



KONRAD JABŁOŃSKI

Członek Akademii  
Inżynierskiej w Polsce  
konradj@rubikon.pl

# Historia nawierzchni autostrady A4 na odcinku Wrocław - Strzelce Opolskie<sup>1</sup>

## Część 1 – Przygotowanie inwestycji

Po prawie 18 latach warto przypomnieć nie tylko historię przygotowań do budowy nawierzchni 126 km odcinka autostrady A4 od węzła Bielany Wrocławskie do węzła Strzelce Opolskie, który został wykonany w latach 1998–2001, ale również przypomnieć jego realizację (w części 2 artykułu), a także ocenić (w części 3 artykułu) stan techniczny nawierzchni przed pierwszą wymianą warstwy ścieralnej oraz zrealizowane rozwiązania techniczne i technologiczne. W planowanej części 4 będzie przedstawiona próba odpowiedzi na pytanie, co zdecydowało o wysokim tempie realizacji tej inwestycji (ok. 39 km/rok) oraz zostanie omówione udane wdrożenie innowacyjnych, na tamte czasy, rozwiązań zastosowanych na odcinku drogi krajowej A4.

### Charakterystyka techniczna stanu istniejącego przed przystąpieniem do realizacji inwestycji [1–3, 11–14, 19, 27]

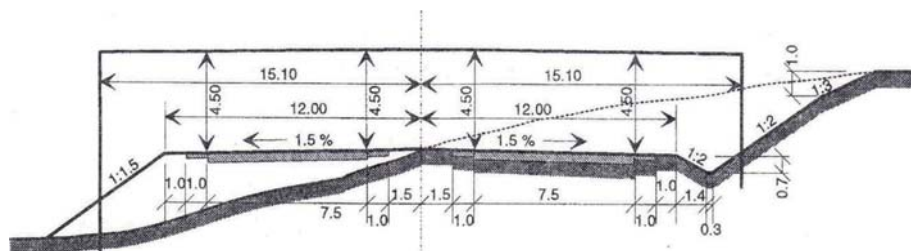
Przed rozpoczęciem działań związanych z realizacją przedsięwzięcia istniejąca konstrukcja nawierzchni na odcinku autostrady A4 Wrocław – Prądy, tj. od km 153+227 (miejscowość Bielany Wrocławskie) do km 223+100 (miejscowość Prądy), o długości 69,873 km była bardzo zróżnicowana. Zasadnicze różnice związane były z okresem powstawania tej trasy:

- nawierzchnia wykonana w latach 1936–1939 (Bielany Wrocławskie–Przylésie):
- od km 153 + 227 do km 194 + 312, tj. na długości 41,085 km, istniała jedna jezdnia (południowa) o szerokości nawierzchni 7,50 m, a od km 193 + 372 do km 194 + 090, tj. na długości 0,718 km, jezdnia północna, także o szerokości 7,50 m.

<sup>1</sup> Nazwy węzłów autostrady A4 w tytule artykułu podano wg stanu na koniec maja 2015 r., kiedy dotychczasowe nazwy węzłów autostradowych na terenie woj. opolskiego zastąpiono nowymi: nazwę węzła Przylésie zastąpiono nazwą Brzeg, i kolejne odpowiednio: Prądy – Opole Zachód, Dąbrówka – Opole Południe, Gogolin – Krapkowice, Olszowa – Kędzierzyn-Koźle, a Nogowczyce ma teraz nazwę: Strzelce Opolskie. W tekście artykułu będą stosowane dotychczasowe nazwy węzłów, gdyż w dokumentach źródłowych (bibliografii) stosowano nazwy z okresu przygotowania i realizacji inwestycji.

Na długości około 9,801 km (od km 153 + 227 do km 163 + 028) jezdnie południowa miała nawierzchnię z kostki granitowej 9/11 cm ułożonej na podsypce piaskowej grubości 3–5 cm i podbudowie betonowej grubości 20 cm. W okresie powojennym nawierzchnia z kostki została przykryta warstwą asfaltową o grubości około 10 cm. Na tym odcinku istniały także obustronne opaski o szerokości 1,00 m, wykonane z betonu cementowego. Na długości 31,284 km jezdnie południowej (od km 163 + 028 do km 194 + 312 km) była nawierzchnia betonowa z płyt o grubości 20 cm, ułożonych na zagęszczonym podłożu gruntowym. Obustronne opaski betonowe o szerokości 1,00 m wykonane były na tym odcinku od km 163 + 028 do km 193 + 372 (tj. na długości 30,344 km), a od km 193 + 372 do km 194 + 312 (tj. na długości 0,940 km) pas awaryjnego postoju szerokości 1,00 m o nawierzchni asfaltowej. Ze względu na kilkudziesięcimilimetrowe uskoki poprzecznych krawędzi płyt betonowych nawierzchnia ta zyskała wśród jej użytkowników nazwę „najdłuższych schodów Europy”.

Typowy przekrój poprzeczny, według którego zostały zrealizowane przedmiotowe odcinki autostrady, przedstawiono na rysunku nr 1.



Rys. 1. Typowy przekrój normalny autostrad niemieckich, wg którego wykonano fragmenty nawierzchni A4 na odcinku Wrocław – Przylésie [1]

- nawierzchnia wykonana w latach 1973-1978 i 1988-1992 (Przylésie – Prądy):

- od km 194 + 312 do km 222 + 940, tj. na długości 28,628 km była zrealizowana w latach 1973-1978, jezdnie południowa o nawierzchni asfaltowej szerokości 7,50 m z pasem awaryjnym o zmiennej szerokości, średnio 2,75 m;
- od km 206 + 708 do km 223 + 100, tj. na długości 16,392 km, wykonana była w latach 1988–1992, jezdnie

północna o nawierzchni asfaltowej szerokości 7,50 m z pasem awaryjnym o zmiennej szerokości, średnio 2,75 m, a więc przekrój poprzeczny tego i poprzedniego odcinka był zbliżony do przekroju stosowanego na odcinku od Wrocławia do m. Przylesie, ale z poszerzonymi do ok. 2,75 m pasami awaryjnego postoju.

Według projektu opracowanego w 1970 roku konstrukcja nawierzchni autostrady A4 na odcinku Przylesie – Prądy powinna składać się z następujących warstw:

- 4 cm – warstwa ścierna z betonu asfaltowego średnio-ziarnistego ścisłego, 100 kg/m<sup>2</sup> wg PN-74/S-96022,
- 8 cm – warstwa wiążąca z mieszanki mineralno-asfaltowej gruboziarnistej, 185 kg/m<sup>2</sup> wg PN-74/S-96022,
- 20 cm – kruszywo stabilizowane cementem R<sub>m</sub> = 5,0 MPa, wg BN-68/8933-08
- 12 cm – stabilizacja piasku miejscowego cementem R<sub>m</sub> = 1,5 MPa, wg BN-68/8933-08,
- 50 cm – warstwa mrozochronna z piasku o cechach: wskaźnik piaskowy WP > 35, wodoprzepuszczalność k > 8m/dobę, kapilarność bierna H<sub>kb</sub> < 0,5 m, zawartość cząstek poniżej 0,02 mm < 3% wag.

W związku z tym, że na odcinku Przylesie – Prądy roboty były prowadzone w różnych okresach czasu z przerwami, więc zarówno konstrukcja nawierzchni, jak też jakość materiałów wbudowanych w poszczególne warstwy na wielu fragmentach obu jezdni znacznie różniły się od zaprojektowanych, co potwierdziły badania laboratoryjne próbek (w liczbie około 350 sztuk), pobranych z konstrukcji nawierzchni. Jak wykazały ww. badania na odcinkach autostrady A4 zrealizowanych w latach 1973–1978 i 1988–1992 występowała konstrukcja, w której grubość warstw asfaltowych wahała się od 6 do 27 cm. Warstwy te ułożone były na podbudowie grubości 20 cm z chudego betonu i warstwie grubości 10 cm z gruntu stabilizowanego cementem.

Istniejąca nawierzchnia na obu jezdniach na odcinku Przylesie – Prądy była skoleinowana (m.in. na ok. 30% długości jezdni występowały koleiny o głębokości powyżej 30 mm), ze spękaniami poprzecznymi.

Inwentaryzacja spękań poprzecznych przeprowadzona w 1992 roku wykazała, że na jezdni północnej liczba spękań wahała się od 18 do 54 sztuk na 1 km. Na jezdni południowej liczba spękań na 1 km była mniejsza niż na jezdni północnej i wahała się od 1 do 20 sztuk na 1 km.

## Prace przygotowawcze do uruchomienia procesu inwestycyjnego [18, 19]

Na etapie studiów i prac przygotowawczych ustalono, że inwestycja zostanie zrealizowana w systemie tradycyjnym (nie koncesyjnym) i sfinansowana z następujących źródeł:

- fundusze własne 153,96 mln euro
- granty PHARE (ang. *Poland and Hungary: Assistance for Restructuring their Economies*) 68,00 mln euro
- pożyczka Europejskiego Banku Inwestycyjnego (EBI) 225,00 mln euro

W 1993 roku Rząd Polski, reprezentowany przez Ministerstwo Transportu i Gospodarki Morskiej, otrzymał

subwencję z programu PHARE Unii Europejskiej oraz pożyczkę z EBI na współfinansowanie inwestycji budowy autostrady A4, na odcinku pomiędzy Wrocławiem a Nogowczycami. Uzyskane z ww. trzech źródeł środki miały określone przeznaczenie. Fundusze własne przeznaczone były na pokrycie wydatków obejmujących:

- przygotowanie dokumentacji studialnej, lokalizacyjnej, projektowej i przetargowej;
- nabycie gruntów i nieruchomości;
- koszty wdrożenia i zarządzania przedsięwzięciem;
- koszty podatku VAT;
- opłaty środowiskowe za wycinkę drzew.

Środki z grantów PHARE przeznaczone były na finansowanie:

- nadzoru inwestorskiego i zarządzanie techniczne budową,
- robót mostowych na A4.

Środki z pożyczki EBI przeznaczone były na finansowanie głównych zakresów przedsięwzięcia, a mianowicie:

- roboty drogowe,
- urządzenia ochrony środowiska,
- budowę urządzeń infrastruktury technicznej.

Ministerstwo Transportu i Gospodarki Morskiej było gestorem środków finansowych pochodzących ze wszystkich źródeł finansowania, natomiast beneficjentem powyższych środków była Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, która w celu wdrożenia i zarządzania przedsięwzięciem powołała jednostkę terenową: Biuro Budowy Autostrady Wrocław – Gliwice (BBA), z siedzibą w Opolu.

Nadzór inwestorski i zarządzanie techniczne budową zostało przyznane, w trybie przetargu międzynarodowego, angielsko-francuskiej spółce celowej *WS Atkins International i Scetauroute International*.

Przygotowanie procesu lokalizacji oraz uzyskanie od Wojewodów Wrocławskiego i Opolskiego decyzji ustalających lokalizację autostrady A4 leżało w gestii Agencji Budowy i Eksploatacji Autostrad (ABiEA). Podobnie jak w przypadku procesu lokalizacyjnego, pozyskanie gruntów i nieruchomości (ponad 4980 działek) do celów budowy było w kompetencji ABiEA i odbywało się przy ścisłej współpracy i pomocy ze strony obu Wojewodów.

Niezbędną dokumentację do ustalenia lokalizacji autostrady A4 oraz dokumentację projektową i przetargową, opracowały odpowiednio trzy biura projektowe „Transprojekt” w Krakowie (lider), Gdańsku i Warszawie.

Uzyskanie pozwoleń budowlanych oraz wszelkich uzgodnień należało do obowiązków BBA w Opolu.

Przedstawiciele biur projektowych pełnili także aktywny nadzór autorski na etapie realizacji inwestycji.

## Zakres przedsięwzięcia [3, 18, 19]

Istotnym ułatwieniem na etapie prac przygotowawczych był, jak wspomniano wcześniej, ustalony od lat trzydziestych ubiegłego wieku, ślad trasy. Odcinek Wrocław-Prądy o długości 70 km, wraz z czynnym fragmentem drogi o jednej jezdni (częściowo o dwóch jezdniach), zaś na odcinku Prądy-Nogowczyce o długości 56 km, został wykorzystany wyraźny ślad autostrady z wylesionymi terenami i zaawan-

sowanymi w około 40% robotami ziemnymi oraz wybudowanymi w części obiektami mostowymi.

W związku z tym, łączone były dwa typy robót:

- budowa nowej autostrady i obiektów mostowych, oraz
- przebudowa i modernizacja istniejącej autostrady z utrzymaniem ruchu na czynnej jezdni.

Na całej długości przedsięwzięcia inwestycyjnego, istniało łącznie 95 obiektów w ciągu jednej jezdni lub nad autostradą. Obiekty te w znakomitej większości zostały wykorzystane.

Trasa projektowanej autostrady A4, zarówno w planie, jak i przekroju podłużnym, została dostosowana do istniejącego terenu, istniejących dróg poprzecznych i linii kolejowych [3, 18, 19].

Parametry techniczne i geometryczne trasy oraz przekroju normalnego zostały przyjęte do prędkości projektowej  $V_p = 120$  km/h i obciążenia nawierzchni od pojedynczej osi pojazdu wynoszącego 115 kN.

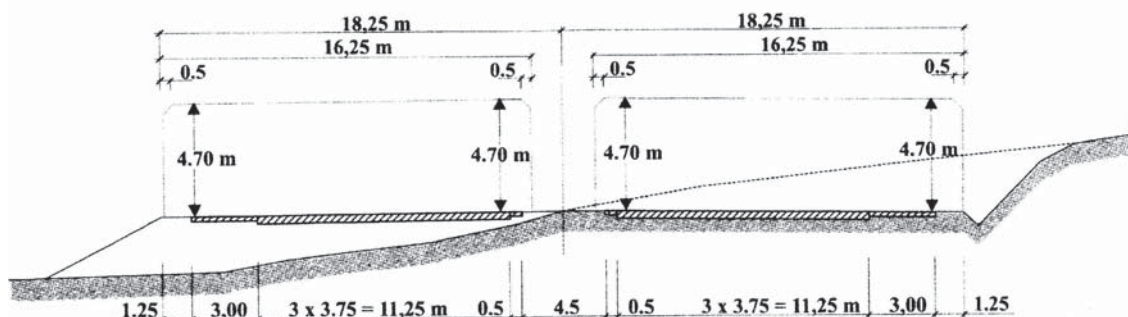
Wartości tych parametrów, zgodnie z Rozporządzeniem MTiGM [38] w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych są następujące :

- szerokość pasa ruchu 3,75 m
- szerokość pasa awaryjnego 3,00 m
- szerokość pasa dzielącego 4,00 m
- szerokość opaski wewnętrznej 0,50 m
- szerokość gruntowego pobocza 1,25–2,90 m (przy występowaniu ekranów przeciwhałasowych)
- najmniejszy promień łuku w planie 750 m
- pochylenie podłużne niwelety 0,2% – 4,0%
- najmniejszy promień łuku w przekroju podłużnym: wypukłego – 20 000 m, wklęsłego – 10 000 m
- kategoria ruchu – KR6

Założenia techniczno-ekonomiczne przewidywały etapowe realizowanie autostrady o docelowym przekroju po 3 pasy ruchu w obu kierunkach, z tym, że w I etapie zostaną wykonane wszystkie obiekty inżynierskie oraz roboty ziemne (z odwodnieniem) do układu docelowego, zaś jezdnie w I etapie budowy będą miały po 2 pasy ruchu w obu kierunkach, z opaskami oraz pasami awaryjnego postoju i zostaną wyposażone we wszystkie wymagane urządzenia bezpieczeństwa ruchu i ochrony środowiska.

Istotne różnice wymaganych wymiarów skrajni, szerokości pasów awaryjnych oraz opasek dotyczące autostrad niemieckich (rys. 1) oraz polskich (rys. 2), zapisanych w Rozporządzeniu [40], wskazują na znaczne trudności zarówno na etapie projektowania, jak i realizacji inwestycji, szczególnie na kontrakcie nr 4.

Rys. 2. Docelowy przekrój poprzeczny autostrady A4 na odcinku Wrocław – Strzelce Opolskie [1]



**Wykonawstwo robót**, stosownie do źródeł finansowania inwestycji, podzielone zostało na dwa oddzielne asortymenty (rys. 3) [19]:

- roboty mostowe – dwa kontrakty,
- roboty drogowe – trzy kontrakty.

Wybór wykonawców poszczególnych kontraktów odbył się zgodnie z procedurą otwartych przetargów międzynarodowych, ze wstępną kwalifikacją. W wyniku rozstrzygnięć przetargowych zwycięzcami poszczególnych przetargów zostali:

➤ na roboty mostowe:

- kontrakt nr 1 (odc. Wrocław – Prądy) – Mota & Companhia,
- kontrakt nr 2 (odc. Prądy – Nogowczyce) – Mota & Companhia,

➤ na roboty drogowe:

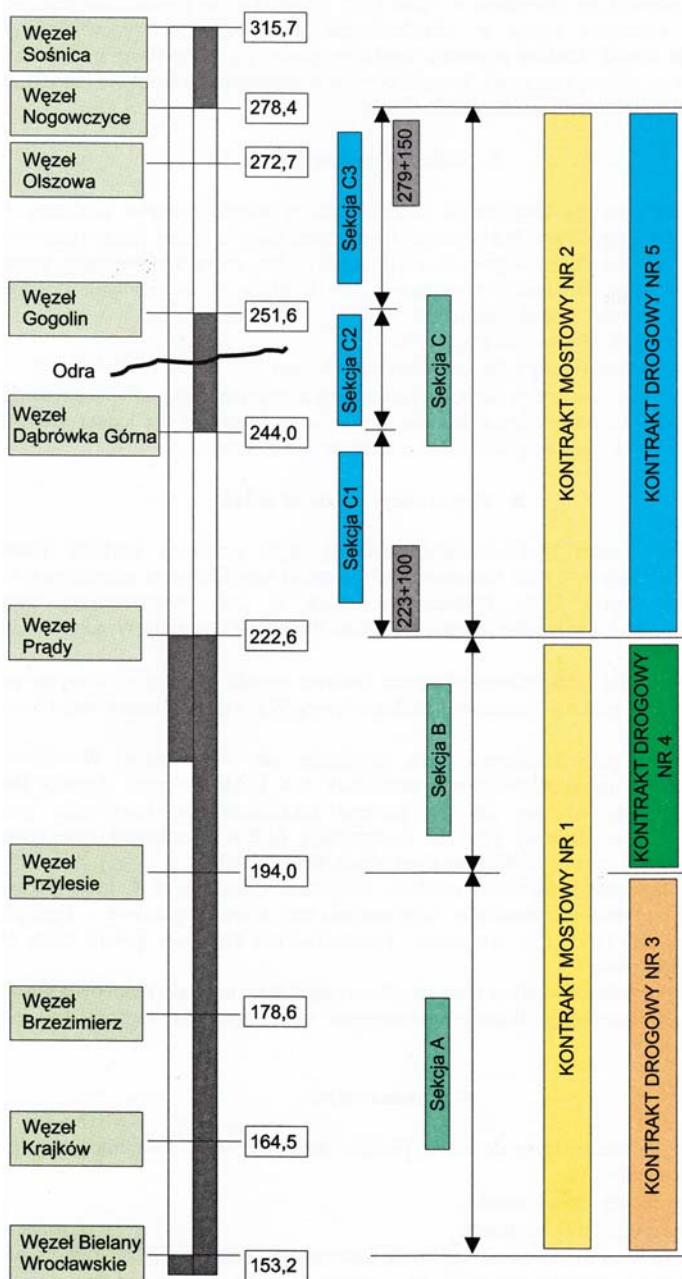
- kontrakt nr 3 (odc. Wrocław – Przylesie o dł. 40,8 km) – Deutsche Asphalt/Dromex niemiecko-polska spółka celowa,
- kontrakt nr 4 (Przylesie – Prądy o dł. 28,9 km) – Deutsche Asphalt/Dromex niemiecko-polska spółka celowa,
- kontrakt nr 5 (odc. Prądy – Nogowczyce o dł. 56,6 km) – Ilbau/Kirchner – austriacko-niemiecka spółka celowa.

Rysunek 3. Przedstawia ogólny schemat organizacyjny omawianej inwestycji.

Omawiane kontrakty przygotowano i zrealizowano na podstawie zasad ustalonych według zbioru przepisów Międzynarodowej Federacji Inżynierów Konsultantów, FIDIC (ang. *International Federation of Consulting Engineers*). Wynikało to z wymagań przetargowych Międzynarodowych Instytucji Finansowych (MFI); zasady te są bazowym i ogólnie stosowanym standardem dla kontraktów w międzynarodowej konkurencji, zwłaszcza w przypadku programów pomocowych oraz pożyczek bankowych.

Stosowanie Warunków Ogólnych Kontraktu oraz Warunków Szczegółowych według FIDIC zapewnia przede wszystkim równowagę uprawnień między uczestnikami procesu realizacji kontraktów, a zwłaszcza między zamawiającym i wykonawcą. Kapitałną rolę w celu zapewnienia równowagi stron zapewnia bezstronnie funkcjonujący inżynier oraz jego upoważniony przedstawiciel.

Dokumentacja kontraktowa na dostawę usług w zakresie nadzoru i zarządzania, jakkolwiek generalnie bazowała na odpowiednich zbiorach przepisów FIDIC, to w szczegółach opierała się na zbiorze przepisów obowiązujących w przypadku programów pomocowych PHARE.



Rys 3. Ogólny schemat organizacyjny inwestycji [19]

## Zaprojektowana konstrukcja nawierzchni [17, 31–37]

Do wymiarowania konstrukcji nawierzchni autostradowej przyjęto dane otrzymane z Agencji Budowy i Eksploatacji Autostrad, wg których na projektowanym odcinku autostrady w roku 2020 pojawi się ok. 12000 pojazdów ciężarowych i autobusów na dobę w obu kierunkach. Przyjęto następującą strukturę ruchu pojazdów ciężarowych: samochody ciężarowe bez przyczep – 36%, samochody ciężarowe z przyczepami – 55%, autobusy – 9%.

Na etapie wstępnych prac związanych z opracowywaniem dokumentacji projektowej budowy autostrady A4 na odcinku Wrocław – Prądy przygotowano do nowo budowa-

nych odcinków 8 typów konstrukcji nawierzchni, w tym 6 wariantów asfaltowych i 2 warianty betonowe oraz 1 wariant wzmocnienia i poszerzenia istniejącej nawierzchni asfaltowej, wykonanej w okresie powojennym.

Wszystkie warianty konstrukcji nawierzchni zostały zaprojektowane metodą mechanistyczną z wykorzystaniem teorii układów warstwowych i z zastosowaniem programu wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej [34].

Ostatecznie dokumentacja przetargowa dotycząca budowy omawianego odcinka autostrady przewidywała trzy konstrukcje nawierzchni, oznaczone jako przekroje technologiczne „A” (klasyczna konstrukcja podatna nowej nawierzchni) oraz „B” i „C” (konstrukcje modernizowanej nawierzchni na kontrakcie 4.). Konstrukcje te obliczono według ww. metody dla dwudziestoletniego okresu żywotności nawierzchni, przy obciążeniu osi obliczeniowej 115 kN. Przyjęto, że liczba osi obliczeniowych na pas w okresie żywotności konstrukcji, tj. do 2020 roku, wyniesie 15 000 000 osi o obciążeniu 115 kN.

Zaprojektowana konstrukcja nawierzchni według przekroju technologicznego „A” jest następująca:

- warstwa ścieralna grubości 5 cm z betonu asfaltowego 0/16 mm,
- warstwa wiążąca grubości 8 cm z betonu asfaltowego 0/20 mm,
- podbudowa grubości 16 cm z betonu asfaltowego 0/25 mm,
- podbudowa grubości 22 cm z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie,
- podbudowa grubości 20 cm z kruszywa naturalnego stabilizowanego mechanicznie,
- warstwa mrozochronna 24 cm.

Zaprojektowana konstrukcja według przekroju technologicznego „C”, przedstawionego na rys.4, przewidywała:

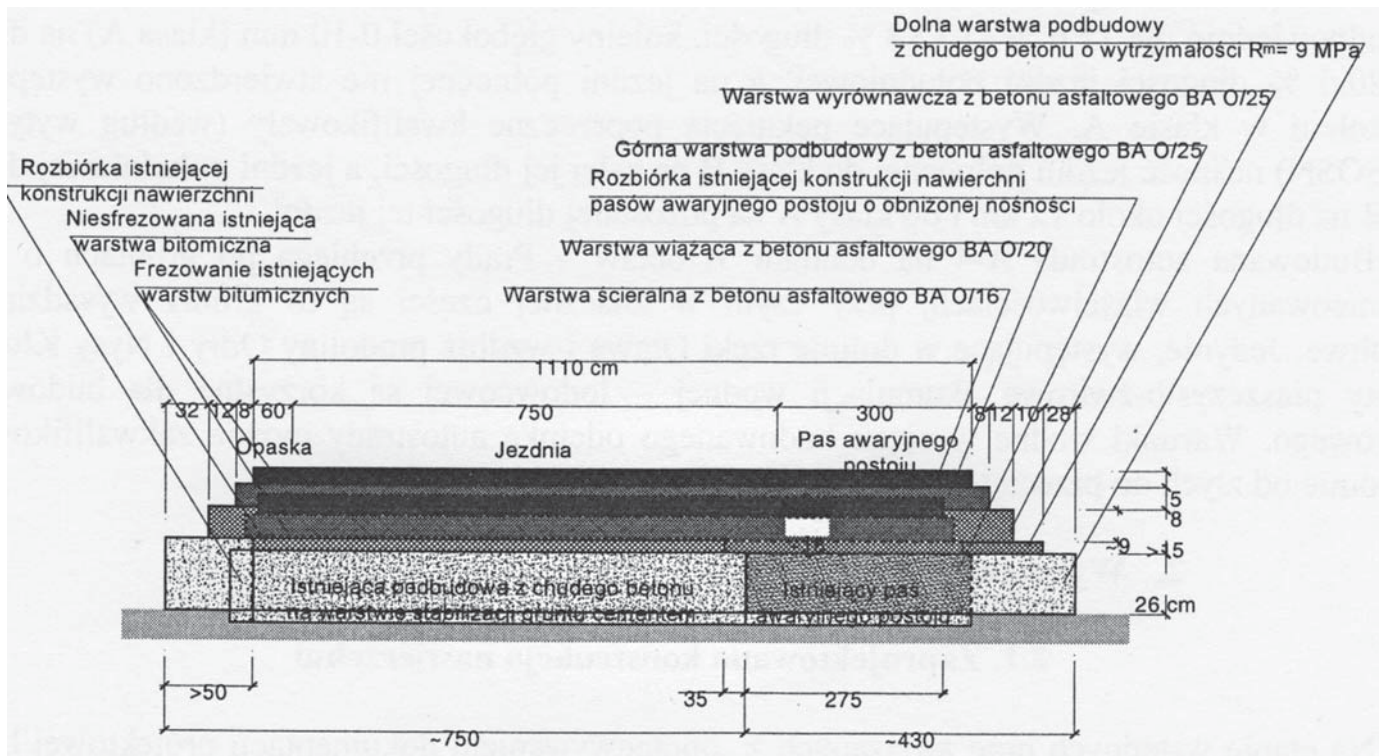
- wykonanie obustronnego poszerzenia istniejącej nawierzchni chudym betonem grubości 26 cm, ułożonym na warstwie mrozochronnej grubości 41 cm,
- sfrezowanie istniejących warstw asfaltowych grubości 12 cm (z pozostawieniem około 6 cm warstwy podbudowy asfaltowej),
- ułożenie 9 cm warstwy podbudowy z betonu asfaltowego 0/25 na całej, poszerzonej podbudowie,
- ułożenie 8 cm warstwy wiążącej z betonu asfaltowego 0/20,
- ułożenie 5 cm warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego 0/16.

Wolne przestrzenie pod istniejącymi licznymi poprzecznymi spękaniem nawierzchni miały być wypełnione drobnoziarnistą zaprawą cementowo-piaskową z dodatkami, a w przypadkach stwierdzenia występowania zupełnie zdegradowanej podbudowy z chudego betonu wokół spękań miała być ona usunięta i ponownie odbudowana.

Konstrukcja według przekroju technologicznego „B” różniła się od przekroju „C” tylko szerokością zaprojektowanego poszerzenia podbudowy z chudego betonu.

Zaprojektowaną konstrukcję według przekroju technologicznego „A” przewidziano do wykonania na:

- nowo budowanych jezdniach: północnej na odcinku Bielany Wrocławskie – Przylesie oraz południowej na od-



Rys. 4. Przekrój technologiczny „C” do wzmocnień istniejącej konstrukcji nawierzchni autostrady A4, na kontrakcie 4 [11, 12]

cinku Bielany Wrocławskie – Przylesie – po usunięciu starej konstrukcji nawierzchni (płyt betonowych) wykonanej do lipca 1939 roku, tj. na odcinku objętym kontraktem nr 3,

- fragmentach odcinka Przylesie – Prądy (kontrakt nr 4), gdzie nie było jezdni północnej oraz, ze względu na korektę niwelety, na fragmentach jezdni północnej i południowej tego odcinka w obrębie obiektów (po usunięciu istniejącej konstrukcji nawierzchni na sekcjach przyobiekтовых),
- na odcinku od węzła Prądy do węzła Nogowczyce, tj. na odcinku objętym kontraktem nr 5.

Konstrukcje objęte przekrojami technologicznymi „B” i „C” przewidziano do wykonania tylko na odcinku modernizowanej istniejącej nawierzchni jezdni południowej i północnej od miejscowości Przylesie do miejscowości Prądy (około 3/4 łącznej długości jezdni na kontrakcie nr 4).

### Wymagania materiałowe według szczegółowych specyfikacji technicznych (SST)

Wymagania materiałowe do poszczególnych asortymentów robót przy budowie autostrady A4 na odcinku Wrocław – Nogowczyce zostały zawarte w szczegółowych specyfikacjach technicznych (SST), opracowanych na podstawie, obowiązujących wówczas wersji ogólnych specyfikacji (OST), wydanych przez Generalną Dyрекcję Dróg Publicznych. Z reguły wszystkie przyjęte, przy budowie tej autostrady, wymagania wobec materiałów, mieszanek

i warstw z nich wykonywanych były najwyższymi, jakie przewidują OST, a w niektórych przypadkach wymagania te jeszcze podwyższono.

Na kontrakcie 4 do wykonania obu warstw podbudowy pomocniczej, na fragmentach nawierzchni z konstrukcją A, zastosowano mieszankę kruszywa łamanego 0/31,5 wytwarzaną z gabra w zakładzie Słupiec (kamieniołom Nowa Ruda).

Wszystkie warstwy nawierzchni, łącznie z warstwą stabilizacji cementem były rozkładane układarkami samojezdnymi, sterowanymi naprężoną linką wg niwelety.

### Wątpliwości co do zaprojektowanej technologii modernizowanych nawierzchni autostrady A4 na odcinku Przylesie – Prądy [7–14]

Założenia dokumentacji przetargowej dla odcinka Przylesie-Prądy przewidywały duże zróżnicowanie występowania konstrukcji według zaprojektowanych przekrojów technologicznych „B” i „C”, przez podział tego odcinka na 73 odcinki robocze (45 na jezdni południowej i 28 na jezdni północnej) o bardzo zmiennej długości (od około 50 m do kilkuset metrów). Do tego należało wydzielić na jezdni południowej ponad 650 krótkich odcinków (4-6 m) do indywidualnych naprawy spękań poprzecznych, a na jezdni północnej należało ich wydzielić ok. 900.

Po przystąpieniu do robót na tym odcinku wykonawca (Dromex Construction) stwierdził, że:

- nie na wszystkich przebudowywanych odcinkach pod



Fot. 1. Widok fragmentu spękaną jezdni północnej (prawa strona) ok. km 207, przed przebudową (fot. K. Jabłoński)

warstwą z chudego betonu była warstwa stabilizowana cementem. Stan ten mógł prowadzić w przyszłości do obniżenia nośności konstrukcji, a ustalenie czy warstwa ta istnieje było możliwe po sfrezowaniu warstwy chudego betonu;

- inwentaryzacja spękań poprzecznych przeprowadzona w listopadzie 1997 roku wykazała, że ich liczba zwiększyła się w stosunku do oszacowanych na etapie projektu. Na jezdni północnej liczba spękań wahała się od 27 do 82 sztuk na 1 km, z czego większość miała postać spękań rozgałęzionych i zdegradowanych (fot. 1). Inwentaryzacja z 1997 roku wykazała również, że pomiędzy uszczelnionymi spękaniami w 1994 roku powstały nowe spękania, a uszczelnione krótkie spękania uległy wydłużeniu. Na jezdni południowej liczba spękań na 1 km była mniejsza niż na jezdni północnej i wahała się od 2 do 44 sztuk, ale podobnie jak na jezdni północnej, również ich liczba wykazała wzrost w stosunku do zinwentaryzowanych w 1992 roku (przez ówczesną DODP w Opolu) i uszczelnionych w 1994 roku (których było więcej o około 50% w porównaniu do 1992 roku).

Opisany stan świadczył o tym, że odbite spękania nawierzchni, mające swoje źródło w sztywnej podbudowie, ciągle przemieszczają się od tej warstwy do warstwy ścieralnej. Należało się spodziewać, że podobnie jak to było na remontowanej (przez Dromex Construction), w latach 1995–1996, nawierzchni A4, na odcinku: Kraków – Katowice, okaże się, że po sfrezowaniu górnej 12 cm warstwy nawierzchni asfaltowej, zostaną uwidocznione kolejne spękania poprzeczne pomiędzy już istniejącymi [13, 31].

Ponadto, po szczegółowym przeanalizowaniu dokumentacji przetargowej, wykonawca doszedł do przekonania, że poszerzenie zewnętrznego pasa ruchu istniejącej konstrukcji chudym betonem będzie, w II etapie budowy autostrady, źródłem spękań podłużnych nawierzchni, gdy całość przekroju będzie poszerzona do 3 pasów ruchu. Zgodnie z dokumentacją techniczną poszerzany zewnętrzny pas jest pasem awaryjnym, natomiast w przyszłości będzie pasem ruchu powolnego i wówczas zaistnieje bardzo wysokie prawdopodobieństwo, graniczące z pewnością, że po ok. 10 latach wzdłuż podłużnych złączeń tych poszerzeń, znajdujących się bezpośrednio pod śladami kół samochodów

ciężarowych, powstaną podłużne spękania na powierzchni jezdni.

Dodatkowo wykonawca zwrócił uwagę na mankamenty przewidzianej w projekcie, bardzo czasochłonnej technologii napraw różnorodnych uszkodzeń istniejącej nawierzchni (ponad 1500 pęknięć poprzecznych do indywidualnej oceny i naprawy). Oznaczało to, że na jezdni o długości ok. 42,6 km, gdzie przewidziano modernizację nawierzchni, wykonanej w latach 1973–1992, powstanie ponad 1500 krótkich odcinków związanych z oceną i naprawą spękań oraz tyle samo dłuższych odcinków, średnio po ok. 20 m, między spękaniami. Zaprojektowana technologia nie tylko zupełnie nie przystawała do potokowej metody, stosowanej przy realizacji autostradowych robót nawierzchniowych, ale nie mogła także zapewnić na całej długości i szerokości nawierzchni monolityczności konstrukcji i jednolitej jej nośności. Powyższe argumenty przemawiały za rezygnacją z „patchworkowej” technologii modernizacji istniejącej nawierzchni asfaltowej.

Wszystkie te fakty i wątpliwości przemawiały za poszukiwaniem możliwości zastosowania takiego rozwiązania konstrukcyjno-technologicznego, które wyeliminowałoby ww. wady i zapewniło wykonanie jednolitej, podatnej lub półsztywnej, podbudowy pomocniczej o jednorodnych właściwościach i umożliwiającej prawidłowe dobudowanie trzeciego pasa ruchu w II etapie, który w przyszłości będzie bezawaryjnie funkcjonował.

Wykonawca wnioskował, jeszcze przed rozpoczęciem robót, sfrezowanie warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego oraz części warstwy wiążącej i odwiezienie na bazę w Magnuszowicach w celu wykorzystania otrzymanego destruktu przy wytwarzaniu betonu asfaltowego 0/25 do warstwy podbudowy. Pozostała część warstw asfaltowych, łącznie z chudym betonem miała zostać poddana głębokiemu recyklingowi przy pomocy recyklarek, aby uzyskać podbudowę pomocniczą z mieszanki mineralno-cementowo emulsyjnej (mce), zgodnie z [38]. Aspekty ekonomiczne i ekologiczne także przemawiały za głębokim recyklingiem, w którym następuje pełne wykorzystanie materiałów istniejącej nawierzchni.

Ostatecznym argumentem, który zadecydował o potrzebie wykonania próbnego odcinka wg propozycji wykonawcy był fakt, że w trakcie frezowania warstwy ścieralnej, zgodnie z zatwierdzonym projektem, okazało się, że na dużej długości istniejącej nawierzchni grubość „warstw asfaltowych” nie przekracza 6 cm, a nad jezdniami były już wybudowane wiadukty, które uniemożliwiały zmianę niwelety nawierzchni, aby podnieść niweletę i wbudować brakującą warstwę podbudowy asfaltowej.

Po uzyskaniu akceptacji nadzoru, wykonawca przystąpił do wykonania odcinków próbnego metodą recyklingu wgłębnego według technologii na miejscu, opisanej w Zeszycie 53/97 IBDiM [38], celem sprawdzenia możliwości zastosowania tego rozwiązania na realizowanym odcinku autostrady A4.

Równocześnie Dromex Construction zlecił Instytutowi Badawczemu Dróg i Mostów badania i nadzór nad pracami związanymi z przygotowaniem recept mce na modernizowanym odcinku Przylesie – Prądy autostrady A4.

## Próby terenowe zaproponowanego przez Dromex Construction rozwiązania

W połowie maja 1998 roku wykonano na odcinku Przylesie – Prądy, metodą głębokiego recyklingu na miejscu [fot. 2–9], podbudowę pomocniczą grubości po zagęszczeniu 18 i 23 cm z mieszanki mce na zaprogramowanych dwóch odcinkach próbnych, po 100 metrów długości, każdy podzielony na 4 sekcje, różniące się składem mieszanki destruktyw i kruszywa doziarniającego oraz zawartością cementu i wolnorozpadowej emulsji asfaltowej [8, 9, 12].

Takie rozwiązanie przyspieszało opracowanie optymalnej recepty na mieszankę mce wytworzoną z identycznych materiałów, które w założeniu w przyszłości będą stosowane, a jednocześnie pozwalało opracować receptę pozbawioną niepewności wynikającej ze skali laboratoryjnego przygotowania próbek mce do badań laboratoryjnych w trakcie opracowywania recepty w laboratorium.

Obserwacje poczynione w trakcie realizacji tych odcinków oraz wykonane badania laboratoryjne (przez IBDiM) i polowe (przez laboratorium Dromex Construction) pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- materiał uzyskany z frezowania istniejącego chudego betonu, na odcinku autostrady A4 Przylesie-Prądy, niezależnie od technologii jego wytwarzania, spełnia wymagania [36] i jest w pełni przydatny do powtórnego wykorzystania przy wykonywaniu pomocniczej podbudowy nawierzchni na autostradzie A4,
- zaprojektowana do prób terenowych mieszanka składająca się z destruktu asfaltowego, destruktu betonowego i doziarniającego kruszywa 0/31,5 mm jest w pełni przydatna do wytwarzania mieszanki mce do wykonania pomocniczej podbudowy nawierzchni na autostradzie A4. Mieszanka ta charakteryzuje się uziarnieniem mieszczącym się w krzywych dobrego uziarnienia kruszywa o ciągłym uziarnieniu przeznaczonego do wykonywania podbudów drogowych z kruszywa 0/31,5 mm stabilizowanego mechanicznie i spełnia wymagania [36],
- głęboki recykling na miejscu, będącym do dyspozycji w kraju sprzętem (recyklarki i równiarki), nie stwarza jeszcze możliwości zapewnienia w pełni prawidłowej niwelety i właściwego postępu robót na robotach autostradowych, szczególnie jeśli równocześnie należy mechanicznie poszerzyć nawierzchnię.



Fot. 2. Widok pierwszego odcinka próbnego przygotowanego do głębokiego recyklingu na miejscu (fot. K. Jabłoński)



Fot. 3. Zestaw do głębokiego recyklingu. Po lewej stronie recyklarka w trakcie kończenia recyklingu pierwszego pasa nawierzchni odcinka próbnego, a po prawej stronie autocysterna z wolnorozpadową emulcją asfaltową (fot. K. Jabłoński)



Fot. 4. Sprawdzanie możliwości wypełnienia koryta poszerzenia nawierzchni od strony pasa dzielącego mieszanką mce wytworzoną na miejscu przy pomocy recyklarki – widok z przodu recyklarki (fot. K. Jabłoński)



Fot. 5. Sprawdzanie możliwości wypełnienia koryta poszerzenia nawierzchni od strony pasa dzielącego mieszanką mce wytworzoną na miejscu przy pomocy recyklarki – widok z tyłu recyklarki; w korycie poszerzenia zbyt mało mieszanki mce (fot. K. Jabłoński)



Fot. 6. Pierwszy odcinek próbny – z lewej strony pas recyklowanej nawierzchni (fot. K. Jabłoński)



Fot. 9. Pracownicy IBDiM pobierają próbki do badań z kolejnej sekcji recyklowanej nawierzchni w trakcie wykonywania drugiego odcinka próbnego (fot. K. Jabłoński)



Fot. 7. Zagęszczanie walcem kombinowanym drugiego pasa recyklowanej nawierzchni; z lewej strony zagęszczony już pas recyklowanej nawierzchni i widoczne koryto poszerzenia nie w pełni wypełnione mieszanką mce (fot. K. Jabłoński)



Fot. 10. Widok wytwórni mce firmy Marini o wydajności 250 t/h (fot. K. Jabłoński)



Fot. 8. Pracownicy IBDiM pobierają próbki do badań z jednej z sekcji recyklowanej pierwszego odcinka nawierzchni (fot. K. Jabłoński)

- W tej technologii przewidziano:
- sfrezowanie istniejących (kolejnych) warstw asfaltowych do poziomu górnej powierzchni istniejącej podbudowy z chudego betonu i odwiezienie destruktu asfaltowego na bazę wykonawcy, zlokalizowaną w Magnuszowicach,
  - sfrezowanie istniejącej podbudowy z chudego betonu na głębokość 18 cm i odwiezienie destruktu betonowego na bazę w Magnuszowicach,
  - wykonanie warstwy mrozoochronnej pod zaprojektowane obustronne poszerzenia nawierzchni,
  - wytworzenie w stacjonarnej wytwórni, na bazie w Magnuszowicach, mieszanki mce,
  - przewiezienie wytworzonej mieszanki mce na autostradę i wbudowanie jej układarkami i kompletem walców ogu-



- mionych, stalowo – gumowych i stalowych, na pełną szerokość podbudowy (12,36 m), warstwą grubości 23 cm,
- wbudowanie warstwy podbudowy asfaltowej, warstwy wiążącej i warstwy ścieralnej zgodnie z dokumentacją projektową.



Fot. 11. Dogęszczanie walcami kombinowanymi mieszanki mce wbudowywanej połową szerokości jezdni, na trzecim odcinku próbnym (fot. K. Jabłoński)

W czerwcu 1998 r. wykonano zgodnie z tą koncepcją trzeci odcinek próbny. Na tym odcinku również wykonano, podobne jak na pierwszych dwóch odcinkach, badania polowe oraz pobrano próbki do badań w IBDiM. Wyniki badań polowych potwierdziły, że zaproponowany kierunek modyfikacji technologii jest właściwy, ale należy jeszcze udoskonalić sposób dozowania składników oraz układać podbudowę z mieszanki mce dwoma warstwami (12 + 11 cm – całą szerokością jezdni – fot. 12), aby uzyskać właściwą równość i zagęszczenie mieszanki mce w warstwie podbudowy.



Fot. 12. Wbudowywanie mieszanki mce dwoma układarkami Titan całą szerokością jezdni

Jednocześnie stwierdzono, że górną część warstwy mrozochronnej na obustronnych poszerzeniach należy

wzmocnić przez zastąpienie jej kruszywem stabilizowanym mechanicznie lub cementem. Wykonane próby terenowe potwierdziły, że najbardziej racjonalnym rozwiązaniem jest zastąpienie górnej części warstwy mrozochronnej warstwą mieszanki kruszywa stabilizowanego cementem ( $R_m = 2,5$  MPa) o grubości 12 cm, aby stworzyć jednokowe podłoże pod wbudowywaną mieszanką mce. Kruszywo do mieszanki na tę warstwę składało się z pospółki ze żwiru Pilce i z piasku z Głębocka. Mieszanka wytwarzana była w wytwórni Marini 160/250 (fot. 10) i dowożona samochodami samowyładowczymi do układarek na autostradzie.

Po ocenie trzeciej próby przystąpiono do realizowania robót związanych z przygotowaniem podłoża pod warstwę podbudowy pomocniczej z mieszanki mce oraz wykonania (w lipcu 1998 roku) czwartego odcinka próbnego uwzględniającego wniesione modyfikacje w składzie mieszanki (25% wag. łamanego kruszywa doziarniającego – melafirowego z Rybnicy Leśnej, 35% wag. destruktu asfaltowego, 40% wag. destruktu betonowego oraz 3% wag. cementu i 5% wag. emulsji wolnorozpadowej w stosunku do całej masy mieszanki).

## Podsumowanie

Wyniki badań próbek z mieszanki pobranych w trakcie wykonywania odcinków próbnych w maju 1998 r. oraz próbek sporządzonych z zarobów próbnych, po 28 dniach dojrzewania, przeprowadzone przez IBDiM posłużyły do wykonania obliczeń żywotności konstrukcji nawierzchni z pomocniczą podbudową z mieszanki mce i zaproponowania kryteriów wytrzymałościowych (m.in. opisanych w części 2 artykułu) wynikających z mechanistycznej teorii wymiarowania konstrukcji nawierzchni drogowych [31–35].

## Bibliografia (do Części 1. i 2.)

- [1] Biliszczuk J., Jabłoński K., Szydło A.: *Historia budowy autostrady A-4*; referat na seminarium „Budowa Autostrady A-4, Odcinek Wrocław – Nogowczyce”; Politechnika Wrocławska, 21–22. czerwca 2001
- [2] Brzostowski Z., Biliszczuk J.: *Kalendarium budowy autostrady A-4, odcinek Wrocław – Nogowczyce*; „Inżynieria i budownictwo” nr 11/2001, str. 623
- [3] Buszke W., Tomiczek M.: *Autostrada A-4, odcinek Wrocław – Przylesie*; Referat na seminarium „Budowa Autostrady A-4, Odcinek Wrocław – Nogowczyce”; Politechnika Wrocławska, 21–22. czerwca 2001
- [4] Grótz G.: Rapoń UB 784 – *Untersuchung des Widerstandes von Asphalt gegen Ribbildung – Splittmastixasphalt 0/11*; Versuchsanstalt für Straßenwesen Technische Universität Darmstadt, Juni 1999
- [5] Hujer H.U., Ruttmar I., Witczak S.: *Zagadnienia technologiczne związane z realizacją budowy autostrady A-4, kontrakt nr 5, odcinek Prądy – Nogowczyce*. Referat na seminarium „Budowa Autostrady A-4, Odcinek Wrocław – Nogowczyce”; Politechnika Wrocławska, 21–22. czerwca 2001
- [6] Hujer H.U., Ruttmar I., Bogacka M., Witczak S.: *Zastosowanie równiarek kontrolowanych teodolitem do wykonywania warstw podbudów stabilizowanych mechanicznie (autostrada A-4, kon-*

- trakt nr 5); Referat na seminarium „Budowa Autostrady A-4, Odcinek Wrocław – Nogowczyce”; Politechnika Wrocławska, 21–22. czerwca 2001
- [7] Jabłoński K.: *Koreferat do „Wstępnego Raportu dotyczącego technologii i konstrukcji nawierzchni na autostradzie A-4 odcinek Bielany-Wrocławskie – granica województwa katowickiego od km 153+227 do km 281+469*, Warszawa, 1997 (nie publikowany)
- [8] Jabłoński K., Rybczyński M., Wałęcka H.K.: *Założenia technologiczno-konstrukcyjne do wykonania odcinków próbnych warstwy podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej metodą recyklingu na miejscu*. Dromex Construction, Warszawa, kwiecień 1998 r. Opracowanie niepublikowane
- [9] Jabłoński K., Rybczyński M., Wałęcka H.K.: *Informacja o wykonaniu odcinków próbnych warstwy podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej metodą recyklingu na miejscu na autostradzie A-4*, kontrakt Nr 4/KA4B. Dromex Construction, Warszawa, maj 1998 r. Opracowanie niepublikowane
- [10] Jabłoński K., Wałęcka H.K.: *Specyfikacja techniczna ST D.04.07.01a): Podbudowa (pomocnicza) z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej na autostradzie A4*. Dromex Construction, Warszawa, lipiec 1998 r. Opracowanie niepublikowane
- [11] Jabłoński K., Rybczyński M., Szydło A.: *Recykling nawierzchni na autostradzie A-4, odcinek Prądy-Przylesie*. Referat opublikowany w materiałach konferencyjnych V Międzynarodowej Konferencji: „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce, 11–12 maja 1999 r.
- [12] Jabłoński K., Rybczyński M., Szydło A.: *Recykling głęboki nawierzchni autostrady A-4. – Podbudowa pomocnicza z mieszanki destruktu z cementem i emulsją*; „Drogownictwo” nr 8/1999, str. 237–246.
- [13] Jabłoński K.: *Naprawa spękań poprzecznych nawierzchni asfaltowych*; „Drogownictwo” nr 11/1997, str. 330–343
- [14] Jabłoński K., Rybczyński M., Szydło A.: *Wymagania materiałowe dotyczące robót drogowych na autostradzie A4 (odcinek Wrocław – Prądy)*; Referat na seminarium „Budowa Autostrady A-4, Odcinek Wrocław – Nogowczyce”; Politechnika Wrocławska, 21–22. czerwca 2001
- [15] Jabłoński K., Rybczyński M., Wilk E., Zawadzki J.: *Wybór mieszanki mineralno-asfaltowej na warstwę ścieralną autostrady A4*, „Drogownictwo” nr 10/2000, s. 293–297
- [16] Jabłoński K., Wałęcka H.K.: *Szczegółowa specyfikacja techniczna D.05.03.1 3 Nawierzchnia z mieszanki mastykowo-grysowej (SMA); D.05.03.13/1 Warstwa ścieralna z mieszanki SMA dla autostrady*
- [17] Judycki J., Alenowicz J.: *Opinia dotycząca projektu konstrukcji nawierzchni autostrady A-4 na odcinku Bielany Wrocławskie – granica województwa katowickiego od km 153+227 do km 281+469*, Biuro Inżynierii Drogowej „DROTEST” 1996, (nie publikowana)
- [18] Krakowskie Biuro Projektów Dróg i Mostów Sp. z o.o. TRANSPROJEKT: *Wstępny raport dotyczący „Technologii i konstrukcji nawierzchni na autostradzie A-4”, odcinek Bielany – Sośnica, od km 153+227 do km 315+100*, Kraków, 1996.
- [19] Mróz E.: *Organizacja budowy autostrady A4 na odcinku Bielany Wrocławskie – Nogowczyce*; Referat na seminarium „Budowa Autostrady A-4, Odcinek Wrocław – Nogowczyce”; Politechnika Wrocławska, 21–22. czerwca 2001
- [20] Radzikowski M.: *Stan techniczny dróg krajowych na koniec 2011 roku*; „Drogownictwo” nr 7–8/2012
- [21] Radzikowski M.: *Stan techniczny dróg krajowych na koniec 2012 roku. Część 1. Ogólny stan techniczny nawierzchni, elementów systemu odwodnienia, poboczy nieutwardzonych oraz odcinków zarządzanych przez concessionariuszy autostrad*; „Drogownictwo” nr 6/2013
- [22] Radzikowski M.: *Stan techniczny dróg krajowych na koniec 2012 roku. Część 2. Zmiany stanu technicznego sieci dróg krajowych w latach 2006–2012 i wynikające z nich potrzeby finansowe. Działania GDDKiA*; „Drogownictwo” nr 7–8/2013
- [23] Radzikowski M.: *Stan techniczny dróg krajowych na koniec 2013 roku*; „Drogownictwo” nr 9/2014
- [24] Radzikowski M.: *Stan techniczny dróg krajowych na koniec 2014 roku*; „Drogownictwo” nr 8/2015
- [25] Radzikowski M.: *Stan techniczny dróg krajowych na koniec 2015 roku*; „Drogownictwo” nr 6/2016
- [26] Radzikowski M.: *Stan techniczny dróg krajowych na koniec 2016 roku*; „Drogownictwo” nr 5/2017
- [27] Rywczak K., Dobranowski S.: *Projekt odcinka autostrady A4 Bielany Wrocławskie – Nogowczyce (Sośnica)*; Referat na seminarium „Budowa Autostrady A-4, Odcinek Wrocław – Nogowczyce”; Politechnika Wrocławska, 21–22. czerwca 2001
- [28] Słotwiński D.: *Wrocław-Przylesie – dobry początek autostrady A-4*; Referat na seminarium „Budowa Autostrady A-4, Odcinek Wrocław – Nogowczyce”; Politechnika Wrocławska, 21–22. czerwca 2001
- [29] Sybilski D., Mechowski T.: *Ocena trwałości mieszanek mineralno-asfaltowych z różnymi kruszywami*; Prace badawcze IBDiM nr 3–4/1998
- [30] Sybilski D., Mechowski T.: *Właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni a technologia wykonania warstwy ścieralnej*. Prace badawcze IBDiM nr 3–4/1998
- [31] Sybilski D.: *Opinia techniczna do Wstępnego Raportu dot. „Technologii i konstrukcji nawierzchni na autostradzie A-4, odcinek Bielany Wrocławskie – granica województwa katowickiego, od km 153+227 do km 281+469”* (nie publikowana), Warszawa 1996
- [32] Sybilski D.: *Poprzeczne spękania odbite nawierzchni autostrady A4 (Kraków – Katowice)*; „Drogownictwo” nr 11/1997, s. 343–350
- [33] Szydło A.: *Projekt konstrukcji nawierzchni autostrady A4 na odcinku Bielany – Kleszczów (konstrukcje nowoprojektowane)*, Wrocław 1996 (nie publikowany)
- [34] Szydło A.: *Projekt konstrukcji nawierzchni autostrady A4 na odcinku Bielany – Kleszczów (konstrukcje nowoprojektowane – Aneks nr 1)*, Wrocław 1996 (nie publikowany)
- [35] Szydło A.: *Projekt modernizacji konstrukcji nawierzchni autostrady A4 Przylesie – Prądy, km 194+000 do 222+346 (modernizacja istniejącej konstrukcji nawierzchni – Aneks nr 2)*, Wrocław, 1996
- [36] Szydło A.: *Opinia dotycząca zamiany konstrukcji nawierzchni autostrady A4 na kontrakcie Nr 4 na odcinku Przylesie – Prądy*, Wrocław, lipiec 1998, *Aneks nr 1 do Opinii...*, sierpień 1998 r., *Aneks nr 2 do Opinii...*, wrzesień 1998 r., *Aneks Nr 3 do Opinii...*, listopad 1998 r. Praca niepublikowana
- [37] Szydło A.: *Konstrukcja nawierzchni autostrady A-4*; Referat na seminarium „Budowa Autostrady A-4, Odcinek Wrocław – Nogowczyce”; Politechnika Wrocławska, 21–22. czerwca 2001
- [38] Zawadzki J., Matras J.: *Warunki techniczne wykonywania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej metodą recyklingu na miejscu (WT-M-M-C-E)*, IBDiM Informacje, Instrukcje, Zeszyt 53, Warszawa 1997
- [39] Zawadzki J., Sybilski D.: *Wyniki badań mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej (M-C-E) do podbudowy pomocniczej na autostradzie A4, odcinek Prądy – Przylesie (kontrakt nr 4/KA4B) – IBDiM*, Warszawa, czerwiec i wrzesień 1998 r. Sprawozdania niepublikowane
- [40] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 14.05.1997 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych (Dz. U. Nr 62, poz. 392)
- [41] *Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für die Herstellung Fahrbanddecken aus Asphalt ZTV Asphalt StB-94, Ausgabe 1994 mit Änderungen und Ergänzungen, Ausgabe 1998; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen*
- [42] *vorläufige Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für die Herstellung von Brückenbelagen auf Beton ZTV-BEL-B 1, Ausgabe 1987–1999; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen*