



MAŁGORZATA WUTKE

TPA Sp. z o. o.  
malgorzata.wutke@tpaqi.com

## Przyczyny uszkodzeń warstw asfaltowych nawierzchni, lokalizacja osłabionych miejsc za pomocą systemu GPR

Przeglądy gwarancyjne dróg wykonuje się w celu kontroli stanu nawierzchni, oceny dot. utrzy-

wania nawierzchni w należytym stanie technicznym oraz niedopuszczenia do nadmiernego pogorszenia właściwości użytkowych i przydatności technicznej. Okres gwarancji warstwy ścieralnej nawierzchni podatnych i półsztywnych wg dokumentu Generalnej Dyrekcji Dróg krajowych i Autostrad (*GDDKiA, Gwarancja jakości, dokument wzorcowy, aktualizacja z dn. 21.07.2015 r.*) wynosi 5 lat. W przypadku ujawnienia jakiegokolwiek wady w Przedmiocie Umowy, Zamawiający jest uprawniony, a Gwarant zobowiązany, m.in. do żądania nieodpłatnego usunięcia wady [3].

W trakcie przeglądu gwarancyjnego jednej z wykonanych dróg, w nawierzchni zaobserwowano liczne uszkodzenia. Przygotowano Raport Techniczny [7], którego celem było rozpoznanie stanu warstwy ścieralnej. Raport obejmował analizę wizualną stanu nawierzchni, przegląd badań prowadzonych w trakcie realizacji kontraktu, wykonanie odwiertów przez konstrukcję nawierzchni i przeprowadzenie badań laboratoryjnych.

### Stan nawierzchni przed planowanymi pracami naprawczymi

Widok zaobserwowanych uszkodzeń nawierzchni przedstawiono na fotografiach od 1 do 4. Po analizie obrazów można stwierdzić następujące uszkodzenia:

- pojedyncze spękania poprzeczne i podłużne a także liczne ubytki w warstwie ścieralnej,
- spękania warstwy ścieralnej w obrębie wpustów ulicznych,
- „otwartą” teksturę nawierzchni w śladzie kół, natomiast „zamkniętą” teksturę nawierzchni między śladami przejeżdż kół [7].

### Badania stanu nawierzchni

W ramach rozpoznania stanu technicznego nawierzchni zrealizowano trzy rodzaje badań. Były to prace/działania realizowane w ramach bieżącej kontroli, badania terenowe i laboratoryjne.

#### Badania warstwy ścieralnej w trakcie realizacji kontraktu

Projekt zakładał wykonanie konstrukcji nawierzchni obejmujący warstwy: podbudowę pomocniczą z KŁSM, podbudowę asfaltową o grubości 10 cm, warstwę wiążącą o grubości 8 cm oraz warstwę ścieralną o grubości 5 cm [7]. Beton asfaltowy na warstwę ścieralną wykonywano i układano w okresie od kwietnia 2011 r. do marca 2012 r. W ramach bieżącej kontroli robót przeprowadzono następujący zakres badań mieszanki MMA wykorzystanej do wykonania warstwy ścieralnej: badanie zawartości asfaltu [%], badanie gęstości MMA [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ], badanie gęstości objętościowej MMA [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ], badanie wolnej przestrzeni [%]. Na etapie realizacji zadania wykonywane były również odwierty. Określano grubość warstwy próbki wyciętej z nawierzchni [cm], gęstość objętościową [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ], gęstość objętościową warstwy [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ], wolną przestrzeń w nawierzchni [%] i wskaźnik zagęszczenia warstwy. Badania laboratoryjne prowadzone na WMA z produkcji jak i wykonanej warstwy potwierdziły poprawność wykonania warstwy ścieralnej i zgodność z Dokumentacją Projektową [7].



Fot. 1. Spękanie poprzeczne [7]



Fot. 2. Spękanie przy studziencie [7]



Fot. 3. Spękanie podłużne [7]



Fot. 4. Ubytek w warstwie ścieralnej [7]

## Badania terenowe

W marcu 2015 r. wykonano odwierty w warstwie ścieralnej w celu przeprowadzenia badań: ITSr, zawartości wolnych przestrzeni, wskaźnika zagęszczenia warstwy. Dodatkowo wykonano odwierty przez wszystkie warstwy asfaltowe w miejscach spękań. W przypadku spękań poprzecznych stwierdzono uszkodzenia tylko w warstwie ścieralnej. W przypadku spękania podłużnego, w jednej z próbek spękana była tylko warstwa ścieralna, natomiast w drugiej – ścieralna i wiążąca. Na podstawie oględzin odwiertów wykonanych w miejscach spękań przy klatce ściekowej stwierdzono uszkodzenia wszystkich warstw asfaltowych. Wykonane odwierty wykazały jednoznacznie, że inicjacja spękań następowała w warstwie ścieralnej. Spękania miały charakter „od góry w dół”, powodując uszkodzenia warstw niżej leżących [7].

Widok odwiertów wykonanych w miejscach spękań przedstawiono na fot. 5–8.

## Badania laboratoryjne

Do badań gęstości objętościowej oraz zawartości wolnych przestrzeni pobrano odwierty zarówno z prawego śladu koła (wizualnie „otwarta” tekstura), jak i z obszaru pomiędzy kołami („zamknięta” tekstura). Pomimo znacznego okresu eksploatacyjnego, wyniki badań wskaźnika zagęszczenia i zawartości wolnych przestrzeni mieściły się w dopuszczalnych przedziałach podanych w Dokumentacji Projektowej [7].

W celu określenia aktualnej odporności warstwy ścieralnej na działanie czynników atmosferycznych zdecydowano

o wykonaniu badania ITSr – służącego do oceny wrażliwości próbek na działanie wody i mrozu. Badania wykonano w dwóch lokalizacjach. Uzyskano dwa rozbieżne wyniki: 40% i 86%. W świetle najnowszych wymagań – WT-2 2014, jak i wcześniejszych wersji – WT-2 2008 i WT-2 2010 ITSr w przypadku mieszanki z przeznaczeniem do warstwy ścieralnej wymagana jest wartość ITSr minimum 90%. Wyniki 40% i 86% wskazały na brak odporności warstwy na działanie czynników atmosferycznych [7].

## Badanie z zastosowaniem georadaru

Rozbieżności w wynikach badania odporności warstwy na działanie czynników atmosferycznych oraz zagrożenie propagacją uszkodzeń w głąb konstrukcji nawierzchni było czynnikiem decydującym o przeprowadzeniu dodatkowego badania – metodą z zastosowaniem georadaru. Celem badania georadarem było otrzymanie powierzchniowego obrazu możliwych uszkodzeń nawierzchni na całym rozpatrywanym odcinku, w pełnym przekroju warstw asfaltowych konstrukcji.

Metoda georadarowa (ang. *Ground Penetrating Radar* – GPR) należy do grupy badań nieniszczących, wykorzystujących zmiany fal elektromagnetycznych występujące podczas przejścia przez diagnozowany ośrodek. Fale elektromagnetyczne wysyłane są z georadarowej anteny nadawczej. Fale przechodząc przez badany ośrodek, na granicy warstw o różnych własnościach elektromagnetycznych, ulegają częściowemu odbiciu, a impuls jest odbierany przez antenę odbiorczą. Obserwacja czasu przejścia pomiędzy amplitudami fal pozwala na wyznaczenie stałej dielektrycznej określonej warstwy.

Pomiary GPR wykonane w równoległych przekrojach umożliwiły wykonanie map powierzchniowych każdego z odcinków pomiarowych. Mapy powierzchniowe przedstawiały wartości stałych dielektrycznych na wybranych poziomach głębokości nawierzchni. Doświadczalnie została ustalona zależność pomiędzy wartością stałej dielektrycznej a zawartością wolnych przestrzeni w warstwie asfaltowej. Oznacza to, że większa zawartość wolnych przestrzeni w warstwie asfaltowej indukuje niższą wartość stałej dielektrycznej i odwrotnie. Uzyskane wyniki interpretowano w następujący sposób:

- niska wartość stałej dielektrycznej – miejsca o mniejszym zagęszczeniu i większej zawartości wolnych przestrzeni, a także spękania i szczeliny wypełnione powietrzem;
- wysoka wartość stałej dielektrycznej – miejsca o większym zagęszczeniu i mniejszej zawartości wolnych przestrzeni, lub miejsca o mniejszym zagęszczeniu i większej zawartości wolnych przestrzeni ale o dużej wilgotności, a także spękania i szczeliny o dużej wilgotności [13].

Wartość stałej dielektrycznej, a tym samym rezultaty pomiarów GPR są powiązane z wilgotnością obiektu będącego przedmiotem badania. Nie można zatem wykluczyć ewentualnego



Fot. 5. Próbkę odwierconą w obszarze spękania poprzecznego (widoczne spękanie tylko warstwy ścieralnej) [7]



Fot. 6. Próbkę odwierconą w obszarze spękania podłużnego (widoczne spękanie tylko przez warstwę ścieralną) [7]



Fot. 7. Próbkę odwierconą w obszarze spękania podłużnego (widoczne spękanie przez warstwy ścieralna i wiążąca) [7]



Fot. 8. Próbkę odwierconą w obszarze spękania przy studziencie (widoczne spękanie przez wszystkie warstwy asfaltowe) [7]

wpływu zmiennych warunków gruntowo-wodnych na dokładność pomiarów. Na wartość stałej dielektrycznej wpływa również rodzaj użytego kruszywa i ilość wypełniacza. Niedogęszczenie i duża zawartość wolnych przestrzeni o niskiej wartości stałej dielektrycznej ( $\epsilon_r=1$ ) powoduje w efekcie obniżenie wartości stałej dielektrycznej warstwy asfaltowej. Konsekwentnie, miejsca o większej wilgotności (wartość stałej dielektrycznej wody:  $\epsilon_r=80$ ) powodują wzrost stałej dielektrycznej warstwy konstrukcyjnej nawierzchni. Kierując się tą zasadą na mapach stałych dielektrycznych przygotowanych dla trzech poziomów głębokości (0–5 cm, 12–14 cm oraz 21–28 cm) wyznaczono potencjalne miejsca osłabione: o dużej zawartości wolnych przestrzeni oraz dużej wilgotności [13].

Najwięcej potencjalnych miejsc o dużej zawartości wolnych przestrzeni zaobserwowano w warstwie ścieralnej oraz górnej części warstwy wiążącej. Na mapach zlokalizowano prawdopodobne zawilgocenia. Rozkład możliwych zawilgoczeń wskazywał na podciąganie wody z poboczy.

Interpretację badania metodą GPR wykorzystano w planowaniu projektu naprawy nawierzchni.

## Prawdopodobne przyczyny uszkodzeń nawierzchni

Zgodnie z wymaganiami SST do mieszanki mineralno-asfaltowej na warstwę ścieralną AC 0/16 należało zastosować asfalt drogowy rodzaju 35/50. Uziarnienie mieszanki mineralno-asfaltowej (do 16 mm) do warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego było powodem zastosowania mniejszej ilości asfaltu w stosunku do mieszanek o drobniejszym uziarnieniu. W konsekwencji cieńsza błonka asfaltu potrzebna do otoczenia ziaren kruszywa spowodowała przyspieszony proces starzenia asfaltu. Zastosowanie mieszanki mineralno-asfaltowej o uziarnieniu do 16 mm w połączeniu z twardym asfaltem drogowym (wliczając procesy utwardzania asfaltu na skutek starzenia technologicznego i eksploatacyjnego) spowodowały zwiększenie sztywności wbudowywanej warstwy. Większa sztywność znacząco obniża elastyczność oraz odporność na działanie niskiej temperatury warstwy wykonanej z mieszanki mineralno-asfaltowej [7].

Występujące naprężenia termiczne oraz efekt usztywnienia górnej warstwy asfaltowej, wskutek starzenia spowodowany w tym przypadku zastosowaniem sztywnej mieszanki mineralno-asfaltowej oraz twardego asfaltu drogowego, przyczyniły się prawdopodobnie do powstania podanych uszkodzeń nawierzchni.

Mała odporność na działanie czynników atmosferycznych mogłaby powodować dalszą przyspieszoną degradację nawierzchni.

## Naprawy nawierzchni

Zdefiniowanie uszkodzeń nawierzchni oraz próba określenia ich przyczyn stały się podstawą opracowania projektu naprawy warstwy ścieralnej oraz częściowej naprawy warstwy wiążącej. Projekt naprawy zakładał sfrezowanie całej warstwy ścieralnej [4]. Widok nawierzchni w trakcie jej frezowania przedstawiono na fotografiach 9 i 10.



Fot. 9. Frezowanie warstwy ścieralnej nawierzchni



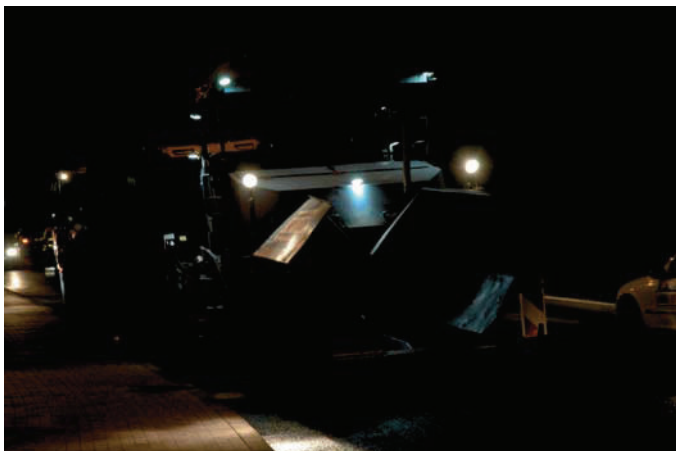
Fot. 10. Frezowanie warstwy ścieralnej nawierzchni

Po sfrezowaniu otrzymaną powierzchnię należało oczyścić celem przygotowania do oceny wizualnej warstwy wiążącej. Uszkodzone fragmenty warstwy wiążącej – miejsca spękań oraz wszystkie miejsca dezintegracji warstwy wiążącej (o otwartej strukturze, luźnych ziarnach) powinno się usunąć oraz wbudować w nie nową warstwę wiążącą. Podłoże pod warstwę wiążącą i ścieralną powinno być wyprofil-



Fot. 11. Skrapianie powierzchni emulsją asfaltową przed układaniem kolejnej warstwy

lowane i równe, bez kolein. Powierzchnia podłoża powinna być sucha i czysta. Przed układaniem warstw powierzchni należy skropić emulsją asfaltową. Prace polegające na skrapianiu powierzchni oraz układaniu nowej warstwy ścieralnej przedstawiają fotografie 11–12.



Fot. 12. Układanie nowej warstwy ścieralnej



Fot. 13. Spękanie w warstwie wiążącej propagujące w głąb konstrukcji nawierzchni

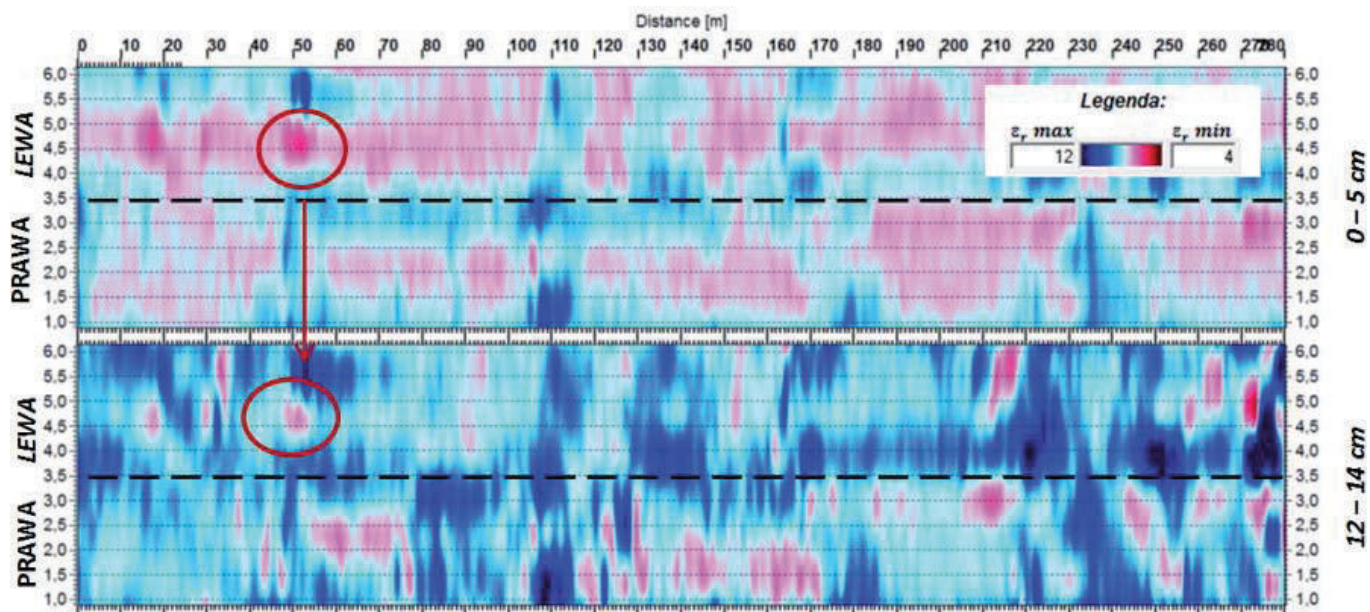
## Weryfikacja badań przeprowadzonych georadarem

W trakcie prac naprawczych nawierzchni dokonano weryfikacji wyników badań uzyskanych z użyciem georadar. Stwierdzono zgodność pomiędzy stanem faktycznym nawierzchni a rezultatem pomiarów GPR. Fotografie od 13 do 20 oraz rysunki 1–3 przedstawiają porównanie opracowanych map powierzchniowych i (rzeczywistych) uszkodzeń.

