
Biuro Konsultingowo-Inżynierskie

Piotr Jaskuła

80-041 Gdańsk, ul. Uranowa 8A/3, piotr.jaskula@gmail.com, tel. 0603764669

**PRZEBUDOWA
DROGI WOJEWÓDZKIEJ NR 801
Odcinek od km 40+850 do km 47+013**

**TECHNOLOGIA PRZEBUDOWY
KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI Z BETONU CEMENTOWEGO**

wersja 08.12.2015

Opracował:

dr inż. Piotr Jaskuła

Gdańsk, grudzień 2015

**PRZEBUDOWA
DROGI WOJEWÓDZKIEJ NR 801
Odcinek od km 40+850 do km 47+013
TECHNOLOGIA PRZEBUDOWY
KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI Z BETONU CEMENTOWEGO**

SPIS TREŚCI

1.	PODSTAWA OPRACOWANIA	3
2.	CEL I ZAKRES.....	3
3.	DANE WYJŚCIOWE.....	3
4.	STAN ISTNIEJĄCY NAWIERZCHNI.....	4
4.1.	OCENA WIZUALNA STANU NAWIERZCHNI	4
4.2.	UKŁAD I GRUBOŚCI WARSTW KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI	4
4.3.	WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE PRÓBEK Z BETONU CEMENTOWEGO	5
4.4.	PODŁOŻE GRUNTOWE	6
4.5.	WNIOSKI Z OCENY STANU ISTNIEJĄCEGO	7
5.	RUCH OBLICZENIOWY	7
6.	TECHNOLOGIA PRZEBUDOWY KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI.....	7
6.1.	OPIS OGÓLNY WYBRANEJ TECHNOLOGII PRZEBUDOWY ISTNIEJĄCEJ NAWIERZCHNI	7
6.2.	WYMAGANY SPRZĘT	9
6.3.	ZALECENIA TECHNOLOGICZNE.....	10
7.	OBLICZENIA GRUBOŚCI NAKŁADKI ASFALTOWEJ NA ROZKRUSZONEJ NAWIERZCHNI (PO RUBBLIZINGU)	12
7.1.	PODSTAWY TEORETYCZNE	12
7.2.	OBCIĄŻENIE	14
7.3.	PARAMETRY MATERIAŁOWE WARSTW.....	14
7.4.	WYMAGANA GRUBOŚĆ WARSTW ASFALTOWYCH	15
8.	PRZYJĘTE ROZWIĄZANIE KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI	17
8.1.	GRUBOŚCI NA TRASIE GŁÓWNEJ	17
8.1.	WARUNEK MROZOODPORNOŚCI.....	19
8.2.	WYRÓWNIANIA	19
8.3.	POSZERZENIA JEZDNI.....	20
9.	WYMAGANIA MATERIAŁOWE I TECHNOLOGICZNE	22
9.1.	WARSTWA ULEPSZONEGO PODŁOŻA Z GRUNTU STABILIZOWANEGO SPOIWEM HYDRAULICZNYM.....	22
9.2.	WARSTWA ODSĄCZAJĄCA Z MIESZANKI NIEZWIĄZANEJ	23
9.3.	PODBUDOWA ZASADNICZA Z MIESZANKI NIEZWIĄZANEJ	23
9.4.	PODBUDOWA Z BETONU ASFALTOWEGO AC 22P.....	23
9.5.	WARSTWA WIĄŻĄCA/WYRÓWNAWCZA Z BETONU ASFALTOWEGO AC 16W	24
9.6.	WARSTWA ŚCIERALNA Z MASTYKSU GRYSOWEGO SMA 11	24
9.7.	POŁĄCZENIE MIĘDZYWARSTWOWE	25
10.	PODSUMOWANIE.....	26
ZAŁĄCZNIK 1 - ROZKRUSZONA NAWIERZCHNIA BETONOWA („RUBBLIZED PAVEMENT”) ...		27

**PRZEBUDOWA
DROGI WOJEWÓDZKIEJ NR 801
Odcinek od km 40+850 do km 47+013
TECHNOLOGIA PRZEBUDOWY
KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI Z BETONU CEMENTOWEGO**

1. PODSTAWA OPRACOWANIA

Opracowanie wykonano na potrzeby Mazowieckiego Zarządu Dróg Wojewódzkich w Warszawie, zarządcy drogi wojewódzkiej DW801.

2. CEL I ZAKRES

Celem opracowania jest projekt przebudowy konstrukcji drogi wojewódzkiej nr 801 na odcinku od km 40+850 do km 47+013 z wykorzystaniem technologii rubblizingu tj. rozkruszania na miejscu istniejącej nawierzchni z betonu cementowego. Projekt przebudowy konstrukcji DW801 opracowano na podstawie analizy wyników badań terenowych oraz laboratoryjnych.

Opracowanie zawiera:

- ocenę i analizę stanu istniejącej konstrukcji nawierzchni,
- analizę odwiertów istniejącej konstrukcji nawierzchni wraz z podłożem gruntowym,
- analizę wyników badań wytrzymałości betonu na ściskanie na próbkach rdzeniowych,
- określenie ruchu obliczeniowego,
- przyjęcie technologii przebudowy,
- obliczenie metodami mechanistycznymi trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni po wykonaniu przewidzianej przebudowy jezdni,
- skrócone zalecenia technologiczne i materiałowe,
- specyfikacje techniczne, dotyczące rubblizingu tj. rozkruszania na miejscu istniejącej nawierzchni betonowej.

3. DANE WYJŚCIOWE

W opracowaniu wykorzystano następujące materiały i dokumenty techniczne:

- [1] Raport z badań: Określenie i pomiar warstw konstrukcji oraz ocena rodzaju i stanu gruntów, Laboratorium drogowe Wojciech Bogacki, Tuszyn, 2014
- [2] Raport z badań: Badanie wytrzymałości betonu na ściskanie na próbkach rdzeniowych, Laboratorium drogowe Wojciech Bogacki, Tuszyn, czerwiec 2014
- [3] Załącznik do Zarządzenia nr 31 GDDKiA z 16.06.2014, Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Politechnika Gdańska, 2014.
- [4] Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, GDDP, Warszawa 2001.
- [5] Wymagania Techniczne. Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Mieszanki mineralno-asfaltowe, WT-2, część 1, 2014.
- [6] 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. Nr 43, poz. 430).

- [7] Judycki J., Jaskuła P., Pszczoła M., Ryś D., Jaczewski M., Alenowicz J., Dołycki B., Stiens M., Analizy i projektowanie konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2014, ISBN 978-83-206-1928-7.
- [8] Wymagania Techniczne. Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utwaleń na drogach krajowych. WT-1 2014.
- [9] Asphalt Institute, "Asphalt overlays for highway and street rehabilitation", Asphalt Institute, USA, 1983
- [10] Transportation Research Board "Rubblization of Portland Cement Concrete Pavements", Transportation Research Board, Washington, 2006
- [11] Thompson M.R., Hot-mix asphalt overlay design concepts for rubblized Portland cement concrete pavements, TRR 1684, 1999
- [12] Jaskuła P., Judycki J., Projektowanie i technologia przebudowy nawierzchni betonowej z zastosowaniem technologii "rubblizingu", II Międzynarodowa Konferencja Drogi Przyjazne Środowisku ENVIROAD 2009 Warszawa

4. STAN ISTNIEJĄCY NAWIERZCHNI

4.1. Ocena wizualna stanu nawierzchni

Na podstawie oceny wizualnej odcinka DW801 z wykorzystaniem zapisu cyfrowego Google Street View z lipca 2012 r. stwierdzono, że nawierzchnia jest w złym stanie technicznym. Na większości odcinka zaobserwowano brak utwardzonego podłoża. Zastoiska wody wzdłuż krawędzi jezdni świadczą o niesprawnie działającym odwodnieniu nawierzchni. Na powierzchni płyt betonowych widoczne miejscowe naprawy cząstkowe z mieszanki mineralno-asfaltowej lub szczątkowe powierzchniowe utwalenie. Powierzchniowe utwalenie na przeważającej części zostało wytarte poprzez odbywający się ruch. Prześwitują płyty betonowe. Na warstwie z mieszanki mineralno-asfaltowej występują zarówno liczne spękania poprzeczne, odbite od dolnej warstwy sztywnej jak i spękania podłużne. W licznych wybojach zalega woda. W wielu miejscach stwierdzono zapadnięcie nawierzchni w śladzie prawego koła połączone z siatką spękań zmęczeniowych.

Na odcinkach bez wierzchniej warstwy z mieszanki mineralno-asfaltowej widoczne pęknięcia płyt betonowych zarówno w kierunku podłużnym jak i poprzecznym. Liczniejsze spękania i uszkodzenia występują przy krawędzi płyt, są wykruszenia w obrębie dylatacji. Braki masy zalewowej w dylatacjach. Zauważono również odpryski zaczynu cementowego z powierzchni płyt. Zły stan nawierzchni betonowej może być poważnym źródłem hałasu.

Biorąc pod uwagę stan istniejący nawierzchni, decyzja dotycząca planowanej przebudowy jest decyzją słuszną.

4.2. Układ i grubości warstw konstrukcji nawierzchni

Analizę istniejącej konstrukcji nawierzchni wraz z grubościami poszczególnych warstw przeprowadzono na podstawie raportu z badań [1]. Na odcinku drogi DW801 od km 40+850 do km 47+013 wykonano 6 odwiertów w konstrukcji nawierzchni wraz z rozpoznaniem podłoża gruntowego do 2 m. Zestawienie odwiertów przedstawiono w Tablicy 1.

Tablica 1. Zestawienie odwiertów wykonanych w nawierzchni DW801

Istniejąca konstrukcja nawierzchni			
nr odwiertu	km	w-wy asfaltowe	plyta betonowa
		grubość	grubość
542/14-1	40+864	-	21 cm
542/14-2	42+700	5 cm	19 cm
542/14-3	44+700	-	21 cm
542/14-4	45+800	2 cm	19 cm
542/14-5	46+200	-	19 cm
542/14-6	46+990	-	19 cm

Konstrukcja nawierzchni DW801 na odcinku od km 40+850 do km 47+013 składa się z płyty betonowej o grubości od 19 do 21 cm, ułożonej bezpośrednio na podłożu gruntowym, a właściwie na podsypce piaskowej. Brak jest podbudowy drogowej. W dwóch lokalizacjach (km 42+700 oraz 45+800) stwierdzono przykrycie płyty betonowej cienką warstwą z mieszanki mineralno-asfaltowej, która wynika z wykonania w w/w lokalizacjach remontu cząstkowego nawierzchni (5 cm mieszanki mineralno-asfaltowej) lub powierzchniowego utrwalenia (2 cm).

4.3. Wytrzymałość na ścislenie próbek z betonu cementowego

Wytrzymałość na ścislenie betonu cementowego określono na podstawie [2]. Zestawienie uzyskanych wytrzymałości betonu cementowego z DW801 od km 40+850 do km 47+013 przedstawiono w Tablicy 2.

Tablica 2. Zestawienie wyników wytrzymałości na ścislenie betonu cementowego

Nr odwiertu	Pikietaż km	Wytrzymałość na ścislenie
542/14-1	40+864	38,3 MPa
542/14-2	42+700	próbka uległa zniszczeniu podczas wiercenia
542/14-3	44+700	48,3 MPa
542/14-4	45+800	43,1 MPa
542/14-5	46+200	21,7 MPa
542/14-6	46+990	24,7 MPa

Uzyskane wyniki wytrzymałości na ścislenie próbek rdzeniowych mieszczą się w przedziale od 21,7 MPa do 48,3 MPa. Można zaobserwować wyraźną różnicę pomiędzy wytrzymałością uzyskaną na końcu oraz na pozostałej części analizowanego odcinka DW801 (zaznaczono kolorem szarym w tab. 2).

Ze względu na różnice w wytrzymałości płyty betonowej na długości rozpatrywanego odcinka DW801, do dalszych analiz przyjęto podział na dwa odcinki jednorodnego:
 Odcinek I od km 40+850 (początek odcinka) do km 46+000,
 Odcinek II od km 46+000 do km 47+013 (koniec odcinka).

4.4. Podłoże gruntowe

Podłoże gruntowe dla przedmiotowego odcinka drogi DW 801 scharakteryzowano na podstawie raportu [1]. W raporcie przedstawiono 6 odwiertów geotechnicznych do głębokości 2 m od poziomu niwelety jezdni. W żadnej lokalizacji nie nawiercono wody w otworze. Dla każdego rodzaju warstwy gruntu określono w raporcie grupę nośności podłoża (patrz tab.3).

Tablica 3. Zestawienie wyników odwiertów podłoża gruntowego

Numer odwiertu	Lokalizacja odwiertu	Grubość i rodzaj podłoża gruntowego	Grupa nośności podłoża
ODWIERY W JEZDNI			
542/14-1	40+864	15 cm piasek średni	G1
		14 cm piasek gliniasty	G3
		20 cm piasek pylasty	G2
		90 cm glina pylasta	G4
		30 cm piasek drobny/ glina pylasta	G2
		10 cm glina pylasta	G4
542/14-2	42+700	16 cm piasek drobny	G1
		20 cm piasek pylasty	G1
		50 cm glina pylasta	G4
		50 cm piasek średni/glina pylasta	G1
		20 cm piasek drobny/glina pylasta	G1
		20 cm piasek drobny	G1
542/14-3	44+700	59 cm piasek drobny	G1
		30 piasek drobny	G1
		50 glina pylasta	G4
		40 piasek drobny/glina piaszczysta	G1
542/14-4	45+800	109 piasek drobny	G1
		20 piasek drobny	G1
		50 piasek drobny	G1
542/14-5	46+200	101 piasek drobny	G1
		10 piasek drobny	G1
		50 grunt organiczny	nie określono
		20 piasek drobny/glina piaszczysta	G1
542/14-6	46+990	41 piasek drobny	G1
		30 piasek średni	G1

Podłoże gruntowe na analizowanym odcinku z godnie z Katalogiem [3] i Rozporządzeniem [6] zaklasyfikowano do grupy nośności podłoża gruntowego:

- G4 od km 40+000 do km 45+500 oraz ze względu na występowanie gruntów z wyższej grupy nośności nad gruntami G4 tj. bliżej spodu konstrukcji podłoże opisano

wskaźnikiem nośności $CBR=3/5\%$, co odpowiada wtórnemu modułowi odkształcenia $E_2=35/50$ MPa,

- G1 od km 45+500 do km 47+000 oraz opisano wskaźnikiem nośności $CBR=10\%$, co odpowiada wtórnemu modułowi odkształcenia $E_2=80$ MPa.

Na etapie projektu wykonawczego należy rozpoznać zakres zalegania gruntów organicznych, odwierconych w km 46+200 i wymienić ten grunt.

4.5. Wnioski z oceny stanu istniejącego

Nawierzchnia odcinka DW801 jest w złym stanie technicznym i wymaga przebudowy. Konstrukcja na całym odcinku składa się z płyty betonowej, ułożonej bezpośrednio na podsypce piaskowej o grubości min. kilkunastu centymetrów do około 1 metra. Wytrzymałość betonu cementowego oraz warunki gruntowe są zmienne na długości odcinka. Biorąc pod uwagę wyniki wytrzymałości na ściskanie betonu cementowego (tablica 2) oraz wyniki z rozpoznania podłoża gruntowego (tablica 3) do dalszych analiz przyjęto dwa odcinki jednorodne:

Odcinek I od km 40+850 (początek odcinka) do km 45+500,

Odcinek II od km 45+500 do km 47+013 (koniec odcinka).

5. RUCH OBLICZENIOWY

Obliczenia grubości nakładki asfaltowej do uzyskania wymaganej trwałości zmęczeniowej przebudowywanej nawierzchni DW801 wykonano dla dwóch kategorii ruchu: KR3 oraz KR4. Zgodnie z Rozporządzeniem [6] dla kategorii ruchu KR3 przyjęto zakres od 500.000 do 2.500.000 osi obliczeniowych 100 kN, dla kategorii ruchu KR4 przyjęto zakres od 2.500.000 do 7.400.000 osi obliczeniowych 100 kN. Wartości przedstawiono w Tablicy 4.

Tablica 4. Ruch obliczeniowy, zgodnie z [6]

Okres obliczeniowy (lata)	Obliczeniowa ilość osi równoważnych 100 kN (mln)	Kategoria ruchu zgodnie z [6]
20	0,5 – 2,5	KR3
	2,5 – 7,4	KR4

6. TECHNOLOGIA PRZEBUDOWY KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI

6.1. Opis ogólny wybranej technologii przebudowy istniejącej nawierzchni

Na podstawie analizy wyników badań terenowych, wizji lokalnej oraz studiów literatury [9, 10, 11, 12], jako właściwą metodę przebudowy nawierzchni betonowej DW801, wybrano technologię rubblizingu, czyli rozkruszenia na miejscu starej nawierzchni z betonu cementowego i wykonanie nakładki z mieszanek mineralno-asfaltowych. Główną zaletą zaproponowanej technologii przebudowy nawierzchni z betonu cementowego jest prawie 100% wyeliminowanie spękań odbitych. Mogą one

wystąpić w innych technologiach takich jak: odprężenie płyt, zastosowanie warstw pośrednich itp., natomiast przy technologii nie wystąpią.

W wybranej technologii w maksymalnym stopniu zostają usunięte przyczyny uszkodzeń nawierzchni betonowych takie jak: za niska nośność nawierzchni, nie w pełni sprawny system odwodnienia konstrukcji, wyczerpana trwałość nawierzchni. Zostają usunięte czynniki, które mogą mieć wpływ w przyszłości na prace konstrukcji nawierzchni np. połamane, popękane i klawiszujące płyty betonowe nawierzchni. Poprawnie wykonany proces pozwoli zmniejszyć koszty, szczególnie te związane z potrzebą zakupu i dowozu kruszywa do podbudowy (w przypadku całkowitej wymiany nawierzchni), czy też z wywozem i kruszeniem obecnej nawierzchni poza placem budowy w przypadku recyklingu.

Rubblizingu nie można stosować na słabych podłożach, ze względu na duże naciski od maszyn kruszących płyty. To samo tyczy się płyt o niedużych grubościach. Problemem mogą się też okazać pobliskie zabudowania oraz w szczególności podziemne uzbrojenie terenu, dlatego technologia ta jest mało skuteczna w miastach, choć nie jest wykluczana przy zachowaniu odpowiednich warunków.

Przy *rubblizingu* zalecane jest przeprowadzenie dokładnych badań nośności gruntu oraz nawierzchni. Ważna jest też ciągła kontrola w trakcie łamania, zabezpieczanie miejsc o słabej nośności, miejsc gdzie występuje uzbrojenie ziemne oraz kontrola ewentualnego zbrojenia płyt. Do *rubblizingu* nie nadają się nawierzchnie o grubości mniejszej niż 17,5 cm na słabej podbudowie/podłożu gruntowym i o wysokiej wilgotności. Należy zwrócić uwagę na możliwość zmiany warunków gruntowych od chwili przeprowadzenia ostatnich badań.

Ze względu na występowanie stosunkowo cienkiej płyty betonowej tj. o grubości około 19 cm oraz posadowionej bezpośrednio na podłożu gruntowym (ulepszonym podłożu - podsypce piaskowej) wybrano jako jedyną możliwą technologię *rubblizingu* istniejących płyt betonowych z wykorzystaniem wielogłowicowego łamacza (*ang. Multi Head Breaker, MHB*).

Etapy technologii rozkruszania (*ang. rubblizing*) i wykonania nakładki z mieszanek mineralno-asfaltowych

1. Instalacja odwodnienia krawędziowego na minimum 14 dni wcześniej przed rozpoczęciem procesu rozkruszania w przypadku nawodnionego podłoża gruntowego.
 - i. Wariant I – instalacja drenażu z kompozytu w odległości 10 cm przy płycie betonowej,
 - ii. Wariant II – instalacja drenu francuskiego, bezpośrednio przy krawędzi płyty betonowej.
2. Wykonanie poszerzenia do poziomu istniejącej nawierzchni.
3. Usunięcie starych warstw z mieszanki mineralno-asfaltowej poprzez frezowanie, żeby nie tłumili uderzeń wielogłowicowego łamacza (*ang. Multi Head Breaker*) płyt betonowych.

4. Odcięcie piłą na pełną głębokość kruszonej sekcji, na początku i na końcu odcinka (przecięcie ewentualnego zbrojenia, dybli).
5. Wyznaczenie i rozebranie nawierzchni w miejscach przejść urządzeń podziemnych i przepustów. Wbudowanie nowych warstw wg Specyfikacji.
6. Rozkruszenie (*ang. rubblizing*) przy pomocy urządzenia wielogłowicowego łamacza (*ang. Multi Head Breaker*) płyt nawierzchni betonowej.
7. Odcięcie i usunięcie ewentualnego zbrojenia widocznego na powierzchni
8. Wałowanie (powierzchniowe walcem typu „Z” i osadzanie walcem ogumionym i gładkim stalowym 10 tonowym).
9. Usunięcie i uzupełnienie niestabilnych miejsc (miejsc o słabej nośności ocenianej wizualnie podczas wałowania).
10. Kontrola nośności aparatem FWD i dodatkowa eliminacja słabych miejsc. W razie potrzeby powierzchnie pod płytą FWD wyrównać 2 cm warstwą kruszywa grubego.
11. Wbudowanie nakładki z mieszanek mineralno-asfaltowych, w tym warstwy ścieralnej z mastyksu grysowego SMA.
 - 11.1. Po wykonaniu warstwy wyrównawczej z betonu asfaltowego na granicy poszerzenia należy się wbudować siatkę szklaną powlekaną asfaltem o szerokości min. 120 cm celem uciągnięcia konstrukcji nawierzchni.

6.2. Wymagany sprzęt

Multi-Head Breaker (łamacz wielogłowicowy) zawiera 12 młotów umieszczonych parami w dwóch rzędach, w jednym z przodu i drugim po przekątnej (z przesunięciem liniowym) z tyłu. Częstotliwość uderzeń waha się pomiędzy 30 a 35 uderzeń na minutę. Maszyna ma niecałe 2,5 metra szerokości, ale dodając dodatkowe młoty po obu stronach można uzyskać szerokości blisko 4 metrów. Młoty o szerokości 200 mm mają przyspawane do podstaw mniejsze pręty o średnicy 38 mm, skupiające siłę uderzenia. Jakość łamania można zmieniać poprzez dobór prędkości pojazdu i wysokości z jakiej opuszczane są młoty. Ciężar młotów zależy od modelu maszyny, i może być stała dla wszystkich młotów w pojeździe, bądź kombinacją dwóch wag.

Zaletą jest możliwość rozkruszenia całej szerokości pasa za jednym przejściem. Można go wykorzystywać przy otwartym ruchu na sąsiednich pasach. Wadą technologii jest konieczność użycia walca o bębnie ze wzorem „Z-kształtnym” po skończeniu procesu *rubblizingu*, którego zadaniem jest drobniejsze rozkruszenie części na powierzchni.



Rysunek 1. Multi-Head Breaker (łamacz wielogłowicowy).



Rysunek 2. Walec z bębniem o powierzchni w kształcie litery Z (zygzak)

6.3. Zalecenia technologiczne

Przygotowanie nawierzchni

Wykonać poszerzenia jezdni do poziomu istniejącej nawierzchni. Należy usunąć istniejące warstwy asfaltowe, jeśli są zbyt grube, aby nie było problemów z przenoszeniem siły uderzeń młotów. Wszelkie luźne materiały (wypełnienia szczelin, ubytki nawierzchni) powinny zostać usunięte z powierzchni. Można usunąć je po procesie *rubblizingu*, ponieważ w jego trakcie, mogą powstać nowe luźne części na powierzchni. Łaty w nawierzchni, o ile nie są to łaty betonowe lub niewielkie solidne łaty asfaltowe, należy usunąć i zastąpić lepiszczem asfaltowym bądź kruszywem. Przed *rubblizingiem* należy przeciąć wszelkie dyble i kotwy (o ile istnieją). Najlepiej przeciąć płytę na całej grubości.

Drenaż (jeżeli występuje nawodnione podłoże gruntowe)

Drenaż powinien być ułożony przed rozpoczęciem *rubblizingu*, oraz działać w jego trakcie, jeżeli podbudowa jest słaba, bądź występuje wysoki poziom wód. Drenaż ma za zadanie zbierać i usuwać wodę z rozkruszonego betonu, nawierzchni oraz podbudowy.

Uzbrojenie podziemne

Oznaczyć miejsca z uzbrojeniem podziemnym, zredukować siłę uderzeń w zaznaczonych miejscach. Ewentualnie należy rozebrać płyty z betonu cementowego i zastąpić kruszywem.

Zagęszczanie po *rubblizingu*

Celem zagęszczania jest zapewnienie dobrego klinowania się rozkruszonej nawierzchni z płyt betonowych oraz zminimalizowanie przemieszczeń rozkruszonego materiału. Do przygotowania rozkruszonego materiału pod układanie warstw asfaltowych używa się walców wibracyjnych z wzorem o kształcie litery „Z”. Jego zadaniem jest dalsze rozkruszenie betonowych kruszyw. Następnie używa się walca

gładkiego stalowego lub ogumionego. Jego zadaniem jest osadzenie pokruszonego materiału. Należy pamiętać o konieczności zmniejszenia amplitudy drgań, jeśli w danym obszarze mamy do czynienia ze słabym bądź wilgotnym podłożem. Po zagęszczeniu należy zbadać jakość otrzymanej podbudowy na przykład poprzez badanie nośności.

Kontrola jakości podbudowy po rubblizingu

Jedną z ważniejszych rzeczy przy kontroli, jest sprawdzenie frakcji otrzymanej mieszanki po rozkruszeniu. Do sprawdzenia wykopuje się odkrywki w rozkruszonej nawierzchni po pierwszym dniu rubblizingu. Odkrywki o powierzchni ok. 1 metra kwadratowego zasypuje się potem kruszywem i zagęszcza. W późniejszych etapach rubblizingu nie wykopuje się więcej takich odkrywek. Wymaga się mniejszych niż 9-calowe (230 mm) elementów na powierzchni nawierzchni i maksymalnie 12-calowych (310 mm) elementów w dolnej części płyt. Jeżeli warunki te nie zostaną spełnione ze względu występowania za słabego podłoża, Inżynier może dopuścić większe wymiary elementów.



Rysunek 3. Nawierzchnia przed zagęszczeniem po wykorzystaniu MHB



Rysunek 4. Odkrywka po pobranej próbie kruszywa, do badań uziarnienia.

Jakiegolwiek zbrojenie może zostać na swoim miejscu, o ile nie wystaje ono na powierzchnię. Wystające zbrojenie należy usunąć z powierzchni rozkruszonej warstwy.

7. OBLICZENIA GRUBOŚCI NAKŁADKI ASFALTOWEJ NA ROZKRUSZONEJ NAWIERZCHNI (PO RUBBLIZINGU)

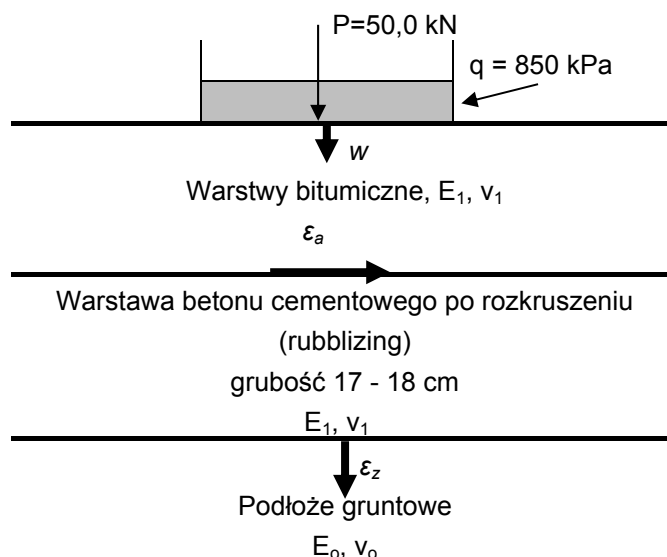
7.1. Podstawy teoretyczne

Obliczenia wymaganej grubości warstw asfaltowych, układanych na podbudowie powstałej z pokruszenia płyt betonowych wykonano przy wykorzystaniu metod mechanistycznych. Przedmiotem obliczeń było określenie potrzebnej grubości warstw asfaltowych zapewniającej nawierzchni wymaganą trwałość zmęczeniową odpowiednią dla przyjętej kategorii ruchu.

Obliczenia trwałości zmęczeniowych przeprowadzono dla jednej temperatury nawierzchni równej 13°C, odpowiadającej ekwiwalentnej temperaturze nawierzchni [3].

Schemat obliczeniowy.

Obliczenia wykonano przy założeniu, że modelem konstrukcji nawierzchni jest wielowarstwowa półprzestrzeń sprężysta. Schemat typowej konstrukcji przyjęty do obliczeń przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 5. Schemat typowej konstrukcji do obliczeń

Oznaczenia wielkości pokazanych na rysunku 5 są następujące:

- w – ugięcie,
- ϵ_a – odkształcenie rozciągające na spodzie warstw asfaltowych,
- ϵ_a – odkształcenie rozciągające na spodzie warstw asfaltowych,
- ϵ_z – odkształcenie ściskające w podłożu,
- E_i, ν_i – stałe materiałowe poszczególnych warstw,
- P – obciążenie koła, $P=50 \text{ kN}$, q – ciśnienie kontaktowe, $q = 850 \text{ kPa}$.

Kryteria zmęczenia

Do obliczeń trwałości zmęczeniowej dla konstrukcji nawierzchni podatnej DW 801 zastosowano kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych (odkształcenia rozciągające na spodzie warstw asfaltowych) oraz deformacji strukturalnych podłoża gruntowego wg kryteriów Instytutu Asfaltowego. Kryteria te opisano niżej przedstawionymi zależnościami

W przypadku spękań zmęczeniowych jako główne kryterium zmęczeniowe stosowano kryterium: spękań „z dołu do góry” warstw asfaltowych.

Trwałość ze względu na spękania warstw asfaltowych nawierzchni określono z następującej zależności:

$$N = 18,4 \times C \times (6,167 \times 10^{-5} \times \varepsilon_r^{-3,291} \times E^{-0,854})$$

gdzie:

N – trwałość zmęczeniowa warstw asfaltowych,

ε_r – odkształcenia rozciągające na spodzie warstw asfaltowych,

E – moduł sztywności warstwy asfaltowej,

C – parametr zależny od fizycznych właściwości mieszanki mma.

$$C = 10^M,$$

$$M = 4,84 \times (V_B / (V_V + V_B) - 0,69),$$

gdzie:

V_B – zawartość bitumu, % obj.,

V_m – zawartość objętościowa wolnych przestrzeni, %

Jako moment zniszczenia nawierzchni w tej metodzie przyjmuje się wystąpienie spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych na 20% powierzchni.

Trwałość ze względu na deformacje trwałe nawierzchni (do wystąpienia krytycznych kolein).

Trwałość ze względu na deformacje trwałe nawierzchni określono z następującej zależności:

$$N_{\text{def}} = (k / \varepsilon_z)^{(1/m)}$$

gdzie :

$$k = 1,05 \times 10^{-2},$$

$$m = 0,223,$$

ε_z – odkształcenie ściskające w podłożu.

Jako moment zniszczenia nawierzchni w tej metodzie przyjmuje się wystąpienie deformacji strukturalnej o głębokości 12,5 mm.

7.2. Obciążenie

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- oś obliczeniowa 100 kN,
- ciśnienie kontaktowe 850 kPa,
- czas obciążenia 0,02 s,
- okres obliczeniowy 20 lat,
- zgodnie z pkt. 5 obliczenia wykonano dla dwóch kategorii ruchu:
 - kategorii ruchu KR3: zakres od 500.000 do 2.500.000 osi 100kN,
 - kategorii ruchu KR4: zakres od 2.500.000 do 7.400.000 osi 100kN.

7.3. Parametry materiałowe warstw

Nowe warstwy asfaltowe

Parametry mieszanek mineralno-asfaltowych przyjęte do obliczeń trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni przedstawiono w Tablicy 5.

Tablica 5. Parametry mieszanek mineralno-asfaltowych przyjęte do obliczeń konstrukcji nawierzchni

Cechy przyjęte do obliczeń konstrukcji nawierzchni	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Warstwa wyrównawcza	Warstwa podbudowy asfaltowej
		SMA11	AC 16W	
Zawartość wolnych przestrzeni	3,0	7,0		7,0
Zawartość wagowa asfaltu	6,6	4,6		4,0
Rodzaj asfaltu	PmB 45/80-65	PmB 25/55-60 lub 35/50		PmB 25/55-60 lub 35/50
Moduł sztywności, dla czasu obciążenia $t=0,02$ s [MPa] oraz $T=13^{\circ}\text{C}$	7.300	10.300		9.800
Współczynnik Poissona	0,3			

Podbudowa podatna z rozkruszonych płyt betonowych

Na podstawie przeprowadzonych studiów literatury dotyczących warstwy kruszonego betonu po rubblizingu, a także na podstawie doświadczeń własnych z innych realizowanych kontraktów, do obliczeń wymaganej nakładki z warstw asfaltowych dla konstrukcji nawierzchni DW801, dla warstwy pokruszonego betonu przyjęto moduł sprężystości E równy 500 lub 700 MPa, w zależności od odcinka oraz wytrzymałości betonu na ściskanie. Współczynnik Poissona przyjęto $\nu=0,3$.

Odcinek I od km 40+850 do km 45+500 $E_2=700$ MPa

Odcinek II od km 45+500 do km 47+013 $E_2=500$ MPa

Dodatkowo przyjęto, że grubość zagęszczonej warstwy rozkruszonego betonu cementowego będzie o ok.10% mniejsza niż średnia grubość wyjściowej płyty betonowej na odcinku.

Podłoże gruntowe pod istniejącą konstrukcją

Na podstawie rozpoznania geotechnicznego pod istniejącą nawierzchnią DW801(Raport [1]) wyodrębniono dwa odcinki jednorodne, dla których przyjęto następującą nośność podłoża:

Odcinek I od km 40+850 do km 45+500 $E_3=35/50$ MPa (obliczenia wykonano dla $E_3=35$ oraz $E_3=50$ MPa,

Odcinek II od km 45+500 do km 47+013 $E_3=80$ MPa.

7.4. Wymagana grubość warstw asfaltowych

Wymaganą grubość nakładki asfaltowej do spełnienia trwałości zmęczeniowej zgodnie z pkt.5. obliczono dla dwóch odcinków, które określono jako jednorodne, ze względu na nośność podłoża gruntowego oraz wytrzymałość na ściskanie betonu cementowego.

Odcinek I od km 40+850 do km 45+500

Odcinek II od km 45+500 do km 47+013

Wymaganą grubość nakładki określono przy następujących założeniach:

- warstwę ścieralną stanowi zawsze 4cm warstwa SMA11,
- na warstwie pokruszonego betonu (podbudowa po rubblizingu) ułożona zostanie warstwa wyrównawcza AC16W o min. grubości 4 cm,
- warstwę wyrównawczą AC16W uwzględniono w obliczeniach trwałości zmęczeniowej,
- grubość podbudowy z betonu asfaltowego AC22P podlega wymiarowaniu na odcinku I i II,
- warstwa wiążąca AC16W podlega wymiarowaniu na odcinku I i II,
- dopuszcza dla kategorii ruchu KR3 ułożenie warstwy wiążącej AC16W bezpośrednio na warstwie wyrównawczej zgodnie z obliczeniami,
- w obliczeniach przyjęto, że całkowita grubość wszystkich warstw asfaltowych wykonanych na budowie nie powinna być mniejsza od grubości projektowanej.

Schemat obliczeń wymaganej grubości wzmocnienia przedstawiono na rysunku 6.

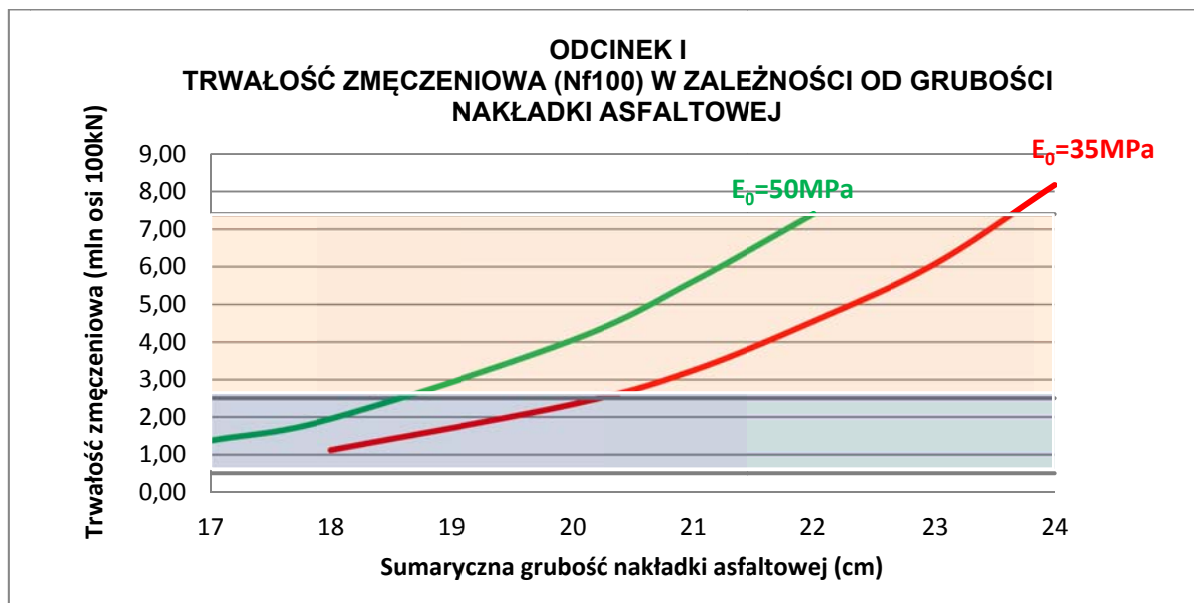
ODCINEK I	ODCINEK II
Warstwa ścieralna, mastyks grysowy (SMA11) Grubość 4 cm	
Warstwa wiążąca, beton asfaltowy (AC 16W), Grubość 5cm	Warstwa wiążąca, beton asfaltowy (AC 16W), Grubość podlegająca wymiarowaniu
Warstwa podbudowy, beton asfaltowy (AC 22P) Grubość podlegająca wymiarowaniu	Warstwa podbudowy, beton asfaltowy (AC 22P) Grubość podlegająca wymiarowaniu
Warstwa wyrównawcza, beton asfaltowy (AC 16W) Grubość minimalna 4 cm	
Płyta betonowa po rubblizingu, średnia grubość (pomniejszona o 10%) 18 cm	Płyta betonowa po rubblizingu, średnia grubość (pomniejszona o 10%) 17cm
Podłoże gruntowe 35/50 MPa	Podłoże gruntowe 80 MPa

Rysunek 6 Schemat konstrukcji do obliczeń wymaganego wzmocnienia

Wyniki trwałości zmęczeniowej i odkształceń w konstrukcji dla wybranych grubości warstwy wiążącej i podbudowy asfaltowej przedstawiono w Tab. 6 dla odcinka od km 40+850 do km 45+500 oraz w Tab. 7 dla odcinka od km 45+500 do km 47+013.

Tablica 6. Wyniki obliczeń odkształceń i trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni na odcinku I od km 40+850 do km 45+500

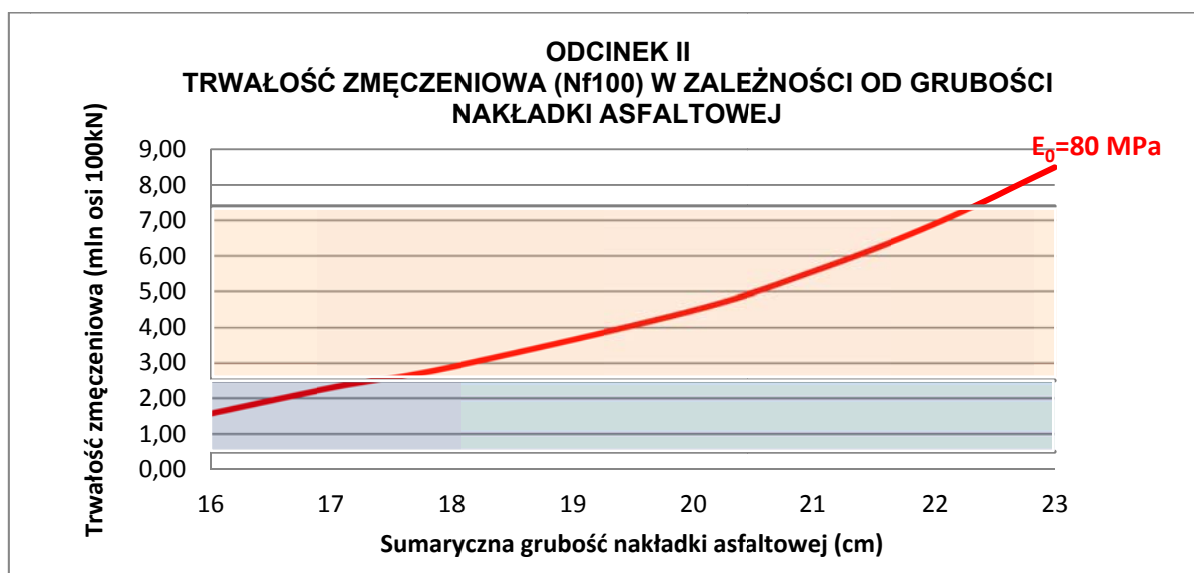
Grubość warstw asfaltowych [cm]	Odształcenie poziome na spodzie nowych warstw asfaltowych $\varepsilon_a (x 10^{-6})$	Odształcenie pionowe na górze podłoża gruntowego $\varepsilon_z (x 10^{-6})$	Trwałość zmęczeniowa, [mln osi 100 kN]		Trwałość konstrukcji nawierzchni [mln osi 100 kN] N_{naw}
			Spękania nowych warstw asfaltowych N_{asf}	Deformacje strukturalne N_{def}	
$E_3=35 \text{ MPa}$					
4+10+4	102,7	470,2	1.904.431	1.119.203	1.119.203
4+5+7+4	88,9	399,0	4.263.684	2.337.133	2.337.133
4+5+8+4	83,6	370,9	5.222.178	3.242.709	3.242.709
4+5+9+4	78,6	345,6	6.376.706	4.551.438	4.551.438
4+5+10+4	74,1	322,6	7.762.194	6.062.099	6.062.099
4+5+11+4	69,9	301,8	9.415.118	8.173.759	8.173.759
$E_3=50 \text{ MPa}$					
4+9+4	104,8	449,7	1.781.700	1.366.859	1.366.859
4+10+4	98,3	415,3	2.199.631	1.953.015	1.953.015
4+5+7+4	85,0	352,9	4.940.425	4.053.145	4.053.145
4+5+8+4	79,9	328,3	6.056.653	5.604.193	5.604.193
4+5+9+4	75,1	306,0	7.404.323	7.682.563	7.404.323



Rysunek 7. Trwałość zmęczeniowa, odcinek I

Tablica 7. Wyniki obliczeń odkształceń i trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni na odcinku II od km 45+500 do km 47+013

Grubość warstw asfaltowych [cm]	Odształcenie poziome na spodzie nowych warstw asfaltowych $\epsilon_a (x 10^{-6})$	Odształcenie pionowe na górze podłoża gruntowego $\epsilon_z (x 10^{-6})$	Trwałość zmęczeniowa, [mln osi 100 kN]		Trwałość konstrukcji nawierzchni [mln osi 100 kN] N_{naw}
			Spękania nowych warstw asfaltowych N_{asf}	Deformacje strukturalne N_{def}	
$E_3=80 \text{ MPa}$					
4+8+4	115,3	436,2	1.809.244	1.567.053	1.567.053
4+9+4	107,3	399,6	2.292.312	2.321.438	2.292.312
4+10+4	99,9	367,3	2.899.108	3.387.685	2.899.108
4+5+7+4	87,6	315,0	4.475.579	6.746.098	4.475.579
4+5+8+4	82,0	292,3	5.565.290	9.434.322	5.565.290
4+5+9+4	76,8	272,0	6.890.546	13.028.357	6.890.546
4+5+10+4	72,1	253,7	8.493.903	17.804.627	8.493.903



Rysunek 8. Trwałość zmęczeniowa, odcinek II

8. PRZYJĘTE ROZWIĄZANIE KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI

8.1. Grubości na trasie głównej

Na podstawie obliczeń mechanistycznych przyjęto rozwiązanie konstrukcji dla przebudowy nawierzchni DW801 od km 40+850 do km 47+013. Zachowano podział na dwa odcinki jednorodne:

Odcinek I od km 40+850 do km 45+500,

Odcinek II od km 45+500 do km 47+013.

Na rysunkach 9 i 10 przedstawiono propozycję konstrukcji nawierzchni dla DW801 określoną dla kategorii ruchu KR3. Na rysunkach 11 i 12 przedstawiono konstrukcję dla kategorii ruchu KR4.

ODCINEK I	od km 40+850 (początek odcinka) do km 45+500, kategoria ruchu KR3
Warstwa ścieralna, mastyks grysowy (SMA11) Grubość 4 cm	
Warstwa wiążąca, beton asfaltowy (AC 16W), Grubość 5 cm	
Warstwa podbudowy, beton asfaltowy (AC 22P) Grubość 7 cm	
Warstwa wyrównawcza, beton asfaltowy (AC 16W) Grubość minimalna 4 cm	
Płyta betonowa po rubblizingu, średnia grubość (pomniejszona o 10%) 18 cm	
Podłoże gruntowe	

Rysunek 9 Odcinek I, konstrukcja nawierzchni po przebudowie, KR3

ODCINEK II	od km 45+500 do km 47+013 (koniec odcinka), kategoria ruchu KR3
Warstwa ścieralna, mastyks grysowy (SMA11) Grubość 4 cm	
Warstwa wiążąca, beton asfaltowy (AC 16W), Grubość 9 cm	
Warstwa wyrównawcza, beton asfaltowy (AC 16W) Grubość minimalna 4 cm	
Płyta betonowa po rubblizingu, średnia grubość (pomniejszona o 10%) 17 cm	
Podłoże gruntowe	

Rysunek 10 Odcinek II, konstrukcja nawierzchni po przebudowie, KR3

ODCINEK I	od km 40+850 (początek odcinka) do km 45+500, kategoria ruchu KR4
Warstwa ścieralna, mastyks grysowy (SMA11) Grubość 4 cm	
Warstwa wiążąca, beton asfaltowy (AC 16W), Grubość 5 cm	
Warstwa podbudowy, beton asfaltowy (AC 22P) Grubość 9 cm	
Warstwa wyrównawcza, beton asfaltowy (AC 16W) Grubość minimalna 4 cm	
Płyta betonowa po rubblizingu, średnia grubość (pomniejszona o 10%) 18 cm	
Podłoże gruntowe	

Rysunek 11 Odcinek I, konstrukcja nawierzchni po przebudowie, KR4

ODCINEK II	od km 45+500 do km 47+013 (koniec odcinka), kategoria ruchu KR4
Warstwa ścieralna, mastyks grysowy (SMA11) Grubość 4 cm	
Warstwa wiążąca, beton asfaltowy (AC 16W), Grubość 5 cm	
Warstwa podbudowy, beton asfaltowy (AC 22P) Grubość 9 cm	
Warstwa wyrównawcza, beton asfaltowy (AC 16W) Grubość minimalna 4 cm	
Płyta betonowa po rubblizingu, średnia grubość (pomniejszona o 10%) 17 cm	
Podłoże gruntowe	

Rysunek 12 Odcinek II, konstrukcja nawierzchni po przebudowie, KR4

8.1. Warunek mrozoodporności

Przedmiotowy odcinek DW801 leży w strefie przemarzania gruntu o głęb. $h_z=1,0\text{m}$.

Minimalna wymagana grubość konstrukcji nawierzchni wraz z ulepszonym podłożem wg Rozporządzenia [6] do spełnienia warunku mrozoodporności wynosi 0,60 m dla KR3 oraz 0,65 m dla KR4. Wartości te odpowiadają przyjętej nośności gruntu (E_3) na odcinku I w zakresie 35/50 MPa. Dla odcinka II nie sprawdzano warunku mrozoodporności, ze względu na występowanie w podłożu gruntów niewysadzinowych. Wyniki sprawdzenia warunku mrozoodporności dla odcinka I przedstawiono w Tablicy 8.

Tablica 8. Warunek mrozoodporności konstrukcji nawierzchni

ODCINEK I							
Kategoria ruchu	km	Grubość gruntów niewysadzinowych	Grubość podbudowy po rubblizingu	Grubość nakładki asfaltowej	Suma	Wymagane [6]	Warunek
KR3	40+864	15 cm	18 cm	20 cm	53 cm	60	niespełniony
KR4				22 cm	55 cm	65	
KR3	42+700	36 cm		20 cm	74 cm	60	spełniony
KR4				22 cm	76 cm	65	
KR3	44+700	89 cm		20 cm	127 cm	60	
KR4				22 cm	129 cm	65	

Dla jednej lokalizacji km 40+864 warunek mrozoodporności nie został spełniony. Ze względu na fakt, że w żadnym z odwiertów nie nawiercono wody gruntowej oraz ze względu na brak uszkodzeń mrozowych w istniejącej konstrukcji nawierzchni dopuszczono wykonanie przebudowy według przedstawionego rozwiązania pod warunkiem dodatkowej kontroli warunków gruntowo – wodnych w okolicy km 40+864 poprzez wykonanie drenażu krawędziowego.

8.2. Wyrównania

Korekty niwelety oraz przekrojów poprzecznych mogą wymagać niekiedy znacznych wyrównań. Przy wykonywaniu wyrównań należy przestrzegać następujących zasad:

- Wyrównanie do 20 cm należy wykonać betonem asfaltowym.
- Wyrównania powyżej 20 cm należy wykonać betonem asfaltowym o grubości 12 cm oraz warstwą kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie grubości minimum 8 cm.
- Wyrównanie warstwą kruszywa łamanego musi odbywać się na całą szerokość jezdni, tak aby nie tworzyć zamkniętych mieszanek mineralno-asfaltową obszarów kruszywa, w których może gromadzić się woda.
- Należy unikać odcinków krótkich wyrównań z kruszywa. Minimalna długość odcinka z wyrównaniem kruszywa to 75 - 100 m. Warstwa kruszywa powinna być wbudowana na wyprofilowaną na zewnątrz nawierzchnię aby w warstwie kruszywa nie tworzyły się zastoiska wody.

8.3. Poszerzenia jezdni

Konstrukcję nawierzchni na przewidzianych poszerzeniach jezdni zaprojektowano przy wykorzystaniu metod mechanicznych. Zastosowano kryteria zmęczeniowe Instytutu Asfaltowego opisane w pkt. 7.1. Obciążenie nawierzchni do obliczeń trwałości zmęczeniowej przyjęto zgodnie z pkt.7.2 oraz stałe materiałowe dla nowych warstw asfaltowych i podłoża gruntowego przyjęto zgodnie z pkt. 7.3.

Podbudowa podatna

Na poszerzeniu jezdni DW801 od km 40+850 do km 47+013 przewidziano wykonanie podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem $C_{90/3}$. Dla warstwy podbudowy podatnej przyjęto moduł sprężystości E równy 400 MPa. Współczynnik Poissona przyjęto $\nu=0,3$. Należy ograniczyć zawartość pyłów w podbudowie do 8%.

8.3.1. Grubości warstw na poszerzeniu

Konstrukcję przyjętą dla poszerzenia nawierzchni DW801 przedstawiono na rysunkach od 13 do 16. Wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej oraz odkształceń w nawierzchni przedstawiono w Tablicy 10.

ODCINEK I od km 40+850 (początek odcinka) do km 45+500, kategoria ruchu KR3

JEZDNIA	POSZERZENIE
Warstwa ścieralna, mastyks grysowy (SMA11) Grubość 4 cm	
Warstwa wiążąca, beton asfaltowy (AC 16W), Grubość 5 cm	
Warstwa podbudowy, beton asfaltowy (AC 22P) Grubość 7 cm	
Warstwa wyrównawcza, beton asfaltowy (AC 16W) Grubość minimalna 4 cm	
Płyta betonowa po rublizingu, średnia grubość (pomniejszona o 10%) 18 cm	Mieszanka niezwiązana z kruszywem C 90/3 Grubość 18 cm
Podłoże gruntowe	Mieszanka niezwiązana lub grunt niewysadzinowy o CBR $\geq 35\%$, $k_{10} \geq 8\text{m/dobę}$ Grubość 20 cm
	grunt stabilizowany spoiwem C1,5/2 Grubość 20 cm

Rysunek 13 Odcinek I, konstrukcja nawierzchni po przebudowie

ODCINEK II od km 45+500 do km 47+013 (koniec odcinka), kategoria ruchu KR3
JEZDNIA **POSZERZENIE**

Warstwa ścieralna, mastyks grysowy (SMA11) Grubość 4 cm	
Warstwa wiążąca, beton asfaltowy (AC 16W), Grubość 9 cm	
Warstwa wyrównawcza, beton asfaltowy (AC 16W) Grubość minimalna 4 cm	
Płyta betonowa po rubblizingu, średnia grubość (pomniejszona o 10%) 17 cm	Mieszanka niezwiązana z kruszywem C 90/3 Grubość 20cm
Podłoże gruntowe	grunt stabilizowany spoiwem C1,5/2 ≤4,0 MPa Grubość 20 cm

Rysunek 14 Odcinek II, konstrukcja nawierzchni po przebudowie

ODCINEK I od km 40+850 (początek odcinka) do km 45+500, kategoria ruchu KR4
JEZDNIA **POSZERZENIE**

Warstwa ścieralna, mastyks grysowy (SMA11) Grubość 4 cm	
Warstwa wiążąca, beton asfaltowy (AC 16W), Grubość 5 cm	
Warstwa podbudowy, beton asfaltowy (AC 22P) Grubość 10 cm	
Warstwa wyrównawcza, beton asfaltowy (AC 16W) Grubość minimalna 4 cm	
Płyta betonowa po rubblizingu, średnia grubość (pomniejszona o 10%) 17 cm	Mieszanka niezwiązana z kruszywem C 90/3 Grubość 15 cm
Podłoże gruntowe	Mieszanka niezwiązana lub grunt niewysadzinowy o CBR ≥35%, k10≥8m/dobę Grubość 20 cm
	grunt stabilizowany spoiwem C1,5/2 ≤4,0 MPa Grubość 20 cm

Rysunek 15 Odcinek I, konstrukcja nawierzchni po przebudowie

ODCINEK II od km 45+500 do km 47+013 (koniec odcinka), kategoria ruchu KR4
JEZDNIA **POSZERZENIE**

Warstwa ścieralna, mastyks grysowy (SMA11) Grubość 4 cm	
Warstwa wiążąca, beton asfaltowy (AC 16W), Grubość 5cm	
Warstwa podbudowy, beton asfaltowy (AC 22P) Grubość 9cm	
Warstwa wyrównawcza, beton asfaltowy (AC 16W) Grubość minimalna 4 cm	
Płyta betonowa po rubblizingu, średnia grubość (pomniejszona o 10%) 17 cm	Mieszanka niezwiązana z kruszywem C 90/3 Grubość 17 cm
Podłoże gruntowe	grunt stabilizowany spoiwem C1,5/2 ≤4,0 MPa Grubość 20 cm

Rysunek 16 Odcinek II, konstrukcja nawierzchni po przebudowie

Tablica 9. Wyniki obliczeń odkształceń i trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni na poszerzeniach

Grubość warstw asfaltowych [cm]	Grubość podbudowy [cm]	Odkształcenie poziome na spodzie nowych warstw asfaltowych $\epsilon_a (x 10^{-6})$	Odkształcenie pionowe na górze podłoża gruntowego $\epsilon_z (x 10^{-6})$	Trwałość zmęczeniowa, [mln osi 100 kN]		Trwałość konstrukcji nawierzchni [mln osi 100 kN] N_{naw}
				Spękania nowych warstw asfaltowych N_{asf}	Deformacje strukturalne N_{def}	
ODCINEK I od km 40+850 do km 45+500, kategoria ruchu KR3						
4+5+7+4	18	89,6	234,2	4.150.413	25.485.246	4.150.413
ODCINEK II od km 45+500 do km 47+013 (koniec odcinka), kategoria ruchu KR3						
4+9+4	20	103,3	252,8	2.597.606	18.090.641	2.597.606
ODCINEK I od km 40+850 (początek odcinka) do km 45+500, kategoria ruchu KR4						
4+5+10+4	15	75,7	208,5	7.225.583	42.930.055	7.225.583
ODCINEK II od km 45+500 do km 47+013 (koniec odcinka), kategoria ruchu KR4						
4+5+13	17	76,7	195,5	4.987.857	57.284.653	4.987.857

Tak zaprojektowana konstrukcja poszerzenia spełnia wymagania trwałości zmęczeniowej oraz warunku mrozoodporności dla wybranych kategorii ruchu.

9. WYMAGANIA MATERIAŁOWE I TECHNOLOGICZNE

Dla zaprojektowanych warstw konstrukcji nawierzchni określono wymagania materiałowe. Wymagania dotyczą następujących warstw:

- Warstwa ulepszanego podłoża z gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym C1,5/2,
- Warstwa odsączająca,
- Podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej z kruszywa $C_{90/3}$ o $CBR > 80\%$,
- Warstwa rozkruszonego na miejscu betonu cementowego (patrz zał. 1).
- Podbudowa z betonu asfaltowego AC 22P,
- Warstwa wiążąca z betonu asfaltowego AC 16W,
- Warstwa ścierna z mastyksu grysowego SMA 11.

9.1. Warstwa ulepszanego podłoża z gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym

Warstwę ulepszanego podłoża z gruntu stabilizowanego spoiwem hydraulicznym C1,5/2 lub odpowiednik $R_m = 2,5$ MPa należy wykonać według obowiązujących norm i WT-5 2010.

9.2. Warstwa odsączająca z mieszanki niezwiązanej

Warstwa odsączająca zostanie wykonana zgodnie z WT-4 2010 z mieszanki kruszywa, o wskaźniku nośności CBR nie mniejszym niż 35% oraz współczynnika filtracji co najmniej $k=8$ m/dobę, wskaźniku piaszkowym $WP>35$.

9.3. Podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej

Warstwę z mieszanki niezwiązanej należy wykonać jako warstwę podbudowy zasadniczej dla KR6 z mieszanki kruszywa niezwiązanego $C_{90/3}$ wg wymagań technicznych WT-4 2010.

9.4. Podbudowa z betonu asfaltowego AC 22P

Warstwę podbudowy należy wykonać z betonu asfaltowego AC 22P do warstwy podbudowy według WT-2 2014. Krzywe graniczne uziarnienia warstwy podbudowy z betonu asfaltowego podano w tablicy 10.

Tablica 10 Graniczne krzywe uziarnienia betonu asfaltowego AC 22P do warstwy podbudowy, ruch KR3-4

Wymiar oczek sit # [mm]	KR3-4
Przechodzi przez:	Mieszanka mineralna AC 22 P
22,4	90 ÷ 100
16,0	65 ÷ 90
8	42 ÷ 68
2,0	15 ÷ 45
0,125	4 ÷ 12
0,063	4 ÷ 8

Należy stosować asfalt drogowy 35/50 wg PN-EN 12591 i załącznika krajowego NA. Materiały mineralne oraz wypełniacz wapienny powinny spełniać wymagania określone w WT-1 2014.

Wymagane właściwości betonu asfaltowego do warstwy podbudowy podano w tablicy 11.

Tablica 11. Wymagania wobec betonu asfaltowego do warstwy podbudowy

Lp.	Właściwości, metoda badania	Formowanie próbek	KR 3-4
1	Zawartość wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla, PN-EN 12697-8 p.4	PN-EN 13108-20, C.1.3. (2x75 uderzeń)	$V_{min4,0}$ V_{max7}
2	Odporność na deformacje trwałe, PN-EN 12697-22 metoda B w powietrzu, 10 000 cykli	PN-EN 13108-20, D.1.20. wałowanie $P_{98} \div P_{100}$	$WTS_{AIR0,3}$ $PRD_{AIR9,0}$
3	Odporność na działanie wody, PN-EN 12697-12, kondycjonowanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 25°C	PN-EN 13108-20 C.1.1. 2x35 uderzeń	$ITSR_{70}$

9.5. Warstwa wiążąca/wyrównawcza z betonu asfaltowego AC 16W

Warstwę wiążącą należy wykonać z betonu asfaltowego AC 16W jak do warstwy wiążącej dla ruchu KR3-4 według WT-2 2014. Krzywe graniczne uziarnienia warstwy wiążącej z betonu asfaltowego podano w tablicy 12.

Tablica 12. Graniczne krzywe uziarnienia betonu asfaltowego do warstwy wiążącej AC 16W, ruch KR3-4

Sito kwadratowe [mm]	Przechodzi przez sito [%]
16,0	90 ÷ 100
11,2	70 ÷ 90
8	55 ÷ 85
2,0	25 ÷ 50
0,125	4 ÷ 12
0,063	4 ÷ 10

Należy stosować asfalt drogowy 35/50 wg PN-EN 12591 i załącznika krajowego NA. Materiały mineralne oraz wypełniacz wapienny powinny spełniać wymagania określone w WT-1 2014. Wymagane właściwości betonu asfaltowego do warstwy wiążącej podano w tab. 13.

Tablica 13. Wymagania wobec betonu asfaltowego do warstwy wiążącej/wyrównawczej

Lp	Właściwości, metoda badania	Formowanie próbek	KR 3-4
1	Zawartość wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla, PN-EN 12697-8 p.4	PN-EN 13108-20, C.1.3. (2x75 uderzeń)	V_{min4} V_{max7}
2	Odporność na deformacje trwałe, PN-EN 12697-22 metoda B w powietrzu, 10 000 cykli	PN-EN 13108-20, C.1.20. wałowanie $P_{98} \div P_{100}$	$WTS_{AIR0,15}$ $PRD_{AIR 7,0}$
3	Odporność na działanie wody, PN-EN 12697-12, kondycjonowanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 25°C	PN-EN 13108-20 C.1.1. 2x35 uderzeń	$ITSR_{80}$

9.6. Warstwa ściernalna z mastyksu grysowego SMA 11

Warstwę ściernalną z mastyksu grysowego SMA 11 należy wykonać według WT-2 2014.

Tablica 14. Graniczne krzywe uziarnienie mastyksu grysowego SMA 11 do warstwy ścieralnej, ruch KR3-4

Wymiar oczek sit # [mm]	Drogi kategorii ruchu KR3 ÷ KR4
Przechodzi przez:	Mieszanka mineralna SMA 11
16	100
11,2	90 ÷ 100
8,0	50 ÷ 65
5,6	35 ÷ 45
2,0	20 ÷ 30
0,125	9 ÷ 17
0,063	8 ÷ 12
Orientacyjna zawartość środka stabilizującego, %	0,3 ÷ 1,5

Należy zastosować asfalt modyfikowany polimerem 45/80-65 wg PN-EN-14023 i załącznika krajowego NA. Należy stosować dodatek celulozowy stabilizujący mastyks grysowy (SMA). Dodatek powinien posiadać świadectwo dopuszczenia wydane przez upoważnioną jednostkę. Materiały kamienne oraz wypełniacz wapienny powinny spełniać wymagania określone w WT-1 2014. Wymagane właściwości SMA 11 podano w tab. 15.

Tablica 15. Wymagania wobec mieszanki mastyksowo-grysowej (SMA) z asfaltem modyfikowanym polimerem

lp	Właściwości, metoda badania	Formowanie próbek	Kategoria ruchu KR 3-4
1	Zawartość wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla, PN-EN 12697-8 p.4	PN-EN 13108-20, C.1.2. (2x50 uderzeń)	$V_{\min 1,5}$ $V_{\max 3,0}$
2	Odporność na deformacje trwałe, PN-EN 12697-22 metoda B w powietrzu, 10 000 cykli, w temperaturze +60°C	PN-EN 13108-20, C.1.20., wałowanie $P_{98} \div P_{100}$	$WTS_{AIR0,15}$ PRD_{AIR} Deklarowana nie więcej niż 9,0
3	Odporność na działanie wody, PN-EN 12697-12, kondycjonowanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 25°C	PN-EN 13108-20 C.1.1. 2x35 uderzeń	$ITSR_{90}$
4	Splywność lepiszcza, PN-EN 12697-18 p. 5	-	$D_{0,3}$

9.7. Połączenie międzywarstwowe

Powierzchnię warstw asfaltowych należy skropić przed wykonaniem następnej warstwy kationową emulsją asfaltową C60B3ZM zgodną z PN-EN 13808 i załącznika krajowego NA. Po wytrąceniu asfalt nie może być miękniejszy niż 100 j.pen.

W przypadku warstw asfaltowych zakłada się pełne połączenie warstw, bez którego nie zostaną osiągnięte trwałości przewidziane dla obliczonych konstrukcji nawierzchni. Pełna szczepność jest zapewniona, gdy wytrzymałość na ścinanie oznaczona w aparacie Leutnera, na próbkach o średnicy 150 mm w temperaturze +20°C przy obciążeniu z prędkością 50 mm/min, wynosi nie mniej niż:

- 1,0 MPa dla połączeń warstwa ścieralna–warstwa wiążąca,
- 0,7 MPa dla połączeń warstwa wiążąca–podbudowa asfaltowa.

10. PODSUMOWANIE

Zaprojektowane konstrukcje nawierzchni dla drogi wojewódzkiej nr 801 przeniosą przewidywane obciążenie ruchem w 20 letnim okresie eksploatacji pod warunkiem zachowania reżimów technologicznych oraz odpowiednich zabiegów utrzymaniowych.

W trakcie eksploatacji nawierzchni zaleca się prowadzenie monitoringu ruchu oraz okresowe pomiary nośności nawierzchni, aby w odpowiednim czasie przedsięwziąć decyzję o ewentualnym wzmocnieniu, jeżeli okaże się, że ruch wzrósł bardziej niż przewidywano, a trwałość nawierzchni jest niewystarczająca.

Podczas procesu przebudowy nawierzchni drogi krajowej nr 801 zaleca się prowadzenie pomiarów ugięć aparatem FWD na warstwie rozkruszonych płyt betonowych, jak i po wykonaniu nakładki asfaltowej. Wyniki pomiarów posłużą do oceny jakości wykonania.

ZAŁĄCZNIK 1 - ROZKRUSZONA NAWIERZCHNIA BETONOWA („RUBBLIZED PAVEMENT”)

SZCZEGÓŁOWA SPECYFIKACJA TECHNICZNA
ROZKRUSZONA NAWIERZCHNIA BETONOWA
(„RUBBLIZED PAVEMENT”)

1. Opis

1. Niniejsza Specyfikacja opisuje rozkruszanie na miejscu i zagęszczanie istniejącej nawierzchni betonowej w celu utworzenia stabilnej podbudowy pod nowe warstwy asfaltowe.
2. Niniejsza Specyfikacja wzorowana jest na opracowaniach amerykańskich [1,2].

2. Materiały

1. W razie konieczności wyrównania i uzupełniania braków w pokruszonej nawierzchni betonowej należy zastosować mieszankę niezwiązaną 0/31,5 do podbudowy zasadniczej KR3-KR6 zgodnej z WT-4 2010.
2. W miejscach rozbiórek podłoże gruntowe pod nawierzchnią należy zastąpić mieszanką niezwiązaną do ulepszanego podłoża KR3-KR6 zgodnej z WT-4 2010.
3. W miejscach rozbiórek, jeżeli wystąpią miękkie grunty plastyczne to należy je zastąpić gruntem stabilizowanym cementem o wytrzymałości 28 dniowej 3 do 5 MPa, PN-S-96012 „Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem”.

3. Wykonanie robót

Dane ogólne

Maszyny

1. Należy zastosować samojezdny wielogłowicowy łamacz do nawierzchni („Multi Head Breaker MHB”). Wielogłowicowy łamacz do nawierzchni („Multi Head Breaker MHB”) jest samojezdną jednostką, na kołach ogumionych, która wyposażona jest w pary młotów. Połowa par młotów umieszczona jest w rzędzie przednim i druga połowa w rzędzie tylnym, przesunięta po przekątnej względem rzędu pierwszego. Każda para młotów jest doczepiona do cylindra hydraulicznego, który działa jako niezależna jednostka, wywołując zmienną energię zależnie od wybranej wysokości spadania młota i liczby cykli od 30 do 35 uderzeń na minutę. Maszyna o szerokości 2,44 m wyposażona jest w 12 młotów, każdy po 200 mm szerokości. Dodatkowe skrzydła, każde wyposażone w dwa młoty o szerokości 300 do 381 mm mogą być dodane po obu stronach maszyny, co pozwala na uzyskanie szerokości kruszenia do 3,95 m przy jednym przejściu. Energia kruszenia przekazywana jest na nawierzchnię przez pręty o szerokości 38 mm. Szerokość kruszenia może być zmienna od 0,91 m i może być zwiększana skokowo do 3,95 m. Operator może regulować prędkość ruchu maszyny i wysokość spadania każdej z par młotów, aby uzyskać wymagane optymalne pokruszenie nawierzchni. Powyższe jest opisem maszyny MHD używanej obecnie w operacji kruszenia. Dopuszcza się zmiany wymiarów podanych wyżej detali opisujących maszynę, ale należy zachować zasadę jej działania oraz kruszenie całej wymaganej szerokości pasa w jednym przejściu maszyny, z doprowadzeniem do uziarnienia pokruszonej nawierzchni jak podano niżej.
2. Należy zastosować walec 9 ton lub cięższy wyposażony w kratę typu „Z” do wstępnego wałowania, w celu pokruszenia wydłużonych ziaren. Prędkość wałowania 2 m/s lub wolniej.
3. Należy zastosować walce wibracyjne w celu zagęszczenia pokruszonej nawierzchni. Walce powinny pracować z amplitudą i częstotliwością zaaprobowaną przez Inżyniera.

Inne wymagania ogólne

1. Przed kruszeniem należy naciąć na pełną głębokość szczeliny w nawierzchni betonowej i przeciąć dyble stalowe, aby odizolować kruszoną powierzchnię od sąsiednich. Nie można uszkodzić przylegających nawierzchni w czasie kruszenia. W razie uszkodzenia nawierzchnie te powinny być naprawione według wskazań Inżyniera.
2. Przed kruszeniem należy wyznaczyć przejścia urządzeń podziemnych, zwłaszcza gazu, pod nawierzchnią przeznaczoną do kruszenia i miejsca przepustów. W tych miejscach płyty betonowe należy rozebrać i usunąć na szerokości określonej przez Inżyniera. Należy usunąć grunt podłoża pod płytami na głębokość 25 cm. Grunt podłoża należy zastąpić warstwą 25 cm kruszywa naturalnego stabilizowanego mechanicznie o właściwościach jak w punkcie 2 ust. 2.

Na tym kruszywie należy wbudować warstwę kruszywa łamanego, o właściwościach jak w punkcie 2 ust. 1, do poziomu pokruszonych płyt.

3. Jeżeli grunt podłoża w miejscu rozbiórki jest miękki i plastyczny to należy wybrać ten grunt na głębokość co najmniej 50 cm od spodu nawierzchni betonowej. W dolnej warstwie należy wbudować grunt stabilizowany cementem, jak podano w punkcie 2 ust. 3, o grubości 25 cm, w górnej warstwie kruszywo naturalne o grubości 25 cm i na niej kruszywo łamane.
4. Przed kruszeniem należy rozebrać płyty betonowe przed mostami i wiaduktami na szerokości wskazanej przez Inżyniera. Po rozbiórce należy postąpić jak wskazano wyżej w ust. 2.
5. W czasie robót należy skrapiać nawierzchnię, aby zapobiec nadmiernemu pyleniu.
6. Przed przystąpieniem do kruszenia płyt należy usunąć wszelkie istniejące warstwy asfaltowe (bitumiczne) wbudowane na płytach betonowych metodą frezowania.

4. Kruszenie płyt

1. Należy pokruszyć beton w sposób jednorodny na całej szerokości jezdni, w ziarna, które mają wymiary nie większe od 310 mm. Jednocześnie co najmniej 75% ziaren, co Inżynier określi wizualnie, musi mieć wymiary nie większe niż następujące:
 - w dolnej połowie płyty 230 mm,
 - w górnej połowie płyty 75 mm,
 - na powierzchni płyty 50 mm.
2. Inżynier może zalecić lub zaakceptować większe wymiary ziaren.
3. Należy określić wizualnie wymiary ziaren po wykonaniu dwóch otworów próbnych w pokruszonej nawierzchni, każdy o powierzchni około 1 m² na początku pierwszego dnia roboczego. Następnie należy wykonywać jeden otwór próbny na każde 1,5 km, o ile Inżynier nie zaleci inaczej. Należy wypełnić otwory kruszywem łamanym i je zagęścić.
4. Nie można dopuścić do uszkodzeń rur podziemnych, zaworów, studni kontrolnych i innych urządzeń. Wykonawca powinien zapobiec uszkodzeniom przez wykonanie jednej z następujących czynności:
 - Zastosowanie zaaprobowanej przez Inżyniera metody działania.
 - Usunięcia nawierzchni wokół urządzeń i nad rurami, wypełnienie kruszywem i zagęszczenie, jak podano w punkcie 3.1.2 ust. 1, 2 i 3.
5. Należy naprawić wszelkie uszkodzenia rur podziemnych, zaworów, studni rewizyjnych i innych urządzeń o ile powstaną w czasie robót, według wskazań Inżyniera.
6. Należy usunąć stal zbrojeniową wystającą ponad powierzchnię przez jej ucięcie poniżej powierzchni. Nie należy usuwać stali zbrojeniowej, która nie wystaje ponad powierzchnię.

5. Zagęszczanie

1. Po kruszeniu należy zagęścić pokruszoną nawierzchnię przez zastosowanie walca z kratą typu „Z”, w celu pokruszenia ziaren wydłużonych betonu. Minimum dwa przejścia.
2. Następnie należy zagęścić warstwę czterema przejściami walca wibracyjnego. Przez jedno przejście rozumie się przejście tam i z powrotem. Inżynier może określić wymaganą inną liczbę przejść, aby osiągnąć wymagane zagęszczenie i stabilność.
3. Nie należy skrapiać wodą zagęszczanej warstwy, z wyjątkiem lekkiego skrapiania w razie intensywnego pylenia.
4. Należy usunąć wystające z zagęszczonej powierzchni elementy łat asfaltowych, wypełnienia szczelin, materiału ze szczelin rozszerzania i innych podobnych materiałów. Należy także usunąć pokruszone elementy nawierzchni większe niż 150 mm, które są luźne, albo wystają ponad zagęszczoną powierzchnię powyżej 25 mm.
5. Należy wypełnić dziury i lokalne zagłębienia, głębsze niż 50 mm kruszywem łamanym, jak podano w punkcie 2 ust. 1 i zagęścić według zalecenia Inżyniera.
6. Jeżeli w czasie wałowania pokruszonej nawierzchni wystąpią objawy braku nośności podłoża, w postaci falowania warstwy pod walcem i braku efektu zagęszczenia to Wykonawca na takim odcinku powinien naprawić słabe podłoże według jednej z następujących metod:
 - Należy zdjąć warstwę pokruszonej nawierzchni, wybrać grunt pod nawierzchnią na głębokość, co najmniej 50 cm. W razie potrzeby wykonać dodatkowy drenaż. W dolnej warstwie należy wbudować grunt stabilizowany cementem, jak podano w punkcie 2 ust. 3, o grubości 25 cm, w górnej warstwie kruszywo naturalne o grubości 25 cm i na niej kruszywo łamane.

- Można zastosować inną metodę zaleconą albo zaakceptowaną przez Inżyniera.
7. Przed wbudowaniem pierwszej warstwy asfaltowej należy dodatkowo zawałować całą powierzchnię w następujący sposób, o ile Inżynier nie zaleci inaczej lub nie zgodzi się na inny sposób:
 - jedno przejście (tam i z powrotem) walca ogumionego a następnie
 - jedno przejście walca wibracyjnego (tam i z powrotem) bezpośrednio przed wbudowaniem warstwy asfaltowej.
 8. Po zagęszczonej warstwie pokruszonego betonu nie można dopuścić ruchu dopóki nie zostaną wbudowane minimum dwie warstwy asfaltowe.

6. Obmiary

Jednostką obmiaru jest jeden metr kwadratowy pokruszonej i zagęszczonej nawierzchni.

7. Płatności

1. Płatność według obmiaru metra kwadratowego pokruszonej i zagęszczonej warstwy będzie pełną kompensatą za:
 - kruszenie płyt;
 - usunięcie nawierzchni przyległej do urządzeń lub nad rurami;
 - usunięcie wystającej stali;
 - zagęszczenie pokruszonej nawierzchni;
 - wywiezienie usuniętego materiału;
 - wykopanie, zasypanie i zagęszczenie otworów po dołach próbnych;
 - naprawy uszkodzeń rur, urządzeń i przyległej nawierzchni, o ile powstaną;
 - użycie wody w celu przeciwdziałania pyleniu;
 - wypełnianie dziur i lokalnych zagłębień kruszywem łamanym wraz z jego zagęszczeniem;
 - nacinanie szczelin w sąsiednich płytach na granicy z nawierzchnią pozostawioną.
2. Dodatkowo opłacone zostaną:
 - roboty rozbiórkowe związane z urządzeniami, rurami podziemnymi i przepustami
 - roboty dodatkowe na słabych gruntach.

Literatura

- [1] „Standard Specifications for Highway and Structure Construction” State of Wisconsin USA, Departament of Transportation, Annotated 2004 Edition, Section 335 „Rubblized Pavement”.
- [2] “Rubblization of Portland Cement Concrete Pavements”, TRB No e-C087, January 2006