



WITOLD ZAPAŚNIK

Generalna Dyrekcja Dróg
Krajowych i Autostrad
wzapasnik@gddkia.gov.pl

Remont nawierzchni z betonu cementowego metodą kruszenia udarowego (*rubblizing*)

Technologia *rubblizing* (kruszenie udarowe nawierzchni betonowych) została opracowana w USA w stanie

Wisconsin na początku lat 80-tych poprzedniego wieku. Jej celem było uzyskanie strukturalnie mocnej warstwy podbudowy przed wykonaniem kolejnej warstwy konstrukcyjnej nawierzchni z zastosowaniem nakładki z warstw asfaltowych, zabezpieczających przed wystąpieniem spękań odbitych w tych warstwach, poprzez zagęszczenie i wyrównanie do jednego poziomu istniejących na nawierzchni betonowej uszkodzeń oraz jej szczelin dylatacyjnych. Pokruszona na miejscu warstwa nawierzchni betonowej stanowi zespół betonowych brył o różnej średnicy, które odpowiednio włożone w podłoże i zagęszczone, tworzą ścisłą i wzajemnie klinującą się warstwę. Rozkruszony beton jest materiałem nieciąglym i nie przenosi naprężeń zginających, jednak posiada wysoką wytrzymałość na ścinanie oraz odporność na koleinowanie. Nie jest to typowy materiał kruszywowy (ziarnisty), który wbudowuje się w warstwę podbudowy.

Historia opracowania technologii oraz zrealizowane z jej zastosowaniem projekty w USA i na świecie

W początkowym okresie wdrażania technologii, w USA opracowano specjalistyczne łamacze do betonu, zdolne do rozbijania grubych płyt betonowych, w celu wykorzystania powstałego materiału jako warstwy podbudowy pod nakładki asfaltowe nawierzchni drogowych. Łamacze te są również przystosowane do rozbijania znacznie grubszych betonowych nawierzchni lotniskowych i miejskich w procesie przeróbki i ponownego wykorzystania (recyklingu) tego materiału.

Jedną z pionierskich firm zajmujących się omawianą technologią w USA jest Antigo Construction Inc. [14], która w 1982 roku rozpoczęła działalność w dziedzinie remontów nawierzchni betonowych, stosując do tego celu samojezdny gilotynowy łamacz do betonu Wirtgen CB7000 (fot. 1).



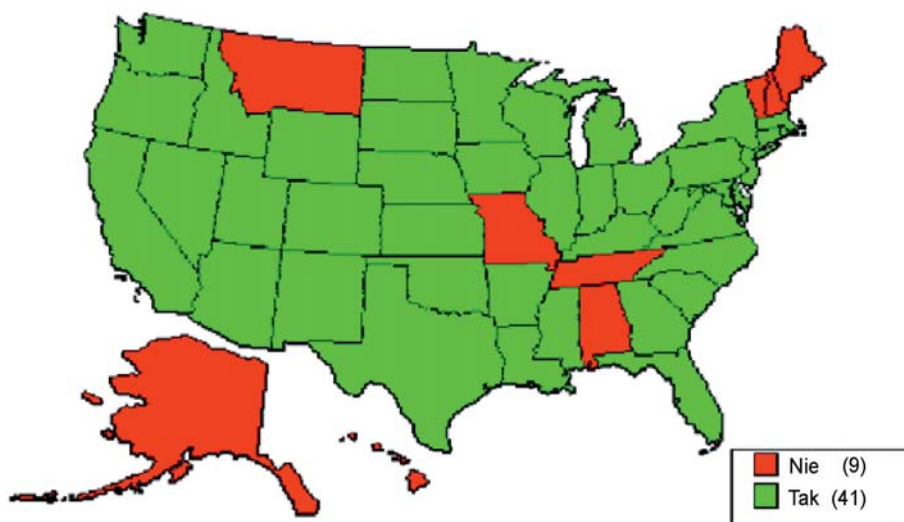
Fot. 1. Samojezdny gilotynowy łamacz do betonu Wirtgen CB7000 [14]

W ciągu kolejnych lat wprowadzono do stosowania urządzenia do kruszenia betonu typu gilotynowego oraz wielogłowicowe łamacze betonu (MHB–Multi Head Breaker), które służą do kruszenia udarowego nawierzchni betonowych pod nakładki asfaltowe oraz do łamania i odzysku betonu, poprzez jego wywóz poza plac budowy i recykling (fot. 2).

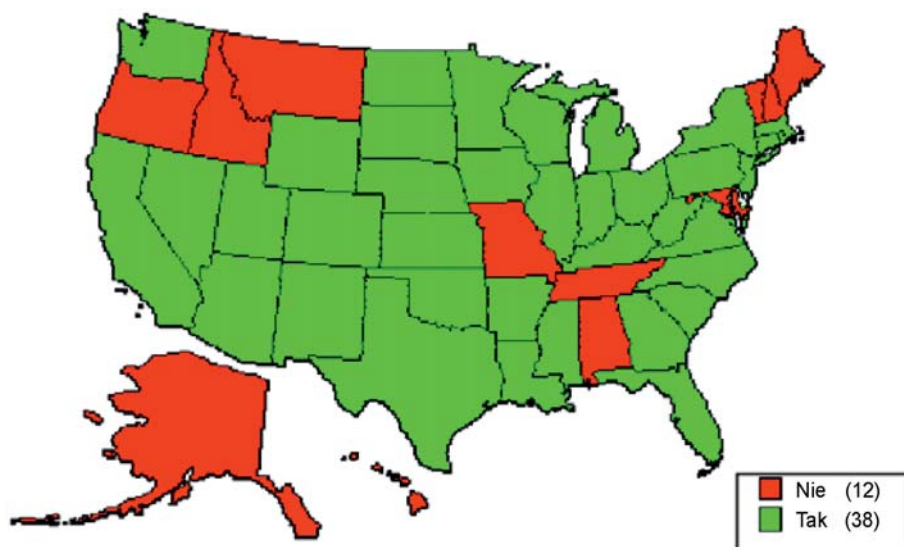
Firma stała się światowym liderem w dziedzinie remontów nawierzchni betonowych na świecie i począwszy od roku 2005 „przetwarza” ok. 2,5 miliona m² nawierzchni betonowych rocznie, a od połowy lat 80-tych zeszłego wieku wyko-



Fot. 2. Wielogłowicowe (wielogłowicowe) łamacze do betonu MHB T8600 – model samojezdny oraz zamontowany na samochodzie ciężarowym [14]



Rys. 1. Stany USA (zaznaczone kolorem zielonym) przetwarzające i stosujące stary beton z nawierzchni drogowych jako kruszywo na potrzeby budownictwa komunikacyjnego [13]



Rys. 2. Stany USA (zaznaczone kolorem zielonym) przetwarzające i stosujące stary beton z nawierzchni drogowych jako kruszywo do warstw podbudów nawierzchni nowych [13]

nała ponad 800 projektów na lotniskach o powierzchni około 25 milionów m². Największym do tej pory zrealizowanym projektem lotniskowym był *rubblizing* nawierzchni betonowej na lotnisku w Jeddach w Arabii Saudyjskiej, który obejmował powierzchnię 1,3 miliona m² i został wykonany w latach 2008–2012.

