



Zastosowanie technologii *whitetopping* w aspekcie realizacji remontów nawierzchni podatnych

TOMASZ RUDNICKI, PATRYK WOŁOSZKA

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,
Katedra Inżynierii i Komunikacji, 00-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2,
trudnicki@poczta.onet.pl, woloszka.patryk@gmail.com

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę techniczno-ekonomiczną realizacji remontów nawierzchni podatnych z zastosowaniem technologii *whitetopping* na przykładzie rozwiązań klasycznych, czyli dylatowanych, oraz o zbrojeniu ciągłym. Poruszono problematykę remontów dróg asfaltowych w aspekcie stale postępującej degradacji nawierzchni podatnych w Polsce. Zostały przedstawione typy stosowanych konstrukcji nawierzchni, ze szczególnym uwzględnieniem i charakterystyką nawierzchni podatnych, wskazano i opisano znaczące czynniki przyczyniające się do uszkodzeń i sprzyjające im, które w konsekwencji prowadzą do degradacji nawierzchni. Opisano także typy nawierzchni betonowych i ich charakterystykę, uwzględniając nowoczesne technologie nakładek z betonu cementowego w różnych wariantach technologicznych. Przedstawiono wyniki analizy technicznej i ekonomicznej realizacji remontów nawierzchni podatnych z zastosowaniem technologii *whitetopping*, na przykładzie rozwiązań dylatowanych oraz nakładek o zbrojeniu ciągłym. Wskazano korzyści i potencjalne trudności w realizacji remontów z betonu cementowego.

Słowa kluczowe: droga, remont, *whitetopping*, nakładka, nawierzchnia podatna, nawierzchnia betonowa, zbrojenie ciągłe

DOI: 10.5604/12345865.1223269

1. Wstęp

Transport drogowy w Polsce i w Europie, z uwagi na swój udział w obsłudze przewozowej osób i towarów, jest kluczowym elementem rozwoju gospodarczego, zarówno na szczeblu międzynarodowym, jak i na rynkach lokalnych.

Pomimo działań na rzecz stworzenia w Polsce zrównoważonego systemu transportowego, z większym udziałem kolei, transportu morskiego i śródlądowego

w rynku przewozowym, należy się spodziewać, że transport drogowy pozostanie dominującą gałęzią gospodarki i kręgosłupem branży transportowej.

Przy podejmowaniu decyzji o wyborze technologii realizacji inwestycji drogowych dominującą rolę odgrywają aspekty finansowe, determinując w ten sposób wybór najtańszej technologii. Obecnie znacząca większość nowo budowanych, a także modernizowanych polskich dróg wykonywana jest w technologiach z użyciem betonu asfaltowego, ponieważ powszechnie panuje przeświadczenie, że nawierzchnie z betonu cementowego w procesie realizacji są droższe od nawierzchni bitumicznych.

Rozpatrując długoterminowo proces budowy i użytkowania dróg, należy szczególnie uważnie prześledzić korzyści finansowe wynikające z niższego kosztu utrzymania w czasie eksploatacji oraz zdecydowanie wyższą trwałość dróg o nawierzchni betonowej, które jednoznacznie przemawiają na korzyść nawierzchni tego typu.

Trzeba zatem rozpatrywać nie tylko budowę nowych dróg, lecz także remonty istniejących ciągów komunikacyjnych w aspekcie realizacji trwalszych oraz łatwiejszych i tańszych w utrzymaniu nawierzchni, jakimi są te z betonu cementowego. Obecnie w powolnym i wieloletnim procesie zmienia się trend i sposób myślenia o finansowaniu inwestycji drogowych na przestrzeni całego okresu eksploatacji, coraz częściej i w szerszym zakresie stosowane są nawierzchnie z betonu cementowego.

2. Nawierzchnie drogowe

Zależnie od rodzaju użytych do budowy nawierzchni materiałów i charakteru pracy, nawierzchnie drogowe mogą ulegać, pod wpływem ruchu pojazdów, odkształceniom w różny sposób. Z tego względu nawierzchnie drogowe dzielą się na:

Sztywne — nawierzchnia sztywna pod wpływem obciążeń pochodzących od ruchu reaguje sprężystością i nie ulega deformacjom.

Półsztywne — nawierzchnią półsztywną określamy konstrukcję dróg, których górne warstwy są podatne (np. bitumiczne), a warstwy dolne są sztywne (np. podbudowa z chudego betonu). Posiada wady i zalety zarówno nawierzchni sztywnych, jak i podatnych.

Podatne — nawierzchnią podatną określamy konstrukcję dróg, które są zbudowane z warstw podatnych także poniżej warstw jezdnych. Nawierzchnie podatne w Polsce stanowią podstawowy typ nawierzchni w funkcjonującej sieci dróg.

2.1. Charakterystyka i uszkodzenia nawierzchni podatnych

Nawierzchnie podatne przenoszą obciążenia dzięki dużemu kątowni tarcia wewnętrznego kruszywa oraz spójności lepiszcza, które otacza ziarna kruszywa. Poszczególne warstwy związane asfaltem charakteryzuje niewielka wytrzymałość na rozciąganie. Łączne ugięcia konstrukcji wynoszą od 0,2 do 1,8 mm, występują

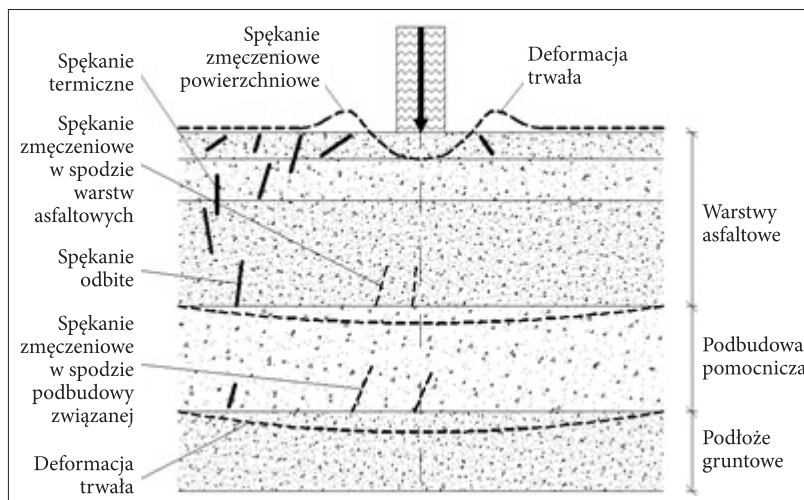
ugięcia sprężyste i lepko-plastyczne. Deformacje trwałe kumulują się w nawierzchni, co powoduje powstanie narastających deformacji trwałych. Ze względu na podatność konstrukcji ten typ nawierzchni jest mniej narażony na zniszczenia i uszkodzenia wynikające z deformacji podłoża, a w szczególności na nagłe uszkodzenia. Przyczyną powstawania deformacji nawierzchni może być zła nośność warstwy podbudowy lub mała odporność górnych warstw nawierzchni na odkształcenia trwałe.

Głównymi czynnikami wpływającymi na jej zużycie jest ruch pojazdów, stan warunków gruntowo-wodnych oraz warunki środowiska.

Typowymi uszkodzeniami nawierzchni podatnych są:

- Deformacje trwałe: lepko-plastyczne warstw asfaltowych (koleiny lub tarki),
— strukturalne — odkształcenie podłoża,
- Spękania: — zmęczeniowe (ruch pojazdów),
— zmęczeniowe termiczne (cykle termiczne),
— termiczne (niska temperatura),
— odbite (z niższych warstw).

Uszkodzenia powierzchniowe.



Rys. 1. Typowe zniszczenia w konstrukcji nawierzchni podatnej (na podbudowie niezwiązanej) lub nawierzchni półsztywnej (na podbudowie związanej spoiwem hydraulicznym) [6]

2.2. Typowe technologie napraw nawierzchni podatnych

Obecnie w Polsce nawierzchnie asfaltowe stanowią 97% wszystkich nawierzchni twardych ulepszonych, a nawierzchnie betonowe 3% [14]. Zatem przy tak dużym

udziale nawierzchni asfaltowych w sieci drogowej bardzo ważny jest sprawny system ich utrzymania, w celu zapewnienia trwałości i nośności. Aktualnie system napraw, remontów i zabiegów utrzymaniowych funkcjonuje w oparciu o KWRNPP, IBDiM [6]. W roku 2012 katalog został zaktualizowany, głównie w aspekcie uzupełnienia informacji dotyczących oceny stanu nawierzchni będącej podstawą przy decyzjach dotyczących sposobu i zakresu zabiegów utrzymaniowych, naprawczych i remontowych.

W załączniku F do przywołanego katalogu z 2001 r. (aktualizacja załączników katalogu w 2013 r.) znajdują się karty napraw dedykowane różnym typom uszkodzeń nawierzchni asfaltowych, których naprawy realizuje się na podstawie określonych w nich warunków.

Wybór sposobu i zakresu naprawy powinien być realizowany w oparciu o pełny stan wiedzy z zakresu:

- istniejącego i przewidywanego obciążenia ruchem drogowym,
- oceny stanu technicznego nawierzchni na podstawie wyników przeprowadzonych oględzin i badań,
- dostosowania nośności istniejącej nawierzchni do warunków przewidywanego obciążenia ruchem,
- konieczności naprawy uszkodzeń nawierzchni w zależności od ich rodzaju i genezy.

Oceniając stan istniejącej nawierzchni i decydując o zakresie i sposobie naprawy, należy także rozważyć perspektywy eksploatacyjne i przewidzieć ewentualne poszerzenie przekroju poprzecznego drogi.

Przed podjęciem decyzji o sposobie naprawy konieczne jest określenie, czy naprawa nawierzchni powinna być wykonana jako:

- remont (bez wzmocnienia, czyli bez zwiększenia nośności nawierzchni),
- przebudowa (ze wzmocnieniem, czyli ze zwiększeniem nośności nawierzchni).

Sposób remontu bądź naprawy nawierzchni może być realizowany:

- **w głąb** — polega na wymianie warstw istniejącej nawierzchni bez podnoszenia niwelety drogi (może jedynie zachodzić konieczność nieznacznej korekty);
- **w górę** — polega na wykonaniu nakładki (jednej lub kilku warstw);
- **mieszany** — polega na połączeniu wymiany istniejących warstw z podniesieniem niwelety drogi.

TABELA 1
Zalecane techniki napraw do rodzajów uszkodzenia nawierzchni [6]

	Deformacje trwałe		Spełnienia		Uszkodzenia powierzchniowe			
	Lepko- plastyczne	Strukturalne	Odbite ^{a)}		Ubyci warstwy ścieralnej	Ubyci lepiszcza lub kruszywa	Wypolerowanie ziaren kruszywa	Wypływ (plamy) lepiszcza
			Niskotemperaturowe (termiczne): pojedyncze	blokowe				
Naprawa cząstkowa			✓ ^{b)}	✓ ^{b)}	✓		✓	
Powierzchniowe utrwalenie			✓ ^{b)}	✓ ^{b)}	✓		✓	
Cienka warstwa na zimno	✓		✓ ^{b)}	✓ ^{b)}	✓		✓	
Cienka warstwa na gorąco			✓ ^{b)}	✓ ^{b)}	✓		✓	
Frezowanie częściowe lub płytkie	✓				✓		✓	
Frezowanie z przykryciem powierzchniowym utrwaleniem	✓							✓
Frezowanie z przykryciem cienką warstwą na zimno	✓				✓		✓	
Frezowanie z przykryciem cienką warstwą na gorąco	✓				✓		✓	
Termoprofilowanie	✓				✓		✓	
Remixing warstwy ścieralnej	✓				✓		✓	
Remixing plus warstwy ścieralnej	✓				✓		✓	
Wymiana warstw (w tym recykling w otaczarce)	✓	✓	✓ ^{a)}	✓ ^{a)}		✓ ^{b)}		
Recykling na zimno na miejscu z przykryciem powierzchniowym utrwaleniem	✓	✓						
Recykling na zimno na miejscu z przykryciem cienką warstwą na zimno	✓	✓						
Recykling na zimno na miejscu z przykryciem warstwami bitumicznymi na gorąco	✓	✓						
Uszczelnienie			✓	✓				
Geosyntetyk + naprawa płytką		✓		✓				
Geosyntetyk + naprawa głęboka, wymiana warstw	✓	✓		✓				
Geosyntetyk + naprawa głęboka, iniekcja			✓	✓				
Geosyntetyk + naprawa powierzchniowa pod nowe warstwy	✓	✓	✓	✓				

Uwagi: a) zależnie od warunków podparcia, b) w połączeniu z geosyntetykiem, jeśli pozostawione są niżej położone spełnane warstwy

3. Technologie i materiały stosowane w konstrukcjach nawierzchni betonowych

3.1. Charakterystyka nawierzchni betonowych

Nawierzchnie betonowe, mimo że są powszechnie i z wieloletnią praktyką realizowane w krajach o rozwiniętych sieciach drogowych oraz o podobnych warunkowaniach klimatycznych do Polski, jak dotąd nadal czekają na czas zasłużonej uwagi i ekspansji rozwoju w Polsce zarówno w zakresie budowy nowych dróg, jak i napraw istniejących nawierzchni bitumicznych.

Ich niekwestionowanymi atutami są:

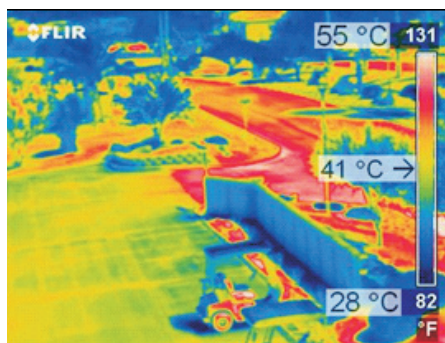
- duża trwałość,
- brak zjawiska koleinowania,
- większe bezpieczeństwo,
- niższy koszt eksploatacji,
- dostępność krajowych surowców,
- możliwość recyklingu,
- możliwe zapewnienie niższego poziomu hałasu [34].

Trwałość nawierzchni z betonu cementowego jest średnio 2,5-3,5, a nawet do 7 razy większa w stosunku do asfaltowych. Z danych niemieckich wynika, że po 23 latach użytkowania zaledwie 5% nawierzchni betonowych wymaga napraw, natomiast dla nawierzchni asfaltowych wskaźnik ten wynosi od 80 do 100%. Przy nowoczesnych rozwiązaniach gwarantowana jest nawet 30-40-letnia żywotność także przy obciążeniach 13 ton/oś (130 kN/oś). Rzeczywista trwałość dobrze zaprojektowanej i zrealizowanej nawierzchni betonowej sięgać może nawet 80 lat.

Brak zjawiska koleinowania — nawierzchnia sztywna nie ulega deformacjom.



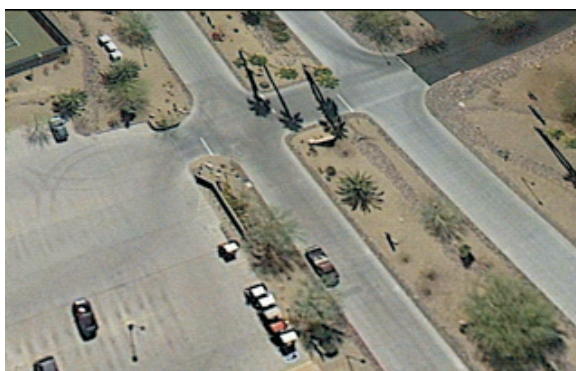
Rys. 2. Nawierzchnia betonowa i asfaltowa. Rio Verde, Arizona, Stany Zjednoczone [24]



Rys. 3. Nawierzchnia betonowa i asfaltowa. Rio Verde, Arizona, Stany Zjednoczone. Obraz z kamery termowizyjnej [24]

Zjawisko koleinowania w nawierzchniach asfaltowych wynika nie tylko z nacisków pojazdów, lecz także pośrednio z powodu wysokich temperatur, do których nagrzewa się mieszanka w słoneczne i bezwietrzne dni. W przypadku nawierzchni betonowych nie dochodzi do tak znacznych wzrostów temperatur na powierzchni betonu, a tym samym różnica temperatur i ich amplituda jest mniejsza na przebiegu wysokości płyty, czyli między górną powierzchnią a spodem konstrukcji, w wyniku czego naprężenia w konstrukcji drogi są mniejsze.

Przedstawione na fotografiach zestawienie obrazuje różnice w zachowaniu i reakcjach nawierzchni różnego typu w warunkach dużego nasłonecznienia. Warto nadmienić, że prezentowana na fotografiach ulica obecnie także posiada nawierzchnię z betonu cementowego, jedynie drogi boczne o mniejszych obciążeniach pozostały asfaltowe.



Rys. 4. Rio Verde, Arizona, Stany Zjednoczone [38]

Nawierzchnie betonowe przyczyniają się znacząco do poprawy bezpieczeństwa użytkowników dróg. Są jasne i dobrze widoczne, co jest ważne w porze nocnej, a także w złych warunkach atmosferycznych.

Ewentualny wyższy koszt budowy dróg betonowych, będący często koronnym argumentem przemawiającym za budową dróg asfaltowych, jest bardzo szybko rekompensowany przez niski koszt późniejszego utrzymania. Należy jednak zaznaczyć, że wielokrotnie już na etapie realizacji inwestycji nawierzchnia betonowa jest tańsza od asfaltowej. Nowe rozwiązania w zakresie nawierzchni z betonu cementowego charakteryzują się także aspektami proekologicznymi ukierunkowanymi na obniżenie hałasu pochodzącego od ruchu drogowego. Zastosowanie nowoczesnych technologii wbudowania i teksturowania nawierzchni betonowych pozwala uzyskać niższy poziom hałasu niż w przypadku drogi asfaltowej. Argument głośności jest często niesłusznie podnoszony przez przeciwników betonu.

Opady bitumiczne są trudne do powtórnego wykorzystania — zawierają szkodliwe związki węglowodorów aromatycznych. W przypadku nawierzchni z betonu cementowego istnieje możliwość całkowitego i bezpiecznego recyklingu.

Ponadto, z punktu widzenia gospodarki kraju i jednocześnie zapewnienia surowców do budowy dróg, należy pamiętać, że Polska dysponuje wszystkimi surowcami (cement, kruszywa) niezbędnymi do wykonania dobrych nawierzchni sztywnych.

3.2. Rodzaje nawierzchni betonowych

Nawierzchnie betonowe, analogicznie jak asfaltowe, bywają bardzo zróżnicowane pod względem składu materiałowego, zastosowanych do ich budowy materiałów, jak również pod względem technologii wykonania. Rozróżnić można następujące rodzaje nawierzchni wykonywanych w technologii betonu cementowego [14]:

- niezbrojone i niedyblowane,
- niezbrojone, dyblowane i/lub z kotwami,
- zbrojone ze szczelinami dyblowanymi,
- ze zbrojeniem ciągłym,
- złożone (mieszane — np. *whitetopping*),
- ze zbrojeniem rozproszonym,
- z betonu wałowanego,
- z betonu porowatego,
- z betonu sprężonego.

Obecnie w Polsce nawierzchnie w technologii z betonu cementowego wykonywane są głównie z betonu dwuwarstwowego z dyblowaniem i/lub kotwieniem sąsiednich płyt. W układzie tym nawierzchnię układa się najczęściej na geowłókninie i na podbudowie z chudego betonu lub na podbudowie z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie. Jako warstwę poslizgową stosuje się zazwyczaj geowłókninę, folię PEHD.

Technologia dyblowanych i kotwionych nawierzchni betonowych, zarówno zbrojonych, jak i niezbrojonych, w Polsce jest stosowana głównie na nawierzchniach lotniskowych (w tym na drogach startowych i na drogach kołowania) oraz w realizacji dróg krajowych o kategorii dróg ekspresowych i autostradowych, gdzie odbywa się bardzo intensywny ruch kołowy o znacznym obciążeniu (kategorie ruchu KR5-KR7, rzadziej KR3-KR4), a także w miejscach przeznaczonych do postoju, jak np. parkingi i zatoki autobusowe. Oczekiwania eksploatacyjne wynikające z wymaganych nośności spełniają również nawierzchnie w technologii betonu z ciągłym zbrojeniem. Doświadczenia amerykańskie i europejskie w budowie i eksploatacji nawierzchni betonowych o ciągłym zbrojeniu sięgają kilkudziesięciu lat i dowodzą, że z punktu widzenia bezpieczeństwa i kosztów w całym okresie eksploatacyjnym drogi w horyzoncie czasowym 50 lat i więcej nawierzchnie betonowe są bezsprzecznie właściwym kierunkiem rozwoju budowy i napraw dróg [19].

Zastosowanie zbrojenia ciągłego w warstwie betonowej umożliwia znaczne wydłużenie trwałości projektowanej nawierzchni — ponad trzykrotnie, np. z 30 mln osi 115 kN przy tradycyjnym rozwiązaniu do 100 mln osi 115 kN przy zastosowaniu zbrojenia [14].



Rys. 5. Droga o nawierzchni betonowej CRCP, czyli z wbudowanym zbrojeniem ciągłym, długość odcinka 1400 m, stopień zbrojenia 0,7%. Droga położona w centralnej Belgii w rejonie Bierwart wybudowana w 1967 r. Fotografia drogi wykonana w 2006 r. [15]



Rys. 6. Droga o nawierzchni betonowej CRCP, wybudowana w 1967 r. Fotografia wykonana w 2006 r. [15]

W nawierzchni betonowej o zbrojeniu ciągłym mogą powstawać mikrospękania, które należy inwentaryzować i obserwować celem podjęcia ewentualnych działań naprawczych, ale także z powodu wciąż niskiego poziomu wiedzy w zakresie zachowań nawierzchni, a więc by gromadzić dane, realizować badania i zdobywać informacje o zachowaniu się nawierzchni CRCP (ang. *Continuously Reinforced Concrete Pavement*). Powstawanie mikrospękań sięgających zwykle do kilkunastu mm nie powoduje obniżenia nośności nawierzchni, natomiast może wpływać na obniżenie trwałości wynikającej z pogorszenia właściwości powierzchniowych.

Nawierzchnię sztuczną z betonu cementowego zarówno dylatowaną, jak o zbrojeniu ciągłym można zastosować również jako element złożonej nawierzchni, czyli w układzie przedmiotowego *whitetoppingu*. Koncepcja, z której powstała technologia *whitetopping*, jest dokładnie taka jak dla zwykłych nawierzchni betonowych — czyli

założenie, że sztywne płyty rozkładają obciążenia na dużej powierzchni podłoża, stąd koncentracja naprężeń w podłożu jest mniejsza.

Występują różne rodzaje nakładek betonowych, które oprócz grubości mogą się różnić między sobą sposobem przygotowania podłoża, składem mieszanki betonowej oraz technologią jej wbudowania. Płyta betonowa wbudowana zostaje na przygotowanej istniejącej nawierzchni asfaltowej bez konieczności jej rozbierania, co także stwarza możliwość jednostronnego lub obustronnego poszerzenia jezdni. Przykładem takiego rozwiązania jest odcinek eksperymentalny 1 km w ciągu autostrady A2 na odcinku Nowy Tomyśl–Świecko.

3.3. Technologia *whitetopping*

Whitetopping — „biała nakładka” jest nakładką z betonu cementowego ułożoną na istniejącej nawierzchni.

Whitetopping w odniesieniu do grupy nakładek stosowanych wyłącznie na nawierzchniach bitumicznych nazywany jest także COB — ang. *Concrete over Bituminous*, czyli w dosłownym tłumaczeniu „beton nad bitum”.

Nakładki są jedną z najbardziej popularnych strategii napraw zniszczonych nawierzchni. Nakładki bitumiczne są powszechnie stosowane zarówno na istniejących nawierzchniach asfaltowych, jak i betonowych, jednak korzystanie z nakładek betonowych znacznie wzrosło w ciągu ostatnich kilkunastu lat. W szczególności zarządcy dróg autostradowych — krajowych, międzystanowych, ale także stanowych i lokalnych w USA [11] — nakładki COB (*whitetopping*) uznali za właściwy kierunek rozwoju polityki naprawczej dróg z uwagi na ich potencjalnie bardzo długi cykl funkcjonowania o wysokich parametrach w stosunku do ponoszonych nakładów finansowych.

Pierwsze zastosowanie *whitetoppingu* miało miejsce w 1918 r. na South 7th Street w Terre Haute (USA) [22]. Natomiast pierwsze wbudowanie nakładki CRCP (o zbrojeniu ciągłym) miało miejsce na ulicy Columbia Pike w Waszyngtonie w 1921 r. [15].

Ze względu na grubości płyt stosowanych w technologii WT, ich podział przedstawia się następująco:

WT — **Whitetopping** to konwencjonalna nakładka betonowa o grubości 10-30 cm. W tej grupie nakładek wyróżnia się dodatkowo podział z uwagi na grubość nakładki:

- klasyczny *whitetopping* (WT — *Whitetopping*) powyżej 20 cm (> 8 cali),
- cienki *whitetopping* (TWT — *Thin Whitetopping*) od 10 do 20 cm (4-8 cali).

UTW — **Ultrathinwhitetopping** — czyli ultracienka nakładka betonowa — to nakładka betonowa grubości od 5 cm do 10 cm (2-4 cali) wykonana z betonu o wysokiej wytrzymałości wzmocnianego włóknami (np. stalowymi lub syntetycznymi).

Stosowane typy nakładek betonowych ze względu na rodzaj konstrukcji wg klasyfikacji przyjętej w USA [10] dzielą się na:

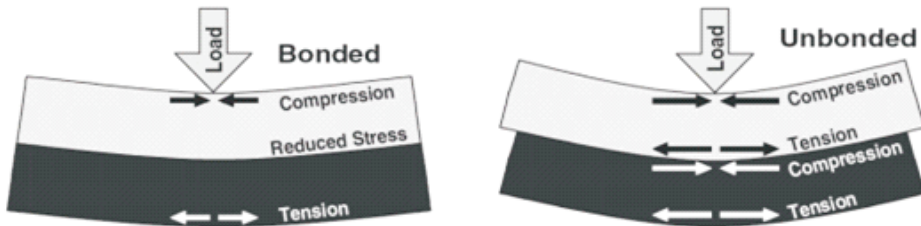
- **JPCP** (ang. *Jointed Plain Concrete Pavement*) — nawierzchnie niezbrojone, dylatowane, w układzie krótkich płyt, zwykle długości nie większej niż 6 metrów, z zastosowaniem dybli lub/i kotew w szczelinach.
- **JRCP** (ang. *Jointed Reinforced Concrete Pavement*) — nawierzchnie betonowe, zbrojone prętami stalowymi lub siatkami prętów w celu zmniejszenia naprężeń i spękań poprzecznych pomiędzy dylatacjami. Płyty są wykonywane zazwyczaj o długości od 20 do 40 metrów, a wszystkie poprzeczne połączenia są dyblowane.
- **CRCP** (ang. *Continuously Reinforced Concrete Pavement*) — nawierzchnie betonowe, zbrojone w sposób ciągły prętami stalowymi o stopniu zbrojenia podłużnego w przedziale 0,4-0,9%. W nawierzchniach tych nie ma szczelin dylatacyjnych, a tym samym i połączeń poprzecznych z wyjątkiem połączeń konstrukcyjnych.
- **PCP** (ang. *Prestressed Concrete Pavement*) — nawierzchnie betonowe sprężone. Sprężone wstępnie zbrojenie umieszczone w kanałach wewnątrz płyt wywiera siły ściskające i eliminuje rysy powstające od zmian temperatur. Nawierzchnie tego typu wykonywane są z płyt, których długości mieszczą się w przedziale 60-120 m (200-400 stóp). Obecnie są to nawierzchnie uznawane za eksperymentalne i nie należą do powszechnie stosowanych. Powyższy podział konstrukcyjny ma oprócz nakładek zastosowanie także w ujęciu ogólnym nawierzchni **PCC** (ang. *Portland Cement Concrete*), tj. nawierzchni z betonu cementowego.

Istnieje także podział ze względu na technologię połączenia nakładki betonowej z istniejącą nawierzchnią [10].

Betonowe nakładki WT mogą być umieszczone w różnych przedstawionych powyżej konfiguracjach, w zależności od lokalnych warunków i oczekiwanych wyników. W każdym z przypadków jednak nakładka musi być odpowiednio dobrana do zapewnienia pracy z istniejącym podłożem (nawierzchnią bitumiczną), aby konstrukcyjnie całe rozwiązanie było równoważne z nową/przebudowaną nawierzchnią i spełniało wymagania przyjętego czasu eksploatacji [29]. Obecnie rozróżniane są trzy konkretne konfiguracje łączenia nakładki z istniejącą nawierzchnią:

- Nakładki związane (*Bonded Overlays*). W pełni związane z HMA (ang. *Hot Mix Asphalt* — z nawierzchnią asfaltową). Nakładki w tym układzie są projektowane w taki sposób, aby zapewnić pełną więź i współpracę betonowej nawierzchni z istniejącą nawierzchnią bitumiczną.
- Nakładki niezwiązane (*Unbonded Overlays*) z nawierzchnią istniejącą są wykonywane poprzez wbudowanie warstwy oddzielającej (asfalt lub baza pod nakładkę z zagęszczonego kruszywa przepuszczalnego) na istniejącej nawierzchni, a następnie wbudowanie mieszanki betonowej. Stosowane są w sytuacjach, gdy istnieje zagrożenie, że naprężenia w istniejącej nawierzchni będą propagowały ku górze, niszcząc nakładkę od spodu.

- *Whitetopping* — COB (ang. *Concrete over Bituminous*) to klasyczny układ nakładek z betonu cementowego na nawierzchniach bitumicznych. W dosłownym tłumaczeniu — beton nad asfalt. Nakładka położona jest bezpośrednio na istniejącej nawierzchni asfaltowej, bez stosowania zmian jej faktury, a także bez wbudowywania dodatkowych warstw rozdzielających.



Rys. 7. Porównanie charakteru pracy pod obciążeniem nakładki WT związanej (*bonded*) z HMA i nakładki niezwiązanej (*unbonded*) z HMA. [7]: *load* — obciążenie, *compression* — ściskanie, *tension* — rozciąganie, *reduced stress* — zredukowane naprężenia

3.3.1. *Whitetopping* klasyczny (WT i TWT)

Klasyczny *whitetopping* jest atrakcyjną alternatywą dla powszechnie znanych technik napraw nawierzchni asfaltowych wykazujących się podatnością i odkształcalnością w czasie, a także znacznie mniejszą trwałością. Zamiast usuwania i rekonstruowania istniejących nawierzchni bitumicznych, idea WT traktuje je jako podbudowy dla nowych nawierzchni z betonu cementowego. Istotny jest fakt, że przed położeniem nakładki betonowej jedynie poważne uszkodzenia w nawierzchni asfaltowej podlegają naprawie, a w zasadzie przygotowanie podłoża pod WT ogranicza się do wyrównania nawierzchni celem zapewnienia równomiernego podparcia dla sztywnego betonu [10].

Tradycyjne nakładki *whitetopping* zostały pomyślnie zrealizowane w przedstawionych układach konstrukcyjnych JPCP, JRCP i CRCP, ze wskazaniem popularności na układ JPCP, który był stosowany najczęściej. Większość projektów zrealizowano na autostradach, choć zostały wykonane także na drogach pierwszo- i drugorzędnych (międzystanowych i stanowych — czyli odpowiednikach dróg wojewódzkich i powiatowych), a także na mniej licznych inwestycjach ulic miejskich.

Klasyczny *whitetopping* w przełożeniu na warunki w Polsce zaleca się stosować przy wykonywaniu remontów oraz wzmocnień dróg o wyższych kategoriach ruchu (od KR3 wzwyż) i dla nawierzchni znacznie wyciężonych przez duże obciążenie i intensywność ruchu, czyli dróg ekspresowych, autostrad i lotnisk.

Według polskiej normy wymiary płyt uwarunkowane są relacją długości do szerokości płyt, która nie powinna przekraczać 1,5, a także rozstawem szczeł.

Istotnym parametrem determinującym także wielkość płyt jest ich grubość. Amerykańskie wytyczne określają szczegółowo relację między grubością a wielkością płyt, a przy założeniu betonu niezbrojonego wymiar płyt nie powinien przekraczać 21-krotności grubości płyty [1].

Typowe rozmiary płyt betonowych stosowane w USA:

- beton niezbrojony — od 2,1 do 7,6 m,
- beton zbrojony — 9 do 12 m.

Zakres uszkodzeń istniejących nawierzchni, które można naprawić poprzez *whitetopping*:

Bez napraw przed wykonaniem WT:

- koleiny,
- tarki,
- spękania zmęczeniowe,
- spękania temperaturowe,
- złuszczenia powierzchniowe,
- ubytki nawierzchni,
- wykruszenia,
- wyboje,
- spękania odbite (pochodzące z niższych warstw konstrukcji)

Wymagające napraw przed wykonaniem WT:

- wyboje,
- koleiny o głębokości powyżej 50 mm,
- zapadliny,
- wyrzuszenia,
- słabe podłoże,
- klawiszujące spękania poprzeczne

Utrudnienia lub przeciwwskazania w stosowaniu nakładek betonowych:

- skrajnia drogowa — szczególnie pod istniejącymi obiektami w ciągu drogi, na której przewidywany jest remont w technologii WT,
- realizacja pod ruchem — długi czas realizacji, czyli czas wiązania betonu,
- lobby paliwowe (lobby sprzedaży asfaltów),
- brak doświadczenia w nawierzchniach betonowych,
- brak długofalowej i spójnej (ponadpartyjnej) polityki rozbudowy i eksploatacji infrastruktury drogowej.

3.3.2. Ultrathinwhitetopping (UTW)

Pierwsze realizacje ultracienkich nakładek betonowych na nawierzchniach asfaltowych wykonano w USA: Kentucky (1988) i Colorado (1990) z zastosowaniem grubości płyt 90 mm i 125 mm [42].

W 1991 r. wykonano w Louisville (Kentucky) nakładkę zbrojoną włóknami o grubościach 50 mm i 90 mm, o rozstawie szczelin 0,6 m i 1,8 m. Obecnie technologia UTW jest przedmiotem licznych realizacji i badań, głównie w USA, oraz

najdynamiczniej rozwijającym się kierunkiem w aspekcie napraw dróg w tym kraju. Zmieniono także status technologii z eksperymentalnej na powszechnie stosowaną.

UTW jako nawierzchnia betonowa wykazuje się analogicznymi zaletami jak klasyczne rozwiązania z betonu cementowego, jest jednak dodatkową korzyścią wynikającą z zastosowania tej technologii — krótki czas realizacji i oddania nawierzchni pod ruch wynikający z zastosowania cienkich warstw, betonów wysokiej wytrzymałości, które szybko osiągają żądane parametry.

Ultrathinwhitetopping zaleca się stosować przy wykonywaniu remontów oraz wzmocnień:

- dróg o małym i średnim natężeniu ruchu, pobocza dróg,
- nawierzchni parkingowych oraz zatok autobusowych,
- nawierzchni lotniskowych o małym natężeniu ruchu,
- dojazdów i skrzyżowań ze skoleinowanymi dojazdami oraz tarkami.

Wykonanie UTW dopuszcza się na odcinkach, gdzie grubość warstw bitumicznych, gwarantująca odpowiednie podparcie nakładki, wynosi min. 75-100 mm po zastosowaniu frezowania istniejącej nawierzchni bitumicznej. Należy zaznaczyć, że *ultrathinwhitetopping* jest technologią zalecaną do wykonywania wzmocnień nawierzchni asfaltowych podatnych na skoleinowanie, ale niewykazujących problemów konstrukcyjnych. Ultracienkie nakładki betonowe wykonuje się z wykorzystaniem szalunków bądź przy użyciu rozściełaczy ślizgowych. UTW charakteryzuje się dobrą szczepnością między nakładką a istniejącą nawierzchnią bitumiczną, małymi rozmiarami płyt (od 0,5 do 1,8 m), rozstawem szczelin w granicach 12-18-krotności grubości płyty, betonem o wysokiej wytrzymałości zbrojonym najczęściej włóknami syntetycznymi, położeniem podłużnych szczelin dylatacyjnych poza śladami kół. Zakres uszkodzeń istniejących nawierzchni, które można naprawić poprzez UTW, to koleiny, tarki, złuszczenia powierzchniowe, ubytki nawierzchni.

3.4. Eksploatacja i naprawy WT

Podstawową zasadą jest, aby obserwować i klasyfikować charakter powstających w nawierzchniach uszkodzeń celem opracowania strategii naprawczej dróg. Decyzje dotyczące napraw nawierzchni są kluczowe z punktu widzenia długofalowego w aspekcie kosztów utrzymania i trwałości konstrukcji. Podstawowymi czynnościami w czasie eksploatacji nawierzchni z betonu cementowego są zabiegi związane z wymianą dylatacji (mas zalewowych) oraz z odtworzeniem tekstury nawierzchni, która z czasem się ściera. Ponadto w zakresie eksploatacji nawierzchni WT można wyróżnić trzy grupy działań związanych z utrzymaniem i naprawami:

- | | | |
|--------------|---|------------|
| • frezowanie | <ul style="list-style-type: none"> • zabiegi utrzymaniowe, w tym: — drobne naprawy, — naprawy duże (główne). | • nakładki |
|--------------|---|------------|

Frezowanie jest środkiem zapobiegawczym powszechnie stosowanym w celu utrzymania dobrej przyczepności lub przygotowania jezdni do nakładki.

Naprawy drobne — w większości przypadków obejmują naprawę drobnych spękań na około 5% powierzchni i połączeń płyt oraz wymianę mas zalewowych w szczelinach dylatacyjnych. Główne naprawy obejmują wiele tych samych czynności co naprawy drobne. Różnica jest taka, że naprawy główne obejmują około 20% powierzchni i połączeń płyt i dotyczą pełnej głębokości płyt betonowych z wymianą zbrojenia, dybli i kotew. Najczęstszą przyczyną konieczności napraw wgłębnych nie jest ich obciążenie ruchem, a w zdecydowanej większości naprężenia termiczne.

Nakładki zgodnie z przedstawionymi technologiami WT służą przywróceniu stanu pierwotnego nawierzchni betonowej, a także podniesieniu jej parametrów, np. zwiększeniu kategorii ruchu lub poszerzeniu.

TABELA 2

Zestawienie typów i parametrów nakładek betonowych [2, 11]

	<i>Whitetopping</i>	<i>Ultrathinwhitetopping</i>
Typowe grubości	100 do 300 mm (4 to 12 in)	50 do 100 mm (2 to 4 in)
Stan istniejącej nawierzchni bitumicznej	Dopuszczalne wszystkie typy uszkodzeń	Dopuszczalne jedynie w zakresie zmian powierzchniowych
Typ połączenia (związania)	Projektowane jako niezwiązane, jednak częściowo mogą być realizowane jako związane (co może podnieść jakość nawierzchni)	Wymagane bardzo dobre połączenie — związanie nakładki z istn. HMA
Naprawy nawierzchni przed nakładką	<ul style="list-style-type: none"> • Ograniczone naprawy • Możliwe zastosowanie frezowania w celu wyprofilowania podłoża 	<ul style="list-style-type: none"> • Naprawy są wymagane — mają kluczowe znaczenie dla jakości nakładki i całej konstrukcji • Najczęściej stosuje się frezowanie i naprawy miejscowe
Minimalna grubość HMA	50 mm (2 in) (po ew. frezowaniu)	75 do 150 mm (3 to 6 in) (po ew. frezowaniu)
Specjalne wymagania realizacyjne	<ul style="list-style-type: none"> • Projekt rozstawu szczelin dylatacyjnych • Konieczność chłodzenia powierzchni HMA w gorące dni 	<ul style="list-style-type: none"> • Wymagane związanie z HMA • Beton wysokiej wytrzymałości lub/i zbrojony włóknami • Mały rozstaw szczelin (w zakresie 0,5 do 1,8 m)
Typy możliwych do stosowania nakładek	• JPCP, JRCP, CRCP	• JPCP

cd. tabeli 2

Skrajnia	Lokalnie wykonanie WT może być niemożliwe	W większości przypadków możliwe do realizacji
Zakres stosowania	Stosownie do potrzeb — możliwy na każde obciążenie ruchem ciężkim	Aktualnie ograniczony pod ruch średni, trwają badania z przeznaczeniem pod ruch ciężki
Niezawodność i długotrwałość	Potwierdzona	Oceny wyników od złych do bardzo dobrych, jednak brakuje długo-okresowych (wieloletnich) danych
Koszt realizacji	Wyższy od nakładek HMA	Nieznacznie wyższy od nakładek HMA
LCC — koszt w całym okresie eksploatacji	Konkurencyjny — korzystny w stosunku do napraw w technologii HMA	Konkurencyjny — korzystny w stosunku do napraw w technologii HMA

HMA — *Hot-Mix Asphalt* — istn. nawierzchnia asfaltowa.

CRCP — *Continuously Reinforced Concrete Pavement* — naw. betonowa o zbrojeniu ciągłym.

JPCP — *Jointed Plain Concrete Pavement* — nawierzchnia betonowa dylatowana.

JRCP — *Jointed Reinforced Concrete Pavement* — naw. betonowa dylatowana — zbrojona.

4. Analiza techniczna

Biorąc pod uwagę specyfikę realizacji nakładek betonowych w aspekcie docelowego zakresu stosowania, analizie poddano rozwiązania oparte na realizacji nakładek w technologii *whitetoppingu* klasycznego, z rozgraniczeniem na JPCP i CRCP, bez rozpatrywania UTW.

4.1. Założenia do analizy

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. z 1999 r. nr 43, poz. 430), dla nawierzchni betonowych klasy A, S, GP, G i Z należy przyjmować 30-letni okres eksploatacji nawierzchni betonowych, natomiast dla nawierzchni asfaltowych okres ten wynosi 20 lat. Z uwagi na ograniczone występowanie przedmiotowych nakładek w Polsce, w celu przeprowadzenia analizy dokonano założenia podstawowych parametrów dotyczących analizowanego umownego odcinka drogi:

- droga klasy S, przekrój 2 jezdnie \times 2 pasy ruchu po 3,75 m każdy,
- charakter drogi — tranzytowy — w ciągu drogi krajowej,
- odcinek drogi długości 1 km, powierzchnia każdej jezdni — 7500 m²,
- odcinek prosty w planie i o profilu z łagodnymi spadkami (do 1,00%),
- udział w strukturze rodzajowej pojazdów o naciskach 115 kN/oś — 13%,
- istniejąca konstrukcja nawierzchni — bitumiczna [5],

- wyznaczona kategoria ruchu KR5, z docelowym założeniem KR6 na podstawie prognozowanego ruchu SDR w 15. roku eksploatacji.

Kwestie strefy przemarzania, warunków gruntowo-wodnych oraz kategorii grupy nośności gruntów pominięto z uwagi na założenie, że parametry te zostały określone przy pierwotnym projekcie drogi i nie uległy zmianom. Istniejąca nawierzchnia o obecnym (założenie) okresie eksploatacji 10 lat jest skoleinowana, koleiny mają głębokość 2-4 cm, są także lokalne wykruszenia oraz liczne spękania i wyboje. Nawierzchnia wykazuje także oznaki zniszczeń strukturalnych.

Każda jezdnia będzie podlegała naprawie z zastosowaniem dwóch różnych technologii WT, tj. JPCP i CRCP wg poniższych założeń:

I — *whitetopping* klasyczny

— dylatowany:

- bez frezowania,
- oczyszczenie (np. za pomocą sprężonego powietrza lub wodą pod dużym ciśnieniem),
- naprawa ubytków i spękań,
- wbudowanie nawierzchni betonowej o grubości 20 cm; łącznie — 1500 m³,
- dyblowanie — 2800 szt. dybel Ø 32 mm, l = 50 cm co 50 cm,
- kotwienie — 1800 szt. kotwy Ø 28 mm, l = 60 cm co 50 cm,
- nacięcia płyt betonowych w ilości: 1000 mb — szczelina podłużna, 1500 mb — szczelina poprzeczna,
- wypełnienie szczelin dylatacyjnych masą zalewową na zimno,
- wykonanie tekstury nawierzchni metodą „płukania” betonu lub przy użyciu szczotek o twardym, sztucznym lub stalowym włosiu, które są przeciągane po twardniejącej powierzchni betonu nakładki w kierunku prostopadłym do osi jezdni.

II — *whitetopping* o zbrojeniu ciągłym:

- bez frezowania,
- oczyszczenie (np. za pomocą sprężonego powietrza lub wodą pod dużym ciśnieniem),
- naprawa ubytków i spękań,
- ułożenie zbrojenia — stopień zbrojenia podłużnego 0,78% (Ø18 mm co 16 cm na podpórkach z prętami Ø14 mm co 0,7 m) czyli ~70 kg/m³,
- wbudowanie nawierzchni betonowej o grubości 20 cm, łącznie — 1500 m³,
- wykonanie tekstury nawierzchni metodą „płukania” betonu lub przy użyciu szczotek o twardym, sztucznym lub stalowym włosiu, które są przeciągane po twardniejącej powierzchni betonu nakładki w kierunku prostopadłym do osi jezdni.

Warianty związane z realizacją nakładek betonowych, oprócz naprawy istniejącej nawierzchni, są realnym wzmocnieniem i spełniają poprzez zwiększenie nośności

konstrukcji warunek konieczności podniesienia kategorii ruchu do KR6, wynikający z prognozowanego ruchu na 15. rok po oddaniu jezdni do użytku po naprawie.

Założenia dotyczące grubości nakładek przyjętych jako 20 cm oparte są na przykładach i doświadczeniach stosowanych grubości nakładek wykorzystywanych podczas realizacji napraw dróg asfaltowych w Belgii i w Stanach Zjednoczonych.

Trwałość zrealizowanych nakładek zakładana jest na 30 lat użytkowania przy kategorii ruchu KR6. W analizowanym czasie eksploatacji 30 lat należy przewidzieć czynności związane z utrzymaniem nawierzchni:

- dla nawierzchni JPCP wymiana mas zalewowych w szczelinach dylatacyjnych co 7 lat,
- odtworzenie tekstury nawierzchni na 50% powierzchni nakładek co 14 lat,
- naprawa 5% powierzchni nakładek betonowych po 21. roku,
- naprawa 20% powierzchni nakładek betonowych po 28. roku.

Ponadto do analizy, jako odniesienie oparte na znanych i powszechnie stosowanych technikach napraw, włączono także opcję kontynuacji eksploatacji drogi z pozostawieniem nawierzchni asfaltowej. Techniczny aspekt sposobu realizacji naprawy w technologii asfaltowej jest ściśle związany ze strategią finansowania i można w tym względzie rozważyć dwie strategie postępowania.

Wariant (jako wariant III w analizie) — strategia minimalizacji nakładów finansowych w momencie konieczności wykonania naprawy drogi, co jest sytuacją bardzo często występującą w Polsce. Wariant ten sprowadza się do wykonania niezbędnych zabiegów remontowych i odtworzenia warstwy ścieralnej, celem przedłużenia czasu eksploatacji drogi.

Wariant (jako wariant IV w analizie) — strategia działania długofalowego, w celu osiągnięcia efektu optymalizacji kosztów w czasie, czyli zaprojektowanie i wykonanie wzmocnienia konstrukcji nawierzchni wraz z naprawą zniszczonych fragmentów podbudowy asfaltowej. Nawierzchnię należy przystosować do prognozowanego ruchu i zwiększyć kategorię ruchu do KR6, projektując wzmocnienie z założeniem okresu eksploatacji 20 lat.

W zakresie utrzymania nawierzchni asfaltowych także trzeba uwzględnić aspekt utrzymania w zakładanym okresie eksploatacji z uwzględnieniem kosztów corocznych remontów cząstkowych po okresach zimowych, jak również cyklicznej wymiany warstw ścieralnej lub ścieralnej i wiążącej, a z czasem także dostosowania drogi do kategorii KR6, zatem najprawdopodobniej odbudowy całej konstrukcji.

Przy tym założeniu wszystkie opisane powyżej warianty sięgają trwałością horyzontu czasowego 30 lat, czyli okresu, w jakim dokonano analizy nakładów finansowych.

4.2. Projektowanie nakładek betonowych

Dane do przeanalizowania:

- stan istniejącej nawierzchni asfaltowej,
- nośność nawierzchni asfaltowej,
- wytrzymałość na ściskanie i zginanie betonu,
- rodzaj zbrojenia,
- zakładana żywotność nakładki,
- zakładane natężenie ruchu.

W celu prawidłowego zaprojektowania nakładki WT należy:

- określić pożądaną jakość betonu (trwałość i wytrzymałość),
- określić grubość nakładki,
- określić rozmieszczenie szczelin dylatacyjnych (dla JPCP),
- określić średnice i rozstaw dybli oraz kotew (dla JPCP),
- określić stopień i typ zbrojenia (dla CRCP) [11].

W USA do projektowania *whitetoppingu* najczęściej stosuje się metodę projektowania wg procedury AASHTO (ang. *American Association of State Highway and Transportation Officials*).

4.3. Cechy analizowanych nakładek JPCP i CRCP

TABELA 3

Zestawienie parametrów analizowanych nakładek betonowych

	JPCP	CRCP
Grubość nakładki	20 cm	20 cm
Wielkość płyt/ rozstaw szczelin	3,75 m × 5,00 m	Pasmo płytowe o wymiarach remontowanej nawierzchni
Szczeliny dylatacyjne	3,75 m × 5,00 m	NIE
Zbrojenie	NIE	zbrojenie ciągłe — stopień zbrojenia podłużnego 0,78% Ø 18 mm co 16 cm na podpórkach z prętami Ø 14 mm co 0,7 m, ~70 kg/m ³
Dyblowanie	Ø 32 mm l = 50 cm co 50 cm	NIE
Kotwienie	Ø 28 mm l = 60 cm co 50 cm	NIE

Powyższa tabela obrazuje, jak proste ideologicznie jest rozwiązanie CRCP, czyli płyty o zbrojeniu ciągłym, w stosunku do znanych powszechnie betonowych płyt dylatowanych. Różnice nawierzchni wynikające z konieczności przeprowadzania zabiegów

remontowych i eksploatacyjnych podyktowanych dylatacjami w nawierzchni JPCP także wskazują, jako praktyczniejszą w całym okresie eksploatacji, nawierzchnię o zbrojeniu ciągłym. Z technicznego punktu widzenia należy wskazać wyraźną różnicę w układzie konstrukcyjnym ww. rozwiązań. Nawierzchnie dylatowane są powszechnie znane i z pewnością w obecnych warunkach łatwiejsze w realizacji z uwagi na zdobyte doświadczenia. Jednak z uwagi na konieczność zastosowania „przerw” w nawierzchni w postaci szczelin, zwiększona jest jej wrażliwość na wodę, a tym samym jej niezawodność jest zdecydowanie mniejsza od jednopłaszczyznowej nawierzchni o zbrojeniu ciągłym.

Istotnym problemem, zważywszy na małe doświadczenie wykonawców, jest to, że źle wykonana nawierzchnia betonowa to z pewnością w dużej mierze zmarnowane nakłady finansowe (przykładem jest remont pasa startowego na lotnisku Modlin), co raczej nie występuje w przypadku łatwych w naprawie nawierzchni bitumicznych. Niezależnie od powyższego niekwestionowany jest fakt wielu zalet nawierzchni betonowych w ujęciu ogólnym i warto podkreślić jest jednoznacznie wskazanie tego typu nawierzchni jako lepszego względem popularnych obecnie w Polsce nawierzchni asfaltowych.

5. Analiza ekonomiczna

W celu wykazania realnych kosztów koniecznych do poniesienia przy realizacji naprawy drogi, opracowano kosztorysy uproszczone robót wykonywanych przy zastosowaniu przedmiotowych nakładów betonowych JPCP i CRCP oraz napraw z zastosowaniem warstw asfaltowych. Aby zobrazować przebieg nakładów finansowych w czasie, dla nakładów betonowych analizę kosztową wykonano do 28. roku eksploatacji łącznie.

Założenia kosztorysowe przyjęte do analizy:

Koszty robocizny	19,00 zł.
Kp — Koszty pośrednie (R+S)	63,10%.
Zysk (od R+S+Kp)	10,00%.

Ceny — informacja Sekocenbud o cenach za III kwartał 2015 r., kalkulacje własne, informacje od producentów materiałów i wykonawców robót drogowych.

5.1. Koszty realizacji i eksploatacji

W ujęciu globalnym analizy realizacji kosztów nakładów betonowych uwzględnić należy również koszty ponoszone na naprawy i eksploatację nawierzchni w dalszej perspektywie czasowej. W aspekcie tym przewidywane będą konieczne wymiany mas zalewowych w szczelinach dylatacyjnych nawierzchni dylatowanej w okresach co 7 lat. Ponadto przyjęto założenie konieczności napraw nawierzchni

betonowych analogicznie dla obu typów nakładek, w okresach co 7 lat w następującym zakresie:

- po 7. roku — wymiana mas zalewowych dla nawierzchni JPCP;
- po 14. roku — odtworzenie tekstury nawierzchni na 50% powierzchni,
— wymiana mas zalewowych dla nawierzchni JPCP;
- po 21. roku — naprawa 5% powierzchni nakładek betonowych,
— wymiana mas zalewowych dla nawierzchni JPCP;
- po 28. roku — naprawa 20% powierzchni nakładek betonowych oraz
odtworzenie tekstury nawierzchni na 50% powierzchni,
— wymiana mas zalewowych dla nawierzchni JPCP.

W poniższych tabelach przedstawiono zestawienia kosztów związanych z realizacją i eksploatacją drogi po wykonaniu nakładek betonowych i oddaniu jezdni do użytku.

TABELA 4

Zestawienie kosztów realizacji i eksploatacji nawierzchni JPCP i CRCP

Przeznaczenie kosztów	Koszty	
	<i>Whitetopping</i> klasyczny — dylatowany (JPCP)	<i>Whitetopping</i> o zbrojeniu ciągłym (CRCP)
Realizacja	1 052 400,00 zł	1 233 900,00 zł
Eksploatacja po 7 latach	80 000,00 zł	0,00 zł
Eksploatacja po 14 latach	113 750,00 zł	33 750,00 zł
Eksploatacja po 21 latach	117 500,00 zł	37 500,00 zł
Eksploatacja po 28 latach	188 750,00 zł	108 750,00 zł
Suma	1 552 400,00 zł	1 413 900,00 zł

Powyższa analiza wykazała, że znacząca część środków przeznaczonych na realizację WT w układzie CRCP poniesiona będzie na wykonanie zbrojenia nawierzchni. Z tego powodu nawierzchnia ta będzie droższa w kosztach początkowych od nakładki klasycznej. Jednak w kolejnych latach konieczność wykonywania większej liczby zabiegów utrzymaniowych powoduje szybszy wzrost nakładów w przypadku nakładki JPCP.

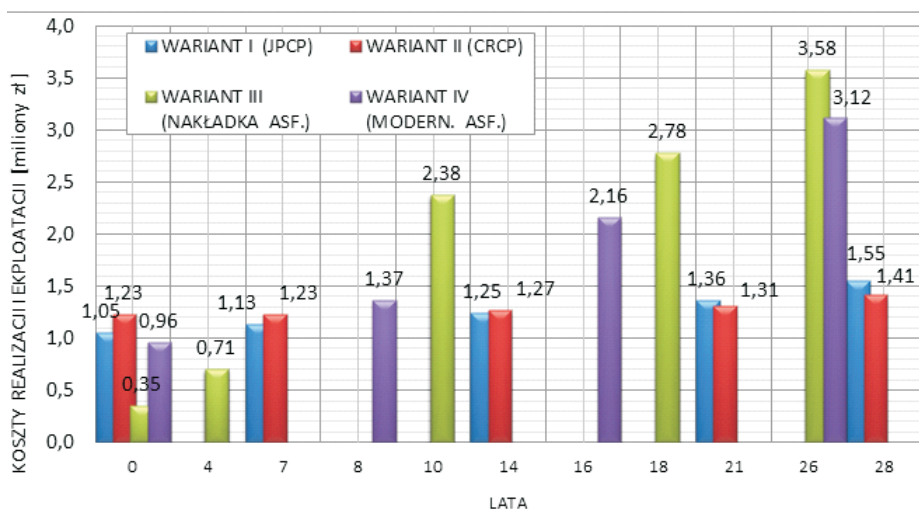
Analogicznie wykonano analizę poniesionych nakładów finansowych realizacji i w kolejnych latach eksploatacji dla technologii asfaltowych.

TABELA 5

Zestawienie kosztów realizacji i eksploatacji nawierzchni asfaltowych w wariantach III i IV

Przeznaczenie kosztów	Koszty	
	Frezowanie i przykrycie cienką warstwą na gorąco	Wymiana warstw
Realizacja	349 275,00 zł	964 740,00 zł
Eksploatacja po 4 latach	358 500,00 zł	uwzględnia koszt poniżej
Eksploatacja po 8 latach	uwzględnia koszt poniżej	400 500,00 zł
Eksploatacja po 10 latach	1 672 500,00 zł	uwzględnia koszt poniżej
Eksploatacja po 16 latach	uwzględnia koszt poniżej	794 490,00 zł
Eksploatacja po 18 latach	400 500,00 zł	uwzględnia koszt poniżej
Eksploatacja po 26 latach	794 490,00 zł	964 740,00 zł
Suma	3 575 265,00 zł	3 124 470,00 zł

Ostatecznie, podsumowując realizacje przedstawionych strategii naprawczych i eksploatacyjnych, poniżej na wykresie dokonano zestawienia kosztów poniesionych w czasie dla wszystkich analizowanych wariantów.



Wykres 1. Zestawienie kosztów realizacji i eksploatacji w wariantach I, II, III i IV

6. Wnioski

Nakładki betonowe są rozwiązaniem właściwym w perspektywie długoletniej eksploatacji dróg przy stale rosnącym natężeniu ruchu i obciążeniu konstrukcji nawierzchni.

Dobrze zaprojektowane i wykonane nakładki z betonu cementowego są rozwiązaniem średnio 2,5-3,5 razy trwalszym i tańszym od nawierzchni asfaltowych o ~1,6-2,2 mln zł na każdym kilometrze drogi w okresie 30 lat eksploatacji.

Przykłady europejskie i amerykańskie poparte wieloletnimi badaniami powinny być właściwym kierunkiem do naśladowania w rozwoju strategii remontowych w Polsce.

Czynniki ograniczające rozwój nawierzchni betonowych w Polsce (w szczególności rozwiązań innowacyjnych, jakimi są nakładki CRCP) to brak doświadczenia polskich wykonawców, brak długofalowej polityki dotyczącej budowy i utrzymania sieci drogowej, a także lobby asfaltowe.

Nawierzchnia o ciągłym zbrojeniu jest w swym założeniu rozwiązaniem zbliżonym do założeń o idealnie sprężystym i jednorodnym podłożu, do jakiego dążymy, projektując i budując drogi.

Uwzględniając aspekty techniczne, uwarunkowania i możliwości realizacyjne oraz potrzeby nakładów finansowych na realizację naprawy nawierzchni bitumicznej, a także rozpatrując nakłady finansowe w czasie eksploatacji nawierzchni w przyjętym czasie użytkowania, jako wariant korzystniejszy uznano naprawę będącą jednocześnie wzmocnieniem konstrukcji w technologii *Whitetopping* o układzie konstrukcyjnym zbrojenia ciągłego (CRCP).

Źródło finansowania pracy — środki własne.

Artykuł wpłynął do redakcji 1.07.2016 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 14.07.2016 r.

LITERATURA

- [1] AASHTO, *Design of Pavement Structures*, Part II. *Rigid Pavement Design & Rigid Pavement Joint Design*, AASHTO 1998.
- [2] MUSTAQUE H., SHARMIN S., *Extending Asphalt Pavement Life Using Thin Whitetopping*, Kansas State University of Nebraska-Lincoln, grudzień 2010.
- [3] Illinois Department of Transportation, *Maintenance, Repair and Rehabilitation*, Pavement Technology Advisory — Whitetopping — PTA-M4, Pavement Technology Engineer, Bureau of Materials and Physical Research, Springfield, luty 2005.
- [4] Informacje o cenach SEKOCENBUD, III kwartał 2015 .
- [5] Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztucznych KTKNS.
- [6] Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych KWRNPP-2012, IBDiM.
- [7] LI X., *Evaluation of performance of whitetopping pavement as a rehabilitation strategy*, Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering, maj 2010.
- [8] MIKULICKI I., *Beton — wiemy jak i dlaczego. Drogi ekspresowe i autostrady — doświadczenia krajowe*, GDDKiA O/Łódź, Kielce, maj 2013.
- [9] Minnesota Department of Transportation, *Whitetopping Design Procedure*, Minnesota Department of Transportation Office of Materials & Road Research Pavement Engineering Section, marzec 2012.

- [10] Minnesota Department of Transportation, *Design Manual*, Chapter 5.3, Pavement Manual, Minnesota Department of Transportation, Office of Materials & Road Research, Pavement Engineering Section, lipiec 2007.
- [11] Instructor's Guide *HMA Pavement Evaluation and Rehabilitation*, Module 3-7 – Pcc Overlays Of Hma Pavements (Whitetopping), wrzesień 2001.
- [12] PIŁAT J., RADZISZEWSKI P., *Nawierzchnie asfaltowe*, wyd. 2, WKŁ, Warszawa, 2007.
- [13] PN-75/S-96015, *Drogowe i lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego*.
- [14] RADZISZEWSKI P., PIŁAT J., KOWALSKI K., SARNOWSKI M., KRÓL J., *Perspektywy i kierunki rozwoju konstrukcji oraz nowych rozwiązań materiałowo-technologicznych nawierzchni drogowych w aspekcie ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju*, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów, Zespół Technologii Materiałów i Nawierzchni Drogowych, Warszawa, listopad 2012.
- [15] RENS L., *History of Design and Construction Practice of CRCP in Belgium*, Buenos Aires, maj 2011.
- [16] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. z 1999 r. nr 43, poz. 430).
- [17] SERUGA A., SERUGA T., JULISZEWSKI L., *Dyble w drogowych nawierzchniach betonowych*, Czasopismo Techniczne Budownictwo, Politechnika Krakowska, 2011.
- [18] SIEDLECKA A., *Ponad 100 km autostrady A2 z betonu*, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, listopad-grudzień 2008.
- [19] SINHA V.K., JAIN R.K., SEEHRA S.S., KUMAR S., *Tentative guidelines for conventional, thin and ultra-thin whitetopping*, Indian Roads Congress, New Delhi, marzec 2008.
- [20] SZYDŁO A., MACKIEWICZ P., WARDEGA R., *Aktualizacja katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych*, Etap I, Raport serii SPR 21/2011, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, listopad 2011.
- [21] SZYDŁO A., MACKIEWICZ P., WARDEGA R., KRAWCZYK B., *Aktualizacja katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych*, Etap II, Raport serii SPR 24/2012, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, listopad 2012.
- [22] TOWNES M.S., BOARDMAN J.H., GIULIANO G., HORSLEY J.C., PETERS M.E., SKINNER JR. R.E., WALTON M.C., *NCHRP SYNTHESIS 338 — Thin and Ultra-Thin Whitetopping, A Synthesis of Highway Practice*, Transportation Research Board, Washington D.C., 2004.
- [23] *Conventional Whitetopping Overlays*, U.S. Department of Transportation — Federal Highway Administration, Technical, publikacja nr FHWA-IF-03-08, Federal Highway Administration, maj 2002.
- [24] VANDENBOSSCHE J.M., *Applications, Design Applications, Design & Construction of & Construction of Ultra Ultra-thin Whitetopping*, University of Pittsburgh.
- [25] VANDENBOSSCHE J.M., DUFALLA N., LI Z., *A Revised Thin and Ultra-Thin Bonded Whitetopping Design Procedure*, University of Pittsburgh, sierpień 2012.
- [26] WINKELMAN J.T., *Whitetopping Construction And Early Performance In Illinois*, Pavement Technology Engineer, Bureau of Materials and Physical Research, Illinois Department of Transportation, Springfield, czerwiec 2002.
- [27] WOŁOSZKA P., *Analiza techniczno-ekonomiczna realizacji remontów nawierzchni podatnych z zastosowaniem technologii whitetopping, na przykładzie rozwiązań klasycznych — dylatowanych oraz o zbrojeniu cięglym*, praca magisterska, WAT, Warszawa, 2013.
- [28] *WT-2 Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych*, GDDKiA, Warszawa, 2010.

- [29] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. z 1999 r. nr 43, poz. 430) — Załącznik nr 5.

Witryny internetowe, stan aktualny na dzień 9.09.2015 r.:

- [30] <http://www.acpa.org>
[31] http://www.cement.org/pavements/pv_rcc_ports_houston.asp
[32] <http://www.dot.il.gov>
[33] <http://www.dot.state.mn.us/materials/pvmtdesign/manual.html>
[34] <http://www.drogibetonowe.pl>
[35] <http://edroga.pl>
[36] <http://www.fhwa.dot.gov>
[37] <http://www.hiperpav.com>
[38] <https://maps.google.com>
[39] <http://www.monolityczne.com.pl>
[40] <http://www.pavement.com/>
[41] <http://www.polskicement.pl>
[42] <http://www.road.pl/whitetopping.htm>
[43] <http://www.trb.org/NCHRP/NCHRP.aspx>

T. RUDNICKI, P. WOŁOSZKA

The use of whitetopping technology in the aspect of implementation of repairs of flexible pavements

Abstract. This paper presents an analysis of technical and economic implementation of repairs of bituminous pavements using whitetopping technology at the example of classical jointed solutions and the continuous reinforcement. The problems of repairs of asphalt roads in the context of steadily progressive degradation of flexible pavements in Poland are discussed.

The types of pavement constructions were presented, with particular emphasis on characteristics of flexible pavements. There were identified and described significant factors contributing to damage, which consequently lead to surface degradation. Also there have been described the types of concrete pavements and their characteristics, taking into account modern technology of cement concrete overlays made in various technologies. The results of the analysis of technical and economic implementation of repairs of flexible pavements using whitetopping technology are presented at the example of classical jointed solutions and the continuous reinforcement. The benefits and potential difficulties in the implementation of pavements repairs as cement concrete technology are indicated.

Keywords: road, repair, whitetopping, overlay, flexible surface, cement concrete pavement, continuous reinforcement

DOI: 10.5604/12345865.1223269

