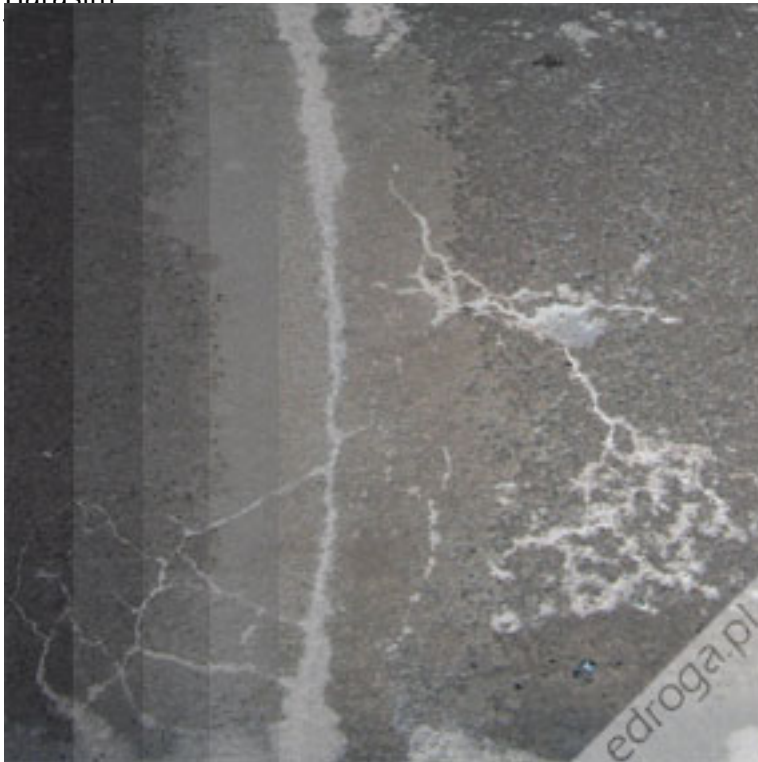


Identyfikacja miejsc niebezpiecznych ze względu na zły stan nawierzchni cz. I

Utworzono: poniedziałek, 21, grudzień 2009 08:50 Sławomir Heller, Tomasz Mechowski, Przemysław Harasim



Jednym z najistotniejszych zadań każdego zarządcy dróg jest zagwarantowanie standardu bezpieczeństwa ruchu drogowego na poziomie zgodnym z oczekiwaniami społecznymi. Optymalizacja bezpieczeństwa ruchu drogowego jest we wszystkich zindustrializowanych gospodarkach wyzwaniem XXI wieku. Pomimo zauważalnych postępów, wyrażanych np. stale malejącymi wskaźnikami wypadkowości, konsekwentnie intensyfikowane są działania na rzecz poprawy bezpieczeństwa ruchu. Stan bezpieczeństwa na drogach urasta stopniowo do rangi wyznacznika stopnia nowoczesności państwa, jest przedmiotem programów politycznych i jak mało który temat w toczonych dyskusjach społecznych nie budzi kontrowersji.

Problematyka bezpieczeństwa ruchu drogowego jest wszechobecna na wszystkich etapach budowy i utrzymania dróg, przede wszystkim zaś na etapie planowania układów oraz projektowania, a także w inżynierii ruchu drogowego. W ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się problematyce analiz bezpieczeństwa ruchu drogowego także w obrębie istniejących i eksploatowanych odcinków dróg. Jedną za najbardziej rozpowszechnionych metod, ukierunkowanych między innymi na aspekty bezpieczeństwa na już istniejących i eksploatowanych drogach, jest audyt bezpieczeństwa.

W celu uwzględnienia w audycie bezpieczeństwa wszystkich istotnych czynników, wpływających na bezpieczeństwo ruchu drogowego, konieczne jest także uwzględnienie aspektów, związanych ze stanem eksploatacyjnym nawierzchni drogowej, opisujących m.in. właściwości przeciwpoślizgowe, głębokość kolein czy równość. Stan nawierzchni jest wprawdzie wymieniany w większości instrukcji audytów bezpieczeństwa jako element, który powinien być brany pod uwagę, to jednak brak jest jak dotąd konkretnych algorytmów postępowania. Wynika to z wielu czynników. Jednym z najistotniejszych jest fakt, iż informacje o stanie

Identyfikacja miejsc niebezpiecznych ze względu na zły stan nawierzchni cz. I

Utworzono: poniedziałek, 21, grudzień 2009 08:50 Sławomir Heller, Tomasz Mechowski, Przemysław Harasim

~~nawierzchni, jakimi dysponuje zarządca, nakierowane są przede wszystkim na~~
wsparcie go w opracowywaniu średnio- i długoterminowych programów utrzymaniowych (PMS – Pavement Management System). Temu celowi podporządkowane zostały zarówno parametry opisujące stan nawierzchni, jak i stopień agregacji samych danych. Wskaźniki te są natomiast niewystarczające, aby na ich podstawie dokonywać analiz bezpieczeństwa ruchu.

Zasadniczym celem pracy było sformułowanie i uzasadnienie wymagań, stawianych metodzie identyfikacji i oceny nawierzchni, które zagwarantują możliwość wykorzystania danych o stanie do analiz bezpieczeństwa ruchu. Oparto się na doświadczeniach, zdobytych w ostatnich latach przy realizacji szeregu projektów w zakresie identyfikacji i oceny stanu w Niemczech (ZEB, Zustandserfassung und -bewertung). Metoda identyfikacji miejsc niebezpiecznych na podstawie danych o stanie nawierzchni została wdrożona w Polsce w 2008 roku w ramach realizacji jednego z zadań projektu CONNECT „Koncepcja monitoringu i zarządzania ruchem w warszawskim węźle dróg krajowych z uwzględnieniem wielkiej obwodnicy Warszawy (drogi krajowe nr 50 i 62)”.

Dane wykorzystywane w identyfikacji miejsc niebezpiecznych

Proces identyfikacji i oceny stanu nawierzchni drogowych ZEB (FGSV, 2006) jest realizowany w ramach dwóch, niezależnych procesów:

- identyfikacji stanu,
- oceny i analizy stanu.

Podczas identyfikacji stanu dokonywany jest pomiar parametrów nawierzchni w odniesieniu do takich jej cech, jak równość, właściwości przeciwpoślizgowe oraz uszkodzenia powierzchniowe w sposób na tyle uniwersalny, że na tej podstawie możliwe jest dokonywanie ocen oraz analiz dla wielorakich zastosowań.

Ocena i analiza stanu nawierzchni realizowane są zawsze przy uwzględnieniu określonych celów nadrzędnych i bazują na specyficznych, charakterystycznych dla danej dyscypliny metodach i technikach analitycznych. Dostosowanie tych metod i technik do faktycznych potrzeb zamawiającego jest niezbędne dla akceptacji metody.

Metody identyfikacji i oceny stanu nawierzchni zostały pierwotnie opracowane w celu wsparcia zarządcy przy podejmowaniu przez niego decyzji w zakresie planowania utrzymania nawierzchni drogowych, przede wszystkim zaś przy planowaniu średnio- i długoterminowych programów utrzymaniowych w obrębie sieci drogowej. Jednak już po kilku latach od wdrożenia w Niemczech regularnych „kampanii” identyfikacji i oceny stanu zauważono, że uzyskiwane dane mogą być wykorzystywane dla całego szeregu innych zastosowań (tablica 1). Jednym z takich zastosowań jest problematyka bezpieczeństwa ruchu.

Identyfikacja miejsc niebezpiecznych ze względu na zły stan nawierzchni cz. I

Utworzono: poniedziałek, 21, grudzień 2009 08:50 Sławomir Heller, Tomasz Mechowski, Przemysław Harasim

Obszary zastosowań	Scenariusz planowania	Wzrost zatrudnienia	Wzrost budżetu	Plan budowlany	Plan samochodowy	Automatyzacja (AMAC)
Długoterminowe planowanie programów utrzymania na poziomie sieci dla założonych budżetów	•	•				
Srednio- i długoterminowe planowanie zapotrzebowania na środki utrzymaniowe	•	•		•		
Kontrola realizacji celów utrzymaniowych	•	•		•		
Bilansowanie infrastruktury drogowej (wycena majątku)	•	•				
Ocena oferty jakościowej	•	•				☐
Ocena substancji	•	•				
Planowanie zabiegów na poziomie odcinka		•		•		
Ocena przydatności typów konstrukcji nawierzchni	•	•	•	•		
Podstawa dla prognozy stanu	•	•	•			
Weryfikacja modeli sieci drogowych		•				
Ewidencja dróg		•				
Analiza bezpieczeństwa ruchu drogowego		•	•			
Określenie sieciowych parametrów równości i szerokości dla potrzeb przemysłu samochodowego			•		•	•
Badanie parametrów geometrycznych dróg	•	•	•		•	•

Identyfikacja stanu nawierzchni, zgodnie z metodą ZEB obejmuje:

- identyfikację równości podłużnej (podprojekt 1a),
- identyfikację równości poprzecznej (podprojekt 1b),
- identyfikację właściwości przeciwpoślizgowych - współczynnik tarcia (podprojekt 2),
- identyfikację cech powierzchniowych nawierzchni (podprojekt 3),
- identyfikację parametrów geometrycznych drogi,
- wideorejestrację pasa drogowego.

Identyfikacja stanu jest dokonywana przy wykorzystaniu pojazdu pomiarowego, poruszającego się z taką prędkością, jak potok ruchu i tym samym nie powodującego zakłóceń ruchu drogowego. Na fot. 1 zilustrowano pojazd pomiarowy ARGUS firmy SCHNIERING Ingenieurgesellschaft mbH, służący do pomiaru wszystkich wymienionych powyżej cech nawierzchni z wyjątkiem współczynnika tarcia.



Fot. 1. Widok pojazdu pomiarowego ARGUS (źródło: Schniering Ing.-GmbH)

Współczynnik tarcia opisuje właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni drogowej. W Niemczech z reguły mierzony jest wskaźnik przyczepności poprzecznej, badany pojazdem SKM (fot. 2).

Identyfikacja miejsc niebezpiecznych ze względu na zły stan nawierzchni cz. I

Utworzono: poniedziałek, 21, grudzień 2009 08:50 Sławomir Heller, Tomasz Mechowski, Przemysław Harasim



Cechy powierzchniowe nawierzchni, w tym przede wszystkim uszkodzenia powierzchniowe, są identyfikowane dwuetapowo (fot. 3). W pierwszym etapie, podczas przejazdu pojazdem pomiarowym wykonane są za pomocą kamer o wysokich parametrach jakościowych zdjęcia nawierzchni w segmentach o wymiarach $\frac{1}{3}$ szerokości pasa x 1,0 m (tzw. makro-video). Dla 100-metrowego odcinka obliczeniowego wykonywanych jest zatem 300 zdjęć o wysokiej rozdzielczości i ostrości, które w drugim etapie są przedmiotem analizy uszkodzeń w laboratorium komputerowym. Dla nawierzchni asfaltowych kadra techniczna koduje, oddzielnie dla każdego z segmentów, ewentualny fakt zaistnienia jednego z następujących typów uszkodzeń: rysy i spękania siatkowe, rysy pojedyncze, łaty wbudowane, łaty nałożone, wyboje, przebitumowanie nawierzchni czy ubytki kruszywa. Dla nawierzchni betonowych oraz brukowych określone są inne typy cech powierzchniowych i uszkodzeń.



Dane elementarne podprojektu 1a, opisujące równość podłużną przedstawiają „rzeczywisty profil” nawierzchni wzdłuż prawego koła pojazdu pomiarowego. Poszczególne punkty pomiarowe znajdują się w odstępach 10 cm wzdłuż trasy przejazdu. Na podstawie profilu podłużnego możliwe jest określenie wskaźników stanu dla odcinków obliczeniowych o długości np. 100 metrów. W celu graficznej prezentacji wyników na diagramach z danymi elementarnymi umieszcza się wartości następujących wskaźników stanu:

- gęstość spektralna,
- wskaźnik reakcji nierówności podłużnej,
- wartość średnia symulacji planografem na bazie łaty 4-metrowej,
- wartość maksymalna symulacji planografem na bazie łaty 4-metrowej,
- międzynarodowy wskaźnik nierówności (IRI).

Każdy z nich dokumentuje inny aspekt nierówności podłużnej.

Identyfikacja miejsc niebezpiecznych ze względu na zły stan nawierzchni cz. I

Utworzono: poniedziałek, 21, grudzień 2009 08:50 Sławomir Heller, Tomasz Mechowski, Przemysław Harasim

Gęstość spektralna (niem: AUN – Allgemeine Unebenheit) jest miarą nierówności, bazującą na „falach” średniej i dużej długości, jest zatem miarodajna dla oceny „przejezdności” i komfortu jazdy. Gęstość spektralna jest stosunkowo nisko wrażliwa na nierówności skokowe, np. uskoki w usytuowaniu płyt betonowych lub progi, spowodowane błędami technologicznymi.

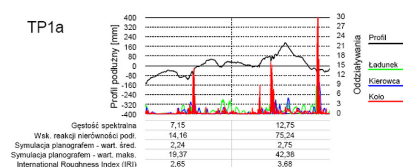
Wskaźnik reakcji nierówności podłużnej (niem: LWI – Längsebenheitswirkindex) został wprowadzony w celu uzupełnienia wskaźnika AUN o możliwość uwzględnienia nierówności skokowych oraz periodycznych. Wskaźnik LWI bazuje na symulacji wpływu nierówności na: koło pojazdu, ładunek oraz kierowcę. Jako miarodajne dla oceny przyjmuje się maksymalne z tych oddziaływań. W analizach bezpieczeństwa ruchu drogowego wskaźnik LWI odgrywa fundamentalną rolę. Umożliwia on bowiem symulację oddziaływań istniejących nierówności na pojazd dla różnych prędkości, także znacznie odbiegających od prędkości projektowej. Przy pewnych konstelacjach nierówności konsekwencje poruszania się z bardzo dużą prędkością mogą prowadzić do bardzo niekorzystnych zjawisk dynamicznych. Prędkość ruchu jest jednym z parametrów wskaźnika LWI.

Wartość średnia symulacji planografem wyraża nierówność jako średnią wartość z „prześwitu” pod łątą o długości 4 metrów, zarejestrowaną na całym odcinku obliczeniowym.

Wartość maksymalna symulacji planografem to maksymalna, zarejestrowana wartość „prześwitu” pod łątą o długości 4 metrów, zarejestrowana na całym odcinku obliczeniowym.

Międzynarodowy wskaźnik nierówności (ang.: IRI – International Roughness Index) jest jednym z najstarszych i najbardziej rozpowszechnionych na świecie wskaźników równości podłużnej.

Na diagramie z profilem podłużnym pokazane są ponadto symulowane oddziaływania nierówności na: ładunek, kierowcę, koło pojazdu. Informacje te stanowią istotne uzupełnienie treści diagramu. Umożliwiają one znacznie precyzyjniej zlokalizować lokalne nierówności, aniżeli byłoby to możliwe przy użyciu profilu podłużnego. Na rysunku 1 zilustrowano fragment profilu nierówności podłużnych.



Lokalne nierówności, prowadzące do skokowych obciążeń nawierzchni są niekiedy spowodowane takimi zjawiskami, jak np. przejście pomiędzy różnymi typami nawierzchni, czy też wjazdem lub zjazdem z obiektu mostowego. Profile z danymi elementarnymi umożliwiają dokonanie odpowiednich interpretacji. Ponadto

Identyfikacja miejsc niebezpiecznych ze względu na zły stan nawierzchni cz. I

Utworzono: poniedziałek, 21, grudzień 2009 08:50 Sławomir Heller, Tomasz Mechowski, Przemysław Harasim

oddziaływanie nawierzchni na koło pojazdu umożliwia precyzyjną lokalizację konkretnych nierówności, które stanowią quasi punkty referencyjne dla synchronizacji wyników pomiarów z dwóch lub więcej kampanii.

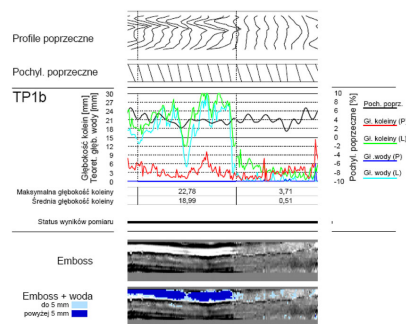
Dane elementarne podprojektu 1b opisują kształt poszczególnych przekrojów poprzecznych identyfikowanych w odstępach 1 metra. Dla każdego przekroju poprzecznego mierzone są rzędne punktów charakterystycznych w odstępach co 10 cm.

Bazując na tych pomiarach, na profilach z danymi elementarnymi rysowane są przekroje poprzeczne w odstępach 10 metrów. Mniejsze odstępstwa, np. co 1 metr lub co 5 metrów prowadziłyby do poważnego „zaciemnienia” czytelności profili, szczególnie w sytuacjach znacznego zróżnicowania kształtu sąsiadujących ze sobą profili. W celu wyraźniejszego podkreślenia kształtu profili poprzecznych stosowane są „skażone” skale: pionowa i pozioma.

Bazując na danych elementarnych dla każdego profilu poprzecznego (co 1 metr) obliczane są i przedstawiane na profilach z danymi elementarnymi następujące wskaźniki:

- pochylenie poprzeczne,
- głębokość koleiny po prawej stronie,
- głębokość koleiny po lewej stronie,
- teoretyczna głębokość wody po prawej stronie,
- teoretyczna głębokość wody po lewej stronie.

Wskaźniki te przedstawiane są na diagramie różnymi kolorami, których znaczenie jest wyjaśnione na legendzie umieszczonej po prawej stronie. Dla poszczególnych odcinków obliczeniowych określone są wartości średnie głębokości kolein oraz głębokości wody w koleinie, a wyniki umieszczane są pod diagramem (rys. 2).



Jako uzupełnienie wykresów z informacjami o głębokości kolein na dolnym panelu diagramu pokazywany jest „wirtualny” obraz nierówności poprzecznej. Jest to „relief” (tzw. emboss), umożliwiający szybki wgląd w dane o nierówności nawierzchni. Należy podkreślić, iż nie są to fotografie, lecz wygenerowane komputerowo grafiki, bazujące na trójwymiarowym modelu nierówności nawierzchni. Rysunki „emboss” pokazywane są w dwóch wariantach: bez

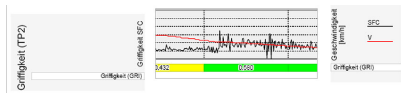
Identyfikacja miejsc niebezpiecznych ze względu na zły stan nawierzchni cz. I

Utworzono: poniedziałek, 21, grudzień 2009 08:50 Sławomir Heller, Tomasz Mechowski, Przemysław Harasim

~~zamarkowania (teoretycznej) wody w koleinach oraz z wodą, przy czym kolor jasnoniebieski oznacza płytką wodę (do 5 mm), ciemnoniebieski zaś głęboką (powyżej 5 mm).~~

Informacje o teoretycznej głębokości wody w koleinach mają znaczenie przy ocenie wpływu nierówności poprzecznych na bezpieczeństwo ruchu. Głębokość wody w koleinach, uzależniona zarówno od głębokości samych kolein, jak i od pochylenia poprzecznego, wskazuje na potencjalne niebezpieczeństwo, związane z aquaplaningiem.

W Niemczech właściwości przeciwpoślizgowe oceniane są na podstawie pomiaru współczynnika przyczepności poprzecznej, przy wykorzystaniu pojazdu SKM. Wynikami elementarnymi są wartości SFC oraz prędkości pomiarów, wyznaczane dla każdego metra bieżącego. Nanoszone są one na diagram jako linie w kolorach czarnym (SFC) i czerwonym (V); patrz: rysunek 3.



Dane elementarne o uszkodzeniach powierzchniowych są kodowane oraz wizualizowane inaczej dla nawierzchni asfaltowych i inaczej dla nawierzchni betonowych. Z uwagi na fakt, iż w Polsce zdecydowana większość nawierzchni to nawierzchnie asfaltowe, w niniejszym opracowaniu skoncentrowano się jedynie na opisie wizualizacji uszkodzeń powierzchniowych nawierzchni asfaltowych.

Przedmiotem wizualizacji są następujące uszkodzenia nawierzchni, względnie zdarzenia:

- spękania siatkowe,
- łaty (nałożone lub wbudowane),
- wyboje,
- rysy i spękania,
- przebitumowanie.



Identyfikacja oraz kodowanie w plikach z danymi elementarnymi powyższych cech dokonywane są na bazie „wirtualnej” siatki o długości 1 metra oraz szerokości równej 1/3 szerokości pasa ruchu w kierunku poprzecznym. Na odpowiednich diagramach zaznaczone są zatem obszary, w obrębie których zarejestrowano określone zdarzenia. W przypadku łat rozróżnia się dodatkowo łaty nałożone (traktowane jako uszkodzenia) oraz wbudowane. Te ostatnie występują najczęściej w obszarach zabudowanych i są konsekwencją wykopów pod przewody lub instalacje. Prawidłowo wykonane łaty wbudowane nie są uważane (w niemieckiej

Identyfikacja miejsc niebezpiecznych ze względu na zły stan nawierzchni cz. I

Utworzono: poniedziałek, 21, grudzień 2009 08:50 Sławomir Heller, Tomasz Mechowski, Przemysław Harasim

~~metodzie oceny nawierzchni) za poważne uszkodzenia i inaczej oceniane aniżeli łatynałożone, charakteryzujące się ograniczoną trwałością. Na rysunku 4 zilustrowano fragment diagramów z cechami powierzchniowymi.~~

dr inż. Sławomir Heller, Heller Ingenieurgesellschaft mbH, Niemcy

mgr inż. Tomasz Mechowski, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Polska

mgr inż. Przemysław Harasim, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Polska