Na rysunku 1, po stronie lewej, w odległości 50 m od przyjętego początku pomiarów mapa powierzchniowa przedstawia miejsce o niskiej wartości stałej dielektrycznej



Fot. 14. Spękanie w warstwie wiążącej propagujące w głąb konstrukcji nawierzchni



Rys.1. Mapa powierzchniowa stałych dielektrycznych warstwy ścieralnej (u góry) i warstwy wiążącej (u dołu). Kolorem czerwonym zaznaczono spękanie propagujące w głąb konstrukcji nawierzchni

– interpretowane jako możliwe spękanie. Ponadto zauważono propagację tego uszkodzenia w głąb konstrukcji nawierzchni. Po sfrezowaniu warstwy ścieralnej w określonej lokalizacji zaobserwowano propagację spękania poprzez warstwę ścieralną do warstwy wiążącej.

Mapa powierzchniowa kolejnej ulicy (rys. 2) wykazała, że najwięcej uszkodzeń występuje na pasie lewym, przy osi jezdni. Z interpretacji obrazu GPR wnioskowano o prawdopodobnej propagacji uszkodzeń do warstwy ścieralnej. Zdjęcia wykonane po sfrezowaniu potwierdzają wynik badania georadarem ze stanem faktycznym. Po sfrezowaniu warstwy ścieralnej zaobserwowano ubytki także w warstwie wiążącej – tzn. wykruszenia, luźne ziarna.

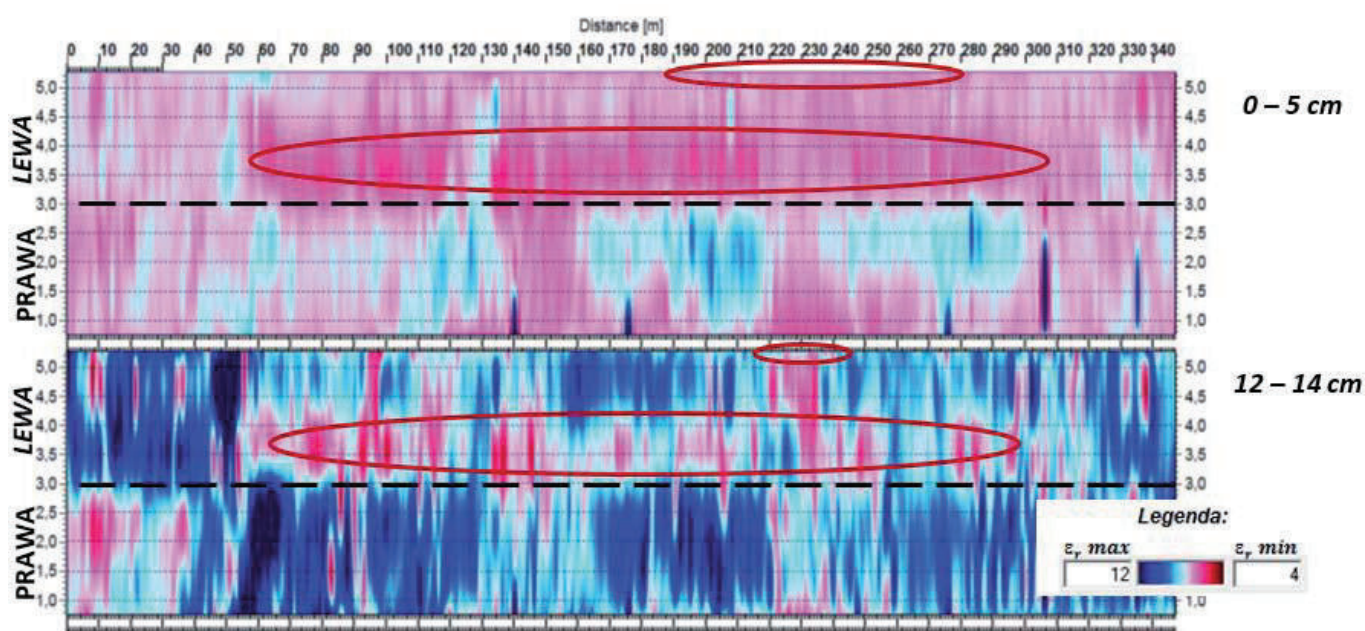
Na rysunku 3 oraz fotografiach od 18 do 20 przedstawiono kolejny przykład zgodności pomiędzy interpretacją georadarową a rzeczywistym stanem nawierzchni. Kolorem czerwonym na mapie powierzchniowej zaznaczono miejsce

o stosunkowo niskiej wartości stałej dielektrycznej. Spękanie warstwy ścieralnej, tak przewidywano, propagowało w głąb konstrukcji.

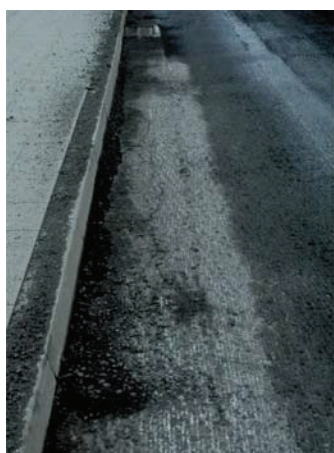
## Podsumowanie

Metoda georadarowa może być uznana jako przydatna w przypadku potrzeby lokalizacji miejsc osłabionych warstw asfaltowych.

Stwierdzone w okresie przedgwarancyjnym uszkodzenia nawierzchni były konsekwencją szeregu niekorzystnych czynników: przeszywnienia warstwy ścieralnej w interakcji z działaniem czynników atmosferycznych i eksploatacyjnych. W celu niedopuszczenia do całkowitej degradacji nawierzchni, należało podejmować odpowiednie działania naprawcze. Przy ustalaniu takich działań bardzo przydatne



Rys. 2. Mapa powierzchniowa stałych dielektrycznych warstwy ścieralnej (u góry) i warstwy wiążącej (u dołu). Kolorem czerwonym zaznaczono uszkodzenia zinterpretowane jako propagujące w głąb konstrukcji nawierzchni



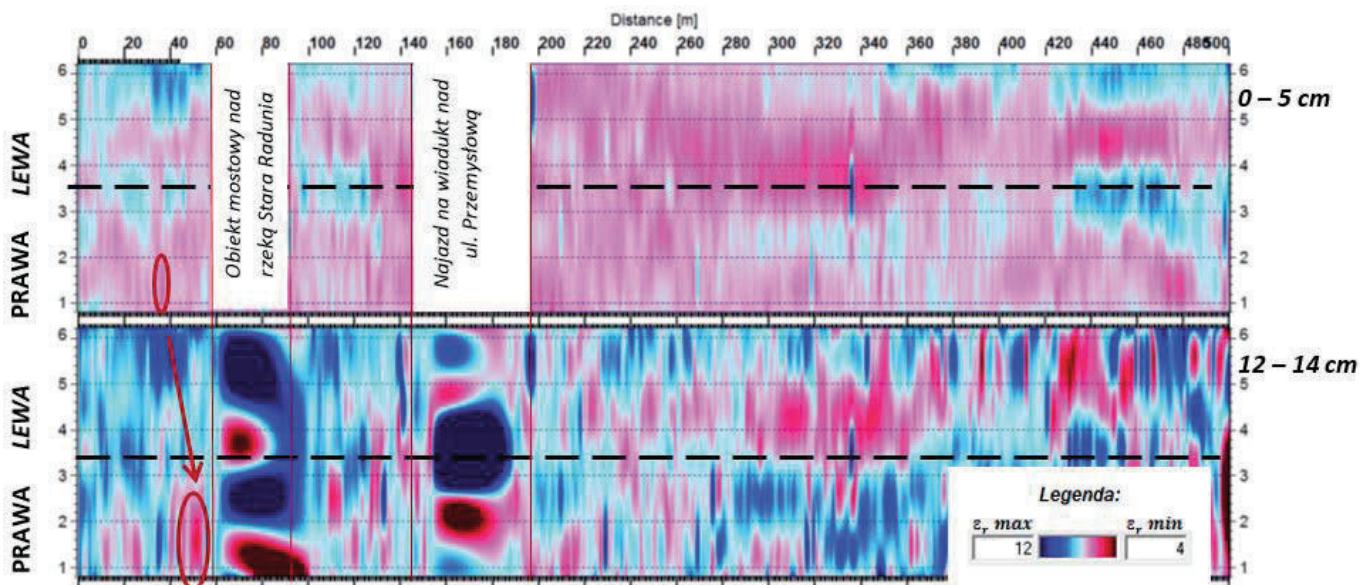
Fot. 15. Uszkodzenia propagujące w głąb konstrukcji przy lewej krawędzi jezdni



Fot. 16. Wykruszenia, luźne ziarna po środku lewego pasa ruchu



Fot. 17. Wykruszenia, luźne ziarna po środku lewej strony drogi



Rys. 3. Mapa powierzchniowa stałych dielektrycznych warstwy ścierniczej (u góry) i warstwy wiążącej (u dołu). Kolorem czerwonym zaznaczono spękanie zinterpretowane jako propagujące w głąb konstrukcji nawierzchni



Fot. 18. Spękanie propagujące w głąb konstrukcji nawierzchni



Fot. 19. Spękanie propagujące w głąb konstrukcji nawierzchni



Fot. 20. Spękanie propagujące w głąb konstrukcji nawierzchni

jest stosowanie metod nieniszczących z zakresu diagnostyki nawierzchni, celem ustalenia, ewentualnie wytypowania miejsc, w których rozbiórka jest działaniem obligatoryjnym, miejsc wymagających jedynie wzmocnienia oraz takich, które stan uznaje się za dobry i niewymagający napraw. Badania prowadzone na omawianym odcinku drogi potwierdzają efektywność stosowania metody georadarowej, jako metody skutecznej, szybkiej i co bardzo ważne, uzasadnionej ekonomicznie. Metoda georadarowa umożliwia rozpoznanie stanu dolnych warstw konstrukcji, znajdujących się poniżej warstw asfaltowych, a to na etapie planowania remontu nawierzchni jest niezmiernie istotne. Naprawiona w sposób przemyślany konstrukcja może być w dalszym ciągu eksploatowana, a koszt naprawy w początkowym etapie pojawiania się uszkodzeń jest stosunkowo nieduży.

#### Bibliografia

- [1] Benedetto A., Pajewski L., Civil engineering applications of ground penetrating radar, Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering, UK, 2015
- [2] Daniels D. J., Ground penetrating radar – 2<sup>nd</sup> edition, IET Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 15, UK, 2007
- [3] GDDKiA, Gwarancja jakości, dokument wzorcowy, aktualizacja z dn. 21.07.2015 r.,
- [4] Hering K., Hering M., Sprawozdanie TPA/KH/16/0002, TPA Sp. z o. o., Gdynia, 2016
- [5] Hoegh K., Khazanovich L., Dai S., Yu T., Evaluating asphalt concrete air void variation via GPR antenna array data, Science Direct, 2015
- [6] Jol H. M., Ground penetrating radar – theory and applications, Elsevier Science, UK, 2009
- [7] Krzyżyński S., Hering K., Raport techniczny TPA/PE/RT/15/008, TPA Sp. z o. o., Gdynia, 2015
- [8] Lalagüe A., Use of Ground Penetrating Radar in quality assurance

of new asphalt pavements, Norwegian University of Science and Technology, 2014

- [9] Maser K., Carmichael A., Ground Penetrating Radar Evaluation of New Pavement Density, Washington State Department of Transportation, 2015
- [10] Pellinen T., Eskelinen P., Huuskonen-Snicker E., Hartikainen A., Assessment of air void content of asphalt using dielectric constant measurements by GPR and with VNA, Aalto University publication series SCIENCE + TECHNOLOGY, 2015

[11] Saarenketo T., Electrical properties of road materials and sub-grade soils and the use of GPR in traffic infrastructure surveys, Faculty of Science, Department of Geoscience, University of Oulu, 2006

[12] Saarenketo T., Recommendations for guidelines for the use of GPR in asphalt air voids content measurement, Mara Nord Project, 2012

[13] Wutke M., Hering M., Raport techniczny TPA/PE/RT/16/028, TPA Sp. z o. o., Pruszków, 2016



**ANNA WYTRYKOWSKA**

Politechnika Warszawska  
Wytrykowska.anna@gmail.com

## Projektowanie oświetlenia na przejściach dla pieszych

Podróże piesze stanowią istotny element życia człowieka. Jak wynika z danych statystycznych, człowiek pokonuje pieszo 20–25% ogółu podróży [1]. Według polskiego prawa pieszy jest pełnoprawnym uczestnikiem ruchu drogowego, niestety często jest lekceważony przez innych uczestników ruchu. W konsekwencji piesi są uczestnikami co trzeciego wypadku drogowego w Polsce.

Analiza danych statystycznych, prowadzona przez Komendę Główną Policji [2], wskazuje pieszych jako grupę najbardziej narażoną na niebezpieczeństwo. W 2016 roku piesi byli uczestnikami 8461 wypadków drogowych (ok. 25% ogółu wypadków drogowych), w których śmierć poniosło 868 osób, a 7974 zostało rannych. Przeprowadzone analizy wykazują, że najczęściej wypadków drogowych z udziałem pieszych ma miejsce na przejściach dla pieszych. W tabeli 1. przedstawiono liczbę wypadków drogowych i ich skutki w miejscach przeznaczonych dla ruchu pieszego.

Z danych przedstawionych w tabeli 1. wynika, że pieszy narażony jest na największe ryzyko w czasie przechodzenia

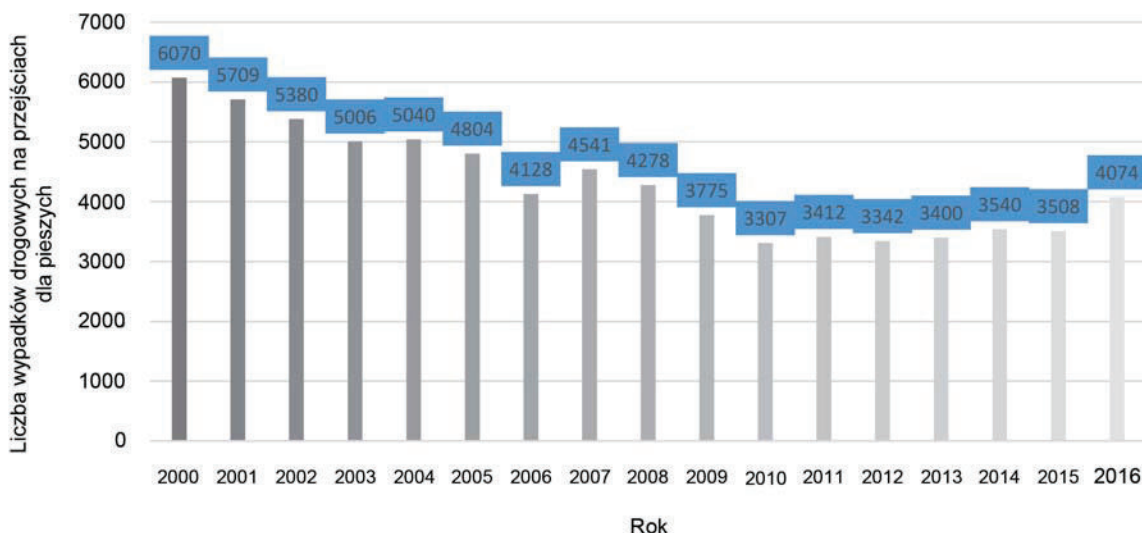
przez jezdnię. W 2016 roku w rejonie przejść dla pieszych doszło do 4074 wypadków drogowych, co stanowi 48% wypadków drogowych z udziałem pieszych. W ubiegłym roku na przejściach dla pieszych zginęło 250 osób (32% ogółu ofiar śmiertelnych), a 4054 zostało rannych (51% ogółu rannych).

Tabela 1. Liczba wypadków drogowych i ich skutki w miejscach przeznaczonych do ruchu pieszego w 2016 r. [2]

Wybrane miejsca ruchu pieszych	Liczba wypadków	Liczba zabitych	Liczba rannych
Przejście dla pieszych	4074	250	4054
Skrzyżowanie	2402	151	2383
Chodnik, droga dla pieszych	393	16	401
Pobocze	58	7	56
Przystanek komunikacji publicznej	89	2	88
<b>Ogółem:</b>	<b>7016</b>	<b>426</b>	<b>6982</b>

Analiza danych udostępnionych przez Komendę Główną Policji wykazuje, że zarówno liczba wypadków drogowych, jak i ofiar śmiertelnych na przejściach dla pieszych maleje od

2000 roku (rys. 1.). W 2016 roku liczba wypadków drogowych na przejściach dla pieszych, w stosunku do 2000 roku, zmniejszyła się o ok. 33%. Natomiast liczba ofiar śmiertelnych zmniejszyła się o 21%.



Rysunek 1. Wypadki drogowe na przejściach dla pieszych do 2016 roku [2]