

SPRAWOZDANIE

METODA WZMOCNIENIA NAWIERZCHNI DROGOWEJ WARSTWĄ Z MIESZANKI ŻWIROWO-EMULSYJNEJ (GRAVE-EMULSION) Część II

Temat Nr TN-226

Zleceniodawca: Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad
ul. Żelazna 59, 00-848 Warszawa

Umowa: Nr 4/GDDKiA/2002 z 10.06.2002 r.

Kierownik Tematu - dr inż. Zenon Szczepaniak
Opracowali:

dr inż. Zenon Szczepaniak
mgr inż. Tomasz Mechowski
mgr Paweł Skierczyński

Kierownik Zakładu Technologii Nawierzchni

prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Warszawa, listopad 2004 r.

SPIS TREŚCI

1 PRZYGOTOWANIE I WYKONANIE ODCINKA DOŚWIADCZALNEGO WZMOCNIENIA NAWIERZCHNI O DŁUGOŚCI OD 300 M DO 1000 M.....	4
1.1 WPROWADZENIE	4
1.2 BADANIA WARUNKÓW GRUNTOWO-WODNYCH	4
1.3 BADANIE UGIĘĆ FWD PRZED I PO WYKONANIU WZMOCNIENIA I ZAPROJEKTOWANIE WZMOCNIENIA KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI Z WARSTWĄ GE.....	9
1.4 WYKONANIE ODCINKA DOŚWIADCZALNEGO	12
1.4.1 Przygotowanie receptury na mieszankę GE.....	12
1.4.2 Bazalt z Rembiszowa	12
1.4.3 Kruszywo polodowcowe z Drawska.....	13
1.4.4 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 3,6 %(m/m)	14
1.4.5 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 4,0 % (m/m)	15
1.4.6 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 4,4 % (m/m)	16
1.4.7 Badania modułu sztywności	18
1.4.8 Badanie siły złączenia starej nawierzchni z warstwą wzmacniającą.....	18
1.4.9 Przygotowanie próby drogowej.....	19
1.4.10 Produkcja i układanie mieszanki GE.....	20
1.4.11 Badania właściwości mieszanki GE z próby drogowej.....	25
2 BADANIE UGIĘĆ FWD I CZASZY UGIĘĆ PO WZMOCNIENIU I ANALIZA TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DROGI	27
3 USTALENIE WARUNKÓW WYTWARZANIA, MAGAZYNOWANIA, TRANSPORTU, ROZKŁADANIA I ZAGĘSZCZANIA WARSTW Z MIESZANKI GE	28
3.1 WYTWARZANIE.....	28
ZAOPATRZENIE W KRUSZYWO I SKŁADOWANIE.....	28
3.1.1 Zbiorniki dozujące.....	28
3.1.2 Obieg wody zarobowej	28
3.1.3 Obieg emulsji.....	29
3.1.4 Mieszalnik.....	30
3.2 MAGAZYNOWANIE	30
3.3 TRANSPORT.....	31
3.4 WYKONANIE I ROBOTY PRZYGOTOWAWCZE (W PRZYPADKU WZMOCNIENIA).....	31
3.5 OKRES I WARUNKI WYKONYWANIA ROBÓT	32
ORGANIZACJA ROBÓT	32
3.6 ROZKŁADANIE	33
3.7 ZAGĘSZCZANIE	35
4 USTALENIE DANYCH WYJŚCIOWYCH DO OBLICZEŃ METODĄ MECHANISTYCZNĄ.....	38
5 OCENA WYNIKÓW I WNIOSKI.....	38

Przedmiot badań i program pracy

Przedmiot badań

Przedmiotem badań była mieszanka żwirowo-emulsyjna (grave-emulsion), dalej nazywana także mieszanką GE, która stosowana jest między innymi, jako wzmocnienie istniejącej nawierzchni drogowej. Jest to mieszanka opracowana we Francji i powszechnie tam stosowana. Upowszechniła się w latach 70 – tych, gdy stosowano ją do wzmacniania przebudowywanej sieci drogowej. Wykorzystanie tej mieszanki w programie wzmacniania polskiej sieci drogowej może być bardzo efektywne technicznie i kosztowo. Dlatego próba drogowa w warunkach polskich miała na celu sprawdzenie przydatności mieszanki GE do wzmacniania dróg krajowych.

Program pracy

Zgodnie z programem praca składa się z dwóch etapów:

Etap I

1. Opracowanie kryteriów doboru materiałów do wykonywania wzmocnień mieszanką GE
 - ◆ dobór emulsji asfaltowej, w tym dobór rodzaju asfaltu i emulgatora,
 - ◆ dobór materiałów mineralnych.
2. Opracowanie metodyki projektowania składu mieszanki żwirowo-emulsyjnej GE
3. Zaprojektowanie składu typowych mieszanek GE o uziarnieniu 0/12 mm i 0/16 mm metodą Duriez
4. Wykonanie próbek mieszanki GE (60 – 80 próbek) w laboratorium i przeprowadzenie badań cech fizycznych i mechanicznych:
 - ◆ wytrzymałość na ściskanie metodą Duriez,
 - ◆ koleinowanie LCPC w temperaturze 60⁰C,
 - ◆ trwałość zmęczeniowa w temperaturze 10⁰C,
 - ◆ moduł sztywności w aparacie NAT w temperaturze 0⁰C, 10¹C, i 20⁰C.

Etap II

1. Przygotowanie i wykonanie odcinka doświadczalnego wzmocnienia nawierzchni o długości od 300 m do 1000 m:
 - ◆ badania warunków gruntowo-wodnych i ugięć FWD przed wykonaniem wzmocnienia,
 - ◆ zaprojektowanie wzmocnienia metodą mechanistyczną konstrukcji nawierzchni z warstwą GE,
 - ◆ badanie ugięć i czaszy ugięć po wzmocnieniu,

- ◆ analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni drogi KR3 – KR5
- 2. Ustalenie warunków wytwarzania, magazynowania, transportu, rozkładania i zagęszczania warstw z mieszanki GE
- 3. Ustalenie danych wyjściowych do obliczeń metodą mechaniczną
- 4. Sprawozdanie z prac zawierające ocenę wyników i wnioski.

Sprawozdanie niniejsze jest realizacją etapu II.

1 Przygotowanie i wykonanie odcinka doświadczalnego wzmocnienia nawierzchni o długości od 300 m do 1000 m

1.1 Wprowadzenie

W części I sprawozdania opracowanej w 2002 r. przedstawiono podstawy stosowania mieszank GE, zaprojektowano składy typowych mieszank i przeprowadzono ich badania.

Część II to praktyczne sprawdzenie opisanych w Części I zasad zastosowania mieszanki GE do wzmocnienia nawierzchni.

Wykonanie odcinka doświadczalnego drogi okazało się znacznie trudniejsze niż przed laty. Wstępnie umówione w 2002 r. wykonanie odcinka doświadczalnego przez firmę Strada-Colas w 2003 r. nie doszło do skutku z powodu wstrzymania sfinansowania tej pracy przez Oddział Poznański GDDKiA. Z identycznego powodu nie doszło do wykonania odcinka na drodze powiatowej Zarządu w Sanoku, pomimo wcześniejszego dokonania rozpoznania, wyboru drogi i wstępnych badań materiałów.

Dopiero w 2004 r. zawarto porozumienie z firmą Emulex ze Stargardu Szczecińskiego na wykonanie 500 m wzmocnienia na drodze powiatowej Nr 07 012 Goleniów – Załom – Szczecin administrowanej obecnie przez Zarząd Dróg w Goleniowie (zachodniopomorskie). Koszty przygotowania próby, badania materiałów, opracowania receptur, nadzoru nad wykonaniem poniósł IBDiM, zaś koszty materiałów i wykonania – Emulex.

1.2 Badania warunków gruntowo-wodnych

Badania warunków gruntowo wodnych wykonało na zlecenie IBDiM Laboratorium Drogowe w Szczecinie GP GDDKiA.

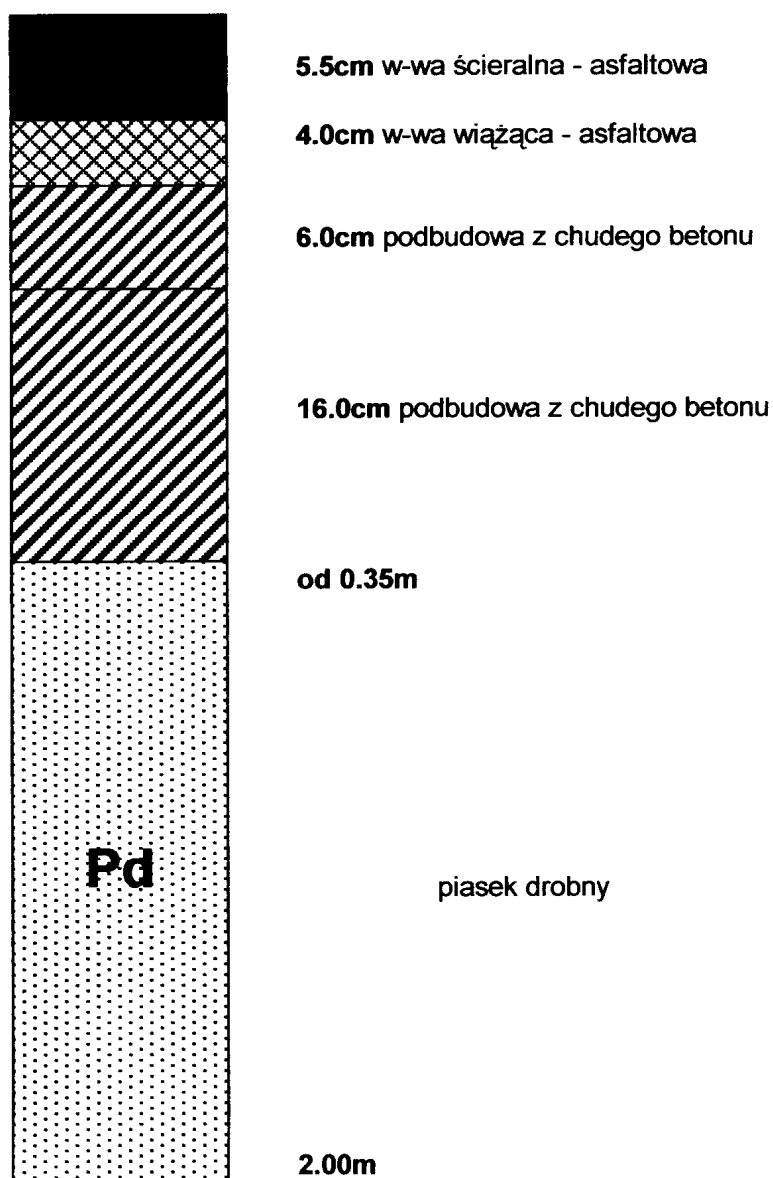
Pobrano z nawierzchni drogi powiatowej Nr 07 012 Goleniów – Załom – Szczecin 2 rdzenie do głębokości 2 m.

Na rys. 1 przedstawiono konstrukcję nawierzchni w miejscu odwiertu nr 1, zaś w tablicy 1 wyniki badań związane orzeczeniem kwalifikacyjnym gruntu.

Na rys. 2 przedstawiono konstrukcję nawierzchni w miejscu odwiertu nr 2, zaś w tablicy 2 wyniki badań związane orzeczeniem kwalifikacyjnym gruntu.

Badania te były niezbędne do określenia grubości warstw nawierzchni oraz do określenia grupy nośności podłoża. Dane te zostały wykorzystane w badaniach nośności.

Otwór nr 1 km 0+600 str prawa, ok. 1.00m od krawędzi drogi



Rys. 1 Konstrukcja nawierzchni na drodze powiatowej Nr 07 012 odc. Goleniów – Załom – Szczecin, km 0+500 – 1+000, Otwór nr 1

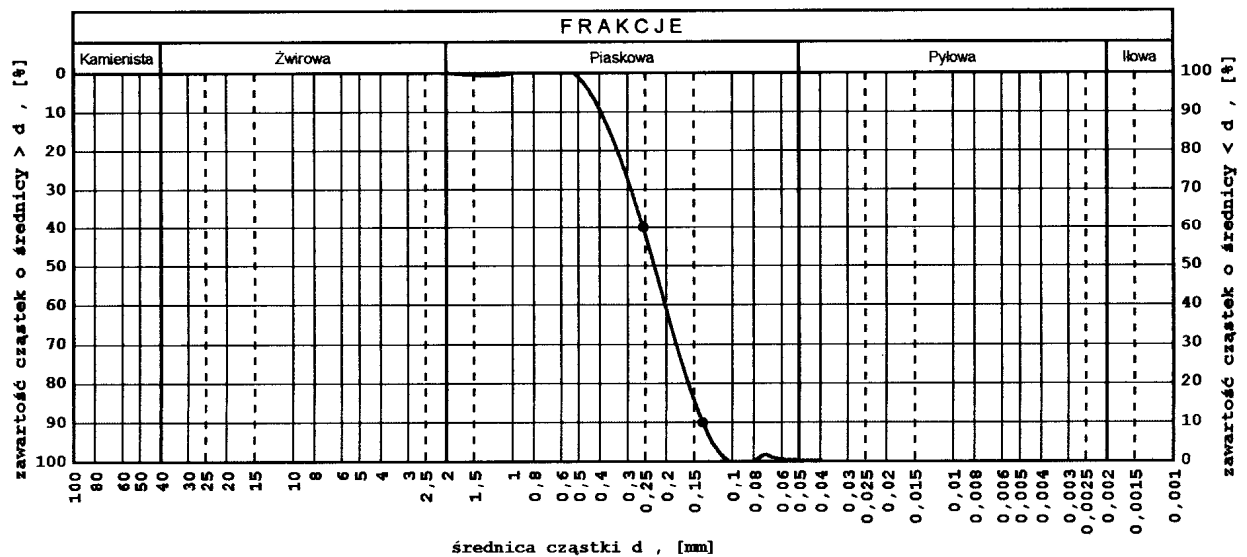
Pochodzenie próby: Droga powiatowa nr 07 012 Goleniów-Załom-Szczecin; km 0+600 strona (obiekt, droga, km) prawa; głębokość pobrania 0,0 - 2,0 m (0,0 m - poziom gruntu). Wody gruntu			
Wykonawca robót : - do głębokości odwiertu nie stwierdzono.			
Zleceńodawca : Instytut Badawczy Dróg i Mostów			
Data pobrania : 02.07.2004r			
Rodzaj gruntu (wg makroskopii): piasek drobny			
Rodzaj domieszki - dodatki : brak			
Rodzaj warstwy robót ziemnych : -			
UZIARNIENIE GRUNTU wg analizy sitowej			
wymiar oczek [mm]	pozostałość na sicie [g]	zawartość % - wa	Rzędna Σ % - wa
32,000	0,000	0,000	0,000
16,000	0,000	0,000	0,000
10,000	0,000	0,000	0,000
8,000	0,000	0,000	0,000
4,000	0,000	0,000	0,000
2,000	0,600	0,100	0,100
1,000	0,500	0,083	0,183
0,500	4,100	0,683	0,867
0,250	240,500	40,083	40,950
0,125	320,900	53,483	94,433
0,075	27,900	4,650	99,083
0,063	1,600	0,267	99,350
< 0,063	3,900	0,650	100,000
Razem	600,000	100,000	

Zawartość ziarn:	
>2.00 mm 0,1 %	<2.000 mm 99,9 %
>0.50 mm 0,9 %	<0.500 mm 99,1 %
>0.25 mm 41,0 %	<0.250 mm 59,1 %
_____ mm _____ %	_____ mm _____ %

Barwa gruntu: żółty	
Wilgotność gr-tu, W_n = 2,50 %	
Wsk. piaskowy, WP = 92,00	
Wsk. różnoziarnistości, wg	
$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0,2529}{0,1360} = 1,86$	

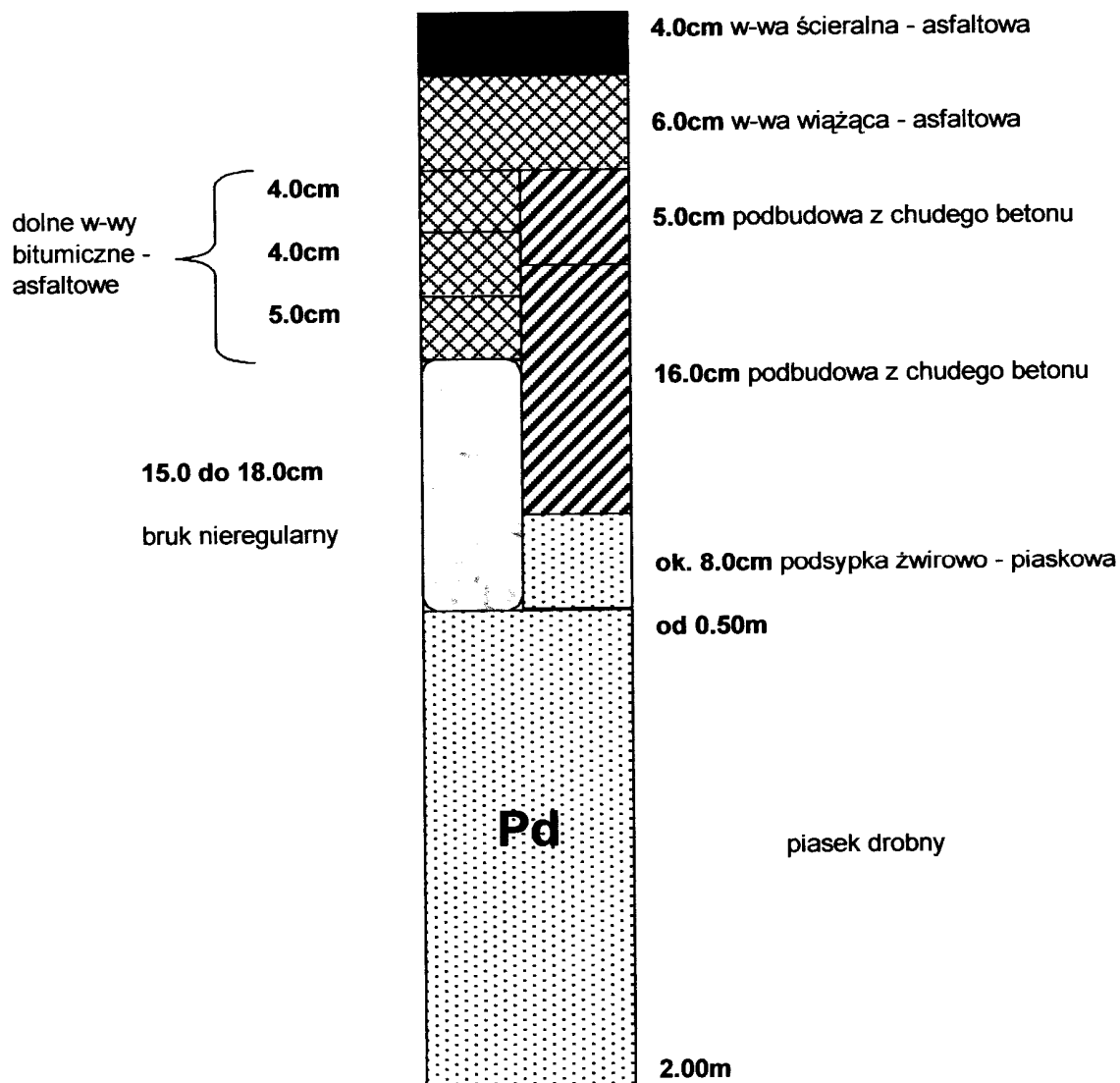
KWALIFIKACJA GRUNTU	
wg PN-B-02480:1986	
Rodzaj gruntu: Piasek drobny (P_d)	

WYKRES UZIARNIENIA GRUNTU



OCENA PRZYDATNOŚCI: Badania gruntu zostały wykonane według normy PN-88/B-04481. Przebadany materiał jest piaskiem drobnym trudnozagęszczalnym ($U < 3$), niewysadzinowym. Zgodnie z "Katalogiem Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych" piasek drobny zalicza się do grupy nośności podłoża G1.

Tab. 1 Orzeczenie kwalifikacyjne gruntu drogowego, odwiert nr 1



Rys. 2 Konstrukcja nawierzchni na drodze powiatowej Nr 07 012 odc. Goleniów – Załom – Szczecin, km 0+500 – 1+000, Otwór nr 2

Pochodzenie próby: Droga powiatowa nr 07 012 Goleniów-Załom-Szczecin; km 0+900 strona (obiekt, droga, km) lewa; głębokość pobrania 0,0 - 2,0 m (0,0 m - poziom gruntu). Wody gruntu			
Wykonawca robót : - - do głębokości odwiertu nie stwierdzono.			
Zlecniodawca : Instytut Badawczy Dróg i Mostów			
Data pobrania : 02.07.2004r			
Rodzaj gruntu (wg makroskopii): piasek drobny			
Rodzaj domieszki - dodatki : brak			
Rodzaj warstwy robót ziemnych : -			
UZIARNIENIE GRUNTU wg analizy sitowej			
wymiar oczek [mm]	pozostałość na sicie [g]	zawartość % - wa	Rzędna Σ % - wa
32,000	0,000	0,000	0,000
16,000	0,000	0,000	0,000
10,000	0,000	0,000	0,000
8,000	0,000	0,000	0,000
4,000	0,000	0,000	0,000
2,000	0,200	0,033	0,033
1,000	0,200	0,033	0,067
0,500	2,000	0,333	0,400
0,250	235,200	39,200	39,600
0,125	315,700	52,617	92,217
0,075	44,400	7,400	99,617
0,063	1,400	0,233	99,850
< 0,063	0,900	0,150	100,000
Razem	600,000	100,000	

Zawartość ziarn:	
>2.00 mm 0,0 %	<2.000 mm 100,0 %
>0.50 mm 0,4 %	<0.500 mm 99,6 %
>0.25 mm 39,6 %	<0.250 mm 60,4 %
_____ mm _____ %	_____ mm _____ %

Barwa gruntu: żółty
Wilgotność gr-tu, W_n = 3,40 %
Wsk. piaskowy ,WP = 93,00
Wsk. różnoziarnistości, wg
$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0,2488}{0,1306} = 1,91$

KWALIFIKACJA GRUNTU wg PN-B-02480:1986
Rodzaj gruntu: Piasek drobny (P_d)

WYKRES UZIARNIENIA GRUNTU

OCENA PRZYDATNOŚCI: Badania gruntu zostały wykonane według normy PN-88/B-04481. Przebadany materiał jest piaskiem drobnym trudnozagęszczalnym ($U < 3$), niewysadzinowym. Zgodnie z "Katalogiem Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych" piasek drobny zalicza się do grupy nośności podłoża G1.	
---	--

Tab. 2 Orzeczenie kwalifikacyjne gruntu drogowego, odwiert nr 2

Uzyskane dane odnośnie grubości poszczególnych warstw nawierzchni wykorzystano do dalszych obliczeń związanych z wyznaczeniem modułów sprężystości poszczególnych warstw nawierzchni.

Przyjęto do dalszych obliczeń grubość warstw asfaltowych 10 cm, grubość podbudowy z chudego betonu 22 cm.

1.3 Badanie ugięć FWD przed i po wykonaniu wzmocnienia i zaprojektowanie wzmocnienia konstrukcji nawierzchni z warstwą GE

Badania ugięć zostały wykonane przez Zakład Diagnostyki IBDiM z użyciem ugięciomierza dynamicznego typu FWD.

Wykonano pomiary temperatury powietrza, powierzchni drogi i nawierzchni.

Na podstawie pomiarów ugięć dokonuje się analizy nośności nawierzchni. Ugięcie nawierzchni pod wpływem zadanego obciążenia mierzone jest za pomocą zestawu czujników ugięć, tzw. geofonów.

Geofony rozmieszczone są w centrum płyty naciskowej oraz w odległościach 300, 600, 900, 1200, 1500 i 1800 mm. Znając konstrukcję nawierzchni (w tym celu wykonano odwierty) oraz głębokość i kształt czaszy ugięć można ocenić stan nawierzchni.

Analiza pomiarów ugięć nawierzchni

Pomiary ugięć nawierzchni wykonano ugięciomierzem dynamicznym FWD, w dwóch etapach: przed wzmocnieniem (1.07.2004r) oraz po wykonaniu warstwy z GE (1.10.2004r). Zarejestrowana temperatura pakietu warstw asfaltowych wynosiła: dla pomiaru pierwszego 25°C, a dla drugiego 10°C. Wyniki pomiarów zestawiono w załączniku 1.

Na podstawie dostarczonych danych z wykonanych odwiertów w nawierzchni przyjęto układ warstw konstrukcyjnych do obliczeń modułów i trwałości zmęczeniowej:

- pakiet warstw asfaltowych – grubości 10 cm,
- podbudowa z chudego betonu – grubości 22 cm,
- podłoże gruntowe – piasek drobny.

Na podstawie pomiarów czaszy ugięć nawierzchni (w obu seriach pomiarowych) oraz danych o konstrukcji obliczono moduły sprężystości (sztywności) warstw (lub pakietów warstw) konstrukcyjnych nawierzchni. W obliczeniach posługiwano się programem komputerowym Moddyn. Obliczone dla każdej warstwy moduły zestawiono w tab. 3 i 4. Przyjęto następujące oznaczenia:

E1 – moduł sztywności pakietu warstw asfaltowych,

E2 – moduł sprężystości warstwy podbudowy,

E3 – moduł sprężystości podłoża gruntowego.

Obliczone moduły, w szczególności moduły sztywności pakietu warstw asfaltowych odpowiadają temperaturze pomiaru. Aby przeliczyć moduły warstw asfaltowych do temperatury równoważnej 10°C posłużono się wzorem¹:

$$E_r = E_t (0,77 + 0,023 T)$$

gdzie: E_t – moduł w temperaturze pomiaru,

T – temperatura pomiaru.

Tablica 3 Moduły sprężystości (sztywności) warstw konstrukcyjnych, 1 seria badań

Nr punktu	Pikietaż, km	Moduły sprężystości (sztywności) warstw, MPa		
		w. asfaltowa, E1	podbudowa, E2	podł. gruntowe, E3
1	0+320	5009	3124	128
2	0+340	5206	3343	132
3	0+360	4189	4015	174
4	0+380	5594	3020	119
5	0+400	5626	3228	125
6	0+420	4563	2620	124
7	0+440	5190	4597	201
8	0+460	5821	3933	146
9	0+500	5017	3319	134
10	0+520	4868	3047	130
11	0+541	4358	2674	117
12	0+560	4936	2930	119
13	0+580	8336	3479	94
14	0+549	4345	3541	166
15	0+529	4791	3646	147
16	0+509	3358	2902	141
17	0+490	6602	2976	96
18	0+470	4983	3504	139
19	0+450	4914	3280	152
20	0+430	5886	3475	146

¹ Wzór niepublikowany, opracowany przez IBDiM dla potrzeb „Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych”

Nr punktu	Pikietaż, km	Moduły sprężystości (sztywności) warstw, MPa		
		w. asfaltowa, E1	podbudowa, E2	podł. gruntowe, E3
21	0+409	5694	3525	142
22	0+390	5415	3593	154
23	0+370	5505	3054	122
24	0+349	6061	1942	79
25	0+330	3104	1852	85
Średnie		6960	3225	132

Tablica 4 Moduły sprężystości (sztywności) warstw konstrukcyjnych, 2 seria badań

Nr punktu	Pikietaż, km	Moduły sprężystości (sztywności) warstw, MPa		
		w. asfaltowa, E1	podbudowa, E2	podł. gruntowe, E3
1	0+320	3319	2809	154
2	0+340	3128	1630	91
3	0+360	4815	1896	94
4	0+380	4952	3579	142
5	0+400	3230	2208	138
6	0+420	5720	2585	114
7	0+440	4960	1789	81
8	0+460	2781	1433	83
9	0+500	3397	2341	120
10	0+520	3566	1169	64
11	0+541	6351	2703	116
12	0+560	5028	2859	140
13	0+580	6739	3134	116
14	0+549	5034	1723	78
15	0+529	4535	2512	131
16	0+509	4356	1955	99
17	0+490	5480	2162	92
18	0+470	4945	1777	78
19	0+450	3651	1636	92

Nr punktu	Pikietaż, km	Moduły sprężystości (sztywności) warstw, MPa		
		w. asfaltowa, E1	podbudowa, E2	podł. gruntowe, E3
20	0+430	5018	3528	183
21	0+409	5757	2301	116
22	0+390	2960	1259	73
23	0+370	3340	2445	172
24	0+349	4235	2196	110
25	0+330	4119	1591	78
Średnie		4457	2209	110

Analiza nośności (trwałości zmęczeniowej) nawierzchni w pierwszej serii pomiarów (przed wzmocnieniem) wykazała, że konstrukcja przeniesie ok. 13 mln osi obliczeniowych 100 kN. W celu wzmocnienia nawierzchni do 18 mln osi 100 kN (kategoria KR6) należy ułożyć 7 cm warstwy GE wraz z zamknięciem powierzchni (powierzchniowe utrwalenie).

1.4 Wykonanie odcinka doświadczalnego

1.4.1 Przygotowanie receptury na mieszankę GE

W związku ze zmianą firmy wykonawczej okazało się konieczne opracowanie kolejnej recepty z kruszywem polodowcowym, którego zastosowanie preferował Emulex.

Otrzymano do badań 3 frakcje łamanego kamienia polnego: 6,3/12,5; 2/8 i 0/2 mm. Wykonano analizy sitowe otrzymanych grysów i sporządzono mieszankę mineralną.

Do badań użyto następujące kruszywa:

- kruszywo bazaltowe z Rembiszowa,
- kruszywo polodowcowe z Drawska

Skład granulometryczny wszystkich wymienionych kruszyw został oznaczony w laboratorium IBDiM.

1.4.2 Bazalt z Rembiszowa

Cztery frakcje kruszywa bazaltowego poddano analizie sitowej, której wyniki zestawiono w tablicy 5.

Tablica 5 Uziarnienie kruszyw bazaltowych z Rembiszowa

Przechodzi przez sito	0/5	2/5	5/8	8/11
mm	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)
16	-	-	-	100
12.8	-	-	-	97,9
10	-	-	100	50,1
6.3	100	100	35,5	2,8
4	97,8	66,1	2,2	1,0
2	64,2	5,6	-	-
0.5	16,6	-	-	-
0.075	7,2	0,6	0,4	0,3

Gęstość rzeczywista kruszywa bazaltowego ρ_k wynosi $3,00 \text{ g/cm}^3$.

1.4.3 Kruszywo polodowcowe z Drawska

Trzy frakcje kruszywa polodowcowego z Drawska poddano analizie sitowej, której wyniki zestawiono w tablicy 6.

Tablica 6 Uziarnienie kruszywa

Przechodzi przez sito	0/2	2/8	6,3/12,5
mm	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)
16	-	-	100
12,5	-	-	100
10	-	100	81,6
8	-	99,3	30,1
6.3	100	92,4	6,8
4	99,8	55,6	1,1
2	97,1	23,9	0,4
0,5	43,8	1,4	0,2-
0,15	10,1	0,7	-
0,075	5,7	0,4	0,2

Skomponowano 3 mieszanki mineralne (oznaczone 1, 2 i 3) o składzie zbliżonym do zalecanych krzywych uziarnienia GE 2/12,8 i GE3/12,8 i wykonano ich analizę sitową (tab. 7).

Tablica 7 Uziarnienie kruszywa

Przechodzi przez sito	Mieszanka 1	Mieszanka 2	Mieszanka 3
mm	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)
16	-	100	100
12,5	100	100	100
10	95,1	92,3	90,1

Przechodzi przez sito	Mieszanka 1	Mieszanka 2	Mieszanka 3
mm	% (m/m)	% (m/m)	% (m/m)
8	77,7	73,3	70,2
6,3	63,5	61,9	59,9
4	51,6	50,3	48,6
2	34,4	38,1	36,5
0,5	11,8	15,4	14,2
0,15	8,0	7,0	8,3
0,075	6,0	4,8	5,8

Skład mieszanek podano w tablicy 8.

Tablica 8 Skład mieszanek mineralnych

Materiały	J.m.	Mieszanka 1	Mieszanka 2	Mieszanka 3
Mączka wapienna Bukowa	% (m/m)	5	5	7
Miał bazaltowy 0/5 mm	% (m/m)	37	18,5	-
Miał polodowcowy 0/2 mm	% (m/m)	-	18,5	31
Grys polodowcowy 2/8 mm	% (m/m)	21	21	11
Grys polodowcowy 6,3/12,8 mm	% (m/m)	37	37	51

Sporządzono próbki wg Marshala z zawartością 4 % (m/m) asfaltu i oznaczono zawartość wolnej przestrzeni, która wyniosła:

- mieszanka 1 18,9 %
- mieszanka 2 17,5 %
- mieszanka 3 11,0 %

Pomimo korzystnego kształtu krzywych uziarnienia w przypadku mieszanki 1 i 2 uzyskano zbyt dużą zawartość wolnych przestrzeni. Dlatego wybrano mieszankę 3 do dalszych badań sprawdzających metodą Duriez, w celu ustalenia optymalnej ilości emulsji asfaltowej.

1.4.4 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 3,6 %(m/m)

Do przygotowania mieszanki GE użyto mieszankę 3 oraz emulsję asfaltową A (wg I cz. I Sprawozdania). Skład mieszanki GE podano w tablicy 9. Podczas przygotowywania mieszanki należy w pierwszej kolejności do mieszaniny grysów dodać wodę zarobową, dokładnie ją rozprowadzić, dodać emulsje asfaltową, całość wymieszać i na koniec dodać mączkę mineralną. W ten sposób uzyskuje się lepszą przyczepność i odporność na odmywanie asfaltu wodą.

Tablica 9 Skład mieszanki GE o zawartości pozostałego asfaltu 3,6 % (m/m)

Składniki	Zawartość, cz. wag.
Mieszanka 3	100
woda zarobowa	3,6
emulsja nadstabilna, 61,3 % asfaltu	5,9

Wykonano 12 próbek wg Duriez i poddano je badaniom wg procedury opisanej w p.4, cz.I. W tablicy 10 zestawiono wyniki kolejnych kroków postępowania.

Tablica 10 Wyniki badań mieszanki 3-3,6

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	ρ_p	P	Os	R	r
-	-	-	g/cm ³	% (V/V)	mm	MPa	MPa
1	1	moczone	-	-	2,93	-	1,871
2	2	moczone	-	-	3,0	-	1,990
3	3	moczone	-	-	2,4	-	2,000
4	4	moczone	-	-	2,5	-	1,841
5	5	moczone	-	-	2,7	-	1,990
6	6	w powietrzu	2,222	11,6	2,4	3,88	-
7	7	w powietrzu	2,226	11,4	2,6	3,633	-
8	8	w powietrzu	2,223	11,5	3,1	3,54	-
9	9	w powietrzu	2,226	11,4	2,9	3,58	-
10	10	w powietrzu	2,220	11,8	3,0	3,62	-
11	11	-	-	-	-	-	-
12	12	-	-	-	-	-	-

Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów podano w tablicy 11.

Tablica 11 Wyniki badań mieszanki 3-3,6

Lp.	ρ_p	ρ_{ma}	P (V/V)	r/R
-	g/cm ³	g/cm ³	% (m/m)	-
1	2,222	2,513	11,6	0,54

1.4.5 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 4,0 % (m/m)

Do przygotowania mieszanki GE użyto kruszywo bazaltowe wg składu MB oraz emulsję asfaltową A. Skład mieszanki GE podano w tablicy 12.

Tablica 12 Skład mieszanki GE o zawartości pozostałego asfaltu 4,0 % (m/m)

Składniki	Zawartość, cz. wag.
Mieszanka 3	100
woda zarobowa	3,3
emulsja nadstabilna, 61,3 % asfaltu pen 78 x 1 mm	6,8

Wykonano 12 próbek wg Duriez i poddano je badaniom wg procedury opisanej w p.5. W tablicy 13 zestawiono wyniki kolejnych kroków postępowania.

Tablica 13 Wyniki badań mieszanki 3-4,0

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	ρ_p	P	Os	R	r
-	-	-	g/cm ³	% (v/v)	mm	MPa	MPa
1.	1	moczone	-	-	2,8	-	2,737
2.	2	moczone	-	-	2,6	-	2,826
3.	3	moczone	-	-	2,6	-	2,637
4.	4	moczone	-	-	2,6	-	3,274
5.	5	moczone	-	-	2,7	-	3,125
6.	6	moczone	-	-	2,7	-	3,244
7.	7	w powietrzu	2,237	10,4	2,8	4,379	-
8.	8	w powietrzu	2,333	10,6	2,6	4,349	-
9.	9	w powietrzu	2,234	10,6	2,6	4,578	-
10.	10	w powietrzu	2,225	10,9	2,6	4,180	-
11.	11	w powietrzu	2,184	13,6	2,7	4,478	-
12.	12	w powietrzu	2,428	10,8	3,0	4,279	-

Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów podano w tablicy 14.

Tablica 14 Wyniki badań mieszanki 3-4,0

Lp.	ρ_p	ρ_{ma}	P	r/R
-	g/cm ³	g/cm ³	% (V/V)	-
1	2,224	2,498	11,0	0,68

1.4.6 Mieszanka GE z asfaltem w ilości 4,4 % (m/m)

Do przygotowania mieszanki GE użyto mieszanek 3 oraz emulsję asfaltową jw. Skład mieszanki GE podano w tablicy 15.

Tablica 15 Skład mieszanki GE o zawartości pozostałego asfaltu 4,4 % (m/m)

Składniki	Zawartość, cz. wag.
Mieszanka 3	100
woda zarobowa	3,0
emulsja nadstabilna, 61,3 % asfaltu pen 78 x 1 mm	7,2

Wykonano 12 próbek wg Duriez i poddano je badaniom wg procedury opisanej w p.4, cz. I. Na rys. 16 zestawiono wyniki kolejnych kroków postępowania.

Tablica 16 Wyniki badań mieszanki 3-4,4

Lp.	Nr próbki	Rodzaj próbki	ρ_p	P	Os	R	r
-	-	-	g/cm ³	% (v/v)	mm	MPa	MPa
13.	1	moczone	-	-	2,7	-	2,578
14.	2	moczone	-	-	2,6	-	2,438
15.	3	moczone	-	-	2,8	-	2,836
16.	4	moczone	-	-	2,7	-	3,538
17.	5	moczone	-	-	2,9	-	3,657
18.	6	moczone	-	-	2,4	-	3,757
19.	7	w powietrzu	2,247	9,5	2,7	4,080	-
20.	8	w powietrzu	2,241	9,7	2,6	3,702	-
21.	9	w powietrzu	2,244	9,6	2,8	3,881	-
22.	10	w powietrzu	2,246	9,5	2,7	3,732	-
23.	11	w powietrzu	2,245	9,6	2,9	4,429	-
24.	12	w powietrzu	2,244	9,6	2,4	4,409	-

Wyniki obliczeń poszczególnych parametrów podano w tablicy 17

Tablica 17 Wyniki badań mieszanki 3-4,4

Lp.	ρ_p	ρ_{ma}	P	r/R
-	g/cm ³	g/cm ³	% (V/V)	-
1	2,244	2,483	9,6	0,65

Analizując wyniki trzech serii prób, zdecydowano użyć do wzmocnienia odcinka drogi mieszankę mineralną trzecią z zawartością 4,0 % (m/m) asfaltu 50/70.

1.4.7 Badania modułu sztywności

Badania wykonano według procedury IBDiM oznaczania modułu sztywności sprężystej mieszanki mineralno-asfaltowej przy rozciąganiu pośrednim. Wykonano je w Pracowni Lepiszczy Bitumicznych na aparacie NAT w temperaturze 10°C z założeniem wartości współczynnika Poissona równego 0,25.

Próbki mieszanki GE, według składu mieszanki 3 z 4 % (m/m) asfaltu, przygotowano w formach Marshalla pod prasą stosując nacisk 8 t przez 5 min z jednej strony i po obróceniu próbek góra-dół, ponownie 8 t przez 5 min. Na drugi dzień próbki rozformowano i pozostawiono w laboratorium na 14 dni w celu uzyskania określonego procedurą wyschnięcia próbek. Po upływie tego czasu próbki zważono w wodzie i w powietrzu, w celu oznaczenia objętości, gęstości strukturalnej i wolnej przestrzeni oraz wykonano oznaczenie pośrednie wytrzymałości na zgniatanie i obliczono moduły sztywności.

W tabelicy 18 przedstawiono wyniki oznaczeń.

Tablica 18 Wartości średnie modułu sztywności uzyskane podczas badania w aparacie NAT metoda rozciągania pośredniego.

Lp.	Moduł sztywności, MPa	Gęstość strukturalna MMA, g/cm ³	Zawartość wolnej przestrzeni, % (V/V)
1.	3810	2,263	9,4
2.	3683	2,274	9,0
3.	3847	2,273	9,0
4.	3667	2,270	9,1
5.	3584	2,262	9,4
6.	3697	2,265	9,3
7.	3487	2,257	9,6
8.	3916	2,261	9,5
9.	3777	2,255	9,7
10.	3441	2,262	9,4
11.	średnio 3691	2,260	9,5
12.		2,261	9,5
13.		śr. 2,264	śr. 9,4

Uzyskano wartości modułów większe niż dla mieszanek opisanych w cz. I. Patrząc na wielkość wolnych przestrzeni w mieszance, rzędu 10 % i wartość penetracji zastosowanego w emulsji asfaltu (50/70) uzyskano bardzo dobre rezultaty.

1.4.8 Badanie siły złączenia starej nawierzchni z warstwą wzmacniającą

Wykonano 4 serie próbek betonu asfaltowego 0/12,5 mm z asfaltu 35/50 wg Marshalla, nałożono na nie 0, 100 g 200 g i 300g asfaltu w postaci emulsji wolnorozpadowej oraz mieszankę GE, po czym próbki zagęszczono 75 uderzeniami ubijaka jednostronnie.

Po wykonaniu ścinania stwierdzono, że największe naprężenie ścinające uzyskano przy największej ilości lepiscza w warstwie sklejącej, większe o 21 % w porównaniu z próbką bez sklejenia.

Wnioskiem z tych prób było zalecenie użycia 200 – 300 g asfaltu w postaci emulsji asfaltowej do złączenia warstwy GE ze starą warstwą ścieralną.

1.4.9 Przygotowanie próby drogowej

Próbie drogową przeprowadzono na drodze powiatowej (do niedawna, krajowej) Goleniów – Załom – Szczecin w km 0+300 do km 0+800. Przeprowadzono ją w ciągu trzech dni. W dniu 14 września 2004 r. produkowano mieszankę GE na hałdę. W dniu 15 września 2004 r. wykonano pierwszą część nawierzchni od strony Goleniowa, od mostu na Inie do skrzyżowania z drogą poprzeczną w km 0+300 do km 0+500. W dniu 16 września 2004 r. wykonano drugą część, tj. skrzyżowanie i dalej w kierunku Szczecina w km 0+500 do km 0+800. Szerokość drogi wynosiła od 7,8 do 8,8 m. W części pierwszej była skoleinowana, spadek poprzeczny był jednostronny, krawędzie uszkodzone. Odcinek ten był we wznoszącym się w kierunku mostu łuku. Druga część była w lepszym stanie, nawierzchnia nie była skoleinowana lecz silnie spękana podłużnie i poprzecznie. Wykonawca nie skorzystał z naszych zaleceń, aby nierówności drogi sfrezować przed ułożeniem warstwy z mieszanki GE.

Nawierzchnię drogi stanowił beton asfaltowy, w wielu miejscach naprawiany. Wiek trudny do ustalenia, na pewno kilkanaście lub kilkadziesiąt lat (rys. 3).



Rys.3 Widok nawierzchni w strefie skrzyżowania przed wzmocnieniem

Na 3 h przed ułożeniem warstwy z mieszanki GE starą nawierzchnię spryskano emulsją asfaltową wolnorozpadową z asfaltu o penetracji 50/70 w ilości w

przeliczeniu na asfalt 150 – 250 g/m² na cz. I (rys. 4), natomiast na części II silnie spękanej podłużnie i poprzecznie zastosowano wydatek 250-350 g/m².



Rys. 4 Fragment nawierzchni spryskanej emulsją asfaltową wolnorozpadową

Wzmocnienie, jednocześnie z odnowieniem, zostało zaplanowane przez ułożenie warstwy z mieszanki GE o grubości 7 cm. Ze względu na nierówności wzmocnianej nawierzchni faktyczna lokalna grubość wyniosła od 4 cm do 10 cm.

Po tygodniu od zakończenia prac, ze względu na prognozowane silne opady deszczu, zamknięto wykonaną nawierzchnię pojedynczym powierzchniowym utwaleniem z zastosowaniem emulsji asfaltowej szybkorozpadowej K1-70 i grysu bazaltowego 5/8 mm.

1.4.10 Produkcja i układanie mieszanki GE

Produkcję mieszanki wykonano w bazie firmy EMULEX w Stargardzie Szczecińskim w przewożnym mieszalniku do mieszanek na zimno, będącym ich własną konstrukcją. Na rys. 5 i 6 pokazano wygląd mieszalnika. Jednorazowo do mieszalnika dozowano taśmociągami 300 kg mieszanki mineralnej o wilgotności 2,6 % (I część) i 2,9 (II część) oraz dodawano 19 kg emulsji(I część) i 20 kg emulsji (II część). Czas mieszania wynosił 1 minutę. Po wymieszaniu mieszanka GE była bezpośrednio ładowana na ciężarówkę, a po jej napełnieniu na hałdę lub bezpośrednio na drogę.



Rys.5 Mieszalnik podczas rozładunku



Rys. 6 Widok linii produkcyjnej mieszanki GE w bazie EMULEXU

Ze względów technicznych, po przeprowadzeniu analiz sitowych z materiałów zgromadzonych na hałdach, zdecydowano na miejscu wytworzenie mieszanki GE o składzie podanym w tabeli 19.

Tablica 19 Skład mieszanek mineralnych

Materiały	J.m.	15-09	16-09
Grys polodowcowy 6,3/12,8 mm	% (m/m)	40	35
Miał bazaltowy 0/5 mm	% (m/m)	30	32,5
Miał polodowcowy 0/2 mm	% (m/m)	30	32,5
Emulsja K4, 67,2% asfaltu	% (m/m)	6,0*	6,7

* zawartość emulsji podano w stosunku do mieszanki mineralnej

Receptę zastosowaną pierwszego dnia (15-09) zmodyfikowano po obserwacji wałowania mieszanki. Mieszanka wydawała się za "sucha" i dlatego dodano więcej emulsji asfaltowej i drugiego dnia produkowano mieszankę 16-09.

Mieszankę GE układano rozkładarką Voegele o szerokości stołu 3,5 m (Rys. 7, 8 i 9).



Rys. 7 Przygotowanie do rozpoczęcia układania mieszanki GE



Rys. 8 i 9 Układanie warstwy GE na pierwszej części odcinka doświadczalnego

Wałowano najpierw walcem stalowym 8 t (rys. 10 i 11), a następnie walcem ogumionym stosowanie wibracji nie dawało pełnego zagęszczenia warstwy, co objawiało się pełzaniem mieszanki przed kołem walca. Dopiero po sprowadzeniu ciężkiego walca ogumionego uzyskano pełne dogęszczenie układanej warstwy. Wałowanie "na raty" w przypadku mieszanek na zimno jest stosowane z dobrymi wynikami.



Rys. 10 i 11 Wałowanie warstwy wzmacniającej z mieszanki GE

Z próby drogowej pobrano próbki mieszanki GE do badań laboratoryjnych.



Rys. 12 Końcowy fragment odcinka 15-09



Rys. 13 Zakończenie robót na I części odcinka doświadczalnego

1.4.11 Badania właściwości mieszanki GE z próby drogowej

Z próby drogowej pobrano próbki mieszanki GE i emulsji asfaltowej i wykonano ich badania w laboratorium IBDiM.

W tablicach 20 i 21 podano wyniki badań próbek metodą Duriez.

Tab. 20 Wyniki badań mieszanki 15-09

Zawar- tość asfaltu	Zawar- tość wody	ρ_p	ρ_{ma}	Nasiąkli- wość po 7 dniach moczeni a	P	R	r	r/R
% (m/m)	% (m/m)	g/cm ³	g/cm ³	%	% (V/V)	MPa	MPa	-
3,7	4,8	2,284	2,676	4,4	14,6	2,66	0,77	0,29

Tablica 21 Wyniki badań mieszanki 16-09

Zawar- tość asfaltu	Zawar- tość wody	ρ_p	ρ_{ma}	Nasiąkli- wość po 7 dniach moczenia	P	R	r	r/R
%(m/m)	%(m/m)	g/cm ³	g/cm ³	%	% (V/V)	MPa	MPa	-
4,3	5,7	2,311	2,660	3,6	13,1	3,86	1,39	0,36

W tablicy 22 podano wyniki badań emulsji asfaltowej stosowanej do wytworzenia mieszanki GE.

Tablica 22 Wyniki badań emulsji asfaltowej

Lp.	Właściwości	Jednostki	Wyniki badań	Wymaganie według
1	2	3	4	5
1	Zawartość asfaltu	% (m/m)	67,2	od 62 do 671
2	Jednorodność, pozostałość na sicie # 0,50 mm	% (m/m)	0,02	≤ 0,20
3	Jednorodność, pozostałość na sicie # 0,16 mm	% (m/m)	0,05	≤ 0,25
4	Przyczepność do kruszywa: bazaltowego granitowego polodowcowego	%	100 95 80	≥ 85 -
5	Indeks rozpadu	g/100g	136	> 120
6	Penetracja asfaltu wytrąconego z emulsji	0,1 mm	85	50/70

2 Badanie ugięć FWD i czaszy ugięć po wzmocnieniu i analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni drogi

Wyniki badań opisano w punkcie 1.3 niniejszego sprawozdania.

Obliczenia stanu naprężeń i odkształceń wykonano programem komputerowym ELSYM5M. W modelu obliczeniowym przyjęto grubości poszczególnych warstw oraz moduły sprężystości warstw wg tablicy 1. Przyjęty model obciążano naciskiem 50 kN, rozłożonym na powierzchnię kołową o ciśnieniu kontaktowym 0,65 MPa.

Naprężenia i odkształcenia obliczano w różnych punktach zamodelowanej konstrukcji nawierzchni:

- odkształcenia pionowe (ściskające) w górnej części podłoża gruntowego,
- odkształcenia rozciągające w dolnej strefie pakietu warstw asfaltowych.

W obliczeniach nośności nawierzchni posłużono się kryteriami zmęczeniowymi zalecanymi do stosowania w „Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych”. Są to następujące kryteria:

- kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych, wg metody Instytutu Asfaltowego,
- kryterium deformacji strukturalnych nawierzchni (podłoża gruntowego), wg Instytutu Asfaltowego,

Jak już wcześniej stwierdzono, analiza nośności (trwałości zmęczeniowej) nawierzchni w pierwszej serii pomiarów (przed wzmocnieniem) wykazała, że konstrukcja przeniesie ok. 13 mln osi obliczeniowych 100 kN. W celu wzmocnienia nawierzchni do 18 mln osi 100 kN (kategoria KR6) ułożono 7 cm warstwy GE wraz z zamknięciem powierzchni (powierzchniowe utrwalenie).

Wykorzystując dane z pomiaru serii drugiej (tablica 2) obliczono w analogiczny sposób trwałość konstrukcji po wzmocnieniu. Wyniosła ona 18,3 mln osi 100 kN. Na podstawie pomiarów czaszy ugięć wykonanych w serii drugiej oszacowano również wartość modułu sztywności pakietu: GE + powierzchniowe utrwalenie. Wyniósł on 3500 – 4000 MPa.

Słuszność tych obliczeń potwierdziły wcześniejsze badania laboratoryjne, w których uzyskano moduł sztywności mieszanki GE o zaprojektowanym składzie wynoszący 3690 MPa.

3 Ustalenie warunków wytwarzania, magazynowania, transportu, rozkładania i zagęszczania warstw z mieszanki GE

3.1 Wytwarzanie

Zaopatrzenie w kruszywo i składowanie

Wcześniejsze zaopatrzenie w kruszywo i składowanie przynajmniej połowy ilości potrzebnej dla całości przewidzianych robót pozwala na płynne i elastyczne ich prowadzenie. Ponadto, wszelkie kontrole stają się o wiele łatwiejsze. W przypadku piasków łamanych 0/2, 0/4, lub 0/6, regularny przepływ w zasobniku jest możliwy tylko wtedy gdy wilgotność piasku jest bardzo mała. Zaleca się więc, zwłaszcza gdy zaopatrzenie w materiał następuje na kilka miesięcy przed budową, pokrywanie hałd plandekami z brezentu, wiatami lub cienką warstwą emulsji mocno rozcieńczonej (ok. 600g/m² czystego lepiszcza).

Składowisko, które powinno być uszczelnione, musi zapewniać dobre odprowadzenie wody.

Składowanie kruszyw powinno być szczególnie staranne aby nie dopuścić do rozwarstwienia mieszanki mineralnej. Hałdę należy rozkładać w warstwach o grubości od 0.5 m do 1 m, zachowując półki na skarpie. Uniemożliwia to splukiwanie niektórych składników na dół hałdy.

Produkcja mieszanki mineralno-emulsyjnej (w tym mieszanki GE) jest wykonywana wyłącznie w instalacjach stałych (łatwych do ewentualnego przenoszenia) – rys. 14. Instalacje do produkcji ciągłej powszechniej są stosowane ze względu na większą mobilność. Jednak, niektóre instalacje do produkcji nieciągłej mogą również być stosowane.

Instalacja powinna się zawierać:

3.1.1 Zbiorniki dozujące

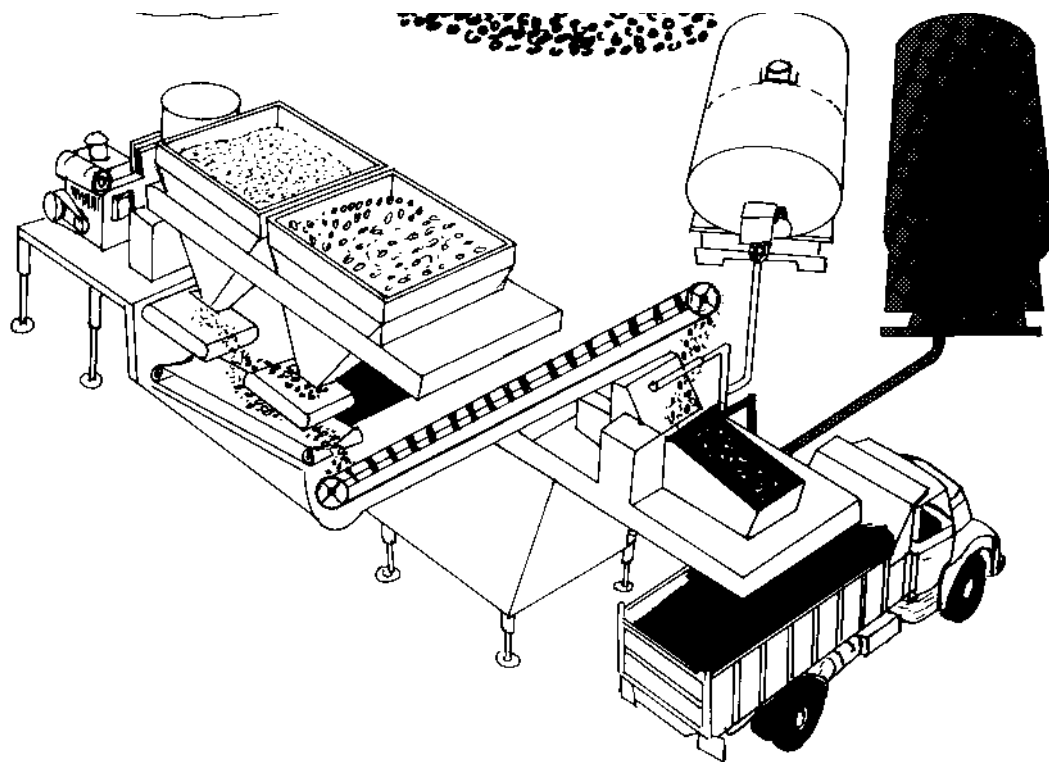
Taśmociągi dozujące powinny mieć przegródki (chwytaki), zaś zbiornik dozujący piasek powinien być wyposażony w urządzenie zapobiegające zatkaniam (na przykład wibrator). Podwyższenia o wysokości 70 cm powinny zapobiec mieszaniu się kruszywa z sąsiednich zbiorników. Szerokość czerpaków urządzeń transportu wewnętrznego powinna być mniejsza o co najmniej 50 cm od szerokości zbiorników

3.1.2 Obieg wody zarobowej

Woda w procesie produkcyjnym odgrywa ważną rolę. Istnieje pewna optymalna zawartość wody w mieszance pochodzącej zarówno z mieszanki mineralnej, jak i z emulsji. Należy zwrócić uwagę na to, aby rozpad emulsji następował w odpowiednim momencie. W praktyce należy kontrolować zawartość wody w mieszance oraz czas mieszania. Aby te parametry nie zmieniały się, należy kruszywo, a szczególnie piasek magazynować tak, żeby zawartość wody zmieniała się w możliwie najmniejszym stopniu, np. przez pokrycie hałdy piasku cienką warstwą emulsji. Takie postępowanie umożliwia zasilanie wytwórni kruszywem o jednakowej wilgotności. W

rzadkich przypadkach, gdy zawartość wody w kruszywie jest niewystarczająca musi być możliwość jej dodania po oznaczeniu jej zawartości.

Zapewnienie dobrego rozproszenia w trakcie mieszania wymaga 3 do 4% zawartości wody w kruszywie. Konieczność dodawanie wody do kruszywa zależy od składu. Kiedy dodatek wody jest konieczny, obieg powinien zawierać pompę dozującą mogącą dostarczyć 2 do 5% wody do mieszanki oraz czujnik pozwalający na stałą kontrolę dopływu.



Rys. 14 Schemat typowej wytwórni GE

3.1.3 Obieg emulsji

Emulsję do produkcji składowuje się w zbiornikach. Całkowita objętość składowanej rezerwy powinna odpowiadać co najmniej połowie dnia produkcji. Każdy zbiornik powinien mieć możliwość podłączenia do urządzenia umożliwiającego podgrzanie i cyrkulację emulsji oraz wymieszanie części górnej i dolnej zapasu bez ryzyka wytworzenia piany. Każdy zbiornik powinien być wyposażony we wskaźnik pojemności uprzednio wyskalowany.

Całość obiegu (obiegów) powinna składać się z pompy zasilającej, zbiornika pośredniego, pompy dozującej i obiegu zwrotnego, który pozwala na stałe mieszanie emulsji zarówno w czasie produkcji jak i w czasie przestojów produkcyjnych. Pompa dozująca powinna być zasilana przez obieg zapewniający te same warunki działania niezależnie od poziomu emulsji w zbiorniku. Rampa wtryskująca powinna zapewnić równomierne dozowanie emulsji na całej szerokości mieszalnika. Emulsja powinna być wtryskiwana na kruszywo przed punktem jego opadu na mieszalnik. Należy zwracać dużą uwagę na stan otworów w rampie wtryskującej.

3.1.4 Mieszalnik

Mieszalnik stosowany do produkcji mieszanek mineralno-emulsyjnych jest tego samego typu, jak w otaczarniach bębnowych do mieszanek na gorąco. Główną różnicą jest, że mieszalnik jest bardziej pochylony i większa jest szybkość obrotów (100 - 120 obr/min). Oprócz tego często modyfikowane jest położenie łopatek. Zastosowanie tych zmian zwiększa wydajność produkcji, lecz nie wpływa na poprawę jakości mieszanki. Mieszanki mineralno-emulsyjne mogą być produkowane w wytwórni typowej. Praktycznie każda otaczarnia jest odpowiednia do produkcji mieszanki mineralno-emulsyjnej.

Podczas produkcji mieszalnik powinien być wypełniony do takiej wysokości, żeby łopatki zostały zakryte. Ogranicza to niebezpieczeństwo segregacji mieszanki. Po zakończeniu produkcji zaleca się oczyścić mieszalnik przepuszczając kilka ton kruszywa O/D lub d/D. Materiału tego nie wyrzuca się, lecz używa ponownie następnego dnia.

Najkorzystniejszym sposobem umieszczenia mieszalnika jest miejsce podniesione. Pozwala to na grawitacyjne ładowanie ciężarówek bez konieczności stosowania ani taśmociągu ani zbiornika składowego. Zapewnia się w ten sposób większą mobilność i ogranicza ryzyko klejenia do taśmociągu i przepełnienia zbiornika.

W instalacjach o ruchu ciągłym, mieszalnik składa się najczęściej z dwóch podłużnych wałów z łopatkami. Prędkość końcówek łopat powinna wynosić ok 2.5 m/s (bliska prędkości używanej w mieszalnikach do mieszanki mineralno-żuźlowej i ok dwa razy większa od prędkości używanej w mieszalnikach do mieszanki mineralno-asfaltowej). Poziom mieszanki nie powinien przekraczać skraju łopaty ustawionej pionowo w pozycji górnej.

W aktualnym stanie wiedzy uważa się, że zbiornik mieszalnika powinien być lekko pochylony (3 do 7%) aby zapewnić równomierny przesów mieszanki. Mieszalnik jest zaopatrywany:

- w kruszywo, przy pomocy taśmociągu który zbiera wilgotne kruszywo pochodzące z różnych zasobników,
- w wodę, przy pomocy rampy wtryskującej znajdującej się powyżej rampy wtryskującej emulsję i możliwie najbliżej punktu zsypania kruszywa,
- w emulsję, przy pomocy rampy wtryskującej której umiejscowienie powinno zostać dobrane w zależności od prędkości rozpadu emulsji na danym kruszywie.

W przypadku instalacji o ruchu ciągłym, na końcu mieszalnika znajduje się zbiornik załadunkowy. Służy do wypełniania ciężarówek przy pomocy kolejnych spustów. Zapadnia tego zbiornika powinna być otwierana dopiero po wystarczającym napełnieniu i jej otwarcie nie powinno przekraczać 5 sekund.

W celu ograniczenia ryzyka rozwarstwienia należy zwrócić szczególną uwagę na to, aby wysokość spadku kruszywa między zbiornikiem a ciężarówką była możliwie mała.

3.2 Magazynowanie

Przy użyciu specjalnej emulsji mieszanka żwirowo-emulsyjna może być magazynowana przez kilka miesięcy zaś przy użyciu emulsji zwykłej, mieszanka GE może być składowana najwyżej przez 2 do 3 dni. Można ją używać cały czas z wyjątkiem dni z temperaturą poniżej 0°C.

3.3 Transport

Mieszanka żwirowo-emulsyjna jest materiałem, który może ulec rozwarstwieniu. Korzystniej jest więc stopniowo ładować i rozładowywać wywrotki. W żadnym przypadku nie należy wysypywać wywrotki w jedną pryzmę.

Do poszerzeń na poboczach, zaleca się stosowanie wywrotek z rozładunkiem bocznym. Ciężarówki powinny być widocznie ponumerowane.

3.4 Wykonanie i roboty przygotowawcze (w przypadku wzmocnienia)

Nie ma konieczności wstępnego wyrównywania przekroju poprzecznego.

W trakcie zagęszczania, można wygładzać mieszankę mineralno-emulsyjną równiarką, co pozwala na ograniczenie ilości nieregularności w profilu spowodowanych różnym osiadaniem w czasie zagęszczania.

Jednak w wypadku nawierzchni bardzo odkształconych, ze względu na gładkość warstwy ścieralnej, zaleca się wstępne wyrównanie. Pozwala to następnie na stosowanie warstwy o równej grubości. Do wstępnego wyrównania można użyć frakcję 0/6 lub 0/10 mieszanki mineralno-emulsyjnej stosowanej do wzmocnienia.

Pobocza należy wykonywać przed rozłożeniem mieszanki mineralno-emulsyjnej. Trzeba je wstępnie zagęścić co ułatwi zagęszczanie brzegów. Taki sposób działania będzie w pełni skuteczny jeżeli materiał na pobocza będzie dobrej jakości i rozłożony w wystarczającej ilości (minimalna szerokość 50 cm). Ponadto należy uważać aby odpływ wody był zapewniony w całym czasie trwania robót. Z wcześniej omówionych powodów, nie ma potrzeby stosowania warstw klejących. W szczególnych przypadkach jest to jednak wykonywane.

Syntezę zaleceń można przedstawić w następujących punktach:

- należy układać nawierzchnię w kilku warstwach, jeśli średnia całkowita grubość warstwy po zagęszczeniu jest większa niż 10 cm lub jeśli profil drogi jest nieregularny; jest to możliwe, jeśli stosowane jest sklejanie warstw emulsją,
- jeśli układana warstwa jest jednakowej grubości, co najwyżej 10 cm, należy układać tylko jedną warstwę,
- przy poprawianiu profilu drogi należy stosować raczej równiarkę niż układarkę,
- jeśli deformacje są duże, najpierw trzeba wykonać reprofilowanie lub nawet położyć nową warstwę, aby uniknąć dalszego odkształcania,
- jeśli w kontrakcie podana jest minimalna grubość warstwy, należy zacząć od poprawienia profilu, a potem położyć równą warstwę,
- jeśli zawartość wody w mieszance mineralno-emulsyjnej jest zbyt duża, należy ją trochę podsuszyć tj. zmagazynować po wyprodukowaniu przed rozłożeniem,
- jeśli profil jest poprawiany należy rozpocząć od minimalnej grubości 6 cm,
- przy reprofilowaniu i wyrównywaniu należy ustawić lemiesz tak, aby duże kamienie były spychane w kierunku krawędzi bocznej, a nie na środek.

3.5 Okres i warunki wykonywania robót

Wbudowywanie mieszanki mineralno-emulsyjnej nie może być wykonywane w okresie mrozów lub przymrozków i w czasie ulewnego deszczu.

Mieszanka mineralno-emulsyjna uzyskuje w pełni swoje właściwości mechaniczne tylko wtedy, gdy całość zawartej w niej wody (dodana woda zarobowa oraz woda z rozpadu emulsji) znajduje możliwość ujęcia. Aby woda mogła być w pełni wyeliminowana z mieszanki mineralno-emulsyjnej, należy ją wbudować w miarę możliwości na początku sezonu. W takim przypadku ruch oddziałuje jako czynnik pomagający przy dojrzewaniu materiału (poprawa własności mechanicznych dzięki dogęszczeniu i eliminacja pozostałej wody). Warstwa jezdna (ścieralna lub powierzchniowe utwalenie) powinna być wbudowywana jeśli materiał dojrzeje, zwłaszcza jeżeli został użyty na nieprzepuszczalnym podłożu.

Należy więc wbudowywać mieszankę mineralno-emulsyjną przed końcem września z możliwością zmieniania tej daty w zależności od warunków geograficznych (wysokość, klimat).

W każdym wypadku przed zimą warstwa mieszanki mineralno-emulsyjnej powinna być pokryta dywanikiem betonu asfaltowego (w przypadku ruchu T1 i T2), lub powierzchniowym utwaleniem (w przypadku ruchu T3 i T4). Jednak drogi o bardzo małym ruchu nie narażone na oddziaływanie opon okolcowanych lub z łańcuchami mogą być pokryte warstwą jezdnią w następnym roku pod warunkiem, że mieszanka mineralno-emulsyjna typu GE będzie wyprodukowana z emulsji na bazie asfaltu 180/200 i że wbudowanie materiału miało miejsce przed wrześniem.

Odparowanie wody zawartej w materiale odbywa się w zdecydowanej większości poprzez część wierzchnią i, kiedy podłoże jest przepuszczalne, przez część dolną warstwy. Kiedy warstwy o dużej grubości (ponad 15 cm do 20 cm) są układane jedną warstwą, można obawiać się mniej satysfakcjonującego zachowania się materiału.

Organizacja robót

Szczególną uwagę należy zwrócić na dwie następujące kwestie:

Zagęszczanie: odpowiednio dobrany sprzęt i dobre jego zastosowanie warunkują sukces robót. Mieszanka mineralno-emulsyjna jest materiałem trudnym do zagęszczenia.

Zawartość wody: Podanie dokładnej ilości wody zarobowej jest niezmiernie trudne. Wielkość ta zależy:

- a) od rodzaju kruszywa,
- b) od rodzaju gruntu podłoża: grunt nieprzepuszczalny jest czynnikiem niekorzystnym dla dobrania dużej zawartości wody, zwłaszcza gdy warstwa mieszanki mineralno emulsyjnej jest gruba,
- c) od warunków klimatycznych.

Można jednak stwierdzić, że zawartość wody powinna znajdować się w przedziale od 4 % do 7% na początku zagęszczania.

Trudności przy zagęszczaniu wymagają najczęściej szczególnie dużej liczby przejść walca. W konsekwencji nie należy przewidywać zbyt dużej wydajności przy wytwarzaniu materiału.

Właściwości mieszanki mineralno-emulsyjnej pozwalają na rozdzielenie fazy wytwarzania, rozścielania i zagęszczania materiału co znacznie uelastycznia przebieg robót.

3.6 Rozkładanie

Mieszanki żwirowo-emulsyjne można rozkładać za pomocą układarki lub równiarki. Zaletą rozkładarki jest możliwość ułożenia w jednym przejeździe maszyny równej, grubej warstwy, która w przyszłości równo osiada, ma lepszy wygląd i prostsze krawędzie. Szybkość pracy jest większa niż równiarki. Z drugiej strony czasem rozkładarka powoduje segregację, szczególnie przy mieszance mineralnej 0/20. Przy używaniu rozkładarki konieczne są ciągłe dostawy, a podnoszenie boków kosza zasypowego jest zabronione.

Można stosować wszelkie maszyny do rozścielania. Równiarka jest jednak maszyną najbardziej przydatną i najczęściej stosowaną. Lepiej nadaje się do wyrównań przekroju poprzecznego i pozwala na mieszanie materiału, co jest przydatne przy nadmiarze wody. Jest konieczna do ponownego rozkładania w przypadku ulewnego deszczu. Praca równiarką powinna być prowadzona tak, aby ograniczyć rozwarstwianie: pełen lemiesz skierowany do brzegu jezdni w czasie ostatnich przejść w celu usunięcia dużych kamieni wybitych z mieszanki.

Według wskazań wytycznych grubość warstwy należy sprawdzać poprzez pomiar wysokościowy (niwelacja) lub przez pomiar ilości materiału rozłożonego na jednostce długości i przez sprawdzenie przekroju normalnego.

Poszczególne operacje technologiczne mogą być wykonywane niezależnie od siebie :

- dostarczanie, rozkładanie i zagęszczanie mogą być rozdzielone,
- można dostarczyć mieszankę na przemy, a potem rozłożyć,
- można ciągle rozkładać i później zagęszczać.

Przeróbki i złącza wszystkich typów warstw (wzdłużne, poprzeczne, kolejnych warstw) są szczególnie łatwe do wykonania.

Możliwość stopniowania poszczególnych operacji stwarza możliwość pełnego wykorzystania sprzętu i ludzi.

3.6.1.1 Sprzęt rozkładający i wyrównujący

Rozkładarka

Mieszanki mineralno-emulsyjne można rozkładać za pomocą układarki lub równiarki. Zaletą rozkładarki jest możliwość ułożenia w jednym przejeździe maszyny równej, grubej warstwy, która w przyszłości równo osiada, ma lepszy wygląd i prostsze krawędzie. Szybkość pracy jest większa niż równiarki. Z drugiej strony czasem rozkładarka powoduje segregację, szczególnie przy mieszance mineralnej 0/20. Przy używaniu rozkładarki konieczne są ciągłe dostawy, a podnoszenie boków kosza zasypowego jest zabronione.

Równiarka

Równiarka daje szersze możliwości w zakresie dostarczania i rozkładania układanej warstwy nawierzchni. Dostawy mieszanki mogą być realizowane każdym typem ciężarówki, odpowiednim do warunków na drodze. Czynności dostawy i rozkładania mogą być rozdzielone w czasie, przez co można zaoszczędzić na ilości przejazdów i zredukować ich liczbę. Można składować mieszankę na miejscu budowy, aby dostosować wydajność wytwórni do wydajności równiarki, którą można wykorzystywać w różnych miejscach. To składowanie na zapas można wykonywać na drodze budowanej, a ciężarówki mogą przejeżdżać przez usypaną warstwę i nie muszą zawracać i podjeżdżać tyłem. Oszczędza to czas i pozwala zmniejszyć ilość potrzebnych ciężarówek.

Możliwe jest wbudowywanie mieszanki dostarczonej na zapas, podczas którego następuje dodatkowe mieszanie, które poprawia jednorodność. Równiarka może być wykorzystana dodatkowo do wyrównywania górnej warstwy podbudowy. Korzystne jest także stopniowe równanie zagęszczanego materiału przez połączenie pracy walca i równiarki.

Jak widać równiarki mają szereg zalet, jednak jakość pracy w dużym stopniu zależy od operatora.

Jedną z zalet stosowania mieszanek mineralno-emulsyjnych jest możliwość przenoszenia wytwórni. Przeniesienie wytwórni jest opłacalne, jeśli pozwoli skrócić transport o 20 km przy ilości produkowanej mieszanki - 1000 t.

Zmniejszenie odległości transportowych powoduje oszczędności paliwa i oszczędność dróg, po których przejeżdżałyby ciężarówki.

3.6.1.2 Niwelacja

Profilowanie przy pomocy niwelacji powinno być wykonywane niezmiernie starannie aby układanie warstwy ścieralnej nie nastęczało kłopotów. Takie rozdzielanie funkcji w trakcie profilowania jezdni, przy aktualnym sprzęcie i technice, jest najlepszym sposobem zapewnienia użytkownikowi odpowiedniego komfortu.

3.6.1.3 Grubość

Dla nowych odcinków lub dla wzmocnień ze wstępnym wyrównaniem, możliwa jest stała kontrola grubości po skończeniu profilowania warstwy. Używa się w tym celu wyskalowaną sondę. Taką kontrolę "w trakcie" należy na zakończenie dnia uzupełnić kontrolą średniej rozścielonej grubości.

3.6.1.4 Dobór szerokości rozścielania

Rozścielanie może się odbywać połową lub pełną szerokością jezdni w zależności od warunków użytkowania drogi w czasie robót.

3.6.1.5 Dobór grubości rozścielania

Przy układaniu warstwy mieszanki mineralno-emulsyjnej o dużej grubości, może zaistnieć konieczność kładzenia w dwóch kolejnych warstwach z powodu trudności w zagęszczeniu grubej warstwy tego materiału napotykanym przy stosowaniu większości aktualnie dostępnego sprzętu jak również z powodu problemów powstających przy usuwaniu wody zawartej w materiale.

3.7 Zagęszczanie

Zagęszczanie jest bardzo ważną czynnością, ponieważ powoduje właściwe ułożenie materiału i przekształca ostatecznie emulsję w asfalt.

Celem wałowania jest zagęszczenie mieszanki i w konsekwencji zabezpieczenie przed osiadaniem oraz poprawa właściwości przez wzrost tarcia wewnętrznego i kohezji.

Zagęszczanie jest utrudnione gdy:

- a) zawartość wody nie jest odpowiednia,
- b) całkowicie zaszła koalescencja,
- c) asfalt wyjściowy jest twardy,
- d) temperatura otoczenia jest niska,
- e) cząstki asfaltu nie są równomiernie rozprowadzone,
- f) mieszanka zawiera dużą ilość ziaren łamanych.

W najłatwiejszym przypadku wystarczy walec trzytonowy, zaś w najtrudniejszym 5t/oś i/lub ciężki walec wibracyjny. Gdy grubość warstwy jest mniejsza niż 10 cm wystarczy walec zwykły, natomiast gdy jest ponad 10 cm konieczny jest walec wibracyjny.

Zaleca się zwrócić szczególną uwagę na ten etap pracy. Podczas zagęszczania, cząstki asfaltu są włączane pomiędzy ziarna kruszywa tworząc cienką błonkę na skutek efektu ugniatania. Pod wpływem powstających naprężeń zaprawa emulsyjna przekształca się w mastyks. Jednocześnie duże ziarna klinują się, a wraz z eliminacją wody wzrasta kohezja.

Mieszanki żwirowo-emulsyjne są stosowane w temperaturze otoczenia i dlatego nie ma problemów z ich stygnięciem podczas wałowania. Efektywne zagęszczenie tych mieszanek jest możliwe w temperaturze otoczenia co najmniej o kilka stopni powyżej zera. Nawet w czasie niepogody, słońce w ciągu dnia, są uzyskiwane odpowiednie temperatury i wtedy należy wykonywać wałowanie.

Jeśli zawartość wody w mieszance jest za duża, np. z powodu opadów, to konieczne jest usunięcie jej nadmiaru przez odparowanie, mieszając warstwę równiarką przed zagęszczeniem.

Czas pomiędzy wyrównaniem a zagęszczeniem można zmieniać, zgodnie z potrzebami od kilku minut do kilku godzin, zachowując pewność uzyskania oczekiwanych rezultatów.

Ze względu na wpływ zagęszczalności na właściwości mechaniczne mieszanki żwirowo-emulsyjnej należy przyłożyć do tej kwestii nadzwyczajną uwagę.

Ponadto energiczne zagęszczanie jest konieczne w celu usunięcia wody z mieszanki.

Dobór sprzętu do zagęszczania powinien zależeć od:

- a) rodzaju materiału (wskaźnik skruszenia),
- b) grubości warstwy:

- grubość warstwy 10 cm:

jedynie walce ogumione:

- dla kruszyw o wskaźniku przekruszenia mniejszym lub równym 60%: obciążenie minimalne 3 t/koło,
- dla kruszyw o dużym wskaźniku skruszenia większym od 60%: obciążenie minimalne 5t/koło dla co najmniej jednego walca.

walce wibracyjne (ewentualnie w połączeniu z walcami ogumionymi):

- należy jednak uważać przy grubościach mniejszych od 10 cm i przy mało wytrzymałym podłożu dla których używanie walca wibracyjnego nie jest zalecane.

walce mieszane:

- te same uwagi jak dla walców wibracyjnych.

- grubość warstwy 15 cm:

walce wibracyjne + walce ogumione o minimalnym obciążeniu 5 t/koło.

walce mieszane.

walce ogumione (z których przynajmniej jeden o minimalnym obciążeniu 5 t/koło):

- ten sposób postępowania należy najlepiej zastrzec dla mieszanek żwirowo-emulsyjnych "urabialnych" (wskaźnik skruszenia mniejszy lub równy 60%).

c) sztywności podłoża.

Dla tej grubości a w szczególności dla grubości większych, dla których aktualne doświadczenie jest niewystarczające, należy poświęcić wyjątkową uwagę przy doborze sprzętu.

UWAGA: odradza się stosowanie walców wibracyjnych na odcinkach w miastach.

We wszystkich przypadkach zagęszczanie powinno być możliwie duże. Najczęściej konieczne jest 20 przejść walca wibracyjnego lub 30 przejść walca ogumionego.

3.7.1.1 Zagęszczanie na połączeniach

Aktualnie nie istnieje sprzęt dobrze nadający się do tych robót. Można używać walca ogumionego z obciążeniem 3 t/koło i wykonać roboty w dwóch fazach, wracając po pierwszym "dojrzeniu" mieszanki mineralno-emulsyjnej. Nadmiar grubości warstwy na połączeniach ułatwia zagęszczanie oponami.

3.7.1.2 Zamknięcie i obróbka powierzchni

Po zagęszczeniu ostatniej warstwy wykonanej z mieszanki mineralno-emulsyjnej korzystne jest wykonanie zamknięcia powierzchniowego. Celem tego zabiegu jest zwiększenie kohezji powierzchniowej materiałów w takim stopniu, aby mogły stawić opór naprężeniom ścinającym bez uszkodzenia. Jeśli nie zawsze jest to konieczne, doświadczenie uczy, że warto to zrobić.

W tym celu wykonuje się warstwę zamykającą rozpryskując na powierzchni emulsję asfaltową dozując 150 do 200 g/m² czystego asfaltu. Najwygodniej jest użyć bardzo rozcieńczonej emulsji (nawet do 15% asfaltu) co pozwala na regularne dozowanie.

Rodzaj zastosowanego zamknięcia powierzchni zmniejszającego ryzyko uszkodzeń przed położeniem kolejnej warstwy musi odpowiadać typowi użytej mieszanki mineralno-emulsyjnej.

Jeśli mieszanka mineralno-emulsyjna jest produkowana z kruszywa o powierzchni ziarnistej, zamknięcie ogranicza się do skropienia odpowiednim rodzajem emulsji asfaltowej w ilości 900 g/m². Jeśli mieszanka mineralno-emulsyjna jest produkowana z kruszywa, którego ziarna są gładkie, konieczna jest obróbka powierzchni, aby uniknąć wykruszeń większych ziarn, za pomocą skropienia emulsją asfaltową w ilości 1,2 kg/m² i lekkiego posypania piaskiem. Powyższe postępowanie jest zalecane przy remoncie dróg o ruchu ciężkim natychmiast otwieranych do ruchu.

Obróbka powierzchni może być wykonana po całkowitym zagęszczeniu warstwy. Zamykanie bez piaskowania może lekko opóźnić otwarcie drogi z powodu konieczności rozpadu emulsji i wyschnięcia wydzielonej wody. Ten czas zależy od warunków atmosferycznych. Podczas dojrzewania powierzchni (20 - 30 min) ruch puszcza się drugą stroną drogi.

Zamknięcie powierzchni musi zapewnić jej nieprzepuszczalność tj. uniemożliwić penetrację wody do warstw podbudowy. Szczególnie ważne jest zamknięcie powierzchni, gdy do produkcji mieszanki mineralno-emulsyjnej użyto asfalt twardszy niż 180/220, ponieważ zawartość wolnej przestrzeni często jest większa od założonej.

Należy zaznaczyć, że stabilność mieszanki mineralno-emulsyjnej nie jest funkcją minimalnej grubości i w związku z tym grubość ta może być, jeśli potrzeba, minimalną wymaganą technologiczną grubością warstwy nawierzchni.

4 Ustalenie danych wyjściowych do obliczeń metodą mechanistyczną

Zgodnie z mechanistyczną metodą projektowania, dane dla określenia typowej konstrukcji nawierzchni z warstwą z mieszanki GE, wykorzystują obliczenia naprężeń i odkształceń nawierzchni według teorii wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej.

Odcinek doświadczalny usytuowany był na drodze o konstrukcji półsztywnej z podbudową z chudego betonu, położonego na drobnych piaskach o nośności G1

Należy przyjąć do projektowania następujące założenia materiałowe:

- wartości modułu sztywności mieszanki GE przyjmować w temperaturze 10°C,
- zastosowanie asfaltu o penetracji 50/70 i temperaturze mięknięcia > 50°C,
- zastosowania mieszanki GE o proporcjach objętościowych asfaltu 10 % (V/V), zawartości wolnej przestrzeni 10 % (V/V) i zawartości kruszywa 80 % (V/V),
- przyjęcie wartości współczynnika Poissona $\nu = 0,30$,
- przyjęcie wartości modułu sztywności mieszanki GE 3500 MPa,

Wykorzystując te założenia uzyskane (i potwierdzone) jako wynik niniejszej pracy możliwe będzie uwzględnienie mieszanki GE jako warstwy w typowych konstrukcjach nawierzchni półsztywnych (typ F, tab. 15 w).

5 Ocena wyników i wnioski

Nie uwzględnienie w katalogach: Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych i Katalogu wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych, możliwości stosowania mieszanek mineralno-emulsyjnych, takich jak, np. mieszanka GE, spowodowało całkowite zahamowanie rozwoju tej technologii w kraju. Projektanci i inwestorzy traktują Katalogi, jako swego rodzaju "Biblię", nie biorąc pod uwagę nie opisanych tam technologii i materiałów.

W niniejszej pracy usiłowano podać dane wyjściowe do obliczeń metodą mechanistyczną, co umożliwiłoby wprowadzenie do Katalogów nowego rodzaju materiału do budowy, remontu i wzmocniania nawierzchni asfaltowych.

W badaniach laboratoryjnych, głównie opisanych w cz.I Sprawozdania, przedstawiono zasady projektowania mieszanki GE, stosując metodę Duriez.

W II cz. Sprawozdania opisano przygotowania i przeprowadzenie próby drogowej. Wybrany do próby odcinek drogowy, teoretycznie rzecz biorąc, nie był najlepszy, ponieważ konstrukcja drogi przed wzmocnieniem okazała się dość mocna i w zasadzie wystarczająca na przenoszony aktualnie ruch na poziomie KR3. Zaprojektowano wzmocnienie tej drogi do możliwości przenoszenia ruchu KR6, który w dłuższej perspektywie jest możliwy.

Z pewnym opóźnieniem (3 miesiące), nie z winy IBDiM, odcinek o długości 500 m został wykonany z powodzeniem. Wykonaną nakładkę o grubości średnio 7 cm, zamknięto powierzchniowym utwaleniem po kilku dniach od wykonania. Nie odczekano przepisowego miesiąca, ponieważ był to październik i prognozowane były silne opady. Także pomiary nośności wykonano po 2 tygodniach od wykonania nawierzchni, a więc przed pełnym zakończeniem procesu dojrzewania warstwy mieszanki GE. Temperatura nawierzchni podczas tych pomiarów wynosiła 10°C, podczas gdy pomiary wstępne wykonano w lipcu przy temperaturze nawierzchni 25°C. Korzystne dla pracy byłoby wykonanie pomiarów nośności aparatem FWD w 2005 r, w momencie gdy temperatura nawierzchni osiągnie temperaturę > 20 °C. Uzyskane wyniki mogłyby dostarczyć dodatkowych danych do oceny mieszanki GE.

Ta sytuacja wpłynęła na wyniki pomiarów ugięcia warstw bitumicznych, traktowanych łącznie jako jedna warstwa, ze względu na ograniczenie programu ELSYM5M do analizowania trzech warstw, w tym przypadku były to warstwy asfaltowe, podbudowa z chudego betonu i podłoże gruntowe.

Zastosowanie złączania warstwy starej wzmacnianej nawierzchni z nową z mieszanki GE, jest zabiegiem koniecznym i wymaga wydatku asfaltu 200 – 300 g/m² w postaci kationowej emulsji wolnorozpadowej wykonanej z asfaltu 50/70 i emulgatora Teramin E2/3 w ilości 10 kg/t. Emulsja ta powinna być także stosowana, gdy warstwa z mieszanki GE jest układana bezpośrednio na betonie cementowym.

Do projektowania nawierzchni z zastosowaniem mieszanek mineralno-emulsyjnych stosowany jest francuski program komputerowy ELIZE. Nie jest on jednak zalecany w Katalogu. Dlatego też postępowano zgodnie z regułami programowania mechanistycznego.

W wyniku wzmocnienia nawierzchni nową warstwą z mieszanki GE + powierzchniowe utwalenie uzyskano nośność 18 mln osi 100kN /20 lat, co oznacza kategorię ruchu KR6 i średniodobowe przejazdy > 2000 osi obliczeniowych.

Produkcja mieszanki GE może być wykonywana w typowych otaczarkach do mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco lub lepiej w specjalnych otaczarkach do mieszanek na zimno, jak w przypadku opisanym w Sprawozdaniu. Przy kontroli produkcji należy zwrócić szczególną uwagę na zawartość ziarn poniżej 2 mm oraz na zawartość frakcji < 0,075 mm, która nie powinna być niższa niż 5 % (m/m). Emulsja asfaltowa stosowana do otaczania mieszanki mineralnej powinna być wolnorozpadowa lub nadstabilna o zawartości asfaltu 58 – 65 % (m/m). W celu uzyskania większej wartości modułu sprężystości warstwy wzmacniającej należy stosować do wytworzenia emulsji asfaltowej asfalty twardsze, o penetracji poniżej 100 x 0,1 mm.

Pomimo niższych wartości modułu sprężystości mieszanki GE w porównaniu z mieszankami na gorąco odporność na koleinowanie jest większa. Także w przypadku wzmacniania nawierzchni półsztywnej, na podbudowie z betonu cementowego należy oczekiwać, że spękania poprzeczne wzmacnianej nawierzchni zostaną rozproszone w warstwie GE i nie pojawią się na powierzchni nowej warstwy.

Tematyka stosowania mieszanek na zimno do wzmacniania istniejących nawierzchni powinna być kontynuowana w celu wprowadzenia do Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych i Katalogu wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych.