



Ocena wpływu podziemnej eksploatacji górniczej na nawierzchnię drogową na podstawie 13-letniego okresu obserwacji

Assessment of mining operation impact on flexible pavement on the basis of the 13-year long period of observations

Dr inż. Marcin Grygierek^{*)}

Treść: W procesie opisu zjawisk, w tym wpływu deformacji górniczych na nawierzchnię drogową, najcenniejsze dane stanowią długoterminowe obserwacje zjawiska uwzględniające wpływ różnych czynników w skali naturalnej. Szczególnym przykładem obserwacji zachowania się nawierzchni drogowych poddanych oddziaływaniu czynników atmosferycznych, jak i obciążeniu ruchem są tzw. Długoterminowe Odcinki Testowe (DOT), których niewątpliwą zaletą jest obserwowanie procesu degradacji nawierzchni w skali rzeczywistej. Wadą tego typu obserwacji jest długi czas prowadzenia obserwacji, który potrzebny jest aby sformułować wnioski opisujące związek przyczynowo-skutkowy pomiędzy czynnikami degradującymi a postępującym procesem zniszczenia nawierzchni. W związku z rozpoczętymi w 2005 roku obserwacjami odcinka drogi wojewódzkiej przebiegającej przez tereny górnicze oraz prowadzeniem, odcinek ten można zakwalifikować to tzw. Długoterminowego Odcinka Testowego na Terenie Górniczym (DOTnTG). Artykuł przedstawia doświadczenia z dotychczasowego okresu obserwacji, tj. 13 lat, w zakresie zmiany ugięć, rozwoju uszkodzeń, przyrostu głębokości koleiny.

Abstract: The most reliable data, acquired in the process of describing different phenomena including mining operation impact on flexible pavement, comprises the results of long-time observations of how pavements behave in physical conditions i.e. under the influence of weather conditions or traffic volume. Long-term pavement behaviour is a particular example of such observations because their undoubted asset is to observe the process of pavement deterioration in situ. A disadvantage of such observations is the fact that it takes a long time to carry them out. It is necessary to take time in order to formulate conclusions which describe causal relationship between the deterioration factors and the progressive process of pavement damage. That is why long-time observations of some parts of the roads in use are even more invaluable. In 2005 observations of the part of voivodeship road which runs through mining terrains began. This part of the road may be classified as Long-Term Pavement Performance in Mining Area. The paper presents past experience, obtained from the observations within a period of 13 years, in the field of deflection change, deterioration evolution and rut depth increase.

Słowa kluczowe:

uszkodzenia nawierzchni, drogi na terenie górniczym

Keywords:

deterioration of pavement, road in mining terrain

1. Wprowadzenie

Złożoność układu warstw nawierzchni drogowej ze względu na zróżnicowaną grubość i sztywność poszczególnych warstw nawierzchni, powoduje że modelowanie pracy nawierzchni w wyniku obciążeń od ruchu pojazdów i z uwzględnieniem wpływów środowiskowych, obarczone jest znacznym błędem. W celu doskonalenia opisu zjawisk występujących w konstrukcji nawierzchni w okresie jej użytkowania konieczne są badania laboratoryjne oraz terenowe (in situ). Tego typu badania, zwłaszcza terenowe, wykonywane w skali naturalnej umożliwiają obserwację zachowania się konstrukcji pod wpływem oddziaływania degradujących czynników, tj. obciążenia ruchem, zmian temperatur, oddziaływania wód opadowych. Szczególnie cenne są badania terenowe wykonywane w skali naturalnej. Okres badań musi uwzględniać czas użytkowania nawierzchni, tzn. krótkotrwałe badania nie zawsze w pełni mogą oddać zachowanie się nawierzchni w zakładanym okresie jej użytkowania – np. 20 lat. Stąd szczególną rolę odgrywają badania terenowe wykonywane w rzeczywistej skali i w stosunkowo długim okresie użytkowania takiej nawierzchni.

Bez wątpienia jeszcze większe znaczenie mają ww. badania realizowane na odcinkach dróg znajdujących się w obszarze specyficznych oddziaływań, do których zalicza się wpływy eksploatacji górniczej. Dane z obserwacji tego typu odcinka umożliwiają weryfikację i uszczegółowienie dotychczasowych poglądów, które służą do prognozowania oddziaływania planowanej eksploatacji górniczej na właściwości nawierzchni.

W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań wraz z ich analizą na podstawie danych z prowadzonych obserwacji w latach 2005 – 2013 na odcinku użytkowanej drogi przebiegającej przez tereny czynnej eksploatacji górniczej. Prezentowane wyniki stanowią kontynuację badań autora, zapoczątkowanych w roku 2005.

2. Problematyka badań terenowych nawierzchni drogowych

Metody badań nawierzchni w wielkiej skali mogą być realizowane za pomocą: torów badawczych, symulatorów ciężkich lub badań podczas użytkowania nawierzchni (ASSHO 1973, Bańkowski 2001, Bańkowski, Gajewski 2012, Kowalski 2007, Grygierek 2018, Grygierek, Kawalec 2018).

^{*)} Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, Gliwice

Każda z wymienionych metod badawczych posiada wady i zalety. W aspekcie kosztów przygotowania stanowiska, najtańszym rozwiązaniem są badania prowadzone przy normalnym użytkowaniu nawierzchni, niestety wadą tego sposobu badań jest konieczność prowadzenia obserwacji w długim okresie czasu – najlepiej bliskiemu zakładanemu okresowi jej użytkowania, tj. 20 - 30 lat. Przy czym jest to jednocześnie zaleta, ponieważ mamy możliwość prowadzenia obserwacji cyklicznych oddziaływań środowiskowych, których symulacja w innych warunkach (badań przyspieszonych) nie daje rzeczywistych efektów. Oczywiście w trakcie trwania obserwacji konieczne jest gromadzenie danych o stanie technicznym nawierzchni wyrażonym poszczególnymi jej parametrami (cechami nawierzchni). Tego typu badania były prowadzone w Polsce w ramach tzw. Długoterminowych Odcinków Testowych (DOT) (Janowski i in. 2011), których celem było zgromadzenie danych do opracowania metody pozwalającej na ustalenie pozostałej trwałości nawierzchni. Generalnie tego typu metody zmierzają do wykorzystywania/opracowania tzw. modeli degradacji opisujących zmianę wybranych cech nawierzchni (parametrów) w funkcji czasu i obciążenia ruchem. Szczególnym przypadkiem tego typu odcinka może być, fragment drogi miejskiej znajdujący się w zasięgu wpływów eksploatacji górniczej, na którym autor prowadzi obserwacje od roku 2005. Uwzględniając prowadzony zakres badań (ocena wizualna, pomiar ugięć, pomiar równości poprzecznej, pomiar deformacji pasa drogowego), odcinek ten można określić jako Długoterminowy Odcinek Testowy na Terenie Górniczym (DOTnTG). W artykule przedstawiono wybrane wyniki obserwacji i analiz DOTnTG, które jednocześnie stanowią kontynuację badań prezentowanych w pracach m.in. (Grygierek 2012, Grygierek, Kalisz 2018).

3. Charakterystyka obserwowanego odcinka drogi

3.1. Nawierzchnia drogowa

Obserwowany odcinek drogi charakteryzuje się przekrojem 2x2, przy czym przedmiotem analizy są tylko dwa pasy ruchu jezdni południowej. Nawierzchnia została przebudowana w roku 2002 i polegała na wykonaniu nowej nawierzchni na jezdni południowej, przy czym na odcinku od ok. km 188+900 do km 189+100 na części pasa wewnętrznego częściowo pozostawiono stare warstwy nawierzchni, co wiąże się z występowaniem tam styku technologicznego pomiędzy

„starą” i „nową” konstrukcji nawierzchni (rys. 2). Po roku 2002 wykonywano tylko naprawy cząstkowe, polegające na wymianie warstwy ścieralnej w obszarze spękań.

Nawierzchnia składa się z pakietu mineralno-asfaltowego o średniej grubości 20 cm, kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie o średniej grubości 27 cm, dolnych niezwiązanych warstw nawierzchni o średniej grubości 39 cm. Podłoże budują gliny. Powyższy układ górnych warstw nawierzchni wskazuje, że nawierzchnia powinna przenosić ruch KR4, tj. od 2,5 do 7,3 mln [oś 100kN/pas]. Z wstępnych analiz wynika, że nawierzchnia od roku 2002 przeniosła ruch co najmniej 5,8 mln [oś 100kN/pas].

3.2. Ogólna charakterystyka eksploatacji górniczej

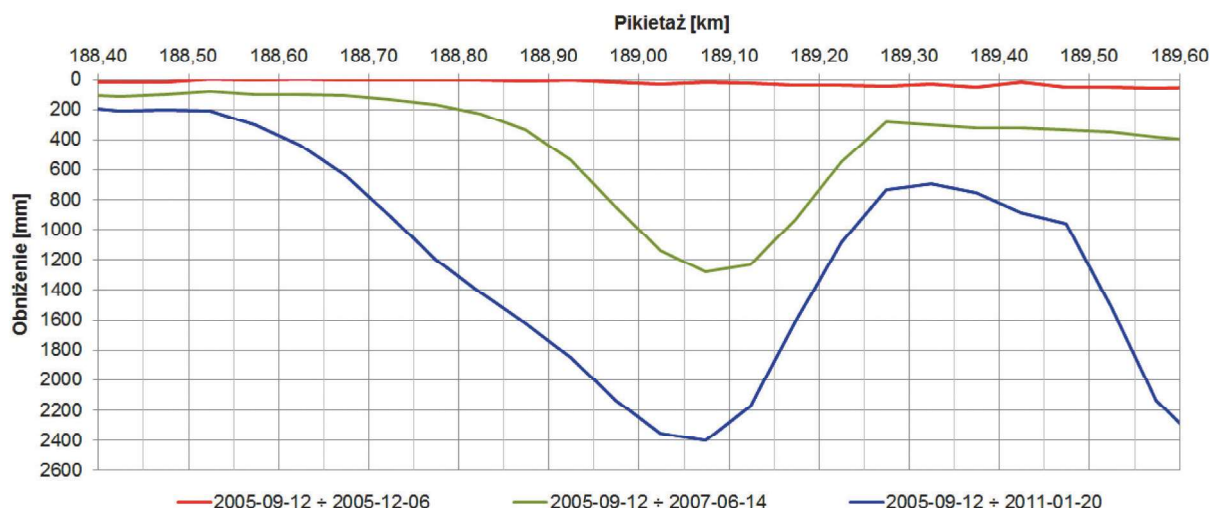
Analizowany pas drogowy od momentu zakończenia przebudowy w roku 2002, kilkakrotnie podlegał wpływom eksploatacji górniczej. Na odcinku tym ściany przebiegały w kierunku poprzecznym do osi drogi. Najintensywniejsze deformacje pasa drogowego występowały w latach 2002 – 2008. Maksymalne sumaryczne obniżenia w okresie 2005 – 2008 wyniosły niespełna 2,5 m (rys. 1), przy czym maksymalna głębokość niecki występuje ok. km 189+050. Lokalizacja ta odpowiada najniższemu miejscu na niwelecie. Należy zauważyć, że w obszarze najniższego punktu niwelety, w bezpośrednim sąsiedztwie drogi występuje zalewisko wodne.

Niewielkie wyniesienie niwelety drogi ponad poziom wody stanowi zagrożenie dla nośności podłoża nawierzchni, a nawet warstw konstrukcyjnych nawierzchni (Rokitowski, Grygierek 2016). Problem z poziomem wody pogłębiają nakładające się w tym rejonie maksymalne obniżenia podczas eksploatacji kolejnych ścian, nawet pomimo regulowania poziomu wody dzięki funkcjonującej tam przepompowni. Ekstremalnie poziome odkształcenia terenu podczas eksploatacji poszczególnych ścian osiągały wartość ok. 2 – 3,5 mm/m. Przywołana ogólna charakterystyka wpływów górniczych jest częściowo opisana m.in. w pracy (Grygierek 2012, Grygierek, Kalisz 2018) i będzie przedmiotem dalszych analiz.

4. Wybrane rezultaty badań. Analiza wyników

4.1. Ocena wizualna

Pierwsze uszkodzenia na nawierzchni były obserwowane w latach 2010 – 2012. W następnych latach, tj. po 2012 uszko-



Rys. 1. Pomierzone obniżenia w pasie drogowym w okresie wrzesień 2005 – styczeń 2011 (Grygierek 2012)

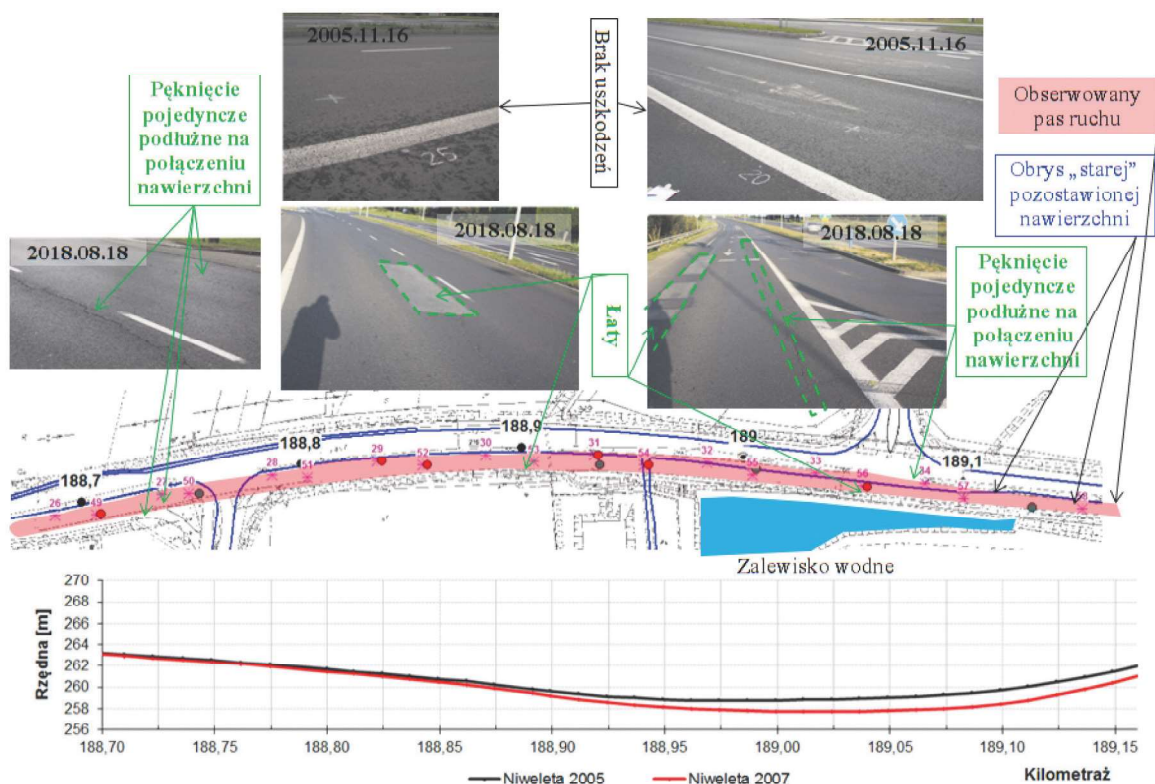
Fig. 1. Measurements of subsidence of right-of-way for the period of September 2005 - January 2011 (Grygierek 2012)

dzenia te ulegały intensywnemu rozwojowi. W latach 2010 – 2012 uszkodzenia były zlokalizowane głównie w obszarze najniższego punktu niwelety (ok. km 189+000 – 189+100) (rys. 3, rys. 4). Konsekwencją tych uszkodzeń były naprawy cząstkowe polegające na wykonaniu łat w warstwie ścieralnej (rys. 4). Warto zauważyć, że w tym okresie obserwowano również inicjację pęknięcia wzdłuż łącza technologicznego pomiędzy starą i nową nawierzchnią (przebudowa nawierzchni z roku 2002), co odpowiada odcinkowi od ok. km 188+950 do ok. km 189+100. Spękania te, ze względu na genezę, należy określić jako odbite, przy czym latach 2010 – 2012 w ocenie jakościowej charakteryzowały się małym stopniem szkodliwości.

Zdecydowanie większy zakres uszkodzeń obserwuje się w roku 2018 (rys. 5, rys. 6). Większość uszkodzeń na pasie zewnętrznym przyjmuje formę uszkodzeń o dużym stopniu szkodliwości, tj. uszkodzenia charakteryzują się znaczącym

rozwarciem, a w niektórych przypadkach wykruszeniami na krawędzi pęknięcia (Diagnostyka ... 2015). Występują również liczne łaty, które głównie występują w obszarze zalewiska przylegającego do pasa drogowego. Lokalnie występują również pęknięcia poprzeczne.

Porównując stan uszkodzeń pomiędzy zewnętrznym i wewnętrznym pasem ruchu, należy zauważyć, że w rejonie pogłębiającej się niecki obniżeniowej uszkodzenia - łaty i pęknięcia występują na obu pasach ruchu, przy czym pęknięcia przyjmują formę dużego stopnia szkodliwości. Poza obszarem niecki, tj. od km 188+600 do km 188+900, dominują uszkodzenia na pasie zewnętrznym o dużym stopniu szkodliwości i sporadycznie występujących łatach. Można zatem postawić wniosek, że większy rozwój uszkodzeń determinowany jest wpływem wód (zawilgocenia podłoża nawierzchni) oraz obciążeniem ruchu, który na pasie zewnętrznym jest nieco większy niż na pasie wewnętrznym.



Rys. 2. Charakterystyka wybranych elementów analizowanego pasa ruchu
Fig. 2. The characteristics of selected elements of the analyzed right of way



Rys. 3. Brak spękań na nawierzchni w czerwcu 2012 w km 188+800 (www.google.pl)

Fig. 3. The pavement without cracks – June 2012, km 188+800 (www.google.pl)



Rys. 4. Zainicjowane spękania oraz wykonane już naprawy w czerwcu 2012, w km 189+000 (www.google.pl)

Fig. 4. The pavement cracks and repairs of surface course - June 2012, km 189+000 (www.google.pl)



Rys. 5. Pojedyncze spękania podłużne o dużym stopniu szkodliwości - km 189+060, rok 2018

Fig. 5. Simple longitudinal cracks with high level of damage – km 189+060, 2018



Rys. 6. Pojedyncze spękania podłużne o dużym stopniu szkodliwości w km 189+000

Fig. 6. Simple longitudinal cracks with high level of damage – km 189+000

4.2. Pomiar ugięć nawierzchni

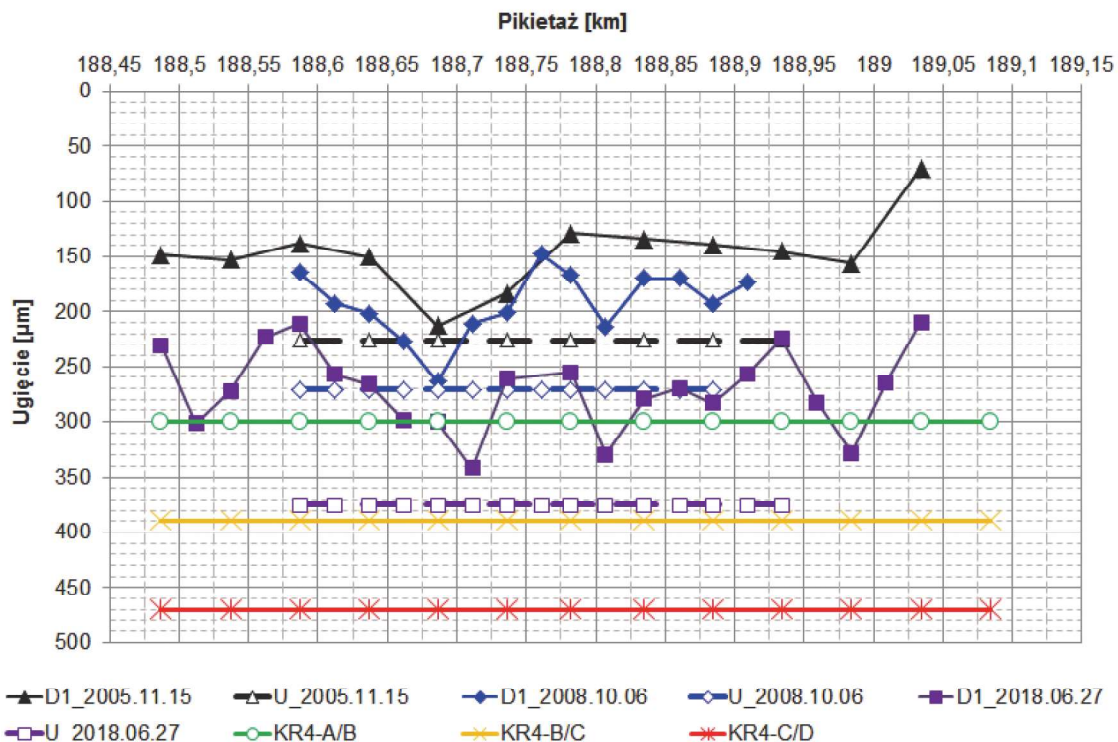
Ugięcia nawierzchni zostały pomierzone ugięciomierzem dynamicznym FWD. Pomiar wykonano w prawym śladzie koła na obu pasach ruchu. Na rys. 7 i rys. 8 przedstawiono standaryzowane wartości ugięć do siły testowej 50 kN oraz temperatury warstw asfaltowych +20 °C (D1). Dodatkowo, dla każdej serii pomiarowej obliczono wskaźniki ugięć (U) dla odcinka od km 188+575 do km 189+925 (na odcinku tym, w każdej serii pomiarowej był wykonywany pomiar ugięć). Wskaźnik ugięć obliczono zgodnie z metodyką określoną w wytycznych (*Diagnostyka ... 2015*), tj. zwiększając średnią wartość ugięć o odchylenie standardowe. Na rysunkach 7 i 8 zaznaczono również progowe wartości dla klas nośności nawierzchni, tj. klasy od A do D, gdzie klasa A oznacza stan nawierzchni nowej, a klasa D, stan wymagający pilnej interwencji. Powyższa klasyfikacja służy do określenia pozostałej trwałości nawierzchni.

Analiza pomierzonych ugięć wskazuje na oczekiwany wzrost ich wartości pomiędzy rokiem 2005 a kolejnymi latami. Na tym etapie analizy wyników, uwagę zwraca fakt, że nawierzchnia pomimo obciążenia ruchem KR4 i dodatkowego obciążenia górnymi deformacjami podłoża, po 13 latach spełnia jeszcze wymagania dla klasy nośności C (zewnątrzny pas ruchu – rys. 8) oraz klasy nośności B (wewnętrzny pas ruchu – rys. 7). Warto zauważyć, że nawierzchnia nie posiada

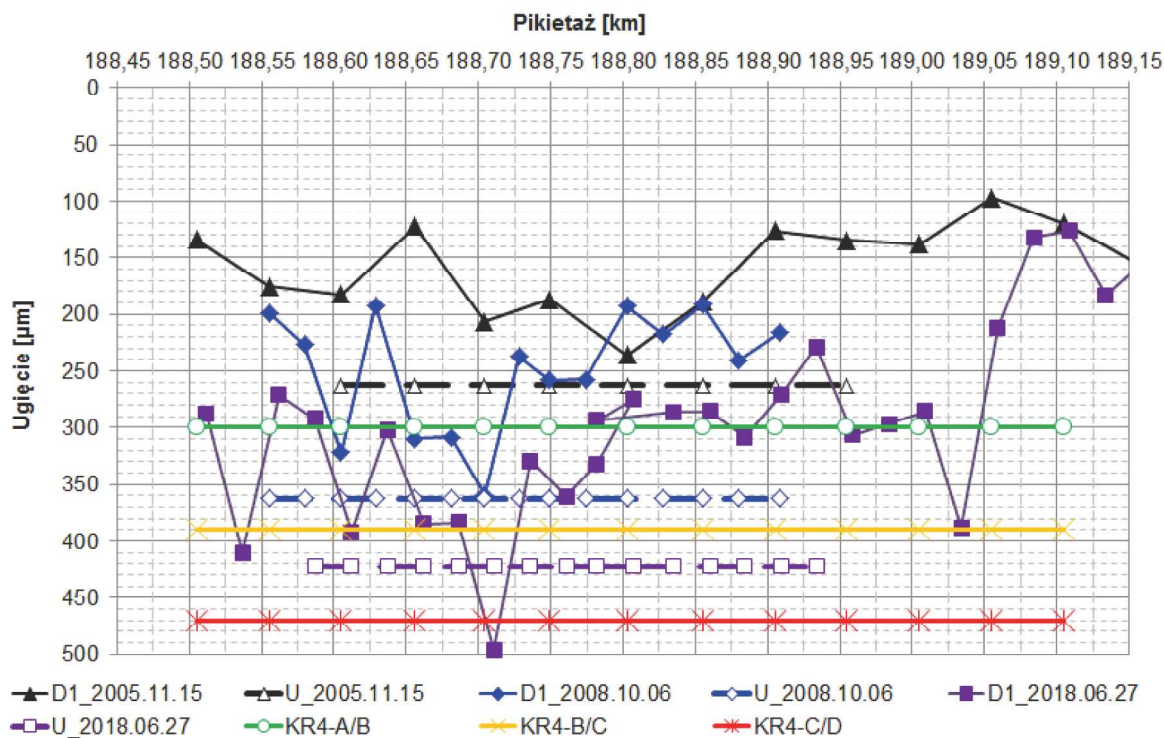
żadnych wzmocnień geosyntetycznych, które uodporniałyby ją na wpływy eksploatacji górniczej. Niższa klasa nośności zewnętrznego pasa ruchu względem wewnętrznego pasa ruchu dobrze koresponduje z wynikami oceny wizualnej, która wskazuje na większy zakres uszkodzeń na zewnętrznym pasie ruchu.

4.3. Głębokość koleiny

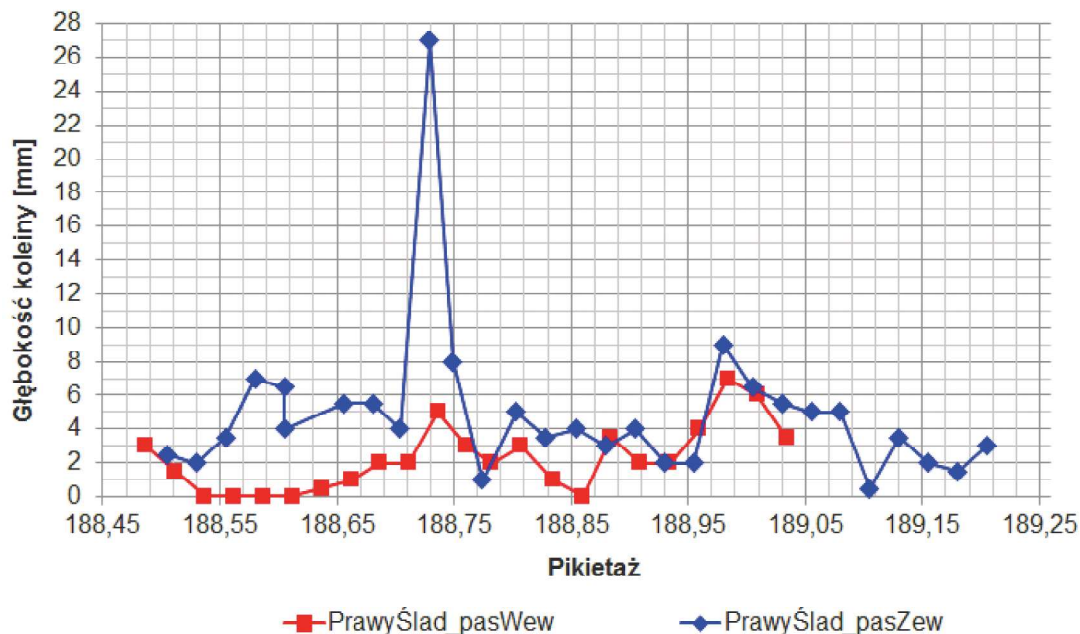
Głębokość kolein mierzono metodą klina i łąty. Prezentowane na rys. 9 wyniki przedstawiają głębokość koleiny pomierzoną w prawym śladzie koła na obu pasach ruchu. Warto zauważyć, iż zgodnie z definicją kryterium deformacji trwałych podłoża, nawierzchnia osiąga stan graniczny przy głębokości koleiny 12,5 mm, a na analizowanym odcinku tylko koleina w km 188+730 przekroczyła wartość graniczną. Wyniki z pozostałych punktów pomiarowych nie przekraczają 8 mm. Można zatem wnioskować, że nawierzchnia nie osiągnęła jeszcze stanu granicznego w zakresie deformacji strukturalnych, tj. głębokości koleiny, co więcej, tę cechę nawierzchni należy ocenić na zadawalającym poziomie (*Diagnostyka ... 2015*). Wnioski z pomiarów metodą klina i łąty, potwierdza ocena wizualna odcinka, z której wynika, że obserwuje się głównie koleiny strukturalne, a koleina lepkoplastyczna występuje tylko w obszarze skrzyżowania w km 188+750.



Rys. 7. Obliczone wskaźniki ugięć – wewnętrzny pas ruchu
 Fig. 7. Calculated deflection index of pavement – internal lane



Rys. 8. Obliczone wskaźniki ugięć – zewnętrzny pas ruchu
 Fig. 8. Calculated deflection index of pavement – outside lane



Rys. 9. Pomierzone głębokości kolein na pasie zewnętrznym i wewnętrznym – prawy ślad koła
 Fig. 9. Measured rut of pavement – outside and internal lane right wheel track

5. Dyskusja i podsumowanie

Prowadzone obserwacje na użytkowanej drodze stanowią bardzo cenne źródło danych opisujących zachowanie się nawierzchni w naturalnych warunkach obciążenia ruchem, wpływów środowiskowych, a przede wszystkim wpływów eksploatacji górniczej. Rodzaj wykonywanych badań pozwala na zakwalifikowanie analizowanego odcinka drogi do tzw. Długoterminowego Odcinka Testowego na Terenach Górniczych (DOTnTG). Dotychczasowy okres obserwacji – 13 lat, pozwoli na sformułowanie istotnych wniosków, aczkolwiek dotychczasowy zakres wykonanych analiz pozwala na przedstawienie ogólnych wniosków. Ich uszczegółowienie wymaga dalszej analizy zgromadzonych danych.

Obserwacjom poddana była nawierzchnia o średnich grubościach warstw odpowiadających konstrukcji KR4. Należy podkreślić, że nawierzchnia nie posiada zabezpieczeń geosyntetycznych przed wypływami eksploatacji górniczej.

Inicjacja i rozwój tych uszkodzeń był obserwowany po upływie ok. 7 lat od oddania nawierzchni do użytkowania po przebudowie. W okresie tym (lata 2005 – 2012) w pasie drogowym powstała niecka o głębokości ok. 2,40 m (eksploatacja 2 ścian). Uszkodzenia w pierwszej kolejności ujawniły się w obszarze stosunkowo wysokiego poziomu wód (ok. < 1 m od powierzchni nawierzchni), w sąsiedztwie zalewiska przylegającego do pasa drogowego oraz w obszarze styku technologicznego pomiędzy starą a nową konstrukcją nawierzchni.

W latach 2012 – 2018 nastąpił znaczący przyrost uszkodzeń, które koncentrują się w obszarze najniższego punktu niwelety i bezpośredniego sąsiedztwa zalewiska wodnego. Przy czym uszkodzenia o dużym stopniu szkodliwości w tym obszarze, występują na obu pasach ruchu. Spękaniami o dużym stopniu szkodliwości towarzyszy stosunkowo duża koleina.

W obszarze poza najniższym punktem niwelety występują uszkodzenia zlokalizowane głównie na zewnętrznym pasie ruchu.

Na podstawie pomierzonych ugięć, można stwierdzić, że nawierzchnia po 13 latach użytkowania i wpływów eksploatacji górniczej spełnia jeszcze wymagania dla klasy nośności C (zewnętrzny pas ruchu) oraz klasy nośności B (wewnętrzny

pas ruchu), gdzie klasa C oznacza zaplanowania w niedalekiej perspektywie naprawy (wzmocnienia) nawierzchni, a klasa B wskazuje na zaplanowane tego typu prac w dłuższym okresie czasu. Oczywiście fakt występowania spękań na nawierzchni jednoznacznie wskazuje na konieczność natychmiastowego uszczelnienia tych spękań lub po prostu co najmniej wymiany warstwy ścieralnej.

6. Wnioski i zalecenia

Na podstawie prowadzonych obserwacji można stwierdzić, że odcinkiem nawierzchni najbardziej wrażliwym na inicjację i rozwój uszkodzeń był:

- obszar podwyższonego poziomu wód gruntowych, determinowany zalewiskiem wodnym sąsiadującym z pasem drogowym,
- strefa styku pomiędzy starą i nową konstrukcją. Miejsca takie są również sporym wyzwaniem inżynierskim na drogach poza terenami górniczymi. Tego typu styków należy unikać w obszarze śladu kół i konieczne jest bezwzględne wykonywanie „schoďkowań” na połączeniu obu nawierzchni.

Obserwując różnice w rozwoju uszkodzeń pomiędzy zewnętrznym i wewnętrznym pasem ruchu determinowanym ruchem pojazdów ciężkich (większy udział w ruchu pojazdów ciężkich na pasie zewnętrznym) wskazuje na zasadność stabilizacji sztywności podłoża i warstw konstrukcyjnych nawierzchni w okresie ujawniania się deformacji rozluźniających lub/i w okresie podwyższonego poziomu wód gruntowych. W tym celu konieczne jest stosowanie elementów profilaktyki budowlanej w postaci wkładek geosyntetycznych, które sytuując w obszarze warstw konstrukcyjnych nawierzchni, powinny charakteryzować się małą odkształcalnością już w początkowym zakresie odkształceń. Zalecane jest stosowanie georusztów o sztywnych monolitycznych węzłach.

Konieczne jest również zwrócenie uwagi na sprawność systemów odwodnienia drogi, w celu niedopuszczania do

zbyt wysokiego poziomu wód gruntowych, które mogą spowodować obniżenie sztywności (nośności) podłoża, a przez to wzrost odkształceń pakietu mineralno-asfaltowego i inicjację spękań.

Przedstawiony zakres analiz i wniosków jest wstępnym i będzie uszczegóławiany w dalszych pracach.

Literatura

- AASHO Interim Guides for Design of Pavement Structures. 1973.
- BAŃKOWSKI W. 2001 - Metody badań nawierzchni drogowych w wielkiej skali. „Drogownictwo” nr 7, s.213-216.
- BAŃKOWSKI W., GAJEWSKI M. 2012 - Accelerated loading tests in the full scale on innovative pavement structures. Roads and Bridges - Drogi i Mosty, [S.I.], v. 11, n. 2, p. 89-121.
- Diagnostyka** Stanu Nawierzchni i jej elementów. Wytyczne stosowania. (DSN – 2015). Załącznik do Zarządzenia nr 34 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 30.04.2015. GDDKiA, Warszawa, marzec 2015.
- GRYGIEREK M. 2012 - Wpływ odkształceń ściskających na sztywność warstw kruszywowych rozluźnionych wcześniejszą eksploatacją górniczą. „Przeгляд Górnicy” nr 8, s.112-118.
- GRYGIEREK M. 2018 - Wpływ stabilizacji kruszywa podbudowy trójosiowym georusztem na nawierzchnię drogową w początkowym okresie jej użytkowania. Publikacja przyjęta do druku w Acta Scientiarum Polonorum Architectura.
- GRYGIEREK M., KALISZ P. 2018 - Influence of mining operations on road pavement and sewer system – selected case studies. Journal of mining Sustainable, vol. 17 iss.2, p. 56-67.
- GRYGIEREK M., KAWALEC J. 2018 - Selected laboratory and field research on geogrid impact on stabilization of Unbound aggregate layer. Proceedings of the 11th International Conference on Geosynthetics. Seul 16-21 september 2018, s.1-8.
- JANOWSKI A., SZPINEK A., BRZEZIŃSKI D. 2011 - Wykonanie XVII serii badań na Długoterminowych Odcinkach Testowych (DOT) wraz z wykonaniem pomiarów ugięć dynamicznych przy użyciu aparatu FWD na DOT. Drokonsult, Warszawa, kwiecień 2011. Dostęp z dnia 2018.10.01: https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/p/prace-naukowo-badawcze-zrealizow_3435/documents/opracowanie_metody-ki_sieciowej_oceny_nosnosci_nawierzchni.pdf
- KOWALSKI K. 2007 - Porównanie drogowych torów badawczych do przyśpieszonej oceny nawierzchni. Roads and Bridges - Drogi i Mosty, [S.I.], v. 6, n. 2, p. 17-30.
- ROKITOWSKI P., GRYGIEREK M. 2016 - Influence of high water contents on pavement Layers stiffness caused by flooding. Transactions of the VSB - Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series, Volume 16, No. 1, p.1-10.

Artykuł wpłynął do redakcji – październik 2018
Artykuł akceptowano do druku 17.01.2019