

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2016), 25 (3), 301–310
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2016), 25 (3)
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2016), 25 (3), 301–310
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2016), 25 (3)
http://iks_pn.sggw.pl

Michał KLUKOWSKI^{1,2}, Adrian NITKOWSKI²

¹Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski
Faculty of Geology, University of Warsaw

²Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Oddział w Olsztynie
General Directorate for National Roads and Motorways, Olsztyn Provincial Branch

Zastosowanie metody georadarowej w diagnostyce osiadań nawierzchni drogowych na przykładzie prawobrzeżnego dojazdu do mostu na Wiśle w Kwidzynie

Use of ground-penetrating radar for diagnostics of pavement settlements: a case study from right-bank driveway to bridge over the Vistula river at Kwidzyn

Słowa kluczowe: metoda georadarowa, osiadania nawierzchni, nieniszcząca diagnostyka nawierzchni

Key words: Ground Penetrating Radar, pavement settlements, NDT pavement evaluation

Wprowadzenie

W ciągu ostatniego dwudziestolecia metoda georadarowa stała się jednym z podstawowych narzędzi nieniszczącej (NDT – non-destructive testing) diagnostyki nawierzchni drogowych (Smith i Scullion, 1993; Saarenketo i Scullion, 2000; Plati i Loizos, 2013). Poza nieniszczącym i quasi-ciągłym pomiarem grubości poszczególnych warstw konstrukcyjnych (Evans i inni, 2006; Liu i Sato, 2014) rozpoznaniem spękań na-

wierzchni (Uddin, 2014) oraz zawartością wolnych przestrzeni w mieszankach mineralno-asfaltowych (Plati i Loizos, 2013) metoda georadarowa umożliwia rozpoznanie głębokich, geologicznych przyczyn obserwowanych na powierzchni deformacji (Pavlic i Praznik, 2011; Słowik, 2013, Kowalczyk i inni, 2014). W krajowych warunkach metoda ta jest szeroko stosowana w trakcie i po zakończeniu robót związanych z rozbudową sieci dróg krajowych, ekspresowych i autostrad, pozwalając na szybkie i efektywne rozpoznanie odcinków poddanych deformacjom lub o anomalnych grubościach nawierzchni.

Niniejsza praca prezentuje wyniki badań georadarowych przeprowadzonych na objętej deformacjami (osiadaniami)

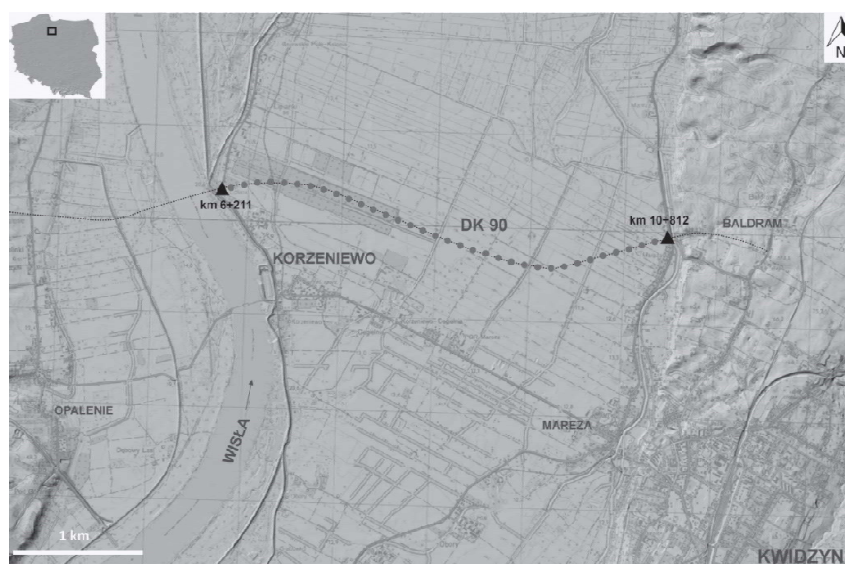
nawierzchni prawobrzeżnego dojazdu do mostu na Wiśle w Kwidzynie. Celem przeprowadzonych prac było określenie wpływu obserwowanych na powierzchni deformacji na konstrukcyjne nawierzchni i nasypu drogowego, opis rozpoznanych deformacji oraz odtworzenie przebiegu i wskazanie prawdopodobnych przyczyn rozpoznanych uszkodzeń. Uzyskane w ten sposób dane wskazywać miały odcinki podlegające dalszej kontroli (np. wierceniom i badaniom nośności).

Lokalizacja i budowa geologiczna obszaru badań

Objęty pomiarami odcinek drogi krajowej DK 90 (od km 6+211 do 10+817, rys. 1) przebiega po obszarze tarasów erozyjno-akumulacyjnych Wisły, które w wyniku intensywnych procesów erozji bocznej zredukowane zostały do tarasu

zalewowego i niskiego tarasu nadzalewowego. Największe deformacje nawierzchni drogi występują na odcinku przebiegającym na obszarze tarasu zalewowego.

Podłoże drogi na jej objętym badaniami odcinku stanowią utwory holocenijskie wykształcone jako ropy i mułki facji powodziowej oraz piaski i żwiry mielizn, koryt rzecznych i tarasów zalewowych. Licznie występują również utwory organiczne w postaci namulów torfiastych, namulów piaszczystych i torfów (Ciesielski i inni, 2010). Wielometrowa seria osadów holocenijskich zalega na plejstoceńskich ilach zastoiskowych, glinach zwałowych i wodnolodowcowych utworach klastycznych (Ciesielski i inni, 2010). Podłoże gruntowe budowane w znacznej części przez grunty ścisłe zostało na analizowanym odcinku wzmocnione przy zastosowaniu wymiany dynamicznej (DR) oraz mikrowybuchów.



RYSUNEK 1. Lokalizacja obszaru badań (Geoportal, 2016)
 FIGURE 1. Location of study area (Geoportal, 2016)

Konstrukcja nawierzchni i nasypu drogowego

Na objętym deformacjami odcinku drogi krajowej DK 90 konstrukcja nawierzchni obejmuje pakiet warstw bitumicznych (warstwy ścieralną i wiążącą oraz podbudowę z betonu asfaltowego BA) oraz podbudowę z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie (KŁSM). Projektowane grubości wymienionych warstw pakietu bitumicznego wynoszą odpowiednio 4, 8 i 15 cm, zaś podbudowy z KŁSM – 20 cm. Na całym omawianym odcinku konstrukcja nawierzchni biegnie po niskim (<2 m) nasypie drogowym wykonanym z gruntów niespoistych. Objęty pomiarami odcinek drogi ma jedną jezdnię z dwoma pasami ruchu.

Metodyka badań georadarowych (GPR)

Idea pomiaru georadarowego (GPR) wykorzystuje zjawisko odbicia fali elektromagnetycznej od granic rozdzielających partie ośrodka o różnych właściwościach fizycznych, tj. stałej dielektrycznej oraz oporności elektrycznej (Karczewski, 2007). Wykorzystane w badaniu fale elektromagnetyczne o określonej częstotliwości są emitowane w głąb badanego ośrodka za pomocą anten nadawczych. Czasy emisji wzbudzonych i odbitych od granic fal elektromagnetycznych są rejestrowane przez antenę odbiorczą i zapisywane przy użyciu odpowiednio skonfigurowanego systemu rejestracji (Karczewski, 2007).

Badania GPR wykonano przy użyciu jednostki centralnej GSSI SIR-

20 oraz anten GSSI o częstotliwości 2 GHz (typu air-coupled) i GEOSCANNERS o częstotliwości 200 MHz (typu ground-coupled). Wykorzystana aparatura pracowała w środowisku programu RADAN SIR-20, umożliwiającym zastosowanie techniki impulsu wzorcowego. Technika ta pozwala na empiryczne wyznaczenie wartości stałej dielektrycznej (ϵ) badanego ośrodka. Przy użyciu anteny o częstotliwości 2 GHz wykonano w osiach pasów ruchu po jednym profilu pomiarowym obejmującym pełną grubość konstrukcji nawierzchni (okno czasowe 18 ns). Pomiar konstrukcji nawierzchni objęty został cały biegnący po tarasie zalewowym odcinek prawobrzeżnego dojazdu do mostu, tj. od km 6+211 do 10+817. Przy użyciu anteny o częstotliwości 200 MHz wykonano na odcinkach objętych aktywnymi osiadaniami dwa profile pomiarowe (w osiach pasów ruchu) obejmujące konstrukcję nawierzchni, nasyp oraz podłoże gruntowe (okno czasowe 70 ns). Przedstawione dla wykonanych anteną 200 MHz głębokości wyznaczono przy założonej stałej dielektrycznej $\epsilon = 7$. Z uwagi na brak znaczących deniwelacji terenu badań dla wykonanych profili pomiarowych nie zastosowano poprawek topograficznych.

Zebrane profile pomiarowe zostały przetworzone, a następnie poddane interpretacji w programie ROAD DOCTOR. W wypadku profili wykonanych przy użyciu anteny 2 GHz wspomniany program posłużył również do wyznaczenia grubości poszczególnych warstw konstrukcyjnych nawierzchni. Grubości wyznaczono na podstawie obliczonych empirycznie stałych dielektrycznych ośrodka oraz zarejestrowanych czasów powrotu fali pomiarowej. Tak uzyskane

wartości zostały zestawione z grubościami warstw konstrukcyjnych nawierzchni uzyskanych poprzez wiercenie kontrolne. Różnica między rzeczywistą (uzyskaną z odwiertu) a pomierzoną geofizycznie dla tego samego kilometra drogi grubością pakietu warstw bitumicznych wyniosła 2 mm (27,2 cm wobec 27,0 mm dla pomiaru GPR).

Wyniki

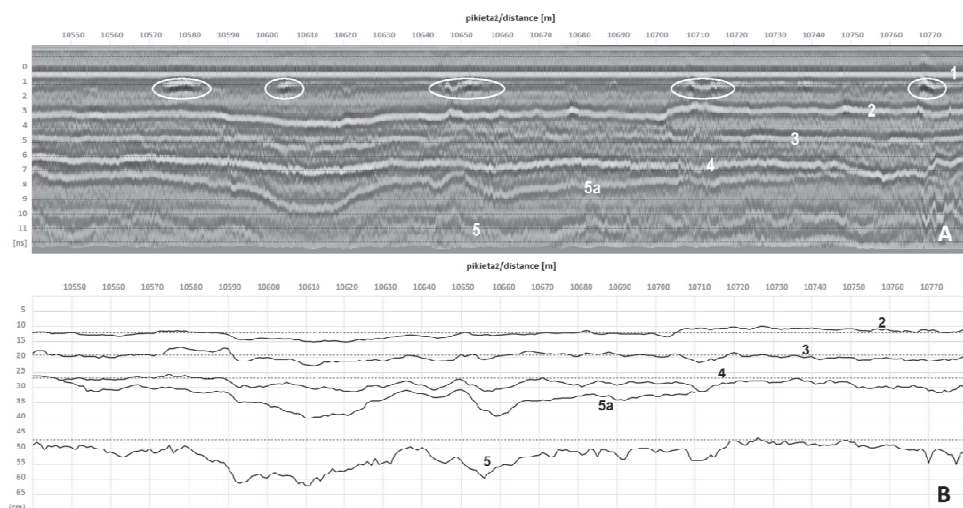
Na podstawie przeprowadzonych badań geofizycznych (GPR) rozpoznano przebieg i grubości wszystkich warstw konstrukcyjnych nawierzchni od km 6+211 do 10+817 oraz stan połączeń międzywarstwowych pakietu warstw bitumicznych. Dodatkowo na odcinkach objętych aktywnymi osiadaniem nawierzchni wyznaczono geometrię spągu nasypu drogowego i zróżnicowanie w obrębie gruntów rodzimych.

Przeprowadzone badania GPR wykazały, że pod obserwowanymi osiadaniami nawierzchni (odcinki objęte powierzchniowymi deformacjami stanowią 8% ujętego badaniami kilometraża drogi) grubość pakietu warstw bitumicznych i podbudowy z KŁSM ulega podwyższeniu w stosunku do wartości projektowanych (rys. 2), przy czym odcinki o podwyższonych grubościach nawierzchni występują również pod niezdeformowanymi odcinkami drogi (obejmując łącznie 51% długości badanej drogi). Na uzyskanych echogramach odcinki o anomalnych grubościach konstrukcji zaznaczają się jako siodłowe (synklinalne) formy, w obrębie których poszczególne warstwy ulegają współkształtnemu ugięciu, zaś ich grubości

stopniowo wzrastają, osiągając maksimum w osiach siodeł. Synklinalne ugięcia rozciągają się na odcinkach od kilkudziesięciu do kilkuset metrów, przy czym formy o najmniejszej rozległości notują względnie najmniejszy wzrost grubości warstw i/lub deformacje w ich obrębie ograniczają się do najniższych warstw konstrukcji. Maksymalny wzrost grubości odnotowano dla liczącego 170 m siodła zlokalizowanego od km 10+540 do 10+720. Na odcinku tym pakiet warstw konstrukcyjnych osiąga maksymalnie 62 cm wobec projektowanych 47 cm (rys. 2).

Niezależnie od skali siodłowego ugięcia, mierzony odchyleniem od wartości projektowanych wzrost grubości warstw maleje w każdej kolejnej, wyżej położonej warstwie konstrukcji (rys. 2, 3A). Największy wzrost grubości notuje warstwa podbudowy z KŁSM (do 46% względem projektowanej wartości, osiągając maksymalnie 32,3 cm), dalej warstwa podbudowy z betonu asfaltowego (do 26% względem projektowanej wartości, maksymalnie 19 cm) oraz pakiet warstw wiążącej i ścieralnej (do 16% projektowanej wartości, maksymalnie 14 cm). Dla 80% zaobserwowanych odcinków osiadań deformacje nawierzchni nie obejmują pakietu warstw wiążącej i ścieralnej. Jedynie w obrębie największych niecek osiadań obserwuje się współkształtne ugięcia dwóch najwyższych warstw konstrukcyjnych.

Na odcinkach nawierzchni ze stwierdzonymi największymi osiadaniami w obrębie podbudowy z KŁSM obserwuje się na echogramach dodatkową granicę (rys. 2, 3A), której obecność wyznacza zasięg prawdopodobnej dodatkowej warstwy podbudowy z KŁSM (na



OBLAŚNIENIA / Legend

- | | | | |
|--|--|---|---|
| 1. Nawierzchnia drogi
<i>Top of pavement</i> | 2. Spąg warstwy wiążącej
<i>Bottom of binder course</i> | 3. Spąg górnej warstwy podbudowy z BA
<i>Bottom of the upper AC base course</i> | 4. Spąg dolnej warstwy podbudowy z BA
<i>Bottom of the lower AC base course</i> |
| 5. Spąg podbudowy z KŁSM
<i>Bottom of subbase course</i> | 5a. Spąg dodatkowej warstwy podbudowy z KŁSM
<i>Bottom of an additional subbase course</i> | ○ Brak szczepności międzywarstwowej
<i>Bonding failures</i> | |
| — Grubość pomierzona
<i>Measured thickness</i> | | - - - Grubość projektowa
<i>Designed thickness</i> | |

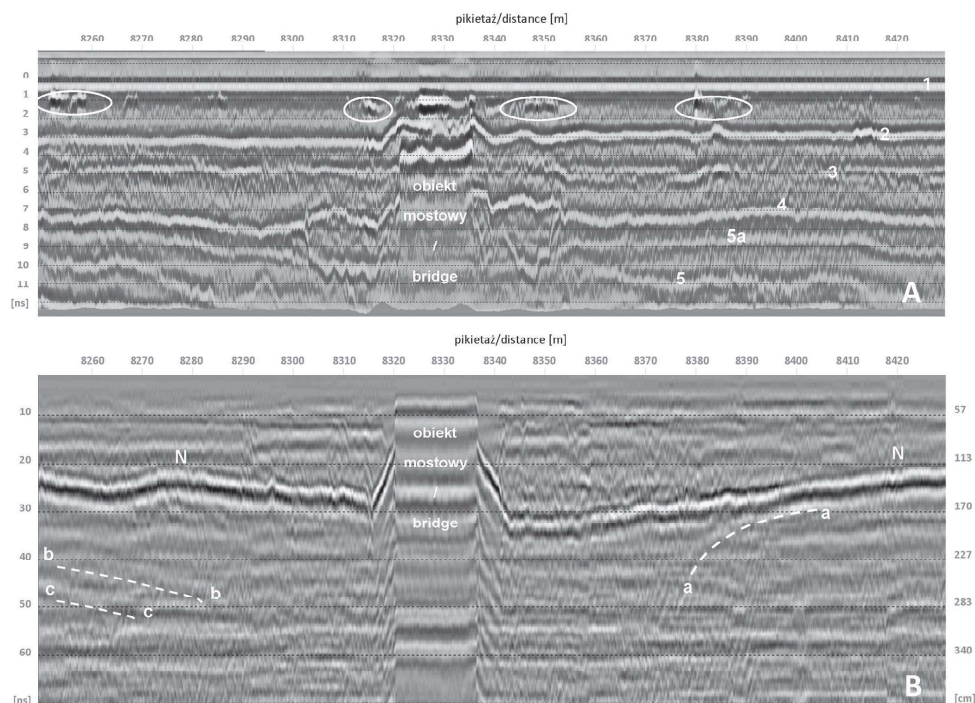
RYSUNEK 2. Przetworzony i skalibrowany echogram dotkniętego deformacjami odcinka drogi krajowej DK 90 (od km 10+540 do km 10+780), antena 2GHz, okno czasowe 15 ns (A). Wyznaczone na podstawie powyższego echogramu grubości warstw konstrukcyjnych (B)
 FIGURE 2. Processed and calibrated echogram of deformed segment of the DK 90 (km 10+540 to km 10+780), antenna 2 GHz, time range 15 ns (A). Calculated from mentioned above echogram pavement thicknesses (B)

co wskazuje zbliżona wartość stałych dielektrycznych wyliczona dla materiału KŁSM na nieobjętych deformacjami odcinkach i w obrębie dodatkowej warstwy).

Obecność tej warstwy wskazuje na znaczne tempo osiadań przebiegających na etapie układania podbudowy z KŁSM. Przebieg granicy pomiędzy warstwami wiążącą a ścieralną jest lokalnie podkreślany przez odcinki dotknięte prawdopodobnym brakiem szczepności międzywarstwowej (rys. 2A, 3A). Odcinki te szczególnie licznie występują ponad obszarami objętymi deformacja-

mi co najmniej dolnych warstw konstrukcji. Związek ten sugeruje, że utrata szczepności jest związana rozciąganiem konstrukcji nawierzchni warunkowanym jej deformacjami.

Pod objętymi aktywnymi osiadaniem nawierzchni odcinkami przy użyciu anteny typu ground-coupled zobrazowano współkształtne do notowanych przez konstrukcję nawierzchni deformacje spągu nasypu drogowego (rys. 3A-B). Pokrywające się z odcinkami deformacji konstrukcji ugięcia spągu nasypu sięgają głębokości 0,6 m, wskazując tym samym na przybliżoną, maksymalną war-



OBJAŚNIENIA Legend

- | | | | |
|---|---|--|--|
| 1 Nawierzchnia drogi
<i>Top of pavement</i> | 2 Spąg warstwy wiążącej
<i>Bottom of binder course</i> | 3 Spąg górnej warstwy podbudowy z BA
<i>Bottom of the upper AC base course</i> | 4 Spąg dolnej warstwy podbudowy z BA
<i>Bottom of the lower AC base course</i> |
| 5 Spąg podbudowy z KŁSM
<i>Bottom of subbase course</i> | 5a Spąg dodatkowej warstwy podbudowy z KŁSM
<i>Bottom of an additional subbase course</i> | N Spąg nasypu
<i>Bottom of embankment</i> | |
- Brak szczepności międzywarstwowej
Bonding failures
- a - - - a Granice w obrębie gruntu rodzimego
Subsoil boundaries

RYSUNEK 3. Przetworzony i skalibrowany echogram dotkniętego deformacjami odcinka drogi krajowej DK 90 (od km 8+250 do km 8+430), antena 2 GHz, okno czasowe 15 ns (A). Przetworzony echogram objętego osiadaniem odcinka drogi DK 90 (od km 8+250 do km 8+430), antena 200 MHz, okno czasowe 70 ns (B)

FIGURE 3. Processed and calibrated echogram of deformed segment of the DK 90 (km 8+250 to km 8+430), antenna 2 GHz, time range 15 ns (A). Processed echogram of deformed segment of the DK 90 (km 8+250 to km 8+430), antenna 200 MHz, time range 70 ns (B)

tość całkowitego osiadania konstrukcji i nasypu.

W obrębie gruntów rodzimych podścielających opisane powyżej odcinki drogi rozpoznano szereg granic (a-a, b-b i c-c, rys. 3B), których przebieg pokrywa się z obszarami obserwowanych osiadań nasypu i konstrukcji nawierzchni. Grani-

ce te konturują rynnowate, przyległe do obiektów mostowych (aktywne deformacje obejmują odcinki przyległe do tychże obiektów) partie gruntów rodzimych. Forma, przebieg i związek powyższych granic z obszarami aktywnych deformacji nawierzchni sugeruje, że wyznaczają one przebieg kopalnych, wypełnianych

przez ściśliwe grunty odcinków dawnego systemu rzeczno. Aktywne koryta tego systemu są natomiast obejmowane obiektami mostowymi.

Podsumowanie i dyskusja

Obserwowane na powierzchni osiadania zaznaczają się również w postaci anomalnych grubości warstw konstrukcyjnych nawierzchni i nasypu, które w kontekście budowy geologicznej tarasu zalewowego rozpatrywane mogą być jako rezultat konsolidacji i/lub późniejszego pełzania gruntów ściśliwych (namulów i torfów). Obserwowane na echogramach współkształtne ugięcia warstw konstrukcyjnych nawierzchni i spągu nasypu wyznaczałyby w przyjętym ujęciu obszary występowania gruntów nienośnych (lub obszary o różnym stopniu wzmocnienia podłoża gruntowego). Potwierdzeniem powyższej tezy jest zdaniem autorów obecność granic, które pod odcinkami objętymi deformacjami zaznaczają się w obrębie gruntów rodzimych. Przebieg i lokalizacja tychże granic (bliskość ujętych obiektami mostowymi cieków wodnych) wyznaczać może zasięg kopalnych, wypełnianych osadami organicznymi fragmentów form rzecznych.

Wywołane zachodzącą konsolidacją i/lub pełzaniem osiadanie nasypu i nawierzchni przełożyło się w warunkach budowy na obniżenie rzeczywistego poziomu projektowanych warstw konstrukcyjnych względem ich niwelety. Rozpoznane na poszczególnych etapach prac budowlanych odchylenia od wartości projektowanych były na bieżąco uzupełniane dodatkowymi warstwami lub

niwelowane, zwiększeniem grubości kolejnych warstw konstrukcyjnych. Obserwowany w profilu nawierzchni systematyczny spadek względnego zwiększenia grubości warstw (wyrażony jako procent grubości projektowanej, od 46% w przypadku podbudowy z KŁSM do 16% dla pakietu warstw wiążącej i ścieralnej) wiązany może być z malejącym tempem konsolidacji gruntów ściśliwych w czasie trwania prac budowlanych lub stopniowym przejściem od etapu konsolidacji do etapu pełzania gruntu (ściśliwości wtórnej). Etap najintensywniejszych osiadań zaznacza się w obrębie podbudowy z KŁSM, gdzie wymusiły one ułożenie dodatkowej warstwy kruszywa. Na większości dotkniętych deformacjami odcinków, począwszy od warstwy wiążącej, nie obserwuje się anomalnego wzrostu grubości warstw, co wskazuje na znaczące zmniejszenie tempa osiadań/konsolidacji na tym etapie prac budowlanych. Aktywne osiadania ustały niemal całkowicie po wykonaniu warstwy ścieralnej, na co wskazuje względnie niewielki odsetek nawierzchni wykazującej powierzchniowe deformacje. Niemniej jednak obecność charakterystycznych dla braku szczepności międzywarstwowej refleksów od granicy między warstwą wiążącą a warstwą ścieralną (zaznaczających się nad odcinkami deformacji dolnych warstw) wskazuje na kontynuację procesów deformacji.

Wnioski

1. Na podstawie kompleksowych, obejmujących konstrukcje nawierzchni, nasyp drogowy oraz grunty podłoża badań georadarowych (GPR) możliwy jest

opis deformacji nawierzchni, przybliżone odtworzenie jej historii oraz wskazanie jej najbardziej prawdopodobnych przyczyn.

2. W wypadku prawobrzeżnego dojazdu do mostu na Wiśle w Kwidzynie prawdopodobną przyczyną deformacji nasypu oraz nawierzchni drogi jest obecność występujących w podłożu gruntów ściśliwych (organicznych) lub ich niedostateczne wzmocnienie. Z uwagi na niewielką wysokość nasypu i charakter jego deformacji za mało prawdopodobne można uznać osiadanie wywołane nie dogęszczeniem gruntów nasypowych.

3. Obecność gruntów nienośnych sygnalizowana jest na profilach GPR w dwójnasób. W obrębie gruntów rodzimych pod odcinkami dotkniętymi deformacjami zaznaczają się granice wyznaczające prawdopodobny przebieg struktur wypełnianych osadami organicznymi (kopalnych koryt rzecznych). W obrębie nasypu i konstrukcji nawierzchni obserwuje się natomiast siodłowe ugięcia wyznaczające strefy o anomalnie dużych grubościach konstrukcji drogi, które pokrywają się z przebiegiem granic w obrębie podłoża gruntowego.

4. Przebiegająca w trakcie prac budowlanych konsolidacji gruntów organicznych przełożyła się na osiadania nasypu oraz poszczególnych warstw konstrukcyjnych nawierzchni. Zaobserwowane po wykonaniu poszczególnych warstw odchylenia od projektowanej niwelety były na bieżąco uzupełniane, prowadząc do anomalnego wzrostu grubości konstrukcji nad odcinkami objętymi osiadaniami.

5. W obrębie pakietu warstw konstrukcyjnych obserwuje się systema-

tyczny spadek względnego wzrostu grubości poszczególnych warstw od 46% w przypadku podbudowy z KŁSM do 16% dla pakietu warstw wiążącej i ścieralnej. Spadek ten koreluje z oczekiwanym dla gruntów nienośnych spadkiem tempa konsolidacji i/lub zapoczątkowaniem fazy pełzania gruntów.

6. Największy wzrost grubości notuje najniższa z warstw konstrukcyjnych, warstwa podbudowy z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie, zaś najmniejszy w obrębie pakietu warstw wiążącej i ścieralnej. Na większości odcinków drogi wzrost grubości nie jest notowany, począwszy od warstwy wiążącej.

7. Obecność typowego dla braku szczepności międzywarstwowej charakteru refleksów od granicy warstw wiążącej i ścieralnej przebiegającej nad większością odcinków o anomalnej grubości konstrukcji nawierzchni wskazuje zmianę charakteru deformacji.

8. Obszary aktywnych osiadań nawierzchni (zaznaczających się jako obniżenie powierzchni drogi) związane są z odcinkami przebiegającymi nad ciekami wodnymi (bliskość obiektów mostowych). Odcinki te przebiegają nad obszarami o prawdopodobnie maksymalnej miąższości przypowierzchniowych warstw gruntów nienośnych. Odcinki, na których osiadania obserwowane są wyłącznie w niższych warstwach konstrukcyjnych, mogą się natomiast znajdować ponad obszarami o względnie mniejszej miąższości gruntów nienośnych.

9. Zebrane na podstawie pomiarów georadarowych dane jednoznacznie wyznaczają obszary, które powinny być poddane dalszym badaniom (w tym uszkodzającym nawierzchnie). Związane

ne z tym zawężenie obszaru konwencjonalnych badań (wierceń, badań VSS itp.) powinno przełożyć się na zmniejszenie kosztów i przyspieszenie procedury diagnostycznej.

Literatura

- Ciesielski, Z., Murzynowski, J. i Michałek, T. (2010). *Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla projektu wykonawczego budowy mostu przez rzekę Wisłę Koło Kwidzyna wraz z dojazdami w ciągu drogi krajowej nr 90*. Bydgoszcz: Geotech Sp. z o.o.
- Evans, R., Frost, M., Stonecliffe-Jones, M. i Dixon, N. (2006). Ground-penetrating radar investigation for urban roads. W *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer*, 159, 105-111.
- Geoportal. (2016). *Mapa rastrowa*. Pobrano z lokalizacji <http://mapy.geoportal.gov.pl>
- Karczewski, J. (2007). *Zarys metody georadarowej*. Kraków: Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH.
- Kowalczyk, S., Łukasik, D. i Żukowska, K. (2014). Ground penetrating radar survey in the central and eastern part of the Całowanie Fen, Central Poland. W *Proceedings of the 2014 15th international conference on ground penetrating radar, GPR 2014*, 1011-1016.
- Liu, H. i Sato, M. (2014). In situ measurements of pavement thickness and dielectric permittivity by GPR using an antenna array. *NDT & E International*, 64, 65-71.
- Pavlic, M.U. i Praznik, B. (2011). Detecting karstic zones during highway construction using ground-penetrating radar. *Acta Geotechnica Slovenica*, 8, 17-27.
- Plati, C. i Loizos, A. (2013). Estimation of in situ density and moisture content in HMA pavements based on GPR trace reflection amplitude using different frequencies. *Journal of Applied Geophysics*, 97, 3-10.
- Saarenketo, T. i Scullion, T. (2000). Road evaluation with ground penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics*, 43, 119-138.
- Słowik, M. (2013). GPR and aerial imageries to identify the recent historical course of the Obra River and spatial extent of Obrzańskie Lake, altered by hydro-technical works. *Environmental Earth Sciences*, 70, 1277-1295.
- Smith, S.S. i Scullion, T. (1993). *Development of ground-penetrating radar for detecting pavement condition for preventive maintenance. SHRP-H-672*. Washington: National Research Council.
- Uddin, W. (2014). An overview of GPR applications for evaluation of pavement thickness and cracking. W *Proceedings of the 15th international conference on ground penetrating radar, GPR 14*, 925-930.

Streszczenie

Zastosowanie metody georadarowej w diagnostyce osiadań nawierzchni drogowych na przykładzie prawobrzeżnego dojazdu do mostu na Wiśle w Kwidzynie. Niniejszy artykuł przedstawia wyniki kompleksowych badań georadarowych (GPR) mających na celu opis, odtworzenie przebiegu oraz wskazanie prawdopodobnych przyczyn osiadań nawierzchni drogi DK 90. Wyznaczone przy użyciu anten typu air-coupled i ground-coupled anomalne grubości konstrukcji nawierzchni oraz charakter deformacji nawierzchni i nasypu sugerują, że obserwowane uszkodzenia związane są z obecnością w podłożu gruntów ściśliwych. Odtworzony na podstawie badań georadarowych model przebiegu deformacji jest zgodny ze znaną budową geologiczną obszaru badań.

Summary

Use of ground-penetrating radar for diagnostics of pavement settlements: a case study from right-bank driveway to bridge over the Vistula river at Kwidzyn. In this paper we report on the comprehensive (air-coupled and ground-coupled) Ground Penetrating Radar (GPR) approach to describe and determine mode, timing and likely source of pavement settlement of the

DK 90 road. Non-destructively measured anomalous pavement thickness along with identified mode of pavement and embankment deformations points to compressibility of subgrade soils. Inferred model of deformation is consistent with geological outline of studied area.

Author's addresses:

Michał Klukowski
Uniwersytet Warszawski
Wydział Geologii
Instytut Geochemii Mineralogii i Petrologii
02-089 Warszawa, ul. Żwirki i Wigury 93,
Poland
e-mail: michal.klukowski@student.uw.edu.pl
Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad
Oddział w Olsztynie
10-041 Olsztyn, ul. Sokola 4b,
Poland
e-mail: mklukowski@gddkia.gov.pl

Adrian Nitkowski
Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad
Oddział w Olsztynie
10-041 Olsztyn, ul Sokola 4b,
Poland
e-mail: anitkowski@gddkia.gov.pl