

Wykorzystanie badań ultradźwiękowych do diagnozy nawierzchni asfaltowej

Use of ultrasonic testing for diagnosis asphalt pavement

Streszczenie

W artykule przedstawiono dotychczasowe wyniki badań ultradźwiękowych wykorzystane do diagnozy warstwy wierzchniej nawierzchni asfaltowej. Zdobyte doświadczenia w badaniach próbek i modeli nawierzchni wykonanych z betonu asfaltowego dały możliwość prowadzenia badań metodami ultradźwiękowymi *in situ*. Badania ultradźwiękowe były wykonane na drogowym odcinku doświadczalnym w Poznaniu. Po opisaniu budowy warstwy wierzchniej autor artykułu wykazał, że zmiany zachodzące w niej są zmianami pierwotnymi, a zmianami wtórnymi są zmiany powierzchni geometrycznej warstwy wierzchniej. Potrzebne są zatem urządzenia ultradźwiękowe do badań ciągłych nawierzchni drogowych, rejestrujące zmiany pierwotne zachodzące w strefie warstwy wierzchniej.

Abstract

The paper describes the current results of ultrasound used to diagnose the surface layer of asphalt. The experience gained in the research specimens and models of surfaces made of asphalt concrete allowed the opportunity to conduct research ultrasonic methods "in situ". Ultrasonic testing was performed on the experimental road section in. After describing the construction of the surface layer of the paper the author showed that the changes in the area of the surface layer are changes in primary and secondary changes are changes in the surface geometry of the surface layer. We need, therefore, ultrasound devices for testing continuous recording paving the primary changes are occurring in the surface layer.

Wstęp

Od wielu lat do diagnozy warstwy wierzchniej nawierzchni asfaltowej wykorzystywane są wyniki badań ultradźwiękowych [1]. Zdobyte doświadczenia w badaniach próbek i modeli nawierzchni wykonanych z betonu asfaltowego (materiału o właściwościach lepkosprężystych) [2, 3] wskazywały na możliwość prowadzenia badań metodami ultradźwiękowymi *in situ* [4÷6]. W tym celu autor referatu założył odcinek doświadczalny na nowo wybudowanej, dwujezdniowej ulicy Serbskiej w Poznaniu, oddanej do eksploatacji w listopadzie 1984 r. (dzisiaj Aleje Solidarności).

Dr hab. inż. Romuald Sztukiewicz, prof. nadzw. PP – Politechnika Poznańska.



Rys. 1. Badania warstwy wierzchniej podatnej nawierzchni drogowej
Fig. 1 Testing surface layer of flexible pavement

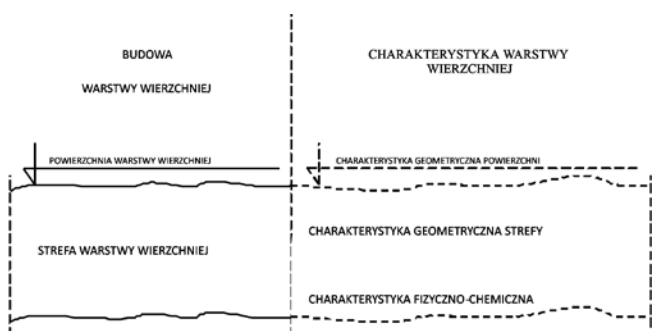
Warstwa wierzchnia podatnej nawierzchni drogowej

Nawierzchnię drogową definiuje się jako zespół warstw ułożonych w obrębie jezdni, służących do przejmowania i rozkładania obciążeń od kół pojazdów na podłoże gruntowe i zapewniających pojazdom dogodny warunki ruchu. Przyjmując podział nawierzchni drogowych ze względu na ich odkształcalność, można wydzielić diagnostykę sztywnej nawierzchni drogowej oraz diagnostykę podatnej nawierzchni drogowej.

Zgodnie z definicją nawierzchni drogowej z diagnostyki podatnej nawierzchni drogowej należy wydzielić diagnostykę warstwy wierzchniej oraz diagnostykę konstrukcji nawierzchni [1]. Diagnostyka od strony wykonawczej sprowadza się do pomiarów dostępnych dla obserwacji symptomów i cech stanu technicznego i do wnioskowania na podstawie uzyskanego zbioru danych. Obserwacje symptomów i cech wymagają prowadzenia odpowiednich pomiarów i wykorzystania właściwych metod badawczych.

Warstwa wierzchnia podatnej nawierzchni drogowej składa się z zewnętrznej powierzchni warstwy oraz ze strefy warstwy wierzchniej leżącej w głębi materiału pod powierzchnią rzeczywistością. Zatem charakterystyka warstwy wierzchniej obejmuje:

- charakterystykę geometryczną powierzchni,
- charakterystykę strefy warstwy wierzchniej.



Rys. 2. Budowa warstwy wierzchniej i jej charakterystyki
Fig. 2. Construction of the surface layer and its characteristics

Zmiany charakterystyki geometrycznej strefy są związane ze zmianami zachodzącymi w strefie warstwy wierzchniej i zależą od cech fizyczno-chemicznych poszczególnych składników oraz charakterystyk fizyczno-mechanicznych. Zatem można stwierdzić, że zmiany zachodzące w strefie warstwy wierzchniej są zmianami pierwotnymi a zmianami wtórnymi są zmiany powierzchni geometrycznej warstwy wierzchniej. Uzasadnia to prowadzenie takich badań, które charakteryzują zmiany pierwotne.

Metody badań można podzielić ogólnie na dwie grupy. Do pierwszej należą bierne metody, do których można zaliczyć badania polegające na pomiarach powierzchni geometrycznej warstwy wierzchniej. Druga grupa to metody stymulacyjne wymagające specjalnego bodźca w postaci np. fali ultradźwiękowej. Metody

te, zwane nieniszczącymi, mogą i powinny być stosowane do opisu stanu warstwy wierzchniej.

Stosowane dotychczas metody badań podatnej nawierzchni drogowej polegają na rejestrowaniu stanu powierzchni geometrycznej warstwy wierzchniej. Są to zazwyczaj pomiary punktowe stosowane na odcinkach dróg lub pomiary ciągłe realizowane przez koła pomiarowe toczące się po nawierzchni drogowej, rejestrujące charakterystyki powierzchni geometrycznej warstwy wierzchniej [4]. Do pomiarów ciągłych są stosowane profilografy: laserowy, który rejestruje stan powierzchni geometrycznej warstwy wierzchniej, i ultradźwiękowy, który rejestruje rzędne profilu poprzecznego nawierzchni.

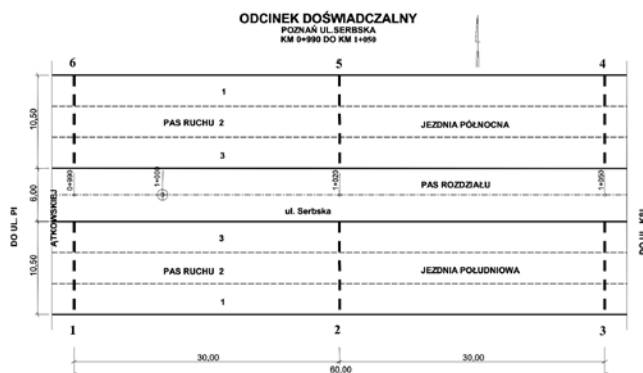
Metoda badań

Jednostronny dostęp do zewnętrznej powierzchni warstwy wymagał zastosowania metody echa. Metoda zwana *powierzchniową* może służyć do wyznaczania charakterystyk propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej, którymi są: prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej oraz współczynnik zmienności prędkości fali. Warstwa wierzchnia wykonana z betonu asfaltowego o grubości ok. 0,05 m może być traktowana jako płyta cienka. Dla takiej płyty, w której długość fali jest większa od grubości płyty, pierwszą falą która dotrze do głowicy odbiorczej, będzie fala podłużna. Rejestrując czas propagacji fali przy założeniu stałej odległości między głowicami ultradźwiękowymi, można wyznaczyć charakterystyki propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej. Zastosowana częstotliwość przetworników 40 kHz zapewnia emisję fali o długości większej niż grubość warstwy wierzchniej.

Odcinek doświadczalny

Odcinek doświadczalny wyznaczono na nowo wybudowanej, dwujezdniowej ulicy Serbskiej w Poznaniu. Ulicę oddano do eksploatacji w listopadzie 1984 r. Na każdej jezdni o trzech pasach ruchu w odległości co 30 m wyznaczono po 3 przekroje pomiarowe. Pola pomiarowe o wymiarach 3,0x0,3 m wyznaczono w miejscach najczęściej występujących obciążeń oraz tam, gdzie obciążenia występują sporadycznie (oś pasa ruchu) (rys. 3). Na każdym polu pomiarowym rejestrowano 6 czasów propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej, stosując stałą odległość między przetwornikami ultradźwiękowymi. Znając czas propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej oraz drogę propagacji fali, wyznaczano rozkład charakterystyk propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej. Obliczenia wykonano z uwzględnieniem wartości wymienionych charakterystyk dla 14 terminów, od 413 do 2132 dnia trwania eksperymentu.

W każdym terminie wykonano pomiary na 54 polach, wyznaczając charakterystyki propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej [4÷6]. Przykładowe wyniki charakterystyk propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej pokazano w publikacji [6].



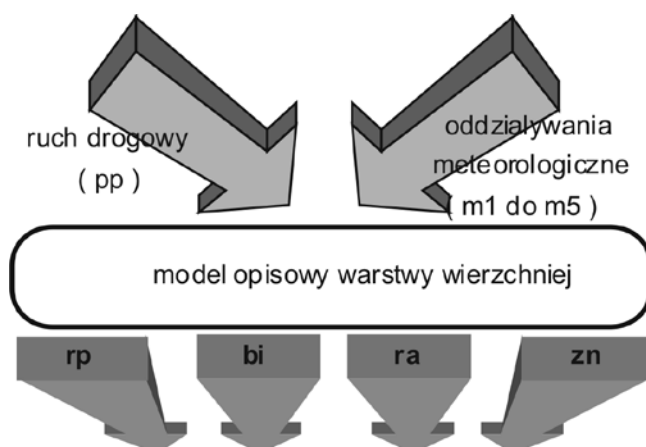
Rys. 3. Rozmieszczenie przekrojów pomiarowych na drogowym odcinku doświadczalnym

Fig. 3. Arrangement of measuring sections on the road section of the experimental

Obserwacje i badania standardowe

Na odcinku doświadczalnym oprócz badań ultradźwiękowych rejestrowano obciążenie ruchem drogowym na poszczególnych pasach ruchu. Uzyskane wyniki pomiarów ruchu drogowego dały podstawy do określenia wielkości ruchu dobowego. Na podstawie danych o wielkości średniorocznego ruchu dobowego i informacji o rozkładzie wielkości ruchu występującego w ciągu roku wyznaczono wielkość ruchu miesięcznego oraz rocznego dla poszczególnych pasów ruchu w pojazdach porównawczych (pp).

Drugim oddziaływaniem zewnętrznym możliwym do zarejestrowania były dane meteorologiczne związane ze średnią miesięczną temperaturą powietrza, opadami atmosferycznymi, nasłonecznieniem oraz liczbą przejść temperatury powietrza przez punkt 0°C.



Rys. 4. Model opisowy warstwy wierzchniej oraz schemat oddziaływań zewnętrznych i wskaźników symptomów stanu

Fig. 4. The descriptive model of the surface layer and the scheme of outside influences and indicators of symptoms of the state

Założony program standardowych badań nawierzchni drogowej przewidywał wykonanie pomiarów równości planografem (rp), równości podłużnej klasyfikatorem *bump integrator* (bi), równości poprzecznej metodą niwelacji precyzyjnej (ra) oraz współczynnika tarcia podłużnego (zn).

Analizując model warstwy wierzchniej pod wpływem oddziaływań zewnętrznych (ruch drogowy i dane meteorologiczne), opisano zmiany zachodzące w warstwie wierzchniej za pomocą charakterystyk ultradźwiękowych. Wykazano związki zarejestrowanych oddziaływań zewnętrznych z charakterystykami propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej.

Wskazano również na skorelowanie charakterystyk propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej ze wskaźnikami symptomów stanu warstwy wierzchniej [6, 7]. Wykazano, że stosowane dotychczas standardowe metody badań opisane za pomocą wskaźników symptomów stanu warstwy wierzchniej jedynie w cząstkowy sposób opisują zmiany zachodzące na powierzchni warstwy wierzchniej. Zaproponowane charakterystyki ultradźwiękowe ujmują syntetycznie całość zjawisk zachodzących w strefie warstwy wierzchniej (rys. 4).

Wykazano zależności między charakterystykami propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej a wybranymi wskaźnikami symptomów stanu warstwy wierzchniej. Wykorzystując analizę regresji wielokrotnej, wyznaczono korelacje między charakterystykami propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej a obserwowanymi wskaźnikami symptomów warstwy wierzchniej (ra, rp, bi, zn).

Wyniki regresji wielokrotnej wskazują na skorelowanie charakterystyk propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej ze wskaźnikami symptomów stanu warstwy wierzchniej. Prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej w ponad 60% terminów pomiarów może być wyjaśniana za pomocą wskaźnika symptomu warstwy wierzchniej „bi”. Współczynnik zmienności prędkości fali może być natomiast wyjaśniany za pomocą czterech wskaźników symptomów warstwy wierzchniej ze szczególnym uwzględnieniem wskaźnika bi [6÷8].

Charakterystyki propagacji:

- c'_L – prędkość propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej,
- vc'_L – współczynnik zmienności prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej.

Wskaźniki symptomów stanu warstwy wierzchniej

Profilograf ultradźwiękowy TUS

Wykonanie punktowych badań nawierzchni potwierdziło przydatność stosowania metody ultradźwiękowej do diagnozy strefy warstwy wierzchniej nawierzchni asfaltowej, czyli do badań pierwotnych uwzględniających zmiany w strefie warstwy wierzchniej. Dalsze prace miały polegać na zaprojektowaniu i wykonaniu urządzenia do pomiarów ciągłych na nawierzchni asfaltowej. Stało się jednak inaczej. Zakupiony we Francji (LCPC) profilograf ultradźwiękowy TUS – *Transversoprofilomètre à UltraSons* był przydatny wyłącznie do wyznaczania profili nierówności nawierzchni jezdni, a nie do rejestrowania zmian zachodzących w strefie warstwy wierzchniej.



Rys. 5. Profilograf ultradźwiękowy TUS do pomiaru nierówności poprzecznej [9]

Fig. 5. TUS profilograph ultrasonic measurement of the crosswise inequality [9]

Profilograf ultradźwiękowy TUS (w postaci belki) montuje się na czas pomiaru z przodu pojazdu samochodowego.

Pomiary nierówności poprzecznej wykonuje się przy prędkości jazdy samochodu 50 km/h, ale stosownie do panujących warunków ruchu i bez istotnego wpływu na wyniki pomiaru można ją zmieniać od 0 do 110 km/h. W czasie wykonywania pomiarów nawierzchnia jest automatycznie próbkowana na szerokości 2,4 m przez trzynaście równomiernie rozmieszczonych czujników ultradźwiękowych z krokiem co ok. 1,25 m. W zbiorze pomiarowym są rejestrowane dla każdego czujnika rzędne profilu nawierzchni z dokładnością 0,1 mm. W wyniku ich przetworzenia otrzymuje się dla kolejnych przekrojów pomiarowych nawierzchni jezdni na pasie ruchu zbiór głębokości kolein h.

Profilograf TUS zawiera dystansomierz, który pozwala mierzyć odległości pomiędzy wybranymi przez operatora zdarzeniami o określonych współrzędnych drogi. Te dane są na bieżąco zapisywane w zbiorze pomiarowym i podczas przetwarzania służą do zlokalizowania zarejestrowanych na drodze profili nierówności nawierzchni jezdni. Dla potrzeb sieci dróg krajowych zbiory pomiarowe z głębokościami kolein h są przetwarzane według standardowej procedury na miarodajne głębokości kolein Hm, jako jednostkowe oceny, które zapisuje się w zbiorze tekstowym zgodnie z formatem SOSN [9].

Zatem zakupiono urządzenie rejestrujące zmiany wtórne, czyli zmiany geometryczne powierzchni warstwy wierzchniej, niwecząc wszystkie moje dotychczasowe osiągnięcia związane z rejestrowaniem zmian pierwotnych zachodzących w strefie warstwy wierzchniej.

Podsumowanie

W pracy wykazano możliwości zastosowania metody ultradźwiękowej do opisu stanu warstwy wierzchniej oraz obserwacji zmian stanu zachodzących pod wpływem oddziaływań zewnętrznych. Zaproponowano nowy sposób opisu stanu warstwy wierzchniej za pomocą charakterystyk propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej. Wykazano związki oddziaływań zewnętrznych z charakterystykami propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej. Wskazano również na skorelowanie charakterystyk propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej ze wskaźnikami symptomów stanu warstwy wierzchniej.

Stwierdzenie zależności między charakterystykami propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej a wskaźnikami symptomów stanu warstwy wierzchniej wskazuje na gromadzenie przez charakterystyki propagacji podobnego zasobu informacji każdego ze wskaźników symptomów stanu warstwy wierzchniej. Wynika z tego wniosek, że stosowane dotychczas

standardowe metody badań w cząstkowy sposób opisują zmiany zachodzące na powierzchni warstwy wierzchniej. Natomiast zaproponowane charakterystyki propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej ujmują syntetycznie całość zjawisk zachodzących w strefie warstwy wierzchniej [10, 11].

Przedstawione w referacie metody badań nawierzchni drogowych dotyczą pomiarów punktowych. Aby zrealizować zadania na całej sieci drogowej, trzeba dysponować urządzeniami pomiarowymi do badań ciągłych. Zakupiony we Francji profilograf ultradźwiękowy TUS był przydatny wyłącznie do wyznaczania profili nierówności nawierzchni jezdni, a nie do rejestrowania zmian zachodzących w strefie warstwy wierzchniej. Potrzebne jest zatem urządzenie ultradźwiękowe do badań ciągłych nawierzchni drogowych, rejestrujące zmiany pierwotne zachodzące w strefie warstwy wierzchniej.

Literatura

1. Sztukiewicz R.: Diagnostyka warstwy wierzchniej podatnej nawierzchni drogowej, Drogownictwo, 1991, nr 7-8, s.113-115.
2. Sztukiewicz R.: Metoda ultradźwiękowa badania betonu asfaltowego, część I - Badania próbek, Drogownictwo, nr 3, 1987, s.65-68.
3. Sztukiewicz R.: Metody ultradźwiękowe badania betonu asfaltowego, część II - Badania modelu nawierzchni, Drogownictwo, nr 4-5, 1987, s.93-95.
4. Sztukiewicz R.: Metoda ultradźwiękowa badania betonu asfaltowego, część III - Badania nawierzchni, Drogownictwo, nr 7, 1987, s.146-150.
5. Sztukiewicz R.: Application of Ultrasonic Methods in Asphalt Concrete Testing, Ultrasonics, vol.29, 1991, nr 1, s.5-12.
6. Sztukiewicz R.: Ultradźwiękowy opis i analiza stanu warstwy wierzchniej nawierzchni drogowej z betonu asfaltowego, Rozprawy nr 270, Wyd. Polit. Pozn., Poznań, 1992, s.162.
7. Sztukiewicz R.: Testing Asphaltic Concrete with Ultrasonic Methods, 13th World Conference on Non-Destructive Testing, Elsevier, vol.2, Sao Paulo, 1992, s.1107-1111
8. Sztukiewicz R.: Metoda ultradźwiękowa w ocenie stanu dróg, XXII Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Szczyrk, 1993, s.107-110.
9. Transversoprofilomètre à UltraSons (TUS), LCPC Francja, Profilograf ultradźwiękowy, Opracowanie DRO-KONSULT Sp. z o.o.
10. Sztukiewicz R.: Ultrasonic Characteristics in the Description of the Surface Layer of a Flexible Pavement, Archives of Civil Engineering, vol. XLII, 1996, 1, s.105-124.
11. Sztukiewicz R.: Wykorzystanie charakterystyk ultradźwiękowych do długotrwałych obserwacji nawierzchni z betonu asfaltowego, 25 Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Szczyrk 1996, s.131-136.



Stal duplex w konstrukcjach spawanych

Jerzy Nowacki

Wydawnictwo: WNT
Warszawa 2013
Strony: 230
ISBN 978-83-7926-028-7

Książka „Stal duplex w konstrukcjach spawanych” stanowi poprawioną, zmienioną i znacznie rozszerzoną kontynuację książki Nowacki J., Stal duplex i jej spawalność, WNT, Warszawa, 2009 oraz monografii Nowacki J., Ferritic-austenitic steel and its weldability in large size constructions, Journ. of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, vol. 32, issue 32, February 2009, str. 115–141.

W książce przedstawiono genezę i rozwój stali odpornej na korozję, metody wytwarzania, mikrostrukturę, właściwości, zastosowania oraz metalurgiczne podstawy spawalności stali austenityczno–ferrytycznej.

Prezentowane w książce przykłady wdrożonych w przemyśle okrętowym konstrukcji spawanej stali austenityczno–ferrytycznej oraz wysokobarytowych zbiorników charakteryzują złożoność problematyki jej zastosowań.

W książce przedstawiono wiele oryginalnych mikrostruktur złączy spawanych stali duplex stanowiących wprowadzenie do analizy ich właściwości.

Książka ma charakter monografii i powstała na podstawie doświadczeń w obszarze badań, wdrożeń przemysłowych i kształcenia inżynierów oraz kadr naukowych. Doświadczenia te obejmują realizację licznych projektów badawczych i celowych, publikacji i ekspertyz, oraz prac doktorskich, dyplomowych inżynierskich i magisterskich.

Książka jest przeznaczona dla studentów kierunków: inżynieria materiałowa, mechanika i budowa maszyn oraz metalurgia jak również inżynierów mechaników zainteresowanych nowoczesnymi tworzywami konstrukcyjnymi i technologiami materiałowymi.

dr inż. Lechosław Tuz
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie