

Znaczenie oceny stanu nawierzchni i prac przygotowawczych poprzedzających przebudowę dróg o nawierzchni betonowej

Importance of pavement condition assessment and preparatory works prior to the reconstruction of concrete pavement roads



Stanisław Majer

Dr inż.

Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie

stanislaw.majer@zut.edu.pl
ORCID 0000-0003-2476-1982



Alicja Sołowczuk

Dr hab. inż., prof. ZUT

Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie

alicia.solowczuk@zut.edu.pl
ORCID 0000-0002-7922-7421

Streszczenie: Wiele dróg posiada nawierzchnię betonową, której stan techniczny zależy od jej wieku. Podczas przebudowy, w zależności od stanu nawierzchni, stosuje się jedną z dwóch głównych metod: wykonanie warstwy SAMI i ułożenie nowych warstw asfaltowych na istniejącej nawierzchni lub rozkruszenie nawierzchni na miejscu, tzw. metoda rubblizingu. Niniejszy artykuł dotyczy przebudowy z zastosowaniem warstwy SAMI. Zdaniem autorów kluczowym elementem w takim przypadku jest dokładna ocena stanu technicznego nawierzchni, w tym określenie współczynników przenoszenia obciążeń pomiędzy płytami betonowymi oraz wpływu miejsca przyłożenia obciążenia. Na podstawie tych danych możliwe jest zaprojektowanie nowej konstrukcji nawierzchni z betonu asfaltowego (AC) z zastosowaniem warstwy przeciwspekaniowej. Na tym etapie niezbędne jest przygotowanie szczelnego i równego podłoża, co obejmuje właściwe uszczelnienie szczelin i spękań oraz precyzyjne określenie głębokości frezowania starych płyt betonowych na podstawie szacowanych różnic wysokości w miejscach spękań. Kolejnym istotnym czynnikiem jest ścisłe przestrzeganie zaleceń technologicznych podczas wykonywania warstwy SAMI. W artykule przedstawiono wyniki doświadczeń praktycznych zdobytych podczas przebudowy drogi z nawierzchnią z płyt betonowych z zastosowaniem warstwy przeciwspekaniowej typu SAMI.

Słowa kluczowe: Nawierzchnia betonowa; Stan nawierzchni; Warstwa SAMI, Prace przygotowawcze

Abstract: Many roads have concrete pavements, which vary in technical condition depending on their age. During reconstruction, depending on the condition of the concrete pavement, either a SAMI layer with new asphalt layers placed on the existing surface is used, or the pavement is crushed in place – the so-called rubblizing method. This article refers to reconstruction using a SAMI layer. In the authors' opinion, a crucial element in such cases is the assessment of the technical condition of the pavement and the determination of the load transfer coefficients between concrete slabs, as well as the influence of the load application point. Based on this data, it is possible to design a new pavement structure made of asphalt concrete (AC) with the use of a stress-absorbing interlayer. At this stage, it is essential to prepare a tight and even substrate, which includes the proper sealing of joints and cracks, as well as accurately determining the milling depth of the old concrete slabs based on the estimated elevation differences at the cracks. Another critical factor is the strict adherence to technological recommendations during the installation of the SAMI layer. In this article, the authors present the results of practical experience gained during the reconstruction of a road with concrete slab pavement using a SAMI-type anti-cracking interlayer.

Keywords: Concrete pavement; Pavement condition; SAMI layer; Preparatory works

Wprowadzenie

Aktualnie w projektowaniu inwestycji w budownictwie drogowym podnosi się kwestię związane z zrównoważonym rozwojem, oceniany jest jej wpływ na środowisko w całym cyklu życia z uwzględnieniem śladu węglowego (LCA - Life Cycle Assessment). Obejmuje to etapy od pozyskania surowców, przez produkcję i użytkowanie, aż po utylizację lub recykling,

mniej wagi poświęca się zaś kwestiom ekonomicznym. Tymczasem przy przebudowie dróg – szczególnie na odcinkach liczących od kilku do kilkudziesięciu kilometrów – aspekty ekonomiczne odgrywają kluczową rolę, zwłaszcza gdy istnieje konieczność rozbiórki lub wzmocnienia starej nawierzchni. Głównym dylematem jest wówczas decyzja dotycząca dalszego postępowania z istniejącą nawierzchnią, przy czym szczególnym

przypadkiem są nawierzchnie betonowe. Doświadczenia zagraniczne i krajowe wskazują, że starą nawierzchnię betonową można wykorzystać do budowy nowej nawierzchni krusząc starą na mniejsze elementy i dalej wykorzystując ją, jako podbudowę albo można na starej nawierzchni betonowej wykonać nowe warstwy z mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA). O wyborze metody przebudowy decyduje przede wszystkim stan technicz-

ny starej nawierzchni betonowej [4]. Ze względu na relatywnie mniejsze koszty szczególnie atrakcyjny jest drugi scenariusz bez dużej ingerencji w starą nawierzchnię. Kluczowe jednak w tym przypadku określenie czy stara nawierzchnia spełnia wymagania do zastosowania tego rozwiązania. Do oceny stanu nośności nawierzchni betonowej wykorzystuje się przede wszystkim współczynnik współpracy płyt w szczelinach i spękaniach k . Klasyfikację jego wartości celem oceny stanu technicznego nawierzchni betonowej i sposobu jej remontu opisano w publikacjach [6, 7, 11, 13]:

- $k \leq 0,1$ – brak jest współpracy między płytami betonowymi, nawierzchnia betonowa powinna być rozebrana,
- $0,1 < k \leq 0,65$ – współpraca między płytami betonowymi jest częściowa, nawierzchnia betonowa powinna być poddana kruszeniu i może być dalej wykorzystywana, jako podbudowa pod nową nawierzchnię,
- $0,65 < k \leq 0,95$ – wystarczające jest przekazywanie obciążenia z jednej płyty na drugą, nawierzchnia betonowa może być wykorzystana, jako podbudowa pod nowe warstwy asfaltowe, trzeba jednak wykonać konieczne prace utrzymaniowe i zastosować warstwę przeciwspekaniową,
- $k > 0,95$ – pełna współpraca płyt,

dobrze przekazywanie obciążenia, nawierzchnia wymaga jedynie prac utrzymaniowych polegających na wypełnieniu ubytków i uszczelnieniu w szczelinach i spękaniach.

Wspomagająco przy ocenie stanu nawierzchni można także wykorzystać współczynnik wpływu punktu przyłożenia obciążenia s [6, 7, 11, 13]. Jeżeli jego wartość jest mniejsza niż 1,4, to oznacza, że płyta betonowa ma dostateczne podparcie w rejonie szczeliny lub spękania i może być wykorzystana, jako podbudowa w nowej nawierzchni (rys. 1).

W niniejszym artykule opisano studium przypadku remontu drogi z wykorzystaniem starej nawierzchni betonowej, jako podbudowy i zastosowaniem warstwy przeciwspekaniowej SAMI, przeciwdziałającej powstawaniu spękań odbitych i absorbującej naprężenia rozciągające.

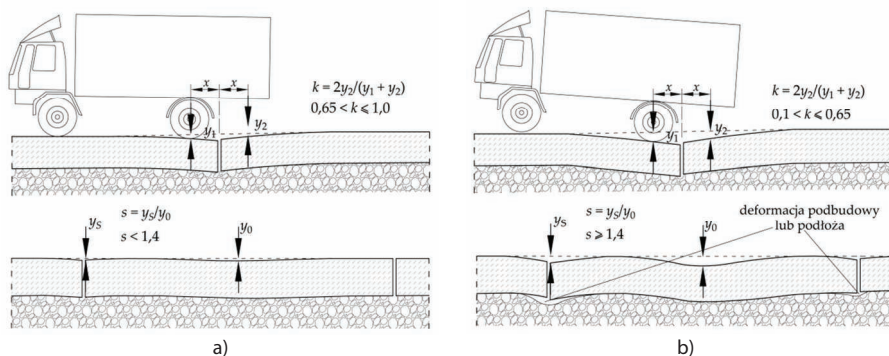
Spękania odbite i warstwa przeciwspekaniowa

Ułożenie nowych warstw z mieszanki mineralno-asfaltowych nawet o znacznej grubości nie chroni przed odwzorowaniem się w nowych warstwach nawierzchni spękań ze starej nawierzchni betonowej. Podstawową przyczyną powstawania spękań odbitych są przemieszczenia płyt w

miejszu istniejącego spękania lub szczeliny w starej nawierzchni betonowej. Ruchy podbudowy wywołane są oddziaływaniem kół pojazdów oraz zmianami temperatury nawierzchni, wywołujących naprężenia rozciągające lub ściskające w warstwie asfaltowej. Po przekroczeniu wytrzymałości na rozciąganie mieszanki mineralno-asfaltowej dochodzi do jej pęknięcia i w dalszym etapie, do propagacji spękań [4]. Przyjmuje się, że tempo propagacji spękań wynosi od 1 cm do 2 cm na rok [4, 5]. Po wystąpieniu spękania na powierzchni warstw asfaltowych, w głąb nawierzchni zaczyna penetrować woda (w okresie zimowym woda z solą), co powoduje korozję betonu i w konsekwencji osłabienie podłoża na skutek rozmiękania. W efekcie końcowym dochodzi do zjawiska klawiszowania płyt.

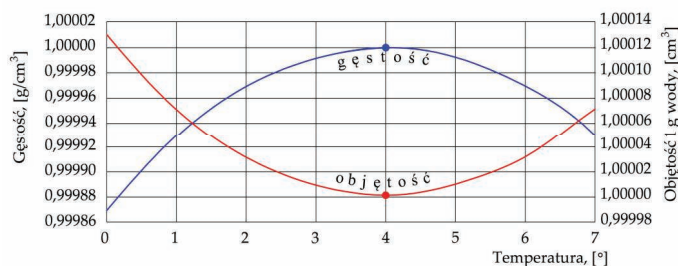
Ponadto w spękaniach odbitych po opadach gromadzi się woda. Przy temperaturze równej 4°C woda ma najmniejszą objętość i największą gęstość, może więc siłami natury przenikać w głąb najmniejszych włoskowatych spękań (rys. 2). Jeśli temperatura zmniejsza się poniżej 4°C, to w wodzie zaczynają się tworzyć struktury krystaliczne i wiązania wodorowe, które zajmują więcej miejsca niż pojedyncze cząsteczki, co powoduje wzrost objętości. Przy temperaturze równej 0°C woda ma najmniejszą gęstość (rys. 2) i tworzy się lód. Im częściej temperatura zmienia się z dodatniej na ujemną i odwrotnie (w zakresie od ujemnej do 4°C), to utworzony w szczelinie lód naturalnymi siłami rozpycha częściej ściany szczeliny, co w konsekwencji prowadzi do jej stopniowego poszerzania. Uwzględniając powyższe w ramach prac utrzymaniowych powinno się w okresie jesiennym uszczelniać nawierzchnię i zalewać spękania, poprawiając tym samym stan techniczny nawierzchni i zapobiegając rozszerzaniu się spękań.

Pierwsze udane próby zapobiegania propagacji spękań odbitych w warstwach asfaltowych wykonano w

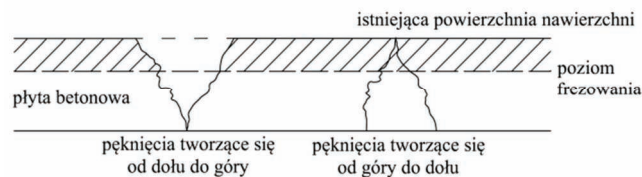


1. Schematy stosowanych pomiarów ugięć w rejonie prognozowanych spękań odbitych: a) przypadek wystarczającej współpracy płyt i możliwe zastosowanie warstwy SAMI i nakładki z MMA; b) przypadek częściowej współpracy płytami i częściowego ich podparcia oraz sugerowane zastosowanie rubblizingu (opracowanie autorów na podstawie [6, 7, 11, 13])

Oznaczenia: k – współczynnik współpracy płyt; y_1 – ugięcie krawędzi obciążonej, y_2 – ugięcie krawędzi nieobciążonej, s – współczynnik wpływu punktu przyłożenia obciążenia; y_s – ugięcie obciążonej krawędzi płyty; y_0 – ugięcie płyty pomierzone pomiędzy spękaniem, x – odległość od krawędzi.



2. Zależność objętości i gęstości wody od temperatury



3. Ilustracja rodzaju spękań i doboru optymalnej głębokości frezowania

latach 70. XX wieku w Stanach Zjednoczonych [15]. Wykonano wówczas warstwę na bazie lepiszcza gumowo-asfaltowego [15]:

- absorbujące naprężenia rozciągające – powierzchniowe utrwaleńia (ang. *Stress Absorbing Membrane SAM*),
- utrudniające powstawanie spękań odbitych (ang. *Stress Absorbing Membrane Interlayer SAMI*) oraz warstwy z betonu asfaltowego.

Warstwy SAMI stanowią cienkie powłoki asfaltowe na bazie lepiszczy modyfikowanych, które pomimo sklejenia nowej warstwy MMA ze spękaną podbudową betonową zachowują swobodę przesuwania się obu warstw w poziomie na skutek różnego ich wydłużania się. Warstwa SAMI zachowuje się jak elastyczna membrana, która absorbuje poziome naprężenia w nawierzchni powstające od obciążenia zewnętrznego i zmian temperatury. Dzięki niej nie następuje rozprzestrzenianie się pęknięć z podbudowy na nowe warstwy MMA [2]. Warstwa pośrednia przeciwspękaniowa SAMI zasadniczo spełnia trzy funkcje [3]:

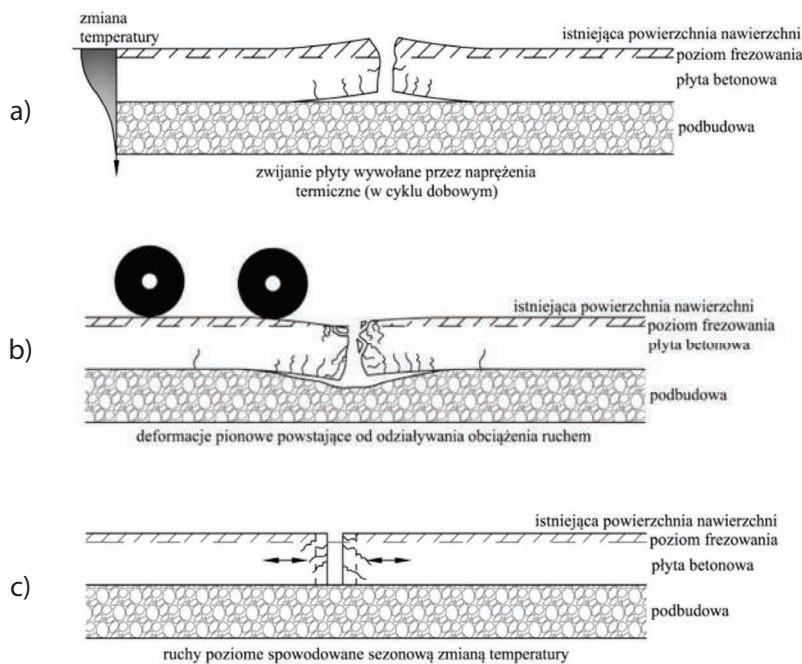
- wytrzymałego na ścinanie połączenia pomiędzy warstwą podbudowy i nakładką z MMA,
- ochrony podbudowy przed dalszą degradacją (poprzez jej uszczelnienie i zapobieżenie przenikania wody w głąb szczeliny i spękania),
- elastycznego przykrycia spękań i szczelin pomiędzy dwiema różnymi strukturami, absorbującego poziome naprężenia.

Optimalizacja głębokości frezowania

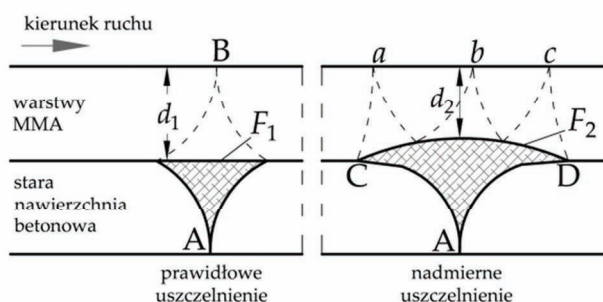
Wzmocnienie starej nawierzchni betonowej dzięki zastosowaniu na niej warstw asfaltowych może skutkować powstawaniem spękań odbitych w tych warstwach. Do przeciwdziałania ich powstawaniu wykorzystuje się warstwy SAM lub SAMI, siatki lub geowłókniny [1, 2, 4, 8, 9]. Jednak niezwykle ważne jest przygotowanie starej nawierzchni z betonu cementowego do ułożenia na niej warstwy przeciwspekaniowej.

Z doświadczeń amerykańskich wynika, że frezowanie wierzchniej powierzchni może przyczynić się w końcowym rezultacie do poprawy wytrzymałości na ścinanie na styku starej nawierzchni betonowej i na-

kładki lub do jej obniżenia. Z badań Amini F. i Wen K. [1] wynika, że po 7 latach eksploatacji nawierzchni na odcinkach doświadczalnych udział procentowy spękań odbitych w nakładce asfaltowej wzrósł do 48% w przypadku frezowanej powierzchni starej nawierzchni, a w niefrezowanej tylko do 10%. Analiza wyników ich badań wykazała, że istotna przy podjęciu decyzji o głębokości frezowania jest ogólna ocena rodzaju spękań i szerokości wykruszenia oraz różnicy rzędnych w spękaniu (rys. 3 i 4). Jeśli pęknięcie skierowane jest od dołu do góry, to frezowanie zmniejsza szerokość pęknięcia, a przy pęknięciu skierowanym od góry do dołu zwiększa jego szerokość. Dlatego przed wykonaniem frezowania ważna jest ocena rodzaju i wielkości spękań w starej nawierzchni betonowej, a tak-



4. Dobór głębokości frezowania w zależności od rodzaju najczęstszych deformacji płyt betonowych: a) odkształcenie płyt betonowych na skutek różnic temperatury i wilgotności w płycie i podbudowie, b) odkształcenia płyt betonowych na skutek oddziaływania obciążenia zewnętrznego, c) przemieszczenia poziome płyt betonowych, spowodowane zmianą długości płyty wynikającą z sezonowych zmian temperatury



5. Przykład szykany składającej się z dwóch przesuniętych wysp bocznych w formie niewielkich zielenców, zlokalizowanej na przedmieściach Hamburga w Niemczech (Fot. Alicja Sołowczuk) Porównanie różnego wykonawstwa uszczelnienia starej nawierzchni betonowej

Oznaczenia: A – początek spękania; B – wierzchołek spękania odbitego w nakładce asfaltowej; C i D – krawędzie nadmiernego uszczelnienia na styku starej nawierzchni i spodu warstwy MMA; d_1 – grubość warstwy MMA; d_2 – zmniejszona grubość warstwy MMA nad nadmiernym uszczelnieniem spękania; F_1 – powierzchnia uszczelnienia na styku starej nawierzchni i warstwy MMA; F_2 – zwiększona powierzchnia nadmiernego uszczelnienia spękania; a, b i c – odpowiednie wierzchołki spękań odbitych w warstwie MMA przy nadmiernym uszczelnieniu.



6. Stan spękań nawierzchni betonowej na drodze wojewódzkiej DW102

że ocena stanu szczelin wraz z oceną stanu wykruszenia krawędzi płyt betonowych i ubytków starej masy zalewowej. Optymalny dobór głębokości frezowania powinien również uwzględniać analizę nierówności pionowych płyt, powstałych w wyniku wyginania się krawędzi i narożników płyty betonowej w szczelinach i pęknięciach (rys. 4). Szczególnie istotne przy doborze głębokości frezowania są różnice rzędnych krawędzi płyt w miejscach, w których stwierdzono częściowe ich podparcie (rys. 4b).

Przygotowanie starej nawierzchni pod warstwę SAMI

Drugim istotnym aspektem przygotowania podłoża pod warstwę przeciwspekaniową i nakładki z MMA jest właściwa technologia uszczelniania starej nawierzchni w spękaniach i szczelinach. Z badań przeprowadzonych na odcinkach doświadczalnych wynika [1], że istotne jest także rozważanie grubości nakładki z MMA. Przy grubości nakładki ok. 7,6 cm (3 cale) przy niefrezowanej i nieuszczelnionej powierzchni starej nawierzchni betonowej spękania odbite pojawiły się po siedmiu latach użytkowania drogi, a przy grubości nakładki ok. 3,8

cm (1,5 cala) już po czterech latach [1]. Natomiast na powierzchniach frezowanych i uszczelnianych spękania odbite pojawiły się odpowiednio po czterech i trzech latach [1]. Głównym powodem pojawienia się spękań, w przypadku uszczelnionych powierzchni, okazała się technologia uszczelniania (rys. 5). Jeśli nakładka asfaltowa MMA miała grubość do 4 cm, to przy nadmiernym uszczelnieniu spękania pojawiała się większa powierzchnia styku F_2 (rys. 5). Przy zastosowaniu cienkiej nakładki bezpośrednio nad nadmiernym uszczelnieniem spękania była mniejsza jej grubość d_2 , więc pod wpływem oddziaływania obciążenia i temperatury szybciej dochodziło do niepożądanych naprężeń ścinających i rozciągających, a tym samym do tworzenia się większej liczby spękań odbitych (rys. 5 od a do c). Przy czym spękanie odbite b było nieznacznie przesunięte względem punktu A, (tj. początku spękania na spodzie nawierzchni betonowej), patrząc zgodnie z kierunkiem jazdy. Skrajne spękania odbite a i c odwzorowywały się na powierzchni nakładki asfaltowej w rejonie skrajnych krawędzi nadmiernego uszczelnienia. Natomiast grubsza nakładka asfaltowa zapewniała większą wytrzymałość na

ściananie i mniejszą różnicę grubości nakładki asfaltowej nawet przy nadmiernym uszczelnieniu, więc spękań odbitych było wówczas odpowiednio mniej. Jednak była ona znacznie droższa, ze względu na większą grubość.

Kolejny problem podczas uszczelniania stanowi zastosowany materiał i technologia jego wykonania. W krajowym wykonawstwie zalecenia odnośnie uszczelniania nawierzchni betonowej zawarte są w [14]. Biorąc pod uwagę, że stara nawierzchnia betonowa będzie teraz stanowiła podbudowę, to należy wybrać technologię korzystną i przede wszystkim ekonomiczną. Zgodnie z wytycznymi zawartymi w [14] uszczelnienie powinno być wykonane na suchej nawierzchni i przy niższej temperaturze. Bowiem podczas chłodniejszych dni następuje naturalny skurcz betonu i pęknięcia się samoistnie rozszerzają, co skutkuje lepszym uszczelnieniem, gdyż unika się wówczas powstawania naprężeń rozciągających w masie zalewowej. Kolejnym warunkiem dobrej skuteczności uszczelnienia jest dokładne oczyszczenie szczelin i spękań silnym strumieniem rozgrzanego powietrza, które istotnie przyczynia się do usunięcia pyłu, piasku i słabo związanych ziaren w pokruszonej płycie betonowej. Po dokładnym oczyszczeniu szczelin i spękań należy je natychmiast wypełnić masą zalewową, w celu zapewnienia skutecznego uszczelnienia.

Studium przypadku – droga wojewódzka DW102

W niniejszym artykule opisano przebudowę nawierzchni na przykładowym kilkukilometrowym fragmencie drogi wojewódzkiej DW102 w województwie zachodniopomorskim [10]. Od strony północnej zlokalizowana była ścieżka pieszo-rowerowa oddzielona od jezdni pasem zieleni, a od strony południowej znajdowały się tereny podmokłe i ciek wodny, co powodowało wysoki poziom wody gruntowej. W rejonie przyległym do drogi występowały grunty organiczne, co mogło wpłynąć na ryzyko nierównomiernego osiadania ewentualnych poszerzeń jezdni, np. nowych zjazdów lub zatok autobusowych. W projekcie przebudowy DW102 przewidziano przebudowę, odnowę i udrożnienia rowów przydrożnych i istniejących przepustów oraz przebudowę ciągu pieszo-rowerowego. Droga na terenie niezabudowanym była wykonana na niewysokim nasypie. Mimo ponad osiemdziesięcioletniego użytkowania stan techniczny nawierzchni nie był bardzo zły. Odnotowano w trakcie wizji lokalnych nieliczne pęknięcia poprzeczne i podłużne płyt, wykruszenia kruszywa i wytluki, a także obłamania płyt w narożnikach (rys. 6).

Prace wstępne

W ramach oceny geotechnicznej wykonano 19 odwiertów w podłożu gruntowym i w nawierzchni. Na ich podstawie stwierdzono, że zwierciadło swobodnej wody gruntowej zalegało na głębokości od 1,0 m do 1,4 m, (tj. od 0,0 do 0,7 m n.p.m.). Podłoże gruntowe zbudowane było ze średnio zagęszczonych piasków drobnych oraz podrzędnie zagęszczonych piasków średnich. W dominujących piaskach w strefie głębokości od 1,0 m do 1,9 m występowały przewarstwienia torfów lub humusowych piasków i namulów piaszczystych osiągające

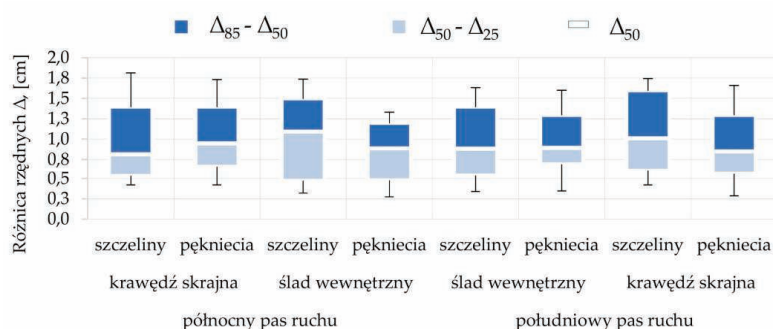
miąższość od 5 cm do 40 cm. Otrzymane wyniki badań geotechnicznych pozwoliły sklasyfikować podłoże gruntowe pod względem wydajności w grupie nośności G1.

Na podstawie wykonanych odwiertów stwierdzono, że grubość nawierzchni betonowej wynosiła od 21 do 23 cm. Nawierzchnia ułożona była na podsypce z piasku drobnego lub średniego, o grubości od 5 do 10 cm. Na podbudowie z kruszywa o różnej grubości był ułożony dywanik smółowy o grubości 1 cm. Nawierzchnię z betonu cementowego stanowiły dwie warstwy wykonane metodą „mokre na mokre”. Górną warstwę wykonano z dodatkiem bazaltowego kruszywa łamanego, a dolną z kruszywa naturalnego. Płyty były niezbrojone i niedyblowane.

Na istniejącej nawierzchni betonowej wykonano badania nośności bel-

ką Benkelmana w szczelinach i spękaniach z obłamanymi krawędziami. Na podstawie uzyskanych wyników z pomiarów ugięć określono, zgodnie z wytycznymi sformułowanymi w [6, 7, 11, 13], że współczynnik współpracy płyt był równy $k_{sr} = 0,77$ i $k_{min} = 0,66$. Z uwagi na kilka wyników współczynnika k bliskich dolnego zakresu, co świadczyło o wystarczającej współpracy płyt, wykonano również badania warunków podparcia nawierzchni betonowej (rys. 1). Na rys. 1a przedstawiono przypadek wystarczającej współpracy płyt przy przekazywaniu obciążenia z jednej płyty na drugą. Przy wynikach współczynnika k w zakresie $0,66 \leq k \leq 1,00$, nie ma potrzeby wykonywania oceny warunków podparcia płyt betonowych, chyba że pojedyncze wyniki współczynnika k budzą jakąś wątpliwość. Natomiast na rys. 1b przedstawiono przypadek

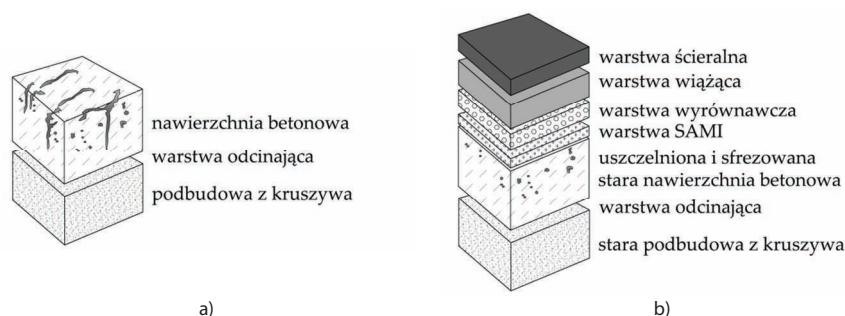
a)



b)



7. Różnice rzędnych w istniejącej nawierzchni: a) wykres ramka-wąsy przedstawiający oszacowanie statystyczne wyników pomiarów różnicy rzędnych Δ ; b) ilustracja pomiaru różnicy rzędnych Δ . Oznaczenia: Δ_{50} – mediana różnicy rzędnych; $\Delta_{85} - \Delta_{50}$ – trzeci kwantyl różnicy rzędnych ($\Delta_{85} - 85\%$ kwantyl odnotowanych różnic rzędnych, oznaczający, że 85% odnotowanych pomiarów nie przekracza tej wartości); $\Delta_{50} - \Delta_{25}$ – drugi kwantyl różnicy rzędnych ($\Delta_{25} - 25\%$ kwantyl odnotowanych różnic rzędnych, oznaczający, że 25% odnotowanych pomiarów nie przekracza tej wartości)



