



TOMASZ RUDNICKI

trudnicki@poczta.onet.pl



DAWID TRZONKOWSKI

dtrzonkowski@gmail.com

Wojskowa Akademia
Techniczna

Analiza techniczno-ekonomiczna wybranych rodzajów remontów nawierzchni drogowych

Rozwój branży drogowej na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat wpłynął znacząco na stan polskich dróg. Nowe technologie, innowacyjne materiały i nowoczesny sprzęt przyczyniły się do poprawy jakości budowanych nawierzchni oraz zwiększenia ich trwałości. Powiększająca się z każdym rokiem sieć dróg ekspresowych i autostrad, jest dla wielu Polaków miarą rozwoju kraju i pozytywnie wpływa na ich życie poprzez zwiększenie komfortu, szybkości

i bezpieczeństwa podróżowania. W niedalekiej przyszłości największym wyzwaniem dla polskiego drogownictwa nie będzie jednak budowa nowych odcinków dróg, lecz utrzymanie istniejącej sieci w należyłym stanie technicznym. Konieczne jest zatem przeanalizowanie procesu degradacji, jak też znalezienie skutecznych sposobów spowalniania tego zjawiska oraz przywracania pierwotnych cech nawierzchni poprzez wykonywanie zabiegów remontowych. W związku z dążeniem do uzyskania jak największej trwałości nawierzchni asfaltowych, wzrasta znaczenie cyklicznego odtwarzania zniszczonej warstwy ścieralnej (niekiedy również warstwy wiążącej). Warto więc przyjrzeć się bliżej tematowi remontów tych warstw, określić potrzeby w zakresie tego rodzaju zabiegów i zapoznać z aktualnie dostępnymi technologiami, wskazać ich wady, zalety oraz porównać je między sobą.

Konstrukcja nawierzchni z warstwami asfaltowymi to zespół odpowiednio dobranych warstw, którego celem jest

rozłożenie naprężeń od kół pojazdów na podłoże gruntowe oraz zapewnienie bezpieczeństwa i komfortu jazdy pojazdów [2].

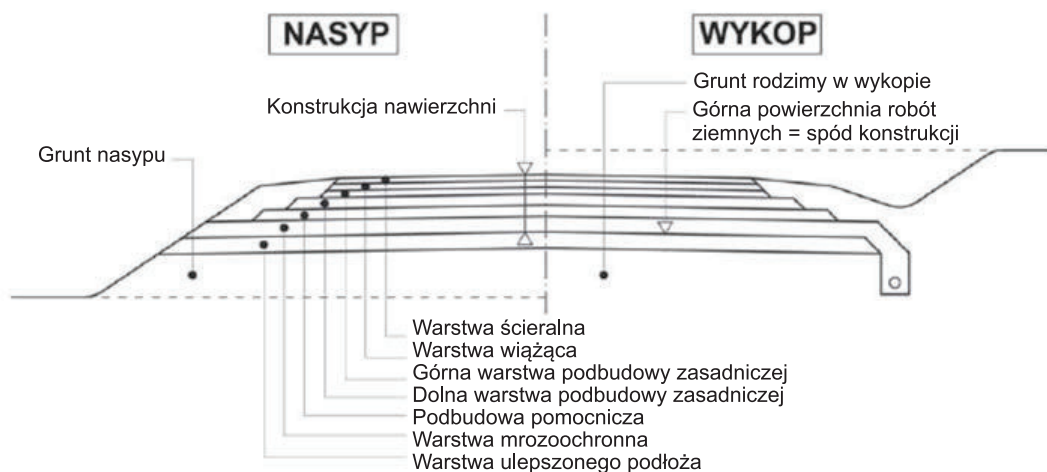
Warstwa ścieralna jako górna warstwa konstrukcji nawierzchni jest poddawana bezpośredniemu oddziaływaniu ruchu, czynników atmosferycznych (opady: deszczu, śniegu, zmiany temperatury itp.) i chroni położone niżej warstwy przed ich negatywnym wpływem. Pomimo niewielkiego wpływu na nośność konstrukcji, stan techniczny warstwy ścieralnej jest bardzo ważny z punktu widzenia bezpieczeństwa użytkowników i komfortu jazdy, ponieważ to jej powierzchnia styka się bezpośrednio z kołami pojazdów. Odpowiednie utrzymanie górnej warstwy wpływa pozytywnie na trwałość pozostałych warstw, ponieważ degradacja konstrukcji nawierzchni jezdni w większości przypadków rozpoczyna się właśnie w warstwie ścieralnej i postępuje ku niżej położonym elementom konstrukcji.

Remont to zgodnie z definicją ogół czynności prowadzących do przywrócenia pierwotnego stanu drogi, z wyłączeniem robót konserwacyjnych, porządkowych i innych zmierzających do zwiększenia bezpieczeństwa i wygody ruchu, w tym także odśnieżanie i zwalczanie śliskości zimowej. Jeżeli w trakcie robót następuje podwyższenie parametrów technicznych i eksploatacyjnych drogi to mamy do czynienia nie z remontem a z przebudową (modernizacją) drogi.

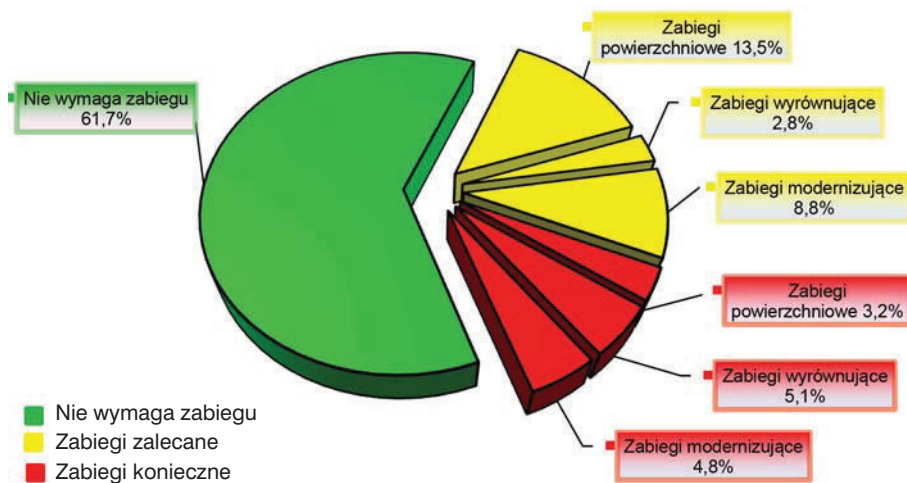
Potrzeby remontowe na sieci dróg krajowych, w tym również te dotyczące warstwy ścieralnej, zostały określone w Raporcie o stanie technicznym sieci dróg krajowych [1]. Zabiegi podzielono na dwa poziomy – krytyczny i ostrzegawczy w zależności od stopnia pilności.

Zabiegi sklasyfikowane na poziomie krytycznym wymagają natychmiastowego wykonania, zaś te na poziomie ostrzegawczym należy w najbliższym czasie zaplanować.

Zestawienia zawarte w Raporcie sporządzonym na koniec roku 2014 świadczą o dużej wadze problemu degradacji warstwy ścieralnej. Natychmiastowych zabiegów wymaga 2742 km dróg krajowych, z czego prawie 40% tzn. 1061,8 km to zabiegi wy-



Rys. 1. Przekrój poprzeczny konstrukcji nawierzchni asfaltowych [2]



