

ZASTOSOWANIE KOMPOZYTÓW W POSTACI MONOLITYCZNEGO RUSZTU I WŁÓKNINY DO ZBROJENIA WARSTW ASFALTOWYCH ORAZ ICH WPŁYW NA WZROST TRWAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ NAWIERZCHNI DROGOWYCH

Michał Gołos

mgr inż., Tensar Polska Sp. z o.o. ul. Azymutalna 9 80-298 Gdańsk, tel.: 882 801 100, email: mgolos@tensar.pl

Streszczenie. Niniejszy artykuł omawia kwestię zastosowania szczególnego typu geosyntetyków, tzw. kompozytów jako warstw pośrednich w nawierzchniach asfaltowych. Autor zwraca uwagę na możliwości jakie dają kompozyty w postaci monolitycznego rusztu i włókniny do zwiększania trwałości zmęczeniowej nawierzchni drogowych. Artykuł omawia badania kompozytów przeprowadzone pod kątem wydłużenia czasu propagacji spękań zmęczeniowych, a także podejście projektowe, uwzględniające wpływ materiałów na wzrost trwałości zmęczeniowej warstw asfaltowych nawierzchni drogowych. Zasygnalizowano także kluczowe wymagania technologiczne dotyczące wbudowania kompozytów w warstwy asfaltowe.

Słowa kluczowe: zbrojenia warstw asfaltowych, kompozyt, trwałość zmęczeniowa, funkcja zbrojeniowa, funkcja rozpraszania naprężeń

1. Wstęp

Stosowanie geosyntetyków w nawierzchniach asfaltowych jest zjawiskiem znanym od lat zarówno na świecie, jak i w Polsce. Historycznie pierwsze zastosowania geosyntetyków związane były z zapobieganiem przenoszenia się spękań odbitych z istniejących dolnych warstw konstrukcji nawierzchni (płyt betonowych lub warstw stabilizowanych spoiwami hydraulicznymi) na nowe nakładki asfaltowe. Kolejnym aspektem stosowania geosyntetyków w aplikacjach asfaltowych nawierzchni jest zbrojenie styku łączącego istniejącą nawierzchnię z nową konstrukcją w ramach wykonywanego poszerzenia. Geosyntetyki, w znacznie mniejszym zakresie, mogą być również stosowane w celu ograniczenia powstawania kolein w nowych warstwach asfaltowych. Efektem ich stosowania w nawierzchniach asfaltowych w ramach powyższych rozwiązań jest tym samym wydłużenie okresów między-remontowych oraz zmniejszenie ilości zabiegów utrzymaniowych w okresie eksploatacji nawierzchni drogowej.

Zamiarem autora jest zwrócenie uwagi na inny ważny aspekt z zastosowaniem materiałów syntetycznych stosowanych jako warstwy pośrednie, a mianowicie

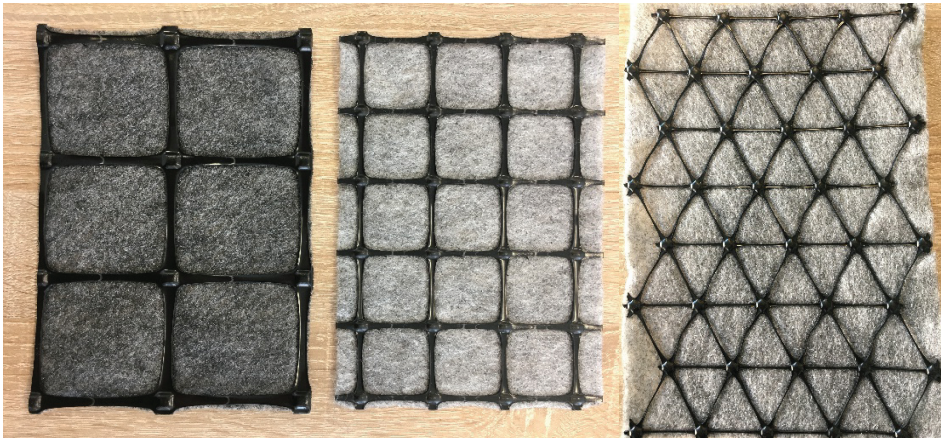
możliwość skutecznego przeciwdziałania procesowi inicjacji spękań zmęczeniowych poprzez zastosowanie w warstwach asfaltowych szczególnego typu geosynetyku jakim jest kompozyt, tj. połączenie w ramach jednego wyrobu dwóch elementów - monolitycznej siatki ciągnionej, tzw. rusztu (o oczkach kwadratowych lub w nowszej wersji o oczkach trójkątnych) zespolonej termicznie z włókniną (o odpowiednio dobranej retencji asfaltu). W efekcie, poprzez wypadkową działania dwóch funkcji kompozytu, tj. zbrojenia warstw asfaltowych rusztem oraz rozpraszanie naprężeń przez nasączoną asfaltem włókninę, uzyskujemy jedną z dwóch korzyści:

- wzrost trwałości zmęczeniowej projektowanej nawierzchni lub
- możliwość zmniejszenia grubości pakietu warstw asfaltowych.

W niniejszym artykule omówiono badania przeprowadzone dla kompozytu oraz przedstawiono podstawy metody projektowej uwzględniającej wpływ takiego właśnie materiału na wzrost trwałości zmęczeniowej nawierzchni. Wskazano także kluczowe wymagania technologiczne dotyczące instalacji kompozytu, w celu maksymalizacji jego efektywności.

2. Parametry kompozytu zbrojeniowego oraz pełnione przez niego funkcje w warstwach asfaltowych nawierzchni drogowej

Omawiany kompozyt stanowi połączenie ciągnionego rusztu z polipropylenu o oczkach kwadratowych 65 x 65 mm (wersja podstawowa) lub 39 x 39 mm (wersja *small*) lub o oczkach trójkątnych, tworzących sześciokąty foremne o wymiarze boku 80 mm, zgrzanego termicznie z włókniną o gramaturze ok. 130 g/m² i odpowiedniej nasiąkliwości bitumem (fot. 1).



Fot. 1. Widok kompozytów o oczkach kwadratowych: 65 x 65 mm i o oczkach 39 x 39 mm oraz o oczkach trójkątnych

Zgodnie z wymaganiami normy [1] kompozyt musi spełniać w nawierzchni 3 podstawowe funkcje, tj.:

- Zbrojenie (R-ang. *Reinforcement*),
- Absorpcja/rozpraszanie naprężeń (SR-ang. *Stress Relief*),
- Nieprzepuszczalna bariera dla wody (IB-ang. *Interlayer Barrier*).

Funkcja zbrojeniowa realizowana jest w przypadku tego kompozytu poprzez mechanizm zazębienia i klinowania ziaren grysowych szkieletu mieszanki mineralno-asfaltowej. Zablockowane w taki sposób ziarna mieszanki zabezpieczone są głównie przed ruchami poziomymi w płaszczyźnie materiału, co wpływa pozytywnie na omówione wcześniej zmniejszenie propagacji spękań przenoszonych od dołu do góry warstwy/warstw asfaltowych nawierzchni. Z kolei nasączona i zaimpregnowana bitumem włóknina pełni rolę identyczną jak warstwa SAMI, której celem jest rozpraszanie oraz/lub absorpcja naprężeń i nieprzenoszenie ich do warstwy wyżej leżącej, a także stanowi ona nieprzepuszczalną barierę dla wody dostającej się do nawierzchni, zarówno przed, jak i po wystąpieniu spękań [1,2]. W tej sytuacji konieczne jest zapewnienie odpowiedniej nasiąkliwości bitumem elementu tekstylnego kompozytu, a także kontrolowanego zerwania szczepności pomiędzy warstwami asfaltowymi, na styku których zainstalowany jest kompozyt. Stąd należy oczekiwać uzyskania efekcie wartości szczepności nieznacznie niższych niż rekomendowane przez Instrukcję i Wymagania [3].

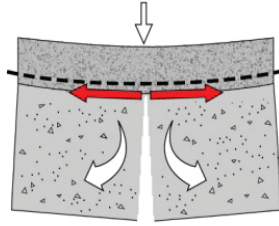
W praktyce kompozyt powinien być ułożony poniżej najniższej warstwy asfaltowej nawierzchni, tj. pod warstwą podbudowy asfaltowej lub pod warstwą wiążącą, w taki sposób, aby warstwa mieszanki mineralno-asfaltowej układana bezpośrednio na kompozycie posiadała grubość nie mniejszą niż 70 mm.

3. Zwiększenie trwałości zmęczeniowej. Badania, projektowanie i wymagania praktyczne dotyczące instalacji

3.1. *Badania*

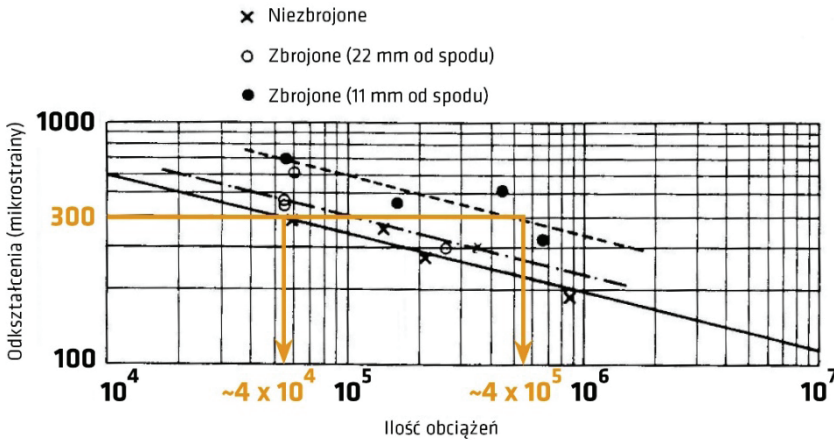
Badania przeprowadzone przez zespół pod kierunkiem prof. S. F. Browna na Uniwersytecie Nottingham [4] wyraźnie uwidocznily wpływ monolitycznego rusztu zbrojenowego na etapie propagacji spękań zmęczeniowych w kierunku górnych warstw asfaltowych. Punktem wyjścia do badań dotyczących wpływu materiału syntetycznego na opóźnienie powstawania spękań zmęczeniowych było założenie, że ze względu na stosunkowo zbliżone wartości modułów sprężystości betonu asfaltowego i rusztu tworzącego kompozyt w początkowym etapie pracy nawierzchni, wpływ rusztu nie jest widoczny, tzn. proces inicjacji spękań zmęczeniowych na spodzie warstw asfaltowych przebiega podobnie zarówno w przypadku warstwy zbrojonej, jak i niezbrojonej. Wpływ rusztu/kompozytu staje się natomiast wyraźnie widoczny na etapie propagacji spękań zmęczeniowych w kierunku góry warstwy asfaltowej. Propagacja ta, w przypadku warstwy zbrojonej, jest zde-

cydowanie bardziej opóźniona, co powoduje wyraźny wzrost trwałości zmęczeniowej warstwy zbrojonej rusztem lub kompozytem zbrojeniowym opóźniającym propagację spękań do wyżej leżących warstw asfaltowych nawierzchni drogowej



Rys. 1. Schemat pracy nawierzchni zbrojonej rusztem/kompozytem zbrojeniowym opóźniającym propagację spękań do wyżej leżących warstw asfaltowych nawierzchni drogowej

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono m.in., że trwałość zmęczeniowa badanej warstwy betonu asfaltowego o grubości 9 cm rośnie aż dziesięciokrotnie w przypadku zastosowania ruszta zbrojeniowego na poziomie ok. 1 cm powyżej spodu zbrojonej warstwy asfaltowej (zgodnie z wykresem pokazanym na rys. 2).



Rys. 2. Wykres zależności pomiędzy ilością cykli obciążeń a odkształceniami w badanych próbkach w postaci belek niezbrojonych i zbrojonych siatką AR (4)

3.2. Metoda projektowa

Wiedza uzyskana w efekcie przeprowadzonych badań staje się bardzo przydatna podczas projektowania nawierzchni metodą mechanistyczną z uwzględnieniem wpływu kompozytów. Podstawowe założenie metody projektowej jest takie, że zastosowanie w warstwach asfaltowych nawierzchni siatki/kompozytu zwiększa ich trwałość zmęczeniową wynikającą z kryterium spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych, natomiast nie ma ono – co oczywiste – wpływu na trwałość zmęczeniową wynikającą z kryterium trwałej deformacji podłoża. Dotychczasowe badania

i doświadczenia praktyczne wykazały, że stosowanie syntetyków w warstwach asfaltowych nie ma wpływu na wielkość odkształceń podłoża pod całą projektowaną nawierzchnią.

Badania przeprowadzone na Uniwersytecie Nottingham [4] wykazały, że trwałość zmęczeniowa warstw asfaltowych zbrojonych siatką monolityczną wzrasta nawet dziesięciokrotnie. Ponieważ jednak wynik ten uzyskano w warunkach laboratoryjnych, to zakładanie takiego wzrostu trwałości w przypadku rzeczywistych konstrukcji byłoby niezasadne. Biorąc powyższe pod uwagę, jak również uwzględniając pewien zapas bezpieczeństwa, założono, że trwałość zmęczeniowa zbrojonych warstw asfaltowych wzrasta w przedziale od 1,5 do 3,0-krotnie w stosunku do nawierzchni niezbrojonej.

Wartość współczynnika zwiększającego jest zmienna. Jego wielkość należy szacować w zależności od klasy i ważności projektowanej drogi. W przypadku nawierzchni dróg głównych, ekspresowych i autostrad, o dużym znaczeniu, zaleca się stosowanie niskich wartości współczynnika, rzędu 1,5, natomiast dla dróg o mniejszym znaczeniu można przyjmować wyższe wartości, akceptując wyższy poziom ryzyka, tj. 2,0-3,0 [5].

Jeśli pojawia się sytuacja, że po przemnożeniu trwałości zmęczeniowej warstw asfaltowych przez współczynnik zwiększający, jej wartość przekracza trwałość zmęczeniową wynikającą z kryterium deformacji podłoża, wtedy to kryterium deformacji podłoża decyduje o trwałości zmęczeniowej całej konstrukcji.

Trwałość zmęczeniowa nawierzchni, w której warstwy asfaltowe są wzmocnione kompozytem sztywnej siatki monolitycznej, określa się w tym przypadku z zależności, opisanych w [2,5]:

$$N = \min (N_{fa} \times A; N_{fg}),$$

gdzie:

N – całkowita trwałość zmęczeniowa nawierzchni;

N_{fa} – ilość obciążeń osią standardową do wystąpienia spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych;

A – współczynnik zwiększający zawierający się w przedziale 1,5 – 3,0;

N_{fg} – ilość obciążeń osią standardową do wystąpienia krytycznej deformacji strukturalnej nawierzchni.

3.3. Przykład zastosowania metody projektowej w praktyce

Przykładem wykorzystania powyższej metody projektowej w praktyce, są obliczenia wykonane dla inwestycji, która została zaprojektowana w ramach ekspresowej drogi krajowej o długości odcinka około 2 km.

W związku z faktem, że warstwa ulepszonego podłoża (mieszanka niezwiązana i doziarniona destruktem betonowym) oraz warstwa podbudowy pomocniczej (mieszanka związana spoiwem hydraulicznym C1,5/2), nie uzyskały wymaganych parametrów odbiorowych, zatem również zaprojektowana pierwotnie konstrukcja nie osiągnęła wymaganej trwałości zmęczeniowej, przeprojektowano konstrukcję z wykorzystaniem kompozytu zbrojeniowego (w postaci monolitycznego rusztu

o oczkach kwadratowych 65x65mm połączonego z włókniną) na 20-letni okres eksploatacji nawierzchni.

Współczynnik zwiększający trwałość zmęczeniową konstrukcji ze względu na zbrojenie kompozytem przyjęto równy 1,5. Ostatecznie zaprojektowano konstrukcję nawierzchni z układem 22 cm warstw asfaltowych ułożonych na kompozycie (4+8+10) i 6 cm dolnej warstwy podbudowy asfaltowej AC22P ułożonej poniżej, uzyskując projektową trwałość nawierzchni zgodną z wymogami zawartymi w dokumentacji zadania na poziomie 58 mln osi 100 kN, przy wymaganych 52 mln osi 100 kN, jak dla ruchu KR6 (tab. 1). Przedstawiona powyżej konstrukcja uzyskała akceptację Inwestora i Nadzoru Autorskiego, a następnie została zaakceptowana do dalszej realizacji.

Tabela 1. Wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni ekspresowej drogi krajowej

	Poziome odkształcenia rozciągające na spodzie warstw asfaltowych E_a [μs]	Pionowe odkształcenia ściskające na górze podłoża gruntowego E_z [μs]	Trwałość zmęczeniowa warstw asfaltowych N_{fa} [mln osi 100kN]	Trwałość zmęczeniowa podłoża gruntowego N_{fg} [mln osi 100kN]	Trwałość konstrukcji N [mln osi 100kN]
Konstrukcja bez zbrojenia	54,79	83,91	38,73	2542	38,73
Konstrukcja zbrojona kompozytem	54,79	83,91	38,73 x 1.5	2542	58,10

3.4. Zastosowanie w praktyce. Instalacja i wymagania dotyczące wbudowania

Montaż kompozytu odbywa się poprzez ułożenie na warstwie niżej leżącej warstwy szepnej w postaci emulsji asfaltowej, w ilości niezbędnej do prawidłowego zamocowania kompozytu i pełnego nasycenia włókniny, co jest związane z pracą włókniny w funkcji SR i IB (patrz punkt 2). Wymagana ilość emulsji zależy od powierzchni, na której układany jest kompozyt – w zależności od tego czy jest to istniejąca podbudowa betonowa, istniejące warstwy asfaltowe lub nowe warstwy asfaltowe - oraz od rodzaju emulsji asfaltowej. Zaleca się stosować kationową emulsję do powierzchniowych utwaleń (PU) o zawartości lepiszcza $\geq 69\%$ (C69), na bazie asfaltu zwykłego (B) lub modyfikowanego (BP), w ilości zapewniającej ilość pozostałego lepiszcza po odparowaniu wody na poziomie nie mniejszym niż 1,2 kg/m² (fot. 2) [6].

Prawidłowa instalacja kompozytu wiąże się, co oczywiste, także z koniecznością spełnienia wielu innych istotnych warunków, wśród których najważniejsze to:

- odpowiednie przygotowanie podłoża pod ułożenie kompozytu (wyrównana, sucha, czysta i odpylona powierzchnia),
- układanie kompozytu przy odpowiednich warunkach pogodowych, tj. minimalna temperatura powietrza +10°C i brak deszczu,
- zastosowanie odpowiedniego sprzętu do instalacji mechanicznej lub ręcznej, tj:

- szczotki do szczotkowania kompozytu w celu jego prawidłowego przylegania, usuwania fałd i zagnieceń, a także przyspieszenia procesu przenikania lepiszcza do włókniny,
 - drążek prowadzący do mocowania rolki wraz z łańcuchami do zaczepienia na haku skraparki,
- oraz ewentualnie:
- pistolet do wstrzeliwania kołków lub gwoździ, w miejscach zakładów lub nieprawidłowego przylegania kompozytu do podłoża,
 - piła tarczowa do cięcia rolki, w przypadku układania materiałów w paśmie o szerokości mniejszej, niż wyjściowa szerokość rolki,
- zachowanie wymaganych zakładów minimalnych oraz ich prawidłowe wykonanie zgodnie ze szczegółową specyfikacją techniczną lub instrukcją montażu,
 - ograniczenia ruchu budowlanego i technologicznego na już ułożonym kompozycie,
 - unikanie lokalizacji złączy technologicznych układanej nawierzchni w obrębie zakładów kompozytu [2].

Wszystkie powyższe oraz pozostałe wymagania są zamieszczone w szczególnych instrukcjach instalacji kompozytów na bazie rusztu i włókniny [6].



Fot. 2. Widok prawidłowo zainstalowanego kompozytu (fot. Autora)

4. Podsumowanie

Mechanizm skutecznego zwiększania trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni wskutek przeciwdziałania procesowi inicjacji spękań warstw asfaltowych jest ważnym aspektem w projektowaniu konstrukcji nawierzchni. Zastosowanie do zbrojenia pakietu bitumicznego kompozytu w postaci monolitycznego rusztu i nasączonej asfaltem włókniny o dużej retencji asfaltu może być skutecznym sposobem na opóźnienie powstawania spękań.

Intencją Autora niniejszego artykułu było zasygnalizowanie, że istnieje zarówno skuteczna i sprawdzona metoda projektowa oraz dostępne są wyroby, które zostały już praktycznie sprawdzone w powyższym zakresie. Nie należy jednakże zapominać, że poza znajomością zagadnienia zwiększania trwałości zmęczeniowej oraz umiejętnością wykorzystania tej wiedzy podczas projektowania, warunkiem osiągnięcia sukcesu w przypadku stosowania materiałów zbrojeniowych do warstw asfaltowych, jest także ich prawidłowe wbudowanie w warstwy asfaltowe nawierzchni.

Bibliografia

- [1] PN-EN 15381 Geotekstylia i wyroby pokrewne. Wymagania w odniesieniu do wyrobów stosowanych w nawierzchniach i nakładkach asfaltowych.
- [2] Gołos M., Kornacka K., Zastosowanie kompozytów do zbrojenia warstw asfaltowych ze szczególnym uwzględnieniem poprawy trwałości zmęczeniowej nawierzchni drogowych, *Magazyn Autostrady*, 11-12/2018, str. 34-38.
- [3] Instrukcja laboratoryjnego badania szczepności międzywarstwowej wg Metody Leutnera próbek odwierconych z nawierzchni i Wymagania techniczne szczepności, GDDKiA & PG, Gdańsk 2013.
- [4] Brown S. F. i współpracownicy, Polymer Grid Reinforcement of Asphalt, AAPT Annual Meeting, San Antonio, Teksas, 11-13.02.1985.
- [5] Mazurowski P., Zastosowanie siatek i kompozytów Tensar AR do wzmocnienia warstw asfaltowych nawierzchni, Żilina, Słowacja, Konferencja Naukowa: 3. Międzynarodna Konferencja Geosyntetyka v Stavebníctve, Žilina, 3-4.02.2005.
- [6] Instrukcje instalacji kompozytów AR-GN, AR-GNs oraz AX5-GN.