8. Porównanie konstrukcji nawierzchni: a) stara nawierzchnia betonowa; b) projektowana nowa nawierzchnia z warstwą SAMI i warstwami MMA

warunków częściowej współpracy płyt betonowych ($k < 0,66$) i konieczność oceny warunków podparcia nawierzchni z płyt betonowych. W takich przypadkach łączna ocena obu współczynników k i s decydowała o przyjęciu konkretnej technologii remontu. Ocenę warunków podparcia nawierzchni w rejonie spękań wykonano, zgodnie z wytycznymi [6, 7, 11, 13] i określono współczynnik wpływu punktu przyłożenia obciążenia s . Wartości współczynnika s wahały się w zakresie od 0,8 do 1,1. Otrzymane wartości współczynnika współpracy płyt pozwoliły ocenić, że współpraca płyt w szczelinach i pęknięciach była wystarczająca w przekazywaniu obciążenia z jednej płyty na drugą. Natomiast wartości współczynnika charakteryzującego warunki podparcia nawierzchni betonowej oznaczały, że było zapewnione dostateczne podparcie podbudowy w rejonie spękań i nie został wymyty grunt podłoża pod krawędziami płyt. Analiza wartości ww. współczynników stanowiła podstawę do opracowania projektu nowej konstrukcji nawierzchni [10]. Na podstawie analiz wyników różnicy

rzędnych Δ w szczelinach i pęknięciach w projekcie nowej konstrukcji nawierzchni przewidziano wyrównujące frezowanie na głębokość 1-2 cm (rys. 7).

Na podstawie wyników z wykonanych badań zarządca zdecydował się na pozostawienie starej nawierzchni betonowej i wykonanie metodą „w górę” dwóch nowych warstw MMA wraz z warstwą przeciwspekaniową SAMI. Projekt konstrukcji nawierzchni przedstawiono na rys. 8.

Należy jednak wspomnieć o pewnych ograniczeniach stosowania warstwy SAMI. Ograniczenie jej zastosowania wynika nie tylko z odpowiedniego stanu starej nawierzchni betonowej, ale również z możliwości podniesienia niwelety drogi. Podniesienie to wynika z różnicy grubości starej i nowej nawierzchni, na które składa się grubość warstwy SAMI i grubość nowych warstw mineralno-asfaltowych (rys. 8b).

Zalecenia technologiczne wykonawstwa warstwy SAMI

Na wyrównanej i uszczelnionej powierzchni starej nawierzchni betonowej układano warstwę szepną z emulsji asfaltowej modyfikowanej polimerami, w ilości 1,0–1,5 kg/m². Wyrównanie nawierzchni betonowej wykonano frezarką planimetryczną, która pozwalała otrzymać wyrównaną powierzchnię w nawiązaniu do linki niwelacyjnej. Następnie na nią układano warstwę przeciwspekaniową SAMI o grubości 2 cm (rys. 9) i warstwę wyrównawczą o grubości

ok. 3 cm. W końcowym etapie budowy układano dwie warstwy asfaltowe.

Podstawowy warunek wykonania warstwy SAMI stanowi zapewnienie swobody przesuwania się warstw nawierzchni w poziomie i efektywnego sklejenia mieszanki mineralno-asfaltowej z podbudową. Dzięki zachowaniu właściwych warunków sklejenia następuje oczekiwana absorpcja poziomych naprężeń, która powoduje, że przy różnym wydłużaniu się obu warstw, nie powstają spękania odbite w warstwie asfaltowej.

Właściwie zaprojektowany i wyprodukowany beton asfaltowy zastosowany w warstwie SAMI powinien powodować w trakcie wbudowywania wpływ mastyksu na powierzchnię. I taki wpływ stwierdzono w procesie jej układania na DW102, co świadczyło o prawidłowym jej zaprojektowaniu, wyprodukowaniu i właściwym dotrzymaniu warunków podczas jej układania. Brak mastyksu na powierzchni mógłby świadczyć o:

- zbyt zimnej mieszance mineralno-asfaltowej,
- zbyt zimnym podłożu,
- niewłaściwym składzie mieszanki.

Warstwę SAMI można układać w technologii „na gorąco” lub „na zimno”. W obu technologiach bardzo istotne są pieczołowicie wykonane prace przygotowawcze, tj. uszczelnienie i oczyszczenie starej nawierzchni z luźnych cząstek i pyłów. A w technologii „na gorąco” dodatkowo jeszcze układanie warstwy SAMI powinno się odbywać przy jak najmniejszym poziomie wilgotności w starej nawierzchni betonowej i utrzymaniu właściwej temperatury, zarówno podłoża, jak i układanej warstwy. W opisywanym przykładzie przebudowy DW102 w warstwie przeciwspekaniowej SAMI zastosowano technologię „na gorąco” i beton asfaltowy AC 5 S PMB 45/80-55 w połączeniu z cienką warstwą lepiszcza modyfikowanego w ilości ok. 1-1,5 kg/m². Spełniał on następujące wymagania [10, 12]:



9. Warstwa SAMI ułożona na powierzchni skropionej emulsją

- zawartość asfaltu $B_{\min}$ 7,8,
- zawartość wolnych przestrzeni przy zagęszczeniu 2x50 uderzeń – $V_{\max}$ 1,0,
- zawartość wolnych przestrzeni przy zagęszczeniu 2x35 uderzeń – $V_{\max}$ 1,5,
- uziarnienie: sito 5,6 mm – 100%, sito 2,0 mm – od 40% do 65%, sito 0,125 mm – od 8% do 22%, sito 0,063 mm – od 6% do 14%.

Stan obecny nawierzchni na DW102

Po ponad dziesięciu latach użytkowania nawierzchni na jej powierzchni nie stwierdzono żadnych spękań, nawierzchnia jest gładka i równa. Zgodnie z badaniami opisanymi w [1] przy różnych błędnych rozwiązaniach popełnionych w trakcie przebudowy spękania odbite powinny się utworzyć po upływie od 3 lub 7 lat. Na opisywanej drodze wojewódzkiej DW102 pomimo upływu ponad połowy okresu żywotności remontowanej nawierzchni jednak żadnych deformacji lub uszkodzeń nie stwierdzono. To oznacza, że dotrzymanie podczas remontu nawierzchni wyżej opisanych warunków okazało się opłacalne i zastosowana technologia remontu może być dalej polecana.

Wnioski

Na podstawie przedstawionych powyżej treści można sformułować następujące wnioski:

- O sposobie wzmocnienia nawierzchni z betonu cementowego w głównej mierze decyduje ocena współpracy płyt w pęknięciach i szczelinach. Jeśli otrzymane wartości współczynnika k wskazują na wystarczające przekazywanie obciążenia z jednej płyty na drugą, to nawierzchnia betonowa może być wykorzystana, jako podbudowa pod warstwy asfaltowe.
- Przed ułożeniem warstwy przeciwspekaniowej SAMI należy dokonać prac utrzymaniowych związanych z remontem pęknięć i szczelin, zapewniających uszczelnienie starej nawierzchni betonowej.
- W celu uniknięcia spękań odbitych w warstwach MMA, bardzo ważne jest właściwe zaprojektowanie składu warstwy SAMI i jej wyprodukowanie, zapewniające w trakcie jej układania wpływ mastyksu na powierzchnię. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Amini F., Wen K., Long-Term Field Monitoring of Paving Fabric Interlayer Systems to Reduce Reflective Cracking, Final Report FHWA/MS-DOT-RD-16-184, Jackson State University, Jackson, Mississippi, 2016.
- [2] Barksdale R.D., Fabrics in Asphalt Overlay and Pavement Maintenance, NCHRP No. 171, Transportation Research Board, Washington D.C., 1991.
- [3] Bitunova, http://www.bitunova.com.pl/uslugi/warstwa_sami/, dostęp 01.07.2018
- [4] Clombier Cracking in Pavements: Nature and Origin of Cracks, chapter 1, pp. 1-16, [w:] Prevention of Reflective Cracking in Pavements, RILEM Report 18, Edited by A. Vanelstraete and L. Francken, E&FN SPON, London, 1997.
- [5] Francken L., Vanelstraete A., de Bondt A.H., Modelling and Structural Design of Overlay Systems, chapter 5, pp. 75-91, [w:] Prevention of Reflective Cracking in Pavements, RILEM Report 18, Edited by A. Vanelstraete and L. Francken, E&FN SPON, London, 1997.
- [6] Katalog wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2001.
- [7] Katalog wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych, Instytut Badawczy Dróg

i Mostów, Warszawa 2015.

- [8] Kutuk B. Performance of Flexible Pavements Reinforced with Geogrids, Ph.D. Dissertation No 9240, West Virginia University, Morgantown, West Virginia (USA) 1998.
- [9] Lytton R.L., Use of Geotextiles for Reinforcement and Strain Relief in Asphalt Concrete, Geotextiles and Geomembranes 1989, 8(3): 217-237.
- [10] Majer S., Projekt konstrukcji nawierzchni na drodze wojewódzkiej DW102, Szczecin 2014.
- [11] Mechowski T., Sprawozdanie z realizacji pracy TD-69 pt. „Weryfikacja zasad oceny stopnia współpracy w pęknięciu odbitym w nawierzchni półsztywnej”, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2005.
- [12] Mieczkowski P., Majer S., Budziński B., Heavy Maintenance of Concrete Paved Roads Using the Regional Roads No. 102 and No. 142 as an Example, Roads and Bridges – Drogi i Mosty 2019, 18, 25 – 38, DOI: 10.7409/rabdim.019.002.
- [13] Molenaar A.A.A., Potter J., Assessment and Evaluation of the Reflection Crack Potential, chapter 2, pp. 17-39, [w:] Prevention of Reflective Cracking in Pavements, RILEM Report 18, Edited by A. Vanelstraete and L. Francken, E&FN SPON, London, 1997.
- [14] Nawierzchnia z betonu cementowego – Ogólne Specyfikacje Techniczne OST D-05.03.04, GDDiA, Warszawa 2019.
- [15] Sherman G., Minimizing Reflection Cracking of Pavement Overlays, NCHRP Synthesis No. 92, Transportation Research Board, Washington D.C., 1982.