

## WYCIĄG Z OBLICZEŃ

### 1. Dane wyjściowe

Obliczenia wykonano dla rozpiętości osiowej 6m i długości przekrojowej przęsła 7,5m. Z uwagi na duży skos osi mostu (i tym samym prefabrykatów) względem osi rzeki, przyjęto zastosowanie płyt sprężonych DS.-9 jako ustrój nośny. Przewiduje się indywidualne ukształtowanie końcowej prefabrykatów w wytwórni na potrzeby niniejszej realizacji.

Wyciąg w części dotyczącej płyt prefabrykowanych opracowano na podstawie katalogu belek mostowych wydanego przez Transprojekt Warszawa.

Zakładana klasa obciążenia nowego mostu: „C” wg PN-S-10030 – przyjęto jako konstrukcję przęsła prefabrykowane płyty (belki) mostowe typu DS, sprężone, przenoszące obciążenia również wyższych klas (rozwiązanie typowe). Przyjęte rozwiązanie technologiczne uzasadnione jest podtrzymaniem parametrów geometrycznych przeprawy w stosunku do mostu istniejącego – światło pionowe i poziome nowego mostu jest nie mniejsze niż istniejącego. Przytoczony poniżej tok obliczeniowy dla belek DS, odpowiadający klasie „A” wg PN-S-10030, jest konsekwencją przyjętego rozwiązania technologicznego i tyczy się wyłącznie przęsła i nie decyduje o nośności obiektu wyższej niż zakładana klasa „C”.

Parametry:

- wysokość belki 0,24m
- grubość płyty monolitycznej 0,24m
- długość przekrojowa z pominięciem końcówek cięgien i zbrojenia 5,70m
- rozpiętość teoretyczna 6,60m
- klasa betonu płyt prefabrykowanych B45 (C35/45):  $R_{bk}=33,7\text{MPa}$ ,  $R_{b1}=26,0\text{MPa}$ ,  $R_{b2}=28,8\text{MPa}$ ,  $R_{btk\ 0,05}=2,30\text{MPa}$ ,  $E_b=37,8\text{GPa}$

Sprawdzono możliwość przedłużenia płyty o 0.20 m poza obrys prefabrykatu, bez konieczności zwiększania ilości sprężenia i zbrojenia (wykorzystując zapasy nośności). Potrzeba taka może wystąpić w przypadku wspornika na krawędzi ustroju niosącego, wnęki pomiędzy prefabrykatami przeznaczonej na instalacje, itp.

Obliczenia przeprowadzono dla przęsła pracującego w układzie swobodnie podpartym

#### **Płyta - klasa betonu B35**

Wytrzymałości betonu:

$R_{bk} = 26.2\text{ MPa}$  - charakterystyczna na ściskanie

$R_{b1} = 20.2\text{ MPa}$  - obliczeniowa na ściskanie

$R_{b2} = 22.4\text{ MPa}$  - obliczeniowa na ściskanie przy krótkotrwałym przeciążeniu

$R_{btk\ 0.05} = 1.90\text{ MPa}$  - charakterystyczna na rozciąganie przy zachowaniu 95% pewności nie pojawienia się zarysowania

Współczynniki sprężystości betonu:

$E_b = 34.6\text{ GPa}$  - dla obciążeń krótkotrwałych

#### **Stal sprężająca - liny $\phi 15.5$ (1x5.5+6x5) - odmiana I**

$R_{vk} = 1471\text{ MPa}$  - wytrzymałość charakterystyczna

$R_v = 981\text{ MPa}$  - wytrzymałość obliczeniowa

$P_{vk} = 208\text{ kN}$  - nośność charakterystyczna

$P_v = 140 \text{ kN}$  - nośność obliczeniowa

$E_v = 180 \text{ GPa}$  - współczynnik sprężystości po wstępnym przeciągnięciu do siły odpowiadającej co najmniej 40% nośności charakterystycznej

### **Stal zbrojeniowa 18G2-b (A-II)**

$R_{ak} = 355 \text{ MPa}$  - wytrzymałość charakterystyczna

$R_a = 295 \text{ MPa}$  - wytrzymałość obliczeniowa

$E_a = 210 \text{ GPa}$  - współczynnik sprężystości

### **Metody obliczeniowe**

W obliczeniach statycznych przyjęty został model obliczeniowy w postaci ramy przestrzennej, która rozwiązywana była przy użyciu metody elementów skończonych. Obliczenia wytrzymałościowe prowadzone były zgodnie z PN-S-10042:1991 „Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Projektowanie”.

## **2. Obciążenia**

W obliczeniach statycznych uwzględniono następujące obciążenia:

- 1) Ciężar własny belek prefabrykowanych
- 2) Ciężar własny mokrego betonu płyty współpracującej
- 3) Różnica ciężaru własnego suchego i mokrego betonu płyty współpracującej
- 4) Ciężar własny wyposażenia
- 5) Wpływ skurczu betonu
- 6) Obciążenia ruchome
  - a) Obciążenie elementów głównych kl. A wg PN-S-10030:1985
    - obciążenie równomiernie rozłożone  $q$
    - obciążenie pojazdem K
  - b) Obciążenie samochodami S kl. A wg PN-S-10030:1985
  - c) Obciążenie kołowym pojazdem specjalnym kl. 150 wg STANAG 2021

## **3. Podstawowe wyniki obliczeń**

### **3.1. Charakterystyki geometryczne przekrojów belek**

Charakterystyki geometryczne przekrojów sprowadzonych zestawiono w Tabelicy 1.

Oznaczenia:

N - przekrój niezespólny

Z - przekrój zespolony

$A_N, A_Z$  - pole przekroju

$J_N, J_Z$  - moment bezwładności

odległości od środka ciężkości:

$h_{gN}, h_{gZ}$  - krawędzi górnych belki

$h_{dN}, h_{dZ}$  - krawędzi dolnych belki

$h_{P_{gZ}}$  - krawędzi górnej płyty

Obciążenia	Belka DS 6		Belka DS 9	
	długotrwałe n=18	krótkotrwałe n=6	długotrwałe n=18	krótkotrwałe n=6
<b>Przekrój niezespólny</b>				
$A_N$ m <sup>2</sup>	0.212	0.183	0.277	0.235
$J_N$ m <sup>4</sup>	5.637E-04	5.269E-04	1.206E-03	1.088E-03
$h_{gN}$ m	0.100	0.097	0.129	0.124
$h_{dN}$ m	0.090	0.093	0.111	0.116
<b>Przekrój zespolony</b>				
$A_Z$ m <sup>2</sup>	0.362	0.363	0.446	0.439
$J_Z$ m <sup>4</sup>	4.863E-03	4.896E-03	8.665E-03	8.584E-03
$h_{gZ}$ m	0.014	-0.003	0.034	0.010
$h_{dZ}$ m	0.176	0.193	0.206	0.230
$h_{P_{gZ}}$ m	0.224	0.207	0.274	0.250

Tablica 1

### 3.2. Obwiednie sił wewnętrznych

Obwiednie sił wewnętrznych dla wybranych przekrojów belek:

- momentów zginających - przekrój w środku rozpiętości,
  - sił poprzecznych - przekrój przy podporze,
- zestawiono w Tablicach 2a i 2b.

Wartości ustalone zostały jako ekstremalne dla przekrojów A i B.

Rodzaj (długość) belki	DS 6		DS 9		
	stand.	+ 20cm	stand.	+ 20cm	
<b>Stadium początkowe - przekrój niezespólny, obc. długotrwałe</b>					
(CW belek)	char.	15	15	46	46
	max	18	18	55	55
	min	13	13	41	41
<b>Stadium bezużytkowe - przekrój niezespólny, obc. długotrwałe</b>					
(CW belek + płyty)	char.	32	36	94	105
	max	38	43	113	126
	min	29	29	85	95
<b>Stadium bezużytkowe - przekrój zespolony, obc. długotrwałe</b>					
	ch. max	33	35	53	61
	ch. min	22	24	38	42
	max	46	49	75	88
	min	19	20	33	36
<b>Stadium użytkowe - przekrój zespolony, obc. krótkotrwałe</b>					
	ch. max	154	155	294	299
	ch. min	-4	-4	-9	-9
	max	230	233	441	449
	min	-6	-6	-13	-14
<b>Suma całkowita</b>					
[kNm]	ch. max	216	226	439	463
	ch. min	54	56	132	147
	max	311	325	626	659
	min	-48	-49	-118	-131

Tablica 2a – zestawienie momentów zginających

Rodzaj (długość) belki	DS 6		DS 9		
	stand.	+ 20cm	stand.	+ 20cm	
<b>Stadium początkowe - przekrój niezespólny, obc. długotrwałe</b>					
(CW belek)	char.	11	11	22	22
	max	13	13	27	27
	min	10	10	20	20
<b>Stadium bezużytkowe - przekrój niezespólny, obc. długotrwałe</b>					
(CW belek + płyty)	char.	24	27	45	51
	max	29	33	55	61
	min	22	24	41	46
<b>Stadium bezużytkowe - przekrój zespolony, obc. długotrwałe</b>					
	ch. max	19	24	25	31
	ch. min	5	6	8	10
	max	31	38	41	51
	min	4	5	7	8
<b>Stadium użytkowe - przekrój zespolony, obc. krótkotrwałe</b>					
	ch. max	152	154	171	174
	ch. min	-8	-8	-13	-14
	max	228	231	257	261
	min	-12	-12	-20	-21
<b>Suma całkowita</b>					
[kN]	ch. max	186	193	231	242
	ch. min	28	32	53	60
	max	272	281	333	348
	min	23	28	41	51

Tablica 2b – zestawienie sił poprzecznych

### 3.3. Ilość cięgien sprężających, wartości siły sprężającej, naprężenia normalne

Ilości cięgien sprężających, wartości charakterystyczne siły sprężającej w poszczególnych stadiach z uwzględnieniem strat oraz naprężenia normalne dla przekroju w środku rozpiętości, zestawiono w Tablicy 3.

Oznaczenia:

$P_0$  - początkowa siła sprężająca

$P_{Ik}$  - siła sprężająca po uwzględnieniu strat doraźnych

$P_{IIk}$  - siła sprężająca po uwzględnieniu strat doraźnych i reologicznych - okres od sprężenia do chwili wykonania płyty współpracującej

$P_{IIIk}$  - siła sprężająca po uwzględnieniu wszystkich strat

$\sigma_g$  - naprężenia na górnej krawędzi

$\sigma_d$  - naprężenia na dolnej krawędzi

k - indeks - wartość charakterystyczna

I - stadium początkowe, przekrój niezespólny,

II - stadium bezużytkowe, przekrój niezespólny

III - stadium bezużytkowe, przekrój zespolony,

IV - stadium użytkowe, przekrój zespolony

	DS 6		DS 9	
	stand.	+ 20cm	stand.	+ 20cm
<b>Stal sprężająca</b>				
Ilość lin w rzędzie "i"				
1	8		12	
2			4	
3 - górny	---		---	
$\Sigma n_v$	8		16	
$P_0$ [kN]	1 120	1 120	2 240	2 240
$P_{Ik}$ [kN]	1 074	1 074	2 090	2 090
$P_{IIk}$ [kN]	1 000	1 000	1 894	1 894
$P_{IIIk}$ [kN]	896	896	1 654	1 659
$P_{IIIk}/P_0$	0.80	0.80	0.74	0.74
<b>Naprężenia normalne - stadium początkowe, przekrój niezespólny ( I )</b>				
<b>Prefabrykat</b>				
$\sigma_{gk}$ [MPa]	2.05	2.05	3.14	3.14
$\sigma_d$ [MPa]	12.2	12.2	18.7	18.7
<b>Naprężenia normalne całkowite ( II + III + IV )</b>				
<b>Prefabrykat</b>				
$\sigma_g$ [MPa]	6.5	6.8	11.4	12.1
$\sigma_{dk}$ [MPa]	-1.40	-1.81	-1.33	-2.17
<b>Płyta</b>				
$\sigma_{gP}$ [MPa]	11.5	10.2	15.1	13.6
<b>Zbrojenie płyty</b>				
$\sigma_{gaP}$ [MPa]	74	64	99	89

Tablica 3

### 3.4. Nośność graniczna

Oznaczenia:

$M_{ns}$  - moment niszczący odpowiadający wyczerpaniu nośności strefy rozciąganej przy zginaniu

$M_{nb}$  - moment niszczący odpowiadający wyczerpaniu wytrzymałości betonu na ściskanie

$M_k$  - moment charakterystyczny

$$M_k = 439 \text{ kNm} \quad M_{ns} = 1271 \text{ kNm} > 2 \cdot M_k = 878 \text{ kNm}$$

$$M_{nb} = 1251 \text{ kNm} > 2.4 \cdot M_k = 1054 \text{ kNm}$$

Powyższe wartości podane zostały dla prefabrykatów standardowych. Zapas nośności jest wystarczający również w przypadku zwiększenia obciążenia.

### 3.5. Ścinanie

Poniżej zestawiono wyniki obliczeń strzemion i łączników zespalających w przekroju przypodporowym.

$\Delta V_b + \Delta V_w$  - nośność przekroju na ścinanie (nośność strzemion  $\Delta V_w$  pomniejszona o wyczerpanie strzemion)

jakie może wystąpić na etapie przekroju niezespalonego)

V - V<sub>nz</sub> - całkowita obliczeniowa siła poprzeczna pomniejszona o wartość w fazie przekroju niezespalonego

T - nośność łączników zespalających

T<sub>III</sub> + T<sub>IV</sub> - całkowita siła rozwarstwiająca

W fazie przekroju niezespalonego zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane.

$$\Delta V_b + \Delta V_w = 336 \text{ kN} > V - \Delta V_{red} = 279 \text{ kN}$$

$$T = 1019 \text{ kN/m} > T_{III} + T_{IV} = 924 \text{ kN/m}$$

W przypadku przedłużenia płyty o 0.20 m poza obrys prefabrykatu ilość zbrojenia na ścinanie i łączników zespalających nie zmienia się.

### 3.6. Przemieszczenia konstrukcji

Wartości przemieszczeń w poszczególnych etapach budowy i eksploatacji obiektu oraz wielkości podniesienia wykonawczego dla przekroju w środku rozpiętości zestawiono w Tablicy 4. Wartości przemieszczeń podano względem teoretycznej osi belki, będącej linią prostą. Przez podniesienie wykonawcze rozumie się tutaj ugięcie całkowite, jakiego dozna belka od momentu zabetonowania płyty, z uwzględnieniem procesów reologicznych i zwiększone o połowę ugięcia od obciążeń krótkotrwałych. Wartość tę należy zatem dodać do docelowej rzędnej niwelety, przy wyznaczaniu wierzchu płyty przed betonowaniem (niwelacja prowadnic). Grubość płyty będzie zmienna na długości obiektu.

W Tablicy 4 zestawiono przemieszczenia dla prefabrykatów standardowych.

Przemieszczenia pionowe [m]:	DS 6	DS 9
- doraźne po sprężeniu	0.004	0.012
- przed bet. płyty (t = 90 dni)	0.007	0.022
- doraźne po betonowaniu płyty	0.005	0.014
- całkowite od obciążeń stałych	0.004	0.012
Od obciążeń ruchomych	-0.001	-0.004
<b>Podniesienie wykonawcze [m]</b>	<b>0.004</b>	<b>0.012</b>

Tablica 4

### 3.7. Płyta monolityczna

Miarodajne obliczeniowe momenty zginające zestawiono w Tablicy 5.

Oznaczenia:

M - obliczeniowy moment zginający

b - szerokość pasma, dla którego prowadzone były obliczenia

Belka	DS 6		DS 9	
	A	B	A	B
Przekrój				
b [m]	1.325		1.50	
Obwiednia momentów zginających M <sub>max</sub> (zbrojenie dolne)				
M [kNm]	80	98	125	184
Obwiednia momentów zginających M <sub>min</sub> (zbrojenie górne)				
M [kNm]	-35	-51	-48	-115



### 3.9. Reakcje i obroty na łożyskach (przegubach)

Wartości charakterystyczne i obliczeniowe reakcji oraz obroty na łożyskach (przegubach), obliczone z uwzględnieniem wpływów reologicznych, zestawiono w Tabelcy 7.

		Typ przekroju	Przekrój A	Przekrój B
DS 6	Reakcje [kN]	ch. max	213	216
		ch. min	17	12
		max	309	315
		min	-1	0
	Obroty [°]	ch. max	0.106	0.104
DS 9	Reakcje [kN]	ch. max	267	269
		ch. min	14	31
		max	385	387
		min	-21	0
	Obroty [°]	ch. max	0.219	0.214

Tabelca 7

### 3.10. Stateczność przyczółków

Moment wywracający: 1040 kNm,

Moment utrzymujący: 2359kNm.

### 3.11. Zbrojenie przyczółków

Przyjęto zbrojenie konstrukcyjne, odpowiadające minimalnemu przekrojowi zbrojenia wg PN-S-10042:1991. Naprężenia w stali i w betonie nie przekroczą wartości dopuszczalnych.

Projektował:

Michał Delmaczyński