

INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW

Zakład Technologii Nawierzchni

S p r a w o z d a n i e

z etapu I tematu TN-229

**pt.: Ocena trwałości nawierzchni asfaltowych z podbudową
z kruszywa stabilizowanego mechanicznie**

Prowadzący temat:

doc. dr inż. Janusz Zawadzki

Kierownik Zakładu

Sprawozdanie opracowali:

doc. dr inż. Janusz Zawadzki
mgr Paweł Skierczyński

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Współpraca:

mgr inż. Tomasz Mechowski

Zakład Diagnostyki Nawierzchni IBDiM

Laboratoria Drogowe GDDKiA
w Białymstoku, Zielonej Górze i Wrocławiu

Warszawa, listopad 2003

Spis treści

strona

1	Wstęp	
	3	
2	Cel i program pracy	
	4	
3	Wybór odcinków badawczych	4
4	Lokalizacja odcinków i otworów badawczych	5
5	Metody badań	7
6	Wyniki badań	8
7	Wstępne omówienie wyników badań	8
	Podsumowanie	11
	Tablice	
	Załączniki	

1 Wstęp

Podczas przeglądu odcinków drogowych przeprowadzonego w związku z realizacją pracy badawczej nr TN-209 („Ocena stanu nawierzchni z warstwami z betonu asfaltowego, projektowanego według zasad zeszytu 48/95”, listopad 2001 r.) stwierdzono przypadki uszkodzenia nawierzchni typu zmęczeniowego. Bliższe zapoznanie się z historią tych odcinków wyjaśniło, że były to odcinki o wieku kilku lat i konstrukcji nawierzchni całkowicie nowej, wykonane według założeń, które określając to w skrócie miały zapewnić konstrukcji podatność i odporność na koleiny. Te dwie cechy można było osiągnąć w owym czasie (późne lata 90-te) wykonując podbudowę z kruszywa niezwiązanego, w postaci stabilizacji mechanicznej, a warstwy asfaltowe z betonu asfaltowego o zwiększonej odporności na odkształcenie lepko-plastyczne. Podatność podbudowy gwarantowała, że w warstwach asfaltowych nie pojawią się spękania odbite, które są typowymi uszkodzeniami nawierzchni asfaltowych z podbudową sztywną. Takie podbudowy były powszechnie wykonywane w latach wcześniejszych, ze względu na możliwość wykorzystania materiałów miejscowych (grunt stabilizowany cementem i chudy beton) oraz uzyskiwanie stosunkowo dobrej odporności na ugięcia konstrukcji nawierzchni w warunkach obciążeń ruchem panującym w owym czasie. Zmora takich konstrukcji były jednak poprzeczne spękania pochodzenia odbitego, które zmniejszały komfort jazdy i następnie w fazie ich rozwoju doprowadzały do poważnych uszkodzeń zarówno podbudowy z cementem jak i warstw asfaltowych. Środki zaradcze były wówczas słabo rozpoznane i nie sprawdzone nie tylko w Polsce. Podbudowy podatne z mieszanek mineralnych miały wyeliminować te mankamenty nawierzchni asfaltowych.

Pojawienie się przedwczesnych uszkodzeń warstw asfaltowych na odcinkach niektórych dróg (np. DK nr 19) nasunęło domniemanie, że przyczyną tego może być podbudowa podatna z kruszywa stabilizowanego mechanicznie, niedostosowana do stosunkowo sztywnych warstw asfaltowych w warunkach znacznie większego ruchu, od tego który panował na drogach krajowych kilka lat wcześniej. Potrzeba rozpoznania tego dylematu stała się podstawą do podjęcia niniejszej pracy badawczej, tym bardziej, że budowa nawierzchni o konstrukcji podatnej jest rozwiązaniem przyszłościowym.

2 Cel i program pracy

2.1 Cel pracy

Celem pracy jest wykrycie przyczyn pojawienia się przedwczesnych uszkodzeń nawierzchni asfaltowych z podbudową z kruszywa stabilizowanego mechanicznie, na przykładzie zbadania wytypowanych odcinków drogowych.

2.2 Program pracy etapu I

Na wniosek IBDiM (pismo IDM/TN/4390/301/03 z dnia 19.08.2003 r., GDDKiA wyraziła zgodę na rozszerzenie programu etapu I o punkt 5 (pismo GDDKiA-BRI 3/541/10/03 z dnia 25.08.2003 r.), który miał być pierwotnie realizowany w 2004 r. w ramach etapu II. W związku z tym program pracy etapu I obejmuje wykonanie następujących prac:

- 1) Wytypowanie w terenie 4 dróg o nawierzchni z podbudowa z kruszywa stabilizowanego mechanicznie, według następujących założeń:
 - a) konstrukcja nawierzchni wszystkich dróg o podobnym wieku około 5 lat,
 - b) na każdej drodze wyznaczenie 2 odcinków badawczych (pierwszy: w złym stanie, drugi: w dobrym stanie, jako porównawczy),
 - c) długość odcinka badawczego około 200 m.
- 2) Wykonanie graficznego rejestru stanu nawierzchni odcinków badawczych.
- 3) Wykonanie pomiarów ugięć sprężystych aparatem FWD co 10 m.
- 4) Pobranie próbek w 2 miejscach na każdym odcinku, łącznie z podbudową i określenie rodzaju gruntu podłoża.
- 5) Oznaczenie właściwości warstw, na podstawie badania wyciętych próbek, istotnych ze względu na cel badań.

1 Wybór odcinków badawczych

W ostatnich latach ze środków finansowych GDDKiA (i/lub) pomocowych) były budowane fragmenty dróg krajowych w postaci obwodnic miast. Ponieważ przebieg obwodnic był po nowym terenie, na ogół bez wykorzystywania istniejących dróg dlatego można się spodziewać, że konstrukcja nawierzchni tych obwodnic jest jednorodna. Nawierzchnie tych obwodnic były projektowane i wykonywane według

obowiązujących w danym czasie przepisów technicznych. Z tego względu odcinki do badań zostały zlokalizowane na obwodnicach według założeń jak w programie pracy, p. 1

Wykaz obwodnic, które spełniały w/w warunki otrzymano od Zleceniodawcy tematu. Początkowo wybrano 6 obwodnic, a mianowicie: Nowej Soli, Trzebnicy, Białegostoku, Kuźnicy, Miłomłyna i Świecia.

