

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

**S p r a w o z d a n i e**  
**z tematu TN/TG-221, zadanie A, etap II**  
**pt.:**  
**Metody stosowania geosyntetyków do budowy i wzmocnienia**  
**nawierzchni oraz ziemnych budowli drogowych.**

Umowa nr 24 / GDDKiA / 2002  
z Generalną Dyрекcją Dróg Krajowych i Autostrad

Prowadzący temat:

doc. dr inż. Janusz Zawadzki

Autorzy sprawozdania:

doc. dr inż. Janusz Zawadzki

mgr Paweł Skierczyński

Kierownik Zakładu

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Współpraca:

mgr inż. Tomasz Mechowski

Zakład Diagnostyki Nawierzchni, IBDiM

Warszawa, wrzesień 2003

## Spis treści

|  | strona |
|--|--------|
| 1 Wstęp  | 3      |
| 2 Cel tematu i program etapu II  | 3      |
| 3 Studia literatury  | 4      |
| 3.1 Wyciąg ze zbioru referatów na IV międzynarodową konferencję RILEM „Spękania odbite w nawierzchniach”,<br>Ottawa, 26 – 30.03.2000 r.  | 4      |
| 3.2 Wyciąg ze zbioru referatów na III międzynarodową konferencję RILEM „Spękania odbite w nawierzchniach”,<br>Maastricht, 2-4.10.1996 r. | 17     |
| 3.3 Pozycje krajowe  | 26     |
| 3.4 Inne źródła przestudiowane   | 32     |
| 4 Stan odcinków, na których zastosowano geosyntetyki<br>w warstwach asfaltowych  | 34     |
| 4.1 Opis odcinków  | 34     |
| 4.2 Podsumowanie spostrzeżeń z obserwacji odcinków na których<br>zastosowano geosyntetyki w warstwach asfaltowych                        | 45     |
| 4.3 Główne przyczyny dotychczasowych niepowodzeń w stosowaniu<br>geosyntetyków do warstw asfaltowych                                     | 46     |
| 5 Wyniki badań i ich analiza   | 46     |
| 5.1 Połączenie warstw z geosyntetykiem   | 46     |
| 5.2 Ugięcia  | 48     |
| 5.2.1 Pomiar ugięć belką Benkelmana  | 48     |
| 5.3 Trwałość nawierzchni   | 53     |
| 6 Wnioski  | 76     |

## **1 Wstęp**

Dotychczasowe, co najmniej kilkuletnie stosowanie geosyntetyków w warstwach asfaltowych było na zasadzie dużej dowolności jeśli chodzi o przestrzeganie podstawowych zasad konstrukcyjnych i technologicznych w budowywania tego rodzaju materiałów. Dowolność ta wynikała z różnego poziomu wiedzy biur projektowych lub osób decydujących o takim czy innym zastosowaniu geosyntetyków w nawierzchniach asfaltowych, z punktu widzenia celu tego zastosowania, wyboru odpowiedniego produktu, spełnienia wymogów konstrukcyjno-technologicznych i bardzo często chęci obniżenia kosztów tego przedsięwzięcia. Jedynymi formalnymi dokumentami zezwalającymi na stosowanie geosyntetyków w warstwach asfaltowych są aprobaty techniczne na te wyroby oraz KWiRN PiP/2001. Jednak zawarte w nich zapisy odnośnie zaleceń konstrukcyjno-technologicznych są bardzo skąpe. Wiedzę tę uzupełniają w przypadkach niektórych producentów geosyntetyków zalecenia techniczne zawarte w prospektach firmowych. Trzeba jednak mieć na uwadze, że producent jest najczęściej zainteresowany w jak największej sprzedaży swoich wyrobów i nie ponosi odpowiedzialności za ewentualne niepowodzenie.

Wyniki dotychczasowych zastosowań geosyntetyków do wzmocnienia warstwa asfaltowych nie napawają optymizmem. Przyczyny są różne; opisano je w jednym z rozdziałów tego sprawozdania. Również nie udało się zebrać na podstawie krajowych zastosowań geosyntetyków absolutnie przekonujących dowodów o ich skuteczności, podczas gdy studia literatury potwierdzają jednak ich pozytywny efekt, oczywiście pod warunkiem spełnienia określonych wymagań. Na negatywny obraz krajowych zastosowań geosyntetyków wpłynęły niewątpliwie przyczyny wyżej opisane.

Na podstawie wiedzy z publikacji zagranicznych i krajowych oraz obserwacji i badań odcinków drogowych, na których zastosowano geosyntetyki opracowano poza programem wstępne zalecenia stosowania tych wyrobów do warstw asfaltowych aby się przybliżyć do uzupełnienia luki w praktycznej wiedzy w tym zakresie na użytek projektantów i wykonawców.

## **2 Cel tematu i program etapu II**

Celem tematu była ocena metod stosowania geosyntetyków do wzmocnienia nawierzchni asfaltowych i ziemnych budowli drogowych, na podstawie analizy właściwości tych materiałów, sposobów ich stosowania i wyników badań terenowych.

Program pracy etapu II przewidywał:

- 1) Analizę wyników pomiarów nośności konstrukcji nawierzchni wzmocnionych materiałami siatkowymi oraz oceną techniczną zastosowanych wzmocnień na wytypowanych odcinkach drogowych, w tym analiza trwałości nawierzchni.
- 2) Opracowanie metod wzmocnienia nawierzchni asfaltowych materiałami siatkowymi.
- 3) Sprawozdanie z prac, zawierające szczegółowe wnioski dotyczące stosowania geosyntetyków.

### **3 Studia literatury**

#### **3.1 Wyciąg ze zbioru referatów na IV międzynarodową konferencję RILEM „Spękania odbite w nawierzchniach”, Ottawa, 26 – 30.03.2000 r.**

M. Coni i P. M. Bianco, w artykule STEEL REINFORCEMENT INFLUENCE ON THE DYNAMIC BEHAVIOUR OF BITUMINOUS PAVEMENT wysnuli następujące stwierdzenia na podstawie symulacji komputerowej z zastosowaniem programu ANYSYS, w odniesieniu do wzmocnienia konstrukcji nawierzchni podatnej geosiatką stalową, zainstalowaną na spodzie warstwy podbudowy asfaltowej:

- a) wzmocnienie nawierzchni asfaltowej w sposób jak wyżej powoduje znaczne zmniejszenie odkształcenia pionowego przede wszystkim warstw asfaltowych w porównaniu do konstrukcji nawierzchni bez siatki; na spodzie warstw niezwiązanych różnicy tej nie ma między konstrukcjami z i bez siatki,
- b) wzmocnienie nawierzchni asfaltowej w sposób jak wyżej powoduje zmniejszenie naprężenia rozciągającego w podbudowie asfaltowej, w porównaniu do konstrukcji nawierzchni bez siatki; na spodzie warstw niezwiązanych różnicy tej nie ma między konstrukcjami z i bez siatki,
- c) nie ma istotnego wpływu na wielkość naprężeń pionowych (ściskających) i poziomych (rozciągających) i poprzecznych (ścinających) głębokość umieszczenia siatki w warstwie podbudowy asfaltowej,
- d) wzmocnienie nawierzchni z pęknięciami siatką stalową, zainstalowaną na spodzie warstwy podbudowy asfaltowej zapobiega rozwieraniu się tych pęknięć pod obciążeniem dynamicznym, co w porównaniu z nawierzchnią nie wzmocnioną przyczynia się do istotnego przedłużenia trwałości nawierzchni wzmocnionej,
- e) powyższe korzyści wynikają z dużej sztywności geosiatki stalowej.

Arian de Bondt w artykule EFFECT OF REINFORCEMENT PROPERTIES stwierdza, że wybór odpowiedniego geosyntetyku do wzmocnienia nawierzchni aby przeciwdziałać spękanom odbitym (w domyśle przy założeniu, że jej nośność jest wystarczająca) na podstawie jego wytrzymałości na rozciąganie jest podejściem błędnym, gdyż efekt takiego wzmocnienia zależy od sztywności geosyntetyku i jego umocowania między warstwami asfaltowymi. Im większa jego sztywność (w N/mm) tym mniejsze naprężenie w warstwie. Autor dochodzi do wniosku, że w celu zapobieżenia powstawaniu spękań powierzchniowych (w warstwie ścieralnej) wywołanych dobową i sezonową różnicą temperatury korzystniej jest zastosować w warstwie ścieralnej bardziej miękki asfalt lub asfalt modyfikowany polimerem niż wbudowywać pod tą warstwą geosyntetyk, który i tak nie zapobiegnie powstawaniu spękań w warstwie ścieralnej, wywołanych powtarzającymi się różnicami temperatury, a jedynie może tylko zapobiec rozprzestrzenianiu się spękań do niżej położonych warstw nawierzchni. Drugim powodem sprzyjającym powstawaniu spękań w warstwie ścieralnej jest starzenie się w niej asfaltu, dlatego wzmocnienie tej warstwy geosyntetykiem z tego powodu jest bezcelowe. Dalej stwierdza on, że zastosowanie wzmocnienia geosyntetykiem pakietu warstw asfaltowych na sztywnej podbudowie przedłuża ich żywotność w rozumieniu, że przeniesie on większą liczbę cykli rozciągających na skutek skurczu termicznego do czasu pojawienia się pęknięcia, gdyż wówczas naprężenia rozciągające są przejmowane przez geosyntetyk. Zjawisko powstawania pęknięć termicznych ma charakter wolnozmienny. Jednak określenie liczbowe tego zjawiska jest nadal nierozwiązane. Autor tego artykułu podjął próbę liczbowej oceny wzmocnienia nawierzchni półsztywnej w oparciu o założenia teoretyczne i zastosowanie metody elementów skończonych.

W nawierzchni o konstrukcji półsztywnej ruchy skurczowe podbudowy sztywnej tym mniej przyczyniają się do powstania pęknięć na spodzie pakietu warstw asfaltowych jeżeli w warstwach tych będzie użyty bardziej miękki asfalt, będzie małe tarcie między podbudową sztywną a leżącą na niej warstwą asfaltową oraz gdy pakiet warstw asfaltowych będzie grubszy. Duża grubość pakietu warstw asfaltowych przyczynia się również do mniejszego przenikania ujemnej temperatury do warstwy sztywnej z betonu cementowego, która jest bardzo podatna na skurcze termiczne. Zależność między wielkością spadku temperatury a naprężeniami skurczowymi w warstwach asfaltowych ma charakter liniowy, co oznacza, że na przykład 2-krotnie większy spadek temperatury będzie powodował 2-krotny wzrost wskaźnika naprężeń, co w przeliczeniu na żywotność pakietu warstw asfaltowych (tzn. powstanie w nich pęknięcia) będzie oznaczało 6-krotne jej zmniejszenie. Zwiększenie np. grubości warstw

asfaltowych z 50 mm do 100 mm powoduje zmniejszenie dobowego spadku temperatury w tej warstwie o 30 %. Przy dobowych zmianach temperatury warstwy asfaltowe odgrywają rolę izolacji względem warstwy podbudowy sztywnej. W warunkach zimowych cała konstrukcja się oziębia i w przypadku dużych ruchów poziomych podbudowy sztywnej na skutek jej skurczu następuje pęknięcie warstw asfaltowych po przekroczeniu dopuszczalnego granicznego odkształcenia. Autor z punktu widzenia klimatu w Holandii pomija wpływ sezonowych zmian temperatury na powstawanie pęknięć w warstwach asfaltowych gdyż zmiany temperatury między sezonami są powolne.

W celu zapobieżenia powstawaniu spękań warstw asfaltowych generowanych od spodu na skutek ruchów poziomych podbudowy sztywnej taniej wg tego autora zastosować wzmocnienie warstw asfaltowych geosyntetykiem niż zwiększać ich grubość.

Spękania pakietu warstw asfaltowych postępujące od góry ku dołowi mają najczęściej miejsce w następujących warunkach:

- gorącego klimatu, o dużych, dobowych wahaniach temperatury w połączeniu z dużym nasłonecznieniem, małą wilgotnością i dużym wiatrem,
- starych warstw asfaltowych ze zestarzonego asfaltu.

Spękania pakietu warstw asfaltowych postępujące od dołu ku górze mają najczęściej miejsce w następujących warunkach:

- zimnego klimatu z powtarzającymi się dużymi spadkami temperatury (w przypadku warstw asfaltowych o dużej grubości spękania te powstają wolniej ze względu na ich izolacyjną rolę względem warstwy podbudowy sztywnej).

Ten rodzaj spękań wpływa bardziej niekorzystnie na stan konstrukcji niż rodzaj poprzedni (penetracja wody do podłoża gruntowego, duże przemieszczenia krawędzi pęknięcia).

Tenże autor zajął się również zagadnieniem spękań wywołanych przez ruch pojazdów. Podobnie jak w przypadku pęknięć wywołanych zmianami temperatury również efekt wzmocnienia warstw asfaltowych popękanych na skutek działania ruchu pojazdów zależy od sztywności geosyntetyku. W powszedniej praktyce geosyntetyki ocenia się na podstawie wytrzymałości na rozciąganie w pokojowej temperaturze i przy małych prędkościach rozciągania, co nie ma porównania do tego czemu podlegają na drodze. Takie warunki badania nie pozwalają obliczyć sztywności geosyntetyku.

Jak podaje N.H. Thorn w artykule A SIMPLIFIED COMPUTER MODEL FOR GRID REINFORCED ASPHALT OVERLAYS w Wielkiej Brytanii roboty utrzymaniowe spękanych nawierzchni asfaltowych, polegają najczęściej na ułożeniu nowej warstwy (warstw) asfaltowej (tzw. nakładki) z lub bez wzmocnienia geosiatką. W kraju tym przyjęto jako standardowe rozwiązanie, że zastosowanie warstw asfaltowych o grubości co najmniej 180 mm wystarczająco zabezpiecza przed powstaniem spękań odbitych od podbudowy sztywnej. Według tego autora, w kraju tym przyczyną powstawania spękań odbitych jest raczej ruch drogowy niż temperatura.

A.Vanelstracte, D. Leonard i I Veys stosując metodę elementów skończonych w artykule STRUCTURAL DESIGN OF ROADS WITH STEEL REINFORCING NETTINGS wykonali obliczenia, których wyniki potwierdziły korzyści wynikające z zastosowania geosiatki stalowej Bitufor do wzmocnienia konstrukcji półsztywnej (warstwy asfaltowe na podbudowie z płyt betonowych) i podatnej (warstwy asfaltowe na starej, popękanej nawierzchni asfaltowej z podbudową podatną). Geosiatka była umiejscowiona pod nowymi warstwami asfaltowymi i jej zadaniem było przeciwdziałanie tworzeniu się w ich spodzie spękań odbitych nad rozwartymi szczelinami. Przyjęto zgodnie ze stosowaną praktyką, że siatka Bitufor będzie zatopiona w warstwie slurry sealu, o grubości 7,0 mm z asfaltem modyfikowanym.

Wyniki analizy:

a) Przypadek pęknięć warstwy (warstw) asfaltowej wywołanych cyklami termicznymi.

Siatka Bitufor najbardziej przejmuje naprężenie rozciągające i istotnie redukuje odkształcenie poziome warstwy asfaltowej bezpośrednio nad szczeliną w podbudowie i w najbliższym jej sąsiedztwie, w porównaniu do warstwy asfaltowej bez wzmocnienia tą siatką. Największy efekt tego wzmocnienia jest wtedy gdy siatka jest zainstalowana bezpośrednio na spodzie warstwy asfaltowej; wówczas redukcja odkształcenia poziomego (rozciągającego) w warstwie asfaltowej o grubości 60 mm zbrojonej siatką jest około 13-krotna, w porównaniu do odkształcenia warstwy asfaltowej o takiej samej grubości lecz nie zbrojonej. W przypadku warstwy asfaltowej o tej grubości redukcja ta zanika gdy siatka jest umieszczona 20 mm nad szczeliną podbudowy sztywnej. Znaczenie umiejscowienia siatki w warstwie asfaltowej, wyrażone wskaźnikiem trwałości (stosunek trwałości warstwy wzmocnionej do trwałości warstwy nie wzmocnionej, gdzie trwałość oznacza liczbę cykli odkształceniowych wywołanych skurczem termicznym aż pojawi się pęknięcie poprzeczne w warstwie asfaltowej nad szczeliną w podbudowie) ilustrują wyniki w tabelicy 1.

**Tablica 1 Wyniki obliczeń wskaźnika trwałości warstwy asfaltowej wzmocnionej siatką stalową Bitufor i leżącej na podbudowie z betonu cementowego ze szczelinami poprzecznymi rozwartymi (na podstawie założeń teoretycznych dla warunków termicznych)**

| Grubość warstwy<br>(warstw) asfaltowej<br>(mm ) | Wartość wskaźnika trwałości                                       |   |
|---|---|---|
|   | Siatka umiejscowiona<br>10 mm powyżej spodu<br>warstwy asfaltowej | Siatka umiejscowiona<br>20 mm powyżej spodu<br>warstwy asfaltowej |
| 40  | 6,8   | 1,27  |
| 60  | 6,5   | 1,31  |
| 80  | 8,2   | 1,63  |
| 100   | 8,8   | 1,87  |

Największa (relatywnie) korzyść ze stosowania siatki Bitufor jest w przypadku grubszych warstw (80 lub 100 mm, w badanych przypadkach). Umieszczenie siatki zdecydowanie w strefie rozciągania warstwy (warstw) asfaltowej dało prawie 5-cio krotne zwiększenie wskaźnika trwałości.

- b) Przypadek pęknięć warstwy (warstw) asfaltowej wywołanych cyklami obciążeniowymi od ruchu.

Pęknięcia tego rodzaju warstwy (warstw) asfaltowej są wywołane siłami ścinającymi od kół pojazdów, występującymi nad szczeliną w podbudowie sztywnej gdy jej płyty „klawiszują”. Korzyści ze wzmocnienia warstwy (warstw) asfaltowej siatką stalową Bitufor ilustrują wyniki obliczeń z zastosowaniem metody elementów skończonych, zamieszczone w tablicy 2 i na rysunku 1. Obliczenia te dotyczą warstwy (warstw) asfaltowej leżącej na podbudowie sztywnej ze szczelinami i poddanej działaniu ruchu pojazdów.



**Tablica 2 Wyniki obliczeń wskaźnika trwałości i grubości warstwy (warstw) asfaltowej wzmocnionej siatką stalową Bitufor (na podstawie założeń teoretycznych dla warunków ruchu drogowego i podbudowy sztywnej ze szczelinami poprzecznymi, rozwartymi)**

| Grubość warstw asfaltowych bez siatki (mm) | Grubość warstw asfaltowych z siatką Bitufor (mm) | Wskaźnik trwałości warstwy asfaltowej wzmocnionej siatką Bitufor <sup>x/</sup> ze względu na ruch |
|--|--|---|
| 60   | 40   | 3,0   |
| 90   | 67   | 3,3   |
| 120  | 90   | 3,5   |
| 150  | 100  | 4,9   |

<sup>x/</sup> w porównaniu do warstwy asfaltowej nie wzmocnionej.

*Rys.1 Nomogram do wyznaczania grubości warstwy asfaltowej wzmocnionej siatką Bitufor, leżącej na podbudowie sztywnej ze szczelinami poprzecznymi, rozwartymi*

Wykres na rysunku 1 wskazuje, że dzięki wzmocnieniu warstwy (warstw) asfaltowej siatką stalową Bitufor można zredukować grubość tej warstwy o około 25 % w porównaniu do

grubości warstwy nie wzmocnionej, w przypadku gdy przykrywa ona rozwarte szczeliny w podbudowie sztywnej lub o około 30 %, gdy przykrywa ona szczeliny podłużne. Korzyść finansowa z tej redukcji jest tym większa im grubsze są warstwy.

Autor tego artykułu podaje również, że pomiary na drodze ugięcia w obrębie szczeliny w podbudowie sztywnej były mniejsze w przypadku nawierzchni z warstwą asfaltową wzmocnioną siatką stalową Bitufor niż z warstwą nie wzmocnioną.

Jak podaje F. Dubois i inni w artykule THERMOVISCOELASTIC MODELINGS OF ROAD STRUCTURES –Applications on cement bound base pavement under thermal variation, pęknięcia poprzeczne odbite, które zaczynają powstawać na spodzie warstw asfaltowych leżących na podbudowie sztywnej są pochodzenia głównie termicznego. Ich rozwój jest przyspieszony przez ruch i temperaturę.

Pęknięcia odbite w nowej warstwie asfaltowej mogą powstawać gdy pod nią leży nowa lub stara podbudowa sztywna lub stara, popękana warstwa asfaltowa. Stosowanie geosyntetyków o dużej sztywności opóźnia istotnie propagację spękań odbitych.

Decydujące znaczenie dla efektu wzmocnienia popękanego podłoża geosyntetykiem i nakładką asfaltową ma rodzaj szczelin (rozwarte tj, nie współpracujące krawędzie) i wielkość ugięcia sąsiednich płyt (połaci).

E. K. Tschegg (FACTORS INFLUENCING THE FRACTURE BEHAVIOUR OF GEOSYNTHETIC OVERLAY – SYSTEMS), który badał wpływ połączenia międzywarstwowego z wbudowanym węń geosyntetykiem metodą rozszczepienia klinem na tworzenie się pęknięć w nowej warstwie asfaltowej, leżącej na starej, popękanej warstwie asfaltowej mają wpływ następujące czynniki:

- dobre zespolenie warstw z wbudowanym geosyntetykiem ma kluczowe znaczenie dla efektu zbrojenia,
- geowłóknina PGM 14 umożliwia bardzo dobre połączenie warstw (skropienie podłoża asfaltową emulsją modyfikowaną, 60 % w ilości 1,1 kg/m<sup>2</sup>), która charakteryzuje się jednak zbyt małą efektywną sztywnością (stosunek  $\Delta$  siły rozciągającej do  $\Delta$  wydłużenia), ze względu na jej włóknistą strukturę rozciąga się w szczelinie i nie zapobiega jej rozszerzaniu się),
- geokompozyt PGM-G umożliwia dobre połączenie warstw (jeżeli jest pełne nasycenie włókniny asfaltem) i generuje (mobilizuje) dużą efektywną sztywność natychmiast z

chwila wystąpienia siły rozciągającej ze względu na siatkę szklaną, która zbroi włóknem i nie podlega rozciąganiu,

- geosiatka Tensar charakteryzuje się małą przyczepnością do warstw asfaltowych i z tego powodu generuje małą efektywną sztywność; efekt wzmocnienia tą siatką jest spóźniony, gdyż nim zacznie ona działać jako zbrojenie warstwy asfaltowej nad szczeliną w podłożu wcześniej się odklei od warstw.

Według tego autora i A. Bondta sztywność geosyntetyku jest bardzo istotną cechą z punktu widzenia wzmocnienia warstw asfaltowych.

Rutynowe stosowanie geowłóknin do uszczelniania starych, spękanych i zestarzonych nawierzchni asfaltowych opisują H. van Denren i J. Esnouf w artykule GEOTEXTILE REINFORCED BITUMINOUS SURFACING (Australia). W Terytorium Victoria tego kraju rocznie wykonuje się około 300 km powierzchniowego utrwalenia na geowłókninie i około 150 km bardzo cienkiej warstwy na geowłókninie. Technologie te są stosowane od prawie 20 lat. Rodzaj zabiegów z zastosowaniem geowłókniny:

- a) pojedyncze lub podwójne powierzchniowe utrwalenia,
- b) bardzo cienka warstwa na powierzchniowym utrwaleniu.

Rodzaje uszkodzeń, które mogą być likwidowane z zastosowaniem w/w zabiegów są następujące:

- zestarzenie się asfaltu w warstwie ścieralnej,
- spękania od skurczów termicznych,
- spękania zmęczeniowe,
- uszkodzenia od błędów wykonawczych,
- spękania odbite od sztywnej podbudowy.

Stosowane lepiszcza:

- asfalt drogowy o penetracji 80 – 110,
- asfalt modyfikowany polimerem,
- asfalt modyfikowany destruktem gumowym,
- emulsja asfaltowa modyfikowana,
- asfalt upłynniony.

Najlepsze wyniki uzyskuje się z lepiszczami modyfikowanymi.

Stosowane grysy:

- a) do powierzchniowego utrwalenia podwójnego grysy otaczane 7/14 i 5/10 mm,
- b) do bardzo cienkich warstw, o grubości 12 – 15 mm – grysy zgodnie z wymaganiami specyfikacji na tę warstwę.

Właściwości stosowanej geowłókniny:

- masa powierzchniowa 140 g/m<sup>2</sup>,
- grubość 0,6 mm,
- wytrzymałość na rozciąganie w kierunku podłużnym 10 kN/m,
- wydłużenie przy rozciąganiu w kierunku podłużnym 27 – 30 %,
- wytrzymałość na rozciąganie w kierunku poprzecznym 10 kN/m,
- wydłużenie przy rozciąganiu w kierunku poprzecznym 27 – 30 %,
- rodzaj surowca poliester, i polipropylen.

Wymagania względem starej nawierzchni:

- równa (równo sfrezowana lub z warstwą wyrównawczą),
- pęknięcia o szerokości większej od 5 mm wypełnione.

Technologia wykonania powierzchniowego utrwalenia:

- spryskanie podłoża lepiszczem,
- rozłożenie mechaniczne geowłókniny z lekkim naprężeniem, bez sfalowań, zakładki o szer. 100 mm z dodatkowym lepiszczem i pospinane,
- spryskanie geowłókniny lepiszczem (pozwolić aby nim nasiąknęła),
- rozłożenie pierwszej warstwy grysów (gruba frakcja),
- spryskanie lepiszczem pierwszej warstwy grysów,
- rozłożenie drugiej warstwy grysów (drobniejsza frakcja).

Technologia wykonania podłoża pod bardzo cienkie warstwy:

- spryskanie podłoża lepiszczem,
- rozłożenie geowłókniny w sposób j.w.,
- spryskanie geowłókniny lepiszczem,
- rozłożenie warstwy grysów (gruba frakcja),
- dopuszczenie ruchu drogowego (nawet przez kilka miesięcy),

- spryskanie warstwy grysów,
- ułożenie bardzo cienkiej warstwy.

Wyżej opisane technologie są stosowane na drogach o wszystkich kategoriach ruchu.

Według doświadczeń włoskich (G. Dondi, A. Bonini i A. Simone - REINFORCED PAVEMENTS: LABORATORY AND FIELD EXPERIENCES) aby wzmocnienie warstw asfaltowych było efektywne minimalna grubość warstw asfaltowych nad geosyntetykiem powinna wynosić 70 – 80 mm. Ponadto autorzy ci zwracają uwagę, że miały miejsce przypadki gwałtownego pogorszenia się stanu nawierzchni, wzmocnionej geowłókniną lub geosyntetykiem, które się charakteryzowały dużą chłonnością asfaltu. Wówczas następowało odspojenie się warstw między które materiały te zostały wbudowane i następuje przyspieszona degradacja warstwy/warstw leżącej na geosyntetyku.

Wyniki laboratoryjnych badań zmęczeniowych, opisują Zhang Zhenggi i Zhand Dengliang w artykule EVALUATION OF GEONET REINFORCEMENT IN RESISTING REFLECTIVE CRACKING OF ASPHALT PAVEMENT. Wykazały one, że wzmocnienie geosyntetykiem warstwy asfaltowej jest bardziej efektywne w ujemnej temperaturze (-10 °C) niż w dodatniej (+17 °C); w porównaniu do warstwy nie wzmocnionej (efektywność: stosunek liczby cykli rozciągających warstwę nie wzmocnioną do liczby cykli rozciągających warstwę wzmocnioną do momentu pojawienia się pęknięcia).

Żywotność zmęczeniowa warstwy asfaltowej grubości 7,0 cm wzmocnionej geosiatką szklaną wzrosła około 10-krotnie w porównaniu do warstwy asfaltowej tej samej grubości lecz nie wzmocnionej.

Zainstalowanie geosyntetyku pod warstwą asfaltową, pod którą znajduje się warstwa sztywna z pęknięciem redukuje wartość wskaźnika naprężenia rozciągającego warstwy asfaltowej w obrębie nad pęknięciem warstwy dolnej (sztywnej). Doświadczenia terenowe potwierdziły brak spękań warstw asfaltowych z zainstalowaną na ich spodzie geosiatką w porównaniu do warstw asfaltowych bez geosiatki, które popękały po 2 latach. W obu przypadkach grubość warstw asfaltowych z BA wynosiła 7,0 cm zaś podbudową była stabilizacja kruszywa popiołem lotnym i wapnem.

Według E. Ramberga Steena (ROAD MAINTENANCE; TECHNICAL ASPECTS REGARDING THE CHOICE OF GEOSYNTETICS), zatrudnionego w Fibertex A/S (Dania) spękania odbite (od starej nawierzchni betonowej lub podbudowy sztywnej lub spękaną starą

nawierzchni asfaltowej) najlepiej eliminują warstwy absorbujące naprężenia rozciągające SAMI wykonane z zastosowaniem geowłókniny.

A ponadto autor stwierdza, że:

Wzmocnienie nawierzchni asfaltowej geosiatką będzie wtedy tylko efektywne, jeżeli będzie ona naciągnięta wzdłuż i wszerz. Geosiatka sztywna nawet naciągnięta nie zapobiegnie powstawaniu spękań odbitych wzdłuż krawędzi w nowej warstwie asfaltowej od podbudowy z betonowej lub od starej spękanej nawierzchni asfaltowej gdyż nie naciąga się jej w poprzek. Z tego samego powodu nie zapobiegnie ona powstawaniu kolein. Geowłóknina jest najlepszym materiałem do wykonywania warstw SAMI.

Geosiatki stalowe i podobne najlepiej wzmacniają nawierzchnie betonowe i asfaltowe jeżeli są zainstalowane na ich spodzie.

Stwierdza również, że jeżeli porówna się efekt zapobiegania spękanom odbitym przy pomocy geowłóknin i geosiatek to w przypadku tych pierwszych będzie on korzystniejszy gdyż zapobiegają one przenikaniu wody.

Biorąc pod uwagę efekt wzmocnienia i efekt uszczelnienia geokompozyty są dlatego najlepsze, ale na drogach mocno obciążonych ruchem.

Przywołuje on wyniki obserwacji terenowych opublikowane w 1993 r. przez Departament Transportu stanu Kolorado, że stosowanie geosiatek szklanych do utrzymania nawierzchni jest całkowicie bezcelowe (na odcinku z geosiatką szklaną powstało więcej spękań odbitych niż na odcinku referencyjnym bez wzmocnienia i na odcinkach z innymi rodzajami geowłóknin).

Niepotrzebnie na drogach o małym ruchu stosuje się bardzo drogie rozwiązania z zastosowaniem geokompozytów.

Po dużym opadzie deszczu nie powinno się robić pomiarów FWD na starej spękanej nawierzchni z podbudową podatną ponieważ faktycznie nośność takiej nawierzchni wówczas gwałtownie spada, zaś wyniki tego nie wykazują.

Jeżeli są duże termiczne ruchy poziome szczelin w podbudowie sztywnej to najlepszy wynik uniknięcia ich przeniesienia do warstw asfaltowych daje zainstalowanie geosiatek.

Jeżeli woda przenikająca do konstrukcji nawierzchni powoduje jej osłabienie to najlepszym rozwiązaniem przed przenikaniem wody przez pęknięcia jest zainstalowanie geowłókniny, oczywiście skrapiając odpowiednio stare podłoże asfaltem. Instalowanie geosiatek w takim przypadku nic nie da bo nie zapobiegnie przenikaniu wody.

Według tego autora geosiatki najlepiej nadają się do wzmocnienia gruntów słabych nie zaś warstw asfaltowych.

K. Kondil., Y.Hassan i A.O. Abd EL Halim w artykule IMPLEMENTATION OF RECENT RESEARCH RESULTS TO PREVENT REFLECTION CRACKING podają za innymi, że celem warstwy SAMI jest zmniejszenie naprężeń ścinających między podbudową sztywną lub starą popękaną nawierzchnią asfaltową a nową warstwą (warstwami) asfaltową, w celu przeciwdziałania przenoszeniu się spękań podbudowy lub warstwy starej do nowej warstwy asfaltowej.

Wzmocnienie nowej warstwy (warstw) asfaltowej geosyntetykiem ma na celu zwiększenie jej odporności na naprężenia rozciągające. Umieszczenie geosyntetyku powinno być co najmniej poniżej połowy grubości warstwy (warstw) asfaltowej.

Przeciwdziałanie lub opóźnianie powstawaniu spękań odbitych w nowej warstwie (warstw) asfaltowej może być również przez dobór odpowiednich materiałów i optymalizację składu mieszanki, z której jest ta warstwa wykonana. Dodatki włókien szklanych lub metalowych mogą zwiększyć odporność betonu asfaltowego na rozciąganie nawet o 20 %.

Powstawanie pęknięć w nowej warstwie (warstwach) asfaltowej może być przyspieszone przez mikropęknięcia, które powstały w trakcie zagęszczania nowej warstwy.

Wyniki badań i obserwacji odcinków drogowych, na których zastosowano różne rodzaje geosyntetyków opisują A. Vanelstraete i L. Francken (Belgia) w artykule ON SITE BEHAVIOUR OF INTERFACE SYSTEMS. Odcinki takie wykonano i obserwowano przez kilka lat aby móc na podstawie uzyskanych wyników uaktualnić wytyczne do opracowywania specyfikacji przetargowych.

Przedmiotem obserwacji były odcinki z warstwami pośrednimi w postaci:

- warstwy SAMI,
- geosiatki szklanej o sztywnych węzłach (grid),
- geowłókniny (non-woven),
- geosiatki stalowej, o węzłach wiązanych (woven net),

oraz odcinki bez warstwy pośredniej (referencyjne).

W/w warstwy pośrednie były położone na płytach z betonu cementowego i przykryte 5,0 cm warstwą z SMA. Niestabilne płyty betonowe zostały przedtem ustabilizowane iniekcją, aby ugięcia ich krawędzi względem siebie były < 1 mm.

Odcinki były obserwowane przez 5 lat.

Podstawowe zasady technologiczne wykonywania w/w warstw pośrednich zawiera tablica 3.

**Tablica 3 Techniki wykonywania warstw pośrednich na odcinkach obserwacyjnych w Belgii (podbudowa betonowa)**

| Numer kolejny czynności technologicznej | Rodzaj warstwy pośredniej                              |   |  |   | Bez warstwy pośredniej (odcinek referencyjny) |
|---|--|---|--|---|---|
|   | warstwa SAMI   | Geowłóknina   | Geosiatka szklana                            | Geosiatka stalowa   |   |
| 1                                       | 1,5 kg/cm <sup>2</sup> asfalt modyfikowany elastomerem | 1,2 kg/m <sup>2</sup> asfalt modyfikowany elastomerem | 0,25 kg/m <sup>2</sup> asfalt z emulsji      | 0,15 kg/m <sup>2</sup> asfalt z emulsji                     | 0,20 kg/m <sup>2</sup> asfalt z emulsji       |
| 2                                       | 9,0 kg/m <sup>2</sup> grysy otaczane 7/10 mm           | geowłóknina poliestrowa                               | siatka szklana                               | siatka stalowa  | warstwa asfaltowa z SMA o grubości 5,0 cm     |
| 3                                       | warstwa asfaltowa z SMA 5,0 cm                         | warstwa asfaltowa z SMA 5,0 cm                        | 1,2 kg/m <sup>2</sup> asfalt modyfikowany    | 16,0 kg/m <sup>2</sup> slurry seal z asfaltem modyfikowanym |   |
| 4                                       |  |   | 6,0 kg/m <sup>2</sup> grysy otaczane 7/10 mm | 0,2 kg/m <sup>2</sup> asfalt z emulsji                      |   |
| 5                                       |  |   | warstwa asfaltowa z SMA o grubości 5,0 cm    | warstwa asfaltowa z SMA o grubości 5,0 cm                   |   |

Uwagi do tablicy 3:

- 1) Warunkiem uzyskania dobrego efektu wzmocnienia jest aby warstwa pośrednia była dobrze związana z podłożem i warstwą wyżej leżącą; do tego celu najlepiej się nadaje asfalt modyfikowany,
- 2) Siatkę stalową utwierdzono do podłoża slurry sealem, lecz umacniano ją lokalnie również kołkami (gwoździami).
- 3) Podłoże musi być równe, bez zagłębień aby geosyntetyki przylegały do niego na całej powierzchni; początek i koniec rolki były kołkowane, zaś lokalne wybrzuszenia likwidowane.
- 4) Szerokość zakładek przy układaniu geowłókniny i siatki szklanej wynosiła 10–15 cm, zaś siatki stalowej 25 do 30 cm.
- 5) Ponieważ powierzchnia siatki szklanej deformuje się od samochodów roboczych i układarki przykryto ją powierzchniowym utrwaleniem.
- 6) W przypadku odcinka z siatką stalową przed ułożeniem warstwy z SMA skropiono podłoże emulsją, zrobiono to również na odcinku referencyjnym.



Wnioski z obserwacji odcinków są następujące:

- 1) Nawet jeżeli zastosuje się warstwę pośrednią w celu przeciwdziałania spękanom odbitym, to jednak całkowita grubość nowych warstw asfaltowych (nakładki) będzie jednym z głównych czynników decydujących o powstaniu tych spękań. Najwięcej spękań odbitych powstało na odcinku, na którym grubość nakładki wynosiła 4,0 cm, podczas gdy na odcinku z nakładką o grubości 14,0 cm spękań odbitych nie było.
- 2) Niestabilność pionowa płyt podbudowy betonowej ma istotny negatywny wpływ na powstawanie spękań odbitych; spękania te nie występują lub są w bardzo małej ilości jeżeli płyty zostały uprzednio połamane i dogęszczone.
- 3) Powierzchni podłoża na którym układany jest geosyntetyk powinna być równa, bez zagłębień i stabilna, w przeciwnym wypadku można się spodziewać uszkodzeń warstwy leżącej nad geosyntetykiem wkrótce po remoncie.
- 4) Najlepsze efekty remontu uzyskano w przypadkach tych odcinków, na których zastosowano odprężenie płyt betonowych i siatkę stalową.

### **3.2 Wyciąg ze zbioru referatów na III międzynarodową konferencję RILEM „Spękania odbite w nawierzchniach”, Maastricht, 2 – 4.10.1996 r.**

Doświadczalne zastosowanie geowłóknin do uszczelniania nawierzchni w Polsce opisują W.Grzybowska i J. Wójtowicz w artykule GEOTEXTILE ANTI-CRACKING INTERLAYERS USED FOR PAVEMENT RENOVATION ON SOUTHERN POLAND. Odcinek o długości 600 m wykonano w 1994 r. na DK nr 778 (obecnie DW nr 794) Kraków – Wolbrom (za m. Skała). Na starej, spękanej asfaltowej nawierzchni z podbudową podatną ułożono warstwę profilową grubości 4,0 cm, którą skropiono szybkorozpadową asfaltową emulsją modyfikowaną, 69 % -ową w ilości 1,5 kg/m<sup>2</sup>, rozłożono geowłókninę ITEX 195 PP (polipropylenowa) i skropiono ją emulsją j.w. w ilości 1,6 kg/m<sup>2</sup>, następnie rozłożono pierwszą warstwę grysów 12/16 mm w ilości 16 kg/m<sup>2</sup>, wykonano następne skropienie emulsją j.w., w ilości 1,8 kg/m<sup>2</sup> i rozłożono drugą warstwę grysów 6/10 mm, w ilości 12 kg/m<sup>2</sup>.

Właściwości geowłókniny ITEX 195 PP były następujące:

- masa powierzchniowa 195 g/m<sup>2</sup>,
- gęstość 0,92 g/cm<sup>3</sup>,
- grubość 2,7 mm,
- wytrzymałość na rozciąganie w kierunku podłużnym 4,7 kN/m,

- wydłużenie przy rozciąganiu w kierunku podłużnym 86 %,
- wytrzymałość na rozciąganie w kierunku poprzecznym 7,0 kN/m,
- wytrzymałość przy rozciąganiu w kierunku poprzecznym 83 %,
- odporność na temperaturę 120 °C.

Stan odcinka w 2000 roku był bez zastrzeżeń. W roku tym, na skutek niedopatrzenia został przykryty warstwą ścieralną z BA.

Autorzy ci opisują również zastosowanie geowłókniny na ul. Partyzantów w Bielsku-Białej.

Sposób remontu był następujący:

- częściowe sfrezowanie starej nawierzchni na grubość ~ 5,0 cm,
- wypełnienie pęknięć,
- ułożenie warstwy wyrównawczej z BA, o grubości 4,0 ÷ 8,0 cm,
- spryskanie podłoża asfaltem D70 w ilości 1,1 kg/m<sup>2</sup>,
- położenie geowłókniny ITEX 195 PES/K na gorący asfalt,
- przyciśnięcie geowłókniny walcem ogumionym,
- ułożenie warstwy wiążącej, o grubości 4,0 ÷ 5,0 cm z BA,
- ułożenie warstwy ścieralnej, o grubości 4,0 ÷ 5,0 cm z BA.

Podbudowa: warstwa tłucznia grubości 14,0 ÷ 40,0 cm.

Stare warstwy asfaltowe, o grubości 12,0 ÷ 20,0 cm.

Właściwości geowłókniny:

- surowiec: poliester,
- wytrzymałość na rozciąganie
  - wzdłuż pasma 7,3 kN/m,
  - w poprzek pasma 10,3 kN/m,
- wydłużenie wzdłuż pasma 84,6 %,
- wydłużenie w poprzek pasma 83,8 %,
- masa powierzchniowa 214 g/m<sup>2</sup>,
- grubość 1,58 mm.

Jak stwierdzają A. Vanelstraete i L. Francken w artykule LABORATORY TESTING AND NUMERICAL MODELLING OF OVERLAY SYSTEMS ON CEMENT CONCRETE SLABS stosowanie geowłókniny przeciw spękanom odbitym daje tylko wtedy oczekiwany

efekt, jeżeli będzie ona całkowicie nasycona lepiszczem modyfikowanym, które również w temperaturze  $-10^{\circ}\text{C}$  nie może być zbyt sztywne. To samo odnosi się do warstwy SAMI.

Według ich badań lepsze wyniki jeśli chodzi o zapobieganie spękań odbitych uzyskano z włóknistymi geosiatkami szklanymi niż z geosiatkami z mas plastycznych. Oczka siatki muszą być wystarczająco duże aby ziarna grysowe z nowej warstwy zazębiły się z powierzchnią starej warstwy. Warstwa SAMI i geowłóknina nasycona asfaltem modyfikowanym, położone pod warstwą (warstwami) asfaltową oprócz rozproszenia naprężeń rozciągających również uszczelniają niżej położone warstwy. Mogą jednak stanowić płaszczyznę poślizgu od sił poziomych. Geowłókniny nie poprawiają nośności warstw asfaltowych.

Warstwy pośrednie z geosyntetykami w zasadzie nie zmniejszają ruchów pionowych krawędzi spękań w podbudowie sztywnej lub w starej popękanej nawierzchni asfaltowej, główną rolę odgrywa w tym względzie grubość nowych warstw asfaltowych (nakładki).

W artykule E. Ramberga Steena PAVING FABRICS, HOW TO INCREASE THE BENEFITS podane są praktyczne wskazówki wbudowywania geowłóknin do warstw asfaltowych, w celu wytworzenia warstwy SAMI, która będzie spełniała rolę warstwy absorbującej naprężenia rozciągające od skurczów termicznych niżej położonej, spękanej warstwy (bez względu na jej rodzaj) oraz membrany uszczelniającej tę warstwę (warstwy) i podłoże gruntowe od wpływu wody.

#### Przygotowanie istniejącego podłoża

Powierzchnia podłoża powinna być czysta i równa. Jeśli jest potrzeba to wykonuje się warstwę wyrównawczą, gdyż chodzi o to aby geowłóknina przylegała do tej powierzchni i nie tworzyły się puste kawerny oraz aby w zagłębieniach nie zbierało się w nadmiarze skropione lepiszczce, podczas gdy w innym miejscu będzie go brakowało<sup>x/</sup>.

Pęknięcia szersze od 5 mm należy uprzednio wypełnić masą zalewową lub w inny sposób, stosując jednak lepiszczce modyfikowane. Jeżeli tego się nie zrobi to lepiszczce rozprowadzone pod geowłókniną wniknie w te pęknięcia i zabraknie go do jej pełnego nasycenia.

---

<sup>x/</sup> Uwaga autora sprawozdania.

Frezowanie może się okazać niewłaściwe z trzech powodów:

- w powstałe nierówności od frezów spłynie skropione lepiszczce,
- nierówności od frezów mogą spowodować przebicie geowłókniny,
- wytworzy się powierzchnia o makro nieciągłości między warstwami (kawerny).

### Lepiszczce do spryskania podłoża

Aby warstwa pośrednia z geowłókniną spełniała rolę warstwy SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer) powinna być ona przyklejona do podłoża i nasycona lepiszczem modyfikowanym, stosowanym na zimno (w postaci emulsji) lub na gorąco. Lepiszczce to nie może jednak zawierać upłynniacza. W temperaturze ujemnej powinno się ono charakteryzować pewną plastycznością. Jego konsystencja w temperaturze otoczenia nie powinna być zbyt rzadka gdyż będzie to groziło odklejeniem się geowłókniny od podłoża w trakcie układania warstwy asfaltowej.

Lepiszczce powinny być skrapiane równomiernie w ilości według projektu pasmem szerszym o 5,0 cm od każdej krawędzi geowłókniny. Początek i zakończenie spryskiwania powinno spełniać również w/w warunki i mieć równe zakończenie.

### Geowłóknina

Geowłóknina działa tylko jako membrana, nie zaś jako wzmocnienie. Aby odgrywała rolę warstwy SAMI jej masa powierzchniowa nie może być mniejsza niż  $140 \div 150 \text{ g/m}^2$  i musi to być wyrób przesywany. Nie może to być również wyrób zbyt sztywny bo niedopasuje się do lokalnych nierówności. Najlepiej jest stosować geowłókniny z jedną powierzchnią zaprasowaną na gorąco (kalandrowaną). Geowłókninę układa się tą powierzchnią do góry, co ułatwi przejazd po niej pojazdów roboczych.

Projektując ilość lepiszcza do skropienia należy przyjąć sumę następujących dwóch składników:

- ilość lepiszcza do nasycenia nim podłoża,
- ilość lepiszcza do nasycenia nim geowłókniny.

Ilości te zależą od rodzaju podłoża i geowłókniny.

Autor zaleca następujące ilości lepiszcza (w postaci asfaltu) do nasycenia podłoża:

- podłoże „zamknięte” -  $50 \text{ g/m}^2$ ,
- podłoże „otwarte” -  $150 \text{ g/m}^2$ ,
- podłoże sfrezowane -  $200 \text{ g/m}^2$ ,
- nowa warstwa wyrównawcza -  $200 \text{ g/m}^2$ .

Według zaleceń stanu Kalifornia do pełnego nasycenia geowłókniny o masie powierzchniowej  $140 \div 150 \text{ g/m}^2$  potrzeba następujących ilości asfaltu:

- geowłóknina nie kalandrowana -  $1,13 \text{ l/m}^2$ ,

- geowłóknina kalandrowana jednostronnie - 0,91 l/m<sup>2</sup>,
- geowłóknina kalandrowana dwustronnie - 0,8 l/m<sup>2</sup>.

Jeżeli użyto emulsji do skropienia podłoża, geowłókninę układa się dopiero po rozpadzie emulsji i odparowaniu wody, jeżeli użyto asfaltu na gorąco – dopiero po jego ostygnięciu. Szerokość zakładki powinna wynosić 10 – 15 cm. Zakładki na połączeniu poprzecznym kolejnych pasm powinny być zgodne z kierunkiem poruszania się pojazdów. Na zakładkach trzeba dać podwójną ilość lepiszcza. Zagięcia geowłókniny (np. na łukach) wycina się. Po rozłożeniu, najlepiej mechanicznym geowłókninę dociska się do podłoża szczotkami. Rozłożona geowłóknina powinna być przykryta warstwą asfaltową tego samego dnia. należy nie dopuścić aby zamokła. Ruch po niej powinien być ograniczony do minimum, nawet dla pojazdów roboczych, które nie powinny gwałtownie hamować. Woda na geowłókninie zapobiegnie pełnym nasyceniu geowłókniny asfaltem w trakcie układania gorącej MMA. Temperatura gorącej MMA nie powinna przekraczać dopuszczalnej temperatury dla danego rodzaju geowłókniny (z PP lub PET)\*/. Zagęszczacz należy natychmiast za układarką.

D. Doligez i M.H.M. Coppens w artykule FATIGUE IMPROVEMENT OF ASPHALT REINFORCED BY GLASS FIBRE GRID podają kilka przykładów wzmocnienia nawierzchni podatnej siatką szklaną wykonaną z włókienek:

1) Odcinek RN 139, Port-la-Nouvelle (Francja)

Konstrukcja:

- sfrezowanie 60 mm warstwy asfaltowej, o pierwotnej grubości śr. 90 mm,
- warstwa wyrównawcza 20 - 50 mm z BA 0/10 mm,
- geosiatka szklana,
- nakładka 70 mm z BA 0/10 mm.

Ugięcie metodą belki:

- przed remontem - 0 śr. 1,73 mm,
- po roku - śr. 2,2 mm,
- po 2 latach - śr. 1,3 mm,
- po 3 latach - śr. 0,8 mm.

2) Odcinek Av. G. Eiffel, Narbonne (Francja)

Konstrukcja:

- podbudowa z kruszywa - 400 mm,

<sup>x/</sup> PP – polipropylen,  
PET – poliester

- warstwa asfaltowa - 80 mm,
- geosiatka szklana Rotaflex,
- nakładka 50 mm z BA 0/10 mm.

Ugięcie metodą belki:

- przed remontem - śr. 0,9 mm,
- 2 lata po remoncie - śr. 0,46 mm.

### 3) RD 1015, Bouttecourt (Francja)

Konstrukcja:

- podbudowa z kruszywa - 150 mm,
- cienka warstwa asfaltowa na bruku - 100 mm,
- warstwa wyrównawcza,
- geosiatka szklana,
- nakładka 80 mm z BA.

Ugięcia metodą belki:

- przed remontem - śr. 1,5 mm,
- 1 rok po remoncie - 0,95 mm.

Wyniki te wskazują, że nie we wszystkich przypadkach nastąpiło zdecydowane zmniejszenie ugięć w dwóch pierwszych przypadkach średnio 2-krotnie, w trzecim – o 1/3.

I.R.A. Veys w artykule STEEL REINFORCEMENT FOR THE PREVENTION OF CRACKING AND RUTTING IN ASPHALT OVERLAYS opisuje między innymi efekty zastosowania siatki stalowej w Belgii do likwidacji spękań lub kolein na nawierzchniach z podbudową sztywną lub podatną. Po 4 lub 6 latach eksploatacji, wyniki zastosowań tej siatki były dobre lub bardzo dobre, zarówno na odcinkach z podbudową sztywną i podatną, na których były spękania termiczne lub zmęczeniowe.

Wyższość wzmocnienia siatką stalową nad wzmocnieniami z innych rodzajów geosyntetyków potwierdzają wyniki badań laboratoryjnych (rysunek 2). Badano belkę 600 x 150 mm termicznie rozciąganą w temperaturze  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , składającą się z warstwy podbudowy z betonu cementowego (ze szczeliną w środku jej rozpiętości), warstwy pośredniej w postaci geosyntetyku lub SAMI i warstwy asfaltowej grubości 7,0 cm z betonu asfaltowego o

strukturze zamkniętej (rysunek 3). Notowano długość pęknięcia w warstwie asfaltowej nad szczeliną w podbudowie, które pojawiło się po pewnym czasie po zastosowaniu cykli rozciągająco-ściskających, wymuszonych termicznie (3 cykle/h i 1 mm rozszerzenia i kurczenia się szczeliny o szerokości 4 mm w podbudowie).

Na rysunku 2 poszczególne wykresy dotyczą:

- 0 - bez warstwy pośredniej,
- 1A - geowłóknina nie przesywana na asfalcie z emulsji,
- 1B - geowłóknina nie przesywana na asfalcie zwykłym,
- 1C - geowłóknina nie przesywana na asfalcie modyfikowanym polimerem,
- 2 - geosiatka stalowa zatopiona w slurry seal,
- 3A - geosiatka z włókien polipropylenowych,
- 3B - geosiatka z włókien poliestrowych,
- 3C - geosiatka z włókna szklanego,
- 4 - warstwa SAMI,
- 5 - geowłóknina przesywana.

Wnioski z tych badań są następujące:

- 1) jako materiał zespalaający geowłókninę nie przesywaną asfalt zwykły (wykres 1B) zwiększa odporność na przenikanie pęknięć w  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , w porównaniu do asfaltu z emulsji (wykres 1A).
- 2) Efekt rozpraszania naprężeń geowłókniny nie przesywanej na asfalcie modyfikowanym (przy pełnym jej nasyceniu) (wykres 1C) jest podobny jak i warstwy SAMI (wykres 4).
- 3) Odporność na przenikanie pęknięć geosiatki z włókien polipropylenowych (wykres 3A) jest gorsza niż geosiatki z włókien poliestrowych (wykres 3B).
- 4) Geosiatka z włókien szklanych (wykres 3C) początkowo w małym stopniu powodowała przenikanie pęknięć do warstwy asfaltowej, później zatrzymała ten proces całkowicie (w tych warunkach badania).
- 5) Geosiatka stalowa (wykres 2) całkowicie zapobiegła (w tych warunkach badania) przenikaniu pęknięć z podbudowy do warstwy asfaltowej.

Autor ten podaje również wyniki badań, z których wynika, że przytwierdzenie siatki stalowej do podłoża mieszkanką slurry seal jest lepsze niż kołkami. Warstwa ta spełnia ponadto częściowo rolę warstwy rozpraszającej naprężenia.

Wyniki badań zmęczeniowych belki zbrojonej o wymiarach 600 x 1800 x 90 mm pod sinusoidalnym, kontrolowanym obciążeniem 4,5 kN, z częstotliwością 1/29,33 i w temperaturze 5 °C podają F.P. Jaecklin i J. Scherer w artykule ASPHALT REINFORCING



USING GLASS FIBRE GRID „GLASPHALT” . Belka była zbrojona następującymi geosyntetykami (30 mm od dołu):

- a) geokompozytem składającym się z geosiatki z włókien szklanych i geowłókniny nie przesywanej, polipropylenowej,
- b) geosiatką poliestrową,
- c) geowłókniną nie przesywanej polipropylenową,
- d) bez zbrojenia.

Wyniki przedstawia rysunek 4.

Wykresy na tym rysunku wskazują, że największą liczbę cykli zmęczeniowych (ok. 184 000) przeniosła belka zbrojona geokompozytem z siatką szklaną. Belka zbrojona geosiatką poliestrową o takiej samej wytrzymałości na rozciąganie (60 kN/m) jak i geokompozyt z siatką szklaną przeniosła tylko około 90 000 cykli zmęczeniowych.

Nieco mniejszą wytrzymałość zmęczeniową (około 73 000 cykli) miała włóknina polipropylenowa. Natomiast belka nie zbrojona wytrzymała tylko około 24 000 cykli zmęczeniowych. Istotne spostrzeżenie z tych badań jest również takie, że wytrzymałość na rozciąganie nie może być jedynym kryterium wyboru geosyntetyku do zastosowania w konstrukcji nawierzchni.

J. Judycki i J. Alenowicz z Politechniki Gdańskiej w referacie INVESTIGATION ON REFLECTIVE CRACKING IN SEMIRIGID PAVEMENTS IN NORTHERN POLAND opisują praktyczne zastosowania różnych rozwiązań, w celu zapobieżenia powstawania spękań odbitych w warstwach asfaltowych ze sztywnymi podbudowami. Dwa przykłady zastosowań geosyntetyków są szczególnie interesujące. Pierwszy z nich dotyczy obiektu Zblewo na DK nr 22. Zastosowano tam między innymi paski geowłókniny polipropylenowej o szerokości 1 m (grubości 2,5 mm, masa powierzchniowa 300 g /m<sup>2</sup>, wytrzymałość na rozciąganie 8 kN/m i wydłużenie 140 %) do przykrycia szczelin w starej nawierzchni z betonu cementowego przed ułożeniem warstwy ścieralnej z BA grubości 5 cm. Geowłókninę położono na warstwie wyrównawczej, przyklejając ją asfaltem modyfikowanym lateksem na gorąco. Po upływie 6 zim odtworzyły się spękania obite w 60 %, w stosunku do stanu pierwotnego.

Drugi obiekt o nazwie Wysoka (DK nr 218) k/Gdańska obejmuje doświadczalne zastosowanie na całej powierzchni nowej jezdni z podbudową ze stabilizacji cementem kruszywa naturalnego geowłókniny, geosiatki Tensar AR1, warstwy SAMI, w celu zapobieżenia powstania spękań odbitych w warstwach asfaltowych o całkowitej grubości 12 cm. Materiały te zostały położone bezpośrednio na skropionej lepiszczem podbudowie. Na tym obiekcie zostały również wykonane odcinki z naciętą poprzecznie warstwą podbudowy w odstępach co 2,5; 5,0 i 7,5 m. W dolnej części niniejszego sprawozdania opisano stan tych odcinków.

### **3.3 Pozycje krajowe**

M. Gołos na podstawie badań amerykańskich (ZASTOSOWANIE GEOSIATEK O SZTYWNYCH WĘZŁACH W BUDOWNICTWIE DROGOWYM, Drogownictwo nr 3/2003) podaje następującą interpretację efektu wzmocnienia warstwy kruszywa geosiatką (rysunek 5).

Wykres górny na rysunku 5, dotyczący geosiatki Tensar o sztywnej strukturze węzłów i całego rusztu świadczy, że w całym zakresie zastosowanego obciążenia geosiatka o sztywnych (nieprzesuwalnych) węzłach stawia znacznie większy opór niż pseudosiatka o węzłach łączonych mechanicznie, pomimo, że końcowa wytrzymałość obu rodzaju geosiatek jest jednakowa. Większy opór stawiamy przez geosiatkę o strukturze sztywnej w przedziale „początek-koniec” obciążenia będzie skutkować mniejszym odkształceniem zbrojonej warstwy niż pseudosiatka o strukturze mniej sztywnej. W wyniku nieodkształcalności struktury geosiatki sztywnej mobilizuje ona natychmiast opór po przyłożeniu obciążenia, biorąc na siebie jego oddziaływanie i powodując rzeczywisty efekt zbrojenia. Z tego rysunku również widać, że maksymalna wytrzymałość geosyntetyku na rozciąganie nie może być jedynym kryterium przy jego doborze. Dlatego ważną cechą będzie również wielkość obciążenia przy pośredniej wartości odkształcenia, np. równej 30 lub 50 % odkształcenia całkowitego, odpowiadającego wartości siły niszczącej geosyntetyk. Wielkość obciążenia pośredniego powinna być jak największa w stosunku do obciążenia maksymalnego (niszczącego).

Można przypuszczać, że podobnie jak pseudosiatka będą się zachowywać geosyntetyki o małej sztywności (stosunek maksymalnej wytrzymałości na rozciąganie do odpowiadającego jej odkształcenia), czyli geosiatki rozciągliwe.

Trzeba stwierdzić, że wymaganie dotyczące wielkości obciążenia pośredniego przy założonym odkształceniu nie jest ujęte w aprobatkach na geosyntetyki do wzmocnienia warstw asfaltowych.

W przypadku zbrojenia warstw asfaltowych geosyntetykami ważnym parametrem jest również odporność surowca z którego są zrobione na wysoką temperaturę, wytwarzaną przez gorące MMA w trakcie ich wbudowywania. Chodzi o to, aby w trakcie tej czynności geosyntetyki nie ulegały zniszczeniu.

W. Grzybowska (GEOSYNTETYKI W NAPRAWACH ASFALTOWYCH NAWIERZCHNI DROGOWYCH, Drogownictwo nr 4/2003) podaje, że geosiatki poliestrowe są odporne na temperaturę (technologiczną) i pęczanie, podczas gdy siatki polipropylenowe są mniej odporne na wysoką temperaturę i wykazują podatność na pęczanie. Dlatego w przypadku odkształceń i naprężeń termicznych przydatność tych drugich jest ograniczona natomiast dobrze wytrzymują oddziaływania od obciążeń o charakterze dynamicznym.

Geosiatki szklane są odporne na wysoką temperaturę, jednak zespolenie ich z warstwami asfaltowymi jest słabsze, natomiast moduł sprężystości bardzo duży (małe odkształcenie przy wydłużeniu).

Efekt zbrojenia warstwy asfaltowej geosyntetykiem osiągnie się tylko wówczas gdy jego moduł sprężystości będzie większy od modułu warstwy asfaltowej. Jeżeli na przykład moduł warstwy asfaltowej w temperaturze poniżej 0 °C wynosi około 15 000 MPa, zaś moduł najlepszych geosiatek poliestrowych, polipropylenowych i szklanych od 5 000 do 7 000 MPa to w tych warunkach te geosiatki nie będą działać jako zbrojenie, chyba, że w wyniku popękania warstwy asfaltowej jej moduł się zmniejszy, wówczas geosiatka przejmie na siebie oddziaływanie sił rozciągających.

Głównymi przyczynami nieskutecznego, wręcz szkodliwego zastosowania geosyntetyków są:

- słabe zespolenie geosyntetyku z przyległymi warstwami asfaltowymi,
- zastosowanie niewłaściwego geosyntetyku z punktu widzenia celu naprawy,
- niewłaściwa grubość, rodzaj i jakość warstw przykrywających geosyntetyk,
- nieodpowiedniego przygotowania podłoża pod geosyntetyk

Z badań Autorki wynika, że wprowadzenie geowłókniny między warstwy osłabia ich połączenie bez względu na rodzaj zastosowanego lepiszcza do skropienia (rysunek 6).

Uwaga autora sprawozdania: wcześniejsze badania wykonane w IBDiM na zamówienie GDDKiA wykazały, że osłabione połączenie międzywarstwowe powoduje zmniejszenie modułu sztywności pakietu warstw asfaltowych (artykuł J. Zawadzkiego, T. Mechowskiego i P. Skierczyńskiego pt.: Wpływ połączenia między warstwami asfaltowymi na trwałość nawierzchni, Zbiór referatów na IX Międzynarodową Konferencję „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce, 6-7.05.2003 r.).

P. Radziszewski w opracowaniu EFEKTYWNE UŻYCIE GEOSYNTETYKÓW W NAWIERZCHNI ASFALTOWEJ (Nowości Zagranicznej Techniki Drogowej, nr 149/2002) sporządzonym na podstawie artykułu M. Pickieringa i in. zamieszczonego w „Road Materials and Pavement Design”, nr 3/2000 podaje, że badania ścinania w aparacie skrzynkowym (z ciśnieniem bocznym 400 kPa) wykazały spadek wytrzymałości na ścinanie próbek w warstwie pośredniej z geosyntetyków o około 30 %.

Wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie przy zerwaniu geosyntetyków polipropylenowych ulegają niekorzystnym zmianom w zależności od temperatury, znacznie w większym stopniu niż geotekstyli poliestrowe (tablica 4).

**Tablica 4 Właściwości włókien syntetycznych**

| Właściwości                    | Temperatura  | -20 °C | 0 °C | 20 °C | 40 °C | 80 °C | 120 °C | 145 °C |
|--------------------------------|--------------|--------|------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Wytrzymałość na rozciąganie, N | Polipropylen | 131    | 130  | 133   | 127   | 88    | 62     |        |
|                                | Poliester    | 89     | 85   | 83    | 80    | 71    | 61     |        |
| Wydłużenie, przy zerwaniu, %   | Polipropylen | 11     | 12   | 14    | 16    | 32    | 80     |        |
|                                | Poliester    | 10     | 10   | 10    | 11    | 11    | 12     |        |

Z tablicy tej wynika, że włókna polipropylenowe są bardziej wrażliwe na zmiany temperatury (spadek wytrzymałości na rozciąganie, wzrost wydłużenia, gdy wzrasta temperatura) niż włókna poliestrowe.

Temperatura topnienia włókien polipropylenowych wynosi 160 ÷ 165 °C, zaś włókien poliestrowych 250 ÷ 260 °C, przy czym geotekstylium z polipropylenu w temperaturze 150 °C ulegają dużemu skurczowi, co ogranicza ich zastosowanie do 135 °.

Według badań australijskich właściwości użytkowe geotekstyliów stosowanych w tym kraju do warstw asfaltowych podano w tablicy 5.

**Tablica 5 Właściwości geosyntetyków stosowanych w Australii**

| Właściwości                            | Geotekstylium poliestrowe | Geotekstylium polipropylenowe |
|--|---------------------------|-------------------------------|
| Wydłużenie przy zerwaniu, %            | 40 – 60                   | >40                           |
| Wytrzymałość na rozciąganie, kN/m      | 10                        | 7                             |
| Masa powierzchniowa, g/m <sup>2</sup>  | 140                       | 135                           |
| Grubość, mm                            | 1,4                       | 1,0                           |
| Nasycenie lepiszczem, l/m <sup>2</sup> | 0,9                       | 1,0                           |
| Wytrzymałość na rozerwanie, kN         | 240                       | 200                           |

W przypadku przykrywania geotekstyliów powierzchniowym utwaleniem stwierdzono, że spadek pomiędzy temperaturą rozpryskiwanego lepiscza (temperatura w zbiorniku) i temperatura kontaktu z geotekstyliami wynosi tylko około 10 °C.

Warstwa pośrednia z geotekstyliów redukuje przepuszczalność konstrukcji co najmniej o 50 %.

W temperaturze 145 °C skurcz geotekstyliów poliestrowych i polipropylenowych jest prawie jednakowy i wynosi około 10 %. W wyższej temperaturze, tj. do 160 °C następuje gwałtowny skurcz geotekstyliów polipropylenowych (około 50 %), podczas gdy skurcz geotekstyliów poliestrowych nie zwiększył się. Ze względu na wrażliwość geotekstyliów polipropylenowych

na temperaturę wyroby te mogą być przykrywane warstwą MMA zawierającej lepiszcze niemodyfikowane (niższa temperatura technologiczna, nie przekraczająca 145 °C).

Autorzy australijscy doszli do wniosku, że warstwa pośrednia z geotekstylii powinna być przykryta MMA o grubości co najmniej 50 mm. Stwierdzają jednak, że w przypadku niedostatecznej nośności konstrukcji nawierzchni lub dużego modułu sztywności warstwy (warstw) asfaltowej następuje wzrost indukowanych naprężeń ścinających i w konsekwencji wzrasta ryzyko wystąpienia zniszczeń.

J. Alenowicz w artykule SPOSOBY OGRANICZENIA PROPAGACJI SPĘKAŃ ODBITYCH W ASFALTOWYCH WARSTWACH NAWIERZCHNI (Międzynarodowe seminarium „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce, 12 maja 1995 r.) podaje ogólne sposoby przeciwdziałania spękanom odbitym, w tym między innymi podstawowe zasady stosowania geowłóknin (z materiałów syntetycznych i z drutu stalowego). Stwierdza, że efektywność poszczególnych sposobów opóźnienia propagacji spękań w warstwach asfaltowych zależy przede wszystkim od właściwej oceny przyczyn, które doprowadziły do powstania spękań istniejących nawierzchni, oceny jej stanu w obrębie pęknięcia i wyboru technologii naprawy.

W. Grzybowska i współautorzy w artykule BADANIA WŁAŚCIWOŚCI BETONÓW ASFALTOWYCH WZMACNIANYCH GEOTEKSTYLAMI (Drogowa konferencja „Wschód-Zachód”, Warszawa 22-24.09.1993 r.) podaje wyniki wielokrotnego zginania beleczki składającej się z warstwy górnej z BA o grubości 5,0 cm, warstwy pośredniej z geosyntetykiem i warstwy dolnej z BA o grubości 2,5 cm. Szerokość beleczki wynosiła 7,5 cm, rozstaw podparcia 20 cm, temperatura badania 20 °C, amplituda 2 kN, częstotliwość 5 Hz. Wynikiem badania była liczba cykli obciążających do pojawienia się pęknięcia. Wyniki średnie były następujące:

|   |   |       |
|---|---|-------|
| - bez warstwy pośredniej                    | - | 952,  |
| - z warstwą pośrednią z geowłókniny „Elana” | - | 1810, |
| - z warstwą pośrednią z geositaki „Hatelit  | - | 3407. |

Autorka podaje również wyniki bezpośredniego ścinania próbek prostopadłościennych o przekroju jak w/w opisana belka i o wysokości 68 ÷ 80 mm. Uzyskano następujące wyniki średnie:

|                          |   |        |
|--------------------------|---|--------|
| - bez warstwy pośredniej | - | 1726,5 |
|--------------------------|---|--------|

- z warstwą pośrednią z geowłókniny „Elana” - 819,1
- z warstwą pośrednią z geosiatki „Hatelit” - 1350,0

Zastosowano również doświadczalnie geowłókninę na poboczu (1 kg/m<sup>2</sup> asfaltu D 70 do skropienia starego pobocza) przykrywając ją warstwą z BA, o grubości 6,0 cm.

#### Wniosek z badań zmęczeniowych:

Geowłóknina i geosiatka wzmocniły beleczkę w istotnym stopniu, w porównaniu do belecзки bez warstwy pośredniej.

#### Wniosek z badań ścinania:

Warstwa pośrednia z geowłókniny i z geosiatki obniżyła zespolenie warstw asfaltowych, odpowiednio o 50 % i 20 %, co zdaniem Autorki jest korzystne pod względem skłonności tego układu do przeciwdziałania spękanom odbitym (geowłóknina w dużym stopniu absorbuje energię z niżej leżącej warstwy leżącej nad warstwą pośrednią (pogorszenie odporności na siły poziome od pojazdów).

#### Wniosek z doświadczeń terenowych:

Nie stwierdzono wpływu warstwy pośredniej z geowłókniny na poprawę ugięć, w porównaniu do odcinka bez geowłókniny.

### **3.4 Inne źródła przestudiowane**

Jak wynika z niepublikowanego raportu Komitetu Zarządzającego międzynarodowym programem COST 348 pt.: REINFORCEMENT OF PAVEMENTS WITH STEEL MESHES AND GEOSYNTHETICS (Wzmocnienie nawierzchni siatkami stalowymi i geosyntetykami) (Linköping, Norwegia 18.03.2003 r.) nie ma dotychczas dostępnej metody projektowania konstrukcji nawierzchni lub jej wzmocnienia z zastosowaniem geosyntetyków. Jeżeli ten problem zostanie rozstrzygnięty, wówczas technologia budowy nawierzchni wzmocnionych geosyntetykami stanie się ogólnie akceptowaną alternatywą w stosunku do konstrukcji tradycyjnych. Program COST 348 postawił sobie za cel osiągnięcie tego.

W raporcie nr 18 Komitetu Technicznego RILEM 157 pt.: PREVENTION OF REFLECTIVE CRACKING IN PAVEMENTS (Zapobieganie spękanom odbitym w nawierzchni), który opracowali A. Vanelstraete i L. Francken (Bruksela, 1997) podane są tylko ogólne zalecenia



co do znajomości podstawowych parametrów w stosowaniu 6 metod (2 metody warstw sprężystych, metoda równowagi równań, doświadczalna metoda mechanistyczna, metoda elementów skończonych oraz metoda propagacji pęknięć) do strukturalnego projektowania warstw wzmocnionych geosyntetykami i układanych na spękanej podbudowie sztywnej.

Według tego raportu geosiatki charakteryzują następujące parametry:

- a) wymiary oczek (mm),
- b) masa powierzchniowa ( $\text{g/m}^2$ ),
- c) grubość (mm),
- d) wytrzymałość na zerwanie (kierunek wzdłuż i w poprzek pasma ( $\text{kN/m}$ ),
- e) wydłużenie przy zerwaniu (kierunek wzdłuż i w poprzek pasma,
- f) sztywność przy 2 % wydłużeniu ( $\text{kN/m}$ ),
- g) moduł sztywności przy 2 % wydłużeniu (MPa),
- h) temperatura mięknięcia wg metody Vicata ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Geowłókniny dodatkowo charakteryzuje ilość lepiszcza mogąca być przez nie wchłonięta (dla poliestrowych i polipropylenowych wynosi ona od 0,7 do 1,4  $\text{kg/m}^2$ ). Oczywiście te produkty nie są charakteryzowane wymiarami oczek.

Sztywność S geosiatek oblicza się ze wzoru:

$$S = \frac{F}{\epsilon} \quad [\text{kN/m}] \quad (1)$$

w którym:

F - siła rozciągająca próbkę wielooczkową, o szerokości 25 cm zgodnie z normą ISO ( $\text{kN/m}$ ),

$\epsilon$  - wydłużenie przy określonej wielkości siły rozciągającej (%).

Moduł sztywności E geosiatek oblicza się ze wzoru:

$$E = \frac{S \cdot (b/b')}{d} \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

w którym:

S - sztywność geosiatki ( $\text{kN/m}$ ),

b - szerokość sznurka geosiatki (m),

b' - odstęp między sznurkami (szerokość oczka) (m),

d - grubość siatki (jej sznurka) (m).

Moduł sztywności geowłóknin oblicza się ze wzoru:

$$E = \frac{S}{d} \quad (3)$$

w którym:

S - jak we wzorze (1),

d - grubość geowłókniny (m).

Geosiatki stosowane w kraju do warstw asfaltowych na podstawie aprobat technicznych IBDiM są charakteryzowane przez parametry wg p.p. a), b), d), e); geowłókniny są charakteryzowane parametrami wg p. p. b), c), d), e). Czasami dla tych wyrobów jest podawana wytrzymałość przy 2 % wydłużeniu. Parametr ten charakteryzuje mobilizację wyrobu do przejmowania obciążeń po zaaplikowaniu siły rozciągającej.

#### **4 Stan odcinków, na których zastosowano geosyntetyki w warstwach asfaltowych**

##### **4.1 Opis odcinków**

###### 1) Odcinek na ul. Kowalskiej we Wrocławiu (od ul. Tczewskiej do ul. Ceglanej)

Konstrukcja nawierzchni odcinka jest podana w sprawozdaniu z etapu I tematu TN/TG0221 (rozdz. 5). Po upływie 3 sezonów zimowych (remont nawierzchni wykonano jesienią 2000 r.) stan nawierzchni odcinka ul. Kowalskiej, na którym zastosowano geosiatkę stalową Bitufor jest bez zastrzeżeń (fot. 1 i 2). Ulica Kowalska jest wylotem z Wrocławia w kierunku Jelcza i Oławy (droga nr 455). Na tym odcinku ul. Kowalskiej panuje ruch o kategorii KR4.

Fot. 1 Widok ogólny nawierzchni odcinka z geosiatką stalową Bitufor  
na ul. Kowalskiej we Wrocławiu

Fot. 2 Szczegół warstwy ścieralnej SMA na odcinku z geosiatką stalową  
na ul. Kowalskiej we Wrocławiu

- 2) Odcinki na drodze krajowej nr 8 za m. Bardo (od km 43,490 do 44,085 od km 44,560 do 44,650, od km 44,990 do 45,590)

Konstrukcja nawierzchni odcinków na pasie ruchu powolnego jest podana w sprawozdaniu z etapu I tematu TN/TG-221 (rozdz. 5). Po upływie 4 sezonów zimowych (remont nawierzchni wykonano późną jesienią 1999 r.) stan nawierzchni odcinków, na których zastosowano geosiatkę stalową Bitufor nie jest zadowalający. Rejestr uszkodzeń przedstawiono na kartach w załączniku 1.

Na rejestrze uszkodzeń widoczne są pęknięcia podłużne w śladzie prawego koła, pęknięcia drobne siatkowe w postaci gniazd. Uszkodzenia te powstały głównie w śladzie prawych kół na pasie powolnego ruchu (pod wzniesienie ~ 6 %), przy czym na odcinku w łuku poziomym ślad ten jest bardzo blisko krawędzi (~ 20 cm) (odcinek B).

- 3) Odcinek na ul. Nowotoruńskiej w Bydgoszczy od ul. Planu 6-letniego do ul. Kieleckiej

Konstrukcja nawierzchni przed remontem:

Stara nawierzchnia z betonu cementowego przykryta warstwą z betonu asfaltowego o grubości około 5,0 cm. Pęknięcia odbite, w bardzo złym stanie występowały nad każdą szczeliną między płytami betonowymi. Szerokość jezdni wynosi 7 m, długość odcinka 1600 m.

Sposób remontu (kolejność czynności):

- a) sfrezowanie częściowe ze spadkiem poprzecznym starej nakładki z betonu asfaltowego,
- b) skropienie sfrezowanego podłoża emulsją K60, szybko rozpadową, zwykłą,
- c) ułożenie na całej szerokości jezdni geosiatki szklanej Armapol G z lekkim jej naciągnięciem i umocowaniem kołkami,
- d) ułożenie warstwy wiążącej z BA o grubości 4,0 cm,
- e) ułożenie warstwy ścieralnej z BA, o grubości 4,0 cm.

Roboty remontowe wykonano w grudniu 2000 r.

Stan obecny nawierzchni:

Rejestr uszkodzeń po upływie 3 sezonów zimowych przedstawiono na kartach w załączniku 1.

Rejestr uszkodzeń pokazuje, że najczęstszym rodzajem uszkodzeń są pęknięcia poprzeczne, prawdopodobnie nad szczelinami w starej nawierzchni z betonu cementowego. Większość tych pęknięć jest na części szerokości pasa (na razie); bieżą od osi jezdni w kierunku jej krawędzi. Występują również, ale rzadziej, pęknięcia poprzeczne

przez całą szerokość jezdni i pęknięcia podłużne, w śladzie przejazdu prawych kół pojazdów a nawet bliżej krawędzi (20 ÷ 30 cm).

Spoina robocza podłużna w warstwie ścieralnej jest rozwarta na przeważającej długości tego odcinka.

Nasuwa się wniosek, że geosiatka szklana Armapol G, o wytrzymałości na rozciąganie  $\geq 50$  kN/m nie zapobiegła powstaniu spękań odbitych w warstwach asfaltowych od podbudowy z betonu cementowego.

- 4) Odcinek na ul. Partyzantów w Bielsku-Białej, dł. 3 km (jezdni płn.-zach. od ul. Bobrowej za skrzyżowanie z ul. Bystrzańską), wykonany wg projektu Politechniki Krakowskiej (patrz p. 3.2 niniejszego sprawozdania).

Stan obecny: pęknięcia, liczne łaty, naprawy cząstkowe, zwłaszcza od ul. Bobrowej do zatoki autobusowej.

Od ul. Olszówki do końca zakresu robót remontowych stan nieco lepszy, lecz również występują spękania miejscowe, spoina podłużna wymaga remontu.

Ruch: KR5.

- 5) DK 71 Pabianice-Konstantynów i ul. Akademii Umiejętności w Bielsku-Białej.

Sposób zainstalowania geosyntetyku: geowłóknina pod warstwą ścieralną z BA.

Stan nawierzchni: permanentnie pojawiające się wyboje, konieczność wykonywania ciągłych napraw cząstkowych.

- 6) Odcinki na DK 218 – dojazdy do wiaduktu Wysoka nad obwodnicą Trójmiasta w ciągu ul. Spacerowej (Gdańsk-Oliwa-Chwaszczyna) – odcinki wykonane pod nadzorem Politechniki Gdańskiej (patrz p. 3.2 niniejszego sprawozdania)

Dane ogólne o konstrukcji nawierzchni:

- |  |            |
|--|------------|
| - warstwa ścieralna z BA   | - 5,0 cm,  |
| - warstwa wiążąca z BA   | - 7,0 cm,  |
| - geosyntetyk,   |            |
| - podbudowa z kruszywa naturalnego,<br>stabilizowanego cementem ( $R_m=5,0$ MPa) | - 22,0 cm  |
| - warstwa mrozoodporna z piasku  | - 50,0 cm. |

Rok budowy: 1994 ÷ 95.

Ruch: KR4.

Lokalizacja odcinków (wg informacji dr inż. J. Alenowicza z Politechniki Gdańskiej):

- a) odcinek o długości 115 m z geowłókniną na asfalcie modyfikowanym, w odległości 330 m od wschodniej dylatacji wiaduktu nad obwodnicą Trójmiasta,

- b) odcinek o długości 105 m z geosiatką Tensar AR1 na asfalcie modyfikowanym, w odległości 225 m od wschodniej dylatacji wiaduktu nad obwodnicą,
- c) odcinek z warstwą SAMI o długości 100 m, w odległości 125 m od wschodniej dylatacji wiaduktu nad obwodnicą (wysoki nasyp),
- d) odcinek referencyjny o długości 20 m, w odległości 105 m od wschodniej dylatacji wiaduktu,
- e) odcinki o długości 330 m z nacięciami w podbudowie, w odległości 225 m od wschodniej dylatacji wiaduktu.

Rejestr uszkodzeń nawierzchni tych odcinków zamieszczono na kartach w załączniku 1, wg stanu w miesiącu sierpniu 2003 r.

Spostrzeżenie: stan nawierzchni odcinków z nacięciami w podbudowie jest lepszy niż odcinków z geowłókniną, siatką Tensar i warstwą SAMI.

- 7) ul. Waryńskiego w Warszawie od ul. Nowowiejskiej do miejsca odległego ok. 40 m od Trasy Łazienkowskiej (przystanek po stronie wschodniej), nawierzchnia na płycie przykrywającej stację metra „Politechnika” i parking podziemny.

Rok budowy 1995

Konstrukcja nawierzchni jezdni wschodniej (wg ekspertyzy IBDiM, autor dr inż. K. Germaniuk):

- warstwa ścieralna z BA, o grubości 7,0 cm,
- geosiatka poliestrowa Hatelit 30 x 30 mm,
- warstwa wiążąca z BA, grubości 7,0 cm,
- warstwa ochronna z betonu cementowego, zbrojonego, o grubości 11,0 cm,
- warstwa termoizolacyjna z mieszanki keramzytowo-asfaltowej, o grubości 13,0 cm,
- warstwa ochronna z betonu cementowego, zbrojonego, o grubości 5,0 cm,
- izolacja papowa,
- płyta stropu żelbetowego.

Konstrukcja nawierzchni jezdni zachodniej:

- j.w., z tym, że grubość warstw przykrywających geosiatkę Hatelit wynosi 10,0 cm (2x5,0), a górna płyta z betonu cementowego jest niezbrojona.

Stan nawierzchni w sierpniu 2003 r. tj. po 8 sezonach zimowych: Nawierzchnia z licznymi pęknięciami poprzecznymi i nieregularnymi, przeznaczona do remontu w 2004 r. (Fot. 3 ÷6).

Fot. 3 Widok ogólny nawierzchni odcinka z geosiatką Haltelit  
na ul. Waryńskiego w Warszawie

Fot. 4 Szczegół nawierzchni odcinka z geosiatką Hatelit  
na ul. Waryńskiego w Warszawie

Fot. 5 Szczegół nawierzchni odcinka z geosiatką Hatelit  
na ul. Waryńskiego w Warszawie

Fot. 6 Szczegół nawierzchni odcinka z geosiatką Hatelit  
na ul. Waryńskiego w Warszawie

8) ul. Marszałkowska w Warszawie; jezdnia wschodnia od ul. Pięknej do ul. Hożej



Rok budowy 2001 r.

Konstrukcja nawierzchni:

- warstwa ścieralna z BA 0/16 z asfaltem modyfikowanym Olexobit 30 B, o grubości 5,0 cm,
- warstwa wiążąca z BA 0/20 z asfaltem modyfikowanym Olexobit 30 B, o grubości 5,0 cm,
- geosiatka szklana ST2799/II – 150/26 wg AT/99-04-0564, o wytrzymałości na rozciąganie wzdłuż pasma  $\geq 35$  kN/m i wydłużeniu przy zerwaniu  $\leq 3$  % ułożona na skropionym emulsją asfaltową podłożu,
- warstwa podbudowy z BA 0/31,5 z asfaltem D50, o grubości 9,0 cm,
- warstwa podbudowy ze stabilizacji mechanicznej, o grubości 25,0 cm,
- warstwa mrozoodporna z pospółki, o grubości 20,0 cm,
- geowłóknina,
- warstwa podsypki, o grubości 10,0 cm.

Stan nawierzchni w sierpniu 2003 r., tj. po dwóch sezonach zimowych jest bardzo dobry; żadnych uszkodzeń nie stwierdzono (Fot. 7 i 8).

Fot. 7 Widok ogólny nawierzchni odcinka z geosiatką szklaną ST2799/II-1250/26 na ul. Marszałkowskiej w Warszawie

Fot. 8 Szczegół nawierzchni odcinka z geosiatką szklaną ST2799/II-1250/26  
na ul. Marszałkowskiej w Warszawie

9) Odcinek na DK 78, w km 55,000 do 56,300 (Szczekociny – Goleniowy)

Konstrukcja nawierzchni:

- warstwa ścieralna z BA 0/20 z asfaltem modyfikowanym, o grubości od 3,0 do 6,0 cm, średnio 4,5 cm,
- geokompozyt Tensar AR-G,
- warstwa wyrównawczo-wiążąca z BA , o grubości od 2,0 do 7,5 cm, średnio 4, cm,
- zmienna liczba warstw asfaltowych o łącznej grubości od 10,0 do 23,5 cm, średnio 15,8 cm,
- podbudowa z tłucznia,
- podłoże gruntowe w postaci nasypu na palach piaskowych, zagłębionych w gruncie torfowym.

Kategoria ruchu: KR5.

Rok remontu: 1997.

Po pierwszym roku eksploatacji nawierzchnia uległa ciężkiej degradacji (rejestr uszkodzeń na kartach w załączniku 1.

Przyczyną szybkiego uszkodzenia nawierzchni było brak zespolenia warstw asfaltowych między które wbudowano geokompozyt. Odspoił się on od warstwy ścieralnej lub od warstwy wiążącej. Drugą przyczyną był niestabilny nasyp. W rezultacie powodowało to duże ugięcia konstrukcji nawierzchni pod płytą FWD średnio 1,42 mm na jednym pasie i średnio 1,38 mm na drugim pasie. Największe pojedyncze wyniki wynoszą odpowiednio 2,01 i 1,97 mm. Wartości te są około 2,5-krotnie większe od ugięcia zmierzonego w ten sam sposób na innych drogach, których nośność była dobra.

Przykład ten wskazuje, że zainstalowanie geosyntetyku między warstwami ścieralną i wiążącą i przy braku dobrego jego złączenia z tymi warstwami nie tylko nie wzmocniło konstrukcji nawierzchni, ale przyczyniło się nawet do przyspieszonego zniszczenia (już po rocznej eksploatacji) warstwy ścieralnej.

8) Odcinki na DK 94, między miejscowościami Modlnica i Biały Kościół.

Odcinki są opisane w sprawozdaniu z I etapu niniejszego tematu. Dodatkowe informacje o tych odcinkach są następujące:

a) Data remontu nawierzchni: 2000 r.

b) Przekrój jezdni:  $7,0 + 2 \times 2,0$  m (pobocza asfaltowe) +  $2 \times (0,8 \div 1,5)$  m (pobocza ziemne),

c) Lokalizacja odcinków:

- odcinek A: 321,700 do 322,400,
- odcinek B: 322,900 do 323,600,
- odcinek C; 325,300 do 326,000.

d) Technologia remontu (wg założeń projektowych):

- frezowanie starej, skoleinowanej nawierzchni na głębokość  $5,0 \div 7,0$  cm i  $15,0$  cm,
- skropienie emulsją asfaltową szybkorozpadową w ilości  $0,8$  kg/m<sup>2</sup>,
- ułożenie warstwy wiążącej z BA 0/16 lub 0/25 mm, w miejscach frezowania głębokiego,
- ułożenie warstwy wyrównawczej z BA 0/12,8 mm w miejscach frezowania płytkiego,
- skropienie emulsją asfaltową szybkorozpadową warstwy wiążącej lub wyrównawczej w ilości  $1,5$  kg/m<sup>2</sup> pod geosyntetyk (na poboczach i na jezdni, z zakładką  $1,0$  m na jezdni) i ułożenie go,

- skropienie emulsją asfaltową szybkorozpadową warstwy wiążącej lub wyrównawczej w ilości  $0,4 \text{ kg/m}^2$  na jezdni na obszarze 2,5 m po obu stronach osi (obszar bez geosyntetyku),
  - ułożenie warstwy ścieralnej z BA 0/12,8 mm, o grubości 5,0 cm, na całym przekroju (jezdni i pobocza).
- e) Średnia grubość wszystkich warstw asfaltowych na jezdni:
- odcinek A – 30,0 cm,
  - odcinek B – 28,0 cm,
  - odcinek C – 30,0 cm.
- f) Rodzaj geosyntetyku:
- odcinek A: geokompozyt Polyfelt PGM-G100,
  - odcinek B: geowłóknina Polyfelt PGM 14,
  - odcinek C: geowłóknina Polyfelt PGM-14 (na krótkim pododcinku tego odcinka geokompozyt PGM - G100).
- g) Właściwości geosyntetyków:
- wytrzymałość na rozciąganie geokompozytu PGM-G100: 100 kN/m,
  - wytrzymałość na rozciąganie geowłókniny PGM 14: 8,5 kN/m,
  - wydłużenie przy zerwaniu PGM-G100 - 3 %,
  - wydłużenie przy zerwaniu PGM 14 - 80 %.
- h) Ciągi pomiarowe aparatem FWD:
- 1,0 m od osi (obszar jezdni bez geosyntetyku),
  - 2,5 m od krawędzi nawierzchni tj. 3,0 m od osi (obszar jezdni z geosyntetykiem).
- i) Stan nawierzchni
- Rejestr uszkodzeń nawierzchni odcinków przedstawiono na kartach w załączniku 1 (stan po 2 latach eksploatacji). Na obszarach z geosyntetykiem w większości wyciętych próbek warstwa ścieralna nie była zespolona z warstwą wyrównawczo-wiążącą.
- Połączenie warstwy wyrównawczej lub wiążącej ze starym podłożem asfaltowym było dobre (naprężenie ścinające wyniosło od 1,2 do 1,4 MPa).
- Pomiary ugięć i stan nawierzchni odcinków na DK 94 wskazują, że główną przyczyną uszkodzeń warstwy ścieralnej na obszarach z geosyntetykiem nie są raczej większe ugięcia w porównaniu do obszarów bez geosyntetyku (patrz poz.5 p.5 w sprawozdaniu z I etapu tego tematu lecz jest to brak lub osłabienie połączenia między

warstwami między które został zainstalowany geosyntetyk. Na obu obszarach ugięcia są na tyle małe, że nie powinny być przyczyną uszkodzeń nawierzchni, o czym świadczy fakt, że na obszarach bez geosyntetyku uszkodzenia nie wystąpiły, zaś różnice między ugięciami na obszarach z i bez geosyntetyku są niewielkie.

#### **4.2 Podsumowanie spostrzeżeń z obserwacji odcinków na których zastosowano geosyntetyki w warstwach asfaltowych**

Przedmiotem obserwacji było 14 odcinków na 11 drogach i ulicach. Tylko w 2 przypadkach (ul. Kowalska we Wrocławiu po 3 sezonach zimowych i ul. Marszałkowska w Warszawie po 2 sezonach zimowych) stwierdzono dobry, bez żadnych uszkodzeń stan nawierzchni z wbudowanym geosyntetykiem. W tych 2 przypadkach geosyntetyki (geosiatki stalowa i szklana) zostały wbudowane pod warstwą wiążącą. W przypadku jednego odcinka (DK 8 – Bardo) z geosiatką stalową pod warstwą wiążącą nie można jednoznacznie stwierdzić co jest przyczyną jego uszkodzeń, ale jest to prawdopodobnie słabe lub brak związania warstw. Inne przykłady z zastosowaniem geosyntetyków między warstwami wiążącą i ścieralną są zdecydowanie negatywne już po 1 sezonie zimowym, zwłaszcza jeżeli były to geowłókniny lub geokompozyty (siatka + włóknina), Materiały te wymagają stosunkowo dużo lepiszcza modyfikowanego do ich pełnego nasycenia. Jest to trudno osiągnąć i być może mogło to być główną przyczyną niepowodzeń w tych przypadkach. Z drugiej strony nadmiar lepiszcza między warstwami powoduje spadek naprężenia ścinającego między nimi i w efekcie osłabienie całego pakietu warstw asfaltowych. Innymi słowy zysk z zastosowania zbrojenia geosyntetykiem jest pomniejszony z powodu osłabienia zespolenia warstw. Pomiary ugięć sprężystych belką Benlemana i aparatem FWD wykazały wzrost tych ugięć na odcinkach lub obszarach z geosyntetykiem, w porównaniu do odcinków referencyjnych.

Geosiatka szklana ułożona pod warstwą wiążącą nie zapobiegła powstaniu spękań odbitych od podbudowy sztywnej starej nawierzchni z betonu cementowego.

Geosiatki z surowca syntetycznego (materiału plastycznego) również temu nie zapobiegły (po 6 sezonach zimowych). Ogólnie można stwierdzić, że w większości obserwowanych przypadków, instalowanie geosyntetyków było nieprawidłowe (w górnej części konstrukcji nawierzchni, za mała ilość lub nieodpowiedni rodzaj lepiszcza, nieodpowiedni rodzaj geosyntetyków). Wystąpiła niespójność między celem stosowania geosyntetyku a wyborem właściwego wyrobu i technologią jego wbudowania.

### **4.3 Główne przyczyny dotychczasowych niepowodzeń w stosowaniu geosyntetyków do warstw asfaltowych**

Stosowanie geosyntetyków w warstwach asfaltowych staje się stopniowo coraz częstszym rozwiązaniem konstrukcyjnym ale nadal nie ma charakteru powszechnego.

Dotychczasowe stosowanie geosyntetyków w warstwach asfaltowych nadal jest raczej na zasadzie prób niż rutynowych rozwiązań. Wynika to nie tylko z braku odpowiednich przepisów technicznych (aczkolwiek ogólne zalecenia dotyczące miejscowego ich stosowania do naprawy spękań odbitych są zawarte w Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni z 2001 r.) co raczej ze znacznych kosztów i komplikacji techniczno-organizacyjnych związanych z instalowaniem tych wyrobów.

Doświadczenia ze stosowania w kraju geosyntetyków do warstw asfaltowych są zróżnicowane. Główne powody negatywnych wyników są następujące:

- zła ocena celu zastosowania geosyntetyku,
- błędy projektowe,
- błędy wykonawcze,
- posłuch dla złego doradztwa dostawców tych wyrobów,
- kierowanie się źle pojętą oszczędnością.

Klimat w Polsce różni się zasadniczo od klimatu w Europie zachodniej. Nasz klimat charakteryzuje przede wszystkim długie okresy mrozów w sezonie zimowym przedzielone okresami odwilży. Mają one największy wpływ na zachowanie się nawierzchni asfaltowej, zarówno z jak i bez geosyntetyku. Dlatego to co sprawdziło się w krajach Europy Zachodniej nie musi się sprawdzić w warunkach naszego kraju. Dotyczy to zarówno rodzaju stosowanego geosyntetyku i sposobu jego zainstalowania. Ta ostatnia sprawa wymaga podkreślenia, gdyż dotyczy to zarówno między które warstwy powinien być on umiejscowiony, jak i sposobu zespolenia z nimi. Liczne przykłady dowodzą, że nie zastosowanie się do pewnych reguł w tym zakresie może doprowadzić wręcz do pogorszenia trwałości nawierzchni asfaltowej.

## **5 Wyniki badań i ich analiza**

### **5.1 Połączenie warstw z geosyntetykiem**

Wyniki ścinania połączeń między warstwami zestawiono w tablicach 6 (ul. Kowalska we Wrocławiu), 7 (odcinki A i B na DK nr 8 w m. Bardo) i 8 (odcinki A, B, C na DK nr 94; Modlnica – Biały Kościół).

**Tablica 6 Wyniki pomiarów naprężenia ścinającego między warstwami, oznaczonego na próbkach wyciętych z nawierzchni ul. Kowalskiej we Wrocławiu [MPa]**

| Położenie warstw   | Nr próbki |     |     |     |     | Wynik średni |
|--|-----------|-----|-----|-----|-----|--------------|
|  | 1         | 2   | 3   | 4   | 5   |              |
| Ścieralna / wiążąca  | 2,4       | 2,1 | 2,1 | 1,8 | 2,6 | 2,2          |
| wiążąca / siatka stalowa Bitufor / pierwsza warstwa poniżej siatki | 0,9       | 1,4 | 0,9 | 0,7 | 1,1 | 1,0          |
| pierwsza warstwa poniżej siatki / druga warstwa poniżej siatki     | 2,2       | 1,0 | 1,7 | 0   | 1,3 | 1,2          |

**Tablica 7 Wyniki pomiarów naprężenia ścinającego między warstwami, oznaczonego na próbkach wyciętych z nawierzchni DK nr 8 (odcinki A i B w m. Bardo [MPa])**

| Położenie warstw   | Odcinek A |     |     | Odcinek B |     |     | Wynik śr. dla pr. II i V |
|--|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|--------------------------|
|  | I         | II  | III | IV        | V   | VI  |                          |
| ścieralna / wiążąca  | 0         | 1,8 | 0   | 0         | 1,4 | 0   | 1,6                      |
| wiążąca / siatka stalowa Bitufor / pierwsza warstwa poniżej siatki | 1,1       | 0,7 | 0,6 | 0,6       | 1,0 | 1,0 | 0,85                     |
| pierwsza warstwa poniżej siatki / druga warstwa poniżej siatki     | 0         | 0   | 0   | 0         | 0   | 0   | 0                        |

**Tablica 8 Średnie wyniki pomiarów naprężenia ścinającego między warstwami, oznaczonego na próbkach wyciętych z nawierzchni DK nr 94 (odcinka A, B, C) [MPa]**

| Położenie warstw                      | Obszar jezdni bez geosyntetyku (1,0 m od osi) | Obszar jezdni z geosyntetykiem (2,5 m od osi) |
|---------------------------------------|---|---|
| ścieralna / wyrównawcza               | 1,9   | -   |
| ścieralna / geosyntetyk / wyrównawcza | -   | brak połączenia – 0                           |
| wyrównawcza / stara nawierzchnia      | 1,9   | 1,3   |
| warstwy w starej nawierzchni          | połączone                                     | połączone                                     |

Wyniki pomiarów naprężenia ścinającego między warstwami (tablica 6, 7 i 8) wskazują, że zainstalowanie między nimi geosyntetyku osłabia ich zespolenie; w przypadku siatki stalowej Bitufor, która jest zespolona w warstwie slurry seal osłabienie tego połączenia jest średnio 2-krotne (tablica 6 i 7). Skrajnym przypadkiem wadliwego sposobu zainstalowania geosyntetyków są przykłady odcinków na DK 94 z geowłókniną Polyfelt – tablica 8, odcinka na DK nr 74 z geosiatką Tensar AR-G – poz. 9 w p. 3.1, DK nr 31 Pabianice-Konstantynów i ul. Akademickiej. Umiejętności w Bielsku-Białej z geowłókniną – poz. 5. w p. 3.1 oraz ul.

Waryńskiego w Warszawie z geosiatką Hatelit – poz. 7 w p. 4.1. Wbudowanie geosyntetyków na tych odcinkach między warstwami ścieralną a wiążącą spowodowało przyspieszoną degradację warstwy ścieralnej (już po roku eksploatacji na skutek osłabienia połączenia tych warstw) tym bardziej, że warstwa ta była na tych odcinkach wykonana z BA z asfaltem niemodyfikowanym.

Wyniki badań laboratoryjnych zespolenia warstw wykonane w Politechnice Krakowskiej potwierdzają, że wprowadzenie geowłókniny między warstwy zawsze osłabia ich zespolenie (rys. 6). Należy zauważyć, że geosyntetyk wprowadzony między warstwy ścieralną a wiążącą nie wzmacnia konstrukcji nawierzchni, gdyż nie pracuje na rozciąganie. Jeżeli będzie zastosowana wystarczająco duża ilość lepiszcza do jego przyklejenia zmniejszy się co najwyżej przenikanie wody w głąb konstrukcji, ale to można osiągnąć również innymi, znacznie tańszymi zabiegami powierzchniowymi na warstwie ścieralnej, zwłaszcza z zastosowaniem asfaltów modyfikowanych polimerami.

## **5.2 Ugięcia**

### **5.2.1 Pomiar ugięć belką Benkelmana**

Wiarygodnym przykładem wpływu zastosowania geosyntetyku między warstwami asfaltowymi (pod warstwą wiążącą) na ich ugięcie sprężyste pod obciążeniem statycznym jest nawierzchnia na ulicy Kowalskiej we Wrocławiu (od ul. Tczewskiej do u. Ceglanej), gdyż po jej remoncie nie wystąpiły na niej uszkodzenia i wszystkie warstwy były zespolone, nie ma więc negatywnego wpływu zaistniałych już uszkodzeń na wynik badania. Przed remontem średnie ugięcie na obu pasach ruchu wynosiło 0,88 mm. Po remoncie ugięcie to było następujące:

- pas prawy w kierunku Oławy, ugięcie średnie blisko osi 0,136 mm (obszar bez geosiatki),
- pas prawy w kierunku Oławy, ugięcie średnie w śladzie kół 0,137 mm (obszar z geosiatką stalową Bitufor),
- pas lewy w kierunku Oławy, ugięcie średnie blisko osi 0,151 mm (obszar bez geosiatki),
- pas lewy w kierunku Oławy, ugięcie średnie w śladzie kół 0,120 mm (obszar z geosiatką stalową Bitufor).

Wyniki te świadczą, na podstawie standardowej metody pomiaru, że nie uzyskano istotnej poprawy ugięć po remoncie na obszarach z geosiatką, w porównaniu z ugięciami na obszarach bez geosiatki (korpus drogowy ma głębokie rowy, konstrukcja jest jednorodna w przekroju poprzecznym). Sytuacja być może byłaby inna gdyby geosiatkę posadowiono jeszcze głębiej,



aby znalazła się zdecydowanie w strefie rozciągania warstw asfaltowych. Należy podkreślić jednak, że remont z zastosowaniem geosiatki okazałby się wówczas znacznie droższy niż bez niej.

Trend wyników pomiarów ugięć sprężystych belką Benkelmana (poz. 5 w p. 5 sprawozdania z I etapu tematu TN221) został potwierdzony wynikami pomiarów ugięć sprężystych aparatem FWD, co ilustruje poniższe zestawienie ugięć pod płytą nawierzchni odcinków na DK 94 (wyniki średnie):

a) odcinek A

- 0,102 mm na obszarze jezdni bliżej osi (bez geosyntetyku),
- 0,140 mm na obszarze bliżej poboczy (z geosyntetykiem),

b) odcinek B

- 0,129 mm na obszarze jezdni bliżej osi (bez geosyntetyku),
- 0,176 mm na obszarze jezdni bliżej poboczy (z geosyntetykiem),

c) odcinek C

- 0,144 mm na obszarze jezdni bliżej osi (bez geosyntetyku),
- 0,221 mm na obszarze jezdni (z geosyntetykiem).

Ugięcia na poboczach są przeciętnie  $2 \div 2,5$  krotnie większe od ugięć nawierzchni jezdni z geosyntetykiem na tej drodze.

Powyższe zestawienie potwierdza również, że na odcinku A z geokompozytem ugięcia te są nieco mniejsze niż na odcinkach B i C z geowłókniną.

Wyniki te wskazują ponadto, że rodzaj zastosowanego geosyntetyku i sposób jego wbudowania w nawierzchnię (między warstwami ścieralną a wyrównawczą na obszarze jezdni bliżej poboczy) spowodował pogorszenie stanu tej części jezdni, w porównaniu do obszaru jezdni bliżej osi; tj. bez geosyntetyku. Rejestr uszkodzeń (Załącznik 1) wskazuje, że zabieg ten nie zapobiegł powstaniu licznych uszkodzeń na połączeniu jezdni z poboczami, ani na samych poboczach.

Podobny obraz ugięć nawierzchni z i bez geosiatki ilustrują wyniki pomiarów aparatem FWD nawierzchni na odcinku ul. Kowalskiej we Wrocławiu (od ul. Tczewskiej do ul. Cegalanej) oraz na odcinkach na DK 8 (za m. Bordo) (tablica 9).

**Tablica 9 Wyniki obliczeń różnicy  $\Delta$  rzędnych  $d_1$  i  $d_4$  czaszy ugięć na podstawie pomiarów FWD,  $\mu\text{m}$**

| Nazwa odcinka (drogi)                        | Ugięcie $d_1$   |                        | Ugięcie ( $d_1-d_4$ ) |                        |
|--|-----------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
|  | wartość średnia | odchylenie standardowe | wartość średnia       | odchylenie standardowe |
| <u>Ul. Kowalska we Wrocławiu</u>             |                 |                        |                       |                        |
| a) obszar z geosiatką stalową                |                 |                        |                       |                        |
| – od ul. Ceglanej do Tczewskiej (prawy ślad) | 289             | 6,3                    | 169                   | 4,7                    |
| – od ul. Tczewskiej do Ceglanej (prawy ślad) | 301             | 6,1                    | 165                   | 4,8                    |
| b) obszar bez geosiatki stalowej             |                 |                        |                       |                        |
| – od ul. Ceglanej do Tczewskiej (lewy ślad)  | 288             | 6,17                   | 181                   | 4,8                    |
| – od ul. Tczewskiej do Ceglanej (lewy ślad)  | 255             | 4,62                   | 146                   | 3,6                    |
| <u>DK 8 (za miejscowością Bardo)</u>         |                 |                        |                       |                        |
| a) odcinki z geosiatką stalową               |                 |                        |                       |                        |
| – km 43,490÷44,085 (B)                       |                 |                        |                       |                        |
| • koleina zewnętrzna                         | 282             | 19,7                   | 188                   | 17,4                   |
| • między koleinami                           | 219             | 14,3                   | 137                   | 11,8                   |
| – km 44,560÷44,650 (C)                       |                 |                        |                       |                        |
| • koleina zewnętrzna                         | 378             | 33,6                   | 276                   | 33,6                   |
| • między koleinami                           | 321             | 27,7                   | 224                   | 27,0                   |
| – km 44,990÷45,440 (A)                       |                 |                        |                       |                        |
| • koleina zewnętrzna                         | 509             | 15,6                   | 363                   | 15,2                   |
| • między koleinami                           | 354             | 16,4                   | 223                   | 14,6                   |
| – km 45,440÷45,590 (D)                       |                 |                        |                       |                        |
| • koleina zewnętrzna                         | 294             | 39,0                   | 200                   | 31,8                   |
| • między koleinami                           | 225             | 37,1                   | 140                   | 28,6                   |
| b) odcinki bez geosiatki stalowej            |                 |                        |                       |                        |
| – km 43,230÷43,490                           |                 |                        |                       |                        |
| • koleina zewnętrzna                         | 161             | 16,3                   | 86                    | 11,2                   |
| • między koleinami                           | 107             | 8,4                    | 49                    | 4,2                    |
| – km 44,085÷44,560                           |                 |                        |                       |                        |
| • koleina zewnętrzna                         | 313             | 23,8                   | 240                   | 22,1                   |
| • między koleinami                           | 225             | 12,5                   | 154                   | 11,0                   |
| – km 44,650÷44,990                           |                 |                        |                       |                        |
| • koleina zewnętrzna                         | 203             | 14,6                   | 120                   | 10,4                   |
| • między koleinami                           | 171             | 8,8                    | 94                    | 6,7                    |
| – km 45,590÷45,690                           |                 |                        |                       |                        |
| • koleina zewnętrzna                         | 55              | 9,6                    | 22                    | 2,9                    |
| • między koleinami                           | 53              | 8,6                    | 21                    | 2,2                    |

Na odcinkach tych została wbudowana geosiatka stalowa Bitufor pod warstwą wiążącą. Porównanie wyników pomiarów ugięć na tych odcinkach jest dość wiarygodne, gdyż ich stan jest bardzo dobry (ul. Kowalska) lub w miarę dobry (pomiar między koleinami na DK nr 8). Stan nawierzchni w koleinie zewnętrznej (prawej) na DK nr 8 jest słaby, o czym świadczą duże wartości odchylenia standardowego dla ugięcia pod płytą  $d_1$  oraz rejestr uszkodzeń w załączniku 1.

Wyniki w tablicy 9 wskazują, że w przypadku ul. Kowalskiej wartości średniego ugięcia nawierzchni pod płytą  $d_1$  na obszarach z geosiatką stalową i bez tej geosiatki są na jednym pasie takie same (wynoszą odpowiednio 289  $\mu\text{m}$  i 288  $\mu\text{m}$ ), zaś na drugim pasie są na obszarze z geosiatką znacznie większe niż na obszarze bez geosiatki, gdyż wynoszą odpowiednio 301  $\mu\text{m}$  i 255  $\mu\text{m}$ , co oznacza różnicę 18 % na niekorzyść obszaru z geosiatką.

Jeszcze większe różnice w wynikach ugięć nawierzchni pod płytą  $d_1$  na obszarach z i bez geosiatki stalowej występują na odcinkach na DK nr 8. Średnie ugięcie nawierzchni z geosiatką stalową pod warstwą wiążącą wynosi między koleinami 280  $\mu\text{m}$ , zaś konstrukcji porównawczej bez geosiatki połowę mniej, tj. 139  $\mu\text{m}$ . W przypadku pomiarów ugięć  $d_1$  w koleinie są one większe i średnio ugięcia te wynoszą 365  $\mu\text{m}$  (z geosiatką) i 183  $\mu\text{m}$  (bez geosiatki), czyli różnica ta również wynosi 100 %, na niekorzyść konstrukcji z geosiatką.

W celu stwierdzenia czy zastosowanie geosiatki powoduje zwiększenie promienia krzywizny czasy ugięć, w porównaniu do konstrukcji bez geosiatki obliczono różnicę między ugięciami pod płytą  $d_1$  i pod czwartym czujnikiem (geofonem)  $d_4$ , znajdującym się w odległości 90 cm od środka płyty, następnie wartości tej różnicy ( $\Delta_z$  – obszary z geosiatką i  $\Delta_b$  – obszary bez geosiatki) porównano ze sobą dla przypadków o zbliżonej wartości ugięcia  $d_1^z$  (z geosiatką) i  $d_1^b$  (bez geosiatki). Otrzymano następujące wyniki:

a) ul. Kowalska we Wrocławiu

- dla  $d_1^z = 289 \mu\text{m} \rightarrow \Delta_z = 169 \mu\text{m}$  (z geosiatką stalową),
- dla  $d_1^b = 288 \mu\text{m} \rightarrow \Delta_b = 181 \mu\text{m}$  (bez geosiatki stalowej).

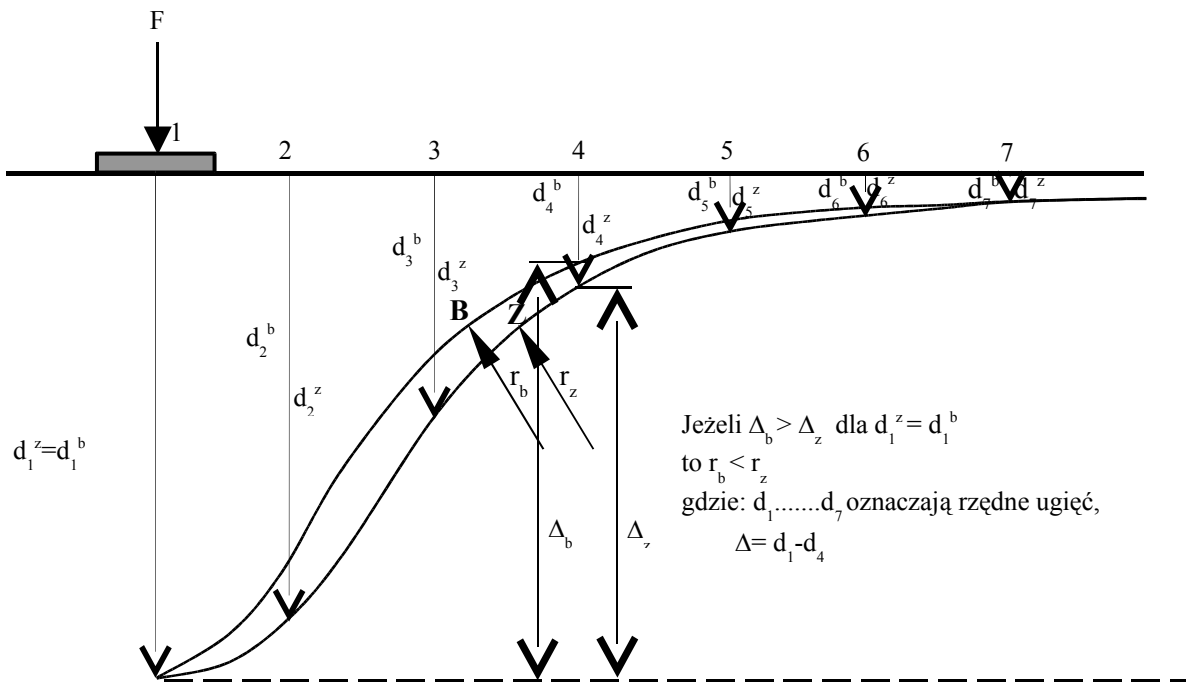
b) DK nr 8 (m. Bardo)

- dla  $d_1^z = 219 \mu\text{m} \rightarrow \Delta_z = 137 \mu\text{m}$  (z geosiatką stalową),
- dla  $d_1^b = 225 \mu\text{m} \rightarrow \Delta_b = 154 \mu\text{m}$  (bez geosiatki stalowej).

c) ul. Kowalska i DK nr 8

- dla  $d_1^z = 301 \mu\text{m}$  (ul. Kowalska)  $\rightarrow \Delta_z = 165 \mu\text{m}$  (z geosiatką stalową),
- dla  $d_1^b = 313 \mu\text{m}$  (DK nr 8)  $\rightarrow \Delta_b = 240 \mu\text{m}$  (bez geosiatki stalowej).

Powyższe wyniki oznaczają, że promień krzywizny czaszy ugięć nawierzchni wzmocnionej geosiatką stalową jest korzystnie większy od promienia krzywizny czaszy ugięć nawierzchni bez geosiatki stalowej, zgodnie z graficzną interpretacją jak na rysunku 7.



Rys.7 Hipotetyczne krzywizny czaszy ugięć w badaniu FWD dla nawierzchni z geosiatką (krzywa Z) i bez geosiatki (krzywa B).

Większy promień krzywizny czaszy ugięć przekłada się na większą odporność nawierzchni na powstawanie pęknięć zmęczeniowych. Niestety jednak, jak wskazują wyniki w tabelicy 9 ugięcia pod płytą  $d_1$  nawierzchni z geosyntetykiem są z reguły większe od takich ugięć, lecz dotyczących nawierzchni bez geosyntetyku, co zmniejsza korzystny wpływ większego promienia krzywizny czaszy ugięć na trwałość nawierzchni.

### 5.3 Trwałość nawierzchni

#### 1) Odcinek B na DK nr 94, od km 322+900 do 323+600

Remont nawierzchni wykonano w 2000 r. Polagał on na częściowym sfrezowaniu starej nawierzchni (głównie kolein), ułożeniu warstwy wyrównawczej lub miejscami warstw wyrównawczej i wiążącej z BA 0/12,8 mm, na ułożeniu geowłókniny PGM14 Polyfelt na skropionym emulsją asfaltową podłożu oraz ułożeniu warstwy ścieralnej z BA 0/12,8 mm, o grubości 5,0 mm. Geowłóknina nie została ułożona na całej powierzchni jezdni, a tylko w śladzie przejazdu prawych kół samochodów, tj. w odległości 2,5 m od osi jezdni. W celu porównania nośności nawierzchni jezdni na obszarach z geowłókniną i bez geowłókniny pomiary ugięć aparatem FWD wykonano w odległości 3,0 m od osi jezdni (przejazd II) i 1,0 m od osi (przejazd III bez geowłókniny). Wytrzymałość na rozciąganie geowłókniny PGM14 wynosi  $8,5 \text{ kN/m}^2$ , a wydłużenie 80 %. Na obszarze jezdni z geowłókniną (prawy ślad kół) liczne uszkodzenia w postaci spękań pojawiły się już po 1 roku (patrz rejestr uszkodzeń na kartach od 24 do 30 w załączniku 1). Na obszarze bez geowłókniny uszkodzenia były znikome. Stan nawierzchni na pasie prawym i lewym był podobny. Na obszarze bez geowłókniny warstwa ścieralna była zespolona z warstwą wiążącą i wiążąca ze starym podłożem asfaltowym (średnio  $\tau = 2,0 \text{ MPa}$ ). Na obszarze z geowłókniną między warstwami ścieralną i wiążącą nie było zespolenia. Kategoria ruchu na tej drodze jest KR5.

Wyniki obliczeń modułów sztywności i sprężystość warstw konstrukcyjnych nawierzchni odcinka B na DK nr 94, na podstawie pomiarów ugięć aparatem FWD zestawiono w tabelicy 10, natomiast wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej w tabelicy 11.

**Tablica 10 Zestawienie zbiorcze wyników obliczeń modułów sztywności, sprężystości warstw konstrukcyjnych nawierzchni DK nr 94, [MPa]**

| Pas jezdni odcinka          | II ciąg pomiarowy 3,0 m od osi jezdni (z geowłókniną) |                |                |                | III ciąg pomiarowy 1,0 m od osi jezdni (bez geowłókniny) |                |                |                |
|-----------------------------|---|----------------|----------------|----------------|--|----------------|----------------|----------------|
|                             | E <sub>1</sub>  | E <sub>2</sub> | E <sub>3</sub> | E <sub>4</sub> | E <sub>1</sub>   | E <sub>2</sub> | E <sub>3</sub> | E <sub>4</sub> |
| prawy                       | 1530  | 596            | 308            | 149            | 9300   | 451            | 233            | 187            |
| lewy                        | 1720  | 462            | 239            | 149            | 7740   | 395            | 204            | 183            |
| średnio nawierzchnia jezdni | 1625  | 529            | 274            | 149            | 8520   | 423            | 218            | 185            |

E<sub>1</sub> - moduł sztywności warstw asfaltowych, przeliczony do temperatury równoważnej 10°C,

E<sub>2</sub> - moduł sprężystości warstwy z kruszywa wapiennego,

E<sub>3</sub> - moduł sprężystości warstwy piasku,

E<sub>4</sub> - moduł sprężystości podłoża gruntowego.

**Tablica 11 Trwałość zmęczeniowa nawierzchni odcinka B na DK nr 94, mln osi 100 kN**

| Pas jezdni odcinka          | II ciąg pomiarowy 3,0 m od osi jezdni (z geowłókniną) |                | III ciąg pomiarowy 1,0 m od osi jezdni (bez geowłókniny) |                |
|-----------------------------|---|----------------|--|----------------|
|                             | N <sub>a</sub>  | N <sub>g</sub> | N <sub>a</sub>   | N <sub>g</sub> |
| prawy                       | 8,9   | >50            | 26,2   | >50            |
| lewy                        | 4,2   | >50            | 16,5   | >50            |
| średnio powierzchnia jezdni | 6,5   | >50            | 21,3   | >50            |

N<sub>a</sub> - trwałość zmęczeniowa warstw asfaltowych (wg kryterium Instytutu Asfaltowego USA),

N<sub>g</sub> - trwałość zmęczeniowa podłoża gruntowego i podbudowy niezwiązanej.

Wyniki w tablicy 10 wskazują, że moduł sztywności pakietu warstw asfaltowych E<sub>1</sub> na obszarze z geowłókniną (II ciąg pomiarowy) jest kilkakrotnie mniejszy od analogicznego modułu pakietu warstw asfaltowych na obszarze bez geowłókniny (III ciąg pomiarowy), podczas gdy moduły sprężystości E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, i E<sub>4</sub> pozostałych warstw są o podobnych wartościach. Podobną różnicę można zaobserwować w trwałości zmęczeniowej między obszarami nawierzchni z i bez geowłókniny (tablica 11). Z tablicy 11 wynika, że decydujący kryterium o trwałości zmęczeniowej w obu przypadkach jest zmęczenie warstw asfaltowych a nie podbudowy i podłoża gruntowego.

Wyników badań tego odcinka (do których należy zaliczyć również rejestr uszkodzeń) wskazują, że niewłaściwy wybór rodzaju geosyntetyku (geowłóknina o dużym wydłużeniu) niewłaściwe umiejscowienie go w konstrukcji nawierzchni (bezpośrednio pod warstwą ścieralną gdzie nie ma strefy ściskania) i brak jego zespolenia z sąsiednimi warstwami (niedobór lepiszcza spowodował brak współpracy warstw) przyczyniły się do przedwczesnego powstania uszkodzeń na obszarze gdzie on został zainstalowany. Duże różnice między parametrami trwałościowymi obszarów z i bez geowłókniny wynikają również z faktu, że obszar z geowłókniną jest poważnie uszkodzony. Różnice te na pewno byłyby mniejsze gdyby pomiary ugięć aparatem FWD byłyby wykonane wkrótce po remoncie, lecz wówczas ocena obszaru z geowłókniną byłaby zbyt optymistyczna, a wtedy już prosta droga do wyciągnięcia błędnego wniosku o przydatności takiego zastosowania geowłókniny, jako materiału zbrojącego warstwy asfaltowe. Jeżeliby natomiast chodziło o uszczelnienie konstrukcji nawierzchni to są oczywiście metody znacznie tańsze, nie wymagające stosowania geosyntetyków. Wcześniejsze badania (temat TN-225) dowiodły, że nadmiar lepiszcza do połączenia warstw, a pełne nasycenie geowłókniny do dobrego jej zespolenia z sąsiednimi warstwami wymaga tego nadmiaru osłabia to połączenie i wpływa negatywnie na trwałość konstrukcji nawierzchni.

## 2) Odcinek na DK nr 78, km 55+000 do 56+300

Ze względu na duże zniszczenia nawierzchni (patrz załącznik 1) oraz znaczną zmienność czaszy ugięć pomierzonej ugięciomierzem FWD moduły sprężystości poszczególnych warstw obliczono na podstawie uśrednionej czaszy ugięć. Obliczone moduły, przyjęte wartości współczynnika Poissona oraz grubości warstw do wyznaczenia trwałości zmęczeniowej konstrukcji zestawiono poniżej.

### Kierunek Szczekociny:

- warstwa asfaltowa  $E_1 = 798 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 0,30$ ,  $h = 23,5 \text{ cm}$ ,
- warstwa tłucznia  $E_2 = 592 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 0,30$ ,  $h = 18,0 \text{ cm}$ ,
- podłoże gruntowe  $E_3 = 23 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 30$ .

### Kierunek Goleniowy

- warstwa asfaltowa  $E_1 = 794 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 0,30$ ,  $h = 23,5 \text{ cm}$ ,
- warstwa tłucznia  $E_2 = 725 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 0,30$ ,  $h = 18,0 \text{ cm}$ ,
- podłoże gruntowe  $E_3 = 23 \text{ MPa}$ ,  $\nu = 30$ .

Wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej nawierzchni są następujące:

### Kierunek Szczekociny

- kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych  $N_a = 650 \text{ tys. osi } 100 \text{ kN}$ ,

- kryterium deformacji podłoża gruntowego  $N_g = 14,5$  tys. osi 100 kN.

#### Kierunek Goleniowy

- kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych  $N_a = 878$  tys. osi 100 kN,

- kryterium deformacji podłoża gruntowego  $N_g = 20,3$  tys. osi 100 kN.

Wyniki te wskazują, że czynnikiem decydującym o trwałości konstrukcji nawierzchni jest kryterium deformacji podłoża. Umieszczenie geokompozytu bezpośrednio pod warstwą ścieralną i brak jego zespolenia z sąsiednimi warstwami przyczyniło się do powstania uszkodzeń nowej warstwy ścieralnej. Pozostała trwałość zmęczeniowa. Na tej nawierzchni jest szczątkowa.

#### 3) Pobocze prawe na DK nr 2 w km 147 + 550 do 148+000

Na podstawie danych pomiarowych zestawionych w tablicy 13 obliczono parametry trwałości zmęczeniowej nawierzchni z geosiatką szklaną ułożoną pod warstwą ścieralną (2 odcinki) i nawierzchni bez geosiatki (odcinek referencyjny). Wyniki w tablicy 12 wskazują, że moduł sztywności E1 warstw asfaltowych (ścieralnej i wiążącej) na obu odcinkach wzmocnionych geosiatkami szklanymi Roadtex 2303 i Rotaflex 833 SL jest średnio prawie 2-krotnie mniejszy od modułu sztywności E1 warstw asfaltowych na odcinku referencyjnym tj. bez geosiatki. Wyniki obliczeń tego modułu dla tych trzech odcinków przedkładają się zgodnie z tym samym trendem na wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej całej konstrukcji. Największą trwałością zmęczeniową charakteryzuje się odcinek referencyjny bez geosiatki. Na odcinku z geosiatką szklaną Rotaflex 833 SL wystąpiły dwa pęknięcia poprzeczne (odbite) przez całą szerokość jezdni i pobocza; jedno w km 147+893, drugie w km 147+943; odcinek z tą siatką kończy się w km 148+000.



**Tablica 12 Wyniki analizy trwałości zmęczeniowej nawierzchni  
drogi DK nr 2, od km 147+550 do km 148+000**

| <b>Odcinek z siatką Roadtex 2303</b>                            |                |                        |            |            |                           |           |           |           |
|---|----------------|------------------------|------------|------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
|   | Nacisk,<br>kPa | Ugięcia, $\mu\text{m}$ |            |            |                           |           |           |           |
|   |                | 1                      | 2          | 3          | 4                         | 5         | 6         | 7         |
| średnia   | <b>707</b>     | <b>490</b>             | <b>351</b> | <b>232</b> | <b>148</b>                | <b>95</b> | <b>61</b> | <b>43</b> |
| odch. stand.  | <b>11</b>      | <b>102</b>             | <b>46</b>  | <b>27</b>  | <b>26</b>                 | <b>25</b> | <b>19</b> | <b>12</b> |
| <b>Wartości obliczonych modułów warstw konstrukcyjnych, MPa</b> |                |                        |            |            |                           |           |           |           |
| E1, warstwy asfaltowe   |                | E2, podbudowa          |            |            | Ep, podłoże gruntowe      |           |           |           |
| <b>14790</b>  |                | <b>591</b>             |            |            | <b>81</b>                 |           |           |           |
| <b>Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni</b>   |                |                        |            |            |                           |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych                        |                |                        |            |            | <b>1,8 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe podłoża gruntowego                        |                |                        |            |            | <b>0,4 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |

| <b>Odcinek referencyjny bez siatki</b>                          |                |                        |            |            |                           |            |           |           |
|---|----------------|------------------------|------------|------------|---------------------------|------------|-----------|-----------|
|   | Nacisk,<br>kPa | Ugięcia, $\mu\text{m}$ |            |            |                           |            |           |           |
|   |                | 1                      | 2          | 3          | 4                         | 5          | 6         | 7         |
| średnia   | <b>702</b>     | <b>465</b>             | <b>347</b> | <b>239</b> | <b>158</b>                | <b>102</b> | <b>66</b> | <b>46</b> |
| odch. stand.  | <b>10</b>      | <b>103</b>             | <b>71</b>  | <b>44</b>  | <b>30</b>                 | <b>22</b>  | <b>17</b> | <b>12</b> |
| <b>Wartości obliczonych modułów warstw konstrukcyjnych, MPa</b> |                |                        |            |            |                           |            |           |           |
| E1, warstwy asfaltowe   |                | E2, podbudowa          |            |            | Ep, podłoże gruntowe      |            |           |           |
| <b>21386</b>  |                | <b>559</b>             |            |            | <b>80</b>                 |            |           |           |
| <b>Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni</b>   |                |                        |            |            |                           |            |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych                        |                |                        |            |            | <b>2,0 mln osi 100 kN</b> |            |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe podłoża gruntowego                        |                |                        |            |            | <b>0,5 mln osi 100 kN</b> |            |           |           |

| <b>Odcinek z siatką Rotaflex 833 SL</b>                         |                |                        |            |            |                           |            |           |           |
|---|----------------|------------------------|------------|------------|---------------------------|------------|-----------|-----------|
|   | Nacisk,<br>kPa | Ugięcia, $\mu\text{m}$ |            |            |                           |            |           |           |
|   |                | 1                      | 2          | 3          | 4                         | 5          | 6         | 7         |
| średnia   | <b>693</b>     | <b>682</b>             | <b>488</b> | <b>313</b> | <b>188</b>                | <b>109</b> | <b>66</b> | <b>46</b> |
| odch. stand.  | <b>10</b>      | <b>162</b>             | <b>101</b> | <b>47</b>  | <b>21</b>                 | <b>14</b>  | <b>12</b> | <b>10</b> |
| <b>Wartości obliczonych modułów warstw konstrukcyjnych, MPa</b> |                |                        |            |            |                           |            |           |           |
| E1, warstwy asfaltowe   |                | E2, podbudowa          |            |            | Ep, podłoże gruntowe      |            |           |           |
| <b>9620</b>   |                | <b>512</b>             |            |            | <b>54</b>                 |            |           |           |
| <b>Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni</b>   |                |                        |            |            |                           |            |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych                        |                |                        |            |            | <b>1,2 mln osi 100 kN</b> |            |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe podłoża gruntowego                        |                |                        |            |            | <b>0,1 mln osi 100 kN</b> |            |           |           |

**Tablica 13 Wyniki pomiarów ugięć nawierzchni pod obciążeniem dynamicznym  
(badanie ugięciomierzem FWD), na odcinku DK nr 2  
od km 147+550 do km 147+800**

Data badania: 21 września 2003 roku,  
Temperatura warstw asfaltowych: 20°C.

| Pikietaż,<br>km                        | Nacisk,<br>kPa | Wielkość ugięcia w poszczególnych punktach, $\mu\text{m}$ |     |     |     |     |     |    |
|--|----------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|----|
|  |                | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7  |
| Odcinek z siatką Roadtex 2303          |                |   |     |     |     |     |     |    |
| 147+550                                | 676            | 1079  | 668 | 312 | 154 | 83  | 52  | 41 |
| 147+560                                | 691            | 688   | 488 | 303 | 175 | 98  | 58  | 39 |
| 147+570                                | 673            | 1152  | 721 | 359 | 166 | 74  | 42  | 37 |
| 147+580                                | 677            | 1152  | 716 | 339 | 140 | 59  | 37  | 31 |
| 147+590                                | 693            | 655   | 394 | 218 | 119 | 65  | 40  | 31 |
| 147+600                                | 701            | 607   | 416 | 260 | 147 | 86  | 48  | 37 |
| 147+610                                | 699            | 445   | 329 | 224 | 150 | 99  | 63  | 44 |
| 147+620                                | 706            | 400   | 303 | 207 | 133 | 86  | 56  | 38 |
| 147+630                                | 711            | 427   | 299 | 198 | 126 | 81  | 50  | 37 |
| 147+640                                | 721            | 492   | 379 | 258 | 167 | 110 | 72  | 49 |
| 147+650                                | 720            | 405   | 339 | 261 | 193 | 141 | 98  | 68 |
| <u>Odcinek referencyjny bez siatki</u> |                |   |     |     |     |     |     |    |
| 147+660                                | 717            | 384   | 288 | 208 | 145 | 99  | 67  | 49 |
| 147+670                                | 709            | 338   | 276 | 235 | 179 | 123 | 91  | 66 |
| 147+680                                | 700            | 515   | 382 | 261 | 173 | 117 | 80  | 61 |
| 147+690                                | 704            | 390   | 323 | 252 | 189 | 142 | 100 | 72 |
| 147+700                                | 706            | 339   | 266 | 202 | 144 | 104 | 71  | 52 |
| 147+710                                | 709            | 437   | 325 | 231 | 152 | 103 | 68  | 46 |
| 147+720                                | 718            | 302   | 252 | 187 | 137 | 89  | 61  | 45 |
| 147+730                                | 716            | 456   | 326 | 214 | 130 | 73  | 43  | 31 |
| 147+740                                | 720            | 254   | 178 | 118 | 74  | 48  | 33  | 23 |
| 147+750                                | 702            | 480   | 355 | 242 | 146 | 90  | 58  | 37 |
| 147+760                                | 700            | 601   | 442 | 285 | 175 | 110 | 68  | 48 |
| 147+770                                | 694            | 522   | 381 | 243 | 146 | 84  | 51  | 37 |
| 147+780                                | 698            | 574   | 404 | 265 | 158 | 97  | 59  | 42 |
| 147+790                                | 704            | 477   | 344 | 220 | 138 | 78  | 42  | 30 |
| 147+800                                | 723            | 322   | 234 | 153 | 98  | 64  | 41  | 32 |
| 147+810                                | 694            | 474   | 354 | 249 | 172 | 112 | 74  | 51 |
| 147+820                                | 701            | 418   | 314 | 223 | 164 | 113 | 77  | 56 |
| 147+830                                | 696            | 498   | 369 | 260 | 180 | 123 | 81  | 57 |
| 147+840                                | 693            | 418   | 332 | 247 | 176 | 119 | 79  | 53 |
| 147+850                                | 696            | 570   | 442 | 310 | 208 | 136 | 88  | 58 |
| 147+860                                | 693            | 528   | 394 | 271 | 183 | 118 | 74  | 50 |
| 147+870                                | 690            | 540   | 393 | 263 | 170 | 104 | 64  | 44 |
| 147+880                                | 691            | 555   | 392 | 254 | 159 | 94  | 54  | 35 |
| 147+890                                | 690            | 576   | 426 | 271 | 145 | 95  | 59  | 41 |
| 147+900                                | 694            | 648   | 476 | 322 | 210 | 127 | 74  | 46 |

| Pikietaż,<br>km                  | Nacisk,<br>kPa | Wielkość ugięcia w poszczególnych punktach, $\mu\text{m}$ |     |     |     |     |    |    |
|----------------------------------|----------------|---|-----|-----|-----|-----|----|----|
|                                  |                | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | 7  |
| Odcinek z siatką Rotaflex 833 SL |                |   |     |     |     |     |    |    |
| 147+910                          | 689            | 643   | 475 | 325 | 205 | 123 | 71 | 45 |
| 147+920                          | 677            | 864   | 619 | 379 | 206 | 103 | 58 | 40 |
| 147+930                          | 682            | 1006  | 688 | 388 | 204 | 103 | 55 | 38 |
| 147+940                          | 695            | 548   | 398 | 262 | 158 | 92  | 55 | 37 |
| 147+950                          | 688            | 699   | 484 | 312 | 184 | 105 | 59 | 38 |
| 147+960                          | 690            | 717   | 517 | 343 | 220 | 140 | 92 | 69 |
| 147+970                          | 695            | 734   | 493 | 297 | 173 | 100 | 63 | 47 |
| 147+980                          | 701            | 601   | 456 | 301 | 190 | 116 | 74 | 53 |
| 147+990                          | 702            | 540   | 395 | 264 | 163 | 97  | 59 | 41 |
| 148+000                          | 712            | 466   | 359 | 257 | 174 | 114 | 74 | 51 |

4) Ul. Kowalska we Wrocławiu, odcinek od ul. Tczewskiej do ul. Ceglanej

Wyniki pomiarów ugięć sprężystych (aparatem FWD) nawierzchni na ul. Kowalskiej we Wrocławiu zestawiono w tabelicy 15, wyniki obliczeń parametrów trwałościowych zestawiono w tabelicy 14. Na tym odcinku geosiatka stalowa Bitufor została wbudowana pod warstwę wiążącą. Siatka ta została umocowana do starego podłoża asfaltowego mieszanką slurry seal, ułożoną w ilości  $18 \div 20 \text{ kg/m}^2$ . Na pasie od ul. Ceglanej do ul. Tczewskiej moduł sztywności E1 warstw asfaltowych na obszarze z geosiatką stalową jest większy o 17 % od modułu sztywności warstw asfaltowych na obszarze bez siatki. Również w tym samym stopniu trwałość zmęczeniowa obszaru nawierzchni z geosiatką stalową jest większa od trwałości zmęczeniowej obszaru nawierzchni bez geosiatki stalowej. Moduły sprężystości podbudowy i podłoża gruntowego są na obu obszarach podobne.

Na pasie od ul. Tczewskiej do ul. Ceglanej moduł sztywności E1 warstw asfaltowych na obszarze z geosiatką stalową jest tylko nieco większy od modułu sztywności warstw asfaltowych na obszarze bez geosiatki. Natomiast trwałość zmęczeniowa nawierzchni (warstw asfaltowych i podłoża) na obszarze z geosiatką stalową jest znacznie mniejsza od trwałości zmęczeniowej nawierzchni na obszarze bez geosiatki. Domniemaną przyczyną są większe wartości modułu sprężystości podbudowy i podłoża gruntowego obszaru bez geosiatki.

**Tablica 14 Wyniki analizy trwałości zmęczeniowej nawierzchni  
ul. Kowalskiej we Wrocławiu**

| <b>Odcinek od ul Ceglanej do ul. Tczewskiej, prawy ślad – z geosiatką</b> |                |                        |            |            |                            |           |           |           |
|---|----------------|------------------------|------------|------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
|   | Nacisk,<br>kPa | Ugięcia, $\mu\text{m}$ |            |            |                            |           |           |           |
|   |                | 1                      | 2          | 3          | 4                          | 5         | 6         | 7         |
| średnia   | <b>696</b>     | <b>289</b>             | <b>228</b> | <b>166</b> | <b>120</b>                 | <b>86</b> | <b>62</b> | <b>47</b> |
| odch. stand.  | <b>7</b>       | <b>46</b>              | <b>34</b>  | <b>22</b>  | <b>15</b>                  | <b>11</b> | <b>8</b>  | <b>6</b>  |
| <b>Wartości obliczonych modułów warstw konstrukcyjnych, MPa</b>           |                |                        |            |            |                            |           |           |           |
| E1, warstwy asfaltowe   |                | E2, podbudowa          |            |            | Ep, podłoże gruntowe       |           |           |           |
| <b>7493</b>   |                | <b>1119</b>            |            |            | <b>102</b>                 |           |           |           |
| <b>Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni</b>             |                |                        |            |            |                            |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych                                  |                |                        |            |            | <b>14,5 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe podłoża gruntowego                                  |                |                        |            |            | <b>7,4 mln osi 100 kN</b>  |           |           |           |

| <b>Odcinek od ul Ceglanej do ul. Tczewskiej, lewy ślad – bez geosiatki</b> |                |                        |            |            |                            |           |           |           |
|--|----------------|------------------------|------------|------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
|  | Nacisk,<br>kPa | Ugięcia, $\mu\text{m}$ |            |            |                            |           |           |           |
|  |                | 1                      | 2          | 3          | 4                          | 5         | 6         | 7         |
| średnia  | <b>699</b>     | <b>288</b>             | <b>220</b> | <b>154</b> | <b>108</b>                 | <b>77</b> | <b>56</b> | <b>44</b> |
| odch. stand.   | <b>5</b>       | <b>45</b>              | <b>33</b>  | <b>21</b>  | <b>14</b>                  | <b>10</b> | <b>7</b>  | <b>6</b>  |
| <b>Wartości obliczonych modułów warstw konstrukcyjnych, MPa</b>            |                |                        |            |            |                            |           |           |           |
| E1, warstwy asfaltowe  |                | E2, podbudowa          |            |            | Ep, podłoże gruntowe       |           |           |           |
| <b>6404</b>  |                | <b>1034</b>            |            |            | <b>113</b>                 |           |           |           |
| <b>Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni</b>              |                |                        |            |            |                            |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych                                   |                |                        |            |            | <b>12,4 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe podłoża gruntowego                                   |                |                        |            |            | <b>6,3 mln osi 100 kN</b>  |           |           |           |

| <b>Odcinek od ul Tczewskiej do ul. Ceglanej, prawy ślad – z geosiatką</b> |                |                        |            |            |                           |           |           |           |
|---|----------------|------------------------|------------|------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
|   | Nacisk,<br>kPa | Ugięcia, $\mu\text{m}$ |            |            |                           |           |           |           |
|   |                | 1                      | 2          | 3          | 4                         | 5         | 6         | 7         |
| średnia   | <b>696</b>     | <b>301</b>             | <b>248</b> | <b>187</b> | <b>136</b>                | <b>97</b> | <b>70</b> | <b>52</b> |
| odch. stand.  | <b>5</b>       | <b>45</b>              | <b>33</b>  | <b>21</b>  | <b>15</b>                 | <b>11</b> | <b>8</b>  | <b>6</b>  |
| <b>Wartości obliczonych modułów warstw konstrukcyjnych, MPa</b>           |                |                        |            |            |                           |           |           |           |
| E1, warstwy asfaltowe   |                | E2, podbudowa          |            |            | Ep, podłoże gruntowe      |           |           |           |
| <b>10227</b>  |                | <b>833</b>             |            |            | <b>92</b>                 |           |           |           |
| <b>Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni</b>             |                |                        |            |            |                           |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych                                  |                |                        |            |            | <b>9,8 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe podłoża gruntowego                                  |                |                        |            |            | <b>6,6 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |

| <b>Odcinek od ul Tczewskiej do ul. Ceglanej, lewy ślad – bez geosiatki</b> |                |                        |            |            |                            |           |           |           |
|--|----------------|------------------------|------------|------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
|  | Nacisk,<br>kPa | Ugięcia, $\mu\text{m}$ |            |            |                            |           |           |           |
|  |                | 1                      | 2          | 3          | 4                          | 5         | 6         | 7         |
| średnia  | <b>707</b>     | <b>255</b>             | <b>204</b> | <b>151</b> | <b>109</b>                 | <b>80</b> | <b>58</b> | <b>45</b> |
| odch. stand.   | <b>6</b>       | <b>34</b>              | <b>25</b>  | <b>18</b>  | <b>12</b>                  | <b>9</b>  | <b>7</b>  | <b>5</b>  |
| <b>Wartości obliczonych modułów warstw konstrukcyjnych, MPa</b>            |                |                        |            |            |                            |           |           |           |
| E1, warstwy asfaltowe  |                | E2, podbudowa          |            |            | Ep, podłoże gruntowe       |           |           |           |
| <b>9685</b>  |                | <b>1143</b>            |            |            | <b>117</b>                 |           |           |           |
| <b>Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni</b>              |                |                        |            |            |                            |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych                                   |                |                        |            |            | <b>16,9 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe podłoża gruntowego                                   |                |                        |            |            | <b>13,7 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |

**Tablica 15 Wyniki pomiarów ugięć na nawierzchni pod obciążeniem dynamicznym (badanie ugięciomierzem FWD), na ul. Kowalskiej we Wrocławiu na odcinku od ul. Tczewskiej do ul. Ceglanej**

Data badania: 14 października 2002 rok,  
Temperatura warstw asfaltowych: 9°C.

| Pikietaż,<br>km                       | Nacisk,<br>kPa | Wielkość ugięcia w poszczególnych punktach, $\mu\text{m}$ |     |     |     |     |    |    |
|---------------------------------------|----------------|---|-----|-----|-----|-----|----|----|
|                                       |                | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | 7  |
| Od Ceglanej do Tczewskiej, prawy ślad |                |   |     |     |     |     |    |    |
| 0+000                                 | 724            | 356   | 268 | 177 | 120 | 83  | 58 | 44 |
| 0+025                                 | 701            | 305   | 243 | 172 | 118 | 82  | 57 | 43 |
| 0+050                                 | 706            | 297   | 225 | 155 | 105 | 72  | 50 | 38 |
| 0+075                                 | 693            | 353   | 259 | 171 | 118 | 79  | 56 | 42 |
| 0+100                                 | 696            | 341   | 263 | 185 | 128 | 90  | 64 | 47 |
| 0+125                                 | 702            | 218   | 181 | 138 | 104 | 78  | 55 | 42 |
| 0+150                                 | 704            | 215   | 184 | 145 | 112 | 84  | 63 | 48 |
| 0+175                                 | 701            | 335   | 269 | 196 | 139 | 100 | 71 | 54 |
| 0+200                                 | 701            | 294   | 237 | 176 | 128 | 95  | 71 | 55 |
| 0+225                                 | 698            | 282   | 228 | 168 | 123 | 91  | 69 | 53 |
| 0+250                                 | 695            | 257   | 206 | 157 | 118 | 88  | 66 | 50 |
| 0+275                                 | 700            | 267   | 215 | 160 | 119 | 87  | 63 | 48 |
| 0+300                                 | 700            | 255   | 209 | 155 | 114 | 86  | 64 | 48 |
| 0+325                                 | 701            | 188   | 154 | 119 | 92  | 69  | 52 | 40 |
| 0+350                                 | 695            | 267   | 205 | 146 | 103 | 73  | 55 | 41 |
| 0+375                                 | 694            | 275   | 217 | 156 | 113 | 82  | 60 | 46 |
| 0+400                                 | 694            | 282   | 225 | 165 | 121 | 88  | 63 | 48 |
| 0+425                                 | 694            | 261   | 208 | 154 | 113 | 83  | 59 | 45 |
| 0+450                                 | 690            | 319   | 251 | 178 | 126 | 89  | 65 | 49 |
| 0+475                                 | 694            | 288   | 224 | 159 | 111 | 79  | 57 | 43 |
| 0+500                                 | 689            | 313   | 239 | 162 | 109 | 74  | 50 | 40 |
| 0+525                                 | 699            | 235   | 189 | 142 | 104 | 75  | 54 | 42 |
| 0+550                                 | 688            | 227   | 186 | 145 | 109 | 81  | 60 | 45 |
| 0+575                                 | 694            | 235   | 189 | 140 | 102 | 73  | 53 | 40 |
| 0+600                                 | 695            | 254   | 202 | 154 | 112 | 82  | 59 | 45 |
| 0+625                                 | 691            | 257   | 206 | 157 | 117 | 87  | 62 | 46 |
| 0+650                                 | 689            | 267   | 207 | 156 | 112 | 83  | 61 | 48 |
| 0+675                                 | 693            | 220   | 184 | 148 | 111 | 87  | 65 | 50 |
| 0+700                                 | 686            | 299   | 248 | 185 | 132 | 94  | 70 | 54 |
| 0+725                                 | 691            | 319   | 253 | 180 | 125 | 86  | 59 | 43 |
| 0+750                                 | 693            | 358   | 280 | 197 | 136 | 93  | 65 | 49 |
| 0+775                                 | 693            | 297   | 239 | 181 | 132 | 95  | 70 | 51 |
| 0+800                                 | 685            | 343   | 270 | 201 | 144 | 101 | 72 | 55 |
| 0+825                                 | 685            | 309   | 244 | 177 | 126 | 87  | 61 | 46 |
| 0+850                                 | 686            | 378   | 288 | 201 | 142 | 100 | 72 | 54 |
| 0+875                                 | 690            | 291   | 228 | 170 | 126 | 91  | 66 | 50 |
| 0+900                                 | 690            | 309   | 246 | 186 | 137 | 101 | 73 | 57 |
| 0+925                                 | 683            | 396   | 310 | 222 | 160 | 114 | 81 | 61 |
| 0+950                                 | 686            | 318   | 255 | 191 | 140 | 101 | 72 | 54 |
| 0+975                                 | 695            | 327   | 263 | 196 | 143 | 102 | 73 | 55 |
| 1+000                                 | 698            | 354   | 277 | 202 | 142 | 100 | 71 | 54 |
| 1+025                                 | 703            | 314   | 247 | 178 | 127 | 91  | 66 | 50 |

|       |     |     |     |     |     |     |    |    |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| 1+050 | 697 | 270 | 217 | 171 | 131 | 98  | 74 | 57 |
| 1+075 | 700 | 351 | 279 | 202 | 145 | 105 | 76 | 58 |
| 1+100 | 695 | 348 | 273 | 196 | 144 | 103 | 74 | 56 |
| 1+125 | 692 | 281 | 220 | 162 | 114 | 83  | 60 | 45 |
| 1+150 | 701 | 283 | 221 | 156 | 110 | 78  | 57 | 44 |
| 1+175 | 701 | 277 | 215 | 153 | 107 | 76  | 55 | 41 |
| 1+200 | 700 | 285 | 222 | 153 | 107 | 76  | 56 | 43 |
| 1+225 | 704 | 251 | 194 | 141 | 102 | 75  | 55 | 41 |
| 1+250 | 703 | 230 | 179 | 130 | 92  | 66  | 49 | 38 |
| 1+275 | 704 | 238 | 186 | 137 | 98  | 72  | 54 | 41 |
| 1+300 | 698 | 228 | 180 | 134 | 96  | 70  | 52 | 41 |
| 1+325 | 694 | 264 | 209 | 150 | 103 | 73  | 52 | 41 |
| 1+350 | 687 | 459 | 315 | 179 | 112 | 80  | 57 | 47 |
| 1+375 | 688 | 454 | 291 | 165 | 105 | 71  | 53 | 42 |
| 1+400 | 689 | 400 | 286 | 180 | 120 | 81  | 59 | 47 |
| 1+425 | 691 | 727 | 401 | 188 | 120 | 90  | 68 | 52 |
| 1+450 | 701 | 439 | 320 | 222 | 132 | 85  | 69 | 55 |
| 1+475 | 712 | 475 | 328 | 208 | 141 | 102 | 75 | 56 |
| 1+500 | 695 | 573 | 362 | 198 | 131 | 95  | 72 | 57 |
| 1+525 | 711 | 390 | 267 | 157 | 100 | 71  | 53 | 42 |
| 1+550 | 698 | 448 | 279 | 152 | 97  | 71  | 54 | 44 |
| 1+575 | 683 | 584 | 335 | 186 | 111 | 79  | 59 | 46 |
| 1+600 | 704 | 473 | 289 | 167 | 105 | 72  | 52 | 41 |
| 1+625 | 687 | 509 | 286 | 166 | 101 | 68  | 46 | 40 |
| 1+650 | 697 | 555 | 347 | 194 | 121 | 80  | 59 | 43 |
| 1+675 | 709 | 574 | 387 | 226 | 142 | 98  | 72 | 56 |
| 1+700 | 710 | 481 | 321 | 193 | 126 | 87  | 61 | 47 |
| 1+725 | 733 | 292 | 217 | 146 | 101 | 75  | 58 | 46 |

| Pikietaż,<br>km                      | Nacisk,<br>kPa | Wielkość ugięcia w poszczególnych punktach, $\mu\text{m}$ |     |     |     |    |    |    |
|--------------------------------------|----------------|---|-----|-----|-----|----|----|----|
|                                      |                | 1   | 2   | 3   | 4   | 5  | 6  | 7  |
| Od Ceglanej do Tczewskiej, lewy ślad |                |   |     |     |     |    |    |    |
| 0+000                                | 705            | 332   | 255 | 171 | 113 | 77 | 55 | 42 |
| 0+025                                | 713            | 309   | 241 | 168 | 113 | 78 | 55 | 42 |
| 0+050                                | 703            | 315   | 240 | 160 | 105 | 70 | 50 | 38 |
| 0+075                                | 695            | 413   | 301 | 190 | 120 | 79 | 56 | 42 |
| 0+100                                | 707            | 335   | 249 | 163 | 111 | 77 | 55 | 42 |
| 0+125                                | 703            | 260   | 193 | 131 | 90  | 64 | 48 | 37 |
| 0+150                                | 705            | 259   | 202 | 145 | 103 | 75 | 54 | 42 |
| 0+175                                | 707            | 349   | 272 | 190 | 131 | 92 | 64 | 50 |
| 0+200                                | 700            | 286   | 229 | 163 | 117 | 87 | 66 | 53 |
| 0+225                                | 697            | 303   | 230 | 162 | 116 | 84 | 64 | 51 |
| 0+250                                | 700            | 319   | 246 | 173 | 122 | 89 | 66 | 51 |
| 0+275                                | 706            | 343   | 262 | 177 | 122 | 86 | 62 | 47 |
| 0+300                                | 697            | 269   | 211 | 153 | 112 | 83 | 62 | 48 |
| 0+325                                | 696            | 258   | 203 | 147 | 107 | 78 | 58 | 45 |
| 0+350                                | 698            | 246   | 191 | 133 | 93  | 66 | 51 | 38 |
| 0+375                                | 703            | 340   | 245 | 155 | 105 | 72 | 54 | 42 |
| 0+400                                | 698            | 299   | 228 | 158 | 111 | 79 | 58 | 44 |
| 0+425                                | 703            | 292   | 219 | 149 | 105 | 75 | 55 | 42 |
| 0+450                                | 700            | 320   | 235 | 159 | 107 | 76 | 56 | 43 |
| 0+475                                | 700            | 282   | 212 | 143 | 97  | 68 | 50 | 39 |

|       |     |     |     |     |     |    |    |    |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 0+500 | 695 | 302 | 216 | 138 | 91  | 62 | 45 | 35 |
| 0+525 | 701 | 245 | 185 | 128 | 88  | 64 | 47 | 37 |
| 0+550 | 698 | 243 | 185 | 131 | 93  | 67 | 50 | 39 |
| 0+575 | 699 | 209 | 161 | 114 | 80  | 58 | 43 | 33 |
| 0+600 | 702 | 236 | 176 | 127 | 90  | 65 | 48 | 37 |
| 0+625 | 689 | 275 | 201 | 139 | 99  | 72 | 52 | 40 |
| 0+650 | 702 | 204 | 165 | 128 | 97  | 74 | 56 | 44 |
| 0+675 | 697 | 208 | 165 | 128 | 100 | 76 | 57 | 45 |
| 0+700 | 695 | 292 | 229 | 166 | 118 | 87 | 66 | 52 |
| 0+725 | 696 | 275 | 215 | 153 | 103 | 70 | 51 | 38 |
| 0+750 | 692 | 352 | 277 | 192 | 132 | 92 | 66 | 49 |
| 0+775 | 694 | 314 | 244 | 173 | 122 | 86 | 62 | 48 |
| 0+800 | 694 | 347 | 264 | 180 | 127 | 91 | 66 | 50 |
| 0+825 | 702 | 314 | 237 | 167 | 109 | 76 | 54 | 42 |
| 0+850 | 697 | 337 | 262 | 181 | 124 | 87 | 64 | 48 |
| 0+875 | 700 | 310 | 235 | 162 | 113 | 80 | 59 | 46 |
| 0+900 | 701 | 308 | 237 | 166 | 118 | 85 | 62 | 48 |
| 0+925 | 690 | 318 | 245 | 171 | 123 | 90 | 67 | 52 |
| 0+950 | 698 | 336 | 259 | 180 | 125 | 87 | 63 | 48 |
| 0+975 | 696 | 326 | 249 | 178 | 124 | 87 | 65 | 49 |
| 1+000 | 693 | 375 | 280 | 194 | 132 | 92 | 66 | 51 |
| 1+025 | 700 | 251 | 196 | 145 | 106 | 76 | 56 | 44 |
| 1+050 | 698 | 279 | 220 | 164 | 122 | 91 | 69 | 54 |
| 1+075 | 691 | 257 | 202 | 151 | 112 | 84 | 63 | 49 |
| 1+100 | 694 | 313 | 233 | 169 | 123 | 91 | 66 | 52 |
| 1+125 | 694 | 248 | 196 | 142 | 103 | 75 | 56 | 45 |
| 1+150 | 703 | 268 | 203 | 138 | 97  | 70 | 52 | 41 |
| 1+175 | 701 | 242 | 187 | 134 | 96  | 69 | 51 | 39 |
| 1+200 | 710 | 261 | 198 | 137 | 98  | 70 | 52 | 40 |
| 1+225 | 698 | 250 | 195 | 139 | 99  | 69 | 51 | 39 |
| 1+250 | 699 | 250 | 188 | 127 | 84  | 59 | 42 | 34 |
| 1+275 | 699 | 252 | 188 | 126 | 87  | 62 | 47 | 38 |
| 1+300 | 695 | 220 | 167 | 120 | 88  | 66 | 48 | 39 |
| 1+325 | 692 | 229 | 177 | 123 | 84  | 61 | 46 | 36 |
| 1+350 | 691 | 390 | 251 | 144 | 93  | 67 | 50 | 40 |
| 1+375 | 689 | 322 | 221 | 138 | 90  | 61 | 46 | 36 |
| 1+400 | 689 | 359 | 231 | 146 | 98  | 68 | 50 | 39 |
| 1+425 | 692 | 383 | 253 | 153 | 103 | 76 | 53 | 42 |
| 1+450 | 691 | 402 | 277 | 175 | 115 | 80 | 59 | 45 |
| 1+475 | 693 | 389 | 272 | 169 | 115 | 79 | 60 | 48 |
| 1+500 | 693 | 458 | 291 | 173 | 114 | 81 | 62 | 47 |
| 1+525 | 692 | 410 | 273 | 158 | 96  | 69 | 50 | 39 |
| 1+550 | 701 | 411 | 282 | 170 | 99  | 62 | 45 | 36 |
| 1+575 | 691 | 440 | 285 | 167 | 104 | 70 | 52 | 41 |
| 1+600 | 695 | 439 | 284 | 161 | 100 | 67 | 49 | 39 |
| 1+625 | 681 | 473 | 271 | 166 | 106 | 81 | 61 | 47 |
| 1+650 | 682 | 512 | 316 | 184 | 104 | 68 | 55 | 40 |
| 1+675 | 684 | 511 | 346 | 202 | 128 | 89 | 66 | 52 |
| 1+700 | 693 | 457 | 292 | 162 | 100 | 71 | 53 | 40 |
| 1+725 | 707 | 344 | 245 | 157 | 105 | 71 | 52 | 40 |

| Pikietaż,<br>km                       | Nacisk,<br>kPa | Wielkość ugięcia w poszczególnych punktach, $\mu\text{m}$ |     |     |     |     |     |    |
|---------------------------------------|----------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|----|
|                                       |                | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7  |
| Od Tczewskiej do Ceglanej, prawy ślad |                |   |     |     |     |     |     |    |
| 0+000                                 | 728            | 291   | 270 | 163 | 93  | 60  | 45  | 37 |
| 0+025                                 | 715            | 493   | 377 | 245 | 150 | 103 | 75  | 59 |
| 0+050                                 | 720            | 459   | 379 | 241 | 157 | 102 | 76  | 57 |
| 0+075                                 | 707            | 538   | 459 | 242 | 148 | 103 | 76  | 59 |
| 0+100                                 | 718            | 477   | 384 | 264 | 158 | 102 | 73  | 54 |
| 0+125                                 | 731            | 378   | 328 | 275 | 219 | 157 | 85  | 58 |
| 0+150                                 | 721            | 435   | 287 | 222 | 161 | 108 | 68  | 52 |
| 0+175                                 | 721            | 400   | 308 | 236 | 167 | 114 | 83  | 60 |
| 0+200                                 | 721            | 417   | 337 | 259 | 179 | 97  | 67  | 53 |
| 0+225                                 | 704            | 615   | 373 | 216 | 142 | 95  | 74  | 59 |
| 0+250                                 | 710            | 325   | 281 | 236 | 186 | 141 | 104 | 77 |
| 0+275                                 | 687            | 697   | 442 | 298 | 193 | 120 | 74  | 50 |
| 0+300                                 | 710            | 489   | 358 | 233 | 150 | 101 | 74  | 57 |
| 0+325                                 | 708            | 503   | 382 | 200 | 131 | 93  | 68  | 55 |
| 0+350                                 | 712            | 486   | 352 | 250 | 161 | 98  | 67  | 54 |
| 0+375                                 | 722            | 423   | 313 | 246 | 151 | 97  | 68  | 53 |
| 0+400                                 | 701            | 300   | 239 | 176 | 126 | 88  | 64  | 49 |
| 0+425                                 | 699            | 223   | 190 | 149 | 111 | 82  | 62  | 47 |
| 0+450                                 | 703            | 208   | 184 | 158 | 123 | 93  | 69  | 51 |
| 0+475                                 | 700            | 272   | 217 | 158 | 113 | 79  | 57  | 43 |
| 0+500                                 | 691            | 291   | 241 | 178 | 127 | 96  | 69  | 51 |
| 0+525                                 | 695            | 266   | 222 | 169 | 123 | 87  | 63  | 50 |
| 0+550                                 | 699            | 277   | 229 | 182 | 131 | 93  | 65  | 48 |
| 0+575                                 | 693            | 259   | 218 | 178 | 137 | 103 | 75  | 57 |
| 0+600                                 | 699            | 261   | 224 | 180 | 139 | 103 | 76  | 57 |
| 0+625                                 | 691            | 230   | 191 | 145 | 105 | 77  | 58  | 45 |
| 0+650                                 | 705            | 273   | 233 | 183 | 136 | 101 | 75  | 57 |
| 0+675                                 | 704            | 235   | 201 | 162 | 127 | 96  | 71  | 54 |
| 0+700                                 | 703            | 367   | 289 | 211 | 148 | 102 | 71  | 55 |
| 0+725                                 | 696            | 352   | 292 | 215 | 150 | 106 | 76  | 56 |
| 0+750                                 | 698            | 295   | 238 | 182 | 131 | 97  | 70  | 53 |
| 0+775                                 | 703            | 331   | 272 | 202 | 146 | 103 | 73  | 55 |
| 0+800                                 | 698            | 277   | 229 | 175 | 131 | 97  | 71  | 54 |
| 0+825                                 | 697            | 297   | 249 | 192 | 141 | 101 | 74  | 55 |
| 0+850                                 | 701            | 278   | 235 | 187 | 142 | 104 | 76  | 57 |
| 0+875                                 | 698            | 315   | 271 | 214 | 160 | 117 | 85  | 62 |
| 0+900                                 | 697            | 312   | 262 | 201 | 148 | 106 | 76  | 56 |
| 0+925                                 | 694            | 283   | 245 | 192 | 145 | 104 | 73  | 55 |
| 0+950                                 | 699            | 347   | 285 | 216 | 164 | 120 | 82  | 62 |
| 0+975                                 | 695            | 375   | 305 | 225 | 157 | 109 | 75  | 54 |
| 1+000                                 | 700            | 265   | 222 | 179 | 139 | 102 | 72  | 52 |
| 1+025                                 | 700            | 290   | 251 | 198 | 149 | 111 | 82  | 62 |
| 1+050                                 | 695            | 301   | 236 | 182 | 137 | 101 | 77  | 58 |
| 1+075                                 | 705            | 287   | 238 | 183 | 132 | 95  | 69  | 53 |
| 1+100                                 | 695            | 261   | 220 | 167 | 123 | 88  | 63  | 49 |
| 1+125                                 | 692            | 261   | 216 | 165 | 122 | 88  | 64  | 48 |
| 1+150                                 | 695            | 239   | 194 | 149 | 108 | 78  | 57  | 42 |
| 1+175                                 | 696            | 263   | 215 | 160 | 116 | 82  | 59  | 45 |
| 1+200                                 | 698            | 262   | 219 | 156 | 108 | 77  | 56  | 43 |
| 1+225                                 | 698            | 265   | 233 | 172 | 120 | 82  | 57  | 42 |
| 1+250                                 | 694            | 307   | 249 | 181 | 128 | 89  | 64  | 49 |
| 1+275                                 | 690            | 267   | 224 | 168 | 122 | 86  | 63  | 49 |



|       |     |     |     |     |     |     |    |    |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| 1+300 | 692 | 309 | 255 | 191 | 135 | 92  | 65 | 47 |
| 1+325 | 705 | 318 | 255 | 198 | 141 | 97  | 68 | 50 |
| 1+350 | 700 | 316 | 256 | 188 | 131 | 91  | 63 | 46 |
| 1+375 | 690 | 348 | 277 | 203 | 138 | 95  | 67 | 50 |
| 1+400 | 687 | 357 | 284 | 200 | 137 | 93  | 65 | 49 |
| 1+425 | 687 | 340 | 286 | 225 | 167 | 126 | 92 | 68 |
| 1+450 | 703 | 298 | 246 | 186 | 132 | 95  | 68 | 49 |
| 1+475 | 692 | 431 | 332 | 237 | 165 | 116 | 85 | 67 |
| 1+500 | 696 | 381 | 312 | 222 | 155 | 110 | 82 | 65 |
| 1+525 | 684 | 376 | 294 | 211 | 148 | 105 | 77 | 60 |
| 1+550 | 700 | 300 | 243 | 178 | 122 | 82  | 59 | 47 |
| 1+575 | 686 | 321 | 265 | 200 | 144 | 104 | 73 | 53 |
| 1+600 | 686 | 346 | 269 | 200 | 144 | 97  | 68 | 49 |
| 1+625 | 690 | 321 | 280 | 210 | 148 | 101 | 70 | 50 |
| 1+650 | 702 | 317 | 258 | 190 | 135 | 93  | 67 | 51 |
| 1+675 | 692 | 326 | 267 | 201 | 142 | 96  | 66 | 48 |
| 1+700 | 693 | 336 | 276 | 200 | 137 | 92  | 64 | 47 |
| 1+725 | 686 | 314 | 251 | 183 | 126 | 88  | 64 | 49 |

| Pikietaż,<br>km                      | Nacisk,<br>kPa | Wielkość ugięcia w poszczególnych punktach, $\mu\text{m}$ |     |     |     |    |    |    |
|--------------------------------------|----------------|---|-----|-----|-----|----|----|----|
|                                      |                | 1   | 2   | 3   | 4   | 5  | 6  | 7  |
| Od Tczewskiej do Ceglanej, lewy ślad |                |   |     |     |     |    |    |    |
| 0+000                                | 708            | 454   | 312 | 187 | 116 | 77 | 53 | 42 |
| 0+025                                | 706            | 459   | 298 | 177 | 110 | 77 | 60 | 47 |
| 0+050                                | 707            | 469   | 315 | 195 | 129 | 92 | 69 | 54 |
| 0+075                                | 691            | 537   | 341 | 187 | 114 | 77 | 55 | 42 |
| 0+100                                | 701            | 418   | 291 | 178 | 111 | 75 | 54 | 41 |
| 0+125                                | 699            | 380   | 265 | 160 | 101 | 68 | 49 | 37 |
| 0+150                                | 686            | 430   | 297 | 174 | 111 | 76 | 58 | 44 |
| 0+175                                | 703            | 390   | 278 | 170 | 107 | 72 | 54 | 43 |
| 0+200                                | 699            | 396   | 273 | 159 | 100 | 68 | 50 | 39 |
| 0+225                                | 682            | 485   | 312 | 180 | 117 | 83 | 60 | 50 |
| 0+250                                | 710            | 440   | 286 | 176 | 115 | 82 | 59 | 46 |
| 0+275                                | 694            | 390   | 278 | 181 | 119 | 81 | 58 | 44 |
| 0+300                                | 703            | 419   | 277 | 169 | 109 | 77 | 58 | 44 |
| 0+325                                | 708            | 320   | 225 | 147 | 101 | 71 | 53 | 40 |
| 0+350                                | 704            | 315   | 227 | 154 | 107 | 76 | 55 | 41 |
| 0+375                                | 708            | 345   | 242 | 149 | 97  | 67 | 48 | 38 |
| 0+400                                | 711            | 233   | 177 | 122 | 88  | 64 | 48 | 38 |
| 0+425                                | 716            | 208   | 167 | 126 | 94  | 72 | 54 | 42 |
| 0+450                                | 713            | 194   | 158 | 122 | 93  | 70 | 54 | 42 |
| 0+475                                | 713            | 251   | 182 | 129 | 90  | 64 | 47 | 36 |
| 0+500                                | 706            | 232   | 182 | 139 | 105 | 78 | 56 | 43 |
| 0+525                                | 708            | 230   | 185 | 139 | 103 | 76 | 56 | 43 |
| 0+550                                | 710            | 210   | 171 | 131 | 99  | 74 | 55 | 43 |
| 0+575                                | 705            | 253   | 193 | 141 | 103 | 76 | 55 | 42 |
| 0+600                                | 707            | 219   | 181 | 139 | 105 | 78 | 58 | 47 |
| 0+625                                | 702            | 250   | 203 | 160 | 120 | 89 | 66 | 51 |
| 0+650                                | 707            | 221   | 180 | 140 | 109 | 85 | 66 | 52 |
| 0+675                                | 717            | 283   | 219 | 162 | 118 | 88 | 64 | 50 |
| 0+700                                | 709            | 264   | 204 | 146 | 104 | 77 | 57 | 45 |
| 0+725                                | 705            | 317   | 247 | 183 | 133 | 93 | 67 | 51 |

|       |     |     |     |     |     |    |    |    |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 0+750 | 710 | 272 | 218 | 162 | 120 | 87 | 64 | 49 |
| 0+775 | 705 | 273 | 224 | 173 | 123 | 90 | 65 | 48 |
| 0+800 | 704 | 222 | 190 | 151 | 115 | 86 | 65 | 50 |
| 0+825 | 699 | 264 | 219 | 163 | 120 | 87 | 63 | 48 |
| 0+850 | 703 | 248 | 208 | 159 | 117 | 86 | 62 | 47 |
| 0+875 | 703 | 308 | 244 | 181 | 132 | 94 | 69 | 53 |
| 0+900 | 707 | 283 | 223 | 162 | 117 | 85 | 61 | 46 |
| 0+925 | 699 | 273 | 220 | 164 | 120 | 88 | 64 | 48 |
| 0+950 | 710 | 314 | 237 | 172 | 124 | 89 | 65 | 49 |
| 0+975 | 706 | 281 | 229 | 173 | 125 | 89 | 64 | 47 |
| 1+000 | 713 | 209 | 172 | 132 | 99  | 73 | 54 | 41 |
| 1+025 | 708 | 249 | 201 | 159 | 123 | 93 | 70 | 55 |
| 1+050 | 710 | 211 | 164 | 126 | 96  | 73 | 55 | 44 |
| 1+075 | 709 | 223 | 178 | 136 | 102 | 77 | 58 | 46 |
| 1+100 | 708 | 214 | 173 | 128 | 95  | 69 | 51 | 40 |
| 1+125 | 712 | 218 | 173 | 130 | 93  | 67 | 48 | 38 |
| 1+150 | 703 | 188 | 151 | 110 | 80  | 57 | 42 | 32 |
| 1+175 | 713 | 200 | 165 | 129 | 97  | 70 | 52 | 41 |
| 1+200 | 709 | 234 | 180 | 128 | 92  | 67 | 50 | 38 |
| 1+225 | 716 | 263 | 201 | 136 | 94  | 65 | 45 | 34 |
| 1+250 | 705 | 250 | 192 | 137 | 96  | 70 | 51 | 40 |
| 1+275 | 705 | 281 | 221 | 156 | 106 | 76 | 54 | 42 |
| 1+300 | 726 | 272 | 216 | 154 | 109 | 75 | 53 | 40 |
| 1+325 | 707 | 245 | 203 | 154 | 112 | 81 | 59 | 44 |
| 1+350 | 709 | 297 | 230 | 161 | 111 | 77 | 55 | 42 |
| 1+375 | 698 | 280 | 213 | 150 | 103 | 72 | 53 | 41 |
| 1+400 | 696 | 246 | 207 | 154 | 112 | 80 | 58 | 44 |
| 1+425 | 705 | 298 | 239 | 177 | 124 | 91 | 66 | 51 |
| 1+450 | 709 | 252 | 208 | 159 | 120 | 89 | 67 | 52 |
| 1+475 | 708 | 261 | 217 | 164 | 124 | 93 | 70 | 56 |
| 1+500 | 718 | 247 | 205 | 152 | 117 | 87 | 66 | 51 |
| 1+525 | 699 | 253 | 207 | 159 | 114 | 86 | 65 | 51 |
| 1+550 | 708 | 306 | 238 | 172 | 124 | 89 | 64 | 49 |
| 1+575 | 703 | 239 | 191 | 141 | 102 | 74 | 54 | 42 |
| 1+600 | 713 | 251 | 196 | 131 | 90  | 64 | 47 | 37 |
| 1+625 | 711 | 289 | 232 | 163 | 115 | 81 | 59 | 43 |
| 1+650 | 701 | 290 | 238 | 176 | 120 | 83 | 58 | 42 |
| 1+675 | 701 | 314 | 248 | 174 | 118 | 79 | 56 | 41 |
| 1+700 | 706 | 265 | 216 | 162 | 114 | 81 | 55 | 42 |
| 1+725 | 704 | 301 | 232 | 164 | 106 | 75 | 57 | 45 |

##### 5) Odcinki na DK nr 8

Wyniki pomiarów ugięć sprężystych (ugięciomierzem FWD) nawierzchni na odcinkach na DK nr 8 zestawiono w tablicy 17, zaś wyniki obliczeń parametrów trwałościowych nawierzchni tych odcinków zestawiono w tablicy 16.

Na badanych odcinkach geosiatka stalowa Bitufor została wbudowana pod warstwą wiążącą i została przymocowana do starego podłoża asfaltowego mieszanką slurry seal, w ilości  $18 \div 20 \text{ kg/m}^2$ . Porównanie wyników dokonano tylko dla pomiarów między koleinami, gdyż ten obszar pasa ruchu powolnego nie miał wielu uszkodzeń, w

porównaniu do obszaru w koleinie prawej tego pasa (słowo „koleina” użyto dla uproszczenia określenia właściwego, a mianowicie „ślady przejazdów kół samochodowych”, gdyż na badanych odcinkach kolein nie stwierdzono).

a) Odcinek D z siatką stalową

- moduł E1 warstw asfaltowych (między koleinami) – 6630 MPa,
- moduł E2 podbudowy – 883 MPa,
- moduł  $E_p$  podłoża – 153 MPa,
- $N_a$  warstw asfaltowych – 11,6 mln osi,
- $N_g$  podłoża – 14,4 mln osi.

b) Odcinek A z siatką stalową

- moduł E1 warstw asfaltowych (między koleinami) – 5352 MPa,
- moduł E2 podbudowy – 545 MPa,
- moduł  $E_p$  podłoża – 92 MPa,
- $N_a$  warstw asfaltowych – 4,0 mln osi,
- $N_g$  podłoża – 2,3 mln osi.

c) Odcinek B z siatką stalową

- moduł E1 warstw asfaltowych (między koleinami) – 3798 MPa,
- moduł E2 podbudowy – 2512 MPa,
- moduł  $E_p$  podłoża – 137 MPa,
- $N_a$  warstw asfaltowych – 143,4 mln osi,
- $N_g$  podłoża – 6,9 mln osi.

d) Odcinek referencyjny bez siatki dla odcinków D, A i B

- moduł E1 warstw asfaltowych (między koleinami) – 1696 MPa,
- moduł E2 podbudowy – 1520 MPa,
- moduł  $E_p$  podłoża – 123 MPa,
- $N_a$  warstw asfaltowych – 243,1 mln osi,
- $N_g$  podłoża – 35,2 mln osi.

Z powyższego zestawienia wynika, że moduł sztywności E1 warstw asfaltowych na odcinkach z geosiatką stalową jest 2 ÷ 4-krotnie większy od modułu sztywności warstw asfaltowych na odcinku referencyjnym. Wyniki te potwierdzają również, że o trwałości zmęczeniowej całej konstrukcji decydują nośność podbudowy i podłoża gruntowego. Świadczy o tym przykład odcinka referencyjnego i odcinka B, których trwałość

zmęczeniowa jest największa, w porównaniu do trwałości zmęczeniowej odcinków A i D. Skąd wniosek, że zastosowanie geosiatki w warstwach asfaltowych, tak jak to zrobiono na tych odcinkach tj. pod warstwą wiążącą nie poprawia zbytnio trwałości całej konstrukcji jeżeli jej podbudowa i podłoże będą słabe.

**Tablica 16 Wyniki analizy trwałości zmęczeniowej nawierzchni drogi DK nr 8, Kłodzko - Bardo**

| <b>Odcinek „D” z siatką stalową, od km 45+440 do 45+560, w koleinie</b> |                |                        |            |            |                           |           |           |           |
|---|----------------|------------------------|------------|------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
|   | Nacisk,<br>kPa | Ugięcia, $\mu\text{m}$ |            |            |                           |           |           |           |
|   |                | 1                      | 2          | 3          | 4                         | 5         | 6         | 7         |
| średnia   | <b>695</b>     | <b>297</b>             | <b>214</b> | <b>139</b> | <b>92</b>                 | <b>62</b> | <b>46</b> | <b>37</b> |
| odch. stand.  | <b>7</b>       | <b>118</b>             | <b>84</b>  | <b>47</b>  | <b>25</b>                 | <b>13</b> | <b>8</b>  | <b>7</b>  |
| <b>Wartości obliczonych modułów warstw konstrukcyjnych, MPa</b>         |                |                        |            |            |                           |           |           |           |
| E1, warstwy asfaltowe   |                | E2, podbudowa          |            |            | Ep, podłoże gruntowe      |           |           |           |
| <b>3852</b>   |                | <b>765</b>             |            |            | <b>129</b>                |           |           |           |
| <b>Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni</b>           |                |                        |            |            |                           |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych                                |                |                        |            |            | <b>7,5 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe podłoża gruntowego                                |                |                        |            |            | <b>4,3 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |

| <b>Odcinek „D” z siatką stalową, od km 45+440 do 45+560, między koleinami</b> |                |                        |            |            |                            |           |           |           |
|---|----------------|------------------------|------------|------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
|   | Nacisk,<br>kPa | Ugięcia, $\mu\text{m}$ |            |            |                            |           |           |           |
|   |                | 1                      | 2          | 3          | 4                          | 5         | 6         | 7         |
| średnia   | <b>713</b>     | <b>235</b>             | <b>177</b> | <b>123</b> | <b>85</b>                  | <b>60</b> | <b>45</b> | <b>36</b> |
| odch. stand.  | <b>6</b>       | <b>109</b>             | <b>80</b>  | <b>49</b>  | <b>28</b>                  | <b>15</b> | <b>9</b>  | <b>6</b>  |
| <b>Wartości obliczonych modułów warstw konstrukcyjnych, MPa</b>               |                |                        |            |            |                            |           |           |           |
| E1, warstwy asfaltowe   |                | E2, podbudowa          |            |            | Ep, podłoże gruntowe       |           |           |           |
| <b>6630</b>   |                | <b>883</b>             |            |            | <b>153</b>                 |           |           |           |
| <b>Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni</b>                 |                |                        |            |            |                            |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych                                      |                |                        |            |            | <b>11,6 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe podłoża gruntowego                                      |                |                        |            |            | <b>14,4 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |

| <b>Odcinek referencyjny dla odcinka „D” z siatką stalową,<br/>od km 44+085 do 44+560, w koleinie</b> |                |                        |            |            |                             |           |           |           |
|--|----------------|------------------------|------------|------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
|  | Nacisk,<br>kPa | Ugięcia, $\mu\text{m}$ |            |            |                             |           |           |           |
|  |                | 1                      | 2          | 3          | 4                           | 5         | 6         | 7         |
| średnia  | <b>702</b>     | <b>310</b>             | <b>212</b> | <b>124</b> | <b>74</b>                   | <b>46</b> | <b>30</b> | <b>21</b> |
| odch. stand.   | <b>8</b>       | <b>115</b>             | <b>69</b>  | <b>36</b>  | <b>22</b>                   | <b>15</b> | <b>11</b> | <b>9</b>  |
| <b>Wartości obliczonych modułów warstw konstrukcyjnych, MPa</b>                                      |                |                        |            |            |                             |           |           |           |
| E1, warstwy asfaltowe  |                | E2, podbudowa          |            |            | Ep, podłoże gruntowe        |           |           |           |
| <b>1818</b>  |                | <b>1704</b>            |            |            | <b>121</b>                  |           |           |           |
| <b>Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni</b>  |                |                        |            |            |                             |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych   |                |                        |            |            | <b>184,9 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe podłoża gruntowego   |                |                        |            |            | <b>5,9 mln osi 100 kN</b>   |           |           |           |

| <b>Odcinek referencyjny dla odcinka „A”, „B” i „D” bez siatki,<br/>od km 44+085 do 44+560, między koleinami</b> |                |                        |            |            |                      |           |           |           |
|---|----------------|------------------------|------------|------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|
|   | Nacisk,<br>kPa | Ugięcia, $\mu\text{m}$ |            |            |                      |           |           |           |
|   |                | 1                      | 2          | 3          | 4                    | 5         | 6         | 7         |
| średnia   | <b>708</b>     | <b>223</b>             | <b>168</b> | <b>111</b> | <b>71</b>            | <b>44</b> | <b>28</b> | <b>19</b> |
| odch. stand.  | <b>6</b>       | <b>61</b>              | <b>41</b>  | <b>24</b>  | <b>17</b>            | <b>12</b> | <b>9</b>  | <b>7</b>  |
| <b>Wartości obliczonych modułów warstw konstrukcyjnych, MPa</b>   |                |                        |            |            |                      |           |           |           |
| E1, warstwy asfaltowe   |                | E2, podbudowa          |            |            | Ep, podłoże gruntowe |           |           |           |
| <b>1696</b>   |                | <b>1520</b>            |            |            | <b>123</b>           |           |           |           |
| <b>Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni</b>   |                |                        |            |            |                      |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych  |                |                        |            |            | <b>243,1</b>         |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe podłoża gruntowego  |                |                        |            |            | <b>35,2</b>          |           |           |           |

| <b>Odcinek „A” z siatką, od km 44+990 do 45+440, między koleinami</b> |                |                        |            |            |                           |           |           |           |
|---|----------------|------------------------|------------|------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
|   | Nacisk,<br>kPa | Ugięcia, $\mu\text{m}$ |            |            |                           |           |           |           |
|   |                | 1                      | 2          | 3          | 4                         | 5         | 6         | 7         |
| średnia   | <b>699</b>     | <b>354</b>             | <b>277</b> | <b>193</b> | <b>131</b>                | <b>91</b> | <b>66</b> | <b>52</b> |
| odch. stand.  | <b>7</b>       | <b>80</b>              | <b>56</b>  | <b>31</b>  | <b>21</b>                 | <b>16</b> | <b>14</b> | <b>11</b> |
| <b>Wartości obliczonych modułów warstw konstrukcyjnych, MPa</b>       |                |                        |            |            |                           |           |           |           |
| E1, warstwy asfaltowe   |                | E2, podbudowa          |            |            | Ep, podłoże gruntowe      |           |           |           |
| <b>5352</b>   |                | <b>545</b>             |            |            | <b>92</b>                 |           |           |           |
| <b>Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni</b>         |                |                        |            |            |                           |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych                              |                |                        |            |            | <b>4,0 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe podłoża gruntowego                              |                |                        |            |            | <b>2,3 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |

| <b>Odcinek „B” z siatką stalową, od km 43+480 do 44+060, między koleinami</b> |                |                        |            |            |                             |           |           |           |
|---|----------------|------------------------|------------|------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
|   | Nacisk,<br>kPa | Ugięcia, $\mu\text{m}$ |            |            |                             |           |           |           |
|   |                | 1                      | 2          | 3          | 4                           | 5         | 6         | 7         |
| średnia   | <b>705</b>     | <b>219</b>             | <b>168</b> | <b>120</b> | <b>82</b>                   | <b>55</b> | <b>37</b> | <b>26</b> |
| odch. stand.  | <b>7</b>       | <b>81</b>              | <b>58</b>  | <b>33</b>  | <b>19</b>                   | <b>12</b> | <b>10</b> | <b>8</b>  |
| <b>Wartości obliczonych modułów warstw konstrukcyjnych, MPa</b>               |                |                        |            |            |                             |           |           |           |
| E1, warstwy asfaltowe   |                | E2, podbudowa          |            |            | Ep, podłoże gruntowe        |           |           |           |
| <b>3798</b>   |                | <b>2512</b>            |            |            | <b>137</b>                  |           |           |           |
| <b>Obliczona trwałość zmęczeniowa konstrukcji nawierzchni</b>                 |                |                        |            |            |                             |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych                                      |                |                        |            |            | <b>143,4 mln osi 100 kN</b> |           |           |           |
| Kryterium zmęczeniowe podłoża gruntowego                                      |                |                        |            |            | <b>6,9 mln osi 100 kN</b>   |           |           |           |

**Tablica 17 Wyniki pomiarów ugięć nawierzchni pod obciążeniem dynamicznym  
(badanie ugięciomierzem FWD), na odcinku DK nr 8  
(za m. Bardo)**

Data badania: 15 października 2002 rok,  
Temperatura warstw asfaltowych: 6 °C.

| Pikietaż,<br>km    | Nacisk,<br>kPa | Wielkość ugięcia w poszczególnych punktach, $\mu\text{m}$ |     |     |     |     |     |    |
|--------------------|----------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|----|
|                    |                | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7  |
| Koleina zewnętrzna |                |   |     |     |     |     |     |    |
| 45+700             | 705            | 44  | 28  | 23  | 22  | 20  | 19  | 18 |
| 45+680             | 719            | 47  | 34  | 31  | 27  | 24  | 20  | 18 |
| 45+660             | 716            | 38  | 26  | 23  | 18  | 16  | 13  | 15 |
| 45+640             | 716            | 39  | 29  | 27  | 26  | 22  | 20  | 19 |
| 45+620             | 723            | 64  | 52  | 48  | 42  | 39  | 36  | 33 |
| 45+600             | 699            | 99  | 84  | 75  | 64  | 57  | 47  | 41 |
| 45+580             | 707            | 267   | 190 | 142 | 108 | 85  | 66  | 54 |
| 45+560             | 705            | 179   | 130 | 93  | 70  | 52  | 43  | 36 |
| 45+540             | 700            | 161   | 120 | 86  | 62  | 45  | 36  | 28 |
| 45+520             | 703            | 225   | 155 | 101 | 70  | 52  | 39  | 32 |
| 45+500             | 688            | 344   | 239 | 146 | 91  | 59  | 43  | 33 |
| 45+480             | 689            | 283   | 220 | 154 | 106 | 70  | 51  | 41 |
| 45+460             | 691            | 463   | 334 | 204 | 124 | 79  | 56  | 46 |
| 45+440             | 691            | 426   | 303 | 189 | 118 | 77  | 55  | 45 |
| 45+420             | 687            | 508   | 360 | 224 | 145 | 101 | 75  | 61 |
| 45+400             | 698            | 446   | 335 | 225 | 148 | 101 | 76  | 60 |
| 45+390             | 690            | 505   | 356 | 216 | 138 | 98  | 74  | 60 |
| 45+380             | 693            | 433   | 319 | 205 | 130 | 87  | 62  | 50 |
| 45+360             | 680            | 629   | 391 | 209 | 118 | 80  | 63  | 56 |
| 45+340             | 683            | 552   | 397 | 244 | 142 | 95  | 71  | 60 |
| 45+320             | 687            | 648   | 453 | 306 | 213 | 153 | 113 | 89 |
| 45+300             | 693            | 509   | 385 | 240 | 164 | 122 | 92  | 75 |
| 45+280             | 704            | 413   | 323 | 214 | 146 | 102 | 76  | 61 |
| 45+260             | 688            | 622   | 443 | 270 | 153 | 103 | 74  | 61 |
| 45+240             | 699            | 459   | 357 | 242 | 160 | 107 | 77  | 60 |
| 45+220             | 697            | 523   | 379 | 235 | 140 | 89  | 62  | 50 |
| 45+200             | 692            | 581   | 413 | 238 | 135 | 82  | 56  | 44 |
| 45+190             | 688            | 540   | 392 | 239 | 144 | 91  | 66  | 53 |
| 45+180             | 681            | 627   | 436 | 260 | 154 | 95  | 64  | 50 |
| 45+160             | 690            | 462   | 325 | 191 | 111 | 68  | 46  | 34 |
| 45+140             | 696            | 418   | 313 | 212 | 138 | 89  | 56  | 40 |
| 45+120             | 693            | 553   | 372 | 217 | 131 | 87  | 62  | 48 |
| 45+100             | 691            | 565   | 385 | 223 | 131 | 87  | 65  | 54 |
| 45+080             | 702            | 443   | 322 | 194 | 121 | 81  | 60  | 48 |
| 45+060             | 701            | 446   | 351 | 241 | 161 | 106 | 75  | 59 |
| 45+040             | 699            | 507   | 401 | 281 | 193 | 134 | 96  | 72 |
| 45+020             | 712            | 422   | 312 | 214 | 144 | 101 | 69  | 49 |
| 45+000             | 709            | 398   | 299 | 212 | 145 | 103 | 74  | 55 |
| 44+980             | 709            | 281   | 201 | 144 | 101 | 76  | 56  | 45 |
| 44+960             | 717            | 189   | 154 | 116 | 86  | 64  | 48  | 39 |
| 44+940             | 720            | 151   | 120 | 93  | 71  | 54  | 42  | 33 |

|        |     |     |     |     |     |    |    |    |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 44+920 | 706 | 161 | 120 | 86  | 64  | 50 | 39 | 32 |
| 44+900 | 682 | 198 | 145 | 105 | 74  | 57 | 42 | 33 |
| 44+880 | 697 | 201 | 154 | 114 | 86  | 67 | 48 | 37 |
| 44+860 | 700 | 248 | 178 | 128 | 97  | 75 | 57 | 47 |
| 44+840 | 712 | 145 | 87  | 49  | 29  | 18 | 11 | 8  |
| 44+820 | 695 | 292 | 214 | 154 | 113 | 81 | 60 | 44 |
| 44+800 | 702 | 299 | 227 | 165 | 119 | 85 | 64 | 45 |
| 44+780 | 722 | 220 | 171 | 129 | 99  | 76 | 58 | 44 |
| 44+760 | 731 | 152 | 117 | 87  | 65  | 46 | 34 | 25 |
| 44+740 | 730 | 174 | 131 | 96  | 69  | 50 | 36 | 31 |
| 44+720 | 724 | 204 | 153 | 110 | 81  | 60 | 46 | 36 |
| 44+700 | 713 | 326 | 237 | 169 | 119 | 86 | 65 | 51 |
| 44+680 | 735 | 152 | 129 | 107 | 86  | 67 | 53 | 42 |
| 44+660 | 720 | 130 | 111 | 96  | 78  | 61 | 47 | 35 |
| 44+640 | 716 | 128 | 107 | 83  | 61  | 43 | 29 | 20 |
| 44+620 | 697 | 456 | 314 | 181 | 102 | 59 | 39 | 25 |
| 44+600 | 707 | 315 | 228 | 150 | 98  | 65 | 44 | 32 |
| 44+580 | 703 | 412 | 291 | 173 | 102 | 61 | 41 | 29 |
| 44+560 | 709 | 330 | 258 | 170 | 107 | 69 | 46 | 33 |
| 44+540 | 700 | 447 | 325 | 203 | 120 | 72 | 48 | 36 |
| 44+520 | 711 | 241 | 194 | 135 | 92  | 60 | 40 | 28 |
| 44+500 | 711 | 175 | 134 | 87  | 54  | 32 | 19 | 12 |
| 44+480 | 708 | 267 | 199 | 131 | 84  | 51 | 30 | 17 |
| 44+460 | 708 | 270 | 202 | 137 | 90  | 56 | 37 | 25 |
| 44+440 | 710 | 216 | 173 | 123 | 82  | 54 | 35 | 24 |
| 44+420 | 693 | 455 | 282 | 148 | 81  | 54 | 41 | 31 |
| 44+400 | 706 | 372 | 232 | 123 | 75  | 49 | 35 | 26 |
| 44+380 | 700 | 415 | 245 | 120 | 64  | 41 | 30 | 22 |
| 44+360 | 710 | 168 | 128 | 87  | 58  | 38 | 25 | 18 |
| 44+340 | 716 | 160 | 124 | 84  | 57  | 39 | 26 | 20 |
| 44+320 | 697 | 280 | 190 | 110 | 62  | 37 | 24 | 19 |
| 44+300 | 706 | 292 | 214 | 137 | 86  | 54 | 38 | 29 |
| 44+280 | 698 | 397 | 268 | 146 | 82  | 51 | 35 | 26 |
| 44+260 | 703 | 252 | 179 | 114 | 69  | 42 | 27 | 17 |
| 44+240 | 707 | 207 | 165 | 114 | 74  | 47 | 28 | 18 |
| 44+220 | 704 | 350 | 237 | 125 | 66  | 37 | 23 | 16 |
| 44+200 | 694 | 449 | 233 | 87  | 36  | 21 | 15 | 11 |
| 44+180 | 688 | 438 | 315 | 180 | 105 | 68 | 48 | 37 |
| 44+160 | 692 | 473 | 279 | 137 | 76  | 46 | 30 | 20 |
| 44+140 | 689 | 473 | 321 | 162 | 79  | 40 | 20 | 10 |
| 44+120 | 702 | 87  | 57  | 38  | 24  | 14 | 7  | 3  |
| 44+100 | 693 | 223 | 141 | 82  | 46  | 24 | 12 | 6  |
| 44+080 | 692 | 412 | 296 | 170 | 91  | 45 | 22 | 11 |
| 44+060 | 690 | 646 | 440 | 239 | 135 | 80 | 50 | 32 |
| 44+050 | 707 | 424 | 345 | 208 | 118 | 62 | 34 | 22 |
| 44+040 | 701 | 512 | 348 | 219 | 138 | 85 | 54 | 36 |
| 44+020 | 708 | 361 | 283 | 193 | 123 | 78 | 49 | 33 |
| 44+000 | 709 | 298 | 226 | 158 | 106 | 66 | 43 | 31 |
| 43+980 | 716 | 209 | 165 | 124 | 89  | 58 | 39 | 26 |
| 43+960 | 714 | 256 | 203 | 153 | 111 | 78 | 52 | 34 |
| 43+940 | 712 | 317 | 236 | 156 | 101 | 63 | 39 | 24 |

|                  |     |     |     |     |     |    |    |    |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 43+920           | 715 | 223 | 177 | 124 | 82  | 51 | 31 | 18 |
| 43+900           | 714 | 290 | 208 | 137 | 91  | 57 | 36 | 24 |
| 43+880           | 720 | 223 | 176 | 126 | 87  | 57 | 36 | 23 |
| 43+860           | 715 | 219 | 175 | 123 | 79  | 48 | 28 | 15 |
| 43+840           | 709 | 365 | 261 | 173 | 111 | 67 | 40 | 22 |
| 43+820           | 715 | 232 | 173 | 119 | 76  | 46 | 28 | 17 |
| 43+800           | 709 | 200 | 164 | 124 | 88  | 59 | 38 | 25 |
| 43+780           | 708 | 182 | 129 | 86  | 53  | 29 | 17 | 9  |
| 43+760           | 704 | 295 | 210 | 123 | 61  | 28 | 13 | 7  |
| 43+740           | 705 | 243 | 178 | 126 | 84  | 53 | 33 | 20 |
| 43+720           | 709 | 241 | 194 | 146 | 102 | 68 | 42 | 28 |
| 43+700           | 707 | 258 | 200 | 146 | 99  | 63 | 38 | 24 |
| 43+680           | 701 | 430 | 277 | 156 | 87  | 45 | 21 | 10 |
| 43+660           | 722 | 182 | 143 | 111 | 78  | 53 | 35 | 22 |
| 43+640           | 713 | 400 | 280 | 165 | 93  | 55 | 35 | 24 |
| 43 620           | 723 | 184 | 148 | 113 | 87  | 67 | 50 | 38 |
| 43+610           | 722 | 253 | 209 | 155 | 113 | 81 | 58 | 44 |
| 43+600           | 716 | 395 | 271 | 177 | 118 | 83 | 58 | 43 |
| 43+580           | 723 | 281 | 207 | 140 | 93  | 65 | 47 | 37 |
| 43+560           | 720 | 184 | 142 | 103 | 76  | 56 | 44 | 36 |
| 43+540           | 722 | 143 | 115 | 93  | 76  | 61 | 48 | 39 |
| 43+520           | 723 | 232 | 166 | 120 | 90  | 66 | 51 | 40 |
| 43+500           | 735 | 141 | 112 | 90  | 74  | 58 | 45 | 37 |
| 43+480           | 723 | 208 | 163 | 129 | 100 | 75 | 57 | 44 |
| 43+460           | 730 | 241 | 186 | 142 | 107 | 79 | 58 | 44 |
| 43+440           | 727 | 165 | 139 | 117 | 93  | 73 | 57 | 45 |
| 43+420           | 731 | 141 | 124 | 107 | 89  | 71 | 56 | 45 |
| 43+400           | 717 | 294 | 214 | 152 | 107 | 80 | 58 | 44 |
| 43+380           | 722 | 160 | 126 | 100 | 79  | 62 | 47 | 38 |
| 43+360           | 717 | 97  | 78  | 63  | 53  | 43 | 35 | 29 |
| 43+340           | 724 | 110 | 76  | 52  | 36  | 25 | 17 | 12 |
| 43+320           | 722 | 117 | 70  | 45  | 30  | 20 | 14 | 10 |
| 43+300           | 724 | 103 | 80  | 57  | 40  | 28 | 18 | 13 |
| 43+280           | 726 | 116 | 102 | 86  | 69  | 53 | 39 | 29 |
| 43+260           | 726 | 157 | 139 | 115 | 88  | 63 | 43 | 28 |
| 43+240           | 708 | 211 | 159 | 112 | 86  | 64 | 47 | 34 |
| 43+220           | 726 | 181 | 157 | 123 | 93  | 69 | 51 | 39 |
| Między kolejnami |     |     |     |     |     |    |    |    |
| 45+700           | 722 | 40  | 26  | 23  | 21  | 19 | 17 | 16 |
| 45+680           | 732 | 49  | 35  | 30  | 27  | 23 | 21 | 19 |
| 45+660           | 723 | 37  | 26  | 21  | 20  | 17 | 15 | 14 |
| 45+640           | 720 | 38  | 27  | 24  | 22  | 20 | 18 | 17 |
| 45+620           | 708 | 60  | 44  | 41  | 38  | 35 | 32 | 30 |
| 45+600           | 705 | 92  | 80  | 71  | 61  | 53 | 45 | 39 |
| 45+580           | 715 | 157 | 123 | 103 | 85  | 68 | 56 | 47 |
| 45+560           | 718 | 170 | 120 | 83  | 61  | 47 | 38 | 32 |
| 45+540           | 719 | 128 | 98  | 77  | 57  | 43 | 34 | 28 |
| 45+520           | 712 | 143 | 112 | 84  | 64  | 49 | 39 | 32 |
| 45+500           | 715 | 186 | 146 | 105 | 75  | 55 | 41 | 34 |
| 45+480           | 711 | 248 | 192 | 139 | 99  | 70 | 51 | 40 |
| 45+460           | 713 | 396 | 291 | 190 | 122 | 79 | 55 | 43 |
| 45+440           | 700 | 373 | 279 | 186 | 120 | 79 | 55 | 44 |



|        |     |     |     |     |     |     |     |    |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 45+420 | 701 | 380 | 296 | 209 | 143 | 100 | 73  | 58 |
| 45+400 | 697 | 335 | 274 | 198 | 138 | 97  | 71  | 55 |
| 45+390 | 699 | 319 | 255 | 182 | 128 | 92  | 66  | 52 |
| 45+380 | 696 | 314 | 243 | 171 | 116 | 80  | 58  | 46 |
| 45+360 | 696 | 393 | 295 | 190 | 119 | 78  | 57  | 48 |
| 45+340 | 693 | 378 | 289 | 192 | 126 | 85  | 62  | 50 |
| 45+320 | 689 | 438 | 354 | 262 | 189 | 136 | 101 | 80 |
| 45+300 | 689 | 367 | 300 | 219 | 158 | 116 | 89  | 72 |
| 45+280 | 693 | 316 | 257 | 189 | 134 | 96  | 72  | 58 |
| 45+260 | 694 | 549 | 405 | 246 | 151 | 100 | 75  | 60 |
| 45+240 | 704 | 345 | 279 | 203 | 143 | 99  | 72  | 56 |
| 45+220 | 703 | 388 | 304 | 206 | 135 | 88  | 60  | 47 |
| 45+200 | 696 | 442 | 339 | 213 | 127 | 77  | 50  | 41 |
| 45+190 | 700 | 422 | 318 | 208 | 131 | 85  | 60  | 48 |
| 45+180 | 698 | 411 | 315 | 216 | 142 | 90  | 61  | 45 |
| 45+160 | 698 | 310 | 234 | 155 | 98  | 64  | 43  | 32 |
| 45+140 | 700 | 297 | 241 | 176 | 124 | 84  | 57  | 40 |
| 45+120 | 700 | 421 | 312 | 203 | 129 | 85  | 60  | 47 |
| 45+100 | 693 | 423 | 316 | 196 | 122 | 81  | 59  | 47 |
| 45+080 | 704 | 306 | 238 | 163 | 112 | 78  | 57  | 44 |
| 45+060 | 702 | 288 | 239 | 179 | 134 | 99  | 73  | 57 |
| 45+040 | 705 | 275 | 233 | 194 | 157 | 121 | 93  | 73 |
| 45+020 | 715 | 189 | 158 | 125 | 97  | 73  | 55  | 39 |
| 45+000 | 716 | 201 | 164 | 131 | 101 | 78  | 60  | 48 |
| 44+980 | 720 | 182 | 137 | 110 | 88  | 67  | 53  | 42 |
| 44+960 | 717 | 158 | 135 | 106 | 83  | 64  | 50  | 39 |
| 44+940 | 710 | 145 | 121 | 95  | 73  | 55  | 42  | 34 |
| 44+920 | 705 | 148 | 115 | 85  | 67  | 53  | 40  | 32 |
| 44+900 | 685 | 175 | 131 | 96  | 74  | 58  | 45  | 35 |
| 44+880 | 691 | 185 | 143 | 106 | 80  | 62  | 47  | 37 |
| 44+860 | 705 | 216 | 159 | 120 | 91  | 71  | 56  | 44 |
| 44+840 | 708 | 149 | 92  | 54  | 32  | 20  | 13  | 9  |
| 44+820 | 685 | 233 | 175 | 129 | 94  | 67  | 50  | 38 |
| 44+800 | 687 | 239 | 187 | 137 | 100 | 74  | 56  | 45 |
| 44+780 | 709 | 164 | 134 | 104 | 79  | 60  | 47  | 32 |
| 44+760 | 718 | 127 | 97  | 72  | 53  | 39  | 28  | 20 |
| 44+740 | 722 | 136 | 106 | 79  | 59  | 44  | 33  | 26 |
| 44+720 | 723 | 181 | 135 | 97  | 72  | 55  | 42  | 33 |
| 44+700 | 733 | 221 | 170 | 127 | 99  | 77  | 59  | 47 |
| 44+680 | 719 | 132 | 113 | 95  | 78  | 63  | 51  | 41 |
| 44+660 | 720 | 111 | 100 | 88  | 74  | 62  | 49  | 38 |
| 44+640 | 722 | 168 | 145 | 116 | 88  | 63  | 44  | 31 |
| 44+620 | 714 | 354 | 271 | 174 | 103 | 62  | 38  | 26 |
| 44+600 | 712 | 302 | 222 | 145 | 95  | 64  | 43  | 32 |
| 44+580 | 710 | 376 | 266 | 159 | 96  | 60  | 39  | 27 |
| 44+560 | 713 | 252 | 201 | 142 | 96  | 64  | 43  | 30 |
| 44+540 | 710 | 355 | 261 | 164 | 100 | 62  | 40  | 28 |
| 44+520 | 715 | 203 | 160 | 110 | 74  | 47  | 31  | 21 |
| 44+500 | 715 | 200 | 139 | 88  | 54  | 34  | 19  | 13 |
| 44+480 | 715 | 207 | 155 | 106 | 67  | 43  | 25  | 16 |
| 44+460 | 713 | 200 | 159 | 112 | 75  | 48  | 30  | 19 |
| 44+440 | 709 | 205 | 168 | 125 | 90  | 63  | 44  | 31 |
| 44+420 | 708 | 265 | 208 | 142 | 91  | 58  | 37  | 25 |
| 44+400 | 712 | 221 | 171 | 120 | 84  | 54  | 35  | 24 |
| 44+380 | 709 | 296 | 216 | 126 | 76  | 47  | 31  | 23 |
| 44+360 | 712 | 157 | 125 | 92  | 65  | 45  | 30  | 22 |

|        |     |     |     |     |     |    |    |    |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 44+340 | 712 | 151 | 125 | 94  | 68  | 48 | 34 | 25 |
| 44+320 | 708 | 227 | 170 | 108 | 67  | 41 | 26 | 19 |
| 44+300 | 712 | 192 | 151 | 101 | 65  | 42 | 28 | 21 |
| 44+280 | 712 | 212 | 144 | 83  | 46  | 27 | 19 | 14 |
| 44+260 | 705 | 191 | 150 | 106 | 67  | 42 | 25 | 19 |
| 44+240 | 705 | 185 | 145 | 103 | 70  | 43 | 28 | 19 |
| 44+220 | 704 | 254 | 177 | 102 | 54  | 26 | 12 | 7  |
| 44+200 | 697 | 356 | 229 | 120 | 58  | 30 | 16 | 10 |
| 44+180 | 702 | 299 | 224 | 152 | 98  | 60 | 38 | 24 |
| 44+160 | 703 | 246 | 188 | 127 | 82  | 50 | 30 | 19 |
| 44+140 | 704 | 207 | 152 | 100 | 60  | 33 | 17 | 8  |
| 44+120 | 706 | 91  | 72  | 51  | 32  | 18 | 10 | 5  |
| 44+100 | 693 | 188 | 138 | 91  | 59  | 34 | 18 | 8  |
| 44+080 | 700 | 280 | 215 | 148 | 90  | 53 | 28 | 16 |
| 44+060 | 695 | 486 | 334 | 205 | 122 | 74 | 46 | 31 |
| 44+050 | 697 | 380 | 293 | 186 | 107 | 63 | 37 | 26 |
| 44+040 | 695 | 363 | 276 | 185 | 122 | 78 | 50 | 33 |
| 44+020 | 697 | 327 | 250 | 170 | 111 | 69 | 43 | 29 |
| 44+000 | 702 | 291 | 221 | 151 | 100 | 62 | 41 | 28 |
| 43+980 | 705 | 202 | 157 | 114 | 83  | 54 | 35 | 23 |
| 43+960 | 699 | 237 | 192 | 144 | 105 | 73 | 50 | 33 |
| 43+940 | 702 | 268 | 205 | 142 | 94  | 63 | 39 | 26 |
| 43+920 | 703 | 224 | 173 | 122 | 83  | 53 | 33 | 21 |
| 43+900 | 701 | 200 | 159 | 116 | 84  | 57 | 37 | 26 |
| 43+880 | 703 | 185 | 150 | 113 | 82  | 55 | 37 | 23 |
| 43+860 | 705 | 176 | 145 | 108 | 77  | 49 | 31 | 18 |
| 43+840 | 698 | 238 | 191 | 140 | 97  | 65 | 41 | 25 |
| 43+820 | 703 | 188 | 147 | 107 | 72  | 46 | 29 | 18 |
| 43+800 | 704 | 196 | 160 | 121 | 86  | 57 | 37 | 24 |
| 43+780 | 702 | 128 | 91  | 63  | 40  | 23 | 13 | 8  |
| 43+760 | 694 | 234 | 166 | 93  | 50  | 26 | 13 | 6  |
| 43+740 | 699 | 213 | 150 | 106 | 66  | 45 | 25 | 15 |
| 43+720 | 702 | 181 | 146 | 107 | 73  | 47 | 30 | 19 |
| 43+700 | 705 | 201 | 164 | 119 | 82  | 53 | 34 | 22 |
| 43+680 | 707 | 225 | 162 | 112 | 69  | 39 | 22 | 14 |
| 43+660 | 711 | 181 | 149 | 112 | 79  | 53 | 34 | 23 |
| 43+640 | 709 | 264 | 190 | 127 | 81  | 52 | 35 | 25 |
| 32+620 | 712 | 193 | 150 | 111 | 84  | 63 | 48 | 37 |
| 43+610 | 714 | 211 | 167 | 128 | 97  | 73 | 54 | 41 |
| 43+600 | 715 | 203 | 156 | 119 | 89  | 66 | 50 | 38 |
| 43+580 | 717 | 206 | 156 | 115 | 84  | 63 | 49 | 38 |
| 43+560 | 717 | 132 | 99  | 79  | 64  | 51 | 41 | 33 |
| 43+540 | 715 | 122 | 94  | 78  | 64  | 51 | 41 | 34 |
| 43+520 | 721 | 140 | 107 | 86  | 68  | 52 | 41 | 32 |
| 43+500 | 703 | 100 | 80  | 67  | 56  | 46 | 35 | 31 |
| 43+480 | 701 | 126 | 98  | 81  | 66  | 52 | 40 | 32 |
| 43+460 | 698 | 120 | 102 | 82  | 68  | 55 | 41 | 33 |
| 43+440 | 705 | 99  | 86  | 74  | 63  | 52 | 42 | 35 |
| 43+420 | 701 | 99  | 88  | 75  | 65  | 54 | 43 | 37 |
| 43+400 | 699 | 141 | 116 | 97  | 76  | 59 | 46 | 36 |
| 43+380 | 693 | 102 | 83  | 70  | 56  | 45 | 36 | 30 |
| 43+360 | 696 | 84  | 67  | 54  | 46  | 39 | 32 | 26 |
| 43+340 | 702 | 75  | 57  | 42  | 31  | 22 | 15 | 11 |
| 43+320 | 695 | 82  | 52  | 35  | 25  | 17 | 11 | 9  |
| 43+300 | 700 | 61  | 46  | 35  | 26  | 18 | 12 | 9  |
| 43+280 | 701 | 98  | 83  | 66  | 52  | 39 | 28 | 21 |

|        |     |     |     |     |    |    |    |    |
|--------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| 43+260 | 702 | 120 | 106 | 89  | 71 | 54 | 38 | 26 |
| 43+240 | 697 | 171 | 147 | 111 | 82 | 61 | 44 | 33 |
| 43+220 | 705 | 135 | 123 | 106 | 84 | 65 | 50 | 37 |

## 6 Wnioski

- 1) Przegląd zagranicznych i krajowych publikacji z ostatnich kilku lat dostarczył dowodów przemawiających za celowością stosowania geosyntetyków do warstw asfaltowych, jednak głównie na podstawie badań laboratoryjnych i rozważań teoretycznych. W mniejszym stopniu przegląd ten dostarczył wyników z badań nawierzchni z geosyntetykami, zwłaszcza jeśli chodzi o zastosowanie ich rutynowo w skali technicznej, a nie tylko doświadczalnej (wyjątkiem są opisy o stosowaniu geosyntetyków w skali technicznej w Australii (Terytorium Victoria) i w USA (Stan Kalifornia). Natomiast producenci geosyntetyków którzy starają się o aprobaty techniczne podają przykłady licznych ich zastosowań do nawierzchni asfaltowych, co świadczy o wzrastającej popularności tej technologii.
- 2) Wyniki badań i obserwacji odcinków drogowych w Polsce z zastosowaniem geosyntetyków w warstwach asfaltowych nie są jednoznacznie pozytywne, zwłaszcza w przypadkach wbudowania ich bezpośrednio pod warstwą ścieralną (w przeciwieństwie do tego co jest na przykład rutynową praktyką w Australii, która ma jednak odmienny klimat niż nasz), aczkolwiek przyczyny uszkodzeń warstwy ścieralnej nie zawsze były bezpośrednio związane z samym geosyntetykiem, a raczej były związane z jego słabszym zespoleniem z sąsiednimi warstwami
- 3) Przegląd publikacji potwierdził, że efekt wzmocnienia warstw asfaltowych geosiatką będzie wówczas, jeżeli będzie ona wbudowana w strefie występowania sił rozciągających od obciążeń pojazdami, tzn. na spodzie warstw asfaltowych, jej moduł sztywności będzie większy od modułu sztywności warstw asfaltowych w całym przedziale temperatury eksploatacji nawierzchni i będzie trwale zespolona z sąsiednimi warstwami asfaltowymi.
- 4
- 4) Geowłókniny powinny być stosowane do wykonywania warstwy SAMI lub do utworzenia
- 5 warstwy nieprzepuszczalnej dla wody. Ze względu na małą ich wytrzymałość na rozciąganie i duże wydłużenie nie powodują wzmocnienia warstw asfaltowych.

- 5) Wyniki badań odcinków drogowych na terenie kraju potwierdziły, że promień krzywizny czaszy ugięć nawierzchni z prawidłowo wbudowaną geosiatką jest większy od promienia czaszy ugięć nawierzchni bez geosiatki. Badania próbek z tych odcinków dostarczyły wyników świadczących o słabszym zespoleniu warstw między którymi znajdowała się geosiatka, w porównaniu do zespolenia tych warstw lecz bez geosiatki. Większy promień krzywizny czaszy ugięć wpływa na wzrost trwałości zmęczeniowej warstw asfaltowych, podczas gdy słabsze zespolenie warstw na jej zmniejszenie.
- 6) Stosując standardowe metody badań ugięć sprężystych nawierzchni belką Benklemana i aparatem FWD stwierdzono podobne ich wartości na nawierzchniach z geosiatką i na nawierzchniach referencyjnych bez geosiatki.
- 7) Zainstalowanie geosiatki bezpośrednio pod warstwą ścieralną nie powoduje wzmocnienia konstrukcji nawierzchni, natomiast przyczynia się do szybszego zniszczenia warstwy ścieralnej. Zainstalowanie geosiatki pod warstwą wiążącą powoduje zwiększenie trwałości zmęczeniowej konstrukcji, jednak o tej trwałości bardziej decyduje nośność podbudowy i podłoża gruntowego. Grubość warstwy (warstw) przykrywającej geosyntetyk (geosiatka lub geokompozyt) powinna wynosić nie mniej niż 8,0 cm.
- 8) Dotychczasowy stan wiedzy w zakresie stosowania geosyntetyków do warstw asfaltowych, zwłaszcza brak wyników długoletnich obserwacji nawierzchni asfaltowych z tymi materiałami nie daje podstaw do redukcji grubości warstw asfaltowych, które zostały nimi wzmocnione, tym bardziej, że nie opracowano jeszcze na świecie metody projektowania konstrukcji nawierzchni asfaltowych wzmocnionych geosyntetykami. Bezpieczniej będzie zatem projektować nowe konstrukcje lub remontować istniejące według znanych i obowiązujących metod, zaś geosyntetyki stosować profilaktycznie w miejscach lub na odcinkach wymagających dodatkowego wzmocnienia.
- 9) Decyzja o zastosowaniu geosyntetyku do warstw asfaltowych powinna być poprzedzona określeniem celu tego zabiegu oraz analizą techniczną i ekonomiczną, aby zastosować rozwiązanie optymalne a nie podnosić kosztów inwestycji z powodu nieuzasadnionego zastosowania tego produktu.

Uzupełnienie do sprawozdania z tematu TN/TG-221, Zadanie A. etap II, 2003 r. (str.47 A).

**Tablica 8A Średnie wyniki pomiarów naprężenia ścinającego  $\tau$  między warstwami, oznaczonego na próbkach wyciętych z nawierzchni pobocza prawego na DK nr 2, MPa**

| Położenie warstw                                | Odcinek referencyjny<br>bez geosyntetyku,<br>km 147,650<br>do 147,900 | Odcinek z geosiatką<br>Roadtex 2303,<br>km 147,550<br>do 147,650 | Odcinek z<br>geokompozytem<br>Rotaflex 833 SL,<br>km 147,900<br>do 148,000 |
|---|---|--|--|
| ścieralna z BA/ /<br>wiążąca z BA               | 2,35  | -  | -  |
| ścieralna z<br>BA/geosyntetyk*)<br>wiążąca z BA | -   | 1,13   | 1,04   |

\*) sklejony asfaltem zwykłym z emulsji, w ilości 0,8 kg/m<sup>2</sup>.