

**INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW**  
**ZAKŁAD TECHNOLOGII NAWIERZCHNI**

**Sprawozdanie**  
**z etapu II tematu TN-229**  
**pt.: Ocena trwałości nawierzchni asfaltowych z podbudową**  
**z kruszywa stabilizowanego mechanicznie**

Prowadzący temat:

doc. dr inż. Janusz Zawadzki

Sprawozdanie opracowali:

doc. dr inż. Janusz Zawadzki

mgr Paweł Skierczyński

inż. Dominika Jezierska

Współpraca:

mgr inż. Renata Horodecka (TN-1)

mgr inż. Tomasz Mechowski (TD)

mgr inż. Robert Mularzuk (TN-2)

inż. Mieczysław Przygoda (TG-1)

mgr inż. Andrzej Wróbel (TN-1)

Kierownik Zakładu  
Technologii Nawierzchni:

Laboratoria Drogowe GDDKiA

w Białymstoku, Wrocławiu i Zielonej Górze

prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Warszawa, listopad, 2004

**Spis treści:**

	<b>strona</b>
<b>1</b> Wstęp.....	<b>3</b>
<b>2</b> Program badań etapu drugiego.....	<b>6</b>
<b>3</b> Metody badań.....	<b>7</b>
<b>4</b> Wyniki badań.....	<b>8</b>
<b>5</b> Analiza wyników.....	<b>63</b>
5.1 <i>Grubość warstw nawierzchni</i> .....	63
5.2 <i>Uziarnienie MMA</i> .....	64
5.3 <i>Rodzaj i zawartość asfaltu w MMA</i> .....	66
5.3.1 <i>Zasady przyjęte w Zeszycie 48/1995 odnośnie do stosowania asfaltu i projektowania jego ilości w BA</i> .....	66
5.3.2 <i>Asfalty stosowne w warstwach nawierzchni obwodnic</i> .....	67
5.4 <i>Wolna przestrzeń i wypełnienie jej asfaltem</i> .....	73
5.5 <i>Moduł sztywności pelzania</i> .....	75
5.6 <i>Połączenie międzywarstwowe</i> .....	77
5.7 <i>Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie</i> .....	78
5.8 <i>Moduł sztywności</i> .....	79
5.9 <i>Zmiana właściwości asfaltów w nawierzchni</i> .....	81
5.9.1 <i>Pierwotne właściwości asfaltów</i> .....	81
5.10 <i>Ocena podbudowy niezwiązanej i podłoża gruntowego</i> .....	87
5.11 <i>Trwałość nawierzchni odcinków badawczych</i> .....	91
<b>6</b> Zalecenia.....	<b>99</b>
6.1 <i>Uwagi ogólne</i> .....	99
6.2 <i>Propozycja usprawnienia podbudowy niezwiązanej</i> .....	99
<b>7</b> Wnioski.....	<b>101</b>

Załączniki 1, 2 i 3

## 1 Wstęp

Niniejsze sprawozdanie jest kontynuacją pracy badawczej rozpoczętej w 2003 r. Uzasadnienie potrzeby podjęcia, jej cel, przyjęta metodyka badań oraz wybór i lokalizację odcinków badawczych na wytypowanych 4 obwodnicach, tj. Nowej Soli, Trzebnicy, Białegostoku i Kuźnicy podano w sprawozdaniu z etapu I, zrealizowanego w 2003 r. Wówczas zostały wykonane wszystkie prace terenowe (pomiar ugięć, pobranie próbek, badanie nawierzchni *in situ*) i część badań laboratoryjnych (pomiar modułu sztywności próbek z warstw asfaltowych przy pomocy aparatu NAT, w temperaturze ujemnej i dodatniej, pomiar międzywarstwowego naprężenia ścinającego).

Powodem realizacji tej pracy była potrzeba znalezienia odpowiedzi na pytanie, jaki jest wpływ podatnej podbudowy z kruszywa niezwiązanego na trwałość warstw asfaltowych, które powinny spełniać podstawowy warunek jakim jest oczekiwana odporność nawierzchni asfaltowych na tworzenie się kolein w sytuacji obecnie panującego ruchu samochodowego na drogach w naszym kraju. Pytanie to wynikało z faktu, że niektóre nawierzchnie z podbudową podatną wykonane w latach 1997-2000 uległy przedwczesnym uszkodzeniom zmęczeniowym. Z tego faktu wynika następne pytanie, czy za taki stan rzeczy winić należy warstwy asfaltowe, czy podbudowę z kruszywa niezwiązanego, czy też wina jest obustronna. Przyjęto, że pomocą w znalezieniu odpowiedzi na te pytania będzie analiza przykładów nawierzchni na 4 obwodnicach, a mianowicie Nowej Soli, Trzebnicy, Białegostoku i Kuźnicy, które zostały wykonane zgodnie z nowymi tendencjami w zakresie konstrukcji nawierzchni i projektowania MMA.

## Znaczenie skrótów i oznaczeń liczbowo-literowych

MMA	mieszanka mineralno-asfaltowa,
BA	beton asfaltowy,
SMA	mieszanka SMA,
NS	obwodnica Nowej Soli,
T	obwodnica Trzebnicy,
B	obwodnica Białegostoku,
K	obwodnica Kuźnicy,
1, 2	kolejne numery otworów badawczych na nawierzchni o stanie złym, w przypadku obwodnicy Białegostoku, numery te oznaczają konstrukcję nawierzchni wg nowego Katalogu,
3, 4	kolejne numery otworów badawczych na nawierzchni o stanie dobrym, w przypadku obwodnicy Białegostoku, numery te oznaczają konstrukcję nawierzchni wg starego Katalogu,
A	warstwa ścieralna,
B	warstwa wiążąca,
C	warstwa podbudowy z BA,
D	warstwa podbudowy niezwiązanej,
I, II, III	trzy kolejne próbki (odwierty w otworze badawczym) do oznaczenia połączenia warstw,
IV, V, VI	trzy kolejne próbki do oznaczenia modułu sztywności przy pomocy aparatu NAT, w temperaturze -10, -2, +10, +20 °C oraz wytrzymałości na rozciąganie pośrednie w temperaturze +10 °C,
VII, VIII, IX	trzy kolejne próbki do oznaczenia wytrzymałości na rozciąganie pośrednie w temperaturze -2 °C,
X, XI, XII	trzy kolejne próbki do oznaczenia modułu sztywności pełzania,
Sr	wytrzymałość na rozciąganie pośrednie,
Ms	moduł sztywności pełzania,
$\tau$	międzywarstwowe naprężenie ścinające,
E	moduł sztywności MMA oznaczony przy użyciu aparatu NAT,
E1	moduł sztywności warstw asfaltowych,
E2	moduł sprężystości podbudowy niezwiązanej,
E3	moduł sprężystości podłoża gruntowego,

Na	trwałość warstw asfaltowych w mln. osi 100 kN,
Ng	trwałość podłoża gruntowego w mln. osi 100 kN,
LD	Laboratorium Drogowe,
RG	Rafineria Gdańska S.A.,
Odcinek I	Stan nawierzchni zły,
Odcinek II	Stan nawierzchni dobry,
Odcinek A	konstrukcja nawierzchni wg Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych z 1997 r. w skrócie nowy Katalog, na obwodnicy Białegostoku,
Odcinek B	konstrukcja nawierzchni wg Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych z 1983 r. w skrócie stary Katalog, na obwodnicy Białegostoku.

## **2 Program badań etapu drugiego**

- 1) Oznaczenie właściwości warstw na podstawie badania wyciętych próbek, istotnych ze względu na cel badań,
- 2) Wykonanie obliczeń parametrów trwałościowych nawierzchni odcinków badawczych,
- 3) Opracowanie sprawozdania zawierającego m.in. ocenę przyczyn określonego stanu nawierzchni odcinków badawczych oraz wnioski z wyników badań i zalecenia.

### 3 Metody badań

- 1) Skład i właściwości fizyczne MMA, z których były wykonane warstwy asfaltowe nawierzchni badanych obwodnic oznaczono wg metod opisanych w Zeszycie 64/2002, Informacje, Instrukcja – „Procedury badań do projektowania składu i kontroli mieszanek mineralno-asfaltowych”, wydanym przez IBDiM,
- 2) Odzysk starego asfaltu z roztworu poekstrakcyjnego przeprowadzono wyparce obrotowej, według metody opisanej w prEN 12697-3,
- 3) Moduł sztywności pełzania próbek wyciętych z warstw nawierzchni obwodnic oznaczono wg metody opisanej w Zeszycie 64/2002, wyd. IBDiM,
- 4) Wytrzymałość na ścinanie (naprężenie ścinające)  $\tau$  między warstwami asfaltowymi oznaczono według metody opisanej w Zeszycie 66/2004, Informacje, Instrukcje, wydanym przez IBDiM,
- 5) Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie  $S_r$  próbek pobranych z nawierzchni oznaczono w temperaturze -2 i +10 °C, według metody opisanej w Załączniku do sprawozdania z tematu TN-222 „Analiz metody oceny wodoodporności do projektowania składu MMA”, zrealizowanego na zlecenie GDDKiA w 2002 r.,
- 6) Inne metody zastosowane podczas realizacji tego tematu podano w sprawozdaniu z etapu I (2003 r.).

#### 4 Wyniki badań

Uziarnienie mieszanki mineralnej BA w warstwach nawierzchni obwodnicy Nowej Soli zamieszczono w tablicy 1 i na rysunkach 1 – 6, a obwodnicy Trzebnicy w tablicy 2 i na rysunkach 7 – 12.

Uziarnienie mieszanki mineralnej SMA w warstwie ścieralnej i BA w warstwach wiążącej i podbudowie obwodnicy Białegostoku zamieszczono w tablicy 3 i na rysunkach 13 – 18.

Uziarnienie mieszanki mineralnej BA w warstwach nawierzchni obwodnicy Kuźnicy zamieszczono w tablicy 4 i na rysunkach 19 – 24.

Uziarnienie podbudowy z kruszywa niezwiązanego oraz materiału mineralnego w podłożu na tych obwodnicach zamieszczono w tablicach 5 (Nowa Sól), 6 (Trzebnica), 7 (Białystok), 8 (Kuźnica) oraz na rysunkach: 25 – 28 (Nowa Sól), 29 – 31 (Trzebnica), 30 – 35 (Białystok), 36 – 39 (Kuźnica).

Wyniki oznaczenia zawartości asfaltu w warstwach ścieralnej, wiążącej i podbudowy budowanych obwodnic zestawiono w tablicach 9 (Nowa Sól), 10 (Trzebnica), 11 (Białystok), 12 (Kuźnica).

Wyniki oznaczenia gęstości objętościowej i strukturalnej warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy badanych obwodnic zestawiono w tablicach 13 (Nowa Sól), 14 (Trzebnica), 15 (Białystok), 16 (Kuźnica).

Wyniki obliczeń wolnej przestrzeni i wypełnienia jej asfaltem w warstwach ścieralnej, wiążącej i podbudowy zestawiono w tablicach 17 (Nowa Sól), 18 (Trzebnica), 19 (Białystok), 20 (Kuźnica).

Wyniki oznaczenia modułu sztywności pełzania próbek pobranych z warstw nawierzchni badanych obwodnic zestawiono w tablicach 21 – 24, oraz pokazano w postaci histogramów na rysunkach 40 – 43, a wytrzymałość na rozciąganie pośrednie w temperaturze  $-2$  i  $+10$  °C w tablicach od 25 do 28 i na rysunkach 44 – 47.

Na podstawie wyników zamieszczonych w sprawozdaniu z etapu I (tablica 5 – 8) sporządzono histogramy naprężenia ścinającego  $\tau$  między warstwami w nawierzchni obwodnic Nowej Soli (rysunek 48), Trzebnicy (rysunek 49), Białegostoku (rysunek 50) i Kuźnicy (rysunek 51).

Na rysunkach 52 – 67 pokazano histogramy modułu sztywności  $E$  warstw asfaltowych nawierzchni obwodnic Nowej Soli, Trzebnicy, Białegostoku i Kuźnicy, oznaczonego w temperaturze  $+20$  °C,  $+10$  °C,  $-2$  °C i  $-10$  °C.



Na rysunkach 68 – 71 pokazano zależność tego modułu od temperatury, odpowiednio dla obwodnic Nowej Soli, Trzebnicy, Białegostoku i Kuźnicy.

Wyniki pomiarów grubości warstw asfaltowych nawierzchni badanych obwodnic zestawiono w tablicach 29 (Nowa Sól), 30 (Trzebnica), 31 (Białystok), 32 (Kuźnica).

Wyniki oznaczenia podstawowych właściwości asfaltu odzyskanego z warstw nawierzchni obwodnic Nowej Soli, Trzebnicy, Białegostoku i Kuźnicy zawiera załącznik 1 do niniejszego sprawozdania. Wyciąg z tych wyników, powiększony o właściwości obliczone asfaltów odzyskanych z warstw nawierzchni w/w obwodnic zestawiono w tablicach 33 (Nowa Sól), 34 (Trzebnica), 35 (Białystok), 36 (Kuźnica).

W tablicy 37 zamieszczono dane do obliczeń parametrów trwałościowych nawierzchni badanych obwodnic. Wyniki obliczeń parametrów trwałościowych, uzyskanych na podstawie pomiarów ugięć sprężystych nawierzchni 4 obwodnic aparatem FWD zawiera załącznik 2.

W załączniku 3 zamieszczono wyniki badań laboratoryjnych materiałów mineralnych pobranych z podbudowy niezwiązanej i podłoża gruntowego badanych obwodnic.

Tablica 1 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwach asfaltowych obwodnicy Nowej Soli (przechodzi przez sito #, % m/m)

Wielkość oczka sita #, mm	Rodzaj warstwy i nr otworu badawczego					
	ścieralna z BA		wiążąca z BA		podbudowa z BA	
	otwory 1+2	otwory 3+4	otwory 1+2	otwory 3+4	otwory 1+2	otwory 3+4
31,5						100
25				100	100	96,7
20	100		100	99,5	87	84,85
16	99,7	100	97,6	95,9	76	71,05
12,5	97,8	99,7	85,7	83,85	65,5	61,15
9,5	87,1	90,6	67,3	67	55,3	49,7
8	79,45	80,75	59,4	56,85	49,2	43,3
6,3	67,45	73,3	52,5	48,45	42,85	36,65
4	56,35	61,1	45,4	42,3	35,85	30,65
2	41,85	42,65	32,3	31,7	25,05	22,4
0,85	26,6	29,85	20,7	20,95	15,8	15,35
0,42	19,05	22,35	15	15,1	11,8	11,45
0,3	16,15	17,9	12,8	12,3	10,35	9,8
0,18	12,7	12,35	10,1	8,8	8,5	7,65
0,15	11,7	11	9,3	7,9	7,95	7,05
0,075	8,85	8,15	6,95	5,6	6,1	5,2

Tablica 2 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwach asfaltowych obwodnicy Trzebnicy (przechodzi przez sito #, % m/m)

Wielkość oczka sita #, mm	Rodzaj warstwy i nr otworu badawczego					
	ścieralna z BA		wiążąca z BA		podbudowa z BA	
	otwory 1+2	otwory 3+4	otwory 1+2	otwory 3+4	otwory 1+2	otwory 3+4
31,5						
25			100	100	100	100
20			99,5	99,6	97,9	97,2
16			93,6	95,2	89,1	83,9
12,5	100	100	84,95	88,3	79,85	72,5
9,5	93,55	92,3	73,95	76,3	70,1	63,75
8	82,7	79,7	66,35	68,6	64,05	58,4
6,3	71,55	65,7	56,7	60,15	57,7	51,45
4	57,9	53,85	44,4	49,8	46,55	41,55
2	43,85	42,35	34,5	38,4	35,4	30,7
0,85	28,45	27,8	22,2	22,9	22,05	19,15
0,42	20,8	20,35	15,4	15,15	15,4	13,45
0,3	17,75	17,4	12,95	12,45	12,9	11,35
0,18	14,05	13,85	10,1	9,5	10,05	9
0,15	13	12,85	9,3	8,75	9,25	8,4
0,075	9,65	9,55	7,25	6,8	7,1	6,7

Tablica 3 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwach asfaltowych nawierzchni obwodnicy Białegostoku (przechodzi przez sito #, % m/m)

Wielkość oczka sita #, mm	Rodzaj warstwy i nr otworu badawczego					
	ścieralna z SMA		wiążąca z BA		podbudowa z BA	
	otwory 1+2	otwory 3+4	otwory 1+2	otwory 3+4	otwory 1+2	otwory 3+4
31,5						
25			100		100	
20			97,6	100	89,2	100
16	100	100	89	96,85	77,55	93,1
12,5	91,5	99,55	80,55	88,8	67,35	80,1
9,5	73,5	80,75	72	77	53,4	67,55
8	59,8	61,75	67,3	68,45	46,5	57,1
6,3	47,8	54,25	59,9	59,55	38,4	45,5
4	34,9	42,5	47,15	44,95	30,35	33,85
2	26,4	28,85	38,55	31,15	24,45	24,7
0,85	20,3	21,3	27,55	22,25	18,15	17,1
0,42	16,9	18,35	19,8	17,15	13,2	13,45
0,3	15,5	17	16,4	14,9	10,8	11,8
0,18	13,75	15,15	12,15	11,9	8,1	9,7
0,15	13,2	14,65	10,9	10,95	7,5	9,1
0,075	11,05	12,25	7,4	8,1	5,85	7,15

Tablica 4 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwach nawierzchni obwodnicy Kuźnicy (przechodzi przez sito #, % m/m)

Wielkość oczka sita #, mm	Rodzaj warstwy i nr próbki					
	ścieralna z BA		wiążąca z BA		podbudowa z BA	
	otwory 1+2	otwory 3+4	otwory 1+2	otwory 3+4	otwory 1+2	otwory 3+4
31,5						
25						
20			100	100	100	100
16		100	95,9	95,6	98,4	99,2
12,5	100	99,9	87,9	80,2	84,4	92
9,5	92,7	93,25	74,4	65,6	68,35	75,6
8	79,1	75,8	66,8	57,6	57,95	64,5
6,3	69,65	66,1	58,65	49,05	49,6	52
4	57,9	53,5	45,5	40	35,3	37,3
2	41,75	41,35	31,35	32,85	24,6	26,75
0,85	28,3	27,65	21,9	23,1	17,45	19,3
0,42	21,65	20,25	16,8	17,3	14,15	15,7
0,3	18,7	17,2	14,45	14,85	12,8	14,1
0,18	15	13,3	11,4	11,75	11,05	12
0,15	14	12,15	10,7	10,8	10,5	11,4
0,075	10,6	8,8	7,9	7,85	8,6	9,3

Tablica 5 Wyniki analizy uziarnienia mieszanki mineralnej w warstwach podbudowy niezwiązanej i podłoża gruntowego na obwodnicy Nowej Soli, (przechodzi przez sito, % m/m)

Sito #, mm	Numer otworu badawczego, rodzaj warstwy						
	Nr 1		Nr 2		Nr 3	Nr 4	
	podbudowa	podłoże	podbudowa	podłoże	podbudowa	podbudowa	podłoże
63,0	100,0		100,0		100,0	100,0	
31,5	94,0	100,0	95,1		84,2	78,9	
20,0	72,3	97,5	72,6		64,6	50,6	
16,0	65,1	96,1	64,5		58,8	44,4	
12,8	55,4	95,5	54,7	100,0	52,8	39,1	100,0
8,0	43,0	94,0	40,8	99,7	40,0	30,8	99,9
6,3	38,7	93,3	34,8	99,4	33,3	27,6	99,8
4,0	33,6	92,1	27,4	98,7	26,0	22,7	99,5
2,0	24,6	89,7	18,6	97,2	18,2	15,2	99,0
1,0	16,4	86,5	11,9	94,3	13,1	10,1	98,2
0,5	11,0	77,7	8,0	78,5	9,6	7,0	90,0
0,25	7,5	51,6	5,4	40,6	6,6	4,7	61,6
0,125	5,2	11,4	3,6	7,7	4,3	3,1	26,4
0,075	3,9	4,3	2,7	3,0	3,2	2,3	15,0

Tablica 6 Wyniki analizy uziarnienia mieszanki mineralnej w warstwach podbudowy niezwiązanej i podłoża gruntowego na obwodnicy Trzebnicy, (przechodzi przez sito, % m/m)

Sito #, mm	Numer otworu badawczego, rodzaj warstwy					
	Nr 1		Nr 2		Nr 3	Nr 4
	podbudowa	podłoże	podbudowa	podłoże	podbudowa	podbudowa
63,0		100,0				100,0
31,5	100,0	99,4	100,0	100,0	100,0	95,1
20,0	89,7	99,0	91,7	99,6	95,2	84,7
16,0	85,5	99,0	87,0	98,4	90,3	79,4
12,8	76,8	98,4	75,4	96,2	84,8	72,4
8,0	59,2	97,5	57,4	87,3	68,8	54,5
6,3	54,1	97,0	52,0	82,7	60,4	44,9
4,0	44,0	96,2	42,4	75,7	44,7	29,8
2,0	31,8	95,1	30,7	68,6	27,1	16,0
1,0	23,2	92,5	22,4	59,9	16,3	9,5
0,5	18,2	85,1	17,7	48,0	10,9	6,9
0,25	15,2	69,5	14,9	33,1	8,2	5,7
0,125	13,1	56,5	12,9	16,7	6,7	4,9
0,075	11,7	48,1	11,6	10,7	5,9	4,3

Tablica 7 Wyniki analizy uziarnienia mieszanki mineralnej w warstwach podbudowy niezwiązanej i podłoża gruntowego na obwodnicy Białegostoku, (przechodzi przez sito, % m/m)

Sito #, mm	Numer otworu badawczego, rodzaj warstwy					
	Nr 1	Nr 2		Nr 3		Nr 4
	podbudowa	podbudowa	podłoże	podbudowa	podłoże	podbudowa
63,0	100,0	100,0	100,0	100,0		100,0
31,5	98,9	99,1	97,8	98,0	100,0	97,1
20,0	84,3	86,4	96,2	94,0	98,4	92,8
16,0	79,6	82,7	95,8	92,8	97,7	92,0
12,8	72,6	75,6	95,2	90,4	96,7	90,4
8,0	59,4	64,1	93,3	76,3	93,3	79,2
6,3	53,8	56,6	91,7	70,1	91,4	73,6
4,0	47,0	44,8	89,3	64,4	87,8	68,0
2,0	39,2	37,7	84,8	57,6	81,2	60,7
1,0	28,0	27,2	78,0	48,0	70,6	49,6
0,5	20,9	20,3	66,0	35,5	51,2	34,8
0,25	15,6	15,0	44,7	19,4	25,8	17,2
0,125	11,1	10,7	21,1	11,0	12,6	10,1
0,075	8,4	8,2	12,2	8,3	8,5	7,9

Tablica 8 Wyniki analizy uziarnienia mieszanki mineralnej w warstwach podbudowy niezwiązanej i podłoża gruntowego na obwodnicy Kuźnicy Białostockiej, (przechodzi przez sito, % m/m)

Sito #, mm	Numer otworu badawczego, rodzaj warstwy							
	Nr 1		Nr 2		Nr 3		Nr 4	
	podbudowa	podłoże	podbudowa	podłoże	podbudowa	podłoże	podbudowa	podłoże
125,0			100,0					
63,0			85,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
31,5	100,0		74,1	81,0	89,6	87,5	77,0	93,6
20,0	92,4	100,0	70,6	75,1	83,9	80,4	67,1	84,9
16,0	89,9	98,3	69,5	73,0	82,7	77,9	64,6	82,4
12,8	86,4	95,7	68,0	69,8	79,3	75,1	61,5	79,3
8,0	67,3	82,2	58,5	64,8	66,1	68,0	50,2	71,9
6,3	57,7	75,5	52,6	62,1	59,4	64,7	43,9	68,5
4,0	48,0	68,0	46,3	57,3	51,3	59,1	37,1	62,3
2,0	36,8	58,6	39,0	49,8	41,3	50,9	30,2	52,8
1,0	26,7	45,9	31,3	39,8	31,0	40,7	23,4	40,9
0,5	18,6	28,1	23,5	27,0	21,5	28,7	16,9	27,0
0,25	12,6	12,4	15,6	13,9	13,7	15,8	11,0	12,7
0,125	8,9	7,6	9,7	6,6	9,2	8,1	7,2	5,7
0,075	7,3	6,2	7,3	4,8	7,3	6,2	5,9	4,1

Tablica 9 Zawartość asfaltu w warstwach ścieralnej, wiążącej i podbudowie odcinków badawczych na obwodnicy Nowej Soli

Lp	Rodzaj warstwy	Zawartość asfaltu w MMA											
		% (m/m)						% (v/v)					
		otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio	otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio
1	Ścieralna	5,0	4,8	4,9	5,3	4,8	5,05	12,6	11,8	12,2	13,2	12,2	12,7
2	Wiążąca	4,2	3,9	4,05	3,4	4,1	3,75	10,9	9,9	10,4	8,8	10,5	9,7
3	Podbudowa	3,3	2,9	3,1	2,8	3,1	2,95	8,8	7,6	8,2	7,3	8,2	7,8

Tablica 10 Zawartość asfaltu w warstwach ścieralnej, wiążącej i podbudowie odcinków badawczych na obwodnicy Trzebnicy

Lp	Rodzaj warstwy	Zawartość asfaltu w MMA											
		% (m/m)						% (v/v)					
		otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio	otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio
1	Ścieralna	4,9	4,7	4,8	4,8	4,9	4,85	11,9	11,2	11,6	12,0	12,3	12,1
2	Wiążąca	4,2	4,4	5,0	5,0	4,5	4,75	10,0	10,5	10,3	11,8	10,4	11,1
3	Podbudowa	4,3	4,8	4,1	4,1	4,1	4,1	10,3	11,3	10,8	9,8	9,9	9,9

Tablica 11 Zawartość asfaltu w warstwach ścieralnej, wiążącej i podbudowie odcinków badawczych na obwodnicy Białegostoku

Lp	Rodzaj warstwy	Zawartość asfaltu w MMA											
		% (m/m)						% (v/v)					
		otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio	otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio
1	Ścieralna	6,2	5,9	6,05	6,3	6,3	6,3	15,1	14,3	14,7	14,9	14,6	14,8
2	Wiążąca	5,1	4,6	4,85	4,3	4,9	4,6	12,0	10,9	11,5	10,0	11,5	10,8
3	Podbudowa	3,9	3,6	3,75	3,3	2,9	3,1	9,1	8,4	8,8	7,6	6,7	7,2

Tablica 12 Zawartość asfaltu w warstwach ścieralnej, wiążącej i podbudowie odcinków badawczych na obwodnicy Kuźnicy

Lp	Rodzaj warstwy	Zawartość asfaltu w MMA											
		% (m/m)						% (v/v)					
		otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio	otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio
1	Ścieralna	4,8	5,0	4,9	5,4	5,3	5,35	11,5	12,1	11,8	13,0	13,0	13,0
2	Wiążąca	4,3	4,4	4,35	4,2	4,3	4,25	9,9	10,2	10,0	9,6	10,2	9,9
3	Podbudowa	4,0	4,5	4,3	4,2	3,8	4,0	8,0	6,3	7,2	6,6	9,5	8,1

Tablica 13 Gęstość objętościowa MMA i strukturalna warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Nowej Soli, g/cm<sup>3</sup>

Lp.	Rodzaj warstwy	Objętościowa MMA				Strukturalna warstwy			
		otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4	otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4
1	Ścieralna	2,679	2,00	2,686	2,706	2,595	2,524	2,564	2,622
2	Wiążąca	2,850	2,858	2,881	2,745	2,662	2,613	2,664	2,646
3	Podbud.	2,851	2,890	2,891	2,855	2,747	2,710	2,708	2,773

Tablica 14 Gęstość objętościowa MMA i strukturalna warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Trzebnicy, g/cm<sup>3</sup>

Lp.	Rodzaj warstwy	Objętościowa MMA				Strukturalna warstwy			
		otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4	otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4
1	Ścieralna	2,623	2,631	2,664	2,620	2,495	2,451	2,584	2,583
2	Wiążąca	2,594	2,596	2,574	2,586	2,457	2,446	2,431	2,381
3	Podbud.	2,590	2,561	2,613	2,602	2,460	2,630	2,461	2,495

Tablica 15 Gęstość objętościowa MMA i strukturalna warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Białegostoku, g/cm<sup>3</sup>

Lp.	Rodzaj warstwy	Objętościowa MMA				Strukturalna warstwy			
		otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4	otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4
1	Ścieralna	2,533	2,547	2,454	2,455	2,508	2,491	2,434	2,392
2	Wiążąca	2,548	2,571	2,516	2,499	2,420	2,431	2,401	2,415
3	Podbud.	2,523	2,537	2,558	2,577	2,406	2,398	2,384	2,376

Tablica 16 Gęstość objętościowa MMA i strukturalna warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Kuźnicy, g/cm<sup>3</sup>

Lp.	Rodzaj warstwy	Objętościowa MMA				Strukturalna warstwy			
		otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4	otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4
1	Ścieralna	2,560	2,551	2,544	2,548	2,457	2,485	2,487	2,524
2	Wiążąca	2,516	2,514	2,517	2,513	2,351	2,379	2,357	2,427
3	Podbud.	2,530	2,505	2,516	2,534	2,328	2,348	2,350	2,293



Tablica 17 Wolna przestrzeń i wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem w warstwach ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Nowej Soli

Lp	Rodzaj warstwy	Wolna przestrzeń, % (v/v)				Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, %			
		otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4	otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4
1	Ścieral.	3,1	65	4,5	3,1	80,2	64,4	74,5	79,9
2	Wiążąca	6,6	8,6	7,6	3,6	62,2	53,6	53,7	43,3
3	Podbud.	3,6	6,2	6,3	4,3	70,7	55,0	53,8	65,8

Tablica 18 Wolna przestrzeń i wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem w warstwach ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Trzebnicy

Lp	Rodzaj warstwy	Wolna przestrzeń, % (v/v)				Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, %			
		otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4	otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4
1	Ścieral.	4,9	6,9	3,0	1,4	70,9	62,1	80,0	89,5
2	Wiążąca	5,3	5,8	5,6	7,9	65,3	64,4	68,0	56,8
3	Podbud.	5,0	5,1	5,8	4,1	67,3	68,9	62,7	70,7

Tablica 19 Wolna przestrzeń i wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem w warstwach ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Białegostoku

Lp	Rodzaj warstwy	Wolna przestrzeń, % (v/v)				Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, %			
		otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4	otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4
1	Ścieral.	1,0	2,2	0,8	2,6	94,0	86,5	94,9	84,9
2	Wiążąca	5,0	5,5	4,6	3,4	70,6	66,5	68,6	77,3
3	Podbud.	4,6	5,5	6,8	7,8	66,4	60,6	52,9	46,3

Tablica 20 Wolna przestrzeń i wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem w warstwach ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Kuźnicy

Lp	Rodzaj warstwy	Wolna przestrzeń, % (v/v)				Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem, %			
		otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4	otwór 1	otwór 2	otwór 3	otwór 4
1	Ścieral.	4,0	2,6	2,2	0,9	74,0	82,4	85,4	93,4
2	Wiążąca	6,6	5,4	6,4	3,4	60,0	65,5	60,2	74,9
3	Podbud.	8,0	6,3	6,6	9,5	53,1	62,1	59,2	47,0

Tablica 21 Moduł sztywności pełzania próbek z warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Nowej Soli, MPa

Lp	Rodzaj warstwy	Wynik skorygowany współczynnikiem $f_1$ ze względu na wysokość próbki						Wynik skorygowany współczynnikiem $f_1$ i $f_2$ ze względu na wysokość próbki i zawartość w niej asfaltu ( $f_2 = 1,52$ lub $f_2 = 1,69$ )	
		otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio	średnio otwory 1+2	średnio otwory 3+4
1	Ścieralna	45,3	42,3	43,8	39,1	39,9	39,5	66,6	60,0
2	Wiążąca	60,3	51,9	56,1	69,4	41,6	55,5	85,3	84,4
3	Podbudowa	41,8	38,0	39,9	49,2	22,1	35,7	60,6	54,3

Tablica 22 Moduł sztywności pełzania próbek z warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Trzebnicy, MPa

Lp	Rodzaj warstwy	Wynik skorygowany współczynnikiem $f_1$ ze względu na wysokość próbki						Wynik skorygowany współczynnikiem $f_1$ i $f_2$ ze względu na wysokość próbki i zawartość w niej asfaltu ( $f_2 = 1,52$ lub $f_2 = 1,69$ )	
		otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio	średnio otwory 1+2	średnio otwory 3+4
1	Ścieralna	45,2	42,7	44,0	44,9	34,8	39,9	66,9	60,6
2	Wiążąca	41,4	49,0	45,2	42,4	39,1	40,8	68,7	62,0
3	Podbudowa	31,6	28,3	30,0	36,0	30,2	33,1	45,6	50,3

Tablica 23 Moduł sztywności pełzania próbek z warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Białegostoku, MPa

Lp	Rodzaj warstwy	Wynik skorygowany współczynnikiem $f_1$ ze względu na wysokość próbki						Wynik skorygowany współczynnikiem $f_1$ i $f_2$ ze względu na wysokość próbki i zawartość w niej asfaltu ( $f_2 = 1,52$ lub $f_2 = 1,69$ )	
		otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio	średnio otwory 1+2	średnio otwory 3+4
1	Ścieralna	12,9	25,1	19,0	15,4	24,1	19,8	32,1	33,5
2	Wiążąca	40,9	57,8	49,4	36,6	36,8	36,7	75,1	55,8
3	Podbudowa	37,4	36,4	36,9	49,5	49,1	49,3	56,1	74,9

Tablica 24 Moduł sztywności pełzania próbek z warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Kuźnicy, MPa

Lp	Rodzaj warstwy	Wynik skorygowany współczynnikiem $f_1$ ze względu na wysokość próbki						Wynik skorygowany współczynnikiem $f_1$ i $f_2$ ze względu na wysokość próbki i zawartość w niej asfaltu ( $f_2 = 1,52$ lub $f_2 = 1,69$ )	
		otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio	średnio otwory 1+2	średnio otwory 3+4
1	Ścieralna	46,2	28,0	37,1	32,4	21,3	26,9	56,4	40,9
2	Wiążąca	46,5	31,7	39,1	32,6	28,3	30,5	59,4	46,4
3	Podbudowa	42,5	48,3	45,4	21,8	39,1	30,5	69,0	46,4

Tablica 25 Odkształcenie i wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek z warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Nowej Soli

Lp.	Rodzaj warstwy	Tempera-tura badania °C	Odkształcenie Dd, mm						Wytrzymałość na rozciąganie Sr, MPa					
			otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio	otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio
1	ścieralna	-2	1,1	0,9	1,0	1,2	1,1	1,2	4,2	4,0	4,1	3,6	3,5	3,5
		10	1,5	1,4	1,5	1,7	1,7	1,7	3,1	2,8	2,9	3,0	3,0	3,0
2	wiążąca	-2	1,2	0,9	1,1	0,9	1,3	1,1	3,0	2,2	2,6	1,4	3,1	2,2
		10	1,6	0,8	1,2	0,9	1,5	1,2	2,8	2,1	2,4	1,3	3,1	2,2
3	podbudowa	-2	1,4	1,1	1,2	1,0	1,5	1,3	3,4	2,9	3,1	1,5	3,9	2,7
		10	1,5	1,3	1,4	1,3	1,5	1,4	2,9	2,1	2,5	1,9	3,2	2,5

Tablica 26 Odkształcenie i wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek z warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Trzebnicy

Lp.	Rodzaj warstwy	Temperatura badania °C	Odkształcenie Dd, mm						Wytrzymałość na rozciąganie Sr, MPa					
			otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio	otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio
1	ścieralna	-2	1,2	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	3,8	4,1	4,0	4,4	4,3	4,4
		10	1,6	1,2	1,4	1,5	1,4	1,5	3,3	3,0	3,2	3,4	3,0	3,2
2	wiążąca	-2	1,5	1,4	1,5	1,5	1,7	1,6	3,2	3,5	3,3	3,6	3,3	3,5
		10	1,7	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	2,7	2,7	2,7	3,0	2,7	2,8
3	podbudowa	-2	1,5	1,7	1,6	1,4	1,5	1,5	3,6	3,5	3,6	3,5	4,1	3,8
		10	1,7	1,8	1,8	1,5	1,8	1,7	2,9	2,9	2,9	2,9	3,3	3,1

Tablica 27 Odkształcenie i wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek z warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Białegostoku

Lp.	Rodzaj warstwy	Temperatura badania °C	Odkształcenie Dd, mm						Wytrzymałość na rozciąganie Sr, MPa					
			otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio	otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio
1	ścieralna	-2	1,5	1,0	1,3	1,1	1,0	1,1	4,0	3,6	3,8	3,5	3,7	3,6
		10	2,2	1,8	2,0	1,9	1,8	1,9	2,6	2,5	2,6	2,8	2,8	2,8
2	wiążąca	-2	1,6	1,0	1,3	1,4	1,3	1,4	3,6	2,9	3,2	3,1	3,6	3,4
		10	2,0	1,8	1,9	1,7	1,6	1,7	3,6	2,9	3,3	3,0	3,0	3,0
3	podbudowa	-2	1,5	1,2	1,3	1,2	1,1	1,1	3,3	3,1	3,2	2,8	2,3	2,6
		10	1,9	1,6	1,8	1,4	1,3	1,4	3,1	2,6	2,8	2,6	1,9	2,2

Tablica 28 Odkształcenie i wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbek z warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy obwodnicy Kuźnicy Białostockiej

Lp.	Rodzaj warstwy	Temperatura badania °C	Odkształcenie Dd, mm						Wytrzymałość na rozciąganie Sr, MPa					
			otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio	otwór 1	otwór 2	średnio	otwór 3	otwór 4	średnio
1	ścieralna	-2	1,6	1,5	1,6	1,1	1,6	1,3	4,0	4,4	4,2	4,0	4,4	4,2
		10	1,6	1,8	1,7	1,4	2,0	1,7	3,2	3,3	3,2	3,0	3,0	3,0
2	wiążąca	-2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,8	1,4	3,5	3,2	3,3	2,8	3,8	3,3
		10	1,1	1,5	1,3	1,3	2,0	1,6	2,7	3,0	2,9	2,8	3,2	3,0
3	podbudowa	-2	1,4	1,3	1,3	1,5	1,1	1,3	3,0	3,0	3,0	3,0	2,4	2,7
		10	1,7	1,5	1,6	1,5	1,4	1,4	2,5	2,6	2,6	2,6	2,2	2,4

Tablica 29 Grubość warstw asfaltowych nawierzchni obwodnicy Nowej Soli

Lp	Rodzaj warstwy	Grubość pomierzona w otworze badawczym, cm						Grubość wg projektu, cm
		Numer otworu badawczego						
		1	2	średnio	3	4	średnio	
1	Ścieralna	4,0	4,0	4,0	4,5	3,5	4,0	4,0
2	Wiążąca	6,5	4,0	5,25	5,5	6,5	6,0	6,0
3	Podbudowa zasadnicza	8,5	9,0	8,75	10,5	11,5	11,0	8,0
Razem warstwy asfaltowe		19,0	7,0	18,0	20,5	21,5	21,0	18,0
4	Podbudowa niezwiązana ze stabilizacji mechanicznej	28,0	29,0	28,5	26,0	27,0	26,5	27,0 1) 22,0 2)
5	Warstwa ulepszona z gruncementu	11,0	11,0	11,0	38,0	26,0	32,0	10,0

<sup>1)</sup> z tłucznia pomiedzanego 0/6,3 mm,

<sup>2)</sup> z mieszanki kruszywowej bazaltowej 0/31,5 mm.

Tablica 30 Grubość warstw asfaltowych i podbudowy niezwiązanej nawierzchni obwodnicy Trzebnicy

Lp	Rodzaj warstwy	Grubość pomierzona w otworze badawczym, cm						Grubość wg projektu, cm
		Numer otworu badawczego						
		1	2	średnio	3	4	średnio	
1	Ścieralna	4,0	4,5	4,25	4,5	4,5	4,5	brak danych
2	Wiążąca	8,5	7,0	7,75	7,0	7,5	7,25	brak danych
3	Podbudowa zasadnicza	9,0	11,0	10,0	8,0	11,0	9,5	brak danych
Razem warstwy asfaltowe		21,5	22,5	22,0	19,5	23,0	21,25	–
4	Podbudowa niezwiązana ze stabilizacji mechanicznej (kruszywo łamane melafirowe 0/31,5	24,0	25,0	24,5	23,0	24,0	23,5	20,0
5	Warstwa mrozoochronna z piasku naturalnego	18,0	18,0	18,0	22,0	22,0	22,0	25,0
6	Warstwa ulepszona z gruncementu	16,5	16,5	16,5	22,5	22,5	22,5	15,0

Tablica 31 Grubość warstw asfaltowych i podbudowy niezwiązanej nawierzchni obwodnicy Białegostoku

Lp	Rodzaj warstwy	Grubość pomierzona w otworze badawczym, cm						Grubość wg projektu, cm	
		Numer otworu badawczego						Wg nowego Katalogu (otwory 1+2)	Wg starego Katalogu (otwory 1+2)
		1	2	średni o	3	4	średni o		
1	Ścieralna	4,0	3,5	3,75	4,5	3,5	4,0	5,0 (4,0)	5,0
2	Wiążąca	7,0	7,0	7,0	8,0	8,5	8,25	8,0	5,0
3	Podbudowa zasadnicza	13,5	15,0	14,25	8,0	7,0	7,5	14,0	8,0
Razem warstwy asfaltowe		24,5	25,5	25,0	20,5	19,0	19,75	27,0 (26,0)	18,0
4	Podbudowa niezwiązana ze stabilizacji mechanicznej	24,0	25,0	24,5 <sup>1)</sup>	32,0	32,0	32,0 <sup>2)</sup>	20,0	20,0
5	Warstwa ulepszona	23,5	23,5	23,5 <sup>4)</sup>	41,03 <sup>3)</sup>	39,04 <sup>3)</sup>	40,0		

<sup>1)</sup> kruszywo łamane, dolomitowe,

<sup>2)</sup> pospółka kruszona,

<sup>3)</sup> pospółka,

<sup>4)</sup> gruntocement

Tablica 32 Grubość warstw asfaltowych nawierzchni obwodnicy Kuźnicy

Lp	Rodzaj warstwy	Grubość pomierzona w otworze badawczym, cm						Grubość wg projektu, cm
		Numer otworu badawczego						
		1	2	średni o	3	4	średni o	
1	Ścieralna	5,5	5,5	5,5	4,0	5,5	4,75	5,0
2	Wiążąca	5,0	4,0	4,5	4,0	6,0	5,0	5,0
3	Podbudowa zasadnicza	9,0	7,0	8,0	10,0	7,0	8,5	8,0
Razem warstwy asfaltowe		19,5	16,5	18,0	18,0	18,5	18,25	18,0
4	Podbudowa niezwiązana ze stabilizacji mechanicznej (pospółka)	42,0	39,0	40,5	30,0	40,0	35,0	
5	Warstwa ulepszona z pospółki	>30,0	>30,0	> 30,0	>30,0	>30,0	> 30,0	



Tablica 33 Wyniki badań asfaltu odzyskanego z warstw asfaltowych nawierzchni obwodnicy Nowej Soli

Lp	Rodzaj warstwy i nr próbki wg pobrania	Właściwości oznaczone			Właściwości obliczone		
		Penetracja w 25°C, 0,1 mm	Temperatura mięknięcia, °C	Temperatura łamliwości, °C	Pozostała penetracja, %	Przedział plastyczności	Indeks penetracji
1	Warstwa ścieralna (NS1A - IV, V, VI)	23 1)	62,6	- 10	44,2	72,6	- 0,2
2	Warstwa wiążąca (NS1B - VII, VIII, IX )	10 1)	78,3	od -6 do +5 2)	19,2	- 2)	+ 0,8
3	Warstwa podbudowy (NS1C - VII, VII, IX)	19 1)	66,2	- 8	36,5	74,2	+ 0,1

<sup>1)</sup> asfalt D50 z RG SA,

<sup>2)</sup> ze względu na duży rozrzut pojedynczych oznaczeń nie obliczono wyniku średniego temperatury łamliwości i przedziału plastyczności.

Tablica 34 Wyniki badań asfaltu odzyskanego z warstw asfaltowych nawierzchni obwodnicy Trzebnicy

Lp	Rodzaj warstwy i nr próbki wg pobrania	Właściwości oznaczone			Właściwości obliczone		
		Penetracja w 25°C, 0,1 mm	Temperatura mięknięcia, °C	Temperatura łamliwości, °C	Pozostała penetracja, %	Przedział plastyczności	Indeks penetracji
1	Warstwa ścieralna (T1A - IV, V, VI, X)	19 1)	64,7	- 11	36,5	75,7	- 0,2
2	Warstwa wiążąca (T1B - IV, V, VI)	21 1)	63,5	- 10	40,4	73,5	+ 0,2
3	Warstwa podbudowy (T1C - IV, V, VI)	18 1)	65,9	- 6	34,6	71,9	+ 0,1

<sup>1)</sup> asfalt D50 z RG SA.

Tablica 35 Wyniki badań asfaltu odzyskanego z warstw asfaltowych nawierzchni obwodnicy Białegostoku

(dotyczą odcinka w km 643,000 do 643,200 o konstrukcji wg nowego Katalogu /1997)

Lp	Rodzaj warstwy i nr próbki wg pobrania	Właściwości oznaczone			Właściwości obliczone		
		Penetracja w 25°C, 0,1 mm	Temperatura mięknięcia, °C	Temperatura łamliwości, °C	Pozostała penetracja, %	Przedział plastyczności	Indeks penetracji
1	Warstwa ściernalna (B1A - IV, V, VII, IX)	36 1)	57,4	- 17	- 2)	74,4	- 0,3
2	Warstwa wiążąca (B1B - VII, VIII, IX )	25 3)	59,5	- 6	44,6	65,5	-
3	Warstwa podbudowy (B1C - IV, V, VII, VIII)	35 4)	52,4	- 5	53,8	57,4	- 1,4

1) asfalt D50 z NYNAS SA,

2) brak danych o właściwościach zastosowanego asfaltu,

3) asfalt modyfikowany Elastobit 50 RG

4) asfalt D70 z RG SA.

Tablica 36 Wyniki badań asfaltu odzyskanego z warstw nawierzchni obwodnicy Kuźnicy

Lp	Rodzaj warstwy i nr próbki wg pobrania	Właściwości oznaczone			Właściwości obliczone		
		Penetracja w 25°C, 0,1 mm	Temperatura mięknięcia, °C	Temperatura łamliwości, °C	Pozostała penetracja, %	Przedział plastyczności	Indeks penetracji
1	Warstwa ściernalna (K1A - IV, V, VI)	28 1)	60	- 16	- 3)	76	- 0,3
2	Warstwa wiążąca (K1B - IV, V, VI, VII )	19 1)	65,3	- 12	- 3)	77,3	- 0,1
3	Warstwa podbudowy (K1C - VII, VIII, IX)	22 2)	59,7	- 13	31,9	72,7	- 0,8

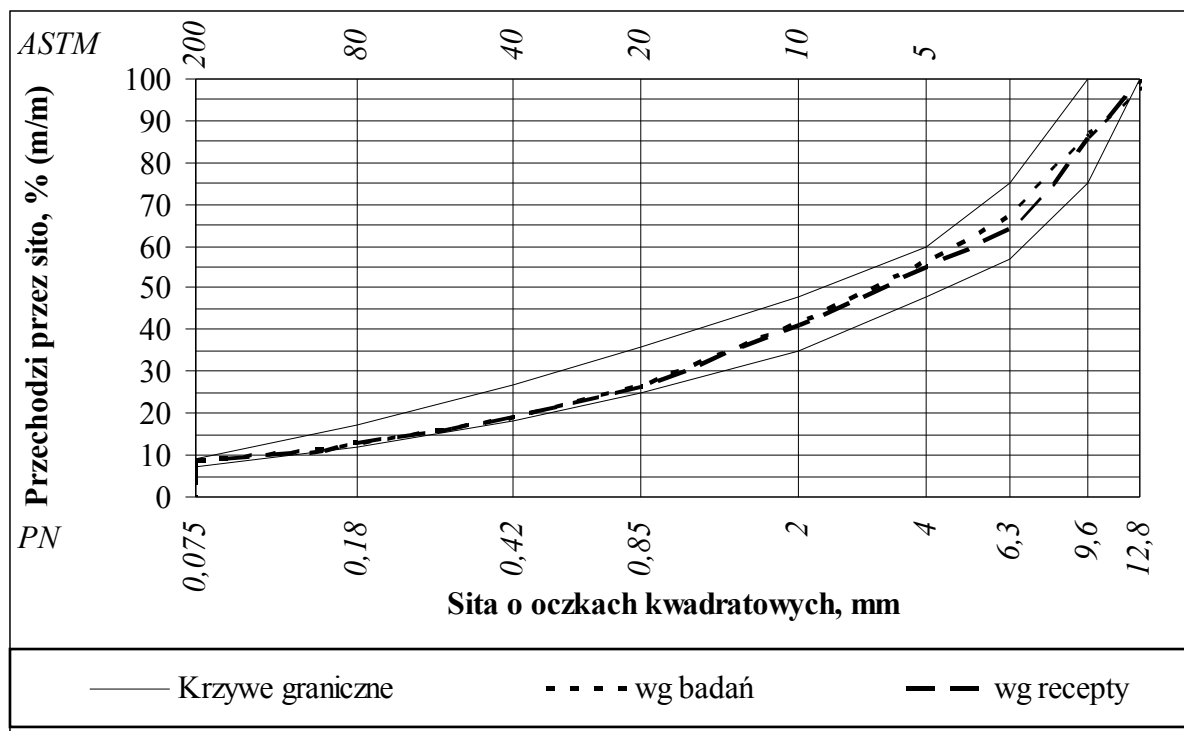
1) asfalt D50

4) asfalt D70

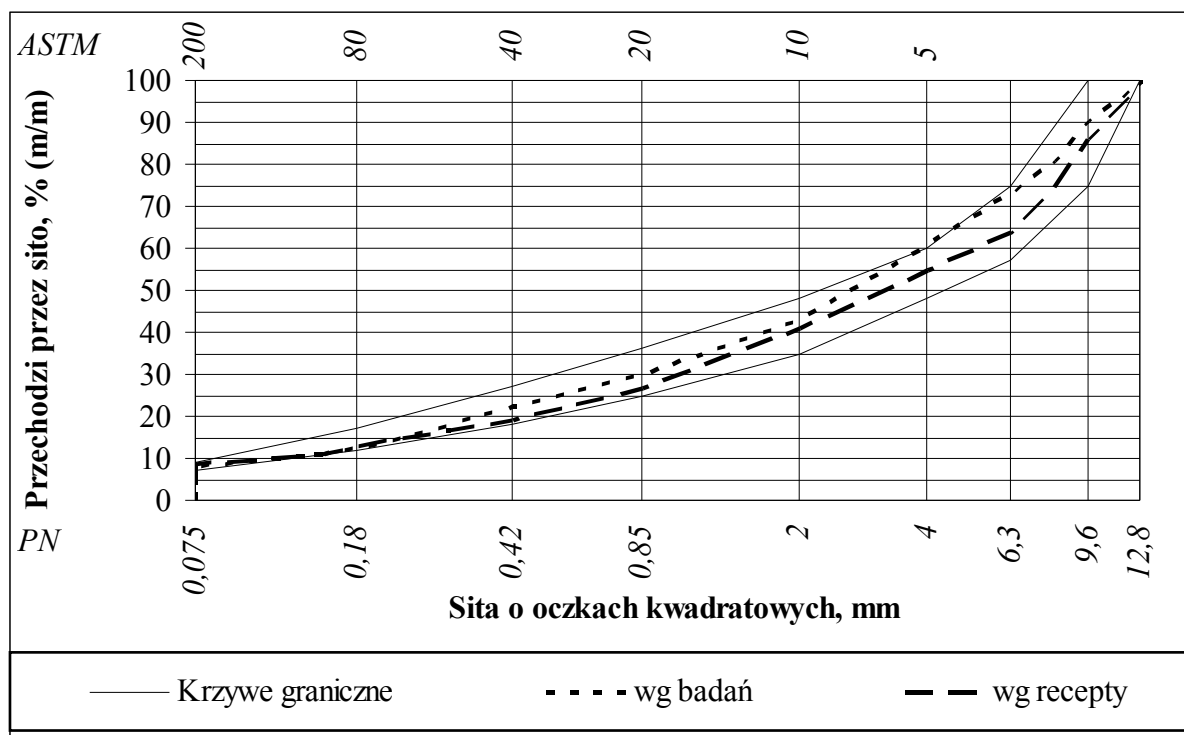
3) brak danych o właściwościach zastosowanego asfaltu

Tablica 37 Dane do obliczeń parametrów trwałościowych nawierzchni badanych obwodnic

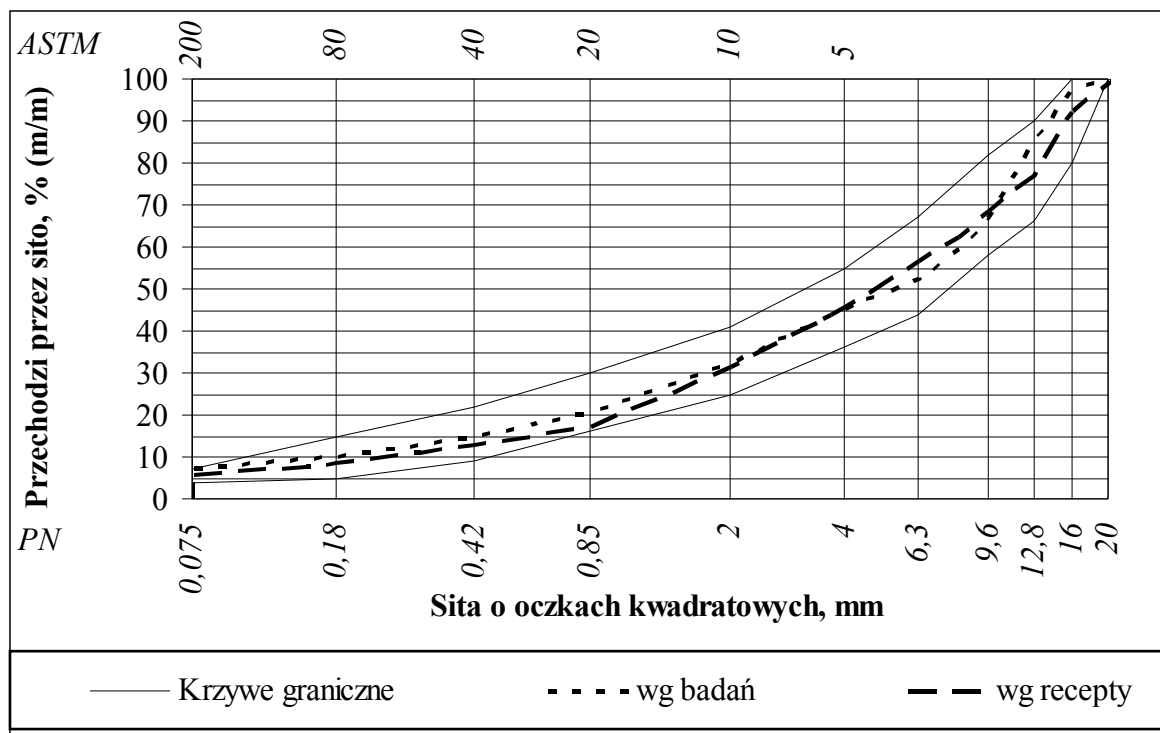
Lp	Oznaczenie odcinka	Grubość warstw asfaltowych, cm	Grubość podbudowy niezwiązanej, cm	Właściwości podbudowy asfaltowej	
				Zawartość asfaltu, % (v/v)	Wolna przestrzeń w warstwie, % (v/v)
1	NS-I	17,0	27,5	7,6	6,2
2	NS-II	20,5	27,5	7,3	6,3
3	T-I	22,0	24,0	10,8	5,1
4	T-II	19,5	24,0	9,8	5,8
5	B-A	25,5	24,5	8,4	5,5
6	B-B	19,8	32,0	7,2	7,3
7	K-I	19,5	38,0	9,0	8,0
8	K-II	18,0	38,0	9,6	6,6



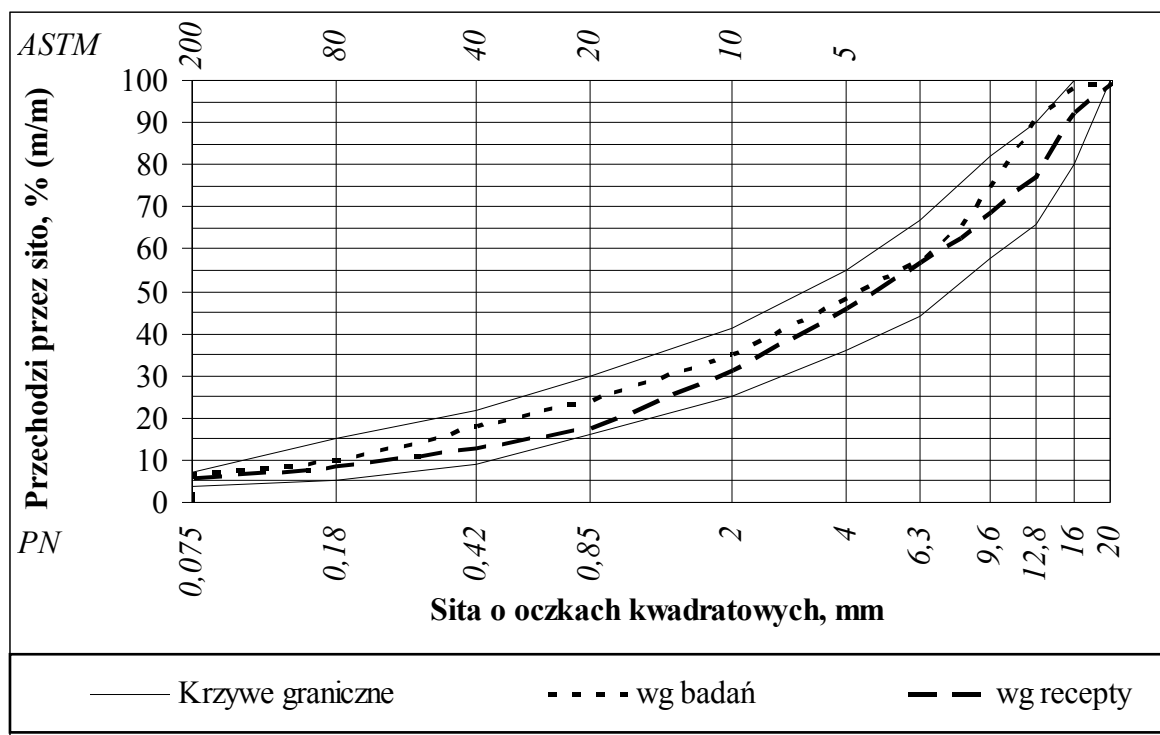
Rysunek 1 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/12,8, z którego została wykonana warstwa ścierna nawierzchni obwodnicy Nowej Soli (otwory 1+2)



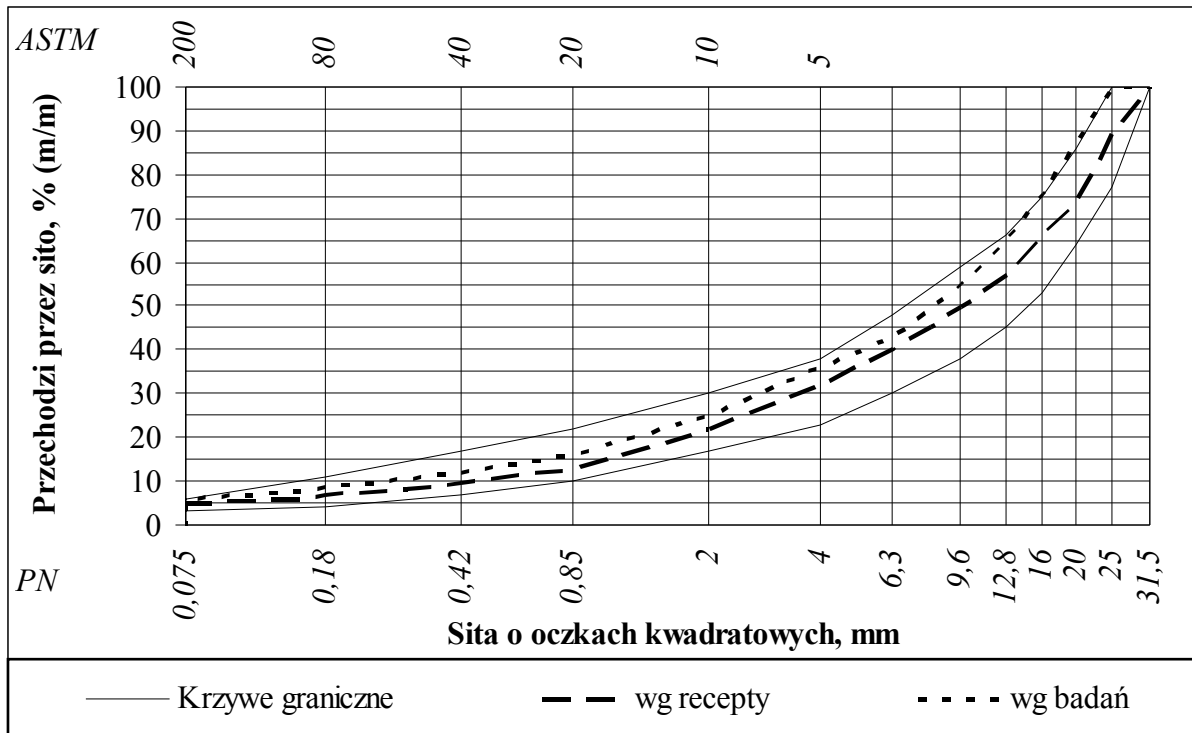
Rysunek 2 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/12,8, z którego została wykonana warstwa ścierna nawierzchni obwodnicy Nowej Soli (otwory 3+4)



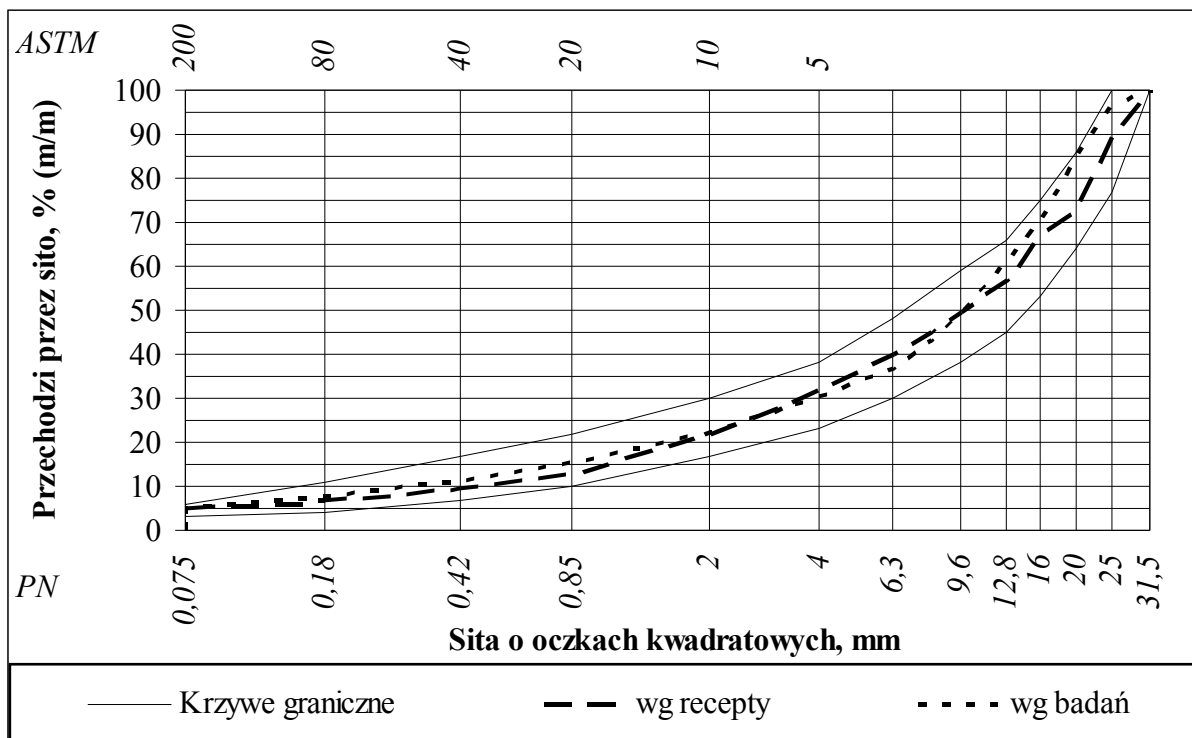
Rysunek 3 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/20, z którego została wykonana warstwa wiążąca nawierzchni obwodnicy Nowej Soli (otwory 1+2)



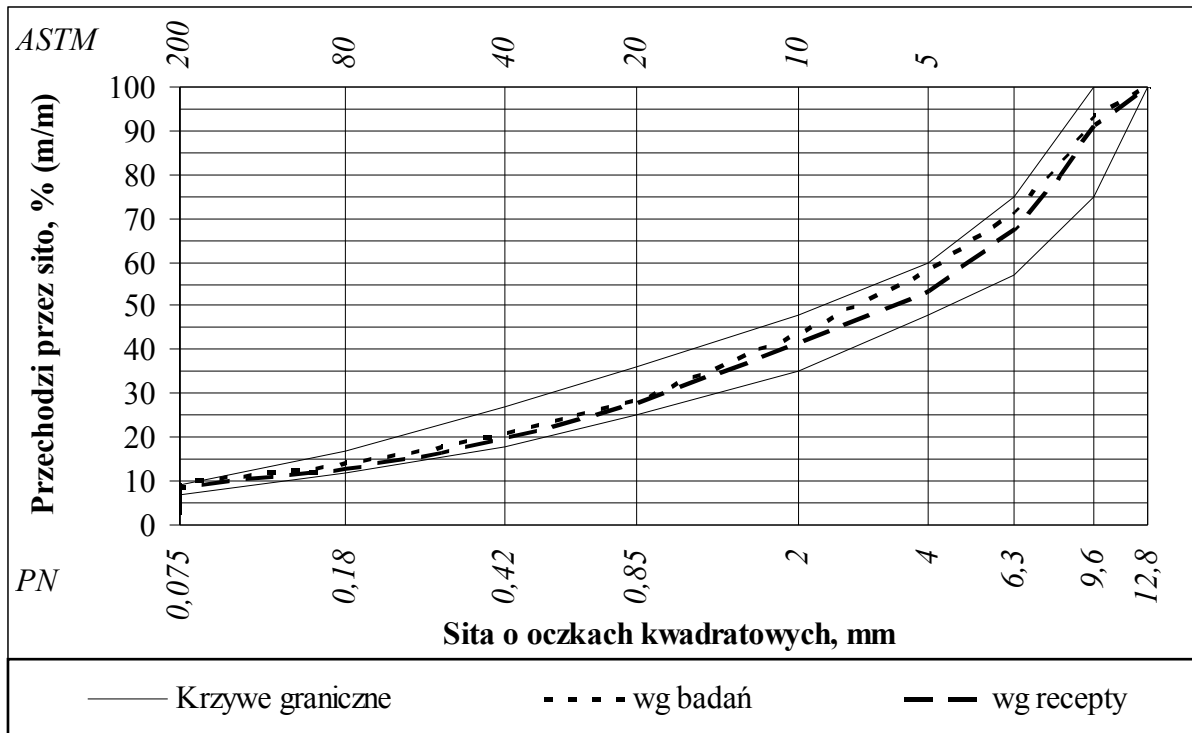
Rysunek 4 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/20, z którego została wykonana warstwa wiążąca nawierzchni obwodnicy Nowej Soli (otwory 3+4)



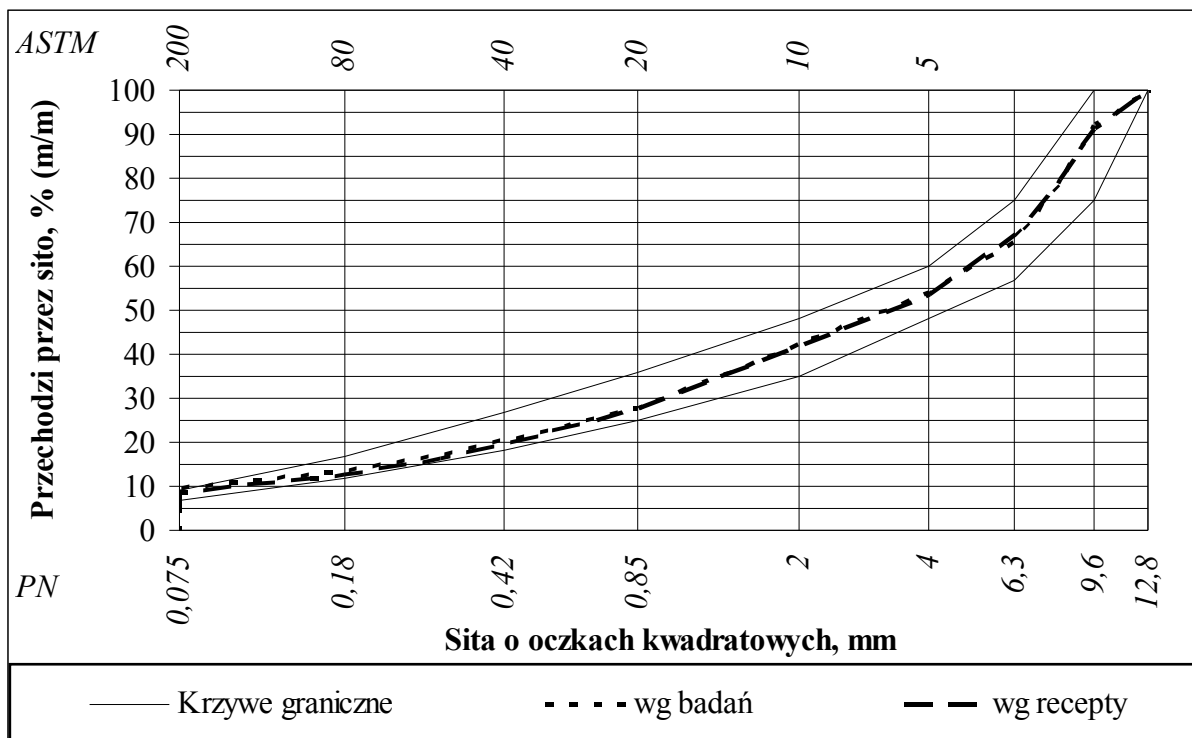
Rysunek 5 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/31,5, z którego została wykonana warstwa podbudowy nawierzchni obwodnicy Nowej Soli (otwory 1+2)



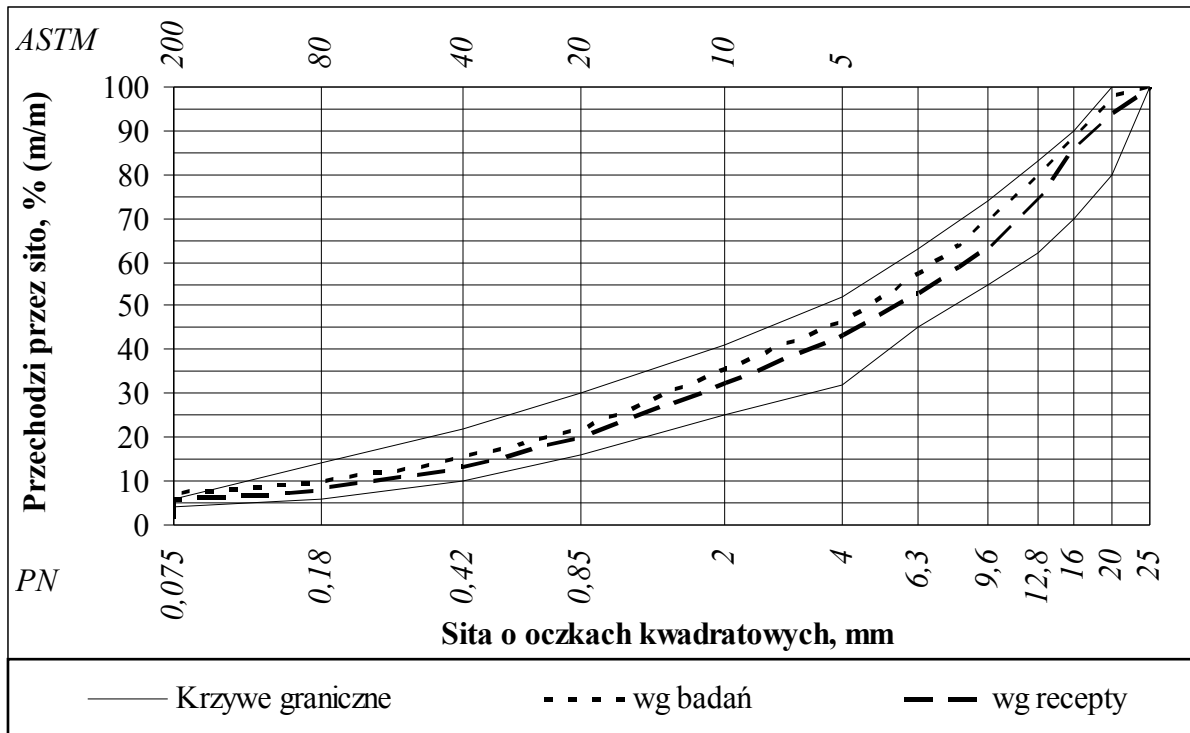
Rysunek 6 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/31,5, z którego została wykonana warstwa podbudowy nawierzchni obwodnicy Nowej Soli (otwory 3+4)



Rysunek 7 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/12,8, z którego została wykonana warstwa ścieralna nawierzchni obwodnicy Trzebnicy (otwory 1+2)



Rysunek 8 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/12,8, z którego została wykonana warstwa ścieralna nawierzchni obwodnicy Trzebnicy (otwory 3+4)

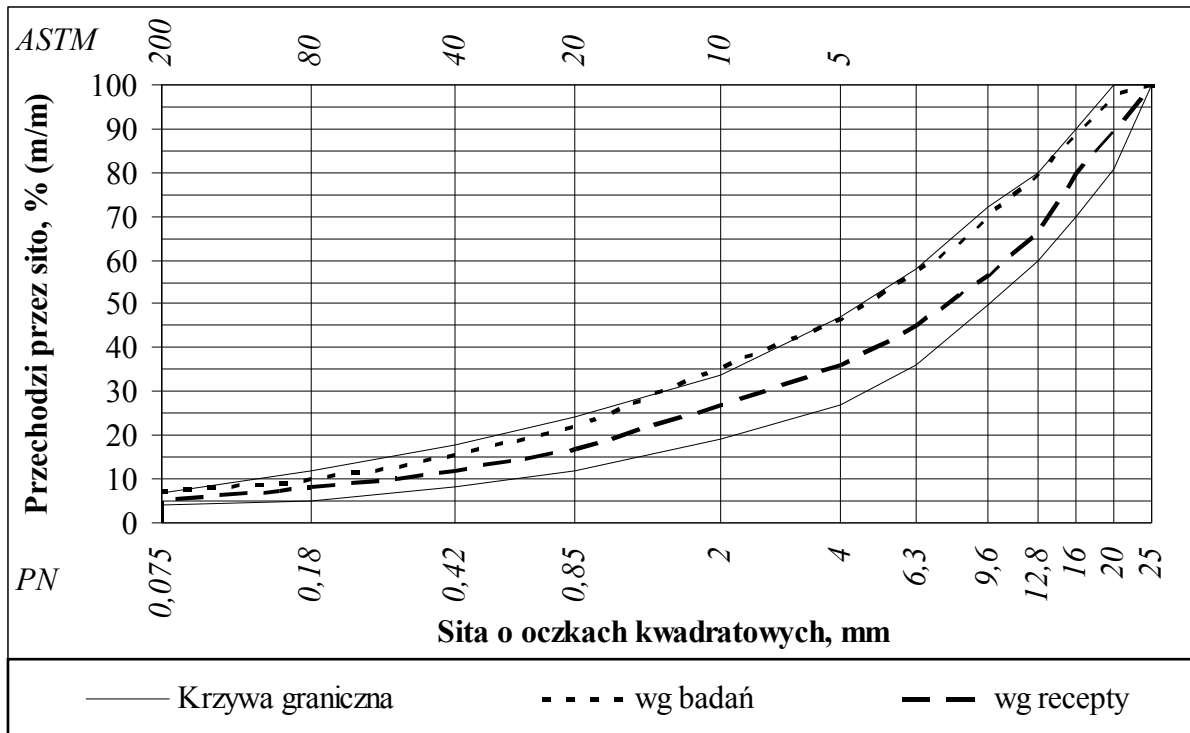


Rysunek 9 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/25, z którego została wykonana warstwa wiążąca nawierzchni obwodnicy Trzebnicy (otwory 1+2)

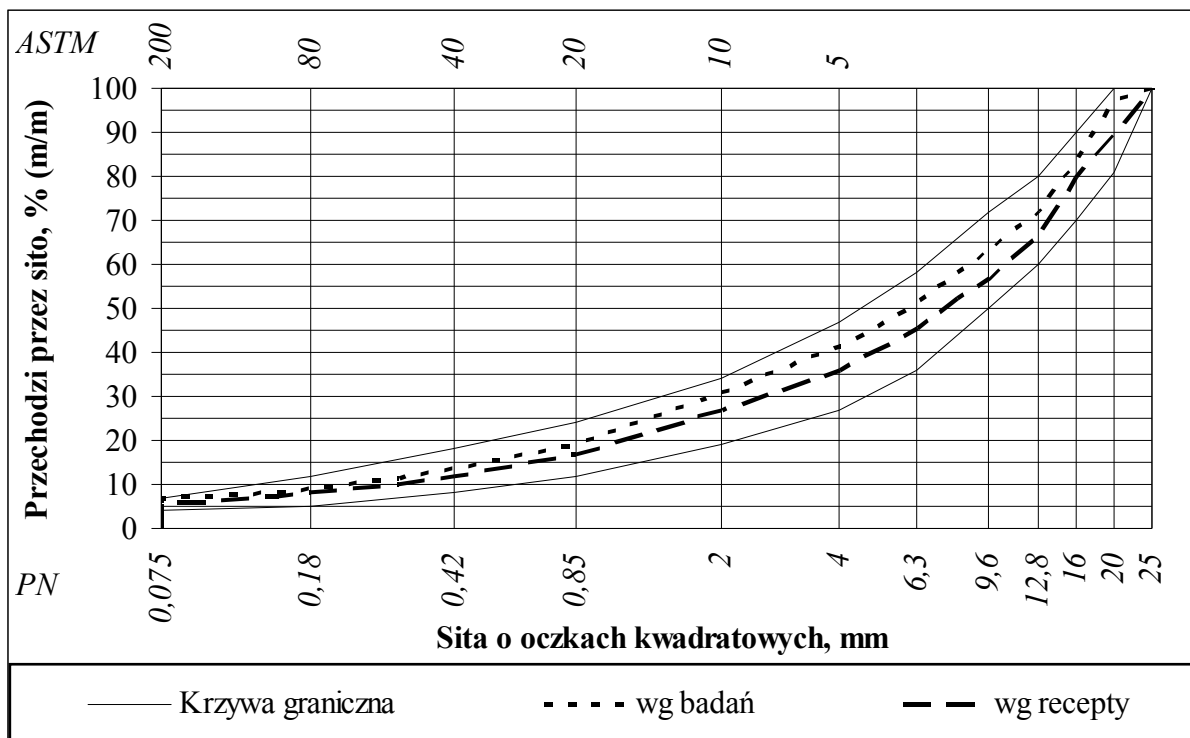


Rysunek 10 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/25, z którego została wykonana warstwa wiążąca nawierzchni obwodnicy Trzebnicy (otwory 3+4)

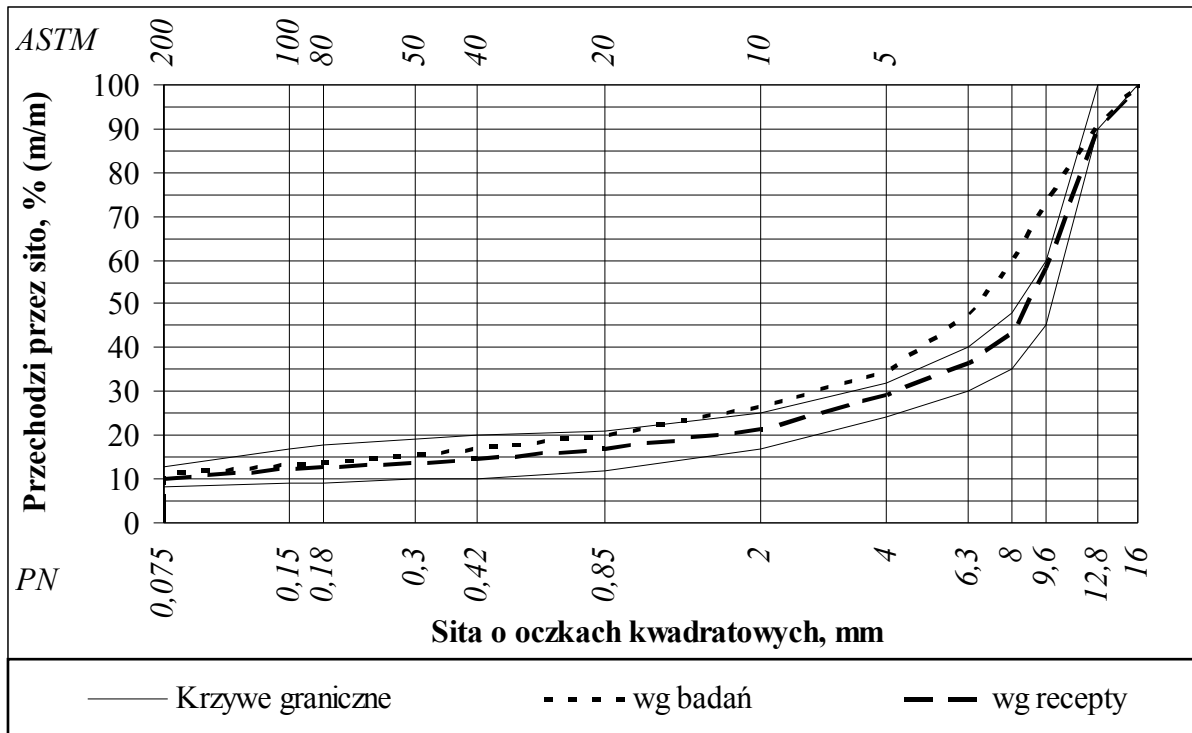




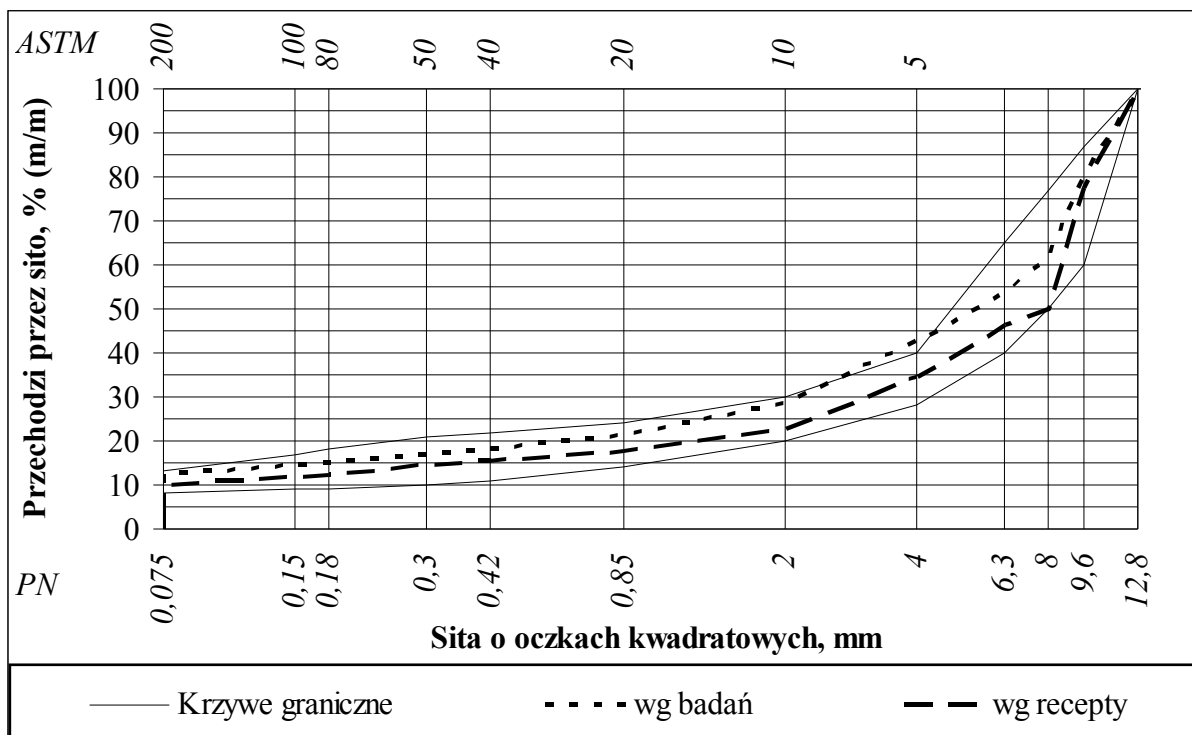
Rysunek 11 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/25, z której została wykonana warstwa podbudowy nawierzchni obwodnicy Trzebnicy (otwory 1+2)



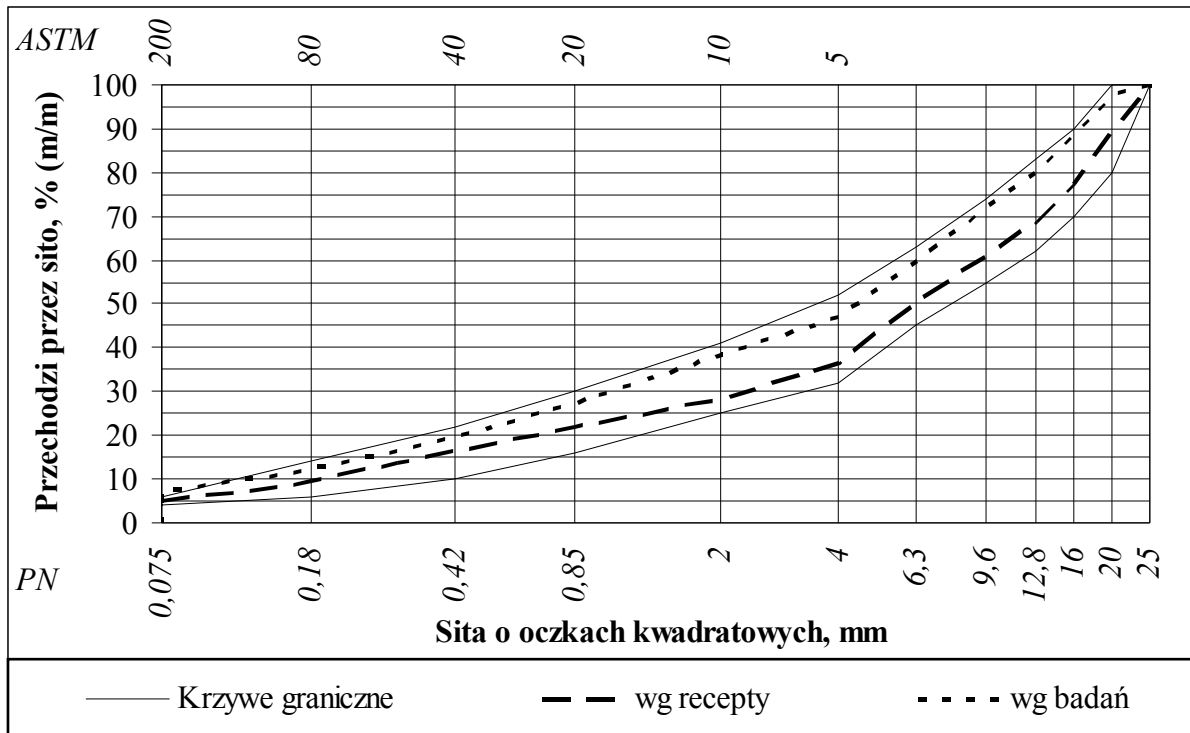
Rysunek 12 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/25, z której została wykonana warstwa podbudowy nawierzchni obwodnicy Trzebnicy (otwory 3+4)



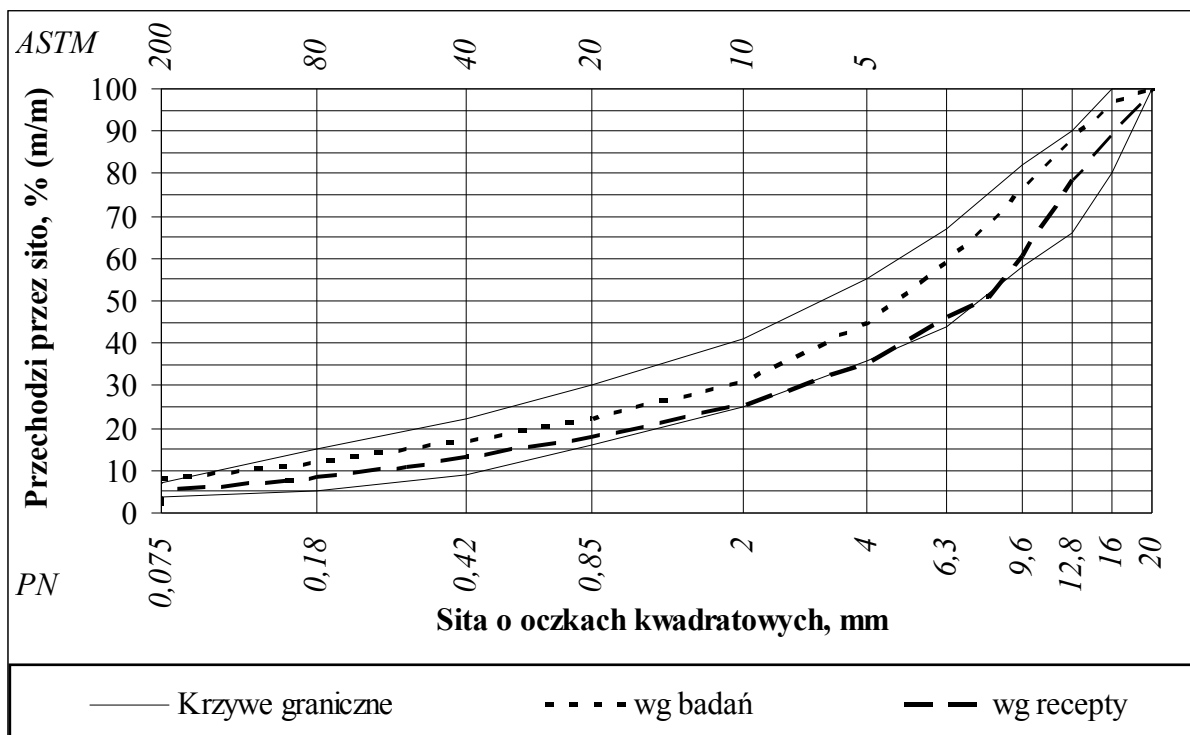
Rysunek 13 Uziarnienie mieszanki mineralnej SMA 0/12,8, z którego została wykonana warstwa ścieralna nawierzchni obwodnicy Białegostoku (konstrukcja według nowego Katalogu) (otwory 1+2)



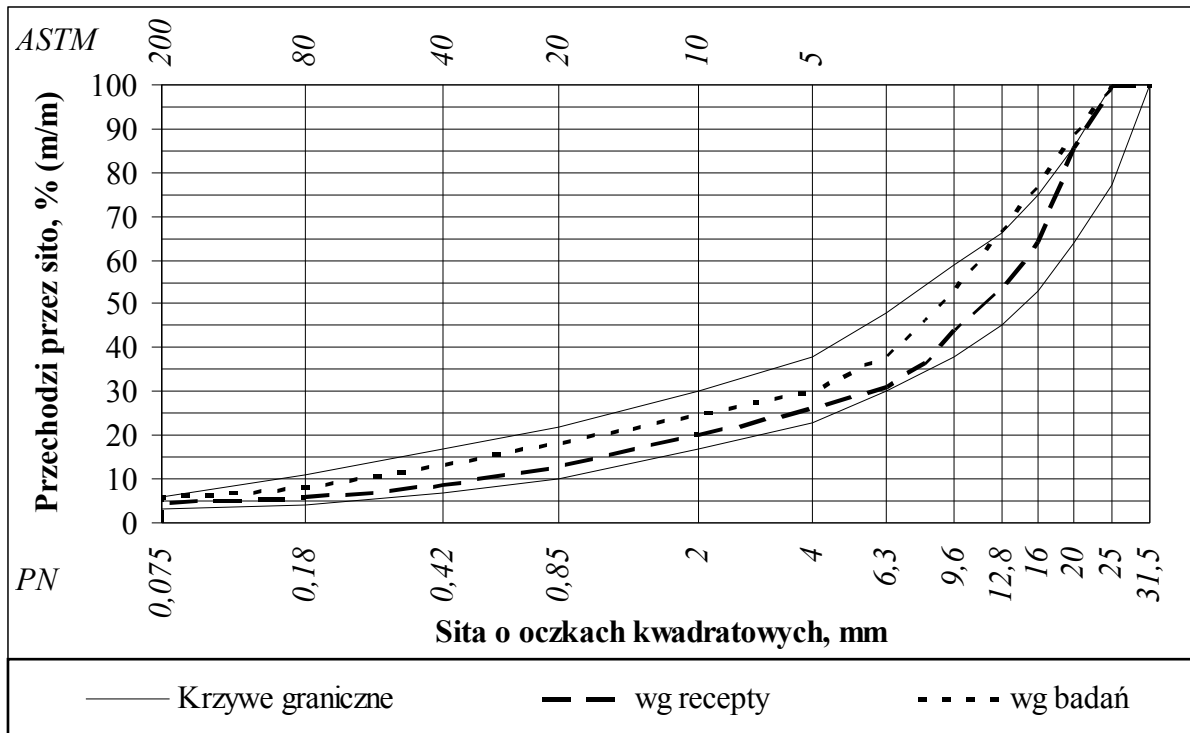
Rysunek 14 Uziarnienie mieszanki mineralnej SMA 0/12,8, z którego została wykonana warstwa ścieralna nawierzchni obwodnicy Białegostoku (konstrukcja według starego Katalogu) (otwory 3+4)



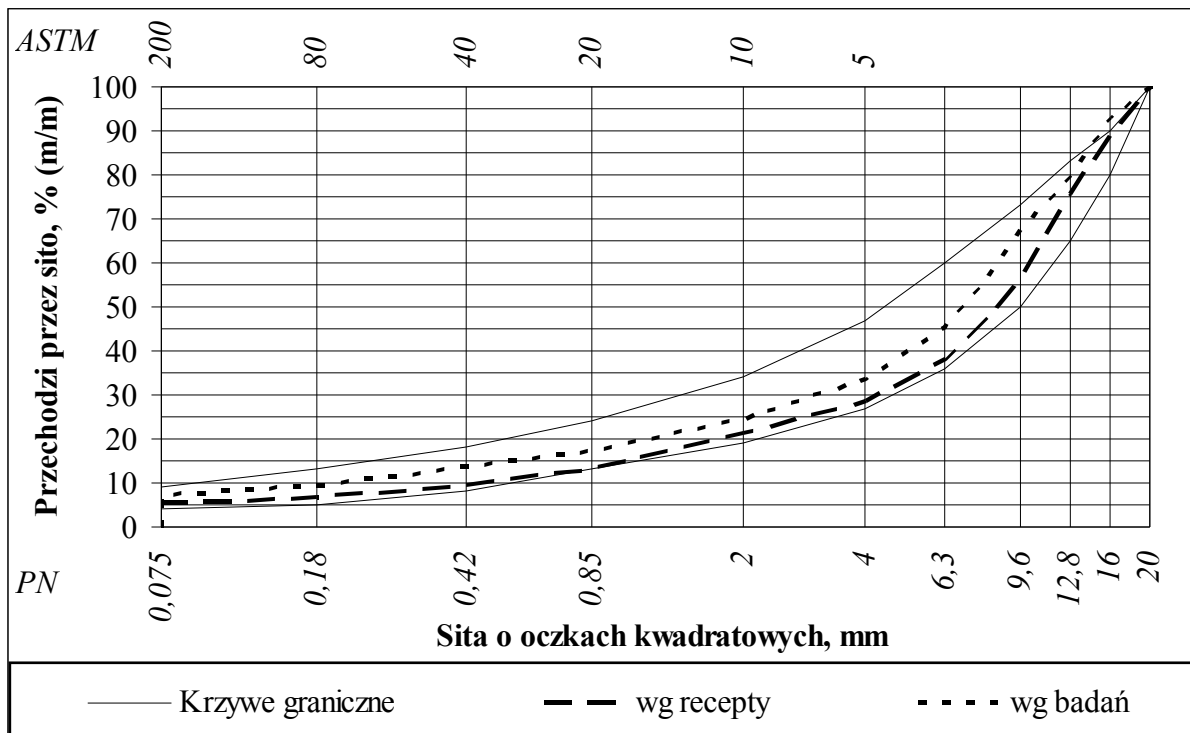
Rysunek 15 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/25, z którego została wykonana warstwa wiążąca nawierzchni obwodnicy Białegostoku (konstrukcja według nowego Katalogu (otwory 1+2))



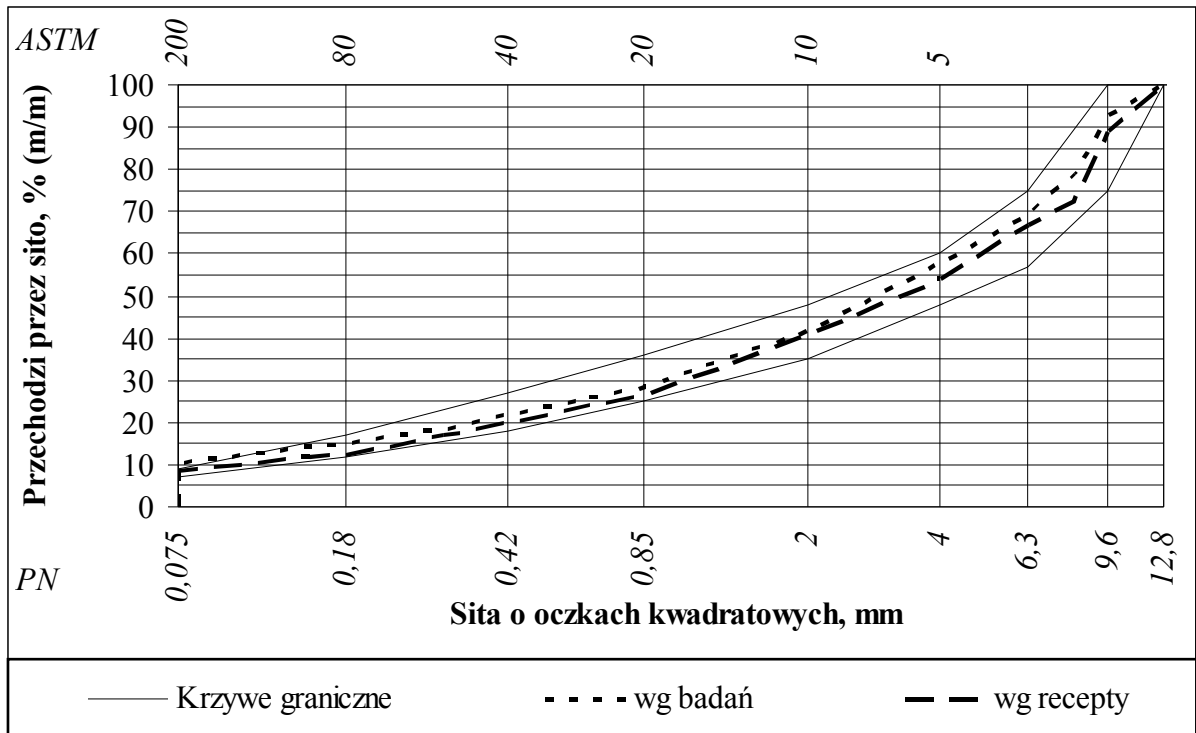
Rysunek 16 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/20, z którego została wykonana warstwa wiążąca nawierzchni obwodnicy Białegostoku (konstrukcja według starego Katalogu (otwory 3+4))



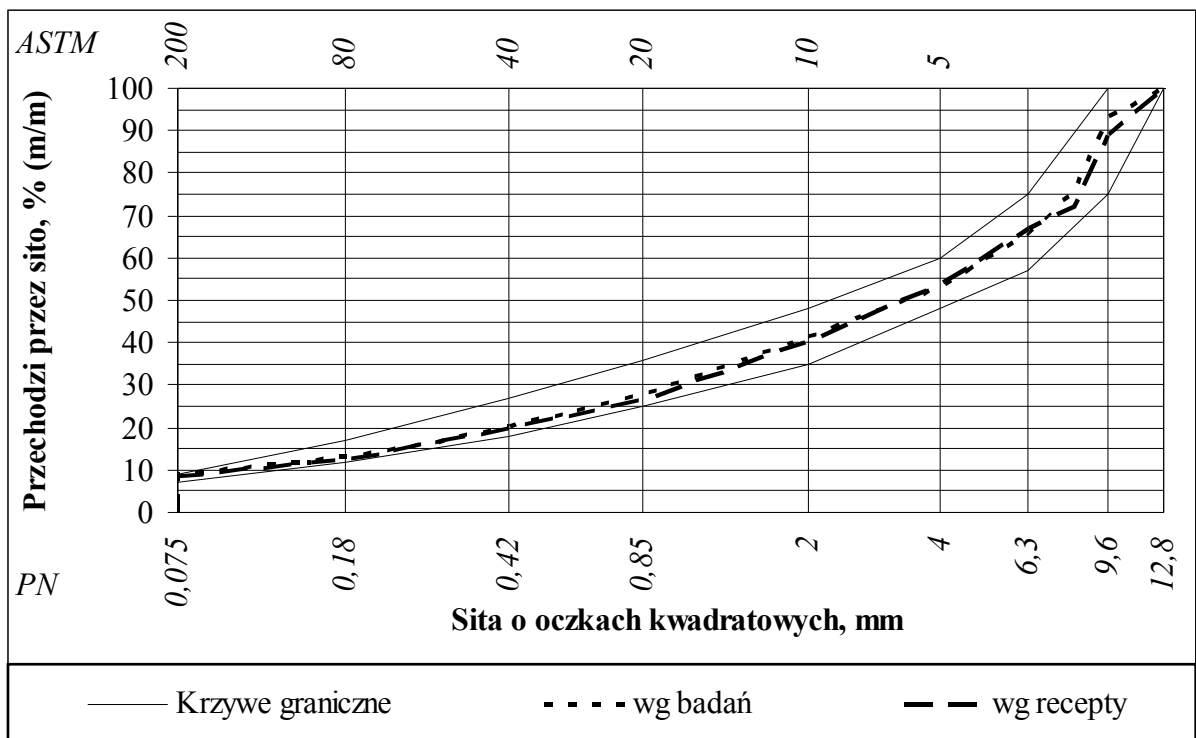
Rysunek 17 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/31,5, z którego została wykonana warstwa podbudowy nawierzchni obwodnicy Białegostoku (konstrukcja wg nowego Katalogu (otwory 1+2))



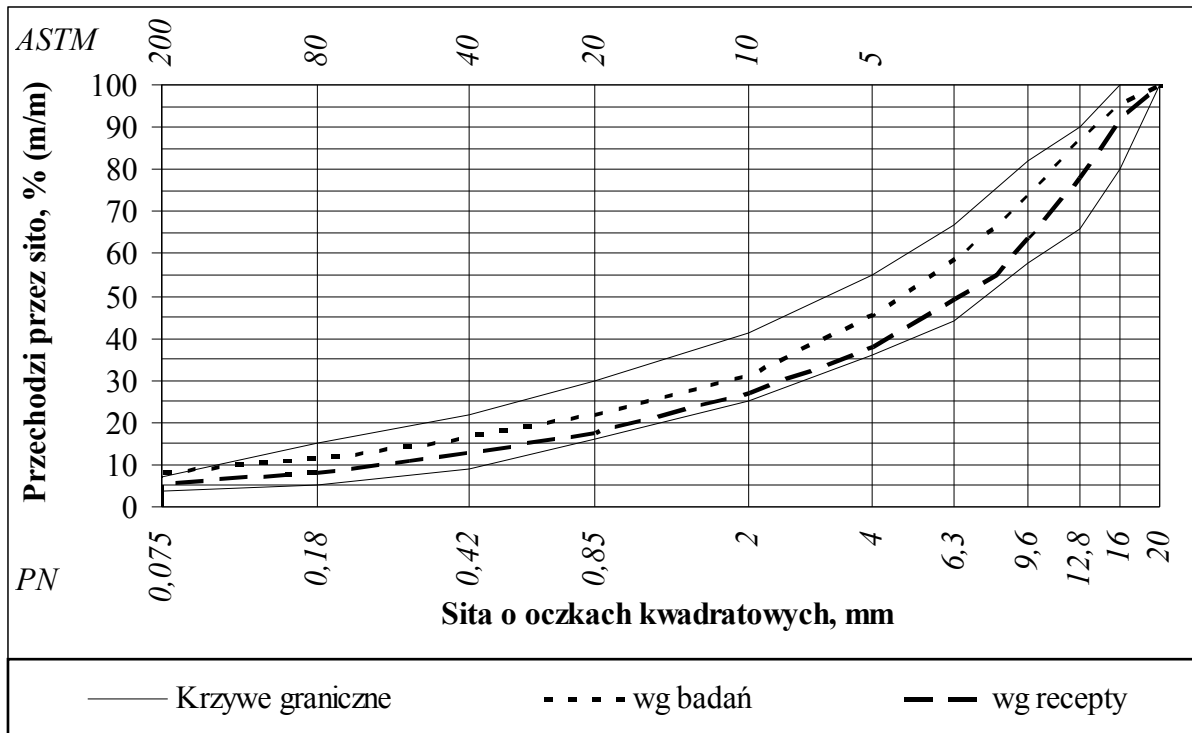
Rysunek 18 Uziarnienie mieszanki mineralnej, BA 0/20 z którego została wykonana warstwa podbudowy nawierzchni obwodnicy Białegostoku (konstrukcja według starego Katalogu (otwory 3+4))



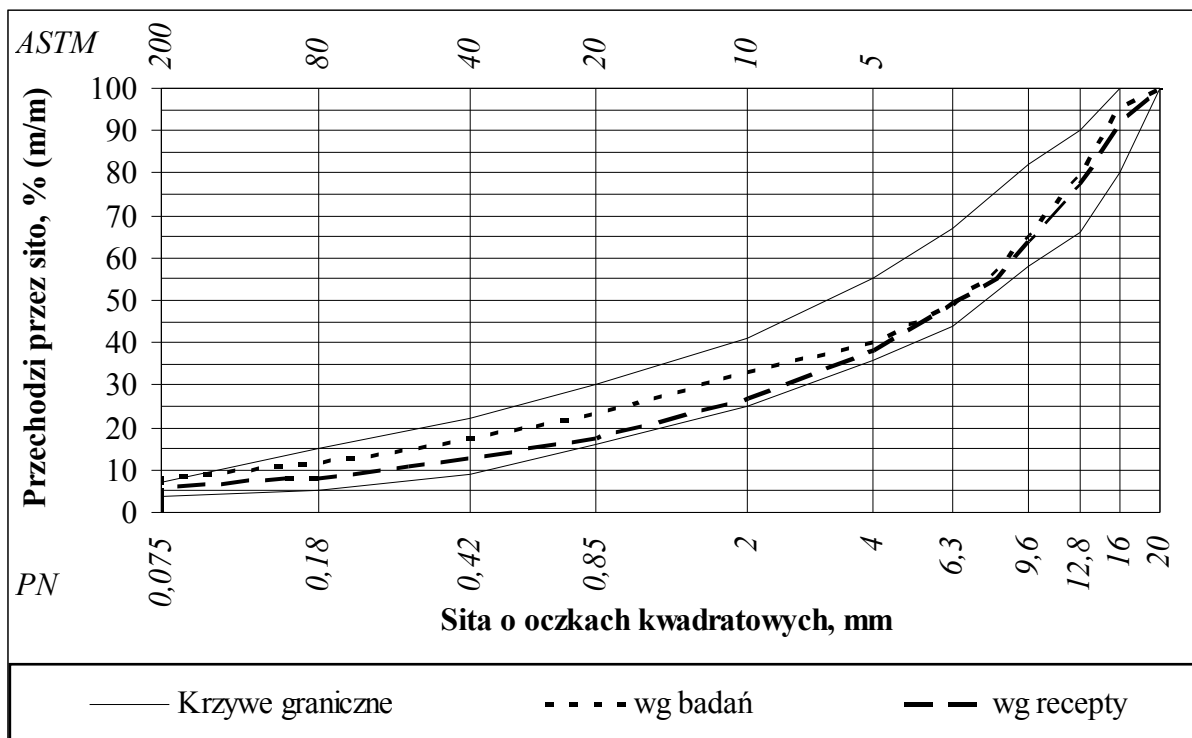
Rysunek 19 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/12,8, z którego została wykonana warstwa ścieralna nawierzchni obwodnicy Kuźnicy (otwory 1+2)



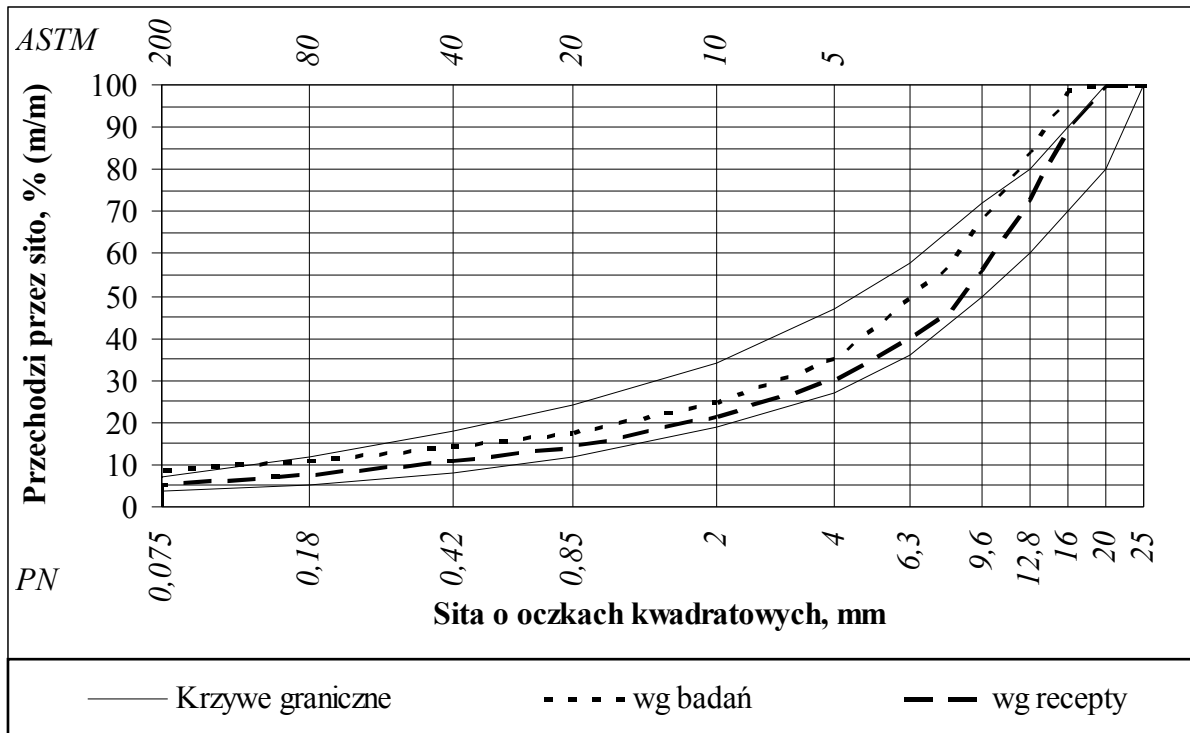
Rysunek 20 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/12,8, z którego została wykonana warstwa ścieralna nawierzchni obwodnicy Kuźnicy (otwory 3+4)



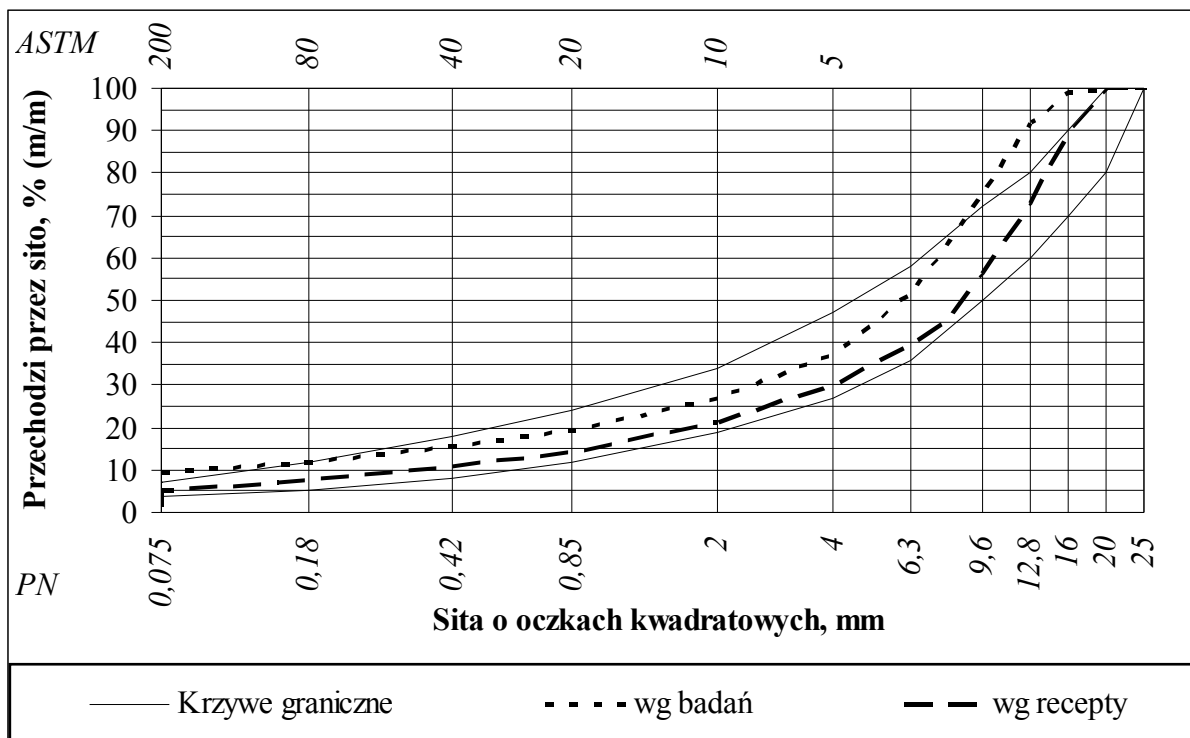
Rysunek 21 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/20, z którego została wykonana warstwa wiążąca nawierzchni obwodnicy Kuźnicy (otwory 1+2)



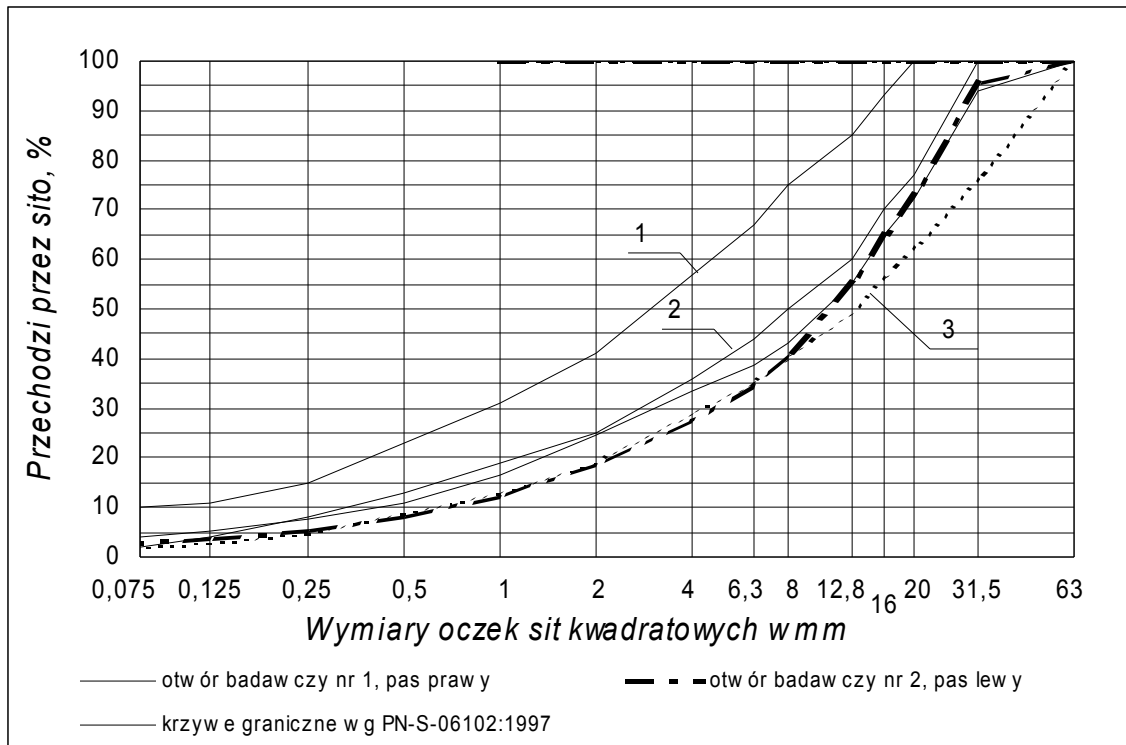
Rysunek 22 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/20, z którego została wykonana warstwa wiążąca nawierzchni obwodnicy Kuźnicy (otwory 3+4)



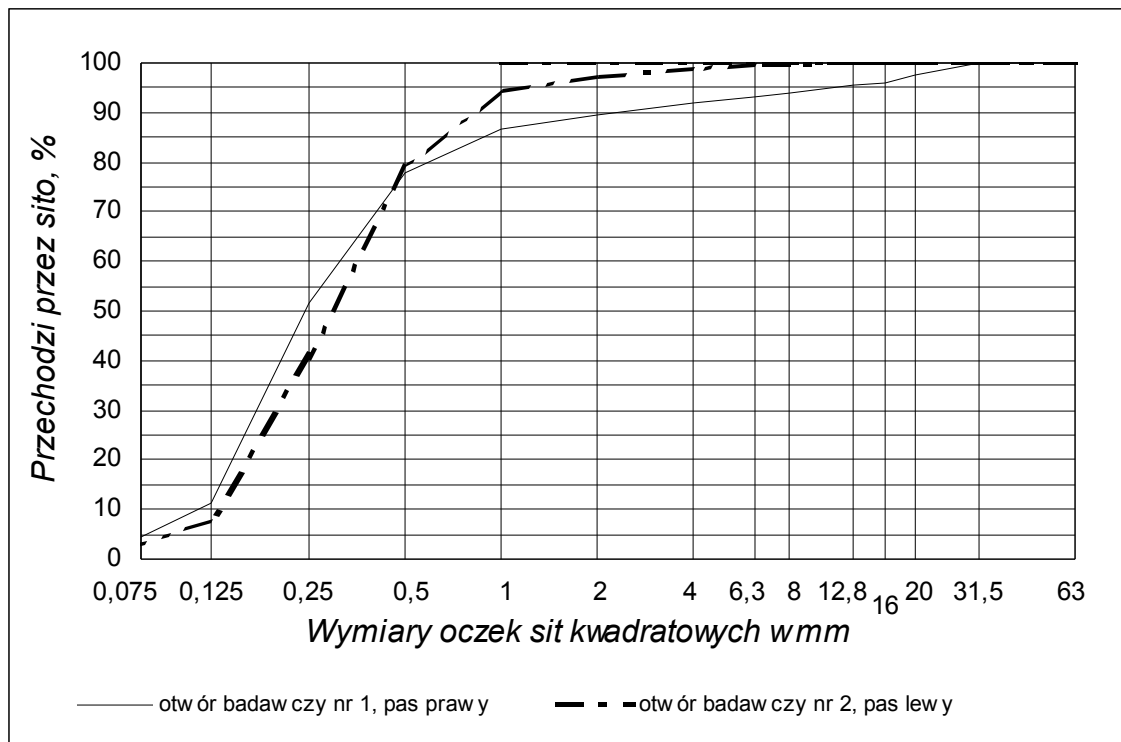
Rysunek 23 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/20, z której została wykonana warstwa podbudowy nawierzchni obwodnicy Kuźnicy (otwory 1+2)



Rysunek 24 Uziarnienie mieszanki mineralnej BA 0/20, z której została wykonana warstwa podbudowy nawierzchni obwodnicy Kuźnicy (otwory 3+4)

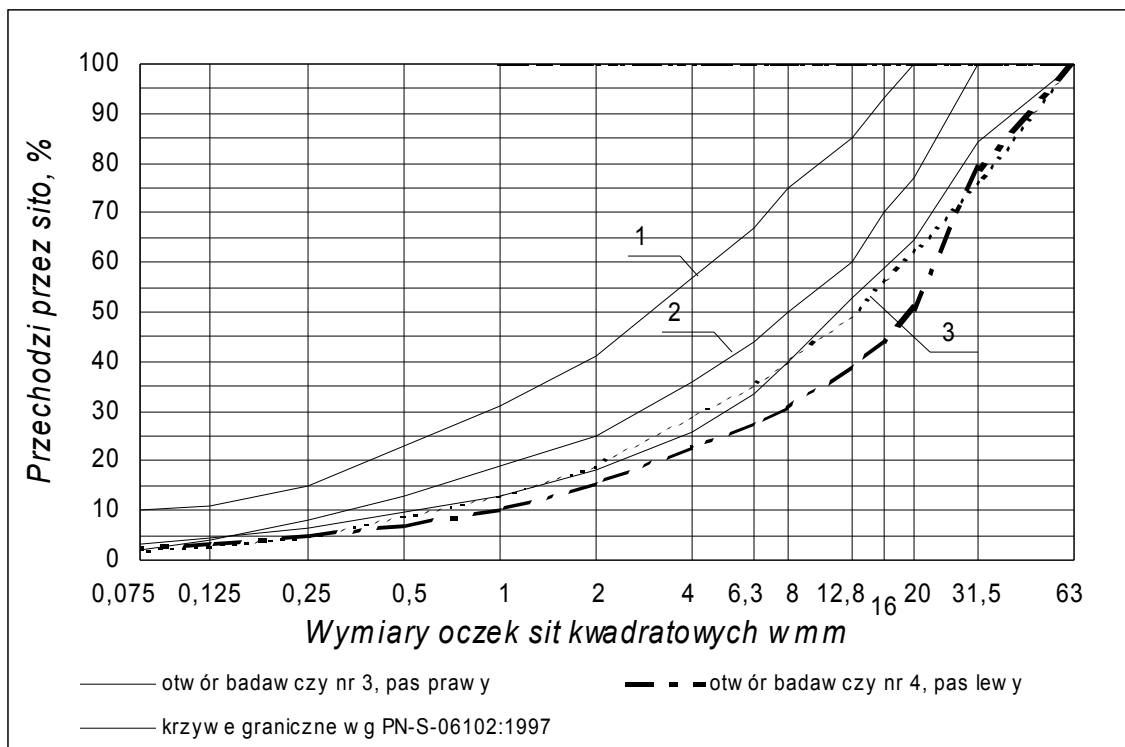


Rysunek 25 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podbudowy niezwiązanej – obwodnica Nowej Soli, odcinek I w km 319+000÷319+200

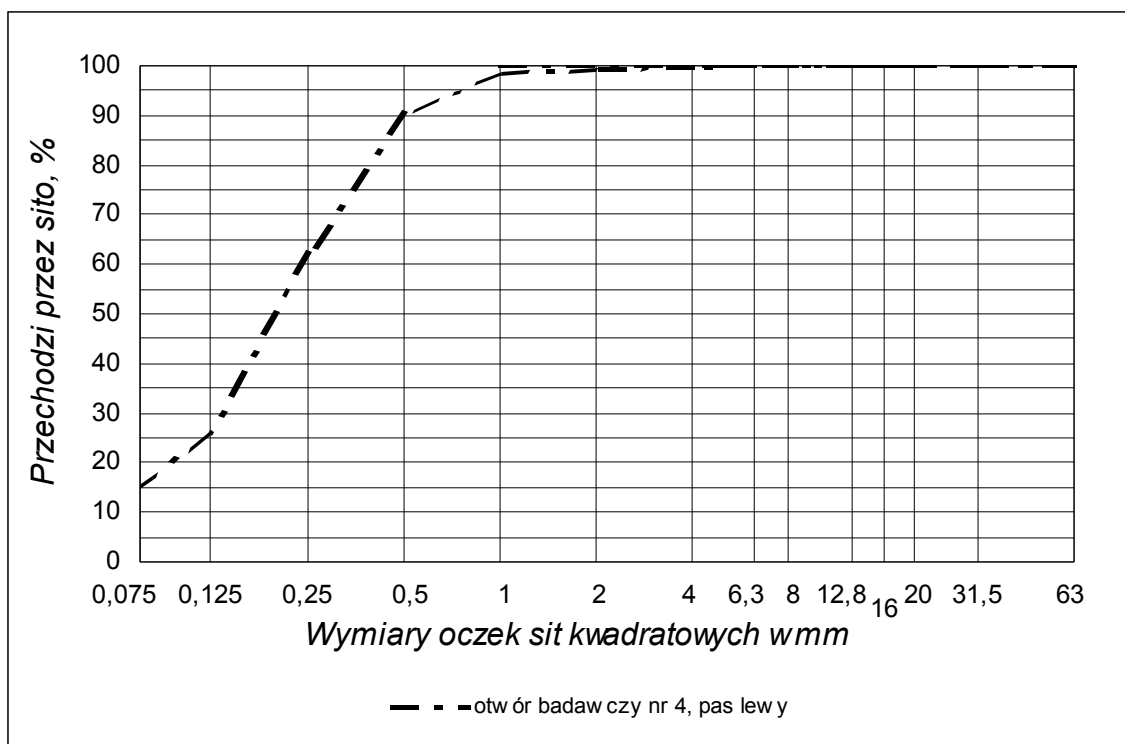


Rysunek 26 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podłoża gruntowego – obwodnica Nowej Soli, odcinek I w km 319+000÷319+200

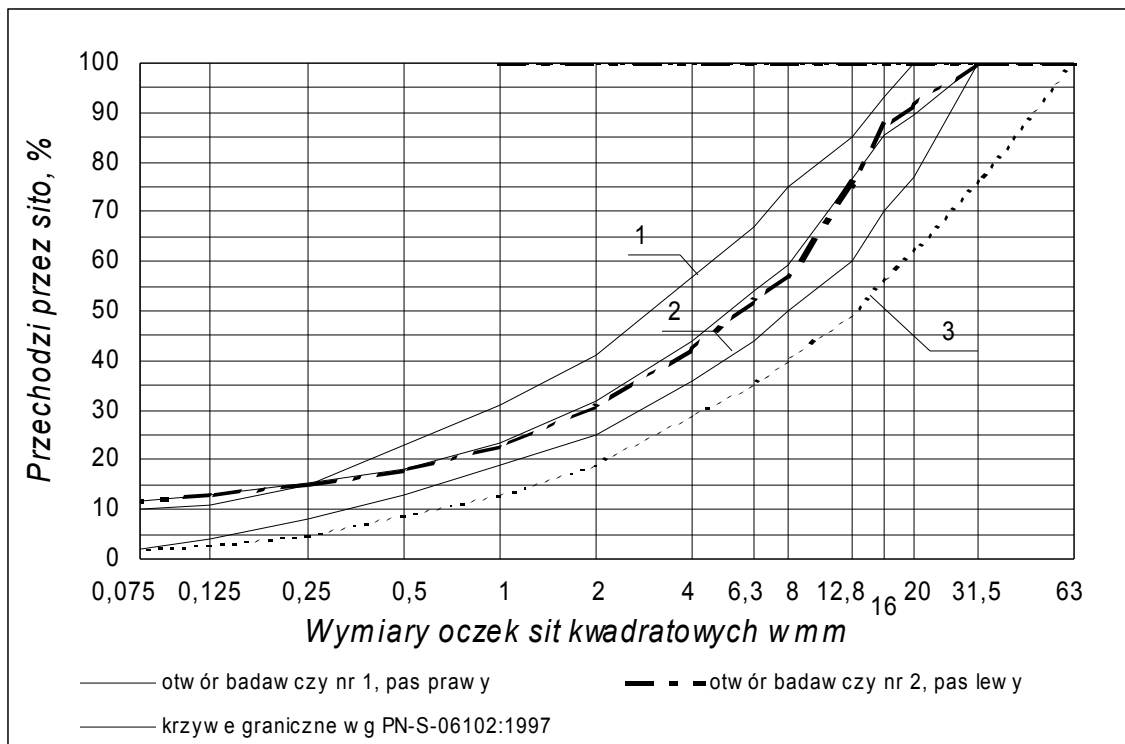




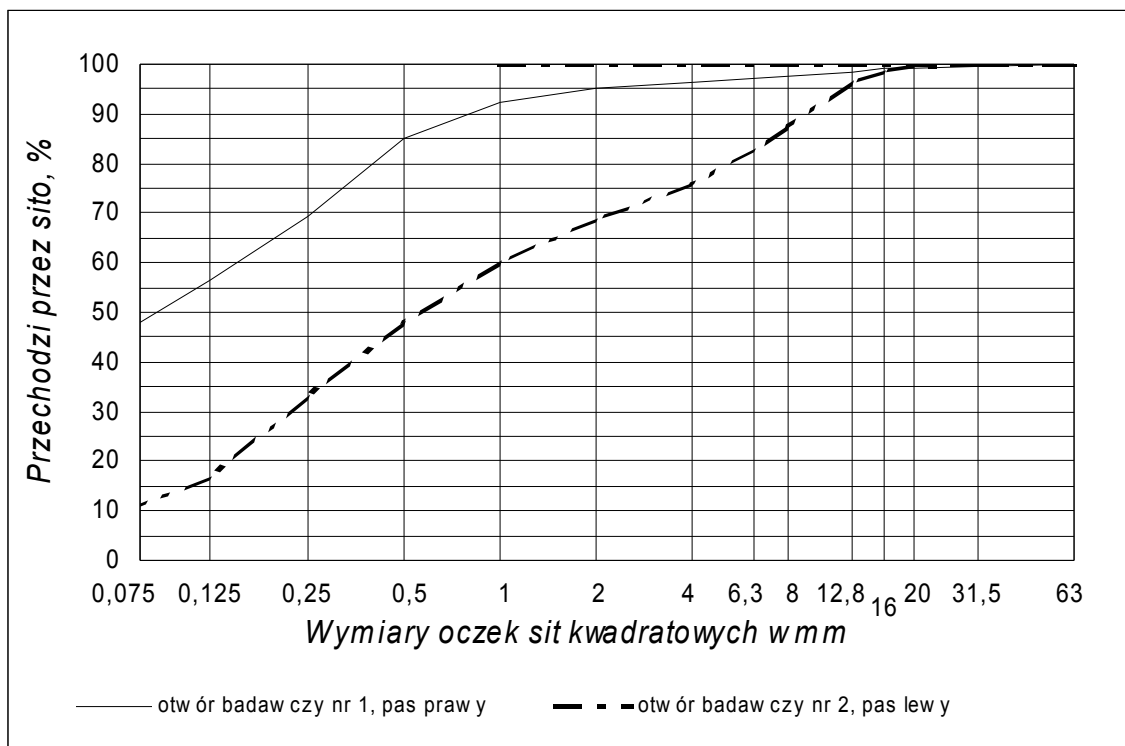
Rysunek 27 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podbudowy niezwiązanej – obwodnica Nowej Soli, odcinek II w km 319+650÷319+900



Rysunek 28 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podłoża gruntowego – obwodnica Nowej Soli, odcinek II w km 319+650÷319+900

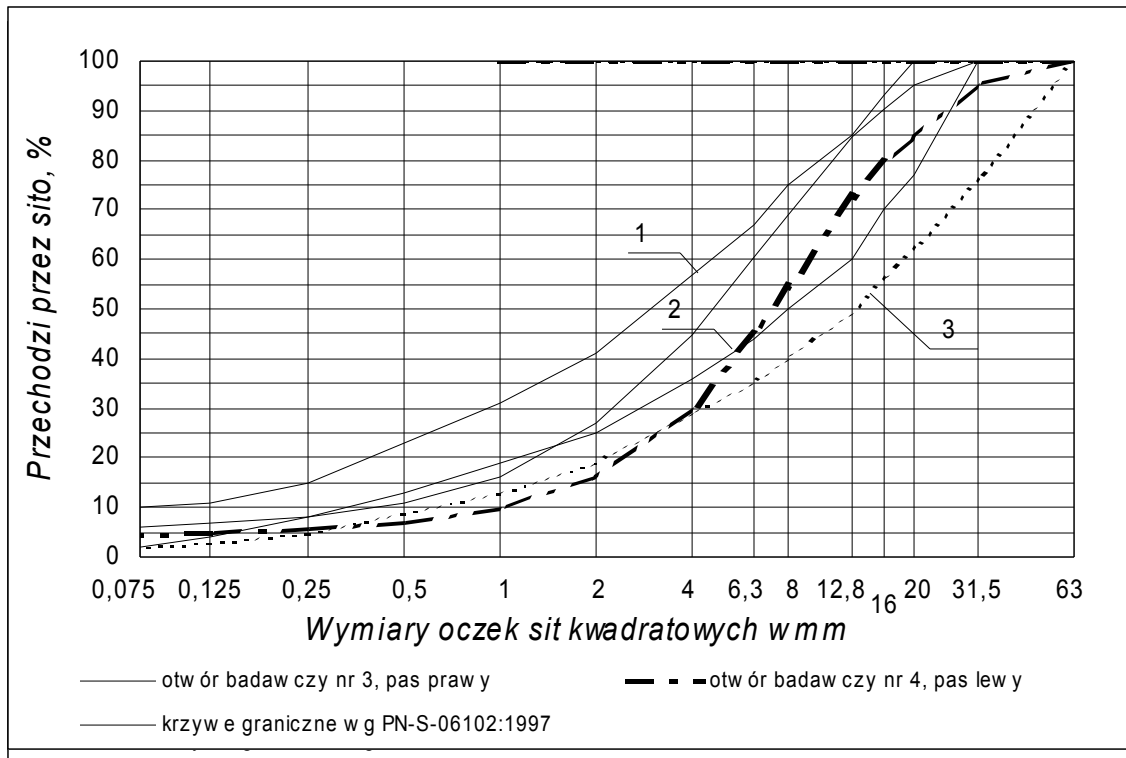


Rysunek 29 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podbudowy niezwiązanej – obwodnica Trzebnicy, odcinek I w km 336+000÷336+200

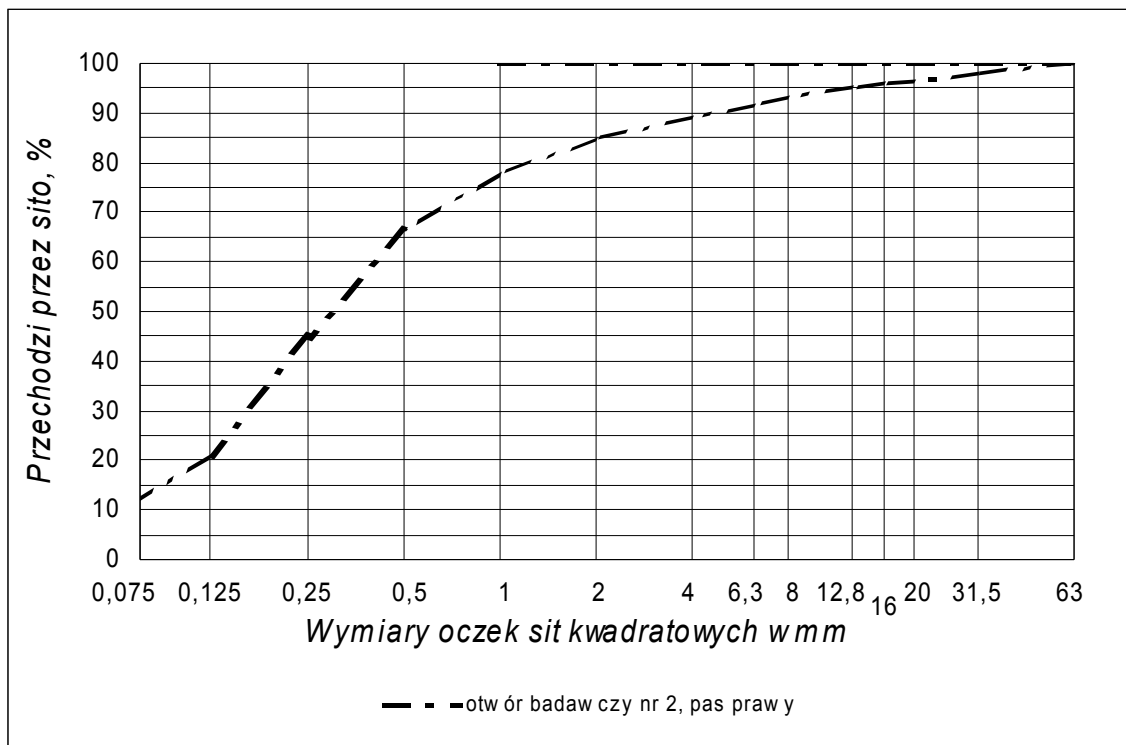


Rysunek 30 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podłoża gruntowego – obwodnica Trzebnicy, odcinek I w km 336+000÷336+200

Rysunek 31 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podbudowy niezwiązanej – obwodnica Trzebnicy, odcinek II w km 336+800÷337+000

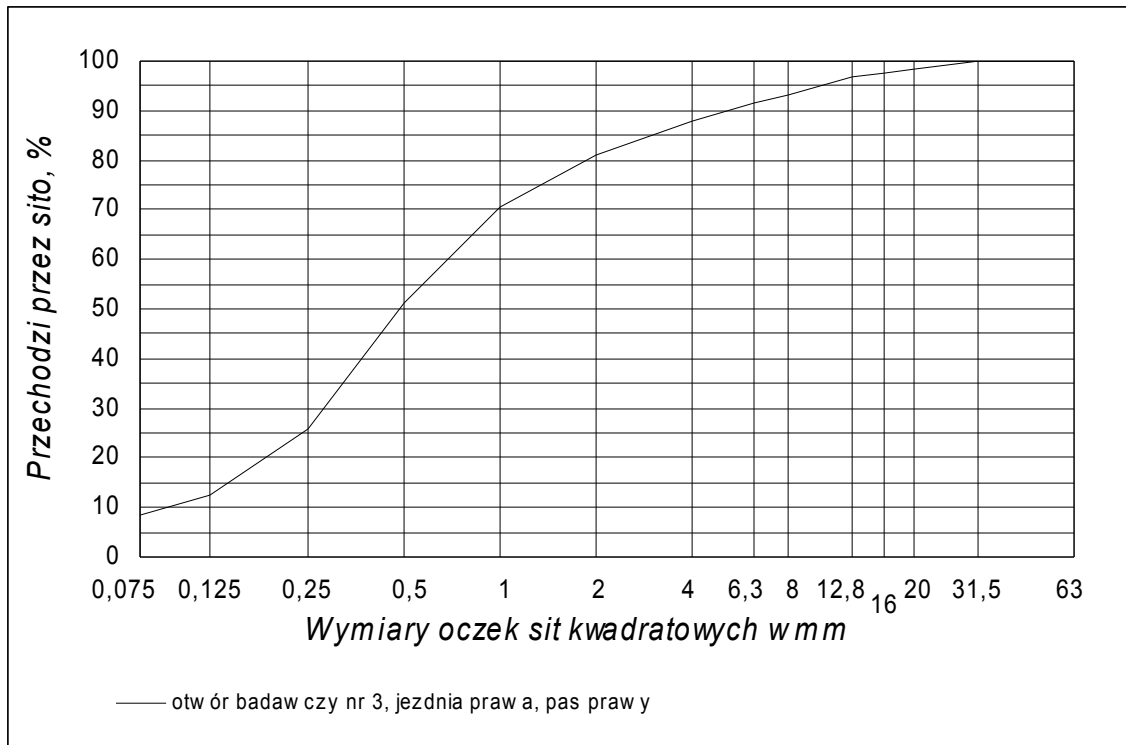


Rysunek 32 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podbudowy niezwiązanej – obwodnica Białegostoku, odcinek A w km 643+000÷643+200

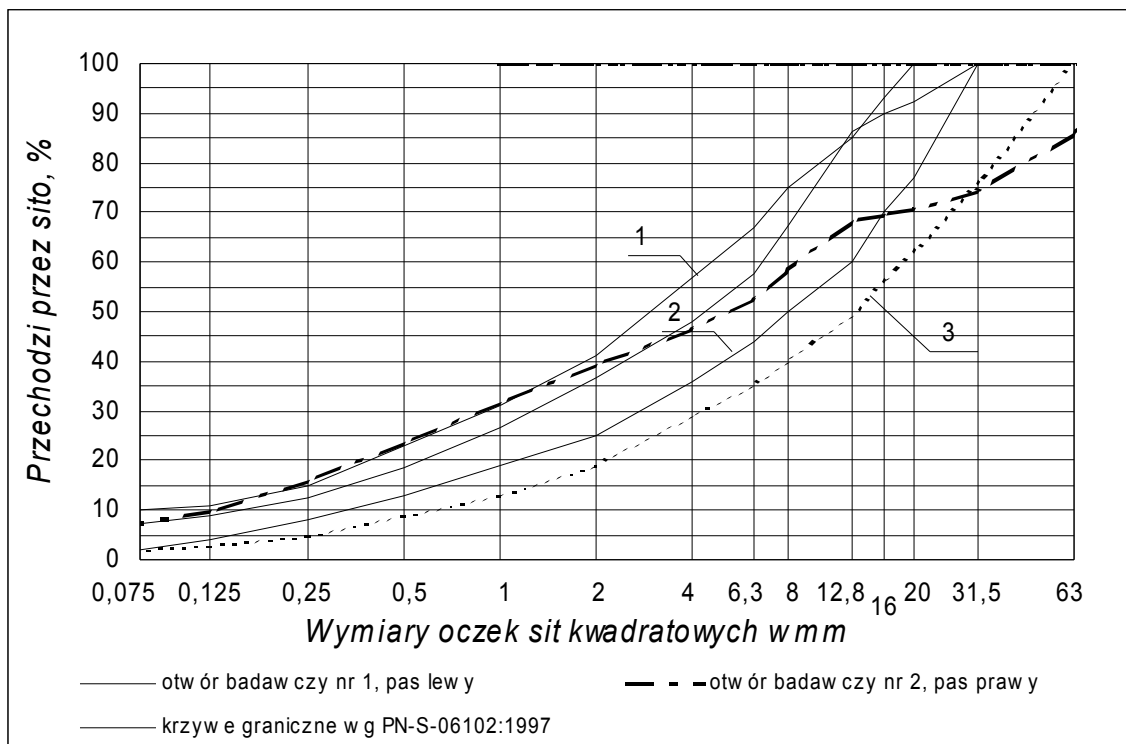


Rysunek 33 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podbudowy niezwiązanej – obwodnica Białegostoku, odcinek A w km 643+000÷643+200

Rysunek 34 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podbudowy niezwiązanej – obwodnica Białegostoku, odcinek B w km 639+300÷639+500

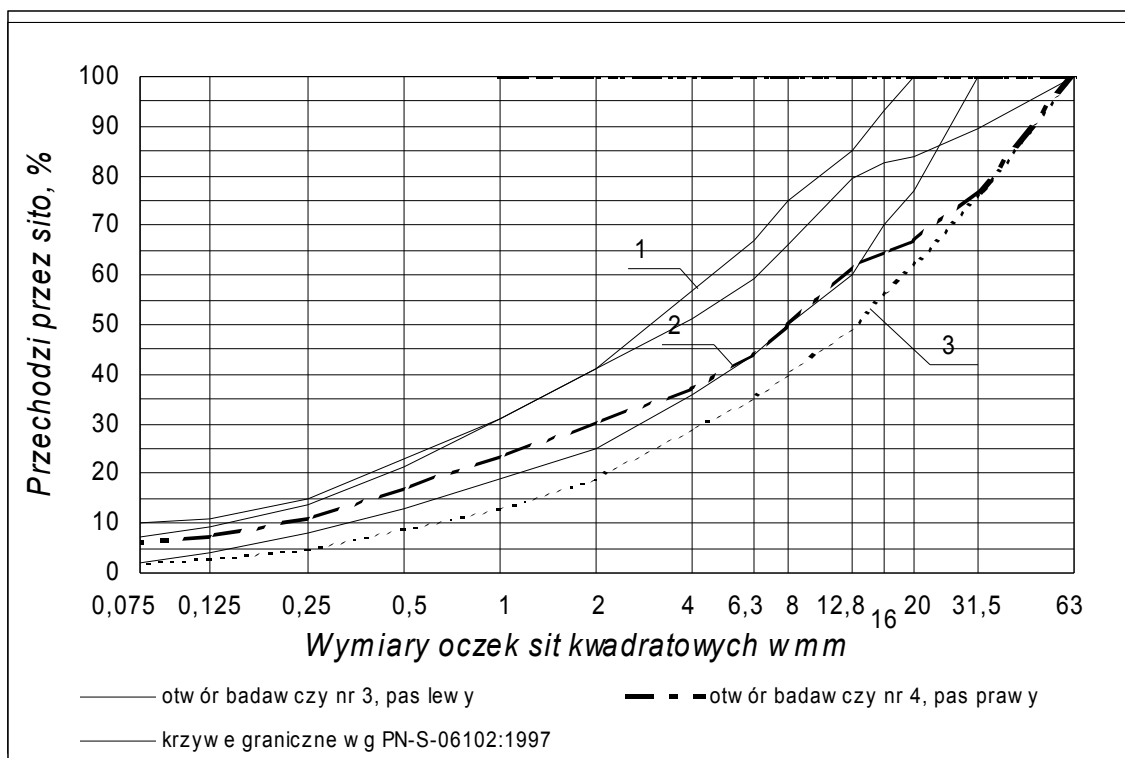


Rysunek 35 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podłoża gruntowego – obwodnica Białegostoku, odcinek B w km 639+300÷639+500

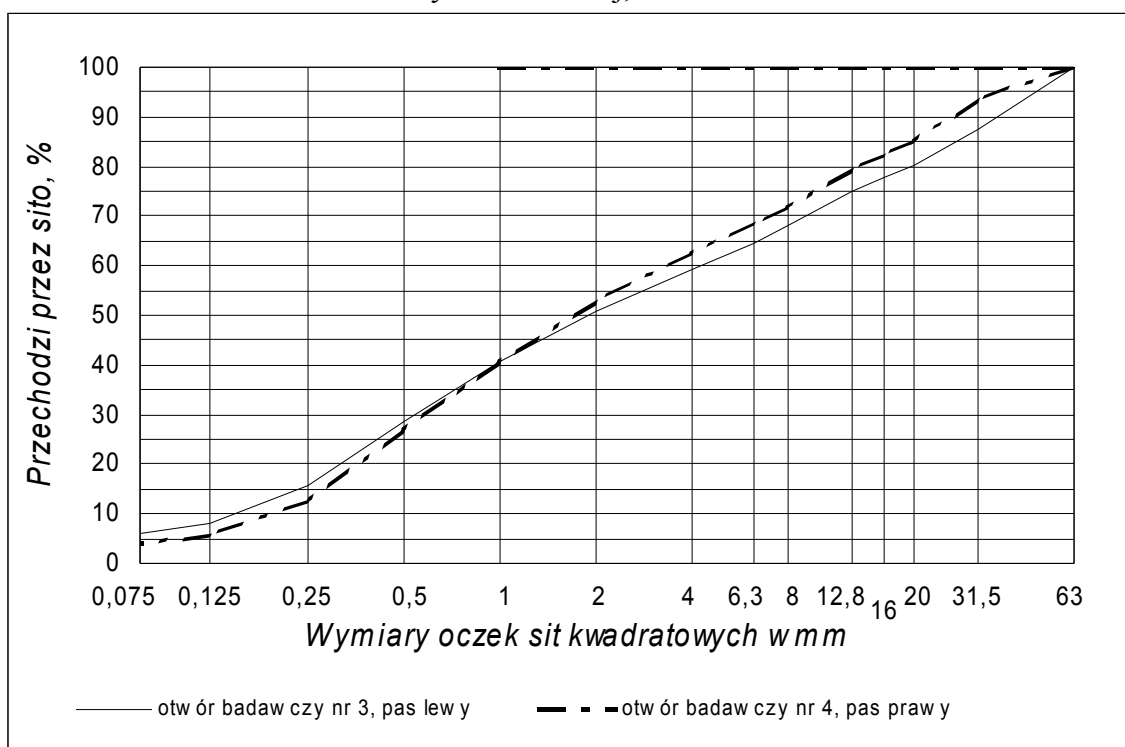


Rysunek 36 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podbudowy niezwiązanej – obwodnica Kuźnicy Białostockiej, odcinek I w km 1+700÷1+900

Rysunek 37 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podłoża gruntowego – obwodnica Kuźnicy Białostockiej, odcinek I w km 1+700÷1+900



Rysunek 38 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podbudowy niezwiązanej – obwodnica Kuźnicy Białostockiej, odcinek II w km 1+200÷1+450

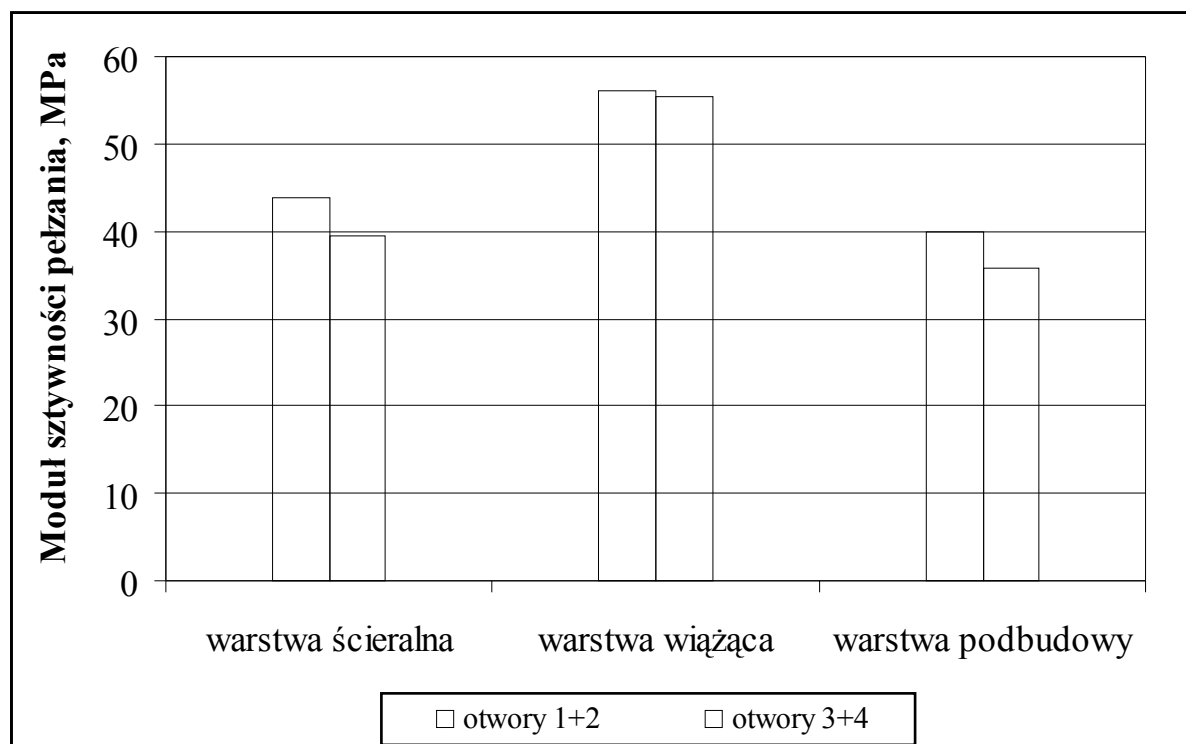


Rysunek 39 Uziarnienie mieszanki mineralnej w warstwie podłoża gruntowego – obwodnica Kuźnicy Białostockiej, odcinek II w km 1+200÷1+450

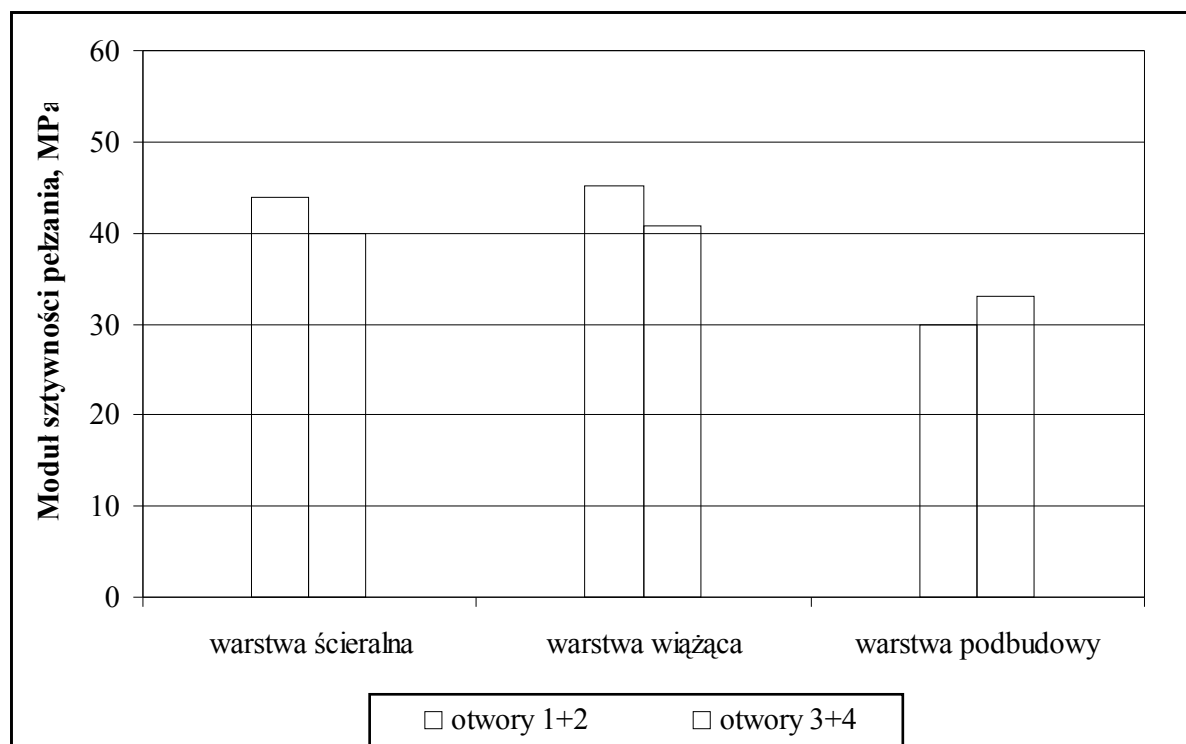
Objaśnienia do rysunków 25 – 39:

1 – 2 - kruszywo na podbudowę zasadniczą (górną warstwę) lub podbudowę jednowarstwową

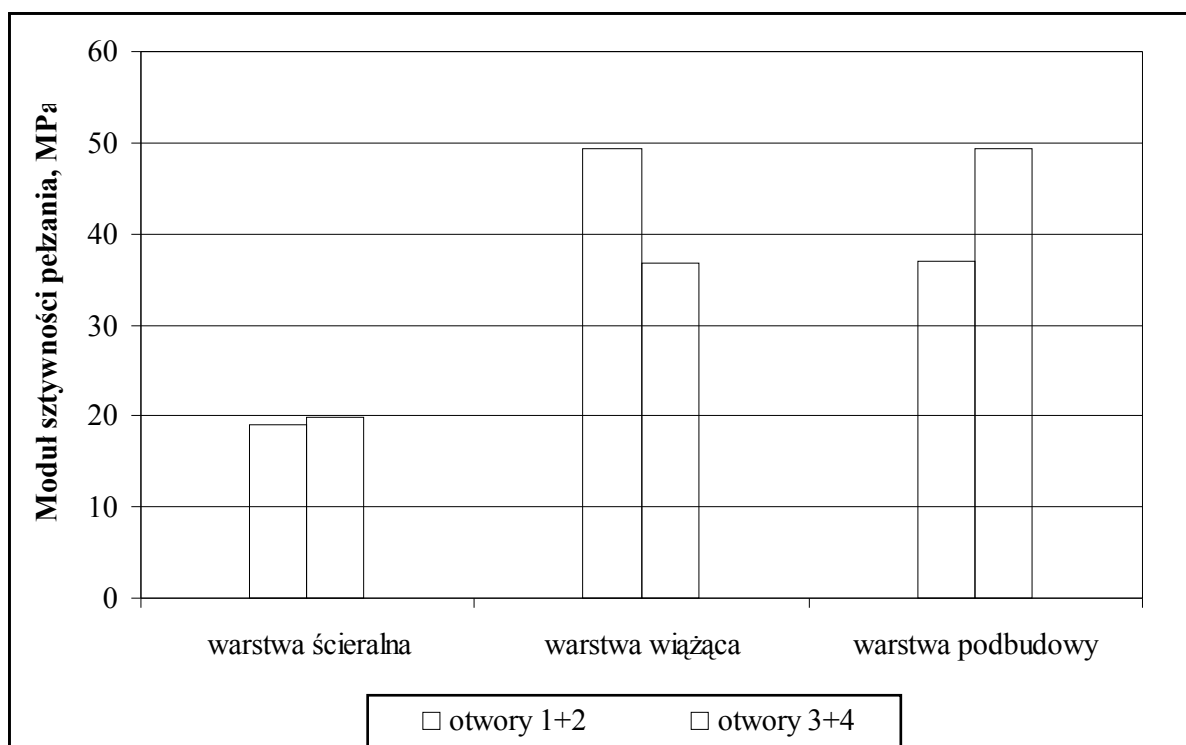
1 – 3 - kruszywo na podbudowę pomocniczą (dolną warstwę)



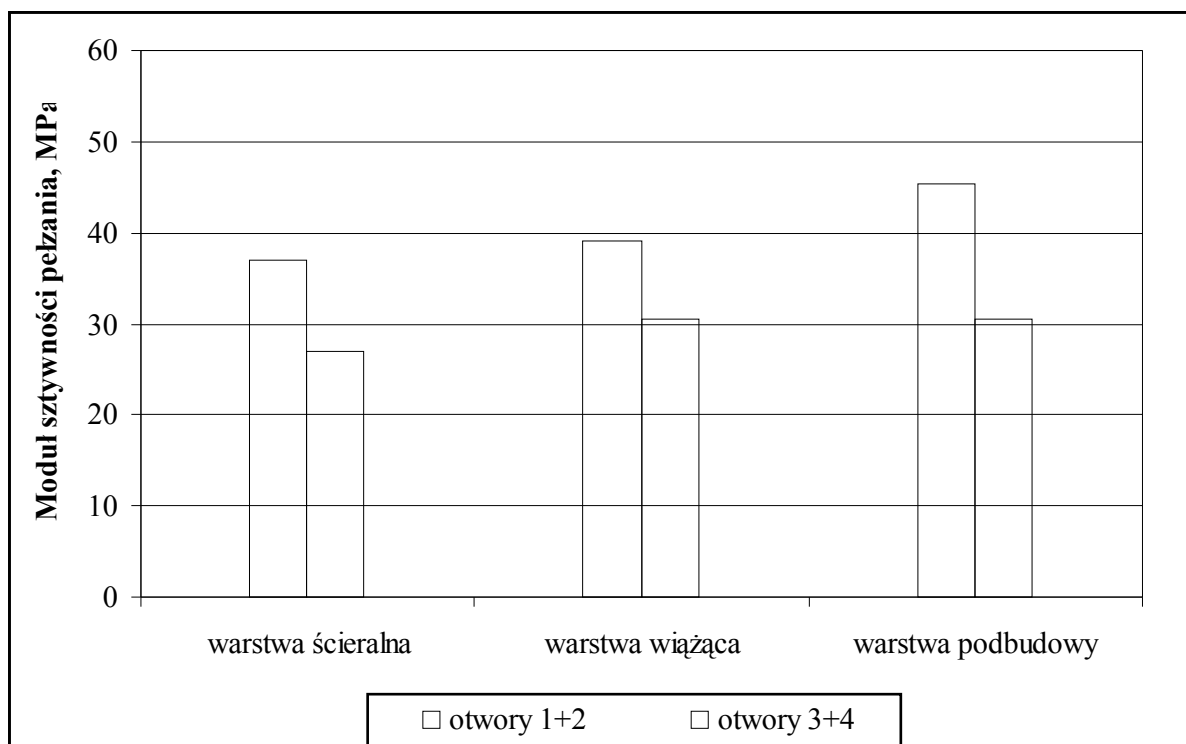
Rysunek 40 Histogramy modułu sztywności pełzania próbek z warstw asfaltowych obwodnicy Nowej Soli



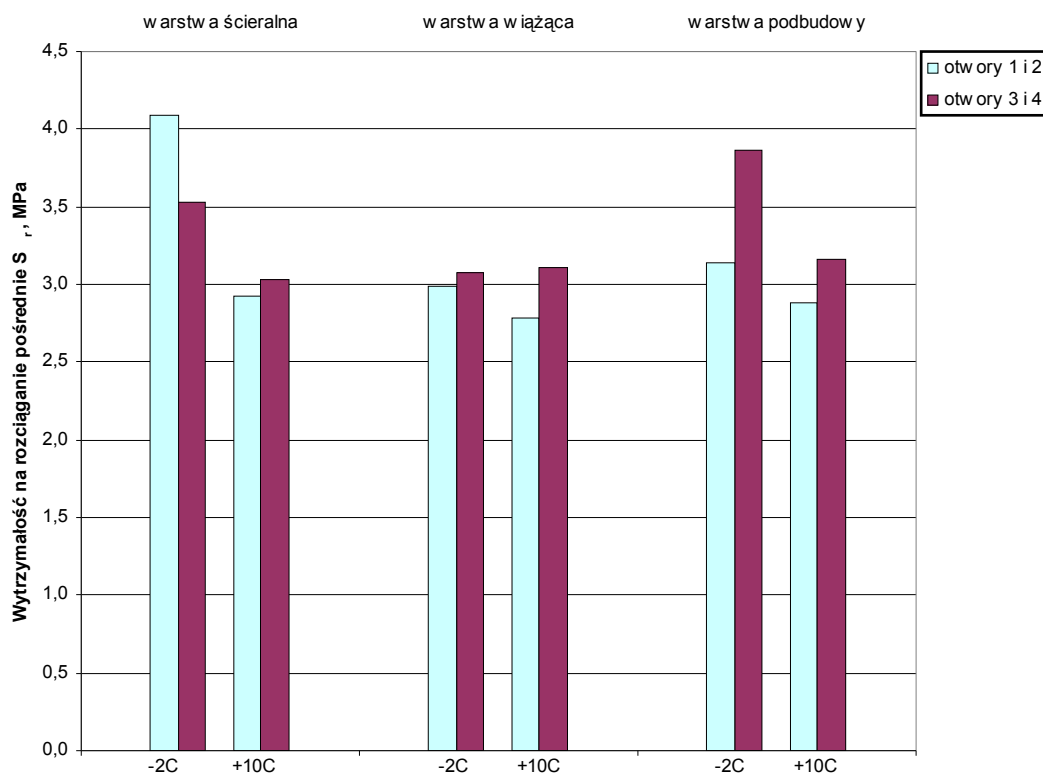
Rysunek 41 Histogramy modułu sztywności pełzania próbek z warstw asfaltowych obwodnicy Trzebnicy



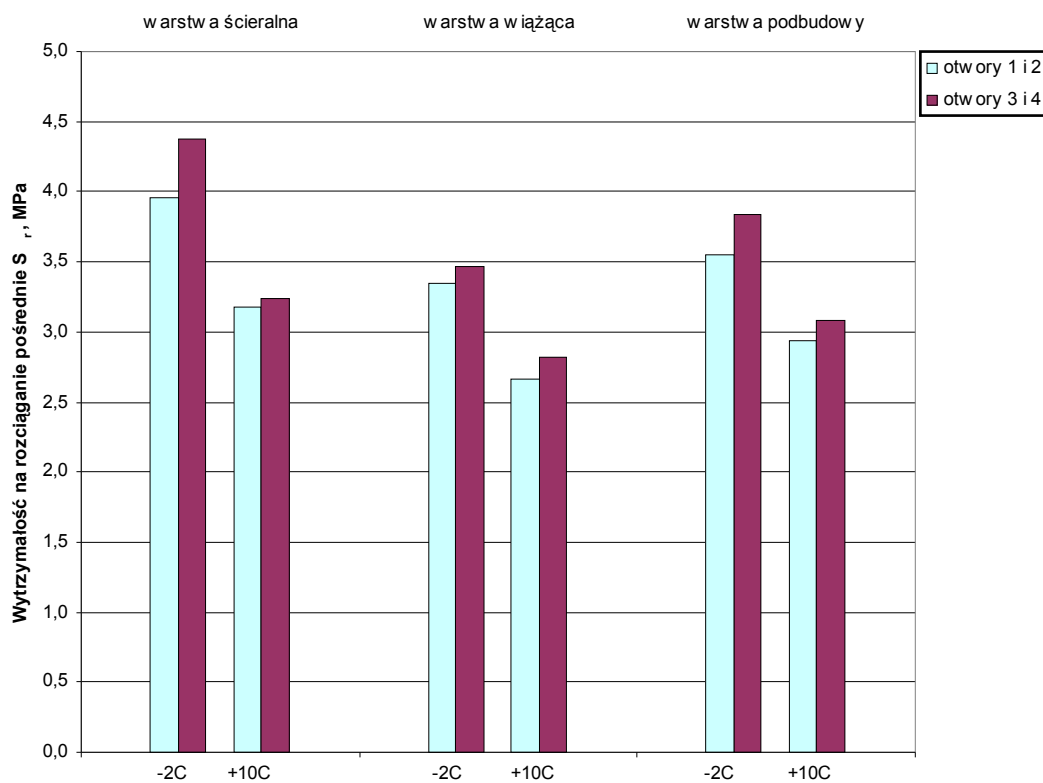
Rysunek 42 Histogramy modułu sztywności pełzania próbek z warstw asfaltowych obwodnicy Białegostoku



Rysunek 43 Histogramy modułu sztywności pełzania próbek z warstw asfaltowych obwodnicy Kuźnicy

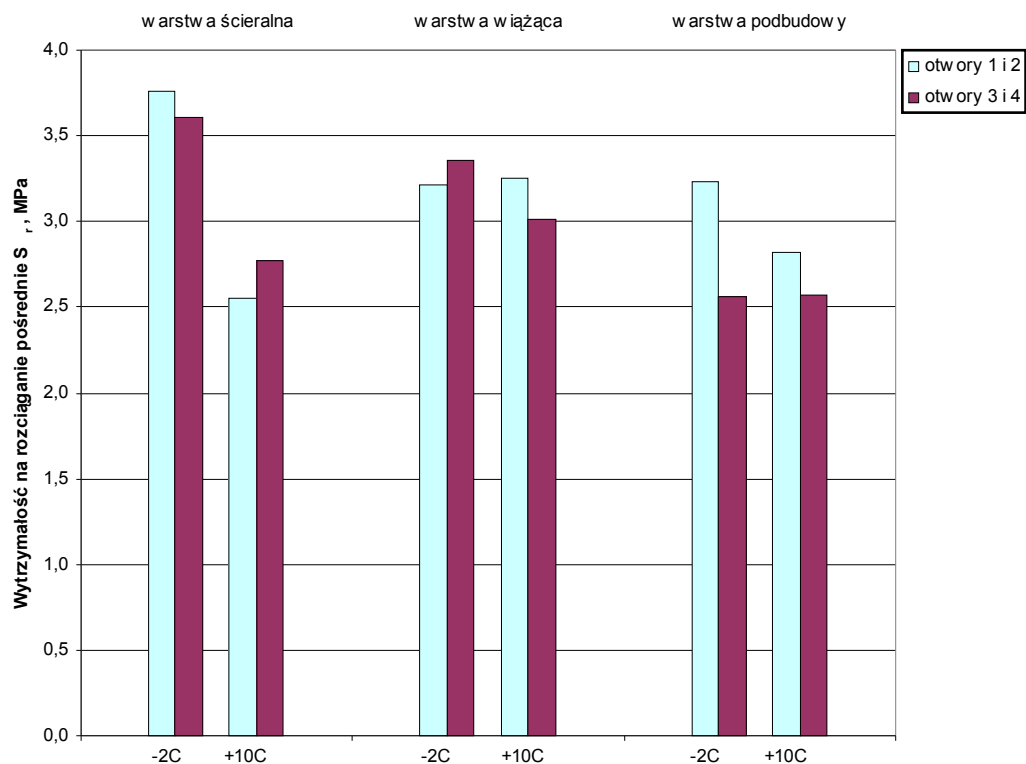


Rysunek 44 Histogramy wytrzymałości na rozciąganie pośrednie próbek pobranych z nawierzchni asfaltowej obwodnicy Nowej Soli

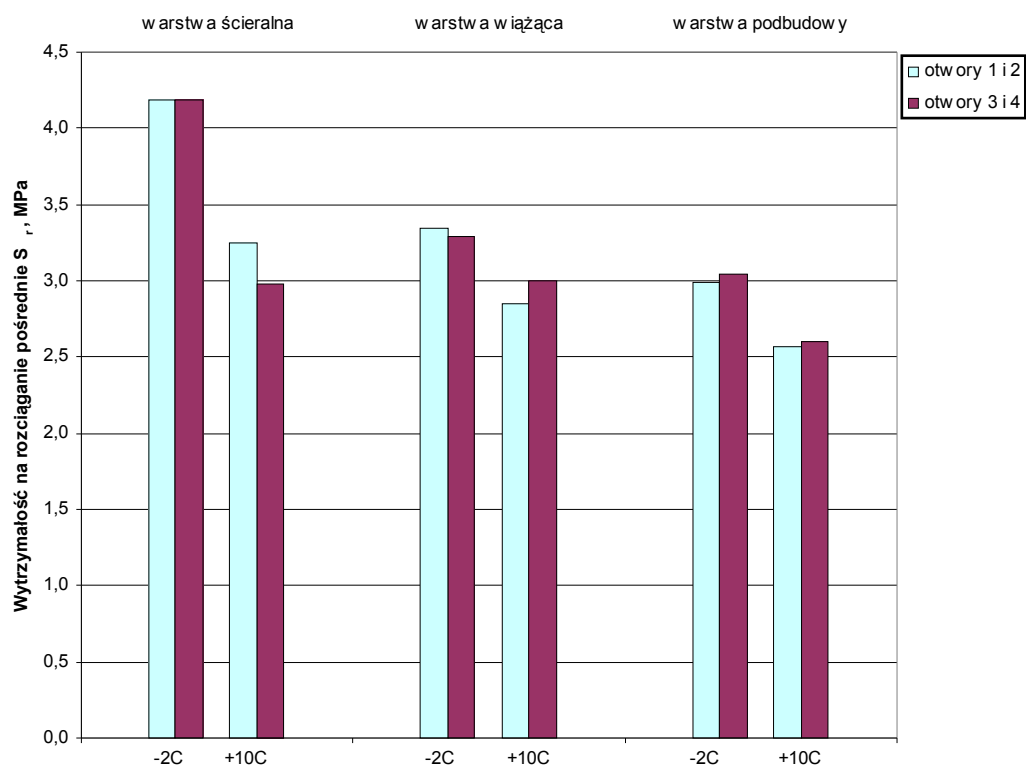


Rysunek 45 Histogramy wytrzymałości na rozciąganie pośrednie próbek pobranych z nawierzchni asfaltowej obwodnicy Trzebnicy

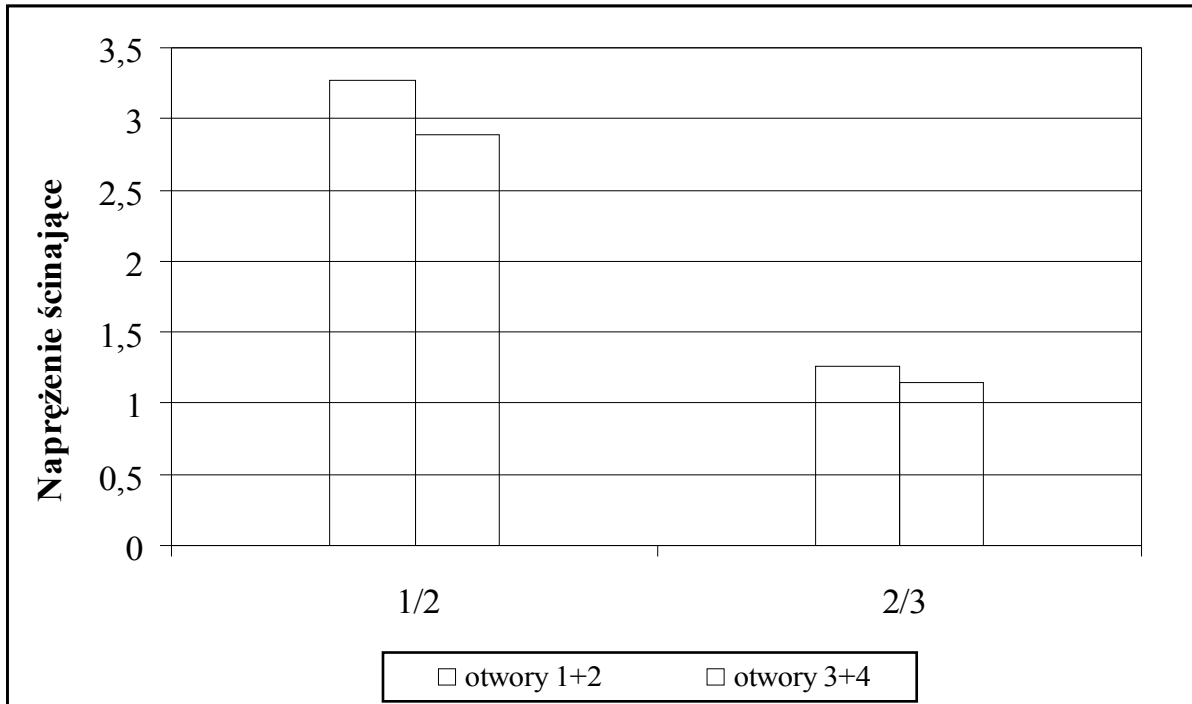




Rysunek 46 Histogramy wytrzymałości na rozciąganie pośrednie próbek pobranych z nawierzchni asfaltowej obwodnicy Białegostoku

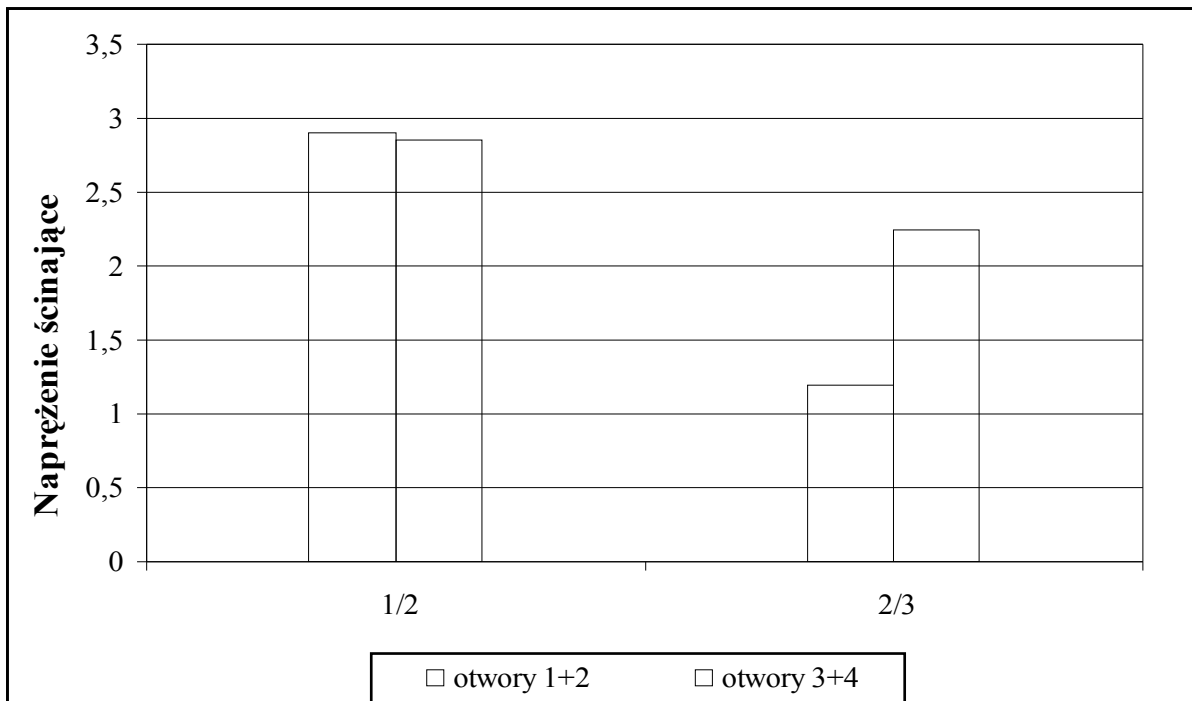


Rysunek 47 Histogramy wytrzymałości na rozciąganie pośrednie próbek pobranych z nawierzchni asfaltowej obwodnicy Kuźnicy Białostockiej



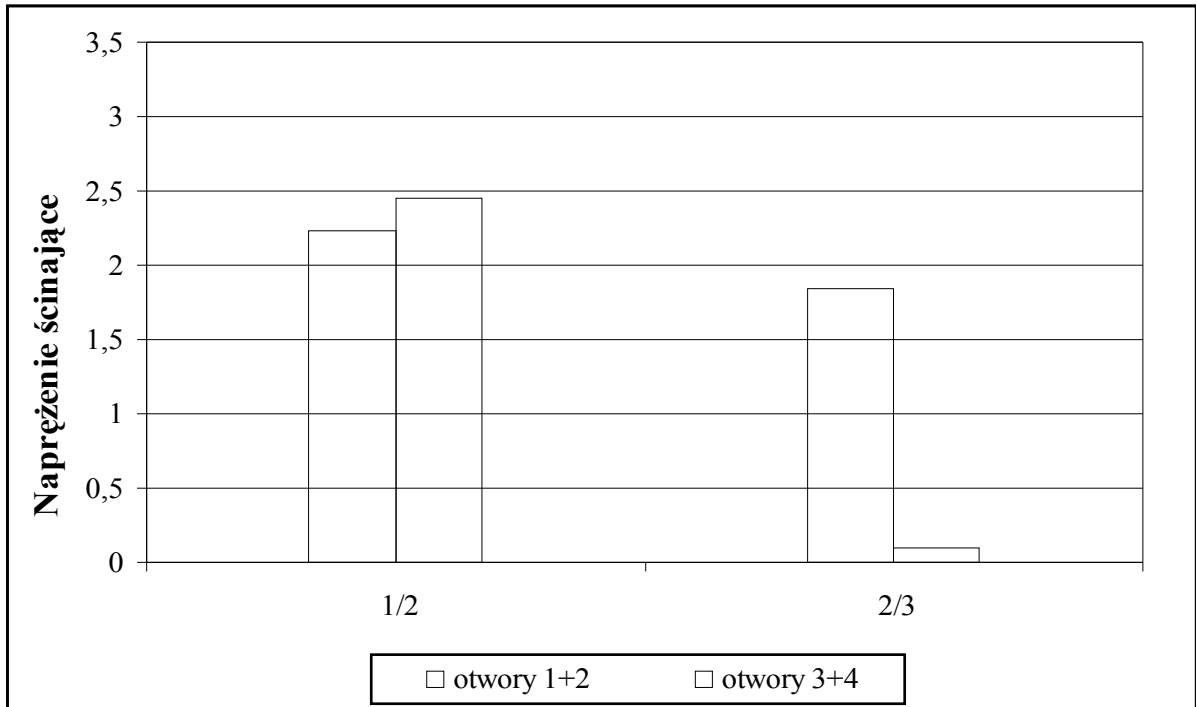
Rysunek 48 Histogramy napężenia ścinającego między warstwami asfaltowymi obwodnicy Nowej Soli

- 1 – warstwa ścieralna
- 2 – warstwa wiążąca
- 3 – warstwa podbudowy



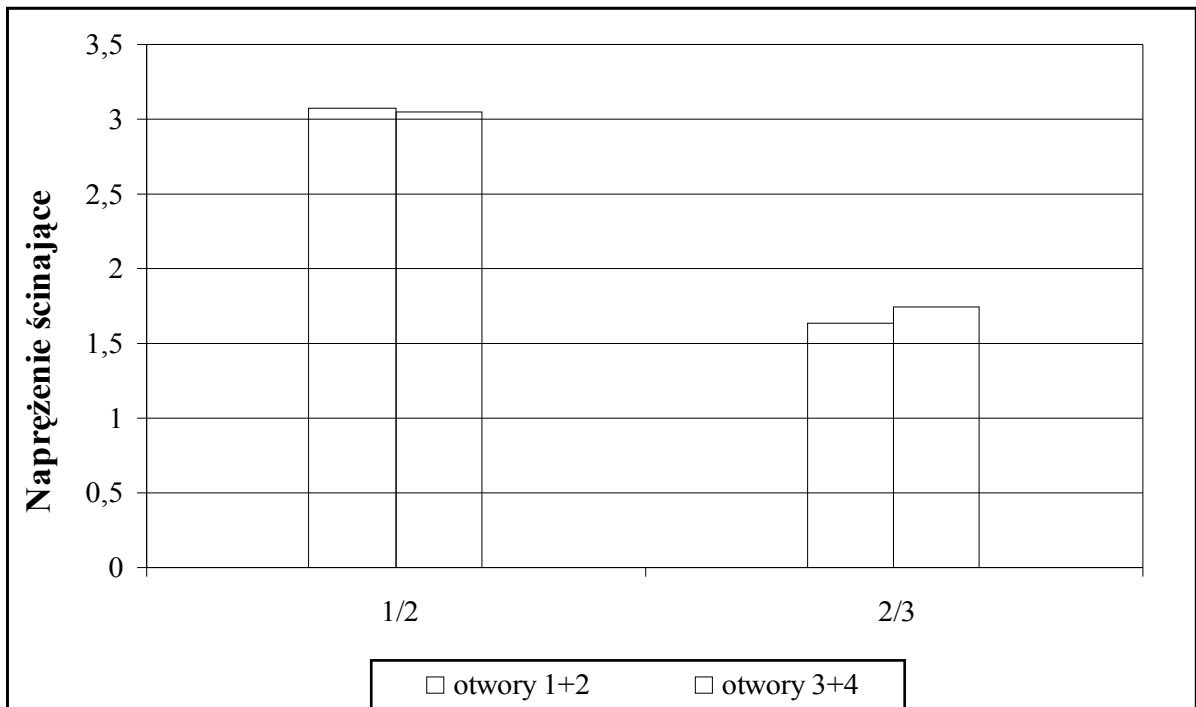
Rysunek 49 Histogramy napężenia ścinającego między warstwami asfaltowymi obwodnicy Trzebnicy

- 1 – warstwa ścieralna
- 2 – warstwa wiążąca
- 3 – warstwa podbudowy



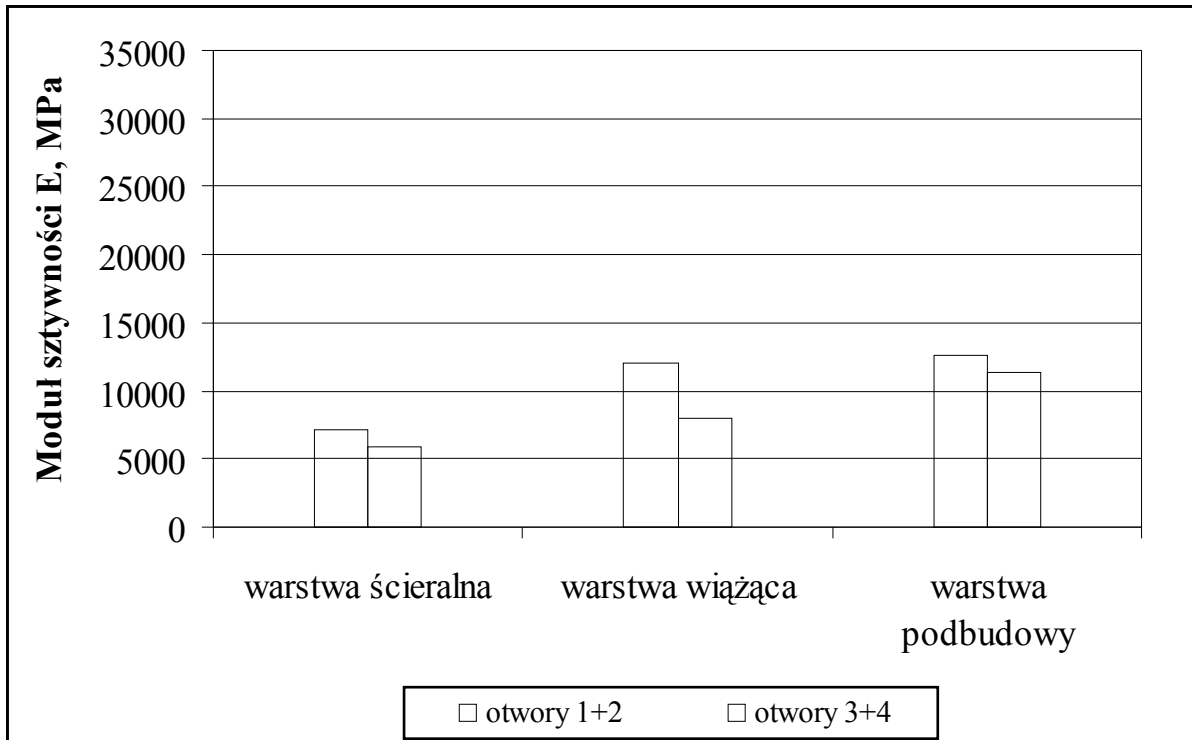
Rysunek 50 Histogramy napężenia ścinającego między warstwami asfaltowymi obwodnicy Białegostoku

- 1 – warstwa ścieralna
- 2 – warstwa wiążąca
- 3 – warstwa podbudowy

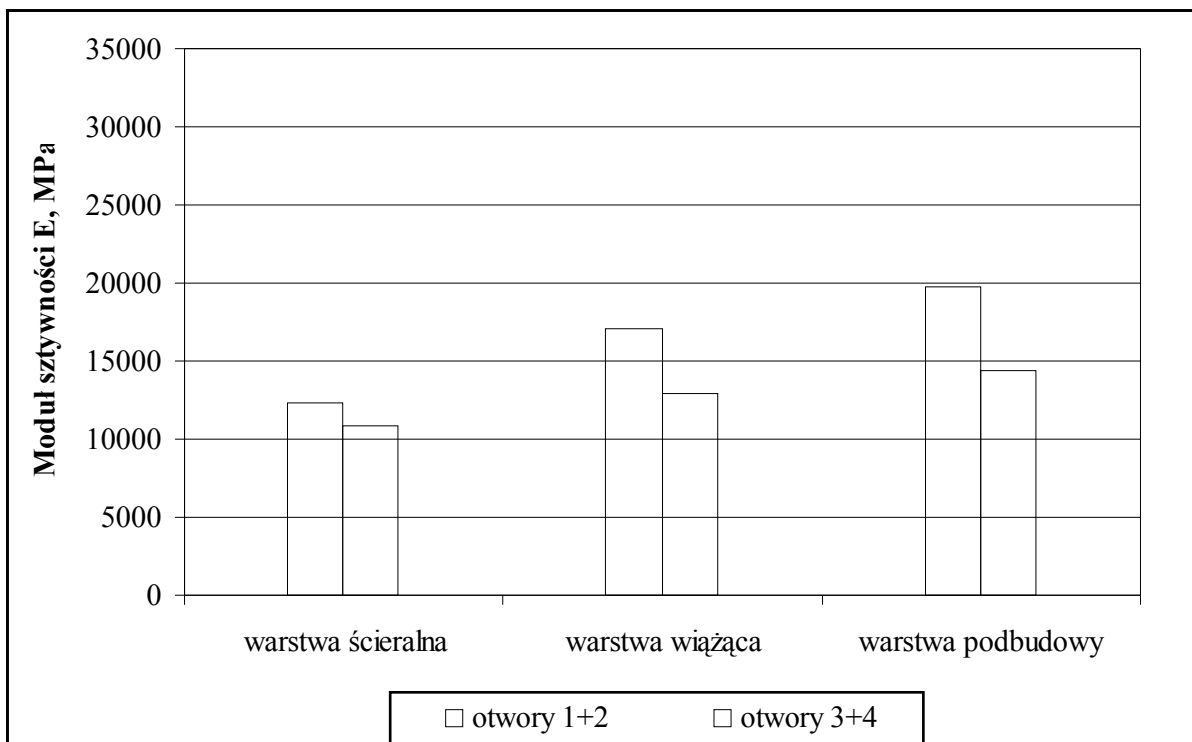


Rysunek 51 Histogramy napężenia ścinającego między warstwami asfaltowymi obwodnicy Kuźnicy

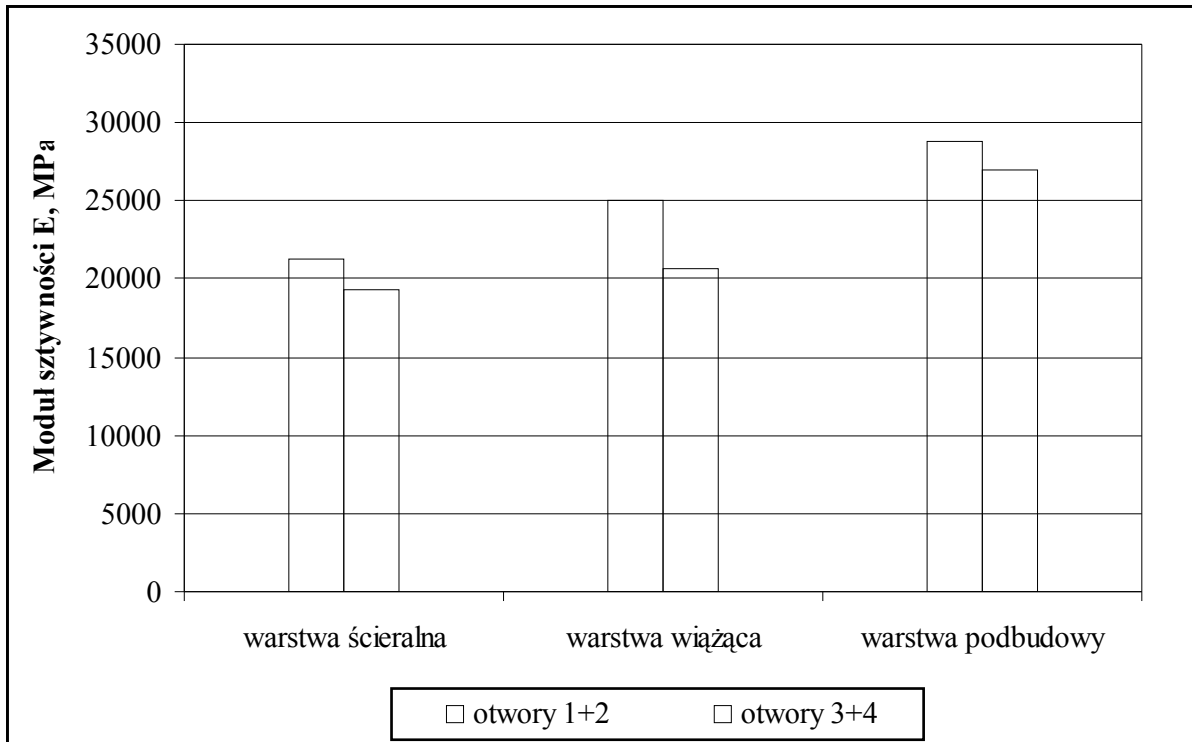
- 1 – warstwa ścieralna
- 2 – warstwa wiążąca
- 3 – warstwa podbudowy



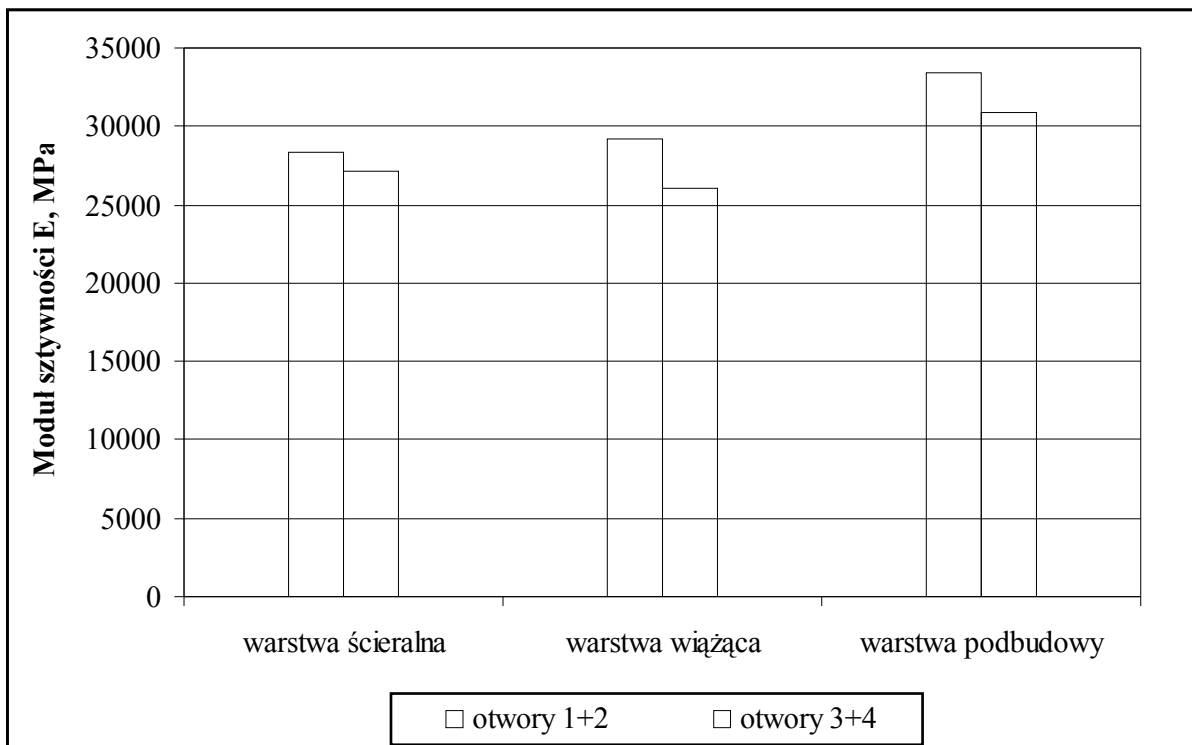
Rysunek 52 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Nowej Soli w temperaturze 20 °C



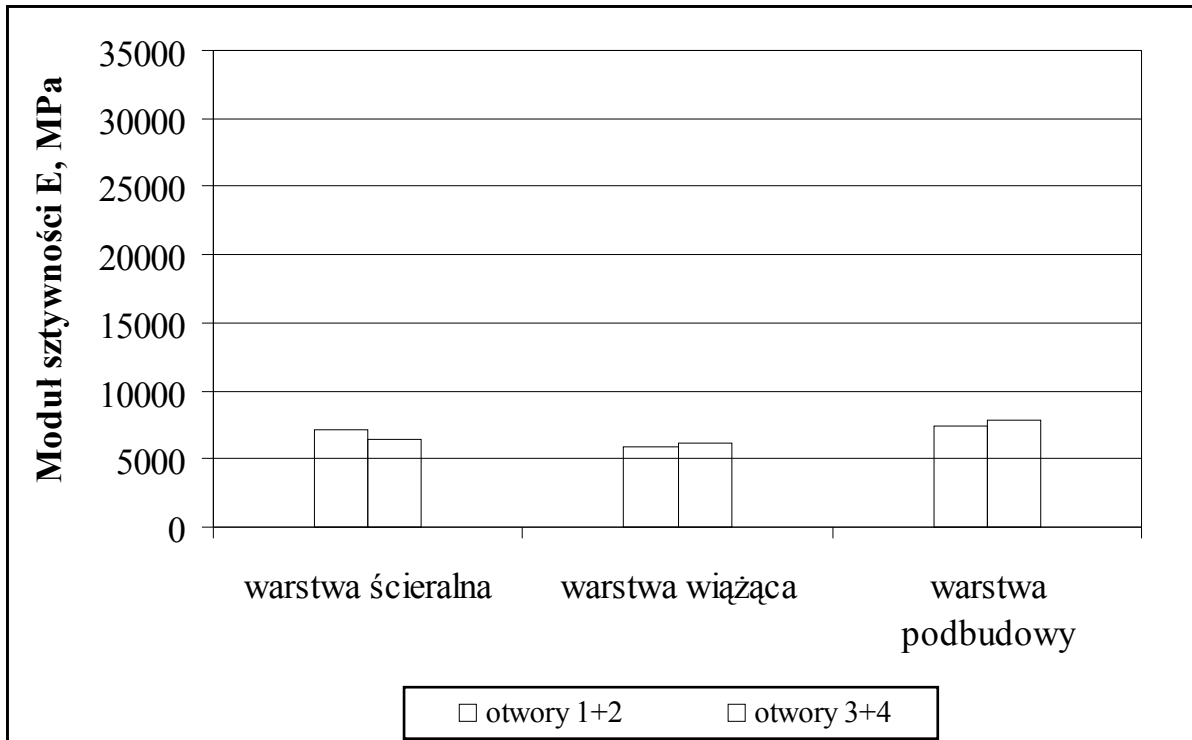
Rysunek 53 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Nowej Soli w temperaturze 10 °C



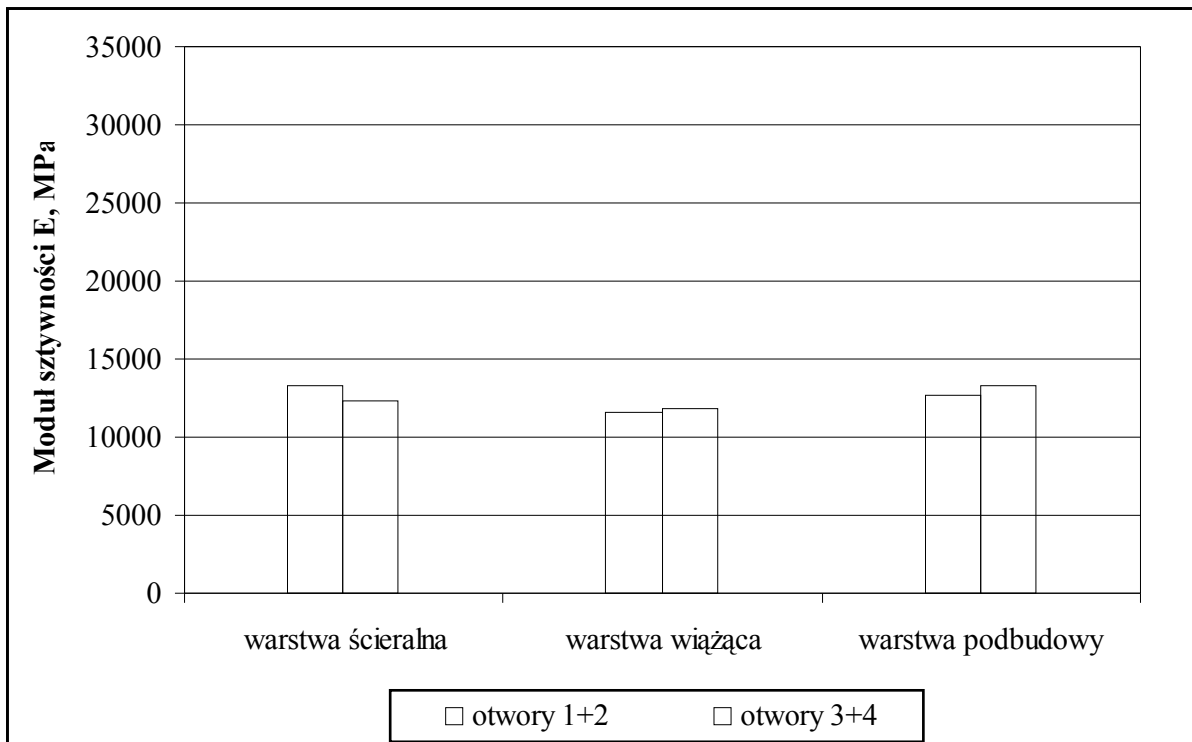
Rysunek 54 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Nowej Soli w temperaturze  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$



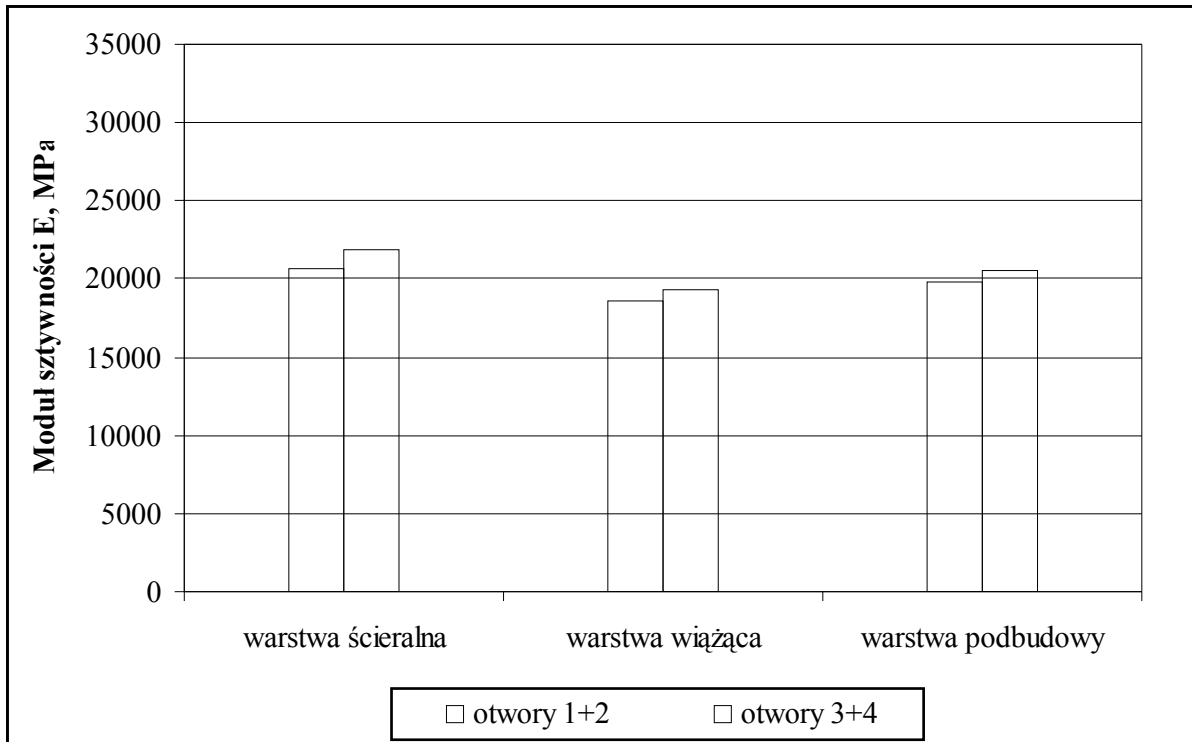
Rysunek 55 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Nowej Soli w temperaturze  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$



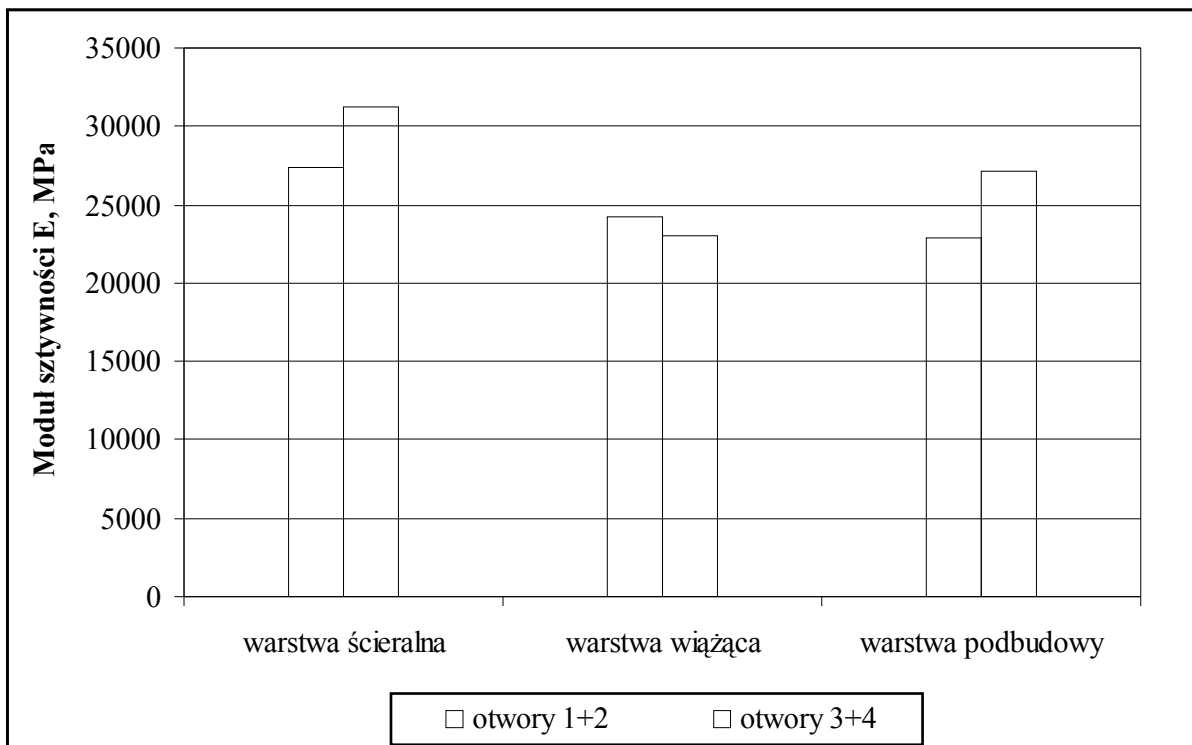
Rysunek 56 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Trzebnicy w temperaturze 20 °C



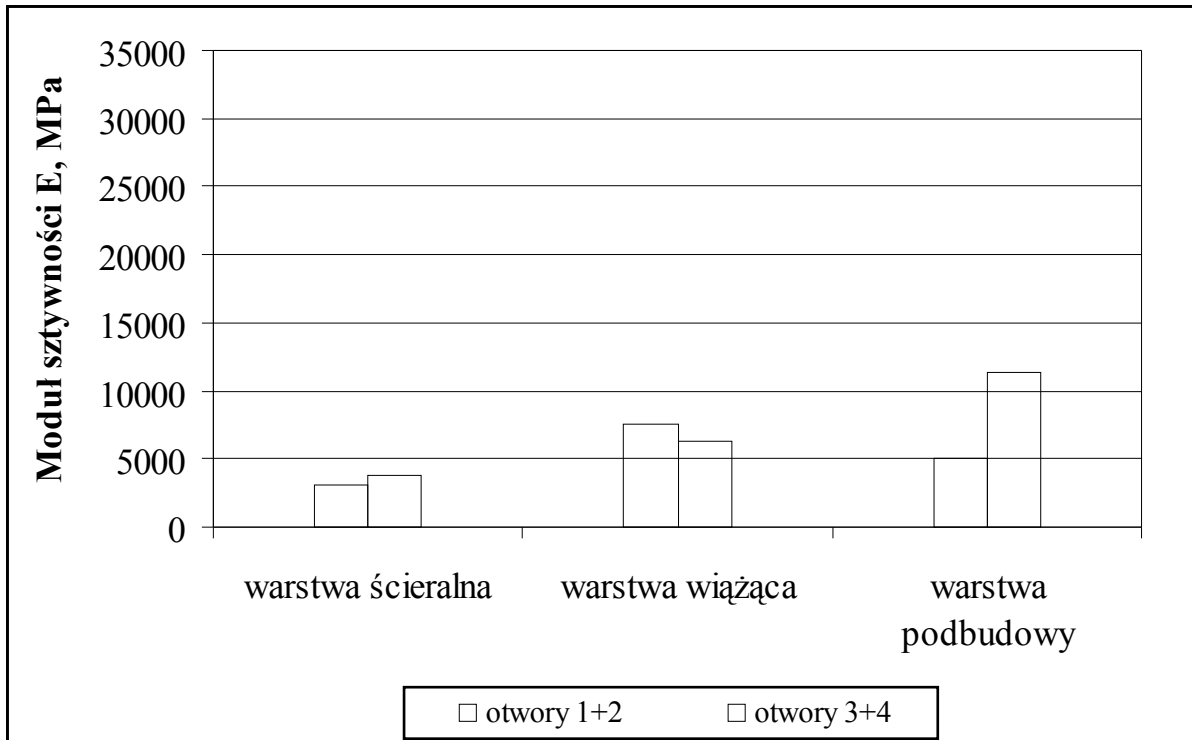
Rysunek 57 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Trzebnicy w temperaturze 10 °C



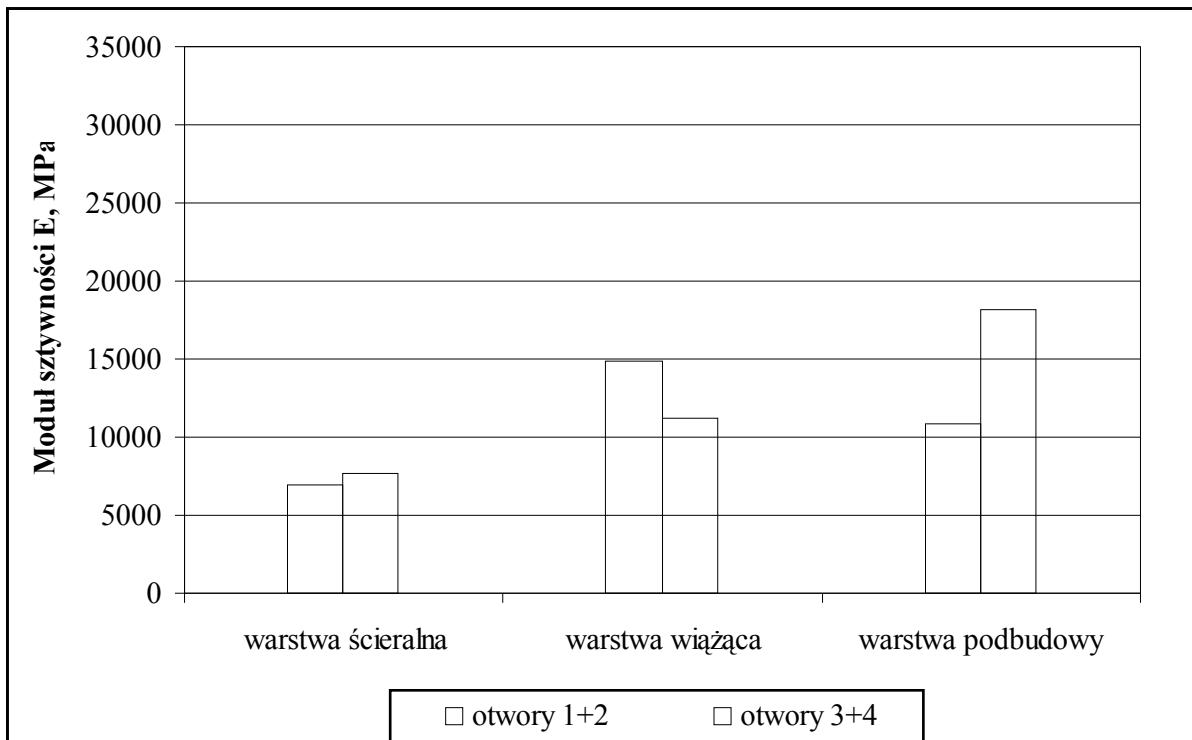
Rysunek 58 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Trzebnicy w temperaturze -2 °C



Rysunek 59 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Trzebnicy w temperaturze -10 °C

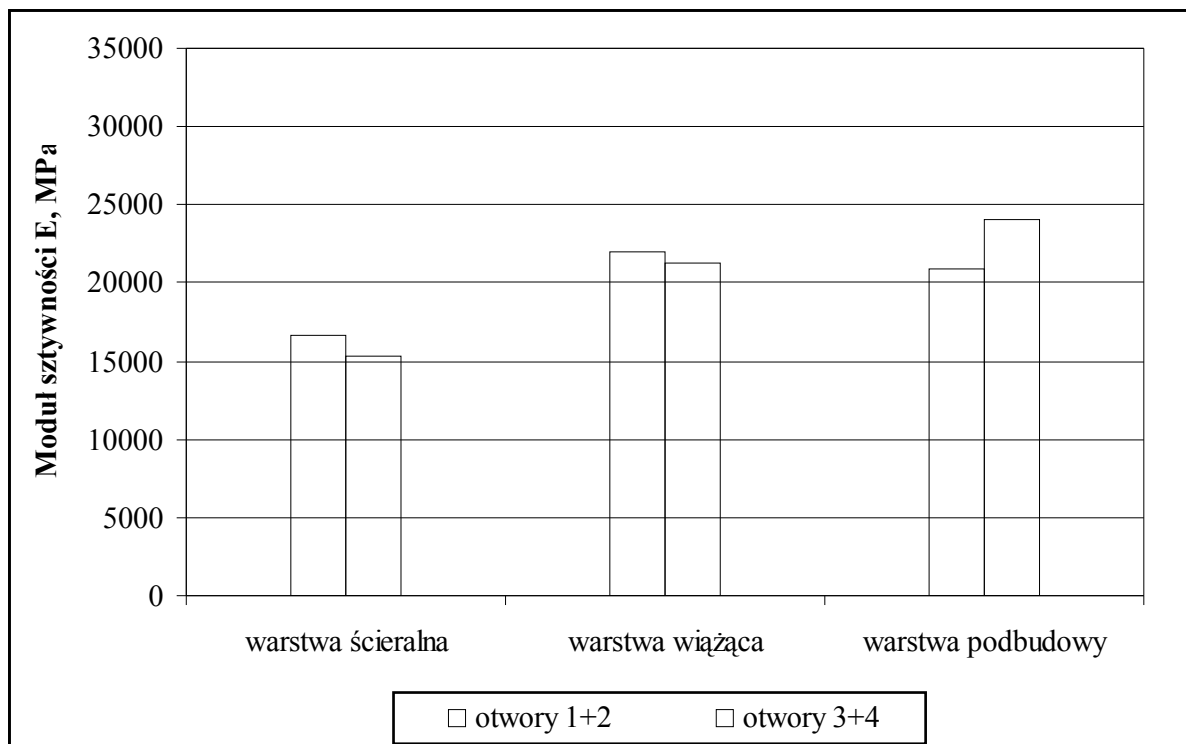


Rysunek 60 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Białegostoku w temperaturze 20 °C

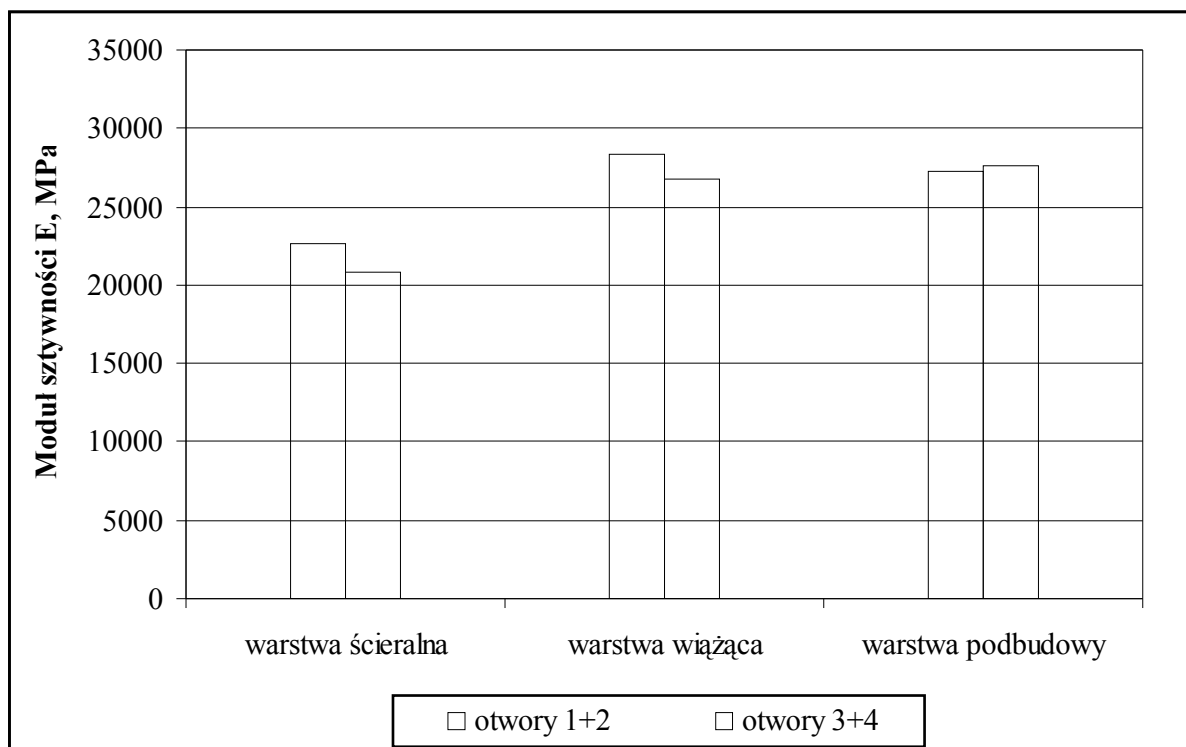


Rysunek 61 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Białegostoku w temperaturze 10 °C

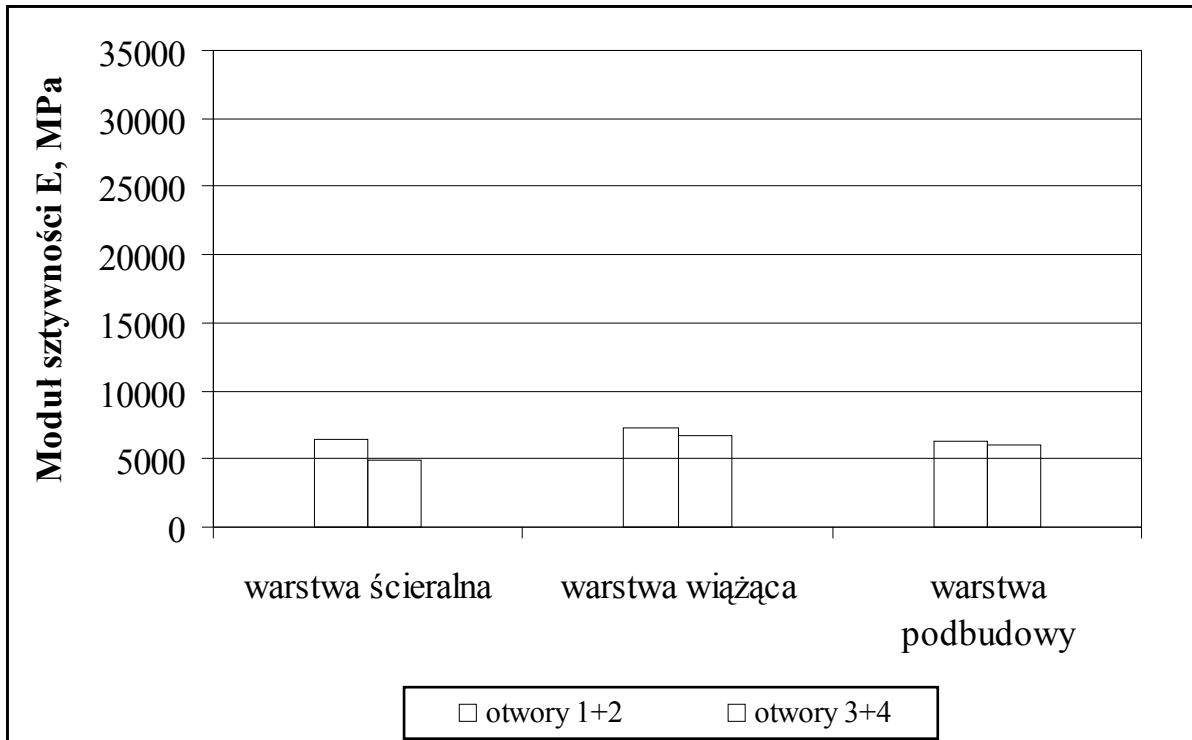




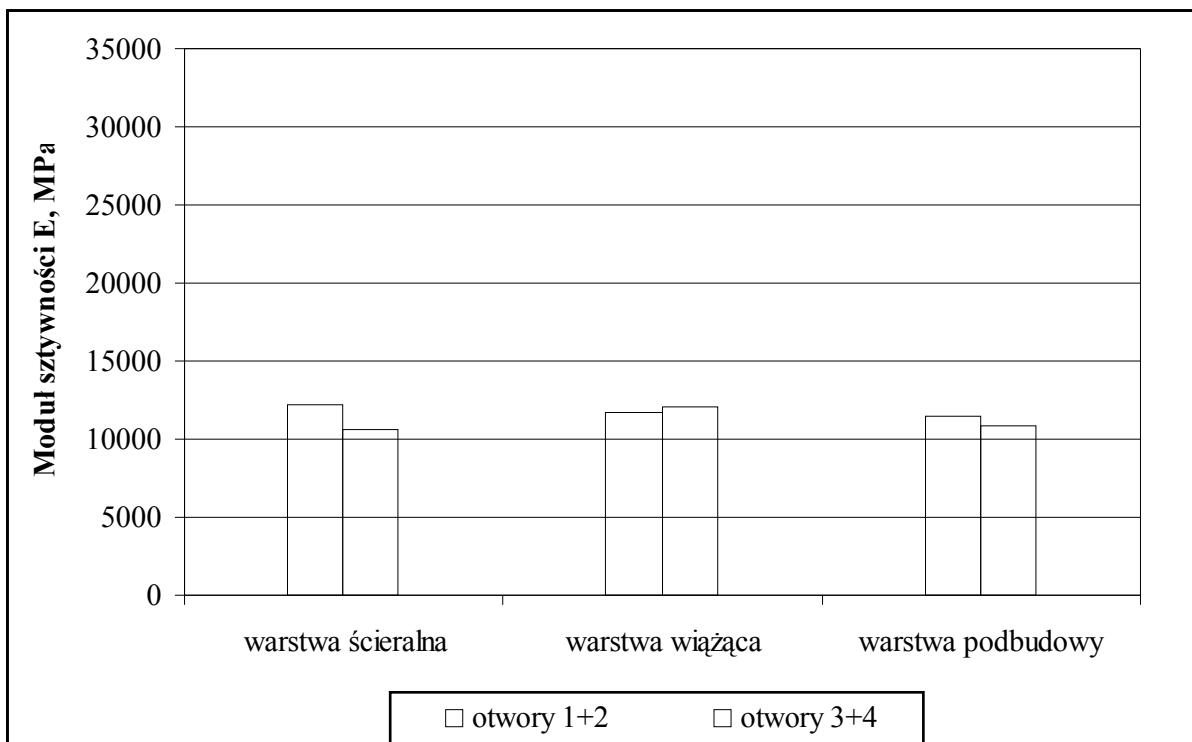
Rysunek 62 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Białegostoku w temperaturze -2 °C



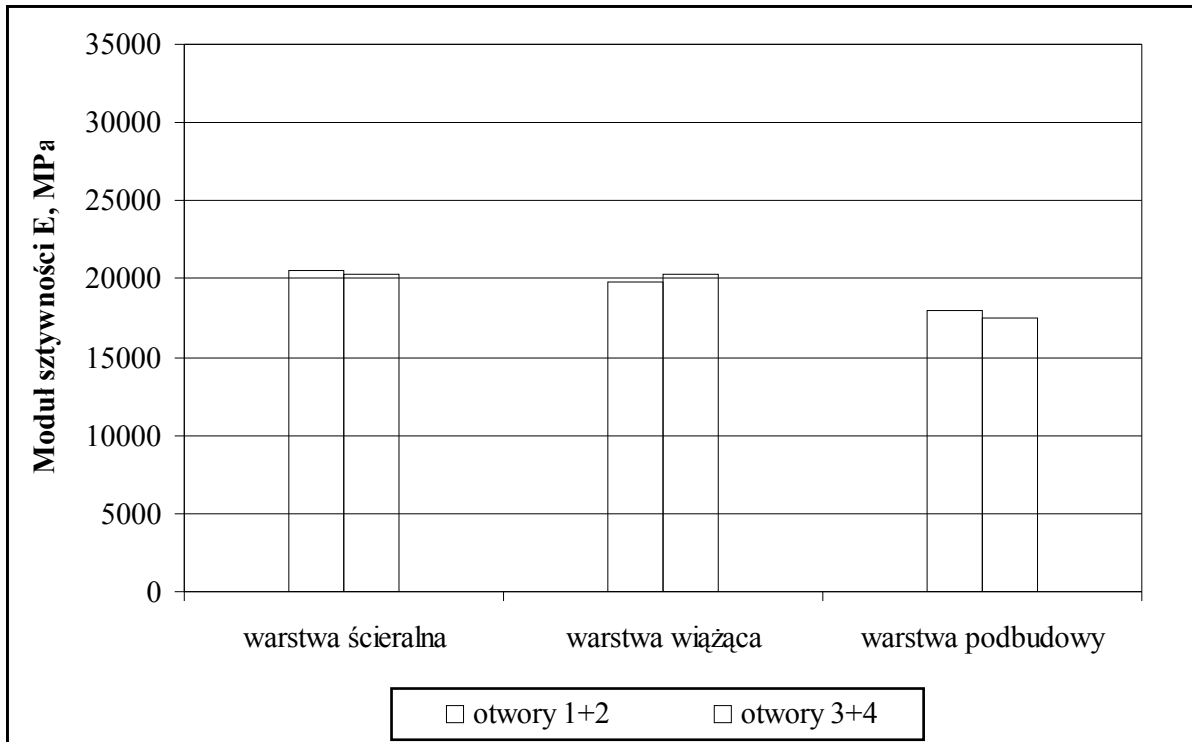
Rysunek 63 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Białegostoku w temperaturze -10 °C



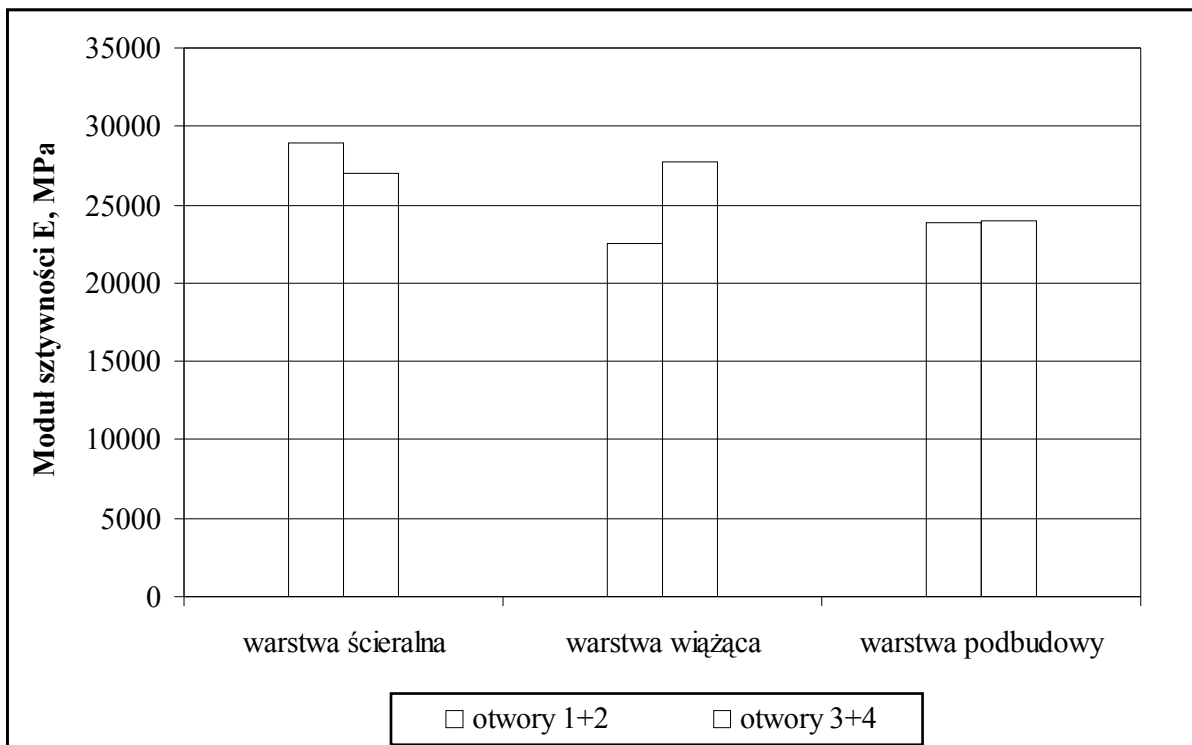
Rysunek 64 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Kuźnicy w temperaturze 20 °C



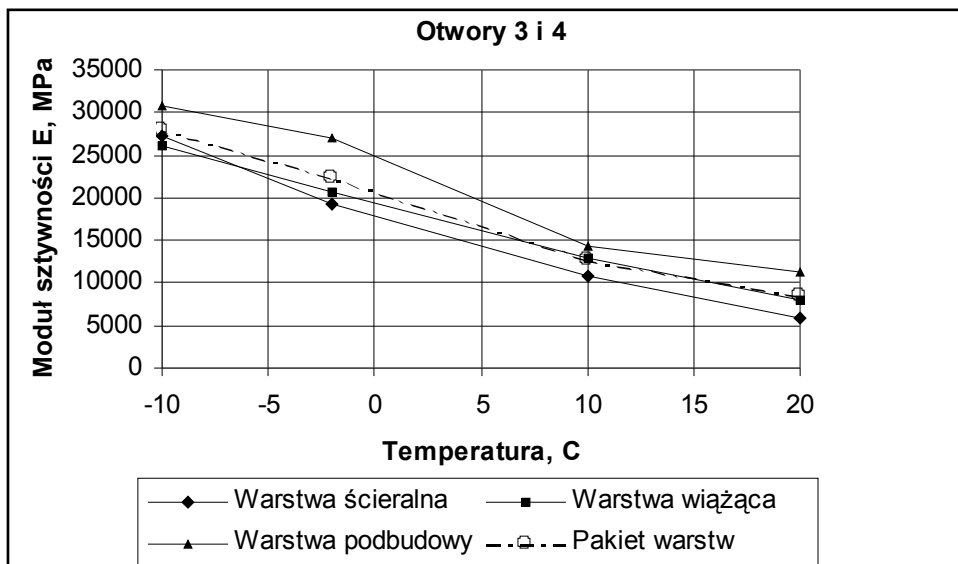
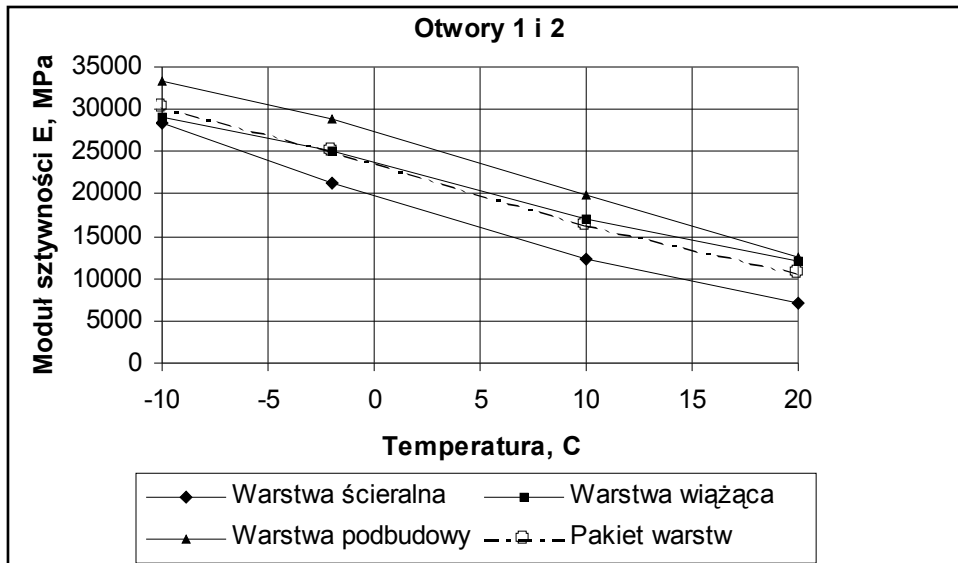
Rysunek 65 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Kuźnicy w temperaturze 10 °C



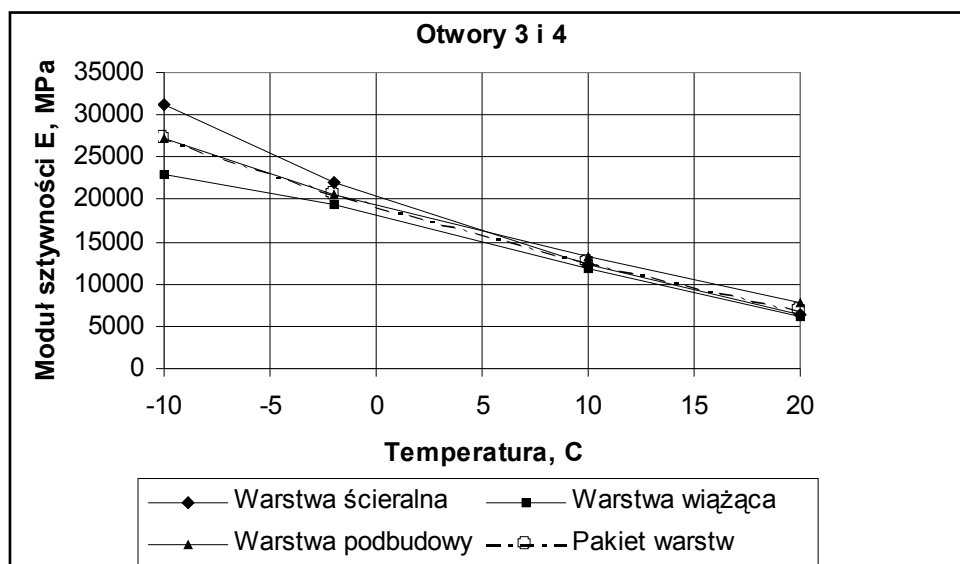
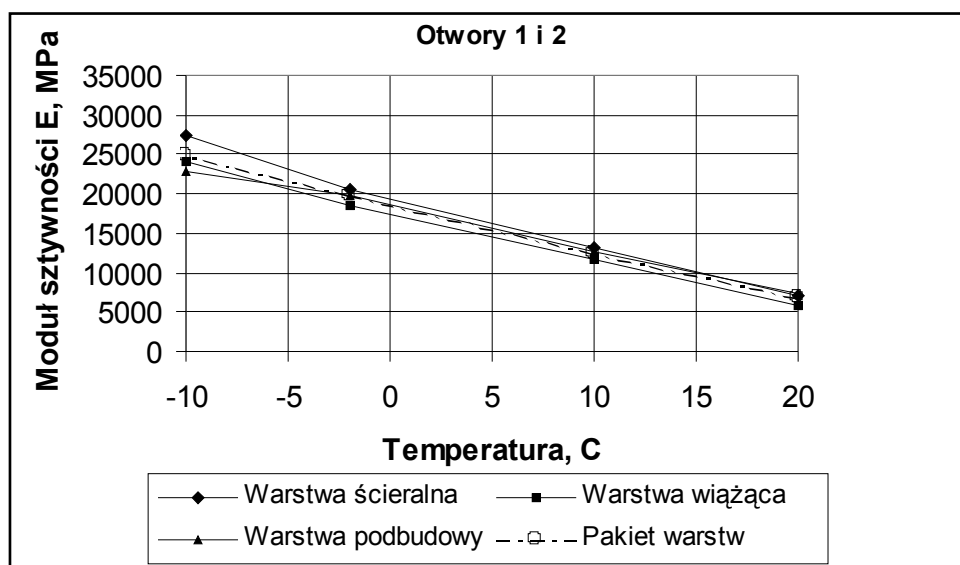
Rysunek 66 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Kuźnicy w temperaturze 20 °C



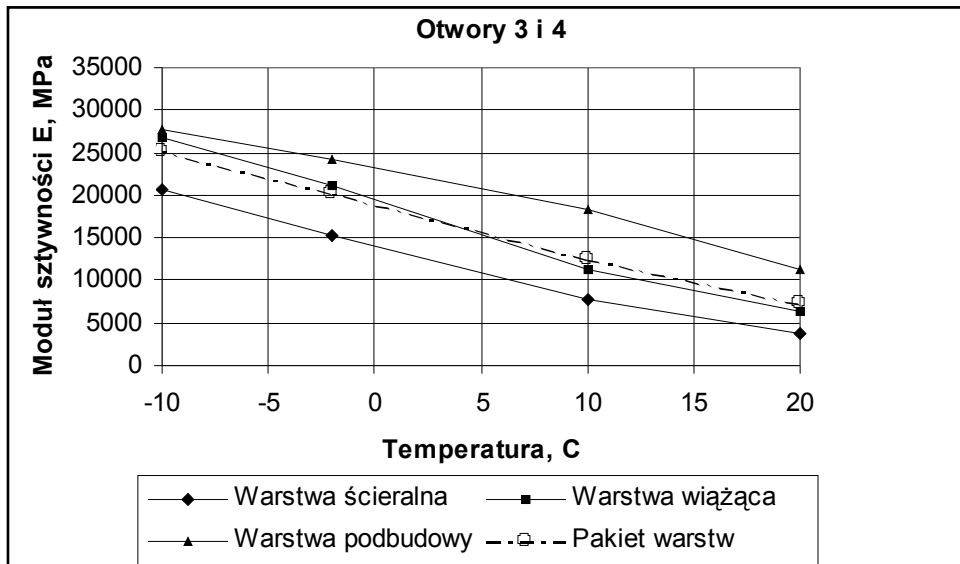
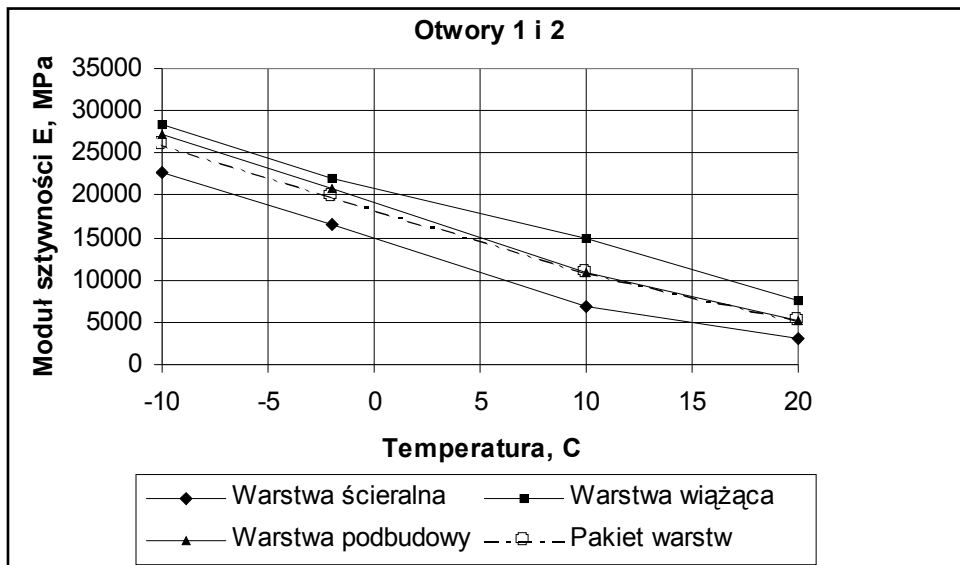
Rysunek 67 Histogramy modułu sztywności E warstw asfaltowych obwodnicy Kuźnicy w temperaturze 10 °C



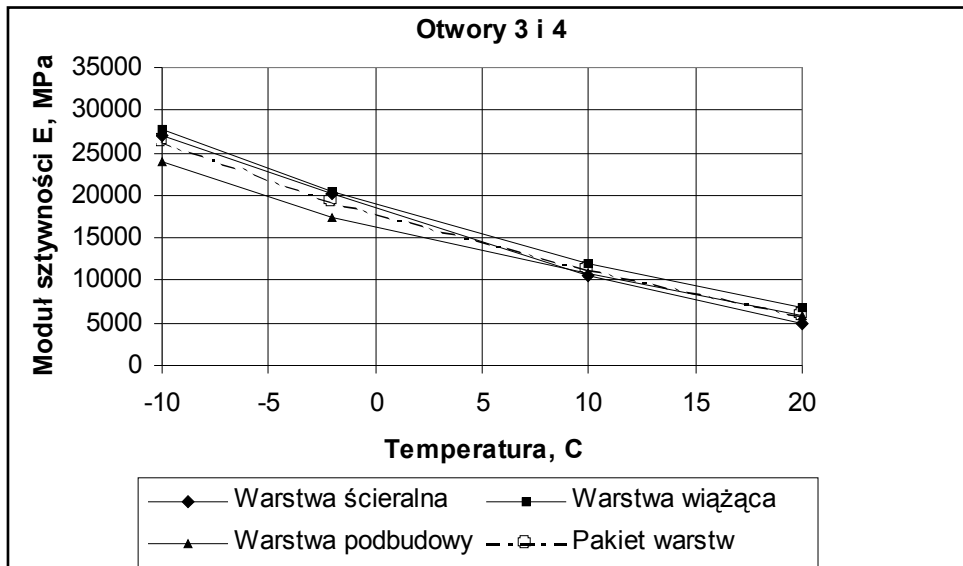
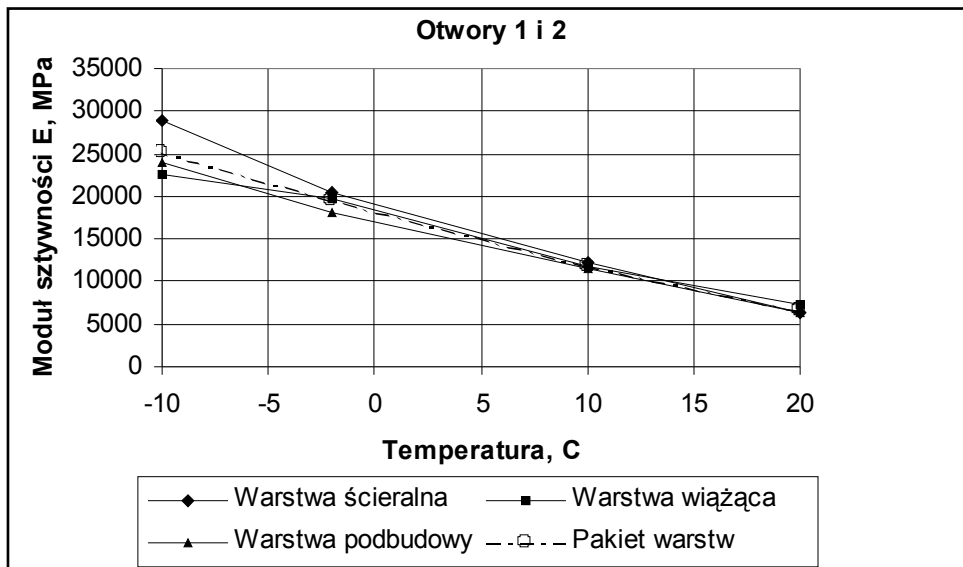
Rysunek 68 Zależność modułu sztywności E od temperatury warstw asfaltowych obwodnicy Nowej Soli



Rysunek 69 Zależność modułu sztywności E od temperatury warstw asfaltowych obwodnicy Trzebnicy



Rysunek 70 Zależność modułu sztywności E od temperatury warstw asfaltowych obwodnicy Białegostoku



Rysunek 71 Zależność modułu sztywności E od temperatury warstw asfaltowych obwodnicy Kuźnicy Białostockiej

## 5 Analiza wyników

### 5.1 Grubość warstw nawierzchni

#### Obwodnica Nowej Soli

Obwodnica Nowej Soli została zbudowana w latach 1997-98. Całkowita, średnia grubość warstw asfaltowych w otworach 1 i 2 jest równa grubości wg projektu (18 cm). Całkowita średnia grubość warstw asfaltowych w otworach 3 i 4 jest większa od grubości projektowanej i wynosi 21 cm (dzięki większej od projektowanej grubości podbudowy z BA) (tablica 29). Średnia grubość podbudowy niezwiązanej w otworach 1 i 2 wynosi 28,5 cm, a w otworach 3 i 4 26,5 cm, co daje średnią z tych dwóch wartości równą grubości projektowanej (27 cm). Pod warstwą podbudowy niezwiązanej znajduje się warstwa ulepszanego cementem podłoża gruntowego, o zmiennej grubości od 11 do 38 cm, średnio 21,5 cm (według projektu powinno być 10 cm).

#### Obwodnica Trzebnicy

Obwodnica Trzebnicy została zbudowana w latach 1999-2000. Całkowita grubość warstw asfaltowych w otworach 1 i 2 wynosi średnio 22 cm, a w otworach 3 i 4 średnio 21,3 cm; według projektu powinno być 23 cm. Średnia grubość podbudowy niezwiązanej jest większa od projektowanej i wynosi w otworach 1 i 2 24,5 cm, a w otworach 3 i 4 23,5 cm; według projektu powinno być 20 cm (tablica 30). Średnia grubość warstwy mrozoochronnej z piasku naturalnego wynosi w otworach 1-4 20 cm; według projektu powinno być 25 cm. Natomiast warstwa ulepszona z gruntocementu jest grubsza od projektowanej (15 cm) i wynosi średnio 19,5 cm.

#### Obwodnica Białegostoku, konstrukcja według nowego Katalogu

Fragment obwodnicy Białegostoku o konstrukcji nawierzchni według Katalogu został wykonany w latach 2000-2001. Całkowita grubość warstw asfaltowych zmierzona w otworach badawczych 1 i 2 wynosi średnio 25 cm; według projektu powinno być 26 cm. Średnia grubość podbudowy niezwiązanej w tych otworach wynosi 24,5 cm; projekt przewidywał 20 cm. Średnia grubość warstwy ulepszonej z gruntocementu wynosi 23,5 cm (brak danych co do grubości tej warstwy wg projektu).

#### Obwodnica Białegostoku, konstrukcja według starego Katalogu

Fragment obwodnicy Białegostoku o konstrukcji nawierzchni według starego Katalogu został wykonany w latach 1997-98. Całkowita grubość warstw asfaltowych zmierzona w otworach badawczych 3 i 4 wynosi średnio 19,8 cm; według projektu powinno być 18 cm (tablica 31).



Średnia grubość podbudowy niezwiązanej w tych otworach wynosi 32 cm; projekt przewidywał 20 cm. W otworach tych stwierdzono warstwę ulepszoną z pospółki (otwór 3) o grubości 41 cm i z gruntocementu (otwór 4), o grubości 39 cm (brak danych według projektu).

#### Obwodnica Kuźnicy

Obwodnica Kuźnicy została zbudowana w latach 1997-98. Całkowita grubość warstw asfaltowych w otworach 1 i 2 wynosi średnio 18 cm, a w otworach 3 i 4 18,3 cm; projekt przewidywał całkowitą grubość warstw asfaltowych 18 cm. Średnia grubość podbudowy niezwiązanej wynosi w otworach 1 i 2 40,5 cm, a w otworach 3 i 4 35 cm. Podbudowa niezwiązana jest z pospółki, pod nią znajduje się materiał o podobnych właściwościach, pełniący funkcję podłoża ulepszanego (brak danych o projektowanej grubości podbudowy niezwiązanej).

#### Podsumowanie

Całkowita średnia grubość warstw asfaltowych oraz średnia grubość podbudowy niezwiązanej w otworach badawczych 4 obwodnic są zgodne z projektami, stwierdzone odstępstwa grubości rzeczywistych od grubości projektowanych są niewielkie.

## **5.2 Uziarnienie MMA**

#### Obwodnica Nowej Soli

Uziarnienie mieszanek mineralnych BA do warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy nie odbiega w sposób drastyczny od uziarnienia projektowanego (rysunki 1-6). Zdarzają się odstępstwa na niektórych sitach, zwłaszcza tych o większych oczkach, ale odstępstwa te nie powinny mieć skutków istotnie wpływających na właściwości badanych mieszanek. Na przykład:

- W próbce z warstwy ścieralnej (otwory 3+4) przechodzi przez sito 6,3 mm 75 % (m/m) ziaren zamiast 65 % (m/m) (rysunek 2),
- W próbce z warstwy wiążącej (otwory 3+4) przechodzi przez sito 12,8 mm 90 % (m/m) ziaren zamiast 77 % (m/m); w tej samej próbce przechodzi przez sito 0,085 mm 24 % (m/m) zamiast 17 % (m/m) (rysunek 4),
- W próbce z warstwy podbudowy (otwory 1+2) przechodzi przez sита od 12,8 mm do 25 mm o 10 % (m/m) więcej ziaren, niż to przewidywała recepta, w rezultacie mieszanka ta ma uziarnienie 0/25 mm, zamiast 0/31,5 mm (rysunek 5); uziarnienie mieszanki mineralnej 0/31,5 mm w próbce z otworów 3+4 jest również bardziej drobnoziarniste.

### Obwodnica Trzebnicy

Uziarnienie rzeczywiste mieszanki mineralnej w próbkach z warstwy ścieralnej z otworów 1+2 i 3+4 jest zgodne z projektem w granicach dopuszczalnych odstępstw, podanych w Zeszycie 48/95 (rysunki 7 i 8). Uziarnienie rzeczywiste mieszanki mineralnej w próbkach z warstwy wiążącej z otworów 3 i 4 jest zgodne z projektem, w granicach dopuszczalnych odstępstw wg w/w Zeszycu, natomiast w próbkach z otworów 1+2 przechodzi przez sito o oczkach 9,6 mm 70 % (m/m) ziaren zamiast 64 % (m/m) (rysunki 9 i 10). Uziarnienie rzeczywiste mieszanki mineralnej w próbkach z warstwy podbudowy z otworów 1+2 znacznie odbiega od uziarnienia projektowanego, aczkolwiek mieści się w krzywych granicznych (rysunek 11). Uziarnienie rzeczywiste mieszanki mineralnej w próbkach z tej warstwy, z otworów 3+4 jest podobne do uziarnienia projektowanego, aczkolwiek przez sита o oczkach od 4 do 20 mm przechodzi po 5 % (m/m) więcej ziaren niż to przewidywała recepta (rysunek 12). W wyniku tego uziarnienie mieszanek mineralnych w próbkach z tych 4 otworów jest 0/20 mm zamiast 0/25 mm.

### Obwodnica Białegostoku

a) konstrukcja nawierzchni według nowego Katalogu

Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej SMA w próbce z warstwy ścieralnej z otworów 1+2 odbiega od projektu w zakresie frakcji grysowej. Na sitach tej frakcji rzędne mieszanki wbudowanej wychodzą poza górną krzywą graniczną (rysunek 13). Uziarnienie mieszanki mineralnej BA w próbkach z warstwy wiążącej z otworów 1+2 nie jest zgodne z uziarnieniem projektowanym. Krzywa tego uziarnienia przebiega w pobliżu górnej krzywej granicznej (rysunek 15). Jest to mieszanka 0/20 mm zamiast 0/25 mm. Uziarnienie mieszanki mineralnej BA w próbkach z warstwy podbudowy z otworów 1+2 jest bardziej drobnoziarniste niż uziarnienie projektowane, jednak krzywa tego uziarnienia mieści się w krzywych granicznych (rysunek 17).

b) konstrukcja nawierzchni według starego Katalogu

Mieszanka mineralna SMA w próbkach z warstwy ścieralnej z otworów 3+4 jest bardziej drobnoziarnista niż mieszanka projektowana i od sita 0,85 mm do sita 8,0 mm rzędne tej mieszanki przekraczają dopuszczalne odstępstwa od projektu, jednak jej krzywa uziarnienia mieści się w krzywych granicznych (rysunek 14). Uziarnienie mieszanki mineralnej BA w próbkach z warstwy wiążącej z otworów 3+4 mieści się w krzywych granicznych, jednak jest to uziarnienie zdecydowanie bardziej drobnoziarniste, niż uziarnienie mieszanki projektowanej (rysunek 16). Uziarnienie mieszanki mineralnej BA w próbkach z warstwy

podbudowy z otworów 3+4 jest nieco bardziej drobnoziarniste niż uziarnienie projektowane, jednak krzywa uziarnienia rzeczywistego mieści się w krzywych granicznych (rysunek 18).

#### Obwodnica Kuźnicy

Uziarnienie mieszanki mineralnej BA w próbkach z warstwy ścierniczej (otwory 1+2 oraz 3+4) jest zgodne z uziarnieniem projektowanym (rysunki 19 i 20). Uziarnienie mieszanki mineralnej BA w próbkach z warstwy wiążącej z otworów 1+2 charakteryzuje się większą drobnoziarnistością niż uziarnienie projektowane w zakresie całej krzywej, podczas gdy uziarnienie tej mieszanki w próbkach z otworów 3+4 tylko w zakresie sit od 0,075 mm do 2,0 mm (rysunki 21 i 22). W obydwu przypadkach krzywe uziarnienia mieszczą się w krzywych granicznych. Mieszanka mineralna BA w próbkach z warstwy podbudowy z otworów 1+2 oraz 3+4 charakteryzuje się drobniejszym uziarnieniem w porównaniu do uziarnienia projektowanego (rysunki 23 i 24). Jest znacznie więcej frakcji wypełniaczowej i mniej najgrubszych ziaren we frakcji grysowej. Powoduje to, że początek i koniec krzywej uziarnienia mieszanki wbudowanej (0/16 mm zamiast 0/20 mm) są poza górną krzywą graniczną.

#### Podsumowanie

W większości przypadków wbudowane mieszanki charakteryzują się drobniejszym uziarnieniem niż mieszanki projektowane. Jest to zrozumiałe biorąc pod uwagę, że mieszanki te były poddane procesowi produkcji i wbudowania i mogły w niektórych przypadkach ulec częściowemu rozdrobnieniu. Szczególnie niekorzystne w skutkach z punktu widzenia trwałości jest nadmierne zwiększenie frakcji wypełniaczowej w stosunku do ilości zaprojektowanej, podczas gdy zawartość asfaltu pozostała praktycznie bez zmian. Tak było w przypadku BA w podbudowie zasadniczej obwodnicy Kuźnicy. W obliczeniach parametrów trwałościowych całej konstrukcji właśnie cechy tej warstwy (zawartość objętościowa asfaltu i wolna przestrzeń) są uwzględniane. Nie stwierdzono odpowiedniej korekty zawartości asfaltu we wbudowanych mieszankach o drobniejszym uziarnieniu, w porównaniu do uziarnienia projektowanego, bez względu na przyczynę drobniejszego uziarnienia.

### **5.3 Rodzaj i zawartość asfaltu w MMA**

#### **5.3.1 Zasady przyjęte w Zeszycie 48/1995 odnośnie do stosowania asfaltu i projektowania jego ilości w BA**

- 1) Ilość asfaltu w BA powinna być optymalna i zaprojektowana według metody Marshalla, przy czym można tą ilość zwiększyć o tyle, aby nie spowodowało to zmniejszenia modułu  $M_s$  więcej niż o 15 % w stosunku do jego wielkości oznaczonej dla składu optymalnego,

- 2) Do warstw ścieralnej i wiążącej należy stosować asfalty drogowe rodzaju D50 i D70 (ten drugi o właściwościach wskazujących na jego większą twardość jednak w granicach wymagań normowych),
- 3) Do warstwy podbudowy należy stosować tylko asfalt drogowy tylko D70,
- 4) Asfalt modyfikowany polimerami stosuje się do warstwy ścieralnej,
- 5) Zalecane ilości asfaltu w BA o uziarnieniu ciągłym do poszczególnych warstw są następujące:
  - w warstwie ścieralnej: od 4,5 do 5,8 % (m/m),
  - w warstwie wiążącej: od 4,0 do 5,5 % (m/m),
  - w warstwie podbudowy: od 2,8 do 4,7 % (m/m),

### **5.3.2 Asfalty stosowne w warstwach nawierzchni obwodnic**

#### Obwodnica Nowej Soli

Recepty laboratoryjne na BA do warstw asfaltowych nawierzchni obwodnicy Nowej Soli opracowało Laboratorium Drogowe Przedsiębiorstwa Dromex Construction. Przedsiębiorstwo to było wykonawcą tego obiektu. W BA 0/12,8 do warstwy ścieralnej zaprojektowano 5,1 % (m/m) asfaltu D50 z RG, chociaż liczbowe wyniki badań składu tej mieszanki metodą Marshalla wskazują, że powinno być 5,3 % (m/m), przy której to zawartości asfaltu właściwości fizyczno-wytrzymałościowe tej mieszanki byłyby zgodne z Zeszytem 48/95. Asfalt zawierał dodatek środka adhezyjnego pn. Teramin 10C w ilości 0,3 % (m/m), w stosunku do jego masy. Graficzne przedstawienie wyników z metody Marshalla wskazuje na celowe zniżenie optymalnej ilości asfaltu. Według badań kontrolnych LD w Zielonej Górze (25 wyników dotyczących trasy głównej, bez dojazdów do wiaduktów), średnia ilość asfaltu w tej mieszance wynosi 5,156 % (m/m). Według badań IBDiM (tablica 9) ilość asfaltu w warstwie ścieralnej dla dwóch wytypowanych do badań odcinków, każdy o długości 200 m wynosi od 4,8 do 5,0 % (m/m) (otwory 1+2) i 4,8 do 5,3 % (m/m) (otwory 3+4), średnio 4,975 % (m/m). Jest to więc ilość zaniżona o 0,125 % (m/m) w stosunku do ilości według recepty, aczkolwiek o wielkość dopuszczalną ( $\pm 0,3$  % (m/m)). W BA 0/20 do warstwy wiążącej zaprojektowano 4,2 % (m/m) asfaltu D50 z RG. Według badań kontrolnych LD w Zielonej Górze (18 wyników dotyczących trasy głównej) średnia ilość asfaltu w tej mieszance wynosi 4,172 % (m/m). Według badań IBDiM (tablica 9) ilość asfaltu w warstwie wiążącej dla dwóch wytypowanych do badań odcinków, każdy o długości 200 m wynosi od 3,9 do 4,2 % (m/m) (otwory 1+2) i od 3,4 do 4,1 % (m/m) (otwory 3+4), średnio 3,9 % (m/m). Jest to ilość również mniejsza od ilości zaprojektowanej, chociaż z zachowaniem dopuszczalnej odchyłki. Nie uzyskano pewnej informacji, czy stosowano do tej warstwy dodatek środka pn.

Chemcrete w celu zwiększenia odporności na tworzenie się kolein. W świetle tablicy 33 jest to informacja niepewna. W BA 0/31,5 do warstwy podbudowy zaprojektowano 3,1 % (m/m) asfaltu D50 z RG, chociaż liczbowe wyniki badań składu tej mieszanki metodą Marshalla wskazują, że powinno być 3,2 % (m/m). Według badań kontrolnych LD w Zielonej Górze (29 wyników dotyczących trasy głównej) średnia ilości asfaltu w tej mieszance wynosi 3,079 % (m/m). Według badań IBDiM (tablica 9) ilość asfaltu w warstwie podbudowy dla dwóch wytypowanych do badań odcinków, każdy o długości 200 m wynosi od 2,9 do 3,3 % (m/m) (otwory 1+2) i od 2,8 do 3,1 % (m/m) (otwory 3+4), średnio 3,025 % (m/m). Jest to ilość również minimalnie zaniżona w porównaniu do ilości zaprojektowanej, aczkolwiek w granicach dozwolonych. Najbardziej istotnym mankamentem tej warstwy jest to, że wykonano ją z użyciem asfaltu D50 zamiast D70, tak jak to było zalecane w Zeszycie 48/95, według którego mieszanka ta została zaprojektowana. Zalecenie stosowania asfaltu D70 do podbudowy nie było przypadkowe. Kierowano się ogólnie znaną regułą, że BA ze zwykłym asfaltem drogowym, o mniejszej twardości jest bardziej odporny na zmęczenie niż ta sama mieszanka lecz asfaltem twardszym. W przypadku BA do podbudowy jest to bardzo istotne, gdyż o odporności na powstawanie spękań zmęczeniowych właśnie ta warstwa odgrywa wiodącą rolę. Do obliczenia parametrów trwałościowych całej konstrukcji stosuje się właściwości (objętościową zawartość asfaltu i wolną przestrzeń) właśnie tej warstwy. Podejście Dromexu do projektowania ilości asfaltu w BA do warstw nawierzchni obwodnicy Nowej Soli i do sposobu wykonania tych warstw wskazuje, że nie tylko nie wykorzystano możliwości zwiększenia trwałości pakietu warstw asfaltowych, jaką dawał Zeszyt 48/95, lecz wręcz przeciwnie firma ta prowadziła działania mające na celu maksymalizację zysku w stosowaniu asfaltu na tej budowie, który jest głównym i najdroższym składnikiem tej mieszanki.

#### Obwodnica Trzebnicy

Recepty laboratoryjne do warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy nawierzchni obwodnicy Trzebnicy opracowało Laboratorium Drogowe Przedsiębiorstwa Dromex-Oil. Przedsiębiorstwo to było wykonawcą tego obiektu. W receptach zawartość asfaltu w BA do tych warstw nie wynikała z zastosowania metody Marshalla, lecz została przyjęta arbitralnie, po czym zostały tylko sprawdzone cechy fizyczno-wytrzymałościowe tych mieszanek na zgodność z wymaganiami według Zeszytu 48/95. Ze względu na to, że asfalt jest składnikiem MMA, który bardzo istotnie wpływa na trwałość warstwy z niej wykonanej i nawet najmniejsze uszczuplenie jego ilości względem ilości optymalnej, nawet jeżeli wartości cech MMA mieszczą się w wymaganych zakresach, ma niebagatelne znaczenie (negatywne jeśli chodzi o

trwałość nawierzchni i pozytywne jeśli chodzi o zysk finansowy wykonawcy). W BA 0/12,8 do warstwy ścieralnej przyjęto 5 % (m/m) asfaltu D50 z RG, w tym dodatek środka adhezyjnego Teramin 10 w ilości 0,3 % (m/m) w stosunku do masy asfaltu. Nie uzyskano wyników badań kontrolnych z okresu budowy, dotyczących rzeczywistych zawartości asfaltu w tej mieszance. Z badań wykonanych w ramach tej pracy, wynika że zawartość asfaltu w warstwie ścieralnej wynosiła na 2 badanych odcinkach, każdy o długości 200 m od 4,7 do 4,9 % (m/m) (otwory 1 i 2), średnio 4,8 % (m/m) oraz od 4,8 do 4,9 % (m/m) (otwory 3 i 4), średnio 4,85 % (m/m) (tablica 10). Są to ilości, które mieszczą się w granicach wyznaczonych dopuszczalnym odstępstwem od ilości według recepty, jednak są one mniejsze od tej ilości. W BA 0/25 do warstwy wiążącej przyjęto 4,1 % (m/m) asfaltu D50 z RG. Uzyskano informację, że asfalt do tej warstwy nie był modyfikowany środkiem pn. Chemcrete. Z badań wykonanych w ramach tej pracy wynika, że zawartość asfaltu w warstwie wiążącej wynosiła na 2 badanych odcinkach, każdy o długości 200 m od 4,2 do 4,4 % (m/m) (otwory 1 i 2), średnio 4,3 % (m/m) oraz od 4,5 % do 5 % (m/m) (otwory 3 i 4), średnio 4,75 % (tablica 10). Są to ilości korzystnie większe od ilości zaprojektowanej. W BA 0/25 do warstwy podbudowy przyjęto 3,8 % (m/m) asfaltu D50 z RG. Według badań IBDiM dotyczących 2 odcinków badawczych ilość ta wynosiła od 4,3 do 4,8 % (m/m) (otwory 1 i 2), średnio 4,55 % oraz średnio 4,1 % (m/m) dla otworów 3 i 4. Są to ilości korzystnie większe, zwłaszcza w przypadku otworów 1 i 2 od ilości według recepty. Danych z badań kontrolnych odnośnie do zawartości asfaltu w tej warstwie nie uzyskano.

#### Obwodnica Białegostoku

a) konstrukcja według nowego Katalogu z 1997 r.

Receptę na mieszankę SMA 0/12,8 do warstwy ścieralnej opracowało Laboratorium Centralne Dromexu S.A. Mieszanka ta została zaprojektowana zgodnie z normą PN-S-96025:2000. Zastosowano asfalt D50 z NYNAS w ilości 6,3 % (m/m), który zawierał dodatek środka adhezyjnego pn. Wetfix, w ilości 0,3 % (m/m) w stosunku do masy asfaltu i granulatu Viatop w ilości 0,4 % (m/m) w stosunku do masy MMA. Według badań kontrolnych LD z okresu budowy, rzeczywista zawartość asfaltu w tej mieszance wynosiła średnio z badań 9 próbek 6,17 % (m/m). Według badań IBDiM średnia zawartość asfaltu w warstwie ścieralnej na odcinku badawczym (otwory 1 i 2) wyniosła 6,05 % (m/m) (tablica 11). Zgodność obu wyników jest dobra, biorąc pod uwagę, że warstwa ta była eksploatowana prawie 3 lata. Skład BA 0/25 do warstwy wiążącej został zaprojektowany przez Katedrę Inżynierii Lądowej Politechniki Gdańskiej. Przyjęta arbitralnie, gdyż nie zastosowano w tym celu metody Marshalla, zawartość asfaltu Elastobit 50 RG w tej mieszance wynosiła 4,1 % (m/m). Z tą

ilością asfaltu zostały sprawdzone cechy fizyczno-wytrzymałościowe tej mieszanki na zgodność z wymaganiami Zeszytu 48/95 (SST). Do asfaltu został dodany środek adhezyjny Teramin 14 w ilości 0,3 % (m/m). Według badań kontrolnych z okresu budowy rzeczywista zawartość asfaltu w tej mieszance wyniosła średnio z badań 4 próbek 4,08 % (m/m). Według badań IBDiM średnia zawartość asfaltu w warstwie wiążącej na odcinku badawczym (otwory 1 i 2) wyniosła 4,85 % (m/m) – tablica 11. Dopuszczalna odchyłka od ilości zaprojektowanej nie powinna według Zeszytu 48/95 przekraczać  $\pm 0,3\%$  (m/m). Skład BA 0/25 do warstwy podbudowy opracowało LD w Białymstoku. Ustalona zawartość asfaltu D70 z RG, z 0,3 % (m/m) Teraminu 10C wyniosła 4 %. Z tą ilością asfaltu zostały sprawdzone cechy fizyczno-wytrzymałościowe tej mieszanki na zgodność z wymaganiami Zeszytu 48/95 (SST). W mieszance tej zastosowano kruszywo naturalne kruszone. Według badań kontrolnych z okresu budowy rzeczywista zawartość asfaltu w tej mieszance wyniosła z badań 6 próbek średnio 3,97 % (m/m). Według badań IBDiM średnia zawartość asfaltu w warstwie wiążącej na odcinku badawczym (otwory 1 i 2) wyniosła 3,75 % (m/m) (tablica 11). Wykonawcą tej warstwy było PEUiM w Białymstoku. Odstępstwo w zawartości asfaltu od ilości zaprojektowanej jest zgodne z obowiązującą wówczas odchyłką dla tego składnika ( $\pm 0,3\%$ ), zarówno według badań LD w Białymstoku i IBDiM.

b) konstrukcja według starego Katalogu z 1983 r.

Ustalona zawartość asfaltu D50 z NYNAS S.A. w mieszance SMA 0/12,8 do warstwy ścieralnej wyniosła 6,3 % (m/m). Do asfaltu dodano środek adhezyjny Teramin 10 w ilości 0,7 % w stosunku do masy asfaltu. Jako stabilizatory lepiszcza posłużyły Viatop 66 i Viatop 80, w ilości odpowiednio 0,45 % i 0,375 % (m/m), w stosunku do masy mieszanki SMA. Mieszanka ta spełniła wymagania Zeszytu 49/95. Wykonawcą warstwy ścieralnej był PEUiM w Białymstoku. Według badań kontrolnych LD z okresu budowy rzeczywista zawartość asfaltu w tej mieszance wyniosła średnio z badań 7 próbek 6,5 % (m/m). Według badań IBDiM średnia zawartość asfaltu w warstwie ścieralnej na odcinku badawczym (otwory 3 i 4) wyniosła 6,3 % (m/m) (tablica 11). Zgodność obu wyników jest dobra, biorąc pod uwagę, że warstwa ta była eksploatowana 6 lat. Skład BA 0/20 do warstwy wiążącej opracowało LD w Białymstoku. Przyjęta arbitralnie, gdyż nie zastosowano w tym celu metody Marshalla, zawartość asfaltu D50 z RG wyniosła 4,6 % (m/m). Asfalt był z dodatkiem Teraminu 10 w ilości 0,4 % w stosunku do jego masy. Sprawdzono właściwości mieszanki z tą ilością asfaltu. W mieszance tej zastosowano kruszywo naturalne kruszone, dlatego stosunkowo duża ilość asfaltu jest uzasadniona. Producentem tej mieszanki był TEPOL z Białegostoku. Według badań kontrolnych LD z okresu budowy rzeczywista zawartość asfaltu

w tej mieszance wynosiła średnio z 33 próbek 4,5 % (m/m). Według badań IBDiM średnia zawartość asfaltu w warstwie wiążącej na odcinku badawczym (otwory 3 i 4) wyniosła 4,6 % (m/m) (tablica 11). Jest to wyjątkowa zgodność z receptą. Skład BA 0/20 do warstwy podbudowy opracowało LD w Białymstoku. Przyjęta arbitralnie (nie zastosowano metody Marshalla) zawartość asfaltu D70 wynosiła 4 %. Sprawdzono właściwości mieszanki z tą ilością asfaltu. W mieszance tej zastosowano kruszywo naturalne kruszone. Według badań kontrolnych LD z okresu budowy rzeczywista zawartość asfaltu w tej mieszance wynosiła średnio z badań 59 próbek 4,07 % (m/m). Według badań IBDiM średnia zawartość asfaltu w warstwie podbudowy na odcinku badawczym (otwory 3 i 4) wyniosła tylko 3,1 % (tablica 11). W próbkach pobranych przez LD z miejsc na jezdni prawej, które leżą najbliżej otworów badawczych 3 i 4 zawartość asfaltu wyniosła odpowiednio 3,7 i 3,8 % (m/m). Podobieństwo wyników jest w tym przypadku znacznie lepsze, niż gdy się porównuje ze średnią ogólna LD. Tym niemniej wynik IBDiM niekorzystnie odbiega od ilości wg recepty.

#### Obwodnica Kuźnicy

Skład BA do warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy opracowało LD w Białymstoku. Dla przyjętych ilości asfaltu w poszczególnych mieszankach sprawdzono podstawowe ich właściwości fizyczno-wytrzymałościowe na zgodność z wymaganiami Zeszytu 48/95. Przyjęta ilość asfaltu D50 (z dodatkiem Teraminu 10) w BA 0/12,8 do warstwy ścieralnej wyniosła 5,2 % (m/m). Według badań kontrolnych LD z okresu budowy rzeczywista zawartość asfaltu w tej mieszance wyniosła średnio z badań 19 próbek 5,4 %. Według badań IBDiM średnia zawartość asfaltu w warstwie ścieralnej na odcinkach badawczych wyniosła 4,9 % (otwory 1 i 2) oraz 5,35 % (otwory 3 i 4) – tablica 12. Przyjęta ilość asfaltu D50 (z dodatkiem Teraminu 10) w BA 0/20 do warstwy wiążącej wyniosła 4,6 % (m/m). Według badań kontrolnych LD z okresu budowy rzeczywista zawartość asfaltu w tej mieszance wyniosła średnio z badań 15 próbek 4,5 %. Według badań IBDiM średnia zawartość asfaltu w warstwie wiążącej na odcinkach badawczych wyniosła 4,35 % (otwory 1 i 2) oraz 4,25 % (otwory 3 i 4) – tablica 12. Przyjęta ilość asfaltu D70 w BA 0/20 do warstwy podbudowy wyniosła 4,0 % (m/m). Według badań kontrolnych LD z okresu budowy rzeczywista zawartość asfaltu w tej mieszance wyniosła średnio z badań 15 próbek 4,2 %. Według badań IBDiM średnia zawartość asfaltu w warstwie podbudowy na odcinkach badawczych wyniosła 4,3 % (otwory 1 i 2) oraz 4,0 % (otwory 3 i 4) – tablica 12.

#### Podsumowanie

Stosowanie metody Marshalla w ujęciu kompleksowym, tak jak to zalecał Zeszyt 48/95, w celu zaprojektowania ilości asfaltu w BA było przestrzegane tylko w 3 przypadkach (w tym w



2 przypadkach było to nieprawidłowe) na 13 przeanalizowanych recept. Najczęstszym postępowaniem było sprawdzenie właściwości BA z arbitralnie przyjętą ilością asfaltu na zgodność z wymaganiami Zeszytu 48/95. Przyjęte w ten sposób lub zaprojektowane (sporadycznie) ilości asfaltu w poszczególnych mieszankach nie przekraczały na ogół wartości średnich ze skrajnych wartości zalecanych przez Zeszyt 48/95, co ilustruje zestawienie w tabelicy 38. Wyjątkiem był BA do warstwy podbudowy na obwodnicach Białegostoku i Kuźnicy (w mieszankach tych było stosowane naturalne kruszywo kruszone o mniejszej gęstości w porównaniu do kruszywa ze skał magmowych).

Tablica 38. Porównanie ilości asfaltu w mieszankach BA wg recept ze średnimi ilościami wynikającymi z zaleceń Zeszytu 48/95

Rodzaj warstwy	Jedn.	Nazwa obwodnicy					Średnia ilość wynikająca z zaleceń Z.48/95
		Nowa Sól	Trzebnica	Białystok		Kuźnica	
				konstrukcja wg nowego Katalogu	konstrukcja wg starego Katalogu		
Ścieralna	% (m/m)	5,1 2)	5,0 2)	– 1)	– 1)	5,2 2)	5,3 2)
Wiążąca	% (m/m)	4,2 3)	4,1 3)	4,1 3)	4,6 3)	4,6 3)	4,75 3)
Podbudowa	% (m/m)	3,1 5)	3,8 4)	4,0 4)	4,0 4)	4,0 4)	3,85 4) 3,65 5)

<sup>1)</sup> mieszanka SMA,

<sup>2)</sup> dotyczy BA 0/12,8,

<sup>3)</sup> dotyczy BA 0/20 i BA 0/25,

<sup>4)</sup> dotyczy BA 0/25,

<sup>5)</sup> dotyczy BA 0/31,5

Na podstawie porównania średnich wyników oznaczenia zawartości asfaltu w procentach objętościowych (tablice 9, 10 i 12) można stwierdzić, że:

- a) w warstwie ścieralnej z BA odcinków badawczych, których stan oceniono jako dobry (otwory 3 i 4) znajduje się średnio więcej asfaltu w porównaniu do odcinków, których stan oceniono jako zły (otwory 1 i 2); dotyczy to obwodnic Nowej Soli, Trzebnicy i Kuźnicy (warstwa ścieralna obwodnicy Białegostoku została wykonana z mieszanki SMA),
- b) podobna ocena, jak w p. a) odnosi się do warstwy wiążącej obwodnicy Trzebnicy; w przypadku obwodnicy Kuźnicy średnie wyniki objętościowej zawartości asfaltu w próbkach z otworów 1+2 oraz 3+4 są prawie równe,

c) podobna ocena jak w punkcie a) odnosi się do warstwy podbudowy obwodnicy Kuźnicy; w przypadkach obwodnic Nowej Soli i Trzebnicy jest odwrotnie; na odcinkach o stanie złym jest objętościowo nieco więcej asfaltu w tej warstwie.

Symptomatyczną cechą mieszanek BA, z których wykonano warstwy asfaltowe obwodnic był niedobór w nich asfaltu w stosunku do recepty. Stwierdzono to w 9 przypadkach na 13 analizowanych. BA do warstwy podbudowy obwodnic Nowej Soli i Trzebnicy został zaprojektowany z asfaltem D50, zamiast D70 jak to zaleca Zeszyt 48/95. Nie skorzystano z możliwości zwiększenia projektowanej ilości asfaltu, którą dopuszcza Zeszyt 48/95.

#### **5.4 Wolna przestrzeń i wypełnienie jej asfaltem**

##### Obwodnica Nowej Soli

Wolna przestrzeń w warstwie ścieralnej na odcinku badawczym, oznaczona na próbkach z otworów 1 i 2 wynosi odpowiednio 3,1 i 6,5 % (v/v) (tablica 17). Są to wyniki zbyt dużo różniące się między sobą aby można było je uśrednić. W Zeszycie 48/65 były postawione wymagania wobec próbek zagęszczonych metodą Marshalla aby wolna przestrzeń była w granicach 2,0 do 4,0% (v/v). Uwzględniając, że wskaźnik zagęszczenia warstwy powinien być równy co najmniej 98% to wynik oznaczenia wolnej przestrzeni w próbce z otworu 2 jest zdecydowanie zbyt duży. Wolna przestrzeń w warstwie ścieralnej oznaczona na próbkach z otworów 3 i 4 wynosi odpowiednio 4,1 i 3,1% (v/v) (tablica 17). Jest to wynik, który można zaakceptować, tym bardziej, że jego stan oceniono jako dobry. Wypełnienie wolnej przestrzeni w zagęszczonej mieszance mineralnej jest wystarczające, tzn. >78% tylko w przypadkach próbek z otworów 1 i 4.

W świetle wymagań Zeszytu 48/95 wolna przestrzeń w warstwie wiążącej jest odpowiednia w przypadku próbek pobranych z otworów 1 i 3. Próbka z otworu 2 ma wolną przestrzeń zbyt dużą, zaś próbka z otworu 4 zbyt małą. Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem jest w próbkach z tych 4 otworów < 75,0 % (tablica 17)

Wolna przestrzeń w warstwie podbudowy asfaltowej, oznaczona na próbkach z otworów 1 i 2 wynosi odpowiednio 3,6 i 6,2% (v/v), a w próbkach z otworów 3 i 4 odpowiednio 6,3 i 4,3% (v/v) (tablica 17). W próbkach z otworów 1 i 4 jest więc za mała (wymaganie dla próbek o zagęszczeniu równym 100% wynosi 5,0 – 10,0% (v/v)). Zbyt mała wolna przestrzeń w warstwie podbudowy nie jest jednak mankamentem z punktu widzenia trwałości nawierzchni.

##### Obwodnica Trzebnicy

Wolna przestrzeń w warstwie ścieralnej na odcinkach badawczych, oznaczona na próbkach z otworów 1 i 2 wynosi odpowiednio 4,9 i 6,9 % (v/v), a z otworów 3 i 4 odpowiednio 3,0 i 1,4 % (v/v) (tablica 18). Otwory 3 i 4 są zlokalizowane na odcinku, którego stan oceniono

wizualnie jako dobry. W próbkach z otworów 1 i 2 wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem jest bardzo małe, gdyż wynosi odpowiednio 70,9 i 62,1%. Średnia wolna przestrzeń w warstwie wiążącej, oznaczona na próbkach z otworów 1 i 2 wynosi 5,6 % (v/v), a z otworów 3 i 4 6,8 % (v/v) (tablica 18). Są to wyniki które można zaakceptować. W przypadku tej warstwy we wszystkich próbkach z tych otworów wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem jest < 75,0 %. Średnia wolna przestrzeń w warstwie podbudowy, oznaczona na próbkach z otworów 1 i 2 wynosi 5,1 % (v/v), a z otworów 3 i 4 5,0% (v/v). Są to wartości korzystnie bliskie dolnej granicy wymagań wg Zeszytu 48/95 (5,0 ÷ 10,0 % (v/v)). Wypełnienie wolnej przestrzeni w próbkach z warstwy podbudowy asfaltowej z otworów 1÷4 wynosi od 62,7 do 70,7 % (tablica 18) i jest < 72,0 %. Ogólnie można ocenić, że wartości tych dwóch cech są korzystniejsze w przypadku odcinka o stanie dobrym (otwory 3 i 4), w porównaniu do odcinka o stanie złym (otwory 1 + 2).

#### Obwodnica Białegostoku

Wolna przestrzeń w warstwie ścieralnej z mieszanki SMA, nie przekracza średnio 2,0% (v/v), zarówno w próbkach z otworów 1 i 2 (konstrukcja nawierzchni według nowego Katalogu), jak i w próbkach z otworów 3 i 4 (konstrukcja nawierzchni według starego Katalogu) (tablica 19). Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem w próbkach z tych otworów wynosi od 85,0 do 95,0 %. Wolna przestrzeń w warstwie wiążącej, oznaczona na próbkach z otworów 1 i 2 wynosi średnio 5,3 % (v/v), a z otworów 3 i 4 średnio 4,0 % (v/v), czyli są bliskie dolnej granicy według wymagań OST D-05.03.05 dla próbek Marshalla (4,5 ÷ 8,0 % (v/v)). Wolna przestrzeń w warstwie podbudowy asfaltowej, oznaczona na próbkach z otworów 1 i 2 wynosi średnio 5,1 % (v/v), a z otworów 3 i 4 średnio 7,3 % (v/v). Podbudowa asfaltowa na odcinku, na którym zlokalizowano otwory 3 i 4 została wykonana z BA wg normy BN-71/8933-11. Wypełnienie asfaltem wolnej przestrzeni w tej warstwie wynosi średnio 63,5 % (otwory 1 i 2) oraz 49,6 % (otwory 3 i 4). Oznacza to, że wyniki tych dwóch cech są gorsze w przypadku podbudowy według normy BN-71/8933-11 niż według OST D-04.07.01.

#### Obwodnica Kuźnicy

Wolna przestrzeń w warstwie ścieralnej na odcinkach badawczych, oznaczona na próbkach z otworów 1 i 2 wynosi 3,3% (v/v), a z otworów 3 i 4 średnio 1,6 % (v/v). Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem dla tych dwóch par otworów wynosi odpowiednio średnio 78,2 % i 89,4 %. W przypadku warstwy wiążącej, korzystniejsze wyniki tych dwóch cech są dla otworów 3 i 4, w porównaniu z wynikami dla otworów 1 i 2 (tablica 20). Wolna przestrzeń w warstwie podbudowy asfaltowej jest bliska górnej wymaganej wartości wg Zeszytu 48/95 (5,0 ÷ 10,0% (v/v)), gdyż wynosi średnio 7,2 % (v/v) (otwory 1 i 2) oraz 8,1 % (v/v) (otwory 3 i

4) Wypełnienie wolnej przestrzeni asfaltem wynosi dla otworów 1 i 2 średnio 57,6 % i dla otworów 3 i 4 średnio 53,1 %. Z punktu widzenia trwałości pakietu warstw asfaltowych takie cechy podbudowy asfaltowej są niekorzystne.

#### Podsumowanie

Należy stwierdzić, że wolna przestrzeń jest cechą o znacznej niejednorodności. Niejednorodność ta może wynikać z rodzaju warstwy, sposobu jej zagęszczania jak również ze stosowanych metod oznaczania gęstości strukturalnej i objętościowej oraz sposobu obliczenia tej cechy. Z powyższych względów nie zawsze było uzasadnione obliczenie wartości średnich w przypadkach dużej różnicy w wynikach badań próbek pobranych z tego samego odcinka. Wolna przestrzeń, zwłaszcza w warstwie podbudowy asfaltowej istotnie wpływa na trwałość całego pakietu warstw asfaltowych. Była ona duża zwłaszcza w przypadkach obwodnicy Kuźnicy, zarówno na odcinku o stanie uznanym wizualnie za dobry i jako zły. Warstwa ścieralna z BA na odcinkach o stanie dobrym charakteryzowała się zdecydowanie mniejszą wolną przestrzenią w porównaniu do warstwy ścieralnej na odcinku o stanie złym.

#### **5.5 Moduł sztywności pelzania**

Moduł sztywności pelzania  $M_s$  oznaczono na próbkach wyciętych z nawierzchni bez ich przetwarzania. Moduł ten oznaczono oddzielnie dla każdej warstwy. Wyniki zostały skorygowane współczynnikami  $f_1$  (ze względu na wysokość próbki, nierówną wysokości standardowej) i  $f_2$  (ze względu na zawartość w niej asfaltu).

#### Obwodnica Nowej Soli

Wyniki w tabelicy 21 i ich graficzny obraz na rysunku 40 wskazuje, że moduł  $M_s$  próbek wyciętych z otworów 1 i 2 (odcinek w złym stanie) jest nieco większy od modułu sztywności pelzania próbek z otworów 3 i 4 (odcinek w dobrym stanie). Dotyczy to wszystkich trzech warstw, do których wykonania użyto asfaltu D50 z RG. Zwracają uwagę duże wartości tego modułu, od 55 ÷ 66 MPa, w przypadku próbek z warstw ścieralnej i podbudowy do około 85 MPa, w przypadku próbek z warstwy wiążącej, podczas gdy według recept wartość tego modułu była dla tych warstw od 25,8 do 28,7 MPa. Jest to spowodowane niewątpliwie wzrostem twardości asfaltu D50 w tych warstwach. W warstwie wiążącej było zastosowane kruszywo żuźlowe. Porównując moduł  $M_s$  warstwy wiążącej obwodnic Trzebnicy i Kuźnicy, gdzie był również zastosowany asfalt D50 (rysunek 41 i 43) widać, że wartość modułu  $M_s$  tej warstwy jest wyróżniająco duża w przypadku obwodnicy Nowej Soli.

### Obwodnica Trzebnicy

W przypadku warstw ścieralnej i wiążącej moduł Ms oznaczony na próbkach z otworów 1 i 2 jest nieco większy od modułu Ms oznaczonego na próbkach z otworów 3 i 4 (rysunek 41). Wartości modułu Ms tych warstw są podobne, gdy porównuje się oddzielnie wyniki z otworów 1 i 2 oraz 3 i 4. Podobne wartości tego modułu ma warstwa ścieralna obwodnicy Nowej Soli (od 60 do 67 MPa) (rysunek 40). Warstwa podbudowy charakteryzuje się mniejszymi wartościami modułu Ms niż warstwa ścieralna i wiążąca, podobnie jak to było również w przypadku obwodnicy Nowej Soli.

### Obwodnica Białegostoku

Obwodnica Białegostoku została wybrana do badań z tego powodu, że w części jej nawierzchnia była o konstrukcji według nowego Katalogu z 1997 r. (otwory 1 i 2), a w części według starego Katalogu z 1983 r. (otwory 3 i 4). Oba fragmenty były w dobrym stanie, na obu warstwa ścieralna została wykonana z mieszanki SMA, przy czym na fragmencie o konstrukcji nawierzchni według nowego Katalogu mieszanka SMA była zaprojektowana według normy PN-S-96025:2000, a na fragmencie o konstrukcji nawierzchni według starego Katalogu według Zeszytu 49/95. Moduł Ms warstwy ścieralnej oznaczony na próbkach pochodzących z otworów 1 i 2 oraz 3 i 4 jest podobny. (rysunek 42). Moduł Ms warstwy wiążącej znajdującej się w konstrukcji według nowego Katalogu (otwory 1 i 2) jest większy od modułu Ms tej warstwy lecz znajdującej się w konstrukcji według starego Katalogu (otwory 3 i 4). Warstwa wiążąca znajdująca się w konstrukcji według nowego Katalogu (otwory 1 i 2) została wykonana z asfaltem modyfikowanym. Warstwa podbudowy w obu konstrukcjach została wykonana z asfaltem D70.

### Obwodnica Kuźnicy

Moduł Ms oznaczony na próbkach pobranych z warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy potwierdza prawidłowość zaobserwowaną w przypadkach obwodnic Nowej Soli i Trzebnicy. Polega ona na tym, że moduł Ms warstw odcinka o złym stanie jest większy od modułu Ms warstw odcinka o dobrym stanie (rysunek 43). Histogramy na rysunku 43 pokazują, że wartości modułu Ms poszczególnych warstw na każdym z tych odcinków są podobne.

### Podsumowanie

Wyniki oznaczenia modułu Ms wskazują na pewną prawidłowość polegającą na tym, że na odcinkach o złym stanie wartości tego modułu dla poszczególnych warstw są większe niż na odcinkach o stanie dobrym. Świadczy to o przeszczywnieniu warstw na odcinkach o złym stanie z powodu mniejszej ilości asfaltu w porównaniu do odcinków o stanie dobrym. Potwierdzają to wyniki dotyczące warstwy ścieralnej na obwodnicach Nowej Soli, Trzebnicy i

Kuźnicy, warstwy wiążącej na obwodnicy Trzebnicy i warstwy podbudowy na obwodnicy Kuźnicy (tablice 9, 10 i 12). Powodem wyjątkowo dużej wartości modułu  $M_s$  warstwy wiążącej, zarówno na odcinkach o stanie złym i dobrym obwodnicy Nowej Soli może być zastosowanie w tej warstwie kruszywa żuźlowego.

## 5.6 Połączenie międzywarstwowe

### Obwodnica Nowej Soli

Naprężenie ścinające  $\tau$  między warstwami ścieralną a wiążącą jest prawie 3-krotnie większe od naprężenia  $\tau$  między warstwami wiążącą a podbudową asfaltową. Dotyczy to zarówno odcinka o stanie złym (otwory 1 i 2) i o stanie dobrym (otwory 3 i 4), przy czym zróżnicowanie wartości  $\tau$  między tymi odcinkami jest niewielkie. Naprężenie  $\tau$  między warstwami wiążącą a podbudową jest tylko nieco ponad 1 MPa (rysunek 48).

### Obwodnica Trzebnicy

Naprężenie  $\tau$  między warstwami ścieralną a wiążącą jest znacznie większe niż między warstwami wiążącą a podbudową, przy czym wartości naprężenia  $\tau$  między warstwami ścieralną a wiążącą dla odcinków o stanie dobrym i złym są prawie jednakowe. Naprężenie  $\tau$  między warstwami wiążącą a podbudową jest w przypadku odcinka o stanie dobrym 2-krotnie większe (wynosi 2,25 MPa) niż dla odcinka o stanie złym (rysunek 49).

### Obwodnica Białegostoku

W przypadku konstrukcji nawierzchni według nowego Katalogu (otwory 1 i 2) naprężenie  $\tau$  między warstwami ścieralną z SMA a wiążącą z BA jest nieco mniejsze od analogicznego naprężenia lecz odnoszącego się do konstrukcji według starego Katalogu (otwory 3 i 4). W przypadku połączenia warstw wiążącej i podbudowy sytuacja jest odwrotna; naprężenie  $\tau$  odnoszące się do odcinka o konstrukcji według starego Katalogu jest szczątkowe dla tych dwóch warstw (rysunek 50). Obecnie trudno jest stwierdzić, jaka jest tego przyczyna; czy słabe związanie warstw wiążącej i podbudowy było już w momencie ich układania, czy osłabienie to nastąpiło później, tj. podczas eksploatacji drogi.

### Obwodnica Kuźnicy

Naprężenie  $\tau$  między warstwami ścieralną a wiążącą jest w przypadku odcinków o stanie złym (otwory 1 i 2) i dobrym (otwory 3 i 4) takie samo i wynosi nieco ponad 3 MPa (rysunek 51). Podobnie jest dla połączenia warstw wiążącej i podbudowy, przy czym wartość tego naprężenia jest dwukrotnie mniejsza niż dla połączenia warstw ścieralnej i wiążącej.

### Podsumowanie

W przypadku obwodnic Nowej Soli, Trzebnicy i Kuźnicy, które są głównym przedmiotem dociekań dlaczego powstały na nich spękania nawierzchni, połączenie warstw wiążącej z podbudową asfaltową jest znacznie słabsze (przeciętnie dwukrotnie) niż połączenie warstw ścieralnej z wiążącą. Jaka jest tego przyczyna nie można obecnie z całym przekonaniem stwierdzić; może to być słabe skropienie lub jego brak przed ułożeniem następnej warstwy lub osłabienie połączenia w ciągu lat eksploatacji drogi. W poprzednich latach panował pogląd i praktyka, że w przypadku układania warstwy asfaltowej na świeżej warstwie wówczas skropienie jest zbędne. Należy jednak stwierdzić, że wartość natężenia  $\tau$  między warstwami wiążącą a podbudową nie jest wcale drastycznie mała, gdyż wynosi w przypadku tych trzech obwodnic od 1,3 do 2,5 MPa (według Zeszytu 66/2004 dotyczącego zasad stosowania geowłóknin zaleca się, aby nie było ono mniejsze od 1,3 MPa). Z punktu widzenia wpływu połączenia międzywarstwowego na trwałość nawierzchni należy stwierdzić, że w przypadkach nawierzchni tych obwodnic (w tym również i obwodnicy Białegostoku) właśnie połączenie między warstwami wiążącą i podbudową stanowi najsłabsze ogniwo, a nie połączenie warstw ścieralnej z wiążącą, zwłaszcza jeżeli będą występowały zwiększone ugięcia sprężyste od obciążeń od kół pojazdów. Dlatego ewentualnego rozwarstwienia można się spodziewać między warstwami wiążącą a podbudową z BA.

#### **5.7 Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie**

Jeżeli przyjąć, że ścisłanie próbek walcowych po tworzącej bocznej powierzchni, w celu oznaczenia wytrzymałości na rozciąganie pośrednie  $S_r$  daje pogląd o mastyksie w MMA tj. jego ilości i właściwościach wynikających z zastosowania określonego asfaltu i wypełniacza oraz o wzajemnym klinowaniu się ziaren w MM, wówczas na podstawie histogramów na rysunkach 44-47 można stwierdzić, że cechy te lepiej odzwierciedla, tzn. w sposób bardziej zróżnicowany wykonywanie tego badania w temperaturze  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  niż w  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . W temperaturze  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  największą wytrzymałość na rozciąganie pośrednie wykazują próbki z warstwy ścieralnej w przypadkach wszystkich 4 obwodnic (rysunki 44-47), przy czym wytrzymałość  $S_r$  próbek z otworów 1 i 2 jest większa w przypadku obwodnicy Nowej Soli od wytrzymałości  $S_r$  próbek z otworów 3 i 4 (rysunek 44). W przypadku obwodnicy Trzebnicy jest odwrotnie (rysunek 45). W przypadku warstwy ścieralnej obwodnicy Kuźnicy nie ma różnicy między wytrzymałością  $S_r$  próbek z otworów 1 i 2 oraz 3 i 4 (rysunek 47). W przypadku warstw wiążącej i podbudowy tej obwodnicy jest podobnie. Natomiast w przypadkach obwodnic Nowej Soli i Trzebnicy wytrzymałość  $S_r$  próbek z warstw wiążącej i

podbudowy i z otworów 3 i 4 jest większa niż próbek z otworów 1 i 2 tych warstw. Z badania tego wynika spostrzeżenie, że w przypadku wyraźnego rozróżnienia stanu złego od dobrego (obwodnica Trzebnicy) znajduje to również potwierdzenie w wynikach wytrzymałości Sr. Wówczas wytrzymałość ta jest większa w przypadkach wszystkich warstw na odcinku w stanie dobrym niż na odcinku o stanie złym.

### 5.8 Moduł sztywności

Wyniki modułu sztywności E, oznaczono na próbkach  $\phi 100$  mm wyciętych z warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy z BA nawierzchni obwodnic Nowej Soli, Trzebnicy, Białegostoku i Kuźnicy, w temperaturze +20, +10, -2, -10 °C, posługując się w tym celu aparatem NAT. Wyniki przedstawiono w postaci histogramów, z podziałem na warstwy i odcinki (otwory) (rysunki 52 do 67) oraz w postaci zależności tego modułu od temperatury (rysunki 68 do 71). Histogramy te i wykresy zależności sporządzono na podstawie wyników badań wykonanych w etapie I pracy.

#### Obwodnica Nowej Soli

Z histogramów na rysunkach 52 do 55 wynika, że w przypadkach wszystkich trzech warstw moduł E, oznaczony na próbkach z otworów 1 i 2 (odcinek w złym stanie) jest większy od modułu E, oznaczonego na próbkach z otworów 3 i 4 (odcinek w dobrym stanie). Świadczy to, że większa sztywność warstw na odcinku o złym stanie (niekoniecznie wynikająca z mniejszej zawartości asfaltu, ale na przykład z większego jego utwardzenia w procesie produkcji i wbudowywania) mogła być jedną z przyczyn jej popękania. Histogramy na rysunkach 52 do 55 oraz wykresy na rysunku 68 wskazują, że wartości modułu E dla poszczególnych warstw nawierzchni tej obwodnicy zależą od temperatury, przy czym najmniejszą wrażliwość temperaturową spośród tych warstw wykazuje warstwa wiążąca (rysunek 68, dotyczący otworów 1 i 2 oraz 3 i 4). Najmniejszymi wartościami modułu E w punktach temperaturowych jak na w/w rysunku charakteryzuje się warstwa ścieralna, największymi warstwa podbudowy. Z obliczeń parametrów trwałościowych wynika (p. 5.11), że im większy moduł sztywności podbudowy z BA tym mniejsza trwałość nawierzchni. Na rysunku 68 zamieszczono również wykres średniego modułu E dla pakietu warstw asfaltowych. Nachylenie tego wykresu względem osi odciętych charakteryzuje podatność pakietu na zmiany temperatury. Nachylenie to scharakteryzowano wskaźnikiem  $\alpha$  (stosunek różnicy modułu E w temperaturze -10 i +20 °C, pomnożonej przez 0,001 do bezwzględnej wartości przyjętego zakresu temperaturowego, równego 30 °C). Wskaźnik  $\alpha_{1+2}$  dla pakietu warstw na odcinku o stanie złym jest równy 0,63, a dla pakietu na odcinku o stanie dobrym



$\alpha_{3+4} = 0,67$ , co oznacza mniejszą sztywność tego pakietu niż pakietu na odcinku pierwszym. W zakresie temperatury od  $-10$  do  $+20^{\circ}\text{C}$  zmiana średniego modułu E dla pakietu warstw asfaltowych ma charakter prawie liniowy.

#### Obwodnica Trzebnicy

Prawie nie ma zróżnicowania wartości modułu E ze względu na odcinki (otwory) i warstwy w zakresie temperatury badania od  $-2$  do  $+20^{\circ}\text{C}$  (histogramy na rysunkach 56 do 59 i wykresy na rysunku 69). Pod tym względem ocena zwłaszcza podbudowy z BA na tej obwodnicy jest korzystniejsza niż podbudowy z BA na obwodnicy Nowej Soli, gdyż moduł E tej warstwy na obwodnicy Trzebnicy jest znacznie mniejszy. W temperaturze  $-10^{\circ}\text{C}$  moduł E warstwy podbudowy zasadniczej jest nawet mniejszy niż warstwy ścieralnej. Na podstawie wskaźnika  $\alpha$  ocena odcinka o stanie dobrym jest korzystniejsza niż na odcinku o stanie złym; wartości tego wskaźnika wynoszą odpowiednio:  $\alpha_{3+4} = 0,67$ ;  $\alpha_{1+2} = 0,60$ , co oznacza mniejszą sztywność (większą podatność) pakietu warstw asfaltowych na odcinku o stanie dobrym niż na odcinku o stanie złym.

#### Obwodnica Białegostoku

W całym zakresie temperatury badań moduł E warstwy wiążącej z BA z asfaltem modyfikowanym jest największy na odcinku o konstrukcji według nowego Katalogu (otwory 1 i 2), w porównaniu do modułu E pozostałych warstw tego odcinka (rysunki 60 do 63). Na odcinku o konstrukcji według starego Katalogu (otwory 3 i 4), największym modułem E charakteryzuje się warstwa podbudowy z BA w całym zakresie temperatury badań, w porównaniu do modułu E pozostałych warstw. Wskaźnik podatności temperaturowej  $\alpha$  dla pakietu warstw asfaltowych wynosi:

- dla konstrukcji według nowego Katalogu,  $\alpha_{1+2} = 0,70$ ,
- dla konstrukcji według starego Katalogu,  $\alpha_{3+4} = 0,58$ .

Drugi wynik wskazuje na gorszą podatność (większą sztywność), w porównaniu do wyniku pierwszego.

#### Obwodnica Kuźnicy

Prawie nie ma zróżnicowania wartości modułu E ze względu na odcinki (otwory) i warstwy w zakresie temperatury badania od  $-2$  do  $+20^{\circ}\text{C}$  (histogramy na rysunkach 64 do 66 i wykresy na rysunku 71). Wiązka wykresów modułu E w zależności od temperatury jest podobna jak w przypadku Trzebnicy. Większe zróżnicowanie wartości modułu E jest w temperaturze badania  $-10^{\circ}\text{C}$ , w odniesieniu do odcinka o stanie złym (otwory 1 i 2). Wskaźnik podatności temperaturowej  $\alpha$  dla pakietu warstw asfaltowych wynosi:

- odcinek o stanie złym,  $\alpha_{1+2} = 0,60$ ,
- odcinek o stanie dobrym,  $\alpha_{3+4} = 0,68$ .

Pierwszy wynik wskazuje na gorszą podatność (większa sztywność), w porównaniu do wyniku drugiego.

### Podsumowanie

W celu dokonania oceny odcinka pod kątem jego stanu nie można się opierać na ocenie modułu E dla pojedynczych warstw asfaltowych lecz na ocenie uśrednionego modułu dla całego pakietu tych warstw. Pomocnym w tym może być wskaźnik podatności temperaturowej  $\alpha$ ; im jego wartość jest większa tym ta podatność jest większa, co oznacza mniejsza sztywność pakietu warstw asfaltowych, która pozwoli na lepsze dostosowanie się tego pakietu do niezwiązanej podbudowy podatnej.

Wartości modułu sztywności E badanych warstw asfaltowych były znacznie większe od założonych wartości do projektowania konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych według Katalogu T.K.N.P.iP z 1997 r. Przykładowo moduł E warstwy ścieralnej z BA wynosił od 5000 MPa w +20°C do 22500 MPa w -2°C. Moduł E warstwy podbudowy z BA wynosił od 6000 MPa w +20°C do 28500 MPa w -2°C. Moduł sztywności E mieszanek BA, w których zastosowano kruszywo tego samego pochodzenia zależy od ich gęstości strukturalnej, w sposób wprost proporcjonalny.

## **5.9 Zmiana właściwości asfaltów w nawierzchni**

### **5.9.1 Pierwotne właściwości asfaltów**

Właściwości asfaltu D50 z RG S.A., użytego do produkcji BA do warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy nawierzchni obwodnicy Nowej Soli były następujące:

- a) właściwości oznaczone przez wykonawcę (Dromex S.A.)
  - penetracja w 25 °C 52 × 0,1 mm,
  - temperatura mięknięcia wg PiK 50 °C,
  - temperatura łamliwości wg Fraassa -14 °C,
- b) właściwości obliczone
  - przedział plastyczności (PP) 64 °C,
  - indeks penetracji (IP) -1,1.

Właściwości asfaltu D50 z RG S.A., użytego do produkcji BA do warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy nawierzchni obwodnicy Trzebnicy były następujące:

- a) właściwości oznaczone przez wykonawcę (Dromex S.A.)

- penetracja w 25 °C	52 × 0,1 mm,
- temperatura mięknięcia wg PiK	50 °C (warstwa ściernalna) 51 °C (warstwa wiążąca),
- temperatura łamliwości wg Fraassa	-14 °C,
b) właściwości obliczone	
- przedział plastyczności (PP)	64 °C (warstwa ściernalna) 65 °C (warstwa wiążąca),
- indeks penetracji (IP)	-1,1 (warstwa ściernalna) -0,9 (warstwa wiążąca),

Właściwości asfaltu D70 z RG S.A., użytego do produkcji BA do warstwy podbudowy nawierzchni obwodnicy Białegostoku, o konstrukcji według nowego Katalogu (KTKN PiP z 1997 r.) były następujące:

- penetracja w 25 °C	65 × 0,1 mm,
- temperatura mięknięcia wg PiK	49 °C,
- ciągliwość w 25 °C	> 100 cm,
- obliczony indeks penetracji (IP)	-0,8

Właściwości asfaltu Elastobit 50 RG z RG S.A., użytego do produkcji BA do warstwy wiążącej nawierzchni obwodnicy Białegostoku, o konstrukcji według nowego Katalogu z 1997 r. były następujące:

- penetracja w 25 °C	56 × 0,1 mm,
- temperatura mięknięcia wg PiK	54 °C,
- nawrót sprężysty w 25 °C	76,5 %.

Właściwości asfaltu D50 z NYNAS S.A., użytego do produkcji mieszanki SMA do warstwy ściernalnej nawierzchni obwodnicy Białegostoku, o konstrukcji według nowego Katalogu z 1997 r. nie zostały podane w dokumentacji technologicznej, przekazanej w związku z realizacją tego tematu.

Właściwości asfaltu D70 użytego do produkcji BA do warstwy podbudowy i asfaltu D50, użytego do produkcji BA do warstwy wiążącej oraz asfaltu D50 z NYNAS S.A., użytego do produkcji mieszanki SMA do warstwy ściernalnej nawierzchni obwodnicy Białegostoku, o

konstrukcji według starego Katalogu (KTKJP z 1983 r.) nie zostały podane w dokumentacji technologicznej, przekazanej w związku z realizacją tego tematu.

Właściwości asfaltu D70 użytego do produkcji BA do warstwy podbudowy nawierzchni obwodnicy Kuźnicy były następujące:

- |                                    |              |
|------------------------------------|--------------|
| - penetracja w 25 °C               | 69 × 0,1 mm, |
| - temperatura mięknięcia wg PiK    | 47 °C,       |
| - ciągliwość w 25 °C               | > 100 cm,    |
| - obliczony indeks penetracji (IP) | -1,2         |

Właściwości asfaltu D50 użytego do produkcji BA do warstwy wiążącej i ścieralnej nawierzchni obwodnicy Kuźnicy nie zostały podane w dokumentacji technologicznej, przekazanej w związku z realizacją tego tematu.

### **5.9.2 Wyniki badań starzenia się asfaltów drogowych na podstawie danych**

#### **literaturowych**

Wyniki badań asfaltu odzyskanego z warstw nawierzchni odcinków zlokalizowanych na obwodnicach Nowej Soli, Trzebnicy, Białegostoku i Kuźnicy skłaniają do postawienia podstawowego pytania, czy zastosowane asfalty do budowy nawierzchni na tych obwodnicach uległy utwardzeniu i zesterzeniu w procesie produkcji i wbudowania MMA oraz w czasie kilkuletniej eksploatacji nawierzchni w stopniu przeciętnie oczekiwanym, czy też zmiany ich właściwości odbiegają od poziomu przeciętnego. Odpowiedź na to pytanie może być tylko porównawcza z wynikami badań innych asfaltów, lecz tego samego lub podobnego rodzaju, gdyż obowiązująca do niedawna norma PN-C-96170:1963 jak i nowa norma PN-EN 12591 oraz stanowisko GDDKiA w sprawie jej stosowania stawiają wymagania dotyczące starzenia technologicznego asfaltów (krótkotrwałego) metodami odpowiednio TFOT – Thin Film Oven Test i RTFOT – Rolling Thin Film Oven Test. Podatność asfaltów na długotrwałe starzenie eksploatacyjne ocenia się na podstawie badań ich metodą PAV – Pressure Ageing Vessel (CEN/TC 336 zamierza metodę tę i wymagania o tym zakresie względem asfaltów wprowadzić w normach tzw. II generacji). W przypadku asfaltów odzyskanych z warstw nawierzchni badanych obwodnic mamy do czynienia ze starzeniem się asfaltów krótko i długotrwałym. Według [1] metodą PAV można symulować długotrwałe starzenie eksploatacyjne asfaltów w ciągu pierwszych 5-10 lat. Również według [1] stwierdzono na podstawie standardowych badań między innymi asfaltów krajowych rodzaju 35/50 i 50/70, że po starzeniu TFOT+PAV pozostała penetracja tych asfaltów wynosi od 30 do 40 × 0,1 mm czyli około 67 %. Ponieważ asfalty rodzaju 35/50 i 50/70 odpowiadają w przybliżeniu poprzednio produkowanym asfaltom rodzaju odpowiednio D50 i D70, które były stosowane

do budowy nawierzchni tych obwodnic, wówczas ta wartość pozostałej penetracji (wyrażona w %) może być do tych asfaltów krajowych również odniesiona. Wzrost temperatury mięknięcia według PiK asfaltów krajowych 35/50 i 50/70 wynosi według [1] od 11 do 17 °C. Według [3] asfalt drogowy z rafinerii TOTAL (Francja), o penetracji w 25 °C równej  $78 \times 0,1$  mm i temperaturze mięknięcia według PiK równej 46,5 °C zmienił swoje właściwości po zastosowaniu starzenia metodami RTFOT+PAV następująco:

- penetracja pozostała w 25 °C:  $32 \times 0,1$  mm (41 %),
- temperatura mięknięcia pozostała 58 °C (wzrost o 11,5 %),

Według [4] asfalt drogowy 35/50 pochodzący z jednej z rafinerii francuskich charakteryzował się następującymi właściwościami pierwotnymi:

- penetracja w 25 °C:  $40 \times 0,1$  mm,
- temperatura mięknięcia wg PiK 53,5 °C,
- indeks penetracji -0,9.

Po zastosowaniu starzenia metodami RTFOT+PAV jego właściwości zmieniły się następująco:

- penetracja pozostała w 25 °C:  $16 \times 0,1$  mm (41 %),
- temperatura mięknięcia 66 °C,
- wzrost temperatury mięknięcia 12 °C,
- indeks penetracji -0,2.

Powyżej cytowane dane literaturowe świadczą, że utwardzenie się asfaltów krajowych rodzaju 35/50 i 50/70, po starzeniu krótkotrwałym (metoda TFOT) i długotrwałym (metoda PAV) jest znacznie mniejsze niż podobnego rodzaju asfalty francuskie (po starzeniu metodami RTFOT+PAV).

### **5.9.3 Zmiana właściwości asfaltów odzyskanych z warstw nawierzchni**

#### Obwodnica Nowej Soli

W przypadku asfaltu D50, odzyskanego z warstw ścieralnej nawierzchni obwodnicy Nowej Soli (tablica 33) jego penetracja pozostała jest ponad dwukrotnie mniejsza od penetracji wyjściowej zastosowanego asfaltu i wynosi 44 %. Jest to wynik znacznie mniej korzystny w porównaniu do wyniku starzenia asfaltu 35/50 metodami TFOT+PAV (67%). Na znaczne utwardzenie się tego asfaltu wskazuje również pozostała temperatura mięknięcia oraz wzrost indeksu penetracji z -1,1 do -0,2.. Wyniki w tablicy 33 wskazują również, że asfalt D50 w podbudowie zestarzał się bardziej niż ten sam asfalt w warstwie ścieralnej, co mogło być spowodowane bardziej niekorzystnymi warunkami produkcji BA do podbudowy (cieńsza

warstewka asfaltu na ziarnach), w porównaniu do BA do warstwy ścieralnej oraz większą wolną przestrzenią w warstwie podbudowy w porównaniu do warstwy ścieralnej. W przypadku asfaltu D50 odzyskanego z warstwy wiążącej (tablica 33), jego penetracja pozostała jest pięciokrotnie mniejsza od penetracji wyjściowej zastosowanego asfaltu i wynosi tylko 19 %. Jest to utwardzenie 3-krotnie większe, w porównaniu do utwardzenia asfaltu 35/50, poddanego starzeniu metodami TFOT + PAV. Potwierdza to również bardzo duża temperatura mięknięcia. Wynik otrzymany na odzyskanej próbce wynosi 78,3 °C (tablica 33), podczas gdy zgodnie z [1] nie powinien przekroczyć 67 °C. Indeks penetracji asfaltu odzyskanego z warstwy wiążącej wzrósł z -1,1 do +0,8, czyli prawie do wartości granicznej dla asfaltów drogowych niemodyfikowanych [2]. Według informacji uzyskanej od Chemcrete Poland środek przeciwkoleinowy pn. Chemcrete nie był jednak stosowany w warstwie wiążącej tej obwodnicy (nie był również stosowany do tej warstwy na obwodnicach Trzebnicy i Kuźnicy). Wartość indeksu penetracji tego samego asfaltu D50 z Rafinerii Gdańskiej, lecz zastosowanego do warstwy podbudowy również wzrosła po 6 latach eksploatacji z -1,1 do +0,1 (tablica 33). Ponieważ temperatura mięknięcia asfaltu odzyskanego wzrosła bardziej niż jego temperatura łamliwości, w porównaniu do wartości pierwotnych (p. 5.9.1), w związku z tym zwiększył się przedział plastyczności.

#### Obwodnica Trzebnicy

Do budowy trzech warstw nawierzchni z BA był zastosowany ten sam asfalt rodzaju D50 z RG (p. 5.9.1). Pozostała penetracja, temperatura mięknięcia i łamliwości oraz indeks penetracji asfaltu odzyskanego z warstw nawierzchni obwodnicy Trzebnicy świadczą o jego utwardzeniu się, znacznie większym w porównaniu do wartości oczekiwanej (tablica 34). Pozostała penetracja asfaltu z warstwy ścieralnej wynosi 36,5 %, asfaltu z warstwy wiążącej 40,4 % i z warstwy podbudowy jeszcze mniej, gdyż tylko 34,6 %, podczas gdy według [1] wartością oczekiwaną powinno być ok. 67 % dla asfaltów 35/50 i 50/70. Indeks penetracji wzrósł z -1,1 do -0,2 (warstwa ścieralna i wiążąca) i do -0,1 (warstwa podbudowy). Zwiększył się również przedział plastyczności z tego samego powodu jak w przypadku obwodnicy Nowej Soli.

#### Obwodnica Białegostoku

Zestarzenie się asfaltów odzyskanych z warstw nawierzchni obwodnicy Białegostoku (konstrukcja nawierzchni według nowego Katalogu) jest znacznie mniejsze niż miało to miejsce w przypadkach obwodnic Nowej Soli i Trzebnicy. Wynika to między innymi z zastosowania innych rodzajów asfaltów w warstwach nawierzchni obwodnicy Białegostoku, innego rodzaju MMA w warstwie ścieralnej (SMA) i innego okresu eksploatacji nawierzchni

tej obwodnicy (3 lata, podczas gdy okres eksploatacji obwodnicy Nowej Soli wynosi 6 lat, a obwodnicy Trzebnicy 4 lata). W warstwie ścieralnej z mieszanki SMA był zastosowany asfalt D50 z NYNAS S.A. Jego penetracja po starzeniu technologiczno-eksploatacyjnym w warunkach naturalnych wynosi  $36 \times 0,1$  mm, zaś temperatura mięknięcia  $57,4$  °C (tablica 35). Są to wartości umiarkowanie dobre. W warstwie wiążącej z BA zastosowano asfalt Elastobit 50 RG. Jego penetracja pozostała po starzeniu w warunkach naturalnych wynosi 44,6% (tablica 35). Wzrost temperatury mięknięcia tego asfaltu jest bardzo mały, gdyż wynosi tylko  $5,5$  °C. Z pośród asfaltów odzyskanych pozostała penetracja asfaltu D70 z warstwy podbudowy jest największa, gdyż wynosi 53,8%. Wzrost temperatury mięknięcia jest wyjątkowo mały (wynosi tylko  $3,4$  °C) w świetle stwierdzeń według [1].

#### Obwodnica Kuźnicy

Do budowy warstw ścieralnej i wiążącej zastosowano na tej obwodnicy asfalt D50, natomiast do budowy warstwy podbudowy asfalt D70. Zestarczenie się asfaltu D50 w warstwie ścieralnej nawierzchni tej obwodnicy (tablica 36) jest najmniejsze, w porównaniu do zestarczenia się asfaltu tego samego rodzaju w warstwie ścieralnej nawierzchni obwodnic Nowej Soli i Trzebnicy (tablice 33 i 34). Wydaje się, że w przypadkach stosunkowo krótkich okresów eksploatacji nawierzchni (nie przekraczających kilku lat) dominujący wpływ na to starzenie będą miały warunki produkcji i wbudowania MMA. Zestarczenie się asfaltu D50 w warstwie wiążącej jest porównywalne ze starzeniem się asfaltu tego samego rodzaju w warstwie podbudowy nawierzchni Nowej Soli i Trzebnicy, tzn. jest ono duże (tablice 33 i 34). Również duże zestarczenie asfaltu D70 jest w przypadku warstwy podbudowy; pozostała penetracja asfaltu odzyskanego z tej warstwy wynosi tylko 31,9% (tablica 36). Jego temperatura mięknięcia wzrosła o  $12,7$  °C. Indeks penetracji wzrósł z  $-1,2$  do  $-0,8$ .

#### Podsumowanie

Mała penetracja pozostała (w ujęciu wartości pomiarowej i procentowej) asfaltu D50 z RG, odzyskanego z warstw nawierzchni z BA obwodnic Nowej Soli, Trzebnicy i Kuźnicy (z wyjątkiem warstwy ścieralnej nawierzchni obwodnicy Kuźnicy) świadczy o dużym zestarzeniu się tego asfaltu w procesie produkcji i wbudowania tej mieszanki oraz podczas kilkuletniego okresu eksploatacji nawierzchni. Potwierdzają to również wyniki pomiaru temperatury mięknięcia odzyskanego asfaltu D50. Nadmierne utwardzenie się tego asfaltu miało niewątpliwie negatywny wpływ na trwałość tych nawierzchni. Podobnie dużemu utwardzeniu uległ również asfalt D70 w warstwie podbudowy nawierzchni obwodnicy Kuźnicy.

### 5.10 Ocena podbudowy niezwiązanej i podłoża gruntowego

Ocena podbudowy niezwiązanej i podłoża gruntowego nawierzchni obwodnic została przeprowadzona na podstawie wyników badań zamieszczonych w załączniku 3. Oceny podbudowy niezwiązanej dokonano w oparciu o wymagania zamieszczone w normie PN-S-06102:1997 – Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie, natomiast podłoża gruntowego w oparciu o wymagania zamieszczone w normie PN-S-06102:1998 – Roboty ziemne. Rodzaje badań tych materiałów zostały wybrane pod kątem oceny wpływu na nie wody. Wskaźnik nośności  $w_{noś}$  wyznaczono przy zagęszczeniu  $I_s = 1,00$ .

#### Obwodnica Nowej Soli

Wskaźnik piaskowy SE kruszywa z podbudowy niezwiązanej, pobranego z otworów 1 i 2 wynosi od 77 do 87, a kruszywa z otworów 3 i 4 wynosi od 77 do 86. Według normy PN-S-06102:1997 dla podbudowy zasadniczej i pomocniczej z kruszywa łamanego wskaźnik piaskowy SE powinien wynosić od 30 do 70. Przekroczenie górnej wartości wymaganej może być łagodniejsze w skutkach niż przekroczenie dolnej wartości wymaganej.

Ze względu na wskaźnik nośności ocena tego kruszywa jest następująca:

- kruszywo pobrane z otworu 1d spełnia wymagania normowe dla podbudów zasadniczych ( $w_{noś} = 110\% > 80\%$ ),
- kruszywo pobrane z otworu 1g spełnia wymagania normowe dla podbudów zasadniczych ( $w_{noś} = 118\% > 80\%$ ),
- kruszywo pobrane z otworu 2 spełnia wymagania normowe dla podbudów zasadniczych ( $w_{noś} = 85\% > 80\%$ ),
- kruszywo pobrane z otworu 3 nie spełnia wymagania normy dla podbudów z kruszywa stabilizowanego mechanicznie ( $w_{noś} = 55\% < 60\%$ ),
- kruszywo pobrane z otworu 4 spełnia wymagania dla podbudów zasadniczych ( $w_{noś} = 82\% > 80\%$ ).

Uziarnienie kruszyw pobranych z otworów 1, 2 i 3 nieznacznie wykracza poza dolną krzywą graniczną dla podbudów pomocniczych. Niezgodność z wymaganiami, w powyższych przypadkach nie powinna ważyć o dyskwalifikacji kruszywa wykorzystanego do podbudów pomocniczych. Kruszywo z otworu 4 znacznie wykracza poza dolną krzywą dla podbudów pomocniczych i nie powinno stanowić warstwy konstrukcji drogowej (rysunek 27).

Górną warstwę podłoża w otworach 1 i 2 tworzy warstwa naturalnego materiału mineralnego ulepszanego spoiwem hydraulicznym. Poniżej gruntu ulepszanego występuje materiał mineralny (piasek drobny). Podłoże gruntowe w otworze 4 to także naturalny materiał mineralny (piasek średni zapyłony). Wartości wskaźnika piaskowego ( $SE = 39 \div 83$ ),



kapilarności biernej ( $H_{kb} = 0,30 \pm 0,75$  m) i wskaźników nośności, odpowiednio  $w_{noś}^{bezp.} > 20\%$  i  $w_{noś}^{nasyt.} > 14\%$  wskazuje na niewysadzinowy charakter podłoża.

#### Obwodnica Trzebnicy

Wskaźnik piaskowy SE kruszywa z podbudowy niezwiązanej, pobranego z otworów 1 i 2 wynosi od 65 do 67, a kruszywa z otworów 3 i 4 wynosi od 86 do 89. Przekroczenie górnej dopuszczanej granicy ( $SE = 70$ ) jest znaczne, ale nie powinno to mieć bardzo negatywnych skutków.

Ze względu na wskaźnik nośności ocena tego kruszywa jest następująca:

- kruszywo pobrane z otworu 1 spełnia wymagania normowe dla podbudów pomocniczych ( $60\% < w_{noś} = 78\% < 80\%$ ),
- kruszywo pobrane z otworu 2 spełnia wymagania normowe dla podbudów zasadniczych ( $60\% < w_{noś} = 85\% > 80\%$ ),
- kruszywo pobrane z otworu 3 spełnia wymagania normowe dla podbudów pomocniczych ( $60\% < w_{noś} = 64\% < 80\%$ ),
- kruszywo pobrane z otworu 4 nie spełnia wymagania normy dla podbudów drogowych z kruszywa stabilizowanego mechanicznie ( $w_{noś} = 42\% < 60\%$ ).

Pod względem uziarnienia, kruszywa podbudowy niezwiązanej z otworów 1, 2 i 3 spełniają wymagania dla podbudów zasadniczych, natomiast kruszywo z otworu 4 nieznacznie przekracza dolną krzywą graniczną dla podbudów pomocniczych. Kształt krzywej uziarnienia kruszywa z otworu 4 jest charakterystyczny jak dla materiału naturalnego (rysunek 31). Warstwa mrozoochronna pod podbudową niezwiązaną jest z piasku drobnoziarnistego (załącznik 14, etap I). Pod tą warstwą mrozoochronną jest warstwa z gruncementu. Podłoże gruntowe pod warstwą z gruncementu w otworach 1 i 2 stanowi warstwa naturalnego materiału mineralnego (piasek gliniasty). Podłoże gruntowe w otworach 3 i 4 to także naturalny materiał mineralny (piasek średni lub gruby). Wartość wskaźnika piaskowego ( $SE = 15$ ), określona dla próbek pobranych z otworów 1 i 2 wskazuje na wysadzinowy charakter gruntu. Wskaźnik kapilarności biernej tego gruntu wynosi 1,0 m. Materiał pobrany z otworów 3 i 4 to naturalny grunt mineralny o korzystniejszej (z uwagi na wysadzinowość) wartości wskaźnika piaskowego ( $SE = 34$ ), kapilarności biernej ( $H_{kb} = 0,65$  m) i wskaźnikach nośności, odpowiednio  $w_{noś}^{bezp.} > 39\%$  i  $w_{noś}^{nasyt.} > 20\%$ . Materiał w otworach 1 i 2 należy określić pod względem wysadzinowości jako wątpliwy.

### Obwodnica Białegostoku

Wskaźnik piaskowy SE kruszywa z podbudowy niezwiązanej, pobranego z otworów 1 i 2 wynosi od 44 do 65, a kruszywa z otworów 3 i 4 wynosi od 38 do 52. Wartości te spełniają wymagania normy PN-S-06102:1997 ( $SE = 30 \div 70$ )

Ze względu na wskaźnik nośności ocena tego kruszywa jest następująca:

- kruszywo pobrane z otworu 1 spełnia wymagania normowe dla podbudów zasadniczych ( $w_{noś} = 108\% > 80\%$ ),
- kruszywo pobrane z otworu 2 spełnia wymagania normowe dla podbudów zasadniczych ( $w_{noś} = 118\% > 80\%$ ),
- kruszywo pobrane z otworu 3 spełnia wymagania normowe dla podbudów zasadniczych ( $w_{noś} = 85\% > 80\%$ ).

Pod względem uziarnienia próbki pobrane z otworów 1 i 2 spełniają wymagania dla podbudów zasadniczych. Kruszywo z otworów 3 i 4 nie spełnia wymagań normowych ze względu na nadmierną zawartość ziaren drobnych we frakcjach piaskowej i żwirowej (rysunek 34). Podłoże gruntowe z 4 otworów badawczych tworzą naturalne grunty niespoiste (pospółka) o wysokiej wartości maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ( $\rho_{ds} = 1,913$  i  $\rho_{ds} = 2,129$  g/cm<sup>3</sup>), stosunkowo dużych wartościach wskaźnika piaskowego ( $SE = 49$  i  $46$ ), niewielkiej kapilarności biernej ( $H_{kb} = 0,60$  i  $0,65$  m) oraz korzystnie wysokich wartościach wskaźnika nośności  $w_{noś}$  określonych bezpośrednio po zageszczeniu próbek wg I metody Proctora oraz po 4 dobach ich nasycenia wodą ( $w_{noś}^{bezp.} > 45\%$  i  $w_{noś}^{nasyc.} > 40\%$ ). Materiał o powyższych właściwościach zalicza się do gruntów niewysadzinowych (wg PN-S-02205:1998 „Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania”).

### Obwodnica Kuźnicy

Wskaźnik piaskowy SE kruszywa z podbudowy niezwiązanej, pobranego z otworów 1 i 2 wynosi od 38 do 65, a kruszywa z otworów 3 i 4 wynosi od 52 do 58. Wartości te spełniają wymagania normowe.

Ze względu na wskaźnik nośności ocena tego kruszywa jest następująca:

- kruszywo pobrane z otworu 1 spełnia krańcowy warunek dla podbudów pomocniczych ( $w_{noś} = 61\% > 60\%$ ),
- kruszywo pobrane z otworu 1d nie spełnia wymagania normy dla podbudów drogowych jw. ( $w_{noś} = 57\% < 60\%$ ),
- kruszywo pobrane z otworu 2 spełnia wymagania normowe dla podbudów pomocniczych ( $w_{noś} = 64\% > 60\%$ ),

- kruszywo pobrane z otworu 3 spełnia wymagania normy dla podbudów pomocniczych ( $w_{\text{noś}} = 61 \% > 60 \%$ ),
- kruszywo pobrane z otworu 4 spełnia wymagania dla podbudów pomocniczych ( $w_{\text{noś}} = 64 \% > 60 \%$ ).

Krzywa uziarnienia kruszywa z otworu 1 podbudowy niezwiązanej mieści się w krzywych granicznych dla podbudowy zasadniczej według normy PN-S-06102:1997 (rysunek 36). Krzywa uziarnienia kruszywa z otworu 2 podbudowy niezwiązanej wykracza poza dolną krzywą graniczną dla podbudowy zasadniczej w zakresie sit  $16 \div 31,5$  mm (rysunek 36). Uziarnienie tego kruszywa i kruszywa w podłożu gruntowym są prawie identyczne (rysunek 37). Krzywe uziarnienia kruszywa z otworów 3 i 4 podbudowy niezwiązanej mieszczą się w krzywych granicznych dla podbudowy zasadniczej tylko w obrębie sit od 0,075 do 2,0 i 12,8 mm. Uziarnienie tych mieszanek kończy się na sicie 63 mm, nie przekraczając dolnej krzywej granicznej dla podbudowy pomocniczej (rysunek 38). Górną warstwę podłoża otworów 1-4 tworzą naturalne grunty mineralne (pospółki). Wyznaczone dla próbek pobranych z 4 otworów wartości wskaźnika piaskowego ( $SE=66-78$ ), kapilarności biernej ( $H_{\text{kb}}=0,25-0,35\text{m}$ ) i wskaźników nośności, odpowiednio  $w_{\text{noś}}^{\text{bezp.}} > 50 \%$  i  $w_{\text{noś}}^{\text{nasyc.}} > 46 \%$  świadczą o niewysadzinowym charakterze podłoża.

#### Podsumowanie

Skrótowo sformułowana ocena podbudowy niezwiązanej i podłoża gruntowego nawierzchni odcinków badawczych na obwodnicach Nowej Soli, Trzebnicy, Białegostoku i Kuźnicy jest następująca:

#### Obwodnica Nowej Soli

- a) duże zróżnicowanie wskaźnika nośności podbudowy niezwiązanej, w tym przypadek niespełnienia wymagań,
- b) uziarnienie podbudowy niezwiązanej kwalifikuje ją jako podbudowę pomocniczą.

#### Obwodnica Trzebnicy

- a) słabe wartości wskaźnika nośności podbudowy niezwiązanej, w tym przypadek niespełnienia wymagań,
- b) górna warstwa podłoża gruntowego ma charakter wysadzinowy lub wątpliwy (w otworach 1 i 2, tj. na odcinku o stanie złym).

#### Obwodnica Białegostoku

Pod względem uziarnienia podbudowa niezwiązana na odcinku o konstrukcji według starego Katalogu nie spełnia wymagań ani jak dla podbudowy zasadniczej, ani jak dla podbudowy pomocniczej; materiał ten jest zbyt drobnoziarnisty.

### Obwodnica Kuźnicy

- a) wskaźnik nośności podbudowy niezwiązanej jest bardzo mały we wszystkich otworach, ledwo przekracza 60 %, a powinien wynosić co najmniej 80 %.
- b) uziarnienie podbudowy niezwiązanej zawarte jest w obszarze krzywych granicznych dla podbudowy pomocniczej i jest ono podobne do uziarnienia podłoża gruntowego.

#### **5.11 Trwałość nawierzchni odcinków badawczych**

Ugięcie sprężyste nawierzchni pod obciążenie dynamicznym zmierzono aparatem FWD. Na podstawie ugięć tworzących czaszę w obrębie ugięcia pod płytą oraz wyników badań podstawowych cech nawierzchni obliczono moduł sztywności pakietu warstw asfaltowych  $E_1$ , moduł sprężystości podbudowy niezwiązanej  $E_2$  i moduł sprężystości podłoża gruntowego  $E_3$ . Zgodnie z Katalogiem Wzmocnień i Remontów Nawierzchni podatnych i Półsztywnych (KWiRN PiP) moduł  $E_1$  skorygowano do temperatury równoważnej  $+10\text{ }^\circ\text{C}$ . Wartości modułów posłużyły do obliczenia stanu naprężeń i odkształceń pod naciskiem 50 kN rozłożonym na powierzchni kołowej o ciśnieniu kontaktowym 0,65 MPa, a mianowicie:

- odkształcenie ściskające w górnej części podłoża gruntowego,
- odkształcenie ściskające w górnej części podbudowy niezwiązanej,
- odkształcenie rozciągające w dolnej części pakietu warstw asfaltowych (podbudowie asfaltowej).

W obliczeniach nośności nawierzchni zastosowano kryteria zmęczeniowe, zalecane w KWiRN PiP, a mianowicie:

- kryteria zmęczeniowe warstw asfaltowych (grubość warstw asfaltowych, objętościowa zawartość asfaltu i wolna przestrzeń w warstwie podbudowy asfaltowej), według metody Instytutu Asfaltowego,
- kryteria deformacji strukturalnych podbudowy niezwiązanej i podłoża gruntowego, według metody Instytutu Asfaltowego.

Obliczono pozostałą trwałość (wyrażoną mln osi 100 kN) warstw asfaltowych  $N_a$  i podłoża gruntowego  $N_g$ , a opierając się na głównych pomiarach ruchu GPR również trwałość wyrażoną w latach dla nawierzchni tych 4 obwodnic. Wyniki tych obliczeń zamieszczono w załączniku 2. Wyniki te są na podstawie pomiarów ugięć w środku pasa ruchu, tj. na obszarze bez uszkodzeń, stosunkowo mało poddanemu działaniu ruchu samochodowego. Takie postępowanie jest zgodne z metodyką ustaloną w etapie I pracy, w celu określenia pierwotnych parametrów nawierzchni, które byłyby w jak najmniejszym stopniu skażone

oddziaływaniem ruchu drogowego (otwory badawcze również były zlokalizowane w środku pasa ruchu, czyli między śladami najczęstszych przejazdów kół samochodowych). Takie postępowanie, mające na celu odtworzenie pierwotnych cech konstrukcji nawierzchni zaleca [5].

### Obwodnica Nowej Soli

Uszkodzenia nawierzchni obwodnicy Nowej Soli, w tym odcinka o stanie złym są w postaci najczęściej drobnych spękań siatkowych, rozmieszczonych gniazdowo, rzadziej w postaci krótkich (do kilku metrów długości) pęknięć podłużnych i poprzecznych (załącznik 1, etap I). Zaznaczone na planie liniowym łaty są to pęknięcia siatkowe zabezpieczone techniką powierzchniowego utrwalenia. Rozmieszczenie pęknięć i łat jest na całym obszarze jezdni, nie tylko w śladach najczęstszych przejazdów kół samochodowych, w tym również na poboczach, ale oczywiście tych uszkodzeń jest najwięcej na pasach ruchu.

Średnia trwałość konstrukcji nawierzchni na odcinku o stanie złym (otwory 1 i 2) wynosi 6,6 lat podczas gdy na odcinku o stanie dobrym (otwory 3 i 4) jest prawie 2-krotnie większa i wynosi 11,3 lat. Ta stosunkowo mała trwałość wynika z małej trwałości warstw asfaltowych Na tej drogi, o kategorii ruchu KR5 (załącznik 2). Należy zauważyć, że miarodajny moduł E tych dwóch odcinków jest bardzo duży; wynosi średnio dla odcinka pierwszego 10708 MPa i dla odcinka drugiego 8697 MPa (większy moduł oznacza mniejszą trwałość). Średnie miarodajne ugięcie sprężyste pod płytą obciążającą na odcinku o stanie złym, na którym grubość warstw asfaltowych wynosi 17,0 cm jest większe (wynosi 0,206 mm) niż na odcinku o stanie dobrym, o grubości warstw asfaltowych 20,5 cm (wynosi 0,170 mm) (tablica 37). Zwraca uwagę mała ilość asfaltu w warstwie podbudowy z BA na tych odcinkach (tablica 37).

Istotne również z punktu widzenia trwałości jest stwierdzone podczas wiercenia próbek rozwarstwienia między warstwami wiążącą a podbudową w otworze 1 i 4 oraz między warstwami ścieralną i wiążącą w otworze 3 (załącznik 13, etap I). Można przypuszczać, że na obszarze kolein to rozwarstwienie będzie się rozprzestrzeniać, tym bardziej, że między warstwami wiążącą i podbudową naprężenie ścinające (oznaczone na próbkach celowo wybranych do oznaczenia tej cechy) jest ponad 2-krotnie mniejsze niż między warstwami ścieralną i wiążącą (histogramy na rysunku 48).

Stwierdzone rozwarstwienie oraz postać uszkodzeń wskazują, że pęknięcia nawierzchni ograniczają się do warstw ścieralnej i wiążącej lub tylko ścieralnej, czyli do warstw, które uległy odspojeniu. Odspojen takich będzie oczywiście najwięcej na obszarach obciążonych kołami pojazdów i o największych ugięciach konstrukcji nawierzchni. Wskaźnik

odkształcenia  $I_0$  (iloraz modułu wtórnego  $E_2$  i pierwotnego  $E_1$ ) podbudowy niezwiązanej jest na obu odcinkach badawczych większy od 2,2, zwłaszcza na odcinku o stanie złym (otwory 1 i 2) (tablica 1, etap I). Świadczy to o niedogęszczeniu warstwy podbudowy niezwiązanej na tym odcinku, co znajduje potwierdzenie w mniejszej wartości modułu sprężystości  $E_2$ , w porównaniu do modułu sprężystości  $E_2$  na odcinku o stanie dobrym (załącznik 2). Według normy PN-S-06102:1997 stosunek modułu odkształcenia wtórnego  $E_2$  do modułu pierwotnego  $E_1$  powinien być mniejszy od 2,2.

Wskaźnik zagęszczenia  $I_s$  podłoża poniżej warstwy z gruntocementu, zmierzony płytą dynamiczną, na odcinkach o stanie złym i dobrym jest mniejszy od 1,0 (tablica 2, etap I). Na odcinku o stanie złym (otwory 1 i 2) występuje w podłożu piasek wrażliwy na wodę, który charakteryzuje znaczna różnica między wskaźnikiem  $w_{nos}$  bezpośrednio po zagęszczeniu i po 4 dobach nasycania wodą (załącznik 3, tablica na str. 7).

Powyższe wyniki dowodzą, że uszkodzenia nawierzchni obwodnicy Nowej Soli są spowodowane zarówno niekorzystnymi właściwościami warstw asfaltowych jak i warstwy podbudowy niezwiązanej i podłoża gruntowego. Odwodnienie konstrukcji nawierzchni na odcinkach wytypowanych do badań było dobre, gdyż odcinki te leżały na niewysokim nasypie (1,0 – 2,0 m).

#### Obwodnica Trzebnicy

Uszkodzenia nawierzchni obwodnicy Trzebnicy, w tym odcinka o stanie złym są w postaci najczęściej drobnych spękań siatkowych, rozmieszczonych gniazdowo na całej powierzchni jezdni, przy czym ich największe zagęszczenie jest bliżej krawędzi zewnętrznych pasów ruchu (załącznik 1, etap I). Zaznaczone na planie liniowym łaty są to pęknięcia siatkowe zabezpieczone techniką powierzchniowego utrwalenia. Pęknięcia siatkowe w postaci gniazd występują również na poboczach, chociaż rzadziej, gdzie ruch jest sporadyczny.

Trwałość nawierzchni obwodnicy Trzebnicy wynosi średnio dla odcinka o stanie złym 53,9 lat, a dla odcinka o stanie dobrym średnio 43,5 lat (załącznik 2). Wyniki tych obliczeń są w oczywistej sprzeczności ze stanem rzeczywistym, który oceniany wizualnie wskazuje na liczne, głównie siatkowe pęknięcia. Trwałość ta oceniana w latach wynika w przypadku tej obwodnicy z dużej trwałości warstw asfaltowych Na, w porównaniu do trwałości warstw asfaltowych obwodnic Nowej Soli i Kuźnicy, ocenianych ze względu na uszkodzenia nawierzchni, podobnie jak obwodnica Trzebnicy. Trwałość warstw asfaltowych Na (oceniana liczbą osi) obwodnicy Trzebnicy jest duża, podobnie jak odcinka o konstrukcji według nowego Katalogu na obwodnicy Białegostoku, w porównaniu do trwałości warstw asfaltowych nawierzchni obwodnic Nowej Soli i Kuźnicy. Trwałość ta wynosi średnio

21,9 mln osi 100 kN dla odcinka o stanie złym i średnio 17,6 mln osi 100 kN dla odcinka o stanie dobrym. Charakterystyczną cechą odcinka o stanie złym, na którym w podłożu gruntowym znajduje się piasek gliniasty (oceniany jako materiał wątpliwy p. 5.10) jest bardzo mała różnica między trwałością warstw asfaltowych Na, a trwałością podłoża gruntowego Ng, w przeciwieństwie do tego, co jest na odcinku o stanie dobrym i na pozostałych obwodnicach. Pomiary ugięć sprężystych nawierzchni obwodnicy Trzebnicy były wykonane 24 września 2003 r., tj. po okresie suchego lata, czyli w dobrych warunkach gruntowo-wodnych. Ze względu na obecność w podłożu gruntowym na odcinku o stanie złym piasku wrażliwego na wodę musiało nastąpić po okresach opadów deszczu i na wiosnę istotne pogorszenie nośności nawierzchni tego odcinka, co skutkowało w obniżeniu trwałości. Można zatem sądzić, że gdyby pomiary ugięć sprężystych były wykonane w stanie nawodnienia tego materiału obliczona trwałość nawierzchni tego odcinka byłaby znacznie mniejsza. Należy zauważyć, że przedostająca się woda przez popękane warstwy asfaltowe do podbudowy niezwiązanej i do warstwy mrozoochronnej ma utrudniony z nich odpływ przez warstwę z gruncocementu, zwłaszcza jeżeli warstwa mrozoochronna jest wykonana z piasku drobnoziarnistego, tak jak to zrobiono na obwodnicy Trzebnicy.

Wyniki pomiarów wskaźnika odkształcenia  $I_0$  podbudowy niezwiązanej na odcinkach o stanie złym i dobrym nawierzchni obwodnicy Trzebnicy wskazuje na duże niedogęszczenie tej warstwy; wskaźnik ten równa się odpowiednio dla tych odcinków średnio 3,6 i 6,0. Trudno się temu dziwić, jeżeli warstwa ta była ułożona i zagęszczona na warstwie mrozoochronnej z piasku drobnoziarnistego o grubości około 20 cm. W tej sytuacji warstwy asfaltowe musiały być poddane niekorzystnie dużym ugięciom, zwłaszcza w początkowym okresie eksploatacji nawierzchni.

#### Obwodnica Białegostoku

Na odcinkach badawczych zlokalizowanych na obwodnicy Białegostoku uszkodzeń nawierzchni nie zarejestrowano (załącznik 1, etap I). Trwałość odcinka o konstrukcji nawierzchni według nowego Katalogu wynosi średnio 34,3 lat i jest ona graniczną trwałością warstw asfaltowych Na. Trwałość podłoża gruntowego Ng jest bardzo duża, wynosi > 100 mln osi 100 kN (załącznik 2). Ugięcie miarodajne pod płytą naciskową jest małe; wynosi średnio dla tego odcinka 0,150 mm. Cechy materiałów w warstwie podbudowy niezwiązanej i w podłożu gruntowym nie budzą zastrzeżeń (załącznik 3 i p. 5.10). Trwałość odcinka o konstrukcji nawierzchni według starego Katalogu jest bardzo mała, wynosi średnio 2,3 lata i jest ona graniczną trwałością warstw asfaltowych. Trwałość tych warstw wynosi średnio 0,6 mln osi 100 kN. Jest to sprzeczne ze stanem rzeczywistym, gdyż nawierzchnia ta,

z warstwą ścierną z mieszanki SMA nie wykazuje widocznych uszkodzeń. Trwałość podłoża gruntowego Ng na tym odcinku jest co najmniej 2-krotnie mniejsza niż trwałość podłoża na odcinku o konstrukcji nawierzchni według nowego Katalogu; wynosi średnio 43,7 mln osi 100 kN. Charakterystyczną cechą nawierzchni na odcinku o konstrukcji według starego Katalogu jest jej duże miarodajne ugięcie sprężyste pod płytą naciskową; wynosi średnio 0,235 mm. Miarodajny moduł sztywności warstw asfaltowych E1 tego odcinka sprowadzony do temperatury +10 °C jest prawie dwukrotnie mniejszy od miarodajnego modułu sztywności warstw asfaltowych E1 w tej samej temperaturze na odcinku według nowego Katalogu. Obie konstrukcje różnią się istotnie grubością warstw asfaltowych, wynosi ona średnio 25,5 cm na odcinku według nowego Katalogu i 19,8 cm na odcinku według starego Katalogu. Obliczona trwałość tych dwóch odcinków jest trwałością pozostałą. Odcinek o konstrukcji nawierzchni według starego Katalogu jest eksploatowany od 1998 r., odcinek o konstrukcji nawierzchni według nowego Katalogu jest eksploatowany od 2001 r. Cechy materiałów w warstwie podbudowy niezwiązanej i w podłożu gruntowym nie budzą zastrzeżeń.

Głównymi powodami mniejszej trwałości nawierzchni na odcinku konstrukcji według starego Katalogu, w porównaniu do trwałości nawierzchni na odcinku według nowego Katalogu są:

- mniejsza grubość warstw asfaltowych (tablica 37),
- mniejsza ilość asfaltu w podbudowie zasadniczej (tablica 37),
- większa wolna przestrzeń w podbudowie zasadniczej (tablica 37),
- gorsze cechy podbudowy niezwiązanej (mniejszy moduł E2 – załącznik 2).

#### Obwodnica Kuźnicy

Uszkodzenia nawierzchni obwodnicy Kuźnicy, w tym odcinka o stanie złym są w postaci typowych spękań zmęczeniowych podłużnych w śladzie prawego koła, gniazdowych spękań siatkowych, głównie w śladzie prawego koła oraz w postaci spękań poprzecznych, dzielących jezdnię na prostokątne lub kwadratowe płyty (załącznik 4, etap I). Trwałość nawierzchni obwodnicy Kuźnicy wynosi średnio dla odcinka o stanie złym 4,7 lat, a dla odcinka o stanie dobrym wynosi średnio 9,1 lat (załącznik 2). Trwałość ta jest ograniczona trwałością warstw asfaltowych Na, gdyż trwałość podłoża gruntowego Ng obu odcinków jest >100 mln osi 100 kN. W przeciwieństwie do pozostałych obwodnic moduły E2 (podbudowy niezwiązanej) i E3 (podłoża gruntowego) są prawie jednakowe; wynoszą odpowiednio 237 i 241 MPa, w przypadku odcinka o stanie złym oraz 278 i 231 MPa, w przypadku odcinka o stanie dobrym. Wartości E2 są 2,5÷3-krotnie mniejsze w porównaniu do wartości E2 pozostałych obwodnic (z wyjątkiem odcinka o konstrukcji nawierzchni według starego Katalogu na obwodnicy



Białegostoku). Świadczy to o słabości podbudowy niezwiązanej na tej obwodnicy, pomimo że podłoże gruntowe jest wystarczająco mocne (G1) i niewrażliwe na wodę (załącznik 3).

#### Podsumowanie

Średnie wyniki miarodajne parametrów otrzymanych z pomiarów ugięć sprężystych zestawiono w tablicy 39.

Tablica 39 Średnie wyniki miarodajne parametrów otrzymanych z pomiarów ugięć sprężystych

Nazwa obwodnicy	Parametr	U, mm		E1 (+10 °C), MPa		E2, MPa		E3, MPa	
		I	II	I	II	I	II	I	II
Nowa Sól	-	0,206	0,170	10708	8697	617	744	153	177
Trzebnica	-	0,219	0,195	4725	8343	756	929	143	166
Kuźnica	-	0,304	0,217	7216	3958	237	278	241	231
Białystok	-	0,1501)	0,2352	57591)	64812)	7061)	3042)	1891)	1862)

I – odcinek o stanie złym,

II – odcinek o stanie dobrym,

<sup>1)</sup> – odcinek o konstrukcji nawierzchni według nowego Katalogu

<sup>2)</sup> – odcinek o konstrukcji nawierzchni według starego Katalogu

Wyniki zestawione w tablicy 39 dają podstawę do sformułowania następujących spostrzeżeń:

- 1) W odniesieniu do obwodnic Nowej Soli, Trzebnicy, i Kuźnicy ugięcia sprężyste nawierzchni pod płytą naciskową U są na odcinkach o stanie złym (I) większe od ugięć sprężystych nawierzchni na odcinkach o stanie dobrym (II). Największe ugięcia sprężyste nawierzchni są na odcinkach badawczych na obwodnicy Kuźnicy. W przypadku obwodnicy Białegostoku najmniejsze (spośród wszystkich odcinków) ugięcia sprężyste nawierzchni są na odcinku o konstrukcji nawierzchni według nowego Katalogu (o połowę mniejsze niż na odcinku o stanie złym na obwodnicy Kuźnicy).
- 2) W odniesieniu do obwodnic Nowej Soli, Trzebnicy, i Kuźnicy wartości modułu sprężystości podbudowy niezwiązanej E2 są dla odcinków o stanie złym (I) mniejsze od wartości tego modułu dla odcinków o stanie dobrym (II). W przypadku obwodnicy Białegostoku moduł E2 podbudowy niezwiązanej na odcinku o konstrukcji według nowego Katalogu jest ponad 2-krotnie większy od modułu E2 tej warstwy na odcinku o konstrukcji według starego Katalogu.

Moduł E2 podbudowy niezwiązanej na obwodnicy Kuźnicy, zwłaszcza na odcinku o stanie złym (I) jest równy średniemu modułowi E3 podłoża gruntowego dla odcinków I i II na tej obwodnicy, przy czym wartości tego modułu są 2,5 – 3-krotnie mniejsze od wartości modułu E2 podbudowy niezwiązanej na odcinkach obwodnic Nowej Soli,

Trzebnicy oraz na odcinku o konstrukcji nawierzchni według nowego Katalogu na obwodnicy Białegostoku.

Wartości wskaźnika nośności  $w_{noś}$  podbudowy niezwiązanej i podłoża gruntowego na odcinkach badawczych obwodnicy Kuźnicy są podobne i wynoszą odpowiednio średnio 61,4 % i 61,5 % (p.5.10 i załącznik 3). Oznacza to, że ten sam materiał mineralny był stosowany do wykonania podłoża gruntowego (jako bardzo dobry do tego celu, gdyż jego  $w_{noś} \gg 10\%$ ) i do wykonania podbudowy niezwiązanej (do tego celu jest miernej jakości, gdyż ze względu na  $w_{noś}$  spełnia zaledwie krańcowy warunek dla podbudowy pomocniczej). Materiał ten został oceniony jako niewysadzinowy.

- 3) Przyczyną mniejszego modułu E3 podłoża gruntowego na odcinkach na obwodnicy Trzebnicy, w porównaniu do modułu E3 podłoża gruntowego na odcinkach obwodnicy Nowej Soli jest niewątpliwie warstwa mrozoochronna w konstrukcji nawierzchni obwodnicy Trzebnicy. Przy obliczeniu modułu E3 warstwa ta została wliczona do podłoża gruntowego (nawierzchnie obu obwodnic mają warstwę z gruntocementu, przy czym w przypadku obwodnicy Nowej Soli na warstwie tej leży bezpośrednio warstwa podbudowy niezwiązanej).
- 4) W odniesieniu do obwodnicy Białegostoku wartość modułu podbudowy niezwiązanej E2 jest dla odcinka I, o konstrukcji nawierzchni według nowego Katalogu większa ponad dwukrotnie, w porównaniu do wartości tego modułu dla odcinka II, o konstrukcji nawierzchni według starego Katalogu.
- 5) Z punktu widzenia trwałości (odporności na spękania zmęczeniowe) warstw asfaltowych jest bardzo niekorzystna duża różnica między modułami E1 i E2, zwłaszcza jeżeli moduł E1 osiąga dużą wartość. W potocznym rozumieniu oznacza to ułożenie warstw asfaltowych o dużej sztywności na podatnej podbudowie. W przypadku obwodnicy Nowej Soli moduł E1 warstw asfaltowych na odcinku o złym stanie jest większy 17,4 razy od modułu E2 podbudowy niezwiązanej, na odcinku o stanie dobrym 11,7 razy.

W przypadku obwodnicy Trzebnicy, stosunek modułów E1 do E2 nie jest tak drastycznie duży; wynosi dla odcinka o stanie złym (w podłożu jest piasek gliniasty, zwięzły) 6,3 i dla odcinka o stanie dobrym 9,0.

W przypadku obwodnicy Kuźnicy stosunek modułów E1 do E2 wynosi:

- odcinek o stanie złym – 30,4,
- odcinek o stanie dobrym – 14,2.

W przypadku obwodnicy Białegostoku stosunek modułów E1 do E2 wynosi:

- odcinek o konstrukcji nawierzchni według nowego Katalogu – 8,2,

- odcinek o konstrukcji nawierzchni według starego Katalogu – 21,3.

Ze względu na odporność na deformacje trwale nie było konieczne dążenie do osiągnięcia tak dużej sztywności warstw asfaltowych na tych obwodnicach. Wynikła ona głównie z trzech powodów:

- a) ustalenie ilości asfaltu w sposób zbyt „oszczędny” i niezgodny z procedurą projektowania składu BA,
- b) nadmiernego utwardzenia się asfaltu D50 z RG podczas procesu technologicznego budowy i eksploatacji nawierzchni,
- c) zaniżanie ilości asfaltu w produkowanych MMA w granicach dopuszczalnego odstępstwa od ilości według recepty (dotyczy to obwodnicy Nowej Soli i częściowo obwodnicy Trzebnicy).

Przykład obwodnicy Miłomłyna (DK7), której nawierzchnia jest o konstrukcji półsztywnej (podbudowa z chudego betonu nacinanego), z warstwami asfaltowymi zaprojektowanymi i wykonanymi według zasad Zeszytu 48/95 wykazuje, że nawierzchnia ta po kilku latach eksploatacji (od 1997 r.) pod intensywnym ruchem zachowuje się bardzo dobrze. Na obwodnicy Miłomłyna kolein nie ma, a spękania poprzeczne odbite występują co kilkaset metrów (są uszczelnione). Przykład ten dowodzi, że warstwy asfaltowe z BA o zwiększonej odporności na tworzenie się kolein według Zeszytu 48/95 mogą być trwale w granicach przeciętnego okresu żywotności dla tego rodzaju nawierzchni jeżeli zostały ułożone na sztywnej podbudowie.

## **6 Zalecenia**

### **6.1 Uwagi ogólne**

- 1) Zalecenia mają charakter ogólny i dotyczą podbudowy niezwiązanej. Biorąc pod uwagę zagadnienia techniczne w przypadku nowelizowania normy PN-S-06102:1997 – „Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie” lub opracowania OST dla tej warstwy w duchu spełnienia niniejszych propozycji nie wydaje się to możliwe bez wykonania szerokich badań laboratoryjnych i wykonania odcinków doświadczalnych. Nawet jeżeli z formalnego punktu widzenia taka nowelizacja nie będzie możliwa, bo wprowadzenie norm europejskich wkrótce nastąpi, to wyniki takich prac badawczych pozwolą lepiej opracować załącznik krajowy do normy europejskiej na mieszanki mineralne niezwiązane pod kątem wyboru odpowiednich kategorii wymagań, w zależności od przeznaczenia takiej mieszanki.
- 2) Wobec perspektywy wprowadzenia norm europejskich na MMA, które odchodzą od tradycyjnego podejścia w projektowaniu składu BA, opartego na metodzie Marshalla nie jest w związku z tym celowe podejmowanie prób usprawnienia procedury projektowania MMA związanej z tą metodą, a raczej należy z wyprzedzeniem, w stosunku do terminu ukazania się norm europejskich rozpowszechnić podejście zawarte w ostatnim projekcie normy na BA, według którego metoda Marshalla została wykluczona ze stosowania przy projektowaniu tej mieszanki z przeznaczeniem jej na drogi. Ważnym wymogiem, z punktu widzenia trwałości warstw asfaltowych jest ich związanie. Zalecenia w tym zakresie podane w normie PN-S-96025:2000 – „Nawierzchnie asfaltowe” są wystarczające. Jest tylko kwestia dostępności odpowiednich lepiszczy do skropienia i stosowania metody sprawdzania połączenia warstw (patrz Zeszyt 66/2004, wyd. IBDiM) oraz stosowania (prawidłowo) tego zabiegu na drodze.

### **6.2 Propozycja usprawnienia podbudowy niezwiązanej**

Wyniki badań in-situ i badań laboratoryjnych warstwy podbudowy niezwiązanej dowiodły, że:

- uziarnienie mieszank mineralnych w tej warstwie było zbyt drobnoziarniste, zwłaszcza we frakcji zwirowej, nawet jeżeli to uziarnienie spełniało w tym zakresie wymagania normowe,
- zagęszczenie warstwy podbudowy niezwiązanej było w wielu przypadkach niedostateczne.

Przykłady obwodnic, będących przedmiotem badań wskazują na konieczność zaostżenia wymagań względem podbudów niezwiązanych w następującym zakresie:

- a) poprawienia krzywych granicznych według normy PN-S-06102:1997 w taki sposób, aby we frakcji zwirowej było więcej ziaren grubych (krzywe graniczne powinny mieć przebieg zbliżony do uziarnienia nieciągłego; należy wprowadzić analogię do mieszanek SMA),
- b) wskaźnik odkształcenia  $I_0$ , jako stosunek modułu wtórnego  $E_2$  do pierwotnego  $E_1$  powinien być zmniejszony (zaostrzony), w stosunku do obecnego wymagania normowego ( $< 2,2$ ); przepisy szwedzkie mogą być przykładem,
- c) wykluczyć możliwość stosowania w podbudowie niezwiązanej kruszyw naturalnych nieprzekruszonych,
- d) zaostrzyć wymagania technologiczne, na przykład: zabronić układania warstwy asfaltowej na podbudowie niezwiązanej, której powierzchnia pokryta jest luźnym materiałem mineralnym, skrapiać powierzchnię podbudowy asfaltem upłynnionym

Ma to na celu zwiększenie modułu sprężystości tej warstwy gdyż zmniejszenie modułu sztywności warstw asfaltowych jest ograniczone ze względu na wymóg dotyczący odporności na deformacje trwałe, zwłaszcza jeżeli są stosowane w warstwach asfalty niemodyfikowane.

## 7 Wnioski

- 1) Główne powody powstawania spękań zmęczeniowych na nawierzchniach podatnych obwodnicy Nowej Soli, Trzebnicy i Kuźnicy były następujące:
  - a) nadmierna podatność warstwy podbudowy niezwiązanej, oceniona modulem sprężystości E2 względem bardzo sztywnych warstw asfaltowych, ocenianych modulem sztywności E1 w temperaturze +10 °C,
  - b) słabe związanie warstwy wiązającej BA z warstwą podbudowy BA, zwłaszcza w przypadku nawierzchni na obwodnicy Nowej Soli; przypadki delaminacji tych warstw są raczej objawem wtórnym,
  - c) stosowanie w warstwie podbudowy z BA asfaltu D50 (dotyczy obwodnic Nowej Soli i Trzebnicy), zamiast asfaltu D70, zgodnie z zaleceniem Zeszytu 48/95.
- 2) Nadmierna sztywność warstw asfaltowych zwłaszcza na odcinkach badawczych o stanie złym, oceniana modulem sztywności E (badanie aparatem NAT, w temperaturze dodatniej i ujemnej), modulem sztywności pełzania Ms i modulem sztywności E1 (badanie ugięć aparatem FWD) była spowodowana następującymi przyczynami:
  - a) stosowaniem błędnej (dotyczy obwodnicy Nowej Soli) lub uproszczonej procedury (dotyczy pozostałych obwodnic) projektowania ilości asfaltu w BA według metody Marshalla,
  - b) zaniżaniem projektowanej ilości asfaltu w BA, w stosunku do średnich ilości zalecanych w Zeszycie 48/95,
  - c) nadmiernym utwardzeniem się asfaltu D50 z RG w procesie technologicznym budowy nawierzchni i w czasie jej kilkuletniej eksploatacji,
  - d) zaniżoną, średnią ilością asfaltu w warstwie w stosunku do ilości zaprojektowanej, aczkolwiek w granicach dopuszczalnego odstępstwa (dotyczy 3 warstw na odcinkach badawczych na obwodnicy Nowej Soli i warstwy ścieralnej na obu odcinkach na obwodnicy Trzebnicy).
- 3) Nadmierna podatność podbudowy niezwiązanej, zwłaszcza na odcinkach badawczych o stanie złym była spowodowana następującymi przyczynami:
  - a) słabym zagęszczeniem (wskaźnik odkształcenia  $I_0 > 2,2$ ); dotyczy obwodnicy Nowej Soli i Trzebnicy oraz jednego odcinka na obwodnicy Białegostoku i jednego odcinka na obwodnicy Kuźnicy,

- b) stosowaniem materiału mineralnego, który był doskonały do ulepszenia podłoża, lecz był słaby do wykonania podbudowy ( $w_{noś} \sim 60\%$ ) – dotyczy obwodnicy Kuźnicy i Trzebnicy,
  - c) uziarnienie mieszanek mineralnych w większości przypadków było zbyt drobnoziarniste, zwłaszcza we frakcji żwirowej.
- 4) Położenie warstwy podbudowy niezwiązanej bezpośrednio na warstwie z gruncocementu (ulepszone podłoże) jest rozwiązaniem korzystniejszym (obwodnica Nowej Soli) niż położenie podbudowy na warstwie mrozoochronnej z drobnoziarnistego piasku, która leży na warstwie z gruncocementu (obwodnica Trzebnicy). Powoduje to gorsze zagęszczenie warstwy podbudowy niezwiązanej i dłuższe jej nawilgocenie i warstwy piasku z powodu trudności w szybkim odpływie wody z nad gruncocementu.
  - 5) Negatywny wpływ podłoża gruntowego na nośność nawierzchni mógł mieć miejsce tylko w przypadku jednego odcinka na obwodnicy Trzebnicy, gdzie stwierdzono obecność piasku gliniastego o właściwościach wysadzinowych.
  - 6) Trwałość nawierzchni obwodnic, oceniana w latach, odzwierciedla stan faktyczny w przypadkach 2 odcinków na obwodnicy Nowej Soli, 1 odcinka na obwodnicy Trzebnicy, 1 odcinka (o konstrukcji nawierzchni według nowego Katalogu) na obwodnicy Białegostoku i 2 odcinków na obwodnicy Kuźnicy.
  - 7) Przykłady badanych konstrukcji nawierzchni uzasadniają potrzebę nowelizacji przepisów technicznych dotyczących projektowania i wykonywania podbudowy niezwiązanej pod kątem zaostrożenia wymagań względem tej warstwy aby zwiększyć jej nośność. Przykłady te uzasadniają również potrzebę stosowania rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych mających na celu zwiększenia trwałości zmęczeniowej warstw asfaltowych.

**Bibliografia**

1. Jerzy Piłat, Piotr Radziszewski – „Zmiana właściwości reologicznych drogowych lepiszczy asfaltowych w wyniku starzenia eksploatacyjnego PAV”, X Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i Bezpieczne Nawierzchnie Drogowe”, Kielce, 11-12 maja 2004 r.
2. Maria Kalabińska, Jerzy Piłat – „Reologia asfaltów i mas mineralno-asfaltowych”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1982.
3. L. Lapalu, I.P. Planche, V.Monillet, P. Dumas, F. Durrien – „Evolution Of The Rheological Properties Of Polymer Modified Bitumens During Ageing”, Proceedings 3-rd Euroasphalt & Eurobitume Congress, Wiedeń, 12-14.05.2004 r.
4. D.Jamuis, i inni – „Results Of Test Site Experimentation With Fire 35/50 Multigrade Bitumens From The French Market On Heavy French Traffic Route Between 1999 and 2003”, Proceedings 3-rd Euroasphalt & Eurobitume Congress, Wiedeń, 12-14.05.2004 r.
5. A.Vanelstraete, L.Francken – “Prevention of Reflective Cracking in Pavements”, RILEM Report 18, 1997 r.