Ostatecznie wybrano 4 obwodnice, tj. Nowej Soli, Trzebnicy, Białegostoku i Kuźnicy, gdyż po wywiadzie okazało się, że podbudowy nawierzchni obwodnic Miłomłyna i Świecia zostały wykonane z użyciem cementu.

W sierpniu br. przeprowadzono wizję terenową tych 4 obwodnic i wybrano na nich po 2 odcinki badawcze, zgodnie z założeniami.

W celu określenia pierwotnych parametrów konstrukcji nawierzchni, które byłyby w jak najmniejszym stopniu skażona oddziaływaniem ruchu drogowego otwory badawcze wyznaczono między śladami najczęstszych przejazdów kół samochodowych (w środku pasa ruchu). W celu stwierdzenia aktualnego połączenia między warstwami oraz stopnia destrukcji warstw asfaltowych wywiercono również próbki kontrolne ze śladu koleiny prawej.

Badania terenowe odcinków wykonano we wrześniu i w październiku br. Otwory badawcze i pomiary w nich in situ wykonano w kooperacji z Laboratoriami Drogowymi GDDKiA w Zielone Górze, Wrocławiu i Białymstoku.

4 Lokalizacja odcinków i otworów badawczych

4.1 DK nr 3 – obwodnica Nowej Soli

Odcinek I (stan zły), od km 319+000 do km 319+200

- otwór badawczy nr 1, km 319+070, pas prawy,
- otwór badawczy nr 2, km 319+150, pas lewy.

Odcinek II (stan dobry), od km 319+650 do km 319+900

- otwór badawczy nr 3, km 319+700, pas prawy,
- otwór badawczy nr 4, km 319+775, pas lewy.

4.2 DK nr 5 – obwodnica Trzebnicy

Odcinek I (stan zły), od km 336+000 do km 336+200

- otwór badawczy nr 1, km 336+045, pas prawy,
- otwór badawczy nr 2, km 336+450, pas lewy.

Odcinek II (stan dobry), od km 336+800 do km 337+000

- otwór badawczy nr 3, km 336+855, strona prawa, pas prawy,
- otwór badawczy nr 4, km 336+932, strona prawa, pas lewy.

4.3 DK nr 8 – obwodnica Białegostoku

Odcinek I (konstrukcja wg nowego Katalogu, stan dobry), od km 643+000 do km 643+200

- otwór badawczy nr 1, km 643+015, pas lewy,
- otwór badawczy nr 2, km 643+000, granica pasa prawego i pobocza.

Odcinek II (konstrukcja wg starego Katalogu, stan dobry), od km 639+300 do km 639+500

- otwór badawczy nr 3, km 639+350, kierunek prawy, pas prawy,
- otwór badawczy nr 4, km 639+450, kierunek prawy, pas lewy.

4.4 DK nr 19 – obwodnica Kuźnicy

Odcinek I (stan zły), od km 1+700 do km 1+900

- otwór badawczy nr 1, km 1+887, pas lewy,
- otwór badawczy nr 2, km 1+740, pas prawy.

Odcinek II (stan dobry), od km 1+200 do km 1+450

- otwór badawczy nr 3, km 1+402, pas lewy,
- otwór badawczy nr 4, km 1+260, pas prawy.

4 Metody badań

- 1) Skład MMA warstw asfaltowych oraz ich właściwości fizyczne oznaczono według metod podanych w Zeszycie 64/2002 Informacje – Instrukcje „Procedury badań do projektowania składu i kontroli mieszanek mineralno-asfaltowych”, wydanym przez IBDiM (badania są w toku).
- 2) Naprężenie ścinające τ między warstwami asfaltowymi oznaczono według metody opisanej w sprawozdaniu dla GDDKiA z tematu TN-225 „Opracowanie wymagań względem połączeń międzywarstwowych warstw asfaltowych”, listopad 2001 r.
- 3) Moduł sztywności warstw asfaltowych w rozciąganiu pośrednim (NAT) oznaczono zgodnie z „Katalogiem wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych”, GDDKiA, IBDiM, 2001 r.
- 4) Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie próbki z BA oznaczono według metody opisanej w sprawozdaniu dla GDDKiA z tematu TN-222 „Analiza metody oceny wodoodporności do projektowania składu MMA”, listopad 2002 r.
- 5) Ugięcie sprężyste nawierzchni pod obciążeniem dynamicznym (FWD) oznaczono zgodnie z w/w Katalogiem.
- 6) Parametry podbudowy niezwiązanej i podłoża gruntowego, określone na podstawie pomiarów statyczną płytą naciskową VSS i płytą dynamiczną oraz sondą dynamiczną oznaczono zgodnie z „Instrukcją badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych”, część 2, załącznik, GDDKiA, 1998 r.
- 7) Właściwości fizyczne materiałów mineralnych z podbudowy i podłoża oznaczono zgodnie z obowiązującymi normami (badania są w toku).

5 Wyniki badań

Wyniki pomiarów terenowych nawierzchni odcinków badawczych na obwodnicach Nowej Soli, Trzebnicy, Białegostoku i Kuźnicy, łącznie z rejestrem ich stanu zamieszczono w załącznikach 1 ÷ 13.

W tablicach 1 ÷ 4 zestawiono wyniki badań podbudowy niezwiązanej i podłoża gruntowego tych odcinków, przy czym:

- w tablicy 1 zamieszczono wyniki pomiarów płytą VSS modułu odkształcenia E_1 i E_2 podbudowy niezwiązanej i wyniki obliczeń wskaźnika odkształcenia I_0 ,
- w tablicy 2 zamieszczono wyniki pomiarów płytą dynamiczną modułu E_D podłoża i wyniki obliczeń wskaźnika zagęszczenia I_s ,
- w tablicach 3 i 4 zamieszczono wyniki pomiarów wskaźnika zagęszczenia I_s i stopnia zagęszczenia I_D sondą udarową SD10 warstw niezwiązanych na obwodnicach odpowiednio Nowej Soli i Trzebnicy (ze względu na zbyt duży opór w sondowaniu tych warstw danych liczbowych z tych pomiarów na obwodnicach Białegostoku i Kuźnicy nie uzyskano).

Wyniki pomiarów naprężenia ścinającego τ między warstwami asfaltowymi, oznaczonego na próbkach wyciętych z nawierzchni zestawiono w tablicach 5 (obwodnica Nowej Soli), 6 (obwodnica Trzebnicy), 7 (obwodnica Białegostoku) i 8 (obwodnica Kuźnicy).

Wyniki pomiarów modułu sztywności E warstw asfaltowych metodą laboratoryjną (NAT) zestawiono w tablicach 9 (obwodnica Nowej Soli), 10 (obwodnica Trzebnicy), 11 (obwodnica Białegostoku) i 12 (obwodnica Kuźnicy).

W tablicy 13 zamieszczono grubości warstw nawierzchni odcinków.

6 Wstępne omówienie wyników badań

Zgodnie z programem pracy, większość badań laboratoryjnych i obliczenia parametrów trwałościowych są przewidziane do wykonania w etapie II pracy. Zamieszczone w niniejszym sprawozdaniu wyniki są w związku z tym częściowe i nie dają podstawy do formułowania nie budzących wątpliwości wniosków.

Dokonując w terenie przeglądu nawierzchni 3 obwodnic, a mianowicie w Nowej Soli, Trzebnicy i Kuźnicy były trudności w znalezieniu na nich pełnego odcinka o długości

co najmniej 200 m, który byłby absolutnie bez żadnych uszkodzeń. Dlatego wybór 2 odcinków w stanie złym i dobrym na danej obwodnicy należy raczej rozumieć, że stan ich nawierzchni był zły i lepszy. Oznacza to, że odcinek z nawierzchnią o stanie lepszym może wkrótce również stać się odcinkiem z nawierzchnią o stanie złym.

Stan nawierzchni obu odcinków na obwodnicy Białegostoku był dobry. Wybrano je bo na jednym z nich konstrukcja nawierzchni była według starego Katalogu z 1983 r. (odcinek II), na drugim zaś według nowego Katalogu z 1997 r. (odcinek I).

Z danych w tabelicy 1 można odczytać, że zagęszczenie podbudowy niezwiązanej w większości otworów badawczych było niedostateczne. Wskaźnik odkształcenia I_0 (iloraz E_2 i E_1) podbudowy niezwiązanej na obu odcinkach badawczych obwodnic Nowej Soli, Trzebnicy i po jednym odcinku na obwodnicach Białegostoku i Kuźnicy jest $> 2,2$. Szczególnie dużą wartość tego wskaźnika stwierdzono w przypadku odcinków na obwodnicy Trzebnicy, pomimo, że jeden z nich na podstawie oceny wizualnej, został zakwalifikowany, że jego stan jest dobry (lp. 3 i 4 w tabelicy 1). Według normy PN-S-06102:1997 „Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie” stosunek E_2 do E_1 powinien być $< 2,2$, co oznacza dobre zagęszczenie tej warstwy. Według tej normy wskaźnik zagęszczenia I_s powinien być $> 1,0$ lub $> 1,03$. Przy założeniu, że podbudowę na tych obwodnicach projektowano dla wskaźnika $W_{nos} \geq 80\%$ można na podstawie wyników w tabelicy 1 stwierdzić, że w przypadku obwodnicy Trzebnicy minimalny moduł odkształcenia od obciążenia pierwszego E_1 nie spełnia wymagania wg normy PN-S-06102:1997, gdyż jest $on < 80$ MPa.

Na podstawie pomiarów wskaźnika zagęszczenia I_s podłoża płytą dynamiczną (procedura pomiaru wg Instrukcji GDDP, 1998 r.) można stwierdzić biorąc pod uwagę wyniki średnie, że na żadnej obwodnicy nie uzyskano wartości $I_s \geq 1,0$ (tablica 2).

Na podstawie pomiarów wskaźnika zagęszczenia podłoża I_s sondą dynamiczną SD10 (po odsłonięciu warstwy gruntocementu) (procedura pomiaru wg Instrukcji GDDP, 1998 r.) można stwierdzić, że na każdej badanej obwodnicy uzyskano wartość I_s na głębokości 20 cm $\geq 1,0$ (tablice 3 i 4). Wyniki badania sondą na obwodnicach Białegostoku i Kuźnicy nie zamieszczono, gdyż sondowanie było przerwane już po zagłębieniu się sondy na głębokość 10 cm, ze względu na zatrzymane się sondy na tej głębokości.

Z wyjątkiem odcinka I na obwodnicy Białegostoku, którego nawierzchnia jest o konstrukcji według nowego Katalogu i sumaryczna grubość warstw asfaltowych

wynosi średnio 25,0 cm, na pozostałych odcinkach tych 4 obwodnic konstrukcja nawierzchni jest według starego Katalogu. Grubość warstw asfaltowych na tych odcinkach wynosi średnio od 18,0 do 22,0 cm. Tam gdzie podłoże gruntowe było z piasku lub piasku gliniastego została wykonana na nim warstwa z gruntocementu. Są to odcinki na obwodnicach Nowej Soli, Trzebnicy i Białegostoku (z wyjątkiem otworu nr 3). Na odcinkach I i II obwodnicy Kuźnicy podłoże gruntowe, które tworzy nasyp jest z pospółki.

Wyniki w tablicach 5 ÷ 8 wskazują, że związanie warstw ścieralnej z wiążącą jest znacznie lepsze niż wiążącej z podbudową asfaltową, we wszystkich otworach badawczych nawierzchni. Naprężenie ścinające τ między warstwami ścieralną i wiążącą waha się od 1,84 do 3,27 MPa (średnio 2,59 MPa), podczas gdy między warstwami wiążącą i podbudową asfaltową od 0,86 do 2,27 MPa (średnio 1,61 MPa) (w jednym przypadku połączenie między tymi warstwami uległo zniszczeniu podczas wiercenia próbek). Na podstawie wyciętych próbek nie da się ustalić czy skrapiano ułożoną już warstwę przed ułożeniem następnej. Formalnych wymagań, jeśli chodzi o wielkość międzywarstwowego naprężenia ścinającego τ nie ma, natomiast wyniki wcześniejszej pracy badawczej wskazały, że naprężenie to nie powinno być mniejsze niż 1,0 (1,2) MPa.

Na podstawie wyników pomiarów modułu sztywności E warstw asfaltowych (metodą NAT; tablica 9 ÷ 12) można stwierdzić, że w przypadku próbek z odcinków na obwodnicach Nowej Soli i Białegostoku wartość tego modułu jest wyraźnie zróżnicowana ze względu na rodzaj warstw i zróżnicowanie to jest proporcjonalnie większe w temperaturze 20°C niż w -10°C.

Najmniejsze wartości modułu E odnoszą się do warstwy ścieralnej, większe do wiążącej i największe do podbudowy; przy czym wartości modułu E warstw asfaltowych na obwodnicy Białegostoku są mniejsze niż na obwodnicy Nowej Soli.

W przypadku próbek z odcinków na obwodnicach Trzebnicy i Kuźnicy tego zróżnicowania nie obserwuje się; wartości tego modułu z badań warstw ścieralnej, wiążącej i podbudowy są w temperaturze dodatniej podobne, natomiast w temperaturze ujemnej wartości tego modułu dla warstw wiążącej i podbudowy są nawet nieco mniejsze niż dla warstwy ścieralnej. Zbadanie składu BA, z którego wykonano te warstwy pozwoli wyjaśnić jakie są tego przyczyny.

Należy stwierdzić, że duże wartości modułu sztywności warstw asfaltowych, zwłaszcza z powodu niedoboru asfaltu są niekorzystne z punktu widzenia

współpracy z podatną podbudową niezwiązaną, tym bardziej jeżeli taka podbudowa będzie wykazywała cechy niedogęszczenia.

Podsumowanie

Przy obecnym zaawansowaniu niniejszej pracy (zgodnie z programem) formułowanie ostatecznych wniosków byłoby zbyt ryzykowane. Wszystkie badania terenowe zostały wykonane, tak jak to planowano. Część badań laboratoryjnych została wykonana, pozostałe zaplanowane badania są w toku. Wyniki tych badań, które zostały zakończone skłaniają tym niemniej do sformułowania następujących wstępnych spostrzeżeń:

- 1) Zagęszczenie podbudowy niezwiązanej na badanych obwodnicach należy raczej uznać za niedostateczne. Ten sam mankament dotyczy podłoża gruntowego, aczkolwiek w mniejszym stopniu tam, gdzie było ono z pospółki (odcinek II na obwodnicy Białegostoku i oba odcinki na obwodnicy Kuźnicy)) – wg pomiarów płytami statyczną i dynamiczną. Pomiarzy zagęszczenia podłoża sondą dały wyniki pozytywne (we wszystkich otworach badawczych otrzymano $I_s \geq 1,0$) Rozbieżność między pomiarami płytą dynamiczną a sondą będzie musiała być wyjaśniona w następnym etapie pracy, gdyż obie metody są metodami pośrednimi oceny zagęszczenia.
- 2) Wartości modułu sztywności E warstw asfaltowych (badanie aparatem NAT) na odcinkach obwodnic Nowej Soli, Trzebnicy i Kuźnicy są większe prawie 2-krotnie od wartości modułu sztywności E warstw asfaltowych na odcinkach obwodnicy Białegostoku, w temperaturze 20°C i prawie 1,5-krotnie większej w temperaturze 10°C. W temperaturze ujemnej różnica ta jest mniejsza. Z punktu widzenia współpracy warstw asfaltowych z podatną podbudową niezwiązaną, zbyt duży moduł sztywności tych warstw nie jest korzystną ich cechą.
- 3) Związanienie warstw wiążącej z podbudową nie jest szczególnie mocne, chociaż ze względu na grube uziarnienie BA, z którego te warstwy zostały wykonane można by się spodziewać, że powinno być ono nie gorsze niż związanienie warstw ścieralnej i wiążącej.

Tablica 1 Wyniki badań nośności i zagęszczenia podbudowy niezwiązanej płytą VSS

Lp.	Punkt pomiarowy	Moduł pierwotny E ₁ , MPa	Moduł wtórny E ₂ , MPa	Wskaźnik odkształcenia I _o
1	2	3	4	5
DK 3, Obwodnica Nowej Soli				
1	Odcinek I:			
	– otwór badawczy nr 1,	114,4	375,6	3,28
	– otwór badawczy nr 2,	129,8	337,3	2,60
	<i>wynik średni</i>	<i>122,1</i>	<i>356,5</i>	<i>2,94</i>
2	Odcinek II:			
	– otwór badawczy nr 3,	210,9	562,5	2,67
	– otwór badawczy nr 4,	156,9	321,4	2,05
	<i>wynik średni</i>	<i>183,9</i>	<i>442,0</i>	<i>2,36</i>
DK 5, Obwodnica Trzebnicy				
3	Odcinek I:			
	– otwór badawczy nr 1,	90,0	250,0	2,78
	– otwór badawczy nr 2,	64,3	281,3	4,36
	<i>wynik średni</i>	<i>77,2</i>	<i>265,7</i>	<i>3,57</i>
4	Odcinek II:			
	– otwór badawczy nr 3,	49,3	281,3	5,71
	– otwór badawczy nr 4,	56,7	355,3	6,26
	<i>wynik średni</i>	<i>53,0</i>	<i>318,3</i>	<i>5,99</i>
DK 8, Obwodnica Białegostoku				
5	Odcinek I:			
	– otwór badawczy nr 1,	143,6	421,9	2,9
	– otwór badawczy nr 2,	59,2	210,9	3,6
	<i>wynik średni</i>	<i>101,4</i>	<i>316,4</i>	<i>3,3</i>
6	Odcinek II:			
	– otwór badawczy nr 3,	293,5	519,2	1,8
	– otwór badawczy nr 4,	110,7	270,0	2,4
	<i>wynik średni</i>	<i>202,1</i>	<i>394,6</i>	<i>2,1</i>
DK 19, Obwodnica Kuźnicy B.				
7	Odcinek I:			
	– otwór badawczy nr 1,	140,6	337,5	2,4
	– otwór badawczy nr 2,	225,0	321,4	1,4
	<i>wynik średni</i>	<i>182,8</i>	<i>329,5</i>	<i>1,9</i>
8	Odcinek II:			
	– otwór badawczy nr 3,	99,3	270,0	2,7
	– otwór badawczy nr 4,	132,4	281,3	2,1
	<i>wynik średni</i>	<i>115,9</i>	<i>275,7</i>	<i>2,4</i>

Tablica 2 Wyniki badań nośności i zagęszczenia podłoża płytą dynamiczną

Lp.	Punkt pomiarowy	Dynamiczny moduł podłoża E_D , MPa	Wskaźnik zagęszczenia I_s
1	2	3	4
DK 3, Obwodnica Nowej Soli			
1	Odcinek I:		
	– otwór badawczy nr 1,	28,0	0,91
	– otwór badawczy nr 2,	34,0	0,91
	<i>wynik średni</i>	<i>31,0</i>	<i>0,91</i>
2	Odcinek II:		
	– otwór badawczy nr 3,	-	-
	– otwór badawczy nr 4,	34,3	0,92
	<i>wynik średni</i>		
DK 5, Obwodnica Trzebnicy			
3	Odcinek I:		
	– otwór badawczy nr 1,	59,8	0,96
	– otwór badawczy nr 2,	54,2	0,94
	<i>wynik średni</i>	<i>57,0</i>	<i>0,95</i>
4	Odcinek II:		
	– otwór badawczy nr 3,	72,3	0,85
	– otwór badawczy nr 4,	57,8	0,95
	<i>wynik średni</i>	<i>65,1</i>	<i>0,90</i>
DK 8, Obwodnica Białegostoku			
5	Odcinek I:		
	– otwór badawczy nr 1,	88,6	0,85
	– otwór badawczy nr 2,	66,0	0,85
	<i>wynik średni</i>	<i>77,3</i>	<i>0,95</i>
6	Odcinek II:		
	– otwór badawczy nr 3,	120,3	1,03
	– otwór badawczy nr 4,	56,0	0,91
	<i>wynik średni</i>		<i>0,97</i>
DK 19, Obwodnica Kuźnicy B.			
7	Odcinek I:		
	– otwór badawczy nr 1,	102,3	1,00
	– otwór badawczy nr 2,	94,1	0,98
	<i>wynik średni</i>	<i>98,2</i>	<i>0,99</i>
8	Odcinek II:		
	– otwór badawczy nr 3,	59,1	0,92
	– otwór badawczy nr 4,	100,9	0,99
	<i>wynik średni</i>		<i>0,96</i>

Tablica 3 Wyniki pomiarów stopnia zagęszczenia I_D i wskaźnika zagęszczenia I_s sondą udarową SD 10 warstw niezwiązanych na DK nr 3 – Obwodnica Nowej Soli

Lp.	Rodzaj materiału w podłożu	Głębokość sondowania, m	I_D	I_s	Uwagi
Odcinek I					
1	Piasek średni	Otwór 1			po zagłębieniu sondy do 0,2 m bad. przerwano
		0,1 – 80 uderz.	0,81÷1,0	1,0	
		0,2 – 140 uderz.	0,81÷1,0	1,0	
2	Piasek średnio-drobny	Otwór 2			j.w.
		0,1 – 70 uderz.	0,81÷1,0	1,0	
		0,2 – 130 uderz.	0,81÷1,0	1,0	
Odcinek II					
3	Piasek pyłasty	Otwór 3			po zagłębieniu sondy do 0,3 m bad. przerwano
		0,1 – 54 uderz.	0,68÷0,80	0,999	
		0,2 – 65 uderz.	0,81÷1,0	1,0	
		0,3 – 170 uderz.	0,81÷1,0	1,0	
4	Piasek średni	Otwór 4			po zagłębieniu sondy do 0,2 m bad. przerwano
		0,1 – 54 uderz.	0,68÷0,80	0,999	
		0,2 – 170 uderz.	0,81÷1,0	1,0	

Tablica 4 Wyniki pomiarów stopnia zagęszczenia I_D i wskaźnika zagęszczenia I_s sondą udarową SD 10 warstw niezwiązanych na DK nr 5 – Obwodnica Trzebnicy

Lp.	Rodzaj materiału w podłożu	Głębokość sondowania, m	I_D	I_s	Uwagi
Odcinek I					
1	Piasek pyłasty	Otwór 1			po zagłębieniu sondy do 0,4 m bad. przerwano
		0,1 – 40 uderz.	0,758	0,990	
		0,2 – 80 uderz.	0,887	1,018	
		0,3 – 90 uderz.	0,909	1,023	
		0,4 – 90 uderz.	0,909	1,023	
2	Piasek pyłasty	Otwór 2			po zagłębieniu sondy do 0,6 m bad. przerwano
		0,1 – 41 uderz.	0,763	0,991	
		0,2 – 50 uderz.	0,800	0,999	
		0,3 – 50 uderz.	0,887	0,999	
		0,4 – 80 uderz.	0,887	1,018	
		0,5 – 80 uderz.	0,887	1,018	
		0,6 – 80 uderz.	0,887	1,018	
Odcinek II					

Lp.	Rodzaj materiału w podłożu	Głębokość sondowania, m	I_D	I_s	Uwagi
3	Piasek gruby	Otwór 3			po zagłębieniu sondy do 0,4 m bad. przzerwano
		0,1 – 60 uderz.	0,834	1,006	
		0,2 – 75 uderz.	0,875	1,015	
		0,3 – 80 uderz.	0,887	1,018	
		0,4 – 80 uderz.	0,887	1,018	
4	Piasek średni	Otwór 4			j.w.
		0,1 – 50 uderz.	0,800	0,999	
		0,2 – 81 uderz.	0,890	1,018	
		0,3 – 90 uderz.	0,909	1,023	
		0,4 – 95 uderz.	0,919	1,025	

Tablica 5 Wyniki pomiarów międzywarstwowego naprężenia ścinającego τ , oznaczonego na próbkach wyciętych z nawierzchni DK 3 – obwodnica Nowej Soli

Lp.	Oznaczenie połączenia (numery warstw)	Nr próbki	Przesunięcie ścinające	Siła ścinająca	Naprężenie ścinające	Nr próbki	Przesunięcie ścinające	Siła ścinająca	Naprężenie ścinające	Średnie naprężenie ścinające τ dla otworów
			mm	kN	MPa		mm	kN	MPa	MPa
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Odcinek I										
1	1/2	Otwór nr 1				Otwór nr 2				3,27
		1NS I	1,66	26,14	3,47	2NS I	1,64	20,70	2,74	
		1NS II	1,58	25,40	3,37	2NS II	1,48	25,79	3,42	
		1NS III	1,59	26,71	3,54	2NS III	1,68	23,17	3,07	
		Średnio	1,61	26,08	3,46	Średnio	1,60	23,22	3,08	
2	2/3	1NS I	0,45	10,01	1,33	2NS I	0,92	10,27	1,36	1,54
		1NS II	0,72	9,95	1,32	2NS II	1,21	14,39	1,91	
		1NS III	0,74	8,48	1,12	2NS III	0,95	16,26	2,16	
		Średnio	0,64	9,48	1,26	Średnio	1,03	13,64	1,81	
		Odcinek II								
3	1/2	Otwór nr 3				Otwór nr 4				2,29
		3NS I	1,16	14,77	1,96	4NS I	1,89	21,76	2,88	
		3NS II	0,93	12,34	1,64	4NS II	2,04	20,89	2,77	
		3NS III	1,15	10,98	1,46	4NS III	1,87	22,70	3,01	
		Średnio	1,08	12,70	1,68	Średnio	1,93	21,78	2,89	
4	2/3	3NS I	0,33	2,69	0,36	4NS I	0,48	7,17	0,95	0,86
		3NS II	0,63	6,55	0,87	4NS II	0,75	8,96	1,19	
		3NS III	0,48	3,56	0,47	4NS III	0,69	9,80	1,30	
		Średnio	0,48	4,27	0,57	Średnio	0,64	8,64	1,15	

Tablica 6 Wyniki pomiarów międzywarstwowego naprężenia ścinającego τ , oznaczonego na próbkach wyciętych z nawierzchni DK 5 – obwodnica Trzebnicy

Lp.	Oznaczenie połączenia (numery warstw)	Nr próbki	Przesunięcie ścinające	Siła ścinająca	Naprężenie ścinające	Nr próbki	Przesunięcie ścinające	Siła ścinająca	Naprężenie ścinające	Średnie naprężenie ścinające τ dla otworów
			mm	kN	MPa		mm	kN	MPa	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Odcinek I										
1	1/2	Otwór nr 1				Otwór nr 2				2,90
		1T I	1,21	20,21	2,68	2T I	1,22	19,71	2,61	
		1T II	1,51	22,82	3,03	2T II	1,65	22,96	3,04	
		1T III	1,78	24,63	3,27	2T III	1,56	20,87	2,77	
		Średnio	1,50	22,55	2,99	Średnio	1,48	21,18	2,81	
2	2/3	1T I	0,85	6,21	0,82	2T I	0,98	8,36	1,11	1,20
		1T II	0,93	8,66	1,15	2T II	1,13	11,33	1,50	
		1T III	1,02	9,77	1,30	2T III	0,79	9,94	1,32	
		Średnio	0,93	8,21	1,09	Średnio	0,97	9,88	1,31	
		Odcinek II								
1	1/2	Otwór nr 3				Otwór nr 4				2,55
		3T I	1,79	19,86	2,63	4T I	1,63	18,37	2,44	
		3T II	1,81	24,70	3,27	4T II	1,60	15,05	2,00	
		3T III	1,91	19,85	2,63	4T III	1,45	17,51	2,32	
		Średnio	1,84	21,47	2,85	Średnio	1,56	16,98	2,25	
2	2/3	3T I	1,33	15,35	2,04	4T I	1,13	11,73	1,56	1,81
		3T II	2,10	17,92	2,38	4T II	1,01	10,43	1,38	
		3T III	1,26	17,36	2,30	4T III	0,81	9,09	1,21	
		Średnio	1,56	16,88	2,24	Średnio	0,98	10,42	1,38	

**Tablica 7 Wyniki pomiarów międzywarstwowego naprężenia ścinającego τ , oznaczonego na próbkach wyciętych z nawierzchni DK 8 –
obwodnica Białegostoku**

Lp.	Oznaczenie połączenia (numery warstw)	Nr próbki	Przesunięcie ścinające	Siła ścinająca	Naprężenie ścinające	Nr próbki	Przesunięcie ścinające	Siła ścinająca	Naprężenie ścinające	Średnie naprężenie ścinające τ dla otworów
			mm	kN	MPa		mm	kN	MPa	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Odcinek I										
1	1/2	Otwór nr 1				Otwór nr 2				2,23
		1B I	2,21	16,23	2,15	2B I	2,26	16,72	2,22	
		1B II	1,74	16,72	2,22	2B II	1,67	17,33	2,30	
		1B III	1,69	16,18	2,15	2B III	2,30	17,49	2,32	
		Średnio	1,88	16,38	2,17	Średnio	2,08	17,18	2,28	
2	2/3	1B I	1,72	13,81	1,83	2B I	1,59	13,41	1,78	1,84
		1B II	1,09	13,86	1,84	2B II	1,74	16,70	2,21	
		1B III	1,84	12,58	1,67	2B III	1,58	12,64	1,68	
		Średnio	1,55	13,42	1,78	Średnio	1,64	14,25	1,89	
		1B I	oderwane przy wierceniu (przy wyjmowaniu próbek)	2B I	1,83	14,19	1,88			
1B II	2B II	1,35		13,82	1,83					
1B III	2B III	1,61		11,23	1,49					
Średnio	Średnio	1,60		13,08	1,73					

Lp.	Oznaczenie połączenia (numery warstw)	Nr próbki	Przesunięcie ścinające	Siła ścinająca	Naprężenie ścinające	Nr próbki	Przesunięcie ścinające	Siła ścinająca	Naprężenie ścinające	Średnie naprężenie ścinające τ dla otworów MPa
			mm	kN	MPa		mm	kN	MPa	
Odcinek II										
1	1/2	Otwór nr 3				Otwór nr 4				1,84
		3B I	0,85	6,72	0,89	4B I	2,04	19,73	2,62	
		3B II	1,06	8,26	1,10	4B II	1,95	19,77	2,62	
		3B III	1,35	12,55	1,66	4B III	1,82	16,02	2,12	
		Średnio	1,09	9,18	1,22	Średnio	1,94	18,51	2,45	
2	2/3	3B I	oderwane przy wierceniu			4B I	oderwane przy wierceniu			-
		3B II				4B II				
		3B III				4B III				
		Średnio				Średnio				

