

Urszula Kołodziejczyk

Wpływ chlorku sodu stosowanego w zimowym utrzymaniu dróg na kapilarność gruntów

An impact of chemical substances used in winter road maintenance on the capillarity of the soil

Streszczenie: Wraz z rozwojem komunikacji i rosnącymi wymaganiami użytkowników dróg w okresie zimowym stosowane są coraz skuteczniejsze metody walki z zagrożeniem, jakie niesie ze sobą śliskość jezdni. Środki używane do zimowego utrzymania dróg mają istotny wpływ na kapilarność gruntów oraz ich wysadzinowość.

W pracy przedstawiono wyniki badań wzniosu kapilarnego wody oraz 5-procentowego i 10-procentowego roztworu NaCl, zaobserwowanego w gruntach rodzimych o różnej genezie (rzecznej i lodowcowej) oraz w poszczególnych frakcjach tych gruntów. Badania wykazały, że wysokość wzniosu kapilarnego i awaryjność dróg jest uwarunkowana rodzajem, genezą i średnicą kruszywa wbudowanego w nasypy drogowe oraz stężeniem środka stosowanego podczas zimowego utrzymania dróg.

Słowa kluczowe: zimowe utrzymanie dróg, kapilarność, wysadzinowość, awarie nawierzchni drogowych

Abstract: Along with a development of road transportation as well as growing expectations of the roads users, more and more effective means of fight with a threat which is posed by slipperiness of the roads surface during the winter period are used. Although substances used in the course of winter road maintenance have a great impact on capillarity of the soil and in the same time on their frost heave.

In the dissertation results of research in capillarity heave of the water and 5% and 10% salt water solution are presented. The research were carried on in particular fractions of the grounds and taking into consideration different soil origin (glacial and fluvial). The reaserch shows that level of capillarity heave as well as the scope of road's surface damage dependent strictly on sort, origin and diameter of aggregates break stone build in the roads embankments and concentration of substance used in the course of winter road maintenance.

Key words: winter road maintenance, frost heave, capillarity, road's surface damage

Wstęp

Zimowe utrzymanie dróg jest istotnym elementem wymogów komunikacyjnych. Mechaniczne zabiegi usuwania śniegu z jezdni nie dają wystarczających rezultatów ze względu na pozostającą na nawierzchni dróg cienką i bardzo śliską warstwę śniegu. Usunięcie śliskości następuje dopiero po zastosowaniu materiałów uszorstniających, do których należą piasek, kruszywo oraz żużel. Niestety, skuteczność tych materiałów jest niewielka, bowiem przy dużym natężeniu ruchu i pod wpływem wiatru są one łatwo zdmuchiwane z jezdni lub układają się w nieregularne pryzmy. W związku z tym w drogownictwie wykorzystywane są różne związki chemiczne, powodujące wtapianie ziarenek kruszywa w lód, co zapobiega ich zdmuchiwaniu z jezdni, a jednocześnie powoduje roztopianie lodu. Powszechne zastosowanie znajduje tutaj sól kamienna (NaCl), która w wodzie rozpada się na jony chloru i sodu przyłączające się do cząsteczek wody, a następnie reagujące z nimi i powodujące rozrywanie wiązań międzycząsteczkowych, a tym samym – zapobiegające zamarzaniu cieczy. Energia potrzebna do rozrywania wiązań międzycząsteczkowych pobierana jest z otaczającej wody. Aby rozpuścić w wodzie jeden gram soli, potrzeba 20 kalorii ciepła, natomiast do roztopienia jednego grama lodu potrzeba dodatkowo 80 kalorii ciepła. Pobór energii cieplnej powoduje wprawdzie obniżenie temperatury wody, ale woda wówczas nie zamarza, gdyż jednocześnie – w wyniku opisanych procesów – spada jej temperatura krzepnięcia.

W drogownictwie podczas akcji zimowej najczęściej stosowane są: czysty chlorek sodu, czyli popularna sól kuchenna (NaCl), sól drogowa będąca mieszaniną chlorku sodu (NaCl) – 97% i chlorku wapnia (CaCl_2) – 2,5% oraz heksacyanożelazianu (II) potasu ($\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN}_6)$) – 0,5%, solanka – roztwór chlorku sodu (NaCl) lub chlorku wapnia (CaCl_2) o stężeniu 20–25%, techniczny chlorek wapnia (77–80% CaCl_2), czysty chlorek magnezu (MgCl_2) oraz mieszanina chlorku sodu (NaCl) z chlorkiem wapnia (CaCl_2) lub chlorkiem magnezu (MgCl_2).

Na świecie prowadzone są dalsze badania nad użytecznością innych materiałów. Przykładowo, w Finlandii (Jansson, 2004) pod koniec lat 90. rozpoczęto stosowanie mrówczanu potasu (HCOOK) i octanu potasu (CH_3COOK). W USA badane i używane są także inne środki, w tym: octan magnezu ($(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Mg}$), octan wapnia ($(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$), roztwory bogate w cukry uzyskiwane podczas częściowej hydrolizy produktów odpadowych przy przetwarzaniu buraków cukrowych i kukurydzy, mocznik (H_2NCONH_2) oraz alkohole ($\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$).

W Polsce, ze względu na niską cenę i dostępność, powszechnie jest stosowany chlorek sodu, natomiast znacznie rzadziej chlorek wapnia. W zależności od warunków atmosferycznych i temperatury nawierzchni zużywa się od 10 do 50 g/m² chlorku sodu lub od 20 do 100 g/m² chlorku wapnia (Dębski, 1974). Niestety, środki te wpływają negatywnie na roślinność przydrożną, gleby i wody podziemne, a także stan nawierzchni dróg i pojazdów. Szkody zależą od klimatu, strefy geograficznej, okresu stosowania oraz gatunku roślin (Stypułkowski, 2000). Wszystko to sprawia, że dalsze badania dotyczące ingerencji chemikaliów w otoczenie drogi są niezbędne do oceny istoty zagrożenia oraz stopnia ewentualnych zmian w środo-

wisku (Nowicki, 1981; Pečenik, 1981). Równoległe do rosnących wymagań bezpieczeństwa rośnie bowiem świadomość ekologiczna społeczeństwa, która wymusza ocenę wpływu stosowanych środków chemicznych na środowisko. Uzasadnione jest zatem prowadzenie szerokich badań nad stosowaniem poszczególnych związków chemicznych i wskazanie, które substancje przeznaczone do zimowego utrzymania dróg są nie tylko skuteczne, ale również bezpieczne dla środowiska.

W świetle tych wymogów podjęto badania, które miały ocenić wpływ chlorku sodu stosowanego powszechnie podczas zimowego utrzymania polskich dróg na kapilarność gruntów. Poznanie tego procesu wydawało się istotne zarówno z punktu widzenia ochrony środowiska naturalnego, jak i wpływu soli na stan nawierzchni drogowych.

Metodyka badań

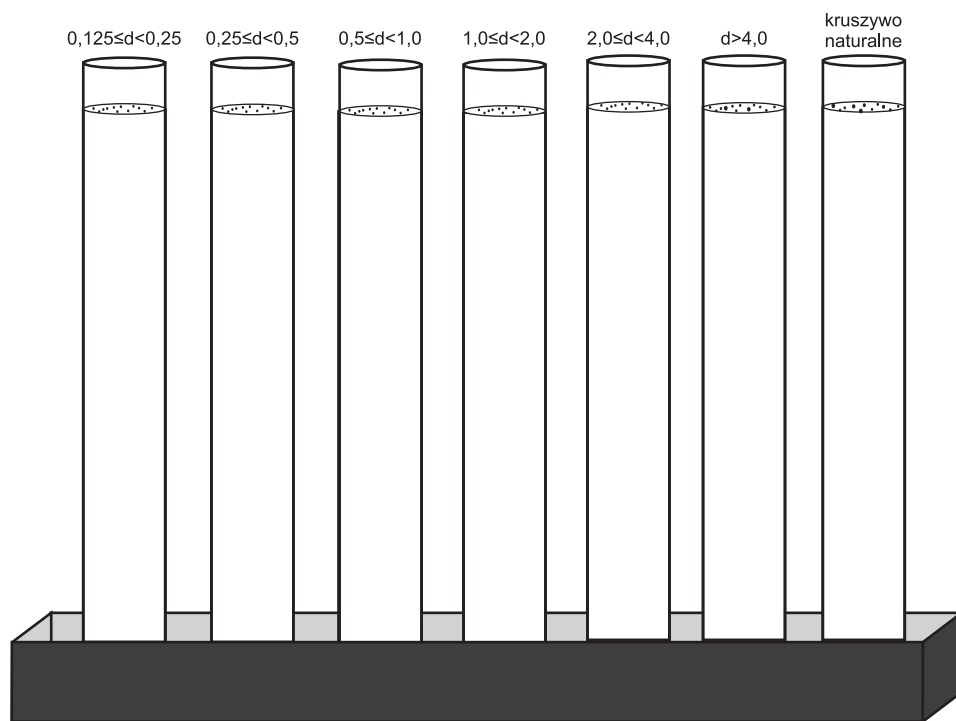
Badaniom kapilarności poddano dwa kruszywa występujące w złożach zlokalizowanych w odległości 2–20 km od Zielonej Góry: piasek drobny ze złoża „Chynów” o genezie glacialnej oraz piasek średni ze złoża „Nowogród Bobrzański” o genezie fluwialnej.

Zbadano wznios kapilarny w kruszywach o naturalnym uziarnieniu i w poszczególnych frakcjach kruszyw: $0,125 \leq d < 0,25$; $0,25 \leq d < 0,5$; $0,5 \leq d < 1,0$; $1,0 \leq d < 2,0$; $2,0 \leq d < 4,0$ oraz $d > 4,0$ mm. Jako substancji kapilujących użyto wody destylowanej, 5-procentowego roztworu chlorku sodu oraz 10-procentowego roztworu chlorku sodu. Badania kapilarności przeprowadzono w rurach szklanych o średnicy 0,09 m i wysokości 1,5 m, ustawionych rzędem w kuwecie o wysokości 0,15 m (ryc. 1).

Do każdej rury wsypano grunt o innym uziarnieniu, zagęszczając go warstwami o miąższości 0,1 m za pomocą ubijaka o masie 1 kg, poprzez jego 10-krotne opuszczenie z wysokości 0,5 m na każdą z warstw. Dokładne ubijanie było niezbędne przy założeniu, że wysokość wzniosu kapilarnego jest uzależniona m.in. od występowania w porach gruntu pęcherzyków zamkniętego powietrza, a im jest go więcej, tym wysokość wzniosu kapilarnego jest mniejsza. Jak podaje Kowalski (1988), powietrze zawarte w porach może zmniejszać czterokrotnie wysokość wzniosu kapilarnego w porównaniu do sytuacji z brakiem powietrza. Innym czynnikiem powodującym konieczność ubijania był fakt, że w gruntach o tym samym uziarnieniu i składzie mineralnym istotny wpływ na wysokość wzniosu kapilarnego ma porowatość i związany z nią stopień zagęszczenia gruntu.

Zatem zarówno w przypadku przemytych (pozbawionych frakcji ilastej) piasków ze złoża „Nowogród Bobrzański”, jak i gruntów glacialnych (zawierających domieszki ilaste) ze złoża „Chynów”, zagęszczanie powodowało zmniejszenie wielkości porów, a jednocześnie stwarzało lepsze warunki do kapilarnego podciągania wody. Przy zbyt dużych porach zjawisko to mogłoby mieć bowiem utrudniony przebieg lub też nie zachodzić wcale.

Następnie do kuwety wlewano wodę albo roztwór soli, utrzymując stały poziom cieczy w kuwecie przez cały okres badań. Zasadnicze badanie polegało na po-



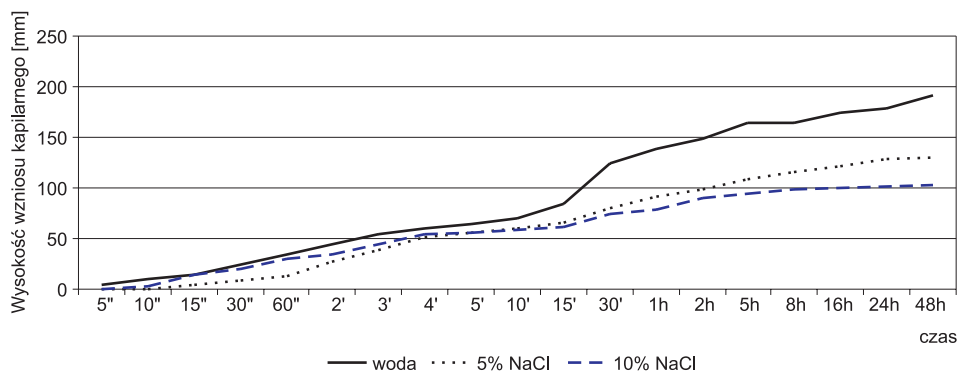
Ryc. 1. Stanowisko badawcze
Fig. 1. A research position

miarze prędkości i wysokości wzniosu kapilarnego poszczególnych substancji w gruntach o różnej genezie i uziarnieniu. Odczyty wysokości wzniosu kapilarnego wykonano w następujących odstępach czasu: 5", 10", 15", 30", 60", 2', 3', 4', 5', 10', 15', 30', 1h, 2h, 5h, 8h, 16h, 24h i 48h.

Interpretacja wyników badań

Analizując wznios kapilarny uzależniony od stężenia soli, stwierdzono, że w początkowym okresie badań (5 min.) wyższy wzrost kapilarny wystąpił przy zastosowaniu 10-procentowego roztworu NaCl, ale począwszy od 5. minuty badań wyższy wznios kapilarny wykazywał 5-procentowy roztwór NaCl. Zależności te potwierdziły badania wykonane dla kruszywa naturalnego (ryc. 2) oraz poszczególnych jego frakcji.

Kolejną zaobserwowaną właściwością ruchu kapilarnego był spadek prędkości wzniosu wraz ze wzrostem jego wysokości; prędkość podnoszenia kapilarnego była największa na początku procesu i stabilizowała się lub sukcesywnie malała w końcowym etapie. Fakt, że najpierw woda kapilarna wznosi się szybko, a następnie coraz wolniej, przy czym wykres prędkości wzniosu przyjmuje typ paraboliczny,



Ryc. 2. Przebieg krzywych wzniosu kapilarnego w kruszywie naturalnym przy zastosowaniu roztworu NaCl o stężeniu 5% i 10% – złoża „Nowogród Bobrzański”

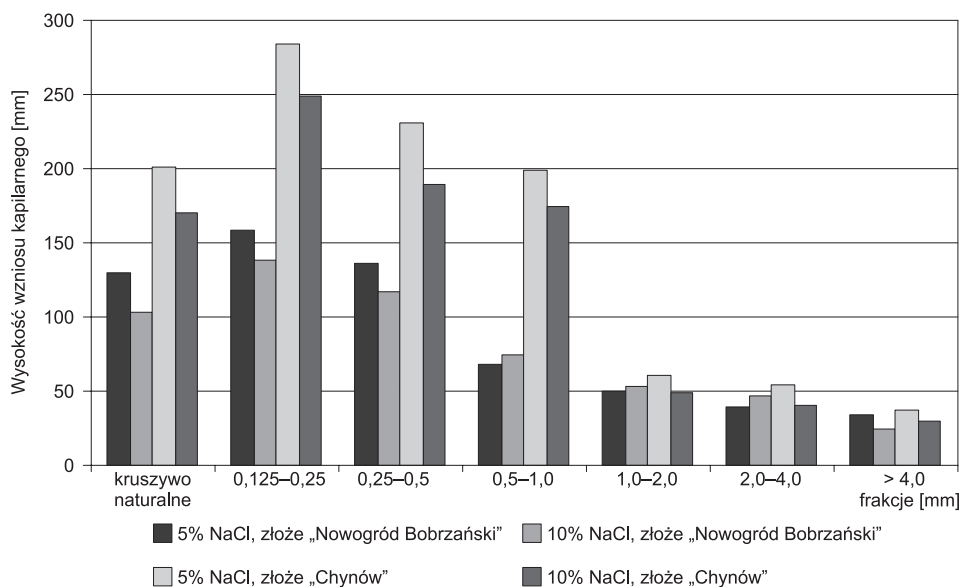
Fig. 2. Curves of the capillarity heave in the break stone from Nowogród Bobrzański deposit for 5% and 10% salt water solution

został potwierdzony w badaniach obydwu kruszyw i ich frakcji. Przyczyną parabolicznego spadku prędkości wzniosu kapilarnego była malejąca różnica między ciśnieniem włoskowatym i ciężarem słupa wznoszącej się cieczy oraz hamujące działanie oporu tarcia wzrastające w miarę wydłużania się słupa cieczy.

Porównując maksymalne wzniosy kapilarne osiągnięte dla różnych stężeń soli w kruszywie naturalnym i poszczególnych jego frakcjach (ryc. 3), stwierdzono, że zdecydowanie najwyższe wartości wzniosu kapilarnego występują we frakcji o najmniejszym uziarnieniu, czyli o średnicy ziaren $d = 0,125-0,25$ mm (158 mm dla 5-procentowego roztworu NaCl i 138 mm dla 10-procentowego roztworu NaCl w kruszywie ze złoża „Nowogród Bobrzański” oraz odpowiednio 280 mm i 250 mm w kruszywie ze złoża „Chynów”), następnie we frakcji o uziarnieniu $d = 0,25-0,50$ mm oraz w kruszywie naturalnym. W pozostałych frakcjach wznios kapilarny był natomiast dużo niższy, a najniższe wartości osiągnął we frakcji o największym uziarnieniu, czyli dla $d > 4,0$ mm (od 30 do 40 mm w obu kruszywach naturalnych i poszczególnych ich frakcjach).

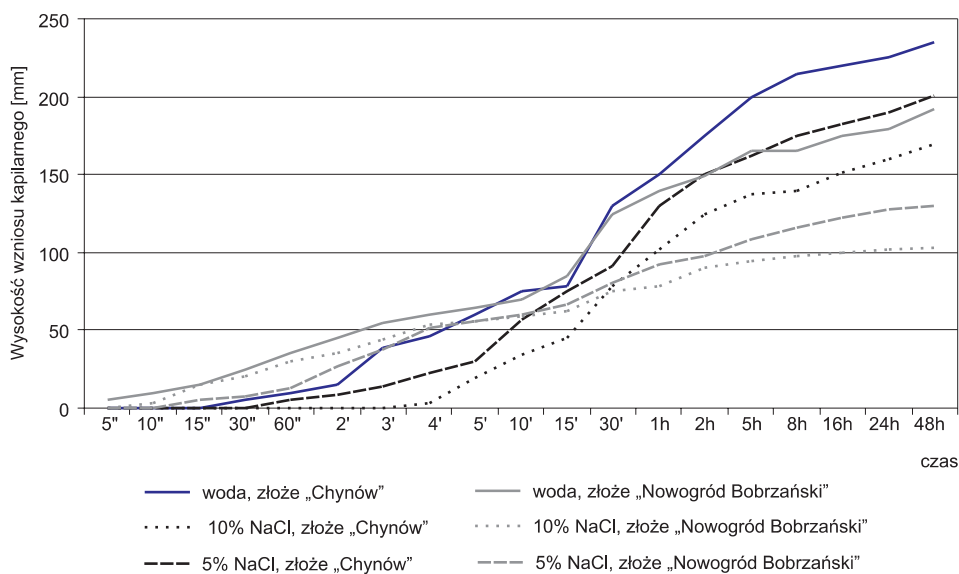
Z przeprowadzonej analizy wynika, że wznios kapilarny w kruszywie ze złoża „Chynów” jest znacznie wyższy niż w kruszywie ze złoża „Nowogród Bobrzański”. Różnica wysokości, sięgająca nawet 100 mm, jest wyraźnie zauważalna we frakcjach o najmniejszym uziarnieniu, czyli dla $d = 0,125-0,25$ mm, $d = 0,25-0,50$ mm i $d = 0,5-1,0$ mm oraz w kruszywie naturalnym. W pozostałych frakcjach różnice te są niewielkie i mieszczą się w granicach 10–20 mm.

Podczas badań stwierdzono, że wznios kapilarny wody jest wyższy niż roztworów soli, a różnica wysokości wzniosu jest największa we frakcjach o najmniejszym uziarnieniu, czyli o średnicy ziaren $d = 0,125-0,25$, $d = 0,25-0,50$ i $d = 0,50-1,00$ mm oraz w kruszywie naturalnym, gdzie osiąga ona wartość od 19 mm do 62 mm (ryc. 4). We frakcji o średnicy $d = 1,0-2,0$ mm maksymalny wznios kapilarny wody okazał się niemal taki sam jak 10-procentowego roztworu chlorku sodu, natomiast w grubszych frakcjach różnica wysokości wzniosu była niewielka i wynosiła od 7 mm



Ryc. 3. Porównanie maksymalnych wartości wzniosu kapilarnego roztworów NaCl w kruszywie ze złożeń „Nowogród Bobrzański” oraz „Chynów”

Fig. 3. Comparison the highest level of the capillarity heave of salt water solution in the break stone from Nowogród Bobrzański and Chynów deposit



Ryc. 4. Porównanie przebiegu krzywych wzniosu kapilarnego w kruszywach naturalnych ze złożeń „Nowogród Bobrzański” oraz „Chynów”

Fig. 4. Curves of the capillarity heave in the break stone from Nowogród Bobrzański and Chynów deposit comparison

do 11 mm. Warto podkreślić, że we frakcjach drobnych i grubych wznios kapilarny 10-procentowego roztworu NaCl był niższy niż 5-procentowego roztworu NaCl, natomiast we frakcjach pośrednich zachodziła sytuacja odwrotna. Zbiorcze zestawienie przebiegu krzywych wzniosu kapilarnego w kruszywach naturalnych pochodzących ze złóż „Nowogród Bobrzański” i „Chynów” (ryc. 4) wykazało również, że prędkość wzniosu była niejednorodna (krzywe wielokrotnie przecinają się).

Podsumowanie

Przeprowadzone badania kapilarności gruntów oraz związków chemicznych stosowanych do zimowego utrzymania dróg wykazały, że wysokość wzniosu kapilarnego zależy przede wszystkim od genezy i rodzaju gruntu:

- wyższy wznios kapilarny stwierdzono w gruntach pochodzenia fluwioglacjalnego (piaskach drobnych ze złoża „Chynów”), a niższy w kruszywie o genezie rzecznej (piaskach średnich ze złoża „Nowogród Bobrzański”);
- w gruntach o grubszym uziarnieniu obserwowano niższy wznios kapilarny.

Zastosowanie do badań kapilarności wody destylowanej i różnych roztworów NaCl wykazało wyraźny spadek wzniosu kapilarnego roztworów chlorku sodu o stężeniu 5% i 10% w porównaniu do wzniosu kapilarnego wody, przy czym najniższy wznios kapilarny wystąpił przy użyciu 10-procentowego NaCl. Na tej podstawie można stwierdzić, że wzrost stężenia roztworów soli powoduje spadek wysokości wzniosu kapilarnego.

Proces ten jest dodatkowo stymulowany rodzajem i genezą gruntu. W gruntach o genezie rzecznej, czyli przemytych i pozbawionych frakcji ilastej, co m.in. miało miejsce w przypadku kruszywa pochodzącego ze złoża „Nowogród Bobrzański”, kationy sodu powodowały tylko częściowe zacieśnianie porów w gruncie, które mimo wszystko pozostały drożne. Natomiast w gruntach wykształconych w facji fluwioglacjalnej, czyli zawierających znaczne domieszki facji ilastej, reprezentowanych przez kruszywo ze złoża „Chynów”, mikropory pod wpływem kationów sodu uległy znacznemu wypełnieniu wodą związaną, co spowodowało znaczne zwiększenie wysokości wzniosu kapilarnego.

Przeprowadzone badania mają istotny wpływ na ocenę awaryjności obiektów drogowych, gdzie kapilarne podsiąkanie wody prowadzi do tworzenia wysadzin, a następnie – spękania nawierzchni drogowych. Z dokonanej analizy wynika, że najwyższy wznios kapilarny i – co za tym idzie – największą awaryjność dróg powoduje sama woda, natomiast dodatek NaCl, powszechnie stosowanego podczas zimowego utrzymania dróg, przyczynia się do obniżenia wzniosu kapilarnego i ogranicza ilość spękań wytwarzanych w nawierzchni drogi wskutek wysadzin i przełomów.

Biorąc pod uwagę możliwość ograniczenia awaryjności dróg, można wskazać na ewentualność stosowania soli podczas akcji zimowego utrzymania dróg. Jednak ze względu na konieczność ochrony środowiska przyrodniczego, ilość używanej soli musi być ściśle kontrolowana, a cały proces powinien być monitorowany w zakresie oceny wpływu na środowisko.

Niewątpliwie uzasadnione jest prowadzenie podobnych badań nad innymi związkami chemicznymi i wskazanie, które substancje stosowane do zimowego utrzymania dróg są nie tylko skuteczne w zimowym utrzymaniu dróg, ale również bezpieczne dla środowiska.

Literatura

- Dębski W., 1974. Mały poradnik drogowca. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Jansson A., 2004. Testing potassium formate as an alternative de-icer in Finland. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Krzyżowa, 17–19 listopada 2004, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa, s. 61–65.
- Kołodziejczyk U., 2004. Wpływ uziarnienia gruntu na stan wód kapilarnych i migrację zanieczyszczeń w podłoże nasypów drogowych. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Krzyżowa, 17–19 listopada 2004. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa, s. 69–77.
- Kowalski W.C., 1988. Geologia inżynierska. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa
- Nowicki L., 1981. Kierunki rozwoju techniki zimowego utrzymania dróg w okresie zimowym w świetle doświadczeń zagranicznych. Biblioteka Drogownictwa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, s. 5–14.
- Pečenik A., 1981. Wpływ środków chemicznych na roślinność przydrożną i miejską, stosowanych do usuwania śliskości zimowej. Biblioteka Drogownictwa. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, s. 71–75.
- Stypułkowski B., 2000. Zagadnienia utrzymania i modernizacji dróg i ulic. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Wacławski M. (red.), 2005. Zarys geologii i hydrogeologii. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.