

**OCENA NOŚNOŚCI ISTNIEJĄCEJ KONSTRUKCJI
NAWIERZCHNI DW 213 NA ODCINKU
OD KM 81+558 DO KM 84+258 ORAZ OPRACOWANIE
WARIANTÓW WZMOCNIEŃ NAWIERZCHNI**

Opracowano na zlecenie:

**MULTITEST
ul. Michała Glinki 13/9
80-271 Gdańsk**

Opracował:



Dr. inż. Marek Pszczola

Lublewo Gdańskie, maj 2015

Spis treści:

1. PODSTAWA OPRACOWANIA	3
2. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA	3
3. MATERIAŁY WYJŚCIOWE.....	3
4. OCENA STANU ISTNIEJĄCEGO KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DW 213	4
5. ANALIZA WYNIKÓW POMIARU UGIĘĆ SPRĘŻYSTYCH.....	5
6. OCENA NOŚNOŚCI ISTNIEJĄCEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI.....	8
7. OBLICZENIE WZMOCNIEŃ ISTNIEJĄCEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ UGIĘĆ	9
8. OBLICZENIE WZMOCNIEŃ ISTNIEJĄCEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTYCZNĄ.....	11
8.1. Zastosowana metoda obliczeń.....	11
8.2. Obciążenie ruchem	12
8.3. Temperatura ekwiwalentna.....	12
8.4. Schemat obliczeniowy	12
8.5. Kryteria zmęczeniowe	13
8.6. Określenie parametrów technicznych konstrukcji nawierzchni niezbędnych do obliczenia trwałości zmęczeniowej.....	13
8.6.1. Podłoże gruntowe	13
8.6.2. Istniejąca konstrukcja nawierzchni.....	13
8.6.3. Nowe warstwy asfaltowe.....	13
8.7. Tolerancje wykonania grubości warstw	14
8.8. Projektowane wzmocnienie istniejącej konstrukcji nawierzchni	14
9. ZESTAWIENIE PROPONOWANYCH ROZWIĄZAŃ WZMOCNIEŃ I NOWYCH KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI.....	17
10. PODSUMOWANIE	18

OCENA NOŚNOŚCI ISTNIEJĄCEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DW 213 NA ODCINKU OD KM 81+558 DO KM 84+258 ORAZ OPRACOWANIE WARIANTÓW WZMOCNIEŃ NAWIERZCHNI

1. PODSTAWA OPRACOWANIA

Opracowanie wykonano na zlecenie firmy MULTITEST (nr zlecenia: ZI-1/2015), ul. Michała Glinki 13/9, 80-271 Gdańsk z dnia 4 maja 2015 r.

2. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem opracowania jest ocena nośności istniejącej konstrukcji nawierzchni drogi wojewódzkiej nr 213 na odcinku 2700 m od km 81+558 (od znaku miejscowości Wierzchucino) do km 84+258 (do mostu w kierunku miejscowości Żarnowiec). Ocena konstrukcji nawierzchni w ramach niniejszego opracowania zgodnie ze zleceniem dotyczy:

1. Istniejącej konstrukcji nawierzchni – na podstawie wykonanych odwiertów oraz pomiaru ugięć zgodnie z normą BN-70/8931-06 „Drogi samochodowe – Pomiar ugięć nawierzchni podatnych ugięciomierzem belkowym”.
2. Podniesienie istniejącej trwałości zmęczeniowej alternatywnie o jedną lub dwie kategorie ruchu w stosunku do istniejącej wraz z propozycją grubości warstw konstrukcji nawierzchni.

Niniejsze opracowanie zawiera:

- ocenę stanu istniejącego konstrukcji nawierzchni drogi wojewódzkiej nr 213 na analizowanym odcinku,
- analizę wyników badań ugięć sprężystych,
- ocenę nośności istniejącej konstrukcji nawierzchni na podstawie wykonanych odwiertów oraz wyników pomiaru ugięć sprężystych,
- zaproponowanie technologii wzmocnień istniejącej nawierzchni na wyznaczonych odcinkach miarodajnych,
- obliczenia wariantów wzmocnień nawierzchni przy wykorzystaniu metody ugięć oraz metody mechanistycznej.

3. MATERIAŁY WYJŚCIOWE

Opracowanie wykonano w oparciu o następujące materiały wyjściowe:

- [1] Sprawozdania z badania ugięć sprężystych nawierzchni podatnych ugięciomierzem belkowym, wykonane przez laboratorium Firmy Budowlano-

- Drogowej MTM S.A. z Gdyni, (sprawozdania nr UB 1/11 oraz UB 2/11), maj 2015 r.
- [2] Karty dokumentacyjne odwiertów w konstrukcji nawierzchni (Zał. graf. Nr 2), wykonane przez firmę GEOTEST w ramach umowy nr 58/15.
 - [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lutego 2015 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej, Poz. 329, Warszawa, 10 marca 2015 r.
 - [4] Katalog wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2001 r.
 - [5] Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach krajowych. WT-1:2014. Kruszywa. Wymagania Techniczne. Załącznik do zarządzenia nr 46 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 25.09.2014 r.
 - [6] Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2: 2014 – część I. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania Techniczne. Załącznik do zarządzenia nr 47 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 25.09.2014 r.
 - [7] Katalog Typowych Konstrukcji Podatnych i Półsztywnych na podstawie Zarządzenia nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16 czerwca 2014 r.

4. OCENA STANU ISTNIEJĄCEGO KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DW 213

4.1. Ogólny stan odcinka

Analizowany odcinek drogi wojewódzkiej nr 213 od km 81+558 do km 84+258 ma długość 2700 m i zlokalizowany jest od znaku miejscowości Wierzchucino do mostu przy jeziorze Żarnowieckim przed miejscowością Żarnowiec. Ogólny stan odcinka jest zły. Do podstawowych uszkodzeń stwierdzonych na analizowanym odcinku w czasie wizji lokalnej w dniu 18 maja 2015 r. zaliczyć można:

- 1. Deformacje całej konstrukcji nawierzchni spowodowane nierównomiernym osiadaniem podłoża gruntowego i nawodnieniem tego podłoża związanym z wysokim poziomem wód gruntowych.
- 2. Spękania i zapadnięcia nawierzchni przy jej krawędziach.
- 3. Uszkodzenia nawierzchni spowodowane przez korzenie drzew rosnących w skrajni drogi.
- 4. Spękania zmęczeniowe spowodowane niewystarczającą nośnością istniejącej konstrukcji nawierzchni.
- 5. Lokalnie występujące spękania poprzeczne.
- 6. Ubytki ziaren kruszywa z nawierzchni.
- 7. Łaty i doraźne naprawy występujące w miejscach największych uszkodzeń, często również już częściowo uszkodzone.

4.2. Istniejąca konstrukcja nawierzchni

Na podstawie przeprowadzonej przez firmę GEOTEST [2] inwentaryzacji istniejącej konstrukcji nawierzchni i podłoża gruntowego w 4 wskazanych lokalizacjach stwierdzono, że istniejąca nawierzchnia i podłoże gruntowe składa się z następujących warstw:

Odwiert 1 – strona prawa, 630 m – 645 m od początku odcinka:

- warstwy bitumiczne gr. 12 cm,
- podbudowa z kruszywa naturalnego gr. 33 cm,
- podłoże gruntowe – piasek drobny, piasek średni do głębokości 4,0 m.
Zwierciadło wody gruntowej na głębokości 3,2 m.

Odwiert 2 – strona lewa, 1229 m – 1263 m od początku odcinka:

- warstwy bitumiczne gr. 12 cm,
- podbudowa z kruszywa naturalnego gr. 48 cm,
- podłoże gruntowe – piasek gliniasty gr. 70 cm, piasek gruby przewarstwiony piaskiem gliniastym gr. 170 cm, warstwa namułu gr. 100 cm, piasek próchniczny gr. min. 200 cm do głębokości 6,0 m.
Zwierciadło wody gruntowej na głębokości 1,3 m.

Odwiert 3 – strona prawa, brak podanej lokalizacji w dokumentacji:

- warstwy bitumiczne gr. 12 cm,
- podbudowa z kruszywa naturalnego gr. 48 cm,
- podłoże gruntowe – piasek średni przewarstwiony piaskiem drobnym gr. 240 cm, warstwa namułu gr. 120 cm, piasek średni gr. min. 80 cm do głębokości 5,0 m.
Zwierciadło wody gruntowej na głębokości 1,0 m.

Odwiert 4 – strona lewa, 2554 m – 2561 m od początku odcinka:

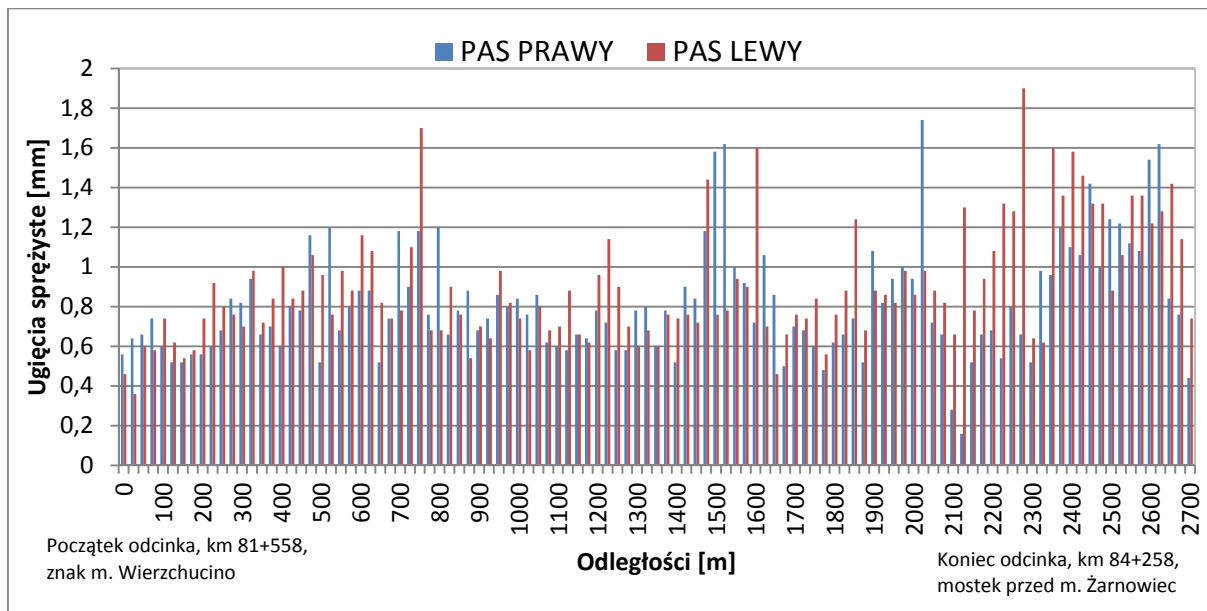
- warstwy bitumiczne gr. 12 cm,
- podbudowa z kruszywa naturalnego gr. 28 cm,
- podłoże gruntowe – piasek średni gr. 60 cm, warstwa torfu gr. 340 cm, piasek drobny z częściami organicznymi gr. min. 60 cm do głębokości 4,0 m.
Zwierciadło wody gruntowej na głębokości 3,4 m.

