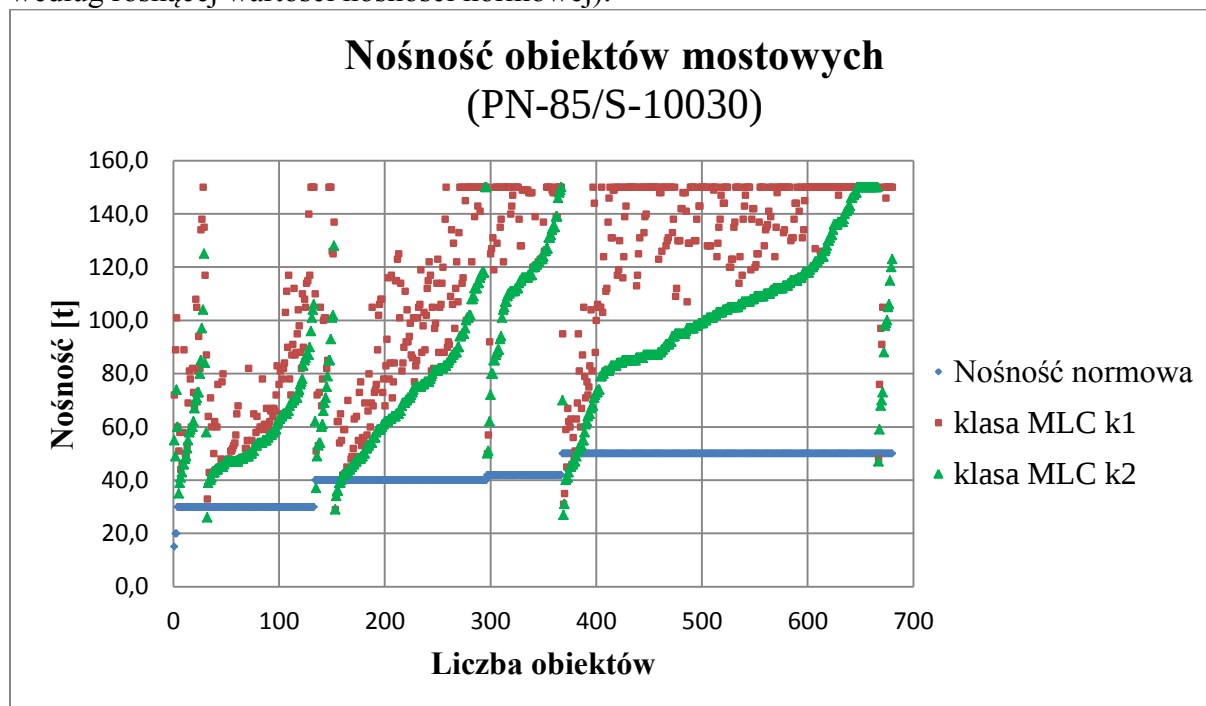
Do dalszej analizy wykorzystano te obiekty, dla których podano dane dotyczące nośności obiektu, a więc nośność normową, nośność użytkową, klasę *MLC* k1 i klasę *MLC* k2.

W efekcie do analizy przyjęto:

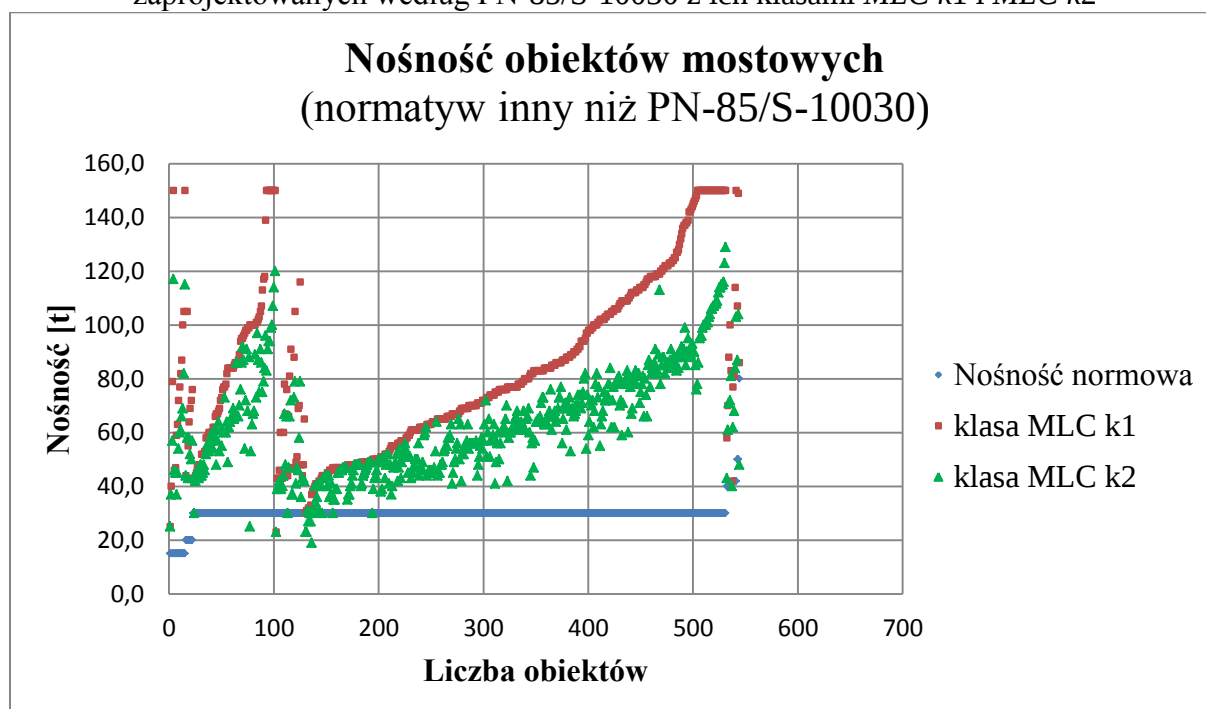
- 680 obiektów zaprojektowanych według PN-85/S-10030, z 814 wyżej analizowanych,
- 545 obiektów zaprojektowanych według innego normatywu niż PN-85/S-10030, z 697 wyżej analizowanych.

5.5.1. Porównanie nośności normowej obiektów z ich klasą *MLC*

Wynik analizy w postaci rysunków: 5.5.1. i 5.5.2. przedstawiono niżej (obiekty uszeregowano według rosnącej wartości nośności normowej).



Rys. 5.5.1. Porównanie nośności normowej obiektów mostowych zaprojektowanych według PN-85/S-10030 z ich klasami *MLC* k1 i *MLC* k2



Rys. 5.5.2. Porównanie nośności normowej obiektów mostowych zaprojektowanych na normatyw inny niż obowiązujący od 1985 z ich klasami *MLC* k1 i k2

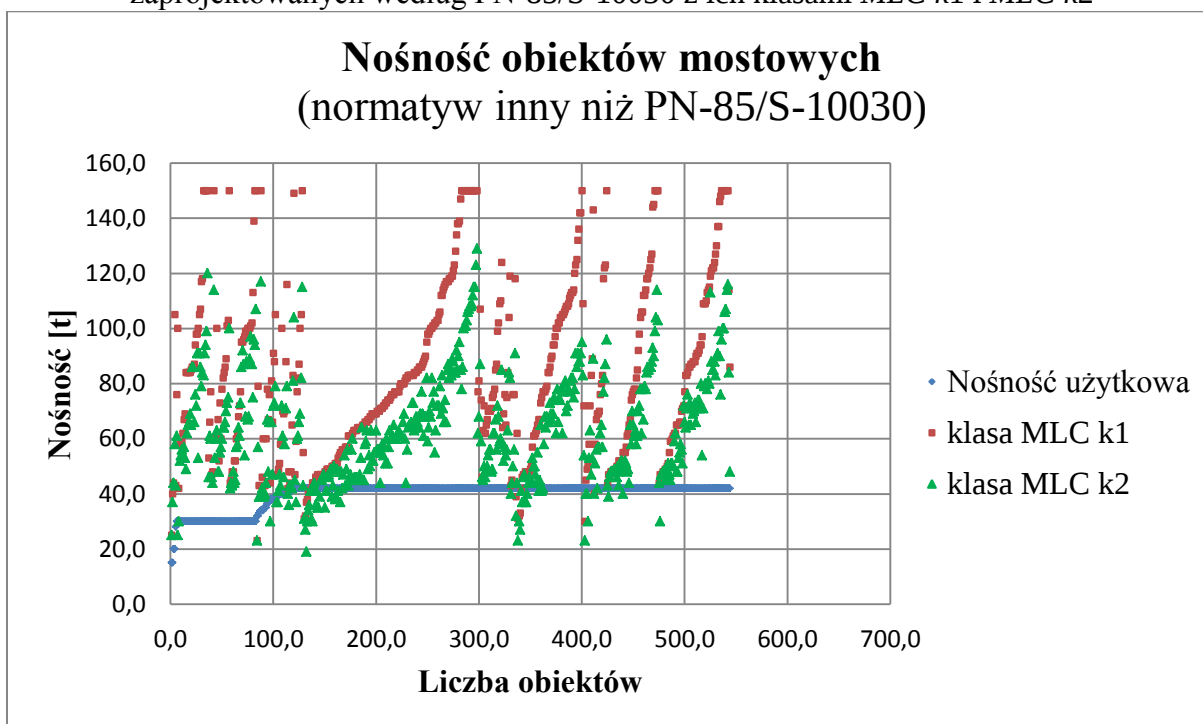
Jak wynika z porównania wartości klas *MLC* z nośnością normową obiektów, nie ma prostej zależności między tymi wartościami. Co oznacza, że np., na podstawie wyznaczonej nośności normowej obiektu nie można wnioskować o jego klasie *MLC*, bez dodatkowych obliczeń.

5.5.2. Porównanie nośności użytkowej obiektów z ich klasą *MLC*

Wynik analizy w postaci rysunków: 5.5.3. i 5.5.4. przedstawiono niżej (obiekty uszeregowano według rosnącej wartości nośności użytkowej).



Rys. 5.5.3. Porównanie nośności użytkowej obiektów mostowych zaprojektowanych według PN-85/S-10030 z ich klasami *MLC* k1 i *MLC* k2



Rys. 5.5.4. Porównanie nośności użytkowej obiektów mostowych zaprojektowanych na normatyw inny niż obowiązujący od 1985 z ich klasami *MLC* k1 i k2

Jak wynika z porównania wartości klas *MLC* z nośnością użytkową obiektów, nie ma korelacji między tymi wartościami. Co oznacza, że np., na podstawie wyznaczonej nośności użytkowej obiektu nie można wnioskować o jego klasie *MLC*, bez dodatkowych obliczeń.

5.6. Porównanie parametrów geometrycznych obiektów zbudowanych wg PN-85/S-10030 i wg wcześniejszych normatywów

5.6.1. Długość obiektu i rozpiętość przęsła

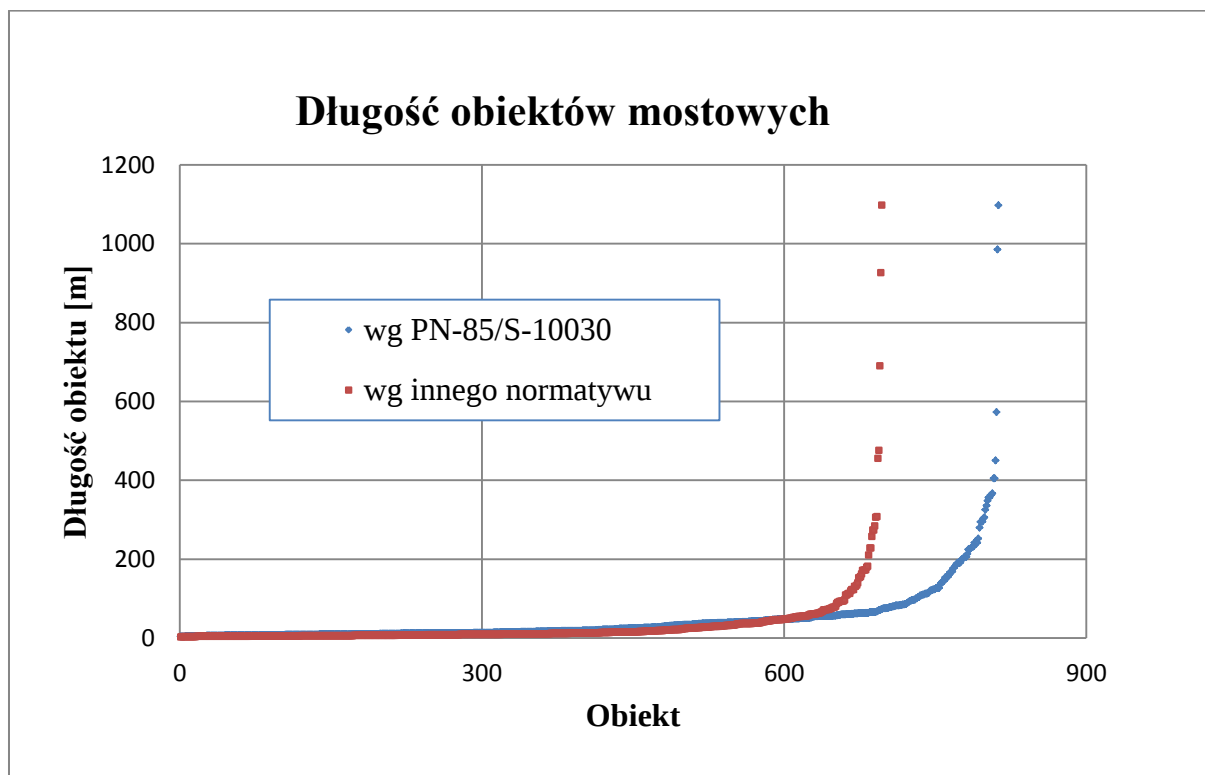
Istotnym parametrem geometrycznym przy ocenie nośności obiektu mostowego jest rozpiętość przęseł. W zestawieniach przekazanych przez GDDKiA została podana długość obiektu. Z tego względu analiza dotycząca rozpiętości przęseł została ograniczona do oceny długości obiektów oraz do oceny rozpiętości przęseł utożsamionej z długością obiektów jednoprzęsłowych.

W tej analizie wykorzystano dane 1511 obiektów zawartych w pliku *Zestawie MLC*:

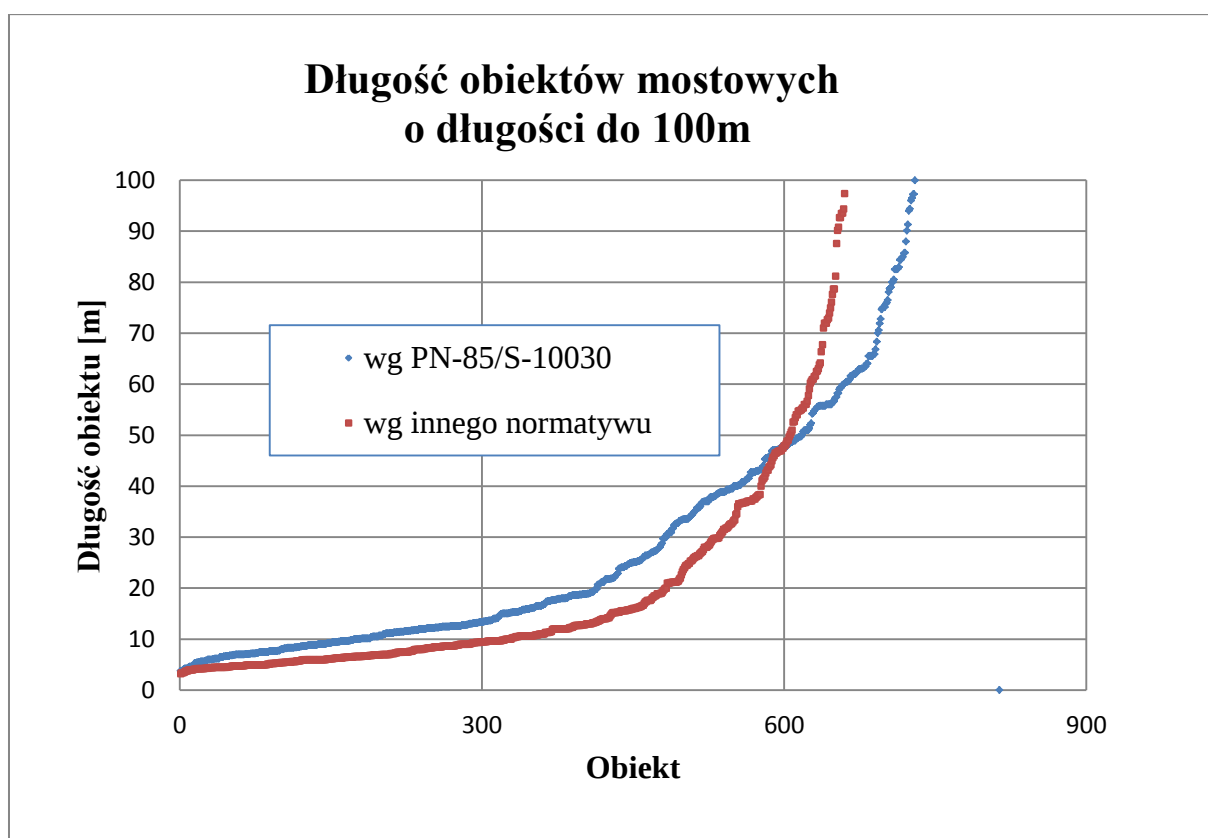
- 814 obiektów zaprojektowanych według PN-85/S-10030,
- 697 obiektów zaprojektowanych według innego normatywu niż PN-85/S-10030.

Długość obiektów zbudowanych wg normatywu PN-85/S-10030 oraz wg innych normatywów zaprezentowano na rys. 5.6.1a. i rys. 5.6.1b., natomiast na rys. 5.6.2. pokazano wynik analizy długości obiektów jednoprzęsłowych, odpowiednio:

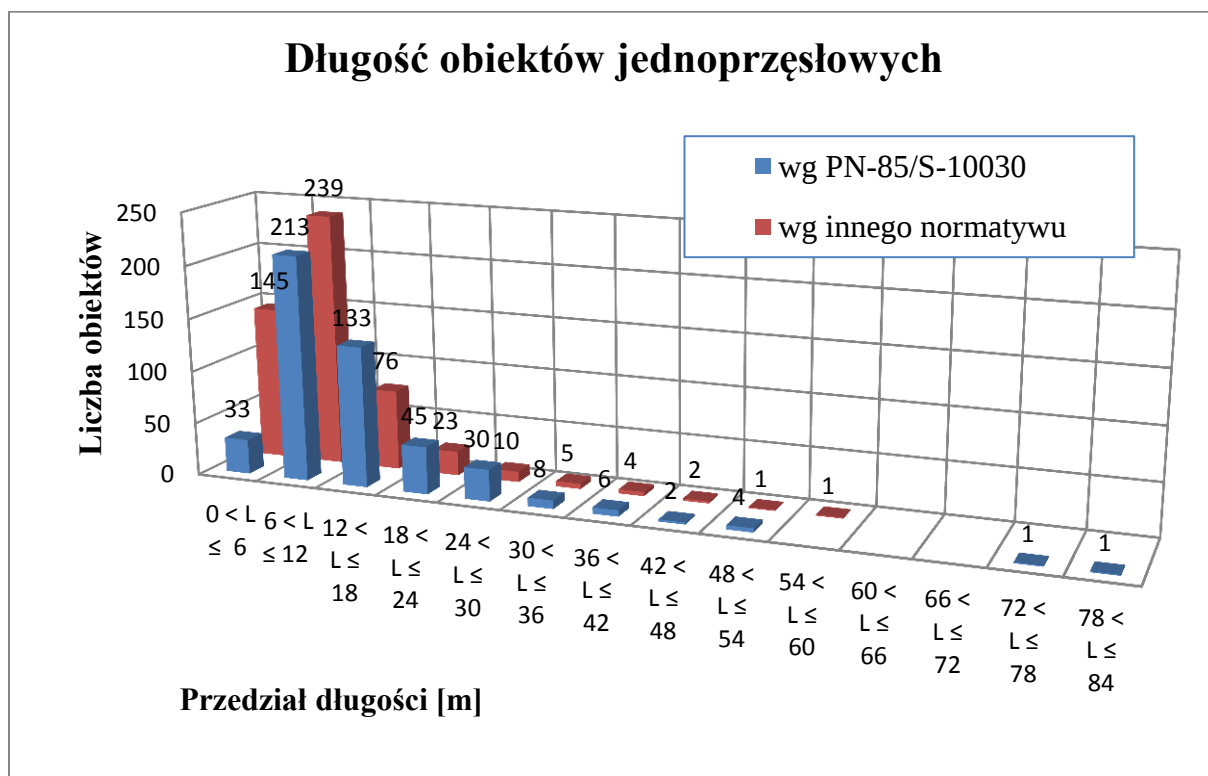
- 406 obiektów zaprojektowanych według PN-85/S-10030,
- 506 obiektów zaprojektowanych według innego normatywu niż PN-85/S-10030.



Rys. 5.6.1a. Długość obiektów według pliku *Zestawienie MLC*
(obiekty uszeregowano w kolejności od najmniejszej do największej długości)



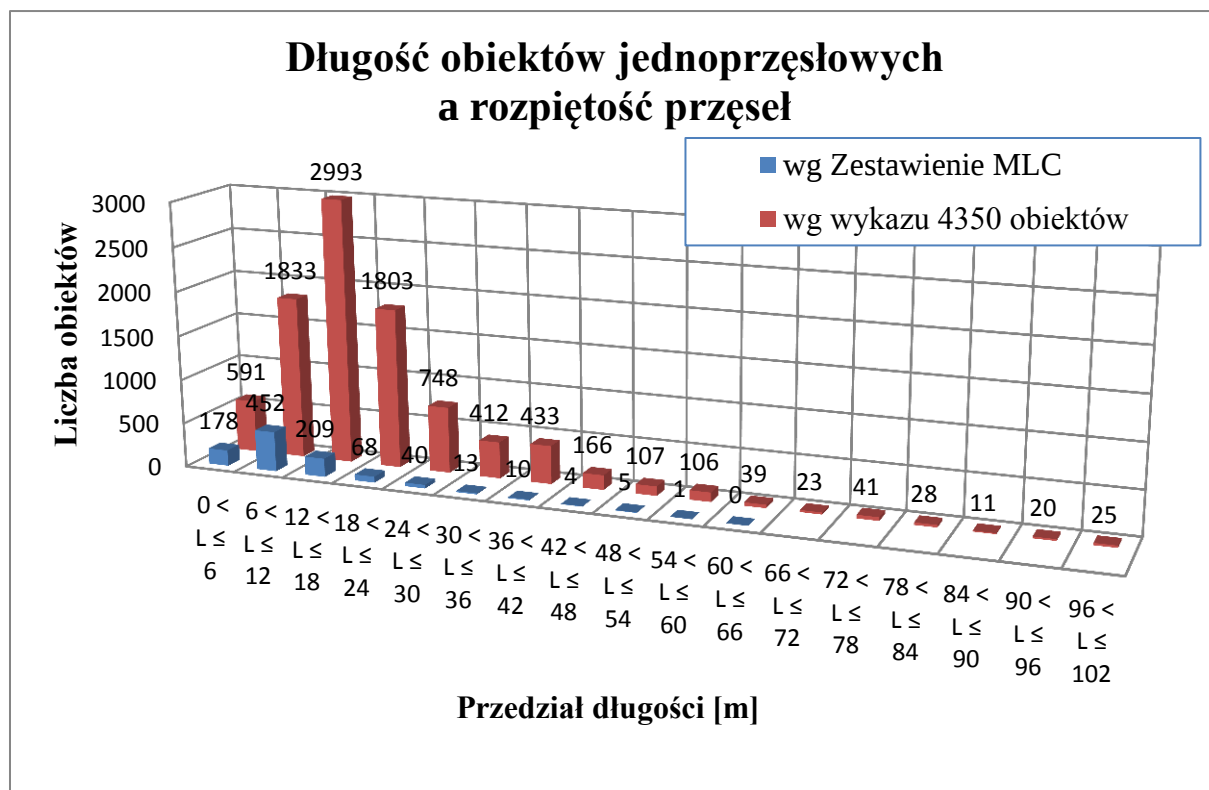
Rys. 5.6.1b. Długość obiektów według pliku Zestawienie MLC
(przedstawiono tylko obiekty o długości do 100m)



Rys. 5.6.2. Długość obiektów jednoprzęsłowych według pliku Zestawienie MLC

Uzupełnieniem informacji na temat rozpiętości teoretycznej przęseł obiektów zlokalizowanych w ciągu dróg krajowych jest wykaz przekazany przez GDDKiA w dniu 31 października 2012 r. – zacytowany niżej w tabeli 5.6.1. Obejmuje on dane dotyczące 4 350 obiektów mostowych.

Dane podane w tabeli 5.6.1. dotyczą 4 350 obiektów mostowych (nie są przypisane ani do normatywu projektowania ani do roku budowy). Stanowią zatem uzupełnienie danych analizowanych na podstawie pliku *Zestawienie MLC* - wynik porównania przęseł zaprezentowano na rys. 5.6.3.



Rys. 5.6.3. Porównanie długości obiektów jednoprzęsłowych według pliku *Zestawienie MLC* z rozpiętością teoretyczną przęseł (do 102m) według wykazu z tab. 5.6.1.
(na rysunku pominięto 20 przęseł o rozpiętości $102 < l \leq 258$ m)

Z analizy danych *Zestawienie MLC* wynika, że wśród jednoprzęsłowych obiektów płytowych największa długość obiektu to 32 m, a obiektów belkowych – 50,97 m.

Tabela 5.6.1. Liczba prześel w podziale na przedziały rozpiętości teoretycznej
(dane otrzymane z GDDKiA w dniu 31 października 2012 r.)

Przedziały rozpiętości [m]	Liczba prześel w danym przedziale rozpiętości teoretycznej	Przedziały rozpiętości [m]	Liczba prześel w danym przedziale rozpiętości teoretycznej
$0 < l < 6$	591	$132 < l < 138$	2
$6 < l < 12$	1833	$138 < l < 144$	3
$12 < l < 18$	2993	$144 < l < 150$	
$18 < l < 24$	1803	$150 < l < 156$	
$24 < l < 30$	748	$156 < l < 162$	
$30 < l < 36$	412	$162 < l < 168$	1
$36 < l < 42$	433	$168 < l < 174$	
$42 < l < 48$	166	$174 < l < 180$	
$48 < l < 54$	107	$180 < l < 186$	
$54 < l < 60$	106	$186 < l < 192$	
$60 < l < 66$	39	$192 < l < 198$	
$66 < l < 72$	23	$198 < l < 204$	
$72 < l < 78$	41	$204 < l < 210$	
$78 < l < 84$	28	$210 < l < 216$	1
$84 < l < 90$	11	$216 < l < 222$	
$90 < l < 96$	20	$222 < l < 228$	
$96 < l < 102$	25	$228 < l < 234$	
$102 < l < 108$	5	$234 < l < 240$	
$108 < l < 114$	1	$240 < l < 246$	
$114 < l < 120$		$246 < l < 252$	
$120 < l < 126$	2	$252 < l < 258$	4
$126 < l < 132$	2		

5.6.2. Szerokość obiektu

Kolejnym parametrem geometrycznym niezbędnym przy ocenie nośności obiektu mostowego jest szerokość użytkowa obiektu, która determinuje liczbę pasów ruchu na obiekcie.

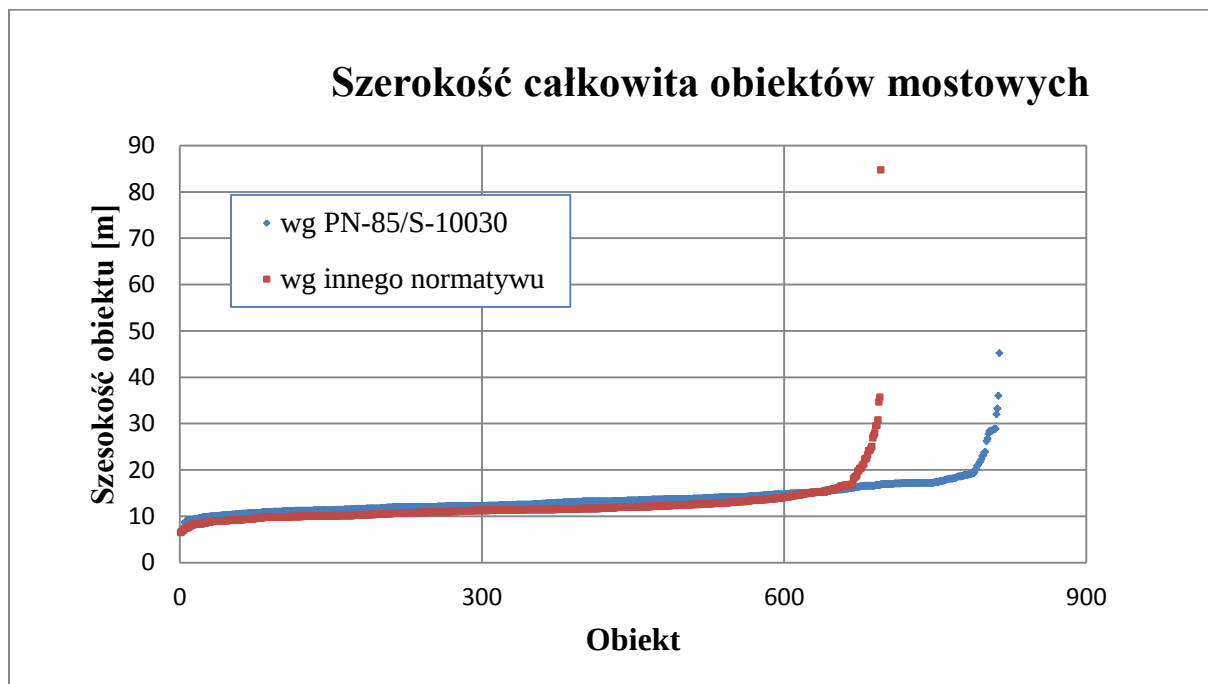
W zestawieniach przekazanych przez GDDKiA są podane dwa rodzaje szerokości:

- „szerokość” będąca szerokością całkowitą obiektu (rys. 5.6.4a. i rys. 5.6.4.b),

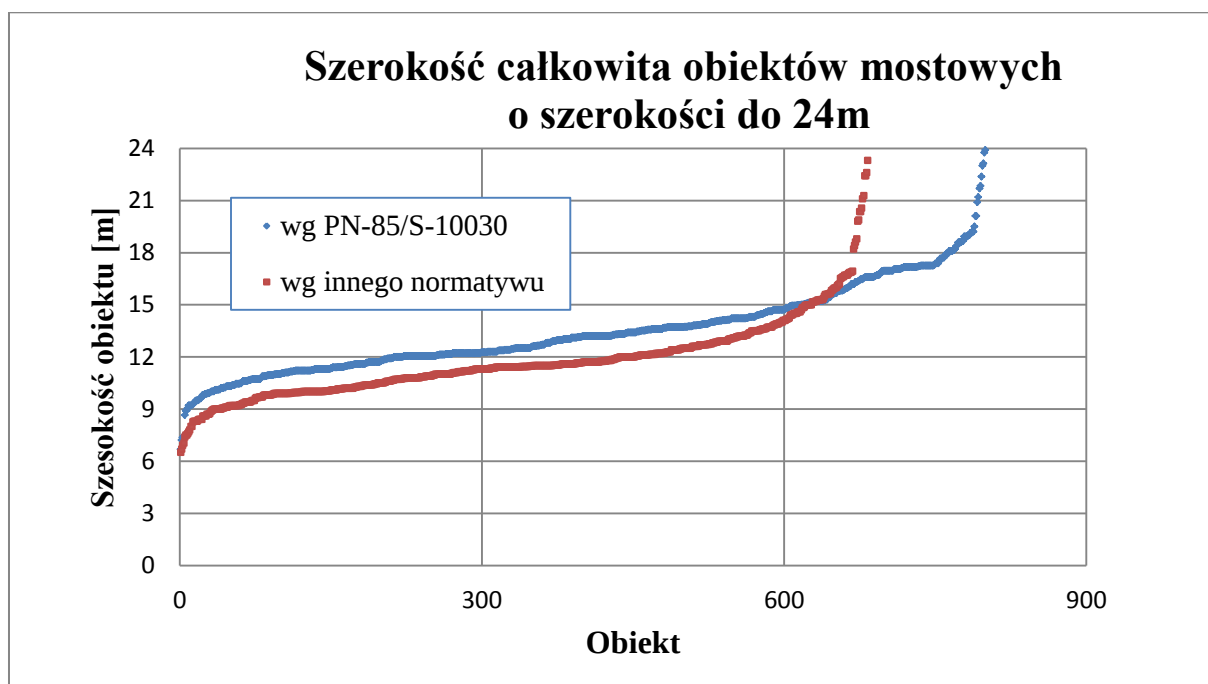
- „szerokość skrajni drogi na obiekcie”, która w wypadku niektórych obiektów jest podana jako wartość większa niż szerokość całkowita lub jako wartość „bez ograniczeń” (takie obiekty zostały odrzucone w dalszej analizie).

W tej analizie wykorzystano dane obiektów 1511 zawartych w pliku *Zestawie MLC*:

- 814 obiektów zaprojektowanych według PN-85/S-10030,
- 697 obiektów zaprojektowanych według innego normatywu niż PN-85/S-10030.



Rys. 5.6.4a. Szerokość całkowita obiektów według pliku *Zestawienie MLC*
(obiekty uszeregowano od najmniejszej do największej szerokości)



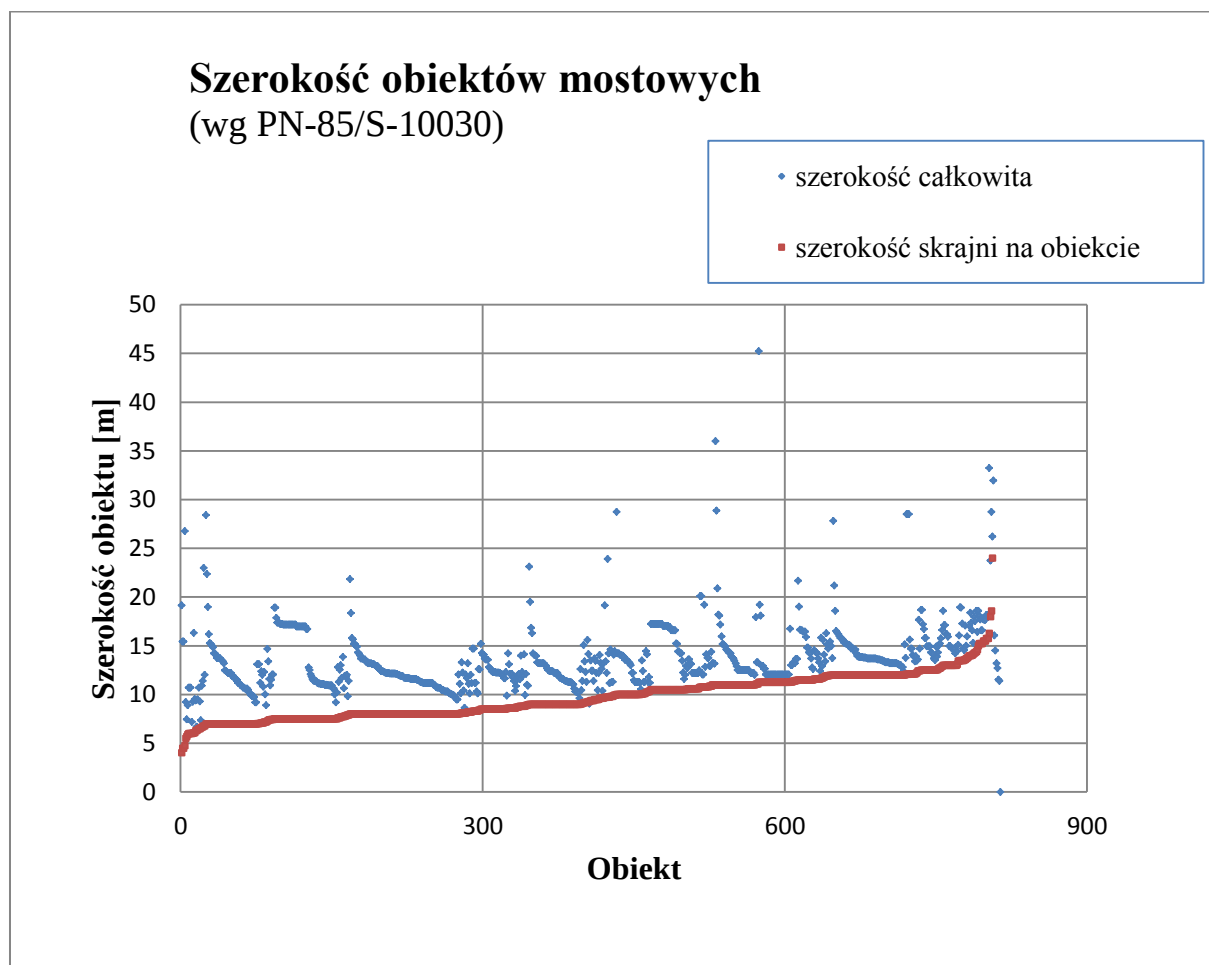
Rys. 5.6.4a. Szerokość całkowita obiektów według pliku *Zestawienie MLC*
(przedstawiono tylko obiekty o szerokości do 24m)

Na kolejnych rysunkach przedstawiono porównanie szerokości całkowitej obiektów z szerokością skrajni drogi na tych obiektach: na rys. 5.6.5. w odniesieniu do obiektów zaprojektowanych według PN-85/S-10030, a według innych normatywów - na rys. 5.6.6.

Analiza dotycząca szerokości obiektów została przeprowadzona pod kątem spełnienia warunku realizacji jednego, dwóch lub trzech pasów ruchu, zatem szerokości odpowiednio:

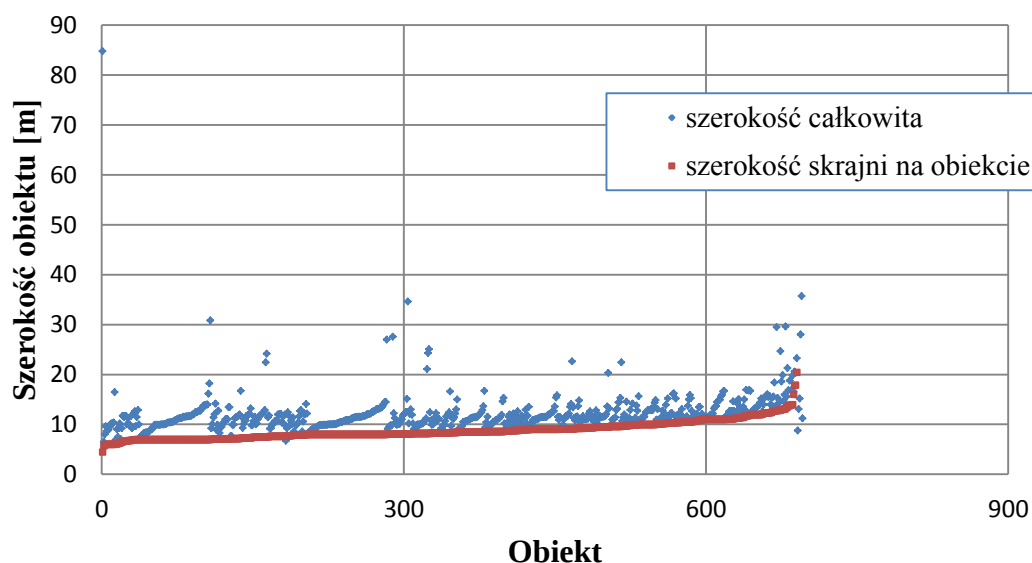
- $3,5 < b \leq 7,0$ m,
- $7,0 < b \leq 10,5$ m,
- $10,5 < b \leq 14,0$ m.

Wynik analizy przedstawiono na rys. 5.6.7.



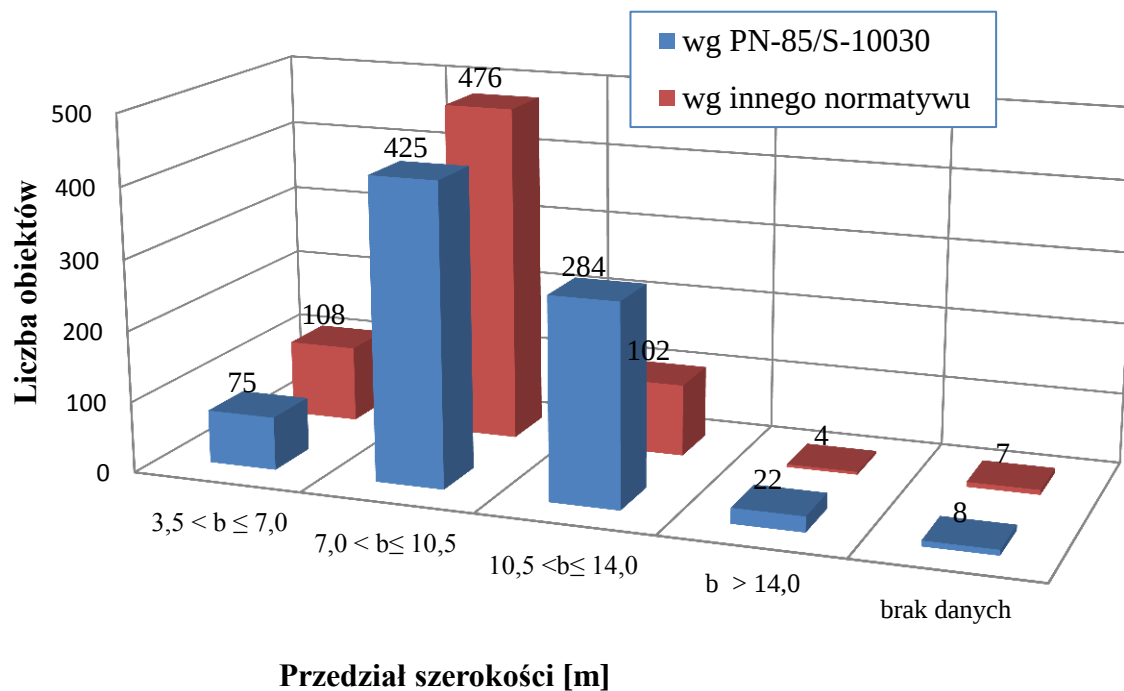
Rys. 5.6.5. Porównanie szerokości całkowitej i szerokości skrajni drogi na obiekcie (obiekty zbudowane wg PN-85/S-10030 szeregowano od najmniejszej do największej szerokości skrajni drogi na obiekcie)

Szerokość obiektów mostowych (normatyw inny niż PN-85/S-10030)



Rys. 5.6.6 Porównanie szerokości całkowitej i szerokości skrajni drogi na obiekcie (obiekty zbudowane wg normatywu innego niż PN-85/S-10030 uszeregowano od najmniejszej do największej szerokości skrajni drogi na obiekcie)

Szerokość skrajni drogi na obiekcie



Rys. 5.6.7. Szerokość skrajni drogi na obiekcie

W grupach analizowanych obiektów najczęściej występującą szerokością skrajni drogi na obiekcie jest przedział $7,0 < b \leq 10,5$ m. Stanowią one około 60% wszystkich analizowanych obiektów.

W obiektach budowanych według normy PN-85/S-10030 liczba obiektów o szerokości skrajni drogi na obiekcie mieszczącej się w przedziale $10,5 < b \leq 14,0$ m jest zdecydowanie większa niż zaprojektowanych według wcześniejszych normatywów, co oznacza, że takich obiektów będzie przybywać.

Obiektów o szerokości skrajni drogi na obiekcie większej niż 14 m jest mniej niż 2%.

5.7. Wnioski z analizy parametrów technicznych obiektów mostowych

5.7.1. Wprowadzenie

Z danych przekazanych przez GDDKiA dotyczących obiektów mostowych na drogach krajowych, 1511 obiektów miało wyznaczone obie klasy *MLC* dla pojazdów kołowych poruszających się w jednej lub w dwóch kolumnach (*k1* i *k2*). Te obiekty przyjęto do dalszej analizy. W dalszej części analizy obiekty zostały podzielone na te, które wybudowano według normy z PN-85/S-10030, i na te, które wybudowano na podstawie normatywu obowiązującego przed 1985 r.

Według normy z PN-85/S-10030 wybudowano 814 obiektów, co stanowi 54% analizowanych obiektów, a według normatywów obowiązujących przed 1985 r. - 697 obiektów, co stanowi 46% obiektów.

Ze względu na to, że ponad 99% przęseł ma rozpiętość nie przekraczającą 100 m, do dalszej analizy przyjęto rozpiętość 100 m w odniesieniu do konstrukcji mostowych, mając świadomość, że obiekty płytowe mają (z zasady) dużo mniejszą rozpiętość (np. z otrzymanych danych wynika, że największa długość płytowych obiektów jednoprzęsłowych wynosi 32 m).

5.7.2. Wnioski dotyczące obiektów mostowych zbudowanych według normy PN-85/S-10030

1) Podział procentowy obiektów mostowych ze względu na schemat statyczny konstrukcji jest następujący:

- schemat belki swobodnie podpartej – 51%,
- schemat belki ciągłej – 20%,
- schemat ramowy – 24%,
- schemat łukowy – 3%,
- schemat inny – 2%.

Najczęściej występującym schematem statycznym konstrukcji obiektów jest schemat belki swobodnie podpartej – taki schemat ma ponad połowa obiektów mostowych. Do dalszej analizy, jako reprezentatywny, zostanie przyjęty właśnie ten schemat statyczny konstrukcji. Należy wziąć pod uwagę fakt, że przy porównaniu sił wewnętrznych powstających w elementach niosących przęsła przy różnych rodzajach obciążenia, schemat statyczny konstrukcji nie odgrywa decydującej roli, tzn. stosunek sił wewnętrznych przy danych obciążeniach w belce swobodnie podpartej i np. w belce ciągłej jest zbliżony.

2) Podział procentowy obiektów mostowych ze względu na przekrój poprzeczny konstrukcji niosącej jest następujący:

- przekrój płytowy – 54%,
- przekrój belkowy – 44%,
- przekrój inny – 2%.

Do dalszej analizy, jako reprezentatywny, zostanie przyjęty zarówno płytowy, jak i belkowy przekrój poprzeczny konstrukcji.

3) Podział procentowy obiektów mostowych ze względu na szerokość jezdni na obiekcie jest następujący:

- do 7,00 m włącznie – jezdnie o co najmniej jednym pasie ruchu, która może mieć dwa pasy ruchu – 9%,
- więcej niż 7,0 m do 10,5 m – jezdnie o co najmniej dwóch pasach ruchu – 52%,
- więcej niż 10,5 m do 14,0 m – jezdnie o co najmniej trzech pasach ruchu – 35%,
- więcej niż 14,0 m – jezdnie o co najmniej trzech pasach ruchu, która może mieć więcej niż trzy pasy ruchu – 3%,
- szerokość inna – 1%.

Do dalszej analizy zostaną przyjęte obiekty o jezdni o dwóch, trzech i czterech pasach ruchu, co stanowi co najmniej 87% analizowanych obiektów.

4) Podział procentowy obiektów mostowych ze względu na klasę obciążenia według normy z PN-85/S-10030 jest następujący:

- klasa A lub I – 57%,
- klasa B lub II – 24%,
- klasa C lub III – 18%,
- klasa D – 1%.

W dalszej analizy zostaną przyjęte obiekty mostowe o klasach obciążenia od A do C.

5) Podział procentowy obiektów mostowych ze względu na klasę *MLC* przy ruchu pojazdów w jednej kolumnie jest następujący:

- co najmniej *MLC* 66 – 85%,
- mniej niż *MLC* 66 – 15%,

a przy ruchu pojazdów w dwóch kolumnach:

- co najmniej *MLC* 66 – 71%,
- mniej niż *MLC* 66 – 29%.

Klasa *MLC* 66 została wybrana ze względu na możliwość jej skorelowania z masą 60 t pojazdu i ta klasa *MLC* zostanie wykorzystana przy analizie możliwości poruszania się pojazdów o masie do 60 t.

5.7.3. Wnioski dotyczące obiektów mostowych zbudowanych według normatywów obowiązujących przed 1985 r.

1) Podział procentowy obiektów mostowych ze względu na schemat statyczny konstrukcji jest następujący:

- schemat belki swobodnie podpartej – 77%,
- schemat belki ciągłej – 8%,
- schemat ramowy – 7%,
- schemat łukowy – 7%,
- schemat inny – 1%.

Najczęściej występującym schematem statycznym konstrukcji obiektów jest schemat belki swobodnie podpartej – taki schemat ma ponad $\frac{3}{4}$ obiektów mostowych wybudowanych przed 1985 r. Do dalszej analizy, jako reprezentatywny, zostanie przyjęty właśnie ten schemat statyczny konstrukcji.

2) Podział procentowy obiektów mostowych ze względu na przekrój poprzeczny konstrukcji niosącej jest następujący:

- przekrój płytowy – 57%,
- przekrój belkowy – 37%,
- przekrój inny – 6%.

Do dalszej analizy, jako reprezentatywny, zostanie przyjęty zarówno płytowy, jak i belkowy przekrój poprzeczny konstrukcji.

3) Podział procentowy obiektów mostowych ze względu na szerokość jezdni na obiekcie jest następujący:

- do 7,00 m włącznie – jezdnie o co najmniej jednym pasie ruchu, która może mieć dwa pasy ruchu – 15%,
- więcej niż 7,0 m do 10,5 m – jezdnie o co najmniej dwóch pasach ruchu – 68%,
- więcej niż 10,5 m do 14,0 m – jezdnie o co najmniej trzech pasach ruchu – 15%,
- więcej niż 14,0 m – jezdnie o co najmniej trzech pasach ruchu, która może mieć więcej niż trzy pasy ruchu – 1%,
- szerokość inna – 1%.

Do dalszej analizy zostaną przyjęte obiekty o jezdni o dwóch, trzech i czterech pasach ruchu, co stanowi co najmniej 83% analizowanych obiektów.

4) Podział procentowy obiektów mostowych ze względu na zastosowany normatyw i klasę obciążenia jest następujący:

- normatywy wydane przed 1945 r., klasa I – 7%,
- normatyw z 1945 r., klasa I – 3%,
- normatyw z 1952 r., klasa I – 4%,
- normatyw z 1956 r., klasa I – 26%,
- normatyw z 1956 r., klasa II – 5%,
- normatyw z 1966 r., klasa I – 55%.

Ponadto podział procentowy obiektów mostowych ze względu na klasę *MLC* przy ruchu pojazdów w jednej kolumnie jest następujący:

- co najmniej *MLC* 66 – 64%,
- mniej niż *MLC* 66 – 36%,

a przy ruchu pojazdów w dwóch kolumnach:

- co najmniej *MLC* 66 – 39%,
- mniej niż *MLC* 66 – 61%.

Klasa *MLC* 66 została wybrana ze względu na możliwość jej skorelowania z masą 60 t pojazdu.

Ze względu na fakt, że nie ma prostej zależności między poszczególnymi normatywami obciążenia, a duża część obiektów mostowych wybudowanych przed 1985 r. ma wyznaczoną wojskową klasę obciążenia *MLC*, klasę tę można wykorzystać do określenia możliwości przejazdu pojazdów o masie 60 t po tych obiektach.

6. METODYKA ANALIZY DROGOWYCH OBIEKTÓW MOSTOWYCH, OKREŚLAJĄCEJ MOŻLIWOŚĆ BEZPIECZNEGO PRZEJAZDU PO OBIEKTACH POJAZDÓW O RZECZYWISTEJ MASIE CAŁKOWITEJ NIE WIĘKSZEJ NIŻ 60 TON

6.1. Podstawowa zasada przy wyznaczaniu bezpiecznego przejazdu po obiektach mostowych pojazdów o rzeczywistej masie całkowitej nie większej niż 60 t

6.1.1. Wprowadzenie

W niniejszej opracowaniu pojazdem o rzeczywistej masie całkowitej nie większej niż 60 t będzie nienormatywny pojazd sześćoosiowy o nacisku osi równym 10 t i rzeczywistej masie całkowitej równej 60 t., który – na podstawie danych przekazanych przez GDDKiA pismem z dnia 12 sierpnia 2012 r. - otrzymał zezwolenie na przejazd po obiektach mostowych. Pojazd taki zwany dalej będzie „pojazdem ciężkim”.

Podstawową zasadą stosowaną w opracowaniu jest wzajemne porównanie sił wewnętrznych w elementach nośnych konstrukcji, powstających przy obciążeniach zmiennych – normatywnych i eksploatacyjnych, z udziałem pojazdów ciężkich. Biorąc powyższe pod uwagę, **bezpieczny przejazd pojazdów ciężkich po obiekcie mostowym jest możliwy, jeżeli wywołuje w elementach niosących konstrukcji mostowej siły wewnętrzne nie przekraczające sił wywołanych obciążaniem normatywnym jezdni.**

Przyjęto, że obciążeniem normatywnym może być obciążenie według obowiązującej normy obciążeń PN-85/S-10030 [6] lub według umowy standaryzacyjnej NATO – STANAG 2021 [5], przy czym:

- według normy PN-85/S-10030 – w odniesieniu do obiektów mostowych zaprojektowanych na tę normę,
- według umowy standaryzacyjnej STANAG-2021 - w odniesieniu do obiektów mostowych zaprojektowanych na normę wcześniej wydaną niż norma PN-85/S-10030.

6.1.2. Obiekty mostowe zaprojektowane według normy PN-85/S-10030 z 1985 r.

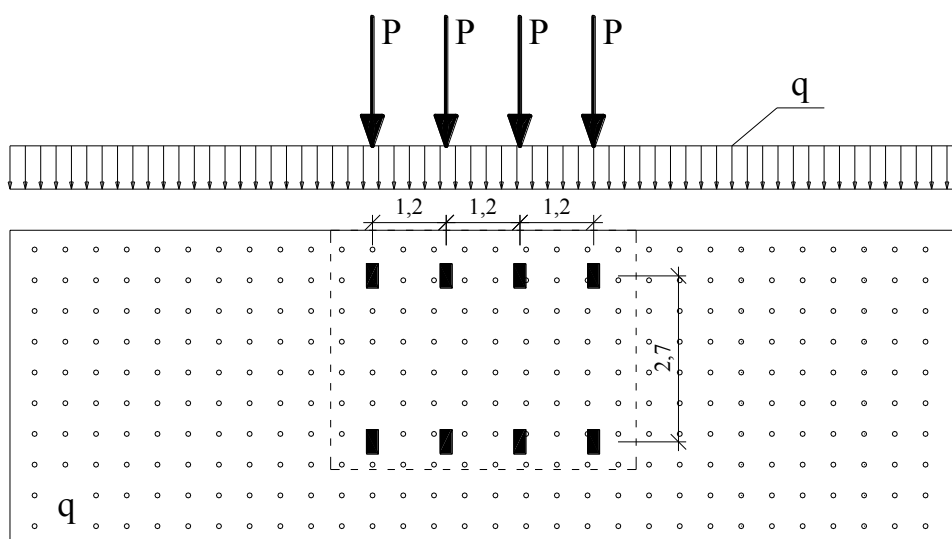
Dokumentacja projektowa każdego obiektu mostowego zawiera obliczenia statyczno-wytrzymałościowe wykonane na podstawie obciążenia przyjętego przez projektanta według obowiązującej normy obciążeń. Jest to tzw. obciążenie projektowe. Ze względu na to, że każdy obiekt mostowy jest projektowany na przenoszenie obciążenia użytkowego przez co najmniej kilkadziesiąt lat, w opracowaniu przyjęto, że obiekt może bezpiecznie przenosić obciążenie projektowe w zakładanym okresie użytkowania oraz, że właśnie w tym okresie występuje przejazd po nim pojazdów ciężkich.

Obciążenie ruchome jezdni według normy PN-85/S-10030 stanowi obciążenie K w postaci sił skupionych i obciążenie q równomiernie rozłożone. Z uwagi na to, że zgodnie z Dyrektywą [1] jednostką ciężaru pojazdu i nacisku osi jest tona, wartości obciążeń według normy wyrażono w tonach, przyjmując, że jedna tona odpowiada 10 kiloniutonom (według [1] jest to 9,8 kN). Wartości obciążeń podano w tablicy 6.1.

Tablica 6.1. Wartości obciążeń w odniesieniu do poszczególnych klas obciążenia

Klasa obciążenia	Obciążenie q [t/m ²]	Obciążenie K [t]	Nacisk osi obciążenia K [t]
<i>A</i>	0,40	80	20
<i>B</i>	0,30	60	15
<i>C</i>	0,20	40	10
<i>D</i>	0,16	32	8
<i>E</i>	0,12	24	6

Na obiekcie może znajdować się jedno obciążenie K . Obciążenie to składa się z czterech osi, przy czym odległość między osiami wynosi 1,20 m, a rozstaw kół – 2,70 m. W obiektach z jezdnią z krawężnikami, odległość osi obciążenia K od krawężnika jest nie mniejsza niż 2,00 m, a w obiektach z jezdnią bezkrawężnikową – 2,50 m od bariery ochronnej lub balustrady. Schemat obciążenia jezdni przy projektowaniu głównych elementów obiektu pokazano na rys. 6.1.



Rys. 6.1. Schemat obciążenia jezdni

W opracowaniu przyjęto, że odległość osi obciążenia K od krawędzi jezdni wynosi 2,00 m, a obciążenie q jest równomiernie rozłożone na jezdni na dodatniej gałęzi linii wpływu.

Przy porównywaniu obciążenia pojazdami ciężkimi i obciążenia projektowego jezdni według normy PN-85/S-10030 powinien być spełniony warunek, że wartość siły wewnętrznej w nośnym elemencie konstrukcji obiektu, wywołana obciążeniem pojazdami ciężkimi, nie może przekroczyć wartości siły przyjętej przez projektanta przy obciążeniu projektowym.

Warunek ten, w odniesieniu do elementu nośnego konstrukcji obiektu, można zapisać w postaci nierówności:

$$F_{60} \cdot \varphi + F_{40} \cdot \varphi + F_p \leq F_K \cdot \varphi + F_q, \quad (6.1.)$$

w której przyjęto następujące oznaczenia:

F_{60} – siła wewnętrzna przy obciążeniu pojazdem o rzeczywistej masie całkowitej równej 60 t, wywołującym efekt dynamiczny;

F_{40} – siła wewnętrzna przy obciążeniu pojazdem dopuszczonym do ruchu bez ograniczeń o rzeczywistej masie całkowitej równej 40 t, wywołującym efekt dynamiczny;

φ – współczynnik dynamiczny przy obciążeniu pojazdami biorącymi udział w obciążeniu eksploatacyjnym, równy normowemu współczynnikowi dynamicznemu;

F_p – siła wewnętrzna przy obciążaniu eksploatacyjnym równomiernie rozłożonym, w którym efekt dynamiczny jest uwzględniony w wartości obciążenia;

F_K – siła wewnętrzna przy obciążeniu normowym siłami skupionymi K , które wywołuje efekt dynamiczny;

φ – normowy współczynnik dynamiczny;

F_q – siła wewnętrzna przy obciążaniu normowym równomiernie rozłożonym, w którym efekt dynamiczny jest uwzględniony w wartości obciążenia.

Do wyznaczania bezpiecznego przejazdu pojazdów ciężkich po obiektach mostowych przyjęto ruchome obciążenie projektowe jako charakterystyczne. Taki sposób podejścia do porównywania obciążeń zastosowano przy określaniu nośności użytkowej drogowych obiektów mostowych [4].

6.1.3. Obiekty mostowe zaprojektowane według norm wydanych przed 1985 r., dla których wyznaczono wojskową klasę obciążenia *MLC*

6.1.3.1. Obciążanie pojazdami wojskowymi o danej klasie *MLC*

Wojskowa klasa obciążenia *MLC* obiektów mostowych jest obliczana na podstawie umowy standaryzacyjnej STANAG 2021 [5]. W umowie standaryzacyjnej belkę swobodnie podpartą obciążono hipotetycznymi pojazdami kołowymi, przedstawiając osie tych pojazdów w postaci sił skupionych. Należy zauważyć, że jeżeli w umowie dana oś pojazdu kołowego była modelowana jako pojedyncza siła skupiona, to szerokość pojazdu nie miała wpływu na wartość siły wewnętrznej w belce. W niniejszym opracowaniu, podobnie jak w umowie standaryzacyjnej, przyjęto, że oś pojazdu kołowego będzie modelowana jako pojedyncza siła skupiona, usytuowana w osi pojazdu.

Zgodnie z umową standaryzacyjną [5] parametrami technicznymi dotyczącymi obciążenia hipotetycznym pojazdem kołowym są:

m_w - masa całkowita pojazdu [t],

p_m - nacisk pojedynczej osi pojazdu [t],

p_w - nacisk osi pojazdu, z numerem odpowiedniej osi od 1 do 5 [t],

p_R - nacisk koła pojazdu [t].

W tablicy 6.2. zestawiono, w odniesieniu do każdej klasy standardowej *MLC*, parametry hipotetycznych pojazdów kołowych. Przy *MLC* 4 i *MLC* 8 pojazd jest dwuosiowy, od *MLC* 12 do *MLC* 50 – ma 3 osie, a od *MLC* 60 do *MLC* 150 – 4 osie. Nacisk osi drugiej i trzeciej jest taki sam, podobnie jak nacisk osi czwartej i piątej.

Tablica 6.2. Parametry techniczne hipotetycznych pojazdów kołowych

Klasa <i>MLC</i>	Parametry techniczne dotyczące obciążenia						
	p_{W1}	p_{W2} i p_{W3}	p_{W4}	p_{W5}	m_W	p_m	p_R
	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
4	0,91	1,59			4,09	2,27	1,13
8	2,72	2,72			8,16	4,99	2,49
12	2,72	4,54	1,81		13,61	7,26	3,63
16	2,72	5,90	2,27		16,79	8,62	4,31
20	3,63	7,71	2,72		21,77	9,98	4,99
24	4,54	9,07	2,72		25,40	10,89	5,44
30	5,44	9,98	5,44		30,84	13,15	6,57
40	6,35	11,79	12,70		42,63	15,42	7,71
50	7,26	13,61	18,14		52,62	18,14	9,07
60	7,26	16,33	11,79	11,79	63,50	20,86	9,07
70	9,52	19,05	12,70	12,70	73,02	23,13	9,07
80	10,89	21,77	14,51	14,51	83,45	25,40	9,07
90	12,25	24,49	16,33	16,33	93,89	27,21	9,07
100	13,61	27,22	18,14	18,14	104,33	29,03	9,07
120	16,33	32,66	21,77	21,77	125,19	32,66	9,07
150	19,96	38,10	29,03	29,03	154,22	38,10	9,52

Zgodnie z zapisami punktu 8g umowy standaryzacyjnej [5], pojazdy wojskowe poruszają się po obiektach mostowych w kolumnie, w odstępach co 30,50 m między punktami styku pojazdów z podłożem. Zgodnie z zapisami punktu 8h umowy standaryzacyjnej, na obiekcie mostowym może znajdować się jedna lub, co najwyżej, dwie kolumny pojazdów. Najmniejszy odstęp między punktami styku pojazdów usytuowanych obok siebie na obiekcie może wynosić 0,50 m (pkt 8g). Na obiektach o jezdni węższej niż 5,50 m może znajdować się tylko jedna kolumna (pkt 8h).

Biorąc pod uwagę rzeczywistą szerokość jezdni obiektów mostowych oraz szerokość pojazdów dopuszczonych do ruchu po drogach w krajach członkowskich UE nie przekraczającą 2,6 m przyjęto, że:

- jeżeli szerokość jezdni jest nie mniejsza niż 5,50 m - to pojazdy wojskowe mogą być usytuowane w dwóch kolumnach;
- jeżeli pojazdy są usytuowane w jednej kolumnie, to oś kolumny jest oddalona o 1,50 m od krawężnika lub bariery ochronnej;
- jeżeli pojazdy wojskowe są usytuowane w dwóch kolumnach, to oś pierwszej kolumny jest usytuowana tak, jak w wypadku usytuowania na jezdni jednej kolumny, natomiast oś drugiej kolumny tak, że odstęp osiowy między kolumnami wynosi $\frac{3}{4}$ szerokości jezdni, pomniejszonej o 1,50 m.

Przyjęte zasady usytuowania pojazdów wojskowych w przekroju poprzecznym obiektów mostowych można scharakteryzować następująco - usytuowanie pierwszej kolumny pojazdów wywołuje maksymalne siły wewnętrzne w skrajnym dźwigarze lub skrajnym paśmie płytowym, natomiast usytuowanie drugiej kolumny jest zależne od szerokości jezdni na obiekcie.

6.1.3.2. Wojskowa klasa obciążenia *MLC*

Zgodnie z zapisami umowy obiekt mostowy o jezdni z co najmniej dwoma pasami ruchu powinien mieć wyznaczone 4 klasy obciążenia:

- dwie ze względu na przejazd pojazdów gąsienicowych, które mogą poruszać się w jednej lub w dwóch kolumnach,
- dwie ze względu na przejazd pojazdów kołowych, które mogą poruszać się w jednej lub w dwóch kolumnach.

Z uwagi na fakt, że metodzie przyjętej przy wyznaczaniu klasy *MLC* obiektów mostowych jest spełniony warunek, że wartość siły wewnętrznej w nośnym elemencie konstrukcji obiektu, wywołana obciążeniem pojazdami wojskowymi nie może przekroczyć wartości siły przyjętej przez projektanta [3], w niniejszym opracowaniu będzie wykorzystana już wyznaczona klasa *MLC* obiektu mostowego.

W odniesieniu do obiektów mostowych zaprojektowanych na normę wcześniej wydaną niż norma PN-85/S-10030, bezpieczny przejazd pojazdów ciężkich jest możliwy po warunku, że klasa *MLC* pojazdu ciężkiego nie przekracza klasy *MLC* obiektu mostowego, wyznaczonej ze względu na przejazd pojazdów kołowych, w jednej lub w dwóch kolumnach.

6.2. Założenia dotyczące obiektów mostowych

W opracowaniu przyjęto następujące założenia dotyczące obiektów mostowych:

1) w odniesieniu do schematu statycznego konstrukcji obiektu:

Przyjęto, że analiza możliwości poruszania się pojazdów o masie do 60 t będzie przeprowadzona w odniesieniu do obiektów mostowych o schemacie statycznym belki swobodnie podpartej (uzasadnienie - patrz: pkt 1) 5.7.2. i 5.7.3.).

2) w odniesieniu do zasadniczych części nośnych konstrukcji obiektu:

Każdy obiekt mostowy składa się z dwóch zasadniczych części – przęsła i podpór. Podpory z zasady są projektowane z wyższym globalnym współczynnikiem bezpieczeństwa niż przęsła. Wynika to przede wszystkim z wyższego stopnia nieprzewidywalności warunków posadowienia i obciążenia podpór w stosunku do podparcia i obciążenia przęseł (przy projektowaniu podpór są uwzględniane m.in. takie obciążenia, jak uderzenia w podporę rzeczną kry lub statków, a w podporę lądową – pojazdów). Jeżeli stan techniczny podpór jest nie gorszy niż przęseł, to przy wyznaczaniu przejazdu pojazdów ciężkich po obiektach mostowych może być brana pod uwagę tylko konstrukcja przęsła.

Mając powyższe na względzie przyjęto, że przy wyznaczaniu bezpiecznego przejazdu po obiektach mostowych będzie brana pod uwagę tylko konstrukcja przęsła (to podejście jest zgodne z zapisami punktu 9c umowy standaryzacyjnej [5]).

3) w odniesieniu do maksymalnej rozpiętości przęsła:

Przyjęto, że będą analizowane przęsła o rozpiętości nie przekraczającej 100 m (to podejście jest zgodne z zapisami punktu 5a umowy standaryzacyjnej [5]). Należy mieć na uwadze, że określona na potrzeby niniejszego opracowania maksymalna rozpiętość przęsła w praktyce

dotyczy przęseł o konstrukcji belkowej, gdyż przęsła o konstrukcji płytowej mają z zasady zdecydowanie mniejszą rozpiętość (patrz również pkt 5.7.1.).

4) w odniesieniu do szerokości jezdni na obiekcie mostowym:

W opracowaniu przyjęto pas ruchu o szerokości 3,50 m, a szerokość jezdni równą krotności szerokości pasa. W obliczeniach przyjęto, że szerokość jezdni analizowanego obiektu mostowego może mieć szerokość b równą 7,0 m - jezdnie o dwóch pasach ruchu, 10,5 m - jezdnie o trzech pasach lub 14,0 m - jezdnie o czterech pasach (uzasadnienie - patrz: pkt 3) 5.7.2. i 5.7.3.).

5) w odniesieniu do przekroju poprzecznego przęsła:

Na podstawie analizy przekroju poprzecznego przęsła obiektów mostowych w sieci dróg publicznych w Polsce przyjęto, że należy uwzględnić dwa najczęściej występujące typy przekroju poprzecznego przęsła: płytowy i belkowy (uzasadnienie - patrz: pkt 2) 5.7.2. i 5.7.3.).

W odniesieniu do tych przekrojów poprzecznych przęsła zostanie wykonana analiza rozdziału obciążenia przęsła. W przęsłach belkowych analiza rozdziału poprzecznego obciążenia zostanie wykonana w odniesieniu do liczby belek n równej: 2, 4, 6 i 12. Liczba umownych pasm płytowych o szerokości 1 m jest zależna od szerokości jezdni.

6) w odniesieniu do elementu nośnego konstrukcji przęsła:

Podobnie jak w metodzie RYM-IBDiM oraz MILORY przyjęto, że przy obciążeniu normowym, najbardziej przeciążonym elementem nośnym w przęśle belkowym jest zazwyczaj skrajny dźwigar (decyduje wzajemne usytuowanie osi skrajnego dźwigara i skraju jezdni), a w przęśle płytowym - skrajne umowne pasmo płytowe. Tak więc przyjęto, że przy wyznaczaniu możliwości przejazdu pojazdów ciężkich elementem nośnym konstrukcji przęsła obiektu mostowego może być: skrajny dźwigar - w przęsłach belkowych lub skrajne umowne pasmo płytowe - w przęsłach płytowych.

6.3. Założenia wynikające z ogólnych zasad naukowo-technicznych

W opracowaniu przyjęto następujące założenia, wynikające z zasad naukowo-technicznych:

1) w odniesieniu do rodzaju sił wewnętrznych w elemencie nośnym konstrukcji przęsła:

W przęsłach obiektów mostowych o schemacie statycznym belki, siłami wewnętrznymi w elementach nośnych konstrukcji, zazwyczaj decydującymi o wytrzymałości przekroju są: moment zginający i siła poprzeczna. Przyjęcie tego rodzaju sił wewnętrznych do analizy jest poprawne z technicznego punktu widzenia, gdyż inny rodzaj sił, np. takich, jak momenty skręcające, zazwyczaj nie odgrywa decydującej roli przy wymiarowaniu przyjętych w opracowaniu elementów nośnych. Tak więc przyjęto, że siłami wewnętrznymi w elementach nośnych konstrukcji przęsła obiektu mostowego są: moment zginający i siła poprzeczna.

To podejście jest zgodne z zapisami punktu 5a umowy standaryzacyjnej [5] - w załączniku do umowy podano wartości sił wewnętrznych w przęśle mostowym - momentu zginającego i siły poprzecznej - potraktowanym jak belka swobodnie podparta obciążona pojazdami wojskowymi.

W umowie standaryzacyjnej NATO [5] w belce swobodnie podpartej o rozpiętości od 1 m do 100 m obliczono największe momenty zginające i siły poprzeczne wywołane obciążeniem pojazdami hipotetycznych. W celu uproszczenia przedstawiania momentów zginających na

wykresach, ich wartości podzielono przez odpowiednią rozpiętość przęsła i nazwano „jednostkowymi momentami zginającymi”. W opracowaniu zastosowano taką samą zasadę obliczania sił wewnętrznych.

2) *w odniesieniu do metod rozdziału poprzecznego obciążenia:*

Przyjęto, że rozdział poprzeczny obciążenia w przęsłach belkowych zostanie przeprowadzony metodą sztywnej poprzecznicy, a w przęsłach płytowych – metodą szeregów sinusowych. Metoda sztywnej poprzecznicy jest już stosowana przy wyznaczaniu nośności użytkowej i wyznaczania klasy MLC obiektów mostowych. Natomiast metoda szeregów sinusowych dobrze odzwierciedla rzeczywisty rozdział poprzeczny obciążenia w przęsłach płytowych.

3) *w odniesieniu do współczynnika dynamicznego przy obciążeniu przęsła:*

Ze względu na bezpieczeństwo konstrukcji przyjęto, że przejazd pojazdów po danym obiekcie mostowym odbywa się ze współczynnikiem dynamicznym o wartości obliczonej na podstawie normy PN-85/S-10030 [6].

6.4. Obciążenie eksploatacyjne

6.4.1. Parametry techniczne pojazdów

Ze względu na fakt, że głównym problemem przy przejeździe pojazdów ciężkich (o masie do 60 t) po obiektach mostowych jest przejazd pojazdów o masie równej 60 t, taki pojazd został przyjęty do obliczeń przy wykonywaniu analizy. Tak więc jako **pojazd ciężki przyjęto pojazd o masie 60 t**. Parametry techniczne analizowanego pojazdu podano w tablicy 6.3.

W tablicy podano również rozstaw osi pojazdu przyjęty do obliczeń. Przyjęty rozstaw osi w największym stopniu odpowiada rozstawowi skrajnych osi pojazdu rzeczywistego (należy wziąć pod uwagę, że pojazd rzeczywisty nie jest pojazdem modelowym, natomiast jego parametry techniczne są ekstremalne przy przyjmowaniu obciążenia).

Tablica 6.3. Parametry techniczne pojazdu ciężkiego

Oznaczenie	Masa	Naciski osi	Rzeczywisty rozstaw osi	Przyjęty do obliczeń rozstaw osi
	[t]	[t]	[m]	[m]
NN60	60	6×10	1,37×2+2,85+1,27×2=8,33	5×1,7=8,50

W tablicy przyjęto następujące oznaczenia:

NN60 – pojazd nienormatywny o masie 60 t dopuszczony do ruchu na mocy zezwoleń V lub VI kategorii

Przyjęty rozstaw osi pojazdu daje zwiększone do 10% siły wewnętrzne w stosunku do pojazdu rzeczywistego przy rozpiętości przęsła do 6 m. Powyżej tej rozpiętości przęsła różnica sił wewnętrznych wywołanych obciążeniem obu pojazdów gwałtownie maleje.

Jako **pojazd normatywny**, oznaczony w części I opracowania 40N, **przyjęto pojazd członowy, stanowiący zestawienie dwuosiowego ciągnika siodłowego** (marki Mercedes-Benz) **z trzyosiową naczepą podlogową** (marki Schwarzmüller). W takim pojeździe jest następujący

rozstaw osi: 3,60 m, 5,75 m i $2 \times 1,31$ m. Przy równomiernie rozłożonym ładunku równym 25,4 t, naciski poszczególnych osi wynoszą odpowiednio: 6,5 t, 11,0 t i $3 \times 7,5$ t. Przyjęto pojazd członowy o parametrach, jak w rozporządzeniu [2] - jego masa całkowita wynosi 40 t, a długość całkowita - 16,50 m.

Oś pojazdu stanowiącego obciążenie eksploatacyjne, podobnie jak normowego obciążenia K i wojskowego pojazdu kołowego, jest modelowana jako pojedyncza siła skupiona usytuowana w osi pojazdu. Taki sposób obciążania zastosowano zarówno przy wyznaczaniu wojskowej klasy *MLC* obiektów mostowych [3], jak i nośności użytkowej drogowych obiektów mostowych [4]. Obciążenie pojazdem jest usytuowane tak, że oś pojazdu pokrywa się z osią pasa ruchu.

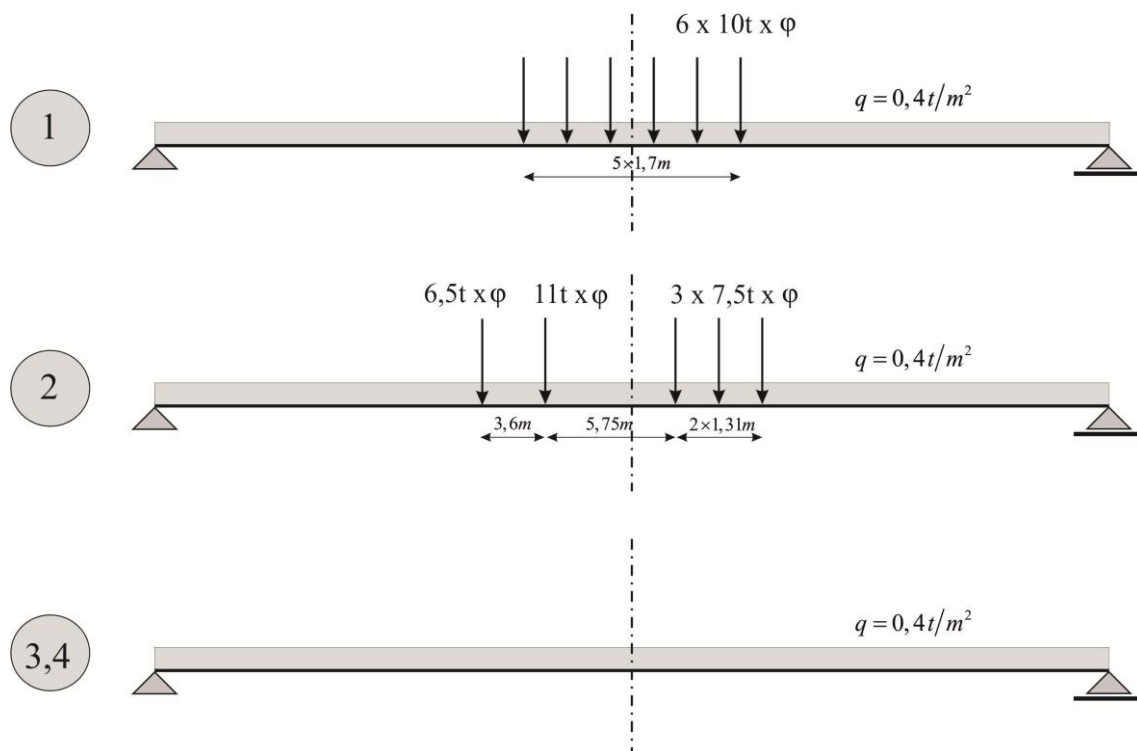
6.4.2. Obciążenie poszczególnych pasów ruchu

Przyjęto 3 schematy obciążenia eksploatacyjnego:

Schemat nr 1:

- pierwszy pas ruchu jest obciążony pojazdem o masie 60 t, wywołującym efekt dynamiczny,
- drugi pas ruchu jest obciążony pojazdem o masie 40 t, wywołującym efekt dynamiczny,
- wszystkie pasy ruchu, w tym pierwszy i drugi pas ruchu, są obciążone obciążeniem równomiernie rozłożonym równym $0,4 \text{ t/m}^2$, w którym efekt dynamiczny jest uwzględniony w wartości obciążenia.

Taki schemat obciążenia eksploatacyjnego oznacza, że po obiekcie odbywa się ruch pojazdów bez żadnych ograniczeń. Schemat nr 1 obciążenia eksploatacyjnego w przekroju podłużnym pokazano na rys. 6.2.

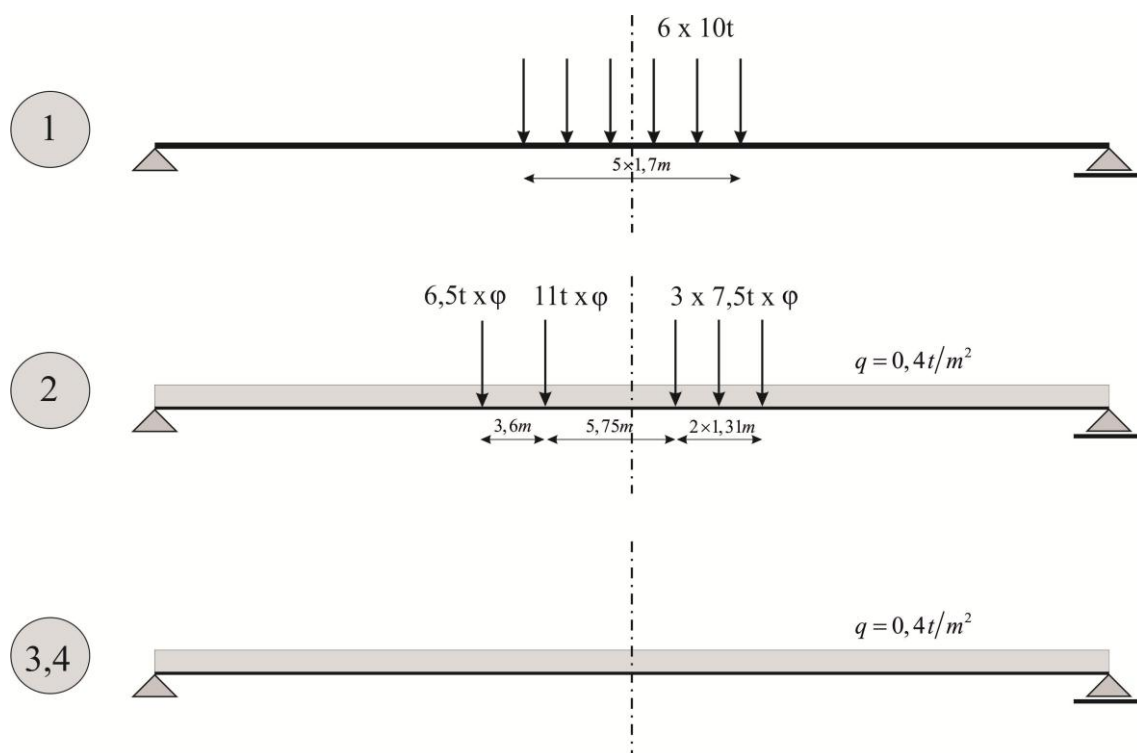


Rys. 6.2. Schemat nr 1 obciążenia eksploatacyjnego na poszczególnych pasach ruchu
(widok z boku)

Schemat nr 2:

- pierwszy pas ruchu jest obciążony pojazdem o masie 60 t, nie wywołującym efektu dynamicznego,
- drugi pas ruchu jest obciążony pojazdem o masie 40 t, wywołującym efekt dynamiczny,
- drugi, trzeci i czwarty pas ruchu, jeśli są, są obciążone obciążeniem równomiernie rozłożonym równym $0,4 \text{ t/m}^2$, w którym efekt dynamiczny jest uwzględniony w wartości obciążenia.

Taki schemat obciążenia eksploatacyjnego oznacza, że na obiekcie mostowym po pasie ruchu, po którym porusza się pojazd o masie 60 t z prędkością ograniczoną do 10 km/h nie odbywa się ruch innych pojazdów, natomiast po pozostałych pasach odbywa się ruch pojazdów bez dodatkowych ograniczeń. Schemat nr 2 obciążenia eksploatacyjnego w przekroju podłużnym pokazano na rys. 6.3.

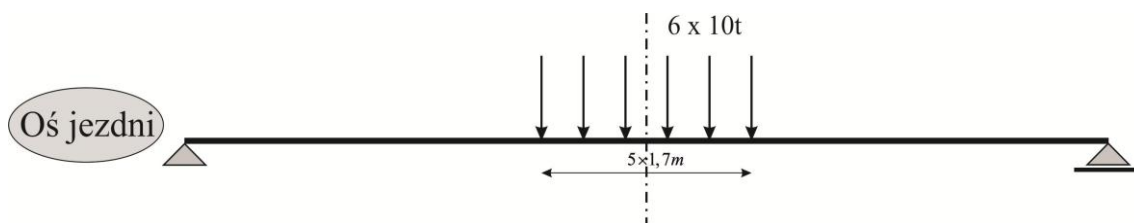


Rys. 6.3. Schemat nr 2 obciążenia eksploatacyjnego na poszczególnych pasach ruchu
(widok z boku)

Schemat nr 3:

- pojazd o masie 60 t porusza się w osi jezdni.

Taki schemat obciążenia eksploatacyjnego oznacza, że na obiekcie mostowym w osi jezdni porusza się pojazd o masie 60 t z prędkością ograniczoną do 10 km/h i nie ma żadnego innego ruchu pojazdów. Schemat nr 3 obciążenia eksploatacyjnego w przekroju podłużnym pokazano na rys. 6.4.



Rys. 6.4. Schemat nr 3 obciążenia eksploatacyjnego w osi jezdni
(widok z boku)

Jako **obciążanie równomiernie rozłożone** przyjęto **obciążenie równe $0,4 \text{ t/m}^2$** . Jest to obciążanie równe obciążeniu normowemu równomiernie rozłożonemu klasy A według normy PN-85/S-10030 [6], w którym efekt dynamiczny jest już uwzględniony w wartości obciążenia.

Bibliografia do rozdziału 6

- [1] Dyrektywa Rady 96/53/WE z dnia 25 lipca 1996 r. ustanawiająca dla niektórych pojazdów drogowych poruszających się na terytorium Wspólnoty maksymalne dopuszczalne wymiary w ruchu krajowym i międzynarodowym oraz maksymalne dopuszczalne obciążenie w ruchu międzynarodowym (Dz. Urz. WE L 235 z 17.09.1996, z późn. zm.).
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz. U. z 2003 r. Nr 32, poz. 262, z późn. zm.).
- [3] Zarządzenie nr 38 Ministra Infrastruktury dnia 26 października 2010 r. w sprawie wyznaczania wojskowej klasyfikacji obciążenia obiektów mostowych usytuowanych w ciągach dróg publicznych.
- [4] Zarządzenie nr 17 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 1 czerwca 2004 r. w sprawie wprowadzenia do stosowania „Instrukcji do określania nośności użytkowej drogowych obiektów mostowych”.
- [5] STANAG 2021: *Military Load Classification of Bridges, Ferries, Rafts and Vehicles*. North Atlantic Treaty Organization. NATO Standardization Agency. Edition 6, 7 September 2006.
- [6] Polska Norma PN-85/S-10030: Obiekty mostowe. Obciążenia.

7. RZĘDNE LINII WPŁYWU ROZDZIAŁU POPRZECZNEGO OBCIĄŻENIA W BELKOWYCH I PŁYTOWYCH PRZESŁACH MOSTOWYCH

7.1. Usytuowanie obciążenia w przekroju poprzecznym przęsła

Przy obliczaniu rzędnych linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia w przęsle mostowym przyjęto następujące oznaczenia:

- η_n – rzędna linii wpływu w osi belki albo na skraju umownego pasma płytowego nr n , gdzie n jest liczbą belek albo umownych pasm płytowych;
- η_K – rzędna linii wpływu w osi obciążenia siłami skupionymi K , według normy PN-85/S-10030;
- η_q – rzędna linii wpływu w osi obciążenia równomiernie rozłożonego q , według normy PN-85/S-10030;
- η_{M1} – rzędna linii wpływu w osi obciążenia jedną (lub pierwszą) kolumną wojskowych pojazdów kołowych danej klasy MLC , według umowy standaryzacyjnej STANAG 2021;
- η_{M2} – rzędna linii wpływu w osi obciążenia drugą kolumną wojskowych pojazdów kołowych danej klasy MLC , według umowy standaryzacyjnej STANAG 2021;
- η_{Em} – rzędna linii wpływu w osi obciążenia eksploatacyjnego na m -tym pasie ruchu, gdzie m jest liczbą pasów ruchu na jezdni.

W niniejszym opracowaniu rzędne w osi obciążenia jedną lub dwiema kolumnami kołowych pojazdów wojskowych będą stosowane w odniesieniu do wyznaczania możliwości przejazdu pojazdów po obiektach zaprojektowanych przed 1985 r.

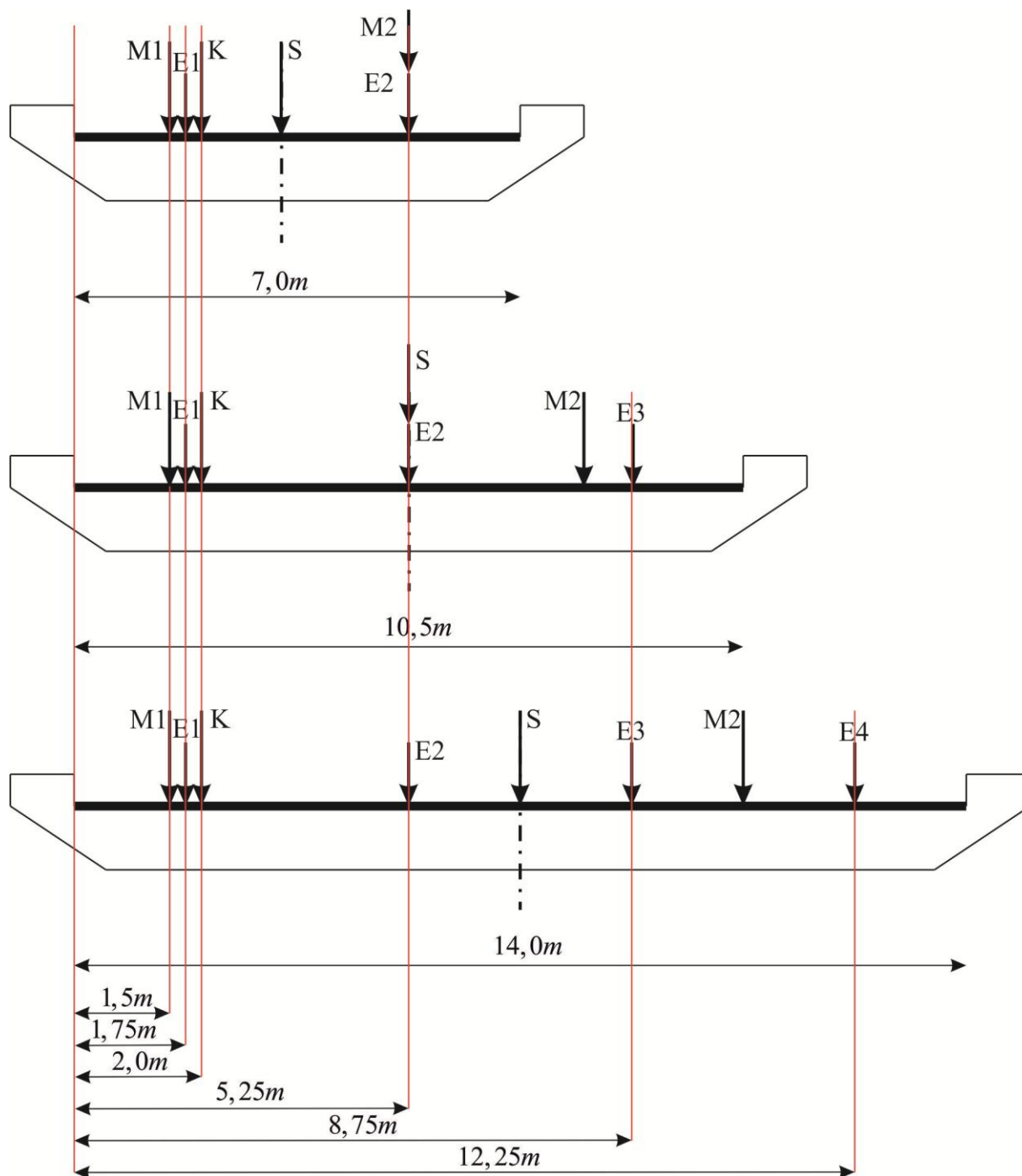
Zestawienie rzędnych linii wpływu w osi obciążenia oraz ich usytuowanie – od najbliższego do najdalszego - w odniesieniu do krawędzi jezdni:

- η_{M1} – rzędna w osi obciążenia jedną kolumną pojazdów wojskowych – **1,5 m**;
 - η_{E1} – rzędna w osi obciążenia eksploatacyjnego na pierwszym pasie ruchu – **1,75 m**;
 - η_K – rzędna w osi obciążenia siłami skupionymi K – **2,00 m**;
 - η_{E2} – rzędna w osi obciążenia eksploatacyjnego na drugim pasie ruchu – **5,25 m**;
 - η_{E3} – rzędna w osi obciążenia eksploatacyjnego na trzecim pasie ruchu – **8,75 m**;
 - η_{E4} – rzędna w osi obciążenia eksploatacyjnego na czwartym pasie ruchu – **12,25 m**;
- oraz rzędnych obciążenia, którego usytuowanie jest uzależnione od szerokości jezdni:
- η_q – rzędna w osi obciążenia równomiernie rozłożonego q na dodatniej gałęzi wpływu;
 - η_{M2} – rzędna w osi obciążenia drugą kolumną pojazdów wojskowych;
 - η_S – rzędna w osi jezdni.

Na rys. 7.1. pokazano usytuowanie osi obciążenia normowego i eksploatacyjnego w przekroju poprzecznym przęsła obiektu mostowego.

Przyjęte oznaczenia:

- $M1$ – obciążenie jedną kolumną pojazdów wojskowych;
- $M2$ – obciążenie drugą kolumną pojazdów wojskowych;
- K – obciążenie siłami skupionymi K ;
- S – obciążenie w osi jezdni;
- $E1$ – obciążenie eksploatacyjne na pierwszym pasie ruchu;
- $E2$ – obciążenie eksploatacyjne na drugim pasie ruchu;
- $E3$ – obciążenie eksploatacyjne na trzecim pasie ruchu;
- $E4$ – obciążenie eksploatacyjne na czwartym pasie ruchu.



Rys. 7.1. Usytuowanie osi obciążenia normowego i eksploatacyjnego w przekroju poprzecznym przęsła obiektu mostowego

Poniżej zostaną wyznaczone rzędne linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia skrajnej belki lub skrajnego pasma płytowego w osi belek lub na skraju pasm płytowych oraz w osi obciążenia.

7.2. Rzędne linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia w belkowych przęsłach mostowych

7.2.1. Równania do wyznaczania rzędnych linii wpływu metodą sztywnej poprzecznicy

W metodzie sztywnej poprzecznicy, znanej i stosowanej od dziesięcioleci, funkcjonuje wzór podany m.in. w [3], według którego można obliczać skrajne rzędne do wyznaczania linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia:

$$\eta_{1,n} = \frac{1}{n} \pm \frac{d_1^2}{\sum_{i=1}^n d_i^2}, \quad (7.1.)$$

w którym przyjęto następujące oznaczenia:

$\eta_{1,n}$ – rzędna linii wpływu w osi belki nr 1 lub n ,
 n – liczba belek,
 d_i – odległość od osi i -tej belki do osi przęsła [m].

Wzór jest poprawny, jeżeli:

- sztywna poprzecznica jest przegubowo oparta na belkach głównych (w tym wypadku nie jest uwzględniana sztywność skrętna belki),
- belki główne mają taką samą sztywność na zginanie.

Wyznaczone rzędne linii wpływu są funkcją zarówno liczby belek, jak i ich rozstawu. Jeżeli rozstaw belek jest taki sam, to wyznaczanie rzędnych można uprościć i uzależnić wyłącznie od liczby belek.

Równania rzędnych linii wpływu w osi skrajnej belki - nr 1 i n można zapisać następująco:

- przy parzystej liczbie belek:

$$\eta_{1,n} = \frac{1}{n} \pm \frac{0,5 \cdot (n-1)^2}{\sum_{i=1}^{n/2} (2i-1)^2} \quad (7.2.)$$

- przy nieparzystej liczbie belek:

$$\eta_{1,n} = \frac{1}{n} \pm \frac{0,125 \cdot (n-1)^2}{\sum_{i=1}^{(n-1)/2} i^2} \quad (7.3.)$$

Wyznaczanie rzędnych linii wpływu według wzorów (7.2.) i (7.3.) można w dalszym ciągu uprościć.

Równania rzędnych linii wpływu obciążenia w osi skrajnej belki można zapisać następująco:

$$\eta_1 = \frac{4 \cdot n - 2}{n^2 + n} \quad (7.4.)$$

$$\eta_n = -\frac{2 \cdot n - 4}{n^2 + n}, \quad (7.5.)$$

w których przyjęto następujące oznaczenia:

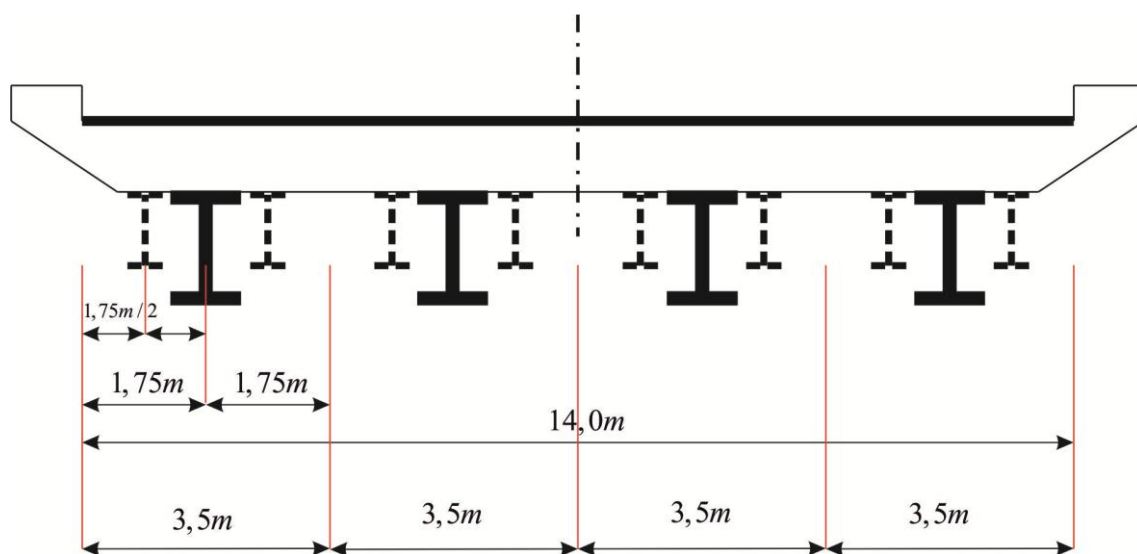
η_1 – rzędna linii wpływu w osi belki nr 1,

η_n – rzędna linii wpływu w osi belki nr n ,

n – liczba belek.

7.2.2. Rzędne linii wpływu w osi belek

Przyjęto takie rozłożenie obciążenia, że na każdą belkę przypada pasmo jezdni o takiej samej szerokości. Na przykład, jeżeli liczba belek n jest równa 4, a szerokość jezdni $b = 14,00$ m, to rozstaw osiowy skrajnych belek s wynosi 10,50 m, a jeżeli liczba belek n jest równa 8, to rozstaw osiowy skrajnych belek wynosi 12,25 m. Sposób obciążania belek pokazano na rys. 7.2.



Rys. 7.2. Sposób obciążenia przęsła belkowego

W tabelicy 7.1. zestawiono obliczone metodą sztywnej poprzeczniczy wartości rzędnych linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia skrajnej belki w osi belek.

Tablica 7.1. Wartości rzędnych linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia w osi belek

η_n	$n=2$	$n=4$	$n=6$	$n=12$
η_1	1,0000	0,7000	0,5238	0,2949
η_2	0,0000	0,4000	0,3809	0,2564
η_3	-	0,1000	0,2381	0,2180
η_4	-	-0,2000	0,0952	0,1795
η_5	-	-	-0,0476	0,1410
η_6	-	-	-0,1905	0,1026
η_7	-	-	-	0,0641
η_8	-	-	-	0,0257
η_9	-	-	-	-0,0128
η_{10}	-	-	-	-0,0513
η_{11}	-	-	-	-0,0897
η_{12}	-	-	-	-0,1282
η_S	0,5000	0,2500	0,1667	0,0833

Dodatkowe oznaczenia przyjęte w tablicy:

η_S – rzędna linii wpływu w osi wszystkich belek przy założeniu, że obciążenie jest przenoszone przez wszystkie belki jednakowo (jak przy zginaniu walcowym).

7.2.3. Rzędne linii wpływu w osi obciążenia

Rzędne linii wpływu w osi obciążenia przedstawiono w tablicy 7.2.

Dodatkowe oznaczenia przyjęte w tablicy:

b - szerokość jezdni,

b_q – szerokość pasma obciążenia równomiernie rozłożonego na dodatniej gałęzi wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia.

W tablicy 7.2. zestawiono obliczone metodą sztywnej poprzecznicy wartości rzędnych linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia skrajnej belki w osi obciążenia:

- normowego, według normy PN-85/S-10030;
- wojskowego, według umowy standaryzacyjnej STANAG 2021;
- eksploatacyjnego, przyjętego w niniejszym opracowaniu.

Tablica 7.2. Wartości rzędnych linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia w osi obciążenia

b	b_q i η_i	$n=2$	$n=4$	$n=6$	$n=12$
7,00 m	b_q	5,25 m	4,96 m	4,86 m	4,76 m
	η_K	0,9286	0,5071	0,3503	0,1823
	η_q	0,7500	0,4250	0,2976	0,1571
	η_{M1}	1,0714	0,5929	0,4116	0,2152
	η_{M2}	0	<0	<0	<0
	η_{E1}	1,0000	0,5500	0,3809	0,1987
	η_{E2}	0	<0	<0	<0
10,50 m	b_q	7,88 m	7,44 m	7,29 m	7,15 m
	η_K	1,1190	0,6214	0,4320	0,2262
	η_q	0,7500	0,4250	0,2976	0,1571
	η_{M1}	1,2143	0,6786	0,4728	0,2482
	η_{M2}	0	<0	<0	<0
	η_{E1}	1,1667	0,6500	0,4524	0,2372
	η_{E2}	0,5000	0,2500	0,1667	0,0833
	η_{E3}	<0	<0	<0	<0
14,00 m	b_q	10,50 m	9,92 m	9,72 m	9,53 m
	η_K	1,2143	0,6786	0,4730	0,2482
	η_q	0,7500	0,4250	0,2976	0,1571
	η_{M1}	1,2857	0,7214	0,5036	0,2647
	η_{M2}	0	<0	<0	<0
	η_{E1}	1,2500	0,7000	0,4883	0,2564
	η_{E2}	0,7500	0,4000	0,2738	0,1410
	η_{E3}	0,2500	0,1000	0,0594	0,0256
	η_{E4}	<0	<0	<0	<0

7.2.4. Rzędne linii wpływu w osi obciążenia *MLC*

W tablicy 7.3. porównano wartości rzędnych linii wpływu w osi obciążenia *MLC* i w osi jezdni.

Tablica 7.3. Porównanie rzędnych linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia jedną kolumną pojazdów wojskowych w osi obciążenia i w osi jezdni

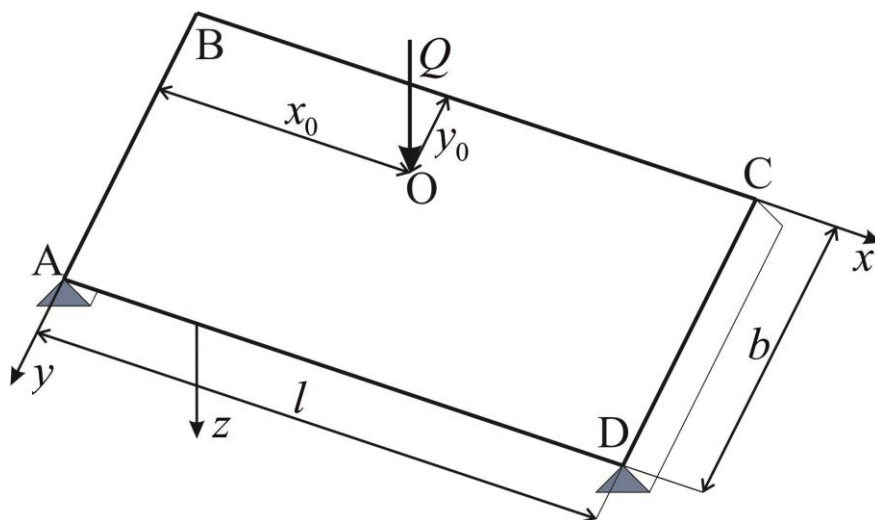
b	η_i	$n=2$	$n=4$	$n=6$	$n=12$
	η_S	0,5000	0,2500	0,1667	0,0833
7,00 m	η_{M1}	1,0714	0,5929	0,4116	0,2152
	η_{M2}	0	<0	<0	<0
	η_{M1}/η_S	2,14	2,37	2,47	2,58
10,50 m	η_{M1}	1,2143	0,6786	0,4728	0,2482
	η_{M2}	0	<0	<0	<0
	η_{M1}/η_S	2,43	2,71	2,84	2,98
14,00 m	η_{M1}	1,2857	0,7214	0,5036	0,2647
	η_{M2}	0	<0	<0	<0
	η_{M1}/η_S	2,57	2,89	3,02	3,18

Analizując wartości podane w tablicy można stwierdzić, że im jest większa liczba belek w przekroju poprzecznym przęsła i im jest większa szerokość jezdni, tym stosunek wartości rzędnych linii wpływu w osi obciążenia jedną kolumną pojazdów wojskowych i w osi jezdni jest większy. Można przyjąć, że stosunek ten jest nie mniejszy niż 2,00.

7.3. Rzędne linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia w płytowych przęsłach mostowych

7.3.1. Wprowadzenie

Pojedyncze szeregi trygonometryczne w teorii płyt izotropowych po raz pierwszy zastosował Lévy w opracowaniu z 1899 r. W celu wyznaczenia funkcji rozdziału poprzecznego obciążenia w płycie jest niezbędne rozwiązanie zadania płyty zginanej, jak na rys. 7.3.



Rys. 7.3. Schemat podparcia i obciążenia płyty

Jest to płyta przegubowo podparta na krawędziach AB i CD i obciążona siłą skupioną Q . Pozostałe krawędzie AD i BC są swobodne. Największa wartość ugięcia płyty jest wtedy, gdy siła Q znajduje się w środku krawędzi BC płyty czyli, gdy $x_0 = l/2$ i $y_0 = 0$. Rozwiązanie tego rodzaju obciążenia płyty można uzyskać stosując metodę pojedynczych szeregów sinusowych [1,2].

Funkcję ugięcia płyty cienkiej Kirchhoffa $w(x, y)$ można przedstawić w postaci pojedynczego szeregu sinusowego:

$$w(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} w_m(y) \cdot \sin(\alpha_m \cdot x), \quad (7.6.)$$

gdzie: $\alpha_m = \frac{m \cdot \pi}{l}$, $m \in N$.

Funkcje $w_m(y)$ są współczynnikami funkcyjnymi rozwinięcia ugięcia w nieskończony szereg sinusowy względem zmiennej x . Przyjęta funkcja ugięcia spełnia warunki brzegowe płyty swobodnie podpartej na dwóch przeciwległych brzegach:

$$w(0, y) = 0, \quad M_{xx}(0, y) = 0, \quad w(l, y) = 0, \quad M_{xx}(l, y) = 0. \quad (7.7.)$$

Podobnie jak ugięcie, funkcję obciążenia płyty $p(x, y)$ można przedstawić w postaci pojedynczego szeregu sinusowego:

$$p(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} q_m(y) \cdot \sin(\alpha_m \cdot x), \quad (7.8.)$$

gdzie: $\alpha_m = \frac{m \cdot \pi}{l}$, $m \in N$.

Funkcje $q_m(y)$ są współczynnikami funkcyjnymi rozwinięcia obciążenia w nieskończony szereg sinusowy względem zmiennej x . Jeżeli w rozpatrywanym zadaniu nie ma obciążenia płyty poza jej krawędzią, to $q_m(y) = 0$, a funkcja ugięcia powinna spełniać następujące równanie różniczkowe równowagi płyty:

$$D \cdot \left[\frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial y^4} \right] = p(x, y), \quad (7.9.)$$

przy uwzględnieniu, że $p(x, y) = 0$.

W równaniu (7.9.) D oznacza sztywność płyty, którą wyznaczyć według wzoru:

$$D = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}, \quad (7.10.)$$

w którym przyjęto następujące oznaczenia:

E - moduł sprężystości Younga,
 t - grubość płyty,
 ν - współczynnik Poissona.

Obliczając pochodne funkcji ugięcia płyty (7.6.) oraz biorąc pod uwagę zależność (7.9.) można otrzymać następujące równanie:

$$\sum_{m=1}^{\infty} \left\{ D \cdot \left[\frac{d^4 w_m(y)}{dy^4} - 2 \cdot \alpha_m^2 \cdot \frac{d^2 w_m(y)}{dy^2} + \alpha_m^4 \cdot w_m(y) \right] \right\} \cdot \sin(\alpha_m \cdot x) = 0. \quad (7.11.)$$

Równanie powinno być spełnione dla każdego (x, y) co oznacza, że wyrażenie w nawiasie klamrowym powinno być równe zero. Stąd można otrzymać równanie różniczkowe zwyczajne czwartego rzędu z nieznanymi współczynnikami rozwinięcia w szereg $w_m(y)$:

$$\frac{d^4 w_m(y)}{dy^4} - 2 \cdot \alpha_m^2 \cdot \frac{d^2 w_m(y)}{dy^2} + \alpha_m^4 \cdot w_m(y) = 0. \quad (7.12.)$$

Równanie jednorodne można rozwiązać przez podstawienie $w_m(y) = e^{k_m \cdot y}$.

Rozwiązanie tego równania jednorodnego z wykorzystaniem funkcji hiperbolicznych można zapisać następująco:

$$w_m^0(y) = A_m \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + B_m \cdot y \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + C_m \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y) + D_m \cdot y \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y). \quad (7.13.)$$

Funkcję ugięcia płyty $w(x, y)$, która spełnia warunki brzegowe (7.7.) na przeciwległych brzegach swobodnie podpartych i równanie różniczkowe równowagi płyty (7.11.) można zapisać następująco:

$$w(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} [A_m \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + B_m \cdot y \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + C_m \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y) + D_m \cdot y \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y)] \cdot \sin(\alpha_m \cdot x) \quad (7.14.)$$

Podstawiając funkcję ugięcia w zależnościach ogólnych na siły wewnętrzne można uzyskać następujące funkcje momentów zginających i momentu skręcającego:

$$\begin{aligned} M_{xx}(x, y) = & -D \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ 2 \cdot \nu \cdot [B_m \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y) + D_m \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y)] - \right. \\ & \left. (1 - \nu) \cdot \alpha_m \cdot [A_m \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + B_m \cdot y \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + C_m \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y) + D_m \cdot y \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y)] \right\} \cdot \alpha_m \cdot \sin(\alpha_m \cdot x), \\ M_{yy}(x, y) = & -D \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ 2 \cdot [B_m \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + D_m \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y)] + \right. \\ & \left. (1 - \nu) \cdot \alpha_m \cdot [A_m \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + B_m \cdot y \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + C_m \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y) + D_m \cdot y \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y)] \right\} \cdot \alpha_m \cdot \sin(\alpha_m \cdot x), \end{aligned}$$

$$M_{xy}(x, y) = -(1-\nu) \cdot D \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \{B_m \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + D_m \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y) + \alpha_m \cdot [A_m \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y) + B_m \cdot y \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y) + C_m \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + D_m \cdot y \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y)]\} \cdot \alpha_m \cdot \cos(\alpha_m \cdot x). \quad (7.15.)$$

W wypadku funkcji zastępczych sił poprzecznych Kirchhoffa można stosować wzory:

$$\begin{aligned} T_x(x, y) &= -D \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \{2 \cdot (2-\nu) \cdot [B_m \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y) + D_m \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y)] + \\ &\quad (1-\nu) \cdot \alpha_m \cdot [A_m \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + B_m \cdot y \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + C_m \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y) + D_m \cdot y \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y)]\} \cdot \alpha_m^2 \cdot \cos(\alpha_m \cdot x), \\ T_y(x, y) &= -D \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \{(1+\nu) \cdot [B_m \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + D_m \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y)] - \\ &\quad (1-\nu) \cdot \alpha_m \cdot [A_m \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y) + B_m \cdot y \cdot \text{ch}(\alpha_m \cdot y) + C_m \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y) + D_m \cdot y \cdot \text{sh}(\alpha_m \cdot y)]\} \cdot \alpha_m^2 \cdot \sin(\alpha_m \cdot x). \end{aligned} \quad (7.16.)$$

W celu wyznaczenie stałych A_m , B_m , C_m i D_m we wzorze (7.14.) jest konieczne skorzystanie z warunków brzegowych na krawędziach AD i BC , które mają odpowiednio postać:

$$M_{yy}(x, 0) = 0, \quad T_y(x, 0) = -\sum_{m=1}^{\infty} q_m^b \cdot \sin(\alpha_m \cdot x), \quad M_{yy}(x, l) = 0, \quad T_y(x, l) = 0, \quad (7.17.)$$

gdzie: $q_m^b = \frac{2 \cdot Q}{l} \cdot \sin\left(\alpha_m \cdot \frac{l}{2}\right).$

W tym wypadku obciążenie siłą skupioną jest uwzględnione przez warunki brzegowe.

Wyznaczenie funkcji rozdziału poprzecznego obciążenia polega na przyjęciu, że funkcja rozdziału poprzecznego dla danego ustalonego $x = \text{const}$ jest proporcjonalna do linii ugięcia w tym samym przekroju. Przyjmując, że funkcja rozdziału poprzecznego jest oznaczona jako $f_d(x, y)$ zachodzi następująca zależność:

$$f_d(x_0, y) = A \cdot w(x_0, y). \quad (7.18.)$$

Warunek do wyznaczenia współczynnika A wynika z zależności:

$$\int_0^l f_d(x_0, y) dy = 1. \quad (7.19.)$$

Można wtedy otrzymać:

$$A = \left(\int_0^l w(x_0, y) dy \right)^{-1}. \quad (7.20.)$$

7.3.2. Nomogramy do wyznaczania rzędnych linii wpływu metodą szeregów sinusowych

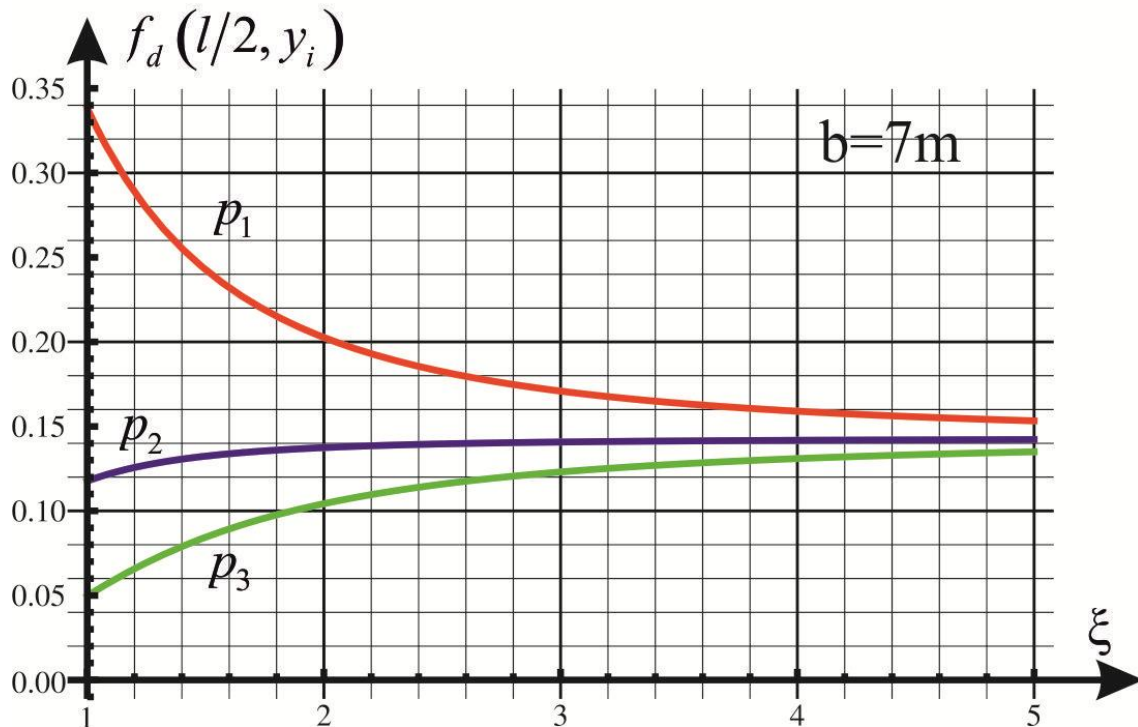
Korzystając z rozwiązania zadania zginania płyty jak na rys.7.3. oraz wzorów (7.18.) i (7.19.) wyznaczono funkcję rozdziału poprzecznego obciążenia w płycie. Na rysunkach od 7.4. do 7.6. przedstawiono funkcję rzędnych rozdziału poprzecznego obciążenia (przy współczynniku Poissona równym $\nu = 0,2$) w zależności od stosunku ξ rozpiętości płyty l do jej szerokości b :

$$\xi = \frac{l}{b}. \quad (7.21.)$$

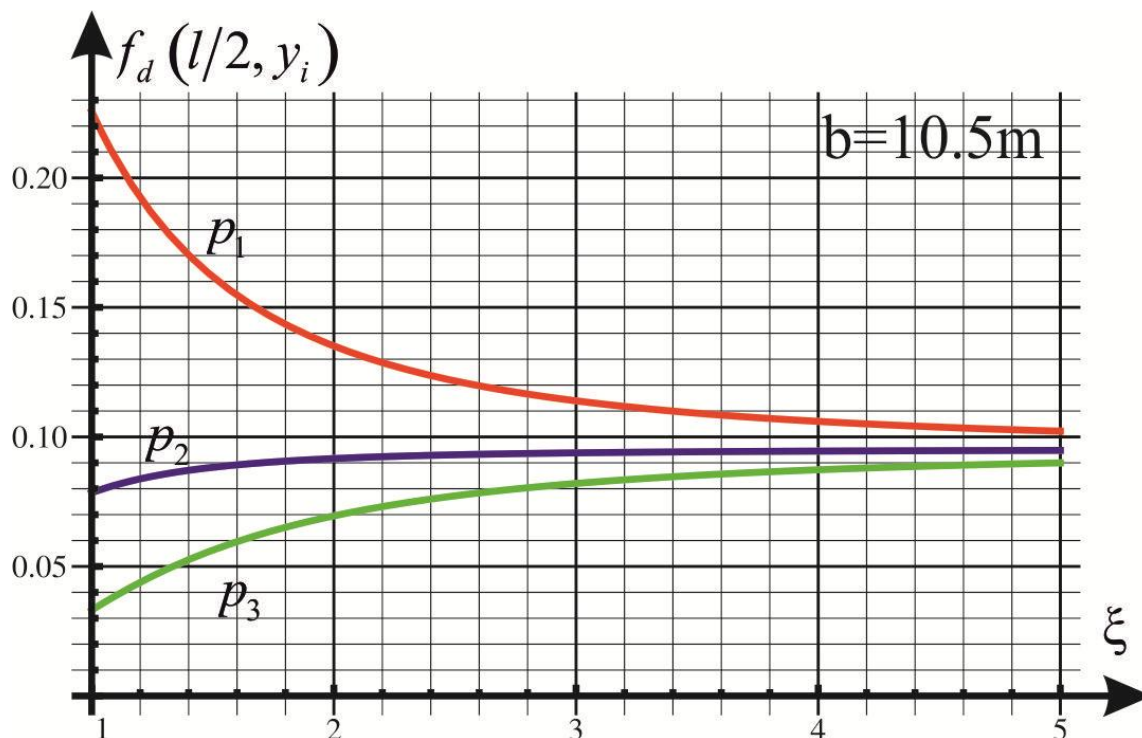
Na rysunkach pokazano następujące wartości rzędnych:

- na skraju pasma płytowego nr 1 - linia p_1 , $f_d\left(\frac{l}{2}, 0\right)$
- w osi płyty - linia p_2 , $f_d\left(\frac{l}{2}, \frac{b}{2}\right)$
- na skraju pasma płytowego nr n – linia p_3 , $f_d\left(\frac{l}{2}, b\right)$.

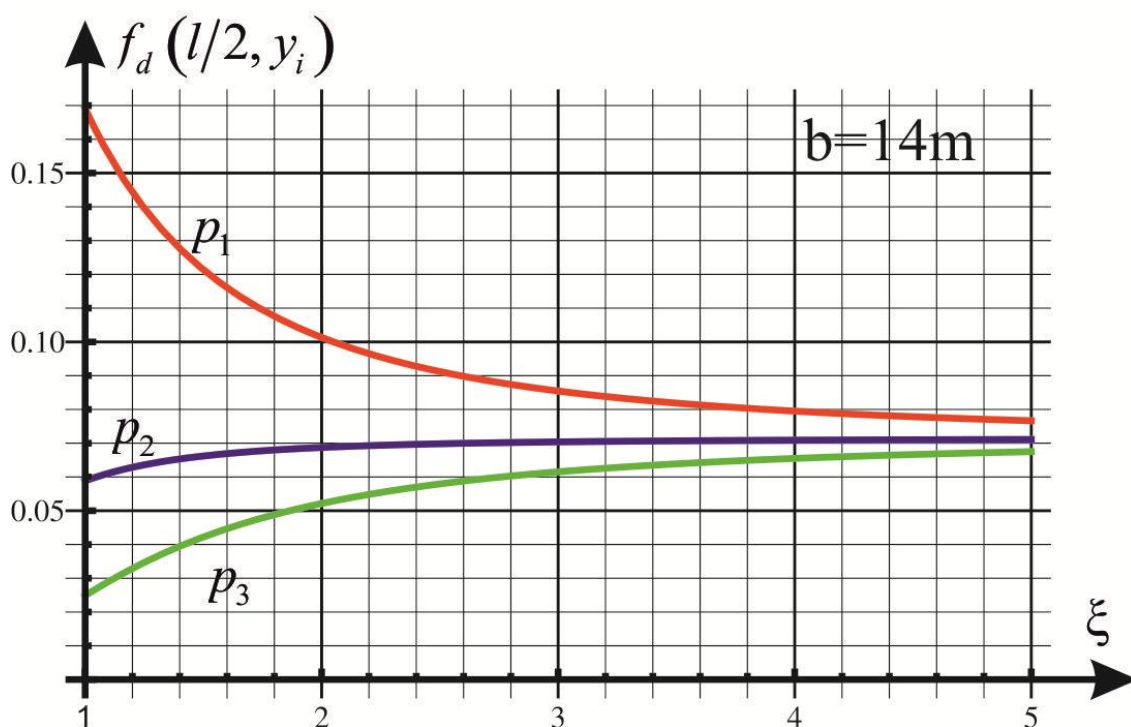
Wykresy na rys. od 7.4. do 7.6. stanowią nomogramy, za pomocą których można łatwo odczytać wartości rzędnych rozdziału poprzecznego obciążenia płyty o szerokości równej 7,00 m, 10,50 m i 14,00 m.



Rys. 7.4. Rzędne rozdziału poprzecznego obciążenia w płycie o szerokości 7,0 m



Rys. 7.5. Rzędne rozdziału poprzecznego obciążenia w płycie o szerokości 10,5 m



Rys. 7.6. Rzędne rozdziału poprzecznego obciążenia w płycie o szerokości 14,0 m

Analizując nomogram można stwierdzić, że im większa rozpiętość płyty w stosunku do jej szerokości (większa wartość współczynnika ξ), tym jest mniejsza wartość rzędnej na skraju pasma płytowego nr 1 i tym jest większa wartość rzędnej na skraju pasm płytowego nr n . Przy rozpiętości płyty pięciokrotnie większej niż jej szerokość, rzędne na skraju płyty są bliskie rzędnej w osi przekroju poprzecznego płyty.

W takim wypadku – przy $\xi \geq 5$ - można przyjąć, że płyta w środku rozpiętości przyjmuje kształt powierzchni walcowej. Ponadto można przyjąć, że wartość rzędnej w tym miejscu wynosi $1/n$, gdzie n jest liczbą umownych pasm płytowych równą szerokości przęsła płytowego w metrach, z zaokrągleniem według ogólnie przyjętych zasad matematycznych.

7.3.3. Rzędne linii wpływu na skraju pasm płytowych

Aby określać wartości rzędnych linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia w dowolnym miejscu przęsła płytowego, po wyznaczeniu skrajnych rzędnych i środkowej rzędnej linii wpływu należy znaleźć równanie krzywej opisującej kształt linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia. Można uznać, że wystarczającym przybliżeniem takiej krzywej jest parabola stopnia drugiego. Na podstawie nomogramów zamieszczonych na rys. od 7.4. do 7.6 jest możliwa aproksymacja funkcji rozdziału poprzecznego obciążenia przy pomocy funkcji kwadratowej. Odczytane wartości parametrów zestawiono w tablicy 7.4.

Tablica 7.4. Wartości skrajnych rzędnych i środkowej rzędnej linii wpływu

b	η_i	$l/b=1$	$l/b=2$	$l/b=3$	$l/b=4$	$l/b=5$
7,00 m	p_1	0,335	0,205	0,170	0,160	0,155
	p_2	0,120	0,135	0,140	0,140	0,145
	p_3	0,050	0,105	0,125	0,130	0,135
10,50 m	p_1	0,225	0,135	0,113	0,106	0,102
	p_2	0,080	0,092	0,093	0,095	0,095
	p_3	0,033	0,070	0,082	0,087	0,090
14,00 m	p_1	0,167	0,101	0,085	0,080	0,076
	p_2	0,060	0,069	0,070	0,070	0,071
	p_3	0,025	0,052	0,062	0,065	0,067

W tablicach od 7.5. do 7.7. zestawiono wartości rzędnych linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia skrajnego pasma płytowego na skraju każdego pasma płytowego. Ze względu na fakt, że wszystkie rzędne są jednoznakowe, powierzchnia linii wpływu powinna wynosić tyle, ile wynosi obciążenie. Obciążenie stanowi siła skupiona o wartości równej 1. Sprawdzeniem metody jest obliczenie powierzchni wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia, która powinna wynosić 1.

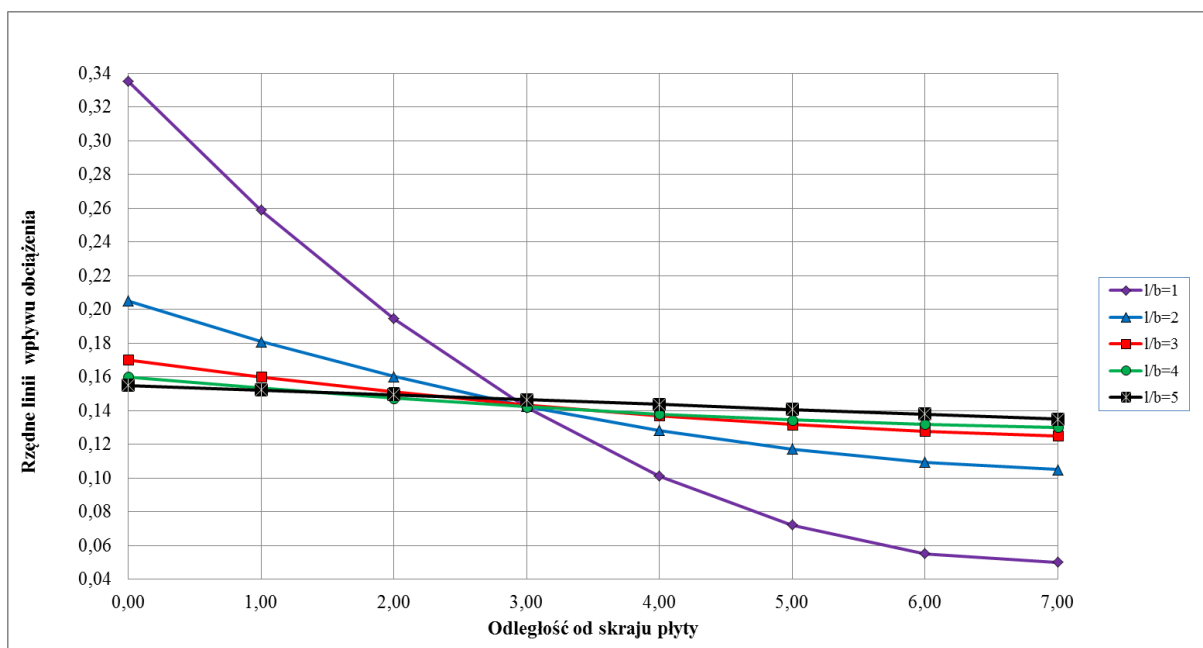
W przęsłach płytowych powierzchnię wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia można obliczyć jako sumę rzędnych linii wpływu w odległości y_i od skrajnego umownego pasma płytowego do skraju każdego pasma płytowego. W tablicy 7.5. podano wartości rzędnych linii wpływu oraz powierzchnie wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia w płycie o szerokości równej 7,00 m i przy rozpiętości l/b zmieniającej się od 1 do 5, w tablicy 7.6. – w płycie o szerokości 10,5 m i przy rozpiętości zmieniającej się jw. oraz w tablicy 7.7. – przy płycie o szerokości 14,00 m i przy rozpiętości zmieniającej się jw.

Tablica 7.5. Wartości rzędnych linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia przy szerokości jezdni równej 7,00 m i różnej rozpiętości przęsła

y_i	$l/b=1$	$l/b=2$	$l/b=3$	$l/b=4$	$l/b=5$
0,0m	0,335	0,205	0,170	0,160	0,155
1,0m	0,259	0,181	0,160	0,153	0,152
2,0m	0,194	0,160	0,151	0,147	0,149
3,0m	0,142	0,143	0,143	0,142	0,146
4,0m	0,101	0,128	0,137	0,138	0,144
5,0m	0,072	0,117	0,132	0,134	0,141
6,0m	0,055	0,109	0,128	0,132	0,138
7,0m	0,050	0,105	0,125	0,130	0,135
$\Sigma\eta$	1,016	0,994	0,998	0,992	1,015
różnica	1,6%	-0,6%	-0,2%	-0,8%	1,5%

W odniesieniu do jezdni o szerokości 7,00 m powierzchnia wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia obliczana jako suma rzędnych linii wpływu jest wyznaczana z przybliżeniem wynikającym z zamiany krzywoliniowej linii wpływu na odcinki proste pomiędzy rzędnymi. Mimo tej zmiany, obliczona powierzchnia różni się więcej niż 1,6% od oczekiwanej wartości 1.

Linie wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia przy szerokości jezdni równej 7,00 m i różnej rozpiętości przęsła przedstawiono na rys. 7.7.



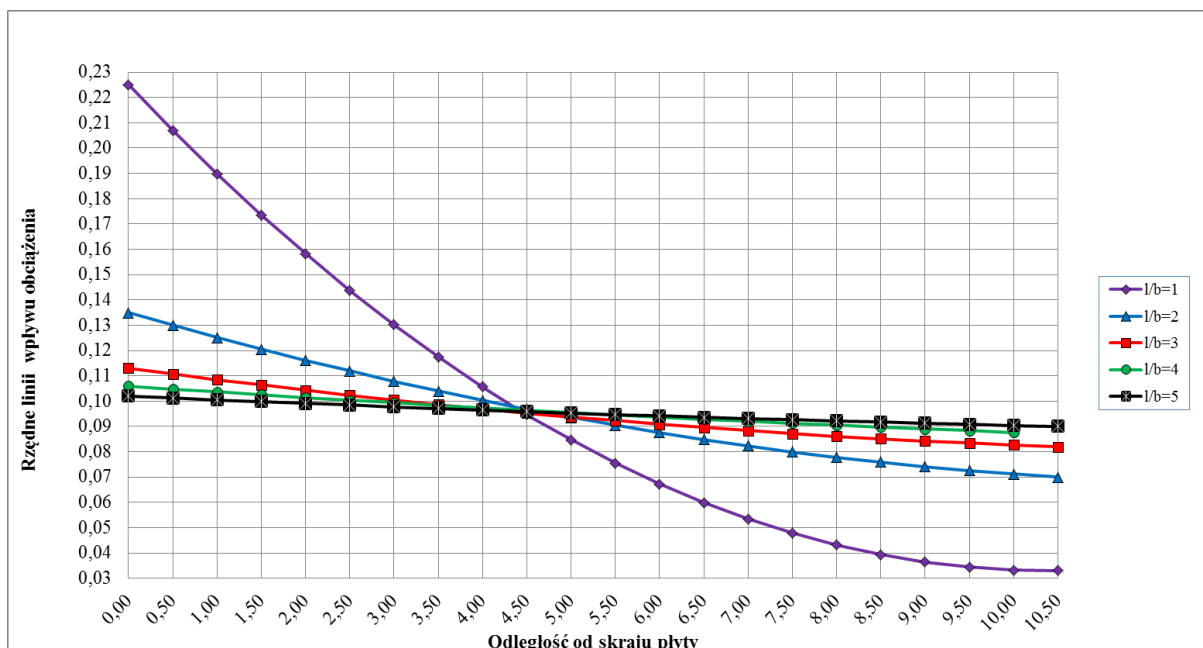
Rys. 7.7. Linie wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia przy szerokości jezdni równej 7,00 m i różnej rozpiętości przęsła

Tablica 7.6. Wartości rzędnych linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia przy szerokości jezdni równej 10,50 m i różnej rozpiętości przęsła

y_i	$l/b=1$	$l/b=2$	$l/b=3$	$l/b=4$	$l/b=5$
0,0m	0,225	0,135	0,113	0,106	0,102
0,5m	0,207	0,130	0,111	0,105	0,101
1,0m	0,190	0,125	0,108	0,104	0,101
1,5m	0,174	0,121	0,106	0,103	0,100
2,0m	0,158	0,116	0,104	0,101	0,099
2,5m	0,144	0,112	0,102	0,100	0,098
3,0m	0,130	0,108	0,100	0,099	0,098
3,5m	0,117	0,104	0,099	0,098	0,097
4,0m	0,106	0,100	0,097	0,097	0,096
4,5m	0,095	0,097	0,095	0,096	0,096
5,0m	0,085	0,094	0,094	0,095	0,095
5,5m	0,076	0,090	0,092	0,095	0,095
6,0m	0,067	0,088	0,091	0,094	0,094
6,5m	0,060	0,085	0,090	0,093	0,094
7,0m	0,053	0,082	0,088	0,092	0,093
7,5m	0,048	0,080	0,087	0,091	0,093
8,0m	0,043	0,078	0,086	0,090	0,092
8,5m	0,039	0,076	0,085	0,090	0,092
9,0m	0,036	0,074	0,084	0,089	0,091
9,5m	0,034	0,073	0,083	0,088	0,091
10,0m	0,033	0,071	0,083	0,088	0,090
10,5m	0,033	0,070	0,082	0,087	0,090
$\Sigma\eta$	1,012	1,003	0,992	1,003	1,001
różnica	1,2%	0,3%	-0,8%	0,3%	0,1%

W odniesieniu do jezdni o szerokości 10,50 m powierzchnia wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia obliczana jako suma rzędnych linii wpływu różni się nie więcej niż 1,2% od oczekiwanej wartości 1.

Linie wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia przy szerokości jezdni równej 10,50 m i różnej rozpiętości przęsła przedstawiono na rys. 7.8.



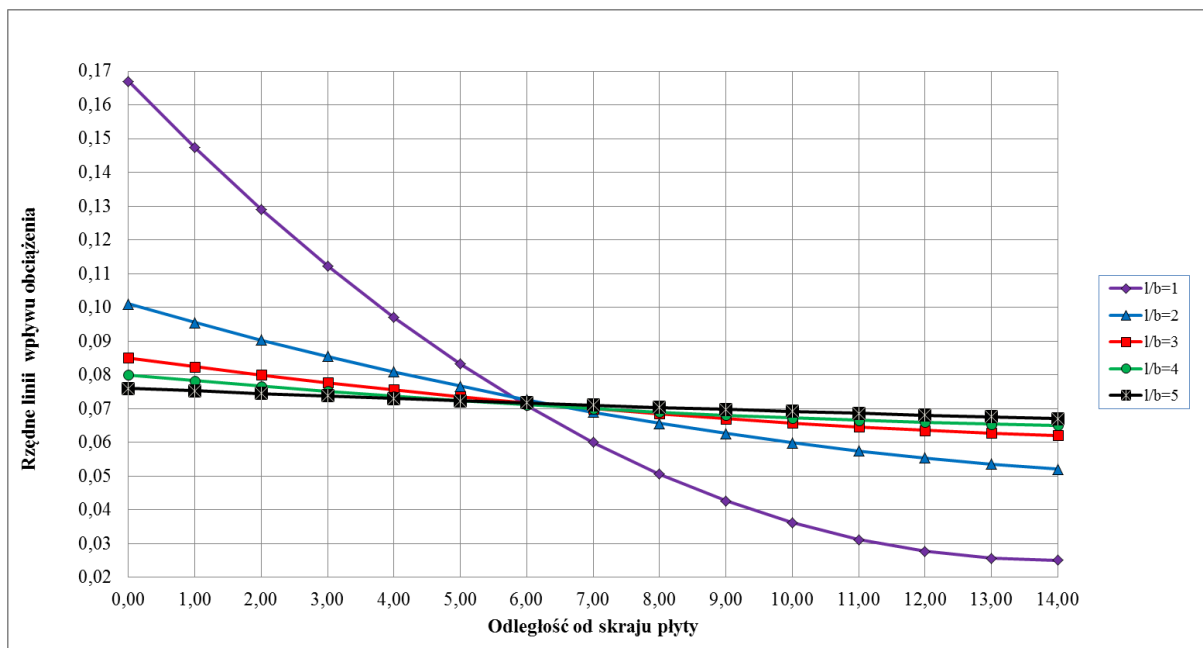
Rys. 7.8. Linie wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia
przy szerokości jezdni równej 10,50 m i różnej rozpiętości przęsła

**Tablica 7.7. Wartości rzędnych linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia
przy szerokości jezdni równej 14,00 m i różnej rozpiętości przęsła**

y_i	$l/b=1$	$l/b=2$	$l/b=3$	$l/b=4$	$l/b=5$
0,00	0,167	0,101	0,085	0,080	0,076
1,00	0,147	0,096	0,082	0,078	0,075
2,00	0,129	0,090	0,080	0,077	0,074
3,00	0,112	0,085	0,078	0,075	0,074
4,00	0,097	0,081	0,076	0,074	0,073
5,00	0,083	0,077	0,074	0,072	0,072
6,00	0,071	0,073	0,072	0,071	0,072
7,00	0,060	0,069	0,070	0,070	0,071
8,00	0,051	0,066	0,068	0,069	0,070
9,00	0,043	0,063	0,067	0,068	0,070
10,00	0,036	0,060	0,066	0,067	0,069
11,00	0,031	0,057	0,065	0,067	0,069
12,00	0,028	0,055	0,064	0,066	0,068
13,00	0,026	0,054	0,063	0,065	0,068
14,00	0,025	0,052	0,062	0,065	0,067
$\Sigma \eta$	1,010	1,001	0,997	0,992	0,996
różnica	1,0%	0,1%	-0,3%	-0,8%	-0,4%

W odniesieniu do jezdni o szerokości 14,00 m powierzchnia wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia obliczana jako suma rzędnych linii wpływu różni się nie więcej niż 1,0% od oczekiwanej wartości 1.

Linie wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia przy szerokości jezdni równej 10,50 m i różnej rozpiętości przęsła przedstawiono na rys. 7.9.



Rys. 7.9. Linie wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia
przy szerokości jezdni równej 14,00 m i różnej rozpiętości przęsła

7.3.4. Rzędne linii wpływu w osi obciążenia

W tabelicy 7.8. zestawiono wartości rzędnych linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia skrajnego pasma płytowego, w osi obciążenia.

**Tabela 7.8. Wartości rzędnych linii wpływu w osi obciążenia
przy szerokości jezdni równej 7,00 m, 10,50 m i 14,00 m
oraz przy różnej rozpiętości przęsła**

b	η_i	$l/b=1$	$l/b=2$	$l/b=3$	$l/b=4$	$l/b=5$
7,00m	η_K	0,194	0,160	0,151	0,147	0,149
	$\eta_{q,S}$	0,120	0,135	0,140	0,140	0,145
	η_{E1}	0,209	0,165	0,153	0,149	0,150
	$\eta_{E2,M2}$	0,067	0,115	0,131	0,134	0,140
	η_{M1}	0,225	0,170	0,155	0,150	0,151

10,50m	η_K	0,158	0,116	0,104	0,101	0,099
	$\eta_{q, E2, S}$	0,080	0,092	0,093	0,095	0,095
	η_{E1}	0,166	0,118	0,105	0,102	0,099
	η_{E3}	0,038	0,075	0,085	0,089	0,091
	η_{M1}	0,174	0,121	0,106	0,103	0,100
	η_{M2}	0,044	0,078	0,086	0,091	0,092
14,00m	η_K	0,129	0,090	0,080	0,077	0,074
	$\eta_{q, S}$	0,060	0,069	0,070	0,070	0,071
	η_{E1}	0,134	0,092	0,081	0,077	0,075
	η_{E2}	0,080	0,076	0,073	0,072	0,072
	η_{E3}	0,045	0,063	0,067	0,068	0,070
	η_{E4}	0,027	0,055	0,063	0,066	0,068
	η_{M1}	0,138	0,093	0,081	0,077	0,075
	η_{M2}	0,034	0,059	0,065	0,067	0,069

7.3.5. Rzędne linii wpływu w osi obciążenia MLC

W tablicy 7.9. porównano wartości rzędnych linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia skrajnego pasma płytowego, w osi obciążenia MLC i w osi jezdni.

Tablica 7.9. Porównanie rzędnych linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia jedną kolumną pojazdów wojskowych w osi obciążenia i w osi jezdni

b	η_i	$l/b=1$	$l/b=2$	$l/b=3$	$l/b=4$	$l/b=5$
7,00m	η_S	0,120	0,135	0,140	0,140	0,145
	η_{M1}	0,225	0,170	0,155	0,150	0,151
	η_{M2}	0,067	0,115	0,131	0,134	0,140
	η_{M1}/η_S	1,88	1,26	1,11	1,07	1,04
10,50m	η_S	0,080	0,092	0,093	0,095	0,095
	η_{M1}	0,174	0,121	0,106	0,103	0,100
	η_{M2}	0,044	0,078	0,086	0,091	0,092
	η_{M1}/η_S	2,18	1,32	1,14	1,08	1,05
14,00m	η_S	0,060	0,069	0,070	0,070	0,071
	η_{M1}	0,138	0,093	0,081	0,077	0,075
	η_{M2}	0,034	0,059	0,065	0,067	0,069
	η_{M1}/η_S	2,30	1,35	1,16	1,10	1,06

Analizując wartości podane w tablicy można stwierdzić, że im jest mniejszy stosunek rozpiętość przęsła do jego szerokości oraz im jest większa szerokość przęsła, tym jest większy stosunek wartości rzędnych linii wpływu w osi obciążenia jedną kolumną pojazdów wojskowych i w osi jezdni. Można przyjąć, że stosunek ten przy rozpiętości przęsła równej jego szerokości wynosi 2,00, ale już np. przy rozpiętości przęsła trzykrotnie większej niż jego szerokość, nie przekracza 1,20.

Bibliografia do rozdziału 7

- [1] Jemioło S., Szwed A.: Wykłady teorii sprężystości i plastyczności. Politechnika Warszawska 2011.
- [2] Kączkowski Z.: Płyty obliczenia statyczne. Arkady, Warszawa 1968.
- [3] Madaj A., Wołowicki W.: Podstawy projektowania budowli mostowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 2007.

8. KLASYFIKACJA DROGOWYCH OBIEKTÓW MOSTOWYCH UZYSKANA NA PODSTAWIE OPRACOWANEJ METODYKI, Z UWAGI NA MOŻLIWOŚĆ I SPOSÓB PRZEJAZDU PO OBIEKTACH POJAZDÓW O RZECZYWISTEJ MASIE CAŁKOWITEJ NIE WIĘKSZEJ NIŻ 60 TON

8.1. Analiza sił wewnętrznych przy obciążaniu jednego pasa ruchu o szerokości 3,5 m

8.1.1. Obciążenie według normy PN-85/S-10030 z 1985 r.

1) Obciążenie K w postaci sił skupionych

Wzór na obliczanie jednostkowego momentu zginającego w belce swobodnie podpartej można napisać w następującej postaci:

$$M_K = \alpha \cdot \left(1 - \frac{2,4}{l}\right), \quad (8.1.)$$

w którym przyjęto następujące oznaczenia:

M_K – jednostkowy moment zginający [tm/m],

α – nacisk osi [t], zależny od klasy obciążenia (np. dla klasy A jest równy 20t).

Wzór jest poprawny przy $l \geq 3,6$ m.

Wzór na obliczanie siły poprzecznej w belce swobodnie podpartej można napisać w następującej postaci:

$$T_K = \alpha \cdot \left(4 - \frac{7,2}{l}\right), \quad (8.2.)$$

w którym przyjęto następujące oznaczenia:

T_K – siła poprzeczna [t]

α – nacisk osi [t], zależny od klasy obciążenia.

Wzór jest poprawny przy $l \geq 3,6$ m.

Obciążenie w postaci sił skupionych należy stosować ze współczynnikiem dynamicznym, obliczanym według wzoru:

$$\varphi = 1,35 - 0,005 \cdot l \leq 1,325 \quad (8.3.)$$

Przy $l \geq 70,0$ m należy przyjmować $\varphi = 1,00$.

2) Obciążenie q równomiernie rozłożone na jezdni

Wzór na obliczanie jednostkowego momentu zginającego w belce swobodnie podpartej można napisać w następującej postaci:

$$M_q = q \cdot \frac{l}{8}, \quad (8.4.)$$

w którym przyjęto następujące oznaczenia:

M_q – jednostkowy moment zginający na 1 m szerokości jezdni [tm/m],

q – obciążenie równomiernie rozłożone na 1 m szerokości jezdni [t/m^2], zależne od klasy obciążenia.

Wzór na obliczanie siły poprzecznej w belce swobodnie podpartej można napisać w następującej postaci:

$$T_q = q \cdot \frac{l}{2}, \quad (8.5.)$$

w którym przyjęto następujące oznaczenia:

T_q – siła poprzeczna na 1 m szerokości jezdni [t],

q – obciążenie równomiernie rozłożone na 1 m szerokości jezdni [t/m^2], zależne od klasy obciążenia.

8.1.2. Obciążenie pojazdem ciężkim o masie równej 60 t

Pojazd ciężki o masie 60 t wywołuje w belce swobodnie podpartej siły wewnętrzne zestawione w tablicach 8.1. i 8.2.

Tablica 8.1. Wartości jednostkowych momentów zginających

Rozpiętość przęsła [m]	Jednostkowy moment zginający [tm/m]
$0 \leq l \leq 3,4$	$2,5l$
$3,4 \leq l \leq 6,8$	$7,5l - 17$
$6,8 \leq l \leq 10,2$	$12,5l - 51$
$10,2 \leq l$	$15l - 76,5$

Tablica 8.2. Wartości sił poprzecznych

Rozpiętość przęsła [m]	Siła poprzeczna [t]
$0 \leq l \leq 1,7$	10
$1,7 \leq l \leq 3,4$	$20 - 17 / l$
$3,4 \leq l \leq 5,1$	$30 - 51 / l$
$5,1 \leq l \leq 6,8$	$40 - 102 / l$
$6,8 \leq l \leq 8,5$	$50 - 170 / l$
$8,5 \leq l$	$60 - 255 / l$

8.1.3. Obciążenie pojazdem o masie równej 40 t

Pojazd dopuszczony do ruchu w Polsce bez ograniczeń o masie 40 t wywołuje w belce swobodnie podpartej siły wewnętrzne zestawione w tablicach 8.3. i 8.4.

Tablica 8.3. Wartości jednostkowych momentów zginających

Rozpiętość przęsła [m]	Jednostkowy moment zginający [tm/m]
$0 \leq l \leq 3,42$	$2,75l$
$3,42 \leq l \leq 13,29$	$5,625l - 9,825$
$13,29 \leq l \leq 18,70$	$8,375l - 46,3625$
$18,70 \leq l$	$10l - 76,75$

Tablica 8.4. Wartości sił poprzecznych

Rozpiętość przęsła [m]	Siła poprzeczna [t]
$0 \leq l \leq 2,46$	11
$2,46 \leq l \leq 2,62$	$15 - 9,825 / l$
$2,62 \leq l \leq 8,37$	$22,5 - 29,475 / l$
$8,37 \leq l \leq 11,97$	$33,5 - 121,545 / l$
$11,97 \leq l$	$40 - 199,35 / l$

8.1.4. Porównanie obciążenia normowego z obciążeniem eksploatacyjnym - pojazdem o masie 60 t i obciążeniem równomiernie rozłożonym $0,4 \text{ t/m}^2$

W tablicy 8.5. i 8.6. porównano siły wewnętrzne przy obciążeniu normowym jednego pasa ruchu o szerokości 3,5 m, według normy PN-85/S-10030 – klasy obciążenia A, B i C, z siłami wewnętrznymi przy obciążeniu pojazdem ciężkim o masie 60 t wraz z obciążeniem równomiernie rozłożonym $q = 0,4 \text{ t/m}^2$.

Interpretację graficzną ww. porównania jednostkowych momentów zginających i sił poprzecznych przedstawiono na rys. 8.1. i 8.2.

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że

- siły wewnętrzne wywołane obciążeniem eksploatacyjnym są mniejsze niż wywołane obciążeniem normowym:
- klasy A przy każdej rozpiętości przęsła,
- klasy B przy rozpiętości przęsła do 30 m,
- klasy C przy rozpiętości przęsła do 6 m.

Ponadto należy stwierdzić, że przy porównaniu obciążeń występuje całkowita zgodność między siłami wewnętrznymi, uzyskanymi w odniesieniu do momentu zginającego i siły poprzecznej (porównaj rys. 8.1. i 8.2.).

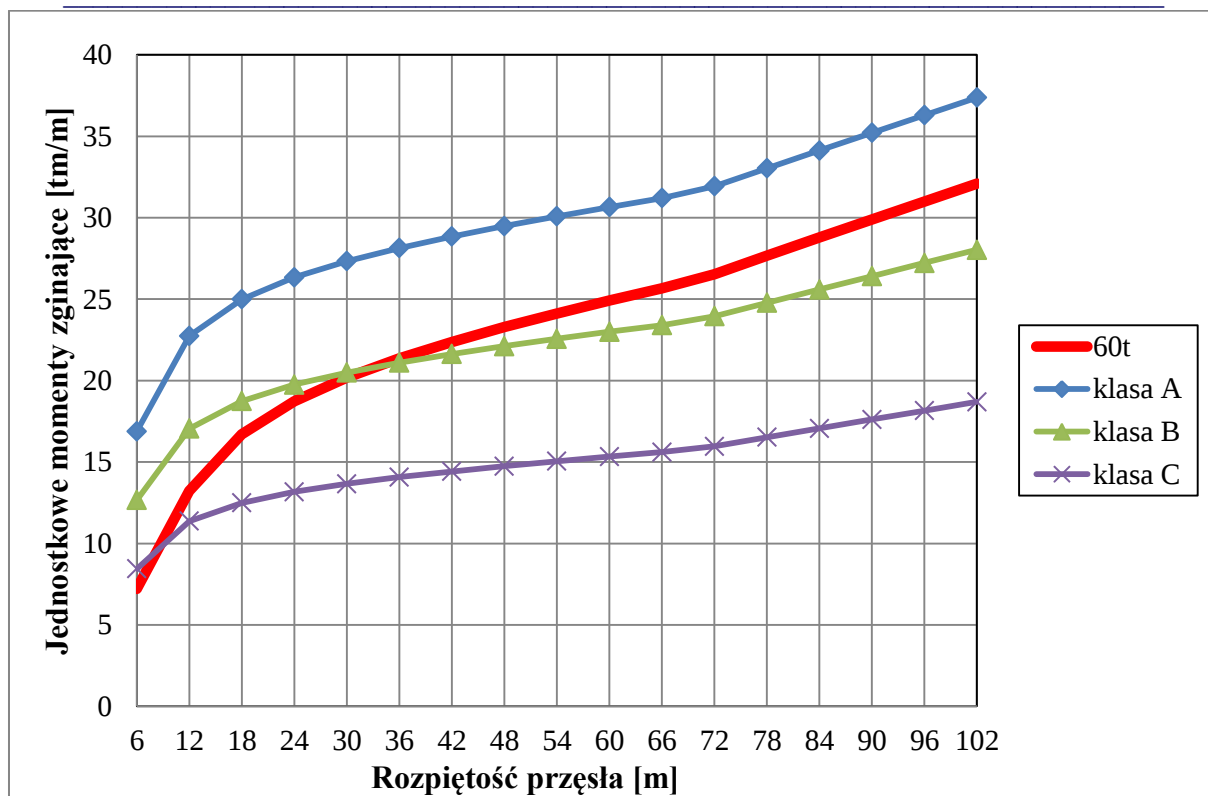
Porównywanie sił wewnętrznych przy obciążeniu jednego pasa ruchu może mieć zastosowanie w sytuacji, gdy współpraca belek lub pasm płytowych w kierunku poprzecznym przęsła jest niewielka. Taka sytuacja występuje m.in., gdy rozpiętość przęsła jest mniejsza niż jego szerokość. Wyżej podane możliwości przejazdu mogą więc mieć zastosowanie w odniesieniu do obiektów mostowych, w których rozpiętość przęsła jest mniejsza niż szerokość obiektu.

Tablica 8.5. Jednostkowe momenty zginające przy obciążeniu normowym i pojazdem o masie 60 t

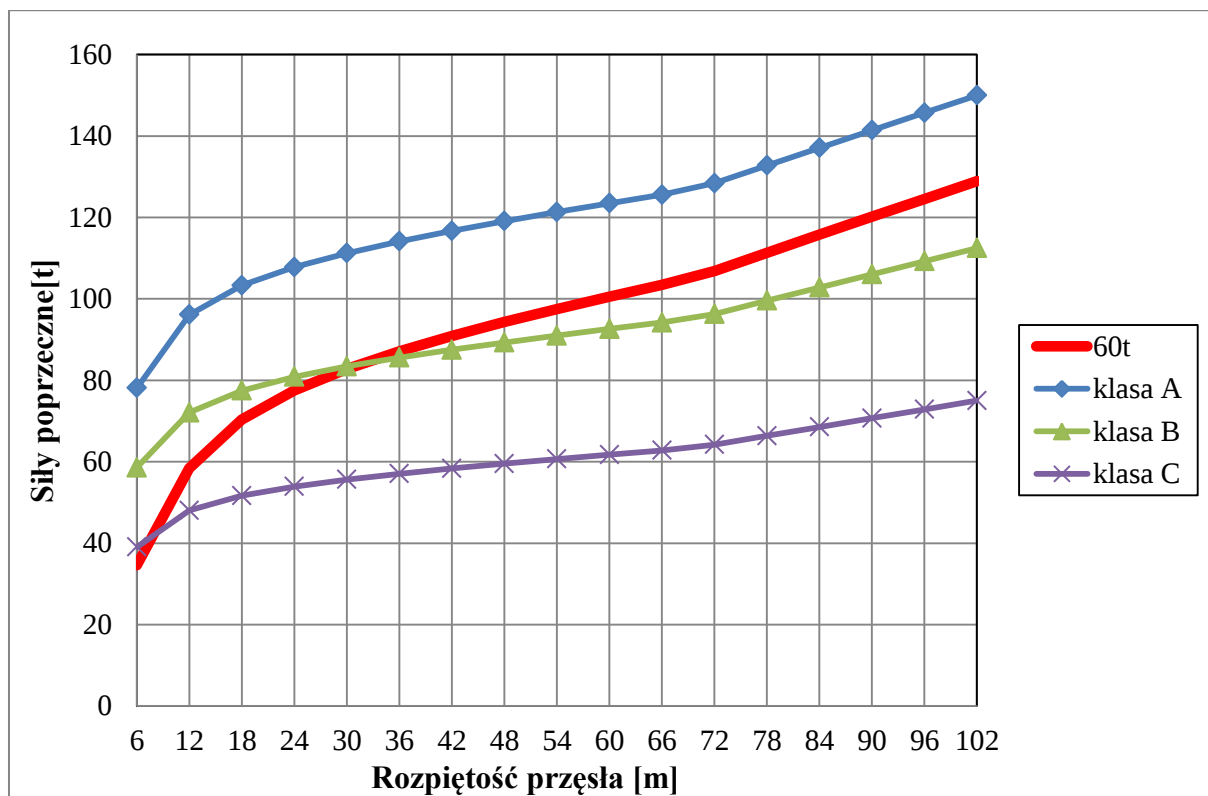
l	K	φ	q	klasa A	klasa B	klasa C	60t	$60 \times \varphi + q$	$A/(60 \times \varphi + q)$	$B/(60 \times \varphi + q)$	$C/(60 \times \varphi + q)$
[m]	[tm/m]	[-]	[tm/m]	[tm/m]	[tm/m]	[tm/m]	[tm/m]	[tm/m]	[%]	[%]	[%]
6	12,00	1,32	1,05	16,89	12,67	8,45	4,67	7,21	234	176	117
12	16,00	1,29	2,10	22,74	17,06	11,37	8,63	13,23	172	129	86
18	17,33	1,26	3,15	24,99	18,74	12,50	10,75	16,70	150	112	75
24	18,00	1,23	4,20	26,34	19,76	13,17	11,81	18,73	141	105	70
30	18,40	1,20	5,25	27,33	20,50	13,67	12,45	20,19	135	102	68
36	18,67	1,17	6,30	28,14	21,11	14,07	12,88	21,36	132	99	66
42	18,86	1,14	7,35	28,85	21,64	14,42	13,18	22,37	129	97	64
48	19,00	1,11	8,40	29,49	22,12	14,75	13,41	23,28	127	95	63
54	19,11	1,08	9,45	30,09	22,57	15,05	13,58	24,12	125	94	62
60	19,20	1,05	10,50	30,66	23,00	15,33	13,73	24,91	123	92	62
66	19,27	1,02	11,55	31,21	23,41	15,60	13,84	25,67	122	91	61
72	19,33	1,00	12,60	31,93	23,95	15,97	13,94	26,54	120	90	60
78	19,38	1,00	13,65	33,03	24,78	16,52	14,02	27,67	119	90	60
84	19,43	1,00	14,70	34,13	25,60	17,06	14,09	28,79	119	89	59
90	19,47	1,00	15,75	35,22	26,41	17,61	14,15	29,90	118	88	59
96	19,50	1,00	16,80	36,30	27,23	18,15	14,20	31,00	117	88	59
102	19,53	1,00	17,85	37,38	28,03	18,69	14,25	32,10	116	87	58

Tablica 8.6. Siły poprzeczne przy obciążeniu normowym i pojazdem o masie 60 t

l	K	φ	q	klasa A	klasa B	klasa C	60t	$60 \times \varphi + q$	$A/(60 \times \varphi + q)$	$B/(60 \times \varphi + q)$	$C/(60 \times \varphi + q)$
[m]	[t]	[-]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[%]	[%]	[%]
6	56,00	1,32	4,20	78,12	58,59	39,06	23,00	34,56	226	170	113
12	68,00	1,29	8,40	96,12	72,09	48,06	38,75	58,39	165	123	82
18	72,00	1,26	12,60	103,32	77,49	51,66	45,83	70,35	147	110	73
24	74,00	1,23	16,80	107,82	80,87	53,91	49,38	77,53	139	104	70
30	75,20	1,20	21,00	111,24	83,43	55,62	51,50	82,80	134	101	67
36	76,00	1,17	25,20	114,12	85,59	57,06	52,92	87,11	131	98	66
42	76,57	1,14	29,40	116,69	87,52	58,35	53,93	90,88	128	96	64
48	77,00	1,11	33,60	119,07	89,30	59,54	54,69	94,30	126	95	63
54	77,33	1,08	37,80	121,32	90,99	60,66	55,28	97,50	124	93	62
60	77,60	1,05	42,00	123,48	92,61	61,74	55,75	100,54	123	92	61
66	77,82	1,02	46,20	125,57	94,18	62,79	56,14	103,46	121	91	61
72	78,00	1,00	50,40	128,40	96,30	64,20	56,46	106,86	120	90	60
78	78,15	1,00	54,60	132,75	99,57	66,38	56,73	111,33	119	89	60
84	78,29	1,00	58,80	137,09	102,81	68,54	56,96	115,76	118	89	59
90	78,40	1,00	63,00	141,40	106,05	70,70	57,17	120,17	118	88	59
96	78,50	1,00	67,20	145,70	109,28	72,85	57,34	124,54	117	88	58
102	78,59	1,00	71,40	149,99	112,49	74,99	57,50	128,90	116	87	58



Rys. 8.1. Porównanie jednostkowych momentów zginających przy obciążeniu normowym i obciążeniu eksploatacyjnym - pojazdem o masie 60 t i równomiernie rozłożonym $0,4 \text{ t/m}^2$



Rys. 8.2. Porównanie sił poprzecznych przy obciążeniu normowym i obciążeniu eksploatacyjnym - pojazdem o masie 60 t i równomiernie rozłożonym $0,4 \text{ t/m}^2$

8.2. Klasyfikacja obiektów mostowych zaprojektowanych według PN-85/S-10030

Klasyfikację obiektów przeprowadzono biorąc pod uwagę:

- 3 schematy obciążenia eksploatacyjnego, o których mowa w rozdziale 6;
- 3 klasy obciążenia – A, B i C - według normy z PN-85/S-10030;
- 3 szerokości jezdni: $b = 7,00$ m, $10,50$ m lub $14,00$ m.

W celu łatwiejszej identyfikacji otrzymanych wyników zostaną przypomniane schematy obciążenia eksploatacyjnego:

Schemat nr 1:

- pierwszy pas ruchu jest obciążony pojazdem o masie 60 t, wywołującym efekt dynamiczny,
- drugi pas ruchu jest obciążony pojazdem o masie 40 t, wywołującym efekt dynamiczny,
- wszystkie pasy ruchu, w tym pierwszy i drugi pas ruchu, są obciążone obciążeniem równomiernie rozłożonym równym $0,4 \text{ t/m}^2$, w którym efekt dynamiczny jest uwzględniony w wartości obciążenia.

Taki schemat obciążenia eksploatacyjnego oznacza, że po obiekcie odbywa się ruch pojazdów bez żadnych ograniczeń.

Schemat nr 2:

- pierwszy pas ruchu jest obciążony pojazdem o masie 60 t, nie wywołującym efektu dynamicznego,
- drugi pas ruchu jest obciążony pojazdem o masie 40 t, wywołującym efekt dynamiczny,
- drugi oraz trzeci i czwarty pas ruchu, jeśli są, są obciążone obciążeniem równomiernie rozłożonym równym $0,4 \text{ t/m}^2$, w którym efekt dynamiczny jest uwzględniony w wartości obciążenia.

Taki schemat obciążenia eksploatacyjnego oznacza, że na obiekcie mostowym po pasie ruchu, po którym porusza się pojazd o masie 60 t z prędkością ograniczoną do 10 km/h nie odbywa się ruch innych pojazdów, natomiast po pozostałych pasach odbywa się ruch pojazdów bez dodatkowych ograniczeń.

Schemat nr 3:

- pojazd o masie 60 t porusza się w osi jezdni.

Taki schemat obciążenia eksploatacyjnego oznacza, że na obiekcie mostowym w osi jezdni porusza się pojazd o masie 60 t z prędkością ograniczoną do 10 km/h i nie ma żadnego innego ruchu pojazdów.

Klasyfikacje obiektów mostowych przeprowadzono porównując siły wewnętrzne, zwane siłami eksploatacyjnymi, wywołane w elemencie nośnym konstrukcji przęsła obciążeniem eksploatacyjnym (wzięto pod uwagę trzy schematy obciążenia), z siłami wewnętrznymi, zwanymi siłami normowymi, wywołanymi charakterystycznym obciążeniem normowym (wzięto pod uwagę trzy klasy obciążenia – A, B i C).

Obliczenia dotyczące obiektów belkowych znajdują się w załączniku nr 1 do niniejszego opracowania, a obliczenia dotyczące obiektów płytowych – w załączniku nr 2. Klasyfikację belkowych obiektów mostowych przedstawiono w tablicy 8.5., a płytowych obiektów mostowych - w tablicy 8.6. Klasyfikację obiektów płytowych przeprowadzono biorąc pod uwagę wartości jednostkowych momentów zginających (siły poprzeczne nie są miarodajne; płyta z reguły jest tak zbrojona, że ścinanie nie decyduje o możliwości przejazdu).

**Tablica 8.5. Klasyfikacja belkowych obiektów mostowych
ze względu na możliwość poruszania się pojazdów o masie 60 t**

b	Nr schematu	klasa A	klasa B	klasa C
7,00 m	1	tak	$l \leq 18 \text{ m}$	nie
	2	+	tak	tak ⁵⁾
	3	+	+	+
10,50 m	1	tak ¹⁾	$l \leq 6 \text{ m}$ $l \leq 12 \text{ m}^{3)}$	nie
	2	+	tak	$l \leq 6 \text{ m}$
	3	+	+	tak
14,00 m	1	tak ²⁾	$l \leq 6 \text{ m}$ $l \leq 12 \text{ m}^{4)}$	nie
	2	+	tak	$l \leq 6 \text{ m}^{6)}$
	3	+	+	tak

¹⁾ przekroczenie sił normowych do 4%, przy $l > 24 \text{ m}$ i $n = 2$ (tablica 2P)

²⁾ przekroczenie sił normowych do 2%, przy $l > 36 \text{ m}$ i $n = 2$ (tablica 3P)

³⁾ przekroczenie sił normowych do 6% (tablica 6M)

⁴⁾ przekroczenie sił normowych do 5% (tablica 8M)

⁵⁾ przekroczenie sił normowych do 1%, przy $l > 24 \text{ m}$ (tablica 10P)

⁶⁾ przekroczenie sił normowych do 2%, przy $n = 2$ (tablica 13P)

Oznaczenia przyjęte w tablicy 8.5.:

b – szerokość jezdni,

„tak” – siły normowe są większe niż eksploatacyjne – pojazd o masie 60 t może przejechać po obiekcie mostowym; wykonano obliczenia sprawdzające,

„+” – siły normowe są większe niż eksploatacyjne – pojazd o masie 60 t może przejechać po obiekcie mostowym; wynika to z obliczeń sprawdzających dla „tak”,

$l \leq \dots \text{m}$ - siły normowe są większe niż eksploatacyjne do podanej rozpiętości przęsła - pojazd o masie 60 t może przejechać po obiekcie mostowym do podanej rozpiętości przęsła,

„nie” - siły normowe są mniejsze niż eksploatacyjne – pojazd o masie 60 t nie może przejechać po obiekcie mostowym.

**Tablica 8.6. Klasyfikacja płytowych obiektów mostowych
ze względu na możliwość poruszania się pojazdów o masie 60 t**

<i>b</i>	Nr schematu	klasa A	klasa B	klasa C
7,00 m	1	tak ¹⁾	$l \leq 7 \text{ m}$	nie
	2	+	tak ⁴⁾	$l \leq 7 \text{ m}$
	3	+	+	tak
10,50 m	1	tak ²⁾	$l \leq 10,5 \text{ m}$	nie
	2	+	$l \leq 21 \text{ m}$	$l \leq 10,5 \text{ m}^{6)}$
	3	+	tak	tak
14,00 m	1	tak ³⁾	nie	nie
	2	+	$l \leq 14 \text{ m}$ $l \leq 28 \text{ m}^{5)}$	nie
	3	+	tak	tak

¹⁾ przekroczenie sił normowych do 6%, przy $l > 21 \text{ m}$ (tablica 1M)

²⁾ przekroczenie sił normowych do 7%, przy $l > 21 \text{ m}$ (tablica 2M)

³⁾ przekroczenie sił normowych do 6%, przy $l > 14 \text{ m}$ (tablica 3M)

⁴⁾ przekroczenie sił normowych do 8%, przy $l > 21 \text{ m}$ (tablica 5M)

⁵⁾ przekroczenie sił normowych do 8% (tablica 10M)

⁶⁾ przekroczenie sił normowych do 6% (tablica 13M)

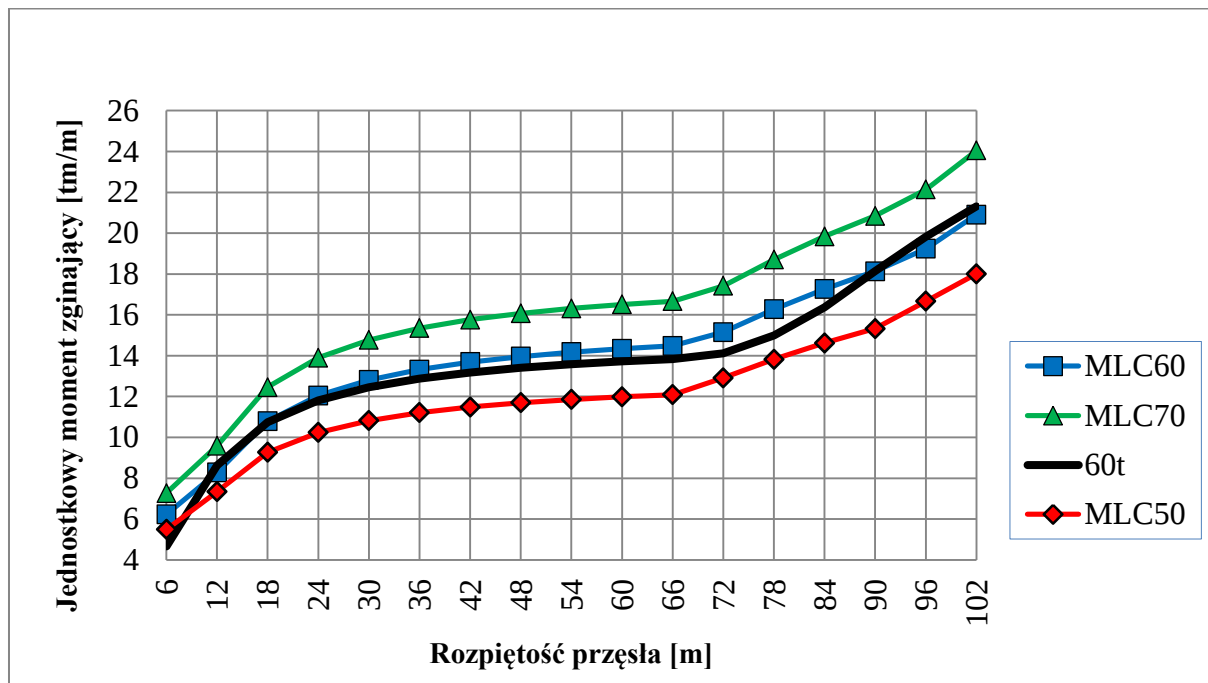
Oznaczenia przyjęte w tablicy 8.6. są takie, jak w 8.5.

Weryfikację przyjętej metodyki w odniesieniu do obiektów mostowych zaprojektowanych według normy PN-85/S-10030 przedstawiono w załączniku 3 do niniejszego opracowania.

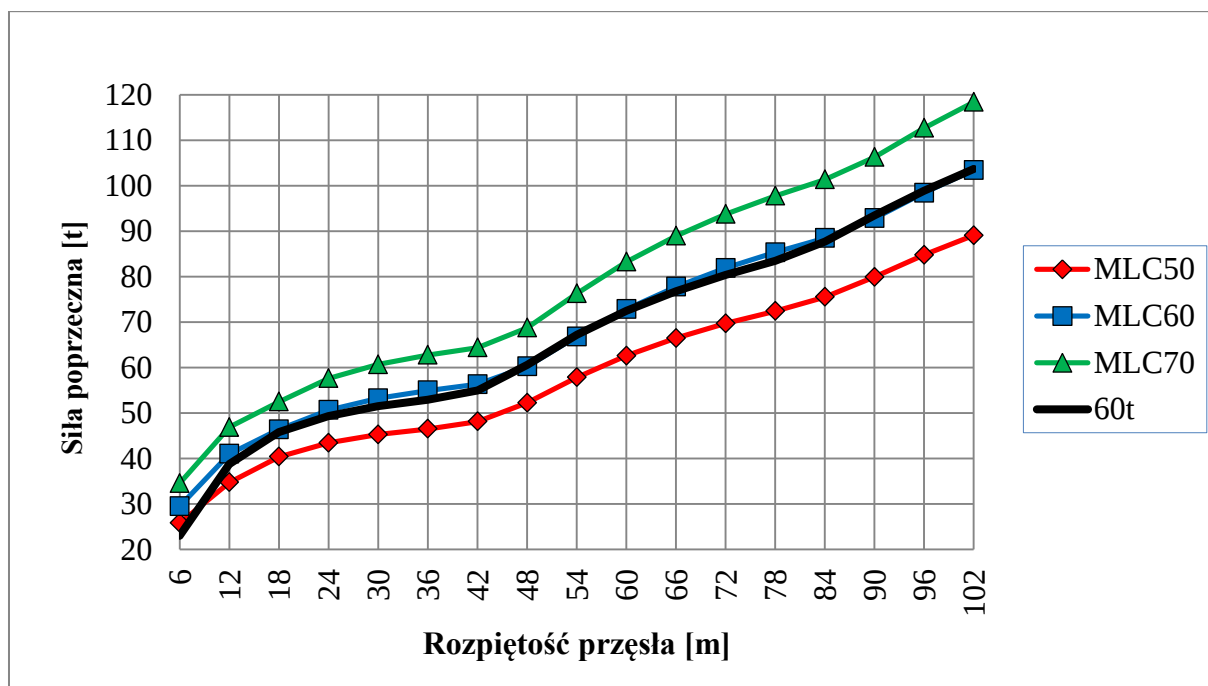
8.3. Klasyfikacja obiektów mostowych zaprojektowanych według norm obciążenia wydanych przed 1985 r., dla których wyznaczono wojskową klasę obciążenia *MLC*

Możliwość przejazdu pojazdów o masie 60 t po obiektach mostowych zaprojektowanych według norm obciążenia wydanych przez 1985 r. określono korzystając z wyznaczonej dla tych obiektów wojskowej klasy obciążenia *MLC*. Ze względu na to, że pojazd może przejechać po obiekcie mostowym, jeżeli wojskowa klasa pojazdu nie przekracza wojskowej klasy obiektu, mając wyznaczoną wojskową klasę obiektu należy wyznaczyć wojskową klasę pojazdu.

Wojskową klasę pojazdu wyznaczono porównując siły wewnętrzne w belce swobodnie podpartej obciążonej pojazdami hipotetycznymi o danej standardowej klasie *MLC* według umowy standaryzacyjnej STANAG 2021, z siłami wewnętrznymi wywołanymi pojazdami o masie 60 t. Na rys. 8.3. pokazano jednostkowe momenty zginające przy obciążeniu pojazdami hipotetycznymi klasy *MLC* 50, *MLC* 60 i *MLC* 70 i pojazdem o masie 60 t, a na rys. 8.4. - siły poprzeczne wywołane takim obciążeniem.



Rys. 8.3. Porównanie jednostkowych momentów zginających przy obciążeniu pojazdami hipotetycznymi i pojazdem o masie 60 t



Rys. 8.4. Porównanie sił poprzecznych przy obciążeniu pojazdami hipotetycznymi i pojazdem o masie 60 t

Klasa wojskowa pojazdu o masie 60 t to największa wartość siły wewnętrznej pomiędzy klasami standardowymi. W tym wypadku wojskowa klasa *MLC* jest wyznaczana ze względu na moment zginający przy rozpiętości 12 m i wynosi 62,6, w zaokrągleniu do liczby całkowitej - *MLC* 63.

W wydaniu 7 umowy standaryzacyjnej STANAG 2021 tymczasowa klasa *MLC* pojazdu kołowego jest obliczana jako iloczyn masy pojazdu wyrażonej w tonach i współczynnika 1,1.

Biorąc pod uwagę obliczoną klasę pojazdu równą *MLC* 63 i zgodną z zapisami STANAG-u jako *MLC* 66, w niniejszym opracowaniu przyjęto, że aby wyznaczyć tymczasową klasę *MLC* pojazdu, masę pojazdu wyrażoną w tonach należy przemnożyć przez współczynnik 1,1. Tak więc w odniesieniu do obiektów mostowych zaprojektowanych przed 1985 r., dla których wyznaczono wojskową klasę *MLC*, **masę pojazdu ciężkiego przejeżdżającego po obiekcie bez udziału innych pojazdów należy przemnożyć przez współczynnik 1,1.**

W odniesieniu do pojazdu o masie 60 t wyznaczona klasa *MLC* pojazdu będzie wynosiła *MLC* 66. Z przeprowadzonej analizy w punkcie 5 niniejszego opracowania wynika, że taką klasę obciążenia, przy ruchu pojazdów w dwóch kolumnach, ma co najmniej 39% obiektów mostowych, a przy ruchu pojazdów w jednej kolumnie - 64% obiektów zaprojektowanych przed 1985 r.

Udział pojazdów ciężkich w ruchu drogowym na obiekcie mostowym bez ograniczeń odpowiada ruchowi pojazdów wojskowych poruszających się w dwóch kolumnach. Tak więc dla obiektów o jezdni o więcej niż dwóch pasach ruchu należy porównać oddziaływanie obciążenia drugą kolumną pojazdów wojskowych i obciążenia eksploatacyjnego na drugim, trzecim i czwartym (jeśli występuje) pasie ruchu. Powyższe dotyczy obiektów o przęsłach płytowych, gdyż w przęsłach belkowych o jezdniach o trzech lub czterech pasach ruchu, oś obciążenia drugą kolumną pojazdów wojskowych znajduje się na ujemnej rzędnej linii wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia (tablica 7.2.). Analizę porównawczą obciążenia pojazdu o klasie *MLC* 66 i obciążenia eksploatacyjnego podano w tablicach 17 i 18 załącznika nr 2.

Z uwagi na to, że największa długość obiektu płytowego na drogach krajowych wynosi 32 m (str. 30), do tej rozpiętości przęsła obiektu oddziaływanie obciążenia pojazdem i obciążenia eksploatacyjnego jest porównywalne przy trzech pasach ruchu. Przy czterech pasach ruchu oddziaływanie obciążenia eksploatacyjnego jest większe niż obciążenie pojazdem *MLC* 66. Z tego względu zwiększono klasę *MLC* pojazdu do 70. Obliczenia dotyczące porównania obciążenia pojazdem *MLC* 70 i obciążenia eksploatacyjnego podano w tablicach 19 i 20 załącznika nr 2.

Pojazdy o masie do 60 t mogą poruszać się po obiektach mostowych następująco:

- jeżeli klasa *MLC* obiektu, dotycząca wojskowych pojazdów kołowych poruszających się w dwóch kolumnach, jest nie mniejsza niż 70, to pojazd ciężki może przejechać po obiekcie mostowym bez dodatkowych ograniczeń;
- jeżeli wyznaczona tymczasowa klasa *MLC* pojazdu jest nie większa niż klasa *MLC* obiektu, dotycząca wojskowych pojazdów kołowych poruszających się w jednej kolumnie, to pojazd ciężki może przejechać po obiekcie mostowym w osi jezdni z prędkością ograniczoną do 10 km/h, bez żadnego innego ruchu pojazdów na obiekcie.

W rozdziale 7 przeanalizowano stosunek wartości rzędnych linii wpływu w osi obciążenia jedną kolumną pojazdów wojskowych i w osi jezdni. Z uwagi na to, że w konstrukcjach płytowych stosunek ten szybko maleje ze wzrostem rozpiętości do szerokości przęsła, postanowiono nie zwiększać dodatkowo klasy *MLC*, gdy pojazd przejeżdża po obiekcie w osi jezdni.

9. KRYTERIA I WARUNKI PRZEJAZDU PO DROGOWYCH OBIEKTACH MOSTOWYCH POJAZDÓW O RZECZYWISTEJ MASIE CAŁKOWITEJ NIE WIĘKSZEJ NIŻ 60 TON ORAZ WNIOSKI ZAWIERAJĄCE WYTTCZNE DOTYCZĄCE UŻYTKOWANIA OBIEKTÓW MOSTOWYCH EKSPLOATOWANYCH

Wniosek z realizacji etapu I:

1. W celu ograniczenia wzrostu wyężenia konstrukcji mostowych **pozwolenia na przejazdy pojazdów nienormatywnych należy udzielać biorąc pod uwagę współczynnik R równy stosunkowi rzeczywistej masy całkowitej m do rozstawu skrajnych osi s** . Współczynnik R powinien być nie większy niż:

- w odniesieniu do pojazdów o masie do 46 t:

$$R = 4 \text{ [t/m]}$$

- w odniesieniu do pojazdów o masie większej niż 46 t:

$$R = 4 - \frac{m - 46}{20} \text{ [t/m]}.$$

Wnioski z realizacji etapu II:

2. Na podstawie wyników przeprowadzonej analizy (pkt 8.1.4. i 8.2.), **w odniesieniu do obiektów mostowych zaprojektowanych według normy PN-85/S-10030, Instytut Badawczy Dróg i Mostów stwierdza, że pojazdy o rzeczywistej masie całkowitej do 60 t mogą poruszać się:**

1) **bez dodatkowych warunków:**

- po obiektach mostowych o dowolnej rozpiętości przęsła, zaprojektowanych na klasę *A* obciążenia,
- po obiektach mostowych o rozpiętości przęsła nie większej niż 12 m, zaprojektowanych na klasę *B* obciążenia;

2) **pod warunkiem ograniczenia prędkości do 10 km/h oraz pod warunkiem, że na pasie ruchu po którym odbywa się ruch pojazdu nie ma innych pojazdów:**

- po obiektach mostowych o rozpiętości przęsła większej niż 12 m, zaprojektowanych na klasę *B* obciążenia;

3) **pod warunkiem przejazdu w osi jezdni i ograniczenia prędkości do 10 km/h:**

- po obiektach mostowych o dowolnej rozpiętości przęsła i dowolnej liczbie pasów ruchu na jezdni, zaprojektowanych na klasę *C* obciążenia.

Powyższe warunki dotyczą obiektów mostowych o dobrym stanie technicznym.

3. Na podstawie wyników przeprowadzonej analizy, **w odniesieniu do obiektów mostowych zaprojektowanych według normy obciążenia wydanej przed 1985 r.**, dla których wyznaczono wojskową klasę obciążenia *MLC*, Instytut Badawczy Dróg i Mostów stwierdza, że pojazdy o rzeczywistej masie całkowitej do 60 t mogą poruszać się:

1) bez dodatkowych warunków:

- po obiektach mostowych, których klasa *MLC*, dotycząca wojskowych pojazdów kołowych poruszających się w dwóch kolumnach, jest nie mniejsza niż 70, tj. $MLC \geq 70$;

2) pod warunkiem przejazdu w osi jezdni i ograniczenia prędkości do 10 km/h:

- po obiektach mostowych, których klasa *MLC*, dotycząca wojskowych pojazdów kołowych poruszających się w jednej kolumnie, jest nie mniejsza niż tymczasowa klasa *MLC* pojazdu, obliczona jako iloczyn masy pojazdu wyrażona w tonach i współczynnika 1,1.

Jeżeli nie występuje żaden z wymienionych przypadków albo obiekt nie ma wyznaczonych klas obciążenia *MLC*, pojazd może przejechać po obiekcie mostowym na podstawie ekspertyzy, opartej o obliczenia statyczno-wytrzymałościowe konstrukcji obiektu.

Wnioski wymienione w punktach 2 i 3 zostały przedstawione na schemacie blokowym na końcu niniejszego rozdziału.

4. W odniesieniu do obiektów oznakowywanych, **przed wjazdem na obiekt należy umieścić tablicę z grupy znaków uzupełniających (F)**, przedstawiającą schemat poruszania się po obiekcie mostowym pojazdów o rzeczywistej masie całkowitej do 60 t. Tablica powinna być barwy żółtej z obrzeżem i symbolami barwy czarnej.

Na tablicy należy schematycznie nanieść:

- 1) istniejące oznakowanie poziome na obiekcie mostowym (podział na poszczególne pasy ruchu),
- 2) obowiązkowy sposób poruszania się pojazdu ciężkiego po obiekcie mostowym,
- 3) oznakowanie pionowe (znak B-18 „zakaz wjazdu pojazdów o rzeczywistej masie całkowitej do 60 t) nad poszczególnymi pasami ruchu, gdy jezdnia ma więcej niż 2 pasy ruchu.

5. Potrzeba przejazdu pojazdu o masie do 60 t w osi jezdni niektórych obiektów mostowych może skutkować koniecznością zmiany w ustawie z dnia 18 sierpnia 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo o ruchu drogowym oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2011 r. Nr 222, poz. 1321).

Do art. 64 ust. 1 ppkt 3), który brzmi:

„1. Ruch pojazdu nienormatywnego jest dozwolony pod warunkiem:

3) pilotowania przejazdu pojazdu nienormatywnego przez pilota, w przypadku gdy pojazd przekracza co najmniej jedną z następujących wielkości:

- a) długość – 23 m,
- b) szerokość – 3,2 m,
- c) wysokość – 4,5 m,
- d) rzeczywista masa całkowita – 60 t.”

można byłoby dopisać:

„lub, gdy nośność obiektu mostowego jest niewystarczająca”.

Schemat blokowy przejazdu po obiektach mostowych pojazdów o masie do 60 t