Tablica 8 Wyniki pomiarów międzywarstwowego naprężenia ścinającego τ , oznaczonego na próbkach wyciętych z nawierzchni DK 19 – obwodnica Kuźnicy Białostockiej

Lp.	Oznaczenie połączenia (numery warstw)	Nr próbki	Przesunięcie ścinające	Siła ścinająca	Naprężenie ścinające	Nr próbki	Przesunięcie ścinające	Siła ścinająca	Naprężenie ścinające	Średnie naprężenie ścinające τ dla otworów
			mm	kN	MPa		mm	kN	MPa	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Odcinek I										
1	1/2	Otwór nr 1				Otwór nr 2				3,07
		1K I	1,94	23,20	3,08	2K I	2,36	22,78	3,02	
		1K II	2,10	25,99	3,45	2K II	2,17	21,79	2,89	
		1K III	1,70	20,96	2,78	2K III	1,79	24,27	3,22	
		Średnio	1,91	23,38	3,10	Średnio	2,11	22,95	3,04	
2	2/3	1K I	0,85	8,54	1,13	2K I	2,15	21,24	2,82	2,27
		1K II	1,17	14,27	1,89	2K II	1,99	21,45	2,84	
		1K III	1,16	14,19	1,88	2K III	2,11	22,94	3,04	
		Średnio	1,06	12,33	1,64	Średnio	2,08	21,88	2,90	
		Odcinek II								
1	1/2	Otwór nr 3				Otwór nr 4				2,60
		3K I	2,50	24,83	3,29	4K I	2,02	15,95	2,11	
		3K II	2,21	21,62	2,87	4K II	1,68	16,76	2,22	
		3K III	2,52	22,66	3,00	4K III	2,04	15,72	2,08	
		Średnio	2,41	23,04	3,05	Średnio	1,91	16,14	2,14	
2	2/3	3K I	1,32	12,35	1,64	4K I	1,12	9,63	1,28	1,74
		3K II	1,28	15,13	2,01	4K II	1,47	17,35	2,30	
		3K III	1,41	13,74	1,82	4K III	1,00	10,44	1,38	
		Średnio	1,34	13,74	1,82	Średnio	1,20	12,47	1,65	

Objaśnienia do kolumny 2 w tablicach 5÷8: 1 – warstwa ścieralna, 2 – warstwa wiążąca, 3 – warstwa podbudowy asfaltowej, 4 – dolna część warstwy podbudowy asfaltowej.

Tablica 9 Średnie wyniki pomiarów modułu sztywności E warstw asfaltowych nawierzchni odcinków badawczych na DK nr 3 (obwodnica Nowej Soli), MPa

Lp.	Nazwa warstwy	Temperatura badania, °C							
		20	10	-2	-10	20	10	-2	-10
		Odcinek I							
		Otwór badawczy nr 1				Otwór badawczy nr 2			
1	Warstwa ścieralna	6470	11505	22354	29500	7777	13086	20154	27072
2	Średnio warstwa ścieralna w otworach 1 i 2					7124	12296	21254	28286
3	Warstwa wiążąca	11796	17681	26420	31934	12202	16390	23554	26433
4	Średnio warstwa wiążąca w otworach 1 i 2					11999	17036	24987	29184
5	Warstwa podbudowy	12959	20298	30226	37798	12171	19260	27400	29024
6	Średnio warstwa podbudowy w otworach 1 i 2					12565	19779	28813	33411
		Odcinek II							
		Otwór badawczy nr 3				Otwór badawczy nr 4			
7	Warstwa ścieralna	5528	10090	18234	26653	6331	11550	20322	27627
8	Średnio warstwa ścieralna w otworach 3 i 4					5930	10820	19278	27140
9	Warstwa wiążąca	6900	10921	15101	19831	9094	14914	26302	32336
10	Średnio warstwa wiążąca w otworach 3 i 4					7997	12918	20702	26084
11	Warstwa podbudowy	11525	14688	26171	30274	11023	14090	27905	31398
12	Średnio warstwa podbudowy w otworach 3 i 4					11274	14389	27038	30836

Tablica 10 Średnie wyniki pomiarów modułu sztywności E warstw asfaltowych nawierzchni odcinków badawczych na DK nr 5 (obwodnica Trzebnicy), MPa

Lp.	Nazwa warstwy	Temperatura badania, °C							
		20	10	-2	-10	20	10	-2	-10
		Odcinek I							
		Otwór badawczy nr 1				Otwór badawczy nr 2			
1	Warstwa ścieralna	6466	12673	20487	26782	7759	13839	20713	27942
2	Średnio warstwa ścieralna w otworach 1 i 2					7113	13256	20600	27362
3	Warstwa wiążąca	5128	12176	17658	24251	6717	11072	19601	24081
4	Średnio warstwa wiążąca w otworach 1 i 2					5923	11624	18630	24166
5	Warstwa podbudowy	8092	12641	20300	24861	6789	12717	19293	20971
6	Średnio warstwa podbudowy w otworach 1 i 2					7441	12679	19797	22916
		Odcinek II							
		Otwór badawczy nr 3				Otwór badawczy nr 4			
7	Warstwa ścieralna	7178	13803	22480	31184	5565	12524	21278	31240
8	Średnio warstwa ścieralna w otworach 3 i 4					6372	12354	21879	31212
9	Warstwa wiążąca	6992	12682	19935	22216	5405	10905	18763	23872
10	Średnio warstwa wiążąca w otworach 3 i 4					6199	11794	19349	23044
11	Warstwa podbudowy	8921	13782	20774	25847	6817	12849	20398	28393
12	Średnio warstwa podbudowy w otworach 3 i 4					7869	13316	20586	27120