5. ANALIZA WYNIKÓW POMIARU UGIĘĆ SPRĘŻYSTYCH

Badania ugięć sprężystych zostały przeprowadzone w dniu 14.05.2015 r. [1] przez pracowników firmy MTM S.A.. Badania wykonano zgodnie z normą BN-70/8931-6 „Drogi samochodowe – Pomiar ugięć nawierzchni podatnych ugięciomierzem belkowym”, przyjmując krok pomiaru ugięć, co 25 m na pasie prawym i pasie lewym i w odległości 0,8 m od krawędzi jezdni. Temperatura powietrza w dniu pomiaru

wynosiła 11°C, natomiast temperatura warstwy asfaltowej nawierzchni wynosiła 15°C. Badanie wykonano pod ośią samochodu ciężarowego o obciążeniu osi 10 ton.

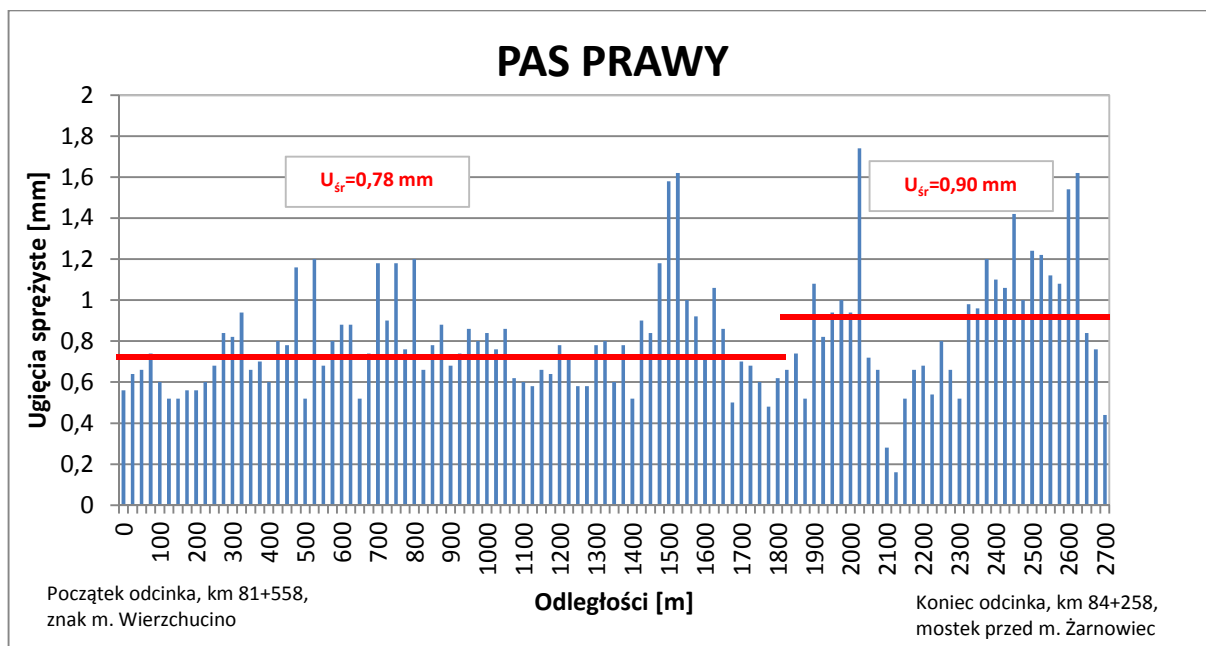
Wyniki pomiaru ugięć sprężystych jednocześnie na pasie prawym oraz pasie lewym analizowanego odcinka DW 213 przedstawiono na rys. 1.



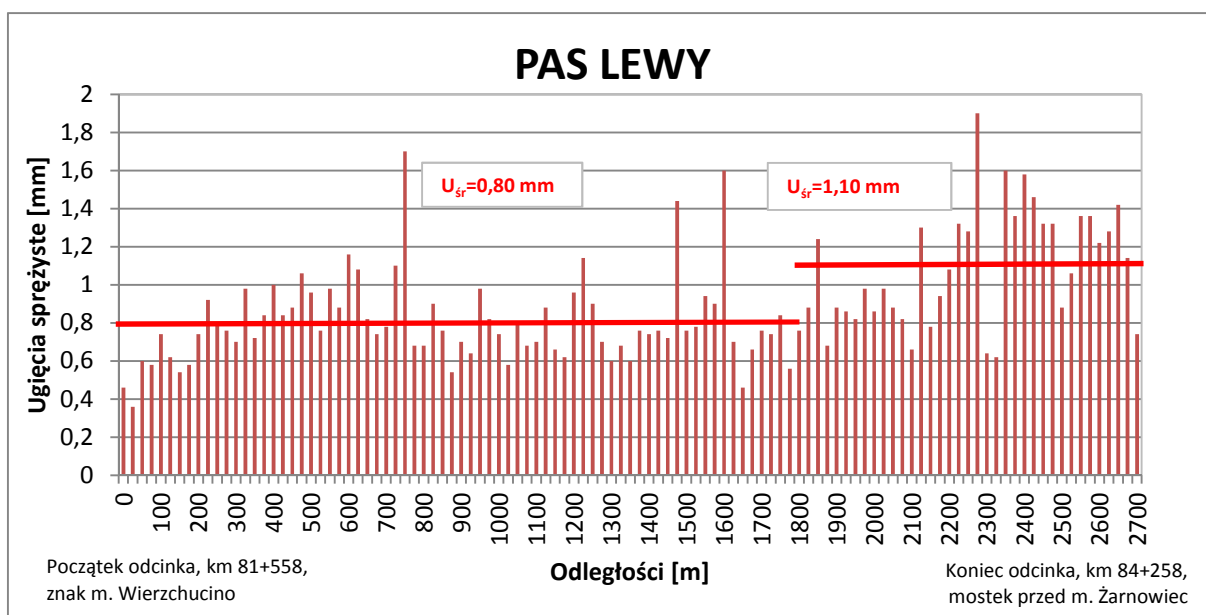
Rys. 1. Wyniki pomiaru ugięć sprężystych na obydwu pasach ruchu analizowanego odcinka DW 213

Z przedstawionego na rys. 1 zestawienia wyników pomiaru ugięć sprężystych wynika, że ugięcia są wyraźnie większe pod koniec odcinka, czyli tam gdzie zgodnie ze stanem nawierzchni występują największe deformacje strukturalne całej konstrukcji oraz gdzie według odwiertów zalegają grunty słabonośne – torfy i namuły. Stwierdzono również występowanie lokalnych tzw. pików ugięć tzn. miejsc, w których lokalnie zmierzone ugięcia uzyskują duże wartości. Są to miejsca lokalnie osłabione w konstrukcji nawierzchni, np. lokalne zapadnięcia nawierzchni.

W celu lepszego zobrazowania występujących ugięć sprężystych nawierzchni i wyznaczenia odcinków jednorodnych do dalszego projektowania wzmocnienia zgodnie z metodą ugięć na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wyniki pomiaru ugięć niezależnie dla prawego oraz lewego pasa ruchu.



Rys. 2. Wyniki pomiaru ugięć sprężystych na prawym pasie ruchu analizowanego odcinka DW 213



Rys. 3. Wyniki pomiaru ugięć sprężystych na lewym pasie ruchu analizowanego odcinka DW 213

Na podstawie analizy wyników pomiaru ugięć sprężystych, wyników inwentaryzacji konstrukcji nawierzchni oraz oceny stanu technicznego odcinka przeprowadzono podział całego analizowanego odcinka na odcinki jednorodne:

- Odcinek 1 – długości 1800 m, od początku odcinka w km 81+558 do km 83+358.
- Odcinek 2 – długości 900 m, od km 83+358 do końca odcinka w km 84+258.

6. OCENA NOŚNOŚCI ISTNIEJĄCEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI

Ocenę nośności istniejącej konstrukcji nawierzchni przeprowadzono w oparciu o wymagania Katalogu Wzmocnień i Remontów [4]. W punkcie 4.2.5.5. tego katalogu, w tablicy 13 podane są graniczne wartości ugięć miarodajnych (dopuszczalnych) mierzone belką Benkelmana pod obciążeniem 100 kN/oś (50 kN/koło pojedyncze). Wartości ugięć dopuszczalnych dla poszczególnych kategorii ruchu zgodnie z katalogiem [4] przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Graniczne wartości ugięć miarodajnych (dopuszczalnych) mierzone belką Benkelmana pod obciążeniem 100 kN/oś (50 kN/koło pojedyncze), zgodnie z [4]

Kategoria ruchu	Ugięcie miarodajne (dopuszczalne), mm
KR1	1,2
KR2	1,1
KR3	0,8
KR4	0,5

Ugięcie miarodajne oblicza się na podstawie średnich wartości ugięć sprężystych obliczonych dla odcinków jednorodnych na podstawie następującego wzoru:

$$U_m = U_{sr} + 2 S_u \quad (1)$$

gdzie:

U_m - miarodajne ugięcie sprężyste,

U_{sr} - średnie ugięcie sprężyste dla danego odcinka jednorodnego,

S_u - odchylenie standardowe ugięć sprężystych dla danego odcinka jednorodnego.

Korzystając z zależności (1) wyznaczono ugięcia miarodajne dla odcinków jednorodnych analizowanego odcinka DW 213. Przedstawiono je w tablicy 2.

Tablica 2. Wyniki obliczeń ugięć miarodajnych dla analizowanych odcinków jednorodnych

Lokalizacja odcinka jednorodnego	Ugięcie miarodajne, mm		
	Pas prawy	Pas lewy	Wartość większa
Odcinek 1 (1800 m) km 81+558 - km 83+358	1,23	1,26	1,26
Odcinek 2 (900 m) km 83+358 - km 84+258	1,61	1,72	1,72

Na podstawie tablicy 2 można stwierdzić, że zarówno 1, jak i 2 odcinek jednorodny nie spełniają wymaganej nośności nawet dla kategorii ruchu KR1 (zgodnie z tabl. 1) i wymagają wzmocnienia.

7. OBLICZENIE WZMOCNIEŃ ISTNIEJĄCEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ UGIĘĆ

Zgodnie z katalogiem [4] metoda ugięć opiera się na założeniu, że trwałość zmęczeniowa nawierzchni asfaltowej zależy jest od maksymalnego ugięcia sprężystego nawierzchni, występującego bezpośrednio pod punktem obciążenia. W celu obliczenia wymaganych wzmocnień nawierzchni wymagane jest wyznaczenie ugięcia obliczeniowego, które jest ugięciem sprężystym nawierzchni przyjętym do projektowania grubości nakładki wzmacniającej na danym odcinku jednorodnym. Ugięcie obliczeniowe wyznacza się dla każdego odcinka jednorodnego według następującej zależności:

$$U_{obl} = U_m \cdot f_T \cdot f_S \cdot f_P \quad (2)$$

gdzie:

U_{obl} - ugięcie obliczeniowe,

U_m - ugięcie sprężyste obliczone ze wzoru (1),

f_T - współczynnik temperaturowy, czyli współczynnik korygujący ugięcia ze względu na temperaturę warstw asfaltowych podczas pomiaru ugięć,

f_S - współczynnik sezonowości, czyli współczynnik korygujący ugięcia ze względu na porę roku podczas pomiaru ugięć,

f_P - współczynnik podbudowy, czyli współczynnik korygujący ugięcia ze względu na rodzaj podbudowy występującej na danym odcinku jednorodnym.

Współczynnik temperaturowy f_T wyznacza się na podstawie następującego wzoru:

$$f_T = 1 + 0,02 (20 - T) \quad (3)$$

gdzie:

T - zmierzona temperatura warstw asfaltowych podczas pomiaru ugięć, °C.

Zgodnie ze sprawozdaniem [1] pomiar ugięć na analizowanym odcinku DW 213 przeprowadzony był przy temperaturze warstw asfaltowych równej 15°C. Dla takiej temperatury współczynnik temperaturowy $f_T = 1,1$.

Współczynnik sezonowości $f_S = 1,0$ – pomiar wykonywany wiosną.

Współczynnik podbudowy $f_P = 1,0$ – podbudowa podatna z kruszywa naturalnego.

Wyznaczone wartości ugięć obliczeniowych zgodnie z zależnością (2) przedstawiono w tablicy 3.

Tablica 2. Wyniki obliczeń ugięć miarodajnych dla analizowanych odcinków jednorodnych

Lokalizacja odcinka jednorodnego	Ugięcie obliczeniowe, mm		
	Pas prawy	Pas lewy	Wartość większa
Odcinek 1 (1800 m) km 81+558 - km 83+358	1,35	1,39	1,39
Odcinek 2 (900 m) km 83+358 - km 84+258	1,77	1,89	1,89

Na podstawie obliczonych wartości ugięć obliczeniowych wyznacza się grubość zastępczą nakładki wzmacniającej w przeliczeniu na tłuć standardowy.

Wyznaczenie wymaganych grubości nakładek wzmacniających przeprowadzono w celu spełniania przez istniejącą konstrukcję nawierzchni następujących kategorii ruchu, zgodnie z katalogiem [7]:

- KR 2 – grubość wzmocnienia zapewnia trwałość nawierzchni dla ruchu projektowego 500 000 osi obliczeniowych 100 kN/pas obliczeniowy w okresie 20 lat,
- KR 3 - grubość wzmocnienia zapewnia trwałość nawierzchni dla ruchu projektowego 2 500 000 osi obliczeniowych 100 kN/pas obliczeniowy w okresie 20 lat,
- KR 4 - grubość wzmocnienia zapewnia trwałość nawierzchni dla ruchu projektowego 7 300 000 osi obliczeniowych 100 kN/pas obliczeniowy w okresie 20 lat.

Obliczone grubości zastępcze nakładek wzmacniających w przeliczeniu na tłuć standardowy w zależności od wymaganej kategorii ruchu przedstawiono w tablicy 3.

Tablica 3. Wyniki obliczeń grubości zastępczych nakładek wzmacniających w przeliczeniu na tłuć, w zależności od wymaganej kategorii ruchu

Lokalizacja odcinka jednorodnego	KR2 (do 0,5 mln osi 100 kN/pas))	KR3 (do 2,5 mln osi 100 kN/pas)	KR4 (do 7,3 mln osi 100 kN/pas)
Odcinek 1 (1800 m) km 81+558 - km 83+358	28 cm	36 cm	38 cm
Odcinek 2 (900 m) km 83+358 - km 84+258	42 cm	48 cm	50 cm

Proponowane grubości warstw wzmacniających istniejącą konstrukcję nawierzchni zgodnie z metodą ugięć są następujące:

1. Odcinek 1 (1800 m) - km 81+558 - km 83+358 (tylko nowe warstwy asfaltowe):
 - Dla kategorii ruchu KR2:

- 14 cm nowych warstw asfaltowych (min. 4 cm warstwa wyrównawcza z AC, 6 cm warstwa wiążąca z AC oraz 4 cm warstwa ścierna z AC),
- Dla kategorii ruchu KR3:
17 cm nowych warstw asfaltowych (min. 4 cm warstwa wyrównawcza z AC, 9 cm warstwa wiążąca z AC oraz 4 cm warstwa ścierna z SMA),
- Dla kategorii ruchu KR4:
19 cm nowych warstw asfaltowych (min. 4 cm warstwa wyrównawcza z AC, 11 cm warstwa wiążąca z AC w dwóch warstwach technologicznych oraz 4 cm warstwa ścierna z SMA).

2. Odcinek 2 (900 m) - km 83+358 - km 84+258 (warstwy asfaltowe na warstwie wyrównawczej z mieszanki niezwiązanej gr. min. 16 cm):

- Dla kategorii ruchu KR2:
13 cm nowych warstw asfaltowych (9 cm warstwa wiążąca z AC oraz 4 cm warstwa ścierna z AC) na warstwie wyrównawczej z mieszanki niezwiązanej gr. min. 16 cm),
- Dla kategorii ruchu KR3:
16 cm nowych warstw asfaltowych (12 cm warstwa wiążąca z AC w dwóch warstwach technologicznych oraz 4 cm warstwa ścierna z SMA) na warstwie wyrównawczej z mieszanki niezwiązanej gr. min. 16 cm),
- Dla kategorii ruchu KR4:
17 cm nowych warstw asfaltowych (13 cm warstwa wiążąca z AC w dwóch warstwach technologicznych oraz 4 cm warstwa ścierna z SMA) na warstwie wyrównawczej z mieszanki niezwiązanej gr. min. 16 cm).

8. OBLICZENIE WZMOCNIEŃ ISTNIEJĄCEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI METODĄ MECHANISTYCZNĄ

8.1. Zastosowana metoda obliczeń

Obliczenie wzmocnienia nawierzchni wykonano według metody mechanistycznej, zgodnie z Rozporządzeniem [3]. Trwałość zmęczeniową konstrukcji nawierzchni obliczono przy wykorzystaniu kryteriów Instytutu Asfaltowego.

Procedura postępowania podczas obliczeń była następująca:

- a) przyjęcie ruchu projektowego,
- b) przyjęcie grubości warstw konstrukcji nawierzchni,
- c) określenie stałych materiałowych warstw, modułów E i współczynników Poissona ν ,
- d) obliczenie naprężenia i odkształcenia w konstrukcji nawierzchni,
- e) obliczenie trwałości zmęczeniowej nawierzchni (ilości obciążeń do osiągnięcia stanu krytycznego).

8.2. Obciążenie ruchem

Przyjęto następujące obciążenie obliczeniowe:

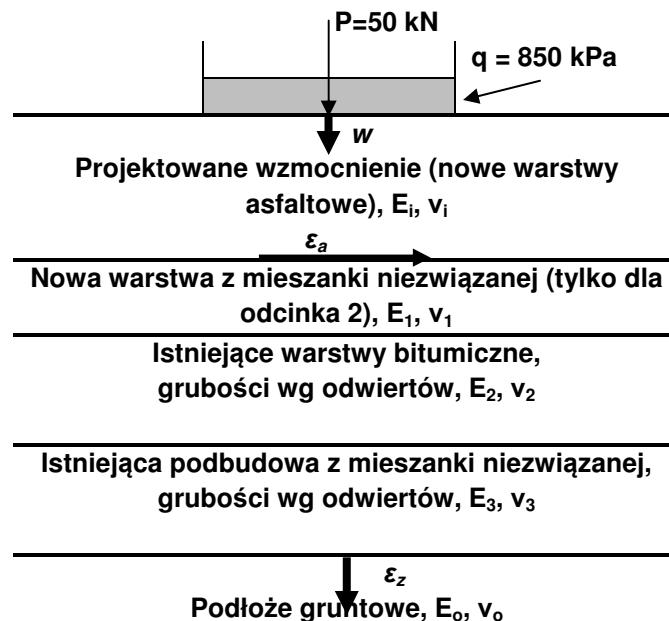
- pojedyncza oś standardowa: 100 kN,
- koło pojedyncze o nacisku: 50 kN,
- ciśnienie kontaktowe pomiędzy kołem i nawierzchnią: 850 kPa,
- czas obciążenia nawierzchni przy prędkości pojazdu $V = 60$ km/h: 0,02 s.

8.3. Temperatura ekwiwalentna

Zgodnie z nowym Katalogiem [7] przyjęto, że temperatura ekwiwalentna do obliczenia wzmocnienia nawierzchni na analizowanym odcinku DW 213 wynosi 13°C .

8.4. Schemat obliczeniowy

Obliczenia wykonano przy założeniu, że modelem konstrukcji nawierzchni jest wielowarstwowa półprzestrzeń sprężysta. Schemat modelu konstrukcji przyjętego do obliczeń przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat konstrukcji nawierzchni przyjęty do obliczeń

Oznaczenia wielkości pokazanych na rysunku 4 są następujące:

- w – ugięcie,
- ϵ_a – odkształcenie rozciągające na spodzie warstw asfaltowych,
- ϵ_z – odkształcenie ściskające w podłożu,
- E_i, v_i – stałe materiałowe poszczególnych warstw,
- P, q – obciążenie i ciśnienie kontaktowe pomiędzy kołem i nawierzchnią.

8.5. Kryteria zmęczeniowe

Dla określenia trwałości zmęczeniowej warstw asfaltowych i trwałości ze względu na deformacje strukturalne nawierzchni zastosowano kryteria zmęczeniowe Instytutu Asfaltowego USA. Jako moment zniszczenia nawierzchni w tej metodzie przyjmuje się wystąpienie spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych na 20% powierzchni lub wystąpienie deformacji strukturalnej o głębokości 12,5 mm.

8.6. Określenie parametrów technicznych konstrukcji nawierzchni niezbędnych do obliczenia trwałości zmęczeniowej

8.6.1. Podłoże gruntowe

Na podstawie wyników badań istniejącej konstrukcji nawierzchni na odcinku długości 1800 m charakteryzującym się lepszym stanem technicznym (mniejsze ugięcia w km 81+558 - km 83+358) stwierdzono występowanie piasków i piasków gliniastych w stanie plastycznym ze względu na występowanie wysokiego zwierciadła wody gruntowej. Dla tego odcinka przyjęto następującą wartość modułu sprężystości: $E_0 = 30$ MPa i grupę nośności podłoża gruntowego G4. Dla odcinka o długości 900 m charakteryzującego się większymi ugięciami (km 83+358 - km 84+258) wartość modułu sprężystości przyjęto: $E_0 = 20$ MPa. Wartość współczynnika Poissona dla całego analizowanego odcinka przyjęto: $\nu = 0,35$.

8.6.2. Istniejąca konstrukcja nawierzchni

Moduły sztywności istniejących warstw bitumicznych i moduły sprężystości podbudowy przyjęto na podstawie oceny technicznej odcinka oraz literatury. Przyjęta wartość modułu sztywności istniejących warstw bitumicznych $E_1 = 3000$ MPa. Wartość współczynnika Poissona dla istniejących warstw bitumicznych przyjęto: $\nu = 0,3$. Moduł sprężystości istniejącej podbudowy z mieszanki kruszywa naturalnego przyjęto $E_2 = 200$ MPa (odcinek 1) oraz $E_2 = 150$ MPa (odcinek 2). Współczynnik Poissona $\nu = 0,3$.

8.6.3. Nowe warstwy asfaltowe

Typy mieszanek. Do obliczeń przyjęto:

- normową warstwę ścieralną z mastyksu grysowego SMA11, wg Wymagań Technicznych: „Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2:2014. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania Techniczne [6], z zastosowaniem asfaltu modyfikowanego 45/80-55.
- normową warstwę wyrównawczą z betonu asfaltowego AC 16W KR3-KR4, wg Wymagań Technicznych: „Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2:2014. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania Techniczne [6], z zastosowaniem asfaltu zwykłego 35/50.

Parametry mieszanek mineralno-asfaltowych. Tablica 4 zawiera parametry mieszanek mineralno-asfaltowych przyjętych do obliczeń.

Tablica 4. Cechy mieszanek mineralno – asfaltowych przyjętych do obliczeń konstrukcji nawierzchni na analizowanym odcinku DW 213

Lp.	Cechy	Warstwa ścieralna SMA11	Warstwa wiążąca i wyrównawcza AC16W
Wymagania według WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2014			
1.	Zawartość wolnych przestrzeni, % - w recepcie laboratoryjnej	1,5-3,0	4-7
2.	Zawartość wagowa asfaltu, % wag. B_{min}	6,4	4,4
Cechy przyjęte do obliczeń wzmocnienia konstrukcji nawierzchni DW 213			
3.	Zawartość wolnych przestrzeni, % - przyjęta do obliczeń	3,0	6,0
4.	Zawartość wagowa asfaltu, % wag.	6,4	4,4
5.	Zawartość objętościowa asfaltu, % obj. - przyjęta do obliczeń	15,75	11,0
6.	Rodzaj asfaltu	PMB 45/80-55	35/50
Moduły mieszanki, dla czasu obciążenia $t = 0,02$ s, [MPa]			
7.	$T = +13^{\circ}\text{C}$	7300	10300
Współczynniki Poissona MMA			
8.	$T = +13^{\circ}\text{C}$	0,30	

8.7. Tolerancje wykonania grubości warstw

W obliczeniach przyjęto, że całkowita grubość wszystkich warstw asfaltowych wykonanych na budowie nie powinna być mniejsza od grubości projektowanej.

8.8. Projektowane wzmocnienie istniejącej konstrukcji nawierzchni

Dla odcinka 1 od km 81+558 do km 83+358 do obliczeń trwałości zmęczeniowej przyjęto następujący układ warstw:

W przypadku wzmocnienia nawierzchni do KR2:

- warstwa ścieralna: **4 cm** $E = 7300$ MPa, $\nu = 0,3$,

- warstwa wiążąca: **5 cm** $E = 10300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- istniejące warstwy bitumiczne: 12 cm $E = 3000 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- istniejąca podbudowa z kruszywa naturalnego:
48 cm $E = 200 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- podłoże gruntowe: $E = 30 \text{ MPa}$, $\nu = 0,35$.

Wyniki obliczeń odkształceń są następujące:

- Odkształcenie na spodzie warstw asfaltowych, $\epsilon_a [x10^{-6}]$ 166,5
- Odkształcenie podłoża gruntowego $\epsilon_z [x10^{-6}]$ 334,8

Wynik obliczeń trwałości zmęczeniowej dla KR2 jest następujący:

- Trwałość zmęczeniowa: 0,741 mln osi 100 kN/pas, co spełnia wymaganie jak dla KR2.

W przypadku wzmocnienia nawierzchni do KR3:

- warstwa ścieralna: **4 cm** $E = 7300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- warstwa wiążąca: **6 cm** $E = 10300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- warstwa wyrównawcza: **4 cm** $E = 10300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- istniejące warstwy bitumiczne: 12 cm $E = 3000 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- istniejąca podbudowa z kruszywa naturalnego:
48 cm $E = 200 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- podłoże gruntowe: $E = 30 \text{ MPa}$, $\nu = 0,35$.

Wyniki obliczeń odkształceń są następujące:

- Odkształcenie na spodzie warstw asfaltowych, $\epsilon_a [x10^{-6}]$ 114,3
- Odkształcenie podłoża gruntowego $\epsilon_z [x10^{-6}]$ 255,5

Wynik obliczeń trwałości zmęczeniowej dla KR3 jest następujący:

- Trwałość zmęczeniowa: 2,556 mln osi 100 kN/pas, co spełnia wymaganie jak dla KR3.

W przypadku wzmocnienia nawierzchni do KR4:

- warstwa ścieralna: **4 cm** $E = 7300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- warstwa wiążąca: **9 cm** $E = 10300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- warstwa wyrównawcza: **4 cm** $E = 10300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- istniejące warstwy bitumiczne: 12 cm $E = 3000 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- istniejąca podbudowa z kruszywa naturalnego:
48 cm $E = 200 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- podłoże gruntowe: $E = 30 \text{ MPa}$, $\nu = 0,35$.

Wyniki obliczeń odkształceń są następujące:

- Odkształcenie na spodzie warstw asfaltowych, $\epsilon_a [x10^{-6}]$ 82,54

- Odształcenie podłoża gruntowego ε_z [$\times 10^{-6}$] 198,9

Wynik obliczeń trwałości zmęczeniowej dla KR4 jest następujący:

- Trwałość zmęczeniowa: 7,45 mln osi 100 kN/pas, co spełnia wymaganie jak dla KR4.

Dla odcinka 2 od km 83+358 do km 84+258 do obliczeń trwałości zmęczeniowej przyjęto następujący układ warstw:

W przypadku wzmocnienia nawierzchni do KR2:

- warstwa ścieralna: **4 cm** $E = 7300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- warstwa wiążąca: **5 cm** $E = 10300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- warstwa wyrównawcza z mieszanki niezwiązanej:
16 cm $E = 400 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- istniejące warstwy bitumiczne: 12 cm $E = 3000 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- istniejąca podbudowa z kruszywa naturalnego:
28 cm $E = 150 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- podłoże gruntowe: $E = 20 \text{ MPa}$, $\nu = 0,35$.

Wyniki obliczeń odkształceń są następujące:

- Odształcenie na spodzie warstw asfaltowych, ε_a [$\times 10^{-6}$] 159,3
- Odształcenie podłoża gruntowego ε_z [$\times 10^{-6}$] 424,8

Wynik obliczeń trwałości zmęczeniowej dla KR2 jest następujący:

- Trwałość zmęczeniowa: 0,857 mln osi 100 kN/pas, co spełnia wymaganie jak dla KR2.

W przypadku wzmocnienia nawierzchni do KR3:

- warstwa ścieralna: **4 cm** $E = 7300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- warstwa wiążąca: **6 cm** $E = 10300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- warstwa wyrównawcza AC: **4 cm** $E = 10300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- warstwa wyrównawcza z mieszanki niezwiązanej:
16 cm $E = 400 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- istniejące warstwy bitumiczne: 12 cm $E = 3000 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- istniejąca podbudowa z kruszywa naturalnego:
28 cm $E = 150 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- podłoże gruntowe: $E = 20 \text{ MPa}$, $\nu = 0,35$.

Wyniki obliczeń odkształceń są następujące:

- Odształcenie na spodzie warstw asfaltowych, ε_a [$\times 10^{-6}$] 110,5
- Odształcenie podłoża gruntowego ε_z [$\times 10^{-6}$] 315,0

Wynik obliczeń trwałości zmęczeniowej dla KR3 jest następujący:

- Trwałość zmęczeniowa: 2,85 mln osi 100 kN/pas, co spełnia wymaganie jak dla KR3.

W przypadku wzmocnienia nawierzchni do KR4:

- warstwa ścieralna: **4 cm** $E = 7300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- warstwa wiążąca: **10 cm** $E = 10300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- warstwa wyrównawcza AC: **4 cm** $E = 10300 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- warstwa wyrównawcza z mieszanki niezwiązanej:
16 cm $E = 400 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- istniejące warstwy bitumiczne: 12 cm $E = 3000 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- istniejąca podbudowa z kruszywa naturalnego:
28 cm $E = 150 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$,
- podłoże gruntowe: $E = 20 \text{ MPa}$, $\nu = 0,35$.

Wyniki obliczeń odkształceń są następujące:

- Odkształcenie na spodzie warstw asfaltowych, $\epsilon_a [x10^{-6}]$ 82,27
- Odkształcenie podłoża gruntowego $\epsilon_z [x10^{-6}]$ 253,6

Wynik obliczeń trwałości zmęczeniowej dla KR4 jest następujący:

- Trwałość zmęczeniowa: 7,54 mln osi 100 kN/pas, co spełnia wymaganie jak dla KR4.

9. ZESTAWIENIE PROPONOWANYCH ROZWIĄZAŃ WZMOCNIEŃ I NOWYCH KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń przy wykorzystaniu metody mechanistycznej przyjęto następujące rozwiązania modernizacji analizowanego odcinka drogi wojewódzkiej 213 przedstawione w tablicy 5.

Tablica 5. Proponowane rozwiązania wzmocnień istniejącej nawierzchni DW 213 w zależności od kategorii ruchu

Lokalizacja odcinka jednorodnego	Grubość i rodzaj wzmocnienia w zależności od wymaganej kategorii ruchu:		
	KR2 (do 0,5 mln osi 100 kN/pas))	KR3 (do 2,5 mln osi 100 kN/pas)	KR4 (do 7,3 mln osi 100 kN/pas)
Odcinek 1 (1800 m) km 81+558 - km 83+358	9 cm - MMA	14 cm - MMA	17 cm - MMA
Odcinek 2 (900 m) km 83+358 - km 84+258	9 cm – MMA 16 cm - MN	14 cm – MMA 16 cm - MN	18 cm – MMA 16 cm MN

Oznaczenia: MMA – mieszanka mineralno-asfaltowa, MN – mieszanka niezwiązana

Dodatkowo w miejscach występowania znacznych uszkodzeń istniejącej konstrukcji nawierzchni DW 213 należy zastosować nową nawierzchnię zgodnie z katalogiem [7] i rozwiązaniami przedstawionymi w tablicy 6.

Tablica 6. Proponowane rozwiązania nowej konstrukcji nawierzchni w miejscach znacznie zdegradowanych w zależności od kategorii ruchu (cały odcinek od km 81+558 - km 84+258)

Grubość i rodzaj warstw nowej konstrukcji nawierzchni w zależności od wymaganej kategorii ruchu:		
KR2 (do 0,5 mln osi 100 kN/pas)	KR3 (do 2,5 mln osi 100 kN/pas)	KR4 (do 7,3 mln osi 100 kN/pas)
12 cm – MMA 25 cm – MN dla C_{NR} 55 cm – WM, CBR>25%	16 cm – MMA 22 cm – MN dla $C_{50/30}$ 24 cm – PP 40 cm – WUP	20 cm – MMA 22 cm – MN dla $C_{50/30}$ 24 cm – PP 40 cm – WUP

Oznaczenia: MMA – mieszanka mineralno-asfaltowa, MN – mieszanka niezwiązana, WM – warstwa mrozochronna, PP – podbudowa pomocnicza, WUP – warstwa ulepszonego podłoża

10. PODSUMOWANIE

Zaprojektowane konstrukcje nawierzchni przeniosą przewidywane obciążenia ruchem (KR2, KR3 lub KR4) w 20-letnim okresie eksploatacji pod warunkiem zachowania reżimów technologicznych podczas modernizacji drogi oraz odpowiednich zabiegów utrzymaniowych w okresie jej eksploatacji. Dodatkowo z uwagi na występujące znaczne deformacje istniejącej nawierzchni zaleca się zastosowanie rozwiązań technologicznych zmierzających do wykorzystania lżejszego kruszywa do warstw niezwiązanych. Zalecenie to jest podyktowane ochroną istniejącej nawierzchni przed dodatkowym znacznym dociążeniem.

Opracował:



Dr. inż. Marek Pszczoła