

Temat: **Projekt konstrukcji nawierzchni wraz z określeniem trwałości zmęczeniowej dla projektowanej kategorii ruchu KR3 oraz stanu istniejącego.**

Dotyczy: **„Rozbudowa drogi powiatowej nr 0307T w m. Zalezianka od KM 5+000 do km 6+800”**

1. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem opracowania jest wykonanie obliczeń sprawdzających trwałość konstrukcji nawierzchni dla projektowanego odcinka drogi „Rozbudowa drogi powiatowej nr 0307T w m. Zalezianka od km 5+000 do km 6+800” w odniesieniu do stanu istniejącego oraz projektowanej grubości nakładki wzmacniającej. W obliczeniach wykorzystano informacje uzyskane na podstawie z przeprowadzonych odwiertów w konstrukcji nawierzchni drogi.

Obliczenia wykonano dla dopuszczalnych obciążeń osi 100 kN przy ciśnieniu kontaktowym równym 850 kPa. Prognozowane natężenie ruchu dla analizowanego odcinka drogi przyjęto jak dla kategorii ruchu KR3 ($68 \div 335$ osi 100kN/pas/dobę co odpowiada $0,50 < N_{100} \leq 2,50$) wg [3] w ramach struktury której przewidywane jest występowanie obciążeń osi 115kN.

2. MATERIAŁY ODNIESIENIA DO SPORZĄDZENIA OPRACOWANIA

Materiały wyjściowe do opracowania:

- Założenia projektowe „Rozbudowa drogi powiatowej nr 0307T w m. Zalezianka od km 5+000 do km 6+800” [1]
- Katalog Przebudów w i Remontów w Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych KPRNPP GDDKIA. 2013 [2]
- Katalog Typowych Konstrukcji nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. GDDKIA. 2014. [3]
- Józef Judycki "Analiza i projektowanie konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych" Warszawa 2014. [4]
- Odwiert konstrukcji sporządzone na cele opracowania projektu wzmocnienia [5]
- Wytyczne Techniczne WT-2 2014; [6]
- Nagórski R., "Mechanika Nawierzchni Drogowych w zarysie", PWN, 2014, Warszawa [7]
- Z Wiłun. "Zarys geotechniki" WKŁ 2013. [8]

3. Istniejący układ warstw konstrukcyjnych

W celu zaprojektowania wymaganej grubości warstw konstrukcyjnych dla analizowanego zadania „Rozbudowa drogi powiatowej nr 0307T w m. Zalezianka od km 5+000 do km 6+800” niezbędne było rozpoznanie istniejącego układu warstw konstrukcyjnych. Lokalizację odcinka poddanego analizie przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1 .Lokalizacja „Rozbudowa drogi powiatowej nr 0307T w m. Zalezianka od km 5+000 do km 6+800”

Określenie grubości istniejącego układu warstw konstrukcyjnych dokonano na podstawie wykonanych odwiertów w konstrukcji nawierzchni. Odwierty wykonano w następujących punktach określonych na rysunku 2.



Rys. 1 .Lokalizacja odwiertów

Na podstawie przeprowadzonych analiz w tabeli od 1 do 5 przedstawiono uzyskany układ warstw konstrukcji istniejącej.

Tablica 1. Układ istniejących warstw konstrukcji nawierzchni w km 0+100 str. P

Lp.	Nazwa materiału w warstwie	Grubość warstwy [m]
1	w-wy z mieszanki mineralno-asfaltowych	0,08
2	Podbudowa z kruszywa (tłuczeń + kliniec)	0,24
3	Podłoże gruntowe (piasek drobny - G2)	-

Tablica 2. Układ istniejących warstw konstrukcji nawierzchni w km 0+500 str. L

Lp.	Nazwa materiału w warstwie	Grubość warstwy [m]
1	w-wy z mieszanki mineralno-asfaltowych	0,16
2	Podbudowa z kruszywa (tłuczeń + kliniec)	0,27
3	Podłoże gruntowe (piasek drobny – G2)	-

