

2. Z przeprowadzonych badań wynika, że tylko ocena z uwzględnieniem czynnika starzenia daje pełną informację o właściwościach funkcjonalnych w zakresach ujemnej temperatury i potwierdza lepsze właściwości reologiczne asfaltów modyfikowanych w odniesieniu do lepkości konwencjonalnych. Zaproponowane w Europejskich Normach (EN 14023 i EN 13924) kryteria oceny lepkości na podstawie wymagań Superpave bez uwzględnienia czynnika starzenia utrudniają odniesienie właściwości do strefy klimatycznej i wyznaczenie rodzaju funkcjonalnego PG.

Wnioski z przeprowadzonych badań zostaną przekazane do Komitetu Technicznego KT 222 (PKN) Podkomitet ds. Asfaltów w celu podjęcia działań dążących do ujednoczenia wymagań normowych przez Komitet Techniczny CEN/TC 336 „Lepiszczą asfaltowe”.

#### Bibliografia

- [1] Kalabińska M., Piłat J.: *Reologia asfaltów i mas mineralno-asfaltowych*. WKŁ, Warszawa 1982
- [2] Sybilski D.: *Zastosowanie metod SHRP do oceny nawierzchni dróg w Polsce*. Instytut Badawczy Dróg i Mostów. Zeszyt 50, Studia i materiały. Warszawa 2000
- [3] Gawel I., Kalabińska M., Piłat J.: *Asfalty drogowe*. WKiŁ, Warszawa 2001
- [4] Zieliński K.: *Rola kopolimeru SBS w kształtowaniu struktury i właściwości termomechanicznych asfaltów stosowanych w materiałach hydroizolacyjnych*, Rozprawy naukowe nr 409, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2007
- [5] Król J.: *Wpływ mikrostruktury polimeroasfaltów drogowych na właściwości reologiczne*. Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej. Warszawa 2008
- [6] Stütz M., Wörner Th., Wallner B.: *Optimization of BBR testing for low temperature behaviour*. 4-th Eurasphalt & Eurobitume Congress. Paper No. 402-039. Copenhagen 2008
- [7] Bahia H.U., Hanson D.I., Zeng M., Zhai H., Khatri M.A., Anderson R.M.: *Characterization Of Modified Asphalt Binders In Superpave Mix Design*. NCHRP Report 459
- [8] *Binder Characterization and Evaluation T.1 Physical characterization*. SHRP-A-367 Report, pp. 9–25. Washington 1999
- [9] Champion-Lapalu L., Planche J.P., Martin D., Anderson D., Gerard J.F.: *Low-temperature rheological and fracture properties of polymer-modified Bitumens*. 2nd Euroasphalt & Eurobitume Congress. Barcelona 2000 – Proceedings Book I pp. 122.
- [10] Van der Poel C.: *A general system describing the viscoelastic properties of bitumens and its relation to routine test data*. Journal of Applied Chemistry. 5(chap.4) 1954, 221–236
- [11] Kalabińska M., Piłat J.: *Właściwości reologiczne asfaltów i kompozytów mineralno-asfaltowych*. Prace Naukowe PW, Zeszyt 121. OWPW, Warszawa 1993



**DARIUSZ SYBILSKI**  
IBDiM, Politechnika Lubelska



**JACEK KRZEŃSKI**  
Mostostal Warszawa S.A.



**MACIEJ MALISZEWSKI**  
IBDiM

## Innowacyjna nawierzchnia z kostki kamiennej na Krakowskim Przedmieściu w Warszawie

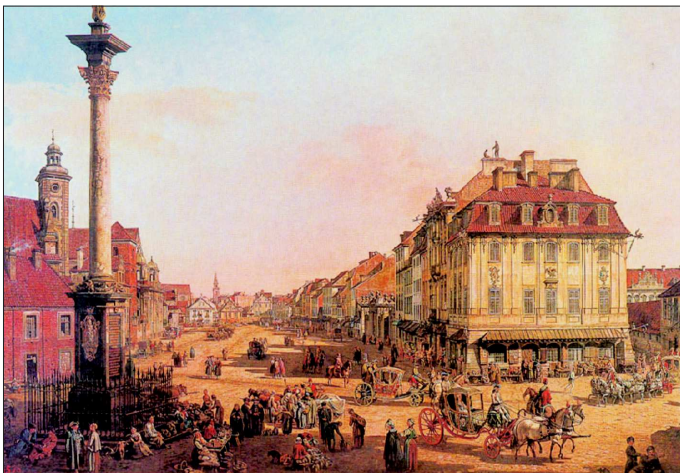
Krakowskie Przedmieście to jedna z najpiękniejszych i najcenniejszych ulic Warszawy. Jest wizytówką stolicy, która nie tylko łączy elementy historii, tradycji czy kultury, ale i cieszy oko każdego przechodnia swym wyglądem. A ten wygląd wraz z upływem lat zmieniał się niejednokrotnie. Rewitalizacja Krakowskiego Przedmieścia (wykonana przez konsorcjum, którego liderem był Mostostal Warszawa S.A.) przywróciła piękno i szyk części Traktu Królewskiego, przenosząc nas tym samym do czasów z obrazów Canaletta (fot. 1 i 2).

Szczególnym zadaniem w przeprowadzonej rewitalizacji była przebudowa dotychczasowej nawierzchni asfaltowej na nową z kostki kamiennej. Specjalnie w tym celu sprowadzono z Chin jasno-beżowy granit, imitujący kolor nawierzchni z XVIII wieku. Użyto także granitu szwedzkiego vanga (ciemno-czerwonego) oraz szarego granitu ze Strzegomia. Granity zastosowano w różnych kompozycjach na przeje-

ściach dla pieszych, chodnikach oraz placach. Przebudowa ulicy objęła: rozbiórkę, budowę nowej nawierzchni drogowej i ciągów pieszych wraz z odwodnieniem i doprowadzeniem wody do wybranych punktów, urządzenie zieleni, przebudowę instalacji elektrycznych i oświetlenia oraz aranżację elementów wyposażenia.



Fot. 1. Kopia obrazu Canaletta – Krakowskie Przedmieście od Nowego Świata (źródło: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))



Fot. 2. Kopia obrazu Canaletta – Krakowskie Przedmieście od Placu Zamkowego (źródło: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

## Historia ulicy

Historia Krakowskiego Przedmieścia sięga XIV w. Właśnie wtedy przy Zamku Królewskim na obecnym Placu Zamkowym powstała nieistniejąca już dziś Wieża Dworzan zwana z czasem Bramą Przedmieścia, Bramą Czerską, Bramą Bernardynów oraz Bramą Krakowską.

Plac przed bramą, skąd prowadził trakt do Czerska – dawnej siedziby książąt mazowieckich – nosił nazwę Czerskie Przedmieście. W XV wieku, gdy powstał kościół św. Anny wraz z klasztorem bernardynów, Czerskie Przedmieście przemianowano na Bernardyńskie Przedmieście. Obecną nazwę Krakowskie Przedmieście plac przyjął w XVI w.

Półtora wieku później na placu przy Bramie Krakowskiej pojawiła się Kolumna Zygmunta (lata 1643–1644), a drogę prowadzącą do Krakowskiego Przedmieścia ozdobiły reprezentacyjne pałace magnaterii i rodziny królewskiej. Tędy zwycięsko do miasta wjeżdżali hetman Stefan Czarniecki oraz król Jan III Sobieski. Tu także miało miejsce złożenie hołdów przez Prusy Książęce i Inflanty.

W XVIII w. dawny plac Bernardyński zastąpiono nazwą – Szerokie Krakowskie Przedmieście, a pozostały odcinek ulicy – Wąskim Krakowskim Przedmieściem.

W drugiej połowie XVIII w. (ok. 1762 r.) ulicę całkowicie wybrukowano, zaś pod koniec XIX w. (do 1855 r.) pojawiło się na niej oświetlenie gazowe. Krakowskie Przedmieście przeliczyło się w reprezentacyjną arterię miasta. Znajdowały się tu markowe sklepy, spacerowała tędy najbardziej znamięta i zamożna socjeta Warszawy.

Na początku XX w. (w 1907 r.) oświetlenie gazowe zamieniono na elektryczne, a śpieszący do pracy warszawiacy po raz pierwszy skorzystali z tramwaju elektrycznego.

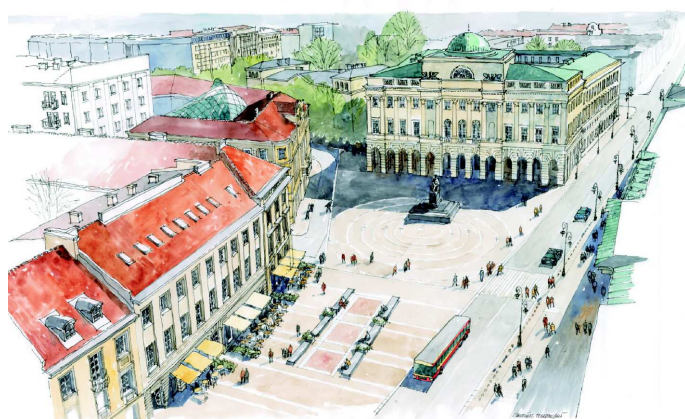
W okresie okupacji hitlerowskiej traktowi nadano nazwę *Krakauer Strasse*. Ulica straciła swoje dotychczasowe funkcje. Na długie lata stała się mocno zaniedbaną zwykłą miejską arterią.

Prace budowlane mające na celu przywrócenie świetności i blasku Krakowskiemu Przedmieściu rozpoczęto dopiero w 2006 r. Podzielono je na dwie części. Pierwsza – zakończona w kwietniu 2007 r. – obejmowała południową część ulicy,

druga – trwająca do czerwca 2008 r. – część północną. Widok przed remontem przedstawiono na fotografii 3, a po remoncie na fotografii 4. Krakowskie Przedmieście stało się szerokim deptakiem, przez środek którego przebiega jezdnia dostępna wyłącznie dla komunikacji miejskiej oraz taksówek.



Fot. 3. Plac przy pomniku Kopernika przed remontem Krakowskiego Przedmieścia (źródło: dokumentacja architektoniczna)



Fot. 4. Układ placu przy pomniku Kopernika po remoncie (źródło: dokumentacja architektoniczna)

Prowadzone prace wymagały całkowitego przeniesienia ruchu na ulice objazdowe. W ramach prac budowlanych wykonano roboty dostosowujące istniejącą sieć ulic zgodnie z czasową organizacją ruchu.

## Konstrukcja nawierzchni

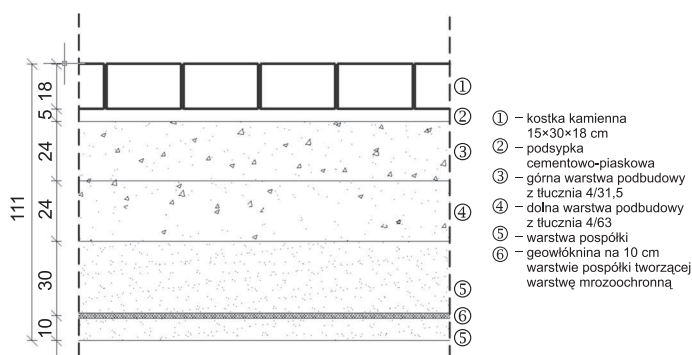
Podczas prac modernizacyjnych napotkano wiele trudności. Do najbardziej uciążliwych należał brak szczegółowego planu uzbrojenia podziemnego, którego usytuowanie wysokościowe kolidowało z konstrukcją nowo projektowanej nawierzchni. Rozwiązanie wysokościowe dostosowane zostało do istniejących rzędnych przy budynkach oraz ulic włączających się do Krakowskiego Przedmieścia. Znaczne zawężenie ulicy wymagało uzyskania spadków poprzecznych na wcze-



śniej poszerzonych chodnikach. Niweletę jezdni obniżono średnio o ok. 20 cm.

## Konstrukcja według projektu wykonawczego

Konstrukcja nawierzchni drogowej została zaprojektowana z kostki kamiennej o wymiarach  $15 \times 30 \times 18$  cm ułożonej na podsypce cementowo-piaskowej grubości 5,0 cm. Górną warstwę podbudowy pod kostką miała stanowić 24,0 cm warstwa z tłucznia 4/31,5 mm, a dolna warstwa podbudowy również o grubości 24 cm miała być wykonana z tłucznia o frakcji 4/63. Warstwę odcinającą i mrozoochronną zaprojektowano o łącznej grubości 40,0 cm, przy czym na pierwszej 10 cm warstwie pospółki zaprojektowano ułożenie geowłókniny, a na niej drugą 30 cm warstwę pospółki. Całkowita grubość konstrukcji nawierzchni jezdni, wg projektu wykonawczego, zaprojektowana na przejście ruchu o kategorii KR 4, miała 111,0 cm (rys. 1).

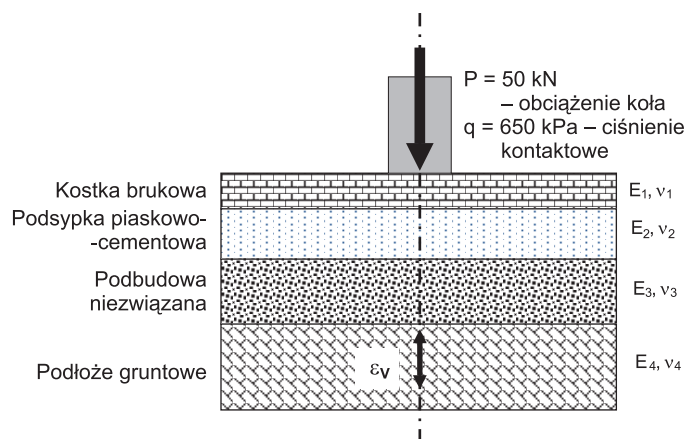


Rys. 1. Konstrukcja nawierzchni Krakowskiego Przedmieścia, wg projektu

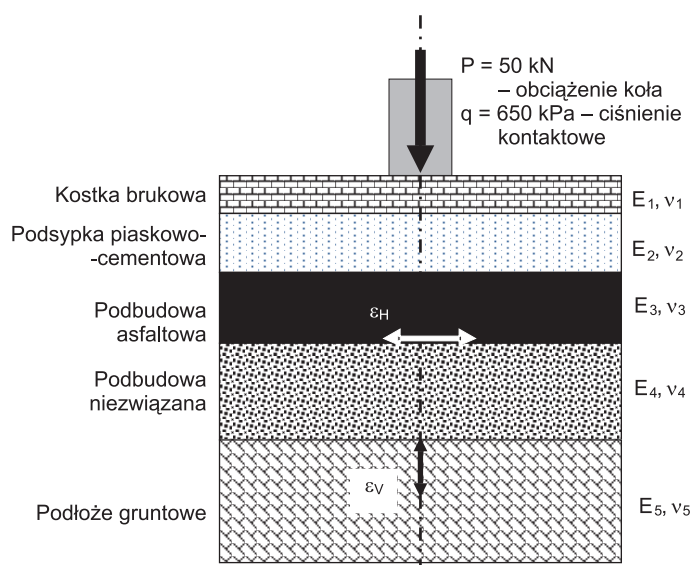
Nieoczekiwane problemy z niweletą i rzędnymi wysokościami oraz zbliżający się termin zakończenia budowy wymagały decyzji nadzwyczajnych. Wykonawca remontu zwrócił się do Instytutu Badawczego Dróg i Mostów z prośbą o wsparcie zaproponowanej przez Mostostal Warszawa S.A. zmiany konstrukcji nawierzchni drogowej. Zmiana ta miała umożliwić kontynuację prac późną jesienią i wczesną wiosną, ale także zagwarantować poprawną nośność nawierzchni drogowej.

## Analiza porównawcza konstrukcji nawierzchni

W Instytucie Badawczym Dróg i Mostów przeprowadzono analizę porównawczą oceny nośności nawierzchni oraz opracowano propozycję rozwiązań technologicznych wykonania nowej nawierzchni. Do analizy nośności zastosowano metodę mechaniczną układu warstw sprężystych, wykorzystując program komputerowy NOAH [1]. Porównano konstrukcje nawierzchni: zgodną z projektem (rys. 2 i 3) oraz zaproponowaną przez Wykonawcę. W nawierzchni zamiennnej zaprojektowano podbudowę asfaltową w miejsce podbudowy niezwiązanej tłuczniowej (rys. 4). Przyjęto dane materiałowe z Katalogu Typowych Konstrukcji Podatnych i Półsztywnych [2] oraz z informacji od Wykonawcy.



Rys. 2. Schemat obliczeniowy konstrukcji nawierzchni Krakowskiego Przedmieścia, wg projektu



Rys. 3. Schemat obliczeniowy zamiennnej konstrukcji nawierzchni Krakowskiego Przedmieścia

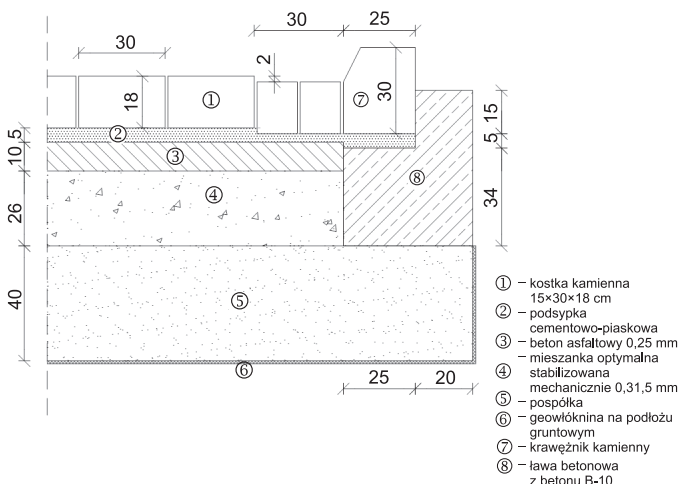
Przeprowadzona analiza wykazała, że dopuszczalne jest zastosowanie zamiennnej konstrukcji o podbudowie z betonu asfaltowego. Odkształcenie pionowe na powierzchni podłoża gruntowego było mniejsze w konstrukcji z podbudową z betonu asfaltowego. Uzyskane wnioski, wzięwszy pod uwagę większą sztywność warstwy podbudowy asfaltowej niż podbudowy niezwiązanej tłuczniowej, nie stanowiły novum. Podobne rozwiązania stosuje się w innych krajach [3].

## Konstrukcja zamienna

Na konstrukcję zamienną nawierzchni drogowej zaproponowaną przez Wykonawcę oraz IBDiM (rys. 4) składały się następujące elementy:

- kostka kamienia  $15 \times 30 \times 18$  cm,
- podsypka cementowo-piaskowa,
- beton asfaltowy 0/25 mm,
- mieszanka z kruszywa łamanego 0/31,5 mm stabilizowanego mechanicznie,

- pospółka,
  - geowłóknina (układana na podłożu gruntowym).
- Całkowita grubość konstrukcji jezdni wyniosła 99,0 cm, czyli o 12 cm mniej niż standardowa konstrukcja wg projektu.



Rys. 4. Konstrukcja nawierzchni Krakowskiego Przedmieścia, zamieniana

Nietypowym rozwiązaniem, jakie wprowadzono do konstrukcji zamiennej, było odwodnienie warstwy podsypki piaskowo-cementowej położonej pomiędzy kostką kamienną a podbudową asfaltową. Warstwa z kostki kamiennej nie gwarantowała zachowania szczelności i powstrzymania wpływu wody do niżej położonej warstwy z podsypki piaskowo-cementowej. Także znajdująca się szczelna warstwa podbudowy z betonu asfaltowego pomimo dużej zawartości wolnych przestrzeni nie zapewniała odwodnienia. Aby uniknąć przedwczesnych uszkodzeń wynikłych z obecności wody między warstwami postanowiono zastosować odwodnienie punktowe z drenów perforowanych (typu Percodrain).

Woda pod wpływem niskiej temperatury (mrozów) przyczynia się do pęknięcia nawierzchni. Wiosną natomiast podbudowa nasączona wodą znacznie zmniejsza swą sztywność i nośność, a jednocześnie woda zgromadzona w porach powoduje pod działaniem obciążenia ciężkimi pojazdami zwiększenie ciśnienia porowego, powodując również powstawanie pęknięć warstwy asfaltowej.

Efektem tych procesów są deformacje i pęknięcia warstwy ścieralnej nawierzchni każdego typu. Często obserwuje się uszkodzenia nawierzchni z kostki kamiennej lub betonowej, w której szczeliny poszczególnych warstw na ogół nie są uszczelniane.

Uszczelnienie w Polsce spotyka się rzadko, przede wszystkim w nawierzchniach kamiennych reprezentacyjnych. W takich wypadkach stosuje się uszczelnienie zalewami syntetycznymi, znacznie trwalszymi (i droższymi) niż zaprawa cementowo-piaskowa. Jednak nawet zaprawy syntetyczne nie w pełni zabezpieczają nawierzchnię przed pojawieniem się rys, bądź uszczerbków wypełnienia szczelin, a w efekcie przed wnikaniem wody pod warstwę ścieralną.

W zamiennej konstrukcji nawierzchni kamiennej Krakowskiego Przedmieścia zastosowano innowacyjne odwodnienie w strefie przykrawężnikowej z warstwy podsypki przez war-

stwę podbudowy asfaltowej do warstwy podbudowy niezwiązanej (ilustracje w dalszej części artykułu).

## Przebudowa Krakowskiego Przedmieścia

Roboty rozbiórkowe na Krakowskim Przedmieściu objęły usunięcie istniejących krawężników kamiennych, nawierzchni asfaltowej, podbudowy betonowej, podbudowy z kruszywa, kostki kamiennej i płyt kamiennych. Podczas prac natrafiono na liczne niespodzianki. Odkopano między innymi zabytkowe tory tramwajowe (fot. 5) z czasów przedwojennych oraz niezidentyfikowaną nieczynną infrastrukturę podziemną (fot. 6). Specyfika miejsca sprawiła, że poza zwykle stosowanym sprzętem mechanicznym jak koparki i ładowarki, wiele prac (szczególnie przy zabytkowych budynkach) prowadzono ręcznie lub przy użyciu mini ładowarek i małych koparek.

Na podłożu gruntowym pokrytym geowłókniną ułożono warstwę odcinającą z pospółki, na której zagęszczono warstwę podbudowy niezwiązanej z mieszanki mineralnej stabilizowanej mechanicznie (fot. 7). Zastosowano mieszankę z kruszywa wapiennego 0/31,5 mm. Układano i zagęszczano ją w dwóch warstwach technologicznych. Wbudowywanie

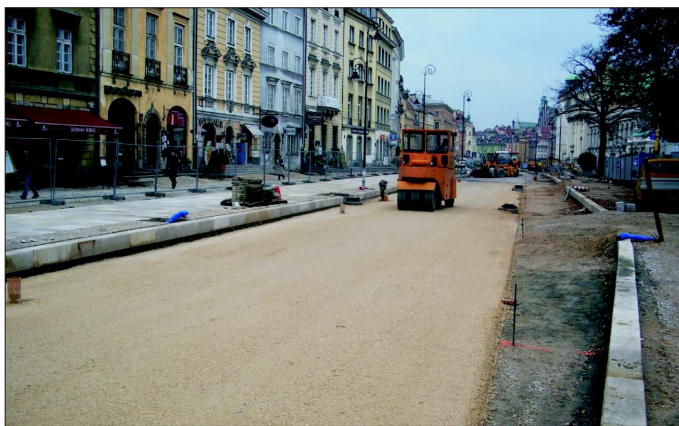


Fot. 5. Przedwojenne torowisko tramwajowe pod nawierzchnią asfaltową (fot. Jacek Krzemiński)

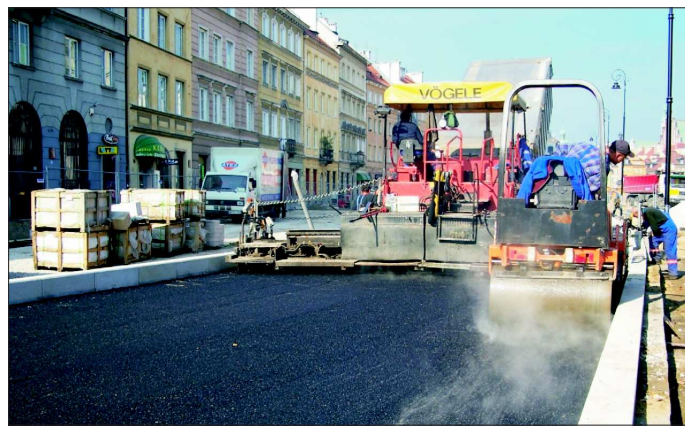


Fot. 6. Prace rozbiórkowe starych instalacji podziemnych (fot. Jacek Krzemiński)





Fot. 7. Zagęszczanie podbudowy z kruszywa stabilizowanego mechanicznie (fot. Jacek Krzemiński)



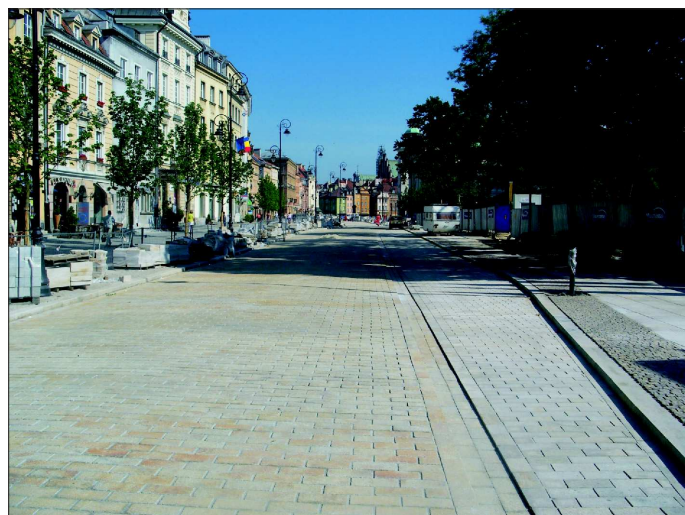
Fot. 9. Układanie podbudowy z betonu asfaltowego 0/25 (fot. Jacek Krzemiński)

i zagęszczanie mieszanki z kruszywa wapiennego odbywało się niezwłocznie po dostarczeniu mieszanki na budowę z uwagi na konieczność utrzymania wilgotności optymalnej oraz braku miejsc składowych. Do zagęszczania używano walca ogumionego.

Przed ułożeniem warstwy podbudowy asfaltowej przygotowano odwodnienie przykrawężnikowe odprowadzające wodę z warstwy podsypki cementowo-piaskowej przez warstwę asfaltową do podbudowy niezwiązanej. Zastosowano drenaż perforowane o długości 15,0 cm, które układane były co 2,0 m. Drenaż zginano w jednej trzeciej długości tak, aby zapewnić odprowadzanie wody pod warstwę podbudowy asfaltowej (fot. 8). Przyklejono je emulsją asfaltową do ławy krawężnikowej wzdłuż linii cieku bezpośrednio przed układaniem warstwy podbudowy z betonu asfaltowego.

Podbudowę asfaltową (fot. 9) wykonano z betonu asfaltowego 0/25 mm. W celu zapewnienia odwodnienia spod warstwy podsypki cementowo-piaskowej beton asfaltowy miał strukturę otwartą – zawartość wolnej przestrzeni wynosiła blisko 8% (v/v) w projektowanej mieszance, a 9% (v/v) w zagęszczonej warstwie. Beton asfaltowy zaprojektowano na kruszywach wapienno-dolomitowych z asfaltem 35/50. Właściwości betonu asfaltowego zgodne były z wymaganiami PN-S-96025:2000.

Jezdnia główna została ułożona z kostki kamiennej granitowej o powierzchni młotkowanej o wymiarach 15×30 cm i grubości 18 cm. Kostkę układano poprzecznie do osi jezdni. Pomiedzy jezdnią a zatokami oraz przy krawężnikach układano kostkę składającą się z dwóch rzędów ustawionych podłużnie w stosunku do osi jezdni. Rzędy te pełnią funkcję ścieku i znajdują się ok. 2 cm poniżej poziomu jezdni (fot. 10).



Fot. 10. Ułożona kostka kamienna w ciągu jezdni (fot. Jacek Krzemiński)



Fot. 8. Ułożone drenaż perforowane (fot. Jacek Krzemiński)

Zatoki autobusowe ułożono w układzie jak nawierzchnia jezdni, tj. z kostki kamiennej rzędowej granitowej, ale z kamienia o powierzchni łupanej. Aby zaakcentować przejścia dla pieszych użyto materiału z nawierzchni jezdni i materiału kontrastującego z nim (granit szwedzki), naprzemiennie po trzy rzędy kostki.

Krawężniki granitowe – koloru chodnika – o wymiarach 25 cm (szerokość) × 35 cm (wysokość) × 120 cm (długość) sfazowano od strony jezdni. Wysokość krawężników granitowych uzależniono od funkcji w danym miejscu – zastosowano typową wysokość nad poziomem jezdni 6 cm (8 cm nad poziomem ścieku) oraz krawężniki wtopione w rejonie przejść dla pieszych, wjazdów bramowych, placów i innych

wskazanych miejscach w dokumentacji projektowej. Zastosowano jeden zasadniczy kolor materiału do nawierzchni jezdni, inny kolor w obrębie wydzielonych przejść dla pieszych, jak i chodników.

Szczeliny między kostkami kamiennymi warstwy ścieralnej wypełniono wysoko wytrzymałościową (>45,0 N/mm<sup>2</sup>) zaprawą, po czym nawierzchnię zmyto wodą.

## Badania konstrukcji nawierzchni

Podczas wykonywania robót i po zakończeniu przeprowadzono badania kontrolne.

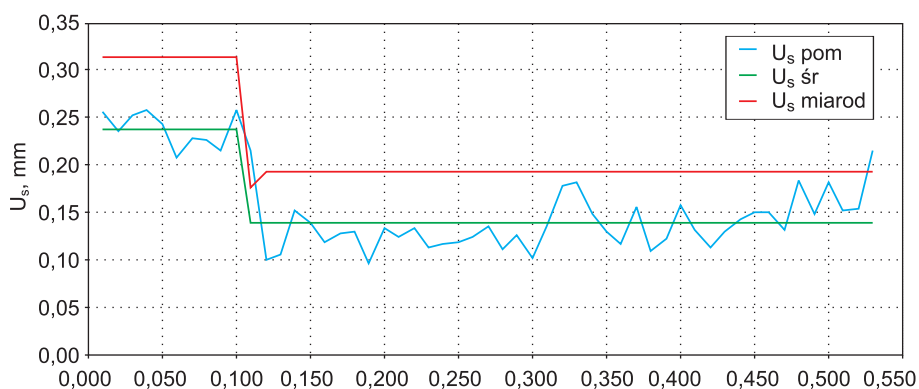
Warstwę podbudowy pomocniczej z kruszywa wapiennego (spełniającego wymagania PN-S-06102: 1997) badano płytą VSS. W tabeli 1 przedstawiono uzyskiwane średnie wartości modułów odkształcenia  $E_1$ ,  $E_2$  oraz wskaźnika odkształcenia  $I_0$ .

Tabela 1. Średnie moduły odkształcenia  $E_1$  (pierwotny),  $E_2$  (wtórny) oraz wskaźnik odkształcenia  $I_0$

$E_1$	$E_2$	$I_0$
136	272	2,0

Pomiar ugięć od obciążeń statycznych przeprowadzono na warstwie podbudowy z betonu asfaltowego 0/25. Wymagana wartość ugięcia sprężystego całej konstrukcji jezdni wynosiła 0,5 mm. Wykonane badanie pokazało, że 10-centymetrowa warstwa podbudowy asfaltowej na podbudowie z kruszywa łamanego jest w stanie przenieść ruch kategorii KR 4. Na badanej warstwie ułożona została nawierzchnia z kostki kamiennej o grubości 18 cm na podsypce piaskowo-cementowej o grubości 5 cm, co przełożyło się na dodatkową poprawę nośności i zmniejszenie ugięć konstrukcji nawierzchni.

Dodatkowo przeprowadzone badania ugięć metodą FWD (fot. 11) całej konstrukcji drogowej wraz z kostką kamienną (badanie wykonało Laboratorium Drogowe w Białymstoku), wykazały małe ugięcia sprężyste (rys. 5), a co za tym idzie dobrą nośność całej konstrukcji. Pierwsze 100 m nawierzchni było wykonane w technologii warstw asfaltowych, co jest widoczne na wykresie w postaci większych ugięć (odcinek w warstwie asfaltowej był zgodny z dokumentacją techniczną



Rys. 5. Wyniki ugięć sprężystych na ul. Krakowskie Przedmieście w Warszawie od ul. Świętokrzyskiej do ul. Królewskiej



Fot. 11. Badanie ugięć metodą FWD (fot. Jacek Krzemiński)

i miał na celu nawiązanie do ulicy Świętokrzyskiej, która także była wykonana w tej technologii).

## Podsumowanie i wnioski

W ciągu kilku ostatnich lat nawierzchnie drogowe z kostki kamiennej przeżywają swój renesans. Szczególną popularnością cieszą się w najbardziej reprezentacyjnych, znanych oraz mających duże znaczenie historyczne miejscach miast – placach i ulicach nie tylko Polski, ale przede wszystkim Europy.

Powolne odchodzenie nawierzchni z kostki betonowej do lamusa nie powinno budzić zdziwienia. Nie ulega wątpliwości, że zamiana ta nie tylko znacznie poprawia jakość i trwałość wykonanych nawierzchni, ale nade wszystko estetykę centrów miejskich.

Doświadczenie ostatnich lat i liczne zastosowania nawierzchni z kostki betonowej ujawniły istotne wady takich nawierzchni w Polsce. Do najczęstszych zalicza się przedwczesne uszkodzenia nawierzchni poddanej dużemu obciążeniu ciężkimi pojazdami (np. przystanki autobusowe) w postaci deformacji. Deformacje powstają w wyniku osłabienia konstrukcji podłoża kostki wykonanego z podsypki piaskowo-cementowej na zwykle zbyt słabej podbudowie niezwiązanej, wykonanej z mieszanki mineralnej o (zwykle) niekontrolowanym składzie.

Obok wad materiałów częstą przyczyną uszkodzeń nawierzchni z kostki betonowej stanowi wnikanie wody w warstwę podsypki i brak skutecznego odwodnienia wskutek zastosowania warstwy szczelnej pod kostką. Warstwa pod kostką pozostaje przez długi czas nasączona wodą, czego wynikiem jest znaczne osłabienie nośności całej konstrukcji nawierzchni. Na efekty nie trzeba długo czekać.

Przedstawiona w artykule konstrukcja nawierzchni Krakowskiego Przedmieścia w Warszawie ukazuje możliwości



Tabela 2. Średnie moduły odkształcenia  $E_1$  (pierwotny) i  $E_2$  (wtórny) oraz wskaźnik odkształcenia  $I_0$

Pkt.	Odczyt na czujniku		Różnica odczytów [mm]	Ugięcie sprężyste [mm]
	Obciążenie [mm]	Odciażenie [mm]		
1	2,00	1,84	0,16	0,32
2	16,00	15,88	0,12	0,24
3	19,00	18,85	0,15	0,30
4	17,01	16,92	0,09	0,18
5	10,06	9,84	0,22	0,44
6	13,00	12,90	0,10	0,20
7	14,00	13,84	0,16	0,32
8	15,05	14,86	0,19	0,38
9	13,03	12,93	0,10	0,20
10	19,01	18,88	0,13	0,26
11	5,01	4,81	0,20	0,40
12	16,99	16,80	0,19	0,38
13	12,00	11,84	0,16	0,32
14	12,31	12,16	0,15	0,30
15	9,91	9,77	0,14	0,28
16	14,98	14,80	0,18	0,36
17	15,24	15,03	0,21	0,42
18	3,98	3,88	0,10	0,20
19	9,14	8,90	0,24	0,48
20	24,75	24,58	0,17	0,34
21	24,80	24,66	0,14	0,28
22	16,78	16,54	0,24	0,48
23	14,26	14,07	0,19	0,38
24	19,49	19,34	0,15	0,30
25	17,46	17,32	0,14	0,28
26	22,70	22,48	0,22	0,44
27	16,95	16,80	0,15	0,30
28	27,88	27,72	0,16	0,32
29	20,30	20,15	0,15	0,30
30	22,08	21,93	0,15	0,30



Fot. 12. Krakowskie Przedmieście po remoncie (fot. arch. Mostostal Warszawa)

Prace nad przebudową Krakowskiego Przedmieścia trwały dwa lata, od września 2006 r. do lipca 2008 r. Część południową oddano do użytku w maju 2007 r. W październiku 2007 r. przywrócono ruch pojazdów, w tym autobusów. Część północną skończono w czerwcu 2008 r. (fot. 12). Wraz z końcem rewitalizacji Warszawa zyskała reprezentacyjny Trakt Królewski, a warszawiacy oraz odwiedzający stolicę – piękne miejsce częstych spacerów. Pozostaje mieć nadzieję, że po Krakowskim Przedmieściu pojawią się niebawem w Warszawie kolejne miejsca, którym przywrócona zostanie ich dawna świetność.

Poza licznymi zaletami nawierzchni z kostki brukowej trzeba niestety wspomnieć także o jej podstawowej wadzie – hałaśliwości. Pierwsza próba wyciszenia nawierzchni drogowej z bruku kamiennego miała miejsce w 1854 r. w Paryżu. Hałas dochodzący spod końskich kopyt przemierzających uliczny bruk był tak uciążliwy, iż praktycznie uniemożliwił prowadzenie lekcji w Konserwatorium Muzycznym przy ulicy Rue Bergère. Rozwiązaniem problemu okazało się pokrycie bruku 5-centymetrową warstwą asfaltową wytwarzaną z eksploatowanego złoża asfaltu naturalnego w szwajcarskim Val de Travers. Kilkuletnie obserwacje pokrytego asfaltem odcinka, ku zadowoleniu ogółu: nauczycieli, uczniów, jak również woźniców i władz miejskich, wykazały znaczne zmniejszenie hałasu.

Jeśli zatem chcemy w pełni cieszyć się pięknem oraz trwałością nawierzchni kamiennej, najpierw zadbajmy o to, by znaleźć jej odpowiednie miejsce, w którym nie będzie uciążliwa dla swojego otoczenia.

wykonania trwałej nawierzchni z kostki kamiennej na stabilnej i nośnej podbudowie złożonej z dwóch warstw: asfaltowej i z kruszywa mineralnego. Zwiększenie nośności konstrukcji nawierzchni i jej trwałości to efekt istotnej poprawy trwałości zmęczeniowej konstrukcji, dzięki zwiększonej sztywności podbudowy asfaltowej w porównaniu do warstwy niezwiązanej. Wymierną korzyść daje także zmniejszenie grubości całej konstrukcji (tu o 12 cm).

Niezwykle ważnym aspektem tego innowacyjnego rozwiązania jest zapewnienie odwodnienia z warstwy podsypki pod kostką kamienną i odprowadzenie wody pod warstwę podbudowy asfaltowej. Pomimo zastosowania betonu asfaltowego o strukturze otwartej (o dużej zawartości wolnych przestrzeni 9% v/v w warstwie), dodatkowy system odwodnienia drenami perforowanymi jest konieczny.

#### Bibliografia

- [1] Sybilski D.: *Mechanistyczne projektowanie konstrukcji nawierzchni z użyciem programu NOAH 2.0*. „Drogownictwo” 1, 2006, s. 3–7
- [2] Sybilski D. i in.: *Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych*. GDDP, IBDM, 1997
- [3] ICPI TECH SPEC NUMBER 4: *Structural Design of Interlocking Concrete Pavement for Roads and Parking Lots*, Interlocking Pavement Concrete Institute, USA, 2004