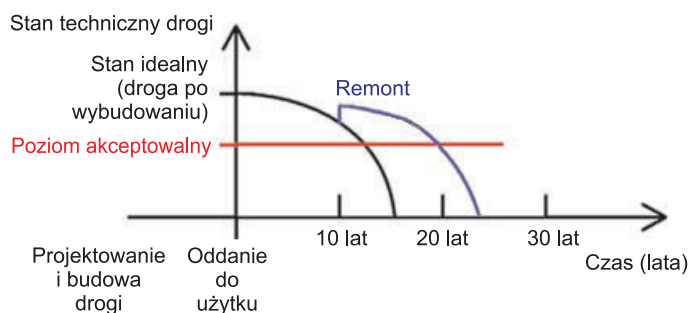
	Rok 2014	Rok 2013	Zmiana
■ Stan dobry	61,7% [12 743 km]	66,1% [13 375 km]	-4,4%
■ Stan niezadowalający	25,1% [5 189 km]	21,4% [4 327 km]	+3,7%
■ Stan zły	13,2% [2 724 km]	12,5% [2 531 km]	+0,7%

Rys. 2. Graficzne i tabelaryczne zestawienie wyników z Raportu o stanie nawierzchni sieci dróg krajowych [1]

równujące, zabiegi na poziomie ostrzegawczym należy zaplanować na 5189 km, w tym na 589 km dróg zabiegi związane z wyrównaniem. W porównaniu do wyników z roku 2013, ogólny stan sieci drogowej uległ pewnej zmianie. Zgodnie z danymi zawartymi w tabeli odnotowano spadek długości dróg w stanie dobrym o 4,4%. Główną przyczyną tej sytuacji były zmiany rozkładów parametrów związanych z zabiegami powierzchniowymi. Poruszone kwestie są więc aktualne i dotyczą większej liczby odcinków dróg. Dynamiczny wzrost ruchu pojazdów ciężkich następujący w dalszym ciągu, może skutkować zwiększeniem potrzeb w zakresie remontów nawierzchni.

Konstrukcja nawierzchni ma ograniczoną żywotność. Przyjmuje się, że w przypadku nawierzchni asfaltowych wynosi ona od 20 do 30 lat. Warstwa ścieralna w związku z pełnioną funkcją charakteryzuje się trwałością określaną na 8 do 12 lat, po tym okresie musi zostać poddana zabiegom remontowym. Przykładowy wpływ remontu na cykl życia nawierzchni jezdni przedstawiono na rysunku 3.

Nawierzchnia drogi po oddaniu do użytku przez kilka lat charakteryzuje się stanem technicznym powyżej poziomu



Rys. 3. Przykładowy cykl życia konstrukcji nawierzchni

akceptowalnego, degradacja następuje jednak systematycznie, ze zróżnicowaną intensywnością i jeżeli remont nie zostanie przeprowadzony, to stan techniczny po kilku latach spadnie poniżej poziomu pożądanego. Konieczna będzie w tej sytuacji gruntowna przebudowa, gdyż w tym stanie degradacja nawierzchni obejmie już warstwę wiążącą, niekiedy również warstwę podbudowy. Przeprowadzony w odpowiednim terminie remont warstwy ścieralnej spowoduje, że okres eksploatacji zostanie zdecydowanie wydłużony przy znacznie mniejszych niż w przypadku przebudowy nakładach finansowo-czasowych. Zasada ta przedstawiona została w pewnym uproszczeniu, ponieważ degradacja nawierzchni stanowi z reguły złożony proces. Projektowane zabiegi powinny być poprzedzone diagnostyką stanu nawierzchni (identyfikacją i oceną cech eksploatacyjnych nawierzchni drogowych [13]), licznymi badaniami szczegółowymi i analizami, na podstawie których ustala się rodzaj

i zakres uszkodzeń, a ponadto dąży się do określenia optymalnej technologii remontu.

Wybór technologii do analizy

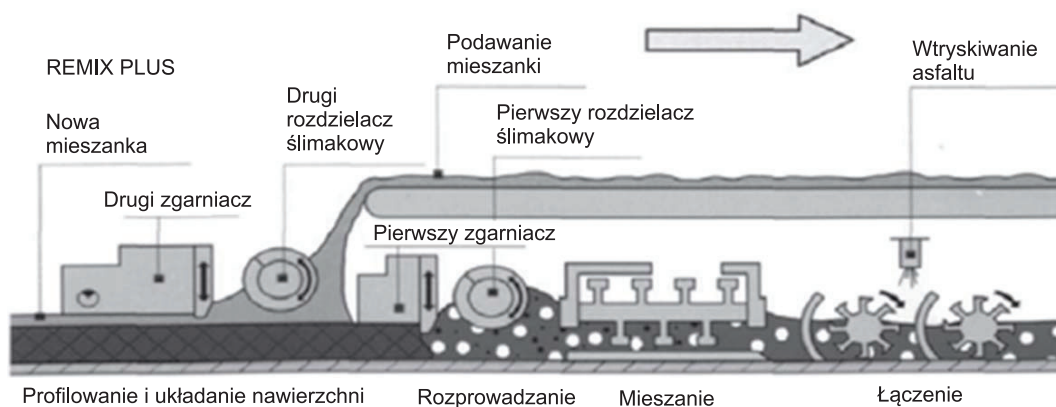
Powiększająca się, w związku z budową nowych odcinków, sieć drogowa generuje coraz większe zapotrzebowanie na zabiegi remontowe. Równolegle rosną wymagania dotyczące zapewnienia jakości i trwałości nawierzchni po remoncie, efektywności ekonomicznej, a także zwiększanie tempa robót i zmniejszanie ich uciążliwości dla ruchu, wzrosło również znaczenie kwestii związanych z ochroną środowiska. W rezultacie konieczne okazało się stworzenie zbioru regulacji, wytycznych i zaleceń, mających pomóc w poprawnym diagnozowaniu uszkodzeń, a następnie planowaniu i realizacji remontów nawierzchni. Dokumentem tym jest m.in. Katalog przebudów i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych [7]. Dokument powinien być co kilka lat weryfikowany i aktualizowany, w miarę rozwoju technologii remontowych. W katalogu możemy znaleźć zestawienie technologii remontu nawierzchni zalecanych do stosowania na terenie Polski. Zostały one ponadto ocenione tak, by ułatwić wybór konkretnej technologii dla danej sytuacji. Spośród opisanych w katalogu technologii, uwzględniając zalecany zakres stosowania i trwałość, wybrano te, które prowadzą do przywrócenia pierwotnych właściwości warstwy ścieralnej i mogą być stosowane bez względu na kategorię ruchu i klasę drogi, ponadto poszukiwano technologii najbardziej perspektywicznych. Mając na uwadze przyjęte kryteria, wybrano technologię remixingu plus warstwy ścieralnej, następnie by maksymalnie uwydatnić jej zalety, a także wady względem innych, do porównania wytypowano technologię wymiany warstw, która jest powszechnie stosowana na polskich drogach. Ponadto zdecydowano się na

porównanie dwóch wybranych metod z technologią nakładki betonowej, tzw. *whitetoppingu*. Rozwiązanie to nie zostało ujęte w Katalogu [7], ma jednak wiele niezaprzeczalnych zalet i bez wątpienia można zestawić je z pozostałymi, w okresie toczonych szeroko dyskusji o przewadze nawierzchni betonowych nad asfaltowymi.

Opis analizowanych technologii remontów nawierzchni

Remixing plus – to jedna z odmian recyklingu na gorąco znana w krajach anglojęzycznych pod nazwą *Hot in place Recycling*. Polega na przetworzeniu starej zniszczonej warstwy ścieralnej i wbudowaniu jej ponownie oraz jednoczesnym ułożeniu nowej warstwy (plus) w trakcie jednego przejazdu zespołu maszyn. Największą popularność metoda ta znajduje w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie. Remixing plus obejmuje następujące czynności:

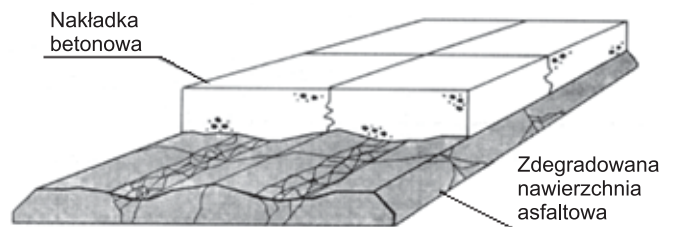
- 1) rozłożenie na remontowanej nawierzchni składników mieszanki korygującej;
- 2) ogrzanie warstwy ścieralnej i składników mieszanki korygującej;
- 3) frezowanie na gorąco, pobranie składników mieszanki mineralno-asfaltowej, korygującej skład starej;
- 4) mieszanie gorącej „nowej” mieszanki mineralno-asfaltowej, oraz ewentualnie dodanie środka regenerującego właściwości lepiszcza;
- 5) rozłożenie mieszanki;
- 6) rozłożenie mieszanki „plus”;
- 7) jednoczesne zagęszczenie obu warstw.



Rys. 4. Schemat przebiegu remixingu plus



Fot. 1a-1b. Przebieg procesu wymiany warstwy ścieralnej [3, 4]



Rys. 5. Schemat nakładki betonowej typu *whitetopping* (przed ułożeniem warstw z betonu cementowego występujące koleiny należy sfrezować) [5]

Przed przystąpieniem do zabiegu należy wykonać szczegółowe badania istniejącej nawierzchni, w celu dokładnego określenia składu mieszanki korygującej, co ma kluczowe znaczenie dla jakości nowej warstwy powstającej w procesie *remixingu plus*. Zabieg ten jest realizowany przy użyciu zestawu samobieżnych maszyn podgrzewających, frezująco-mieszających i rozkładających oraz pojazdów samowyladowczych dowożących składniki korygujące i mieszankę plus. Ponadto do zagęszczania warstw konieczne jest użycie odpowiedniego zestawu walców.

Wymiana warstw asfaltowych – zabieg, w trakcie którego stara, zniszczona warstwa ścieralna zostaje usunięta, a w jej miejsce wbudowuje się nową warstwę. Może być przeprowadzona jako remont, gdy swoim zasięgiem obejmuje wyłącznie warstwę ścieralną, lub jako przebudowa jeżeli wymienia się warstwy leżące poniżej. Proces technologiczny obejmuje dwa zasadnicze etapy:

- 1) frezowanie i przygotowanie podłoża;
- 2) rozłożenie nowej warstwy i jej zagęszczenie.

Do wykonania tego rodzaju zakresu prac wykorzystywane są: frezarki, rozkładarki oraz pojazdy samowyladowcze, które dowożą mieszankę mineralno-asfaltową i walce do zagęszczania ułożonej warstwy.

Whitetopping (z ang. „białe pokrycie”) to rozwiązanie polegające na przykryciu zużytej nawierzchni asfaltowej lub uszkodzonej nawierzchni betonowej warstwą z betonu cementowego. Początki tej metody sięgają roku 1918, gdy w USA wykonano wiele nakładek betonowych na nawierzchniach autostrad, dróg startowych, ulic i parkingów. Mimo prawie stuletniej historii na świecie, w Polsce jest stosowana od stosunkowo niedawna. Zebrane przez Amerykanów doświadczenia świadczą o dłu-

gim okresie eksploatacji, niskich kosztach utrzymania i wysokim stopniu bezpieczeństwa dla ruchu samochodowego tego typu nawierzchni.

Do wykonania nakładki typu *whitetopping* stosuje się płyty betonowe niezbrojone, zbrojone oraz o ciągłym zbrojeniu. Wymiarowanie nakładki można przeprowadzić za pomocą metody *AASHTO*. Zasadniczym elementem wymiarowania jest ustalenie nośności istniejącej konstrukcji na podstawie badań nośności ugięciomierzem *FWD*. *Whitetopping* dzieli się w zależności od grubości nakładki na „konwencjonalny” (*conventional*), cienki (*thin whitetopping, TWT*) i ultracienki (*ultra-thin whitetopping, UTW*).

Założenia i wyniki analizy techniczno-ekonomicznej

W celu obiektywnego i precyzyjnego porównania technologii przyjęto cztery główne oraz trzy dodatkowe kryteria oceny. Kryteria główne, które mają nadrzędne znaczenie to: koszt wykonania (w przeliczeniu na 1 m² nawierzchni na drodze o kategorii ruchu KR6), koszt utrzymania w okresie eksploatacji wynoszącym 30 lat, trwałość, czas realizacji (ustalony na podstawie obliczeń czasu trwania robót na identycznym dla każdej technologii teoretycznym odcinku drogi). Jako kryteria dodatkowe przyjęto: ograniczenia stosowania, utrudnienia w ruchu oraz wpływ na środowisko naturalne. Każdemu z kryteriów przypisano wagę adekwatną do jego istotności, dzięki czemu uzyskane w poszczególnych kryteriach oceny można było zagregować i porównać. Oceny w kryteriach głównych przyznawano na podstawie wyników każdej technologii, które potem zostały przeliczone na punkty w skali od 1 do 10.

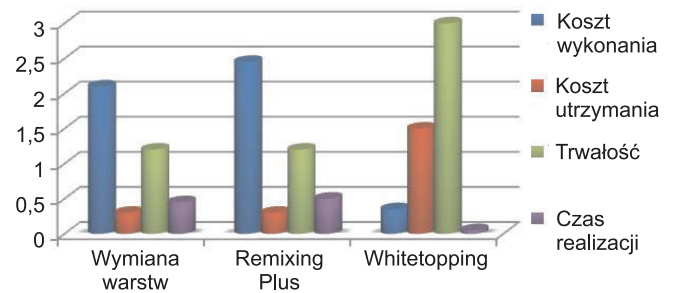
Tabela 1. Kryteria główne – wyniki analizy

Technologia	Wymiana warstw		Remixing Plus		Whitetopping	
	Wynik	Punk-tacja	Wynik	Punk-tacja	Wynik	Punk-tacja
Koszt wykonania [PLN]	60,34	6	45,89	7	145,59	1
Koszt utrzymania [PLN]	659,30	1	630,04	1	389,92	5
Trwałość [lata]	10	4	10	4	30	10
Czas realizacji [dni]	2	9	1	10	12	1

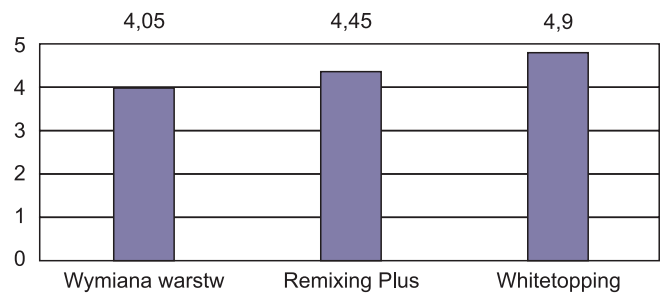
Tabela 2. Procentowe wagi kryteriów głównych

Kryterium	Waga kryterium [%]
Koszt wykonania	35
Koszt utrzymania	30
Trwałość	30
Czas realizacji	5

Ostatecznie oceny w poszczególnych kryteriach zostały zagregowane w taki sposób, aby możliwe było porównanie ze sobą poszczególnych technologii.