Tablica 11 Średnie wyniki pomiarów modułu sztywności E warstw asfaltowych nawierzchni odcinków badawczych na DK nr 8 (obwodnica Białegostoku), MPa

Lp.	Nazwa warstwy	Temperatura badania, °C							
		20	10	-2	-10	20	10	-2	-10
		Odcinek I							
		Otwór badawczy nr 1				Otwór badawczy nr 2			
1	Warstwa ścieralna	2853	6857	17369	23596	3273	6967	15862	21681
2	Średnio warstwa ścieralna w otworach 1 i 2					3063	6912	16616	22639
3	Warstwa wiążąca	7932	15962	22231	29100	7295	13887	21776	27523
4	Średnio warstwa wiążąca w otworach 1 i 2					7614	14925	22004	28312
5	Warstwa podbudowy	4711	10962	21935	26571	5502	10683	19848	27925
6	Średnio warstwa podbudowy w otworach 1 i 2					5107	10823	20892	27248
		Odcinek II							
		Otwór badawczy nr 3				Otwór badawczy nr 4			
7	Warstwa ścieralna	3664	7547	14968	20844	4031	7901	15678	20712
8	Średnio warstwa ścieralna w otworach 3 i 4					3848	7724	15323	20778
9	Warstwa wiążąca	6509	11343	21011	26019	6186	11166	21465	27617
10	Średnio warstwa wiążąca w otworach 3 i 4					6348	11255	21238	26818
11	Warstwa podbudowy	11274	19829	24227	28237	11467	16603	23937	26965
12	Średnio warstwa podbudowy w otworach 3 i 4					11371	18216	24082	27601

Tablica 12 Średnie wyniki pomiarów modułu sztywności E warstw asfaltowych nawierzchni odcinków badawczych na DK nr 19 (obwodnica Kuźnicy Białostockiej), MPa

Lp.	Nazwa warstwy	Temperatura badania, °C							
		20	10	-2	-10	20	10	-2	-10
		Odcinek I							
		Otwór badawczy nr 1				Otwór badawczy nr 2			
1	Warstwa ścieralna	6512	12153	19587	28248	6371	12167	21405	29674
2	Średnio warstwa ścieralna w otworach 1 i 2					6442	12160	20496	28961
3	Warstwa wiążąca	7395	11582	18995	21059	7070	11804	20669	23928
4	Średnio warstwa wiążąca w otworach 1 i 2					7233	11693	19832	22494
5	Warstwa podbudowy	5977	10906	17493	22631	6596	12049	18449	25128
6	Średnio warstwa podbudowy w otworach 1 i 2					6287	11478	17971	23880
		Odcinek II							
		Otwór badawczy nr 3				Otwór badawczy nr 4			
7	Warstwa ścieralna	5062	9993	18537	24913	4661	11298	21973	29015
8	Średnio warstwa ścieralna w otworach 3 i 4								
9	Warstwa wiążąca	7561	12350	19585	24402	5879	11675	21117	31068
10	Średnio warstwa wiążąca w otworach 3 i 4								
11	Warstwa podbudowy	4860	10021	17424	26484	7104	11631	17548	21514
12	Średnio warstwa podbudowy w otworach 3 i 4								

Tablica 13 Grubości warstw nawierzchni odcinków badawczych na obwodnicach Nowej Soli, Trzebnicy, Białegostoku i Kuźnicy, cm

L p.	Punkt pomiarowy	Nazwa warstwy				
		ścieralna	wiążąca	podbudowa asfaltowa	łącznie warstwy asfaltowe	podbudowa niezwiązana + w. mrozo-ochronna + w. grunto-cementu
1	2	3	4	5	6	7
DK nr 3, obwodnica Nowej Soli						
1.	Odcinek I					
	- otwór badawczy 1	4,0	6,5	8,5	19,0	28,0+10,0
	- otwór badawczy 2	4,0	4,0	9,0	17,0	29,0+12,0
	<i>wynik średni</i>				18,0	28,5+11,0 ^{x)}
2.	Odcinek II					
	- otwór badawczy 3	4,5	5,5	10,5	8,5	26,0+38,0
	- otwór badawczy 4	3,5	6,5	11,5	9,0	27,0+26,0
	<i>wynik średni</i>				21,0	26,5+32,0 ^{x)}
DK nr 5, obwodnica Trzebnicy						
3.	Odcinek I					
	- otwór badawczy 1	4,0	8,5	9,0	21,5	24,0+17,0+16,0
	- otwór badawczy 2	4,5	7,0	11,0	22,5	25,0+19,0+17,0
	<i>wynik średni</i>				22,0	24,6+18,0+16,5
4.	Odcinek II					
	- otwór badawczy 3	4,5	7,0	8,0	19,5	23,0+23,0+24,0
	- otwór badawczy 4	4,5	7,5	11,0	23,0	24,0+21,0+21,0
	<i>wynik średni</i>				21,3	23,5+22,0+22,5
DK nr 8, obwodnica Białegostoku						
5.	Odcinek I					
	- otwór badawczy 1	4,0	7,0	13,5	24,5	24,0+24,0
	- otwór badawczy 2	3,5	7,0	15,0	25,5	25,0+23,5
	<i>wynik średni</i>				25,0	24,5+23,5 ^{x)}
6.	Odcinek II					
	- otwór badawczy 3	4,5	8,5	8,0	21,0	30,0+20,0 ^{xx)}
	- otwór badawczy 4	3,5	8,0	7,0	18,5	32,0+39,0 ^{x)}
	<i>wynik średni</i>				19,8	31,0+20,0 ^{xx)} 31,0+39,0 ^{x)}
DK nr 19, obwodnica Kuźnicy						
7.	Odcinek I					
	- otwór badawczy 1	5,5	5,0	9,0	19,5	42,0
	- otwór badawczy 2	5,5	4,0	7,0	16,5	39,0
	<i>wynik średni</i>				18,0	40,5 ^{xx)}
8.	Odcinek II					
	- otwór badawczy 3	4,0	4,0	10,0	18,0	30,0
	- otwór badawczy 4	5,5	6,0	7,0	18,5	40,0
	<i>wynik średni</i>				18,3	35,0 ^{xx)}

x) warstwa gruntocementu,

xx) podłoże również z pospółki.