

**PROJEKT KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DROGI EKSPRESOWEJ S8  
NA OBWODNICY MIASTA MARKI**

Opracował:



Prof. dr hab. inż. Antoni Szydło

Wrocław, październik 2012 r

## **Spis treści**

1. Wprowadzenie	3
2. Założenia projektowe	3
2.1. Analiza ruchu	3
2.2. Okresy żywotności nawierzchni	6
2.3. Metody projektowania nawierzchni	6
3. Obliczenia wytrzymałościowe	15
3.1. Nawierzchnie asfaltowe i betonowe	15
4. Wymagania materiałowe	18
4.1. Uwagi ogólne	18
4.2. Podłoże gruntowe	18
4.3. Warstwa mrozochronna	18
4.4. Kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie	19
4.5. Mieszanki mineralno-asfaltowe	19
4.6. Chudy beton	19
4.7. Geowłóknina	19
4.8. Beton cementowy	20
Literatura	21

## 1. Wprowadzenie

Przedmiotem raportu jest projekt konstrukcji nawierzchni drogi S8 na obwodnicy miasta Marki od węzła Drewnica do węzła Radzymin 2. Projekt wykonano na zlecenie Transprojektu Warszawa, który realizuje prace zlecone w ramach umowy z Oddziałem Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w Warszawie

Konstrukcję nawierzchni zaprojektowano w oparciu o dane ruchowe, warunki gruntowe oraz analizę wytrzymałościową różnych rodzajów materiałów jakie mogą być użyte do ich budowy.

Konstrukcję zaprojektowano w dwóch opcjach:

- opcja 1 z mieszanek mineralno-asfaltowych typu AC w podbudowie i warstwie wiążącej,
- opcja 2 z betonu cementowego C35/45 i ekspozycji XF4

Konstrukcję zaprojektowano dla obciążenia obliczeniowego 115 kN/oś.

Przyjęto okres żywotności nawierzchni z mma – 20 lat oraz z betonu cementowego – 40 lat.

## 2. Założenia projektowe

### 2.1. Analiza ruchu

#### 2.1.1 Uwagi ogólne

Analizę ruchu przeprowadzono na podstawie prognozy ruchu dostarczonej przez Transprojekt Warszawa Sp. z o.o. Prognoza ruchu zatwierdzona została przez Departament Studiów Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w Warszawie.

**Jako obciążenie obliczeniowe przyjęto oś o nacisku 115 kN.**

### 2.1.2. Zestawienie prognozowanego ruchu

Przyjęto prognozowany ruch według tabeli 1. SDR i rodzajowa struktura ruchu pojazdów silnikowych prognozowana do obliczeń przyjęto odcinek "Drewnica" - "Zielonka 2" jako odcinek najbardziej obciążony

Tabela 1. Nawierzchnia z mma - 6 pasów ruchu

Rok	SDR poj./dobę	Cbp poj./dobę	Osie100kN /dobę	Czp poj./dobę	Osie100kN /dobę	A poj.dobę	Osie100kN /dobę	Osie100 kN/rok/pas
2016	52000	1754	191	3839	7486	720	428	1035414
2017	53860	1781	194	4029	7857	720	428	1083192
2018	55720	1808	197	4219	8227	720	428	1130843
2019	57580	1835	200	4409	8598	720	428	1178622
2020	59440	1862	203	4599	8968	720	428	1226272
2021	61300	1889	206	4789	9339	720	428	1274051
2022	63160	1916	209	4979	9709	720	428	1321702
2023	65020	1943	212	5169	10080	720	428	1369480
2024	66880	1970	215	5359	10450	720	428	1417131
2025	68740	1997	218	5549	10821	720	428	1464909
2026	70600	2019	220	5736	11185	720	428	1511666
2027	71960	2025	221	5901	11507	720	428	1552929
2028	73320	2031	221	6066	11829	720	428	1594065
2029	74680	2037	222	6231	12150	720	428	1635200
2030	76040	2043	223	6396	12472	720	428	1676463
2031	77400	2051	224	6562	12796	720	428	1717982
2032	78740	2057	224	6727	13118	720	428	1759118
2033	80080	2063	225	6892	13439	720	428	1800253
2034	81420	2069	226	7057	13761	720	428	1841516
2035	82760	2075	226	7222	14083	720	428	1882652

20 lat Osie 100kN **29 473 460**

20 lat Osie 115kN **16 849 977**

Cbp - samochody ciężarowe bez przyczep

Czp - samochody ciężarowe z przyczepami

A – autobusy

Uwaga: Podział kategorii Czp na Czp1 i Czp2 (zgodnie z KTKNS) wykonano według średniej dla kraju z pomiaru dodatkowego samochodów ciężarowych w GPR 2010

Tabela 2. Nawierzchnia betonowa - 6 pasów ruchu

Rok	SDR poj./dobę	Cbp poj./dobę	Osie115kN /dobę	Czp <sup>1</sup> poj./dobę	Osie115kN /dobę	Czp <sup>2</sup> poj./dobę	Osie115kN /dobę	poj.
2016	52000	1754	18	653	315	3186	3916	
2017	53860	1781	18	685	331	3344	4110	
2018	55720	1808	18	717	346	3502	4304	
2019	57580	1835	18	750	362	3659	4497	
2020	59440	1862	19	782	378	3817	4691	
2021	61300	1889	19	814	393	3975	4885	
2022	63160	1916	19	846	409	4133	5079	
2023	65020	1943	19	879	425	4290	5272	
2024	66880	1970	20	911	440	4448	5467	
2025	68740	1997	20	943	455	4606	5661	
2026	70600	2019	20	975	471	4761	5851	
2027	71960	2025	20	1003	484	4898	6020	
2028	73320	2031	20	1031	498	5035	6188	
2029	74680	2037	20	1059	511	5172	6356	
2030	76040	2043	20	1087	525	5309	6525	
2031	77400	2051	21	1116	539	5446	6693	
2032	78740	2057	21	1144	553	5583	6862	
2033	80080	2063	21	1172	566	5720	7030	
2034	81420	2069	21	1200	580	5857	7198	
2035	82760	2075	21	1228	593	5994	7367	
2036	84100	2082	21	1256	607	6131	7535	
2037	85400	2088	21	1284	620	6268	7703	
2038	86800	2095	21	1312	634	6405	7872	
2039	88200	2101	21	1340	647	6542	8040	
2040	89500	2107	21	1368	661	6679	8208	
2041	90900	2114	21	1396	674	6817	8378	
2042	92200	2120	21	1424	688	6954	8546	
2043	93600	2126	21	1452	701	7091	8715	
2044	94900	2132	21	1480	715	7228	8883	
2045	96300	2139	21	1508	728	7365	9052	
2046	97600	2145	21	1536	742	7502	9220	
2047	98900	2151	22	1565	756	7638	9387	
2048	100300	2158	22	1593	769	7775	9555	
2049	101700	2164	22	1621	783	7912	9724	
2050	103000	2170	22	1649	796	8049	9892	
2051	104400	2177	22	1677	810	8187	10062	
2052	105700	2183	22	1705	824	8324	10230	
2053	107100	2189	22	1733	837	8461	10399	
2054	108400	2195	22	1761	851	8598	10567	
2055	109800	2202	22	1789	864	8735	10735	

40 lat	Osie 115kN	41577264
--------	------------	----------

Cbp - samochody ciężarowe bez przyczep

Czp - samochody ciężarowe z przyczepami

A - autobusy

Powyżej przedstawiono zatwierdzony przez GDDKiA ruch samochodów w pojazdach na dobę w obu kierunkach. Dla drogi S8 przyjęto, jako reprezentatywny ruch na odcinku od węzła "Drewnica" - "Zielonka 2" ze względu na największe obciążenie.

### 2.1.3. Liczba osi obliczeniowych

Struktura ruchu przedstawiona powyżej w tabelach 1, 2 została przeliczona na osie obliczeniowe 115 kN.

Dla nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych (podatnej) obliczono 16 849 977, przyjęto 16 900 000. Dla betonu cementowego obliczono 41 577 264 przyjęto 41 600 000.

## 2.2. Okres żywotności nawierzchni

Obliczenia grubości warstw konstrukcji nawierzchni przeprowadzono dla 20-letniego okresu żywotności dla nawierzchni podatnej (z mma) oraz 40-letniego okresu dla nawierzchni betonowej.

## 2.3. Metoda projektowania nawierzchni

### 2.3.1. Uwagi ogólne

W związku z brakiem w kraju metod wymiarowania konstrukcji nawierzchni, które spełniałyby wymagania stawiane nawierzchniom autostradowym, w niniejszym opracowaniu zastosowano metody mechanistyczne wykorzystujące teorię układów warstwowych. Metody takie stosowane są do projektowania nawierzchni w Belgii [2], Francji [3], teorie te wykorzystują znane w światowej technice drogowej metody projektowania takie jak: Shell [4], Instytutu Asfaltowego [5] lub francuska [3].

Metody mechanistyczne pozwalają na analizę konstrukcji nawierzchni, opartą o elementy mechaniki (szczególnie teorię układów warstwowych) i mechaniczne właściwości materiałów drogowych i podłoża gruntowego. Cechą charakterystyczną

tych metod jest określenie trwałości zmęczeniowej konstrukcji. W metodach tych na podstawie doświadczeń określa się:

- charakterystyki zmęczeniowe materiałów,
- stałe materiałowe, opisujące warstwy i podłoże w modelu,
- funkcje określające związki pomiędzy wynikami badań laboratoryjnych a rzeczywistą pracą nawierzchni.

W niniejszych obliczeniach wykorzystano następujące kryteria wymiarowania:

- dla mas mineralno-asfaltowych przyjęto kryterium Instytutu Asfaltowego, określające dopuszczalne odkształcenia poziome tych warstw,
- dla podłoża gruntowego przyjęto kryterium dopuszczalnych pionowych odkształceń wg Instytutu Asfaltowego jak przy projektowaniu konstrukcji w Katalogu nawierzchni podatnych [6].

Dla nawierzchni betonowych przyjęto kryterium naprężeń rozciągających w betonie. Podobne jak stosowano przy projektowaniu konstrukcji nawierzchni w Katalogu nawierzchni sztywnych [7].

### 2.3.2. Model obliczeniowy nawierzchni

Na rysunku 1 przedstawiono model obliczeniowy konstrukcji jezdni z warstwą ścieralną asfaltową w wykopie i na nasypie.

Obciążenie modelu przyjęto równe naciskowi koła o wartości 57,5 kN. Odpowiada to wielkości średnicy powierzchni obciążającej równej 0,32 m i wielkości obciążenia jednostkowego równego 0,72 MPa.

Warstwy w modelu opisane są przez moduły sprężystości ( $E_i$ ) oraz współczynniki Poissona ( $\nu_i$ ).

Warstwa o grubości  $h_6$  - jest warstwą ścieralną.

Warstwa o grubości  $h_5$  - jest warstwą wiążącą.

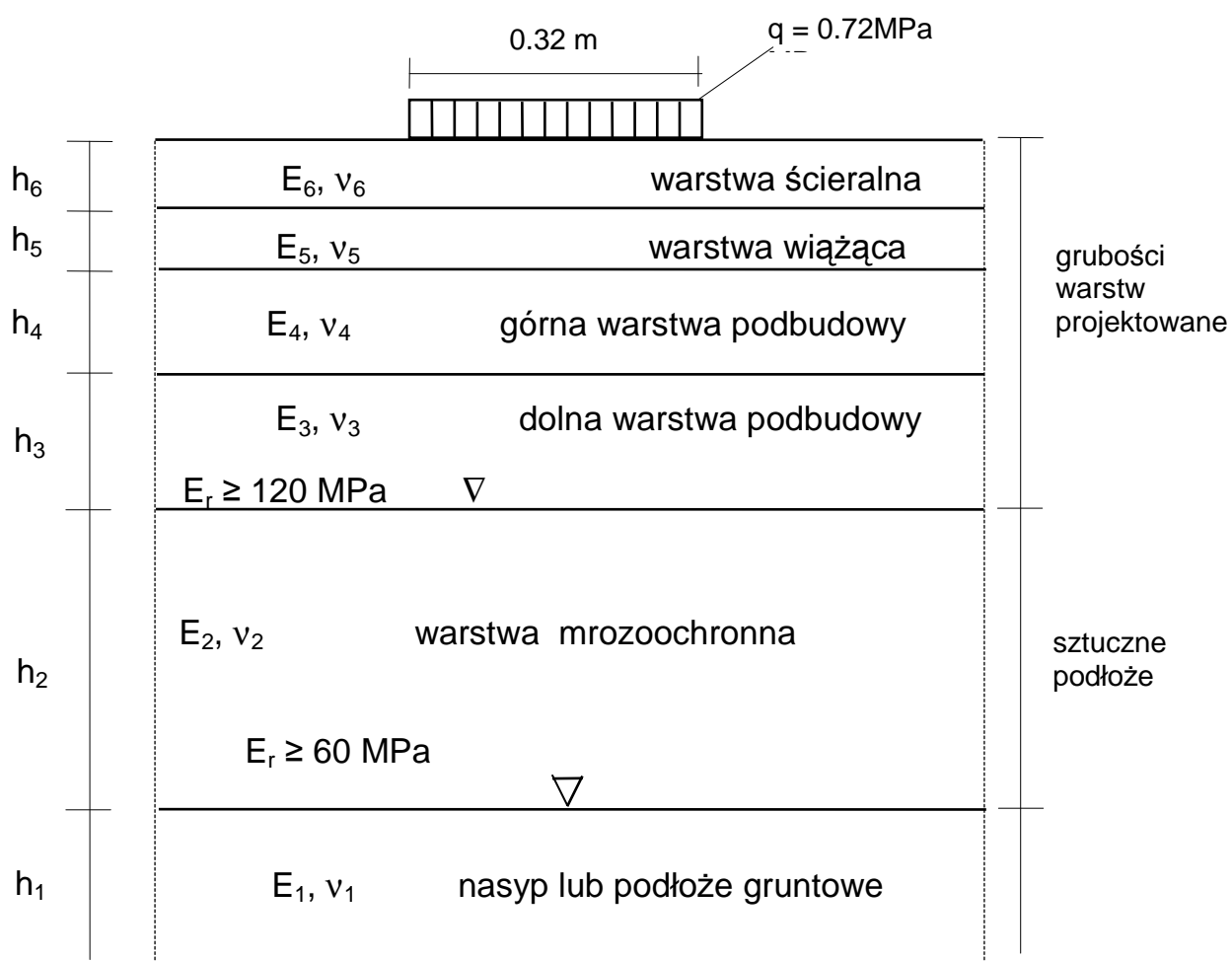
Warstwa o grubości  $h_4$  - jest górną warstwą podbudowy.

Warstwa o grubości  $h_3$  - jest dolną warstwą podbudowy

Warstwa o grubości  $h_2$  jest warstwą mrozochronną. Na powierzchni warstwy mrozochronnej wtórny moduł powinien wynosić min. 120 MPa. Pod warstwą mrozochronną wtórny moduł podłoża powinien wynosić min. 60 MPa.

Grubości warstw  $h_6, h_5, h_4, h_3$ , są określane w obliczeniach wytrzymałościowych.

Grubości warstw  $h_5, h_4, h_3$ , są określane w obliczeniach wytrzymałościowych.

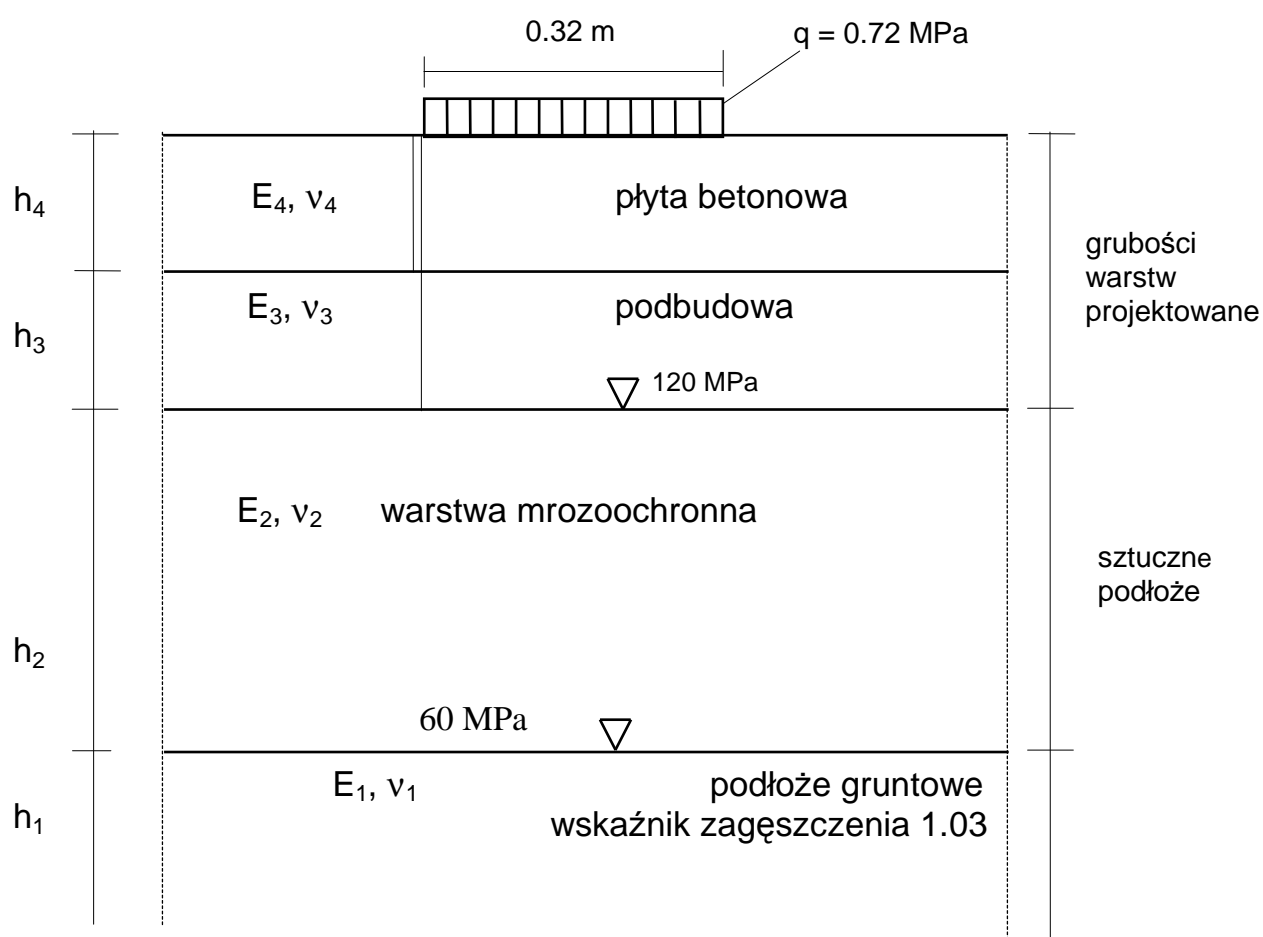


Rys. 1. Model konstrukcji nawierzchni podatnej w nasypie i wykopie



Na rys. 2 pokazano model konstrukcji nawierzchni z warstwą z betonu cementowego w nasypie i wykopie.

- warstwa ścieralna z betonu cementowego, podzielonego na płyty szczelinami skurczowymi roboczymi, wymiary płyt zostaną podane w dalszych punktach, beton klasy C35/45, grubość obliczana
- warstwa z geowłókniny,
- warstwa podbudowy z chudego betonu, o  $R = 6-9$  MPa, grubości 0,2 m
- warstwa mrozoochronna
- podłoże gruntowe o module 60 MPa.



Rys. 2. Model konstrukcji nawierzchni z warstwą z betonu cementowego w wykopie i nasypie

### 2.3.3. Warunki klimatyczne

Analizowany odcinek leży w strefie przemarzania 1,2 m. Przyjęto grubość konstrukcji równą 1,05 m. Temperaturę mieszanek mineralno-asfaltowych przyjęto średnioroczną równą  $10^0$  C.

### 2.3.4. Warunki gruntowo - wodne

W obliczeniach wytrzymałościowych przyjęto, że podłoże naturalne wzmocnione jest sztucznym podłożem, składającym się z warstwy mrozochronnej. Wtórny moduł podłoża powinien wynosić min. 60 MPa. Podłoże należy doprowadzić do takiego modułu

### 2.3.5. Układy technologiczne warstw

Przyjęto następujące rodzaje warstw dla nawierzchni asfaltowej z AC:

- \* warstwa ścieralna z mieszanki mineralno-asfaltowej typu SMA 11
- \* warstwa wiążąca z betonu asfaltowego AC16W lub AC 22W,
- \* górna warstwa podbudowy z betonu asfaltowego AC16P lub AC22P,
- \* dolną warstwę podbudowy zaprojektowano z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie 0/31,5 lub C50/10 mieszanka niezwiązana,
- \* warstwa mrozochronna w wykopie i nasypie,
- \* podłoże gruntowe o wtórnym module min. 60 MPa .

Dla nawierzchni betonowej przyjęto następujący układ warstw:

- \* warstwa ścieralna z betonu cementowego, podzielonego na płyty szczelinami skurczowymi roboczymi, wymiary płyt zostaną podane w dalszych punktach, beton klasy C 35/45, grubość obliczana
- warstwa z geowłókniny,
- \* warstwa podbudowy z chudego betonu, o  $R = 6-9$  MPa, grubości 0,2 m

- \* warstwa mrozoochronna w wykopie i nasypie,
- \* podłoże gruntowe o wtórnym module min. 60 MPa.

### 2.3.6. Stałe materiałowe

Poniżej podano wartości modułów sprężystości lub sztywności materiałów przewidzianych do wbudowania w poszczególne warstwy.

#### **Mieszanki mineralno-asfaltowe**

W tabeli 3 zestawione obliczeniowe wartości modułów sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych (betonów asfaltowych) przyjętych do obliczeń dla średniorocznej temperatury  $10^0$  C.

Tabela 3. Obliczeniowe wartości modułów sztywności betonów asfaltowych

Rodzaj mieszanki	E, MPa
Mieszanka SMA do warstwy ścieralnej	9000
Beton asfaltowy AC16W lub AC22W do warstwy Wiążącej, $t=10^0$ C, AC	10 500
Beton asfaltowy AC16P lub AC22P do warstwy Podbudowy, $t=10^0$ C, AC	10 500

Wartości współczynnika Poissona warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych przyjęto równe 0,35.

#### **Podbudowa z kruszywa stabilizowanego mechanicznie**

W obliczeniach wytrzymałościowych przyjęto następujące wartości modułów materiałów rozdrobnionych:

- kruszywo łamane o ciągłym uziarnieniu,  $E = 400 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 35$ .

### **Warstwa mrozoochronna**

Przyjęto moduł min.  $150 \text{ MPa}$ .

### **Beton cementowy**

Przyjęto moduł  $E = 35000 \text{ MPa}$  w przypadku działania obciążeń od pojazdów samochodowych oraz  $25000 \text{ MPa}$  w przypadku działania temperatury. Współczynnik Poissona przyjęto równy  $0,20$ .

### **Podbudowa z chudego betonu**

Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach  $6-9 \text{ MPa}$ .

Moduł sprężystości przed spękaniami warstwy  $E = 12000 \text{ MPa}$ .

Moduł sprężystości po spękaniu warstwy  $E = 800 \text{ MPa}$ .

Współczynnik Poissona przed spękaniami,  $\nu = 0,20$ , po spękaniu  $\nu = 0,35$ .

### **Podłoże gruntowe**

W obliczeniach wytrzymałościowych przyjęto, że moduł podłoża wynosi  $60 \text{ MPa}$  w nasypie i wykopie.

#### **2.3.7. Kryteria wymiarowania**

Dla mieszanek mineralno-asfaltowych typu AC przyjęto kryterium Instytutu Asfaltowego opisane zależnością (1):

$$N = 18,4xCx(6,167x10^{-5}x\varepsilon_r^{-3,291}xE^{-0,854}) \quad (1)$$

Gdzie:  $N$  – liczba obciążeń,

$\varepsilon_r$  – odkształcenia rozciągające w warstwie bitumicznej,

$E$  – moduł sztywności, MPa,

$C$  – parametr zależny od zawartości wolnych przestrzeni oraz ilości bitumu w warstwie asfaltowej.

$$C = 10^M,$$

$$M. = 4,84x(V_B/(V_v+V_B) - 0,69),$$

Gdzie:  $V_B$  - zawartość bitumu, % obj.,

$V_v$  – zawartość wolnych przestrzeni, %.

Kryterium odkształceń podłoża opisano zależnością (2)

$$N = \left(\frac{k}{\varepsilon_z}\right)^{\frac{1}{m}} \quad (2)$$

gdzie:

$N$  – liczba powtarzalnych obciążeń,

$$k = 1,05x10^{-2},$$

$$m = 0,223,$$

$\varepsilon_z$  – odkształcenie podłoża.

Dla betonu cementowego przyjęto kryterium wg (3).

$$\sigma/R_{zg} = 1 - 0,08 \log N = s \quad (3)$$

gdzie:  $s$  – współczynnik zmęzeniowy,

$N$  – liczba powtarzalnych obciążeń,

$R_{zg}$  – wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu, równa 5,5 MPa,

$\sigma$  - naprężenia w płycie.

Dla chudego betonu przyjęto kryterium (4).

$$\text{Log } N = 11,784 - 12,121 \sigma/R_{zg}. \quad (4)$$

Wytrzymałość na zginanie przyjęto 1 MPa.

Wymiarowanie grubości płyty dla przyjętego obciążenia oblicza się sprawdzając warunek (5):

$$\sigma^{\max} = \sigma_{\text{dop}} \quad (5)$$

gdzie:  $\sigma^{\max}$  – maksymalne naprężenia obliczone z (6 ),

$\sigma_{\text{dop}}$  – naprężenia dopuszczalne równe  $= R_{zg} \times s$ ,

$R_{zg}$  – wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu,

$s$  - współczynnik bezpieczeństwa wg (3).

Naprężenia maksymalne oblicza się z następujących zależności:

$$\sigma^{\max} = \alpha \sigma_r + \delta \sigma_t \quad (6)$$

gdzie:

$\sigma_r$  - maksymalne naprężenia rozciągające w płycie obliczone w modelu od obciążeń kołem obliczeniowym (osią),

$\sigma_t$  – maksymalne naprężenia w płycie obliczone od temperatury,

$\alpha$  - współczynnik przenoszenia sił z jednej płyty na drugą:

dla płyt dyblowanych wynosi 0,8.

$\delta$  - współczynnik uwzględniający zmniejszanie się naprężeń przy obciążeniach powtarzalnych:

dla nawierzchni o rozstawie szczelin mniejszym od 80m. wynosi 0,5.

### **3. Obliczenia wytrzymałościowe**

#### **3.1. Nawierzchnie asfaltowe i betonowe**

##### **3.1.1. Uwagi ogólne**

W niniejszym punkcie przedstawiono wyniki obliczeń wytrzymałościowych, przeprowadzonych dla nawierzchni asfaltowych. Przyjęto, że układ warstw będzie taki jak sprecyzowano w p. 2.3.5 t.j. warstwa ścieralna z SMA, wiążąca z betonu asfaltowego oraz górna warstwa podbudowy z mieszanki mineralno-asfaltowej typu beton asfaltowy AC, dolna warstwa podbudowy z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie. Układ ten spoczywa na sztucznym podłożu składającym się z warstwy mrozochronnej. Podłoże jest doprowadzone do nośności o module wtórnym min. 60 MPa.



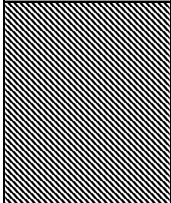
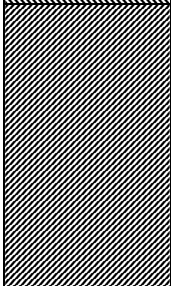
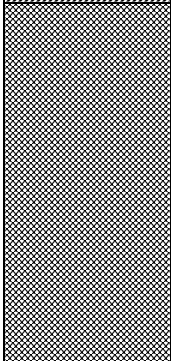

W obliczeniach przyjęto, że grubość warstwy ścieralnej jest ustalona i wynosi - 0,04 m. Grubość warstwy wiążącej też jest ustalona i wynosi 0,08 m.

Wymiarowaniu podlegają dolna i górna warstwa podbudowy.

##### **3.1.2. Wyniki obliczeń**

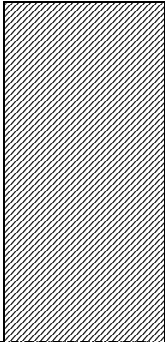
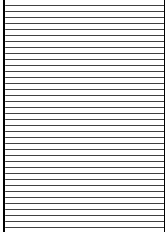
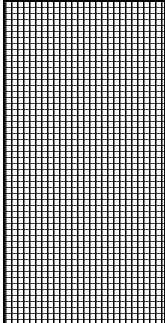
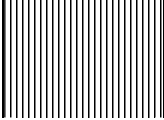
Obliczenia przeprowadzono wykorzystując program UNOR [8].

Wyniki obliczeń zestawiono na rys. 3 dla nawierzchni podatnej i 4 dla nawierzchni betonowej.

0,00 m		
	0,04	Mieszanka mineralno-asfaltowa SMA 11, grubości 0,04 m.
	0,13	Beton asfaltowy AC16W lub AC22W, AC grubości 0,09 m,
	0,28	Beton asfaltowy AC16P lub AC22P, AC grubości 0,15 m, $\nabla E_r'' \geq 180 \text{ Mpa}$
	0,48	Kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie, 0/31,5 lub C50/10 mieszanka niezwiązana Grubości 0,20 m. $\nabla E_r'' \geq 120 \text{ Mpa}$
	1,05	0,57 m warstwa mrozoochronna z gruntu niewysadzinowego CBR $\geq 35 \%$ , $k \geq 5 \text{ m/d}$ (lub $k \geq 8 \text{ m/d}$ ), WP $> 35$ , kb $< 1\text{m}$ $\nabla E_r'' \geq 60 \text{ Mpa}$
		Podłoże gruntowe

Rys. 3. Konstrukcja nawierzchni dla drogi ekspresowej S8 na odcinku obwodnicy miasta Marki, przeniesie 20 500 000 osi 115 kN.



0,00 m		
	0,28	Beton cementowy klasy C 35/45, grubości 0,28 m.
	0,48	Geowłóknina Chudy beton o wytrzymałości 6-9 MPa , grubości 0,20 m $\nabla E_r'' \geq 120 \text{ Mpa}$
	1,05	0,57 m warstwa mrozoochronna z gruntu niewysadzinowego CBR $\geq 35 \%$ , $k \geq 5 \text{ m/d}$ (lub $k \geq 8 \text{ m/d}$ ), WP > 35, kb < 1m $\nabla E_r'' \geq 60 \text{ Mpa}$
		Podłoże gruntowe

Rys. 4. Projektowany układ warstw konstrukcji nawierzchni z betonu cementowego dla obwodnicy miasta Marki dla N = 49 000 000 obciążeń osi 115 kN.

## 4. Wymagania materiałowe

### 4.1. Uwagi ogólne

W niniejszym punkcie zostaną przedstawione ogólne wymagania materiałowe, wynikające z zastosowanej metody wymiarowania.

### 4.2. Podłoże gruntowe

Wskaźnik zagęszczenia równy lub większy od 1,03.

Orientacyjny stosunek modułów wtórnego do pierwotnego powinien wynosić  $E_2/E_1 \leq 2,2$  dla gruntów sypkich oraz  $E_2/E_1 \leq 2,0$  dla gruntów spoistych. Rzeczywiste stosunki modułów dla gruntów wbudowywanych należy ustalić na budowie poprzez korelacje ze wskaźnikiem zagęszczenia. Minimalny wtórny moduł pod warstwą mrozoochronną powinien być min. 60 MPa. Doprowadzenie gruntu do w/w modułów możliwe przez zastosowanie stabilizacji cementem, wapnem, popiołami itp.

W przypadku gruntów słabonośnych należy zastosować indywidualne wzmocnienie.

### 4.3. Warstwa mrozoochronna

Należy użyć kruszywa naturalnego lub łamanego lub ich mieszaninę.

Wskaźnik zagęszczenia równy lub większy od 1,03. Wbudowywać przy wilgotności optymalnej.

Stosunek modułów  $E_2/E_1 \leq 2,2$ .

Wskaźnik CBR  $\geq 35$  %.

Należy użyć materiału niewysadzinowego o następujących cechach:

- ziaren poniżej 0,075mm nie więcej niż 5%,
- wskaźnik piaskowy WP  $> 35$ ,
- kapilarność bierna  $< 1,0$  m,
- wodoprzepuszczalność 5 m/dobę,

-  $D_{60}/D_{10} \geq 5$ ,

$D_{60}$  - wymiar sita, przez które przechodzi 60% kruszywa tworzącego warstwę mrozochronną,

$D_{10}$  - wymiar sita, przez które przechodzi 10% kruszywa tworzącego warstwę mrozochronną.

