

**Wzmocnienie nawierzchni ul. Warszawskiej na odcinku od
ul. Św. Michała do granicy miasta Poznania – ETAP V****Zalecenie projektowe**

Nazwa: Wzmocnienie nawierzchni ul. Warszawskiej na
odcinku od ul. Św. Michała do granicy miasta
Poznania – ETAP V

**Nazwa i adres
zlecającego:** DROG-GEO PROJEKT
ul. Warzywna 1
62-025 Kostrzyn

**Nazwa i adres
jednostki proj.:** Tensar Polska Sp. z o.o.
ul. Grzybowska 2/29
00-131 Warszawa

Imiona i nazwiska projektantów:

Funkcja/branża	Imię i nazwisko
Opracowała	mgr inż. Kamila Kornacka

Data: lipiec 2019 r.

**Wzmocnienie nawierzchni ul. Warszawskiej na odcinku od
ul. Św. Michała do granicy miasta Poznania – ETAP V****SPIS TREŚCI**

1. PODSTAWA OPRACOWANIA	3
2. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA	3
3. RUCH DROGOWY.....	3
4. WARUNKI GRUNTOWE.....	4
5. PROJEKTOWANE KONSTRUKCJE NAWIERZCHNI.....	4
6. OBLICZENIA KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI UKŁADU DROGOWEGO.....	5

Wzmocnienie nawierzchni ul. Warszawskiej na odcinku od ul. Św. Michała do granicy miasta Poznania – ETAP V

1. PODSTAWA OPRACOWANIA

Opracowanie wykonano na prośbę DROG-GEO PROJEKT, ul. Warzywna 1, 62-025 Kostrzyn.

2. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Poniższe opracowanie zawiera projekt konstrukcji nawierzchni dla modernizowanej ul. Warszawskiej w Poznaniu (ETAP V) oraz obliczenia jej trwałości zmęczeniowej. Rozwiązanie zakłada zastosowanie warstw asfaltowych zbrojonych kompozytem asfaltowym.

Kompozyt asfaltowy przejmuje naprężenia wykorzystując optymalną współpracę mechaniczną z mieszanką mineralno-asfaltową dzięki głębokiemu profilowi żeber, powodując w ten sposób zbrojenie konstrukcji (funkcja zbrojeniowa R zgodnie z normą PN-EN 15381). Włóknina z kolei ułatwia układanie materiału oraz - w połączeniu z lepiszczem – absorbuje naprężenia i tworzy pośrednią warstwę izolacyjną zapobiegającą przenikaniu wody i powietrza (funkcje: absorpcja naprężeń STR oraz bariera międzywarstwowa IB zgodnie z normą PN-EN 15381).

3. RUCH DROGOWY

Na podstawie informacji uzyskanych od Zlecającego przyjęto, że prognozowany ruch na modernizowanym odcinku ul. Warszawskiej będzie należał do kategorii ruchu KR3. Wymagana trwałość zmęczeniowa nawierzchni została określona jako zakres kategorii ruchu, tj. **0,50 - 2,50 mln osi 100 kN/pas** w 20-letnim okresie eksploatacji.

Wzmocnienie nawierzchni ul. Warszawskiej na odcinku od ul. Św. Michała do granicy miasta Poznania – ETAP V

4. WARUNKI GRUNTOWE

Zanalizowano odwierty znajdujące się na obszarze ETAPU V inwestycji - odwierty od nr 60 do 82.

Istniejąca konstrukcja nawierzchni jest bardzo zróżnicowana – w różnych konfiguracjach i o różnej grubości występują warstwy bitumiczne, bruk, chudy beton, stabilizacja, kruszywo łamane i pospółka o łącznej grubości od 28 do 55 cm. Należy wziąć pod uwagę, że odwierty przez nawierzchnię zostały wykonane na głębokość zaledwie 0,50 m, co nie daje pełnych informacji o istniejącym podłożu gruntowym. Zgodnie z KTKNPIP podłoże gruntowe należy badać na głębokość 1,0 m poniżej poziomu spodu konstrukcji nawierzchni, ponieważ wszystkie grunty występujące na tej głębokości będą mieć wpływ na nośność podłoża. Przyporządkowanie otworów do grup nośności podłoża wykonano wyłącznie na podstawie przesłanych niepełnych danych geologicznych. Bezpośrednio pod istniejącą konstrukcją nawierzchni zalegają głównie piaski drobne, średnie i pylaste, wobec czego grupę nośności podłoża przyjęto jako G1 ($E_2 \geq 80\text{MPa}$). Miejscowo (otwór nr 68, 75, 82) w podłożu zalegają warstwy gruntów spoistych lub gruntów organicznych, wobec czego grupę nośności podłoża oznaczono jako G4* ($E_2 \geq 25\text{MPa}$).

5. PROJEKTOWANE KONSTRUKCJE NAWIERZCHNI

Konstrukcja A:

- 4cm warstwa ścieralna z SMA11,
- 6cm warstwa wiążąca z betonu asfaltowego AC 16 W,
- kompozyt asfaltowy Tensar AR-GNs,

Wzmocnienie nawierzchni ul. Warszawskiej na odcinku od ul. Św. Michała do granicy miasta Poznania – ETAP V

- Istniejące warstwy konstrukcji nawierzchni pomniejszone o 3cm frezowania profilującego.

Konstrukcja B:

- 4cm warstwa ścieralna z SMA11,
- 10cm warstwa wiążąca z betonu asfaltowego AC 16 W,
- kompozyt asfaltowy Tensar AR-GNs,
- Istniejące warstwy konstrukcji nawierzchni pomniejszone o 3cm frezowania profilującego.

Ostatecznie przyjęto poszczególne konstrukcje nakładki na następujących odcinkach:

Jezdnia południowa:

- od km 0+000,00 do km 1+191,05 (otwory 60-71) – konstrukcja B

Jezdnia północna:

- od km 0+000,00 do km 1+226,19 (otwory 72-82) – konstrukcja A

6. OBLICZENIA KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI UKŁADU DROGOWEGO

W celu uzyskania gwarancji poprawności zaprojektowanego rozwiązania, **konstrukcję sprawdzono obliczeniowo przy wykorzystaniu metody mechanistyczno-empirycznej.**

Obliczenia konstrukcji nawierzchni z zaprojektowaną nakładką wykonano dla wszystkich otworów. Jako miarodajne przyjęto otwory nr 62, 65, 68, 69, 75, 82.

Wzmocnienie nawierzchni ul. Warszawskiej na odcinku od ul. Św. Michała do granicy miasta Poznania – ETAP V

6.1. Podstawowe założenia projektowe

Do obliczenia trwałości zmęczeniowej nawierzchni zastosowano metodę mechanistyczno-empiryczną. Naprężenia i odkształcenia w konstrukcji nawierzchni obliczano według teorii wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej.

Do obliczeń konstrukcji nawierzchni przyjęto następujące założenia:

- Nawierzchnia obciążona osią obliczeniową 100 kN – obciążenie na koło 50 kN;
- Ciśnienie kontaktowe pomiędzy kołem a nawierzchnią wynosi 850 kPa;
- Średnica zastępcza śladu koła wynosi 0,32 m;
- Czas obciążenia nawierzchni kołem wynosi 0,02 s;
- Moduły sprężystości warstw asfaltowych zależą od czasu obciążenia i temperatury. Moduły te określono według metody Shella.

6.2. Kryteria projektowe

Zastosowano następujące kryteria projektowe:

- dla spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych: kryterium AASHTO 2004;
- dla deformacji strukturalnej nawierzchni: kryterium Instytutu Asfaltowego.

Kryteria te są obecnie powszechnie stosowane przy projektowaniu nawierzchni w Polsce. Zostały m.in. wykorzystane przy projektowaniu konstrukcji przedstawionych w najnowszym KTKNPiP.

Konstrukcję nawierzchni zaprojektowano w taki sposób, aby w okresie 20 lat nie wystąpiły:

- spękania zmęczeniowe warstw asfaltowych na 10% powierzchni jezdni (kryterium – punkt 6.3.),

Wzmocnienie nawierzchni ul. Warszawskiej na odcinku od ul. Św. Michała do granicy miasta Poznania – ETAP V

- deformacje trwałe nawierzchni, tzn., aby głębokość koleiny nie przekroczyła 12,5 mm (kryterium – punkt 6.4.).

6.3. Kryterium spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych

Do wyznaczenia trwałości zmęczeniowej warstw asfaltowych, tzn. ilości przyłożonych obciążeń do powstania zniszczenia, posłużono się następującymi zależnościami:

$$N_f = 7,3557(10^{-6})Ck'_1\left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{3,9492}\left(\frac{1}{E}\right)^{1,281}$$

gdzie:

N_f – liczba przyłożonych obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych na 50% powierzchni pasa ruchu,

k'_1 - parametr zależny od grubości warstw asfaltowych, wyznaczany ze wzoru:

$$k'_1 = \frac{1}{0,000398 + \frac{0,003602}{1 + e^{(11,02 - 1,374 h_{ac})}}}$$

gdzie:

h_{ac} - całkowita grubość warstw asfaltowych w konstrukcji

ε_t – odkształcenie rozciągające na spodzie warstw asfaltowych,

E – moduł sztywności najniższej warstwy asfaltowej

C – współczynnik zależny od zawartości asfaltu i wolnych przestrzeni najniższej warstwy asfaltowej, wyznaczany ze wzorów:

$$C = 10^M$$

$$M = 4,84 \left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0,69 \right)$$

Wzmocnienie nawierzchni ul. Warszawskiej na odcinku od ul. Św. Michała do granicy miasta Poznania – ETAP V

gdzie:

V_b – zawartość asfaltu [% objętościowo]

V_a – zawartość wolnych przestrzeni [% objętościowo]

Wyjściowy wzór na trwałość zmęczeniową warstw asfaltowych wg kryterium AASHTO 2004 zakłada zniszczenie nawierzchni w chwili powstania spękań na 50% powierzchni pasa. Taka wielkość nie może być zaakceptowana, dlatego konieczne jest przeliczenie trwałości przy założeniu dopuszczenia spękań na mniejszym procencie nawierzchni. Wykorzystuje się w tym celu następujące zależności:

$$N_{FC} = D N_f$$

gdzie:

N_{FC} – trwałość zmęczeniowa warstw asfaltowych do wystąpienia spękań na FC% powierzchni pasa

D – szkoda zmęczeniowa na spodzie warstw asfaltowych wyznaczana ze wzoru:

$$D = \frac{1}{100} \cdot 10^{\ln\left(\frac{100}{FC} - 1\right) \frac{1}{C_2'} + 2}$$

gdzie:

FC – dopuszczalny procent powierzchni pasa na której mogą wystąpić spękania zmęczeniowe

C_2' – współczynnik kalibracyjny wyznaczany ze wzoru:

$$C_2' = -2,40874 - 39,748 \cdot \left(1 + \frac{h_{ac}}{2,54}\right)^{-2,856}$$

6.4. Kryterium deformacji strukturalnych (odkształceń trwałych podłoża gruntowego)

Wzmocnienie nawierzchni ul. Warszawskiej na odcinku od ul. Św. Michała do granicy miasta Poznania – ETAP V

Trwałość ze względu na deformacje trwałe nawierzchni określono posługując się poniższą zależnością:

$$N_{DEF} = (k/\varepsilon_{POD})^{1/m}$$

gdzie:

N_{DEF} – liczba dopuszczalnych obciążeń do powstania strukturalnej koleiny o głębokości krytycznej równej 12,5 mm,

ε_{POD} – pionowe odkształcenie ściskające na górze podłoża gruntowego,

k, m – współczynniki empiryczne:

$$k = 1,05 \times 10^{-2},$$

$$m = 0,223.$$

6.5. Stałe materiałowe

Wszystkie warstwy konstrukcji nawierzchni są charakteryzowane poprzez stałe materiałowe, tj.:

E – moduł sztywności/sprężystości warstwy [MPa],

ν – współczynnik Poissona [-].

Parametry (moduł sprężystości oraz współczynnik Poissona) warstw asfaltowych przyjęto zgodnie z KTKNPiP. Dodatkowe parametry niezbędne do obliczenia trwałości zmęczeniowej (zawartość wolnych przestrzeni oraz zawartość asfaltu w najniższej warstwie asfaltowej) przyjęto zgodnie z WT-2.

Parametry warstw asfaltowych przyjęte do obliczeń przedstawiono w Tablicy 1.

warstwa	ścieralna – SMA11	wiążąca – AC16W
moduł sztywności w temp. +13° [MPa]	7300	10300
współczynnik Poissona [-]	0,3	0,3
zawartość wolnych przestrzeni [% v/v]	wg WT-2	4,0 – 7,0
	przyjęta	7,0

Wzmocnienie nawierzchni ul. Warszawskiej na odcinku od ul. Św. Michała do granicy miasta Poznania – ETAP V

zawartość wagowa asfaltu [% m/m.]	wg WT-2	Min 4,6
	przyjęta	4,6
Zawartość objętościowa asfaltu [% v/v]	obliczona	11,5

Tablica 1: Parametry warstw asfaltowych

Dla istniejących warstw konstrukcji nawierzchni przyjęto następujące parametry:

	E [MPa]	v [-]
Stare warstwy bitumiczne	3000	0,3
Kostka brukowa	4000	0,3
Pospółka	250	0,3
Chudy beton	250	0,3
Stabilizacja	250	0,3
Kruszywo łamane	250	0,3

Tablica 2: Parametry istniejących warstw konstrukcji nawierzchni

6.6. Wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej projektowanej konstrukcji nawierzchni wg metody mechanistyczno-empirycznej

Jako dopuszczalną wielkość powierzchni spękań zmęczeniowych wg kryterium opisanego w p. 6.3. przyjęto FC = 10%.

Odcinek	Nr otworu geotechnicznego	Poziome odkształcenia rozciągające na spodzie warstw asfaltowych E_a [ms]	Pionowe odkształcenia ściskające na górze podłoża gruntowego E_z [ms]	Trwałość zmęczeniowa konstrukcji N [mln osi 100kN]	Wymagana trwałość zmęczeniowa konstrukcji [mln osi 100kN]
ETAP V, jezdnia południowa	Otwór nr 62	107	393	2,50	0,50 – 2,50
	Otwór nr 65	86	391	2,56	
	Otwór nr 68	124	749	0,14	
	Otwór nr 69	95	396	2,42	
ETAP V, jezdnia północna	Otwór nr 75	56	390	2,59	
	Otwór nr 82	55	497	0,87	

Tablica 3: Wyniki obliczeń odkształceń i trwałości zmęczeniowej wg metody mechanistyczno-empirycznej

Wzmocnienie nawierzchni ul. Warszawskiej na odcinku od ul. Św. Michała do granicy miasta Poznania – ETAP V

6.7. Wnioski z obliczeń

Obliczeniowe sprawdzenie przeprowadzone metodą mechanistyczno-empiryczną wykazało, że w większości przypadków **trwałość zmęczeniowa zaprojektowanych konstrukcji mieści się lub przekracza zakres podany przez Zlecającego, tj. od 0,50 do 2,50 mln osi 100kN dla kategorii ruchu KR3**, co oznacza, że konstrukcje zostały zaprojektowane prawidłowo. W przypadku otworu nr 68 w podłożu nawiercono warstwę gruntów organicznych charakteryzujących się obniżoną nośnością, w związku z czym trwałość zmęczeniowa konstrukcji jest niższa od wymaganej. Przyjęto, że otwór ten należy do 10% odrzuconych najgorszych otworów, dzięki czemu unika się przewymiarowania konstrukcji nawierzchni na pozostałej części odcinka. W Tablicy 3 podano wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej dla odwiertów miarodajnych (krytycznych). W przypadku pozostałych otworów obliczona trwałość zmęczeniowa jest większa od górnej granicy zadanej kategorii ruchu. W związku z niewielką grubością warstw asfaltowych w otworze nr 62, zaleca się w tym miejscu układać nakładkę na istniejącej konstrukcji nawierzchni, bez wcześniejszego frezowania (takie założenie zostało przyjęte do obliczeń).