Rys. 5. Zestawienie ocen dla kryteriów głównych



Rys. 6. Kryteria główne – zestawienie ocen sumarycznych

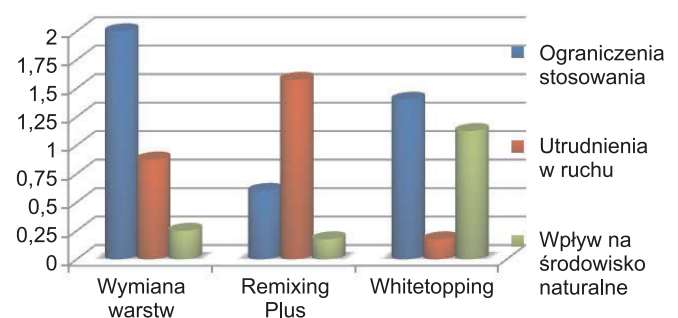
Z danych zamieszczonych na rysunku 6 przedstawiających zestawienie wyników analizy dotyczących kryteriów głównych wynika, że optymalną w przypadku założonych warunków okazała się technologia *whitetopping*. Identyczną procedurę przeprowadzono dla kryteriów dodatkowych, z tą różnicą, że punkty były przyznawane na podstawie bezpośredniej konfrontacji wad i zalet każdej technologii z pozostałymi.

Tabela 3. Kryteria dodatkowe – wyniki analizy

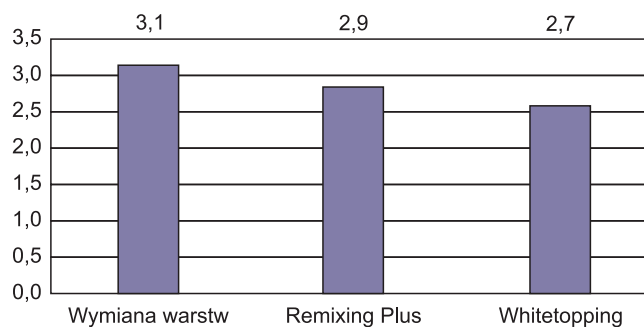
Technologia	Wymiana warstw	Remixing plus	White-topping
Ograniczenia stosowania	10	3	7
Utrudnienia w ruchu	5	9	1
Wpływ na środowisko naturalne	2	6	9

Tabela 4. Procentowe wagi kryteriów dodatkowych

Kryterium	Waga kryterium [%]
Ograniczenia stosowania	40
Utrudnienia w ruchu	35
Wpływ na środowisko naturalne	25



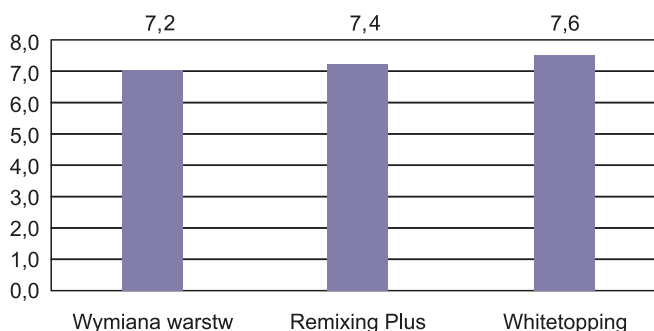
Rys. 7. Zestawienie ocen kryteriów dodatkowych



Rys. 8. Kryteria dodatkowe – ocena sumaryczna

W celu łącznego zestawienia wyników analizy dla kryteriów głównych i dodatkowych, uzyskane oceny w kryteriach dodatkowych zostały zmniejszone o połowę z uwagi na nadmierne znaczenie kryteriów głównych.

Finalne zestawienie uwzględniające oceny w kryteriach głównych i dodatkowych zostało przedstawione na wykresie poniżej.



Rys. 9. Końcowe wyniki analizy

Podsumowanie

Najbardziej korzystną technologią remontu warstwy ścieralnej nawierzchni asfaltowej, przy założonych warunkach, okazała się metoda przykrycia warstwą betonową, tj. *whitetopping*. W trakcie wyboru wariantu, każda z technologii została gruntownie przeanalizowana, wskazane zostały zalety, wady oraz cechy charakterystyczne istotne z punktu widzenia użytkowników, wykonawców i zarządców dróg.

Podsumowując zaprezentowane rozważania na temat remontu asfaltowej warstwy ścieralnej, wynika z nich kilka szczegółowych wniosków:

1. Należy przywiązywać dużą wagę do warstwy ścieralnej już na etapie projektowania konstrukcji nawierzchni; przyjmowane grubości i rodzaje mieszanek muszą zapewniać odpowiednią trwałość warstwy w przypadku zakładanego natężenia ruchu i jego struktury rodzajowej (w szczególności udział procentowy w ruchu pojazdów ciężarowych).
2. Remonty nawierzchni powinny prowadzić do maksymalnego wydłużenia trwałości istniejącej konstrukcji, muszą być starannie zaplanowane przy wykorzystaniu wyników badań diagnostycznych a ponadto przeprowadzane w spo-

sób zapewniający najdłuższą żywotność; powinny być wykonywane w jak najkrótszym czasie i przy jak najmniejszych utrudnieniach dla ruchu pojazdów.

3. Ocena pozostającej trwałości zmęczeniowej istniejącej nawierzchni musi być jak najbardziej wiarygodna, ponieważ jest to warunek efektywności technicznej i ekonomicznej remontów, należy ponadto rozważyć możliwość opracowania nowych kryteriów aktualizacji względnie wypracowania nowych kryteriów zmęczeniowych w dostosowaniu do obecnie występujących warunków ruchowych panujących na drogach krajowych.
 4. Powinno się dążyć do zminimalizowania ilości destruktu powstającego w trakcie remontów i ich negatywnego wpływu na środowisko naturalne, ponadto należy zwiększać ilości materiałów poddawanych recyklingowi i poszukiwać możliwości wykorzystania nowych rodzajów materiałów „odpadowych” w drogownictwie.
 5. Decydujący wpływ na wynik dokonanej analizy miało kryterium trwałości, ponieważ pomimo wyższych kosztów wykonania w perspektywie 30 lat *whitetopping* okazał się znacznie korzystniejszy w odniesieniu do dwóch analizowanych rozwiązań, dzięki większej trwałości i niższym kosztom utrzymania. Należy jednak brać pod uwagę fakt, że wybór technologii remontu w przypadku konkretnej drogi zależy od wielu czynników, technologie *remixing plus* i *wymiana warstwy* są w krótszej perspektywie czasu np. 10, 20 lat bardziej korzystne.
 6. Efektywność techniczno-ekonomiczna remontu zależy w głównej mierze od analiz przeprowadzanych przed samym zabiegiem. Poza określeniem stanu istniejącego należy ustalić obciążenie danej drogi i jej funkcję w odpowiedniej perspektywie czasowej, uwzględniając przy tym rozwój sieci drogowej i obszaru, przez który dana droga przebiega, ponieważ obciążenie ruchem na danym odcinku może się w ciągu kolejnych dziesięcioleci istotnie zmienić.
 7. *Remixing* i *remixing plus* jako technologie umożliwiające pełne wykorzystanie zdegradowanej warstwy ścieralnej powinny być stosowane znacznie częściej, oczywiście tam gdzie jest to możliwe i uzasadnione ekonomicznie.
 8. Katalog przebudów i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych powinien uwzględniać technologię *whitetoppingu* jako sposobu remontu nawierzchni asfaltowych.
 9. Należy przeanalizować możliwość zastosowania technologii: *thin whitetopping (TWT)* i *ultra thin-whitetopping (UTW)*, na drogach krajowych, oraz szczegółowo określić procedury projektowania, wymagania i zakres stosowania dla tego typu nakładek.
- Remonty nawierzchni dróg są aktualnie w Polsce istotnym problemem. Użytkownicy zarzucają zarządcom dróg niewykonywanie remontów w sytuacji występujących uszkodzeń. Krytyce podlegają również wykonawcy robót, z powodu tempa prac, ograniczeń w ruchu oraz jakości nawierzchni po realizacji zabiegów. Należy podjąć działania, aby tego rodzaju sytuację zmienić, ponieważ remonty są równie ważne, tak jak budowa nowych odcinków dróg. Należy przy tym szczególnie uwagę zwrócić na technologię *whitetopping plus*, mają one wiele niezaprzeczalnych zalet, a ich szersze zastosowanie może przynieść wiele korzyści.

(Dokończenie artykułu na stronie 418)