

Metoda rubblizingu w przebudowie drogi o nawierzchni betonowej – studium przypadku

Rubblizing Technique for Concrete Pavement Reconstruction – Case Study



Stanisław Majer

Dr inż.

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

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



Alicja Sołowczuk

Prof. dr hab. inż.

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

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

Streszczenie: W artykule przedstawiono studium przypadku przebudowy drogi wojewódzkiej DW142, w której zastosowano technologię rubblizingu, (tj. kruszenia płyt betonowych na miejscu i ich wykorzystania, jako podbudowy pod nowe warstwy asfaltowe). Kluczowym elementem procesu decyzyjnego przy wyborze tej technologii była ocena współczynnika współpracy między płytami betonowymi (k), którego niskie wartości wskazywały na brak współpracy konstrukcyjnej i konieczność zastosowania rubblizingu. Szczegółowo opisano procedurę doboru parametrów pracy łamacza wielogłowicowego (MHB) na odcinku próbnym, proces wykonawstwa oraz kontrolę jakości robót. Po ponad dziesięciu latach eksploatacji nawierzchnia wykazuje bardzo dobrą trwałość użytkową bez spękań odbitych, kolein czy uszkodzeń strukturalnych. Uzyskane efekty potwierdzają zasadność zastosowania technologii rubblizingu w warunkach polskich, jako efektywnego i ekonomicznego rozwiązania przy przebudowie nawierzchni betonowych.

Słowa kluczowe: Nawierzchnia betonowa; Rubblizing; Przebudowa dróg

Abstract: This article presents a case study of the reconstruction of provincial road DW142, in which the rubblizing technique – crushing concrete slabs in situ and reusing the material as a base for new asphalt layers – was applied. A key factor in the decision-making process for adopting this method was the evaluation of the coefficient of interaction between concrete slabs (k), whose low values indicated a lack of structural cooperation and the necessity of rubblizing. The procedure for selecting the operating parameters of the multi-head breaker (MHB) on a trial section, the execution process, and the quality control measures are described in detail. After more than ten years of service, the road exhibits excellent performance with no reflective cracking, rutting, or structural damage. The results confirm the suitability of rubblizing technology under Polish conditions as an effective and cost-efficient solution for the reconstruction of concrete pavements.

Keywords: Concrete pavement; Rubblizing; Road reconstruction

Wprowadzenie

W dobie globalnego ocieplenia i rosnącego wpływu działalności człowieka na klimat, coraz większą wagę przykładają się do aspektów środowiskowych w projektach inżynierskich, zwłaszcza w kontekście zrównoważonego rozwoju. W budownictwie drogowym istotne są także kwestie ekonomiczne, szczególnie przy remontach nawierzchni, gdy możliwe jest wykorzystanie materiałów pochodzących z rozbiórki. Ma to szczególne znaczenie w przypadku przebudowy dróg o nawierzchni betonowej.

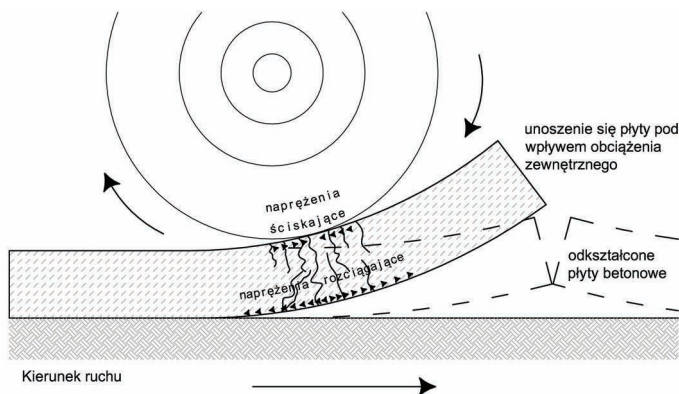
Rubblizing uznaje się za odpowiednią metodę przebudowy nawierzchni betonowej w sytuacji, gdy ta wyczerpała już swoją żywotność [2, 15]. Charakterystycznym objawem degradacji są odkształcone płyty betonowe, tworzące w szczelinach i pęknięciach wystające kra-

wędzie, które pod wpływem obciążeń prowadzą do dalszych pęknięć i obłamań (rys. 1 i 2). Należy jednak podkreślić, że nie każdą nawierzchnię betonową można poddać rubblizingowi. Zgodnie ze specyfikacjami [3, 11], przed wyborem tej technologii należy obowiązkowo przeprowadzić ocenę strukturalną istniejącej konstrukcji nawierzchni, zbadać aktualne i prognozowane natężenie ruchu oraz wykonać badania podłoża gruntowego i warunków środowiskowych.

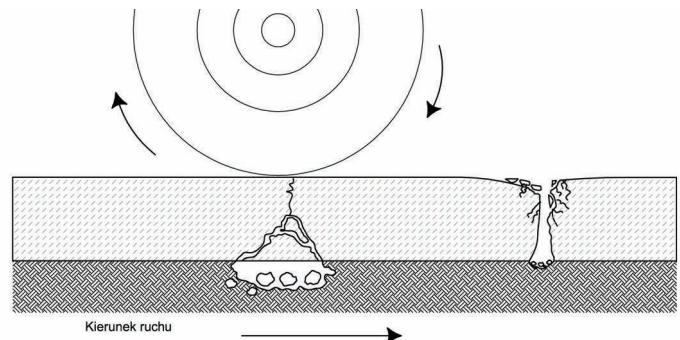
Kluczowym elementem przy podejmowaniu decyzji o metodzie remontu nawierzchni betonowej jest dokładna ocena stanu technicznego zarówno samej nawierzchni, jak i podłoża. Może się bowiem okazać, że istniejące warunki gruntowo-wodne oraz niska nośność podłoża wymagają jego wzmocnienia i zastosowania dodatkowych warstw po-

niżej istniejącej konstrukcji. Jednocześnie możliwości zwiększenia grubości konstrukcji w górę mogą być ograniczone. Biorąc powyższe pod uwagę trzeba przyjąć, że ocena stanu technicznego istniejącej nawierzchni jest ważna i w procesie przygotowawczym należy koniecznie dokonać trzech ocen, wskazanych na tab. 1.

Wyżej wymienione badania są niezbędne do oceny, czy dana nawierzchnia kwalifikuje się do zastosowania technologii rubblizingu. Szczególną uwagę należy zwrócić na stan istniejących płyt betonowych, aby właściwie ocenić ich przydatność, jako kruszywowej podbudowy w nowej konstrukcji. Kluczowe jest określenie warunków gruntowo-wodnych, pozwalających ocenić grupę nośności podłoża. W szczególnych przypadkach może być wykonana ocena podłoża na podstawie sondy



1. Poglądowa ilustracja oddziaływania płyt betonowych, gdy nawierzchnia wyczerpała już swoją żywotność



2. Zerodowana nawierzchnia betonowa przyczynia się do powstawania dużych naprężeń rozciągających, które przyczyniają się do dalszych spękań i erozji niższych warstw oraz podłoża gruntowego

DCP lub nawet okrywkę i badania płytą statyczną (VSS). Jednak większość nawierzchni betonowych można poddać technologii rubblizingu w odpowiedni sposób i zastosować na nich warstwy z mieszanki mineralno-asfaltowej (MMA). Podstawą wyboru metody remontu starych nawierzchni betonowych są przede wszystkim wyniki dotyczące współczynnika współpracy między płytami betonowymi k (tab. 1). Ale również niezwykle ważne są oceny pionowych przemieszczeń między płytami, czyli wyniki współczynnika wpływu punktu przyłożenia obciążenia s (tab. 2).

Według zaleceń zawartych w [2, 10, 11, 13, 14, 15] rubblizing jest zalecany, gdy na istniejącej nawierzchni betonowej odnotowano jeden lub kilka typów uszkodzeń o następującej intensywności:

- więcej niż 20% szczelin na nawierzchni betonowej wymaga napraw,
- więcej niż 20% powierzchni betonowej poddano naprawom, (czyli wykonano na niej łaty),
- 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 (ok. 4 cali).

Obie technologie remontu nawierzchni przedstawione w tab. 2 mają swoje zalety i ograniczenia. Rubblizing znajduje zastosowanie również w sytuacjach, gdy wartości obu współczynników (k i s) są wprawdzie korzystne, ale istnieją ograniczenia techniczne lub formalne związane z możliwością podniesienia niwelety drogi po przebudowie.

Tab. 1. Konieczne prace przygotowawcze związane z oceną stanu technicznego nawierzchni z płyt betonowych (opracowanie autorów na podstawie [3])

L.p.	Ocena stanu	Szczegółowe czynności
1	istniejącej nawierzchni	identyfikacja: stanu pęknięć, wad połączenia płyt betonowych, deformacji i uszkodzeń powierzchni płyt betonowych
2	struktury istniejącej konstrukcji nawierzchni i poboczy	wykonanie standardowych odwiertów co 250 m, celem określenia rodzaju i grubości istniejących warstw w starej nawierzchni,
3	podłoża gruntowego	wykonanie standardowych odwiertów geotechnicznych co 250 m (najlepiej w odwiercie w nawierzchni na głębokość min. 3,0 od góry nawierzchni), celem określenia rodzaju i stanu gruntu, a w szczególnych przypadkach wykonanie sondy DCP do 2 m

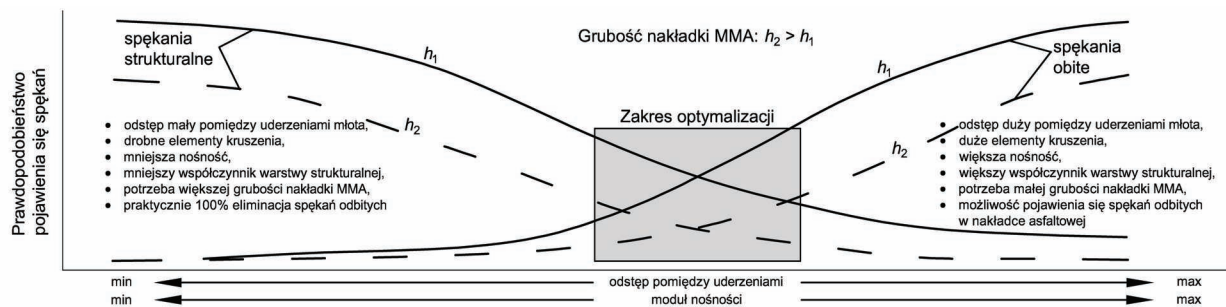
Tab. 2. Wartości współczynników stanowiące podstawę do wyboru technologii remontu drogi o nawierzchni z płyt betonowych (opracowanie autorów na podstawie [1, 5, 6, 9])

Współczynnik współpracy między płytami betonowymi	Współczynnik wpływu punktu przyłożenia obciążenia	Zalecane metody remontu starych nawierzchni z płyt betonowych
$k \leq 0,65$	$s \geq 1,4$	rubblizing i zastosowanie nakładki MMA
$k > 0,65$	$s < 1,4$	zastosowanie warstwy SAMI i nakładki MMA

Celem zastosowania rubblizingu jest przede wszystkim eliminacja powstawania spękań odbitych w nakładkach z MMA, ale również ważne są aspekty ekonomiczne, czyli redukcja czasu i kosztów przebudowy, (tj. kosztów związanych z ograniczeniem ruchu na remontowanej drodze, koniecznością organizacji objazdów, wykorzystaniem materiałów z rozbiórki itd.). Samo wykorzystanie na miejscu pokruszonych płyt betonowych przyczynia się do uzyskania ponad 50-60% oszczędności kosztów materiałowych i 100% oszczędności kosztów transportu materiałów [14, 15]. Pokruszone płyty betonowe stanowią podbudowę pod nowe warstwy asfaltowe. Istotą odróżniającą rubblizing od pozostałych wgłębnych metod remontu nawierzchni, jest uzyskanie podbudowy ziarnistej (kruszywowej), która nie przenosi naprężeń rozciągających i nie jest wrażliwa na zmiany temperatury. Rubblizing powoduje, że jeśli w płytach betonowych było zastosowane zbrojenie, to po kruszeniu nawierzchni jest ono od-

spojone od betonu [3]. Im większy jest stopień kruszenia płyty betonowej, tym mniejszy jest efektywny moduł płyty [3]. Najważniejszą zaletą metody rubblizingu jest również możliwość wykorzystania *in situ* istniejącej starej nawierzchni, jako warstwy podbudowy, co istotnie ogranicza koszty transportu związane z wywozem nawierzchni rozbiórkowej, jak i koszty zakupu oraz dowozu nowych materiałów nawierzchniowych.

Technologia rubblizingu, (czyli kruszenia udarowego nawierzchni betonowych) została opracowana w USA w stanie Wisconsin na początku lat 80. poprzedniego wieku [1, 14, 15]. Jej głównym celem było uzyskanie strukturalnie mocnej warstwy podbudowy przed wykonaniem kolejnej warstwy konstrukcyjnej nawierzchni z zastosowaniem nakładki MMA. Pokruszone, zagęszczone i wyrównane do jednego poziomu stanowią ścisłą i wzajemnie klinującą się warstwę, nieprzenoszącą naprężeń zginających i rozciągających, ale posiadającą wysoką wytrzymałość na ścina-



3. Optymalizacja doboru parametrów pracy łamacza MHB i grubości planowanej nakładki MMA (w zakresie od h_1 , ..., do h_2) przy uwzględnieniu miejscowych warunków geotechnicznych i grubości kruszonych płyt betonowych (opracowanie autorów na podstawie [8, 11, 14])

Oznaczenia: h_1 – mniejsza grubość nakładki MMA, h_2 – większa grubość nakładki MMA.

nie i odporność na koleinowanie oraz równocześnie niewrażliwą na zmiany temperatury [10, 14]. Przed projektem przebudowy trzeba jednak wykonać ocenę istniejącego stanu nawierzchni, badania ww. współczynników i parametrów geotechnicznych oraz konieczne odwierty w starej nawierzchni, w celu określenia grubości płyt betonowych. Rubblizing można stosować do płyt betonowych grubości od 150 mm do 356 mm (od 6 cali do 14 cali), uzyskując skuteczne kruszenie [15]. Do rubblizingu stosuje się łamacz wielogłowicowy Multi-Head Breaker MHB (ang. *multi-head breaker*). Do grubszych nawierzchni powinno się używać specjalistycznego sprzętu o zwiększonej wadze obu par młotów. Przy opracowaniu projektu rozbiórki starej nawierzchni i projekcie nowej konstrukcji nawierzchni powinno się wybrać odpowiednią grubość nakładki z MMA (w zakresie od h_1 , ..., do h_2) i zoptymalizować parametry pracy łamacza MHB na podstawie analizy poszczególnych wyników uzyskanych z odcinka próbnego. Proces optymalizacji, na podstawie wyników z odcinka próbnego przedstawiono na rys. 3.

W niniejszym artykule do opisu metody rubblizingu wykorzystano przypadek remontu nawierzchni betonowej na drodze wojewódzkiej DW142, której żywotność już się wyczerpała.

