

# ZAŁĄCZNIK

## nr 02

---

### ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

---

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
**Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie**

---

Październik 2024 r.

---

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

---

## Spis treści

<b>Spis treści</b>	<b>2</b>
<b>1 Wstęp</b>	<b>5</b>
1.1 Przedmiot i cel opracowania . . . . .	6
1.2 Oprogramowanie . . . . .	6
1.3 Opis konstrukcji . . . . .	6
<b>2 Dane modelowe</b>	<b>10</b>
2.1 Założenia i parametry modelowe . . . . .	11
2.2 Beton . . . . .	12
2.2.1 Estymacja wyników badań . . . . .	12
2.2.2 Parametry materiałowe . . . . .	13
2.3 Stal zbrojeniowa . . . . .	14
2.4 Stal zbrojeniowa . . . . .	14
2.5 Płyta pomostowa . . . . .	15
2.6 Dźwigary główne . . . . .	16
2.7 Poprzecznicę środkową . . . . .	17
2.8 Poprzecznicę podporowe . . . . .	18
2.9 Poprzecznicę skrajne . . . . .	19
2.10 Słupopale . . . . .	20
2.11 Schemat łóżykowania . . . . .	21
<b>3 Oddziaływania na konstrukcję</b>	<b>22</b>
3.1 Oddziaływanie stałe konstrukcyjne . . . . .	23
3.2 Oddziaływanie stałe niekonstrukcyjne . . . . .	23
3.3 Oddziaływanie wiatru . . . . .	24
3.4 Oddziaływanie termiczne . . . . .	25
3.4.1 Wartości ekstremalne temperatur elementów betonowych . . . . .	25
3.5 Oddziaływanie taboru drogowego . . . . .	26
3.5.1 Oddziaływania pionowe $K+q$ . . . . .	27

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

3.5.2	Oddziaływania pionowe $S(2)$ . . . . .	28
3.5.3	Siły hamowania i przyspieszania . . . . .	29
3.5.4	Siły odśrodkowe i poprzeczne . . . . .	29
3.5.5	Efekty dynamiczne . . . . .	30
3.5.5.1	Funkcja współczynnika dynamicznego . . . . .	30
3.5.5.2	Ustrój nośny . . . . .	30
3.5.5.3	Wsporniki dźwigarów głównych . . . . .	30
3.6	Oddziaływanie taboru użytkowego . . . . .	31
3.6.1	Oddziaływania pionowe $S+q$ . . . . .	31
3.6.2	Efekty dynamiczne . . . . .	32
3.7	Oddziaływanie nierównomiernego osiadania podpór . . . . .	33
3.8	Efekty reologiczne betonu . . . . .	34
<b>4</b>	<b>Kombinacje oddziaływań</b>	<b>35</b>
4.1	Stany graniczne nośności . . . . .	36
4.2	Stany graniczne użytkowalności . . . . .	36
<b>5</b>	<b>Analiza globalna</b>	<b>37</b>
5.1	Model konstrukcji . . . . .	38
5.1.1	Parametry etapowania etapów . . . . .	39
<b>6</b>	<b>Analiza stanów granicznych</b>	<b>41</b>
6.1	Kryteria graniczne obiektu drogowego . . . . .	42
6.1.1	Częstość drgań pionowych przęsła . . . . .	42
6.1.2	Ugięcie pionowe elementu . . . . .	43
6.1.2.1	$SLS:L* \lambda/C$ . . . . .	43
6.1.2.2	$SLS:L* \lambda/D$ . . . . .	44
6.1.2.3	$SLS:L* S/24$ . . . . .	45
6.2	Płyta pomostowa . . . . .	46
6.2.1	Ograniczenie naprężeń w betonie . . . . .	46
6.2.1.1	Warunek graniczny . . . . .	46
6.2.1.2	$ULS \lambda/C$ . . . . .	46
6.2.1.3	$ULS S/24$ . . . . .	47
6.2.2	Ograniczenie naprężeń w zbrojeniu dolnym . . . . .	48
6.2.2.1	Warunek graniczny . . . . .	48
6.2.2.2	$ULS \lambda/C$ . . . . .	48
6.2.2.3	$ULS S/24$ . . . . .	49
6.2.3	Ograniczenie rozwarcia rysy w betonie . . . . .	50
6.2.3.1	Warunek graniczny . . . . .	50

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

---

6.3	Dźwigary główne . . . . .	51
6.3.1	Ograniczenie naprężeń w betonie . . . . .	51
6.3.1.1	Warunek graniczny . . . . .	51
6.3.1.2	ULS $\lambda/C$ . . . . .	51
6.3.1.3	ULS S/24 . . . . .	52
6.3.2	Ograniczenie naprężeń w zbrojeniu dolnym . . . . .	53
6.3.2.1	Warunek graniczny . . . . .	53
6.3.2.2	ULS $\lambda/C$ . . . . .	53
6.3.2.3	ULS S/24 . . . . .	54
6.3.3	Ograniczenie rozwarcia rysy w betonie . . . . .	55
6.3.3.1	Warunek graniczny . . . . .	55
6.3.3.2	SLS $\lambda/C$ . . . . .	56
6.3.3.3	SLS S/24 . . . . .	57
6.3.4	Zbrojenie na ścinanie . . . . .	58
6.3.4.1	ULS+SLS $\lambda/C$ . . . . .	58
6.3.4.2	ULS+SLS $\lambda/D$ . . . . .	59
6.3.4.3	ULS+SLS S/24 . . . . .	60
6.3.4.4	ULS+SLS S/16 . . . . .	61
<b>7</b>	<b>Podsumowanie</b>	<b>62</b>
7.1	Status opracowania . . . . .	63
7.2	Opis wyników . . . . .	63
7.3	Nośność obiektu . . . . .	64
	<b>Bibliografia</b>	<b>65</b>



# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

---

# 1

## Wstęp

---

1.1	Przedmiot i cel opracowania . . . . .	6
1.2	Oprogramowanie . . . . .	6
1.3	Opis konstrukcji . . . . .	6

---

## 1.1 Przedmiot i cel opracowania

Przedmiotem opracowania jest analiza nośności i użytkowości przęsła obiektu mostowego przeznaczonego do ruchu drogowego. Celem analizy jest określenie nośności przęsła obiektu zgodnie z normami projektowymi z serii Polska Norma, m.in. PN-S-10030:1985 [1]. W wybranych zagadnieniach projektowych zastosowanie mają normy projektowe z serii Eurokod, m.in. PN-EN 1991-2 [2]. Dodatkowo określa się nośność użytkową wynikającą z możliwości przenoszenia obciążeń przez obiekt od modeli wzorcowych [3].

## 1.2 Oprogramowanie

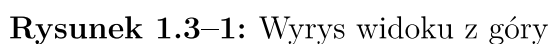
Analizę konstrukcji wykonano z wykorzystaniem oprogramowania SOFiSTiK, którego obliczenia z zakresu mechaniki bazują na Metodzie Elementów Skończonych. Analizę nośności i użytkowości konstrukcji przeprowadzono w oparciu o autorskie algorytmy obliczeniowe i/lub z wykorzystaniem procedur środowiska SOFiSTiK oraz BACADRA.

- wersja programu Python: 3.12.7
- wersja programu BACADRA: 0.4.61
- wersja programu SOFiSTiK: 2023

## 1.3 Opis konstrukcji

Schemat statyczny mostu to rama trójprzęsłowa ze wspornikami. Na konstrukcję pomostu składa się pięć dźwigarów żelbetowych o zmiennej szerokości i wysokości, zespolonych z żelbetową płytą pomostową. Konstrukcja pomostu jest oparta na słupach stanowiących przedłużenie pali wielkośredniowych. Od strony Konina zaprojektowano węzły przegubowo-nieprzesuwne, natomiast od strony Ślęsina ukształtowano stalowe przeguby przesuwne.

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
**Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie**





# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

---



Rysunek 1.3–4: Widok konstrukcji przęsła



Rysunek 1.3–5: Widok konstrukcji podpór w osiach nr 1 i 2



## ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

---



Rysunek 1.3-6: Widok konstrukcji podpór w osiach nr 3 i 4



Rysunek 1.3-7: Widok łożyska typu wahacz

## Dane modelowe

---

2.1	Założenia i parametry modelowe . . . . .	11
2.2	Beton . . . . .	12
2.3	Stal zbrojeniowa . . . . .	14
2.4	Stal zbrojeniowa . . . . .	14
2.5	Płyta pomostowa . . . . .	15
2.6	Dźwigary główne . . . . .	16
2.7	Poprzecznicę środkową . . . . .	17
2.8	Poprzecznicę podporową . . . . .	18
2.9	Poprzecznicę skrajną . . . . .	19
2.10	Słupopale . . . . .	20
2.11	Schemat łozyskowania . . . . .	21

---

## 2.1 Założenia i parametry modelowe

Wprowadza się wybrane zmienne obowiązujące na przestrzeni całego raportu. Odzworowują one podstawowe parametry środowiska oraz konstrukcji w zagadnieniach fizycznych, geometrycznych, z zakresu analizy numerycznej, procedur wymiarowania oraz inne.

- przyspieszenie ziemskie:  $10 \text{ m/s}^2$
- rozpiętości teoretyczne przęseł w linii środkowej jezdni (razem ze wspornikami):

$$L_{Ts} = [10.565 \quad 5.650 \quad 29.900 \quad 5.650 \quad 10.565] \text{ m}$$

Zakłada się następujący schemat orientowania przestrzeni:

- kierunek X – zorientowany zgodnie ze środkową osią podłużną obiektu,
- kierunek Z – zorientowany zgodnie z kierunkiem siły ciężkości,
- kierunek Y – zorientowany na podstawie kierunku X oraz Z z zachowaniem układu prawoskrętnego.

## 2.2 Beton

### 2.2.1 Estymacja wyników badań

Przeprowadzono serię odwiertów rdzeniowych dla których przeprowadzono badanie próbek na ściskanie. Ocene charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie przeprowadzono na podstawie normatywu PN-EN 13791:2008 [4].

- wytrzymałość na ściskanie w konstrukcji w przeliczeniu dla znormalizowanych próbek cylindrycznych:

$$\vec{f_{ck,is}} = [20.2 \quad 18.5 \quad 20.5 \quad 17.9 \quad 15.1] \text{ MPa}$$

- średnia wytrzymałość próbek na ściskanie  $f_{cm,is} = 18.5 \text{ MPa}$  w konstrukcji:
- najniższa wytrzymałość próbek na ściskanie w konstrukcji:  $f_{cl,is} = 15.1 \text{ MPa}$
- przypadek analizy [4, 7.3.1, 7.3.2]: B
- zmienna zależna od liczby wyników badań:  $k = k(n) = 7 \text{ MPa}$
- charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji:

$$f_{c1,is} = f_{cm,is} - k = 11.5 \text{ MPa}$$

$$f_{c2,is} = f_{cl,is} + 4 \text{ MPa} = 19.1 \text{ MPa}$$

$$f_{ck,is} = \min(f_{c1,is}, f_{c2,is}) = 11.5 \text{ MPa}$$

Na podstawie wyników badania oraz stosunku charakterystycznej wytrzymałości betonu w konstrukcji do charakterystycznej wytrzymałości znormalizowanych próbek do badania równego 0.85, określono klasę wytrzymałości betonu jako **C 12/15**.



## 2.2.2 Parametry materiałowe

Minimalna klasa betonu konstrukcyjnego wg normy to B 20. Wytrzymałość betonu na ściskanie określona na podstawie badań wskazuje, że jest to beton pozaklasowy. Parametry materiału przyjęto na podstawie ekstrapolacji klas sąsiednich.

- klasa materiału: B 15
- wytrzymałość gwarantowana na ściskanie:  $R_{bG} = 15 \text{ MPa}$
- wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie:  $R_{bk} = 11.3 \text{ MPa}$
- wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie:  $R_{btk,005} = 1.20 \text{ MPa}$
- wytrzymałość średnia na rozciąganie:  $R_{btk,050} = 1.60 \text{ MPa}$
- współczynnik bezpieczeństwa materiału przy wymiarowaniu elementów żelbetowych i z betonu sprężonego:  $\gamma_{b1} = 1.30$
- współczynnik bezpieczeństwa materiału przy krótkotrwałym przeciążeniu elementów żelbetowych i z betonu sprężonego oraz w czasie budowy:  $\gamma_{b2} = 1.17$
- współczynnik bezpieczeństwa materiału przy wymiarowaniu elementów z betonu niezbrojonego:  $\gamma_{bb} = 1.69$
- współczynnik bezpieczeństwa materiału przy wymiarowaniu elementów żelbetowych na osiowe rozciąganie:  $\gamma_{bt} = 1.50$
- współczynnik bezpieczeństwa materiału przy wymiarowaniu elementów betonowych na osiowe rozciąganie:  $\gamma_{bbt} = 1.90$
- moduł odkształcalności podłużnej betonu osiowo ściskanego:  $E_b = 23.1 \text{ GPa}$
- współczynnik odkształcalności poprzecznej:  $v_b = 0.167$
- współczynnik rozszerzalności termicznej:  $\alpha = 10 \cdot 10^{-6}$
- ciężar objętościowy betonu zbrojonego:  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$

## 2.3 Stal zbrojeniowa

- klasa materiału: A-II
- granice plastyczności:  $R_{ak} = 355 \text{ MPa}$
- współczynnik bezpieczeństwa:  $\gamma_a = 1.20$
- moduł odkształcalności podłużnej:  $E_a = 210.0 \text{ GPa}$
- maksymalne dopuszczalne odkształcenia rozciągające nośności granicznej:  $\varepsilon_{ut} = 10.0 \text{ ‰}$
- maksymalne dopuszczalne odkształcenia ściskające nośności granicznej:  $\varepsilon_{uc} = 3.5 \text{ ‰}$
- współczynnik rozszerzalności termicznej:  $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} / \Delta^\circ\text{C}$
- ciężar objętościowy:  $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$

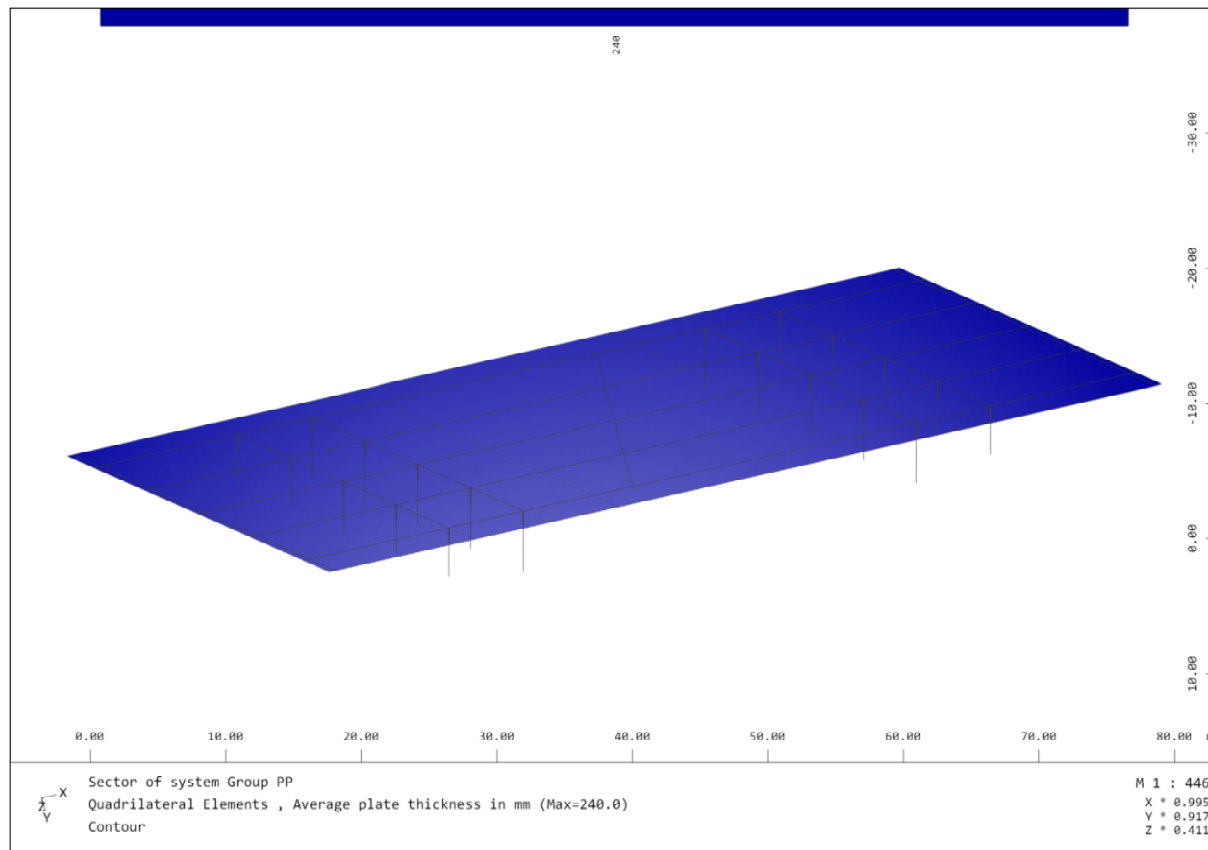
## 2.4 Stal zbrojeniowa

- klasa materiału: A-0
- granice plastyczności:  $R_{ak} = 220 \text{ MPa}$
- współczynnik bezpieczeństwa:  $\gamma_a = 1.20$
- moduł odkształcalności podłużnej:  $E_a = 210.0 \text{ GPa}$
- maksymalne dopuszczalne odkształcenia rozciągające nośności granicznej:  $\varepsilon_{ut} = 10.0 \text{ ‰}$
- maksymalne dopuszczalne odkształcenia ściskające nośności granicznej:  $\varepsilon_{uc} = 3.5 \text{ ‰}$
- współczynnik rozszerzalności termicznej:  $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} / \Delta^\circ\text{C}$
- ciężar objętościowy:  $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 2.5 Płyta pomostowa

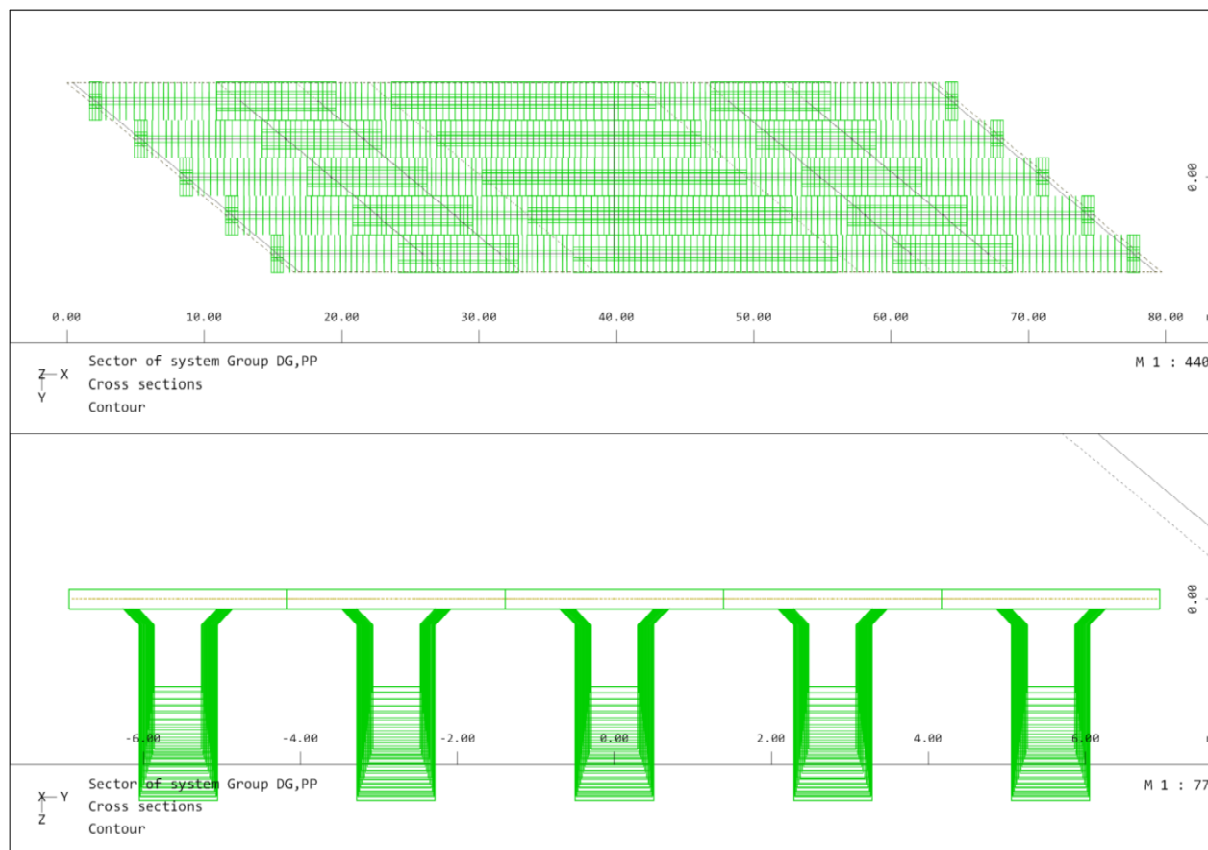


- materiał: B 15 + A-0
- zbrojenie poprzeczne dolne w środku prze-  $\#18/170 = 15.0 \text{ cm}^2/\text{m}$   
sła środkowego:

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 2.6 Dźwigary główne

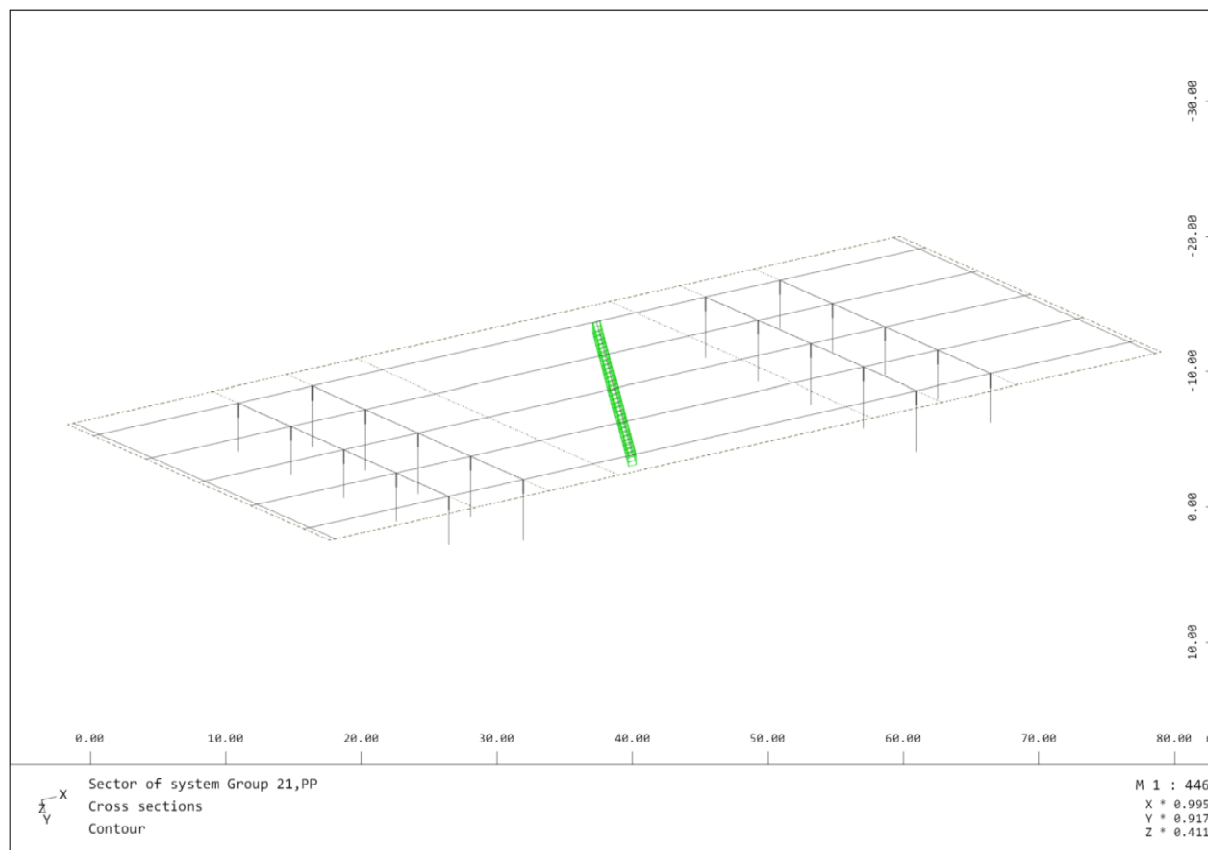


- materiał:  $B 15 + A-II + A-0$
- zbrojenie dolne w środku przęsła środkowego:  $7\#32 + 4\#32 = 88.5 \text{ cm}^2$
- strzemiona przy filarach wewnętrznych:  $4\#12/150 = 30.2 \text{ cm}^2/\text{m}$

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 2.7 Poprzecznica środkowa



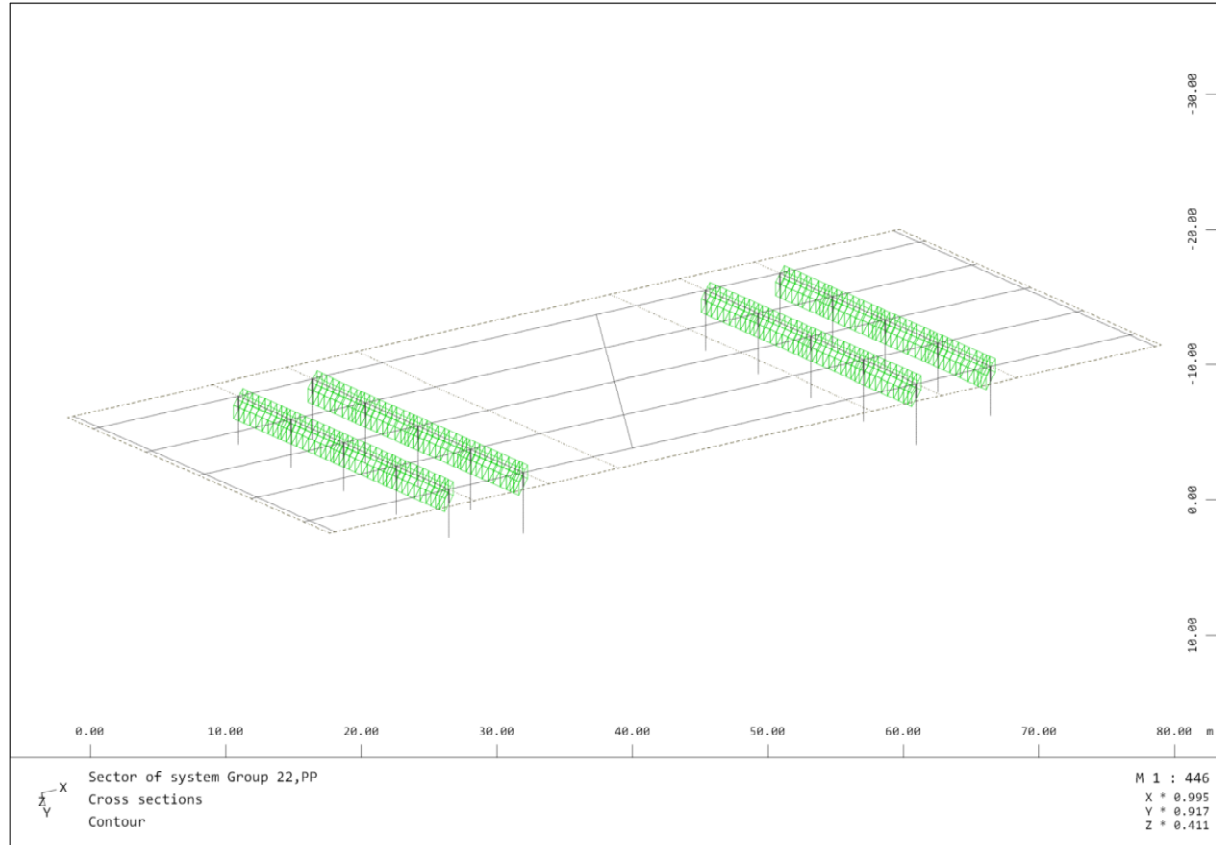
- materiał:

B 15

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 2.8 Poprzecznice podporowe



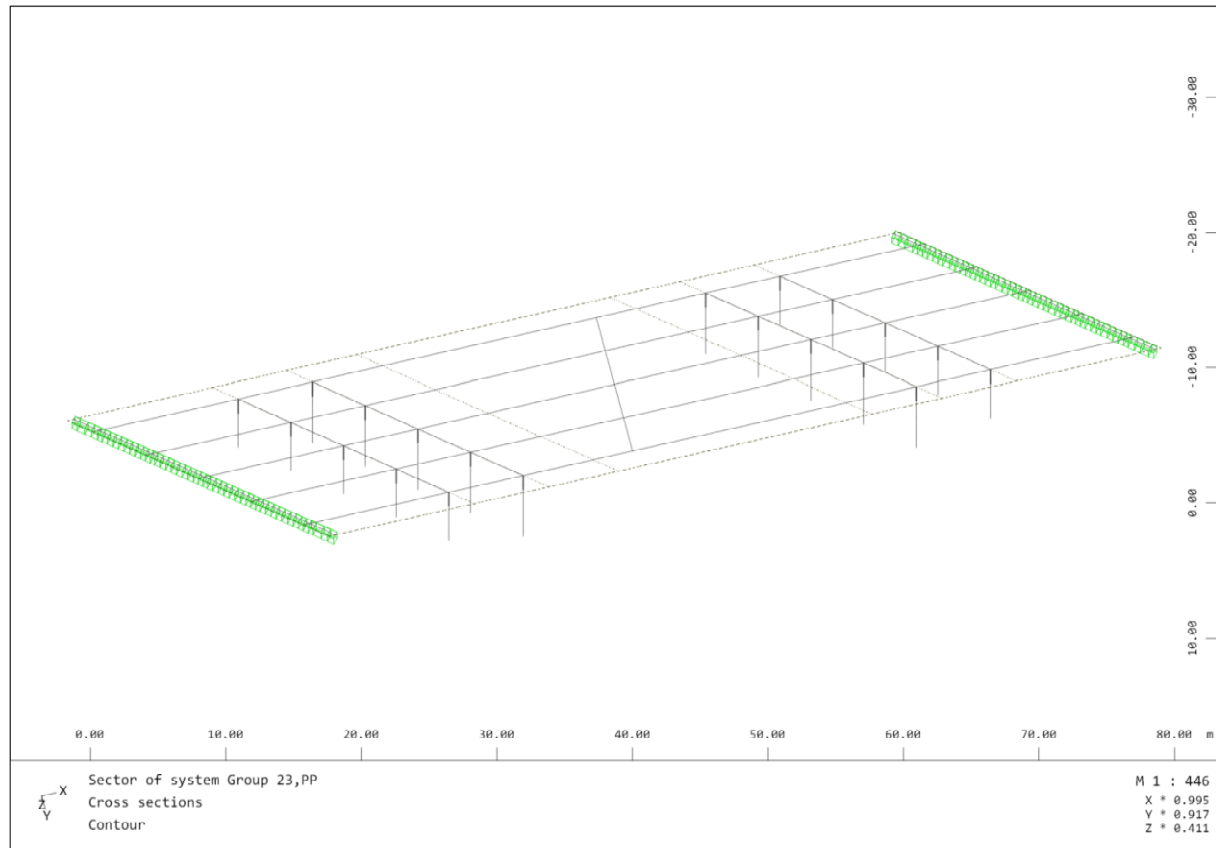
- materiał:

B 15

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 2.9 Poprzecznice skrajne



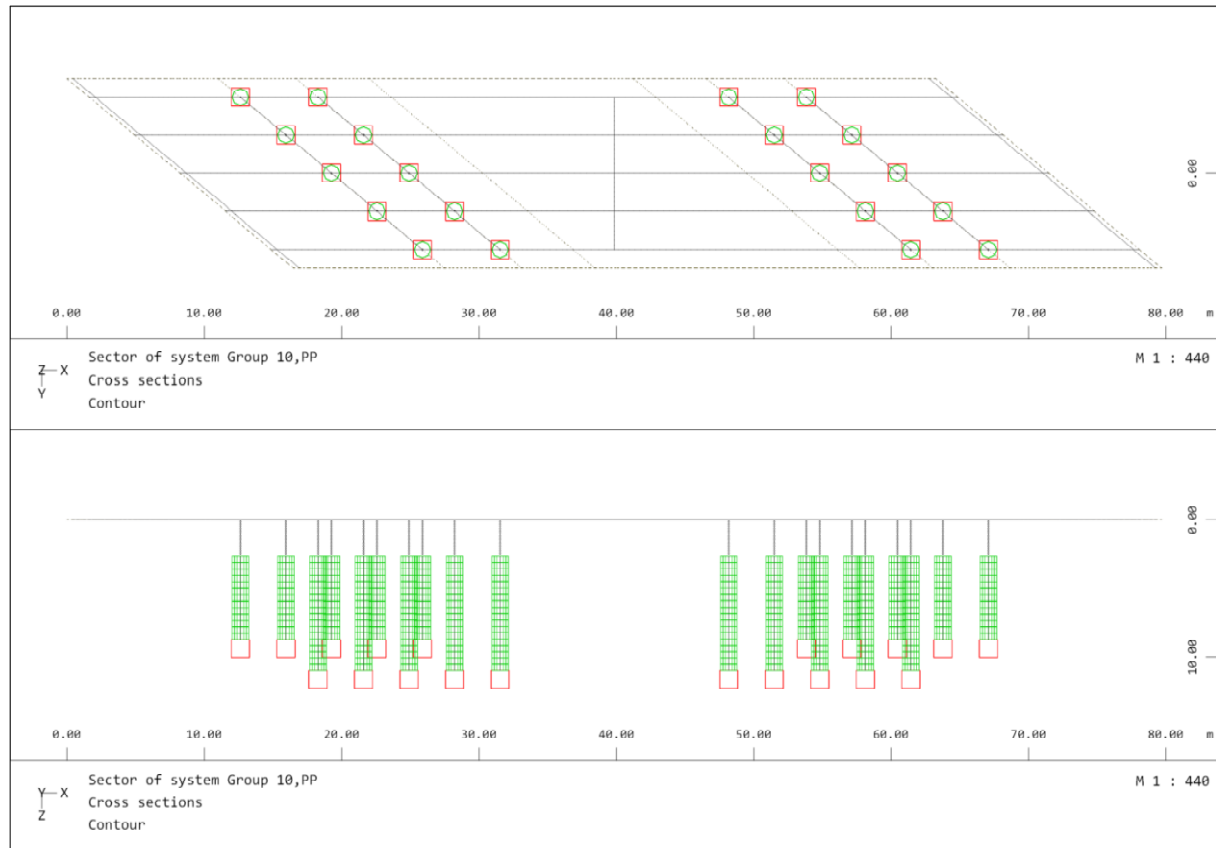
- materiał:

B 15

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 2.10 Słupopale



- materiał:

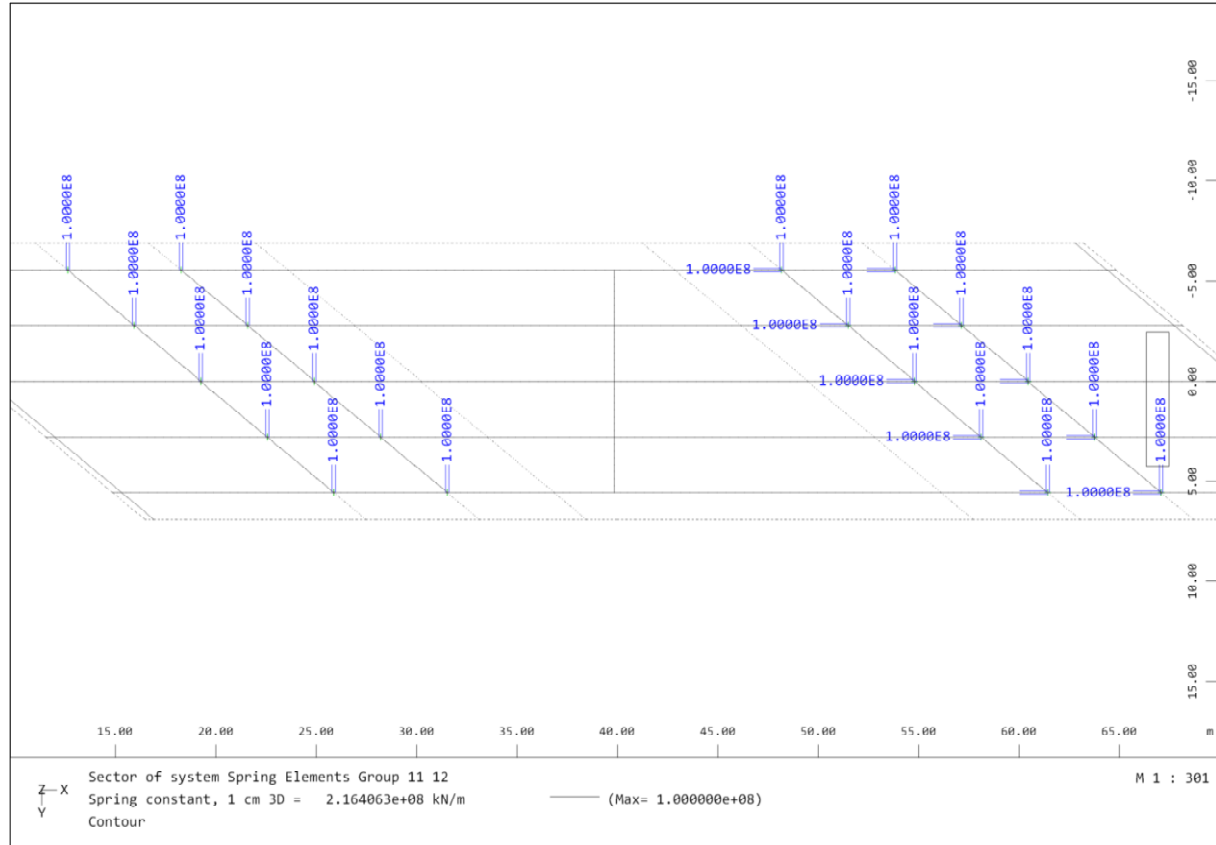
B 15



# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 2.11 Schemat łożyskowania



## Oddziaływania na konstrukcję

---

3.1	Oddziaływanie stałe konstrukcyjne . . . . .	<b>23</b>
3.2	Oddziaływanie stałe niekonstrukcyjne . . . . .	<b>23</b>
3.3	Oddziaływanie wiatru . . . . .	<b>24</b>
3.4	Oddziaływanie termiczne . . . . .	<b>25</b>
3.5	Oddziaływanie taboru drogowego . . . . .	<b>26</b>
3.6	Oddziaływanie taboru użytkowego . . . . .	<b>31</b>
3.7	Oddziaływanie nierównomiernego osiadania podpór . . . . .	<b>33</b>
3.8	Efekty reologiczne betonu . . . . .	<b>34</b>

---

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 3.1 Oddziaływanie stałe konstrukcyjne

Obciążenie stałe konstrukcyjne zostało wygenerowane automatycznie z uwagi na przekrój poprzeczny elementów skończonych oraz ciężar objętościowy materiału. Zastosowanie ma norma projektowa [1].

współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>P</b>	$\gamma_{sup} = 1.20$	$\gamma_{inf} = 0.90$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>D</b>	$\gamma_{sup} = 1.20$	$\gamma_{inf} = 0.90$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>W</b>	$\gamma_{sup} = 1.20$	$\gamma_{inf} = 0.90$

## 3.2 Oddziaływanie stałe niekonstrukcyjne

Uwzględniono ciężar znaczących elementów niekonstrukcyjnych znajdujących się na obiekcie. Zastosowanie ma norma projektowa [1].

współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>P</b>	$\gamma_{sup} = 1.50$	$\gamma_{inf} = 0.90$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>D</b>	$\gamma_{sup} = 1.50$	$\gamma_{inf} = 0.90$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>W</b>	$\gamma_{sup} = 1.50$	$\gamma_{inf} = 0.90$

- ciężar nawierzchni drogowej:  $p_k = 23 \text{ kN/m}^3 \cdot 90 \text{ mm} = 2.07 \text{ kPa}$
- ciężar izolacji termozgrzewalnej:  $p_k = 14 \text{ kN/m}^3 \cdot 10 \text{ mm} = 0.14 \text{ kPa}$
- ciężar wypełnienia /1:  $p_k = 20 \text{ kN/m}^3 \cdot 32 \text{ mm} = 0.64 \text{ kPa}$
- ciężar wypełnienia /2:  $p_k = 20 \text{ kN/m}^3 \cdot 50 \text{ mm} = 1.00 \text{ kPa}$
- ciężar nawierzchni chodnikowej:  $p_k = 23 \text{ kN/m}^3 \cdot 40 \text{ mm} = 0.92 \text{ kPa}$
- ciężar kapy chodnikowej:  $p_k = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 200 \text{ mm} = 5.00 \text{ kPa}$
- ciężar krawężnika drogowego:  $q_k = 1.20 \text{ kN/m}$
- ciężar bariery ochronnej:  $q_k = 0.50 \text{ kN/m}$

### 3.3 Oddziaływanie wiatru

Obciążenie wiatrem przyjęto jako oddziaływanie poziome działające w kierunku najmniej korzystniejszym dla konstrukcji. Powierzchnię parcia wiatru działającego prostopadle do osi mostu dla konstrukcji pełnościennych oblicza się jako powierzchnię rzutu ograniczoną obrysem zewnętrznych krawędzi elementów łącznie z chodnikami i urządzeniami obcymi, niezależnie od tego ile elementów znajduje się w kierunku działania wiatru. Obciążenie stosuje się tylko w miejscach gdzie wywołuje wartość niekorzystną obliczanej wielkości statycznej. Zastosowanie ma norma projektowa [1].

współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>P</b>	$\gamma_{sup} = 1.30$	$\gamma_{inf} = 0.00$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>D</b>	$\gamma_{sup} = 1.20$	$\gamma_{inf} = 0.00$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>W</b>	$\gamma_{sup} = 1.10$	$\gamma_{inf} = 0.00$

- ciśnienie wiatru na jednostkę powierzchni przęsła  $w_k = 1.25$  kPa  
obciążonego pojazdami ruchomymi:
- ciśnienie wiatru na jednostkę powierzchni przęsła  $w_k = 2.50$  kPa  
nieobciążonego pojazdami ruchomymi:

## 3.4 Oddziaływanie termiczne

Poziom odniesienia zmian temperatur w konstrukcjach stanowi temperatura budowy lub montażu. W czasie montażu temperatura zwarcia każdorazowo powinna być określona zgodnie z warunkami lokalnymi. Zastosowanie ma norma projektowa [1].

współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>P</b>	$\gamma_{sup} = 1.30$	$\gamma_{inf} = 0.00$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>D</b>	$\gamma_{sup} = 1.20$	$\gamma_{inf} = 0.00$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>W</b>	$\gamma_{sup} = 1.10$	$\gamma_{inf} = 0.00$

- temperatura odniesienia:  $T_0 = +10^\circ\text{C}$

### 3.4.1 Wartości ekstremalne temperatur elementów betonowych

- maksymalna oraz minimalna temperatura elementów:

$$T_{e,max} = +30.0^\circ\text{C} \quad T_{e,min} = -15.0^\circ\text{C}$$

- zmiana temperatury powodująca osiowe wydłużenie oraz skrócenie elementów:

$$\Delta T_{N,exp} = 20.0 \Delta^\circ\text{C} \quad \Delta T_{N,con} = 25.0 \Delta^\circ\text{C}$$

### 3.5 Oddziaływanie taboru drogowego

Oddziaływanie taboru drogowego rozpatruje się w postaci pojazdów K+q lub S(2). W kombinacjach oddziaływań pojazdy te uwzględnia się alternatywnie. Obciążenia analizuje się w jednej z pięciu klas: A, B, C, D lub E. Zasada stosowania klas obciążeń do projektowania mostów i przypisywania istniejącym obiektom odpowiednich klas jest domeną działania administracji, w której gestii znajdują się mosty. Zastosowanie ma norma projektowa [1].

**Tabela 3.5–1:** Obciążenie siłami pionowymi i poprzecznymi taboru

współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>P</b>	$\gamma_{sup} = 1.50$	$\gamma_{inf} = 0.00$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>D</b>	$\gamma_{sup} = 1.25$	$\gamma_{inf} = 0.00$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>W</b>	$\gamma_{sup} = 1.15$	$\gamma_{inf} = 0.00$

**Tabela 3.5–2:** Obciążenie siłami hamowania i przyspieszania taboru

współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>P</b>	$\gamma_{sup} = 1.30$	$\gamma_{inf} = 0.00$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>D</b>	$\gamma_{sup} = 1.20$	$\gamma_{inf} = 0.00$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>W</b>	$\gamma_{sup} = 1.10$	$\gamma_{inf} = 0.00$

**Tabela 3.5–3:** Klasa obciążenia a ciężar pojazdów dopuszczonych bez ograniczeń w normalnych ruchu drogowym [1, Tab. 5]

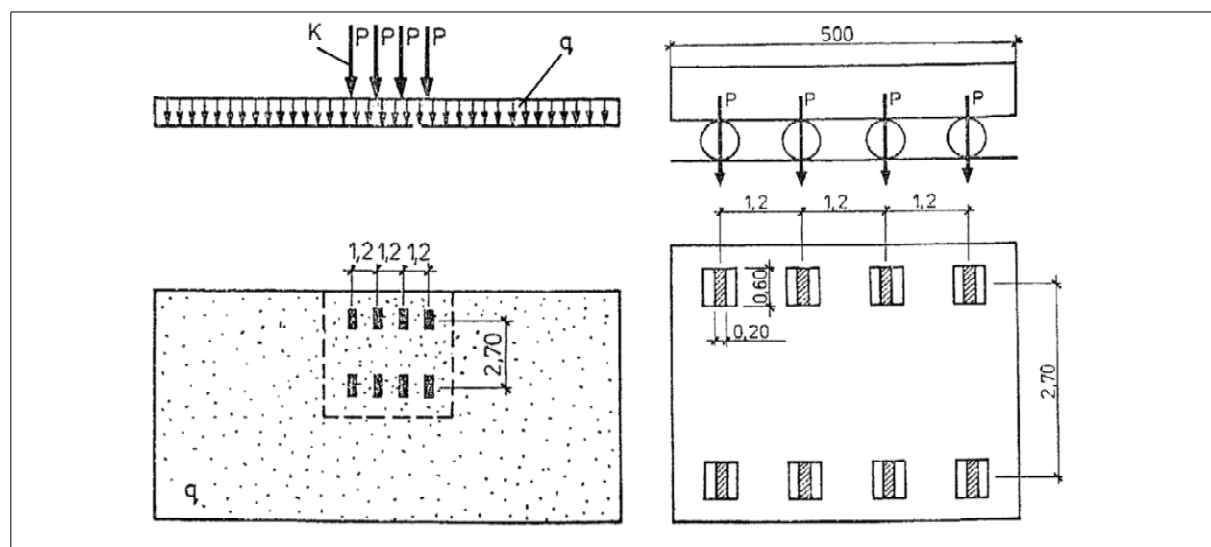
Klasa obciążenia obiektu	A	B	C	D	E
Ciężar dop. poj. [kN]	500	400	300	200	150

## 3.5.1 Oddziaływania pionowe K+q

Obciążenie K stosuje się ze współczynnikiem dynamicznym. Składa się ono z ośmiu nacisków kół ustawionych podłużnie w czterech osiach co 1.2 m przy poprzecznym rozstawie kół 2.70 m. Wymiary pola nacisku kół obciążenia przyjmuje się 0.20 x 0.60 m, niezależnie od klasy obciążenia. Na obiekcie może znajdować się co najwyżej jedno obciążenie K. Odległość osi obciążenia K od krawężnika ustala się jako co najmniej 2.0 m, zaś od bariery ochronnej lub poręczy przy jezdniach bezkrawężnikowych 2.5 m. Obciążenie może składać się z dowolnie wybranych sił skupionych ze schematu, jeśli jest to niekorzystne dla obliczonej wielkości. Obciążenie q stosuje się tylko na obszarach w przekroju poprzecznym lub podłużnym w których wywołuje ono niekorzystne wartości dla obliczanej wartości statycznej.

**Tabela 3.5–4:** Współczynniki obciążenia taborem K+q [1, Tab. 3]

Klasa obciążenia	Mnożnik	Obciążenie q	Obciążenie K	Nacisk na oś
	[1]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN]
A	1.00	4.00	800	200
B	0.75	3.00	600	150
C	0.50	2.00	400	100
D	0.40	1.60	320	80
E	0.30	1.20	240	60



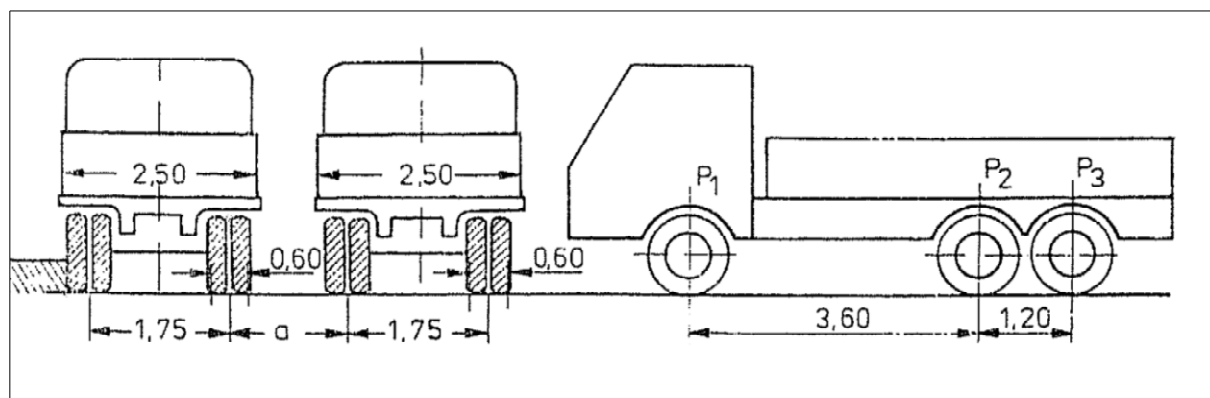
**Rysunek 3.5–1:** Schemat obciążenia pojazdów K+q [1, Rys. 4, Rys. 5, źródło]

## 3.5.2 Oddziaływania pionowe S(2)

Obciążenia S stosuje się ze współczynnikiem dynamicznym. Wymiary pola nacisku kół obciążenia przyjmuje się 0.20 x 0.60 m, niezależnie od klasy obciążenia. Odległość osi pojazdu S ustawia się w odległości 2.0 m w mostach bezkrawężnikowych lub 1.175 m w mostach z krawężnikiem. Na obiekcie mogą znajdować się co najwyżej dwa pojazdy S, ustawione w tym samym przekroju poprzecznym o odległości określonej zgodnie z klasą obciążenia.

**Tabela 3.5–5:** Współczynniki obciążenia taborem S [1, Tab. 4]

Klasa obciążenia	Ciężar łączny	Rozstaw $a$	Nacisk na oś [kN]		
	[1]	[m]	$P_1$	$P_2$	$P_3$
A	300	1.00	60	120	120
B	300	1.25	60	120	120
C	300	1.50	60	120	120
D	200	1.50	80	120	–
E	150	1.50	50	100	–



**Rysunek 3.5–2:** Schemat obciążenia pojazdu S [1, Rys. 6, źródło]



### 3.5.3 Siły hamowania i przyspieszania

Siły wywołane hamowaniem i przyspieszaniem przyjmuje się jako poziome, równoległe do osi jezdni oraz przyłożone na powierzchni jezdni. Wartość sił hamowania lub przyspieszania taboru samochodowego przyjmuje się jako 20% obciążenia K oraz 10% obciążenia q, lecz nie mniej niż 30% obciążenia K. Obciążenie od hamowania q uwzględnia się na całej szerokości jezdni i na długości do 20 m każdego przęsła.

- całkowita siła hamowania:  $Q_{h,tot} = 312.0 \text{ kN}$

### 3.5.4 Siły odśrodkowe i poprzeczne

Siła odśrodkowa występuje jako siła pozioma na jezdniach zakrzywionych w planie lub pionowa na łuku wklęsłym. Siła pozioma działa prostopadle do osi jezdni lub toru i zaczepiona jest w środkach mas pojazdów. Siła pionowa działa prostopadle w osi ruchu pojazdu. Przyjmuje się, że siła ta zaczepiona jest na poziomie 1.2 m ponad średnicy powierzchni jezdni. Siła odśrodkowa, pionowa, zwiększa wartość pionowego obciążenia normowego.

- promień łuku: nie dotyczy

Pole parcia wiatru na tabor samochodowy przyjmuje się o wysokości 3.0 m, wypadkową zaczepioną w połowie tej wysokości. Obciążenie przykłada się do skrajni drogowej z jednej strony. Położenie wypadkowej przyjmuje się w połowie tej wysokości. Parcie wiatru na tabor uwzględnia się przy obliczaniu stateczności przeciw wywróceniu i przesunięciu przęsła oraz przeciw przeciążeniu skrajnych elementów na skutek pojawienia się nowych składowych sił wewnętrznych.

## 3.5.5 Efekty dynamiczne

### 3.5.5.1 Funkcja współczynnika dynamicznego

Współczynnik dynamiczny nie zależy od rodzaju materiału ani konstrukcji. Współczynnik dynamiczny stosuje się do pojazdów K oraz S. Nie stosuje się współczynników dynamicznych do sił hamowania, sił przyspieszania i sił odśrodkowych.

Długość referencyjną określa się dla poszczególnych grup elementów. Do wyznaczenia długości ekwiwalentnej przyjmuje zasady przedstawione w komentarzu do normatywu [5].

Przy minimalnej prędkości przejazdu pojazdów do 10 km/hr pomija się współczynnik dynamiczny.

- warstwa gruntu lub innego materiału nie-  $h \leq 0.5$  m konstrukcyjnego na płycie pomostu:
- funkcja współczynnika dynamicznego:

$$1.000 \leq \phi_{dyn} = 1.350 - 0.005 L_e \leq 1.325$$

### 3.5.5.2 Ustrój nośny

- długość miarodajna:  $L_e = 13.7$  m
- elementy dodatkowe: płyta pomostowa, dźwigary główne, poprzecznice, słupopale
- współczynnik dynamiczny:  $\Phi = 1.281$

### 3.5.5.3 Wsporniki dźwigarów głównych

- długość miarodajna:  $L_e = 10.6$  m
- współczynnik dynamiczny:  $\Phi = 1.297$

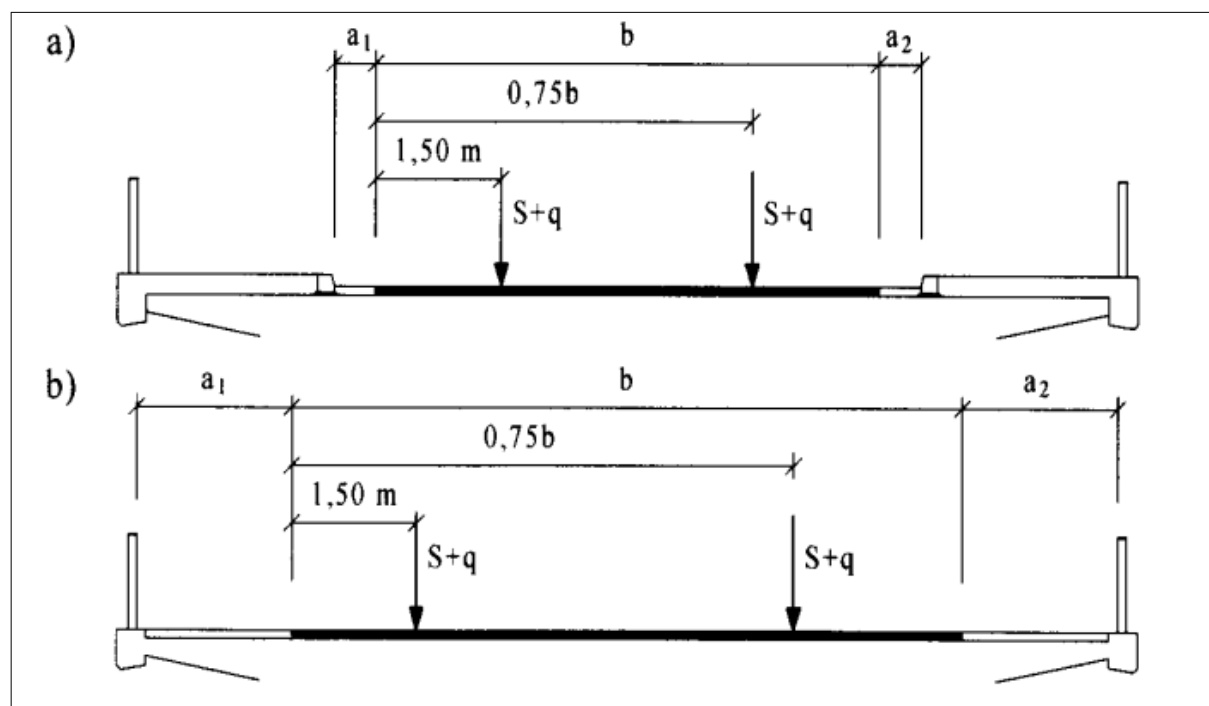
### 3.6 Oddziaływanie taboru użytkowego

Oddziaływanie taboru drogowego rozpatruje się w postaci pojazdów  $S+q$ . Ustala się pięć kategorii zastępczego obciążenia użytkowego. Nie uwzględnia się możliwości wjechania pojazdów na strefę chodnikową. Zastosowanie ma instrukcja [3] oraz norma projektowa [1].

**Tabela 3.6–1:** Obciążenie siłami pionowymi taboru

współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>P</b>	$\gamma_{sup} = 1.50$	$\gamma_{inf} = 0.00$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>D</b>	$\gamma_{sup} = 1.25$	$\gamma_{inf} = 0.00$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>W</b>	$\gamma_{sup} = 1.15$	$\gamma_{inf} = 0.00$

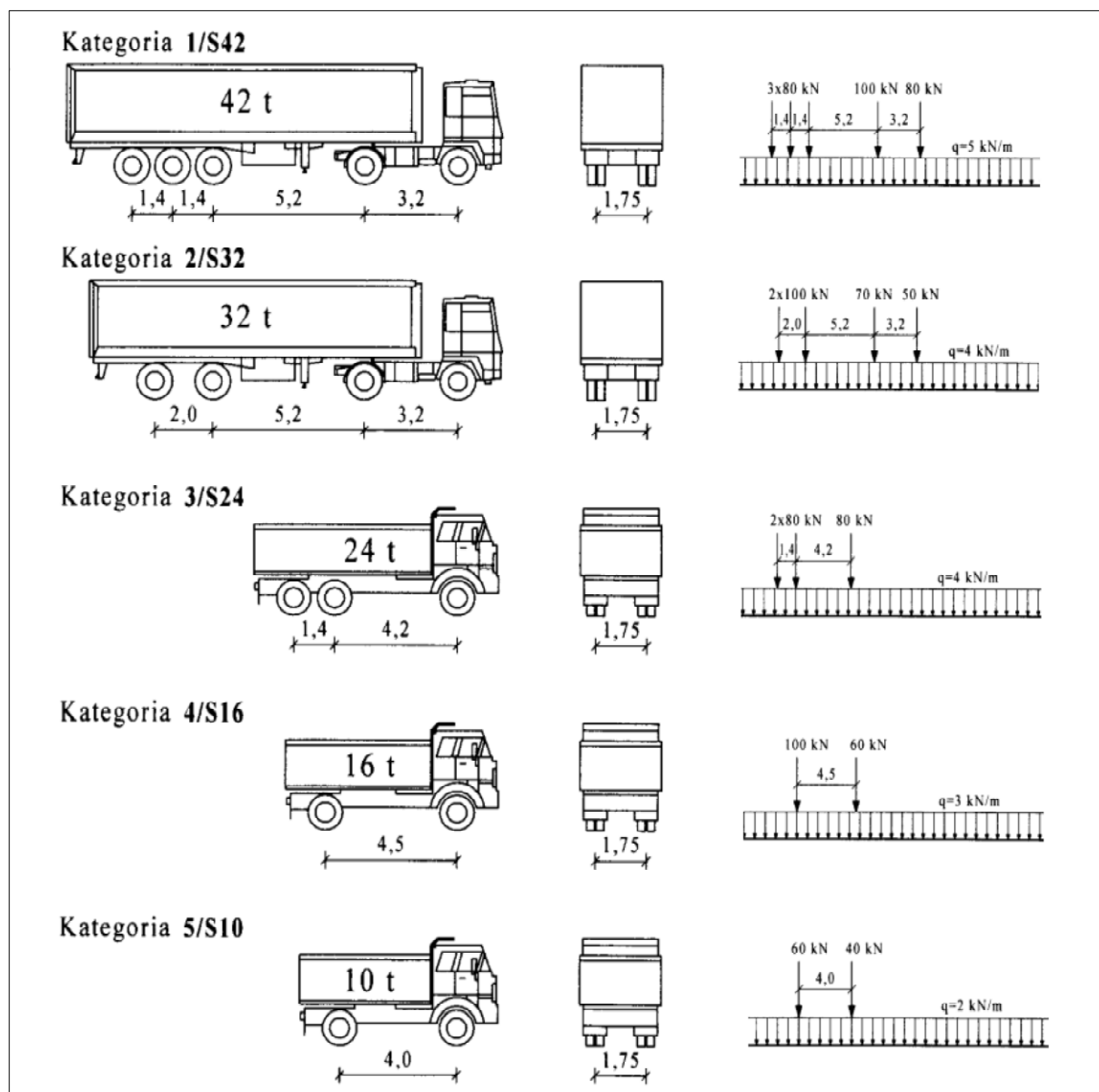
#### 3.6.1 Oddziaływania pionowe $S+q$



**Rysunek 3.6–1:** Umieszczenie obciążenia w przekroju poprzecznym obiektu  
na a) jezdni z krawężnikami b) jezdni bezkrawężnikowej [3, Rys. 7]

## ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie



Rysunek 3.6–2: Modele pojazdów do określania nośności użytkowej drogowych obiektów mostowych [3, Rys. od 1 do 6]

### 3.6.2 Efekty dynamiczne

Patrz rozdział 3.5.5.

### 3.7 Oddziaływanie nierównomiernego osiadania podpór

Zakłada się możliwość nieprzewidzianych osiadań każdej podpory niezależnie, mogącymi wystąpić jednocześnie w dowolnej konfiguracji. Efekty oddziaływań od nierównomiernego osiadania podpór oblicza się z uwzględnieniem cech reologicznych materiałów konstrukcji poddanej długotrwałej deformacji [1, 5.3].

współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>P</b>	$\gamma_{sup} = 1.30$	$\gamma_{inf} = 0.00$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>D</b>	$\gamma_{sup} = 1.20$	$\gamma_{inf} = 0.00$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>W</b>	$\gamma_{sup} = 1.10$	$\gamma_{inf} = 0.00$

- nierównomierne osiadanie podpory:  $\Delta = 10.0 \text{ mm}$

### 3.8 Efekty reologiczne betonu

Obciążenie skurczem betonu zostało ewaluowane zgodnie z aktualną wiedzą techniczną [6]. Ewaluuje się efekty pierwotne oraz wtórne oddziaływania skurczowego uwzględniając efekty pełzania wstecznego. Oddziaływanie skurczowe traktuje się w części jako oddziaływanie stałe a w części jako zmienne. Jest to zabieg uwzględniający niepewność modelu szacowania efektów oddziaływania skurczowego. Dla efektów hiperstatycznych przyjmuje się współczynnik bezpieczeństwa jak dla oddziaływania stałego. Zastosowanie ma norma projektowa [1] [6].

**Tabela 3.8–1:** Wsp. komb. dla efektów od skurczu stałego

współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>P</b>	$\gamma_{sup} = 1.20$	$\gamma_{inf} = 0.90$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>D</b>	$\gamma_{sup} = 1.20$	$\gamma_{inf} = 0.90$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>W</b>	$\gamma_{sup} = 1.20$	$\gamma_{inf} = 0.90$

**Tabela 3.8–2:** Wsp. komb. dla efektów od skurczu zmiennego

współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>P</b>	$\gamma_{sup} = 1.20$	$\gamma_{inf} = 0.00$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>D</b>	$\gamma_{sup} = 1.20$	$\gamma_{inf} = 0.00$
współczynniki bezpieczeństwa zbioru <b>W</b>	$\gamma_{sup} = 1.20$	$\gamma_{inf} = 0.00$

## Kombinacje oddziaływań

---

4.1	Stany graniczne nośności . . . . .	<b>36</b>
4.2	Stany graniczne użytkowności . . . . .	<b>36</b>

---

## 4.1 Stany graniczne nośności

Stany graniczne nośności (ang. *Ultimate limit states*) to sytuacje odpowiadające maksymalnej nośności konstrukcji, polegającej na m.in.: utracie stateczności położenia lub stateczności sprężystej, zniszczeniu, zamianie w układ zmienny, przekroczeniu określonych naprężeń oznaczających zagrożenie poprzez uplastycznienie, poślizg w złączach czy niebezpieczne rozwarcie rys. Symbol \* następujący po nazwie kombinacji oznacza, że przedstawione efekty oddziaływań stanowią przyrost względem  $G$  oraz  $P$ .

- **ULS:P** sytuacja podstawowa:

$$E \left( \sum_{j \geq 1} \gamma_{P,j} G_{k,j} \oplus \gamma_P P \oplus \sum_{i \geq 1} \gamma_{P,i} Q_{k,i} \right) \quad (4.1-1)$$

- **ULS:D** sytuacja dodatkowa:

$$E \left( \sum_{j \geq 1} \gamma_{D,j} G_{k,j} \oplus \gamma_D P \oplus \sum_{i \geq 1} \gamma_{D,i} Q_{k,i} \right) \quad (4.1-2)$$

- **ULS:W** sytuacja wyjątkowa:

$$E \left( \sum_{j \geq 1} \gamma_{W,j} G_{k,j} \oplus \gamma_W P \oplus \sum_{i \geq 1} \gamma_{W,i} Q_{k,i} \right) \quad (4.1-3)$$

## 4.2 Stany graniczne użyteczności

Stany graniczne użyteczności (ang. *Serviceability Limit States*) to sytuacje stanowiące zagrożenie normalnego użytkowania i trwałości konstrukcji, m.in: nadmierne ugięcia, zarysowania, nadmierne drgania. Symbol \* następujący po nazwie kombinacji oznacza, że przedstawione efekty oddziaływań stanowią przyrost względem  $G$  oraz  $P$ .

- **SLS:C** sytuacja charakterystyczna:

$$E \left( \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P \oplus \sum_{i \geq 1} Q_{k,i} \right) \quad (4.2-1)$$

- **SLS:L** sytuacja obciążenia ruchomego:

$$E \left( \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P \oplus Q_{k,L} \right) \quad (4.2-2)$$



# 5 Analiza globalna

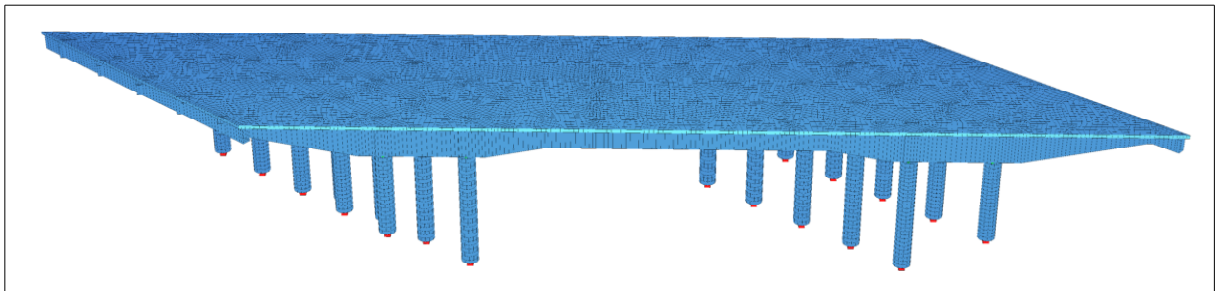
---

5.1	Model konstrukcji . . . . .	38
-----	-----------------------------	----

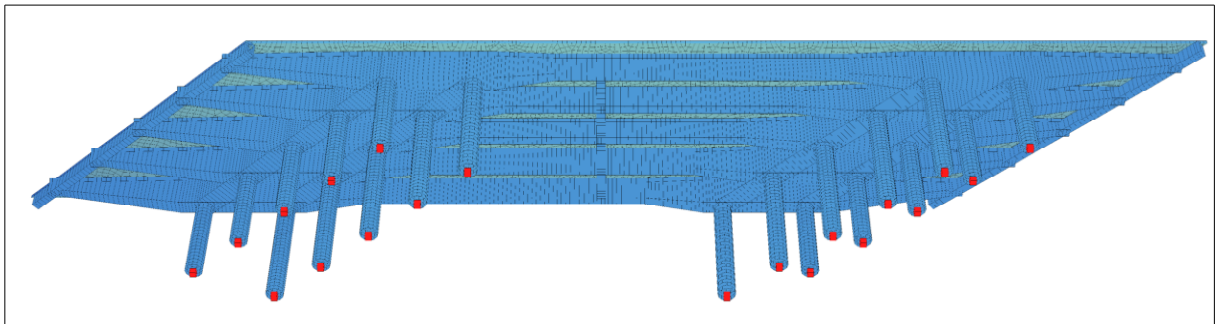
---

## 5.1 Model konstrukcji

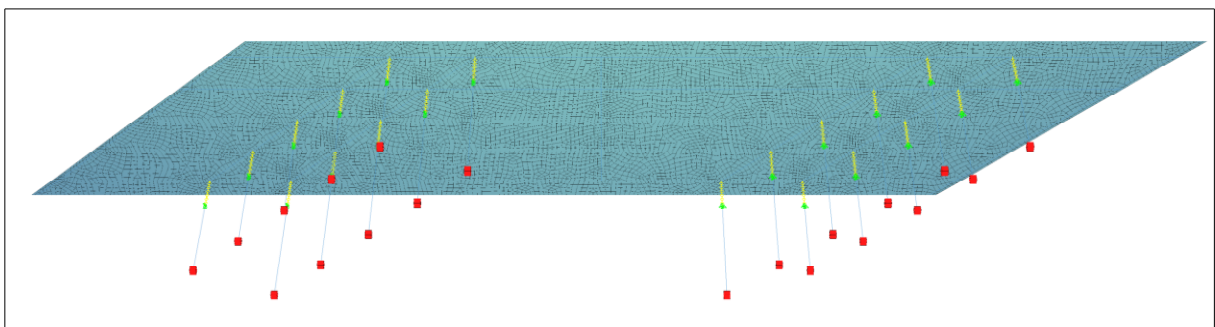
Model obliczeniowy na cele analizy globalnej obiektu tworzy się z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych. Model został wykonany w klasie  $e^1 + e^2$ ,  $p^3$ . Uwzględnia się wpływ etapowania robót oraz pierwotne i wtórne efekty hiperstatyczne od skurczu betonu oraz oddziaływań termicznych. Zastosowanie mają 2-węzłowe elementy belkowe oraz 4-węzłowe elementy płytowo-tarczowe.



Rysunek 5.1–1: Widok modelu ukośny górny



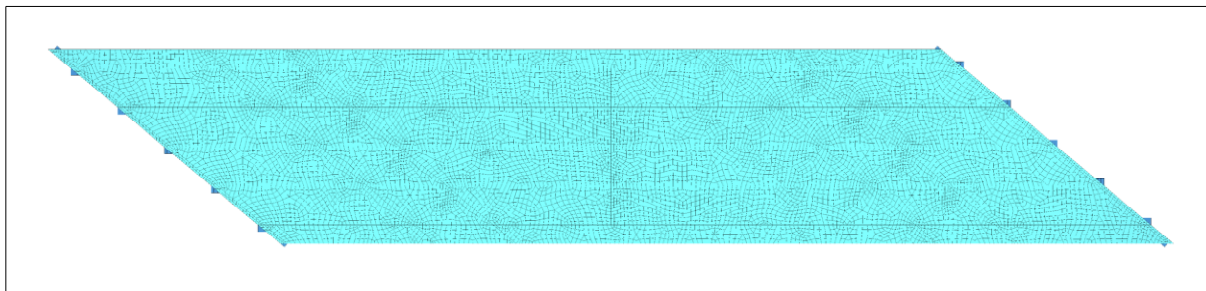
Rysunek 5.1–2: Widok modelu ukośny dolny



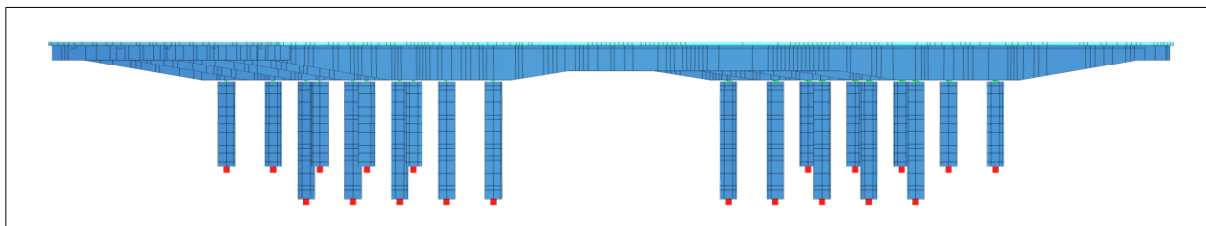
Rysunek 5.1–3: Widok modelu ukośny dolny bez reprezentacji przekrojów

## ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

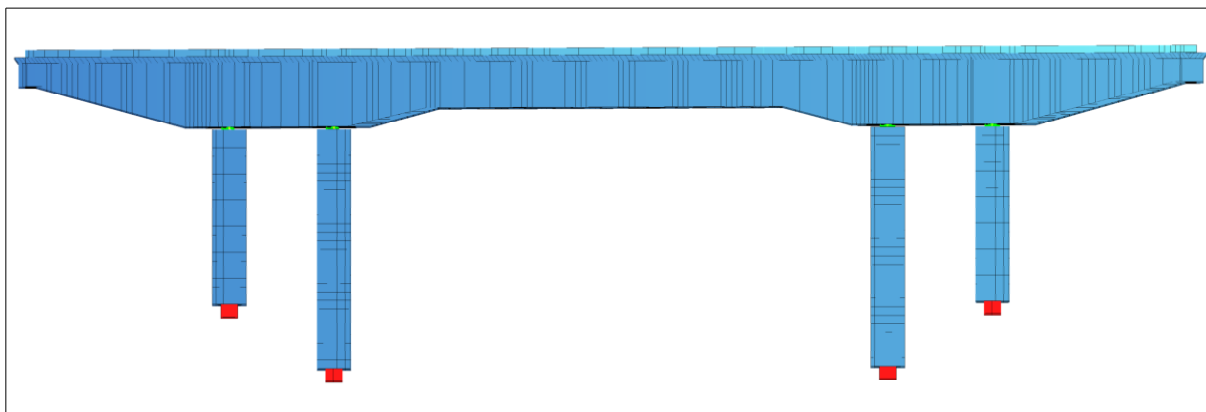
Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie



Rysunek 5.1–4: Widok modelu od góry



Rysunek 5.1–5: Widok modelu od boku



Rysunek 5.1–6: Widok modelu od przodu

### 5.1.1 Parametry etapowania etapów

Tabela 5.1–1: Parametry etapów

CS	Type	t	RH	T	laun_1	laun_2	Designation
		[d]	[%]	[°C]	[m]	[m]	
10	G_1						G1 activating new group/CS
11	G_1						G1 activating new group/CS
52	G_2						G2 additional dead load
55	C_1	365	80	20			K creep step
60	SL						SL shortload without creepeffect
65	C_2	36135	80	20			K creep step
CS	number of the construction stage				Type	type of the action	
t	effective duration of creep interval				RH	relative humidity	
T	temperature in creep interval				laun_1	launching distance of this construction stage for launching from side 1	
laun_2	launching distance of this construction stage for launching from side 2						

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

Tabela 5.1–2: Współczynniki pełzania betonu

Grp	Mat	h-0	t0	CS	CS		total
		[mm]	[d]	55	65		φ-eff
		t[d]	--->	365	36135		36500
		RH[%]	--->	80	80		
		T[°C]	--->	20	20		
10	1	600.0	7	1.81	1.11		2.91
		RCRE	372	-	1.36		1.36
21	1	450.0	7	1.92	1.05		2.98
		RCRE	372	-	1.39		1.39
22	1	930.0	7	1.76	1.08		2.84
		RCRE	372	-	1.33		1.33
23	1	365.0	7	2.03	1.00		3.02
		RCRE	372	-	1.42		1.42
31	1	536.0	7	1.84	1.10		2.94
		RCRE	372	-	1.37		1.37
32	1	509.0	7	1.86	1.08		2.95
		RCRE	372	-	1.38		1.38
40	1	336.0	7	2.07	0.98		3.04
		RCRE	372	-	1.43		1.43
Grp	group number			h-0	notional size (2A/U)		
t0	age of concrete at time of loading			CS	construction stage creep part Δφ-eff		
φ-eff	sum construction stage creep parts			t	effective duration creep interval		
RH	relative humidity			T	temperature in creep interval		
RCRE	Creep value for a later (at t0) acting load part (backward creeping)						

Tabela 5.1–3: Współczynniki skurczu betonu

Grp	Mat	h-0	ts	CS	CS		total
		[mm]	[d]	55	65		ε-cs
		t[d]	---	365	36135		36500
		RH[%]	---	80	80		
		T[°C]	---	20	20		
10	1	600.0	3	-91.4	-140.		-231.
21	1	450.0	3	-117.	-119.		-236.
22	1	930.0	3	-59.4	-169.		-229.
23	1	365.0	3	-139.	-104.		-243.
31	1	536.0	3	-101.	-131.		-232.
32	1	509.0	3	-105.	-127.		-232.
40	1	336.0	3	-147.	-97.5		-245.
Grp	group number			h-0	notional size (2A/U)		
ts	start time of drying			CS	construction stage shrinkage part Δε-cs		
ε-cs	sum of construction stage parts			t	effective duration creep interval		
RH	relative humidity			T	temperature in creep interval		

## Analiza stanów granicznych

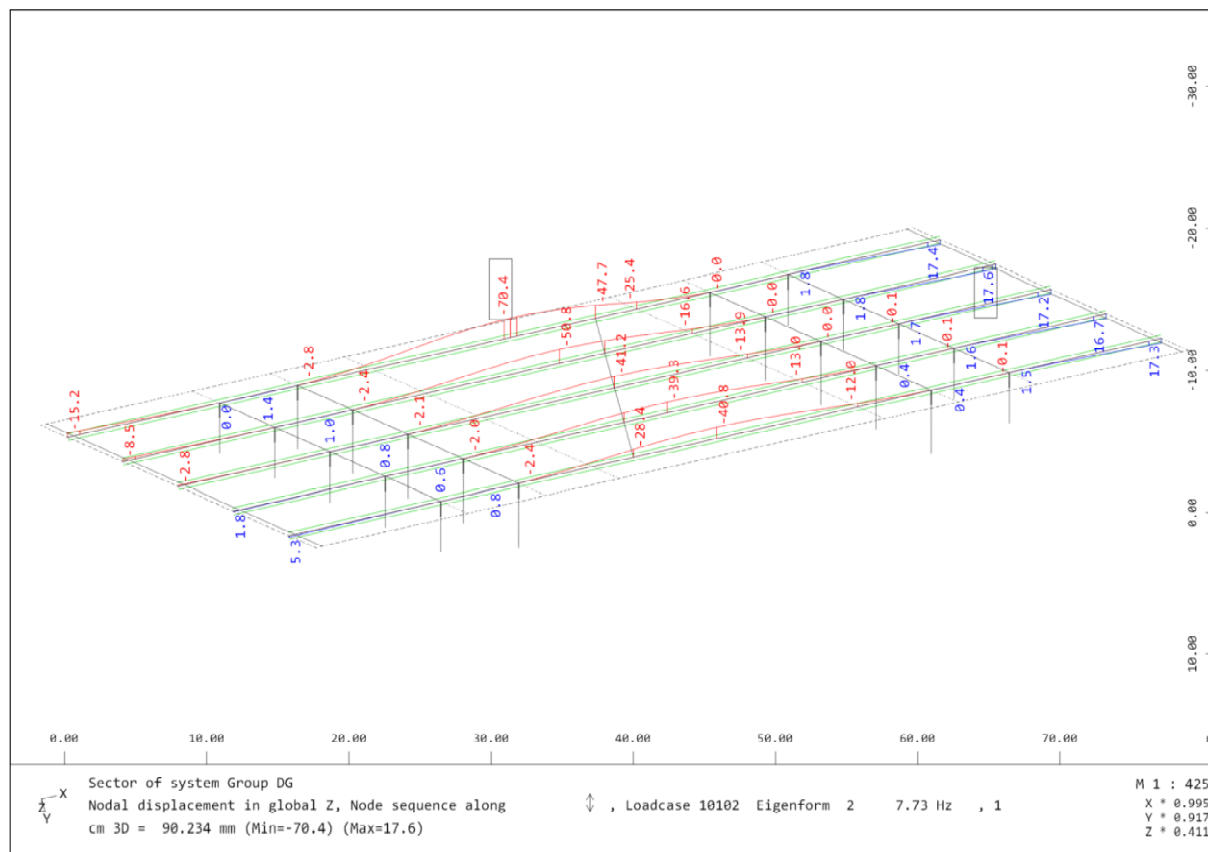
---

6.1	Kryteria graniczne obiektu drogowego . . . . .	42
6.2	Płyta pomostowa . . . . .	46
6.3	Dźwigary główne . . . . .	51

---

## 6.1 Kryteria graniczne obiektu drogowego

### 6.1.1 Częstość drgań pionowych przęsła



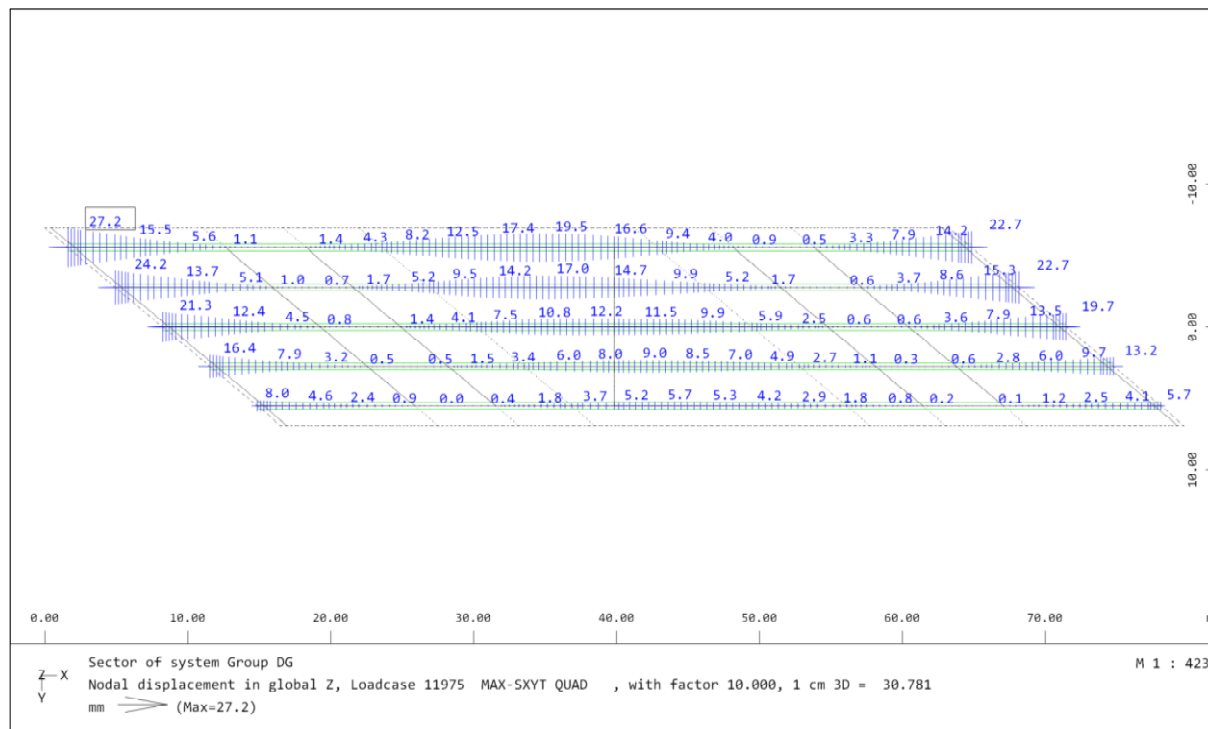
- minimalna wymagana częstość drgań pionowych przęsła:  $f_{min} = 3.00 \text{ Hz}$
- częstość drgań pionowych przęsła:  $f_v = 7.73 \text{ Hz}$
- poziom wyężenia:  $\eta = \frac{f_{min}}{f_v} = 0.388$
- wnioski: **warunek spełniony**

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 6.1.2 Ugięcie pionowe elementu

### 6.1.2.1 SLS:L\* λ/C

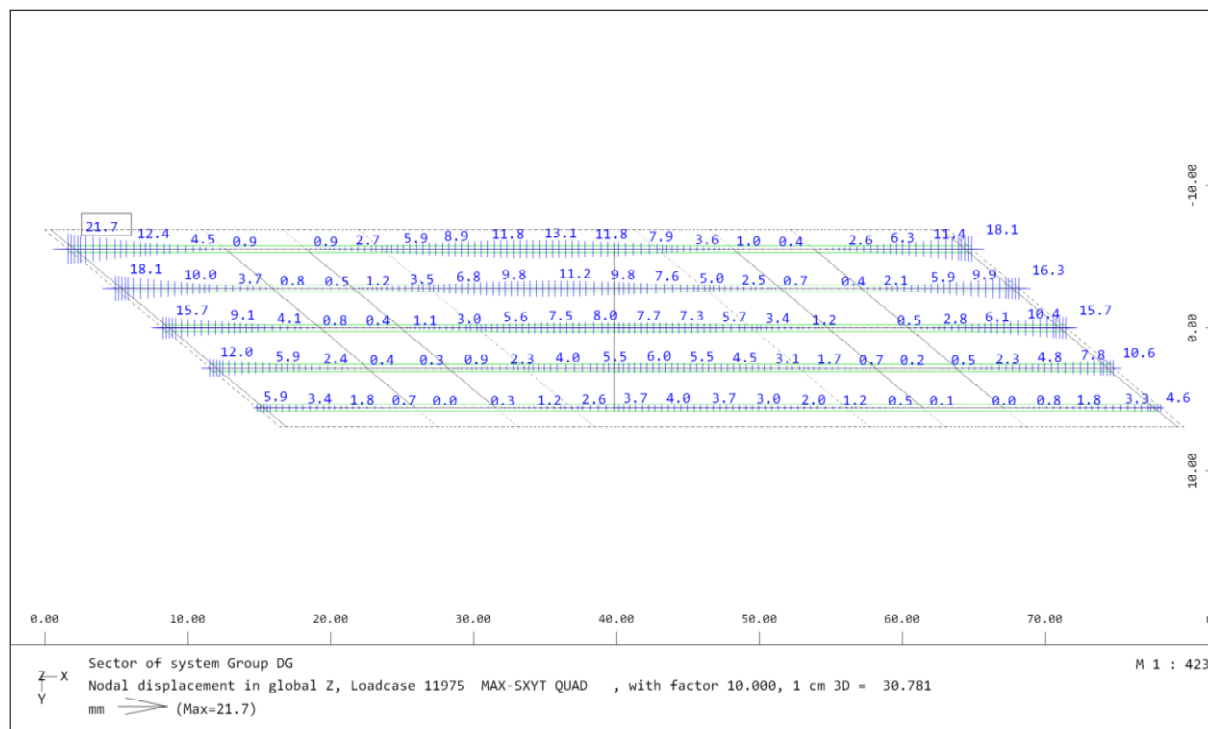


- dopuszczalne ugięcie:  $d_{z,r} = \frac{L_T}{400} = 26.4 \text{ mm}$
- maksymalne ugięcie:  $d_z = 27.2 \text{ mm}$
- poziom wyężenia:  $\eta = \frac{d_z}{d_{z,r}} = 1.030$
- wnioski: **warunek niespełniony**

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 6.1.2.2 SLS:L\* λ/D



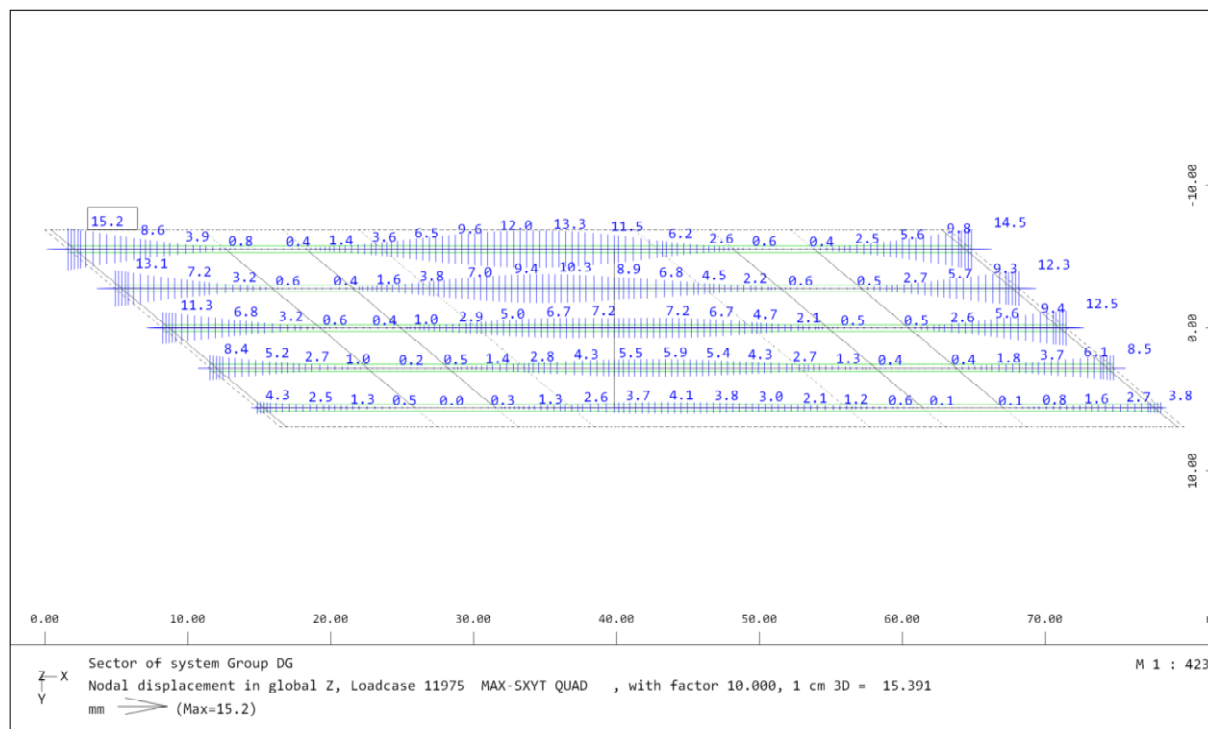
- dopuszczalne ugięcie:  $d_{z,r} = \frac{L_T}{400} = 26.4 \text{ mm}$
- maksymalne ugięcie:  $d_z = 21.7 \text{ mm}$
- poziom wyteżenia:  $\eta = \frac{d_z}{d_{z,r}} = 0.822$
- wnioski: **warunek spełniony**



## ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

### 6.1.2.3 SLS:L\* S/24



- dopuszczalne ugięcie:  $d_{z,r} = \frac{L_T}{400} = 26.4 \text{ mm}$
- maksymalne ugięcie:  $d_z = 15.2 \text{ mm}$
- poziom wyężenia:  $\eta = \frac{d_z}{d_{z,r}} = 0.575$
- wnioski: **warunek spełniony**

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

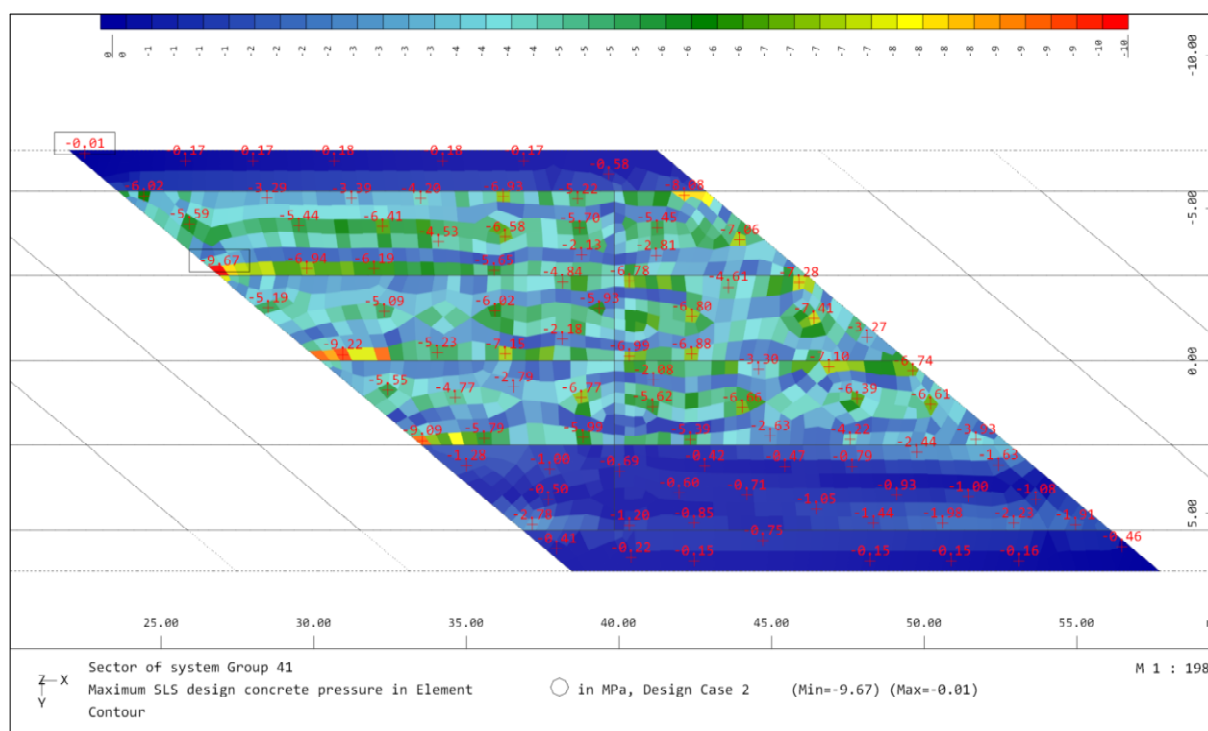
## 6.2 Płyta pomostowa

### 6.2.1 Ograniczenie naprężeń w betonie

#### 6.2.1.1 Warunek graniczny

- obliczeniowa wytrzymałość na ściskanie:  $R_b = R_{bk}/\gamma_b = 8.7 \text{ MPa}$

#### 6.2.1.2 ULS $\lambda/C$

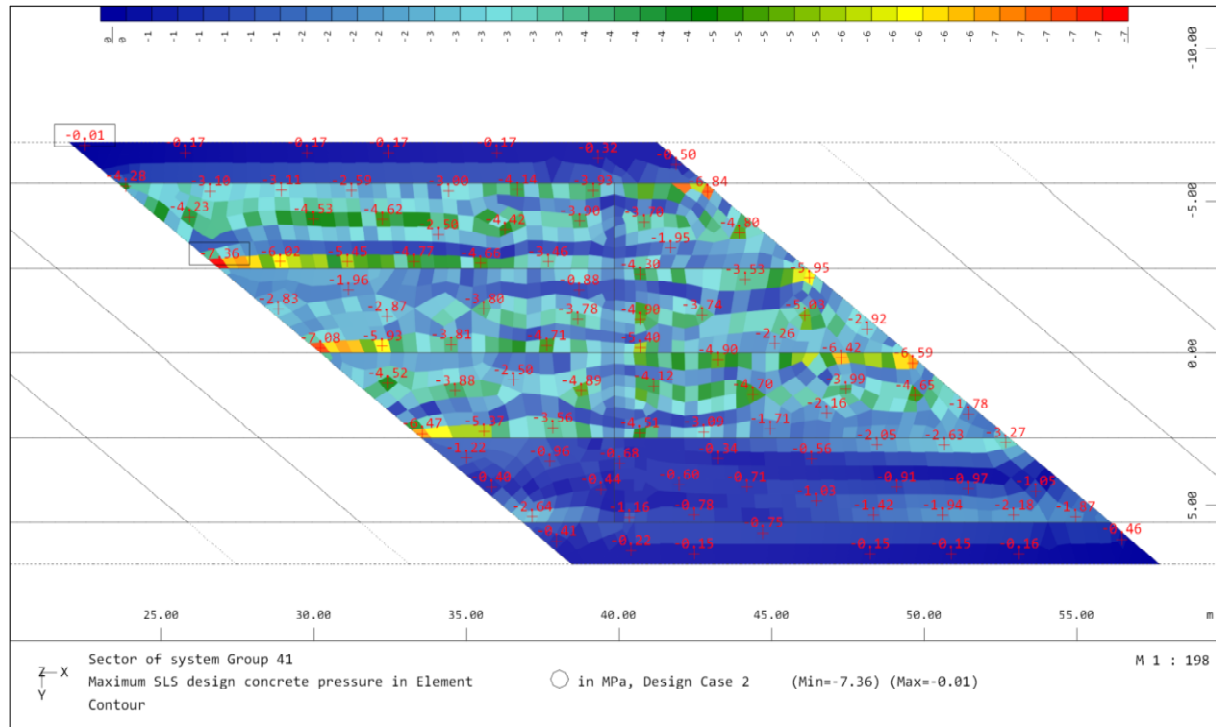


- wnioski: warunek spełniony

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 6.2.1.3 ULS S/24



- wnioski:

warunek spełniony

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

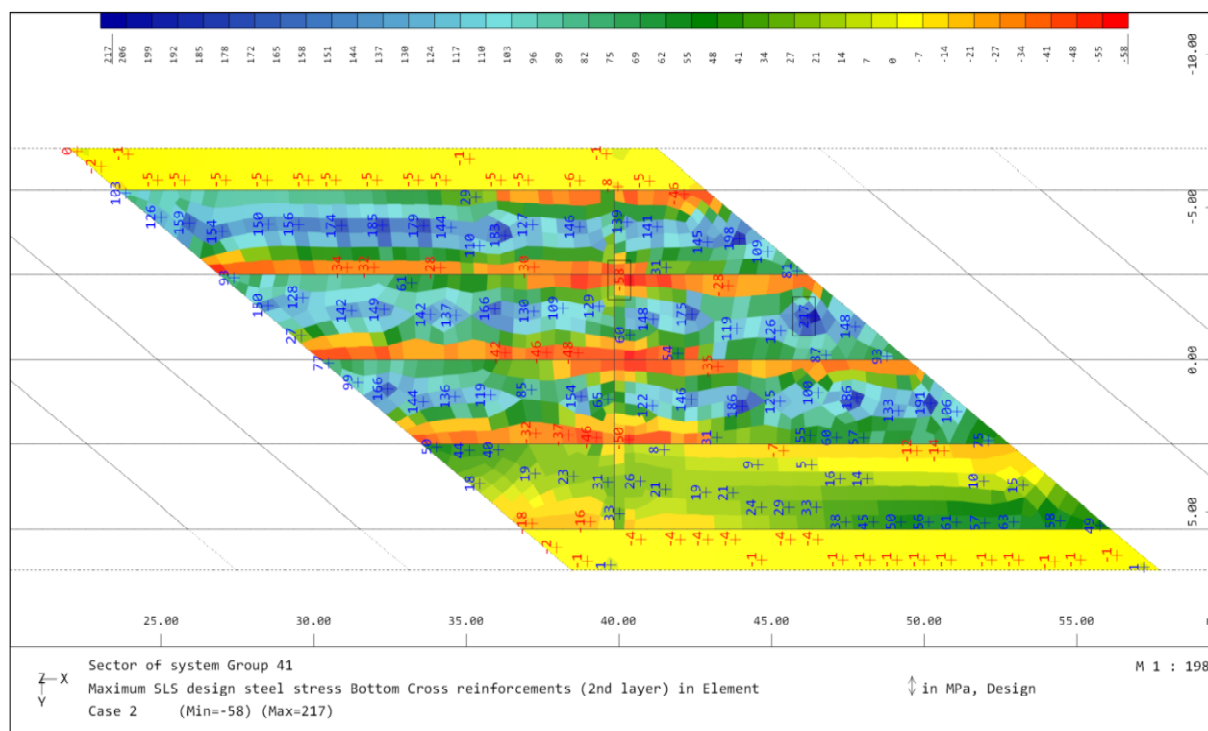
Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 6.2.2 Ograniczenie naprężeń w zbrojeniu dolnym

### 6.2.2.1 Warunek graniczny

- obliczeniowa wytrzymałość na rozciąganie:  $R_a = R_{ak}/\gamma_a = 183.3 \text{ MPa}$

### 6.2.2.2 ULS $\lambda/C$

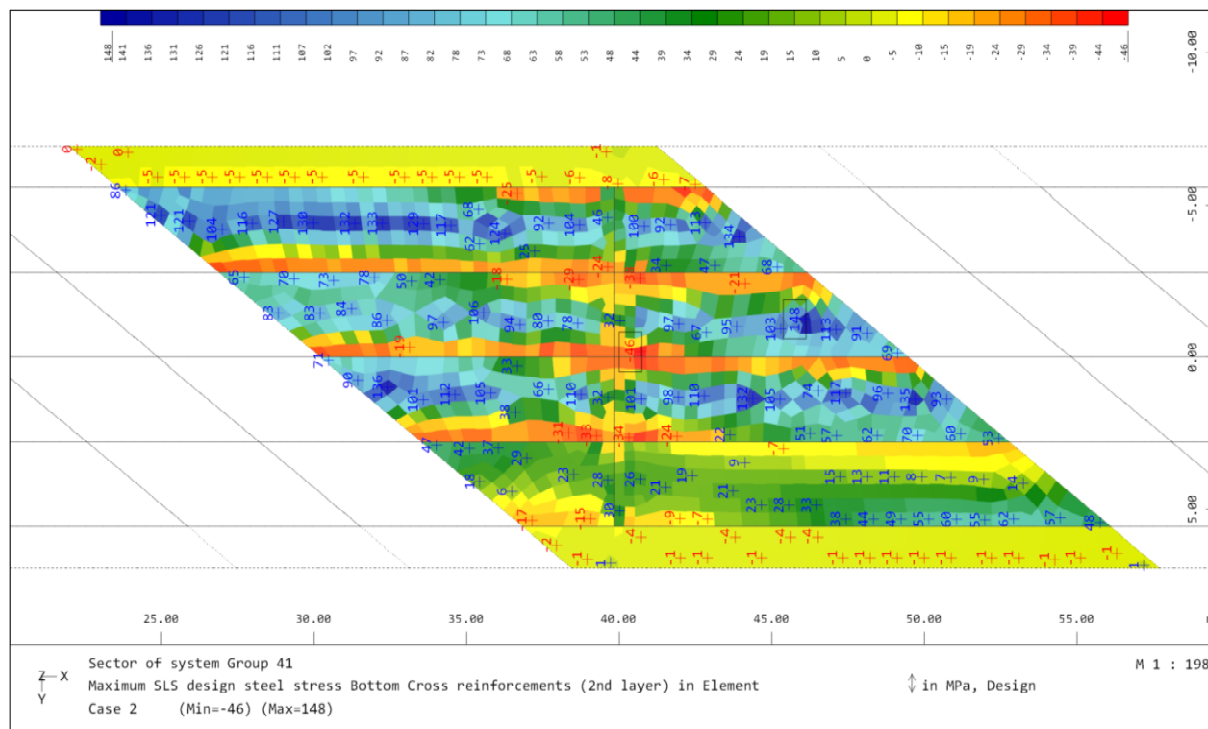


- maksymalne naprężenie rozciągające:  $\sigma_{a,max} = 179.0 \text{ MPa}$
- poziom wyężenia:  $\eta = \frac{\sigma_{a,max}}{R_a} = 0.976$
- wnioski: **warunek spełniony**

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 6.2.2.3 ULS S/24



- maksymalne naprężenie rozciągające:

$$\sigma_{a,max} = 133.0 \text{ MPa}$$

- poziom wyężenia:

$$\eta = \frac{\sigma_{a,max}}{R_a} = 0.725$$

- wnioski:

warunek spełniony

## 6.2.3 Ograniczenie rozwarcia rysy w betonie

### 6.2.3.1 Warunek graniczny

- rodzaj prętów zbrojeniowych: gładkie
- dopuszczalna szerokość rysy:  $w_k = 0.20 \text{ mm}$
- rozstaw prętów zbrojeniowych:  $s_r = 170 \text{ mm}$
- wysokość całkowita przekroju:  $h = 240 \text{ mm}$
- wysokość strefy ściskanej przekroju niezarysowanego:  $x = 120 \text{ mm}$
- otulina prętów zbrojeniowych:  $c = 30 \text{ mm}$
- średnica prętów zbrojeniowych:  $\phi = 18 \text{ mm}$
- wysokość strefy współdziałającej betonu:  
$$h_{ef} = \min(h - x, 200 \text{ mm}, c + 8 \phi) = 120 \text{ mm}$$
- moduł odkształcalności podłużnej stali zbrojeniowej:  $E_a = 210 \text{ GPa}$
- średni rozstaw rys:  $s_R = 218 \text{ mm}$
- naprężenie dopuszczalne w stali zbrojeniowej:  $\sigma_{a,red} = 192.4 \text{ MPa}$

Dopuszczalne naprężenia w prętach zbrojeniowych jest wyższe niż obliczeniowa granica plastyczności. Dalsze sprawdzenie nie jest wymagane.

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

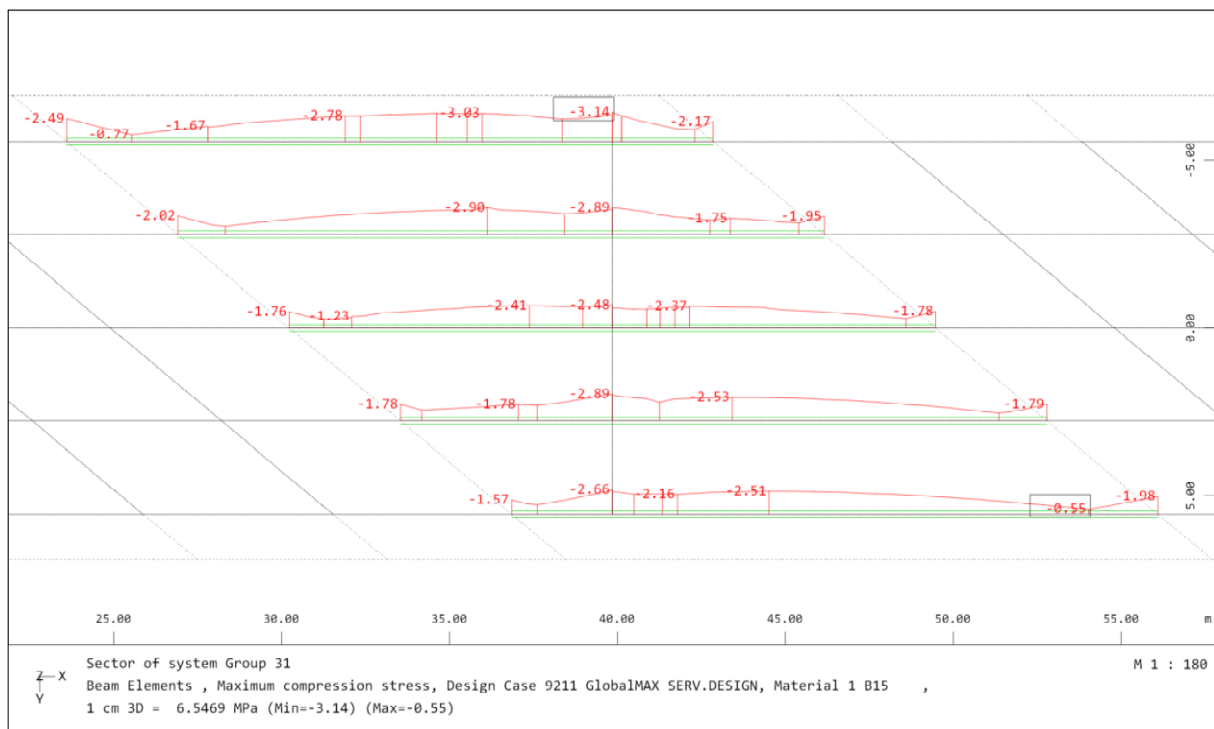
## 6.3 Dźwigary główne

### 6.3.1 Ograniczenie naprężeń w betonie

#### 6.3.1.1 Warunek graniczny

- obliczeniowa wytrzymałość na ściskanie:  $R_b = R_{bk}/\gamma_b = 8.7 \text{ MPa}$

#### 6.3.1.2 ULS $\lambda/C$

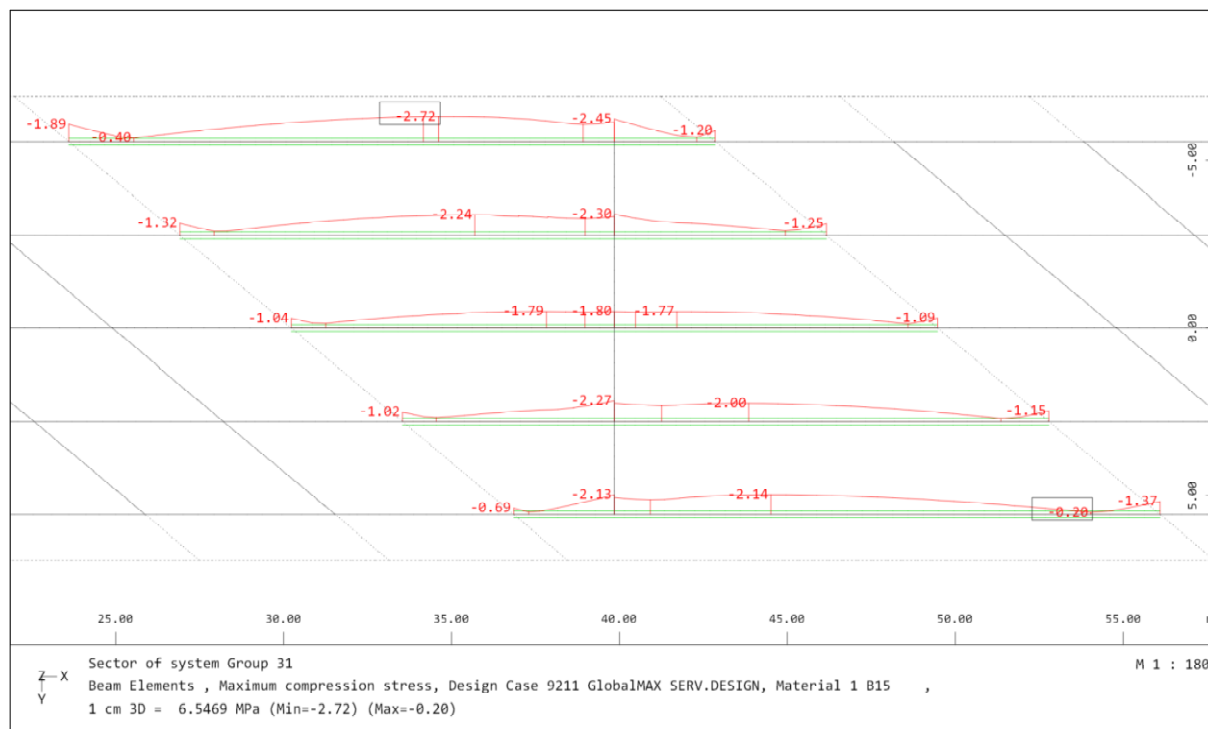


- maksymalne naprężenie ściskające:  $\sigma_{b,max} = 3.1 \text{ MPa}$
- poziom wyężenia:  $\eta = \frac{\sigma_{b,max}}{R_b} = 0.361$
- wnioski: **warunek spełniony**

## ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

### 6.3.1.3 ULS S/24



- maksymalne naprężenie ściskające:

$$\sigma_{b,max} = 2.7 \text{ MPa}$$

- poziom wyężenia:

$$\eta = \frac{\sigma_{b,max}}{R_b} = 0.313$$

- wnioski:

warunek spełniony



# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

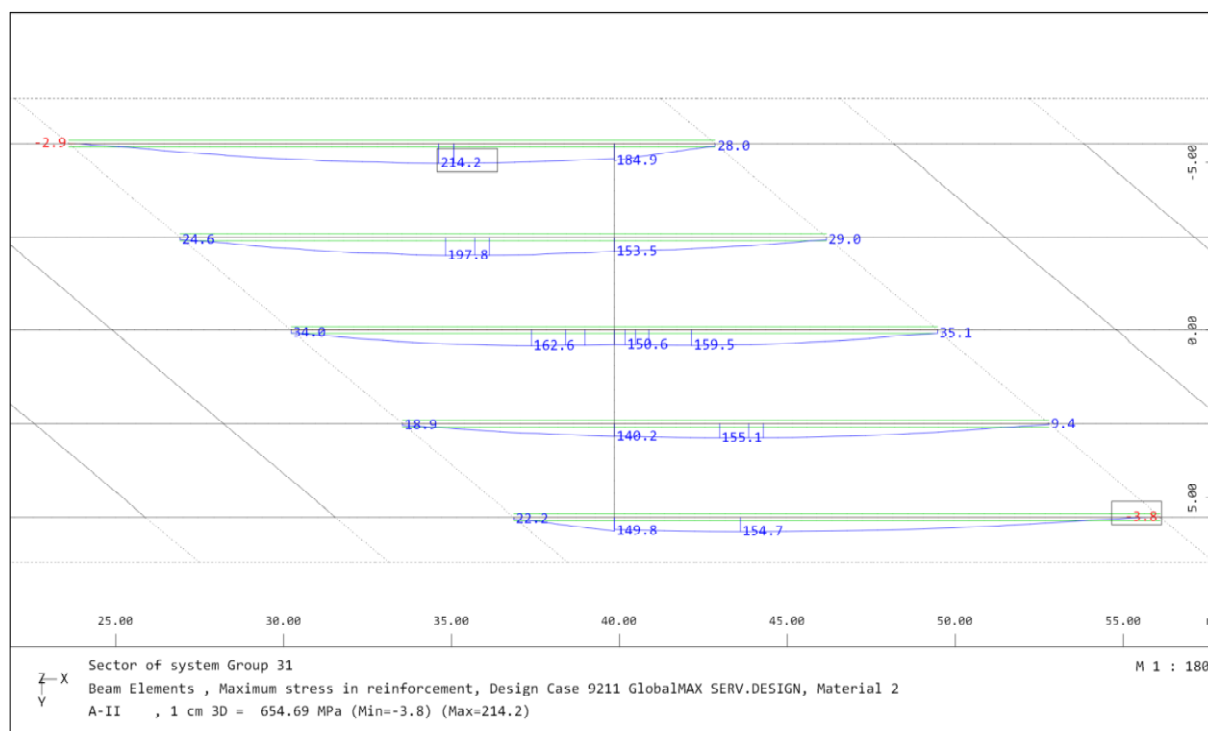
Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 6.3.2 Ograniczenie naprężeń w zbrojeniu dolnym

### 6.3.2.1 Warunek graniczny

- obliczeniowa wytrzymałość na rozciąganie:  $R_a = R_{ak}/\gamma_a = 295.8 \text{ MPa}$

### 6.3.2.2 ULS $\lambda/C$

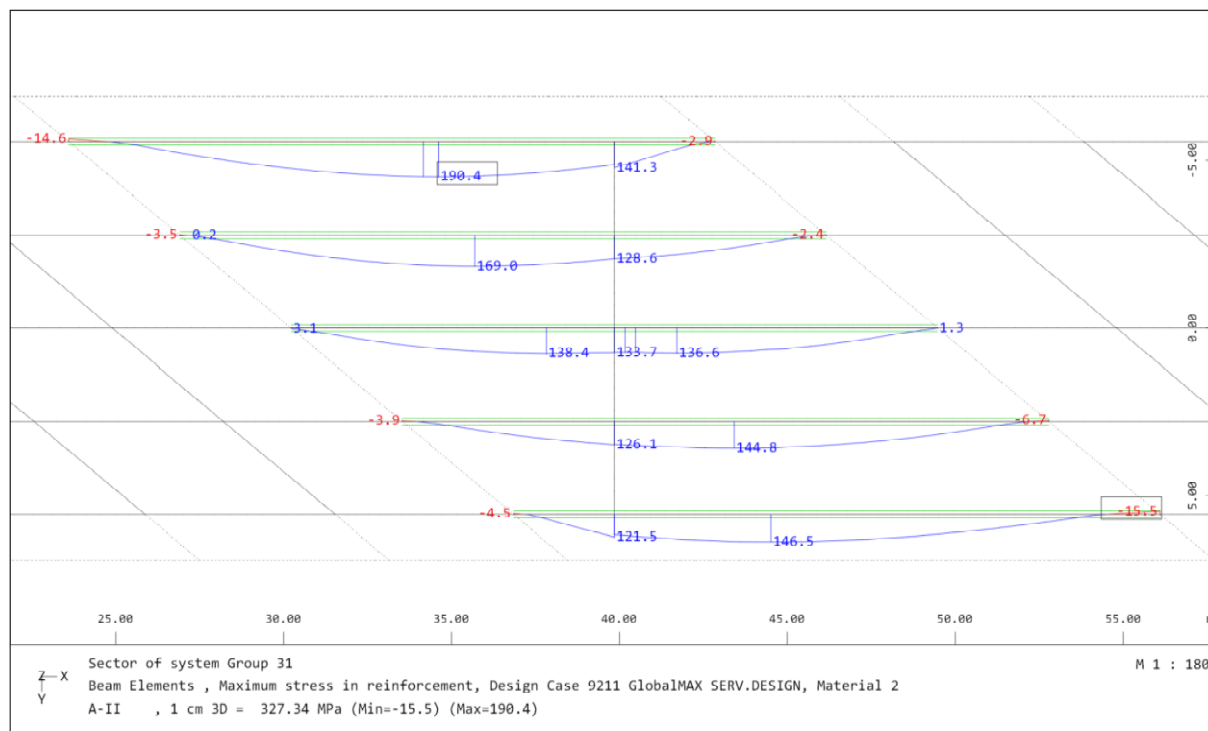


- maksymalne naprężenie rozciągające:  $\sigma_{a,max} = 214.2 \text{ MPa}$
- poziom wyężenia:  $\eta = \frac{\sigma_{a,max}}{R_a} = 0.724$
- wnioski: **warunek spełniony**

## ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

### 6.3.2.3 ULS S/24



- maksymalne naprężenie rozciągające:

$$\sigma_{a,max} = 190.4 \text{ MPa}$$

- poziom wyężenia:

$$\eta = \frac{\sigma_{a,max}}{R_a} = 0.644$$

- wnioski:

warunek spełniony

### 6.3.3 Ograniczenie rozwarcia rysy w betonie

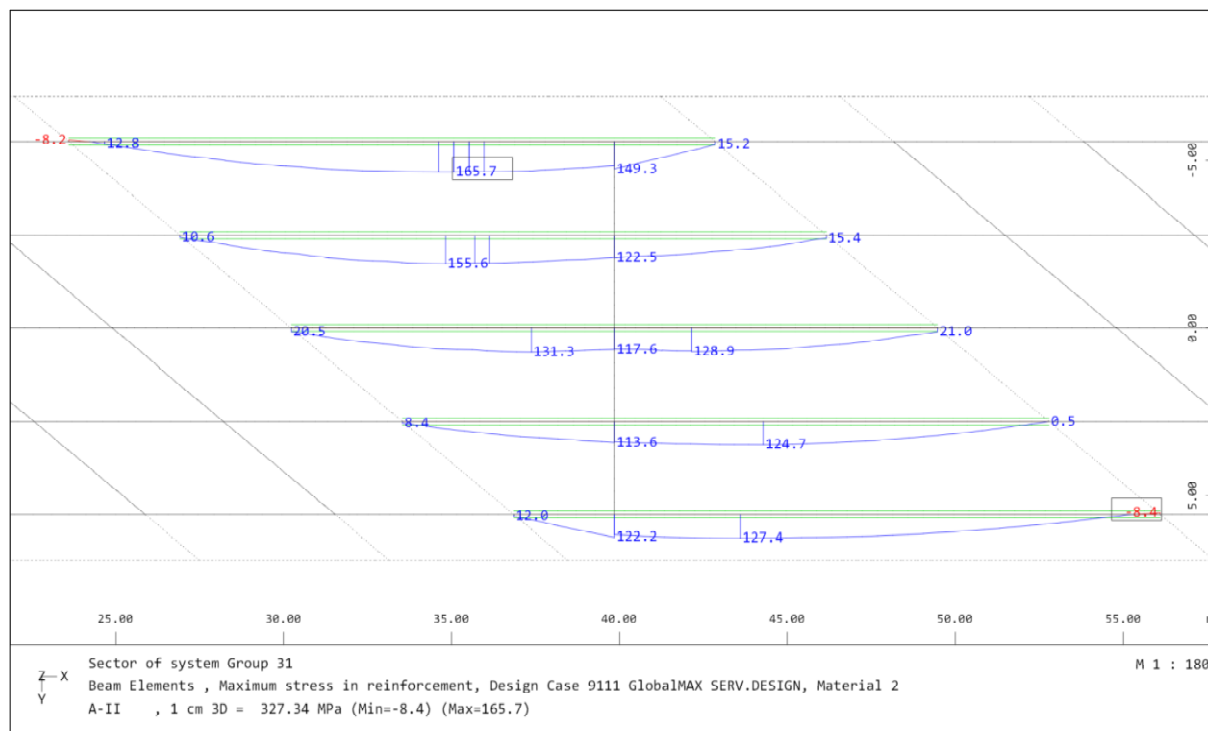
#### 6.3.3.1 Warunek graniczny

- rodzaj prętów zbrojeniowych: żebrowane
- dopuszczalna szerokość rysy:  $w_k = 0.20 \text{ mm}$
- rozstaw prętów zbrojeniowych:  $s_r = 100000 \text{ mm}$
- wysokość całkowita przekroju:  $h = 2040 \text{ mm}$
- wysokość strefy ściskanej przekroju niezarysowanego:  $x = 1020 \text{ mm}$
- otulina prętów zbrojeniowych:  $c = 30 \text{ mm}$
- średnica prętów zbrojeniowych:  $\phi = 32 \text{ mm}$
- wysokość strefy współdziałającej betonu:  
$$h_{ef} = \min(h - x, 200 \text{ mm}, c + 8 \phi) = 200 \text{ mm}$$
- moduł odkształcalności podłużnej stali zbrojeniowej:  $E_a = 210 \text{ GPa}$
- średni rozstaw rys:  $s_R = 114610 \text{ mm}$
- naprężenie dopuszczalne w stali zbrojeniowej:  $\sigma_{a,red} = 0.4 \text{ MPa}$

## ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

### 6.3.3.2 SLS $\lambda/C$



- maksymalne naprężenie rozciągające  $\sigma_{a,max} = 165.7 \text{ MPa}$   
w stali zbrojeniowej:

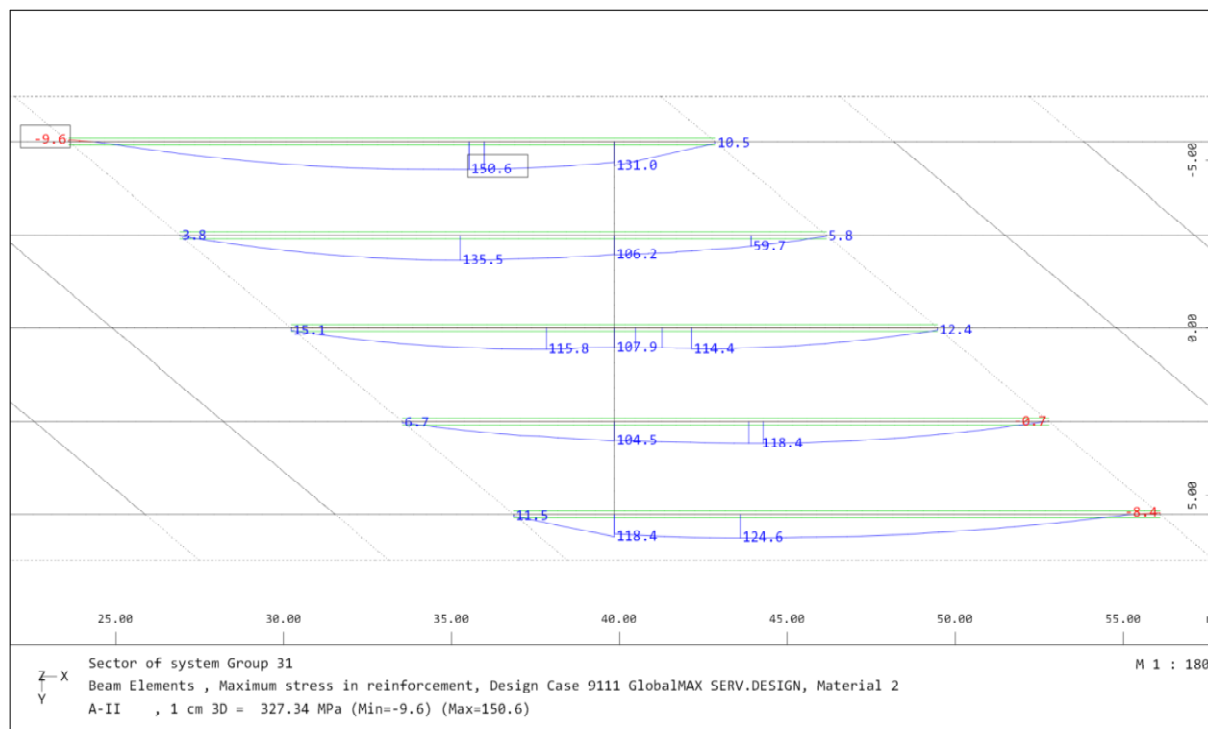
- poziom wyężenia: 
$$\eta = \frac{\sigma_{a,max}}{\sigma_{a,red}} = 452.160$$

- wnioski: **warunek niespełniony**

## ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

### 6.3.3.3 SLS S/24



- maksymalne naprężenie rozciągające  $\sigma_{a,max} = 150.6$  MPa  
w stali zbrojeniowej:

- poziom wyteżenia: 
$$\eta = \frac{\sigma_{a,max}}{\sigma_{a,red}} = 410.950$$

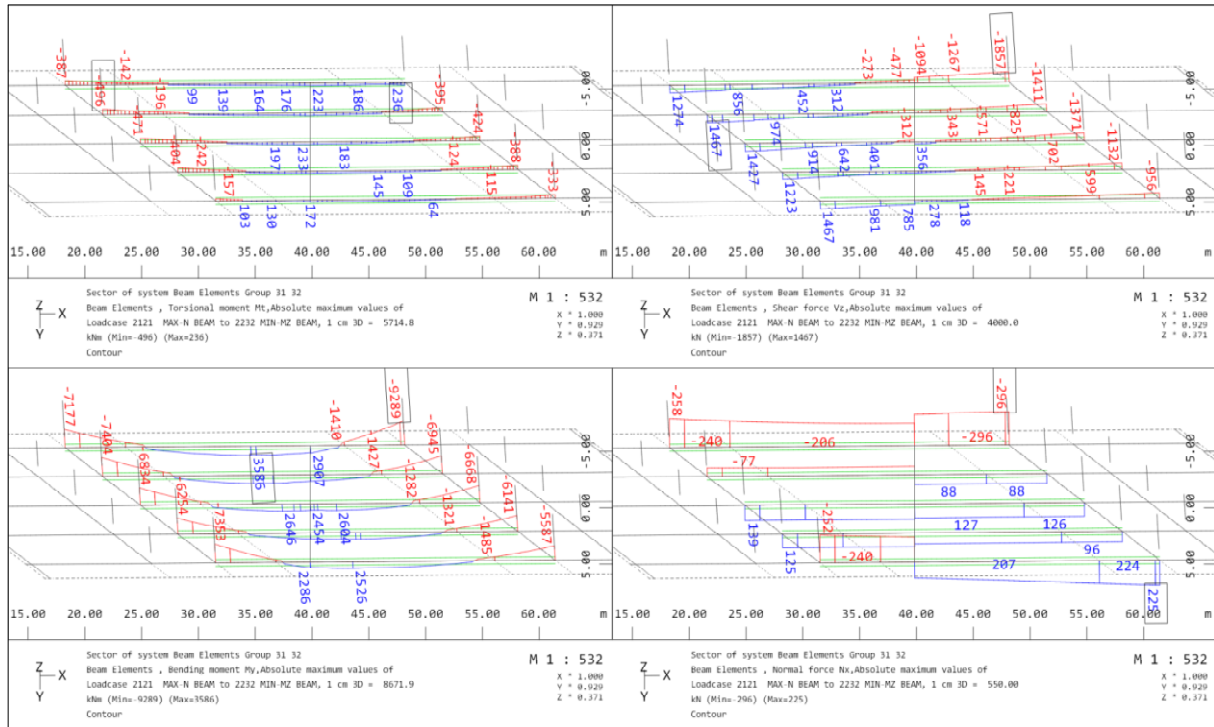
- wnioski: **warunek niespełniony**

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 6.3.4 Zbrojenie na ścinanie

### 6.3.4.1 ULS+SLS $\lambda/C$



- siły i momenty oddziaływujące na przekrój:

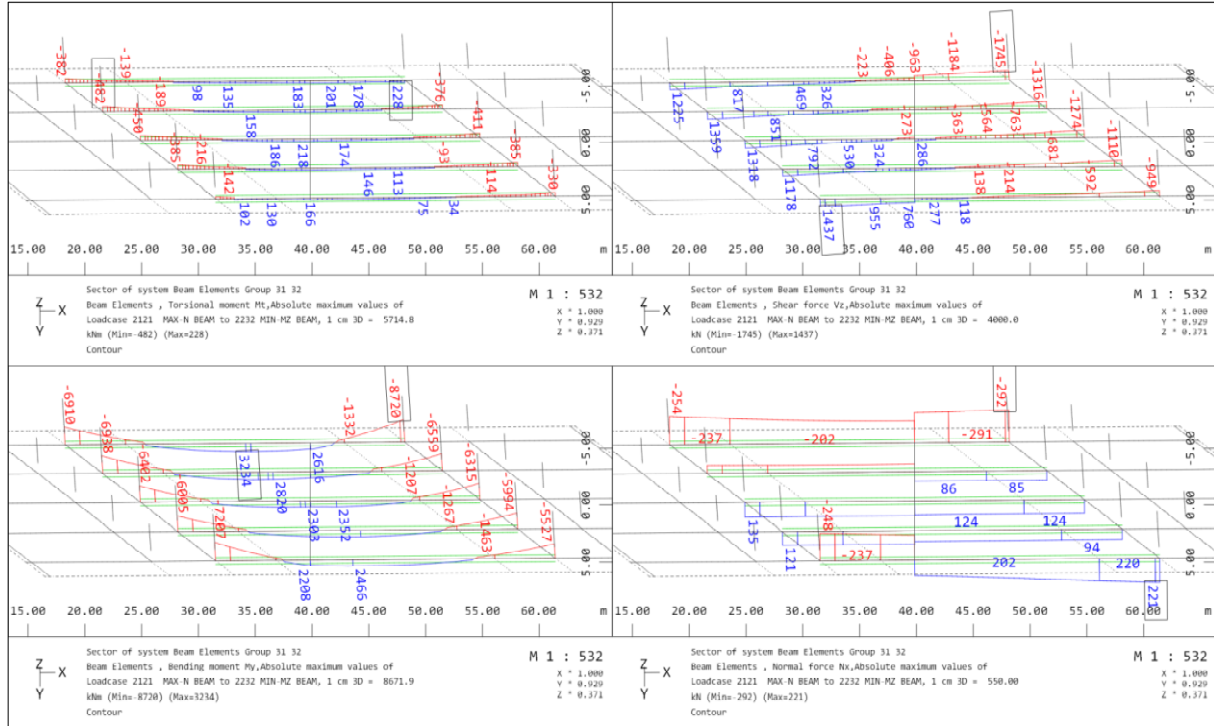
$$M_{t,Ed} = 0 \text{ kN m} \quad V_{z0,Ed} = 1857 \text{ kN} \quad M_{y,Ed} = 9289 \text{ kN m}$$

- naprężenia styczne od skręcania:  $\tau_{T,Ed} = 0.0 \text{ kPa}$
- naprężenia styczne od ścinania:  $\tau_b = 812.2 \text{ kPa}$
- poziom wyteżenia krzyżulcy betonowych:  $\eta = \frac{\tau_b + \tau_{T,Ed}}{\tau_{b,max}} = 0.248$
- wymagane pole zbrojenia gałęzi strzemiona na skręcanie:  $A_{sht} = 0.0 \text{ cm}^2$
- wymagane pole zbrojenia strzemionami na ścinanie:  $A_{sht} = 33.4 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$
- poziom wyteżenia zbrojenia na ścinanie:  $\eta = \frac{2 A_{sht} + A_{shz}}{A_{prov}} = 1.107$
- wnioski: **warunek niespełniony**

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 6.3.4.2 ULS+SLS λ/D



- siły i momenty oddziaływujące na przekrój:

$$M_{t,Ed} = 0 \text{ kN m} \quad V_{z0,Ed} = 1710 \text{ kN} \quad M_{y,Ed} = 8720 \text{ kN m}$$

- naprężenia styczne od skręcania:

$$\tau_{T,Ed} = 0.0 \text{ kPa}$$

- naprężenia styczne od ścinania:

$$\tau_b = 747.9 \text{ kPa}$$

- poziom wyężenia krzyżulcy betonowych:

$$\eta = \frac{\tau_b + \tau_{T,Ed}}{\tau_{b,max}} = 0.228$$

- wymagane pole zbrojenia gałęzi strzemiona na skręcanie:

$$A_{sht} = 0.0 \text{ cm}^2$$

- wymagane pole zbrojenia strzemionami na ścinanie:

$$A_{sht} = 29.9 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

- poziom wyężenia zbrojenia na ścinanie:

$$\eta = \frac{2 A_{sht} + A_{shz}}{A_{prov}} = 0.991$$

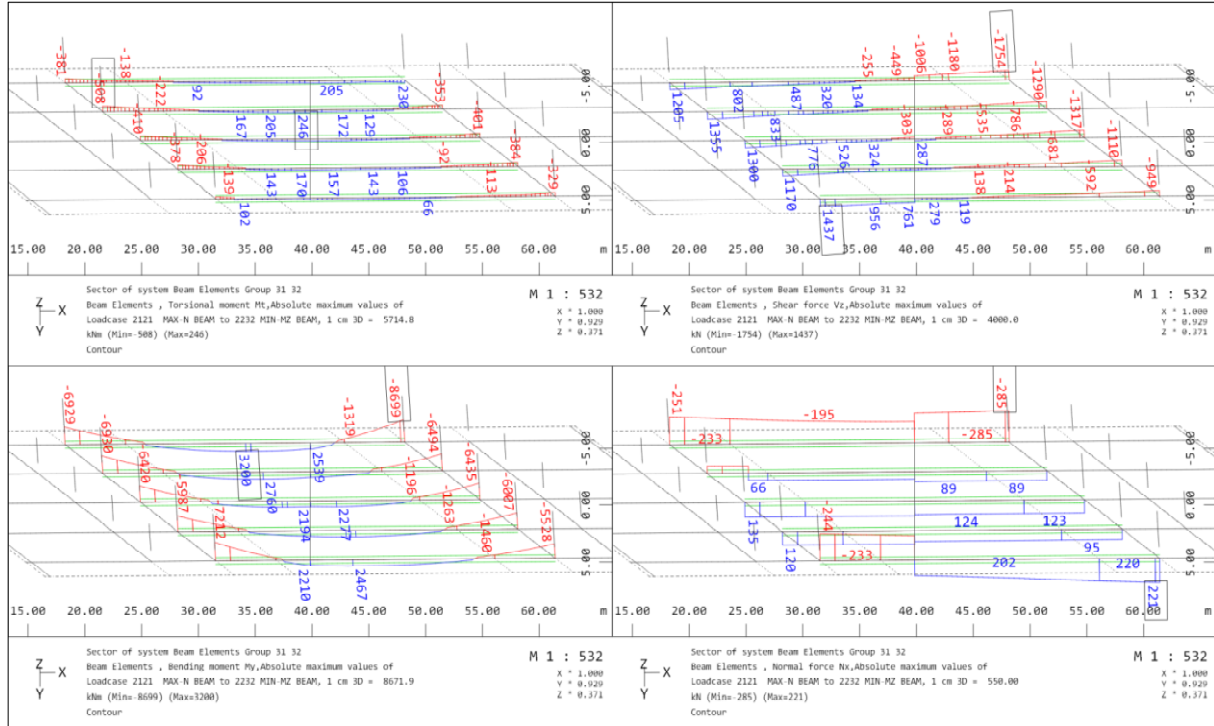
- wnioski:

warunek spełniony

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 6.3.4.3 ULS+SLS S/24



- siły i momenty oddziałujące na przekrój:

$$M_{t,Ed} = 0 \text{ kN m} \quad V_{z0,Ed} = 1754 \text{ kN} \quad M_{y,Ed} = 8699 \text{ kN m}$$

- naprężenia styczne od skręcania:

$$\tau_{T,Ed} = 0.0 \text{ kPa}$$

- naprężenia styczne od ścinania:

$$\tau_b = 767.1 \text{ kPa}$$

- poziom wyężenia krzyżulcy betonowych:

$$\eta = \frac{\tau_b + \tau_{T,Ed}}{\tau_{b,max}} = 0.234$$

- wymagane pole zbrojenia gałęzi strzemiona na skręcanie:

$$A_{sht} = 0.0 \text{ cm}^2$$

- wymagane pole zbrojenia strzemionami na ścinanie:

$$A_{sht} = 30.9 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

- poziom wyężenia zbrojenia na ścinanie:

$$\eta = \frac{2 A_{sht} + A_{shz}}{A_{prov}} = 1.026$$

- wnioski:

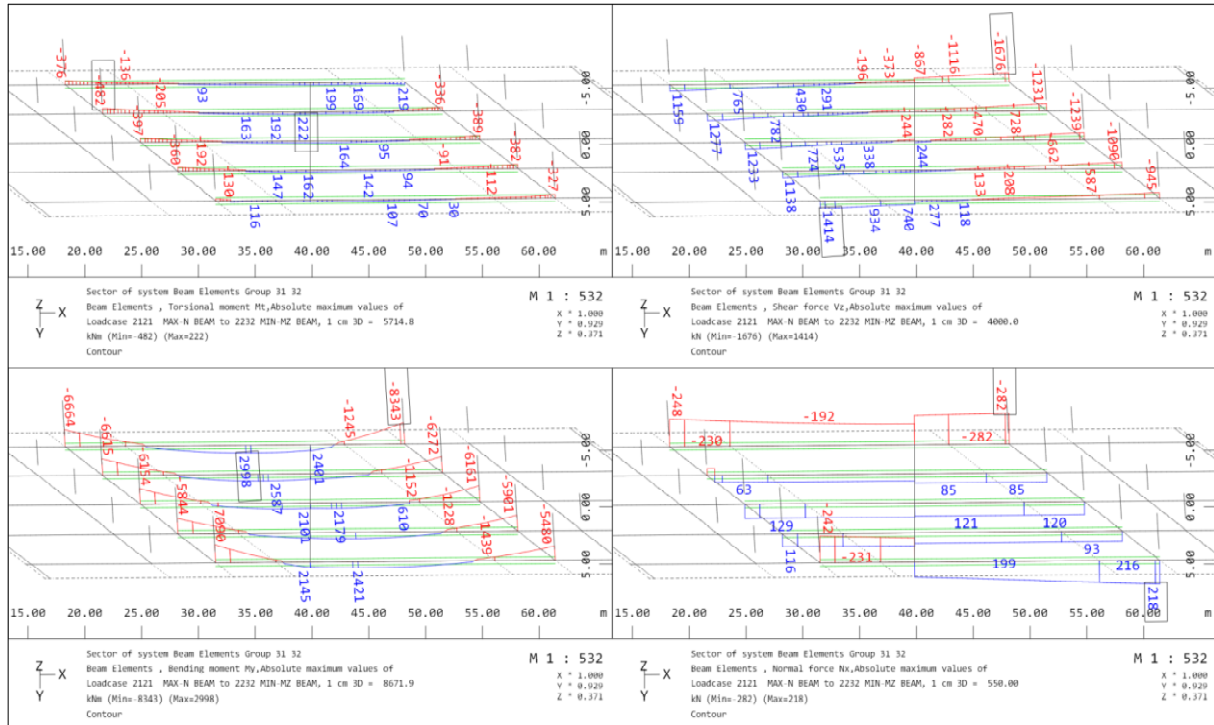
**warunek niespełniony**



# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

## 6.3.4.4 ULS+SLS S/16



- siły i momenty oddziaływujące na przekrój:

$$M_{t,Ed} = 0 \text{ kN m} \quad V_{z0,Ed} = 1676 \text{ kN} \quad M_{y,Ed} = 8343 \text{ kN m}$$

- naprężenia styczne od skręcania:

$$\tau_{T,Ed} = 0.0 \text{ kPa}$$

- naprężenia styczne od ścinania:

$$\tau_b = 733.0 \text{ kPa}$$

- poziom wyteżenia krzyżulcy betonowych:

$$\eta = \frac{\tau_b + \tau_{T,Ed}}{\tau_{b,max}} = 0.223$$

- wymagane pole zbrojenia gałęzi strzemiona na skręcanie:

$$A_{sht} = 0.0 \text{ cm}^2$$

- wymagane pole zbrojenia strzemionami na ścinanie:

$$A_{sht} = 29.1 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

- poziom wyteżenia zbrojenia na ścinanie:

$$\eta = \frac{2 A_{sht} + A_{shz}}{A_{prov}} = 0.964$$

- wnioski:

warunek spełniony

# 7

## Podsumowanie

---

7.1	Status opracowania . . . . .	<b>63</b>
7.2	Opis wyników . . . . .	<b>63</b>
7.3	Nośność obiektu . . . . .	<b>64</b>

---

## 7.1 Status opracowania

Niniejsze opracowanie **nie obejmuje** wskazania prac koniecznych do wykonania na obiekcie, ani nie służy też ustaleniu bezpiecznej prędkości dla pojazdów poruszających się po obiekcie. Na powyższe powinna zostać opracowana stosowna dokumentacja uzgodniona następnie przed wykonaniem robót z właściwymi jednostkami uzyskując niezbędne decyzje i pozwolenia. Dopuszczalna prędkość pojazdów poruszających się na obiekcie powinna być ustalona biorąc pod uwagę m.in. uwarunkowania konstrukcyjne i inne aspekty niezależne od nośności obiektu. Ostateczny i kompleksowy zakres robót powinien zostać określony na podstawie właściwej dokumentacji projektowej precyzującej rozwiązania techniczne, technologiczne i materiałowe.

## 7.2 Opis wyników

Warunki brzegowe obiektu są trudne do rozpoznania z uwagi na nietypowość zastosowanych rozwiązań. Do obliczeń przyjęto, że pomiędzy przęsłem a podporami w osiach nr 1 i 2 występują więzy przegubowo-przesuwne, natomiast w osi nr 3 i 4 więzy przegubowo-nieprzesuwne.

Klasę betonu określono na podstawie wykonanych badań rdzeniowych. Charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji wyszła niższa niż najniższa dopuszczalna według normy projektowej [7]. Parametry mechaniczne betonu przyjęto na podstawie ekstrapolacji klas sąsiednich. Minimalna wymagana klasa betonu dla fundamentów i podpór o grubości zastępczej nie mniejszej niż 0.60 m to B 25, a do przęseł żelbetowych B 30.

## 7.3 Nośność obiektu

Obiekt **spełnia** wymagania stanów granicznych nośności i użytkowalności z pojazdem kl. D według norm z serii Polska Norma [8].

Obiekt **spełnia** wymagania stanów granicznych nośności i użytkowalności z pojazdem kl. S16 według instrukcji do określania nośności użytkowej [3].

# ANALIZA NOŚNOŚCI I UŻYTKOWALNOŚCI

Obiekt mostowy przeznaczony do ruchu drogowego  
Most w ciągu drogi powiatowej nr 3209P w Łęczynie

---

## Bibliografia

- [1] PN-S-10030:1985. *Polska Norma. Obiekty mostowe. Obciążenia*. Polska, 1985.
- [2] PN-EN 1991-2:2007. *Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcję – Część 2: Obciążenia ruchome mostów*. Polska.
- [3] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. *Instrukcja do określania nośności użytkowej drogowych obiektów mostowych. Załącznik do Zarządzenia Nr 17 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 1 czerwca 2004 roku*. Polska, Warszawa: Projektowanie i Wykonawstwo Obiektów Mostowych PROMOST, 2004.
- [4] PN-EN 13791:2008. *Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych*. Polska.
- [5] Mieczysław Rybak. *Polska Norma. Obiekty mostowe. Obciążenia*. Polska, Warszawa, 1989.
- [6] PN-EN 1992-2:2010. *Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 2: Mosty z betonu. Obliczanie i reguły konstrukcyjne*. Polska.
- [7] PN-S-10042:1991. *Polska Norma. Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Projektowanie*. Polska, 1991.
- [8] PN-S-10030:1982. *Polska Norma. Obiekty mostowe. Obciążenia*. Polska, 1982.