Technologia kruszenia udarowego nawierzchni betonowych ze względu na swe korzystne aspekty środowiskowe i ekonomiczne stała się w USA bardzo popularna i w większości stanów jest stosowana jako jeden z podstawowych sposobów odzyskiwania i przetwarzania materiału betonowego w drogownictwie oraz budownictwie [7]. Znalazło to swoje odbicie w przepisach technicznych w większości stanowych administracji drogowych (rys. 1 i rys. 2).

Od roku 1997 omawiana technologia jest także z powodzeniem stosowana na betonowych nawierzchniach dróg i lotnisk w Anglii, Szkocji i Irlandii, a od 2012 również w innych krajach na całym świecie, jak np. w RPA, Indiach, Belgii, Czechach,

Słowacji i w Polsce. Łącznie od 1982 roku firmy zrzeszone w Antigo Construction zrealizowały na świecie ponad 5500 projektów, w tym 38 milionów m² *rubblizingu* betonu, 69 milionów m² skruszenia/połamania i zagęszczenia nawierzchni betonowych oraz 95 milionów m² pokruszenia betonu z wywiezieniem go na odkład i następnie powtórny wbudowaniu na drogach, ulicach, pasach startowych, drogach kołowania, parkingach, oraz w strefach przemysłowych.

Projekty w technologii kruszenia udarowego nawierzchni betonowych wykonane w Polsce

W naszym kraju technologia ta jest stosowana od niedawna, ponieważ dopiero w roku 2011 zaczęto realizację projektów lotniskowych w Balicach k/Krakowa oraz w Jasionce k/Rzeszowa (z pokruszeniem betonu i wywiezieniem go na odkład w celu przeróbki do powtórnego wykorzystania). W 2015 roku zrealizowano także *rubblizing* na lotnisku w Bydgoszczy, z wykorzystaniem starej pokruszonej nawierzchni betonowej do warstwy podbudowy pod nowe nawierzchnie pasów startowych.

W 2016 roku zrealizowano pierwszy projekt drogowy kruszenia udarowego nawierzchni betonowych na drodze wojewódzkiej nr 801 Warszawa – Puławy (tzw. Nadwiślanka) w okolicy miejscowości Wilga [3] (fot. 3), gdzie pokruszenie betonu 60-letniej nawierzchni zostało wykonane z zastosowaniem specjalistycznego, samojezdnego wielogłowicowego (wielomłotowego) łamacza do betonu MHB T8600 (fot. 4, 5, 6).



Fot. 3. Droga wojewódzka nr 801 w okolicy miejscowości Wilga – stan sprzed wykonania kruszenia udarowego nawierzchni (czerwiec 2016) [3]



Fot. 4. Specjalistyczny, samojezdny wielogłowicowy (wielomłotowy) łamacz do betonu MHB T8600 w trakcie kruszenia nawierzchni betonowej na drodze nr 801 (14.06.2016 r.) [3]



Fot. 5. Pokruszony i odprężony pas płyt betonowych drogi nr 801 po użyciu łamacza do betonu MHB T8600 [3]



Fot. 6. Walec kratowy o masie 9 ton wyposażony w bandaż typu Z, do powierzchniowego rozkruszania powstałych brył betonu oraz wstępne profilowania powstałego destruktu i jego zagęszczenia [3]

Opis metody wg. amerykańskich specyfikacji materiałowych (Departamentu Transportu Stanu Wisconsin, WisDOT) [1], [2]

Obszar stosowania, cele metody oraz jej zalety

Technologię kruszenia udarowego nawierzchni betonowych stosuje się do wykonywania remontów (przebudów) nawierzchni dróg miejskich i zamiejskich, remontów nawierzchni pasów startowych, dróg kołowania oraz miejsc postojowych samolotów na lotniskach, a także nawierzchni parkingów i placów. Celem metody w przypadku nawierzchni betonowej przed wykonaniem przykrycia nakładką asfaltową, jest uzyskanie strukturalnie nośnej podbudowy, która poprzez wyrównanie w poziomie istniejących uszkodzeń nawierzchni oraz jej dylatacji będzie zabezpieczać nawierzchnię przed spękaniem odbitymi (fot. 7). Pokruszona i zagęszczona nawierzchnia betonowa stanowi zespół betonowych brył (segmentów), które tworzą wzajemnie połączoną, ściśle zaklinowaną warstwę materiału o wysokiej gęstości. Pokruszony beton jest spękany na całą głębokość, nie posiada struktury ciągłej i nie może przenosić naprężeń zginających, jednakże charakteryzuje się dużą wytrzymałością na ścinanie oraz odpornością na koleinowanie. Nie jest typowym materiałem łamanym, jak również nie jest materiałem wbudowywanym powszechnie w naszym kraju, w warstwy podbudów z kruszyw łamanych.



Fot. 7. Wyrównanie powierzchniowe uszkodzeń i dylatacji nawierzchni betonowej (pokruszenie i zawałowanie) celem jej odprężenia i ochrony przed spękaniem odbitymi

Oprócz eliminacji spękań odbitych na nawierzchni, celem tej technologii jest zmniejszenie czasu napraw nawierzchni, a także redukcja kosztów napraw nawierzchni. **Koszt wykonania remontu w tej technologii z reguły nie przekracza 50% kosztu materiału użytego do wykonania warstwy podbudowy.** Zaletą metody jest możliwość wykorzystania na miejscu istniejącej, zużytej nawierzchni betonowej, jako warstwy podbudowy przy remoncie czy przebudowie nawierzchni drogowych lub lotniskowych. Wykonane w tej technologii nawierzchnie wykazują wysoką nośność nawet przy słabym podłożu gruntowym, a czas remontu (przebudowy) danego odcinka nawierzchni skraca się maksymalnie, co z kolei minimalizuje koszty, w tym również koszty społeczne wyni-

kające z długotrwałego zamknięcia jezdni i związane z tym utrudnienia w ruchu. Badania prowadzone w USA przez NAPA (*National Asphalt Pavement Association*) pokazują, że zastosowanie kompozytowej technologii remontów nawierzchni drogowych (*rubblizing* nawierzchni betonowej plus nakładka asfaltowa), kosztowo stanowi tylko około jedną trzecią nakładów, potrzebnych na usunięcie starej nawierzchni betonowej i jej wymianę [7]. Studium wykonane na ten temat w stanie Nevada precyzuje te oszczędności na 1,48 mln \$/milę (1,6 km), a doświadczenia z remontów uszkodzonych odcinków autostrad w stanie Arkansas na 1,3 mln \$/milę [8], [9].

Nie tylko koszty wykonania remontów w tej technologii są zdecydowanie niższe. Badania amerykańskie pokazują, że również dotyczy to kosztów cyklu życia nawierzchni. Studium wykonane w roku 2008 pokazało, że w przypadku wybranego 4-pasowego, 1-milowego odcinka nawierzchni autostrady betonowej koszt cyklu życia w przypadku usunięcia betonu i zastąpienia go nowym wyniósł 1,3 mil \$/milę, a przy zastosowaniu technologii typu *rubblizing* była to kwota jedynie 795 tys. \$/milę. Badania wykonane z kolei w stanie Michigan pokazały, że przy zastosowaniu odpowiedniego odwodnienia nawierzchnie poddane zabiegowi kruszenia udarowego nawierzchni betonowych powinny pozostawać w dobrym stanie technicznym przez około 21 lat bez potrzeby wykonywania remontu [10]. Instytut Asfaltowy z kolei dokonał wyliczeń z których wynika, że żywotność nawierzchni poddanej tego typu zabiegowi wynosić będzie około 22 lata. Podane informacje wskazują, że technologia ta jest właściwą alternatywą dla zastosowania przy remoncie (przebudowie) starej nawierzchni betonowej [13].

Należy także wspomnieć o przeprowadzonej w Anglii i Szkocji (we współpracy badawczej TRL – TRANserv) analizie emisji ekwiwalentnego CO₂ przy realizacji projektów typu *rubblizing* wg specyfikacji ze stanu Wisconsin (lub tzw. *Carbon Footprint* – ślad węglowy) oraz wykorzystując specjalnie opracowany przez TRL (Brytyjskie Laboratorium Badawcze) program oceny emisji szkodliwych substancji *Emissions Estimator Tool* (EET) [5], [6]. Emisja dwutlenku węgla była porównywana do stwierdzonej w przypadku projektów wykonanych w technologii pełnej wymiany warstw nawierzchni (z warstwami podbudowy z kruszyw stabilizowanych spoiwami hydraulicznymi). Porównanie wykazało, że dzięki zastosowaniu technologii CSO (pokruszenie, zagęszczenie i przykrycie dywanikiem) średnio na badanych projektach wyemitowanych zostało o 484t CO₂ mniej. Ogólnie stanowi to ok. 80% mniej emisji CO₂ oraz oszczędności kosztowe rzędu 30% na rzecz technologii CSO.

Kryteria wyboru rodzaju technologii remontu typu *rubblizing*

Wszystkie opracowane specyfikacje dotyczące technologii kruszenia udarowego nawierzchni betonowych stosują przy jej wyborze kryterium wielkości brył pokruszonego betonu. Wyróżnia się w tym zakresie *rubblizing* tzw. pełny lub zmodyfikowany [14]. Rodzaj przekruszenia ma zapewnić pokruszonym płytom betonowym uzyskanie efektywnego modułu sztywności, tzn. odpowiednio niskiego, aby wyeliminować spękania odbite w konstrukcji nawierzchni, a z drugiej strony wystarczająco wysokiego, aby zapewnić odpowiednią

nośność warstw asfaltowych. Ostatnio dokonane analizy na podstawie przeprowadzonych badań nośności FWD (ugięciemierzem dynamicznym), podają typowe wartości modułów sztywności w przypadku betonowej warstwy poddanej tej technologii (dla typowych grubości konstrukcji nawierzchni 22,5–30 cm) w granicach 350–700 MPa. Kryterium wyboru wg wielkości pokruszenia betonu jest zwykle spełnione w przypadku niżej leżących warstw podłoża/podbudowy posiadających dostateczną, względnie dobrą, nośność. W przypadku, gdy nośność podłoża jest słaba lub zła, nie jest zalecane kruszenie betonu na małe kawałki, ponieważ uzyskana warstwa nie zapewni odpowiedniej nośności warstwie leżącej na niej nakładki asfaltowej. Doświadczenie wskazuje, że należy wtedy zastosować tzw. *rubblizing* zmodyfikowany, do którego potrzeba mniej energii w procesie łamania betonu, w celu uzyskania sztywniejszej warstwy i większego wymiaru pokruszonych kawałków, tzn. w granicach 30–45 cm. Zachowana zostanie przy tym wystarczająco wysoka wytrzymałość warstwy betonowej do prowadzenia czynności procesu budowlanego (platforma robocza do rozkładania warstw górnych) oraz zapewnienia odpowiedniej nośności nakładki asfaltowej i efektywnego wyeliminowania spękań odbitych. Specyfikacje WisDOT 2014 (Rozdział 335) [1] rozstrzygnięcia o wyborze wielkości uziarnienia brył pokruszonego betonu pozostawiają do decyzji inżyniera kontraktu (nadzoru), tak aby:

- uzyskać przełamanie płyt betonowych na ich pełną głębokość, a równocześnie zachować dobre wzajemne klinowanie się pokruszonych kawałków betonu,
- zachować odpowiednią nośność strukturalną warstwy pokruszonego betonu, w celu kompensacji niskiej nośności warstwy ulepszanego podłoża, gdy takie występuje,
- zminimalizować ruch konstrukcyjny na warstwie betonu poddanego kruszeniu udarowemu nawierzchni betonowych do czasu, gdy zostanie położona na nim przynajmniej jedna warstwa asfaltowa.

Rubblizing pełny

Specyfikacje WisDOT [1], [2] definiują *rubblizing* pełny (fot. 8–9), jako zawierający bryły betonu o uziarnieniu do maksimum 50 mm na powierzchni przekruszonych płyt betonowych (wg oceny wizualnej inżyniera dopuszcza się 75% powierzchni) oraz o uziarnieniu od 150 do 300 mm na jej spodzie (oraz dodatkowo 75% w dolnej połowie płyty do 225 mm).



Fot. 8. Kruszenie pasa nawierzchni w sąsiedztwie poprzednio pokruszonego i przykrytego nakładką asfaltową, stosując *rubblizing* pełny



Fot. 9. Walec z kratą typu Z kończący rozdrabnianie pokruszonych kawałków betonu oraz wygładzający powierzchnię i zagęszczający materiał warstwy

Wymiar pokruszonych brył betonu określa się poprzez wykonanie w czasie pierwszej połowy, pierwszego dnia roboczego, 2 odkrywek w pokruszonej warstwie o powierzchni ok. 1 m² każda (fot. 10).



Fot. 10. Wykonywanie odkrywek testowych w pokruszonej udarowo betonowej dylatowanej nawierzchni zbrojonej (JRCP)

Następnie, jeśli inżynier nie zaleci inaczej, w dalszym ciągu procesu kruszenia udarowego nawierzchni betonowych należy wykonywać przynajmniej jedną odkrywkę na milę (1,6km) pasa roboczego. Po wykonaniu sprawdzenia wymiaru pokruszonego betonu, należy wypełnić odkrywki kruszywem i odpowiednio zagęścić.

Rubblizing zmodyfikowany

Rubblizing zmodyfikowany jest definiowany w Specyfikacjach WisDOT [1], [2] pod względem uzyskiwanego wymiaru połamanych brył betonu płyty, jak również stopnia odtupiania mniejszych kawałków betonu na powierzchni płyty. Przewiduje się następujące jego odmiany:

Rubblizing zmodyfikowany charakteryzujący się znacznym stopniem odtupiania powierzchni płyty betonowej: bryły betonu o uziarnieniu do 300 mm występują na powierzchni płyty, wykazuje ona znaczny stopień odtupiania mniejszych kawałków, a jej wygląd zmienia się od gładkiego

do rozdrobnionego. Z reguły ok. 75% kawałków pokruszonego betonu na spodzie płyty ma uziarnienie do 375 mm (fot. 11–13).



Fot. 11. Typowy rubblizing zmodyfikowany – nawierzchnia płytowej wykazuje znaczny stopień odtupiania mniejszych kawałków od struktury betonu



Fot. 12. Powierzchnia pasa nawierzchni betonowej po połamaniu – rubblizing zmodyfikowany oraz w czasie wałowania walcem okrętowym



Fot. 13. Powierzchnia pasa nawierzchni betonowej po zawałowaniu walcem okrętowym

Rubblizing zmodyfikowany charakteryzujący się okazjonalnym stopniem odłupania powierzchni płyty betonowej: wyraźnie dostrzegalne spękania występują przez całą grubość płyty, ich rozstaw wynosi na powierzchni płyty od 300 do 450 mm, a nawierzchnia wykazuje zróżnicowany stopień odłupania mniejszych kawałków od jej powierzchni (fot. 14–15).



Fot. 14. Typowy *rubblizing* zmodyfikowany – nawierzchnia płyty betonowej wykazuje zróżnicowany stopień odłupania mniejszych kawałków od struktury betonu



Fot. 15. Typowy *rubblizing* zmodyfikowany – łatwo dostrzegalne spękania na nawierzchni płyty betonowej



Fot. 16. *Rubblizing* zmodyfikowany w odmianie CSO (*Crack & Seat & Overlay*) wykonywany za pomocą urządzenia wielomotowego MHB

Rubblizing zmodyfikowany charakteryzujący się tym, że na powierzchni płyty występują spękania włoskowate na całą jej głębokość spękania o rozstawie od 625 do 900 mm często widoczne tylko po zmoczeniu wodą nawierzchni płyty; minimalny stopień odłupania powierzchni płyty betonowej.

Ostatnia odmiana kruszenia udarowego nawierzchni betonowych jest określana także jako: *Crack & Seat* (CS) (połam i wciśnij) lub *Crack & Seat & Overlay* (CSO) (połam, wciśnij i przykryj, fot. 15, fot. 16). Takie rozwiązanie jest często wykonywane za pomocą urządzenia MHB na nawierzchniach betonowych, mających pod spodem podłoże ulepszone o słabej nośności. Tego rodzaju rozwiązania stosowano np. w stanie łowa, gdzie większość projektów została wykonana w technologii typu *rubblizing* zmodyfikowany w odmianie CSO [12]. Zostało to także uwzględnione w fazie projektowej, poprzez przyjęcie w projekcie i następnie wykonanie pośredniej warstwy podbudowy z kruszywa łamanego lub z destruktu asfaltowego z recyklingu (RAP) na pokruszonej warstwie betonu przed przykryciem jej nakładką bitumiczną. Warstwa ta dostarcza dodatkowego wsparcia strukturalnego, łączy się dobrze z wykonywanym poszerzeniem nawierzchni oraz daje jednorodną i równą powierzchnię do ułożenia warstwy nakładki asfaltowej (fot. 18–19).



Fot. 17. *Rubblizing* zmodyfikowany w odmianie CSO (*Crack & Seat & Overlay*) – na powierzchni płyty betonowej widoczne są spękania włoskowate



Fot. 18. Pośrednia warstwa podbudowy z kruszywa łamanego układana na płycie betonowej poddanej zabiegowi typu *rubblizing* zmodyfikowany



Fot. 19. Pośrednia warstwa podbudowy z destruktu asfaltowego (RAP) układana na płycie betonowej poddanej zabiegowi typu *rubblizing* zmodyfikowany

Etapy i czynniki, które należy uwzględnić przy wykonaniu remontu/przebudowy nawierzchni betonowej w technologii typu *rubblizing* [2]

Wybór odcinka do wykonania zabiegu

W celu właściwego wyboru danego odcinka drogi do wykonania zabiegu kruszenia udarowego nawierzchni betonowych, należy zawsze wykonać następujące czynności wstępne:

- rozpoznać stan techniczny istniejącej nawierzchni betonowej (nośność, współpraca płyt, uszkodzenia na powierzchni, stan szczelin dylatacyjnych),
- sprawdzić stan geometrii jezdni oraz istniejące instalacje i urządzenia drogowe,
- sprawdzić stan warstw niżej leżących, w tym warunki gruntowo-wodne warstwy podłoża oraz jego odwodnienie.

Stan techniczny istniejącej nawierzchni

Należy ocenić stan techniczny oraz uszkodzenia istniejącej nawierzchni betonowej. *Rubblizing* uznaje się za odpowiednie rozwiązanie, gdy nawierzchnia betonowa wyczerpała już swoją żywotność, tzn. wykazuje intensywne uszkodzenia strukturalne 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 zostało poddane naprawom (wykonano 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.

Istniejące urządzenia i instalacje drogowe

Przed wykonaniem zabiegu kruszenia udarowego nawierzchni betonowych, już na etapie projektowania remontu

(przebudowy) danego odcinka nawierzchni betonowej, należy sprawdzić następujące elementy:

- zgodność niwelety nawierzchni z istniejącymi krawężnikami i elementami systemu odwodnienia powierzchniowego, które pozostają na miejscu (wymagane frezowanie),
- korektę spadków poprzecznych (frezowanie lub podniesienie nawierzchni),
- lokalizację istniejących urządzeń (np. studzienki ściekowe, studzienki rewizyjne),
- zmiany profilu nawierzchni (sprawdzić skrajnię pionową pod obiektami),
- istniejącą konstrukcją poboczy drogi (możliwość przeniesienia przez nie ruchu konstrukcyjnego i projektowanego),
- niżej leżące warstwy sztywne, np. rodzima skała lita, stara mocna i nieuszkodzona nawierzchnia betonowa (może być potrzebne dodatkowe jej pokruszenie),
- istniejące instalacje podziemne (gazociągi, wodociągi, itd.), które znajdują się w odległości do 1,20 m od warstwy podlegającej kruszeniu udarowemu nawierzchni betonowych (wymaga to szczegółowej analizy czy zmniejszyć energię kruszenia w ich pobliżu, aby uniknąć uszkodzeń instalacji, lub czy zastosować rozwiązanie polegające na całkowitym usunięciu nawierzchni, zastąpieniu jej kruszywem łamanym i zagęszczeniu).

Stan ulepszonego podłoża gruntowego oraz odwodnienia

Stosowane dawniej sposoby wykonywania nawierzchni betonowych, tj. układania niekiedy nawierzchni bezpośrednio na podłożu ulepszonym lub podłożu „słabym” sprawiają, że *rubblizing* jest „wrażliwy” na osiadanie podłoża podczas tego zabiegu. W tym celu należy skonsultować to zagadnienie z lokalnym inżynierem geologiem, przy klasyfikacji gruntów zalegających w podłożu oraz aby określić wartości ich Projektowego Indeksu Grupowego (DGI). Na podstawie badań oraz doświadczeń Departamentu Transportu Stanu Wisconsin (WisDOT) [1], [2], proces wykonywania zabiegu typu *rubblizing* może napotkać na trudności w przypadku gruntów sklasyfikowanych jako DGI >12 (wg. klasyfikacji AASHTO, A-6 i A-7) lub w przypadku, gdy zwierciadło wody gruntowej znajduje się mniej niż 1,20 m od spodu istniejącej warstwy podłoża ulepszonego. W sytuacji, gdy jest to określone w specyfikacji projektowej, przed rozpoczęciem zabiegu kruszenia udarowego nawierzchni betonowych należy zainstalować funkcjonujący system odwodnienia wgłębnego. W obszarach o słabym podłożu lub o wysokim zwierciadle wody gruntowej, system odwodnienia powinien funkcjonować na długo przed rozpoczęciem zabiegu, w celu zapewnienia maksymalnej stabilności warstwy podłoża. System odwodnienia służy także do odprowadzania wody opadowej z warstwy betonowej poddanej kruszeniu udarowemu, podbudowy oraz podłoża w czasie wykonywania remontu odcinka drogi.

Przygotowanie istniejącej nawierzchni betonowej

Istniejące nakładki asfaltowe muszą zostać usunięte przed pokruszeniem niżej leżącej warstwy betonowej. Im warstwa

betonowa jest „czystsza”, tym lepiej energia ze sprzętu łamiącego jest przekazywana na płytę betonową. W niektórych sytuacjach cienkie warstwy asfaltowe (wykonane często w celu wyrównywania uskoków w uszkodzonych płytach betonowych) są pozostawiane, jeśli sprzęt użyty do kruszenia udarowego nawierzchni betonowych jest w stanie dostatecznie przełamać beton pomimo ich pozostawienia.

Specyfikacje techniczne zabiegu typu *rubblizing* wymagają przed jego wykonaniem usunięcia wszelkiego luźnego materiału z łatania nawierzchni, wypełnienia szczelin itp. Może nie być potrzebne usunięcie tych materiałów w przypadku, gdy na warstwie pokruszonego betonu będzie układana dodatkowa warstwa podbudowy.

Sprzęt do wykonania zabiegu

Specyfikacje WisDOT [1] wymagają zastosowania kompaktowego, samojezdnego łamacza do pokruszenia betonu do wyszczególnionych, maksymalnych wymiarów brył i stworzenia stabilnej platformy konstrukcyjnej oraz do wykonania na niej nakładki asfaltowej. Istnieją dwa typy urządzeń, które spełniają wymagania specyfikacji i zostały z powodzeniem zastosowane w stanie Wisconsin. Jednym z nich jest udarowy łamacz gilotynowy (fot. 20), generujący uderzenia o niskiej amplitudzie oraz wysokiej częstotliwości poprzez vibracje ciężkiej belki stalowej (o wadze 6800–7250 kg), połączonej ze stopą (o zmiennej szerokości od 15 do 30 cm), poruszającą się wzdłuż kruszonej nawierzchni. W celu pokruszenia całej szerokości nawierzchni betonowej, należy zastosować kilkukrotne przejścia urządzenia (w zależności od szerokości jezdni).



Fot. 20. Typowy, gilotynowy, samojezdny łamacz do betonu [14]

Innym typem urządzenia jest łamacz wielogłowicowy MHB (fot. 21), posiadający 16 młotów udarowych o wadze 550 – 800 kg każdy, zamontowanych podłużnie parami, tzn. jedna połowa młotów w rzędzie przednim, a druga przesunięta diagonalnie w stosunku do nich w rzędzie tylnym. Młoty wspólnie zapewniają ciągłe kruszenie nawierzchni o szerokości 4m. Każda para młotów jest podłączona do cylindra hydraulicznego i działa jako niezależna jednostka, generując od 1400 do 11000 Nm energii w zależności od wybranej wysokości spadania młota, przy częstotliwości 30-35 uderzeń na minutę. Wysokość spadania każdej pary młotów może być natychmiastowo dostosowana w celu korekty ilości uzyskiwanej energii kruszenia, która jest przekazywana następnie na

nawierzchnię. Pozwala to operatorowi urządzenia na dostosowanie procesu kruszenia do zmiennych warunków wzdłuż profilu poprzecznego, jak i profilu podłużnego nawierzchni. Wielogłowicowy łamacz do nawierzchni MHB kruszy pełen pas ruchu w czasie pojedynczego przejścia. Typową wydajnością roboczą jednego urządzenia łamiącego jest jedna mila (1,6 km)/ pas nawierzchni w czasie zmiany roboczej.



Fot. 21. Typowy, wielogłowicowy, samojezdny łamacz do betonu MHB [14]

Kruszenie betonu

Specyfikacje techniczne [14] wymagają przełamania betonu w celu uzyskania określonych, maksymalnych wymiarów brył betonu, podczas gdy nadzór ma prawo do zlecenia lub zezwolenia na kruszenie nawierzchni na większe, maksymalne wymiary brył betonu. Specyfikowane mniejsze wymiary brył betonu mogą być zastosowane w przypadku wykonywania kruszenia udarowego nawierzchni betonowych na podbudowie/podłożu o dostatecznej względnie dobrej nośności. Wymiar uzyskanych brył betonu ściśle zależy od stanu podbudowy/podłoża. Stabilna i nośna podbudowa/podłoże pozwala na uzyskanie mniejszych wymiarów brył pokruszonego betonu, niż w przypadku podbudowy lub podłoża mniej pewnego.

Nawet gdy możliwe jest uzyskanie mniejszych wymiarów brył betonu poddanego kruszeniu, uzyskana pokruszona warstwa musi stanowić platformę roboczą do następujących później czynności związanych z układaniem nawierzchni, a także stabilne podłoże do ułożenia wierzchniej nakładki asfaltowej. W przypadkach szczególnych, przy bardzo słabym podłożu może być potrzebna jego korekta. Jednym ze sposobów może być modyfikacja uziarnienia procesu typu *rubblizing* w celu uzyskania większego uziarnienia brył betonu i zachowania większej nośności istniejącej warstwy betonowej. Doświadczenie pokazuje, że uzyskane w wyniku kruszenia udarowego nawierzchni betonowych bryły betonu o uziarnieniu od 30 mm do 45 mm w dolnej połowie płyty, nadal dobrze eliminują spękania odbite.

Zagęszczanie

W przypadku zagęszczania pokruszonego betonu na podłożu słabym lub wilgotnym, a także w sąsiedztwie wrażliwych instalacji, koniecznym może być zmniejszenie amplitudy walca zagęszczającego, w celu ochrony podłoża nawierzchni lub instalacji podziemnych przed uszkodzeniami. W ekstremal-

nych przypadkach walec powinien być zastosowany w trybie statycznym.

W przypadku stosowania urządzenia MHB, wykonawcy zwykle wybierają „walec kratowy” do pierwszych dwóch przejść stalowego walca wibracyjnego. Krata typu Z, która jest przyspawana do bębna walca, ma na celu dalsze rozdrobnienie pokruszonych kawałków betonu na powierzchni warstwy.

W przypadku braku dodatkowej warstwy podbudowy na warstwie nawierzchni pokruszonej, całą powierzchnię należy poddać dodatkowemu zagęszczaniu, poprzez:

- jedno przejście walca ogumionego pneumatycznego,
- jedno przejście walca stalowego wibracyjnego przed samym układaniem warstw nawierzchni (nakładki).

W przypadku, gdy na pokruszonej warstwie betonowej wykonywana będzie dodatkowa warstwa podbudowy przed nakładką asfaltową, zagęszczenie tej warstwy należy wykonać zgodnie ze specyfikacjami dla tej warstwy.

Obserwacja procesu zagęszczania jest efektywnym sposobem określenia stabilności warstwy poddawanej kruszeniu udarowemu nawierzchni betonowych. W przypadku, gdy po zagęszczaniu nadal pozostają wątpliwości, to zagęszczanie korekcyjne za pomocą załadowanej ciężarówki o osi tandemowej jest szybkim i wydajnym sposobem na osiągnięcie założonej stabilności warstwy poddawanej kruszeniu udarowemu.

Kruszywo wypełniające

Kruszywo to jest stosowane do wypełniania dziur i lokalnych zapadnięć w warstwie betonu poddanego omawianemu procesowi. Nie jest przewidziane do wykonywania korekt geometrycznych (spadków nawierzchni).

Rubblizing na częściach jezdni

W przypadku wymaganego kruszenia udarowego na części jezdni (oraz późniejszego wykonania nakładki asfaltowej), w zależności od możliwości, wykonawca powinien pozostawić nieprzykryty pas od 15 do 30 cm szerokości podczas rozkładania nakładki na pierwszym pasie pokruszonego betonu. Pas ten stanowi dodatkową przestrzeń umożliwiającą wykonanie operacji technicznych, bez konieczności wchodzenia na nakładkę wykonaną wcześniej na pasie pierwszym.

Opady atmosferyczne (deszcz)

Umiarkowane opady deszczu nie wpływają negatywnie na wykonywanie procesu kruszenia udarowego nawierzchni betonowych. Ze względów bezpieczeństwa intensywne opady deszczu lub burze mogą czasowo wstrzymać ten proces. Beton poddany zabiegowi kruszenia odwadnia się dobrze, w szczególności, gdy efektywnie działa odwodnienie krawędziowe nawierzchni. W takim przypadku układanie nakładki asfaltowej może rozpocząć się bezpośrednio po zakończeniu opadów.

Należy zachować ostrożność w przypadku wykonywania procesu na podłożu wrażliwym na wilgoć. W takich przypadkach, *rubblizing* oraz rozkładanie warstw nawierzchniowych powinny zostać tak skoordynowane, aby zminimalizować oddziaływanie opadu na warstwę podłoża.

Ruch technologiczny w czasie wykonywania zabiegu

Ruch technologiczny po warstwie betonu poddanego opisanemu procesowi powinien być monitorowany. Wykonawca powinien ograniczyć natężenie oraz obciążenia od ruchu na powierzchni pokruszonego betonu. Jest to szczególnie ważne na obszarach o słabym podłożu występującym pod betonową nawierzchnią podlegającą pokruszeniu.

Podsumowanie

Metoda kruszenia udarowego nawierzchni betonowych pozwala wykorzystać istniejącą nawierzchnię betonową jako warstwę podbudowy w remontach i przebudowach nawierzchni dróg i lotnisk oraz placów i parkingów [1], [2]. Jej zastosowanie umożliwia eliminację spękań odbitych i ich przechodzenia na asfaltowe warstwy wyżej leżących nakładek [1], [2]. Stosowanie tej metody znacznie skraca czas remontu (przebudowy) nawierzchni [14]. Koszty remontu nawierzchni tą metodą zostają również poważnie zmniejszone – wg. doświadczeń amerykańskich od 30 do 50% w stosunku do klasycznego usunięcia starej nawierzchni betonowej oraz zastąpienia jej nową [8], [9], [10], [11], [12]. Warstwa podbudowy nawierzchni poddawanej remontowi opisaną metodą, może mieć wysoką nośność nawet przy słabym podłożu gruntowym. Ponadto Brytyjskie analizy emisji CO₂ w czasie wykonywania remontów nawierzchni metodą CSO (pokrusz, zagęść i przykryj) pokazują, że w porównaniu do projektów wykonanych w technologii pełnej wymiany warstw nawierzchni (z warstwami podbudowy z kruszyw stabilizowanych spoiwami hydraulicznymi), średnio na badanych projektach wyemitowanych zostało o ok. 80% mniej CO₂, natomiast oszczędności finansowe były rzędu 30% [5], [6].

Aby przeprowadzić udany zabieg typu *rubblizing*, należy dokładnie rozpoznać istniejące warunki techniczne, materiałowe, gruntowe oraz wodne remontowanego odcinka drogi, a także odpowiednio zaprojektować wynikową konstrukcję nawierzchni, wykorzystując pokruszoną nawierzchnię betonową jako nową warstwę podbudowy, z ewentualną pośrednią warstwą podbudowy z kruszywa łamanego. W przypadku istnienia niekorzystnych warunków gruntowo-wodnych lub podłoża gruntowego o niedostatecznej nośności, należy przeanalizować możliwość i opłacalność zastosowania zabiegu typu *rubblizing* zmodyfikowany, dającego wynikowe skruszenie starej płyty betonowej na większe bryły, przez co uzyskuje się większą nośność konstrukcji istniejącej.

W celu skutecznego połamania i odprężenia płyt betonowych zbrojonych i niezbrojonych należy stosować urządzenia wielogłowicowe MHD do grubości płyt 35–40 cm; w przypadku płyt grubszych urządzenie MHD może być zastosowane po wstępnym odprężeniu płyt urządzeniem gilotynowym, które może kruszyć beton o grubości do ok. 110 cm [1], [2]. Kruszaraki wielogłowicowe oraz gilotynowe poprzez swe działanie odprężające likwidują powiązanie stalowego zbrojenia z betonem, które po pokruszeniu może być łatwo oddzielone i wydobyte z pokruszonej warstwy betonu. Płyty betonowe o typowej grubości 30 cm mogą być przetwarzane w technologii kruszenia udarowego nawierzchni betonowych na materiał o jednolitej wielkości brył przy wydajności ok. 1 mili (1,6 km)/zmianę roboczą przez jedno urządzenie MHD.

W Polsce technologia typu *rubblizing* jest jeszcze stosunkowo mało wykorzystywana, pierwsze projekty lotniskowe zostały zrealizowane w roku 2011, a drogowe dopiero w roku bieżącym [3]. Jednak na podstawie doświadczeń amerykańskich i brytyjskich można stwierdzić, że posiada duży potencjał i może być z powodzeniem stosowana przy remontach/przebudowach starych i wyeksploatowanych nawierzchni betonowych. Dotyczy to zarówno warstw wierzchnich (płyty betonowych), jak i warstw niżej leżących, wykonanych w formie stabilizacji spoiwami hydraulicznymi (cementem).

Wykorzystując doświadczenia i dokumenty zachodnie (amerykańskie, brytyjskie, niemieckie) należy dążyć do opracowania naszych krajowych specyfikacji technicznych, w celu wykonywania remontów/przebudów w technologii CSO (pokrusz, zagęść, przykryj).

Od Redakcji:

Przedstawiony projekt remontu drogi wojewódzkiej nr 801 w technologii *rubblizing* zostanie szczegółowo opisany w jednym z kolejnych numerów „Drogownictwa”.

Literatura

- [1] Wisconsin Department of Transportation, "Construction and Materials Manual, Standard Specifications, Section 335.1, Rubblized Pavement", 2014,
- [2] Wisconsin Department of Transportation, "Facilities Development Manual, Chapter 14 Pavements, Section 25 Pavement Rehabilitation, FDM 14-25-10 Concrete Pavement Rehabilitation Guidelines", 2013,

- [3] Danowski, M., Sprawozdanie z wyjazdu w dniu 14.06.2016 r. „Remont ostatniego odcinka nawierzchni betonowej wykonanej przed 58 laty – w ciągu tzw. Trasy Nadwiślańskiej (obecnie droga wojewódzka nr 801)", 2016,
- [4] State of Illinois, Department of Transportation "Special Provision for Rubblizing PCC Pavement, June 2001,
- [5] Transport & Research Laboratory, "Waste & Resources Action Programme (WRAP 2006a). The CO₂ emissions estimator tool for the use of aggregates in construction." <http://www.aggregain.org.uk>,
- [6] Gordan, M., Langdale, P., "Simplified Crack, Seat and Overlay Design for Scottish Roads", Transport Research Laboratory, TRANServ, June 2016,
- [7] National Asphalt Pavement Association, "Rubblization, Information Series 132", 2006,
- [8] Bemanian, S., Sebaaly, P., "Cost-Effective Rehabilitation of Portland Cement Concrete Pavement in Nevada", TRR No. 1684, Transportation Research Board, Washington D.C., 1999,
- [9] Hampton, Tudor, "Rubblizers Give Older highways a Break in Projects from Arkansas to Afghanistan", Engineering News Record, January 2006,
- [10] Wolters, A., Smith, K., "Rubblization. Making an Impact in Michigan". Hot Mix Asphalt Technology Magazine. National Asphalt Pavement Association, Vol. 12, No. 4 2007,
- [11] Wolters, A., Smith, K., Peterson, C., "Evaluation of Rubblized Pavement Sections in Michigan", TRR No. 2005, Transportation Research Board, Washington D.C., 2007,
- [12] Ceylan, H., Gopalakrishnan, K., Kim, S., „Rehabilitation of Concrete Pavements Utilizing Rubblization and Crack and Seat Methods (Phase II): Performance Evaluation of Rubblized Pavements in Iowa, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, Iowa 2008,
- [13] The Asphalt Institute, Resonant Machines Brochure, RMI, MD,
- [14] Antigo Construction Inc., "Discussion of Full Rubblization & Modified Rubblization", September 2014.

Serwis GDDKiA • Aktualności

Ofensywa inwestycyjna na drogach i kolei

Dla polskiej gospodarki, a zwłaszcza dla branży wykonawstwa drogowego i kolejowego, najważniejsza jest przewidywalność. Potwierdzeniem tej przewidywalności jest dzisiejsza informacja o działaniach inwestycyjnych, podejmowanych przez resort infrastruktury i budownictwa – powiedział minister infrastruktury i budownictwa Andrzej Adamczyk podczas konferencji prasowej, na której zostały zaprezentowane informacje na temat stanu realizacji i przygotowań do uruchomienia kolejnych inwestycji na drogach krajowych i kolei.

W konferencji zorganizowanej 2 września 2016 r. w siedzibie Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa wzięli również udział wiceminister Jerzy Szmít, Prezes Zarządu PKP PLK S.A. Ireneusz Merchel, Generalny Dyrektor Dróg Krajowych i Autostrad Jacek Bojarowicz oraz jego zastępca Iwona Stępień-Pilipczuk.

Minister Adamczyk zaznaczył, że ofensywa w realizacji drogowych i kolejowych inwestycji liniowych, jest faktem. Nie zawsze jest zauważalna w terenie, bo polega także na przygotowaniu kolejnych zadań, co jest związane z koniecznością spełnienia szeregu wymagań i przejścia skomplikowanych procedur.

Budownictwo drogowe jest jednym z motorów napędowych polskiej gospodarki. Inwestycje te napędzają polski przemysł i dają setki tysięcy miejsc pracy – powiedział wiceminister Jerzy Szmít, prezentując założenia i stan realizacji inwestycji drogowych w ramach Programu Budowy Dróg Krajowych na lata 2014–2023 (z perspektywą do 2025 r.).

Łączna długość nowych odcinków autostrad i dróg ekspresowych w nim ujętych to 3840 km. Program zakłada powstanie 57 nowych obwodnic o łącznej długości 452 km, natomiast przebudowy w ramach Programu obejmą 205 km dróg krajowych. Dotychczas do realizacji skierowano zadania o wartości 80,8 mld zł, podpisane zostały już umowy z wykonawcami na kwotę 51,4 mld zł. Dzięki temu w budowie są już 93 zadania o łącznej długości 1329 km dróg.

Wiceminister Jerzy Szmít podkreślił, że jeszcze we wrześniu do ostatniego etapu postępowania przetargowego zostaną skierowane zadania drogowe o łącznej wartości 4,1 mld zł. Będą to nowe odcinki dróg w ciągu

autostrady A2 (w. Lubelska) – początek obw. Mińska Mazowieckiego, S7 Warszawa – początek obwodnicy Grójca, S17 Warszawa (w. Zakręt) – Warszawa (w. Lubelska), S1 Pyrzowice – Kosztowy (odc. Pyrzowice – Podwarpie etap III), S3/A6 w. Kijewo – w. Rzęśnia, budowa odcinka S10 w m. Kobylanka, Morzyczyno i Zieleniewo, budowa odcinka dk 15 w m. Nowe Miasto Lubawskie, budowa wiaduktu w Legionowie (III etap) oraz budowa odcinka dk 15/25 w m. Inowrocław – II etap.

Uczestnicy konferencji zaznaczyli, że z uwagi na brak kompletnej dokumentacji niezbędnej do rozstrzygnięcia przetargów na projekty kolejowe, ich rozpoczęcie uległo opóźnieniu. Zarząd PKP PLK S.A. wraz z MIB podejmuje działania, których efektem będzie sprawniejsze przygotowanie projektów, rozstrzygnięcie postępowań przetargowych oraz sama realizacja zadań. Zmiany przeprowadzone w strukturze organizacyjnej PKP PLK S.A. pozwolą m.in. na sprawniejsze rozstrzygnięcie postępowań. Jest to istotne z uwagi na dużą liczbę pytań (średnio 800–1000 w ramach jednego postępowania) zgłaszanych przez potencjalnych oferentów.

Działania MIB i PKP PLK SA są dwutorowe – z jednej strony skupiają się na przyspieszeniu procedur i realizacji projektów podstawowych KPK, z drugiej przygotowywane są projekty rezerwowe. Wdrożenie takiego podejścia pozwala na maksymalizację wydatków w ramach projektów podstawowych KPK oraz zabezpiecza katalog projektów rezerwowych, gotowych do realizacji w przypadku wygosparowania środków – np. w ramach oszczędności.

W 2016 r. postępowania o wartości ok. 9 mld zł będą znajdowały się na II etapie przetargu (składanie ofert). Obecnie w toku są projekty o wartości ok. 10 mld zł, a dla zadań o wartości ok. 5 mld zł przygotowywana jest dokumentacja projektowa. Dla 10 projektów rezerwowych opracowano już dokumentację przedprojektową a dla kolejnych 9 dokumentacja jest przygotowywana. Zakończenie tych etapów pozwoli na powstanie katalogu projektów gotowych do wszczęcia procedury przetargowej, o łącznej wartości ok. 11 mld zł.