



KAROL
AUGUSTOWSKI

Uniwersytet Pedagogiczny
w Krakowie
kaugustowski@wp.pl

Możliwości zapobiegania powstawaniu wysadzin mrozowych

Procesy mrozowe, zarówno na obszarach antropogenicznych, jak i naturalnych, mogą prowadzić do wielu uszkodzeń i zniszczeń. Zaliczyć do nich można, między innymi, spękania nawierzchni dróg i lotnisk, linii kolejowych, gazociągów i rurociągów oraz uszkodzenia fundamentów budynków [5], [16]. Na terenach rolniczych podnoszenie mrozowe wywołuje ruchy gleby, w wyniku których może dojść do „uszkodzenia korzeni roślin, odsłonięcia węzłów krzewienia czy też pąków szczytowych” [14].

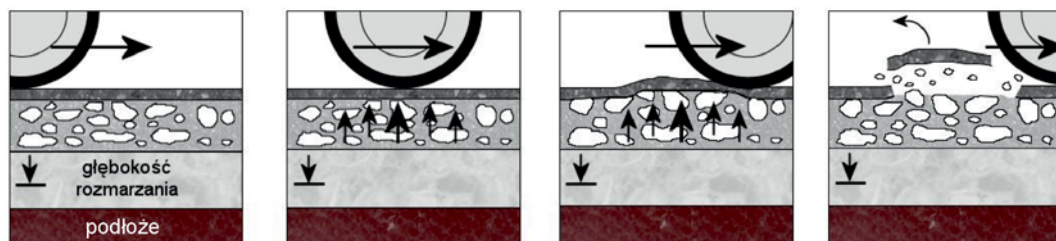
Spękania nawierzchni asfaltowych są następstwem zróżnicowanego stopnia przenikania zimna w głąb gruntu. W sytuacji, gdy pobocza drogi znajdują się pod warstwą śniegu, przemrozenie podłoża jest najwyższe na środku jezdni. Podniesienie terenu (wysadzina mrozowa) jest zatem w tym miejscu największe, a skutkiem wybrzuszenia nawierzchni jest przebiegające podłużne pęknięcie przez jej środek [5]. A. Jahn w 1971 r. [6] opisał proces tworzenia się spękań na drogach, które określił mianem przetomów drogowych. W następstwie utworzenia się w gruncie soczewek lodowych dochodzi do uniesienia podłoża i nawierzchni. Pod koniec okresu zimowego i na początku wiosny grunt podłoża nawierzchni drogowej rozmarza, a woda powstająca z roztopiania się soczewek lodowych zwiększa jego wilgotność do tego stopnia, że staje się miękką i pod naciskiem kół przejeżdżających pojazdów odkształca się. Nadmiar wody z odtajanego lodu, której objętość jest większa od objętości porów w gruncie, pod ciśnieniem przekazanym przez koła pojazdów powoduje rozerwanie pagórków mrozowych (wysadzin).

Bardziej szczegółową charakterystykę powstawania spękań mrozowych zaprezentował S. Rolla w 1961 r. [11], przedstawiając zróżnicowanie problemu w odniesieniu do kilku czynników, w tym między innymi: do udziału różnych rodzajów wód, wpływu położenia korpusu drogowego względem form terenu, zróżnicowanego profilu przekroju poprzecznego, szybkości

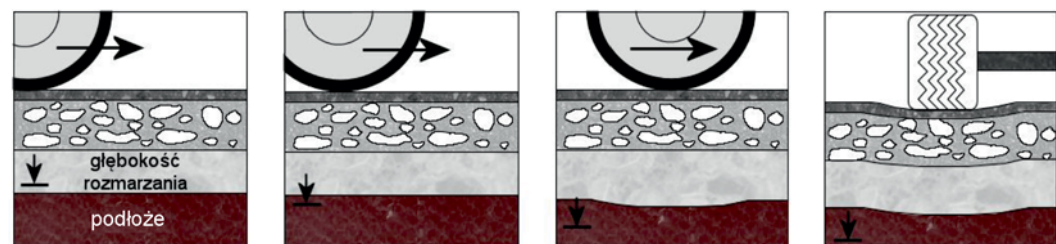
przenikania mrozu w głąb gruntu oraz stopnia rozdrobnienia kruszywa niezwiązanego w dolnej warstwie nawierzchni (tłuczniowej, lub z kruszywa stabilizowanego mechanicznie).

Zniszczenie nawierzchni drogowych może zachodzić również w gruntach sypkich, niewysadzinowych. E. Simonsen i U. Isacsson w 1999 r. [13] przedstawili dwa rodzaje tego typu uszkodzeń: na gruntach o zróżnicowanym podłożu (rys. 1 i 2).

Uszkodzenia nawierzchni dróg na podłożu podatnym na zawilgotnienie mają miejsce najczęściej w początkowym okresie rozmarzania gruntu. Warstwa przypowierzchniowa ulega szybszemu odtajaniu, niż głębsza część podłoża, która staje się barierą do odpływu wody pochodzącej z roztopionego lodu. W konsekwencji, pod powierzchnią nawierzchni asfaltowej warstwa nośna drogi i warstwa podłoża gruntowego są silnie nasączone wodą. Znaczne zawilgotnienie kruszywa w podbudowie drogowej osłabia jego spójność. Na skutek poruszania się pojazdów po drodze, naprężenia wywołane ich przejazdem przenoszone są bezpośrednio do wody powstałej z rozmarzania. W wyniku wzrostu ciśnienia wody grunt staje się niestabilny, a w związku z ograniczoną możliwością jego osuszenia, ciśnienie wody skierowane jest również ku górze, w kierunku powierzchni warstw nawierzchni wykonanych z mieszanek mineralno-asfaltowych. W następstwie dochodzi do powstania spękań bądź też oderwa-



Rys. 1. Uszkodzenia dróg będące wynikiem występowania warstwy nawierzchni podatnej na zawilgotnienie. Opracowanie własne na podstawie [13]



Rys. 2. Uszkodzenia nawierzchni drogowej o niewielkiej grubości i podłożu gruntowym podatnym na działanie mrozu (wysadzinowym). Opracowanie własne na podstawie [13]

nia kawałków nawierzchni asfaltowej. Krawędzie utworzonego zagłębienia mogą ulec zapadnięciu, poszerzając i pogłębiając powstały wybój (wyrwę) w nawierzchni drogi.

W przypadku nawierzchni o małej grubości i podłożu podatnym na wysadzinowość, woda powstała w wyniku procesu rozmrażania powoduje wzrost zawilgocenia podłoża drogowego, wnikając coraz to głębiej w grunt. Pod wpływem nacisku pojazdów przemieszczających się po drodze, podłoże ulega deformacji. Wraz ze wzrostem liczby pojazdów, wielkość deformacji (zapadnięcia) może osiągnąć duże rozmiary. Taki rodzaj uszkodzeń występuje najczęściej pod koniec okresu rozmrażania gruntu [13].

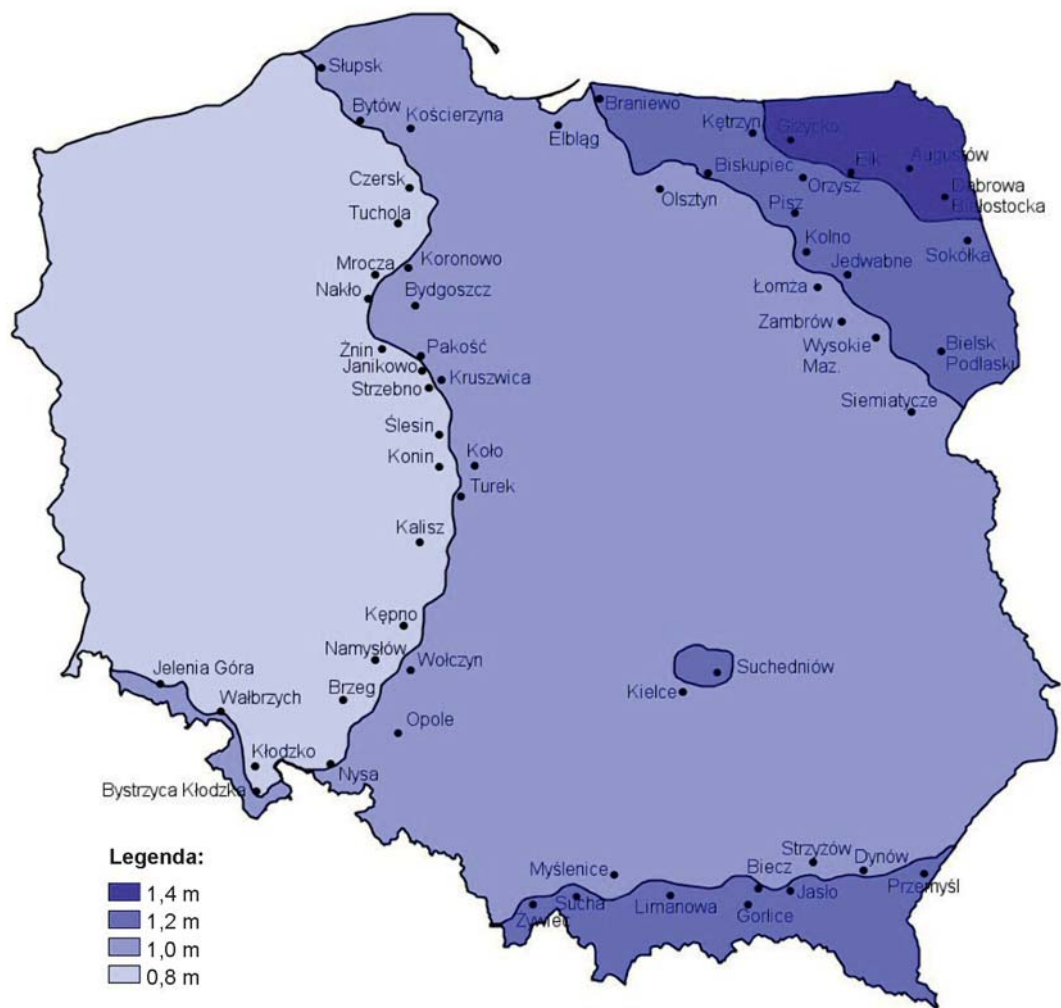
Możliwości przeciwdziałania szkodom mrozowym

Możliwości przeciwdziałania szkodom mrozowym można rozpatrywać (na przykładzie dróg) w dwóch aspektach: zapobieganie szkodom mrozowym w utrzymaniu dróg istniejących oraz zapobieganie błędom przy ich projektowaniu. Pierwszy z przypadków został dokładnie opisany w [11], zaś syntezę drugiego przedstawiono w niniejszym artykule.

Istnieje wiele metod ograniczenia skutków działania mrozu. Należą do nich między innymi: metoda zastąpienia (wymiany gruntu), zastosowania izolacji cieplnej, przechwycenia wody, domieszek chemicznych, cementacji, dynamicznej wymiany gruntu, czasowego przeciążenia i częściowego odciążenia oraz zamrażania gruntu. Zastosowanie poszczególnych metod uzależnione jest od trzech podstawowych czynników: uziarnienia (składu granulometrycznego gruntu, jego zawilgocenia (wilgotności) oraz klimatu [11].

Metoda zastępowania materiału

Zastępowanie materiału podatnego na podnoszenie mrozowe materiałami (np. gruntami niewrażliwymi na działanie mrozu), w których proces ten nie będzie występował, przez wzgląd na ilość materiału koniecznego do wymiany, jest stosunkowo kosztowne. Dlatego, najczęściej zastąpieniu nie ulega cała warstwa materiału znajdującego się do granicy zamrażania w głębi gruntu, lecz ustalona jej miąższość, któ-



Rys. 3. Umowna głębokość przemarzania gruntu w Polsce. Opracowanie własne na podstawie [10]

rej zastąpienie wystarczy by podnoszenie mrozowe zostało zahamowane.

W Japonii, w różnych regionach Hokkaido, gdzie metoda ta jest powszechnie stosowana, głębokość jest zróżnicowana: w południowej części wyspy wynosi ok. 60 cm, w środkowej i wschodniej ok. 90–100 cm, w pozostałych obszarach wyspy ok. 80 cm [8].

W Polsce, przy braku określania rodzaju gruntu, przyjmuje się powierzchnię przemarzania poniżej 0,8–1,4 m od poziomu gruntu. W Polskiej Normie PN-81/B-03020 [10] określono umowną głębokość posadowienia budynków, będącą zarazem umowną głębokością przemarzania gruntu, niezbędną do zabezpieczenia elementów infrastruktury przed procesami mrozowymi (rys. 3).

Metoda zastępowania materiału jest w dużej mierze podobna do metody zaprezentowanej przez [6], według której do zabezpieczenia terenu przed działaniem podnoszenia mrozowego wykorzystuje się żwir lub pospółkę. Powierzchnię podłoża gruntowego objętego budową, na przykład pod nawierzchnie pasów startowych lotnisk, pokrywa się grubą warstwą żwiru (pospółki), na której umieszcza się geowłókninę oraz geosiatkę o podatnych lub sztywnych węzłach. Ze względu na to, że w żwirach (pospółkach bez cząstek pylasto-ilastych) występuje wyłącznie woda wolna, która przemieszcza się swobodnie (pod działaniem siły grawitacji) i nie

podsiąka kapilarnie ku górze – nie tworzą się więc soczewki lodowe odpowiedzialne za wysadziny mrozowe [6].

Metoda izolacji cieplnej

Polega na umieszczeniu materiału izolującego w gruncie, tak by temperatura powietrza nie powodowała jego zamarznięcia. W Japonii jest to metoda niemożliwa do wykorzystania, natomiast jak podają Miyakawa i inni [8], znalazła ona zastosowanie w niektórych obszarach Europy, gdzie jako izolatora używa się torfu oraz szczątków roślin.

Metoda izolacji termicznej może być wykorzystywana również w terenach podbiegunowych, jednak w odmienny sposób. Jest to obszar występowania wieloletniej zmarzliny, dlatego najlepszym sposobem do zabezpieczenia zabudowań przed skutkami procesów mrozowych jest umieszczanie podstawy budynków na półtorametrowych słupach ponad ziemią. Dzięki temu, między zamarzniętym gruntem a ciepłą podstawą budynku znajduje się stale izolacyjna, zimna warstwa powietrza. Metoda ta ma jednak pewne ograniczenia – dotyczy wyłącznie małych budynków. Zabudowania wielokondygnacyjne muszą mieć fundamenty sięgające do głębokości, na której nie występuje zjawisko multigelacji. W tym celu wykorzystuje się gorącą parę wodną, za pomocą której wytapia się otwory w zmarzlinie i umieszcza w nich betonowe słupy do głębokości poniżej granicy przemarzania i wystające ok. metra ponad grunt. Na nich umieszczana jest podstawa budynku [6].

Metoda przechwycenia wody

Polega na umieszczeniu materiału w gruncie, który uniemożliwi podsiąkanie kapilarne wody ku górze oraz zapobiegnie przesiąkaniu wody opadowej w głąb podłoża. Jak podają [8], metoda ta jest niezwykle trudna do zastosowania, gdyż osłonięcie gruntu przed przenikaniem wody opadowej w trakcie prac budowlanych jest niezmiernie trudne.

Metoda chemiczna

Polega na dodaniu 2–4% (*m/m*) chlorku sodu lub wapnia do utworów piaszczysto-ilastych lub 1–2% (*m/m*) tych chlorków do utworów piaszczysto-żwirowych (praktycznie niezawierających frakcji gliny i iltu). Sposób ten bardzo skutecznie zabezpiecza teren przed podnoszeniem mrozowym, jednakże ma kilka wad: względnie krótki okres działania i podobnie jak metoda zastępowania materiału jest stosunkowo droga [8]. Metoda ta jest również szkodliwa dla środowiska naturalnego. Chlorki sodu i wapnia są zatrzymywane w organizmach roślinnych (z otoczenia drogi) i przyczyniają się do ich zamierania. Dodatkowo chlorki te oddziałują niszcząco „na nawierzchnie betonowe, elementy stalowe konstrukcji i pojazdy samochodowe” [1]. W związku z tym nie odgrywa ona znacznej roli w praktyce budowlanej.

Metoda zamrażania gruntu

Jest to metoda stosowana w obszarach podbiegunowych i polega na dodatkowym zamrażaniu gruntu, w celu zapewnienia utrzymania w nim przez cały czas ujemnej temperatu-

ry. Metoda ta jest wykorzystywana w sytuacjach, gdy zachodzi obawa, iż potencjał cieplny budynku może być na tyle duży, że sięgałby głębiej niż pale, na których byłby osadzone. Jediną możliwością zabezpieczenia gruntu w takich przypadkach jest zainstalowanie u podstawy budynku aparatury do zamrażania, np. typowej do sztucznych lodowisk, aby zabezpieczyć grunt przed rozmarznięciem [6].

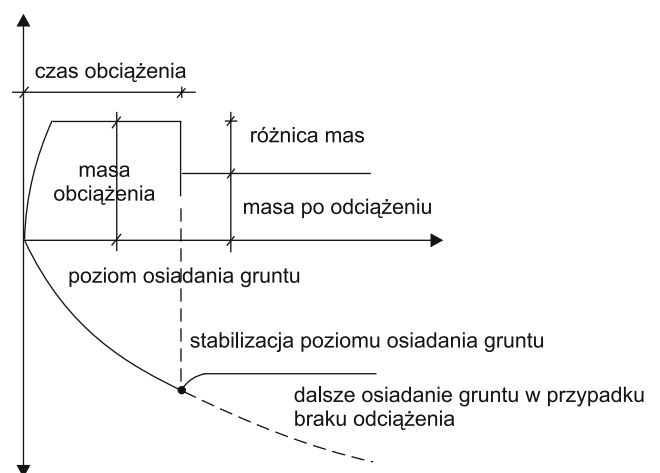
Dynamiczna wymiana gruntu

Jest to metoda ściśle związana z metodą zastępowania materiału, jednak w tym przypadku wykorzystuje się dodatkowo udarowe wzmocnienie gruntu. Jak podaje B. Gajewska [3], jest to najprawdopodobniej najstarsza metoda wzmocnienia podłoża, dość powszechnie stosowana również w Polsce.

Po raz pierwszy została ona użyta w latach 70. przez L. Ménarda przy budowie lotniska w Nicei [12]. Metoda dynamiczna polega na częściowym wypełnieniu zagłębienia materiałem ziarnistym i następnie jego ubijaniu za pomocą ubijaka o masie wahającej się najczęściej między 10 a 30 ton (wspomniany wcześniej L. Ménard stosował ubijaki o masie dochodzącej nawet do 200 ton). Proces ten powtarzany jest do momentu uzyskania odpowiedniego poziomu terenu. B. Gajewska [3] stwierdza, iż do gruntów słabych, przy masie ubijaka do 30 ton, metoda ta jest efektywna nawet do 7 metrów głębokości.

Metoda czasowego przeciążenia i częściowego odciążenia

Jest to metoda stosowana wyłącznie na podłożach organicznych, najczęściej torfowych i wymaga ona w swoim początkowym etapie czasowego przeciążenia podłoża (rys. 4). Uzyskuje się je poprzez umieszczenie na powierzchni podłoża odpowiednio ciężkiego materiału. Na skutek obciążenia gruntu zaczyna on osiadać. Po określonym czasie, gdy osiadanie gruntu ustabilizuje się na określonym poziomie, część materiału jest zabierana, a grunt podłoża od tego momentu nie ulega dalszemu osiadaniu. Jediną trudnością tej metody

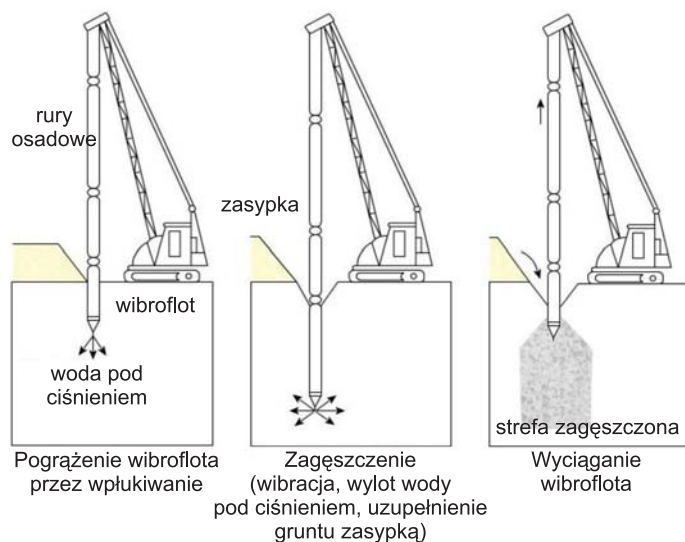


Rys. 4. Schemat związku między osiadaniem gruntu organicznego od zmian wielkości obciążenia gruntu. Opracowanie własne na podstawie [12]

jest właściwe określenie wielkości obciążenia początkowego i końcowego oraz czasu, po jakim ma nastąpić odciążenie gruntu [12].

Metoda wzmocnienia gruntu iniektem

Jest to metoda polegająca na wprowadzeniu do gruntu substancji – iniektu, powodującego uszczelnienie podłoża (rys. 5). W zależności od rodzaju i składu granulometrycznego gruntu stosuje się różne sposoby wprowadzenia iniektu do warstw podłoża oraz różne jego rodzaje. Do najczęściej stosowanych substancji należą między innymi: zaczyn cementowy, zawiesina cementowo-łtowa, zawiesina cementowo-bentonitowo-krzemianowa, bituminy, żele krzemianowe oraz żywice syntetyczne [9].



Rys. 5. Schemat procesu wprowadzenia iniektu do gruntu. Opracowanie własne (uproszczone) na podstawie [9]

Innym materiałem korzystnym, z punktu widzenia ograniczenia wysadzin mrozowych, jest mikrokrzemionka. Jest ona używana najczęściej jako komponent do produkcji betonu i stosowana w nawierzchniach drogowych. Jak zaobserwował E. Kalkan [7], mimo iż jej użycie zwiększa poziom przepuszczalności podłoża oraz podnosi liczbę cykli zamarzania/odmarzania, to również obniża plastyczność gruntu i przyczynia się do wzrostu odporności materiału na multigelację¹.

Zamiast mikrokrzemionki E. Zawisza i A. Franczak [17] postulują użycie popiołów lotnych, uzyskiwanych jako produkt uboczny w elektrociepłowniach. Materiał ten zawiera: krzemionkę w ilości ok. 50% (m/m), a także związki glinu, żelaza, wapnia, potasu, magnezu i innych pierwiastków, a do jego związania wykorzystuje się najczęściej cement. W oparciu o badania laboratoryjne wykazano, iż popiół z dodatkiem cementu, którego udział byłby większy od 6% (m/m), spełnia

¹ Rodzaj wietrzenia fizycznego, prowadzący do rozdrobnienia bądź rozpadu skały przez zmianę objętości wielokrotnie zamarzając i rozmrażając wody w przestrzeniach porowych. Efektywność multigelacji wzrasta wraz ze wzrostem wahań temperatury wokół 0°C [2]

wymogi normowe dotyczące „wskaźnika mrozoodporności do podbudowy zasadniczej nawierzchni drogowej oraz do górnej części warstwy ulepszonego podłoża” i zabezpiecza grunt przed działaniem procesów mrozowych. Udział cementu może być różny w zależności od podłoża, na którym popioły lotne związane cementem będą wykorzystywane. Użycie popiołów lotnych ma jeszcze jedną zaletę – jest korzystnym pod względem ekonomiczno-gospodarczym sposobem na utylizację odpadów poenergetycznych, ograniczając ich ilość na składowiskach [17].

Obecnie coraz powszechniej stosuje się w Polsce spoiwa hydrauliczne produkowane z ubocznych materiałów zawierających pucolany, które mogą być używane zamiennie ze spoiwami tradycyjnymi, takimi jak cement, lub też całkowicie je zastępować. Przykładem takiego materiału może być Silment CQ-25. Powstaje on w wyniku „wspólnego przemiatu klinkieru cementowego i pucolany przemysłowej typu Q” (materiału budowlanego, będącego podobnie jak popioły lotne, produktem ubocznym w kotłowniach i składającym się w większości z krzemionki), a następnie w połączeniu z określoną ilością cementu staje się bardzo dobrym stabilizatorem gruntów wysadzinowych [4].

Metody wykorzystujące użycie cementu w celu stabilizacji gruntów podatnych na działanie procesów mrozowych określa się mianem metod cementacji i stosuje się je najczęściej na gruntach nieorganicznych [15].

W celu zabezpieczenia nawierzchni dróg przed wysadzinami mrozowymi w Polsce wykonuje się również [9]:

- podwyższenie nasypu drogi powyżej poziomu wód gruntowych,
- obniżenie zwierciadła wód gruntowych,
- zastosowanie drenażu podłużnego w celu odcięcia bocznych dopływów wód gruntowych,
- odwodnienie profilu gruntu w obrębie drogi, jej poboczy oraz nawierzchni.

S. Rolla [11] w oparciu o badania własne oraz prowadzone przez L. Schaibla na terenie ówczesnego RFN stwierdził, iż najlepszym rozwiązaniem do ograniczenia szkód mrozowych jest wyniesienie drogi ponad poziom okolicznego terenu. Jego zdaniem koszty związane z jej usytuowaniem na nasypie są względnie niewielkie (w odniesieniu zarówno do samej budowy, jak i późniejszego jej utrzymania). Największym kosztem przy takim lokowaniu korpusu drogowego jest sam nasyp. Drogi o niwelecie w poziomie terenu obciążone są dodatkowymi kosztami z tytułu m.in.: przygotowania i utrzymania rowów odwadniających, usuwania nawianego śniegu w okresie zimowym, niejednokrotnie budowy dodatkowych drenaży wgłębnych, czy stosowania warstw odsączających.

Podsumowanie

Każda z metod proponowanych w literaturze ma zarówno zalety, jak i wady. Z ekonomiczno-ekologicznego punktu widzenia najbardziej korzystne wydają się być dwie metody: użycie popiołów lotnych lub spoiw hydraulicznych oraz czasowe przeciążenie i odciążenie gruntu. W pierwszym przypadku znaczna część materiału niezbędnego do zmiany właściwości gruntu na niewysadzinowy, powstaje jako