

PROJEKT WZMOCNIENIA NAWIERZCHNI ULICY WIEJSKIEJ W SKARŻYSKU-KAMIENNEJ

mgr inż. Beata Moskal, inż. Karol Nowakowski

2009-07-06

Spis treści

1. PODZIAŁ NA ODCINKI JEDNORODNE	3
2. RUCH	5
3. ZAŁOŻENIA DO PROJEKTU	5
3.1 Nakładki bitumiczne	5
3.2 Podłoże gruntowe	6
3.3 Założenia ogólne	6
4. PROJEKT NAWIERZCHNI NA ODCINKU I, II	7
4.1 Grubość nawierzchni warstw bitumicznych wzmocnienia metodą ugięć	8
4.2 Ustalenie wariantów rozwiązań	8
4.2.1 Grubość 25, 0 cm warstwa ułożona na istniejącym betonie asfaltowym z ewentualnym niewielkim frezowaniem (do 2, 0 cm) wariant 1	8
4.2.2 Grubość 25, 0 cm warstwa ułożona na istniejącym betonie asfaltowym z ewentualnym niewielkim frezowaniem (do 2, 0 cm) wariant 2	8
4.2.3 Grubość 18, 0 cm warstwa ułożona po sfrezowaniu betonu asfaltowego wariant 3	9
4.2.4 Grubość 18, 0 cm warstwa ułożona po sfrezowaniu betonu asfaltowego wariant 4	9
4.3 Obliczenia trwałości zmęczeniowej nawierzchni dla wariantów	10
4.3.1 Obliczenie dla wariantu I i II	10
4.3.1 Obliczenie dla wariantu III i IV	10
5. PRZYJĘCIE KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI Z ROZPORZĄDZENIA MINISTRA TRANSPORTU I GOSPODARKI MORSKIEJ Z DNI 2 MARCA 1999 ROKU W SPRAWIE WARUNKÓW TECHNICZNYCH, JAKIM POWINNY ODPOWIADĄĆ DROGI PUBLICZNE I ICH USTYUOWANIE 2, 5 MPA	11
6. WNIOSKI	11
7. SZCZEGÓŁOWE SPECYFIKACJE TECHNICZNE	12

1. PODZIAŁ NA ODCINKI JEDNORODNE

Opracowanie konstrukcji nawierzchni wzmocnienia ulicy Wiejskiej w Skarżysku-Kamiennej wykonano na podstawie wielkości pomierzonych ugięć sprężystych.

Obliczono ugięcie miarodajne według wzoru podanego w Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych (zwanym dalej „Katalogiem”) wydanym w roku 2001 przez Generalną Dyрекcję Dróg Publicznych:

$$U_m = U_{\text{średnie}} + 2 \cdot S_u$$

S_u – odchylenie standardowe obliczone z próbki.

Oraz ugięcie obliczeniowe według wzoru:

$$U_{\text{obl}} = U_m \cdot f_T \cdot f_s \cdot f_p$$

f_T – współczynnik temperaturowy,

$$f_T = 1 + 0,02(20 - T)$$

T – temperatura warstw asfaltowych w czasie badania – 20°C,

f_s – współczynnik sezonowości, przyjęto 1,00,

f_p – współczynnik podbudowy wynosi 1,0

W celu ustalenia odcinków jednorodnych wykonano wykresy sum skumulowanych:

$$S_1 = x_1 - x$$

$$S_2 = x_1 - x + S_1$$

$$S_3 = x_1 - x + S_{1-1}$$

S_i – Suma skumulowana,

x_i – ugięcie w punkcie i ,

x – ugięcie średnie.

$$x_{\text{red,L}} = 0,93$$

$$S_{UL} = 0,31$$

$$U_{mL} = U_{\text{red}} + 2S_U = 1,55$$

$$U_{oblL} = 1,94$$

$$x_{\text{red,P}} = 0,80$$

$$S_{UP} = 0,28$$

$$U_{mP} = U_{\text{red}} + 2S_U = 1,36$$

$$U_{oblP} = 1,70$$

LEWA:

$S_1 =$	0,09
$S_2 =$	0,76
$S_3 =$	0,59
$S_4 =$	0,74
$S_5 =$	0,81
$S_6 =$	1,44
$S_7 =$	1,53
$S_8 =$	1,62
$S_9 =$	1,65
$S_{10} =$	1,76
$S_{11} =$	1,75
$S_{12} =$	1,46
$S_{13} =$	1,29
$S_{14} =$	1,26
$S_{15} =$	1,09
$S_{16} =$	1,16
$S_{17} =$	1,41
$S_{18} =$	1,62
$S_{19} =$	1,41
$S_{20} =$	1,67
$S_{21} =$	1,72
$S_{22} =$	1,83
$S_{23} =$	1,74
$S_{24} =$	1,45
$S_{25} =$	1,28
$S_{26} =$	0,85
$S_{27} =$	0,18
$S_{28} =$	-0,21
$S_{29} =$	-0,88
$S_{30} =$	-1,27
$S_{31} =$	-1,34
$S_{32} =$	-0,99
$S_{33} =$	-1,02
$S_{34} =$	-0,47
$S_{35} =$	-0,54
$S_{36} =$	0,13
$S_{37} =$	0,28

KILOMETRAŻ:

0+000
0+020
0+040
0+060
0+080
0+100
0+120
0+140
0+160
0+180
0+200
0+220
0+240
0+260
0+280
0+300
0+320
0+340
0+360
0+380
0+400
0+420
0+440
0+460
0+480
0+500
0+520
0+540
0+560
0+580
0+600
0+620
0+640
0+660
0+680
0+700
0+720

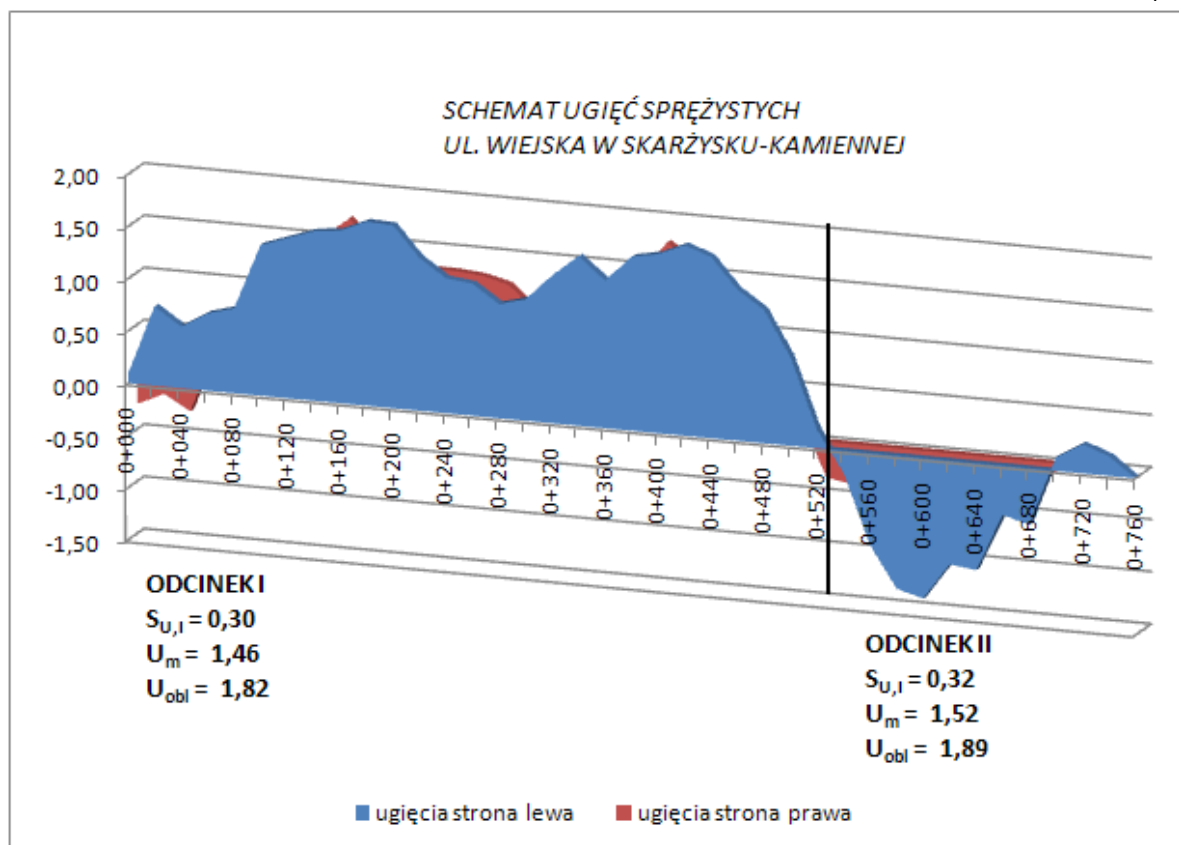
PRAWA:

$S_1 =$	-0,26
$S_2 =$	-0,14
$S_3 =$	-0,29
$S_4 =$	0,37
$S_5 =$	0,51
$S_6 =$	0,93
$S_7 =$	1,03
$S_8 =$	1,51
$S_9 =$	1,71
$S_{10} =$	1,44
$S_{11} =$	1,04
$S_{12} =$	1,30
$S_{13} =$	1,30
$S_{14} =$	1,28
$S_{15} =$	1,22
$S_{16} =$	0,99
$S_{17} =$	1,17
$S_{18} =$	1,27
$S_{19} =$	1,31
$S_{20} =$	1,47
$S_{21} =$	1,76
$S_{22} =$	1,56
$S_{23} =$	1,12
$S_{24} =$	0,88
$S_{25} =$	0,72
$S_{26} =$	0,22
$S_{27} =$	-0,35
$S_{28} =$	-0,39
$S_{29} =$	-0,57
$S_{30} =$	-0,61
$S_{31} =$	-0,55
$S_{32} =$	-0,75
$S_{33} =$	-0,58
$S_{34} =$	-0,12
$S_{35} =$	-0,24
$S_{36} =$	0,00

$$\begin{aligned} S_{38} &= 0,19 & 0+740 \\ S_{39} &= 0,00 & 0+760 \end{aligned}$$

Z uwagi na zróżnicowaną nawierzchnię rozpatrzono dwa odcinki tak jak pokazano na rysunku nr 1. Odcinek ul. Wiejskiej długości 720 m podzielono na dwa odcinki jednorodne. Odcinek I o długości 520 m i odcinek II o długości 200 m.

Rys. 1.



2. RUCH.

Dane wyjściowe dotyczące ruchu uzgodnione z Inwestorem zakładają ruch KR3 tzn.: średni dobowy ruch 71 do 335 osi/dobę/pas ruchu, trwałość zmęczeniową na 20 lat ruch całkowity 510 001 do 2 500 000 osi/pas ruchu. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Komunikacji i Gospodarki Morskiej z marca 1999 roku remont nawierzchni można projektować na trwałość 10 – cio letnią. Ruch całkowity wyniesie wówczas $255000 \div 1250000$ osi/pas ruchu.

3. ZAŁOŻENIA DO PROJEKTU.

3.1. Nakładki bitumiczne.

- Beton asfaltowy lub SMA moduł odkształcenia – na warstwę ścierną $M = 10\,300$ MPa, współczynnik Poissona $\nu = 0,30$
- Beton asfaltowy na warstwę wiążącą $M = 10\,100$ MPa, $\nu = 0,3$
- Beton asfaltowy na podbudowę $M = 9\,600$ MPa, $\nu = 0,3$
- Wartość współczynnika C do metody Instytutu Asfaltowego dla warstwy wiążącej,

Zawartość objętościowa asfaltu $V_b = 11,5 \%$

Zawartość wolnych przestrzeni $V_a = 6,0 \%$

$$M = 4,84 (V_b / V_a + V_b - 0,69) = -0,159$$
$$C = 10^M = 0,693$$

Oraz dla podbudowy

$$V_a = 8,0 \%$$
$$V_b = 10,0 \%$$
$$M = -0,651$$
$$C = 0,224$$

3.2. Podłoże gruntowe.

Na podstawie wykonanych odwiertów i zbadaniu poszczególnych warstw materiałowych podłoże gruntowe przyjęto o nośności G3 i wskaźniku nośności CBR=4, co umożliwia obliczenie modułu odkształcenia podłoża gruntowego.

$$E_0 = 17,6 \times \text{CBR}^{0,64} = 42,7 \sim 43 \text{ MPa},$$

Można również wziąć pod uwagę rozwiązanie, w którym za podłoże będzie można uważać grunt charakteryzujący się nośnością podłoża G1 wówczas moduł odkształcenia wyniesie (przyjmując CBR=10):

$$E_0 = 77 \text{ MPa}.$$

3.3. Założenia ogólne.

Z uwagi na wartość ugięć, odcinek ten podzielono na dwie części. Pierwsza część od kilometra 0+000 ÷ 0+520, oraz część druga 0+520 ÷ 0+740. Na podstawie wykonanych odwiertów nie da się jednoznacznie ocenić różnicy między podbudową tych odcinków. Wynika to najprawdopodobniej z różnicy rozrzutu wyników ugięć, jakie pomierzono na poszczególnych częściach.

Podchodząc historycznie do budowy tej nawierzchni, można przypuszczać, że nawierzchnię na pewnym odcinku początkowo stanowiła kostka granitowa, na którą natrafiono podczas wykonywania odwiertów w nawierzchni - wysokości średniej 15,0 cm. Biorąc pod uwagę to, że bruk był układany najprawdopodobniej na piasku, to części ilaste i pylaste w podsypce mogą pochodzić z warstw niżej leżących. Analizując konstrukcję można przypuszczać, że podsypka pod kostkę została wykonana z pospółki, stąd przy obliczeniu nawierzchni Metodą Instytutu Asfaltowego można ją wliczyć do podbudowy.

Zgodnie z „Katalogiem” obliczenie konstrukcji nawierzchni dla ruchu KR3 można wykonać metodą Ugięć. Metoda ta ma jednak ograniczenia – opisane w „Katalogu”, które mogą być istotne zwłaszcza w przypadku projektowania nawierzchni ulic. Projekt wzmocnienia konstrukcji nawierzchni

wykonano, więc nie tylko metodą Ugięć, ale również metodą Instytutu Asfaltowego.

W niniejszym opracowaniu zaproponowano, wzmocnienie istniejącej konstrukcji nawierzchni, nakładką z betonu asfaltowego, ułożoną na istniejącej nawierzchni po częściowym lub całkowitym sfrezowaniu istniejących warstw bitumicznych.

Istniejące warstwy bitumiczne w trakcie eksploatacji ulegają szkodzie zmęczeniowej zgodnie ze wzorem podanym w „Katalogu” mianowicie:

$$D = N_{\text{przen}} / N \times 100 \%$$

D – szkoda zmęczeniowa %

N_{przen} – sumaryczny ruch, który wystąpił na drodze.

N – trwałość zmęczeniowa istniejącej konstrukcji nawierzchni z uwagi na spękania warstw asfaltowych.

Ponieważ brak jest informacji na temat ruchu „ N_{przen} ”, założono, że ruch ten jest większy lub równy od ruchu „N” to wówczas $D = 100 \%$, czyli beton asfaltowy nie pracuje na rozciąganie. Zostanie jednak uwzględniony w podbudowie, jako materiał pracujący na ściskanie.

Moduł odkształcenia materiałów w podbudowie przyjęto $E = 600 \text{ MPa}$, i współczynnik Poissona $\nu = 0,35$

4. Projekt nawierzchni na odcinku I i II.

Nakładka z betonu asfaltowego zostanie wyznaczona metodą ugięć osobno dla części odcinka od km 0+000 do km 0+520 i dla drugiej części odcinka 0+520 do 0+740.

Przy obliczeniu trwałości zmęczeniowej metodą Instytutu Asfaltowego obliczono przedział ufności grubości warstw bitumicznych i innych łącznie oraz grubość warstw bez warstw bitumicznych. Parametr grubości został potraktowany jak zmienna losowa, dla której wyznaczono przedział ufności z prawdopodobieństwem 95 %. Trwałość zmęczeniową obliczono dla wartości skrajnych przedziału.

Trwałość zmęczeniową z uwagi na pękanie warstw asfaltowych obliczono ze wzoru Instytutu Asfaltowego USA.

$$N_d = 18,4 \times C (6,167 \times 10^{-5} \times \varepsilon_r^{-3,291} \times E^{-0,854})$$

N_d – liczba obciążeń osi 100 kN do wystąpienia pęknięć zmęczeniowych na 20 % powierzchni jezdni.

ε_r – odkształcenie rozciągające

E – moduł sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej.

Trwałość zmęczeniową z uwagi na odkształcenia strukturalne nawierzchni obliczono ze wzoru.

$$N_s = (1,0105 / \varepsilon_z)^{4,4843}$$

N_s – liczba dopuszczalnych obciążeń osi 100kN do wystąpienia krytycznych deformacji.

ε_z - odkształcenie pionowe na powierzchni podłoża gruntowego

4.1. Grubości nowych warstw bitumicznych wyznaczone metodą ugięć,

Grubość warstw bitumicznych nakładki przyjęto, jako średnią z pomiaru strony lewej i prawej.

$$N_{\text{całk}} = 2\,044\,000 \text{ osi } 100 \text{ kN/pas}$$

Kategoria ruchu KTKNPP: KR3.

Część I od km 0+000 do km 0+520

Grubości nakładki $h = 48,0 \text{ cm}$

Część II od km 0+520 do km 0+740

Grubość nakładki $h = 50,0 \text{ cm}$

4.2 Ustalenie wariantów rozwiązań

4.2.1 Grubość 25,0 cm warstwa ułożona na istniejącym betonie asfaltowym z ewentualnym niewielkim frezowaniem (do 2,0 cm).

Wariant 1

- Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (SMA) $h = 4,0 \text{ cm}$ $E = 10\,300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$
- Warstwa wiążąca $h = 8,0 \text{ cm}$ $E = 10\,100 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$
- Warstwa podbudowy z betonu asfaltowego $h = 10,0 \text{ cm}$ $E = 9\,600 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$
- Warstwa wyrównawcza 75 kg/m^2 (konstrukcyjnie) - jak warstwa ścieralna z betonu asfaltowego.

$$H_{\text{zast.proj.}} \geq H_{\text{zast.wym.}}$$

$$\text{średnia } H_{\text{zast.proj.}} = 49,0 \text{ cm}$$

$$49 \geq 4 * 2 + 8 * 2 + 10 * 2 + 3 * 2 = 50$$

4.2.2 Grubość 25,0 cm warstwa ułożona na istniejącym betonie asfaltowym z ewentualnym niewielkim frezowaniem (do 2,0 cm).

Wariant 2

- Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (SMA) $h = 4,0 \text{ cm}$ $E = 10\,300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$

- Warstwa wiążąca $h = 8,0 \text{ cm}$ $E = 10\,100 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$
- Siatka z włókna szklanego powlekanego polimeroasfaltem (polimer SBS) o wytrzymałości na rozciąganie większej niż 100 kN/mb i odkształceniu przy zerwaniu mniejszym niż 3%
- Warstwa podbudowy z betonu asfaltowego $h = 10,0 \text{ cm}$ $E = 9\,600 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$
- Warstwa wyrównawcza 75 kg/m^2 (konstrukcyjnie) - jak warstwa ścieralna z betonu asfaltowego.

4.2.3 Grubość $18,0 \text{ cm}$ warstwa ułożona po sfrezowaniu betonu asfaltowego.

Wariant 3

- Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (SMA) $h = 4,0 \text{ cm}$ $E = 10\,300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$
- Warstwa wiążąca $h = 6,0 \text{ cm}$ $E = 10\,100 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$
- Siatka z włókna szklanego powlekanego polimeroasfaltem (polimer SBS) o wytrzymałości na rozciąganie większej niż 100 kN/mb i odkształceniu przy zerwaniu mniejszym niż 3%
- Warstwa podbudowy z betonu asfaltowego $h = 6,0 \text{ cm}$ $E = 9\,600 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$
- Warstwa wyrównawcza 75 kg/m^2 (konstrukcyjnie) - jak warstwa ścieralna z betonu asfaltowego.

4.2.4 Grubość $18,0 \text{ cm}$ warstwa ułożona po sfrezowaniu betonu asfaltowego.

Wariant 4

- Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego (SMA) $h = 4,0 \text{ cm}$ $E = 10\,300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$
- Warstwa wiążąca $h = 6,0 \text{ cm}$ $E = 10\,100 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$
- Warstwa podbudowy z betonu asfaltowego $h = 6,0 \text{ cm}$ $E = 9\,600 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$
- Warstwa wyrównawcza 75 kg/m^2 (konstrukcyjnie) - jak warstwa ścieralna z betonu asfaltowego.

4.3 Obliczenia trwałości zmęczeniowej nawierzchni dla wariantów.

Obliczenia odkształceń wykonano programem ELSYM 5M.

4.3.1 Obliczenie dla wariantu I i II

Pojazd obliczeniowy = 100 kN

$$u = 0,31 \text{ mm.}$$

$$\varepsilon_r = 0,000183$$

$$\varepsilon_z = -0,000172$$

$$N_a = 2\,547\,923,24 \text{ osi/pas ruchu}$$

$$N_s = 101\,727\,637,7 \text{ osi/pas ruchu}$$

Do wnioskowania przyjęto $N_a = 2\,547\,923 > 2\,500\,000$.

SDR=349 osie/dobę/pas dla ruchu 20 – to letniego i 698 osi/dobę/pas dla ruchu 10 –cio letniego

Dla wariantu II z siatką $N_a = 2\,547\,923,24 \text{ osi/pas ruchu} \times 1,3 = 3\,312\,300 \text{ osi/pas ruchu}$

SDR=454 osie/dobę/pas dla ruchu 20 – to letniego i 907 osi/dobę/pas dla ruchu 10 –cio letniego

SDR – Średnio dobowy ruch pojazdów porównawczych 100 kN/oś w okresie 20- to letniej eksploatacji nawierzchni.

UWAGA

W dalszych obliczeniach sprawdzenie kryterium odkształceń strukturalnych pominięto.

4.3.2 Obliczenie dla wariantu III i IV

Obliczenie trwałości zmęczeniowej wykonano tak jak w punkcie 4.3.1 z tym, że z uwagi na stosunkowo mały rozrzut wyników grubości poszczególnych warstw istniejącej nawierzchni, do obliczeń przyjęto grubości średnie a mianowicie:

- Grubość warstw bitumicznych $h = 18,0 \text{ cm}$
- Grubość warstwy z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie/bruksu $h = 15,0 \text{ cm}$
- Moduł odkształcenia podłoża gruntowego $E = 100 \text{ MPa}$

Pojazd obliczeniowy = 100 kN

$$u = 0,66 \text{ mm.}$$

$$\varepsilon_r = 0,000144$$

$$\varepsilon_z = -0,000247$$

$$N_a = 1\,676\,900,43 \text{ osi/pas ruchu}$$

SDR=230 osie/dobę/pas dla ruchu 20 – to letniego i 459 osi/dobę/pas dla ruchu 10 –cio letniego
Dla wariantu IV z siatką $N_a = 1\ 676\ 900$, 43 osi/pas ruchu $\times 1.3 = 2\ 179\ 971$ osi/pas ruchu

SDR=299 osie/dobę/pas dla ruchu 20 – to letniego i 597 osi/dobę/pas dla ruchu 10 –cio letniego

SDR – Średnio dobowy ruch pojazdów porównawczych 100 kN/oś w okresie 20- to letniej eksploatacji nawierzchni.

5. Przyjęcie konstrukcji nawierzchni z Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie.

Z uwagi na grupę nośności podłoża G3 konstrukcję nawierzchni należy zabezpieczyć warstwą gruntu stabilizowanego cementem grubości 15, 0 cm o wytrzymałości 2, 5 MPa.

Konstrukcja wg pkt. 5.3.3. a).

- ✓ Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego
 - 5, 0 cm
- ✓ Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego
 - 6, 0 cm
- ✓ Podbudowa zasadnicza z betonu asfaltowego
 - 7, 0 cm
- ✓ Podbudowa pomocnicza z kruszywa stabilizowanego mechanicznie
 - 20, 0 cm

6. Wnioski.

6.1 Na obydwu odcinkach należy wykonać nawierzchnie jednakową a mianowicie:

- Warstwa ścieralna z betonu asfaltowego lub SMA grubościami 4, 0 cm (wskazany jest, aby do tej warstwy był zastosowany asfalt; multigrade lub nynas lub też polimeroasfalt DE 80 B)
- Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego grubości $h = 8, 0$ cm
- Siatka z włókna szklanego powlekane polimeroasfalem (polimer SBS) o wytrzymałości na rozciąganie większej niż 100 kN/mb i odkształceniu przy zerwaniu mniejszym niż 3%.
- Warstwa podbudowy z betonu asfaltowego grubości $h = 10, 0$ cm
- Warstwa wyrównawcza 75 kg/m² z betonu asfaltowego drobno ziarnistego jak na warstwę ścieralną (konstrukcyjnie).

- 6.2 Na całym odcinku wystąpiło duże ugięcie (rysunek 1), które nie powinno niepokoić gdyż spowodowane jest to dużym zróżnicowaniem tego odcinka pod względem nośności. Zastosowanie siatki powoduje ujednolicenie nośności nawierzchni na całym odcinku.
- 6.3 Na przedmiotowym odcinku ulicy można frezowanie wykonać na całą grubość warstw bitumicznych, i ułożyć kolejno warstwy jak w punkcie 4.2.3. i 4.2.4., gdyż obliczenia wskazują, że taka konstrukcja nawierzchni przeniesie ruch dla KR3, jednak może zająć konieczność uzupełnienia braków materiałowych w podbudowie z kruszywa.
- 6.4 Wykonać pełną wymianę istniejącej konstrukcji nawierzchni i ułożyć zgodnie z pkt. 5.

7. SZCZEGÓŁOWE SPECYFIKACJE TECHNICZNE