

Karol Augustowski

Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, Kraków, Polska

Wpływ podnoszenia mrozowego na infrastrukturę drogową na północ od Krakowa oraz możliwości przeciwdziałania

Streszczenie

Procesy mrozowe odgrywają dużą rolę w przekształcaniu powierzchni drogowej zarówno na obszarach wiejskich, jak i w miastach. Stopień tych przekształceń jest różny i najczęściej jest on większy na drogach o niższej kategorii. Pomimo znacznie większej przepustowości dróg krajowych i wojewódzkich większe zmiany zaobserwujemy na drogach powiatowych i gminnych. Wynika to najczęściej z niższych nakładów finansowych na właściwe przygotowanie podłoża przed budową / modernizacją takiej drogi. Współczynnik zniszczeń dla dróg krajowych wyniósł 0,07 dziur w nawierzchni / km, dla dróg wojewódzkich – 0,2, dla dróg powiatowych – 0,73, a dla dróg gminnych – 0,8. By zmniejszenia nawierzchni drogowych były niższe stosuje się jedną z kilku metod ograniczających działanie procesów mrozowych. Zalicza się do nich metodę przechwycenia wody, metodę zastępowania materiału, metodę chemiczną, czy metodę czasowego dociążenia / odciążenia.

The impact of frost heaving on road infrastructure north of Cracow and the possibilities of preventing it

Abstract

Frost actions play a large role in transforming road surface in rural and urban areas. The degree of these transformations is different and it is greater on the lower category roads most often. Despite much greater capacity of national and voivodship roads, we will observe larger changes on poviats and commune roads. It depends on lower financial outlays for proper soil preparation before construction / modernization of such roads. The damage rate for national roads was 0.07 holes in the pavement / km, for voivodship roads – 0.2, for poviats roads – 0.73, and for communal roads – 0.8. To reduce road pavement damage one of several methods is used to limit the operation of frost processes.

Słowa kluczowe: podnoszenie mrozowe; posadowienie dróg; procesy mrozowe; zniszczenia nawierzchni drogowej

Key words: foundation of roads; frost action; frost heave; road surface damage

Otrzymano: 19.02.2020

Received: 19.02.2020

Zaakceptowano: 05.05.2020

Accepted: 05.05.2020

Sugerowana cytacja / Suggested citation:

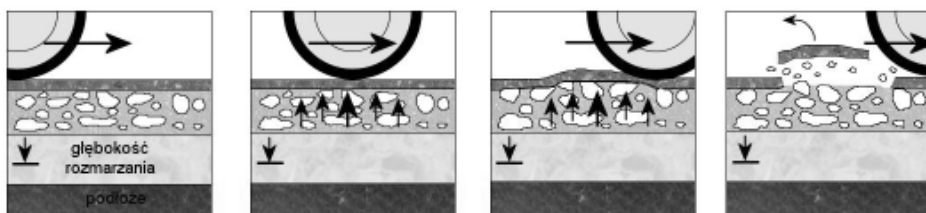
Augustowski, K. (2020). Wpływ podnoszenia mrozowego na infrastrukturę drogową na północ od Krakowa oraz możliwości przeciwdziałania. *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis Studia Geographica*, 15, 215–222, doi: 10.24917/20845456.15.14

Wprowadzenie

Procesy mrozowe wpływają na liczne przekształcenia infrastruktury technicznej. Zaliczamy tu między innymi spękania nawierzchni dróg, spękania nawierzchni lotnisk, uszkodzenia linii kolejowych, rurociągów, gazociągów, jak również uszkodzenia fundamentów budynków, szczególnie tych niskoposadowionych (Ickiewicz, 2009; Rafalski i in., 2018). Na obszarach rolniczych procesy mrozowe wywołują ruchy ziemi, w konsekwencji których może dojść np. do odsłonięcia węzłów krzewienia i paków szczytowych (Szejewski, 1999; Rui i in., 2018).

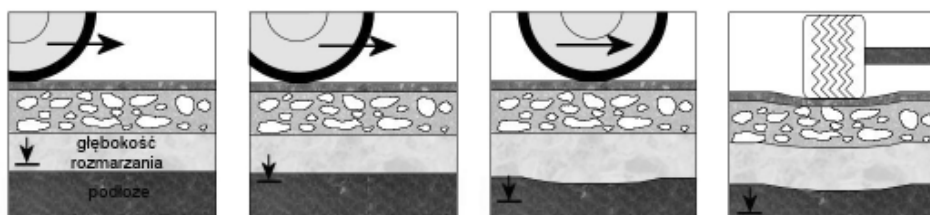
Spękania powierzchni asfaltowych są konsekwencją różnego przenikania mrozu w głąb profilu gruntowego. Drogi w okresie zimowym są regularnie odśnieżane, a śnieg zepchnięty z nawierzchni drogi zalega na poboczu jezdni. W konsekwencji pobocza drogi są częściowo osłonięte warstwą śniegu i przemarzanie gruntu w tym miejscu jest ograniczone. Najszybsze tempo przenikania mrozu występuje w środkowej części jezdni. Powstające w tym miejscu wysadziny mrozowe są największe. Skutkiem powstałego wybrzuszenia jest podłużne pęknięcie przebiegające przez środek drogi (Ickiewicz, 2009). Jahn (1971) opisał taki rodzaj powstawania szczelin w drogach jako przełomy drogowe.

Na gruntach niewysadzinowych uszkodzenia w nawierzchni dróg mogą mieć dwojaki przebieg – na drogach podatnych na zawilgocenie przebieg zniszczeń nawierzchni ma następujący charakter. W okresie zimowym i wczesno-wiosennym grunt jest przemrożony. Wraz z nastaniem wyższych temperatur grunt zaczyna rozmarzać. Rozmarzanie to postępuje od powierzchni w głąb profilu gruntu. Przy powierzchni powstaje woda z rozmarzania, która nie może wsiąknąć w głąb. Grunt, w wyniku jego przesiąknięcia wodą, jest miększy. Pod naciskiem pojazdów przejeżdżających po nawierzchni drogi następuje jego wgniecenie. Wciśnięta woda po przejechaniu pojazdu tryska ku górze, rozsadzając nawierzchnię. Na drogach, gdzie grubość nawierzchni jest niewielka przebieg zniszczeń ma inny charakter. Woda, która powstała w trakcie rozmarzania wnika w grunt na coraz to większe głębokości. Przemieszczające się po drodze pojazdy, w wyniku nacisku na nawierzchnię, prowadzą do stopniowego zapadania się podłoża. W wyniku zapadania dochodzi do powstania kolein oraz podłużnych spękań rozchodzących się wzdłuż drogi. Ten typ zniszczeń ma miejsce najczęściej w końcowym okresie rozmarzania profilu gruntu (ryc. 1 i 2) (Simonsen, Isacsson, 1999). Rolla (1961) zróznicował dodatkowo powstawanie spękań na drogach odnosząc się do wielu dodatkowych czynników, w tym do różnego rodzaju wody, formy terenu, po której przebiega droga, przekroju poprzecznego, rodzaju kruszywa i stopnia jego rozdrobnienia.



Ryc. 1. Uszkodzenia nawierzchni drogi, w której profilu gruntu występuje warstwa podatna na zawilgocenie

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Simonsen, Isacsson, 1999: 142



Ryc. 2. Uszkodzenia nawierzchni drogi, w której profilu gruntu występują warstwy podatne na wysadzinowość

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Simonsen, Isacsson, 1999: 143

Celem pracy jest analiza stanu nawierzchni dróg i wskazanie przykładowych metod ich prawidłowego posadowienia. Badania prowadzono w okresie styczeń – kwiecień 2019 roku. Objęto nimi drogi wszystkich kategorii: krajowe, wojewódzkie, powiatowe oraz gminne. Badania miały na celu określenie w jakim stopniu nawierzchnia dróg jest niszczone w wyniku działania procesów mrozowych. Do badań wybrano odcinki o łącznej długości 15 km dla każdej z kategorii dróg, na których określano ilość zniszczeń. Pod uwagę brano wyłącznie uszkodzenia polegające na rozsadzeniu nawierzchni drogi w wyniku wzrostu ciśnienia wody pod wpływem nacisku pojazdów przejeżdżających po jej nawierzchni (ryc. 1). Badaniami objęto wyłącznie ten rodzaj uszkodzenia nawierzchni drogi, bowiem ten rodzaj uszkodzenia nawierzchni nie budzi wątpliwości w interpretacji przyczyny zniszczeń. Powstawanie kolein i podłużnych spękań wzdłuż drogi wymaga użycia specjalistycznego sprzętu pomiarowego wykorzystującego skaning laserowy i znacznego ograniczenia przepustowości ruchu ulicznego (samochód z zamontowanym skanerem powinien poruszać się po drodze z prędkością 5-10km/h), co dla dróg krajowych i wojewódzkich byłoby niemożliwe do przeprowadzenia. Na wybranych odcinkach dróg przeprowadzono inwentaryzację poziomu ich uszkodzenia.

Analiza wyników

Badaniami nawierzchni dróg objęto następujące odcinki:

- drogę krajową nr 7 na odcinku Kraków – Widoma / Zalesie,

- drogę wojewódzką 773 na odcinku Wesoła – Skała,
- drogi powiatowe – w tym przede wszystkim drogi – 1155K, 2133K, 2134K, 2143K znajdujące się w gminie Skała,
- drogi gminne na obszarze gminy Skała.

Ilość zniszczeń będących wynikiem działania procesów mrozowych była bardzo zróżnicowana i w głównej mierze była związana z kategorią drogi. Na drodze krajowej nr 7, na analizowanym odcinku zidentyfikowano tylko jedno zniszczenie nawierzchni w okresie rozmarzania, podczas gdy dla drogi wojewódzkiej takich uszkodzeń odnotowano już 3. Współczynnik uszkodzeń nawierzchni drogi wyniósł odpowiednio 0,07 dziur w nawierzchni / km (dla drogi krajowej) oraz 0,2 (dla drogi wojewódzkiej). Drogi powiatowe i gminne były przemodelowane w znacznie większym stopniu. Dla dróg powiatowych zidentyfikowano 11 uszkodzeń mających podłoże w działaniu procesów mrozowych, a dla dróg gminnych – 12 takich uszkodzeń. Zróżnicowanie poziomu uszkodzeń na drogach różnego typu jest następstwem kilku czynników. Wraz ze wzrostem przepustowości drogi określa się rodzaj materiału użytego do jej posadowienia. Im ta przepustowość jest większa tym materiał ten jest bardziej odpowiedni – podyktowane jest to tym, iż koszty naprawy takich dróg wymagają wprowadzenia wielu ograniczeń, w tym tworzenia dróg / tras objazdowych. Objazdy te przebiegają najczęściej po drogach o niższej kategorii, gdzie materiał użyty do posadowienia drogi najczęściej jest znacznie mniej trwalszy i / lub głębokość profilu i rodzaj metody użytej do stabilizacji podłoża najczęściej mniej kosztowny. Naprawa drogi krajowej pociąga w konsekwencji znaczne pogorszenie się jakości okolicznych dróg. Wszystko to sprawia, że dla dróg ważnych komunikacyjnie prowadzone prace nad posadowieniem drogi są wykonane znacznie lepiej i bardziej dokładnie. Podobna sytuacja ma miejsce dla dróg wojewódzkich, stąd też i ilość zniszczeń jest na nich stosunkowo niewielka. Ilość zniszczeń nawierzchni dróg na drogach powiatowych i gminnych jest niestety duża – dla dróg powiatowych wyniosła ona bowiem 0,73 dziur w nawierzchni drogi / km, a na drogach gminnych – 0,8 dziur / km. Ważnym czynnikiem powstawania nowych uszkodzeń na drogach o niższych kategoriach jest bez wątpienia charakter prac naprawczych. Na drogach powiatowych i gminnych najczęściej nadbudowuje się / zakleja uszkodzoną nawierzchnię, jednak nie prowadzi się prac związanych ze zmianą posadowienia drogi, tak by w kolejnych latach ograniczyć ilość zniszczeń w nawierzchni. Dzięki temu koszty naprawy są niższe, jednak środki przeznaczone na naprawę dróg są rokroczne. Gdyby jednak prace naprawcze polegały na zerwaniu nawierzchni jezdni i wprowadzeniu odpowiedniego materiału do podłoża, w kolejnych latach odcinek naprawionej drogi z pewnością byłby w lepszym stanie – z mniejszą ilością nowych uszkodzeń lub też z brakiem tych uszkodzeń. Ze względu na łatanie problemu, a nie jego rozwiązanie w kolejnych latach pojawiają się coraz to nowe uszkodzenia w nawierzchni drogowej, a droga z każdym kolejnym rokiem zaczyna powoli zatracać swoją funkcję przez zmniejszenie stopnia jej przejezdności.

Sposoby przeciwdziałania procesom mrozowym

Istnieje wiele sposobów przeciwdziałania procesom mrozowym na drogach. Przeciwdziałanie to może mieć dwojaki charakter: przeciwdziałanie mające na celu utrzymanie dróg już istniejących oraz przeciwdziałanie mające na celu prawidłowe projektowanie nowych dróg. Do najważniejszych metod przeciwdziałania procesom mrozowym na etapie ich projektowania zalicza się: metodę przechwycenia wody, metodę zastępowania materiału, metodę chemiczną, czy metodę czasowego dociążenia / odciążenia. Wybór metody uzależniony jest od wielu czynników, w tym między innymi od klimatu, uziarnienia gruntu oraz stopnia jego uwilgotnienia (Rolla, 1961; Gajewska, Kraszewski, 2015).

Metoda przechwycenia wody

Metoda przechwycenia wody ma na celu wprowadzenie do gruntu materiału uniemożliwiającego podsiąkanie kapilarne, jak również przenikanie wody w głąb podłoża. Metoda ta jest jednak mało popularna ze względu na trudności w jej zastosowaniu – wymaga ona bowiem osłonięcie gruntu przed wodami opadowymi podczas budowy (Miyakawa i in., 1963).

Metoda zastępowania materiału

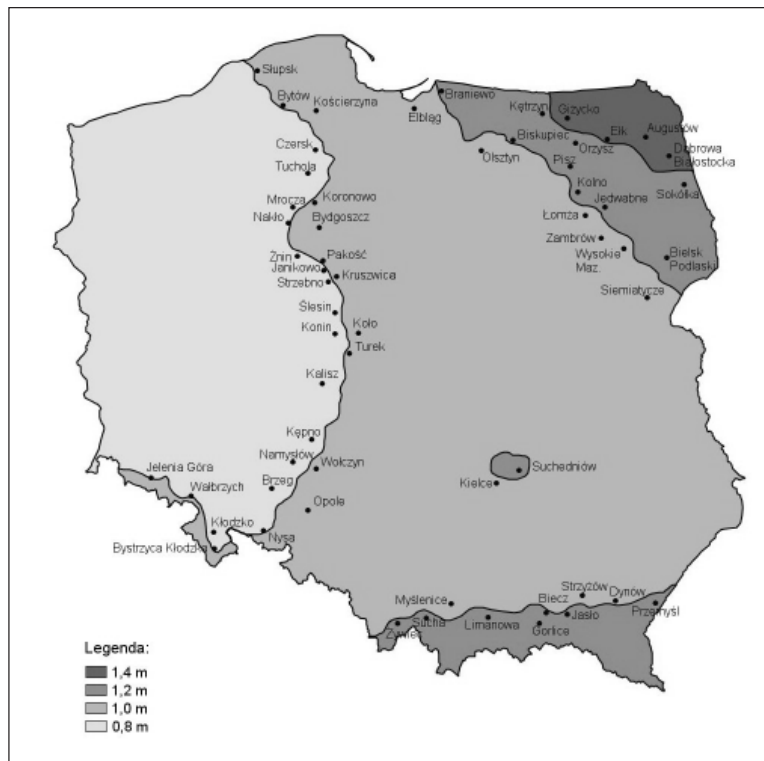
Metoda zastępowania materiału polega na wymianie materiału w podłożu na materiał bardziej odpowiedni – niepodatny na działanie czynników mrozowych. Jest to metoda stosunkowo kosztowna bowiem w niektórych regionach wymagana jest wymiana bardzo dużej ilości materiału. Jest to uzależnione od głębokości przemarzania gruntu. W Japonii na Hokkaido, gdzie zastępowanie materiału jest jedną z najpopularniejszych metod, głębokość przemarzania gruntu waha się od 60–100 cm (Miyakawa i in., 1963). W Polsce, gdy nie określa się rodzaju gruntu, zakłada się głębokość przemarzania na poziomie określonej w normie PN-81/B-03020, która waha się między 80 a 140cm (ryc. 3) (PN-81/ B-03020).

Metoda chemiczna

Metoda chemiczna zakłada wprowadzenie do utworów piaszczysto-ilastych 2–4% roztworu chlorku sodu, a do utworów piaszczysto-żwirowych 1-2% roztworu tychże chlorków. Skuteczność tej metody jest bardzo duża, jednak ma dwie wady – jest droga, jak też jest szkodliwa dla środowiska – chlorki, a w tym przede wszystkim chlorki sodu pochłaniane są przez rośliny, co przyczynia się do ich obumierania. W związku z tym nie odgrywa ona znaczenia w praktyce budowlanej (Bieńka i in., 2006).

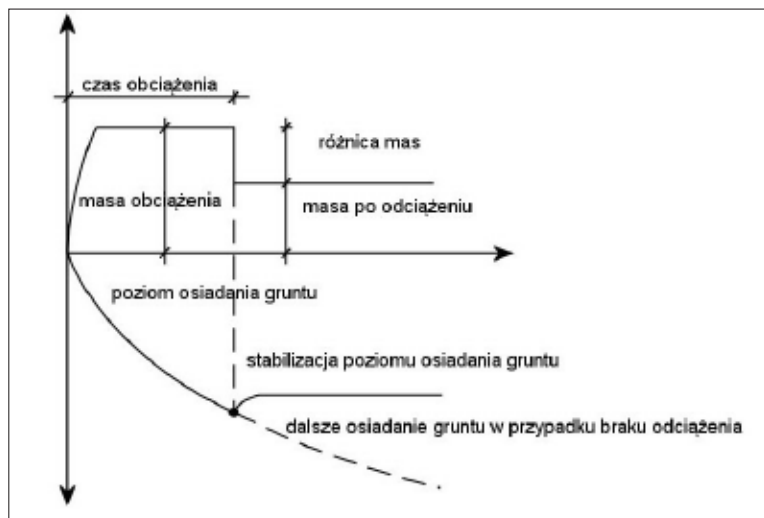
Metoda czasowego przeciążenia i częściowego odciążenia

Metoda przeciążenia / odciążenia polega na czasowym dociążeniu gruntu. Po określonym czasie, zależnym od rodzaju materiału w podłożu, następuje usunięcie materiału dociążającego. Grunt zaczyna się powoli rozluźniać, a w konsekwencji następuje jego stabilizacja, a dalsze jego odkształcenie staje się niemożliwe (ryc. 4) (Rzeźniczak, 2007, Szruba, 2018).



Ryc. 3. Zróżnicowanie głębokości przemarzania gruntu w Polsce

Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-81/B-03020



Ryc. 4. Metoda czasowego przeciążenie / odciążenia gruntu

Źródło: opracowanie własne na podstawie Rzeźniczak J. (2007), s. 37

Innym materiałem, który może być zastosowany do ograniczania zniszczeń na drogach jest mikrokrzemionka. Jest to komponent do produkcji betonu i może być również wykorzystywana w nawierzchniach drogowych. Według Kalkan (2009) jej użycie wprawdzie podnosi przepuszczalność podłoża, jak również zwiększa liczbę cykli zamarzania/odmarzania, to jednak prowadzi także do obniżenia plastyczności gruntu, a tym samym prowadzi do odporności materiału (Kalkan, 2009). Zamiast mikrokrzemionki E. Zawisza i A. Franczak (2010) wskazują, że bardzo dobre efekty można uzyskać dzięki użyciu popiołów lotnych, które to są produktem ubocznym elektrowni ciepłych. W popiołach lotnych znajduje się również krzemionka, a materiałem stabilizacyjnym jest najczęściej cement. Aktualne wyniki badań wskazują, że właśnie popiół z cementem spełnia normy określone w ustawie jako odpowiedni materiał do właściwego posadowienia nawierzchni drogowej (Zawisza, Franczak, 2010).

Podsumowanie

Ilość uszkodzeń nawierzchni dróg będących wynikiem działania procesów mrozowych jest zróżnicowana i zależna jest od materiału użytego do posadowienia drogi. Na drogach wyższych kategorii – krajowych i wojewódzkich – rodzaj materiału użytego do posadowienia drogi, jak i metoda użyta do jego stabilizacji jest znacznie bardziej efektywna niż na drogach niższych kategorii. Przekłada się to na ilości zniszczeń jakie powstają w okresie wiosennym na tychże drogach. Istnieje wiele metod pozwalających na przygotowanie podłoża w odpowiednim stopniu do zabezpieczenia nawierzchni drogi. Wybór odpowiedniej z nich jest zależny od wielu czynników, lecz głównie od nakładów finansowych zależy czy wybrana metoda jest odpowiednia i jest w stanie zapewnić zmniejszenie kosztów związanych z naprawą nawierzchni. Każda z metod stabilizacyjnych podłoża ma swoje pozytywne, jak i negatywne strony. Ciągłe jednak poszukiwane są nowe metody zabezpieczenia posadowienia drogi, które ograniczałyby koszty związane z jej wykorzystaniem, jak i były bezpieczne dla środowiska naturalnego.

Literatura / References

- Bieńka J., Dzienis T., Godlewski T., Kamela R., Radomska E. (2006). Wytyczne zimowego utrzymania dróg. *Załącznik do Zarządzenia Nr 18 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 30 czerwca 2006 roku*, Warszawa.
- Ickiewicz I. (2009). Analiza zjawiska wysadziny zmarzlinowej dla celów inżynierskich. *Czasopismo Techniczne*, 5, 106, 63–70.
- Gajewska B., Kraszewski C. (2015). Wybrane metody wzmocnienia podłoża. *Budownictwo drogowe i kolejowe*, 24–29.
- Jahn A. (1971). *Lód i zlodowacenia*. Warszawa: PWN.
- Kalkan E. (2009). Effects of silica fume on the geotechnical properties of fine-grained soils exposed to freeze and thaw. *Cold Regions Science and Technology*, 58, 130–135.

- Miyakawa I., Koyama M., Takahashi T. (1963). Frost-heave of roads in Hokkaido, Japan, Permafrost International Conference, 11–15 listopad 1963, Lafayette, Indiana, National Academy of Science, Washington, 497–502.
- PN-81/ B-03020. Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednio budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie, Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości.
- Rafalski L., Cwiakała M., Gajewska B., Kraszewski C. (2018). Badania związane z podłożem nawierzchni drogowej. *Inżynieria morska i geotechnika*, 3, 165–170.
- Rolla S. (1961). *Walka z przełomami na drogach*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacyjne.
- Rui D., Ji M., Nakamura D., Suzuki T. (2018). Experimental study on gravitational erosion process of vegetation slope under freeze–thaw. *Cold Regions Science and Technology*, 151, 168–178.
- Rzeźniczak J. (2007). Wzmacnianie słabych podłoży. Skuteczność wzmacniania słabych podłoży metodą udarową oraz przez statyczne przeciążenie i odciążenie. *Geoinżynieria. Drogi, mosty, tunele*, 12 (1), 34–42.
- Simonsen E., Isacsson U. (1999). Thaw weakening of pavement structures in cold regions. *Cold Regions Science and Technology*, 29, 135–151.
- Szruba M. (2018). Metody wzmacniania podłoża gruntowego w budownictwie drogowym. *Nowoczesne budownictwo inżynierskie*, 4, 61–66.
- Szwejkowski Z. (1999). *Podstawy agrometeorologii*. Wyższa Szkoła Agrobiznesu w Łomży.
- Zawisza E., Franczak A. (2010). Wytrzymałość i mrozoodporność stabilizowanych popiołów lotnych. *Drogownictwo*, 6, 202–207.

Notka biograficzna o autorze: Karol Augustowski, doktor nauk geograficznych, pracownik Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie, zajmuje się zagadnieniami z zakresu geografii fizycznej, specjalista od badań wpływu procesów mrozowych na erozję brzegów rzecznych Podhala i Beskidu Niskiego, autor wielu publikacji naukowych, członek Polskiego Towarzystwa Geograficznego.

Biographical note of author: Karol Augustowski, doctor of geographical sciences, employee of Pedagogical University of Cracow, working on the field of physical geography, expert on the influence of frost processes on river banks erosion in Podhale and Beskid Niski regions, author of many scientific publications, a member of Polish Geographical Society.

e-mail: karolaug@up.krakow.pl