#### 4.4. Kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie

Należy przygotować zgodnie z WT-4 2010 jako podbudowa pomocnicza Wskaźnik zagęszczenia równy lub większy od 1,03. Wbudowywać przy wilgotności optymalnej.

Stosunek modułów  $E_2/E_1 \leq 2,2$ . Wtórny moduł na górnej powierzchni warstwy większy od 180 MPa.

#### 4.5. Mieszanki mineralno-asfaltowe

Na warstwę ścieralną należy zastosować mieszankę SMA 0/11 wg WT-2, 2010 dla KR6.

Na warstwę podbudowy i wiążącą zastosować AC 16 wg WT-2, 2010 dla KR6.

#### 4.6. Chudy beton

Wytrzymałość  $R = 6-9$  Mpa. Wykonanie zgodnie z PN-S-96013. Chudy beton należy wykonywać w wytwórniach.

#### 4.7. Geowłóknina

Zadaniem geowłókniny umieszczonej pod płytą betonową jest odprowadzenie wody przenikającej poprzez szczeliny oraz zapobieżenie przekopowaniu się spękań z podbudowy z chudego betonu.

Geowłóknina powinna spełniać następujące wymagania:

- być odporna na alkalia,
- wytrzymałość na rozciąganie min 10 kN/m.,
- grubość 2 mm przy obciążeniu 20 kN/m<sup>2</sup>,
- wskaźnik wodoprzepuszczalności min 10<sup>-4</sup> m/sek przy obciążeniu 20 kN/m<sup>2</sup>.

#### 4.8. Beton cementowy

Należy zastosować beton klasy C 35/45 i wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu 5,5 MPa.

Do wykonania betonu należy zastosować środki napowietrzające oraz plastyfikatory posiadające aprobatę techniczną.

Szczeliny skurczowe poprzeczne i podłużne winny być cięte za pomocą piły w okresie do 24 godzin po ułożeniu nawierzchni w takim czasie ażeby nie nastąpiło samoczynne pęknięcie nawierzchni. Pierwsze cięcia dla szczelin poprzecznych należy wykonać na szerokość 3 mm i głębokość 1/3 grubości płyty. Cięcie poszerzające należy wykonać na szerokość 8 mm i głębokość 25 mm. Dla szczelin podłużnych pierwsze cięcia należy wykonać na szerokość 3 mm i głębokość 1/3 grubości płyty. Cięcie poszerzające należy wykonać na szerokość 6 mm i głębokość 25 mm.

Szczeliny poprzeczne i podłużne należy wypełnić wkładką zabezpieczającą posiadającą aprobatę lub wypełniać masą zalewową.. Wkładki mają zapobiegać przedostaniu się ciał obcych do szczeliny. Wkładki szczelinowe nie mogą ulegać rozkładowi, muszą poddawać się ścisaniu, nie mogą pochłaniać wody.

W szczelinach poprzecznych i podłużnych należy zastosować dyble, służące do przenoszenia obciążeń oraz zapewnienia równej wysokości poszczególnych płyt. W szczelinach podłużnych można zastosować kotwy.

Dyble posiadają średnicę 25 mm oraz min. długość 60 cm. Rozstaw dybli co ok. 25 cm. Rozstaw kotew co 80 cm o średnicy 20 mm i długości 80 cm.

Nawierzchnie po ułożeniu należy pokrywać środkami zabezpieczającymi (mającymi aprobatę techniczną) przed utratą wody.

## **Literatura**

1. Analiza i prognoza ruchu w ciągu drogi krajowej nr 8 (na odcinku obwodnicy miasta Marki) , Transprojekt Warszawa, 2011.
2. Code de bonne pratique pour le dimensionnement des chaussées a revêtement hydrocarbonnées. Recomendations CRR - 49/83, Bruxelles 1983r.
3. Conception et dimensionnement des structures de chaussées. Guide technique. 1994.
4. Bands User Manual - Bitumen and asphalt nomographs developed by Shell, version 1989, Londyn 1990.
5. Thickness design-asphalt pavements for highways and street. The Asphalt Institute, Maryland, 1984r.
6. Katalog nawierzchni podatnych i półsztywnych, Warszawa 1997
7. Katalog nawierzchni sztywnych, Warszawa, 2001 r.
8. Szydło A., Statyczna identyfikacja parametrów modeli nawierzchni lotniskowych. Monografia nr 17, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1995 r.
9. Wymagania Techniczne WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2010. nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych, Warszawa, 2010
10. Wymagania techniczne WT-4, 2010. Mieszanki niezwiązane na drogach krajowych
11. Wymagania techniczne WT-5, 2010. Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym dla dróg krajowych.