

PAWEŁ MIECZKOWSKI¹⁾STANISŁAW MAJER²⁾BARTOSZ BUDZIŃSKI³⁾

HEAVY MAINTENANCE OF CONCRETE PAVED ROADS USING THE REGIONAL ROADS NO. 102 AND NO. 142 AS AN EXAMPLE

PRZEBUDOWA DRÓG O NAWIERZCHNI BETONOWEJ NA PRZYKŁADZIE DRÓG WOJEWÓDZKICH NR 102 I 142

STRESZCZENIE. W artykule opisano sposób wykonania remontów na dwóch drogach wojewódzkich w województwie zachodniopomorskim. W roku 2017 na dwóch fragmentach tych dróg rozpoczęto ich przebudowę. W obu przypadkach zastosowano całkowicie odmienne technologie. Na drodze wojewódzkiej nr 142 o długości niemal 20 km wybrano metodę kruszenia na miejscu z użyciem technologii rubblizingu. W drugim przypadku zdecydowano się na pozostawienie istniejącej nawierzchni wykorzystując warstwę mieszanki mineralno-asfaltowej przeciwdziałającej powstawaniu spękań odbitych. W artykule przedstawiono wady i zalety poszczególnych technologii, a także problemy, które dostrzeżono podczas realizacji remontów.

SŁOWA KLUCZOWE: nawierzchnie betonowe, rubblizing (rozkruszanie), SAMI (warstwa pośrednia absorbująca naprężenia), spękania odbite.

ABSTRACT. The paper describes heavy maintenance projects carried out on two regional roads located in the West Pomerania region of Poland. The projects started in 2017 on two sections of these roads. Completely different methods were used on these two sections. On the regional road No. 142 in-place crushing, specifically the rubblizing technique was used over an almost 20 km long stretch of pavement. In the second case the old pavement was left in place and a layer of bituminous-aggregate mixture was placed to control reflective cracking. Pros and cons of these methods are presented in the paper, together with the problems noted during the works.

KEYWORDS: concrete pavements, reflection cracks, rubblizing, SAMI (stress absorbing membrane interlayer).

DOI: 10.7409/rabdim.019.002

¹⁾ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Dróg i Mostów, Aleja Piastów 50, 70-311 Szczecin; Pawel.Mieczkowski@zut.edu.pl

²⁾ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Dróg i Mostów; Stanislaw.Majer@zut.edu.pl

³⁾ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Dróg i Mostów; Bartosz.Budzinski@zut.edu.pl (✉)

1. WPROWADZENIE

W Polsce rośnie zainteresowanie nawierzchniami betonowymi głównie na drogach obciążonych bardzo dużym ruchem samochodów ciężarowych. Takie nawierzchnie wykonano między innymi na odcinkach dróg A2, A4 i S8 [1]. Nawierzchnie betonowe charakteryzują się bardzo dużą trwałością, która jest od 2,5 do 3,5 razy większa niż w przypadku nawierzchni asfaltowych. Lecz nawet one po wyczerpaniu trwałości wymagają przebudowy. Główny problem jaki występuje przy przebudowie tego rodzaju nawierzchni to spękania odbite. Ułożenie nowych warstw z mieszanek mineralno-asfaltowych nawet o znacznej grubości (Rys. 1) nie chroni przed odwzorowaniem się w nowych warstwach nawierzchni szczelin i pęknięć z nawierzchni betonowej. Podstawową przyczyną powstawania spękań odbitych są przemieszczenia w obrębie istniejącego spękania lub szczeliny w starej nawierzchni betonowej lub warstwie związanej spoiwem hydraulicznym. Ruchy podbudowy wywołane są oddziaływaniem kół pojazdów oraz zmianami temperatury nawierzchni wywołujących naprężenia rozciągające lub ściskające w warstwie asfaltowej. Po przekroczeniu wytrzymałości na rozciąganie mieszanki mineralno-asfaltowej dochodzi do jej pęknięcia i w dalszym etapie, propagacji spękań. Przyjmuje się, że tempo propagacji spękań wynosi od 1 cm do 2 cm na rok. Po wystąpieniu spękania na powierzchni warstw, w głąb zaczyna penetrować woda z solą, co powoduje korozję betonu, a także osłabienie podłoża na skutek rozmiękania. W efekcie dochodzi do zjawiska klawiszowania płyt. Podstawowym kryterium oceny przydatności nawierzchni betonowej lub nawierzchni, na której występują spękania odbite, do remontu metodą „w górę” jest współpraca w pęknięciu, szczelinie. W przypadku braku współpracy dochodzi w tym miejscu do ścinania i nie ma skutecznej metody eliminacji propagacji spękania w nowych warstwach asfaltowych. Miarą oceny współpracy jest współczynnik k (1), który można wyznaczyć ugięciomierzem dynamicznym FWD (ang. *falling weight deflectometer*) lub belką Benkelmana. W przypadku, gdy k jest mniejsze od 0,7 oznacza to brak współpracy płyt w spękaniu, w szczelinie:

$$k = \frac{2y_2}{y_1 + y_2}, \quad (1)$$

gdzie:

- k – współczynnik współpracy,
- y_1 – ugięcie krawędzi obciążonej,
- y_2 – ugięcie krawędzi nieobciążonej.

1. INTRODUCTION

Concrete pavements are becoming increasingly popular in Poland, their main application being heavily trafficked roads. Stretches of roads No. A2, A4 and S8 are example locations where such pavements have been placed [1]. They feature very good durability, 2.5-3.5 times greater than the durability of asphalt pavements. Nonetheless, like any other pavement they will require reconstruction/restoration when worn out. Reflective cracking is the main problem encountered at that time. When new asphalt is placed, even with a considerable thickness, the existing gaps and cracks present in the old concrete tend to propagate to the surface (Fig. 1). The main cause of reflection cracks (a.k.a. reflective cracking) are the movements taking place within existing cracking or gaps in old concrete surfaces or in hydraulically-bound bases. The movements in the base due to the traffic load and the temperature variations in the pavement structure induce tensile or compressive stresses in the asphalt surface layer. The maximum tensile strength of the bitumen-aggregate mixture can be exceeded resulting in cracking failures, followed by propagation of cracks. Generally, propagation is assumed to progress at a rate of 1.0-2.0 cm per year. As soon as cracks have developed on the surface, salt-laden water starts to penetrate into concrete, resulting in its deterioration due to corrosion and weakening of subgrade due to water-softening of soil. The final result is faulting of slabs. The main criterion to assess the suitability of concrete pavement or pavement affected by reflective cracking for resurfacing (overlying) is the degree of interlock across the cracks and joints. With no interlock shearing occurs and there are no methods available to prevent propagation of cracks through the new asphalt layers. The degree of interlock is represented by k coefficient (1), here called “collaboration factor” which can be determined with FWD or the Benkelman beam apparatus. A lack of interlock across the crack is assumed at k values below 0.7:

where:

- k – collaboration factor,
- y_1 – deflection of a loaded edge,
- y_2 – deflection of an unloaded edge.



Fig. 1. Reflection cracks in asphalt layers 24 cm thick
Rys. 1. Spękanie odbite w warstwach asfaltowych o grubości 24 cm

2. CHARAKTERYSTYKA PRZEBUDOWYWANYCH ODCINKÓW DRÓG WOJEWÓDZKICH

Pierwszy z remontowanych odcinków dróg o nawierzchni betonowej to niespełna czterokilometrowy fragment drogi wojewódzkiej nr 102. Został on zbudowany podczas budowy bazy lotnictwa morskiego w Dziwnowie w 1935 roku. Z uwagi na przebudowę uzbrojenia inżynierskiego w miejscowości Międzywodzie, płyty betonowe zostały usunięte, a w ich miejscu jest wykonana pełna konstrukcja drogi. Na terenie zabudowanym zaplanowano elementy spowalniające ruch oraz azyle dla pieszych, zatoki autobusowe i ciągi pieszo-rowerowe. Stare płyty po wywiezieniu na plac, skruszono na mieszankę 0/63 mm i wykorzystano do wykonania podbudowy. Na odcinku szlakowym między Międzywodziem a Dziwnowem zdecydowano się na pozostawienie starej nawierzchni betonowej o szerokości 6,0 m (Rys. 2).



Fig. 2. Route section of DW 102 regional road
Rys. 2. Odcinek szlakowy drogi wojewódzkiej DW 102

Zarządca drogi odstąpił od wykonania poszerzeń z uwagi na wysoki poziom wody – około 1,0 m poniżej niwelety oraz występowanie gruntów organicznych, co przekładało się na ryzyko nierównomiernego osiadania poszerzeń. Istniejąca nawierzchnia betonowa ma grubość od 21 do 23 cm. Nawierzchnie wykonano w dwóch warstwach, metodą „mokre

2. CHARACTERISTICS OF RECONSTRUCTED SECTIONS OF REGIONAL ROADS

The first of the two analysed maintenance projects covered an only a four kilometre long stretch of the regional road No. 102. It was built during construction of the naval air station in Dziwnów back in 1935. In relation to utility modification works in the village of Międzywodzie the existing concrete panels were removed and replaced with a full-depth pavement structure. The project included provision of traffic calming measures, pedestrian refuges, bus lay-bys and shared use paths. The old slabs were hauled away to a lay-down area and crushed down to 0/63 mm size recycled concrete aggregate for road base construction. On the section connecting Międzywodzie and Dziwnów the existing 6.0 m wide concrete paved carriageway was left unaltered (Fig. 2).

Following the road administrator's decision widenings were excluded from the scope of the project taking account of high ground water table - ca. 1.0 m below the road grade line and presence of organic material posing a risk of differential settlement of widenings. The existing concrete pavement is between 21 cm and 23 cm thick. It was placed in two lifts with wet on wet method. The mix used for the top layer was based on crushed basalt aggregate. The pavement is a plain jointed concrete structure, placed on embankment or on the old gravel surface with tar dressing (in villages). Despite over 80 years operation the pavement is not heavily deteriorated with distress limited to a small number of transverse cracks and corner breaks. The degree of interlock was tested with the Benkelman beam apparatus and the value of $k = 0.77$ was obtained at a standard deviation of 0.11.

The second heavy maintenance project covered a 21.8 km long stretch of the regional road No. DW 142 between Szczecin and Łęczycza. It is located on the route of the Reichsautobahn (RAB) Berlin - Królewiec road constructed before and during World War 2. The project was

na mokre”. Górną warstwę wykonano z dodatkiem bazaltowego kruszywa łamanego. Płyty są niezbrojone, niedyblowane, wykonano je na nasypie lub starej nawierzchni kruszowej przykrytej dywanikiem smołowym (w miejscowościach). Pomimo ponad 80-letniego użytkowania stan nawierzchni nie jest bardzo zły: występują nieliczne pęknięcia poprzeczne płyt oraz jej narożników. Z pomiarów belką Benkelmana uzyskano wskaźnik współpracy płyt $k = 0,77$ przy odchyleniu standardowym równym 0,11.

Drugą drogą wojewódzką o nawierzchni z betonu cementowego przeznaczoną do przebudowy była DW 142 na odcinku Szczecin-Łęczycza o długości 21,8 km. Jest to fragment drogi budowanej przed i w czasie II Wojny Światowej Reichsautobahn (RAB) Berlin - Królewiec. Inauguracja budowy autostrady miała miejsce jesienią 1933 roku w okolicy Berlina, a już w 1936 oddano do użytku odcinek do węzła Szczecin-Południe (obecnie Szczecin-Zachód). W 1937 roku zbudowano odcinek do węzła Rzęśnica. Od początku wojny do prac przy budowie autostrady wykorzystywano robotników przymusowych. Do roku 1943, kiedy to zaniechano budowy Rab 4a, zbudowano prawą jezdnię na odcinku Rzęśnica - Łęczycza (Rys. 3) oraz zakończono obiekty i roboty ziemne do Lisowa [2].

Wycofujące się wojska niemieckie wysadziły mosty na Odrze i Inie. Pierwsze z nich zostały odbudowane bezpośrednio po wojnie (pod jedną jezdnię), natomiast most na Inie odbudowano dopiero w latach 70. XX wieku. Również w tym okresie zbudowano nawierzchnię od Łęczyczy do Lisowa. Odcinek Rab 4a od granicy do węzła Rzęśnica został zaklasyfikowany jako autostrada A6, natomiast pozostały odcinek do Lisowa po reformie administracyjnej w roku 1999 funkcjonuje jako droga wojewódzka nr 142. Co ciekawe, odcinek zbudowany w czasie wojny ma inny przekrój niż odcinek do węzła Rzęśnica, który miał jezdnie o szerokości 7,5 m, opaskę 0,4 m jako element pasa dzielącego oraz zewnętrzną opaskę o szerokości 1,0 m. Odcinek do Łęczyczy miał już pas awaryjny o szerokości 2,25 m (Rys. 4). Wynika to z wprowadzenia typowych przekrojów autostradowych w roku 1939 na podstawie doświadczeń z już funkcjonujących przekrojów autostrad [3]. Konstrukcja nawierzchni jest typowa dla niemieckich autostrad o nawierzchni betonowej [3], których to aż 92% wybudowano w tamtym czasie. Nawierzchnie o grubości 22 - 23 cm wykonano jako 2-warstwową metodą „mokre na mokro”, górna warstwa o grubości około 7 cm wykonana była na bazie grysłu bazaltowego. Nawierzchnia betonowa DW 142 wykazuje ogólny zły stan nawierzchni, wynikający z wyczerpania trwałości zmęczeniowej oraz odkształceń pionowych podłoża. Typowe uszkodzenia to pęknięcia płyt. Na odcinku od km 1+600 do

initiated in autumn 1933 near Berlin and already in 1936 the section to Szczecin-Południe (presently renamed as Szczecin-Zachód) was opened to traffic. The work continued in 1937, reaching interchange in Rzęśnica. From the time the war broke out forced labour was used to continue the project. The eastbound carriageway between Rzęśnica and Łęczycza (Fig. 3) together with the road structures and excavations up to Lisowo were completed by discontinuation of the Rab 4a project in 1943 [2].



Fig. 3. View of DW 142 regional road
Rys. 3. Widok drogi wojewódzkiej DW 142

The bridges over the Odra and Ina were blown up by the withdrawing German troops. While the former were reconstructed right after the war (for one carriageway) the bridge over the Ina waited for reconstruction till 1970s. The pavement between Łęczycza and Lisowo was constructed also at that time. In the Polish road network system the Rab 4a road is partly included in route of A6 motorway - between the state border and interchange Rzęśnica and partly in the route of the regional road No. 142 (following administrative reform in 1999). Interestingly enough, the section built during WW2 has a different cross-section than the section up to the interchange Rzęśnica with 7.5 m wide carriageways, 0.5 m wide hard strip at part of the median strip and 1.0 m wide hard strip along the outer edges. The section heading to Łęczycza had, at that time, a 2.25 m wide emergency stopping lane (Fig. 4). This design was in compliance with the typical, proven in practice motorway cross-sections that were implemented in 1939 [3]. The pavement structure is typical of concrete paved German motorways [3], ninety two percent of which were built at that time. The pavement, with overall thickness of 22-23 cm, was placed in two lifts, wet on wet, in which the top layer of ca. 7 cm in thickness was based on basalt aggregate. The condition of DW 142 pavement is rated as poor, due to fatigue failure and vertical deformation at the top of the subgrade. Cracking of slabs is the most common type of distress.

3+700 zlokalizowany jest drogowy odcinek lotniskowy (DOL). Jezdnia w tym miejscu jest poszerzona i ma nawierzchnię z mieszanki mineralno-asfaltowej o grubości od 18 do 26 cm. Na pozostałym odcinku uzyskano wskaźnik współpracy płyt $k = 0,59$ przy odchyleniu standardowym równym 0,27.

The route includes a military runway section located between km 1+600 and km 3+700. The carriageway is widened on this stretch and has bituminous surface of 18-26 cm in thickness. The degree of interlock was tested with Benkelman beam apparatus and the value of $k = 0.59$ was obtained at a standard deviation of 0.27.

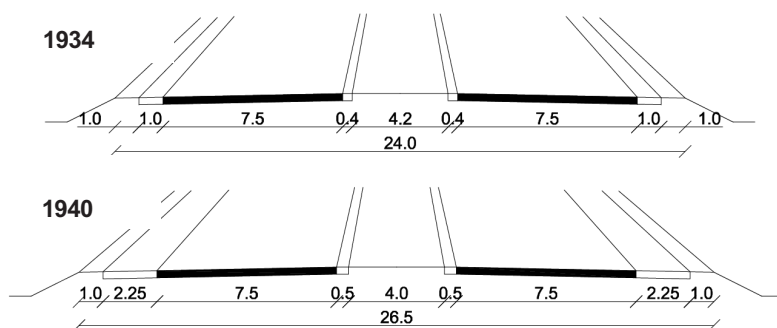


Fig. 4. RAB 4a motorway sections from 1934 and 1940 years, respectively [2]

Rys. 4. Przekroje autostrady RAB 4a odpowiednio z roku 1934 oraz 1940 [2]

Średniodobowy ruch roczny (SDRR) na wszystkich drogach wojewódzkich na terenie Polski w latach 2010 i 2015 wynosił odpowiednio 3398 i 3520 poj./dobę. W poszczególnych grupach pojazdów ciężarowych w roku 2015 SDRR kształtował się na poziomie: 89 samochodów ciężarowych bez przyczep, 152 samochodów ciężarowych z przyczepami oraz 28 autobusów. Można zatem stwierdzić, że obciążenie ruchem ciężkim na drodze DW 142 jest duże (Rys. 5), ponieważ w grupie pojazdów ciężarowych z przyczepami jest ono ponad dwukrotnie większe od średniej dla całego kraju. Liczba równoważnych osi standardowych 100 kN w przyjętym okresie projektowym 20 lat wynosi 0,6 mln dla drogi DW 102 oraz 2,9 mln dla drogi DW 142, co oznacza w tym przypadku odpowiednio kategorię ruchu KR3 i KR4.

The annual average daily traffic (AADT) on all Polish regional roads in 2010 and 2015 amounted 3,398 and 3,520 veh./day respectively. In selected groups of heavy vehicles the AADT values in 2015 for the regional roads in Poland were 89 heavy single-unit vehicles, 152 heavy multiple-unit vehicles and 28 buses. Therefore, it could be stated that heavy traffic loading on the regional road DW 142 was high (Fig. 5) because for group of heavy multiple-unit vehicles it was over two times higher than the average for the whole country. The number of equivalent standard axles of 100 kN in an assumed service life of 20 years amounts 0.6 million for the road DW 102, and 2.9 million for the road DW 142 denoting in this case KR3 and KR4 traffic categories respectively.

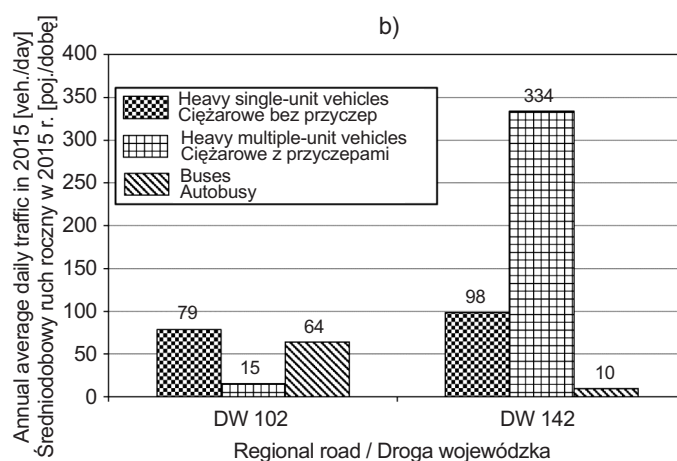
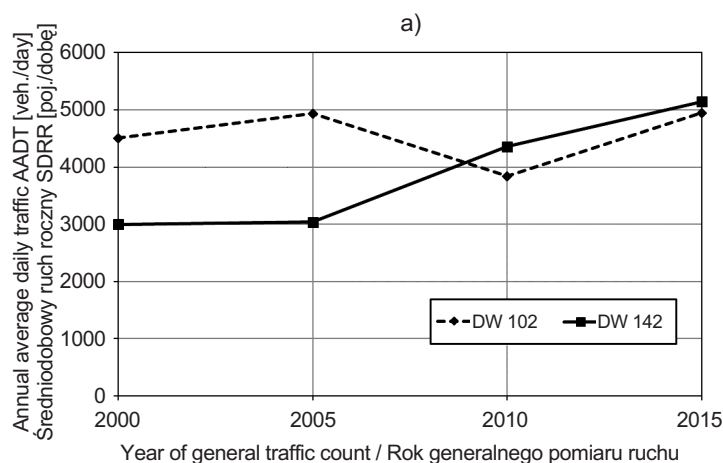


Fig. 5. Results of heavy vehicle traffic measurements in 2010-2015 (a) and AADT in 2015 (b) for selected groups of heavy vehicles on DW 102 and DW 142 regional roads in Poland

Rys. 5. Wyniki generalnego pomiaru ruchu (GPR) w latach 2000-2015 (a) oraz średniodobowego ruchu rocznego (SDRR) w roku 2015 (b) przeprowadzone dla wybranych grup pojazdów ciężarowych na drogach wojewódzkich DW 102 i DW 142 w Polsce

3. TECHNOLOGIE RUBBLIZINGU I SAMI PRZY NAPRAWIE NAWIERZCHNI BETONOWYCH

3.1. SPOSOBY NAPRAWY NAWIERZCHNI BETONOWYCH

Na podstawie doświadczeń amerykańskich Jaskuła i Judycki [4] podzielili na 3 główne grupy możliwe technologie napraw nawierzchni z betonu cementowego:

- a) naprawy powierzchniowe – nacięcie nawierzchni i uszczelnianie szczeliny,
- b) naprawy z zastosowaniem warstwy pośredniej:
 - geosiatki i geotekstylii,
 - membrany międzywarstwowe absorbujące naprężenia,
 - warstwy zapobiegające penetracji spękań odbitych (ang. crack relief layer - CRL),
- c) naprawy wgłębne:
 - rozkruszanie (ang. *rubblizing*),
 - kruszenie i osadzanie płyt (ang. *crack and seat*),
 - cięcie, kruszenie i osadzanie płyt (ang. *saw-cut, crack and seat*).

Wszystkie metody napraw uwzględniają zastosowanie nakładki z mieszanki mineralno-asfaltowej na istniejącą lub przetworzoną nawierzchnię z betonu cementowego. Z uwagi na stan nawierzchni betonowych na przedmiotowych drogach wojewódzkich, szerzej zostanie omówiona technologia rubblizingu i SAMI.

3.2. RUBBLIZING

W pracy [5] wykazano, że materiał pochodzący z kruszenia nawierzchni betonowych może być z powodzeniem stosowany do nowych warstw konstrukcyjnych nawierzchni. Przy czym rubblizing jest metodą kruszenia udarowego „*in situ*”. Metoda ta, została opracowana w USA w stanie Wisconsin na początku lat 80. XX wieku. Data ta nie jest przypadkowa, gdyż w tym czasie część przeciążonych nawierzchni betonowych wybudowanych w ramach Interstate Highway System zaczęła wymagać remontu. Celem rubblizingu jest takie pokruszenie płyt betonowych, aby mogły one stanowić podbudowę pod nowe warstwy asfaltowe, bez ryzyka wystąpienia spękań odbitych. Istotą odróżniającą ją od pozostałych wgłębnych metod napraw, jest uzyskanie podbudowy ziarnistej, dzięki czemu utworzona zostaje warstwa, która nie przenosi naprężeń rozciągających i nie jest wrażliwa na zmiany temperatury. Kształt pokruszonych

3. TECHNOLOGIES OF RUBBLIZING AND SAMI AT CONCRETE PAVEMENT REPAIR

3.1. REPAIR METHODS FOR CONCRETE PAVEMENTS

Using the North American experiences Jaskuła and Judycki [4] distinguished three main groups of available maintenance treatments for concrete pavements:

- a) restoration methods – cutting of pavement and sealing of joints,
- b) incorporation of an interlayer:
 - geogrids and geotextiles,
 - stress absorbing membrane interlayer,
 - crack relief layer (CRL),
- c) full-depth repairs:
 - rubblizing,
 - crack and seat,
 - saw-cut, crack and seat.

All these repair methods involve overlaying the concrete pavements, both recycled and left in place, with bituminous layers. Rubblizing and SAMI methods will be described in more detail as the most relevant to the pavement condition on the analysed regional roads.

3.2. RUBBLIZING

The material arising during removal of concrete pavement slabs was confirmed as suitable for reuse in production of the new courses of pavement [5]. The rubblization method is distinguished by in-place mechanical impact crushing process. The method was developed in Wisconsin, USA in the beginning of 1980s. This timing is not accidental as at that time part of overloaded concrete pavements constructed under Interstate Highway System scheme started to call for repair. The essence of rubblization is to fracture concrete slabs in such a way that they can be used as a base under new asphalt layers without the risk of reflective cracking. It is distinguished from the other full-depth repair methods in that it produces a granular base which does not transfer tensile stresses and is insensitive to temperature variations. The particles are more flaky and elongated in shape as compared to aggregate produced in crushing plants. Moreover, fracturing of concrete blocks creates micro-cracks and, therefore, after fracturing of concrete panels a heavy vibrating roller with Z-pattern grid drum unit is passed to

fragmentów nawierzchni nie jest typowy jak dla kruszyw powstających w kruszarkach, lecz jest bardziej płaski, wydłużony. Dodatkowo, po kruszeniu w spękanych bryłach betonowych występują też mikropełnięcia, dlatego po rozkruszeniu nawierzchni dodatkowo stosuje się przejazdy ciężkiego walca wibracyjnego ze wzorem na wale w kształcie litery „Z”, w celu dalszego skruszenia i uzyskania odpowiedniej powierzchni [5, 6]. W technologii rubblizingu można stosować do kruszenia łamacz wielogłowicowy MHB (ang. *multi-head breaker*) lub łamacz rezonansowy RFB (ang. *resonant frequency breaker*). Pierwszy z nich bardzo dobrze sprawdza się przy kruszeniu nawierzchni betonowych o grubości 18 - 40 cm. Wydajność jednej tylko maszyny pozwala wykonać odprężenie i rozdrobnienie nawet do 10000 m² na jedną zmianę roboczą. Elementem łamiącym/kruszącym beton są stalowe młoty podnoszone do góry i swobodnie opadające z odpowiedniej wysokości – wysokość jest regulowana (maksymalnie 1,5 m). Młoty mają szerokość 20 cm, są ustawione w dwóch rzędach i przesunięte po przekątnej. Młot z pierwszego i drugiego rzędu stanowi parę, każda para podlega regulacji wysokości podnoszenia. W zależności od wysokości podnoszenia częstotliwość waha się w zakresie 30-35 uderzeń na minutę. Energię kruszenia reguluje się poprzez dobór prędkości pojazdu oraz wysokości opadania i masy młotów (od 550 kg do 800 kg) [5, 6]. Łamacz rezonansowy kruszy nawierzchnie jednym młotem przy dużej częstotliwości uderzeń wynoszącej 44 Hz. Maksymalna amplituda młota może wynosić 20 mm a głębokość kruszenia dochodzi nawet do 60 cm. Waga młota wynosi 4080 kg, powierzchnia kruszenia wynosi 20,3 cm. Prędkość robocza maszyny mieści się w zakresie od 6 do 13 km/h, przy poziomie hałasu – poniżej 90 dB. Powierzchnia kruszonej nawierzchni jest równa, ewentualnie wymaga 1-2 przejazdów walca gładkiego. Z uwagi na wysoką częstotliwość młota i małą amplitudę, podczas kruszenia nawierzchni nie uszkadza się podbudów związanych cementem, a drgania nie uszkadzają instalacji oraz budynków znajdujących się przy drodze. W związku z tym kruszenie udarowe RFB bardzo dobrze sprawdza się w przypadku rubblizingu nawierzchni betonowych ulic.

Przy metodzie kruszenia udarowego można stosować 2 technologie rubblizingu: pełną i zmodyfikowaną [6]. Różnica pomiędzy nimi polega na wielkości uzyskiwanych brył skruszonego betonu. W pierwszym przypadku beton kruszony jest w sposób jednorodny na całej szerokości jezdni w ziarna/bryły, które mają wymiary nie większe niż 310 mm. Jednocześnie, co najmniej 75% ziaren ma wymiary nie większe niż [7, 8]:

- 230 mm – w dolnej połowie płyty,

further disintegrate the pieces of concrete and obtain the desired surface [5, 6]. There are two types of machines that can be used for fracturing of concrete in the rubblization method: multi-head breaker (MHB) and resonant frequency breaker (RFB). The former is recommended for processing pavements of 18-40 cm in thickness. A single machine is capable of breaking and crushing up to 10,000 m² of pavement per work shift. The breaking/ crushing attachment are steel hammers, lifted up to fall freely from an adequate, adjustable height (max. of 1.5 m). The hammers are 20 cm wide and are arranged in two diagonally staggered rows. Each hammer from one row is paired with a hammer from the other row and height adjustment is performed by pair. Depending on the drop height the hammers cycle at 30-50 impacts per minute. The fracture energy is adjusted by setting the speed of travel, drop height and weight of hammers (from 550 kg to 800 kg) [5, 6]. The resonant frequency breaker (RFB) employs a single breaking shoe which strikes the pavement at a frequency of 44 Hz. With the maximum amplitude of 20 mm the breaking depth can reach up to 60 cm. The resonant beam weighs 4,080 kg and the breaking area is around 20.3 cm wide. The machine moves with a speed of 6 to 13 km/h generating noise below 90 dB. The surface produced by the machine is even, requiring max. 1-2 passes of plain drum roller, if at all. Owing to a high frequency and a small amplitude of the breaking shoe the cement-bound bases are not damaged in the process and the vibrations are not dangerous to any services or buildings located along the road. Hence RFB is recommended as the method of choice for reconstruction of street pavements.

The drop hammer method can be subdivided into full and modified rubblization varieties [6]. The difference between them lies in the size of produced particles of concrete. In the first technique concrete is crushed uniformly over the entire carriageway width into particles of max. 310 mm in size. Subject to meeting the above requirement at least 75% particles must not be greater than [7, 8]:

- 230 mm – in the lower part of the slab,
- 75 mm – in the upper part of the slab,
- 50 mm – on the slab surface.

The size of fractured particles has a bearing on the final stiffness of the obtained layer and both the effective shear modulus and the risk of reflective cracking increase with the increase of that size. Greater particles, i.e. of 30-45 cm in size are desired where the bearing capacity of subgrade is insufficient. Then modified rubblizing is preferred due

- 75 mm – w górnej połowie płyty,
- 50 mm – na powierzchni płyty.

Wielkość kruszonych brył ma przełożenie na sztywność uzyskiwanej warstwy, im większe wymiary tym większy efektywny moduł sztywności, ale również i większe ryzyko wystąpienia spękań odbitych. Większe kawałki pokruszonych płyt, wynoszące 30-45 cm korzystne są w przypadkach, gdy nośność podłoża pod płytami jest nieodpowiednia. Wówczas to rubblizing zmodyfikowany jest korzystniejszy z uwagi na mniejszą energię potrzebną w procesie łamania betonu oraz uzyskania nośnej podbudowy pod nowe warstwy asfaltowe. Technologie rubblizingu [7, 8] uznaje się za odpowiednie rozwiązanie, gdy nawierzchnia betonowa wyczerpała już swoją żywotność. Dzieje się tak, kiedy to nawierzchnia wykazuje pionowe przemieszczenia między płytami i występuje jeden lub kilka typów tych uszkodzeń o następującej intensywności:

- więcej niż 20% szczelin na nawierzchni betonowej wymaga napraw,
- więcej niż 20% powierzchni betonowej odcinka poddano naprawom (wykonano łąty),
- więcej niż 20% płyt betonowych wykazuje uszkodzenia typu „połamanie płyt”,
- więcej niż 20% długości odcinka wykazuje uszkodzenia szczelin podłużnych o szerokości większej niż 10 cm.

3.3. WARSTWY SAMI

Problem zapobiegania propagacji spękań odbitych przy naprawie nawierzchni betonowych próbowano rozwiązać stosując również warstwy asfaltowe. Pierwsze udane próby wykonano w latach 70. XX wieku w Stanach Zjednoczonych [9]. Wykonano wówczas warstwy absorbujące naprężenia rozciągające - powierzchniowe utrwalenia SAM (ang. *stress absorbing membrane*), warstwy utrudniające powstawanie spękań odbitych SAMI (ang. *stress absorbing membrane interlayer*) oraz warstwy z betonu asfaltowego. Warstwy te wykonano na bazie lepiszcza gumowo-asfaltowego [10]. Warstwy SAMI to cienkie powłoki asfaltowe na bazie lepiszcza modyfikowanych, które pomimo sklejenia nowej MMA ze spękaną podbudową zachowują swobodę ruchu w poziomie, dzięki czemu nie następuje rozprzestrzenianie się pęknięć z podbudowy w nowych warstwach MMA [11]. Warstwa pośrednia SAMI zasadniczo spełnia trzy funkcje [12]:

- wytrzymałego na ścinanie połączenia pomiędzy warstwą podbudowy i nakładką z mieszanki mineralno-asfaltowej,
- ochronę podbudowy przed dalszą degradacją (poprzez uszczelnienie),

to a smaller amount of energy needed to fracture concrete and obtain sufficiently strong base for asphalt surfacing. Rubblizing methods [7, 8] are considered a good option when the concrete pavement has reached the end of its service life. This is indicated by transverse joint faulting and one or more types of distress at the following severity levels:

- over 20% joints on the concrete surface needing repair,
- patching on over 20% of the overall surface of pavement,
- over 20% of slabs have “shattered slab” damage,
- longitudinal joint distress on over 20% of the section length, over 10 cm in width.

3.3. SAMI LAYERS

Asphalt layers have also been used as a measure to prevent propagation of reflection cracks in relation to concrete pavement maintenance treatments. The first successful attempts were made in the 1970s in U.S. [9]. The methods included placement of Stress Absorbing Membrane (SAM), Stress Absorbing Membrane Interlayer (SAMI) and layers of asphalt concrete. The mix for these layers was based on crumb rubber asphalt (a.k.a. crumb rubber modified bitumen) [10]. SAMI layers are thin asphalt overlays based on modified bitumens which, despite the bond between the new bituminous layer with cracked base, can still move in the horizontal plane, thus preventing propagation of cracks in the base to the new bituminous layers of pavement [11]. The SAMI interlayer has three main functions [12]:

- creating a shear-resistant bond between the base and the asphalt overlay,
- protecting the base from further deterioration (by providing a seal),
- providing elastic covering to cracking and joints.

Installation of conventional SAMI layers starts by application of modified bitumen on prepared substrate. The bitumen can be either hot-applied (> 140°C) or cold applied in a form of highly polymerized bitumen emulsion. In the second case, the membrane is formed by modified bitumen that is released from the emulsion upon evaporation of water. In both cases aggregate is spread atop the bitumen membrane as a protection during the process. As such, the following methods are used for SAMI installation [12]:

- a) hot application method, comprising:

- elastyczne przykrycie spękań i szczelin.

Pierwszym etapem przy wykonywaniu klasycznych warstw SAMI jest aplikacja asfaltu modyfikowanego na przygotowane podłoże. Asfalt aplikuje się w postaci gorącej ($> 140^{\circ}\text{C}$), lub na zimno w postaci wysokomodyfikowanej emulsji asfaltowej. W drugim przypadku po odparowaniu wody, membranę tworzy modyfikowany asfalt wytracony z emulsji. W obu przypadkach w celu zabezpieczenia technologicznego powstałej warstwy, istnieje konieczność przykrycia kruszywem powstałej w ten sposób membrany. W związku z tym przy wykonawstwie warstwy SAMI stosuje się technologie [12]:

a) na gorąco:

- wypełnienie spękań i konieczne oczyszczenie z luźnych zanieczyszczeń i pyłów starej nawierzchni, wilgotność powierzchni powinna być na jak najniższym poziomie ze względu na niebezpieczeństwo pienia się gorącego asfaltu,
- utworzenie membrany poprzez skropienie wysokomodyfikowanym polimeroasfaltem lub asfaltem modyfikowanym gumą,
- rozścielenie lakierowanego grys,
- zawałowanie walcami ogumionymi w celu uzyskania lepszej adhezji,

b) na zimno:

- wypełnienie spękań i konieczne oczyszczenie z luźnych zanieczyszczeń i pyłów starej nawierzchni,
- utworzenie membrany poprzez skropienie wysokomodyfikowaną emulsją, (zawartość polimeru około 5%),
- rozścielenie kruszywa kamiennego, odpylonego lub płukanego (grys frakcji 5/8 lub 8/11 lub 11/16),
- zawałowanie walcami ogumionymi w celu uzyskania lepszej adhezji.

Pierwszą z technologii zastosowano np. podczas rozbudowy lotniska w Pyrzowicach, gdzie zastosowano lepszycze 65/105-80 w ilości $2,4-3,2 \text{ kg/m}^2$, natomiast technologie na zimno zastosowano na budowie drogi ekspresowej S3 na odcinku Sulechów - Zielona Góra. Jak już wspomniano oprócz warstw SAM i SAMI można stosować drobnoziarniste warstwy wyprodukowane na bazie asfaltu wysokomodyfikowanego, jako warstwy (membrany) redukujące naprężenia w podłożu. Ze względu na znaczną zawartość asfaltu – mieszanki takie muszą być układane jako cienkie warstwy, aby uniknąć koleinowania. Do warstw tych stosuje się uziarnienie 0/4 lub 0/5. Zawartość frakcji wypełniaczowej wynosi $12\div 15\%$, zawartość asfaltu modyfikowanego $8\div 11\%$. Do wykonania membrany z mieszanki drobnoziarnistej wy-

- sealing cracks and removing loose foreign matter and dust from the old pavement while keeping the pavement surface as dry as practicable to avoid foaming of hot bitumen,
- formation of membrane by spray application of highly polymerized or crumb rubber modified bitumen,
- spreading of coated chippings,
- rolling with rubber-tired rollers to improve adhesion,

b) cold application method, comprising:

- sealing cracks and removing loose foreign matter and dust from the old pavement,
- formation of membrane by spray application of highly polymerized bitumen emulsion (ca. 5% content of polymer),
- spreading crushed stone aggregate, screened or washed (5/8 or 8/11 or 11/16 size),
- rolling with rubber-tired rollers to improve adhesion.

In Poland the first of the above methods was used, for example, in the Pyrzowice airport expansion project using 65/105-80 binder, applied at a rate of $2.4-3.2 \text{ kg/m}^2$ and the second, cold-applied method, was used in construction of Sulechów-Zielona Góra section of the S3 trunk road. As mentioned earlier, there is an alternative to SAM and SAMI technologies, namely fine aggregate HMA layers with highly polymerized bitumen that reduce stresses in the base. Due to a high content of bitumen the layers must be thin to avoid rutting. The suitable size of aggregate for these layers is 0/4 or 0/5. The mix contains 12-15% of filler and 8-11% of polymer-modified bitumen. The equipment needed to install a fine aggregate HMA layer is limited to an asphalt spreader and a light roller and the mixture itself can be produced in a standard HMA plant. The production process is generally the same as in the case of conventional asphalt mixtures. Only mixing time should be adjusted (extended) and adequate temperature should be determined for highly polymerized bitumen [13].

4. TECHNOLOGIES APPLIED DURING REPAIR OF REGIONAL ROADS NO. 102 AND NO. 142

4.1. REGIONAL ROAD NO. 102

In relation to the planned alteration of buried services, including construction of piped drainage systems in

starczy rozścielacz i lekki walec, natomiast do produkcji zwykła wytwórnia mieszanek mineralno-asfaltowych. Technologia ta nie odbiega od produkcji klasycznej MMA. Należy jedynie odpowiednio określić czas mieszania (wydłużyć) i ustalić temperaturę produkcji dla asfaltu wysokomodyfikowanego [13].

4. ZASTOSOWANE TECHNOLOGIE PODCZAS REMONTU DRÓG WOJEWÓDZKICH NR 102 I 142

4.1. DROGA WOJEWÓDZKA NR 102

Ze względu na przebudowę instalacji uzbrojenie podziemnego m.in. budowa sieci kanalizacji deszczowej w miejscowościach Międzywodzie i Dziwnów na potrzeby odwodnienia drogi wojewódzkiej, do wzmocnienia konstrukcji nawierzchni z wykorzystaniem warstwy przeciwspekaniowej wytypowano odcinek szlakowy o długości 2,83 km, jako odcinek doświadczalny. Nowe warstwy asfaltowe na tym odcinku mają grubość min. 13 cm o układzie jak poniżej:

- 3 cm warstwa ścieralna SMA 8 KR3-KR4,
- 5 cm warstwa wiążąca AC 16 W MG 35/50 na ruch KR3-KR4,
- min. 3 cm warstwa wyrównawcza AC 11 W MG 35/50 na ruch KR3-KR4,
- 2 cm warstwa przeciwspekaniowa AC 5 PMB 45/80-55,
- około 1.0-1.5 mm grubości warstwa asfaltu modyfikowanego (po rozpadzie emulsji),

W miejscu rozbiórek zaprojektowano konstrukcje składającą się z następujących warstw:

- 3 cm warstwa ścieralna SMA 8 KR3-KR4,
- 5 cm warstwa wiążąca AC 16 W MG 35/50 na ruch KR3-KR4,
- 5 cm podbudowa zasadnicza AC 16 P MG 35/50 na ruch KR3-KR4,
- 20 cm podbudowa pomocnicza z destruktu betonowego 0/63,
- 15 cm warstwa odcinająca piasek średni.

W przypadku całkowicie nowej konstrukcji przy wymaganym module podłoża gruntowego $E_{v,2} \geq 60$ MPa, uzyskano trwałość zmęczeniową na poziomie $\dot{N}_{100} = 6,2$ mln. W analizowanym przykładzie, jako warstwę SAMI zastosowano beton asfaltowy AC 5 S PMB 45/80-55 w połączeniu z cienką warstwą lepiszczka modyfikowanego w ilości około 1-1,5 kg/m² (Rys. 6). Beton asfaltowy powinien spełnić następujące wymagania:

Międzywodzie and Dziwnów to receive water drained from the regional road, a 2.83 long stretch of the route was chosen for trial installation of the interlayer to prevent reflective cracking. The new asphalt surfacing on this section has a min. thickness of 13 cm, comprising:

- 3 cm thick wearing course of SMA 8, KR3-KR4 load class,
- 5 cm thick AC 16 W MG 35/50 binder course, KR3-KR4 load class,
- min. 3 cm thick AC 11 W MG 35/50 asphalt concrete binder course, KR3-KR4 load class,
- 2 cm thick AC 5 PMB 45/80-55 interlayer,
- layer of polymer-modified bitumen of ca. 1.0-1.5 mm in thickness after break-up.

The following pavement structure was designed to replace the old pavement where removed:

- 3 cm thick wearing course of SMA 8, KR3-KR4 load class,
- 5 cm thick AC 16 W MG 35/50 binder course, load class KR3-KR4,
- 5 cm thick AC 16 P MG 35/50 base course, load class KR3-KR4,
- 20 cm thick 0/63 recycled concrete aggregate subbase,
- 15 cm thick medium-sand capping layer.

The fatigue life obtained for a completely new pavement placed on subgrade of $E_{v,2} \geq 60$ MPa was about $N_{100} = 6.2$ million. In the analysed case the SAMI layer was made of AC 5 S PMB 45/80-55 asphalt concrete combined with a thin layer of polymer modified bitumen applied at a rate of 1-1.5 kg/m² (Fig. 6). Below are the asphalt concrete parameters:

- content of bitumen $B_{\min 7.8}$,
- voids content after compaction 2x50 blows – $V_{\max 1.0}$,
- voids content after compaction 2x35 blows – $V_{\max 1.5}$,
- particle size distribution: 5.6 mm sieve – 100%, 2.0 mm sieve – 40% up to 65%, 0.125 mm sieve 8% up to 22%, 0.063 mm sieve – 6% up to 14%.

The interlayer material, in this case AC 5 S PMB 45/80-55 asphalt concrete is considered correctly designed and produced only if during placement mastic rises to the surface. This should happen already during the first pass of the spreader in favourable weather conditions or after the first or second pass of the roller if the ambient conditions are less favourable. Lack of mastic on the surface can indicate too low temperature of the mix during placement or too cold substrate on which it has been placed. Incorrect

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

Warunkiem koniecznym właściwie zaprojektowanego i wyprodukowanego betonu asfaltowego AC 5 S PMB 45/80-55 na warstwę przeciwspekaniową jest wpływ mastyksu na powierzchnię w trakcie jej wbudowywania. Zjawisko to powinno występować przy sprzyjających warunkach atmosferycznych już po przejściu rozkładarki, przy mniej sprzyjających po pierwszym lub drugim przejściu walca. Brak mastyksu na powierzchni warstwy może świadczyć o zbyt zimnej mieszance mineralno-asfaltowej lub też zbyt zimnym podłożu. Może również świadczyć o niewłaściwym składzie mieszanki. W takim przypadku należy zaprzestać wbudowywania i znaleźć przyczynę braku mastyksu na powierzchni warstwy.

Istniejącą konstrukcję drogi DW 102 przed ułożeniem warstwy przeciwspekaniowej podano remontowi polegającemu m.in. na:

- naprawie wytluków i ubytków nawierzchni różnego pochodzenia,
- wymianie starych napraw (łat nawierzchni),
- naprawie/wymianie szczelin dylatacyjnych poprzecznych i podłużnych,
- naprawie pęknięć,
- naprawie pionowych przemieszczeń płyt lub ich fragmentów,
- frezowaniu wyrównawczym w obrębie nierówności przy szczelinach powyżej 10 mm.

Tak przygotowane i oczyszczone podłożę pokrywano warstwą szepną z emulsji asfaltowej modyfikowanej polimerami o grubości 1,0-1,5 mm.

4.2. DROGA WOJEWÓDZKA NR 142

Z uwagi na bardzo zły stan nawierzchni betonowej w przypadku drogi wojewódzkiej nr 142 zdecydowano zastosować rubblizng pełnego przy zastosowaniu wielogłowicowego łamacza do nawierzchni (MHB T8600). Technologię tę zastosowano od km 3+700 do 22+657 z wyłączeniem mostów i wiaduktów w ciągu drogi, czyli łącznie około 18,5 km. Rozkruszaniu na miejscu podlegał tylko fragment jezdni o szerokości 7,5 m. Pas awaryjny i opaskę rozebrano wcześniej

design can also be the cause. Should this happen, the work should be discontinued and the cause of this irregularity investigated.



a)



b)

Fig. 6. Preparation for renovation of the old pavement (a) and the anti-crack layer (b) on DW 102 regional road
Rys. 6. Przygotowanie do remontu starej nawierzchni (a) oraz warstwa antyspekaniowa (b) na drodze wojewódzkiej DW 102

Before interlayer installation, the following restoration works were carried out on the existing pavement of the DW 102 road:

- repair of spalling and holes of various origin,
- replacement of old patches,
- repair/replacement of transverse and longitudinal joints,
- repair of cracking,
- repair of faulting of slabs or their parts,
- local profile milling at gaps wider than 10 mm.

Then a 1.0-1.5 mm thick bonding coat of polymerized bitumen emulsion was placed on the substrate, prepared as above described and cleaned.

(Rys. 7) i skruszono w kruszarce stacjonarnej do uziarnienia 0/31,5. Rozebrano również opaskę i pas awaryjny wykonany częściowo pod drugą jezdnię autostrady Rab 4a. Przed przystąpieniem do zasadniczego kruszenia wykonano odcinek próbny z różnymi energiami kruszenia, tak aby wybrać odpowiednią energię łamania, tzn. uzyskać odpowiedni stopień pokruszenia płyty bez wbijania pokruszonego materiału w podłoże. Starą nawierzchnię pokruszono w ciągu 10 dni, co daje wynik około 13870 m² na dzień. Stopień przekruszenia przyjęto zgodny z wytycznymi amerykańskimi. Wizualną kontrolę uziarnienia wykonywano poprzez wykonie odkrywki w skruszonej nawierzchni na każdy 1,0 km. Maksymalne wymiary kawałków nawierzchni betonowej, przed rozpoczęciem zagęszczania wibracyjnego walcem o masie 9 t ze wzorem na wale w kształcie litery „Z” wynosiły 31 cm. Celem zagęszczania było zapewnienie lepszego klinowania rozkruszonych kawałków oraz pokruszenia wydłużonych ziaren, zwłaszcza w górnej części powstałej podbudowy z destruktu betonowego. Wymagane były minimum 2 przejścia walca wibracyjnego z wzorem „Z”. Następnie podbudowę zagęszczano przy zastosowaniu walców wibracyjnych gładkich. Z uwagi na bardzo dużą ilość kruszywa 0/31,5 powstałego ze skruszenia opaski i pasa awaryjnego, zdecydowano się na wykonie dodatkowej warstwy z tego kruszywa o grubości 10 cm rozkładanej przy użyciu rozścielacza do mieszanek mineralno-asfaltowych z odniesieniem wysokościowym do linki niwelacyjnej. Na tak przygotowanej podbudowie wykonywano warstwę asfaltową o grubości 16 cm:

- 3 cm warstwa ściernalna SMA 8,
- 6 cm warstwa wiążąca AC 16 W,
- 7 cm podbudowa zasadnicza AC 22 P.



4.2. REGIONAL ROAD NO. 142

On the regional road No. 142 reconstruction of pavement by full rubblizing using MHB T8600 multi-head breaker was chosen due to the very poor condition of concrete pavement. This method was used on the stretch between km 3+700 and km 22+657 excluding river bridges and underpasses carrying the road, totalling in length ca. 18.5 km. Crushing in place was limited to a 7.5 m wide strip of pavement. The emergency stopping lane and hard strips were removed at an earlier stage (Fig. 7) and the demolished concrete was crushed in a stationary crusher down to 0/31.5 size. Also the hard strip and emergency stopping lane, partly completed in the area of the second carriageway of the Rab 4a motorway were removed. Before proceeding with the work, the optimum fracture energy was determined on a trial section to obtain the desired degree of fracturing of the concrete panels without forcing the fractured pieces into the underlying layers. It took 10 days to fracture the old pavement, this giving the rate of ca. 13,870 m²/day. The degree of fracturing was taken according to the American guidelines. Grading was checked visually by making test pits every 1.0 km. The maximum size of the concrete particles before vibratory compaction with a 9 t Z-pattern grid roller was 31 cm. The purpose of compaction was to improve interlock between the fractured pieces and crush the elongated particles, in particular in the upper part of the crushed concrete base that was obtained as a result of the process. At least two passes of the Z-pattern grid roller were necessary. Then the base was compacted with vibratory smooth wheel rollers. Due to a very large amount of 0/31.5 aggregate obtained from crushing the hard strip and emergency stopping lane it was decided to place an additional 10 cm thick layer using a stringline guided asphalt spreader. The base prepared as above was overlain with 16 cm thick asphalt pavement comprising:

- 3 cm thick wearing course of SMA 8,
- 6 cm thick binder course of AC 16 W,
- 7 cm thick base course of AC 22 P.

Fig. 7. Stages of building the base-course from the old concrete pavement on DW 142 road: a) removing the emergency lane, b) rubblizing, c) compaction with a 9 t grid roller, d) ready base course

Rys. 7. Etapy wykonywania podbudowy ze starej nawierzchni betonowej na drodze DW 142:

- a) usuwanie pasa awaryjnego, b) rubblizing, c) zagęszczenie za pomocą walca o masie 9 t, d) gotowa podbudowa

5. WNIOSKI

Ponad 80% nawierzchni w Polsce stanowią konstrukcje podatne, nawierzchnie betonowe to około 6%. Powoduje to, że technologie przebudów starych nawierzchni betonowych w naszym kraju nie miały do tej pory szansy się rozwinąć. Korzysta się więc w tym zakresie z doświadczeń innych krajów, głównie Stanów Zjednoczonych, Niemiec i Francji. W artykule przedstawiono podejście do problemu przebudowy dwóch odcinków dróg wojewódzkich z nawierzchnią betonową wykonaną ponad 80 lat temu. W jednym przypadku zastosowano beton asfaltowy drobnoziarnisty 0/5 na bazie asfaltu modyfikowanego PMB 45/80-55, pełniącego łącznie z warstwą asfaltu funkcję warstwy SAMI. Droga ta stanowiła odcinek referencyjny. Przedsięwzięcie pozwoliło określić skuteczność tej warstwy w eliminacji propagacji spękań odbitych w nowych warstwach asfaltowych. W drugim przypadku zastosowano technologie rubblizingu przetwarzając starą nawierzchnie betonową w pełnowartościową podbudowę podatną. W jednym i drugim przypadku wykorzystano również do budowy destruktu betonowy powstały na skutek przekruszenia starego betonu w kruszarce stacjonarnej. Przy przestrzeganiu reżimu odnośnie odpowiedniej jakości kruszonego betonu uzyskano pełnowartościowe kruszywo spełniające wymagania normowe.

INFORMACJE DODATKOWE

Artykuł przedstawia rozszerzoną wersję referatu wygłoszonego na konferencji „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, zorganizowanej podczas targów budownictwa drogowego „Autostrada-Polska” Kielce 2018.

REFERENCES / BIBLOGRAFIA

- [1] Mackiewicz P., Szydło A., Krawczyk B.: Influence of the construction technology on the texture and roughness of concrete pavements. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, 17, 2, 2018, 111-126, DOI:10.7409/rabdim.018.007
- [2] Ditchen H.: Historia budowy autostrad w Niemczech. *Magazyn Autostrady*, 5, 2010, 186-193
- [3] Tylutki R.: Autostrady w Niemczech. *Drogownictwo*, 4, 2002, 108-111
- [4] Jaskuła P., Judycki J.: Projekt przebudowy nawierzchni betonowej z zastosowaniem technologii rozkruszania. *Drogownictwo*, 12, 2009, 417-422
- [5] Krawczyk B., Szydło A., Mackiewicz P., Dobrucki D.: Suitability of aggregate recycled from concrete pavements for layers made of unbound and cement bound mixtures. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, 17, 1, 2018, 39-53, DOI:10.7409/rabdim.018.003

5. CONCLUSIONS

Over 80% of all pavements in Poland are flexible type pavements as compared to 6% share of PCC pavements. This being so, there was very little opportunity to develop concrete pavement reconstruction in Poland. Thus we need to take advantage of foreign experiences, mainly from the USA, Germany and France. The paper presents the approach adopted in two regional road reconstruction projects having concrete pavement trafficked for more than 80 years. One of the technologies used in the project was placement of a SAMI layer composed of a layer asphalt concrete of 0/5 fine grain aggregate bound with PMB 45/80-55 and a thin layer of bitumen. This stretch was used as a reference. It was enable evaluating the effectiveness of this system in preventing reflection cracking in new asphalt courses. In the second case the rubblizing method was used in which the existing concrete pavement is recycled into an uncompromised flexible road base. In both cases recycled concrete aggregate obtained by crushing in the stationary crusher was also used. A quality recycled concrete aggregate is an uncompromised construction material in compliance with the requirements of the relevant standards.

ACKNOWLEDGEMENT

The article is an extended version of the paper presented at the conference “Durable and safe road pavements”, organized during the international fair of road construction industry “Autostrada-Polska” Kielce 2018.

- [6] Zapaśnik W.: Remont nawierzchni z betonu cementowego metodą kruszenia udarowego (rubblizing). *Drogownictwo*, 9, 2006, 292-301
- [7] Rubblization of Portland Cement Concrete Pavements. Transportation Research Board Flexible Pavement Construction and Rehabilitation Committee, Washington, 2006
- [8] Wisconsin Department of Transportation: Facilities Development Manual, Chapter 14 Pavements, Section 25 Pavement Rehabilitation, FDM 14-25-10 Concrete Pavement Rehabilitation Guidelines, 2013
- [9] Sherman G.: Minimizing Reflection Cracking of Pavement Overlays. In: National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice, 92, Transportation Research Board, Washington D.C., 1982

- [10] *Koba H., Skotnicki L., Szydło A.*: Właściwości asfaltu modyfikowanego gumą - praktyczne zastosowanie. *Drogownictwo*, 11, 2010, 378-382
- [11] *Barksdale R.D.*: Fabrics in Asphalt Overlay and Pavement Maintenance. In: National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice, 171, Transportation Research Board, Washington D.C., 1991
- [12] Bitunova, http://www.bitunova.com.pl/uslugi/warstwa_sami/ 01.07.2018
- [13] *Boratyński J.*: Asphaltowe technologie przeciwspekaniowe dla nawierzchni drogowych. Konferencja Naukowo-Techniczna Nawierzchnie Drogowe, Kraków, 2016