



SŁAWOMIR HELLER<sup>1)</sup>  
TOMASZ MECHOWSKI<sup>2)</sup>  
PRZEMYSŁAW HARASIM<sup>3)</sup>

## WYKORZYSTANIE BADAŃ DIAGNOSTYCZNYCH STANU NAWIERZCHNI DO ROZPOZNANIA MIEJSC NIEBEZPIECZNYCH DLA UŻYTKOWNIKÓW DROGI<sup>4)</sup>

**STRESZCZENIE.** Celem pracy było sformułowanie i dokumentacja metody identyfikacji miejsc potencjalnego zagrożenia ruchu drogowego wskutek niezadowalającego stanu eksploatacyjnego nawierzchni drogowych. W referacie przedstawiono algorytm metody oraz sposoby wizualizacji i dokumentacji wyników analiz. Metodykę zastosowano w projekcie pilotażowym na dwóch odcinkach dróg krajowych (DK-8 i S-7) w okolicach Warszawy.

### 1. WPROWADZENIE

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.

<sup>1)</sup> dr inż. – Heller Ingenieurgesellschaft mbH, Niemcy

<sup>2)</sup> mgr inż. – Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie

<sup>3)</sup> mgr inż. – Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie

<sup>4)</sup> rozszerzona wersja referatu prezentowanego na konferencji ENVIROAD 2009

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 nawierzchni, jakimi dysponuje Zarządca, nakierowane są przede wszystkim na wsparcie go w opracowywaniu średnio- i długoterminowych programów utrzymaniowych (ang. *Pavement Management System* - PMS). 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.

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 (niem. *Zustandserfassung und -bewertung*, ZEB) [1]. 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”.

## 2. DANE WYKORZYSTYWANE W IDENTYFIKACJI MIEJSC NIEBEZPIECZNYCH

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

- identyfikacja stanu,
- ocena i analiza stanu.

Podczas **identyfikacji stanu** dokonywany jest pomiar parametrów nawierzchni w odniesieniu do takich jej cech, jak równość, właściwości przeciwoślizgowe 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.

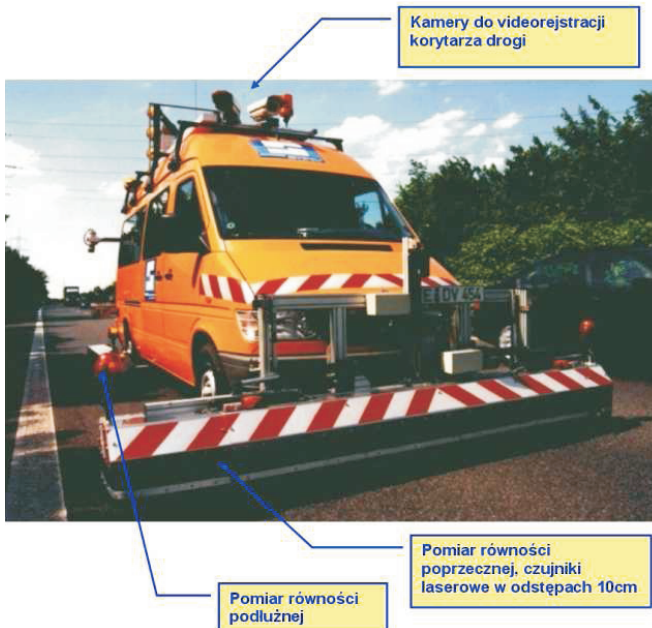
Metody identyfikacji i oceny stanu nawierzchni zostały pierwotnie opracowane w celu wsparcia zarządcy przy podejmowaniu przez niego decyzji w zakresie planowania utrzymania nawierzchni drogowych, przede wszystkim zaś przy planowaniu średnio- i długoterminowych programów utrzymaniowych w obrębie sieci drogowej. Jednak już po kilku latach od wdrożenia w Niemczech regularnych programów identyfikacji i oceny stanu zauważono, że uzyskiwane dane mogą być wykorzystywane dla całego szeregu innych zastosowań (tabl.1) [2, 3]. Jednym z takich zastosowań jest problematyka bezpieczeństwa ruchu.

Tablica 1. Obszary zastosowań danych o stanie nawierzchni [2]  
Table 1. Areas of applied data of pavement condition [2]

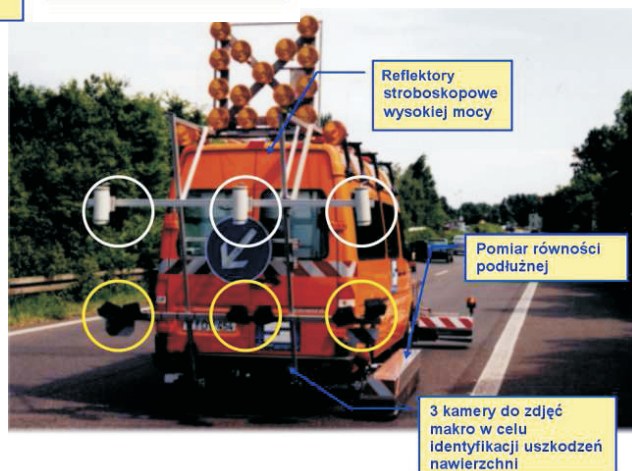
Obszary zastosowań	Szczebel federalny	Kraje związkowe	Instytuty badawcze	Firmy budowlane	Przemysł samochodowy	Automobilklub (ADAC)
Długoterminowe planowanie programów utrzymania na poziomie sieci dla założonych budżetów	•	•				
Średnio- i długoterminowe planowanie zapotrzebowania na środki utrzymaniowe	•	•		•		
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 szorstkości 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,
- videorejstrację 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 rysunku 1 zilustrowano pojazd pomiarowy ARGUS firmy SCHNIERING Ingenieuresellschaft mbH, służący do pomiaru wszystkich wymienionych powyżej cech nawierzchni z wyjątkiem współczynnika tarcia.



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

Fig. 1. ARGUS measurement device (source: Schniering Ing.-GmbH)

Współczynnik tarcia opisuje właściwości przeciwpoślizgowe nawierzchni drogowej. W Niemczech z reguły mierzony jest współczynnik tarcia poprzecznego, badany pojazdem SKM (rys. 2).



Rys. 2. Widok pojazdu pomiarowego SKM (źródło: Schniering Ing.-GmbH)  
Fig. 2. SKM measurement device (source: Schniering Ing.-GmbH)

Cechy powierzchniowe nawierzchni, w tym przede wszystkim uszkodzenia powierzchniowe, są identyfikowane dwuetapowo (rys. 3). W pierwszym etapie, podczas przejazdu pojazdem pomiarowym wykonane są za pomocą kamer o wysokich parametrach jakościowych zdjęcia nawierzchni w segmentach o wymiarach  $1/3$  szerokości pasa  $\times$  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 [4]. Dla nawierzchni asfaltowych koduje się, 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 [5]:

- gęstość spektralna,
- wskaźnik reakcji nierówności podłużnej,



- wartość średnia nierówności określonej z symulacji pomiaru planografem,
- wartość maksymalna nierówności określonej z symulacji pomiaru planografem,
- międzynarodowy wskaźnik równości (IRI).

Każdy z nich dokumentuje inny aspekt nierówności podłużnej.



Rys. 3. Przykład zdjęcia, wykonanego z w celu identyfikacji cech powierzchniowych nawierzchni (źródło: Schniering Ing.-GmbH)

Fig. 3. Example of picture made for identification of pavement surface characteristics (source: Schniering Ing.-GmbH)

**Wskaźnik nierówności** (niem. *Allgemeine Unebenheit* - AUN ) jest miarą nierówności, bazującą na „falach” średniej i dużej długości, jest zatem miarodajna dla oceny „przejezdności” i komfortu jazdy. Wskaźnik nierówności jest stosunkowo mało wrażliwy na nierówności skokowe, np. uskoki w usytuowaniu płyt betonowych lub progi, spowodowane błędami technologicznymi.

**Wskaźnik reakcji nierówności podłużnej** (niem. *Längsebenheitswirkindex* - LWI ) 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 układach 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 nierówności określonej z symulacji pomiaru planografem** wyraża nierówność jako średnią wartość z „prześwitu” pod łątą o długości 4 metrów, zarejestrowaną na całym odcinku obliczeniowym.

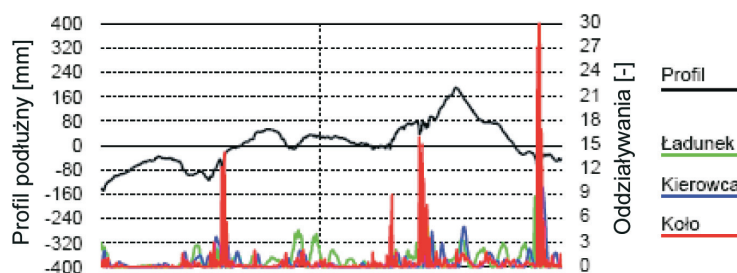
**Wartość maksymalna nierówności określonej z symulacji pomiaru planografem** to maksymalna, zarejestrowana wartość „prześwitu” pod łątą o długości 4 metrów, zarejestrowana na całym odcinku obliczeniowym.

**Międzynarodowy wskaźnik równości** (ang. *International Roughness Index - IRI*) 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 4 zilustrowano fragment profilu nierówności podłużnych.



Wskaźnik nierówności AUN	7,15	12,75
Wsk. reakcji nierówności podłużnej LWI	14,16	75,24
Symulacja planografem - wart. śred.	2,24	2,75
Symulacja planografem - wart. maks.	19,37	42,38
Międzynarodowy wskaźnik równości IRI	2,65	3,68

Rys. 4. Profil nierówności podłużnych  
Fig. 4. Profile of longitudinal unevenness

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

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 co 10 metrów. Mniejsze odstępki, 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.

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

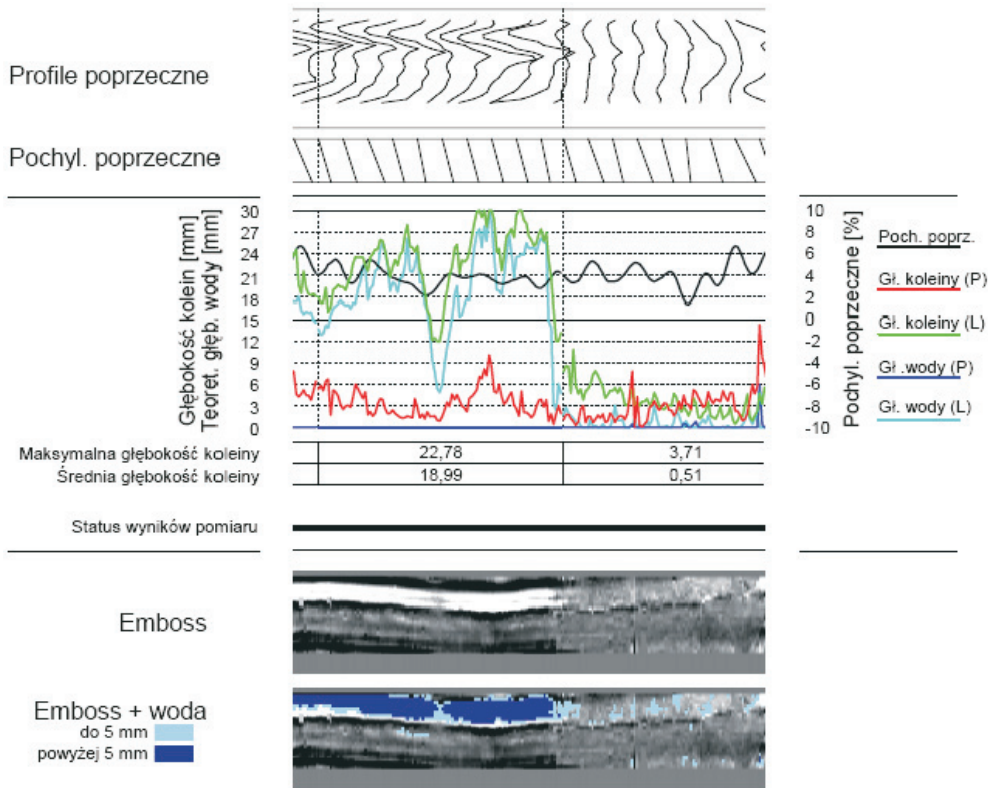
- pochylenie poprzeczne,
- głębokość koleiny po prawej stronie,
- głębokość koleiny po lewej stronie,
- teoretyczna głębokość wody po prawej stronie,
- teoretyczna głębokość wody po lewej stronie.

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. 5) [6].

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

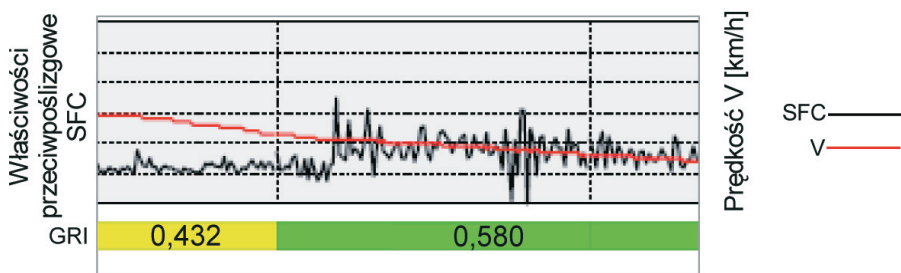
Informacje o teoretycznej głębokości wody w koleinach mają znaczenie przy ocenie wpływu nierówności poprzecznych na bezpieczeństwo ruchu. Głębokość wody w koleinach, uzależniona zarówno od głębokości samych kolein, jak i od pochylenia poprzecznego, wskazuje na potencjalne niebezpieczeństwo związane z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





Rys. 5. Diagram profilu poprzecznego  
Fig. 5. Diagram of transverse profile

W Niemczech właściwości przeciwpoślizgowe oceniane są na podstawie pomiaru współczynnika tarcia poprzecznego, przy wykorzystaniu pojazdu SKM. Wynikami elementarnymi są wartości SFC oraz prędkości pomiarów V, wyznaczane dla każdego metra bieżącego. Nanoszone są one na diagram (rys. 6) jako linie w kolorach czarnym (SFC) i czerwonym (V).

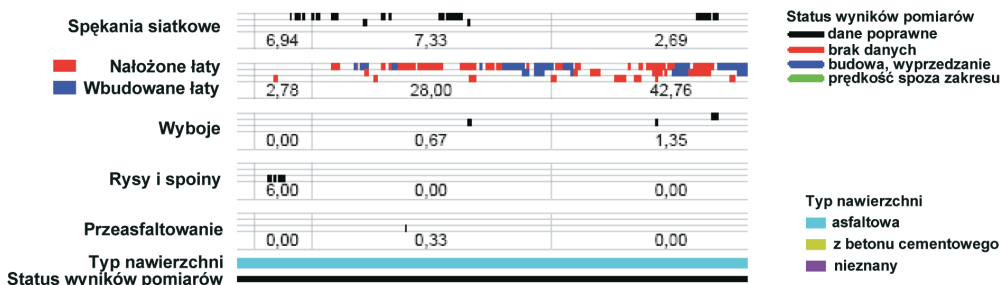


Rys. 6. Wizualizacja wyników pomiarów współczynnika tarcia poprzecznego GRI  
Fig. 6. Visualization of transverse friction coefficient measurements GRI

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,
- łąty (nałożone lub wbudowane),
- wyboje,
- rysy i spoiny,
- przeasfaltowanie.

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 łąt rozróżnia się dodatkowo łąty nałożone (traktowane jako uszkodzenia) oraz wbudowane. Te ostatnie występują najczęściej w obszarach zabudowanych i są konsekwencją wykopów pod przewody lub instalacje. Prawidłowo wykonane łąty wbudowane nie są uważane (w niemieckiej metodzie oceny nawierzchni) za poważne uszkodzenia i inaczej oceniane aniżeli łąty nałożone, charakteryzujące się ograniczoną trwałością. Na rysunku 7 zilustrowano fragment diagramów z cechami powierzchniowymi.



Rys. 7. Wizualizacja cech powierzchniowych nawierzchni asfaltowych na wybranym odcinku  
Fig. 7. Visualization of asphalt pavement surface characteristics at selected section

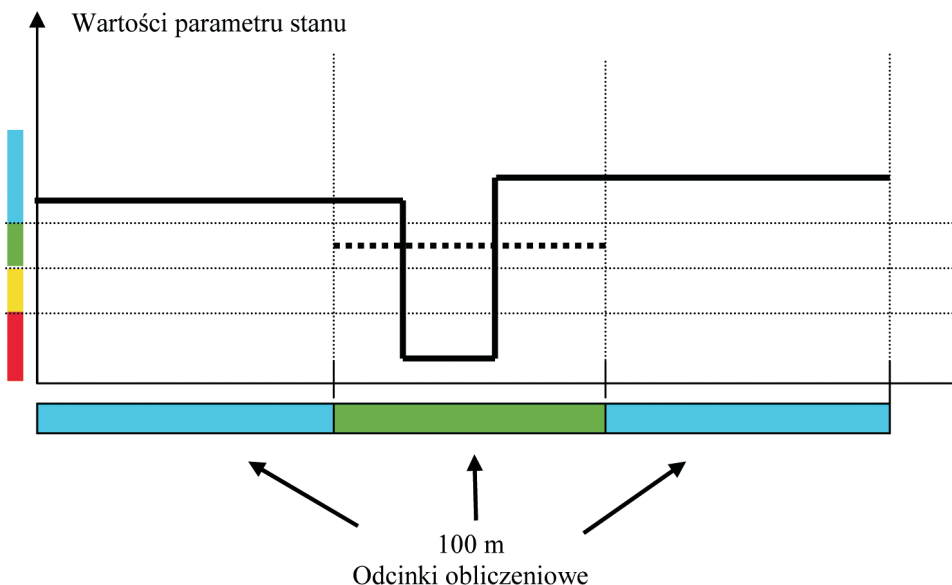
### 3. ALGORYTM METODY IDENTYFIKACJI MIEJSC POTENCJALNEGO ZAGROŻENIA BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO

Trudność w określeniu zależności pomiędzy stanem nawierzchni drogowej a zagrożeniem bezpieczeństwa ruchu drogowego wynika z opisywania stanu nawierzchni przy

wykorzystywaniu wskaźników, opracowanych dla innych zastosowań, przede wszystkim dla sterowania utrzymaniem dróg (PMS). Głównym mankamentem jest przy tym agregacja danych w obrębie odcinków obliczeniowych o długości 100 metrów i stałym położeniu przestrzennym.

Większość z wykorzystywanych w praktyce wskaźników stanu bazuje na wartościach średnich, obliczonych dla odcinków 100-metrowych na podstawie elementarnych wielkości, określonych dla każdego metra pasa drogowego, np. głębokość kolein, teoretyczna głębokość wody, współczynnik tarcia. Tymczasem bardzo często odcinki krótsze, np. 30-metrowe, w krytycznym stanie, sąsiadują z odcinkami dłuższymi w stanie dobrym lub bardzo dobrym, przez co te krytyczne odcinki są „neutralizowane” i nie wykazywane jako miejsca zagrożenia. W takim przypadku opisywana metoda traci swój charakter indykacyjny, umożliwiając wskazanie miejsc potencjalnie niebezpiecznych, gdyż jej wrażliwość na krótkie odcinki w krytycznym stanie jest niezadawalająca.

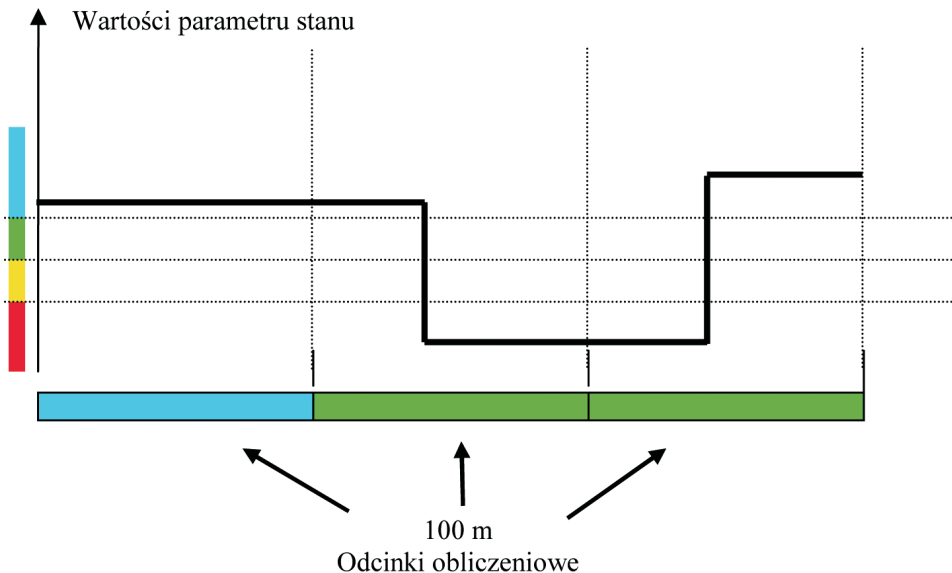
Na rysunku 8 zilustrowano symbolicznie opisywaną powyżej sytuację. Wartość średnia współczynnika tarcia dla środkowego odcinka obliczeniowego, mimo krótkiego odcinka w bardzo złym stanie, nie wskazuje na zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu, aczkolwiek ten krótki, (w tym przypadku 30-metrowy) odcinek z bardzo niskim współczynnikiem tarcia może stanowić realne zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu.



Rys. 8. „Neutralizacja” krótkiego odcinka w „krytycznym” stanie przez odcinek w dobrym stanie

Fig. 8. "Neutralization" of short section in critical condition by section in good condition

Kolejnym mankamentem metody jest sztywne położenie (stałe granice) odcinków obliczeniowych. Jeśli odcinek w „krytycznym stanie”, nawet o znacznej długości, np 100 metrów lub dłuższy, rozłożony jest pomiędzy dwoma, sąsiadującymi ze sobą odcinkami obliczeniowymi, wielkości parametrów stanu, wyznaczone dla poszczególnych odcinków obliczeniowych nie muszą wskazywać na zagrożenie bezpieczeństwa. Sytuację taką zilustrowano na rysunku 9.



Rys. 9. Neutralizacja „wartości krytycznych” w przypadku położenia odcinka w krytycznym stanie na granicy dwóch odcinków obliczeniowych

Fig. 9. Neutralization of "critical values" in case of placed the section in critical condition on the borderline of two computational sections

Z tego powodu wyniki analizy stanu w postaci wskaźników, obliczonych dla „sztywnych”, 100-metrowych odcinków obliczeniowych są niewystarczającą podstawą dla realizowania na ich podstawie analiz bezpieczeństwa ruchu. Nie umożliwiają one bowiem identyfikowania wszystkich „odcinków krytycznych”.

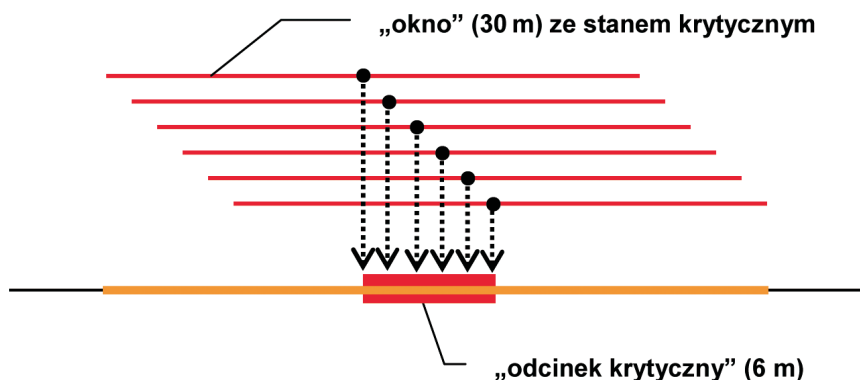
Alternatywna, wolna od powyższych mankamentów metoda wykorzystuje do tego celu średnią kroczącą (ang. *moving average*) dla okna obliczeń o długości krótszej od standardowego 100-metrowego odcinka obliczeniowego. Przyjmując założenie, że minimalna długość odcinka w krytycznym stanie, w obrębie którego może dojść do zagrożenia bezpieczeństwa ze względu na stan nawierzchni (naturalnie w przypadku superpozycji z innymi, niekorzystnymi zdarzeniami) wynosi 30 metrów, założono taką właśnie długość okna przy obliczeniu średniej kroczącej.

Analizę przeprowadza się dla następujących trzech, najsilniej wpływających na bezpieczeństwo ruchu, parametrów stanu:

- współczynnika tarcia poprzecznego (GRI),
- głębokości kolein (SPT),
- teoretycznej głębokości wody (SPH).

Celem metody jest zatem poszukiwanie odcinków o długości 30 metrów lub dłuższych, charakteryzujących się tym, że w ich obrębie wartość średnia dla powyższych parametrów przekracza pewien poziom progowy. Dla poszczególnych wskaźników stanu określone są poziomy graniczne, będące podstawą dla oceny stanu pod kątem planowania zabiegów utrzymaniowych. Poziomy graniczne ustalone są niezależnie dla każdego parametru stanu i zależą od kategorii drogi. Spośród poziomów granicznych (poziom optymalny, ostrzegawczy i progowy) dla analiz bezpieczeństwa najistotniejszym jest ten ostatni (niem: *Schwellenwert*). W celu identyfikacji odcinków krytycznych o długości minimum 30 metrów zaproponowano znacznie bardziej zastrzone poziomy progowe.

„Wirtualny” odcinek („okno”) o długości 30 metrów jest przesuwany wzdłuż pasa drogi, zaczynając na początku drogi ze skokiem, wynikającym z rozdzielczości danych elementarnych, tzn. co 1 metr. Dla każdego położenia „okna” obliczane są na podstawie danych elementarnych wartości średnie ze wszystkich pomiarów. Jeśli któraś z obliczonych wartości średnich przekracza poziom progowy, położenie środka „okna” jest zapamiętywane. Proces ten powtarzany jest dla wszystkich położenia „okna”, od początku do końca drogi. W przypadku, gdy kilka następujących po sobie położenia „okna” wskazuje na przekroczenie poziomu krytycznego, następuje ich agregacja. Punkty środkowe „okien” ze stanem krytycznym wyznaczają „odcinki krytyczne”. Długość poszczególnych odcinków krytycznych może być naturalnie krótsza aniżeli długość „okna” (rys. 10).



Rys. 10. „Okno” ze stanem krytycznym oraz „odcinek krytyczny”  
Fig. 10. "Window" with critical condition and "critical section"



Wyniki analizy zapisywane są w bazie danych. Dla każdego poziomu progowego wskaźników stanu konieczne jest przeprowadzenie niezależnych obliczeń. Powyższa metoda została przetestowana na bardzo dużej próbie danych, dla ponad 100 000 kilometrów pasa ruchu dla dróg o różnych kategoriach i tym samym została potwierdzona jej wykonalność.

#### 4. ZASTOSOWANIE METODY NA ODCINKACH DRÓG W POLSCE

Opisana wcześniej metodyka została praktycznie przetestowana w ramach kompleksowego projektu identyfikacji i analizy stanu nawierzchni w obrębie dwóch odcinków dróg krajowych w pobliżu Warszawy: S-7 (oznaczana w dalszej części K7) oraz DK-8 (oznaczana jako K8). W ramach tego projektu identyfikacji stanu nawierzchni w zakresie równości oraz właściwości przeciwpoślizgowych wykonała Firma SCHNIERING Ingenieurgesellschaft mbH z Essen (Niemcy), zaś transformację danych elementarnych o stanie nawierzchni oraz wizualizację danych elementarnych na profilach liniowych przeprowadziła firma TRANSCOMP z Warszawy, wykorzystując do tego celu oprogramowanie, wykonane we współpracy z firmą HELLER Ingenieurgesellschaft mbH.

W ramach niniejszego projektu pilotażowego zrealizowano następujące prace:

- pomiar cech nawierzchni w zakresie równości podłużnej i poprzecznej, współczynnika tarcia oraz videorejestracji pasa drogowego,
- zakodowanie danych pomiarowych w plikach z danymi elementarnymi w standardzie „GEO”,
- digitalizacja filmu video i utworzenie plików ze zdjęciami pasa drogowego w odstępach co 10 metrów,
- transformacja plików z danymi elementarnymi ze standardu „GEO” do standardu „RASTER”.
- wizualizacja danych elementarnych na profilach,
- wyznaczenie wskaźników stanu dla odcinków obliczeniowych o długości 100 metrów,
- wizualizacja danych o stanie na mapach sieciowych (mapy tematyczne),
- wyznaczenie odcinków krytycznych w obrębie zidentyfikowanych odcinków dróg.

Podstawowym celem projektu pilotażowego było potwierdzenie możliwości praktycznego zastosowania metody w warunkach polskich. W szczególności przedmiotem projektu była realizacja prac identyfikacyjnych w odniesieniu do stanu nawierzchni drogowej w standardzie, umożliwiającym wykorzystanie zebranych danych do wielorakich analiz, w tym także do analizy miejsc potencjalnego zagrożenia bezpieczeństwa ruchu drogowego. Wyniki prac udowodniły, iż identyfikacja może być przeprowadzona efektywnie i przy stosunkowo niskich nakładach, szczególnie przy uwzględnieniu uzyskanych efektów.

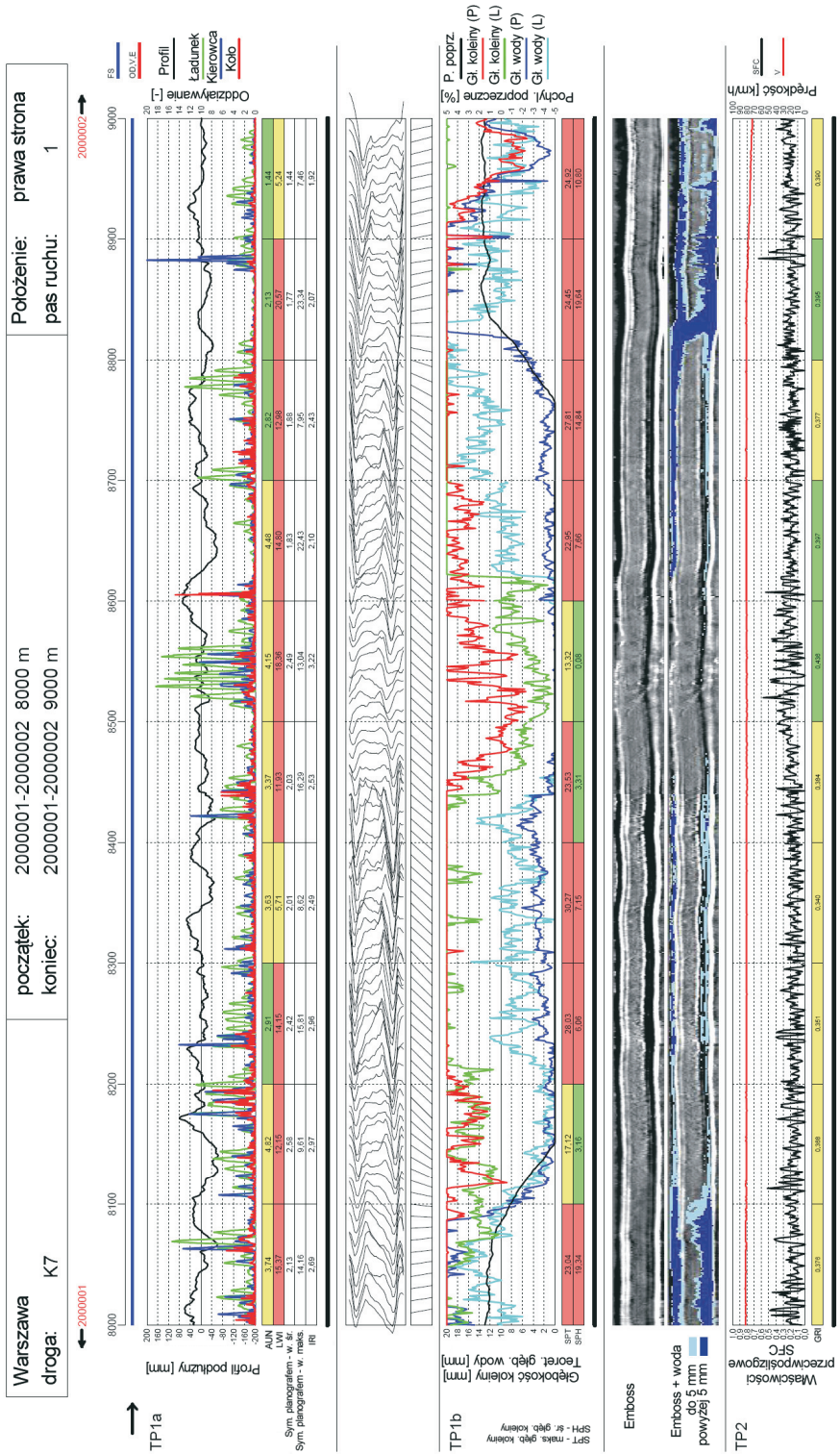
Na bazie zidentyfikowanych danych dokonano automatycznej identyfikacji odcinków potencjalnego zagrożenia bezpieczeństwa ruchu. Wyniki te mogą stanowić podstawę dla zaawansowanych analiz eksperckich, np. przy wykorzystaniu specjalistycznych narzędzi decyzyjnych, jak np. program ZEB OnKo.

Pomiar cech nawierzchni w zakresie równości podłużnej i poprzecznej został wykonany zgodnie ze standardem, obowiązującym w Niemczech i określanym jako „Metoda ZEB”. Pomiarów dokonano na długości 72 kilometrów pasa ruchu w obrębie pierwszego i drugiego pasa w kierunku rosnącego pikietaża na 2 odcinkach dróg krajowych: S-7 i DK-8. Videorejstracja pasa drogowego wykonana została podczas pomiarów pojazdem ARGUS z kamery frontowej, umieszczonej na dachu pojazdu pomiarowego. Filmy video z ujęciami pasa drogowego zostały zdigitalizowane w celu uzyskania pojedynczych zdjęć, które mogą być zintegrowane w ramach systemów informacji drogowej. W ramach niniejszego projektu pilotażowego dokonano digitalizacji zdjęć w odstępach co 10 metrów. Na rysunku 11 pokazano przykład zdjęcia pasa drogowego.



Rys. 11. Przykład zdjęcia pasa drogowego  
Fig. 11. Example of traffic line picture

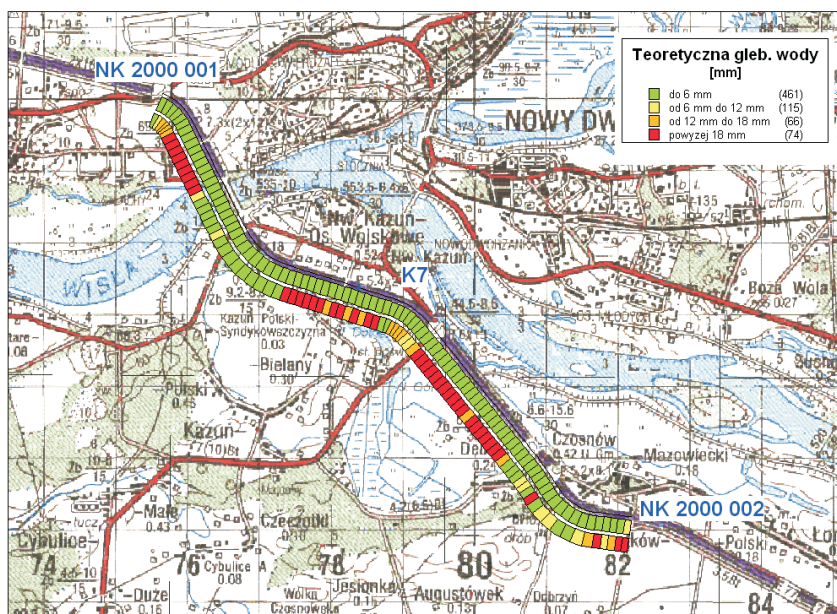
W ramach niniejszego projektu pilotażowego wygenerowano profile z danymi elementarnymi dla wszystkich zidentyfikowanych danych elementarnych. Na jednym profilu przedstawione są dane dla 1 kilometra pasa ruchu. Pliki z profilami zostały zapamiętane w standardzie PDF oraz dodatkowo w plikach graficznych typu PNG, w celu umożliwienia ich ewentualnego wykorzystania w ramach systemów interaktywnej wizualizacji danych elementarnych oraz zdjęć video w ramach systemu ZEB OnKo [7] (w przypadku kontynuacji projektu). Na rysunku 12 pokazano przykład profilu z danymi elementarnymi.



Rys. 12. Przykład profilu z danymi elementarnymi  
 Fig. 12. Example of elementary data profile



Na podstawie danych elementarnych, zakodowanych w plikach „RASTER” obliczone zostały wskaźniki stanu dla odcinków obliczeniowych o długości 100 metrów. Wskaźniki stanu dla odcinków obliczeniowych zostały zwizualizowane na mapach tematycznych (rys. 13).



Rys. 13. Mapa tematyczna. Odcinek pomiarowy K 7, teoretyczna głębokość wody  
Fig. 13. Thematic map. Measurement section K-7, theoretical water depth

Na podstawie wyników pomiarów określono odcinki krytyczne dla poszczególnych parametrów oraz ich statystyki (tabl. 2).

Tablica 2. Wyniki analizy statystycznej odcinków krytycznych  
Table 2. Statistical analysis results of critical sections

Parametr	Wymagana długość [m]	Zkryty	Długość całkowita [m]	Liczba odcinków krytycznych	Średnia długość [m]	Minimalna długość [m]	Maksymalna długość [m]
GRI	30	0,20	8	2	4	1	7
GRI	30	0,25	137	12	11	2	44
GRI	30	0,30	2020	87	23	2	133
SPH	30	10	13352	113	118	2	1229
SPH	30	15	6117	69	89	2	619
SPH	30	20	2780	34	82	3	464
SPH	30	25	1085	24	45	2	275
SPT	30	30	5432	87	62	2	442
SPT	30	40	299	14	21	3	78

## 5. WNIOSKI I KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

W celu potwierdzenia możliwości realizacji pełnego procesu identyfikacji miejsc potencjalnego zagrożenia bezpieczeństwa ruchu na podstawie danych o stanie nawierzchni zrealizowano projekt pilotażowy, w którym przetestowano wszystkie „krytyczne” elementy proponowanej metody. W ramach projektu pilotażowego dokonano identyfikacji stanu nawierzchni oraz videorejestracji pasa drogowego w obrębie stosunkowo krótkich, jednak silnie obciążonych odcinków dróg krajowych. Zebrane dane poddano analizie w pełnym, wymaganym przez zaproponowaną metodę zakresie, niezbędnym dla stworzenia podstawy dla analiz eksperckich. Wynikiem tych analiz jest lista odcinków, w odniesieniu do których zachodzi podejrzenie, iż wskutek koncentracji w ich obszarze nierówności względnie miejsc o niezadawalających właściwościach przeciwpoślizgowych może być zagrożone bezpieczeństwo ruchu. Odcinki te, wyłonione automatycznie w procesie indykacyjnym, szczególnie zaś te o najwyższym stopniu zagrożenia, powinny zostać poddane dalszym analizom eksperckim.

Aby opracować konkretne procedury do rutynowego wykorzystania w zarządzaniu eksploatacją dróg należy podjąć dalsze badania w następujących kierunkach:

1. Sformułowanie nowych, specjalistycznych parametrów stanu, zorientowanych na jak najlepszy opis potencjalnych zagrożeń bezpieczeństwa ruchu. Powinny one uwzględniać przede wszystkim nierówności nawierzchni oraz parametry geometryczne drogi, takie jak promień krzywizny, pochylenie podłużne i poprzeczne. Nowe wskaźniki nie operowałyby, tak jak dotychczasowe, wartościami średnimi, lecz uwzględniały kształt nierówności (kolein) oraz położenie wody w koleinach. Dotychczas można dokonywać takiej oceny jedynie na podstawie wizualizacji danych elementarnych na profilach stanu w ramach analiz eksperckich. Celem, przyświecającym wprowadzeniu nowych parametrów jest ustandaryzowanie części prac analitycznych i umożliwienie daleko posuniętej automatyzacji, a przez to zwiększenie obiektywizmu przy formułowaniu wniosków odnośnie zabiegów profilaktycznych.
2. Implementacja narzędzi informatycznych, wspomagających Zarządcę w realizacji prac eksperckich w odniesieniu do oceny miejsc, wskazanych przez system jako miejsca potencjalnego zagrożenia bezpieczeństwa ruchu. Takie narzędzia informatyczne musi cechować wysoka ergonomiczność oraz kompatybilność z innymi, wykorzystywanymi standardowo w Polsce systemami informatycznymi. Możliwym wzorcem w tym zakresie mógłby być system ZEB OnKo.
3. W celu potwierdzenia skali problemu zagrożenia bezpieczeństwa z uwagi na zły stan nawierzchni drogowych wskazane byłoby przeprowadzenie badań zależności wskaźników wypadkowości oraz odpowiednio zdefiniowanych, kompleksowych parametrów stanu, uwzględniających także elementy geometrii drogi.



**BIBLIOGRAFIA**

- [1] ZTV ZEB-St. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen. FGSV. Bonn 2006
- [2] *Heller S.*: PMS, Systemy utrzymania nawierzchni drogowych. Magazyn Autostrady, nr 3/2007
- [3] *Heller S., Maerschalk G.*: Entwicklung und Realisierung eines aufgabenspezifischen Auswertekatalogs der Jahres- und 2-Jahres-ZEB. Teil: Aufgabenbezogene Qualitätssprüfung der Zustandsdaten. Heller Ing.-GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn 2007
- [4] *Heller S.*: Entwicklung und Realisierung eines aufgabenspezifischen Auswertekatalogs der Jahres- und 2-Jahres-ZEB, Heller Ing.-GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn
- [5] *Heller S., Maerschalk G.*: Entwicklung und Realisierung eines aufgabenspezifischen Auswertekatalogs der Jahres- und 2-Jahres-ZEB, Teil: Rohdaten. Heller Ing.-GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn 2007
- [6] ASB – Anweisung Straßeninformationsbank. Teil: N, Netzdaten, Bundesminister für Verkehr, Bonn 2005
- [7] *Heller S.*: Programm ZEB Online Kontrolle, Benutzerhandbuch, Heller Ing.-GmbH, Darmstadt nr 3/2008

**APPLICATION OF DIAGNOSTICS OF PAVEMENT CONDITIONS FOR IDENTIFICATION OF DANGEROUS PLACES FOR ROAD USERS****Abstract**

The main goal of the described project was formulation and documentation of the identification method of the potential road traffic risk caused by the unsatisfying exploitation condition of pavement. The paper presents the method's algorithm as well as the ways of visualization and documentation of the analysis results. The method was applied in pilot project on two national road sections (DK-8 and S-7) in Warsaw surroundings.

