

ARKADIUSZ POLECKI

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

Utrzymanie nawierzchni wykonanych z betonu cementowego. Naprawa uszkodzenia po zapadnięciu się czterech płyt nawierzchni przy pomocy betonu szybkosprawnego, *fast-track concrete paving* – autostrada A4

Autostrada A4 o długości ponad 660 km jest obecnie najdłuższą arterią tej klasy w Polsce. Jest to też jedyna droga szybkiego ruchu, która łączy dwie granice Rzeczypospolitej Polskiej, tzn. granicę zachodnią z Niemcami i wschodnią z Ukrainą. Na terenie Dolnego Śląska długość autostrady wynosi 193,965 km, z czego 153,864 km jest wykonana w konstrukcji sztywnej o nawierzchni z betonu cementowego. Równoleżnikowy przebieg autostrady A4, z zachodu na wschód, powoduje bardzo duży ruch pojazdów, zwłaszcza tranzytowy ruch pojazdów ciężarowych. Intensywne obciążenie ruchem powoduje jednak całą gamę uszkodzeń. W przypadku sztywnej konstrukcji nawierzchni, są to między innymi uszkodzenia strukturalne obejmujące spękania płyt oraz ich osiadanie. Tego rodzaju uszkodzenia powstają na skutek naprężeń termicznych lub wynikają z niewłaściwego ich podparcia w podbudowie [4].

Przykład tego typu uszkodzenia przedstawia fotografia 1.



Fot. 1. Uszkodzenie strukturalne – spękanie oraz zapadnięcie płyt nawierzchni wraz z wykruszeniem naroży – autostrada A4 [4]

Naprawy tego typu uszkodzeń, na drodze szybkiego ruchu, a zwłaszcza na autostradzie, nie mogą powodować długotrwałych utrudnień w ruchu, obejmujących wyłączenia pojedynczych pasów ruchu, względnie wyłączenia danej remontowanej jezdni. Praktyka pokazuje, że we wszystkich tego rodzaju przypadkach tworzą się wielokilometrowe zatory, a to z kolei powoduje trudne do oszacowania koszty społeczne.

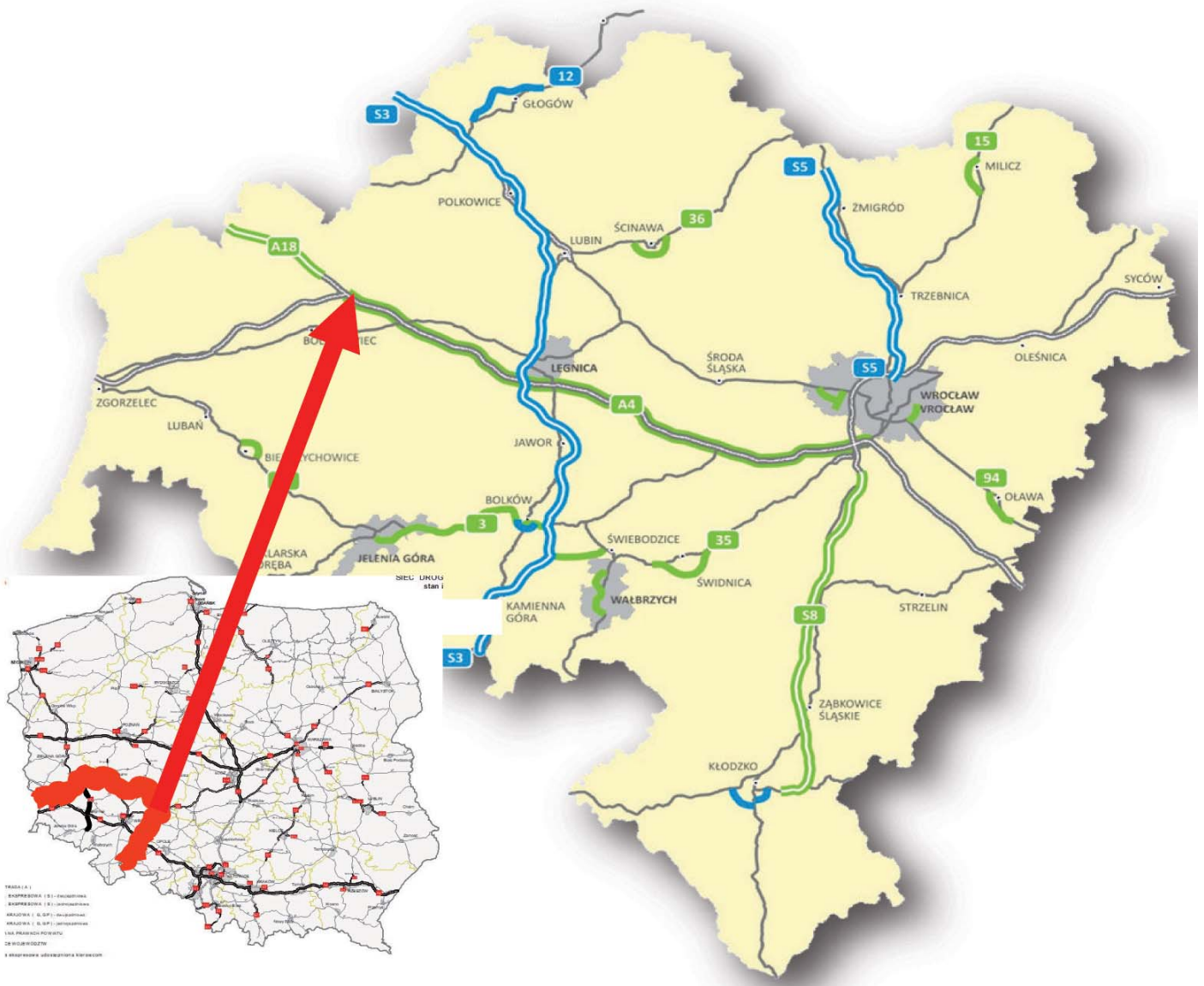
Konieczne są więc działania w zakresie opracowania nowoczesnych metod napraw oraz elastyczne stosowanie sprawdzonych technologii napraw bieżących i remontów nawierzchni, które możliwe będą do zrealizowania w krótkim czasie [4]. Zastosowanie jednej z tego rodzaju technologii z użyciem betonu o krótkim czasie wiązania określanego jako *fast-track concrete paving*, umożliwia wykonanie napraw nawierzchni w bardzo krótkim przedziale czasowym [2].

