

F dr hab. inż. **Alicja Sotowczuk**, KDMiMB WBIA, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny ZUT w Szczecinie

Fot. 1a



Fot. 1b



Zasady projektowe i warunki zimowego utrzymania

W niniejszym artykule autorka chciałaby się podzielić wnioskami płynącymi z uwzględniania podczas projektowania autostrad oraz dróg ekspresowych warunków eksploatacji nawierzchni i zimowego utrzymania.

W praktyce inżynierskiej mamy do czynienia z różnymi stanami wykorzystania nabytej wiedzy, można tu zaliczyć stany: projektowania, wykonawstwa, utrzymania i wydawania opinii biegłych w sprawie zdarzeń drogowych, katastrof budowlanych itd. Przeważnie później, w trakcie wykonywania ekspertyz i wydawania opinii, okazuje się, jak ważne jest wykorzystanie całości nabytej wiedzy inżynierskiej już na etapie projektowania. Jak to wielokrotnie sprawdziło się już w praktyce, nie zawsze opłacalne jest stosowanie w projektach minimalnych wartości jakichś parametrów czy wskaźników – czasami praktyka zawodowa (wykonawcza i utrzymaniowa) podpowiada realniejsze i bardziej życiowe rozwiązania. Np. weźmy pod uwagę warunki przyjmowane w procesie projektowania zgodnie z Warunkami Technicznymi WT (1) lub WPD (2). W naszych polskich zaleceniach i wytycznych w procesie projektowania przyjmuje się promienie łuków poziomych i pionowych, kierując się założeniami zachowania bezpieczeństwa ruchu na mokrej nawierzchni. W procesie projektowym nie uwzględnia się warunków zimowych, w których aura dostarcza czasem niesamowitych zjawisk. I to jest poprawne postępowanie, gdyż nie można projektować dróg ze względu na wyjątkowe i ekstremalne stany, ale jednak ten wyjątkowy stan ekstremalnych i rzadkich przypadków związanych z praktyką zimowego utrzymania dróg wskazuje na pewne luki w przepisach dotyczących zapewnienia bezpieczeństwa ruchu. Weźmy na przykład pod uwagę projektowanie łuków poziomych, w których warunkiem przyjęcia przez projektanta konkretnej wartości promienia łuku poziomego jest zapewnienie widoczności bocznej. Podczas projektowania np. autostrady mamy wielopasowy przekrój poprzeczny, w którym ograniczenie widoczności bocznej na pasie wewnętrznym mogą stwarzać w pewnej konfiguracji planu i profilu podłużnego bariery ochronne umieszczone na pasie dzielącym (fot. 1), mimo że są na wysokości 0,75 m, czyli poniżej wysokości oczu kierowcy (równiej 1 m). Np. mamy prędkość projektową równą 120 km/h i odpowiadającą jej zgodnie z WT (1) prędkość

Summary

This article presents the conclusions drawn by the Author about designing motorways and expressways while including surface pavement exploitation and winter road maintenance.

miarodajną $v_m = 130$ km/h. Autostrada jest dwujezdniowa, szerokość pasa ruchu wynosi 3,75 m. Na fragmencie łuku poziomego lewego zakładane pochylenie podłużne wahać się będzie pomiędzy wartością $i = -2\% \div -4\%$. Widoczność boczną powierzchni jezdni dla kierowcy jadącego po pasie wewnętrznym jezdni prawej ograniczają bariery ochronne umieszczone na pasie dzielącym (dla ułatwienia bez barier przeciwolśnieniowych), a dla kierowcy jadącego na pasie zewnętrznym jezdni lewej bariery ochronne zewnętrzne umieszczone na poboczu gruntowym (fot. 1). Dla uproszczenia analizy przyjmijmy, że promień będzie miał tę samą wartość w osi wszystkich pasów.

Zdjęcia 1a, b, c, d, ilustrujące wspomnianą sytuację, przedstawiają łuk poziomy lewy na autostradzie A75, relacji Paryż – Marsylia. W kierunku Paryż – Marsylia pochylenie podłużne wynosi $i = -2\% \div -4\%$, odległość bariery ochronnej od krawędzi opaski wewnętrznej jest równa 0,75 m, a szerokość opaski wewnętrznej jest równa 0,5 m (rys. 1). W kierunku Marsylia – Paryż pochylenie podłużne autostrady wynosi $i = 2 \div 4\%$, odległość bariery ochronnej od krawędzi pasa awaryjnego jest równa 0,75 m, a szerokość pasa awaryjnego jest równa 3,0 m. Bardziej niekorzystną, konieczną do zapewnienia i wymaganą odległość widoczności na zatrzymanie w danych warunkach należy wyznaczyć na spadku, czyli w rozpatrywanym przykładzie w kierunku Paryż – Marsylia i to ona będzie determinować przyjęcie w projekcie wartości promienia łuku poziomego.



Fot. 1c



Fot. 1d

Fot. 1. Łuki poziome lewe na autostradzie A75 we Francji (zdjęcia zrobione są z okna piętrowego autobusu, nie odzwierciedlają więc w pełni warunków widoczności z wysokości 1 m zwykłego użytkownika autostrad; zdjęcia wykonano przy prędkości jazdy autobusu równej 100 km/h)



Fot. 2. Zimowe utrzymanie; usunięcie warstwy śniegu z powierzchni jezdni wykonane zgodnie z wytycznymi: „nawierzchnia jest czarna”; prędkość pojazdu, z którego wykonano zdjęcie, wynosiła 110 km/h

Zadanie doboru wielkości promienia łuku poziomego najlepiej jest rozwiązać metodą iteracji, tzn. kolejnego doboru wartości promienia, przy wykorzystaniu wzorów z tabeli 1.

Wartość promienia projektowanego łuku poziomego lewego na autostradzie, zlokalizowanego na odcinku spadku $-2\% \div -4\%$ w profilu podłużnym, zgodnie z WT i przedstawionymi wyżej wynikami iteracji, projektant powinien przyjąć większą niż 5000 m. W WPD 1 (2) zaleca się stosowanie podczas projektowania nowych dróg promieni łuków większych od wartości minimalnych, dopuszczając minimalne wartości tylko w procesie projektowania przebudowy. **Sugerowano by zatem przyjąć większego promienia łuku.** Dlaczego? Bo przedstawione

w obliczeniach wartości są oszacowane na warunki minimalne, ale w czasie eksploatacji autostrady stan nawierzchni będzie się pogarszał w miarę upływu czasu i współczynnik przyczepności nie będzie zawsze równy 0,4, co odpowiada normowej odległości widoczności 350 m (określonej z §168 WT [1]). Współczynnik przyczepności, zgodnie z SOSN (3), dla klasy utrzymania nawierzchni A powinien wynosić $\mu \geq 0,52$, a dla klasy B powinien zawierać się w przedziale $0,37 \leq \mu < 0,52$, a to oznacza, że w warunkach eksploatacji nawierzchni np. w klasie B odległość widoczności (przy powyżej założonych warunkach projektowych) i różnej wartości współczynnika przyczepności może wahać się w granicach od 282 m ($\mu = 0,51$) do 376 m ($\mu = 0,37$).

Ten sam łuk poziomy w warunkach zimowego utrzymania autostrad po przeprowadzonej akcji usuwania śniegu z powierzchni jezdni może wyglądać następująco (fot. 2 i 3).

W rozważanym przypadku, przedstawionym na fot. 2 i 3, temperatura powietrza wynosiła $+2^\circ\text{C}$ i wiał lekki wiatr. Jezdnia była wilgotna, jak to podczas zimy, w żadnym przypadku nie była jednak mokra, tj. nie było na niej ciągłej warstwy wody.

Jeśli dalej rozważać teoretycznie opisane wyżej zadanie z lekko zmodyfikowaną treścią, np. że na zaprojektowanym łuku poziomym lewym o promieniu 5000 m samochód osobowy A jadący po pasie wewnętrznym z prędkością miarodajną, na pewno zapewnioną w danym przypadku, zderzył się z samochodem oso-

		KIERUNEK MARSYLIA – PARYŻ JEZDNIA LEWA, WZNIESIENIE $+2\% \div +4\%$	KIERUNEK PARYŻ – MARSYLIA JEZDNIA PRAWA, SPADEK $-2\% \div -4\%$
		$L_z^{normowe}$ wyznaczone z (1) §168	
		$L_z^{normowe} = 290$ m	$L_z^{normowe} = 350$ m
		$m_{rz} = 0,5 \cdot 3,75 + 3,0 + 0,75 = 5,63$ m	$m_{rz} = 0,5 \cdot 3,75 + 0,5 + 0,75 = 3,13$ m
$\cos \alpha = \frac{R - m_{rz}}{R}$	$R = 4000$ m	$\cos \alpha \approx 0,99859 \rightarrow \alpha \approx 3,0389^\circ$	$\cos \alpha \approx 0,99922 \rightarrow \alpha \approx 2,2649^\circ$
$L_d = \frac{R\alpha}{28,65}$		$L_d \approx 424,3$ m	$L_d \approx 316,2$ m
sprawdzenie, czy $L_d > L_z^{normowe}$		$L_d = 424$ m $>$ $L_z^{normowe} = 290$ m	$L_d = 316$ m $<$ $L_z^{normowe} = 350$ m
$\cos \alpha = \frac{R - m_{rz}}{R}$	$R = 5000$ m	$\cos \alpha \approx 0,99888 \rightarrow \alpha \approx 2,7180^\circ$	$\cos \alpha \approx 0,99938 \rightarrow \alpha \approx 2,0258^\circ$
$L_d = \frac{R\alpha}{28,65}$		$L_d \approx 474,4$ m	$L_d \approx 353,6$ m
sprawdzenie, czy $L_d > L_z^{normowe}$		$L_d = 474$ m $>$ $L_z^{normowe} = 290$ m	$L_d = 353$ m $>$ $L_z^{normowe} = 350$ m

Tab. 1. Dobór wielkości promienia łuku poziomego metodą iteracji



Fot. 3. Zimowe utrzymanie, czyli usunięcie warstwy śniegu z powierzchni jezdni wykonane „prawie” zgodnie z wytycznymi, jednak wały odgarniętego śniegu i zbrzydlonego lodu są dużo wyższe niż w przypadku z fot. 2; na jezdni są widoczne języki śnieżne; prędkość pojazdu, z którego wykonano zdjęcie, wynosiła 100 km/h



Fot. 4. Zimowe utrzymanie wykonane niezgodnie z wytycznymi (9)



Fot. 5. Negatywny przykład zimowego utrzymania (formowania wałów śniegu i zbrzydlonego lodu), wykonanego niezgodnie z wytycznymi (9)



Fot. 6. Przykład nieprawidłowego składowania wałów śniegu – stan na tydzień po dużych opadach śniegu i przeprowadzonej akcji odśnieżania ekspresowej drogi dwujezdniowej

▷ bowym B, jadącym także po pasie wewnętrznym, z prędkością np. projektową, to orzeczenie biegłego sądowego nie może brzmieć w danym przypadku, że **sprawca zdarzenia drogowego (czyli kierowca samochodu A) nie dostosował prędkości kierowanego pojazdu do warunków drogowych**. Warunki drogowe były wręcz idealne, jezdnia była czarna, droga miała nawierzchnię dobrze utrzymaną, wartość promienia łuku poziomego lewego była wyższa niż wymagana normowa, przy zapewnieniu odległości widoczności większej „aż o 3 m” niż wymagana w WT i równa 350 m. Załóżmy w teoretycznych rozważaniach, że na podstawie przeprowadzonych badań współczynnika tarcia otrzymano np. wartość $\mu = 0,39$, czyli stan nawierzchni był dobry (wg SOSN – klasa utrzymania B), a jednak kierowcy samochodu A zabrakło paru metrów (tzw. bufora bezpieczeństwa) do bezpiecznego zatrzymania się przed samochodem B. W orzeczeniu biegłych powinno się stwierdzić nie, kto jest winien, tylko, czy zapewnione były warunki drogowe lub czy kierowcy dostosowali się do panujących warunków drogowych, a to oznacza, że zimowe utrzymanie i zasy nie są tu w ogóle rozpatrywane! O tym więc, kto jest winien, zdecyduje sąd, na pewno nie biegli sądowi.

Drażąc temat dalej i podnosząc pewne dywagacje na temat winy, dojdzie się do wniosku, że winien jest po części również projektant, bo nie uwzględnił warunków eksploatacji drogi (czyli pogarszających się właściwości przeciwpoślizgowych) i koniecznego do zapewnienia bufora bezpieczeństwa, gdyż wartość promienia łuku poziomego przyjął w obszarze minimalnym. Winni są także po części drogowcy, bo odśnieżając powierzchnię jezdni autostrady zostawili wały śnieżne na pasie dzielącym, powodując nie tylko ograniczenie widoczności bocznej, ale także w konsekwencji ciągłe zwilżenie nawierzchni podczas topnienia zgromadzonego śniegu. Wina drogowców w danym przypadku jest jednak znacznie większa, bo przy wynikach z badań SOSN ($\mu = 0,39$) nie spraw-

dzieli warunków widoczności i nie postawili znaków ograniczenia prędkości B33, ze względu na pogorszone warunki przyczepności i konieczną w danym przypadku do zapewnienia odpowiedniej odległości widoczności (przy zapewnionej na łuku poziomym dysponowanej odległości widoczności równej $L_d = 353$ m).

$$L_z^{ekspl.} = 0,278vt_r + \frac{v^2}{254(\mu\eta \pm i)} = 0,278 \cdot 130 \cdot 2 + \frac{130^2}{254(0,39 \cdot 0,7 - 0,04)} = 357,8 \approx 358 \text{ [m]} \quad [1]$$

$$L_z^{ekspl.} = 0,278vt_r + \frac{v^2}{254(\mu\eta \pm i)} = 0,278 \cdot 120 \cdot 2 + \frac{120^2}{254(0,39 \cdot 0,7 - 0,04)} = 310,0 \text{ [m]} \quad [2]$$

gdzie:

$L_z^{ekspl.}$ – odległość widoczności, uwzględniająca także stan nawierzchni w procesie eksploatacji, wyznaczona z klasycznego wzoru, m,

v – prędkość zależnie od rodzaju rozpatrywanej analizy: miarodajna, realizowana przez dany samochód, dopuszczalna na drodze i podana na pionowym znaku drogowym B33, km/h,

t_r – czas reakcji kierowcy na drogach zamiejskich równy 2 s,

μ – miarodajny współczynnik przyczepności uzyskany na podstawie badań SOSN, [-],

η – współczynnik wykorzystania przyczepności podłużnej równy: przy hamowaniu panicznym – $\eta = 1$, a przy hamowaniu bezpiecznym – $\eta = 0,7$, [-],

i – wartość pochylenia podłużnego podana w ułamku dziesiętnym.

Problem odśnieżania jezdni autostrad i dróg ekspresowych jest w naszym kraju jeszcze niedostatecznie rozwiązany. Przykłady niesumiennej przeprowadzonej akcji odśnieżania jezdni przedstawio-



Fot. 7. Przykład nieprawidłowego składowania wałów śniegu – stan po 10 dniach od zamieci i przeprowadzonej akcji odśnieżania ekspresowej drogi dwujezdniowej; w trakcie odwilży i dodatniej temperatury powietrza w ciągu dnia rozpoczyna się proces tajania wałów śniegu na powierzchni obiektu, a nocą – ponownego zamarzania wody ze stopionych wałów

ne na fot. 2 i 3, w odczuciu autorki, nie są czymś wyjątkowym. Taki sposób odśnieżania jezdni u nas jest raczej „typowy” dla dróg o niższym standardzie odśnieżania i w danych przypadkach wypróbowane doświadczenia z odśnieżania dróg krajowych zostały przeniesione na wybudowane odcinki autostrad i dróg ekspresowych, wobec czego efekt w postaci zalegających wałów odgarniętego z jezdni śniegu to wynik bezradności, braku doświadczenia i dostatecznej wyobraźni.

Wały śniegu powstałe z odśnieżania jezdni autostrad i dróg ekspresowych nie mogą być formowane na poboczu drogi (fot. 4), gdyż ustawione tam bariery ochronne nie spełniają wówczas żadnej funkcji (fot. 6). A w przypadku poślizgu samochodu i niekontrolowanego skierowania się go w stronę zewnętrznej bariery ochronnej, odłożone na poboczu drogi wały śniegu i lodu stanowiąc mogą doskonałą „pochylnię” dla samochodu, wyrzucającą samochód poza koronę drogi.

Co gorsza, śnieg i zbrylony lód odłożone na poboczu drogi będą także nawadniały bardzo skutecznie grunt pobocza i krawędź skarpy (fot. 4), w wyniku czego wiosną na utrzymanie bardzo nawilżonych skarp, które obsuną się prawdopodobnie w tych miejscach, trzeba będzie wydatkować i przede wszystkim pozyskać dodatkowe nakłady na ich naprawę, czasami beznadziejną i zależną od rodzaju gruntów użytych do budowy nasypu.

Ostatnią kwestią w rozważanym przypadku jest także przeanalizowanie kwestii składowania śniegu zgarniętego z jezdni autostrady czy drogi ekspresowej na skrajnym fragmencie przekroju poprzecznego, tj. poboczu gruntowym i znajdujących się na nim barierach ochronnych oraz ekranach dźwiękochłonnych. Bardzo negatywny przykład przedstawiony na fot. 5 w praktyce zimowego utrzymania w ogóle nie powinien mieć miejsca, a na naszych autostradach i drogach ekspresowych niestety występuje dość często. Ekran dźwiękochłonny jest zaprojektowany na obniżenie poziomu dźwięku i zwymiarowany na ewentualne działanie wiatru, nie na parcie boczne wału śniegu i zbrylonego lodu, przy maksymalnie nawodnionym gruncie wokół fundamentów. Ekran usytuowany jest w przytoczonym przykładzie (fot. 5) na poboczu gruntowym prawie na krawędzi korony drogi i skarpy nasypu. Grunt wokół

fundamentów słupów ekranu przy masie wody, która powstanie w wyniku stopienia się wałów śniegu i zbrylonego lodu, uformowanych podczas odśnieżania jezdni, będzie miał graniczny stan nasycenia wodą i nie będzie stanowił statecznego podparcia.

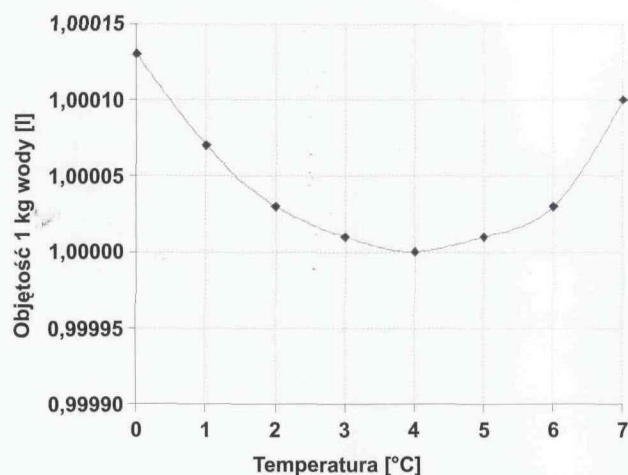
Stan zabrudzenia wałów śniegu i lodu (fot. 5) świadczy o tym, że odśnieżanie przeprowadzono kilka dni wcześniej, stosując maksymalną dopuszczalną proporcję soli drogowej z bardzo dużą zawartością piasku. Trzeba sobie jednak uzmysłowić, że na parcie boczne takich wałów zlodowaciałego śniegu nie jest również obliczona konstrukcja zastosowanego ekranu. Przypuśćmy, że w tych warunkach dochodzi do zmiany pogody i z lekkiej odwilży aura zmienia się w śnieżycę i następują nowe opady śniegu. Nie ma wówczas możliwości odśnieżenia jezdni, gdyż nie ma miejsca do składowania nowych partii śniegu podczas odśnieżania jezdni. Nie zapewni się więc przewidzianej w *Standardach zimowego utrzymania* (4) czarnej nawierzchni dla klasy II podwyższonej. Odcinki drogi przedstawione na powyższych zdjęciach będą więc w konsekwencji „wypadkogenne”, pomimo że spełniają podstawowe wymagania projektowe, tzn. zastosowany promień łuku poziomego zapewnia normową wartość odległość widoczności bocznej.

Podsumowanie

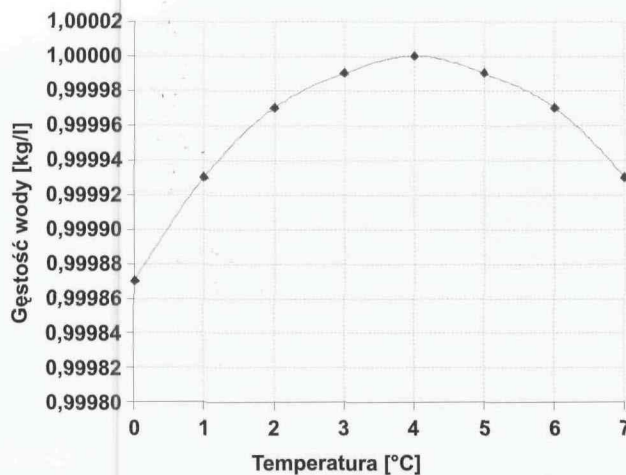
W praktyce projektowej należy choćby w minimalny sposób uwzględniać warunki eksploatacyjne, np. poprzez stosowanie promieni łuków poziomych większych niż wartości minimalne podane w WT (1).

Należy uwzględniać warunki zimowego utrzymania i opracować jak najszybciej uzupełnienia do zimowego utrzymania autostrad i dróg ekspresowych, dotyczące podstawowych technologii składowania odgarniętego śniegu z powierzchni jezdni podczas trwania zamieci lub opadów śniegu.

Należy przeanalizować miejsca formowania wałów odgarniętego z powierzchni jezdni śniegu na poboczu gruntowe na czas nieokreślony, a także wprowadzić bezwzględny zakaz pozostawiania wałów szczególnie na długości powierzchni obiektów inżynierskich oraz na odcinkach z blisko znajdującymi się ogrodzeniami lub ekranami dźwiękochłonnymi. W przypadku odgarnięcia ►



Rys. 1. Zmiany objętości wody w różnej temperaturze (na podstawie danych z [5])



Rys. 2. Zmiany gęstości (dawniej masy właściwej) wody w różnej temperaturze (na podstawie danych z [5])

► śniegu na pobocze gruntowe podczas trwania zamieci lub opadów śniegu obowiązkowo należy śnieg po przeprowadzonej akcji odśnieżania usunąć z powierzchni pobocza gruntowego, m.in. dzięki zastosowaniu choćby małego pługu lemieszowo-wirnikowego lub odśnieżarki lemieszowo-wirnikowej, przekierowujących wały śniegu z korony drogi na skarpy nasypu. Natomiast na powierzchni obiektów inżynierskich i wzdłuż odcinków z ekranami dźwiękochłonnymi po przeprowadzonej akcji odśnieżania powierzchni jezdni w trakcie trwania zamieci lub opadów śniegu należy na krótkich obiektach inżynierskich wały śniegu przesunąć poza długość obiektu, stosując do tego np. małe pługi. Na dłuższych obiektach inżynierskich powstałe podczas zamieci i akcji odśnieżania po ustaniu zamieci wały śniegu należy całkowicie usunąć z całej długości obiektu i wywieźć poza obiekt, stosując pługi lub odśnieżarki lemieszowo-wirnikowe wraz z samochodami wyładowczymi.

Ostatnim wnioskiem, może nie bezpośrednio płynącym z przedstawionej treści, ale mimo wszystko odnotowanym w opisywanym problemie, jest usuwanie i nieskładowanie wałów śniegu odgarniętego z powierzchni jezdni na pasie dzielącym. To w ogóle nie powinno mieć miejsca, gdyż śnieg topniejąc na pasie dzielącym, nawilża występujący tu grunt w sposób maksymalny. Woda z topnienia śniegu wsiąkająca w górną warstwę gruntu nie ma gdzie się przemieścić, gdyż na grubości konstrukcji nawierzchni pomiędzy dwoma jezdniami nie ma możliwości jej bocznego odpłynięcia przez naturalne pory w gruncie. Woda na szerokości pasa dzielącego może tylko infiltrować w głąb gruntu i w konsekwencji nawilżać podłoże gruntowe pod nawierzchnią. W trakcie zimy proces zamarzania i tajania wody w naturalnych kanalikach gruntu prowadzi do tworzenia się soczewek lodowych i w konsekwencji do deformacji podłoża gruntowego. Zdeformowane podłoże nie stanowi dobrego podparcia nawet dla „najlepszej” i bardzo wytrzymałej konstrukcji nawierzchni.

Warto także na zakończenie przypomnieć podstawowe fizyczne parametry wody (rys. 1 i 2). Woda przy temperaturze równej 4°C ma najmniejszą objętość i wnika w najmniejsze pory. Tworzące się przy temperaturze poniżej 0°C soczewki lodowe mają największe działanie rozpychające, dzięki dużym siłom procesu krystalizacji, co znacznie sprzyja tworzeniu się

pierwszych oznak deformacji gruntu. Przy procesie odwrotnym po stopniałej soczewce lodowej pozostaje w porach gruntu niewypełniona wolna przestrzeń, gdyż stopniała woda ma mniejszą objętość niż lód.

Zamarzająca woda, przenikając w głąb gruntu, wykazuje rozklinowujące działanie na pory w gruncie, które znacznie zwiększa się w dalszym procesie krystalizowania się wody (tj. zamianie w lód). Związki między cząsteczkami gruntu rozpychane przez krystalizującą się wodę i powstający lód osłabiają się, następuje stopniowe poszerzanie się porów i w końcowym efekcie przemieszczanie się cząsteczek gruntu. Porowaty grunt po odtańczeniu pod naciskiem zewnętrznym ulega w bardzo krótkim czasie deformacjom, nie stanowiąc solidnej podstawy do konstrukcji nawierzchni.

W naszych warunkach klimatyczno-geograficznych wahania temperatury od +4°C do -4°C w okresie zimy występują dość często, a zmiany temperatury związane z przechodzeniem przez 0°C występują prawie każdego dnia, więc proces wielokrotnego zamarzania soczewek lodowych i ich tajania jest najczęstszym procesem fizycznym występującym w górnych warstwach gruntu. Nie można więc dopuszczać do mnożenia się negatywnych okoliczności i powstawania zwielokrotnionych niepożądanych zjawisk naturalnych w gruncie, zarówno na szerokości pasa dzielącego, jak i - analogicznie - pobocza gruntowego. □

Piśmiennictwo

1. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2.03.1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej nr 43/1999, Warszawa.
2. Wytyczne projektowania dróg WPD - cz. I, Warszawa, GDDP 1995.
3. System oceny stanu nawierzchni SOSN, GDDP, Warszawa 2002.
4. <http://www.gddkia.gov.pl/> Załączniki nr 1 Standardy utrzymania dróg krajowych w okresie zimowym określające zasady odśnieżania i usuwania śliskości zimowej na drogach krajowych do Zarządzenia nr 90 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 7.10.2010 r.
5. Jeżewski M.: Fizyka. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1970.
6. Wytyczne do zimowego utrzymania dróg. Załącznik nr 1 do Zarządzenia nr 18 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 30 czerwca 2006 r.