

INWESTOR:

Miejski Zarząd Dróg w Kielcach

ul. Prendowskiej 7


25-395 Kielce

NAZWA ZADANIA:

*„Remont ulicy Radomskiej w Kielcach w ciągu drogi krajowej nr 73 na odcinku od km
4+985 do 5+615”*

STADIUM:

DOKUMENTACJA TECHNICZNA

Autorzy opracowania	Imię i nazwisko	Podpis	Data
Opracował:	dr inż. Karol Nowakowski		06.2021

PROJEKTOWANA KONSTRUKCJA NAWIERZCHNI

Celem opracowania jest wykonanie obliczeń trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni ulicy Radomskiej w Kielcach w ciągu drogi krajowej nr 73 na odcinku od km 4+985 do km 5+615. Obliczenia wykonano dla dopuszczalnych obciążeń osi 100 kN przy uwzględnieniu skróconego okresu eksploatacji nawierzchni, wynoszącego maksymalnie 7 lat. Niniejsze opracowanie zakłada, iż kategoria ruchu na ww. odcinku stanowi KR4 (2,5÷7,3 mln w milionach osi 100 kN).

Istniejący układ warstw zamodelowano w taki sposób, aby odzwierciedlał stan istniejący z zachowaniem ogólnych zasad projektowania konstrukcji metodami mechanistyczno-empirycznymi. Zastosowane wartości stałych materiałowych modułu sztywności oraz współczynnika Poissona są zgodne z założeniami KTKPiP 2014.

MATERIAŁY ODNIESIENIA DO SPORZĄDZENIA OPRACOWANIA

Materiały wyjściowe do opracowania:

- Pomiar grubości warstw asfaltowych (załącznik 1)
- Karta otworu geotechnicznego (Załącznik 2)
- Rozporządzenie z dnia 2 marca 1999 r. Ministra Infrastruktury i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz. U. 2016 poz. 124).
- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz.U. 2017 poz. 1332),
- Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych (Dz.U. 2016 poz. 1440),
- Katalog Typowych Konstrukcji nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. GDDKiA. Warszawa 2014,
- Józef Judycki "Analiza i projektowanie konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych" Warszawa 2014,
- Wytyczne Techniczne WT-2 2014
- IBDiM "Zalecenia stosowania geosyntetyków w warstwach asfaltowych nawierzchni drogowych" Informacje, Instrukcje - zeszyt 66, IBDiM, Warszawa 2004.
- Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, IBDiM, GDP, Warszawa 2001.
- Obliczenia wykonane w oparciu o program Model Warstw Skończonych Pavement Design TM

DANE PROJEKTOWE

Dane projektowe według projektu wykonawczego:

- Podstawowe parametry ulicy:
- Klasa techniczna – G,
- Kategoria obciążenia ruchem – KR 4,
- Prędkość projektowana – 50 km/h,
- Szerokość jezdni – 8,5 m,
- nawierzchnia: beton asfaltowy,
- odwodnienie: powierzchniowe zgodne ze stanem istniejącym
- spadek poprzeczny: zmienny 2%.

ANALIZA STANU ISTNIEJĄCEGO I ROZPOZNANIE GRUPY NOŚNOŚCI PODŁOŻA GRUNTOWEGO ORAZ WARUNKÓW WODNO-GRUNTOWYCH

W celu oceny stanu istniejącego MZD w Kielcach dokonało oceny natężenia ruchu oraz odwierty w nawierzchni celem określenia grubości warstw konstrukcyjnych w istniejącej nawierzchni ul. Radomskiej w Kielcach. Ponadto w celu określenia grupy nośności podłoża gruntowego dokonano jej analizy w oparciu o Badania geologiczne i warunki wodne dostarczone do dokumentacji projektowej „Przedłużenia drogi wojewódzkiej na odcinku od drogi krajowej 74 do drogi krajowej 73 poprzez rozbudowę ciągu ulicy Zagnańskiej i Witosa w Kielcach oraz budowę nowego połączenia ul. Witosa z ul. Radomską wraz z rozbudowaną DW 745 w ciągu ul. Szybowcowej”

Natężenie ruchu

Natężenie ruchu na ul. Radomskiej oszacowano na podstawie danych udostępnionych w projekcie „Przedłużenia drogi wojewódzkiej na odcinku od drogi krajowej 74 do drogi krajowej 73 poprzez rozbudowę ciągu ulicy Zagnańskiej i Witosa w Kielcach oraz budowę nowego połączenia ul. Witosa z ul. Radomską wraz z rozbudowaną DW 745 w ciągu ul. Szybowcowej. Na tej podstawie oraz w celu ujednolicenia konstrukcji przyjęto spójne wartości obciążenia ruchem KR-4

GRUPA NOŚNOŚCI PODŁOŻA GRUNTOWEGO

Dokonując oceny grupy nośności podłoża gruntowego zastosowano procedurę opisaną w KTKPiP 2014. W celu określenia grupy nośności podłoża nawierzchni z zastosowaniem Katalogu należy ocenić:

- a. warunki wodne
- b. rodzaj i właściwości gruntu zalegającego pod konstrukcją nawierzchni.

Ocenę warunków wodnych określono zgodnie z tablicą 1 KTKPiP z 2014 roku (tablica 7.1 z KTKPiP).

Tablica 1. Klasyfikacja warunków wodnych podłoża gruntowego nawierzchni [źródło: KTKPiP 2014]

Lp.	Charakterystyka korpusu drogowego		Warunki wodne, gdy najwyższy poziom swobodnego zwierciadła wody gruntowej występuje na głębokości poniżej spodu konstrukcji nawierzchni		
			< 1 m	1 ÷ 2 m	> 2 m
1	2	3	4	5	6
1.	Wykopy ≤ 1 m	a	złe	przeciętne	Przeciętne
		b	złe	przeciętne	Dobre
2.	Nasypy ≤ 1 m	a	złe	przeciętne	Przeciętne
		b	przeciętne	przeciętne	Dobre
3.	Wykopy > 1 m	a	złe	przeciętne	Przeciętne
		b	złe	przeciętne	Dobre
4.	Nasypy > 1 m	a	złe	przeciętne	Dobre
		b	przeciętne	dobre	Dobre

a – pobocza nieutwardzone, b – pobocza utwardzone i szczelne oraz dobre odprowadzenie wód powierzchniowych

Na podstawie analizy dokumentacji geologicznej i warunków wodnych nie stwierdzono wód zawieszonych ani wód płynących (załącznik 2) uwzględniając powyższe przyjęto, że warunki gruntowo-wodne na analizowanym odcinku należy uznać jako - **dobre**.

Ocenę gruntów zlokalizowanych pod konstrukcją nawierzchni w nasypie drogowym oceniono pod względem wysadzinowości. Analizę wysadzinowości gruntu zlokalizowanego w korpusie drogowym oparto o zamieszczony w tablicy nr 2 podział gruntów oraz załącznik nr 2 wykonano zgodnie z założeniami przedstawionymi w tablicy 2.

Tablica 2. Podział gruntów pod względem wysadzinowości [KTKPiP z 2014]

Lp.	Wyszczególnienie właściwości	Grupy gruntów		
		Niewysadzinowe	Wątpliwe	Wysadzinowe
1	2	3	4	5
1.	Rodzaj gruntu wg PN-B-02480 ¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Rumosz niegliniasty (KR) • Żwir (Z) • Pospółka (Po) • Piasek gruby (Pr) • Piasek średni (Ps) • Piasek drobny (Pd) • Żużel nierozpadowy 	<ul style="list-style-type: none"> • Piasek pylasty (Pn) • Zwiątrzelina gliniasta (KWg) • Rumosz gliniasty (KRg) • Żwir gliniasty (Żg) • Pospółka gliniasta (Pog) 	<u>Grunty mało wysadzinowe:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Gлина piaszczysta zwięzła (Gpz) • Gлина zwięzła (Gz) • Il (I) • Il piaszczysty (Ip) • Il pylasty (In) <u>Grunty bardzo wysadzinowe</u> <ul style="list-style-type: none"> • Piasek gliniasty (Pg) • Pył piaszczysty (np) • Pył (n) • Gлина piaszczysta (Gp) • Gлина (G) • Gлина pylasta (Gn) • Il warwowy
2.	Zawartość cząstek, wg PKN-CEN ISO/TS 17892-4, [%] ≤ 0,063 mm ≤ 0,02 mm	< 15 < 3	od 15 do 30 od 3 do 10	> 30 > 10
3.	Wskaźnik piaszkowy wg BN-64/8931-01 ¹⁾ [%]	> 35	od 25 do 35	< 25

Uwaga: 1) Do chwili ustalenia kryteriów zgodnych z normami PN-EN należy stosować dotychczasowe normy i kryteria.

Dokonując oceny wysadzinowości gruntu (tablica 2) zalegającego w podłożu gruntowym w okolicy ulicy Popiełuszki określono, że grunty można zaklasyfikować jako wysadzinowe. Szczegółową analizę przedstawiono na tablicy 3.

Tablica 3. Analiza grupy wysadzinowości gruntu w podłożu

Nr otworu	Rodzaju gruntu	Grupa wysadzinowości gruntu
otwór nr ZW14	Glina	GRUNTY BARDZO WYSADZINOWY
otwór nr ZW14	Nasyp niekontrolowany (Rumosz Gliniasty)	GRUNTY BARDZO WYSADZINOWY

Uzyskane rozpoznanie rodzaju gruntu w podłożu umożliwiło określenie grupy nośności podłoża gruntowego nawierzchni w zależności od wysadzinowości gruntu i warunków wodnych. Zgodnie z tablicą 4 określono grupę nośności podłoża Gi.

Tablica 4. Grupy nośności podłoża gruntowego nawierzchni w zależności od wysadzinowości gruntu i warunków wodnych [źródło: KTKPiP 2014]

Lp.	Rodzaj gruntu podłoża nawierzchni wg tablicy 7.2	Grupa nośności podłoża gruntowego nawierzchni, gdy warunki wodne są:		
		dobrze	przeciętne	złe
1	2	3	4	5
1.	Grunty niewysadzinowe	G1	G1	G1
2.	Grunty wątpliwe	G2	G2	G3
3.	Grunty mało wysadzinowe ¹⁾	G3	G4	G4
4.	Grunty bardzo wysadzinowe ¹⁾	G4	G4	G4

Ustalając grupę nośności podłoża gruntowego, w świetle posiadanych danych (tablica 3) oraz ustalonej metodologii (tablica 4) możliwe jest stwierdzenie, że na ulicy Radomskiej w Kielcach występuje grupa nośności podłoża G4 na obydwu pasach jezdni.

MODEL OBLICZENIOWY TRAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI RÓWNOWAŻNEJ

Na podstawie analizy uzyskanych odwiertów przedstawionych oraz przyjętych założeń projektowych związanych z możliwością wykonania nakładki „w górę” do dalszej analizy przyjęto następujące założenia:

- frezowania istniejących warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych na głębokość 8 cm w celu usunięcia wszelkich nierówności
- wykonanie nowych warstw konstrukcyjnych z mieszanek mineralno-asfaltowych, w których skład wchodzić będzie warstwa ścierna z mieszanki SMA 11 PMB 45/80-65, warstwa wiążąca z betonu asfaltowego WMS 16 W, warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego WMS 22 P oraz warstwa wzmacniająca z geosyntetyku.

PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA PROJEKTU

Do obliczenia trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni drogowej dla remontu ulicy Radomskiej w Kielcach polegającego na wykonaniu nakładki zastosowano metodę mechanistyczną. Wartość naprężeń i odkształceń obliczono według teorii wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej.

Obliczenia trwałości wykonano dla temperatury ekwiwalentnej, która w przypadku konstrukcji nawierzchni podatnej jest równa 13°C . Dodatkowo wartości stałych materiałowych przyjęto dla układu warstw w odniesieniu do literatury i założeń KTKPiP z 2014 roku.

Do obliczeń konstrukcji nawierzchni przyjęto następujące założenia:

- nawierzchnia obciążona osią obliczeniową 100 kN,
- pole powierzchni styku koła samochodowego i nawierzchni - $0,0147\text{ m}^2$,
- ciśnienie kontaktowe pomiędzy kołem a nawierzchnią wynosi - 850 kPa,
- oddziaływanie koła o pojedynczym śladzie,
- czas trwania obciążenie - 0,02s,
- pomiędzy warstwami nawierzchni występuje całkowita szczepność międzywarstwowa,
- nośność podłoża gruntowego $E_0(E_2)$ zastosowano odpowiednio $E_2=25\text{ MPa}$ i współczynnik Poissona przyjęto równy $\nu=0,35$,

Układ warstw konstrukcji przyjętych do obliczeń wynikał z uzyskanych odwiertów w konstrukcji oraz określonych wymagań stawianych przez wydział Utrzymania i Eksploatacji MZD w Kielcach. Do budowy modelu obliczeniowego wykorzystano najbardziej niekorzystny układ warstw konstrukcji określony w ramach wierceń dla ulicy wykonanych w dniu 23.02.2020 r. przez Laboratorium MZD w Kielcach.

Stale materiałowe przyjęte do obliczeń trwałości zmęczeniowej

Wszystkie warstwy konstrukcyjne opisane są przez stałe materiałowe tj. współczynnik Poissona jako wartość bezwymiarowa (ν) oraz moduł sprężystości warstw konstrukcyjnych (E [MPa]), których wartości są zgodne z KTKPiP z 2014 roku. Wartości parametrów warstw konstrukcyjnych, dla projektowanego odcinka przedstawiono w tabeli 5. Parametry materiałów założono dla temperatury ekwiwalentnej 13°C .

Tablica 5. Układ warstw wzmocnienia konstrukcji ul. Radomskiej w Kielcach

Warstwa	Moduł [MPa]	ν [-]	Grubość [m]	Zawartość asfaltu V_b [%]	Zaw. wolnej przestrze- ni V_a [%]
w-wa ścieralna z SMA 11 PMB 45/80-65	7300	0,30	0,04	16,0	3,0
w-wa wiążąca z ACWMS 16 PMB 25/55-60	14000	0,30	0,08	11,5	6,0
w-wa wzmacniająca z geosiatki o wytrzymałości 100/100 kN/m – przesączonej asfaltem	-	-	-	-	-
w-wa podbudowy zasadniczej z ACWMS 22 PMB 25/55-60	14000	0,30	0,10	10,5	7,0
istniejąca warstwa podbudowy z kruszywa założona jako warstwa mrozoochronna z mieszanki niezwiązanej	100,0	0,30	0,20	-	
Podłoże G4	25,0	0,35	∞		

Dane przedstawione w tabeli nr 5 wykorzystano do obliczenia trwałości zmęczeniowej układu warstw konstrukcji nawierzchni drogowej.

Kryteria projektowe

Do obliczeń wykorzystano metodę mechanistyczną opierającą się o teorię wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej, w której dla konstrukcji podatnych występują dwa kryteria utraty trwałości zmęczeniowej:

- Kryterium spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych - AASHTO 2004
- Kryterium deformacji strukturalnych nawierzchni (podłoża gruntowego) - wg. Instytutu Asfaltowego
- **Kryterium spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych**

$$N_f^{asf} = D_{FC} \cdot 7,3557 \cdot (10^{-6}) \cdot C \cdot k_1' \cdot \left(\frac{1}{s_t}\right)^{3,9492} \cdot \left(\frac{1}{E}\right)^{1,281}$$

gdzie:

N_f^{asf} - liczba powtarzalnych obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych, na FC procentach powierzchni pasa ruchu [osi/pas/okres obliczeniowy].

ε_r - odkształcenia rozciągające (wartość bezwzględna) na spodzie warstw asfaltowych, [m/m].

E - moduł sztywności najniższej leżącej warstwy z mieszanki mineralno-asfaltowej, [MPa].

- **Kryterium deformacji strukturalnych nawierzchni (podłoża gruntowego)**

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

gdzie:

N_f^{gr} - liczba dopuszczalnych obciążeń do wystąpienia krytycznej deformacji strukturalnej w konstrukcji nawierzchni, [osi/pas/okres obliczeniowy].

ε_z - odkształcenie pionowe w podłożu [m/m].

Charakterystykę stanu odkształceń wyznaczono wykorzystując rozwiązania Sapiana. Rozwiązanie uzyskano wychodząc od równań różniczkowych równowagi wewnętrznej.

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_t}{r} = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial r} + \frac{\partial \tau}{\partial r} + \frac{\tau}{r} = 0$$

gdzie:

σ_r - normalne naprężenia radialne

σ_z - normalne naprężenia pionowe

τ - styczne naprężenia

z - rzędna wysokości

r - rzędna radialna

Analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji dla wzmocnienia ul. Radomskiej w Kielcach

Trwałość konstrukcji ze względu na spękania zmęczeniowe warstw asfaltowych

$\varepsilon_r = 0,000183 \text{ } \mu\text{strain}$ - odkształcenia poziome na spodzie warstw asfaltowych

$$N_f^{asf} = D_{FC} \cdot 7,3557 \cdot (10^{-6}) \cdot C \cdot k_1 \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{2,9492} \cdot \left(\frac{1}{E}\right)^{1,281}$$

$$N_f^{asf} : = 5\,683\,625 \text{ osi } 100 \text{ kN/pas/ } 20 \text{ lat}$$

Trwałość konstrukcji ze względu na pojawienie się trwałych deformacji strukturalnych w podłożu gruntowym nawierzchni

$\varepsilon_{gr} = 0,000457 \text{ } \mu\text{strain}$ - odkształcenia pionowe na górnej powierzchni podłoża gruntowego

$$N_f^{gr} = \left(\frac{0,0105}{\varepsilon_{gr}}\right)^{\frac{1}{0,222}}$$

$$N_f^{asf} = 3\,759\,469 \text{ osi } 100 \text{ kN/pas/ } 20 \text{ lat}$$

Minimalna trwałość nowej konstrukcji nawierzchni

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

$N_f = 3\,759\,469 \text{ osi } 100 \text{ kN/obl. / pas ruchu}$ mieści się w przedziale 2,3÷7,3 mln osi 100 kN/obl/pas ruchu jak dla KR 4

Obliczona trwałość zmęczeniowa dla analizowanego układu warstw wzmocnienia konstrukcji ul. Radomskiej w Kielcach **SPEŁNIA WYMAGANIA** w zakresie ilości osi obliczeniowych jak dla kategorii ruchu KR 4

SPRAWDZENIE WYMAGANEJ ODPORNOŚCI NAWIERZCHNI NA WYSADZINY

Dla potwierdzenia poprawności przyjęcia układu warstw konstrukcji równoważnej wykonano obliczenia wymaganej grubości konstrukcji jak dla podłoża gruntowego występującego w grupie nośności G4. W tablicy 6 przedstawiono wymaganą grubość konstrukcji nawierzchni i warstw ulepszonego podłoża ze względu na odporność na wysadziny dla analizowanej kategorii ruchu KR 4 i uzyskanej grupy nośności podłoża G4.

Tablica 6. Wymagana grubość konstrukcji nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża ze względu na odporność na wysadziny [KTKPiP 2014]

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

Obliczenia:

$$h_{\text{wymagane}} = 0,75 * h_z$$

$$h_{\text{wymagane}} = 0,75 * 1,0 \text{ m} = 0,75 \text{ m} - \text{wymagana minimalna grubość konstrukcji}$$

$$\text{Warunek: } h_{\text{wymagane}} \leq h_{\text{projektowane}}$$

Tablica 7. Obliczenie warunku odporność na wysadziny

Ulica	Grupa nośności podłoża Gi	KR	Wymagana grubość konstrukcji $h_{wym.}$ [cm]	Sumaryczna projektowana grubość konstrukcji $h_{proj.}$ [cm]
ul. Radomska	G4	4	75	Zmienna od 42 do 80

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz stwierdzono, że zaprojektowane wzmocnienie konstrukcji nawierzchni ul. Radomskiej w Kielcach pozwala na uzyskanie wymaganej trwałości zmęczeniowej dla projektowanej kategorii ruchu KR 4 dla dwudziestoletniego okresu eksploatacji. Jednocześnie ze względu na zmienne wartości miąższości istniejącego podłoża (starej podbudowy z kruszywa) warunek mrozoodporności może nie zostać spełniony. Z uwagi na powyższe okresu eksploatacji ww. odcinka może wynosić 7 lat przy założeniu nie zwiększenia się ruchu pojazdów ciężarowych i autobusów.

Dla zwiększenia niezawodności pracy konstrukcji zaprojektowano pomiędzy warstwą wiążącą AC WMS 16 i warstwą wyrównawczą na całej szerokości drogi, warstwę wzmacniającą z geosyntetyku wytrzymałości większej niż 100/100 kN/m

dr inż. Karol Nowakowski