Stan drogi wojewódzkiej DW142 przed przebudową

Droga wojewódzka DW142 była wybudowana przed II wojną światową i stanowi fragment nieukończonyj autostrady prowadzącej z Berlina do Królewca. Przedmiotowy odcinek, opisywany w niniejszym artykule, o długości 21,8 km znajduje się pomiędzy Szczecinem i Łęczycą od km 0+480 do km 22+530. Do roku 1943 wykonano roboty ziemne pod obie jezdnie, ale do ruchu oddano tylko jezdnię południową. DW142 ma szerokość jezdni południowej równą 7,5 m, opaskę wewnętrzną szerokości 0,5 m i pas awaryjny szerokości 2,25 m. Konstrukcja nawierzchni betonowej składała się z dwóch warstw. Górna warstwa grubości ok. 7 cm wykonana była z gysu bazaltowego, a dolna warstwa grubości 22-23 cm stanowiła standardową nawierzchnię betonową wykonywaną metodą „mokre na mokre”. Pod konstrukcją nawierzchni z płyt betonowych znajdowała się warstwa mrozoochronna o grubości 50 cm. Po prawie osiemnastoletnim użytkowaniu nawierzchnia była w złym stanie technicznym, wynikającym z wyczerpania trwałości zmęczeniowej oraz odkształceń pionowych podłoża. Typowymi uszkodzeniami były pęknięcia poprzeczne i podłużne płyt, przemieszczenia płyt w pionie, oblama-

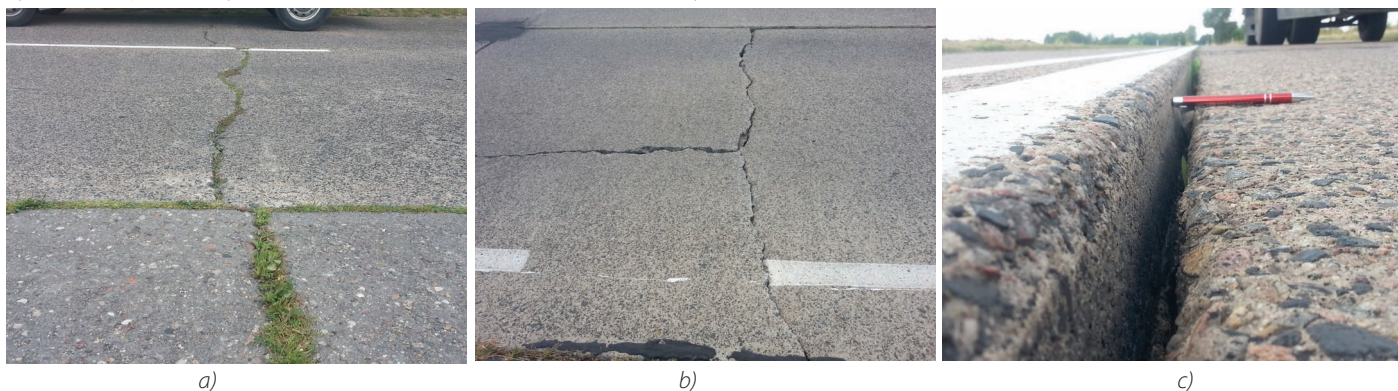
nia krawędzi płyt i wykruszenia w szczelinach (rys. 4).

Uwzględniając uszkodzenia i wielkości przemieszczenia płyt betonowych na całej długości remontowanego odcinka DW142 wykonano na obu pasach ruchu pomiary współczynnika k . Zgodnie z zaleceniami zawartymi w [5] wykonano badania współczynnika k naprzemienne, co 50 metrów (na jednym i drugim pasie ruchu na długości całego ponad dwudziestokilometrowego odcinka drogi) i dodatkowo wykonano 100 badań w pęknięciach. Rezultaty wykonanych badań wykazały, że w szczelinach współpraca była częściowa, a w przypadku pęknięć płyt betonowych brak było współpracy.

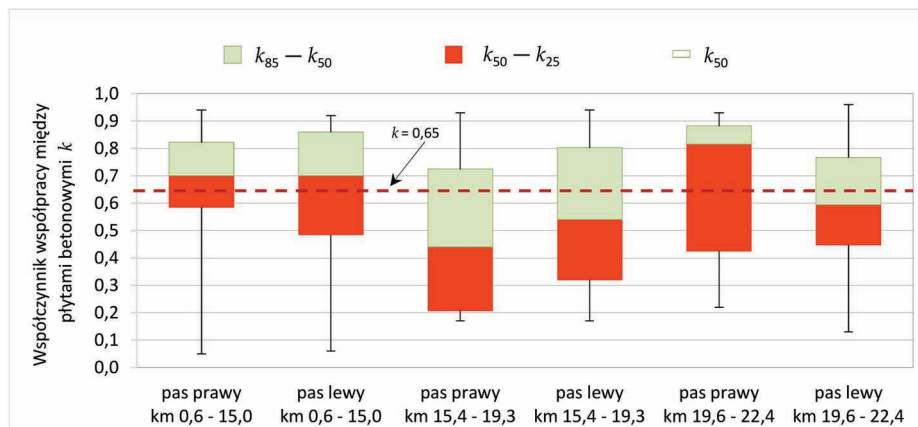
Analiza wyników współczynnika k przedstawionych na rys. 5 wykazała, że wartości współczynnika współpracy pomiędzy płytami są niezadowalające i zalecany powinien być rubblizing starej nawierzchni. Na rys. 5 dodatkowo linią przerywaną oznaczono wartość współczynnika k równą 0,65, rozgraniczającą stan nawierzchni i zalecane metody remontu, zgodnie z danymi zestawionymi w tab. 1.

Projekt konstrukcji nawierzchni

Z uwagi na posuniętą degradację starej nawierzchni betonowej, liczne pęknię-



4. Stan techniczny nawierzchni: a) spękania poprzeczne; b) spękania poprzeczne i podłużne; c) przemieszczenia płyt w pionie i w poziomie



5. Wykres ramka-wąsy wyników współczynnika k (opracowanie autorów na podstawie [8])

Oznaczenia: k_{50} – mediana współczynnika k ; $k_{85} - k_{50}$ – trzeci kwantyl współczynnika k (k_{85} – 85% kwantyl współczynnika k , oznaczający, że 85% odnotowanych wyników nie przekracza tej wartości); $k_{50} - k_{25}$ – drugi kwantyl współczynnika k (k_{25} – 25% kwantyl współczynnika k , oznaczający, że 25% odnotowanych wyników nie przekracza tej wartości); wąsy prezentują odpowiednio wartości minimalne k_{min} i maksymalne k_{max}

cia poprzeczne i podłużne oraz przemieszczenia pionowe zastosowano metodę rubblizingu, która dzięki skruszeniu płyt betonowych na miejscu pozwoliła na ujednolicenie podłoża i powstanie podatnej podbudowy pod warstwy asfaltowe planowanej nowej nawierzchni. Projekt nowej nawierzchni w 2014 r. wykonano na zgodnie z zaleceniami obowiązujących wówczas katalogów [5, 7]. Kategorię ruchu KR3 określono na podstawie danych uzyskanych z GPR z 2010 r. [4], zgodnie z zaleceniami zawartymi w [16].

W trakcie prac polowych stwierdzono, że na odcinku od początku przebudowy od km 0+480 do km 11+500 podłoże stanowiły średnio zagęszczone piaski średnie i drobne rzeczne równiny akumulacyjno-erozyjne wód roztopowych, natomiast na pozostałym odcinku gliny wysoczyzny moreny płaskiej i falistej [12]. Nie stwierdzono wody gruntowej do głębokości 2 m poniżej poziomu nawierzchni [12]. Z uwagi na zastosowaną w starej nawierzchni warstwę mrozochronną o grubości 50 cm w projekcie nowej nawierzchni pod względem wysadzinowości przyjęto grupę nośności G1. Na podbudowie powstałej z pokru-

szonych płyt betonowych zaprojektowano warstwy z mieszanek mineralno-asfaltowych o łącznej grubości 16 cm. Zaprojektowana konstrukcja charakteryzowała się trwałością zmęczeniową na poziomie 16 mln osi równoważnych osi standardowych 100 kN [8]. Układ warstw nawierzchni przedstawiono na rys. 6.

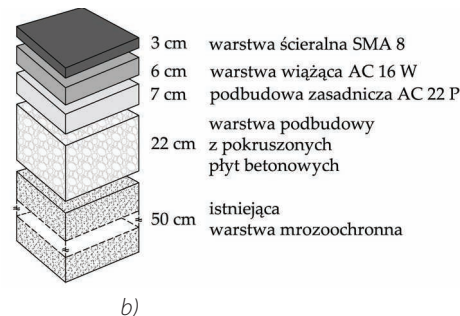
Odcinek próbny

Biorąc pod uwagę długość dwudziestokilometrowego odcinka remontowanej drogi i grubość starych płyt betonowych ok. 22 cm [8], to przed przystąpieniem do zasadniczego kruszenia wykonano odcinek próbny, celem wyboru odpowiedniej energii łamania, która decydowała o stopniu pokruszenia płyt betonowych (rys. 7 i 8).

Na odcinku próbnym zastosowano etapowanie kruszenia łamaczem wielogłowicowym MHB T8600, w celu doboru odpowiednich parametrów łamacza (tab. 3 i rys. 7). Elementem łamiącym/kruszącym beton były stalowe młoty MHB podnoszone do góry i swobodnie opadające z odpowiedniej wysokości – wysokość jest regulowana (maksymalnie 1,7 m). Młoty miały szerokość 20

cm i były ustawione w dwóch rzędach, przesuniętych po przekątnej. Młot z pierwszego i drugiego rzędu stanowił parę. Każda para podlegała regulacji wysokości podnoszenia. Łamacz MHB efektywnie łamie płytę betonową w zakresie grubości od 15 do 36 cm. Dlatego tak istotne jest w pierwszej kolejności dobranie odpowiedniej wysokości podniesienia młota, by w końcowym rezultacie uzyskać kruszenie na całej grubości płyty betonowej. Następnie przy określonej już wysokości podniesienia młota powinno się dobierać odpowiednio energię kruszenia i prędkość przejazdu łamacza, w celu uniknięcia wbijania się kruszywa w podłoże i uzyskania odpowiednich wymiarów elementów kruszenia (rys. 7 i 8). W przypadku, gdy na odcinku remontu są różne warunki lokalne podłoża, to powinno się równolegle wykonywać badania nośności przy każdej zmianie parametrów pracy łamacza, w celu uzyskania pożądanych rezultatów.

Po analizach kilku wysokości podnoszenia stalowych młotów w zakresie od 1,3 do 1,7 m wybrano ostatecznie wysokość 1,50 m i odstęp między uderzeniami równy 50 mm. Wybrana ostatecznie wysokość opadania młota MHB zapewniała maksymalne wymiary kruszonych elementów do 50 mm na powierzchni płyty betonowej i 300 mm na dole płyty oraz brak wbijania pokruszonych brył w podłoże podczas kruszenia (rys. 7). Podczas kruszenia płyt na odcinku próbnym zwracano szczególną uwagę na utrzymanie odpryskiwania małych elementów na minimalnym możliwym poziomie, przy jednoczesnym osiągnięciu pełnej głębokości kruszenia. Głównie jednak zwracano uwagę, by kruszenie betonu następowało na pełnej grubości płyty betonowej. Zgodnie z zaleceniami sformułowanymi w [1], w trakcie kruszenia nawierzchni na odcinku próbnym była prowadzona ciągła ocena wizualna pęknięć wraz z kontrolą uziarnienia i od-



6. Porównanie konstrukcji nawierzchni na DW142: a) stara konstrukcja nawierzchni betonowej; b) nowa konstrukcja nawierzchni (opracowanie autorów na podstawie [8])

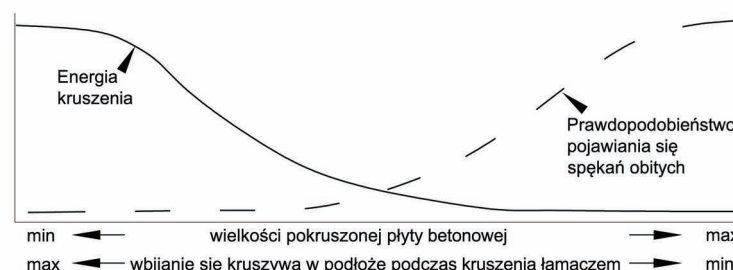
słonięcia stali zbrojeniowej w odkryw-
kach.

Z doświadczeń z odcinka próbnego wynika, że przy stosowaniu rubblizingu zawsze powinno się stosować odcinki próbne w celu weryfikacji stopnia prze-
kruszenia starej nawierzchni. Dowol-
ność doboru wysokości opadania młota
(energii) i odstępu pomiędzy uderze-
niami umożliwia dopasowanie wymiaru
kruszonych elementów do konkretnych
wymagań każdego projektu remontu
starej nawierzchni. Ta elastyczność do-
boru parametrów pracy łamacza MHB
jest szczególnie cenna, gdy na remonto-
wanej drodze występują różne warunki
(tj. różne specyfikacje kruszenia, zmie-
na grubość płyt betonowych, różna ja-
kość betonu, zmienne warunki grunto-
wo-wodne, ponieważ umożliwia ona
natychmiastową reakcję na te warunki
[15].

Mając komplet dobranych parame-
trów pracy łamacza i wyników wyko-
nanych badań nośności w końcowym
efekcie określa się właściwe parametry
kruszenia w zależności od warunków
lokalnych podłoża. W danym przypadku
po analizach wszystkich wyników mie-
rzonych parametrów pracy łamacza wy-
brano optymalne wielkości kruszonych
elementów, które zapewniały, że 75% z
nich posiadało wymiary nie większe niż
[8]:

Tab. 3. Kolejność czynności pracy łamacza MHB na odcinku próbnym (opracowanie autorów na podstawie [8])

L.p.	Czynność	Oczekiwany efekt
Krok 1	Dobór wysokości podnoszenia młota MHB	Uzyskanie kruszenia płyty w głąb całej grubości starej nawierzchni betonowej
Krok 2	Dobór energii kruszenia i prędkości jazdy łamacza	Uniknięcie wbijania się kruszywa w podłoże i uzyskanie pożądanej wielkości pokruszonej płyty betonowej (ok. 5 cm na górze płyty i do 30 cm na spodzie płyty)
Krok 3	Badania nośności skruszonej płyty betonowej podczas doboru wielkości łamanych elementów	Uzyskanie wymaganej nośności



7. Poglądowe przedstawienie doboru optymalnych parametrów kruszenia na odcinku doświadczalnym, przy wybranej wysokości opadania młota łamacza (opracowanie autorów na podstawie [8])

- w dolnej połowie płyty betonowej 230 mm,
- w górnej połowie płyty betonowej 75 mm,
- na powierzchni płyty betonowej 50 mm.

Opis technologii wykonawstwa wzmocnienia konstrukcji nawierzchni z wykorzystaniem destruktu ze starych warstw betonowych

Biorąc pod uwagę stan techniczny

starej nawierzchni zastosowano dwie metody wykorzystania starych warstw nawierzchni betonowej. Nawierzchnię z pasa awaryjnego i opaski wstępnie pokruszono na miejscu (rys. 9), a następnie rozdrobniono w kruszarce stacjo-
narnej do frakcji 0/31,5. Z pozyskanego w ten sposób kruszywa na części drogi wykonano dodatkową 10 cm warstwę podbudowy na skruszonej nawierzchni metodą rubblizingu. Warstwa ta była rozkładana przy użyciu rozścielacza do MMA. Uwzględniając różnicę grubości



a)



b)



c)

8. Różne wymiary pokruszonych brył na odcinku próbnym: a) największe; b) średnie; c) najmniejsze



a)



b)

9. Etapy składowania rozebranej nawierzchni z opaski i pasa awaryjnego: a) składowanie pokruszonej nawierzchni z pasa awaryjnego; b) składowanie na pasie dzielącym kruszywa o uziarnieniu 0/31,5 po kruszeniu w kruszarkach stacjonarnych

starej i nowej konstrukcji nawierzchni warstwę dodatkową układano z odniesieniem wysokościowym do linki niwelacyjnej. Ewentualne różnice w podłożu powstałe po skruszeniu nawierzchni z opasek i starego pasa awaryjnego wyrównywano pod tą dodatkową warstwą gruntem nasypowym.

Natomiast starą nawierzchnię jezdni kruszono na miejscu łamaczem MHB. W trakcie procesu kruszenia wykonywano ciągłą wizualną kontrolę uziarnienia poprzez wykonywanie odkrywek w skruszonej nawierzchni na każdym kilometrze drogi. Maksymalne wymiary pokruszonych brył na dole pokruszonej warstwy nie przekraczały 30 cm. W trakcie kruszenia płyt kontrolowano nie tylko jakość kruszenia, (tj. wizualną ocenę pęknięć płyt betonowych i wykonywanie odkrywek), ale również wykonywano obserwacje ciągłe odsłonięcia stali zbrojeniowej i uziarnienia, w odkrywkach skruszonej nawierzchni na każdym kilometrze drogi. W przypadku stwierdzenia miejscowego odsłonięcia stali zbrojeniowej na powierzchni nawierzchni lub od strony rozebranych opasek i pasa awaryjnego, oznaczano te miejsca markerami i usuwano odsłoniętą stal zbrojeniową.

Powierzchnia płyt betonowych po kruszeniu zazwyczaj jest „łuszcząca”. Dlatego w celu zmniejszenia wielkości „łuszczących się cząstek” stosuje się zagęszczanie walcem wibracyjnym o masie 9 t ze wzorem na wale w kształcie litery „Z” [15]. Zastosowanie walca wibracyjnego z charakterystycznym wzorem w kształcie litery „Z” ma na celu dalsze rozdrobnienie górnej powierzchni pokruszonych elementów płyt betonowych (rys. 10), w celu osiągnięcia dobrego jakościowo zagęszczenia w podbudowie kruszywowej [15]. Zagęszczanie walcem

wibracyjnym zapewniało dodatkowo lepsze klinowanie rozkruszonych brył, zwłaszcza w górnej części kruszonej płyty betonowej (rys. 11). Biorąc pod uwagę uzyskany stan kruszenia płyty betonowej po przejeździe łamacza MHB na drodze DW142 wykonano dwa przejazdy walcem wibracyjnym z wzorem w kształcie litery „Z”.

Następnie zgodnie ze specyfikacją sekwencji budowy nowej nawierzchni [11, 15] powinno się zagęszczać walcami wibracyjnymi o stalowych kołach (dwa przejazdy) lub walcami pneumatycznymi (cztery przejazdy). Wybór walców i liczby ich przejazdów zależy przede wszystkim od uzyskanego stanu kruszenia i wielkości pokruszonych elementów na powierzchni płyt betonowych [15]. Z uwagi na stan kruszenia i wymiary kruszonych brył wykonano na całym odcinku remontowanej drogi DW142 dwukrotny przejazd walcem wibracyjnym gładkim.

W wyniku przyjętej technologii kruszenia i wałowania dwoma rodzajami walców otrzymano ujednolicone podłoże i podbudowę podatną (rys. 12), na której możliwe było ułożenie warstw asfaltowych o łącznej grubości 16 cm [8]. Ważne było również to, że w efekcie kruszenia płyt betonowych zmieniono rodzaj nawierzchni ze sztywnej na podatną. Uwzględniając powyższe w projekcie nowej konstrukcji nawierzchni grubość zwrócono szczególną uwagę na pierwszą warstwę MMA, układaną na kruszonych płytach [3, 8]. Powinna ona mieć wystarczającą grubość, by odpowiednio pokryć kruszywową podbudowę i w zależności od przyjętej dalszej technologii i organizacji ruchu przenieść tymczasowy ruch do czasu ułożenia kolejnych warstw [3].

Ocena stanu nowej nawierzchni po 10 latach eksploatacji

Po upływie ponad dekady od zakończenia przebudowy, nawierzchni zastosowana na drodze wojewódzkiej DW142 wykazuje bardzo dobrą trwałość eksploatacyjną. Na całej długości remontowanego odcinka brak jest spękań odbitych, deformacji trwałych oraz kolein (rys. 13). Nawierzchnia zachowała wysoką równość podłużną i poprzeczną, a odwodnienie funkcjonuje prawidłowo. Weryfikacja stanu technicznego wykonana w 2025 roku nie wykazała konieczności przeprowadzania żadnych zabiegów utrzymaniowych ani wzmacniających. Stan drogi oceniono, jako bardzo dobry, co potwierdza skuteczność zastosowanej technologii rubblizingu oraz poprawność przyjętych rozwiązań projektowych i wykonawczych.

Wnioski

Niewielką część dróg w Polsce stanowią drogi z nawierzchnią betonową. Powoduje to, że technologie przebudowy starych nawierzchni betonowych w naszym kraju nie miały do tej pory szansy się rozwinąć. W projektach nowych konstrukcji nawierzchni przy okazji remontu dróg wykorzystuje się, więc doświadczenia innych krajów, głównie Stanów Zjednoczonych, Niemiec i Francji. W artykule przedstawiono podejście do tego zagadnienia na podstawie przebudowy drogi wojewódzkiej DW142 o nawierzchni betonowej wykonanej ponad 80 lat temu. W danym przypadku zastosowano technologię rubblizingu wykorzystując destrukcję ze starej nawierzchni betonowej do budowy pełnowartościowej podbudowy podatnej pod nowe warstwy asfaltowe.

Na podstawie doświadczenia z wykonawstwa opisanej przebudowy można stwierdzić, że:

- istotne było zastosowanie odcinka próbnego do dobru odpowiednich parametrów pracy łamacza MHB, w celu uzyskania właściwej wielkości kruszonych elementów zapewniających otrzymanie ujednoliconej równiej podbudowy.
- duże znaczenie miało zastosowanie zagęszczania walcem wibracyjnym, które zapewniło lepsze klinowanie rozkruszonych brył, zwłaszcza w



10. Walec wibracyjny z wzorem na wale w kształcie litery „Z”



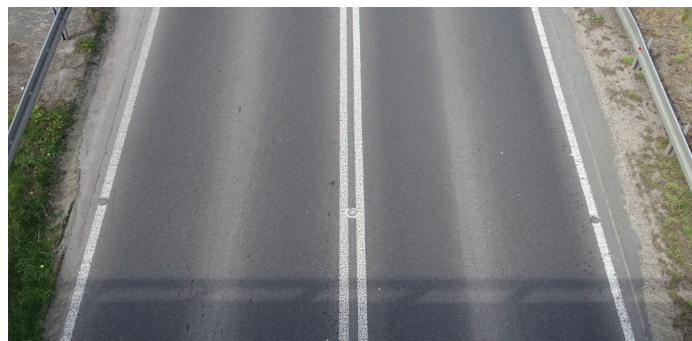
11. Powierzchnia pokruszonych płyt betonowych po przejeździe łamacza MBH



12. Ostatecznie rozdrobiona i zagęszczona powierzchnia po dwukrotnym przejściu walca wibracyjnego



a)



b)

13. Stan obecny nawierzchni po ponad 10 letniej eksploatacji: a) widok ogólny DW102; b) stan nawierzchni

- górnej części podbudowy, zastosowanie zaproponowanego układu warstw asfaltowych na podbudowie wykonanej z destruktu starej nawierzchni w opisanej technologii, przyczyniło się do uzyskania jednolitej i równej nawierzchni asfaltowej bez spękań odbitych po ponad dziesięciu latach intensywnej eksploatacji.

Konstrukcja zastosowana na omawianym odcinku DW142 charakteryzowała się dużą trwałością zmęczeniową (>KR4), co było szczególnie istotne, gdy porówna się wyniki GPR z roku 2020-21, tj. 513 samochodów ciężarowych z przyczepami do 270 z prognozy z etapu projektu. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Clombier G. Cracking in pavements: nature and origin of cracks, Chapter 1, pp. 1-16, [w:] Prevention of Reflective Cracking in Pavements, Rilem Report 18, Edited by A. Venelstraete and L. Francken, E&FN SPON, London, 1997.
- [2] Concrete Pavement Rehabilitation Guidelines: Facilities Development Manual, Chapter 14 Pavements, Section 25 Pavement Rehabilitation, FDM 14-25-10, Wisconsin Department of Transportation 2013.
- [3] Decker, D.S., Hansen K.R., Design and Construction of HMA Overlays on

- Rubblized PCC Pavements. State of the Practice, Chapter 1, pp. 7-19, [w:] Rubblization of Portland Cement Concrete Pavements, Transportation Research Circular No. E-C087, Transportation Research Board, Washington, January 2006.
- [4] Generalny Pomiaru Ruchu – punkt pomiarowy nr 32074, GDDKiA, Warszawa 2010.
- [5] Katalog Wzmocnień i Remontów Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, IBDiM, Warszawa 2001
- [6] Katalog Przebudów i Remontów Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, GDDKiA, IBDiM, Warszawa 2013.
- [7] Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, GDDKiA, 2014.
- [8] Majer S., Projekt konstrukcji nawierzchni, opracowany w ramach projektu wykonawczego pt. „Rozbudowa drogi wojewódzkiej nr 142 na odcinku Szczecin – Krzywnica od km 0+480 do km 22+530”, Szczecin 2014.
- [9] Mechowski T., Sprawozdanie z realizacji pracy TD-69 pt.: „Weryfikacja zasad oceny stopnia współpracy w pęknięciu odbitym w nawierzchni półsztywnej”, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2005.
- [10] Mieczkowski P., Majer S., Budziński B., Heavy maintenance of concrete paved roads using the regional roads no. 102 and no. 142 as an example,

Roads and Bridges - Drogi i Mosty 2019, 18, 25 – 38, DOI: 10.7409/rab-dim.019.002.

- [11] Modified-Rubblization-MA-PA-3-2-16, <https://www.antigo-construction.com/wp-content/uploads/Modified-Rubblization-MAPA-3-2-16.pdf>, dostęp 1.07.2014.
- [12] Opinia Geotechniczna – Obiekt: Przebudowa drogi wojewódzkiej nr 142 od km 0+480 do km 22+530, Fundacja na Rzecz Rozwoju Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2014.
- [13] Rubblizing Concrete Pavement. Construction and Materials Manual, Chapter 5, Section 5.5. Wisconsin Department of Transportation, 2003.
- [14] The Art of Rubblizing, https://resonantmachines.com/es_ES/rubblizing/, dostęp 1.07.2024.
- [15] Thompson M.R., Rubblization Using Multi-Head Breaker Equipment, Chapter 3, pp. 31-41, [w:] Rubblization of Portland Cement Concrete Pavements, Transportation Research Circular No. E-C087, Transportation Research Board, Washington, January 2006.
- [16] Zasady prognozowania wskaźników wzrostu ruchu – Załącznik 2 – Sposób obliczania wskaźników wzrostu ruchu wewnętrznego na okres 2008-2040, GDDKiA, Warszawa 2007.