Opis przypadku występującego na autostradzie A4

Pod koniec zimy 2019 roku, na autostradzie A4, w obrębie odcinka od węzła Krzyżowa do węzła Krzywa, na jezdni prawej (południowej), na pasie zewnętrznym, w km 53+550 zostały stwierdzone zniszczenia nawierzchni polegające na spękaniu i osiadaniu płyt betonowych przy szczelinach poprzecznych i szczelinie podłużnej. Lokalizację omawianego odcinka A4 przedstawiono na rysunku 1. Podczas wcześniejszej eksploatacji nawierzchni, prowadzonej od roku 1996, zaobserwowano propagację spękań, uszkodzenie naroży oraz powstanie rozległego wyboju.



Fot. 2. Spękania i zapadnięcie się nawierzchni, autostrada A4, odcinek pierwszy, km 53+550, stan luty 2019 r. [7]



Rys. 1. Lokalizacja odcinka wymiany nawierzchni betonowej w 2019 r. na autostradzie A4 [7]



Fot. 3. Spękania i zapadnięcie się płyt nawierzchni, autostrada A4, odcinek drugi, km 53+525, stan marzec 2019 r. [7]

W trakcie kolejnych oględzin nawierzchni w tym rejonie zlokalizowano kolejne bliźniacze spękania dwóch płyt w odległości ok. 25–30 m w kierunku zachodnim tzn. w km

55+525. Utworzyły się „dodatkowe szczeliny” w formie spękań podłużnych w części środkowej sąsiadujących płyt nawierzchni, a ponadto doszło do spękań poprzecznych wszystkich czterech płyt w połowie ich rozpiętości. Powstałe uszkodzenia przedstawiają fotografie 2 i 3.

Zapadnięcie fragmentu płyty w stosunku do płyty sąsiedniej na pasie wewnętrznym osiągało wartość do 3 cm (fot. 4) i tym samym było na tyle uciążliwe, że ze względów bezpieczeństwa ruchu pojazdów została wyniesiona w teren tymczasowa organizacja ruchu. Organizacja ta obejmowała wprowadzenie znaku ostrzegawczego A-11, znaków zakazu B-33, ograniczających prędkość poruszania się do 60 km/h oraz znaku B-25 „Zakaz wyprzedzania”, zlokalizowanych przed miejscem uszkodzeń.

Charakter powstałych uszkodzeń oraz szybkość ich propagacji, powodowały wysokie ryzyko zniszczenia całego profilu konstrukcji nawierzchni. Należało podjąć szybkie działania zmierzające do naprawy zniszczeń poprzez całkowitą wymianę nawierzchni. Nie było jednak wiadomo na



Fot. 4. Różnica poziomów pomiędzy sąsiednimi płytami nawierzchni, autostrada A4 km 53+550 [7]

jakiej głębokości jest zlokalizowana zasadnicza przyczyna powstania uszkodzeń.

Konstrukcja nawierzchni, która została wykonana na omawianym odcinku autostrady w roku 1996, opierając się na podłożu rodzimym, składała się z warstwy mrozoochronnej, podbudowy z gruntocementu oraz dwuwarstwowej nawierzchni z betonu cementowego. Szczegółową konstrukcję nawierzchni przedstawia tabela 1.

W celu rozpoznania przyczyn powstania uszkodzeń należało przeprowadzić badania terenowe, między innymi przeLOTów warstw nawierzchni, nośności konstrukcji nawierzchni ugięciomierzem dynamicznym FWD, badania georadarowe GPR oraz określony zakres badań laboratoryjnych na próbkach pobranych z nawierzchni w miejscu uszkodzeń.

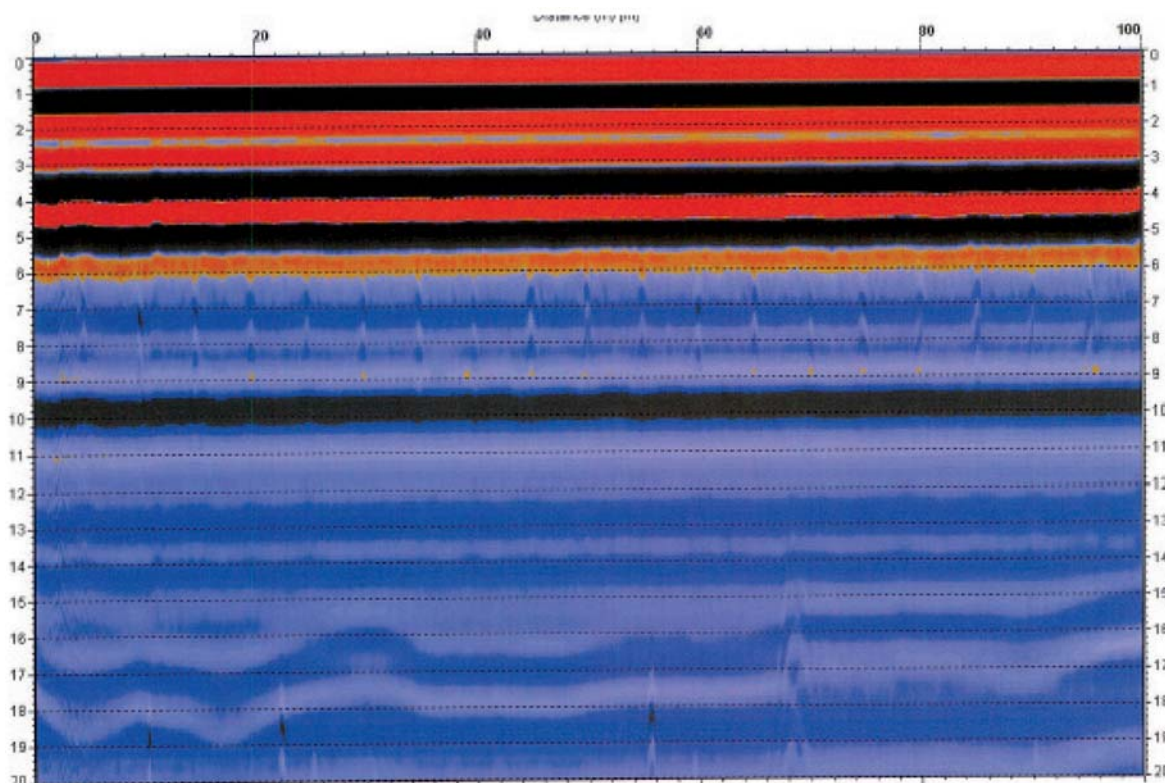
Tabela 1. Konstrukcja nawierzchni autostrady A4 odcinek Krzyżowa–Krzywa wykonana w 1996 r. [3]

Grubość warstwy	Rodzaj warstwy	Rodzaj materiału
7 cm	górną jezdnią	Beton cementowy B-35, mieszanka betonowa 0/16, $R_{28} = 35$ MPa, napowietrzenie 4,5%, nasiąkliwość do 5%
19 cm	dolną jezdnią (dyblowaną)	Beton cementowy B-35, mieszanka betonowa 0/32 (grysy z przekruszonych starych płyt betonowych), $R_{28} = 35$ MPa, napowietrzenie 4,5%, nasiąkliwość do 5%
15–20 cm	podbudowa	Gruntocement $R_7 \geq 4,0$ MPa, $R_{28} \geq 6,0$ MPa, wskaźnik mrozoodporności 0,7
15 cm	mrozoochronna	Grunt niespoisty z istniejącego korpusu drogowego, grupa nośności – G1 i G2
	podłoże	Grunt rodzimy

Badania terenowe

Badania nośności konstrukcji nawierzchni (ugięć sprężystych) zostały wykonane przy wykorzystaniu ugięciomierza płytowego FWD KUAB 120 SPG, nr. ser. FV-103, przy temperaturze powietrza 11°C i przy słonecznej pogodzie. Krok pomiarowy wynosił 1,0 m. Zestaw pomiarowy podczas wykonywania badań przedstawia fotografia nr 5.

Uzyskano wyniki ugięć sprężystych, które pod płytą naciśkową różniły się o prawie 1000 μm . Mogło to sugerować utratę nośności przez cały profil konstrukcji nawierzchni. Uzyskane wyniki ugięć przedstawia tabela 2.



Rys. 2. Echogram nr 1 uzyskany z badań GPR w km 55+250 do 55+550 na autostradzie A4 jezdnią prawą, pas zewnętrzny [7]



Fot. 5. Badania nośności nawierzchni ugięciomierzem FWD – zestaw KUAB 120 SPG [7]

Wykonane zostały również badania georadarowe przy użyciu pentoradaru (georadaru) GPR GSSI Sir-20 Antena Horn 1 GHz, nr ser. 0506, zawieszona 0,5 m na nawierzchnię. Temperatura powietrza: 16°C, słonecznie. Interpretacja wyników prowadzona była przy pomocy programu „Road Doctor”.

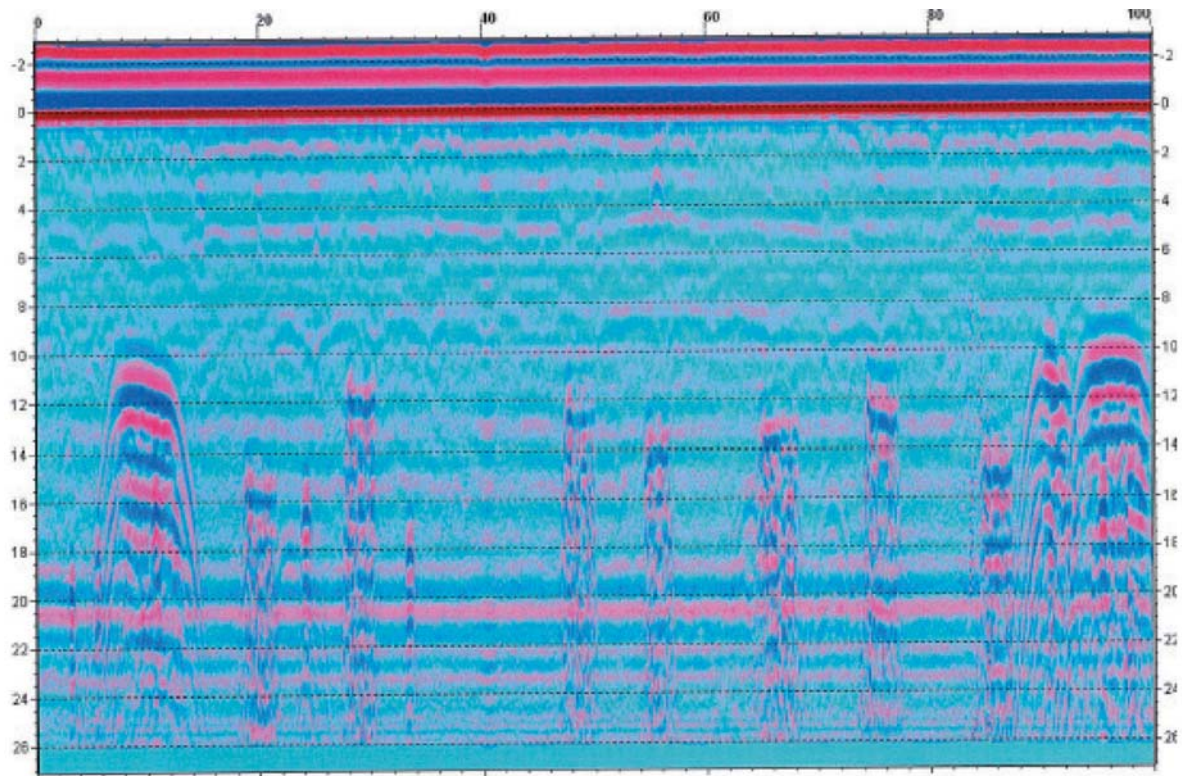
Na uzyskanych echogramach widoczne były anomalie, które mogły sugerować występowanie pustek w konstrukcji nawierzchni. Echogramy przedstawione są na rysunkach 2 i 3.

W celu wyznaczenia punktu odniesienia oraz, aby pozyskać wiedzę na temat faktycznych grubości warstw konstrukcji nawierzchni, wykonano dwa odwierty próbne do

Tabela 2. Uzyskane wyniki badań ugięć sprężystych w km 55+550 do 55+580 na autostradzie A4 jezdnia prawa, pas zewnętrzny [7]

Lokalizacja	Napężenie q [kPa]	Obciążenie P [kN]	D ₃	D ₁	D ₀	D ₂	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	T _{warstw} [°C]
			Odległość od środka płyty dociskowej, [mm]									
			-300	-200	0	200	300	600	900	1200	1500	
53,550	1568	110,8	358,0	348,0	333,0	302,0	286,0	232,0	193,0	156,0	126,0	20
53,551	1592	112,5	192,0	196,0	201,0	190,0	184,0	164,0	140,0	116,0	93,0	20
53,552	1589	112,3	178,0	185,0	195,0	186,0	179,0	159,0	135,0	111,0	87,0	20
53,553	1590	112,4	192,0	206,0	231,0	239,0	216,0	171,0	133,0	105,0	86,0	20
53,554	1599	113,0	171,0	172,0	173,0	158,0	150,0	132,0	114,0	99,0	86,0	20
53,555	1601	113,2	134,0	136,0	138,0	130,0	126,0	116,0	105,0	96,0	86,0	20
53,556	1599	113,0	122,0	125,0	131,0	127,0	125,0	120,0	111,0	100,0	86,0	20
53,557	1599	113,0	141,0	146,0	156,0	150,0	145,0	131,0	112,0	96,0	90,0	20
53,558	1589	112,3	180,0	195,0	231,0	198,0	182,0	144,0	114,0	92,0	76,0	20
53,559	1600	113,1	152,0	158,0	163,0	153,0	146,0	127,0	110,0	95,0	80,0	20
53,560	1597	112,9	137,0	141,0	144,0	136,0	131,0	119,0	108,0	95,0	83,0	20
53,561	1592	112,5	128,0	132,0	141,0	137,0	135,0	126,0	114,0	99,0	83,0	20
53,562	1596	112,8	152,0	159,0	170,0	164,0	160,0	146,0	132,0	117,0	110,0	20
53,563	1575	111,3	234,0	261,0	326,0	300,0	269,0	200,0	154,0	120,0	95,0	20
53,564	1586	112,1	227,0	232,0	238,0	223,0	214,0	183,0	151,0	122,0	98,0	20
53,565	1589	112,3	205,0	213,0	220,0	208,0	199,0	172,0	145,0	122,0	103,0	20
53,566	1592	112,5	198,0	205,0	216,0	204,0	196,0	172,0	150,0	131,0	102,0	20
53,567	1548	109,4	282,0	312,0	644,0	525,0	460,0	286,0	100,0	11,0	75,0	20
53,568	1460	103,2	691,0	822,0	1073,0	308,0	220,0	205,0	175,0	145,0	112,0	20
53,569	1587	112,2	406,0	694,0	711,0	604,0	556,0	304,0	198,0	155,0	113,0	20
53,570	1584	112,0	328,0	327,0	446,0	397,0	374,0	314,0	255,0	119,0	105,0	20
53,571	1553	109,8	424,0	463,0	541,0	204,0	196,0	172,0	151,0	129,0	109,0	20
53,572	1599	113,0	259,0	262,0	262,0	241,0	228,0	191,0	150,0	115,0	90,0	20
53,573	1596	112,8	202,0	210,0	222,0	216,0	211,0	167,0	132,0	105,0	83,0	20
53,574	1597	112,9	155,0	159,0	165,0	155,0	150,0	132,0	113,0	97,0	84,0	20
53,575	1593	112,6	154,0	160,0	169,0	162,0	158,0	145,0	131,0	117,0	102,0	20
53,576	1589	112,3	165,0	170,0	179,0	172,0	168,0	154,0	136,0	115,0	95,0	20
53,577	1593	112,6	170,0	177,0	185,0	176,0	170,0	151,0	128,0	106,0	89,0	20
53,578	1592	112,5	167,0	173,0	186,0	183,0	182,0	162,0	133,0	110,0	89,0	20
53,579	1587	112,2	165,0	170,0	180,0	170,0	164,0	145,0	125,0	106,0	91,0	20
53,580	1589	112,3	164,0	169,0	178,0	169,0	164,0	147,0	128,0	111,0	96,0	20

Rys. 3. Echogram nr 2 uzyskany z badań GPR w km 55+250 do 55+550 na autostradzie A4 jezdnie prawa, pas zewnętrzny [7]



Fot. 6. Wykonywanie odwiertów w nawierzchni, autostrada A4, km 53+550 [7]

głębokości 1,0 i 2,0 m poniżej niwelety nawierzchni. Z nawierzchni i podbudowy pobrano łącznie 4 próbki do badań laboratoryjnych. Pomierzono grubości poszczególnych warstw. Wykonywanie odwiertu przedstawia fotografia 6. Próbkę pobraną z nawierzchni przedstawia fotografia 7.

Z pobranych próbek o średnicy \varnothing 100 mm i wysokości 100 mm zostały wykonane badania laboratoryjne. W przypadku próbek nawierzchni betonowej wykonanej z betonu B-35 uzyskano następujące wyniki: wytrzymałość na ściskanie od 39,5 MPa do 64,9 MPa; średnia nasiąkliwość betonu wynosiła 5,2%. W przypadku próbek



Fot. 7. Pobrane z odwiertów próbki: nawierzchni z lewej, podbudowy z prawej [7]

podbudowy z gruntu stabilizowanego cementem $R_{28} \geq 6,0$ MPa uzyskano wyniki: wytrzymałość na ściskanie w przedziale od 15,3 MPa do 17,0 MPa; nasiąkliwość 9,2%.

W otworze nr 1 w km 53+550, ok. 0,5 m od wewnętrznej krawędzi pasa, grubości poszczególnych warstw przedstawiały się następująco: 23 cm beton nawierzchniowy; 17 cm podbudowa; 60 cm pospółka brązowoszara, wilgotna, zagęszczona.

W otworze nr 2 w km 53+520, ok. 0,5 m od krawędzi pasa, grubości poszczególnych warstw przedstawiały się następująco: 24 cm beton nawierzchniowy; 17 cm podbudowa; 99 cm pospółka gliniasta brązowoszara, wilgotna; 60 cm pospółka brązowoszara, wilgotna, zagęszczona.

Na podstawie uzyskanych wyników badań zapadła decyzja o przeprowadzeniu naprawy polegającej na wymianie łącznie 4 płyt nawierzchni betonowej z zastrzeżeniem ewentualnej konieczności wymiany warstwy podbudowy. Łącznie

naprawa uszkodzeń miała objąć powierzchnię 83,4 m². Organizację ruchu tymczasowego określono arbitralnie, w taki sposób, aby jezdnia prawa (południowa), na której występują uszkodzenia, nie została całkowicie wyłączona z ruchu. W związku z tym założeniem, z uwagi na fakt, że w przekroju szlakuowym przedmiotowej jezdni nie występuje pas awaryjny, cały ruch tymczasowo należało przeprowadzić pasem wewnętrznym. Konieczne więc było podjęcie szybkich działań zmierzających do wzmocnienia pasa wewnętrznego w takim zakresie, aby uniknąć jego uszkodzeń w trakcie prowadzenia prac remontowych. Dodatkowym wymogiem miał być bardzo krótki czas realizacji zadania.

Przygotowania do naprawy uszkodzeń nawierzchni betonowej

Przed zasadniczym remontem obejmującym wymianę uszkodzonych płyt, została wykonana iniekcja w obszarze pod płytami betonowymi wraz z tzw. szczelinowaniem hydraulicznym. Iniekcji dokonano z użyciem substancji na bazie geopolimerów, dzięki którym oprócz wzmocnienia, wyeliminowane zostały ewentualne pustki i kawerny, które potencjalnie mogły występować pod nawierzchnią betonową. Proces wykonania iniekcji wraz z wyniesieniem tymczasowej organizacji ruchu zajął ok. 10 godzin.

Wykonanie iniekcji geopolimerami na pasie wewnętrznym przedstawia fotografia 8.

Określone zostały wymagania dla mieszanki z betonu cementowego – nawierzchniowego, która miała posłużyć do wymiany 4 uszkodzonych płyt. Były to między innymi właściwości uzyskane po 3 dobach od wykonania płyt (w momencie dopuszczenia do ruchu) oraz po 28 dniach. Wymagania oraz procedury i metody badań zostały przedstawione w tabeli 3.

Dodatkowo określono rodzaj materiałów przewidzianych do wytworzenia mieszanki betonu szybkozestawnego tzn.: gotowa mieszanka „SIKA Basismischung CR”, kruszywo o frakcji 2/8 i o frakcji 8/16, woda zarobowa. Tolerancje do-

Tabela 3. Wymagania dotyczące betonu nawierzchniowego po 3 dobach dopuszczenia do i po 28 dniach [7]

Lp.	Badana cecha	Metoda badania	Wymagania
Wymagania po 3 dobach			
1	Gęstość	PN EN 12390-7	±3,0%
2	Klasa wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 206-1 dla KR7, nie niższa niż:	PN EN 12390-3	30 MPa
3	Wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu (średnia z trzech próbek) dla KR7, nie niższa niż:	PN EN 12390-6	3,0 MPa
Wymagania po 28 dniach			
4	Gęstość	PN EN 12390-7	±3,0%
5	Klasa wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 206-1 dla KR7, nie niższa niż:	PN EN 12390-3	C35/45
6	Wytrzymałość betonu na zginanie w 28 dniu twardnienia (średnia z trzech próbek) dla KR7, nie niższa niż:	PN EN 12390-5	5,5
7	Wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu (średnia z trzech próbek) dla KR7, nie niższa niż:	PN EN 12390-6	3,5
8	Kategoria mrozoodporności wg PN-EN 13877-2, nie niższa niż: – w klasie ekspozycji XF4	PKN-CEN/TS EN 12390-9	FT2
9	Charakterystyka porów powietrznych w betonie: – zawartość mikroporów o średnicy poniżej 0,3 mm (A300), % Wskaźnik rozmieszczenia porów w betonie, mm: – w klasie ekspozycji XF4	PN-EN 480-11	1,5 0,200
10	Mrozoodporność F150, przy badaniu metodą bezpośrednią – ubytek masy próbki, nie więcej niż, % – spadek wytrzymałości na ściskanie, nie więcej niż, %	PN-B-06250	5 20

a)



b)



Fot. 8. Wzmocnienie konstrukcji pasa wewnętrznego poprzez wykonanie iniekcji wraz ze szczelinowaniem hydraulicznym za pomocą geopolimerów: a) strona lewa: przygotowanie punktów do iniekcji w nawierzchni, b) strona prawa: aplikacja geopolimerów pod konstrukcję nawierzchni betonowej [7]

zowania wyrażone w stosunku do masy poszczególnych składników wynosiły: kruszywo $\pm 3\%$, cement $\pm 0,5\%$, woda $\pm 2\%$. Jednocześnie wskazano warunki produkcji mieszanki tzn. mieszanka zostanie wytworzona w specjalnie do tego przystosowanym mobilnym mieszalniku (betonowozie) o pojemności zapewniającej wykonanie zarobu dla jednej płyty na pełną grubość; betonowóz powinien być wyposażony w zbiornik na wodę w ilości niezbędnej do produkcji potrzebnej partii mieszanki.

Usunięcie uszkodzonych fragmentów nawierzchni

W dniu 2 grudnia 2019 roku na remontowanym odcinku autostrady została ustawiona tymczasowa organizacja ruchu. W bezpieczny sposób wyłączono z ruchu pas zewnętrzny, jezdni prawej autostrady A4. Następnego dnia rozpoczęto prace remontowe. Remont nie przewidywał mechanicznego wyburzania uszkodzonych płyt starej nawierzchni, aby nie uszkodzić istniejących, potencjalnie niezdegradowanych warstw podbudowy. W celu przygotowania pola roboczego, za pomocą farby w aerozolu, płyty zostały podzielone na mniejsze fragmenty i obrysowane. Następnie za pomocą mobilnej piły tarczowej zostały wykonane nacięcia nawierzchni na głębokość ok. 24 cm. Wykonany obrys oraz nacięcia prezentuje fotografia 9.



Fot. 9. Obrysowane fragmenty płyty oraz wykonane nacięcia uszkodzonej nawierzchni [7]

Następnie przy pomocy małej koparki na podwoziu kołowym z nałożoną głowicą do skarpowania, poszczególne elementy zostały podważone, podniesione i załadowane na naczepę samochodu ciężarowego. Proces usuwania starej nawierzchni przedstawia fotografia 10. Po usunięciu wszystkich fragmentów starej nawierzchni zostały poczynione obserwacje grubości nawierzchni, ułożenia dybli i kotew oraz stanu powierzchni podbudowy.

Okazało się, że dyble w sąsiedztwie szczeliny podłużnej są całkowicie obłuzowane i można je wyciągnąć ręcznie. Dodatkowo położenie ich osi względem krawędzi szczeli-

ny podłużnej, wynosi tylko 3 cm. Natomiast dolna warstwa nawierzchni, w otoczeniu ruchomych dybli, uległa silnemu spękaniu i pokruszeniu. Obrazują to fotografie 11 i 12.



Fot. 10. Usunięcie starej nawierzchni za pomocą koparki [7]



Fot. 11. Odległość dybla od powierzchni szczeliny podłużnej [7]



Fot. 12. Uszkodzenie narożnika sąsiedniej płyty, który zostanie wzmocniony dodatkowym prętem umieszczonym skośnie [7]

Układ istniejących dybli nie był poziomy, był natomiast bardzo pofalowany na całej szerokości płyty. Głębokość załamania dybli wahała się od 12 cm do 16 cm poniżej niwelety nawierzchni. Układ istniejących dybli przedstawia fotografia 13.



Fot. 13. Układ istniejących dybli w sąsiedniej płycie; widoczne pofalowanie i brak osiowości całego zestawu prętów [7]

Przygotowanie podłoża oraz szalunków przed wykonaniem nowej nawierzchni

Górna warstwa podbudowy została oczyszczona i osuszona. Jej stan nie wskazywał na degradację a potwierdzenie



Fot. 14. Wyrównana i zabezpieczona warstwa podbudowy oraz osadzone nowe dyble i kotwy w sąsiednich płytach [7]



Fot. 15. Szalunek przed wykonaniem nowej płyty. Klasyczny z lewej, dwuczęściowy z osadzonymi dyblami z prawej [7]

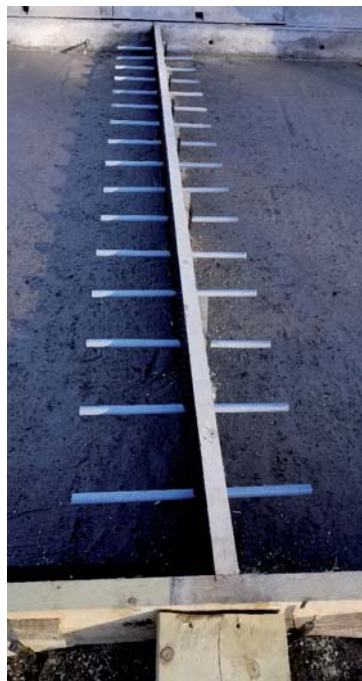
niem tego były wyniki badań nośności, wykonanych przy pomocy płyty obciążanej dynamicznie. Po wykonaniu wyrównania podbudowy i pokryciu jej preparatem na bazie żywic o nazwie „Minobond C” oraz po wzmocnieniu naroży sąsiednich płyt za pomocą dodatkowych prętów umieszczonych skośnie, przystąpiono do nawiercania otworów na nowe dyble i kotwy. Przygotowaną powierzchnię podbudowy wraz z nowymi kotwami i dyblami przedstawia fotografia 14.

Otworki o średnicy $\varnothing 28$ na nowe dyble $\varnothing 25$, w rozstawie co 25 cm, wykonano w osi płyt, w odległości 8 cm od lokalizacji dybli na zachowanych powierzchniach szczelin poprzecznych. Otworki o średnicy $\varnothing 22$ na nowe kotwy $\varnothing 20$, w rozstawie co 100 cm wykonano w osi płyt, w odległości 8 cm od dotychczasowych lokalizacji kotew na zachowanych powierzchniach szczelin podłużnych. Dyble ze stali gładkiej, w powłoce polimerowej o długości 60 cm i kotwy ze stali żebrowanej o długości 80 cm, osadzono w otworach na zaprawie żywicznej. Układ nowych dybli i kotew zamieszczono na fotografii 14.

Wykonano również szalunki z płyt drewnianych w miejscach docelowych, nowych szczelin poprzecznych oraz na krawędziach zewnętrznych. W przypadku jednej pary nowych płyt został przygotowany szalunek rozbieralny z nawierconymi otworami w jego osi na osadzenie nowych dybli. Druga para otrzymała zwykły, jednolity szalunek. Klasyczny szalunek poprzeczny oraz szalunek z dyblami zamieszczono na fotografii 15.

Wykonanie nawierzchni

W dniu 4 grudnia 2019 roku, w południe, na remontowany odcinek dojechał betonowóz z niezmeszanymi jeszcze składnikami. Po przygotowanych wcześniej pochylniach roboczych, zjechał w bezpośrednie sąsiedztwo pierwszego pola roboczego (fotografia 16). Po dodaniu wody do mieszalnika rozpoczęto proces mieszania. Po uzyskaniu odpowiedniej konsystencji, mieszanka betonowa została zadoszowana do pierwszego pola roboczego (jednej płyty). Proces aplikacji mieszanki szybkosprawnego betonu nawierzchniowego przedstawia fotografia 17.



Rozkładanie mieszanki zostało przeprowadzone w sposób ręczny, przy użyciu łopaty i grabi. Po wypełnieniu całej objętości pola roboczego, przystąpiono do wibrowania mechanicznego za

pomocą łąt wibracyjnych zasilanych silnikami elektrycznymi. Proces wibrowania przedstawia fotografia 18.



Fot. 16. Dojazd beczkowitzu w bezpośrednie sąsiedztwo aplikacji betonu szybkostrawnego [7]



Fot. 17. Aplikacja i rozprowadzanie mieszanki szybkostrawnego betonu nawierzchniowego [7]



Fot. 18. Wibrowanie za pomocą łąty wibracyjnej nowego elementu nawierzchni [7]

Górna powierzchnia nowo wykonanej warstwy została zatarta ręcznie za pomocą pac tynkarskich z przesuwne go pomostu robocze go. Ręczne zaciera nie przedstawia fotografia 19. Kolejną czynnośc ią było wytworzenie



Fot. 19. Ręczne zaciera nie nawierzchni za pomocą pac tynkarskich z przesuwne go pomostu robocze go [7]

prawkidłowej, tzn. bezpiecznej dla użytkownikó w autostrady, tekstury poprzecznej górnej powierzchni warstwy jezdnej. Teksturowanie zostało wykonane w sposób ręczny, z użycie m szczotek z PCV. Po teksturowa niu nanie siono zabezpieczenie powierzchniowe przy udziale preparatu systemowe go „SIKA NB1”. Teksturowa nie i zabezpieczenie nowe j nawierzchni przedstawia fotografia 20.

W przypadku stosowa nia cementó w o szybki m czasie wiązania, szczeliny skurczowe powinne być nacinane od 5 do 12 godzin od ułożenia betonu [6]. W opisywa nym przypadku, wykonanie nacięcia były wykonane parami, adekwatnie do wykonanych parami płyt nawierzchni.



Fot. 20. Teksturowa nie poprzeczne i zabezpieczanie preparate m SIKA NB1 wykonane j nawierzchni [7]

Pielęgna cja i wyniki badań pobrane j próbek

Wykonane elementy nawierzchni betonowe j zostały przykryte płytami ze styropia nu oraz folią i zabezpieczone przed wiatre m. Taki sposób pielęgnacji nawierzchni utrzymywa ny był w okresie trzy do pięciu dni. Zabezpieczenie nowe j nawierzchni przedstawiają fotografie 21 i 22.



Fot. 21. Przykrycie nowej nawierzchni betonowej płytami ze styropianu oraz folią i zabezpieczenie przed wiatrem [7]



Fot. 22. Zabezpieczenie nawierzchni betonowej płytami ze styropianu i folią [7]



Fot. 23. Nowa nawierzchnia po oddaniu do ruchu [4]

Podczas wykonywania nowych elementów warstwy jezdnej, zostały pobrane próbki mieszanki betonowej do badań laboratoryjnych. Po przeprowadzeniu odpowiedniej pielęgnacji próbek, wykonano badania: wytrzymałości na ściskanie (próbki sześciennie $150 \times 150 \times 150$ mm), wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu (próbki prostopadłościennie $150 \times 150 \times 600$ mm), wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu (próbki walcowe $\phi 150 \times 300$ mm).

Uzyskane wyniki badań próbek zostały przedstawione w tabeli 4.

Wyniki badań próbek, uzyskane w laboratorium zamawiającego (GDDKiA), spełniły minimalne wymagania.

Eksploracja odcinka

Po odtworzeniu pobocza, oznakowania poziomego oraz po zakończeniu pielęgnacji nowych elementów nawierzchni zostały zniesione utrudnienia i przywrócona docelowa, stała organizacja ruchu.

organizacja ruchu.

Eksploracja nowej nawierzchni została rozpoczęta po 5 dniach dla najstarszych, elementów i po 4 dniach dla najmłodszych. Widok remontowanego odcinka po oddaniu do ruchu prezentuje fotografia 23. W kolejnych dniach, wykonana naprawa była poddana obserwacji podczas eksploatacji. Nie zarejestrowano żadnych niepokojących śladów spękań lub innych wtórnych uszkodzeń nawierzchni betonowej. Całkowity koszt wymiany 1m^2 wraz z tymczasową organizacją ruchu wyniósł niespełna 4 700 PLN.

Podsumowanie

Konstrukcje betonowych nawierzchni drogowych gwarantują ich nośność zmęczeniową i trwałość użytkową odpowiednią do intensywnego ruchu ciężkich pojazdów. Dzięki temu można uniknąć częstych remontów [1]. Dobrze wykonana nawierzchnia betonowa osiąga dwudziestoletni okres użytkowania. Standardem jest eksploatacja przez dłuższy okres czasu tzn. przez 30 lat [6]. Należy jednak podkreślić, że obciążenie

Tabela 4. Wymagania dotyczące betonu nawierzchniowego po 3 dobach (w momencie dopuszczenia do ruchu) i po 28 dniach [7]

Lp.	Wymiar próbki [mm]	Wiek próbki	Rodzaj badania, wytrzymałość na:	Wynik badania [MPa]	Typ zniszczenia	Wymagania co najmniej [MPa]
1	$150 \times 150 \times 150$	3 dni	ściskanie	50,0	prawidłowy	30,0
2	$150 \times 150 \times 150$	3 dni	ściskanie	43,8	prawidłowy	30,0
3	$150 \times 150 \times 150$	3 dni	ściskanie	50,4	prawidłowy	30,0
4	$150 \times 150 \times 150$	4 dni	ściskanie	59,6	prawidłowy	30,0
5	$150 \times 150 \times 150$	4 dni	ściskanie	60,8	prawidłowy	30,0
6	$150 \times 150 \times 150$	4 dni	ściskanie	62,3	prawidłowy	30,0
7	$150 \times 150 \times 150$	29 dni	ściskanie	65,7	prawidłowy	45,0
8	$150 \times 150 \times 150$	29 dni	ściskanie	60,1	prawidłowy	45,0
9	$150 \times 150 \times 150$	29 dni	ściskanie	61,5	prawidłowy	45,0
10	$150 \times 150 \times 600$	29 dni	rozciąganie przy zginaniu	7,8	prawidłowy	5,5
11	$150 \times 150 \times 600$	29 dni	rozciąganie przy zginaniu	7,4	prawidłowy	5,5
12	$150 \times 150 \times 600$	29 dni	rozciąganie przy zginaniu	7,5	prawidłowy	5,5
13	$\phi 150 \times 300$	28 dni	rozciąganie przy rozłupywaniu	4,5	prawidłowy	3,5
14	$\phi 150 \times 300$	28 dni	rozciąganie przy rozłupywaniu	4,4	prawidłowy	3,5
15	$\phi 150 \times 300$	28 dni	rozciąganie przy rozłupywaniu	4,4	prawidłowy	3,5

ruchem powyżej 50 tys. i więcej pojazdów na dobę, powoduje uszkodzenia eksploatacyjne i ubytki w nawierzchni.

Intensywny ruch pojazdów uniemożliwia również wykonywanie napraw całościowych (kompleksowych), które generują długotrwałe utrudnienia. Konieczne jest więc elastyczne stosowanie różnicowanych technologii napraw i wypełnień ubytków, które możliwe są do wykonania w bardzo krótkim czasie [4]. Jedną z wielu możliwości do zastosowania jest technologia *fast-track concrete paving* polegająca na kompleksowej wymianie fragmentów nawierzchni przy użyciu betonu szybkosprawnego.

Doświadczenia wyniesione z remontu autostrady A4 pokazały, że naprawę fragmentu nawierzchni z betonu cementowego można przeprowadzić bez konieczności wyłączenia całej jezdni z ruchu. W opisanym przypadku utrudnienia w ruchu na autostradzie, wraz z ograniczeniem przepustowości tylko do jednego pasa, trwały jedynie 8 dni.

Bibliografia

- [1] Glinicki M.A. *Inżynieria betonowych nawierzchni drogowych*. Wydawnictwa Naukowe PWN SA. Warszawa 2019.
- [2] Jasieński A. *Drogi z betonu cementowego – przykłady obecnych zastosowań na terenie Belgii*. Konferencja „Dni betonu” 2002.
- [3] Polecki A. *Konstrukcje nawierzchni dróg szybkiego ruchu – klasy A i S, na Dolnym Śląsku. Stan na koniec 2018 r.* „Przegląd Komunikacyjny” nr 11/2018. Wydawnictwo SliTK RP Warszawa 2018.
- [4] Polecki A. *Utrzymanie nawierzchni wykonanych z betonu cementowego – typowe uszkodzenia eksploatacyjne, przykłady technologii napraw*. „Drogownictwo” nr 2/2020. Wydawnictwo SliTK, Warszawa 2020.
- [5] Polecki A. *Utrzymanie nawierzchni wykonanych z betonu cementowego. Naprawa uszkodzenia po pożarze samochodu osobowego – autostrada A4*. „Drogownictwo” nr 4/2020. Wydawnictwo SliTK, Warszawa 2020.
- [6] Szydło A. *Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego*. Polski Cement Sp. z o.o. Kraków 2004.
- [7] GDDKiA Oddział we Wrocławiu. Podręczne archiwum autora.

Z serwisu GDDKiA

Otwarcie nowego węzła Niepołomice na A4 niedaleko Krakowa

Węzeł Niepołomice został ukończony, wszystkie odbiory wykonanych prac są pomyślne, nadzór budowlany wydał pozwolenie na użytkowanie. 22 czerwca 2020 r. pierwsi kierowcy mogą wjechać na autostradę A4 łącznicami węzła i zjechać nimi na drogę wojewódzką nr 964, zarówno od strony Krakowa jak i Tarnowa. Węzeł powstał dzięki dobrej współpracy z samorządami.

Zakres inwestycji obejmował budowę:

- węzła w ciągu autostrady A4 dla obsługi wszystkich relacji dla autostrady A4,
- zjazdów z jezdni autostrady A4 z równoległym pasem wyłączenia, wjazdów na jezdnie autostrady A4 z równoległym pasem włączania,
- jednopasowych łącznic jednokierunkowych dla wszystkich relacji,
- na drodze wojewódzkiej nr 964 budowę dwóch zespolonych rond jednopasowych.

Ponadto zostało przełożone koryto rzeki Podłęzanki. Uregulowano koryto potoku Zakrzowianka, by zabezpieczyć nasypy drogowe zjazdu z autostrady A4. Przebudowana została sieć uzbrojenia kolidującego z inwestycją: sieć wodociągowa, gazowa, teletechniczna, elektroenergetyczna niskiego i średniego napięcia, odwodnienia oraz wzmocnione zostało istniejące podłoże gruntowe. Powstała sieć oświetlenia węzła drogowego, drogi wojewódzkiej oraz autostrady. Powstały również ekrany akustyczne.

Węzeł Niepołomice umożliwi bezpośredni dojazd z autostrady nie tylko do miejscowości bezpośrednio przylegających do autostrady, ale także miejscowości bardziej odległych, które są dużymi skupiskami zabudowy i ludności. Bezpośrednio w rejonie węzła znajdują się atrakcyjne turystycznie miasta Wieliczka i Niepołomice, a dalej Gdów, Biskupice, Dobczyce oraz Klaj. W Wieliczce znajdują się zabytki „klasy 0” (kopalnia soli), w Niepołomicach jest Zamek Królewski, a nieopodal puszczę Niepołomicka.

W Niepołomicach zlokalizowano dużą strefę ekonomiczną, w której znalazło siedzibę wiele firm, producentów różnych branż, m.in. MAN, Coca Cola, Nidec Motors & Actuators, Woodward Governor, Royal Canin, Food Care, Meiller Kipper. Strefa ta ciągle się rozszerza. Wjazd na autostradę z nowego węzła usprawni dojazd do tej strefy ekonomicznej i da możliwość sprawniejszej obsługi generowanego przez nią ruchu. Codziennie do strefy dojeżdża 870 pojazdów ciężarowych i około 4300 samochodów osobowych. Przewiduje się, że Niepołomicka Strefa Inwestycyjna, która obecnie zajmuje ok. 500 ha gruntów i pracuje w niej ok. 4500 osób, powiększy się i docelowo pracować w niej będzie 8000 osób, co wygeneruje dużo większy ruch pojazdów.

Wykonanie węzła Niepołomice ograniczy ruch tranzytowy z węzła Targowisko drogą krajową nr 75 do strefy ekonomicznej przez Puszcę Niepołomicką (Obszar Natura 2000) i liczne miejscowości położone przy drodze wojewódzkiej nr 964.

W ostatnich latach dynamicznie rozwija się strefa ekonomiczna po wschodniej stronie Krakowa i drogi ekspresowej S7, na odcinku pomiędzy węzłami Kraków Bieżanów i Kraków Przewóz. Powiększa się ona w kierunku pobliskiej Niepołomickiej Strefy Ekonomicznej. W ten sposób powstaje coraz większy kompleks magazynowo-usługowy, dla którego dobre skomunikowanie z dogami szybkiego ruchu, czyli A4 i S7, jest bardzo ważne dla dalszego rozwoju.

Umowa na budowę węzła Niepołomice podpisana została 28 września 2018 r. z polsko-litewskim konsorcjum firm: Trakcja PRKil S.A. i AB Kauno tiltai.

Inwestycja realizowana była na podstawie trójstronnego porozumienia pomiędzy GDDKiA oraz samorządami: wojewódzkim i gminnym. Projekt drogowy został opracowany na zlecenie Burmistrza Miasta i Gminy Niepołomice. Inwestorem była GDDKiA. Koszt budowy wyniósł 48 mln zł, z czego 27,5 mln zł pochodziło z budżetu państwa, a 20,5 mln zł z budżetów samorządów.

21-06-2020