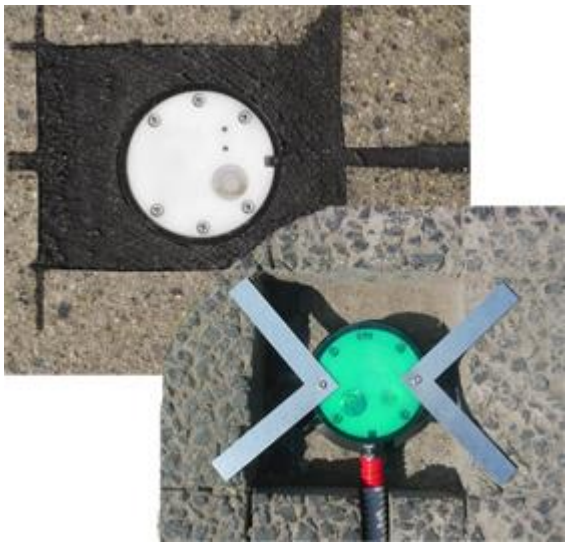
Krzysztof BRZOZOWSKI, Andrzej MACZYŃSKI, Artur RYGUŁA

WSTĘPNA OCENA POWTARZALNOŚCI WSKAZAŃ MOBILNEGO CZUJNIKA WARUNKÓW DROGOWYCH

W artykule przedstawiono wyniki badań drogowych związanych z oceną powtarzalności wskazań mobilnego czujnika warunków drogowych. Czujniki takie coraz częściej stosowane są przez zarządców dróg do oceny ich aktualnego stanu. Mogą również służyć do wyznaczania newralgicznych odcinków, na których najczęściej dochodzi do lokalnych zmian przyczepności jezdni. Przeprowadzone w ramach pracy testy dotyczą powtarzalności wskazań w zróżnicowanych warunkach oświetlenia (dzień, noc) oraz w zależności od prędkości przejazdu. Badania przeprowadzono dla czujnika MARWIS firmy Lufft na wybranym odcinku testowym obejmującym drogi o różnym natężeniu ruchu i sposobie utrzymaniu w sezonie zimowym.

WSTĘP

Informacja o aktualnym stanie nawierzchni (temperatura jezdni, stan nawierzchni – mokra/sucha/lód) jest bardzo przydatna dla kierowców, szczególnie w sytuacji gdy temperatura jezdni jest bliska 0°C. Dzięki niej kierowca posiada świadomość o pogarszającej się przyczepności, na przykład gdy przejeżdża przez las, wiadukt lub w pobliżu cieku wodnego. Taka wiedza uczestników ruchu zdecydowanie wpływa na podniesienie jego bezpieczeństwa. Dla zarządców dróg cenne mogą być natomiast analizy wskazujące miejsca, w których najczęściej dochodzi do lokalnego wystąpienia wilgotnej lub pokrytej warstwą lodu jezdni. W przypadkach załamania pogody pozwala to na szybkie, a dzięki temu skuteczne, reagowanie na newralgicznych odcinkach drogi.



Rys. 1. *Pasywny czujnik warunków drogowych IRS31 firmy Lufft montowany w nawierzchni jezdni, źródło: https://www.test-therm.pl/katalog-produktow (15.02.2018)*

Czujniki określające stan nawierzchni są obecnie standardowym wyposażeniem stacji meteorologicznych wykorzystywanych w ramach instalacji inteligentnych systemów transportowych (ITS). Często informacje pochodzące z tych czujników wyświetlane są bezpośrednio na znakach o zmiennej treści (VMS). Zwykle czujniki te zabudowane są w jezdni (rys. 1), choć coraz częściej spotkać można także czujniki bezinwazyjne, montowane na bramownicy lub innym elemencie wsporczym. Przykładami takich rozwiązań są nieinwazyjny czujnik warunków drogowych NIRS31 firmy Lufft, czujnik Vaisala DSC111, a także czujnik temperatury nawierzchni drogi DST111 LAB-EL (rys. 2). Informacja pozyskiwana z takich czujników dotyczy ustalonej, ściśle określonej lokalizacji. Na podstawie ich wskazań trudno wnioskować o stanie nawierzchni w niewielkim nawet oddaleniu od lokalizacji stacji meteorologicznej.

Rys. 2. *Zdalny czujnik temperatury nawierzchni DST111 produkcji firmy LAB-EL, źródło: http://www.label.pl/po/rek_dst111.html (15.02.2018)*

Naturalnym uzupełnieniem sieci stacjonarnych czujników warunków drogowych są czujniki mobilne. Montowane są one na pojeździe i umożliwiają ciągły pomiar w trakcie jazdy. W połączeniu z nadajnikiem GPS każdy pomiar jednostkowy czujnika może być skorelowany z pozycją geograficzną. Czujniki mobilne mogą być wykorzystywane do identyfikacji newralgicznych miejsc drogi, w których szczególnie często występują trudne warunki na jezdni. W wyznaczonych lokalizacjach mogą być później instalowane stacjonarne czujniki stanu nawierzchni, które, dzięki współpracy ze znakami VMS, będą w razie potrzeby ostrzegać kierowców o zwiększonym zagrożeniu. Koncepcję systemu informacji o warunkach drogowych w sieci komunikacyjnej miasta, który umożliwiałby także przeprowadzanie krótkoterminowej predykcji pogodowej pozwalającej na wczesne ostrzeganie jego użytkowników o zbliżającym się pogorszeniu warunków drogowych,

przedstawiono w [1]. W ramach systemu można wyróżnić trzy warstwy: pomiarową, obliczeniową oraz informacyjną. Najistotniejsza z nich, pomiarowa, wykorzystywałaby mobilne czujniki warunków drogowych montowane na przykład na pojazdach komunikacji publicznej. Na bazie tego rodzaju czujnika opracowano również prototyp „systemu mobilnej rejestracji drogowych warunków pogodowych". Prototyp został wykonany w ramach pracy badawczo-rozwojowej zrealizowanej na zlecenie APM PRO sp. z o.o. System służy do rejestracji danych pobieranych z mobilnego czujnika stanu nawierzchni, odbiornika GPS, akcelerometru oraz chwilowych prędkości ruchu pojazdu z magistrali CAN. Jego zadaniem jest także przetworzenie uzyskanych informacji do ustandaryzowanej postaci oraz przekazanie ich do zewnętrznej bazy danych. Prototyp omówiony został w publikacji [5]. Wyniki pomiarów przeprowadzonych z użyciem mobilnego czujnika temperatury mogą stanowić także podstawę dla opracowania map termicznych drogi [3].

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań drogowych związanych z oceną powtarzalności wskazań mobilnego czujnika warunków drogowych. Przeprowadzone testy miały dać odpowiedź między innymi na pytanie o powtarzalność wskazań w warunkach zróżnicowanego oświetlenia (dzień, noc) oraz prędkości przejazdu. Badania przeprowadzono na odcinku testowym obejmującym drogi o różnym natężeniu ruchu i poziomie utrzymania w sezonie zimowym.

1. CHARAKTERYSTYKA CZUJNIKA MARWIS

Badania przedstawione w niniejszym artykule przeprowadzono dla mobilnego czujnika drogowego MARWIS produkowanego przez firmę Lufft. Widok czujnika przedstawiono na rys. 3. Służy on do detekcji stanu nawierzchni, dostarczając następujące informacje:

- temperatura nawierzchni - mierzona za pomocą nieinwazyjnego pirometru,
- temperatura punktu rosy - określająca wartość temperatury powietrza, dla której osiągnięty zostanie stan nasycenia parą wodną; jest to bardzo istotny parametr gdyż proces kondensacji pary wodnej na powierzchni drogi zaczyna się w momencie, gdy temperatura drogi spadnie poniżej temperatury punktu rosy; może to spowodować między innymi zjawisko gołoledzi,
- względna wilgotność powietrza nad powierzchnią drogi - obliczana na podstawie wilgotności bezwzględnej oraz temperatury nawierzchni; może służyć jako wskaźnik określający możliwość tworzenia się rosy lub szronu,
- wysokość filmu wodnego - mierzona jest za pomocą nieinwazyjnej spektroskopii optycznej; wskazuje udział ciekłej wody w warstwie substancji pokrywającej jezdnię,
- procent lodu - na podstawie danych ze spektroskopii optycznej określa procent zamrożonej części roztworu wodnego na jezdni,
- tarcie - opisuje przyczepność opon na nawierzchni drogi; jest skalowane w zakresie od 0,1 do 1,0; wysokie wartości wskazują na dużą przyczepność, niskie wartości oznaczają małą przyczepność; najwyższa wartość (1,0) zostanie osiągnięta, gdy droga będzie sucha, podczas gdy najniższy wynik (0,1) pojawi się w wodzie na lodzie; wskazuje, do jakiego stopnia osiągnięto maksymalną możliwą przyczepność konkretnej drogi, lub z drugiej strony o ile została ona zmniejszona przez aktualny stan jezdni; należy zauważyć, że identyczne wartości tarcia na różnych nawierzchniach dróg oznaczają różną przyczepność,
- stan nawierzchni - określany na podstawie pomiaru wysokości warstwy wody, temperatury powierzchni drogi i procentowej zawartości lodu; aktualnie czujnik rozróżnia 9 stanów nawierzchni: sucha, wilgotna, mokra, lód, pokrywa śniegu/lodu, środek chemiczny, błoto pośniegowe, krytyczny, pokrywa śnieżna.

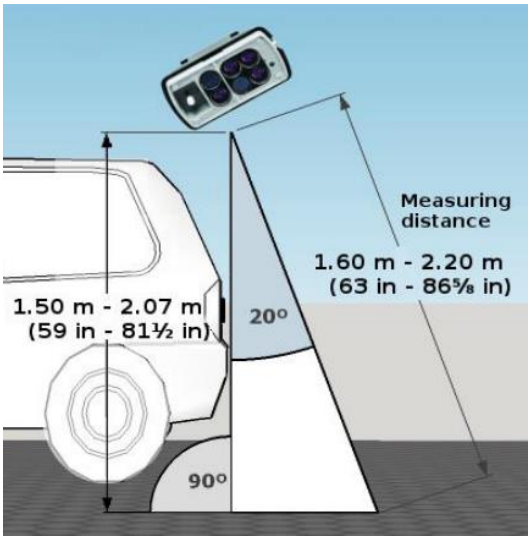
Przykładowe wyniki pomiarów wykonanych z użyciem mobilnych czujników Vaisala DCT111 (pomiar temperatury nawierzchni) oraz DCS 111 (określenie stanu nawierzchni) zamieszczono w [2].

Podstawowe parametry techniczne czujnika MARWIS zestawiono w tabeli 1.

Rys. 3. *Mobilny czujnik drogowy MARWIS, źródło: [6]*

Tab. 1. *Parametry techniczne czujnika MARWIS*

Waga	1,7 kg
Stan nawierzchni	sucha, wilgotna, mokra, lód, pokrywa śniegu/lodu, środek chemiczny, błoto pośniegowe, krytyczny, pokrywa śnieżna
Tarcie (względna przyczepność nawierzchni)	Zakres pomiarowy: 0...1 Częstotliwość próbkowania: 100Hz
Temperatura punktu rosy	
Zakres pomiarowy	-50 ... 60 °C
Dokładność pomiaru	±1,5°C (temperatura 0...35° C)
Temperatura nawierzchni	
Zakres pomiarowy	-40 ... 70 °C
Dokładność pomiaru	± 0,8 °C @ 0°C
Rozdzielczość	0,1 °C
Wilgotność względna powietrza nad nawierzchnią drogi	
Zakres pomiarowy	0 ... 100 %
Wysokość filmu wodnego	
Zakres pomiarowy	0 ... 6000 µm
Rozdzielczość	0,1 µm

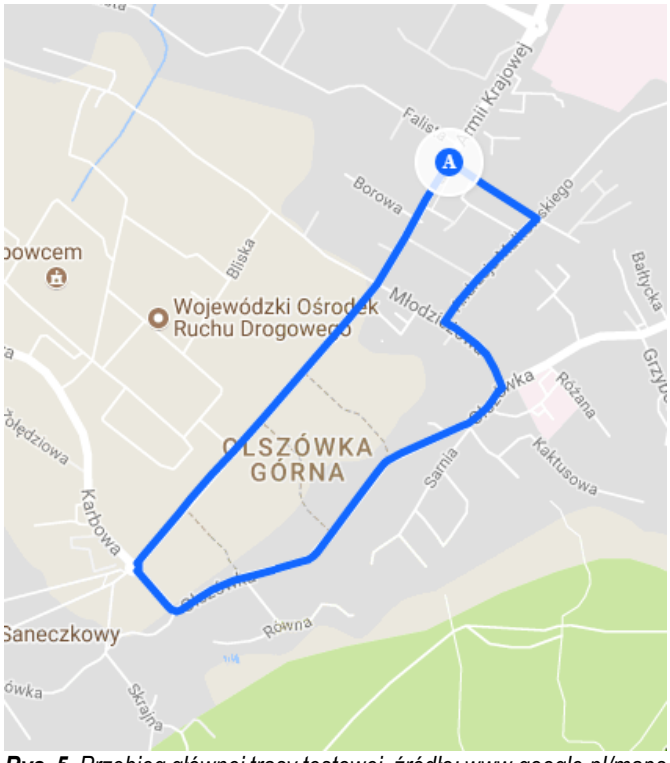


Rys. 4. *Warunki montażu czujnik MARWIS na dachu samochodu, źródło: [6]*

Czujnik MARWIS powinien być montowany na dachu samochodu w sposób przedstawiony na rys. 4 lub do powierzchni pionowych, np. tylnych drzwi większych pojazdów. Zgodnie z zaleceniami producenta [4] przed rozpoczęciem zasadniczych pomiarów należy przeprowadzić procedurę konfiguracyjną (adaptacyjną). W tym celu należy zainstalować czujnik na docelowym pojeździe – szczególnie istotne jest zachowanie tej samej wysokości podczas procedury dostosowawczej oraz w trakcie właściwych pomiarów. Adaptacja powinna być przeprowadzona na suchej drodze, przy czym rodzaj i struktura nawierzchni powinna być reprezentatywna dla obszaru objętego pomiarem. W trakcie procedury temperatura otoczenia musi być niższa niż 20 °C, a pojazd nieruchomy. Adaptacja nie może być przeprowadzana przy sztucznym świetle. Oprogramowanie MARWIS App dedykowane do obsługi urządzenia umożliwia zapisanie 10 różnych konfiguracji.

2. OPIS TRASY TESTOWEJ

Ponieważ planowane badania miały przede wszystkim dotyczyć powtarzalności wskazań czujnika MARWIS, a autorzy nie mają dostępu do profesjonalnego odcinka testowego o regulowanych warunkach panujących na jezdni, zdecydowano się na wybranie stosunkowo krótkiej trasy liczącej około 3 km. Chodziło o to aby kolejne przejazdy mogły być realizowane w niewielkich odstępach czasowych, aby zminimalizować wpływ zmian stanu jezdni związanych zarówno ze stanem atmosfery jak i powodowanych ruchem pojazdów. Jednocześnie trasa powinna prowadzić drogami o różnym natężeniu ruchu i poziomie utrzymania nawierzchni w sezonie zimowym, tak aby można było na niej zaobserwować zróżnicowane warunki drogowe. Przebieg głównej trasy testowej przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. *Przebieg głównej trasy testowej, źródło: www.google.pl/maps (15.02.2018)*

Wyznaczona trasa przebiega w terenie podgórskim na obszarze Bielska-Białej. Rozpoczyna się na ulicy Drobniewicza, która będąc drogą lokalną pełni funkcję dojazdową do osiedla domków jednorodzinnych. Jest to ulica z jednią asfaltową, w zimie odśnieżana mechanicznie, jednakże zwykle bez stosowania dodatkowych środków chemicznych. Następnie trasa przebiega ul. Małkowskiego, która będąc ulicą lokalną na całej długości stanowiącej trasę przejazdu jest objęta strefą zamieszkania. Ulica ta posiada nawierzchnię asfaltową, jednak obecny stan nawierzchni nie jest najlepszy. Utrzymanie zimowe jest analogiczne jak na ul. Drobniewicza. Kolejnymi ulicami, również lokalnymi, po których przebiega trasa testowa, są ul. Młodzieżowa oraz fragment ul. Olszówki. Są to ulice o mniej więcej podobnym obciążeniu ruchem, obie posiadają asfaltowe nawierzchnie jezdni, w zimie są odśnieżane, a w razie konieczności stosowane są na nich środki chemiczne. Najdłuższy odcinek trasy przebiega Alejami Armii Krajowej. Jest to ulica zbiorcza, wzdłuż której prowadzi trasa linii autobusowej nr 8, w związku z czym jest jedną z priorytetowych ulic miasta jeśli chodzi o utrzymanie zimowe. Trasa kończy się na ul. Drobniewicza.

3. TESTY

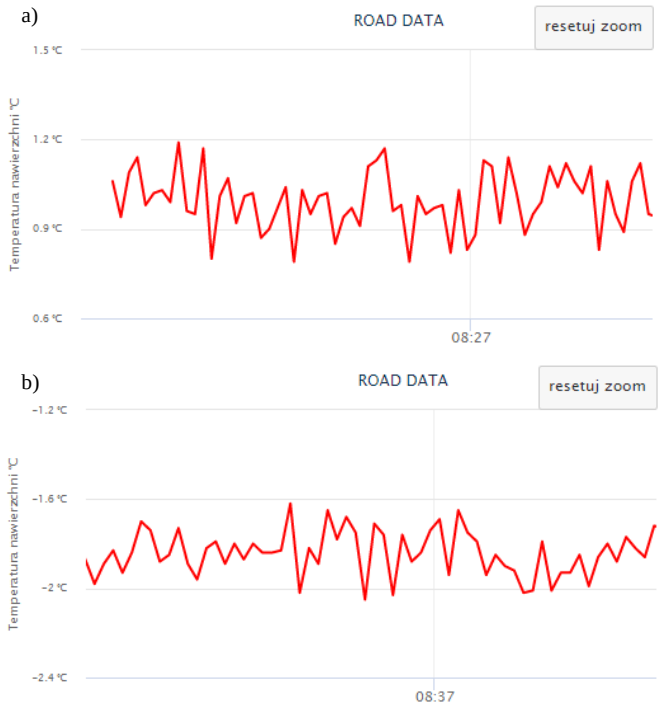
Badania drogowe przeprowadzono w lutym i na początku marca 2018 r. wykorzystując typowo zimową pogodę gwarantującą występowanie zróżnicowanych warunków drogowych na trasie testowej. Starano się przeprowadzać testy w stabilnych warunkach pogodowych, aby zminimalizować ich wpływ na aktualny stan nawierzchni. W pierwszym etapie oceny powtarzalności wyników pomiarów wykonywanych z wykorzystaniem czujnika MARWIS określono wahania wskazań dla warunków pomiarów stacjonarnych, czyli gdy samochód nie porusza się. Dodatkowo, ponieważ w instrukcji czujnika [4], producent wskazuje na konieczność przeprowadzenia procedury adaptacyjnej przy oświetleniu naturalnym, jednocześnie zbadano czy wykonywanie pomiarów po zapadnięciu zmroku ma wpływ na ich powtarzalność.

3.1. Testy stacjonarne

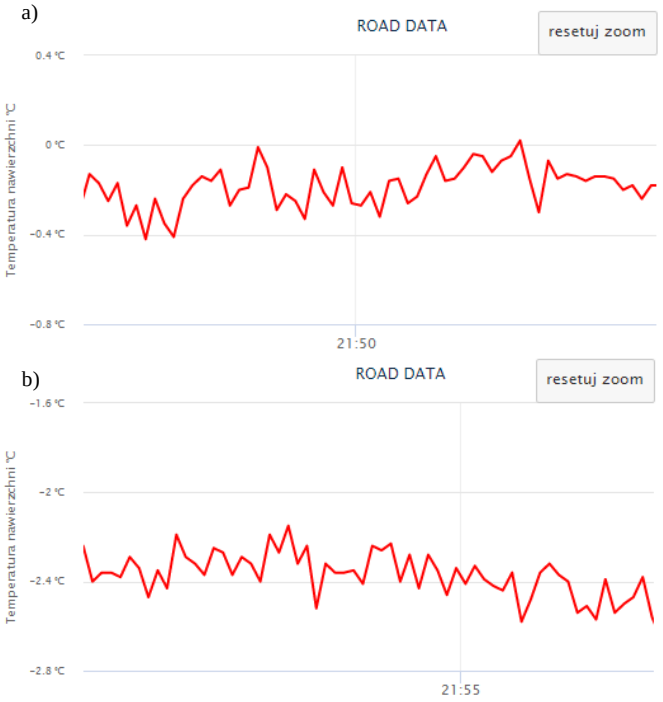
Testy stacjonarne przeprowadzono zarówno przy oświetleniu dziennym, jak i po zapadnięciu zmroku. Za każdym razem pomiar przeprowadzano dwukrotnie – raz dla nawierzchni suchej i raz dla jezdni pokrytej śniegiem. Na rys. 6 i 7 przedstawiono przebieg czasowy pomiaru temperatury nawierzchni jezdni oraz temperatury punktu rosy uzyskane dla warunków dziennych i nocnych. W tabeli 2 zastawiono uzyskaną wartość odchylenia standardowego dla pomiaru temperatury nawierzchni. Analizowany okres pomiaru za każdym razem wynosił 2 minuty.

Tab. 2. *Odchylenie standardowe pomiaru temperatury jezdni w warunkach stacjonarnych*

Warunki pomiaru	Odchylenie standardowe
dzień, jezdnia sucha	0,101
dzień, jezdnia pokryta śniegiem	0,150
noc, jezdnia sucha	0,094
noc, jezdnia pokryta śniegiem	0,116



Rys. 6. *Przebieg czasowy temperatury jezdni dla testu stacjonarnego przeprowadzonego w ciągu dnia a) jezdnia sucha b) jezdnia pokryta śniegiem*



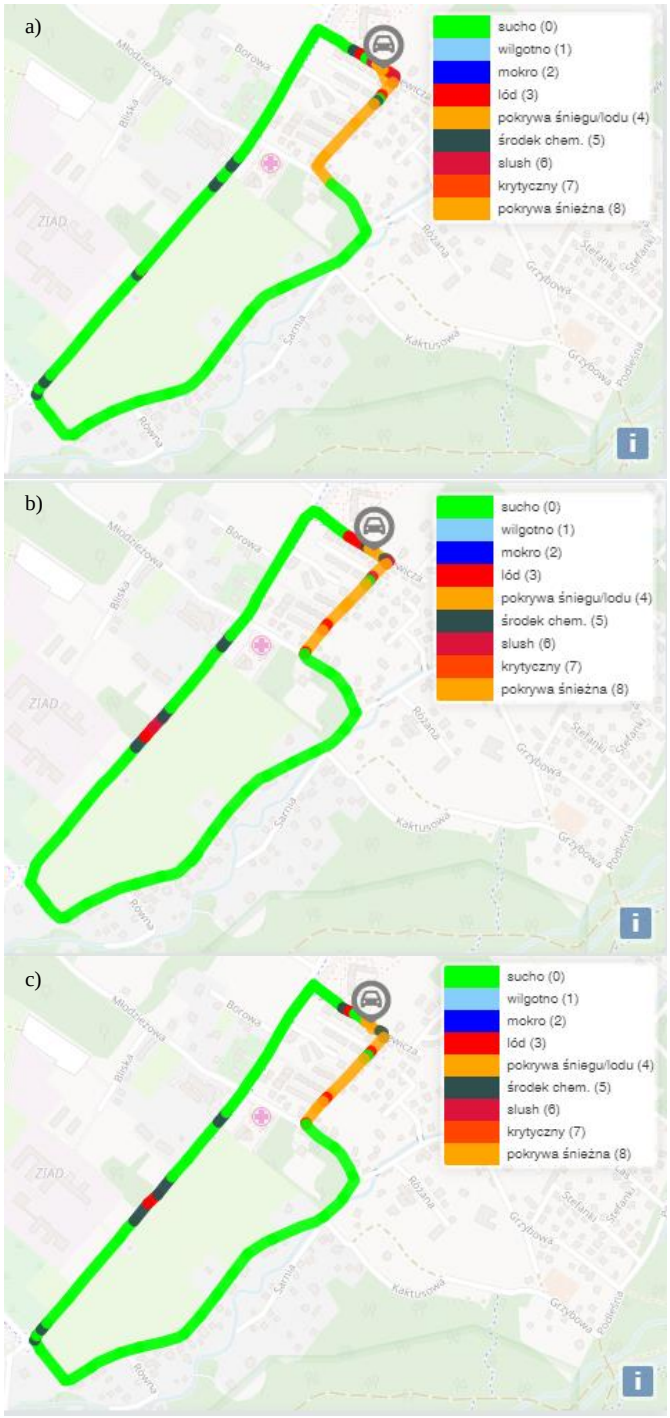
Rys. 7. *Przebieg czasowy temperatury jezdni dla testu stacjonarnego przeprowadzonego w ciągu nocy a) jezdnia sucha b) jezdnia pokryta śniegiem*

3.2. Wyniki przejazdów po trasie testowej

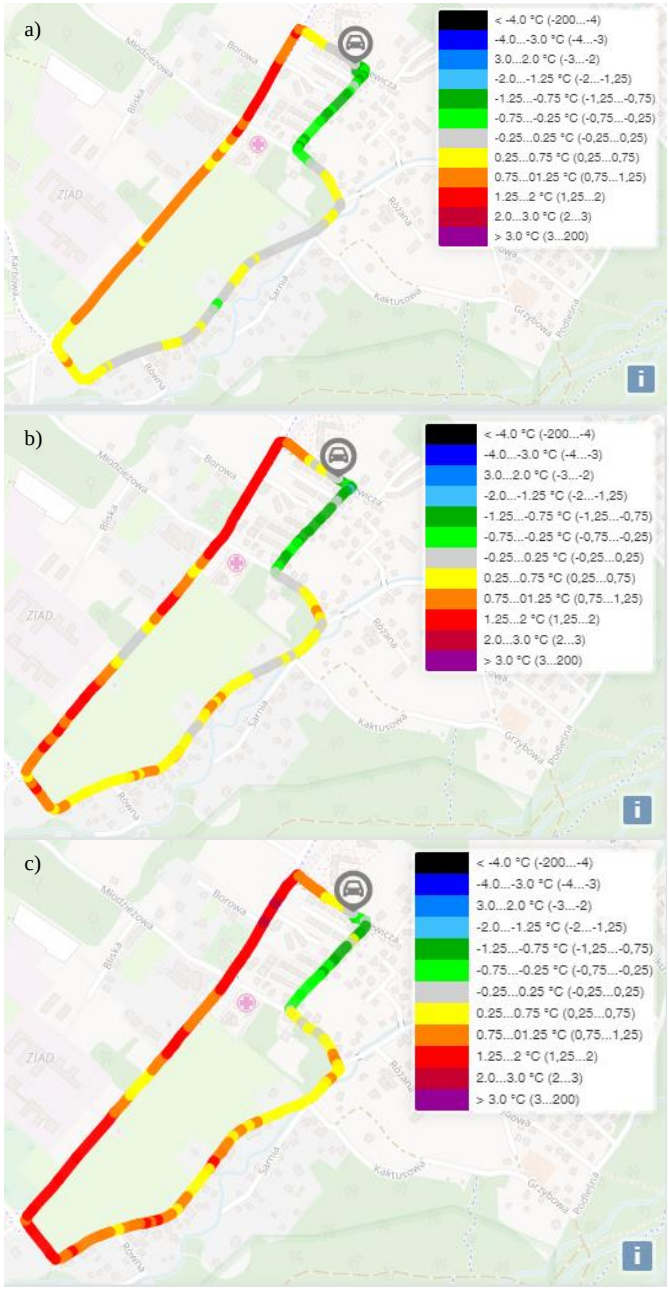
Przejazdy po głównej trasie testowej były zasadniczymi pomiarami związanymi z określaniem powtarzalności pomiarów wykonanych przy użyciu czujnika MARWIS. Badania przeprowadzono zarówno w dzień jak i w nocy. Za każdym razem realizowano trzy przejazdy, w możliwie niewielkich odstępach czasu. Testy zrealizowano w okresie, w którym na trasie przejazdu panowały zróżnicowane warunki jezdne, natomiast nie występowały opady. Maksymalna prędkość przejazdu podczas badań nie przekraczała 50 km/h na Alei Armii Krajowej i 40 km/h a na pozostałych odcinkach trasy testowej.

Przejazdy dzienne po trasie testowej

Na wykresach zaprezentowanych na rys. 8 przedstawiono stan nawierzchni dla trzech kolejnych przejazdów testowych wykonanych w ciągu dnia, natomiast na rys. 9 zarejestrowaną temperaturę nawierzchni jezdni.



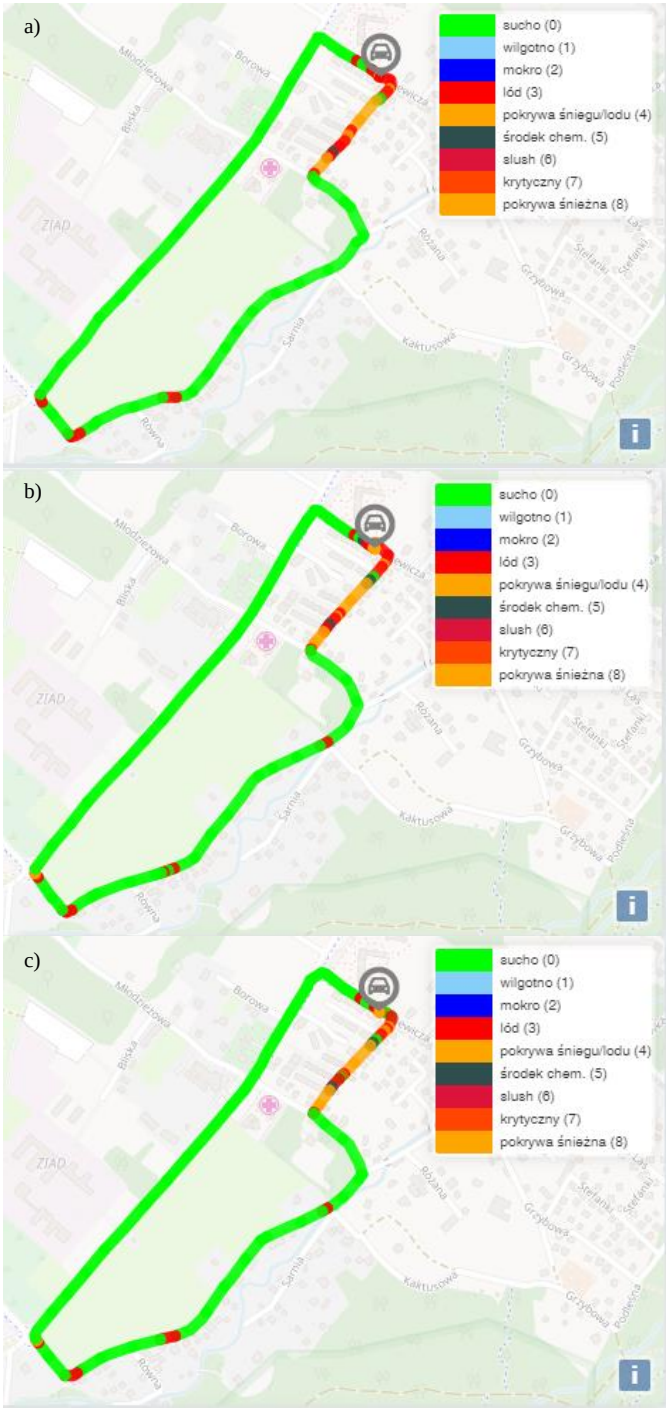
Rys. 8. *Stan nawierzchni wzdłuż trasy testowej dla przejazdów dziennych a) przejazd I b) przejazd II c) przejazd III*



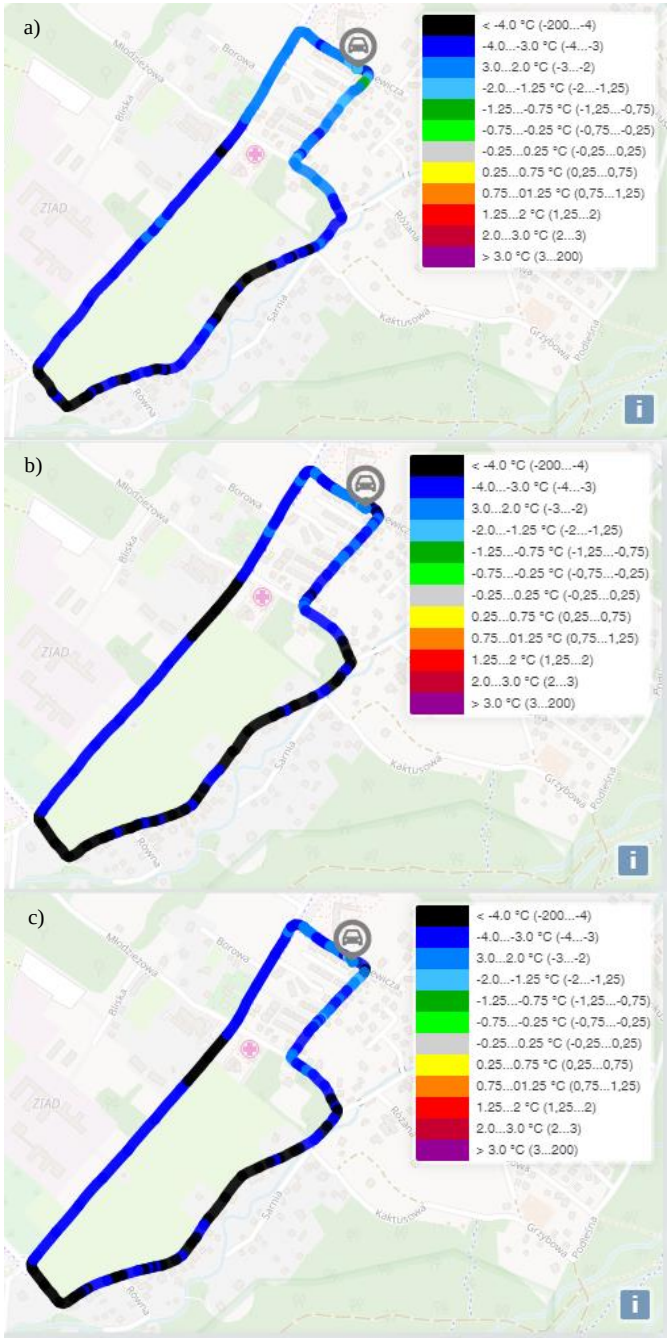
Rys. 9. *Temperatura nawierzchni wzdłuż trasy testowej dla przejazdów dziennych a) przejazd I b) przejazd II c) przejazd III*

Przejazdy nocne po trasie testowej

Na wykresach zaprezentowanych na rys. 10 przedstawiono stan nawierzchni dla trzech kolejnych przejazdów testowych wykonanych w ciągu nocy, natomiast na rys. 11– temperaturę nawierzchni jezdni.



Rys. 10. *Stan nawierzchni wzdłuż trasy testowej dla przejazdów nocnych a) przejazd I b) przejazd II c) przejazd III*



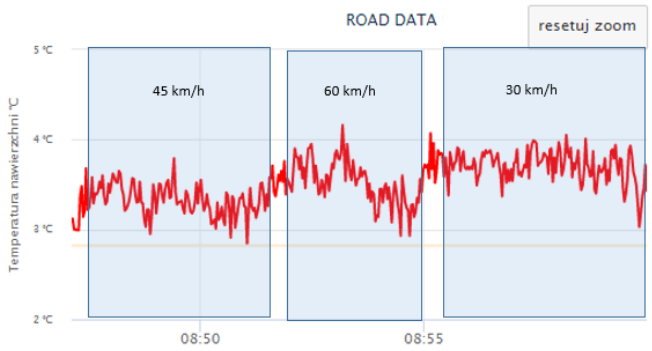
Rys. 11. *Temperatura nawierzchni wzdłuż trasy testowej dla przejazdów nocnych a) przejazd I b) przejazd II c) przejazd III*

3.3. Przejazdy z różnymi prędkościami

Aby określić wpływ prędkości przejazdu na pomiary wykonywane z wykorzystaniem czujnika MARWIS zrealizowano trzy przejazdy w warunkach dziennych po fragmencie Alei Armii Krajowej. Przejazdy odbywały się odpowiednio z prędkościami: 30, 45 i 60 km/h. W trakcie badań temperatura powietrza wynosiła około 2 °C, nie zanotowano opadów. Na rys. 12 zaprezentowano uzyskane odczyty stanu nawierzchni.

Rys. 12. *Odczyt stanu nawierzchni dla przejazdów z różnymi prędkościami a) 30 km/h b) 45 km/h c) 60 km/h*

Ze względów technicznych przejazdy testowe, na podstawie których opracowano wykresy z rys. 12 wykonywano w odstępach czasu wynoszących nieco ponad 10 minut. Niestety w tym czasie temperatura nawierzchni ulegała nieznacznym zmianom, na tyle jednak wyraźnych, że było to widoczne w uzyskanych wynikach. Aby zminimalizować wpływ tych zmian wykonano dodatkowy przejazd odcinkiem pomiarowym wzdłuż Al. Armii Krajowej składający się z trzech faz. W fazie pierwszej pokonano odcinek pomiarowy w obu kierunkach z prędkością około 45 km/h, w drugiej ponownie przejechano odcinek pomiarowy w obu kierunkach, tym razem z prędkością 60 km/h, w trzeciej z prędkością 30 km/h. Przebieg zarejestrowanej temperatury nawierzchni z zaznaczonymi fazami przejazdu zamieszczono na rys. 13.



Rys. 13. *Wykres temperatury jezdni przy przejazdach odcinka pomiarowego z różnymi prędkościami*

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone testy i analiza uzyskanych wyników pozwalają sformułować następujące wnioski:

- wskazania temperatury jezdni w pomiarach stacjonarnych wykazują dobrą stabilność, o czym świadczą niewielkie wartości odchylenia standardowego,
- stabilność wskazań w pomiarach stacjonarnych dla jedni suchej jest wyraźnie lepsza niż dla jezdni pokrytej śniegiem niezależnie od warunków oświetlenia (dzień, noc),
- pewnym zaskoczeniem, biorąc pod uwagę zalecenie producenta aby proces konfiguracji czujnika przeprowadzać przy świetle naturalnym, jest fakt, że stabilność wskazań w pomiarach stacjonarnych jest lepsza w warunkach nocnych niż dziennych; być może autorzy nieco na wyrost zinterpretowali pojęcie światła sztucznego (artificial light) rozszerzając go na światło nocne,
- przejazdy po trasie testowej wykazały zadowalającą powtarzalność wskazań w zakresie stanu nawierzchni,
- nieznaczne rozbieżności w zakresie pomiaru temperatury nawierzchni jezdni są zrozumiałe i pozytywnie świadczą o własnościach pomiarowych czujnika MARWIS; przejazdy za dnia realizowane były bowiem rano między godziną 8:20 a 9:10 gdy temperatura otoczenia podnosiła się, w konsekwencji ponosząc temperaturę jezdni; analogiczna sytuacja, tym razem związana ze spadkiem temperatury otoczenia, miała miejsce przy przejazdach nocnych, realizowanych w godzinach 20:15 – 21:15,
- na podkreślenie zasługuje fakt, że czujnik z dużą powtarzalnością wykrywa nawet krótkie odcinki, dla których nastąpiła zmiana stanu jezdni,
- testy wykonane dla różnych prędkości przejazdu potwierdziły oczekiwany wniosek, że przejazd z mniejszymi prędkościami umożliwia otrzymanie wyników o większej rozdzielczości (rys. 12),
- zmiana prędkości w zakresie 30-60 km/h nie ma istotnego wpływu na wartość odczytu temperatury jezdni; rozbieżności wskazań temperatury nie były większe niż wahania wskazań w testach stacjonarnych.

Podsumowując, wstępna ocena powtarzalności wskazań mobilnego czujnika stanu nawierzchni MARWIS wypadła pozytywnie. W związku z tym autorzy zamierzają wykorzystać niniejszy czujnik między innymi do badań związanych z opracowywaniem założeń dla systemu lokalnej osłony meteorologicznej obwodnicy Bielska-Białej.

BIBLIOGRAFIA

1. Brzozowski K., Maczyński A., Ryguła A., Piwowarczyk P., *A concept of weather information systems for city road network*, in: Mikulski, J. (ed.) TST 2016, CCIS, vol. 640, Springer, Heidelberg, 2016, 499-508.
2. Hippi M., *Road weather measurements along road stretches*, 2010, dostęp: https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-104_TECO-2010/P1_20_Hippi_Finland.pdf (10.03.2018).
3. Marchetti M., Chapman L., Khalifa A., Buès M., *New Role of Thermal Mapping in Winter Maintenance with Principal Components Analysis*, Advances in Meteorology, Volume 2014, Article ID 254795, 11 pages, dostęp: http://dx.doi.org/10.1155/2014/254795 (10.03.2018).
4. Rau P., User Manual– MARWIS App, App Version 1.15, September 2017, dostęp: https://www.lufft.com/download/manual-marwis-ios-app-en/ (12.02.2018).
5. Ryguła A., Honkisz M., Maczyński A., Brzozowski K., Konior A., Mobile system for recording road weather conditions, Archives of Transport System Telematics, 2016, vol. 9, iss. 3, 42-45.
6. User Manual MARWIS/StaRWIS, G. Lufft Mess-und Regeltechnik GmbH, Operating Manual V 3.0 / 23 Mar 2017.

Preliminary evaluation of repeatability for a mobile road weather information sensor

The article presents the results of road tests related to repeatability evaluation of the mobile road weather sensor readings. This kind of sensors is increasingly used by road administrators to assess current state of roads. They can be also used to identify road sections where local changes in friction occur most often. The carried out tests concern the repeatability of readings for different lighting conditions (day and night) and vehicle speed. The research was performed using the Lufft MARWIS sensor on roads with different traffic intensity and different standards of winter maintenance.

Autorzy:
dr hab. inż. **Krzysztof Brzozowski** – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Katedra Transportu, kbrzozowski@ath.bielsko.pl
dr hab. inż. **Andrzej Maczyński** – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Katedra Transportu, amaczynski@ath.bielsko.pl
dr inż. **Artur Ryguła** – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Katedra Transportu, arygula@ath.bielsko.pl

JEL: L62 **DOI**: 10.24136/atest.2018.095
Data zgłoszenia: 2018.05.22 **Data akceptacji**: 2018.06.15