

Norbert MAZUR

Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Chemii
Zakład Geochemii i Ochrony Środowiska
Kielce ul. Świętokrzyska 15 G., 25-406 Kielce
e-mail: norbertmazur91ujk@tlen.pl

Wpływ soli do odladzania dróg na środowisko przyrodnicze

„Sól drogowa” jest powszechnie stosowana na półkuli północnej do utrzymania czystych dróg w miesiącach zimowych. Najpowszechniej stosuje się chlorek sodu (NaCl), chlorek wapnia (CaCl_2) i chlorek magnezu (MgCl_2), przy czym NaCl stanowi 98% całkowitego zużycia. Sól kamienna i związki do odladzania mają negatywny wpływ na środowisko przyrodnicze. Ich wykorzystanie może prowadzić do spadku bioróżnorodności organizmów wodnych, zmian w mikrobiologicznej strukturze oraz zwiększenia toksyczności metali. Płazy są szczególnie narażoną grupą zwierząt, które żyją i rozmnażają się w tych siedliskach. Również ryby zamieszkujące wody w pobliżu dróg mogą być szczególnie narażone na NaCl. Stosowanie środków odladzających prowadzi do rosnącego zasolenia wód powierzchniowych i podziemnych, uszkodzenia nawierzchni drogowej i mostów, korozji rur instalacyjnych oraz degradacji przydrożnych gleb i roślinności. Aby uniknąć negatywnych skutków spowodowanych chlorkiem sodu, badano inne metody odladzania jezdni, takie jak: ciepło geotermalne, sole wytworzone z kwasu lewulinowego, elektryczne przewody grzejne i beton przewodzący prąd elektryczny. Jednakże ich zastosowanie nie ma obecnie większego znaczenia ze względu na stosunkowo niski koszt i łatwą dostępność chlorku sodu.

Słowa kluczowe: „sól drogowa”, chlorek sodu, zasolenie wód, odladzanie jezdni

Wstęp

W ostatnim dwudziestoleciu zaobserwowano znaczny wzrost stężenia sodu i jonów chlorkowych w wodach powierzchniowych zlokalizowanych w pobliżu jezdni. Problem ten obejmuje głównie kraje Ameryki Północnej (USA, Kanada) oraz północno-wschodniej Europy (Dania, Finlandia, Szwecja, Norwegia, Rosja, Ukraina, Polska). Główną przyczyną tego zjawiska jest stosowanie soli do odladzania dróg. Najczęściej wykorzystywanym środkiem przeciwoślodziwym jest chlorek sodu, jednak jego nadmierne stosowanie powoduje korozję, nieodwracalne zmiany w środowisku przyrodniczym oraz uszkodzenie nawierzchni drogowej. Rozwój infrastruktury drogowej w ostatnich latach zwiększył zużycie soli drogowej, a tym samym przyczynił się do negatywnych skutków ekologicznych. Odladzanie jezdni jest jednak procesem koniecznym do utrzymania dróg w okresie zimowym. Potwierdzają to badania przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych, które dowiodły, że stosowanie chlorku sodu jako środka przeciwoślodziwego zmniejszyło ilość wypadków samochodowych o 88%. W związku z tym przed jed-

nostkami zarządzającymi zimowym utrzymaniem dróg pojawia się wielkie wyzwanie, tzn. wybór takiego środka chemicznego, który zapewni usunięcie śniegu z jezdni, ale nie spowoduje pogorszenia stanu środowiska oraz dróg.

1. Charakterystyka środków chemicznych stosowanych do odladzania jezdni

Sól drogowa, głównie chlorek sodu (NaCl), jest środkiem powszechnie wykorzystywanym do usuwania śniegu i lodu na drogach [1, 2]. Zastosowanie soli do odladzania jezdni rozpoczęło się już w 1940 r. Od tego czasu chlorek sodu jest szeroko stosowany w północno-wschodniej Europie oraz Ameryce Północnej [3]. W 1940 r. zużyto 170 tys. ton NaCl, a w 2009 r. aż 15 mln ton tylko w samych Stanach Zjednoczonych [4]. Z kolei w Szwecji roczne wykorzystanie soli na jezdni szacuje się na około 200÷300 tys. ton [5].

Zimowe utrzymanie dróg obejmuje wiele działań mających na celu zmniejszenie zakłóceń ruchu drogowego wywołanych czynnikami atmosferycznymi. Do działań tych zalicza się usuwanie śliskości zimowej, która przyjmuje różne formy, np. gołoledzi, lodowicy, szronu, śliskości pośniegowej lub szadzi, przez zastosowanie odpowiednich środków chemicznych i niechemicznych [6]. Środki takie powinny:

- szybko, skutecznie oraz trwale likwidować śliskość zimową,
- być nieszkodliwe dla środowiska przyrodniczego,
- nie powodować korozji i uszkodzeń materiałów tworzących nawierzchnię.

Powszechnie stosuje się następujące środki przeciwoślodzeniowe:

1) niechemiczne:

- piasek - zwykle o średnicy cząstek od 0,1 do 1 mm,
- kruszywo naturalne lub sztuczne o wielkości ziaren do 4 mm.

2) chemiczne:

a) w postaci stałej:

- chlorek sodu (NaCl) - istnieją szerokie możliwości pozyskania chlorku sodu o różnej wielkości ziaren (sól kamienna, warzona i morska). Może być stosowany w postaci sypkiej, solanki (20÷25% roztwór NaCl) oraz soli zwilżonej [6]. Charakteryzuje się szybkim oraz skutecznym topnieniem lodu i śniegu, obniżając przy tym temperaturę zamarzania roztworu wodnego, co zapobiega powstawaniu gołoledzi. Wykazuje skuteczne działanie do temperatury -9°C [7]. Ganjyal i inni [8] sugerują, iż niewielki dodatek fosforanów do NaCl może zmniejszyć jego negatywne działanie;
- chlorek magnezu (MgCl_2) - wykazuje działanie przeciwoślodzeniowe. Pozyskuje się go w wyniku reakcji chemicznych lub bezpośrednio ze zbiorników słonych. Nazywany jest „strażnikiem zamarzania”, ponieważ działa skutecznie do temperatury -15°C . Charakteryzuje się silną higroskopijnością. W związku z tym należy przechowywać go w odpowiednich opakowaniach.

Działa skuteczniej niż chlorek sodu, ponieważ 1 kg chlorku magnezu zastępuje około 10 kg NaCl [6];

- chlorek wapnia (CaCl_2) - jest najczęściej otrzymywany metodą Solvaya. Chlorek wapnia jest wykorzystywany jako topnik, ponieważ ulega procesowi hydratacji (pochłanianie pary wodnej), w wyniku którego wydziela się ciepło (proces egzotermiczny) [6]. Jest związkiem higroskopijnym, działającym skutecznie w niskich temperaturach do -32°C [8]. Wadą stosowania tego środka jest utrudnione przechowywanie oraz transport (z uwagi na higroskopijność) oraz wysokie koszty zakupu, kilkakrotnie wyższe niż w przypadku chlorku sodu. Z tego też powodu jest niechętnie wykorzystywany przez służby odpowiedzialne za zimowe utrzymanie dróg. Natomiast jest stosowany jako dodatek do soli drogowej lub w postaci mieszaniny chlorku wapnia z chlorkiem sodu [6].

b) w postaci zwilżonej:

- chlorek sodu (NaCl) –30% solanki i 70% NaCl. Sól zwilżona powoduje szybsze topnienie lodu i śniegu oraz nie jest znoszona przez wiatr [6],
- chlorek magnezu (MgCl_2),
- chlorek wapnia (CaCl_2).

3) mieszanki środków niechemicznych i chemicznych.

W 1975 r. na Międzynarodowym Kongresie Utrzymania Dróg w Salzburgu potwierdzono skuteczne działanie mieszanin chlorku sodu i chlorku wapnia oraz chlorku sodu i chlorku magnezu. Stwierdzono, że mieszaniny szybko i skutecznie likwidują śliskość zimową w niskich temperaturach [6]. Powszechnie stosowane są mieszanki o następującym składzie:

- 4:1 - 80% NaCl i 20% CaCl_2 (MgCl_2),
- 3:1 - 75% NaCl i 25% CaCl_2 (MgCl_2),
- 3:1 - 67% NaCl i 33% CaCl_2 (MgCl_2).

Chlorek wapnia lub chlorek magnezu w wyniku reakcji hydratacji dostarcza ciepło, które jest konieczne do rozpoczęcia procesu topnienia śniegu. Zaletą stosowania mieszanin jest niski koszt, ponadto mieszanina w proporcji 19:1 chroni przed zbrylaniem soli.

W Polsce powszechnie stosowana jest sól drogowa, która jest mieszaniną chlorku sodu (97% NaCl), chlorku wapnia (2,5% CaCl_2) oraz heksacyjanożelazianu potasu (0,5% $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$). Dodatek heksacyjanożelazianu potasu jest stosowany w celu uniknięcia zbrylania się soli, które jest naturalnym zjawiskiem związanym z małą higroskopijnością NaCl. Sól drogowa charakteryzuje się różnym uziarnieniem i można wyróżnić:

- sól drobnoziarnistą - przeważają ziarna o średnicy mniejszej niż 1 mm,
- sól gruboziarnistą - przeważają ziarna o średnicy około 3 mm

Badania wskazują, że najbardziej skuteczny skład soli drogowej wynosi: 60÷80% ziaren o średnicy 3÷6 mm, maksymalnie 5% ziaren o średnicy 6 mm oraz 5% ziaren o średnicy mniejszej niż 0,18 mm [6].

2. Sól drogowa a zasolenie wód śródlądowych

Już od lat siedemdziesiątych XX wieku zaobserwowano znaczny wzrost stężenia sodu i jonów chlorkowych w wodach śródlądowych zlokalizowanych w pobliżu dróg. Jednak problem ten dopiero w ostatnim czasie przybrał na sile w wyniku rozwoju infrastruktury drogowej.

Podwyższone stężenia jonów Na^+ i Cl^- zaobserwowano w latach 90. ubiegłego wieku w wodach rzek krajów skandynawskich i Ameryki Północnej. Godwin i inni [1] badali stężenie tych jonów w rzece Mohawk w stanie Nowy Jork w latach 1990-1998. Otrzymane wyniki porównali z danymi uzyskanymi w latach 1950-1980. Stwierdzono, że stężenie sodu w czasie 40 lat, czyli od 1950 do 1990 r., wzrosło ponad dwukrotnie (w 1950 r. wynosiło 7,768 mg/l, a w 1990 r. aż 17,863 mg/l), a jonów chlorkowych ponad trzykrotnie (w 1950 r. wynosiło 8,201 mg/l, a w 1990 r. 28,130 mg/l), podczas gdy pozostałe badane jony, czyli K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , nie uległy większym zmianom (tab. 1). Od 1953 do 1974 r. stężenie Na^+ w rzece Mohawk wzrosło o 130%, a Cl^- o 243%. Natomiast od 1974 do 1998 r. stężenie sodu wzrosło o 34%, podczas gdy zawartość jonów chlorkowych o 40% (tab. 1).

Tabela 1. Skład jonowy wody w rzece Mohawk w różnych okresach [1]

Table 1. Ionic composition of the water in the river Mohawk in different times [1]

Jon	Średnie stężenie, mg/l			Różnica stężeń w latach 1950-1970, %	Różnica stężeń w latach 1970-1990, %
	1952-1953	1971-1974	1990-1998		
Na^+	7,768	13,334	17,863	129,59	33,97
K^+	2,330	2,763	2,172	-6,78	-21,37
Mg^{2+}	8,014	9,322	8,149	1,69	-12,58
Ca^{2+}	46,205	58,492	47,009	1,74	-19,66
Cl^-	8,201	20,079	28,130	243,02	40,04
SO_4^{2-}	36,343	44,042	28,068	-22,77	-36,27

Główną przyczyną tego zjawiska jest chlorek sodu, stosowany powszechnie jako sól drogowa. Szacuje się, że w stanie Nowy Jork wykorzystuje się dziennie 9,36 ton/km (drogi). Podobnie Dailey i inni [9] stwierdzili zwiększone stężenia i jonów Na^+ i Cl^- w wodach rzek stanu Ohio w Stanach Zjednoczonych, spowodowane stosowaniem do odładzania jezdni chlorkiem sodu. Największe zawartości jonów w tym stanie odnotowano w wodach rzeki Olentangy (stężenie Cl^- wynosiło 54 mg/l, a Na^+ - 27,4mg/l).

Problem zasolenia wód wynikający z wykorzystania NaCl jako środka przeciwo-blodzeniowego dotyczy również jezior, których zlewnie znajdują się w obszarach miejskich bądź przechodzą przez nie gęste sieci dróg. Sanzo i Hecnar zakładają, że stężenie soli w jeziorach wiejskich może dochodzić do 150 mg/l, a w jeziorach miejskich aż do 5000 mg/l [10]. Kelting i inni potwierdzili, iż jeziora zlokalizowane blisko dróg miały wyższe stężenia Na^+ i Cl^- (odpowiednio 32 mg/l i 58,4 mg/l)

niż jeziora znajdujące się daleko od jezdni (0,55 mg/l i 0,24 mg/l) [11]. Wysokie stężenia soli powodują zmianę w stratyfikacji jezior [2].

Również małe ciekie wodne ujawniają podwyższoną zawartość NaCl. Mahrosh i inni [12] wskazali, iż stężenie soli w strumieniach zależy od ich odległości względem drogi. Stężenie NaCl w rowach przydrożnych w czasie wiosennych roztopów może osiągać wartość nawet 18 000 mg/l. Z kolei w strumieniach znajdujących się dalej od jezdni jego zawartość może dochodzić do 4300 mg/l. Przykładem potwierdzającym powyższe dane są badania prowadzone w wiejskim strumieniu w Millbrook w stanie Nowy Jork, w których stwierdzono 3-krotny wzrost stężenia jonów sodu i chlorkowych w czasie ostatnich 30 lat (od 1986 do 2008 r.). Udowodniono również, iż stosowanie soli do odladzania stanowi 91% zwiększonej zawartości NaCl w strumieniu, a tylko 9% pochodzi z kanalizacji i ze ścieków. Wyższe stężenie soli obserwowano w miesiącach letnich, co wskazuje na zatrzymywanie soli w płytkich wodach podziemnych oraz glebie w okresach zimowych, a następnie ich późniejsze uwalnianie [3]. Sanzo i Hecnar [10] stwierdzili, że problem zasolenia może obejmować również mokradła, stawy oraz glebę. Stężenie soli w mokradłach może dochodzić do 4500 mg/l, a w stawach do 4000 mg/l [10, 12].

Problem ten obejmuje także prywatne studnie znajdujące się na terenach wiejskich. Badania wykazały, że w południowej Szwecji 67% studni zlokalizowanych w odległości mniejszej niż 100 m od jezdni miało zwiększoną zawartość chlorków [13].

3. Szkodliwość soli drogowej

Sól drogowa jest środkiem bardzo szkodliwym, powodującym wiele zniszczeń i zagrożeń dla środowiska przyrodniczego oraz infrastruktury drogowej. Negatywnym skutkiem jej działania jest wymieranie organizmów żywych, co prowadzi do zmniejszenia bioróżnorodności gatunkowej. Szczególnie narażone na zasolenie są płazy bytujące w rowach lub łąkach przydrożnych. Stwierdzono, że sól drogowa zwiększa śmiertelność żaby drzewnej (*Rana sylvatica*) poprzez redukcję jej masy oraz aktywności życiowej. Uznaje się, że stężenie soli od 2636 do 5109 mg/l powoduje nieodwracalne zmiany u tych płazów [12]. Z kolei stężenie śmiertelne dla kijanek żab drzewnych wynosi od 2500 do 5000 mg/l [10]. Udowodniono też, że NaCl wpływa negatywnie na rozwój traszki. Podwyższone stężenie soli u osobników dorosłych powoduje deformacje kręgosłupa, wygięcie ogona oraz torbiele, a u osobników młodych brak kończyn, małogłowie i zniekształcenie skrzeli [4]. Problem ten dotknął również ambystomę plamistą (*Ambystoma maculatum*) poprzez zniekształcenie kręgosłupa oraz powstawanie torbieli. Około 1000 mg/l soli drogowej zakłóca zdolność osmoregulacyjną salamandry plamistej (*Salamandra salamandra*). Z kolei sól $MgCl_2$, która jest stosowana w dużej ilości w Ameryce Północnej, wpływa negatywnie na pacyfotrytona szorstkiego (*Taricha granulosa*) [4].

Zasolenie wód dotyka również ryby żyjące w jeziorach, stawach i rzekach zlokalizowanych w pobliżu dróg. Sól drogową powoduje wymieranie ryb, zwłaszcza z gatunku łososiowatych, np. pstrąga potokowego (*Salmo trutta*). Dodatkowo NaCl powoduje zwiększenie mobilności jonów miedzi w wodzie, co negatywnie wpływa na ryby, powodując u nich: redukcję wzrostu, zaburzenia układu krążenia, obrzęk oraz problemy z rozwojem młodych osobników [12].

NaCl jako substancja żrąca dotyka również ssaki, powodując poranienia łap u psów i kotów. Wywołuje to podrażnienia oraz późniejsze zakażenia bakteryjne i drożdżakowe. Dodatkowo sól z ulic przyciąga łosie, które bardzo lubią jej smak. Przemieszczają się one do miast, by ją lizać, co kończy się uszczerbkiem na ich zdrowiu. Negatywnie na zdrowie ssaków wpływa też heksacyjanożelazian potasu, który jest stosowany jako dodatek do NaCl. Żelazocyjanki same w sobie są tylko nieznacznie toksyczne, ale mogą ulegać dysocjacji do cyjanków w wodzie o $\text{pH} < 8$ i przewodności elektrolitycznej większej od 600 mV [2]. Z kolei cyjanki bardzo szybko ulatniają się i stają się przyczyną zatrucia. W wodach podziemnych nie stanowią one zagrożenia, ponieważ wykazują znaczną skłonność do adsorpcji na materii organicznej [14].

W wyniku stosowania soli do odladzania jezdni u większości roślin rosnących przy drodze zauważono zahamowanie wzrostu, zmniejszenie rozmiarów oraz liczby liści i korzeni. Ograniczenia wzrostu organów nadziemnych są większe niż ograniczenia wzrostu korzeni. Zasolenie, oprócz toksycznego oddziaływania, ogranicza dostępność wody, co prowadzi do zaburzeń prawie wszystkich procesów życiowych [15]. Objawia to się plazmolizą komórek oraz redukcją chlorofilu, co powoduje zaburzenia w procesie fotosyntezy. W wyniku nagromadzenia NaCl w glebie dochodzi również do wymywania składników odżywczych, takich jak fosfor, wapń i potas. Powoduje jednak wzrost biodostępności boru dla roślin [2]. W przypadku świerka pospolitego (*Picea abies*) oraz sachalińskiego (*Picea glehnii*) dochodzi do zahamowania mikoryzy [16]. Munck i współautorzy stwierdzili, że co najmniej 15% drzew przydrożnych uschło w wyniku stosowania soli, przy czym jednak sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris*) jest bardziej podatna na uszkodzenia niż jodła [17]. Udowodniono również, że MgCl_2 jest bardziej szkodliwy niż NaCl dla 2 gatunków sosny: sosny żółtej (*Pinus ponderosa*) i sosny wydmowej (*Pinus contorta*) [2].

Stosowane zimą środki do odladzania jezdni przyczyniają się do niszczenia budowli żelbetonowych infrastruktury drogowej. Chlorki obecne w soli drogowej stanowią silny depasywator, powodujący korozję stali zbrojeniowej. W wyniku tego procesu materiał zwiększa swoją objętość, a to z kolei prowadzi do naprężeń w betonie oraz pęknięć i odspojenia otuliny. Równolegle przebiegają procesy dyfuzyjne, które prowadzą do całkowitego zniszczenia [18]. Zmiany zachodzące w strukturze betonu zależą od jego rodzaju. Dlatego też stosuje się dodatki, które mają na celu ochronę przed korozją chlorkową [19].

Sól drogową przyczynia się również do wymywania pierwiastków i związków chemicznych z gleby oraz wzrostu pH. Wykazano, że szczególnie wiosną NaCl uwalnia ciężkie metale (Cu, Cr, Pb i Ni) z koloidów i substancji organicznych.

Proces ten spowodowany jest głównie wymianą jonową i tworzeniem kompleksów chlorkowych [2]. Potwierdzają to badania prowadzone w Norsholm, które dowiodły, że zawartość metali ciężkich w wodach przydrożnych rowów znacznie wzrasta wiosną i zimą. Stężenie Cd w lecie wyniosło 0,01 µg/l, a zimą 2 µg/l, z kolei miedzi latem 20 µg/l, a w miesiącach wiosennych 70 µg/l [13]. Sól drogowa powoduje również zmiany w strukturze, mikroflorze oraz mikrofaunie gleby. Wysokie stężenia chlorków stają się przyczyną zakwaszenia gleby, co wiąże się z obniżeniem aktywności mikrobiologicznej. W wyniku tego hamowane są procesy przemiany związków azotu w glebie oraz rozkładu związków organicznych. Wyniki badań wykazały, że dodatek 0,25 mg/g NaCl spowodował redukcję wydzielanego CO₂ z gleby o 16% [20].

Dodatkowo sól drogowa niszczy również obuwie i odzież, przyspiesza korozję podwozi i karoserii samochodów oraz zmienia strukturę gleby, blokując tym samym przyswajalność składników mineralnych.

4. Alternatywne sposoby odładzania jezdni

Przygotowania do zimowego utrzymania dróg rozpoczynają się już w okresie letnim i polegają na nasadzeniu drzew i krzewów, które będą osłaniać pas drogi przed zaśnieżeniem, oraz na udrażnianiu systemów odwodnienia dróg. Z kolei w bezpośrednim zwalczaniu śliskości zimowej stosuje się 3 metody: zapobiegawczą (polega na pokryciu nawierzchni drogi środkami chemicznymi obniżającymi temperaturę zamarzania wody, zanim nastąpi oblodzenie), likwidacyjną (usunięcie gołoledzi, lodowicy oraz zlodowacenia z dróg za pomocą odpowiednich substancji) oraz zwiększania szorstkości. Metoda zwiększania szorstkości należy do metod tradycyjnych. W celu zwiększenia przyczepności drogę posypuje się różnymi materiałami, np. piaskiem, kruszywem naturalnym lub sztucznym oraz żuzłem [21].

Obecnie nie ma możliwości zastąpienia metody chemicznej inną metodą o zbliżonej skuteczności. Dlatego też od wielu lat prowadzone są badania nad przydatnością nowych substancji chemicznych - w celu wyboru takiego środka, który będzie jednocześnie skuteczny oraz bezpieczny dla środowiska. Do alternatywnych środków przeciwołodzeniowych stosowanych na świecie należą: alkohole (C_nH_{2n+1}OH), mrówczan sodu (HCOONa), octan potasu (CH₃COOK), octan magnezu ([CH₃COO]₂Mg), octan wapnia ([CH₃COO]₂Ca), octan wapniowo-magnezowy (CMA), roztwory bogate w cukry, mocznik oraz glikole [2, 22].

Wykorzystanie octanu wapniowo-magnezowego (CMA) do odładzania dróg było rezultatem programu badawczego Federalnej Administracji Dróg (Federal Highway Administration) w 1970 r. Stwierdzono wówczas, że CMA działa skutecznie do temperatury -5°C. Poza tym nie wpływa negatywnie na środowisko. Badania potwierdziły, że CMA jest nieszkodliwy dla roślin i zwierząt oraz dużo mniej korozyjny niż NaCl. Wadą octanu wapniowo-magnezowego jest niska gęstość oraz mały rozmiar cząstek, co przejawia się tworzeniem pyłu, który jest zdmuchiwany podczas przeładunku lub bezpośrednio z jezdni. Obecnie nie jest szeroko stosowa-

ny ze względu na jego wysoki koszt. CMA jest dziesięciokrotnie droższy od chloru sodu [8].

Poszukiwano również innych środków chemicznych do odładzania z zasobów odnawialnych. Przykładem tego są sole kwasu lewulinowego, pochodzące z ziaren sorgo. Proces wytwarzania tych soli składa się z 2 etapów:

- 1) hydrolizy kwasowej, która ma na celu przekształcanie sorgo w kwasy organiczne, głównie w kwas lewulinowy. W niskim pH pentozy, jak również heksozy przekształcane są w furan, który dalej ulega rozkładowi w kwas lewulinowy.
- 2) reakcji kwasów organicznych z węglanem sodu, wapnia lub magnezu w celu wytworzenia odpowiedniej soli.

Sole kwasu lewulinowego są skuteczne do temperatury -12°C . Stwierdzono też, że nie działają one szkodliwie na rośliny i zwierzęta oraz są mało korozyjne. Najbardziej efektywny jest lewulinian sodu, który działa wydajnie do temperatury $-12,2^{\circ}\text{C}$. Szybko i skutecznie topi śnieg oraz lód (do 15 minut). Dodatkowo ruch pojazdów powoduje rozbryzg soli i jej wymieszanie ze śniegiem, co prowadzi do przyspieszenia procesu topnienia. Z kolei lewulinian magnezu działa efektywnie w temperaturze $-6,7^{\circ}\text{C}$ a lewulinian wapnia $-3,9^{\circ}\text{C}$. Należy jednak podkreślić, że opisane sole nie są szeroko stosowane ze względu na wysoki koszt produkcji [8].

W ostatnich latach zaczęto stosować instalację do odładzania i topnienia śniegu. Wyróżnia się 4 typy instalacji:

- system wodny geotermii niskotemperaturowej z ogrzewaniem przypowierzchniowej warstwy gruntu,
- system elektryczny - maty lub przewody grzejne elektryczne ułożone na ogrzewanej nawierzchni,
- systemy podczerwieni - przemysłowe promienniki ciepła,
- systemy hybrydowe - ogniwa PV, kolektory słoneczne, pompy ciepła, ciepło odpadowe.

Instalacje topnienia śniegu stosowane są najczęściej dla chodników, dróg, podjazdów, pasów startowych, parkingów, postoi samochodowych, mostów i stadionów sportowych. Znalazły zastosowanie w USA (w takich stanach, jak: Teksas, Oregon, Wirginia, Wirginia Zachodnia), w Europie, głównie w Niemczech (Lübeck, Harz), oraz Azji (Japonia, Chiny, Korea Południowa). Do głównych zalet instalacji odłódzenia i topnienia śniegu należą: niski koszt utrzymania chronionych powierzchni (brak strat wynikających z uszkodzeń zimowych), bezpieczeństwo i komfort użytkowania oraz brak zagrożenia dla środowiska przyrodniczego. Jedyłą wadą tych instalacji jest droższy koszt inwestycyjny [23].

Podsumowanie

Chlorek sodu jest bardzo tanim i skutecznym środkiem przeciwoślodzeniowym, dlatego jest powszechnie wykorzystywany. Jednakże wyrządza przy tym duże zniszczenia i stwarza zagrożenie dla środowiska przyrodniczego. Konieczne jest więc poszukiwanie nowych środków chemicznych, które będą tanie w produkcji,

a zarazem skuteczne w działaniu. Odkryto już kilka środków chemicznych, działających efektywnie, np. CaCl_2 lub sole kwasu lewulinowego, ale ich koszt wytworzenia jest zdecydowanie za wysoki. Duże nadzieje wiąże się z instalacjami topnienia śniegu i odladzania, które mają coraz szersze zastosowanie. Jediną jak dotąd ich wadą jest wysoki koszt inwestycyjny, który jednak z czasem powinien się zmniejszać.

Literatura

- [1] Godwin K.S., Hafner S.D., Buff M.F., Long-term trends in sodium and chloride in the Mohawk River, New York: The effect of fifty years of road-salt application, *Environmental Pollution* 2003, 124, 273-281.
- [2] Gałuszka A., Migaszewski Z. M., Podlaski R., Dołęgowska S., Michalik A., The influence of chloride deicers on mineral nutrition and the health status of roadside trees in the city of Kielce, Poland, *Environmental Monitoring and Assessment* 2011, 176, 451-464.
- [3] Kelly V.R., Lovett G.M., Weathers K.C., Findlay S.E., Strayer D.L., Burns D.J., Liekens G.E., Long-term sodium chloride retention in a rural watershed: Legacy effects of road salt on stream-water concentration, *Environmental Science and Technology* 2008, 42, 410-415.
- [4] Hopkins G.R., French S.S., Brodie E.D., Increased frequency and severity of developmental deformities in rough-skinned newt (*Taricha granulosa*) embryos exposed to road deicing salts (NaCl & MgCl_2), *Environmental Pollution* 2013, 173, 264-269.
- [5] Thunqvist E.L., Regional increase of mean chloride concentration in water due to the application of deicing salt, *Science of the Total Environment* 2004, 325, 29-37.
- [6] Czarna M., Przegląd środków chemicznych stosowanych w zimowym utrzymaniu dróg w Polsce, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego* 2013, 31, 18-25.
- [7] Rodrigues P.M., Rodrigues R.M., Costa B.H., Tavares Martins A.A., Esteves da Silva J.C., Multivariate analysis of the water quality variation in the Serra da Estrela (Portugal) Natural Park as a consequence of road deicing with salt, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 2010, 102, 130-135.
- [8] Ganjyal G., Fang Q., Hanna M.A., Freezing points and small-scale deicing tests for salts of levulinic acid made from grain sorghum, *Bioresource Technology* 2007, 98, 2814-2818.
- [9] Dailey K.R., Welch K.A., Lyons B.W., Evaluating the influence of road salt on water quality of Ohio rivers over time, *Applied Geochemistry* 2014, 47, 25-35.
- [10] Sanzo D., Hecnar S.J., Effects of road de-icing salt (NaCl) on larval wood frogs (*Rana sylvatica*), *Environmental Pollution* 2006, 140, 247-256.
- [11] Kelting D.L., Laxson C.L., Yerger E.C., Regional analysis of the effect of paved roads on sodium and chloride in lakes, *Water Research* 2012, 46, 2749-2758.
- [12] Mahrosh U., Kleiven M., Meland S., Rosseland B.O., Salbu B., Teien H.C., Toxicity of road deicing salt (NaCl) and copper (Cu) to fertilization and early developmental stages of Atlantic salmon (*Salmo salar*), *Journal of Hazardous Materials* 2014, 280, 331-339.
- [13] Bäckström M., Karlsson S., Bäckman J., Folkesson L., Lind B., Mobilisation of heavy metals by deicing salts in a roadside environment, *Water Research* 2004, 38, 720-732.
- [14] Perera N., Gharabaghi B., Howard K., Groundwater chloride response in the Highland Creek watershed due to road salt application: A re-assessment after 20 years, *Journal of Hydrology* 2013, 479, 159-168.
- [15] Wrochna M., Gawrońska H., Borkowska B., Gawroński S., Wpływ na akumulację biomasy i fluorescencje chlorofilu u roślin trzech odmian szarlatu ozdobnego, *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu* 2007, 41, 235-239.

- [16] Kayama M., Quoreshi A. M., Kitaoka S., Kitahashi Y., Sakamoto Y., Maruyama Y., Kitao M., Koike T., Effects of deicing salt on the vitality and health of two spruce species, *Picea abies* Karst., and *Picea glehnii* Masters planted along roadsides in northern Japan, *Environmental Pollution* 2003, 124, 127-137.
- [17] Munck I. A., Bennett C. M., Camilli K. S., Nowak R. S., Long-term impact of de-icing salts on tree health in the Lake Tahoe Basin: Environmental influences and interactions with insects and diseases, *Forest Ecology and Management* 2010, 260, 1218-1229.
- [18] Zybura A., Opis dyfuzji chlorków w betonie według teorii ośrodka wieloskładnikowego, *Roczniki Inżynierii Budowlanej* 2011, 11, 155-160.
- [19] Kołodziejczyk U., Wpływ chlorku sodu stosowanego w zimowym utrzymaniu dróg na kapilarność gruntów, *Geologos* 2007, 11, 220-226.
- [20] Green S. M., Machin R., Cresser M. S., Effect of long-term changes in soil chemistry induced by road salt applications on N-transformations in roadside soils, *Environmental Pollution* 2008, 152, 20-31.
- [21] Czarna M., Kołodziejczyk U., O chemicznych sposobach likwidowania śliskości pośniegowej, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego* 2012, 26, 33-43.
- [22] Czarna M., Kołodziejczyk U., Litwinowicz S., Analiza szybkości topnienia lodu pod wpływem środków chemicznych stosowanych w zimowym utrzymaniu dróg, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego* 2012, 25, 28-33.
- [23] Zhao H., Wu Z., Wang S., Zheng J., Che G., Concrete pavement deicing with carbon fiber heating wires, *Cold Regions Science and Technology* 2011, 65, 413-420.

Impacts of Road Deicing Salt on Natural Environment

„Road salt” is widely used in the northern hemisphere to maintain clear roads in the winter months. The most commonly used substances are sodium chloride (NaCl), calcium chloride (CaCl₂), and magnesium chloride (MgCl₂), wherein NaCl accounts for 98% of all usage. Rock salt and deicing compounds have a negative effect on the environment. Their use may lead to decrease in aquatic biodiversity, changes in microbial community structure and increased toxicity of metals. Amphibians are a particularly vulnerable group of animals that live and breed in these habitats. Also, fish inhabiting waters near roads may be particularly susceptible to NaCl. The use of these chloride deicers leads to the increasing salinization of surface and underground waters, damage to concrete pavements and bridge decks, corrosion of conduit pipes, and degradation of roadside soils and vegetation. To avoid adverse effects caused by sodium chloride, other pavement deicing methods have been explored, such as ground source heat pipes, salts made from levulinic acid, electric heating cables and electrically conductive concrete. However, the application of these methods is not significant, due to the comparatively low cost and high availability of sodium chloride.

Keywords: “road salt”, sodium chloride, water salinization, road de-icing