Tablica 3. Układ istniejących warstw konstrukcji nawierzchni w km 0+900 str. P

Lp.	Nazwa materiału w warstwie	Grubość warstwy [m]
1	w-wy z mieszanki mineralno-asfaltowych	0,10
2	Podbudowa z kruszywa (tłuczeń + kliniec)	0,23
4	Podłoże gruntowe (piasek pylasty – G2)	-

Tablica 4. Układ istniejących warstw konstrukcji nawierzchni w km 1+400 str. L

Lp.	Nazwa materiału w warstwie	Grubość warstwy [m]
1	w-wy z mieszanki mineralno-asfaltowych	0,13
2	Podbudowa z kruszywa (tłuczeń + kliniec)	0,31
4	Podłoże gruntowe (piasek średni – G2)	-

Tablica 5. Układ istniejących warstw konstrukcji nawierzchni w km 1+600 str. P

Lp.	Nazwa materiału w warstwie	Grubość warstwy [m]
1	w-wy z mieszanki mineralno-asfaltowych	0,11
2	Podbudowa z kruszywa (tłuczeń + kliniec)	0,24
4	Podłoże gruntowe (głina – G4)	-

Grupy nośności podłoża gruntowego określono na podstawie analizy gruntu podłoża nawierzchni w odniesieniu do zapisów literatury [3].

4. PODŁOŻE GRUNTOWE

W podłożu gruntowym (pod warstwą podbudowy z kruszywa) stwierdzono występowanie zmiennego rodzaju podłoża gruntowego zakwalifikowanego do grupy nośności G2 oraz G4. Do określenia minimalnej grubości konstrukcji ze względu na warunek mrozoodporności przyjęto grupę nośności:

- G4 dla odcinka od 1+400 do 1+800 (6+400 do 6+800).

- G2 dla odcinka od 0+000 do 1+400 (5+000 do 6+400).

Minimalne grubości konstrukcji dla projektowanej kategorii ruchu KR3 w aspekcie grupy nośności przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Wymagana grubość konstrukcji nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża ze względu na odporność na wysadziny [3]

Lp.	Kategoria obciążenia ruchem	Grupa nośności podłoża z gruntów wątpliwych i wysadzinowych		
		G2	G3	G4
1	2	3	4	5
1.	KR1	0,40 h _z	0,50 h _z	0,60 h _z
2.	KR2	0,45 h _z	0,55 h _z	0,65 h _z
3.	KR3	0,50 h _z	0,60 h _z	0,70 h _z
4.	KR4	0,55 h _z	0,65 h _z	0,75 h _z
5.	KR5	0,60 h _z	0,70 h _z	0,80 h _z
6.	KR6 i KR7	0,65 h _z	0,75 h _z	0,85 h _z

5. ANALIZA TRWAŁOŚCI

5.1. Podstawowe założenia projektu

Do obliczenia trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni drogowej „Rozbudowa drogi powiatowej nr 0307T w m. Zalezianka od km 5+000 do km 6+800” zastosowano metodę mechanistyczną. Wartość naprężeń i odkształceń obliczono według teorii wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej.

Obliczeń trwałości dokonano dla temperatury ekwiwalentnej, która w przypadku konstrukcji nawierzchni podatnej jest równa 13⁰C w odniesieniu do literatury [2, 4].

Do obliczeń konstrukcji nawierzchni przyjęto następujące założenia:

- nawierzchnia obciążona osią obliczeniową 100kN - obciążenie 50,0 kN/koło,
- ciśnienie kontaktowe pomiędzy kołem a nawierzchnią wynosi - 850kPa,
- oddziaływanie kołowa o pojedynczym śladzie,
- czas trwania obciążenie - 0,02s,
- pomiędzy warstwami nawierzchni występuje całkowita szczepność międzywarstwowa,
- wartość modułów sprężystości nowych warstw asfaltowych przyjęto zgodnie z założeniami literatury [3,4] oraz wytycznych technicznych [6],
- nośność podłoża gruntowego E₀(E₂) zgodnie z tabelą 7 współczynnik Poissona ν=0,35

5.2. Kryteria projektowe

Dla podatnych konstrukcji nawierzchni zgodnie z [2] zastosowano kryteria zmęczeniowe Instytutu Asfaltowego, dla spękań zmęczeniowych na spodzie warstw asfaltowych i deformacji podłoża strukturalnych nawierzchni, wyznaczanych na poziomie podłoża gruntowego, bezpośrednio pod konstrukcją.

Do obliczeń wykorzystano metodę mechanistyczną opierającą się o teorię wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej. W której występują trzy kryteria utraty trwałości zmęczeniowej:

- Kryterium spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych

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

gdzie:

N - liczba obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych na 20% powierzchni jezdni,

ε_r - odkształcenia rozciągające (wartość bezwzględna) na spodzie warstw asfaltowych,

E - moduł sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej, MPa.

- współczynnik M

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

V_a - zawartość objętościowa asfaltu, %

V_b - zawartość objętościowa wolnej przestrzeni, %.

- współczynnik C

$$C = 10^M$$

- Kryterium deformacji strukturalnych nawierzchni (podłoża gruntowego)

$$N_f^{gr} = \left(\frac{0,0105}{\varepsilon_z} \right)^{4,484}$$

N - liczba dopuszczalnych obciążeń do wystąpienia krytycznej deformacji strukturalnej w konstrukcji nawierzchni,

ε_z - odkształcenie pionowe w podłożu.

Charakterystyki stanu odkształcenia wyznaczono wykorzystując obliczenie odkształceń poziomych w warstwach asfaltowych oraz odkształceń pionowych w podłożu gruntowym. Rozkład naprężeń i odkształceń obliczono w programie komputerowym "MWS".

5.3. Stałe materiałowe

Wszystkie warstwy konstrukcyjne opisane są przez stałe materiałowe tj. współczynnik Poissona jako wartość bezwymiarowa (ν) oraz moduł sprężystości warstw konstrukcyjnych (E [MPa]). Wartość parametrów dla warstw asfaltowych przyjęto zgodnie z literaturą [2,3,4,6]. Wartość parametrów dla istniejących warstw asfaltowych obliczono zgodnie z metodyką Shell [2]. Grubość istniejących warstw asfaltowych przyjęto na podstawie przeprowadzonych odwiertów w konstrukcji. Obliczenia przeprowadzono dla układu

określonego w km 0+900 str. P. Analizę przeprowadzono dla układu najbardziej niekorzystnego. Wartości parametrów warstw konstrukcyjnych, dla projektowanego odcinka drogi, przedstawiono w tabeli 4. Parametry przedstawione w tabeli 7 odnoszą się do temperatury ekwiwalentnej 13°C.

Tablica 7. Parametry układu warstw konstrukcyjnych.

Warstwa	Moduł [MPa]	Wsp. Poissona	Grubość [m]	Zawartość asfaltu [%]		Zaw. wolnej przestrzeni [%]
				m/m	v/v	
w-wa ścieralna z AC11S PMB 45/80-55*	9300	0,30	0,04	5,8	14,1	3,0
w-wa wiążąca z AC16W 35/50	10300	0,30	0,08	4,4	10,7	6,0
Podbudowa z mieszanki MCE **	1500	0,30	0,26	-----		
Istniejąca podbudowy z kruszywa	300	0,30	0,23	-----		
Podłoże gruntowe	35,0	0,35	-	-----		
* - do warstwy ścieralnej przyjęto asfalt modyfikowany PMB 45/80-55						
** - doziarnienie podbudowy MCE w ilości 62% (wynika to z faktu konieczności spełnienia warunku mrozoodporności)						

5.4. Obliczenie trwałości zmęczeniowej dla odcinka od 0+000 do 1+400 (5+000 do 6+400).

Określenie trwałości zmęczeniowej nowej konstrukcji nawierzchni

Trwałość zmęczeniowa ze względu na spełniania zmęczeniowe

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

$$\varepsilon_r = 72,3 \mu strain$$

- odkształcenia poziome na spodzie warstw asfaltowych

$$E = 9966 MPa$$

- moduł sprężystości warstw asfaltowych

$$C = 10^M$$

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

$$V_a = 4,6 \%$$

- zawartość objętościowa wolnych przestrzeni w warstwach asfaltowych

$$V_b = 12,0 \%$$

- zawartość objętościowa asfaltu

$$N_f^{asf} = 21,3 mln 100kN/obl.pas ruchu$$

Trwałość zmęczeniowa ze względu na deformacje strukturalne nawierzchni

$$N_f^{gr} = \left(\frac{0,0105}{\varepsilon_c} \right)^{\frac{1}{0,223}}$$

$\varepsilon_c = 264 \mu strain$ - odkształcenia pionowe na górnej powierzchni podłoża gruntowego

$$N_f^{gr} = 14,8 \text{ mln } 100kN/obl. pas ruchu$$

Trwałość zmęzeniowa nowej konstrukcji nawierzchni

$$N_f = \min\{N_f^{asf}; N_f^{gr}\}$$

$$N_f = 14,8 \text{ mln } 100kN/obl. pas ruchu > 0,50 \text{ mln } 100kN/obl. pas ruchu = \mathbf{KR3}$$

5.5. Konstrukcja dla odcinka G4 dla odcinka od 1+400 do 1+800 (6+400 do 6+800).

Na odcinku **od 1+400 do 1+800 (6+400 do 6+800)** w podłożu występują grunty w grupie nośności G4 ($25 \leq E_2 < 35$) ze względu na konieczność uzyskania minimalnej grubości konstrukcji w celu zabezpieczenia podłoża przed wysadzinami i przełomami, niezbędne jest wzmocnienie podłoża i wykonanie nowych warstw konstrukcyjnych.

W tym celu należy:

- rozebrać istniejące warstwy konstrukcyjne
- wykonać wzmocnienie podłoża:
 - warstwę ulepszanego podłoża z gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym $C_{0,4/0,5} \leq 2,0 \text{ MPa}$ – gr. 30 cm
 - warstwa mrozochronna z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym $C_{1,5/2,0} \leq 2,0 \text{ MPa}$ – gr. 25 cm
- wykonać konstrukcję nawierzchni wg założeń KTKPiP 2014 (tabela 8):

Tablica 8. Układ warstw konstrukcyjnych dla odcinka od 1+400 do 1+800 (6+400 do 6+800)

Warstwa	Grubość [m]
w-wa ścieralna z AC11S PMB 45/80-55*	0,04
w-wa wiążąca z AC16W 35/50	0,08
Podbudowa z mieszanki MCE **	0,20
Podłoże ulepszone (wg ww. założeń)	-
warstwa mrozochronna z mieszanki związanej cementem $C_{1,5/2,0} \leq 2,0 \text{ MPa}$	0,25
warstwę ulepszanego podłoża z gruntu stabilizowanego cementem $C_{0,4/0,5} \leq 2,0 \text{ MPa}$	0,30
Podłoże gruntowe	-

5.6. Mrozoodporność podłoża gruntowego

Zgodnie z lokalizacją odcinka drogi w Głębokość przemarzania gruntu h_z określono wg PN-81/B-03020 równą $h_z=1,20$. Głębokość przemarzania podłoża gruntowego w odniesieniu do projektowanej kategorii ruchu oraz stwierdzonych warunków gruntowych jest następująca:

- od 0+000 do 1+400 (5+000 do 6+400) – $h_z=0,50*1,20=60$ cm
- od 1+400 do 1+800 (6+400 do 6+800) – $h_z=0,70*1,20=84$ cm

Dla całego analizowanego odcinka drogi zapewniono spełnienie warunku mrozoodporności podłoża tj. dla :

- od 0+000 do 1+400 (5+000 do 6+400) – $h_z=0,60 < h_{proj.}=61$ cm
- od 1+400 do 1+800 (6+400 do 6+800) – $h_z=84 < h_{proj.}=87$ cm

Wnioski:

Zaprojektowana konstrukcja w sposób bezpieczny przeniesie obciążenie w zakresie projektowanej kategorii ruchu KR3. Podłoże gruntowe zostało zabezpieczone przez negatywnymi skutkami przemarzania.

W projekcie założono doziarnienie w mieszance mineralno-cementowo emulsyjnej MCE równe 65% (rodzaj materiału mineralnego należy dobrać tak, aby gwarantował spełnienie kryterium krzywej uziarnienia). Skład receptury na mieszankę mineralno cementowo-emulsyjną musi zostać dobrany indywidualnie i uwzględnić zmienną grubość warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych zinwentaryzowanym na analizowanym odcinku drogi.

Opracował: