

Meteorologia drogowa a bezpieczeństwo ruchu

Streszczenie

Referat omawia możliwości czynnego oddziaływania na bezpieczeństwo ruchu przez stosowanie nowoczesnych rozwiązań z zakresu meteorologii drogowej. Przedstawione zostały aspekty implementacji tego typu systemów o zasięgu lokalnym, ukierunkowanych na poprawę bezpieczeństwa ruchu na skrzyżowaniach, niebezpiecznych odcinkach sieci drogowej, w obszarach częstego występowania mgieł oraz miejscach szczególnie podatnych na niebezpieczeństwo gołoledzi, a także o zasięgu regionalnym - wspomagających kompleksowo zarządzanie ruchem na autostradach i drogach szybkiego ruchu. Poruszone zostały ponadto możliwości pośredniego oddziaływania na bezpieczeństwo ruchu, w rezultacie prowadzenia nowoczesnej profilaktyki zimowej.

Cele i zadania meteorologii drogowej

Celem stosowania systemów meteorologii drogowej jest minimalizacja ujemnego wpływu zjawisk pogodowych na warunki jazdy i bezpieczeństwo ruchu drogowego, a także optymalizacja działań związanych z profilaktyką zimową.

Do zadań systemów meteorologii drogowej należy:

- informowanie o aktualnych warunkach pogodowych związanych ze stanem nawierzchni drogi i jej otoczenia,
- wczesne ostrzeżenie o możliwości wystąpienia gołoledzi lub innych zjawisk pogodowych, wpływających niekorzystnie na warunki jazdy i bezpieczeństwo ruchu drogowego,
- wspomaganie efektywnego planowania i optymalizacji działań utrzymania zimowego, przy wykorzystaniu zaawansowanych modeli prognozowania temperatury i stanu nawierzchni,
- sugerowanie działań o charakterze profilaktycznym oraz monitorowanie ich skuteczności.

Wpływ zjawisk pogodowych na bezpieczeństwo ruchu

Do niebezpiecznych zjawisk pogodowych, wywierających bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego, zaliczyć można: gołoledź, szadź, opad atmosferyczny, ograniczoną widoczność, intensywne podmuchy wiatru, a także lokalne anomalie pogodowe, rozumiane jako raptowne zmiany warunków pogodowych o zasięgu lokalnym, bardzo niebezpieczne dla ruchu drogowego.

Pojawienie się szadzi lub gołoledzi prowadzi do znacznego wydłużenia drogi hamowania pojazdu, na skutek zmniejszenia współczynnika tarcia opon samochodu o nawierzchnię jezdni. Zjawiska te powodują gwałtowne zmniejszenie bezpieczeństwa jazdy i prowadzą do zwiększenia liczby kolizji i wypadków drogowych. Powodem powstawania gołoledzi jest wytrącanie się kryształków lodu z mieszaniny wody, środka chemicznego odladzającego i innych zanieczyszczeń pokrywających nawierzchnię jezdni, pod wpływem obniżania się jej temperatury. Powodem osadzania się szadzi jest kondensacja pary wodnej na zimnej nawierzchni drogi w warunkach zrównania się temperatury powietrza z temperaturą punktu rosy. Przeciwdziałanie niebezpiecznym skutkom tych zjawisk polega zwykle na pokrywaniu nawierzchni drogi warstwą soli lub jej wodnego roztworu, co prowadzi do obniżenia temperatury zamarzania, a więc do czasowego oddalenia niebezpieczeństwa gołoledzi.

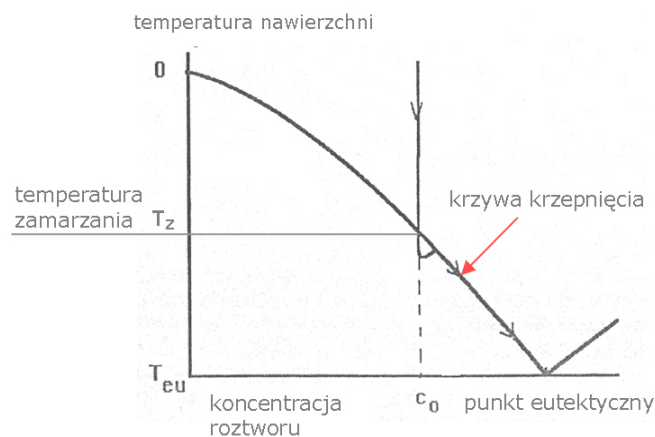
Opad atmosferyczny wpływa na zmniejszenie bezpieczeństwa jazdy poprzez ograniczenie widoczności drogi oraz redukcję ogólnej percepcji kierowców. Intensywne opady powodują zmniejszenie przyczepności kół pojazdu do mokrego podłoża oraz powstawanie strug wody tryskających spod kół pojazdów, co jest szczególnie niebezpieczne na nawierzchniach skoleinowanych. W warunkach zimowych, opad atmosferyczny powoduje bezpośrednie zagrożenie gołoledzią, a także zmniejsza skuteczność stosowanej profilaktyki zimowej, w efekcie wypłukiwania środków chemicznych odladzających, pokrywających nawierzchnię jezdni.

Częstą przyczyną ograniczenia widoczności jest zjawisko mgły, tym niebezpieczniejsze, im ograniczone swym zasięgiem do lokalnych odcinków dróg, przebiegających najczęściej w sąsiedztwie rzek lub zbiorników wodnych.

Gwałtowne podmuchy wiatru, szczególnie z kierunków bocznych do kierunku jazdy, utrudniają kierowanie pojazdem i mogą prowadzić do utraty kontroli nad samochodem, stwarzając zagrożenie dla prowadzącego pojazd, a także dla innych uczestników ruchu.

Wpływ zmian temperatury nawierzchni na niebezpieczeństwo powstawania gołoledzi

Dla koncentracji roztworu środka chemicznego wynoszącej początkowo c_0 (rys. 1), spadek temperatury nawierzchni poniżej 0°C nie powoduje powstawania zjawiska gołoledzi. Proces wytrącania kryształków lodu z warstwy roztworu rozpoczyna się z chwilą obniżenia wartości temperatury nawierzchni poniżej T_Z . Jak nietrudno zauważyć, wartość temperatury T_Z , zwanej temperaturą zamarzania, zależy od koncentracji roztworu środka chemicznego. Im wyższe stężenie roztworu, tym niższa wartość temperatury T_Z .



Rys. 1. Krzywa krzepnięcia roztworu środka chemicznego pokrywającego nawierzchnię jezdni

Zjawisko powstawania gołoledzi, rozumiane jako proces formowania lodu na nawierzchni drogi, jest zjawiskiem złożonym i trwającym w czasie. Czas ten zależy przede wszystkim od szybkości zmian temperatury nawierzchni. Gwałtowne stygnięcie nawierzchni zdecydowanie przyspiesza powstawanie gołoledzi. Szczegółowa analiza zjawiska pozwala jednak zauważyć, że obniżanie się temperatury nawierzchni poniżej wartości T_Z , prowadzi do chwilowego zwiększenia stężenia roztworu, na skutek tego, że w początkowej fazie zjawiska z roztworu wytrącane są kryształki lodu formowane z czystej chemicznie wody. W rezultacie objętość wody w roztworze ulega zmniejszeniu, co prowadzi do stopniowego zwiększania stężenia roztworu. Zjawisko to, tzw. undercooling (Turunen M. 1997), przebiega do chwili całkowitego wykrystalizowania się lodu, formowanego w końcowej fazie procesu także z tej części roztworu, która zawiera środek chemiczny. W konsekwencji zjawisko gołoledzi powstaje nieco później niż moment osiągnięcia temperatury T_Z . Przyjęcie T_Z za wartość temperatury zamarzania wydaje się jednak rozwiązaniem optymalnym, pozwalającym na kontrolowanie przebiegu zjawiska.

W konkluzji należy stwierdzić, że moment przejścia temperatury nawierzchni przez zero nie powinien być uznawany za wyznacznik niebezpieczeństwa gołoledzi. Dlatego efektywne wykorzystanie systemów meteorologii drogowej zależy nie tylko od znajomości wartości temperatury nawierzchni, ale w sposób niezwykle istotny - także od umiejętności właściwej oceny stanu nawierzchni oraz możliwości zapewnienia ciągłości monitorowania ilości i koncentracji środków chemicznych odladzających, stosowanych w profilaktyce zimowej.

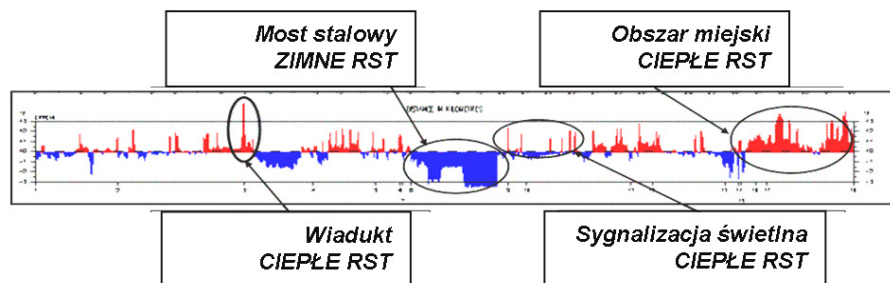
Charakterystyka termiczna nawierzchni

Temperatura nawierzchni w wybranym punkcie drogi podlega nieustannym wahaniom. Zmiany te wynikają ze stopnia nasłonecznienia nawierzchni, a więc od pory doby, pory roku, stanu zachmurzenia, siły i kierunku wiatru, opadu atmosferycznego, a także natężenia ruchu kołowego.

Na wartość temperatury nawierzchni w wybranym punkcie drogi wpływ wywierają również czynniki geofizyczne, takie jak: położenie geograficzne, topografia terenu, sąsiedztwo budynków, drzew, krzewów oraz innych obiektów, stanowiących barierę dla promieniowania cieplnego, sąsiedztwo rzek i zbiorników wodnych (Shao J., Swanson J.C., Patterson R., Lister J., McDonald A.N. 1997).

Oczywista zmienność czynników geofizycznych wzdłuż przebiegu drogi powoduje, że wahania temperatury nawierzchni wykazują charakter przestrzenny, a ich amplituda może w specyficznych warunkach pogodowych osiągać nawet kilkanaście stopni Celsjusza na 20-30 kilometrowym odcinku sieci drogowej.

Na rys. 2 pokazano przykładową charakterystykę termiczną nawierzchni drogi (Fowler M. 2004), uzyskaną w wyniku liniowych pomiarów temperatury nawierzchni. Kolorem czerwonym oznaczono wartości temperatur powyżej średniej uzyskanej dla ruty pomiarowej, kolorem niebieskim – wartości temperatur poniżej średniej.



Rys. 2. Przykład charakterystyki termicznej nawierzchni drogi

Wspomniane powyżej czynniki powodują występowanie odcinków sieci drogowej szczególnie podatnych na zjawisko gołoledzi (odcinki „zimne”), ale także występowanie odcinków „ciepłych”, w których w identycznych warunkach pogodowych, zagrożenie gołoledzią ma charakter drugorzędny lub nawet marginalny. Znajomość charakterystyki termicznej nawierzchni prowadzić więc może do istotnego zwiększenia efektywności logistyki profilaktyki zimowej, a w efekcie - do podniesienia poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego. Identyfikacja i klasyfikacja odcinków dróg o różnych właściwościach termicznych nie jest jednak możliwa bez wykonania odpowiednich pomiarów oraz opracowania map termicznych nawierzchni.

Nowoczesna profilaktyka zimowa a uwarunkowania jej stosowania

Poszukiwanie narzędzi wspomagających nowoczesną profilaktykę zimową nie wydaje się być uzasadnione bez dostatecznego przekonania do ich racjonalnego wykorzystania. Stosowanie standardów zimowego utrzymania ograniczających działania służb drogowych do usuwania skutków gołoledzi, brak

uwzględniania wpływu zmienności warunków pogodowych na sposób organizacji ruchu drogowego, to działania nie mieszczące się w kategoriach nowoczesnej profilaktyki zimowej. Współczesna profilaktyka zimowa polega na wczesnym reagowaniu na możliwość wystąpienia zagrożeń pogodowych, dostosowaniu funkcjonowania urządzeń bezpieczeństwa ruchu do zmieniającej się sytuacji pogodowej oraz szybkim podejmowaniu działań profilaktycznych o sugerowanej logistyce. Działania te przynieść mogą znaczną redukcję kosztów utrzymania zimowego, wzrost bezpieczeństwa ruchu i utrzymanie drożności szlaków komunikacyjnych, a w konsekwencji zmniejszenie kosztów związanych z likwidacją kolizji i wypadków drogowych oraz kosztów wynikających z opóźnień w przewozach ładunków i osób, a także istotne ograniczenie dewastacji środowiska naturalnego.

Czynnikiem ograniczającym wdrażanie efektywnych narzędzi wspomaganie profilaktyki zimowej w Polsce, jest brak obowiązujących standardów w tej dziedzinie, co poważnie utrudnia prowadzenie prac projektowych i określanie wymagań technicznych, wstrzymuje podejmowanie decyzji inwestycyjnych, a wobec braku możliwości weryfikacji proponowanych rozwiązań - prowadzi do wydatkowania środków na rozwiązania niekompatybilne lub prezentujące często niską jakość techniczną.

Systemy meteorologii drogowej o zasięgu lokalnym

Instalowane przy drogach elektroniczne tablice pomiaru temperatur nawierzchni i powietrza w żadnym wypadku nie powinny być uznawane za środki poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego. Informowanie kierowców o temperaturach jezdni i powietrza jest działaniem daleko niewystarczającym dla utrzymania bezpieczeństwa ruchu, a przez to nieskutecznym środkiem jego poprawy. Zwrócić należy uwagę w tym miejscu na niebezpieczne skutki przerzucania na kierujących pojazdami decyzji o dostosowaniu prędkości pojazdów do warunków jazdy, bazując wyłącznie na informacji o wartości temperatur jezdni i powietrza. Złożoność zjawisk meteorologicznych, a przede wszystkim zmienność przestrzenna charakterystyki termicznej nawierzchni powodują, że powstające w opinii kierujących oceny warunków jazdy mogą okazać się bardzo mylące.

Lokalne systemy meteorologii drogowej winny być ukierunkowane na potrzebę zwiększenia bezpieczeństwa ruchu w miejscach szczególnie narażonych na oddziaływanie niebezpiecznych zjawisk pogodowych. Lokalizacja tego typu systemów wynikać winna z charakterystyki termicznej nawierzchni, powiązanej z lokalnymi uwarunkowaniami istniejącej lub projektowanej sieci drogowej, z uwzględnieniem niebezpiecznych łuków, skrzyżowań lub innych miejsc o niekorzystnej statystyce kolizji i wypadków drogowych.

Podstawowym zadaniem tego typu systemów winno być, poza ostrzeganiem kierujących o możliwych ograniczeniach bezpieczeństwa jazdy, także dynamiczne dostosowanie ograniczenia prędkości do warunków pogodowych. Do monitorowania warunków pogodowych wykorzystywane są czujniki stanu nawierzchni, czujniki opadu atmosferycznego oraz czujniki widoczności. Do oddziaływania na ruch drogowy wykorzystywane są elektroniczne znaki zmiennej treści, przeznaczone do dynamicznego ograniczania prędkości oraz ostrzegania kierowców o niebezpiecznych warunkach jazdy.

Tablica 1. Przykładowy algorytm dynamicznego ograniczania prędkości jazdy

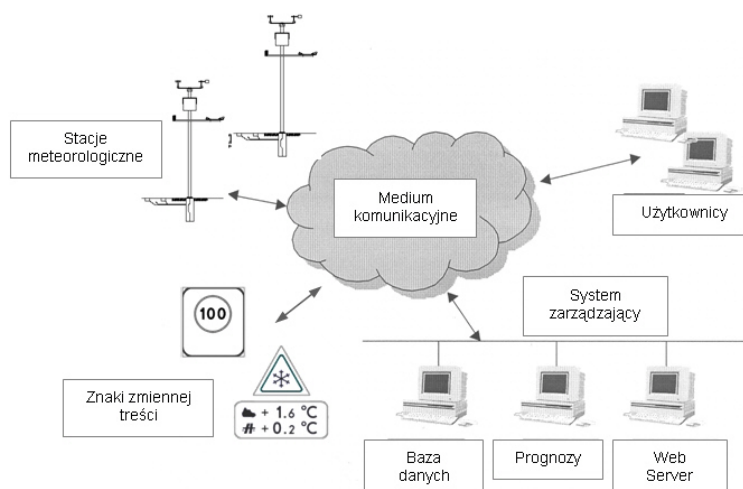
Pora doby	Widoczność	Stan opadu	Stan nawierzchni	Ograniczenie prędkości
noc	powyżej 300 m	brak opadu, lekki opad, umiarkowany opad	brak zagrożeń	90
dzień				70
dzień/noc	między 100 i 300 m	dowolny	brak zagrożeń lub ostrzeżenie o śliskiej nawierzchni	50
	powyżej 100 m	ulewa lub śnieżyca		
	dowolny	dowolny	ostrzeżenie o śliskiej nawierzchni	30
	poniżej 100 m		dowolny	

Tablica 1 zawiera algorytm wyboru ograniczenia prędkości w zależności od warunków pogodowych, jako przykład zastosowania efektywnego środka poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego o oddziaływaniu lokalnym. Algorytm zastosowany zostanie na obwodnicy miasta Syców, dla ochrony niebezpiecznego skrzyżowania w ciągu drogi krajowej nr 8. W warstwie pomiarowej system wykorzystywał będzie bezinwazyjny, optyczny czujnik stanu nawierzchni oraz czujnik widoczności.

Systemy meteorologii drogowej o zasięgu regionalnym

Zadaniem systemów osłony meteorologicznej jest całoroczne wspomaganie procesu utrzymania bezpieczeństwa ruchu na autostradach, drogach szybkiego ruchu oraz pozostałych obszarach sieci drogowej w aspekcie regionalnym, ze szczególnym ukierunkowaniem na kompleksowe wspomaganie profilaktyki zimowej. Często systemy meteorologii drogowej wykorzystywane są jako elementy zintegrowanych systemów zarządzania ruchem, jako platforma monitorowania warunków pogodowych oraz wydajne narzędzie ostrzegania i prognozowania niebezpiecznych zjawisk pogodowych.

Na rys. 3 pokazano architekturę nowoczesnego systemu osłony meteorologicznej. Drogowe stacje meteorologiczne wykorzystywane do prognozowania temperatury i stanu nawierzchni, lokalizowane są na odcinkach sieci drogowej charakteryzujących się stabilnym profilem termicznym. System korzysta także z danych pozyskiwanych ze stacji meteorologicznych, lokalizowanych w strefach szczególnie narażonych na niebezpieczeństwo gołolodzi. Drogowe stacje meteorologiczne dokonują bieżącej oceny stanu nawierzchni, pomiaru temperatury nawierzchni i podłoża, ilości i koncentracji roztworów środków chemicznych odladzających, temperatury i wilgotności powietrza, pomiaru intensywności i klasyfikacji opadu atmosferycznego oraz siły i kierunku wiatru. Uzupełnieniem bazy pomiarowej są czujniki widoczności. Stacje meteorologiczne dostarczają do systemu zarządzającego komplet danych pomiarowych oraz ostrzeżeń pogodowych, przy wykorzystaniu dostępnych technologii komunikacyjnych, najczęściej łączności radiowej GPRS lub łączy światłowodowych.



Rys. 3. Architektura systemu osłony meteorologicznej

Systemy zarządzające odpowiedzialne są za komunikację ze stacjami pomiarowymi, archiwizację danych pomiarowych oraz ich przetwarzanie, głównie w aspekcie prognozowania temperatury i stanu nawierzchni. Prognozy punktowe, wykonywane dla lokalizacji stacji meteorologicznych są następnie ekstrapolowane na całą sieć drogową, przy wykorzystaniu uprzednio opracowanych map termicznych. Prognozy realizowane są z wykorzystaniem modeli prognozowania, opierających zasadę działania na bilansie energetycznym nawierzchni. Do prognozowania długoterminowego konieczne jest zaopatrzenie systemu w prognozy numeryczne takich parametrów meteorologicznych jak: temperatura powietrza, temperatura punktu rosy, stan zachmurzenia, siła i kierunek wiatru. Prognozy te dostarczane są automatycznie przez biura prognoz meteorologicznych.

System zarządzający, na podstawie znajomości aktualnych i prognozowanych warunków pogodowych, jest w stanie samodzielnie podejmować decyzje o zmianie wyświetlanych informacji na znakach zmiennej treści, w szczególności na znakach ograniczenia prędkości, przekazywaniu kierowcom treści informacyjnych za pomocą znaków drogowych ostrzegawczych lub paneli alfanumerycznych, umożliwiających wyświetlanie komunikatów tekstowych. Odbiorcą informacji pogodowej są także media, policja, służby ratownicze oraz potencjalni użytkownicy dróg, korzystający z sieci Internet.

Szczególną kategorią odbiorców informacji pogodowej są służby odpowiedzialne za utrzymanie sieci drogowej, szczególnie w warunkach zimowych. Przetworzona informacja pogodowa pozwala na błyskawiczne podejmowanie decyzji związanych z prowadzeniem profilaktyki zimowej, a wysoka automatyzacja procesów prowadzić może do znacznego usprawnienia procesów logistycznych, a w ich następstwie - do utrzymania bezpieczeństwa ruchu i przejezdności szlaków komunikacyjnych, przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów utrzymania sieci drogowej.

Podsumowanie

Przedstawione w referacie możliwości współczesnej meteorologii drogowej pozwalają na wdrażanie efektywnych środków poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego. Działania te podejmowane być mogą zarówno na szczeblu lokalnym, jak i centralnym lub regionalnym. W każdym przypadku wdrażanie systemów meteorologii drogowej winno zostać poprzedzone szczegółową analizą oczekiwanej efektywności w zakresie możliwej do osiągnięcia poprawy poziomu bezpieczeństwa ruchu, z uwzględnieniem ekonomicznych aspektów opłacalności inwestycji. Analizy te winny także brać pod uwagę możliwość wzrostu natężenia ruchu, jako zjawiska implikującego często potrzebę stosowania rozwiązań o charakterze zintegrowanym, łączących w sobie zagadnienia osłony meteorologicznej z problematyką zarządzania ruchem.

Niezależnie od skali oddziaływania projektowanych systemów, ich możliwa do osiągnięcia efektywność zależeć będzie zawsze od staranności opracowania materiału projektowego oraz jakości zastosowanych urządzeń i rozwiązań systemowych, a także bez wątpienia od umiejętności identyfikacji potrzeb, możliwości i korzyści wynikających z wdrażanych systemów przez ich przyszłych użytkowników.

Literatura

Turunen M. (1997). *Measuring salt and freezing temperature on roads*. Met. Appl. 4, 11-15.

Shao J., Swanson J.C., Patterson R., Lister J., McDonald A.N. (1997): *Variation of winter road surface temperature due to topography and application of thermal mapping*. Met. Appl. 4, 131-137.

Fowler M. (2004). *Fundamentals of thermal mapping*. PowerPoint presentation PR210055en rev A. Vaisala Solutions. Birmingham.

Road meteorology and traffic safety

Summary

This paper discusses the prospects for active impact on traffic safety through application of modern road meteorology solutions. The author presents aspects of implementation of road meteorology systems both at the local scale, aimed at improving traffic safety at intersections, on dangerous sections of a road network, in areas with the prevalence of fog, at black ice stricken places, and at the regional scale – supporting all traffic management on motorways and throughways. As well, the possibilities of indirect influence on traffic safety as a result of employing up-to-date winter preventive measures are covered in this paper.