

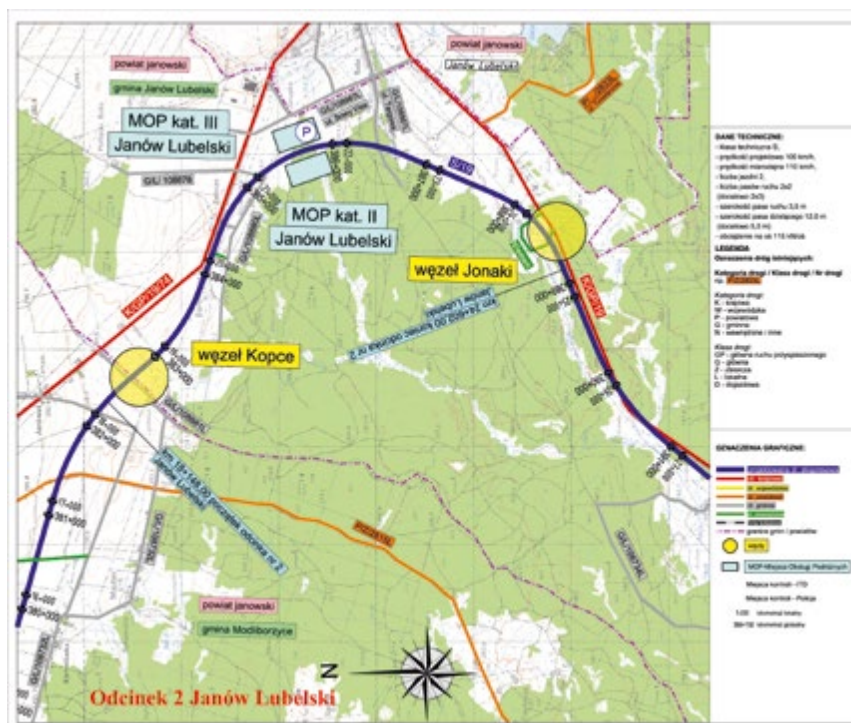
NIEKORZYSTNE ZJAWISKA KRASOWE

USUWANIE SKUTKÓW MOŻLIWYCH DEFORMACJI
NA PRZYKŁADZIE ODCINKA DROGI EKSPRESOWEJ S19

■ **MAREK RUSINEK**
Kierownik Robót - Oddział Południe Keller Polska

Z TEKSTU DOWIESZ SIĘ:

- ☑ na jakie potencjalne zagrożenia napotkał wykonawca,
- ☑ co wykazały specjalistyczne badania,
- ☑ jakie działania podjęto w celu wzmocnienia podłoża gruntowego pod konstrukcją jezdni.



RYS. 1. | Odcinek drogi S19, na którym odbywały się prace iniekcyjne [1]

Niekorzystne zjawiska geologiczne, podobnie jak atmosferyczne, potrafią zaskoczyć drogowców. Ciekawym przykładem na poparcie tej tezy, były roboty geotechniczne realizowane w województwie lubelskim w 2021 roku. Odcinek, na którym odbywały się prace związane z iniekcją pustek krasowych, to fragment drogi ekspresowej S19, obwodnicy Janowa Lubelskiego (Janów Lubelski Północ – Janów Lubelski Południe) o długości ok. 7 km. Dzięki budowie węzła Janów Lubelski Północ zapewnione zostało połączenie drogi ekspresowej S19 z istniejącą drogą krajową nr 19/74 i drogą gminną nr 108881L relacji Borownica – Kopce. Realizacja odcinka umożliwia szybki i bezpieczny przejazd pojazdów pomiędzy Lublinem a Rzeszowem. Inną istotną cechą zadania było zmniejszenie natężenia ruchu tranzytowego w Janowie Lubelskim. [1]

PRZYCZYNY PROBLEMU

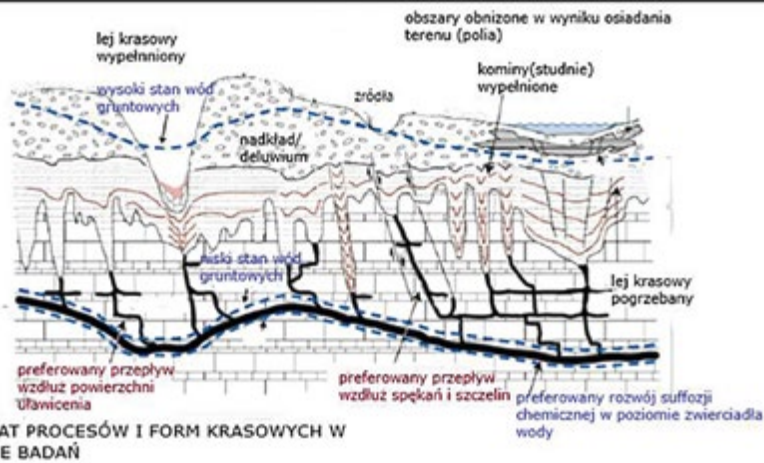
Po wykonaniu większości prac wraz z wykonaniem konstrukcji nawierzchni drogi, zauważone zostały przez Głównego Wykonawcę robót na tym odcinku – firmę Mota – Engil Central Europe S.A. niepokojące

zjawiska związane z tworzeniem się zapadlisk w rejonach rowów drogowych na kilku odcinkach drogi (fot. 1). W związku z tym, po zasięgnięciu specjalistycznej opinii geologicznej, wykonano dodatkowe badania geofizyczne i geologiczne, aby określić stan gruntu pod powierzchnią drogi. Wykonane przez firmę GC Projekt sp. z o.o. badania specjalistyczne potwierdziły występowanie w podłożu, w obrębie konstrukcji nawierzchni drogi ekspresowej S19, silnie rozwiniętych form krasowych. Pustki krasowe powstałe na skutek wypłukania materiału skalnego przez wodę stanowią poważne strefy osłabień. Mogą być one wypełnione materiałem, przeważnie luźnym i zwierzałym. Przeprowadzone badania wykazały, że szczególnie intensywny rozwój procesów krasowych występuje na głębokościach związanych z wahaniami zwierciadła wody gruntowej.

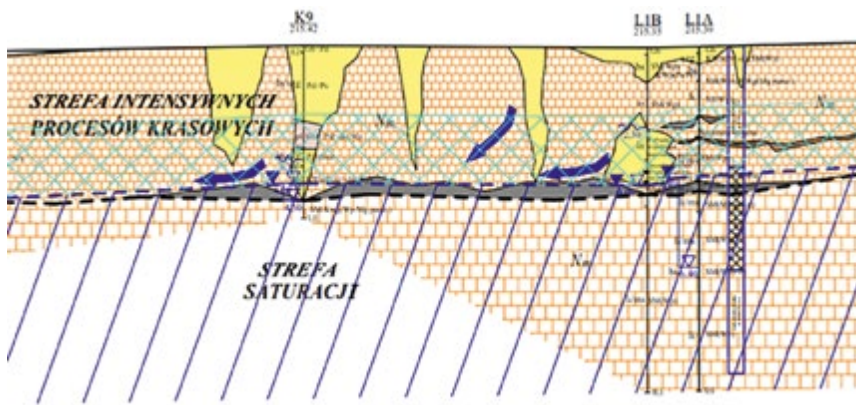
GEOLOGIA

Po wykonaniu przez GC Projekt sp. z o.o. na zlecenie Głównego Wykonawcy serii badań stwierdzono, że bezpośrednio w podłożu analizowanego odcinka drogi występują neogeńskie wapienie organogeniczne,

FOT. 1. | Powstałe w okresie wiosenno-zimowym 2021 typowe formy krasowe na jednym z odcinków drogi ekspresowej S19



RYS. 2. | Schemat procesów i form krasowych [3]



RYS. 3. | Wycinek przekroju geologicznego dla rozpoznania form krasowych [3]

grubo- i średnioziarniste. Do głębokości 4,0–5,0 m p.p.t. są to wapienie bardzo silnie zwietrzałe i skrasowiałe, z licznymi pustkami, kawernami i lejami wypełnionymi materiałem piaszczystym i pylasto-gliniastym. Głębiej skały wapienne miały zdecydowanie bardziej masywne wykształcenie.

Ustalono, że strefa intensywnych procesów krasowych sięga do głębokości ok. 3,6–5,4 m od poziomu wykonywania otworów badawczych, tj. do rzędnej ok. 211–213 m n.p.m. i znajduje się generalnie powyżej zwierciadła ustabilizowanego poziomu wód gruntowych (strefa aeracji). Stwierdzono, że zjawiska krasowe intensyfikowały się w strefie cyklicznych wahań wody (± 2 m powyżej ustabilizowanego zwierciadła wód gruntowych).

W jej obrębie zaobserwowano typowe formy krasowe, począwszy od zjawisk powierzchniowych (wykształconych na pierwotnej powierzchni stropu skał starszego

podłoża) takich jak leje krasowe, zapadliska krasowe (częściowo tylko wypełnione rezyduum skały macierzystej – brekcją) oraz formy podziemne: kanały, kominy oraz komory krasowe. Formy krasowe sięgające do powierzchni (leje, kominy) w większości wypełnione są materiałem naniesionym przez przepływające wody, głównie materiałem piaszczysto-gliniastym i gliniastym.

Strefa stabilna znajduje się generalnie poniżej zwierciadła ustabilizowanego poziomu wód gruntowych (strefa saturacji) (rys. 3). W strefie tej stwierdzono mało i średnio spękaną wapienie oraz wapienie margliste.

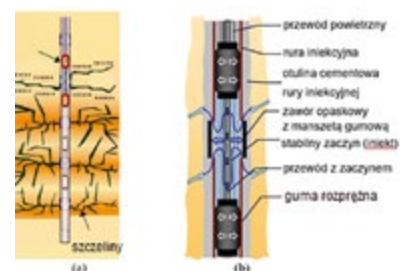
ROZWIĄZANIA PROJEKTOWE PROBLEMU

W celu wzmocnienia podłoża gruntowego pod konstrukcją jezdni w sposób

nieingerujący w wykonaną już konstrukcję nawierzchni drogi ekspresowej, wykonawca badań, a zarazem autor rozwiązań projektowych – firma GC Projekt sp. z o.o., zaproponował w projekcie [2] wzmocnienie i uszczelnienie podłoża wraz z wypełnieniem pustek oraz szczelin poniżej konstrukcji drogi w rejonach, gdzie zlokalizowano pustki i przepływ wody gruntowej. Aby zminimalizować skutki prac iniekcyjnych (wielokrotna iniekcja niskociśnieniowa) założono do wykonania iniekcje skośne wykonywane na skarpach istniejącego nasypu drogowego. Zakres wzmocnienia podłoża pod istniejącą konstrukcją nawierzchni za pomocą iniekcji niskociśnieniowych został określony w oparciu o wykonane rozpoznanie podłoża (wiercenia badawcze, badania geofizyczne, badania hydrogeologiczne) oraz na podstawie inwentaryzacji terenowych i zaleceń z badań kontrolnych [3].

Przyjęta technologia wykonywania iniekcji niskociśnieniowych polega na wprowadzeniu we wcześniej zainstalowany przewód z zaworami opaskowymi specjalistycznej końcówki iniekcyjnej (packera) za pomocą sztywnego przewodu ze stalowych rurek dokręcanych sukcesywnie lub za pomocą wiotkiego przewodu, którymi później tłoczony jest czynnik iniekcyjny. Specjalistyczna końcówka iniekcyjna zaopatrzona jest w uszczelki dopasowane do średnicy przewodu iniekcyjnego (rys. 4), które podczas wtłaczania pod ciśnieniem czynnika iniekcyjnego zaciskają się, umożliwiając wtłoczenie iniektu do konkretnego otworu iniekcyjnego. Po zakończeniu iniekcji przepłukuje się przewód iniekcyjny wodą w taki sposób, aby zapewnić jego droż-

RYS. 4. | (a) Schemat ideowy iniekcji niskociśnieniowej, (b) szczegół packera



ność umożliwiającą wykonanie kolejnych iniekcji wtórnych. Procedurę tę powtarza się standardowo od 2 do 4 razy kolejno na wszystkich otworach iniekcyjnych. Kolejne iniekcje ponawia się do momentu zaniku chłonności zaczynu iniekcyjnego w otworze w oparciu o wytyczne projektowe, monitorowane w trakcie prowadzenia robót przez autora opracowań w ramach nadzoru geologicznego.

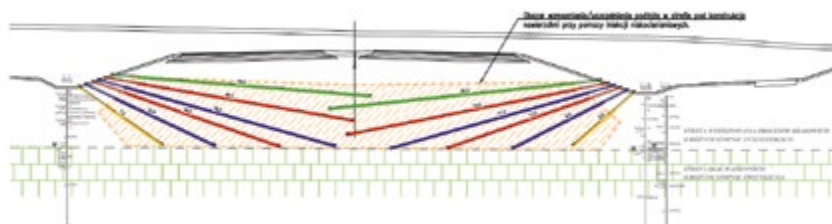
Na długości zabezpieczanego odcinka wyróżniono kilka układów iniekcji, przedstawionych na rys. 5. Dodatkowo, przewidziano instalację we wskazanych przewodach iniekcyjnych systemowych prętów stalowych, co pozwoli na dodatkowe uciążlenie wzmocnienia, a tym samym zwiększenie bezpieczeństwa całego rozwiązania.

Wzmocnienie podłoża pod nasypem za pomocą iniekcji niskociśnieniowych zaprojektowane zostało przez GC Projekt sp. z o.o. do głębokości określonej na podstawie badań zwierciadła wody gruntowej, tak aby zminimalizować ryzyko blokady przepływu wody w gruncie (podpiętrzenia wody), co mogłoby skutkować rozwojem oraz intensyfikacją procesów krasowych w nowych obszarach.

Dodatkowo, w ramach działań projektowych poza uszczelnieniem oraz wzmocnieniem podłoża zaproponowano:

- wykonanie drenażu odcinającego zabezpieczającego przed napływem wody pod konstrukcję nawierzchni,
- uszczelnienie rowów skarp oraz przeciwskarp na odcinku zinwentaryzowanych procesów krasowych,
- monitoring stanu konstrukcji nawierzchni w okresie jej zabezpieczania oraz eksploatacji.

RYC. 5. | Schemat lokalizacji rurek iniekcyjnych w korpusie istniejącego nasypu [2]



FOT. 2. | Przewody do iniekcji niskociśnieniowych z zaworami opaskowymi na długości

FOT. 3. | Końcówka iniekcyjna do wykonania iniekcji niskociśnieniowych

REALIZACJA BUDOWY

Podczas realizacji prac [4], iniekcję niskociśnieniową prowadzono poprzez rurkę iniekcyjną zabudowaną w otworze wiertniczym. Średnica rury iniekcyjnej wynosiła od 25 do 100 mm. We wnętrzu rury PCV zamontowano paker (zawór opaskowy) i tłoczono zaczyn przy ciśnieniu mierzonym na pompie w zakresie 1-20 barów. Ciśnienie dobrano w sposób umożliwiający wniknięcie iniektu w szczeliny i rozluźnienia. Rozstaw zaworów opaskowych po długości otworu iniekcyjnego wynosił 1 m. Prowadzono monitoring przemieszczeń nawierzchni oraz obserwację obszaru robót pod kątem wypływu iniektu podczas jego tłoczenia.

Proces iniekcji podzielono na kilka etapów zgodnie z [3]:

- pierwsza iniekcja wzmacniająca/uszczelniająca,

- druga iniekcja wzmacniająca/uszczelniająca (rozpoczynana od trzeciego poziomu iniekcyjnego licząc od powierzchni skarpy), kończąca proces wzmocnienia i uszczelniania górotworu. Zakończenie procesu drugiej iniekcji wypełniającej zakładało ograniczenie do minimum ilości zaczynu iniekcyjnego niezbędną do wypełnienia pustek i szczelin, która przewidziana jest w kolejnej fazie,
- trzecia iniekcja – wykonywana w punktach, w których nie doszło do zaniku chłonności zaczynu iniekcyjnego przy ciśnieniu granicznym,
- czwarta iniekcja – wykonywana w punktach, w których nie doszło do zaniku chłonności zaczynu iniekcyjnego, przy osiągnięciu ciśnienia maksymalnego. Powtarzano co min. 12 h ten etap iniekcji niskociśnieniowej do momentu stwierdzenia zaniku chłonności zaczynu iniekcyjnego, przy osiągnięciu ciśnienia maksymalnego.

Prace związane z wypełnianiem pustek trwały od czerwca do listopada 2021 r. Wychoząc naprzeciw oczekiwaniom inwestora dotyczących harmonogramu robót (związany z jak najszybszym oddaniem odcinka do użytkowania), do realizacji zadania przeznaczono 3 specjalistyczne kontenery iniekcyjne. Każdy z tych kontenerów posiadał po 6 pomp iniekcyjnych



FOT. 4. | Wiercenie otworów iniekcyjnych
FOT. 5. | Zaplecze budowy

umożliwiających prowadzenie iniekcji wielu punktów równocześnie. Dodatkowo użyto 3 standardowych pomp pojedynczych, co złożyło się na zaangażowanie do zadania w sumie 21 pomp iniekcyjnych.

Kontrola prac wyróżniała się bardzo wysokim reżimem dotyczącym zachowania jakości. Podczas robót mierzono szereg parametrów produkcyjnych, takich jak: ciśnienie iniekcji, ilość i przepływ zaczynu oraz gęstość. W toku prac wykonano ponad 78 km wierceń oraz ponad 183 000 szt. iniekcji.

Zadanie ze względu na końcowy etap prac budowlanych, wymagało błyskawicznej mobilizacji oraz dużej elastyczności wykonawczej polegającej na dostosowywaniu tempa, lokalizacji oraz sposobu prowadzenia prac do nowo pozyskiwanych, w ramach nadzoru geologicznego, bieżących raportów z badań uzupełniających. Prace, z uwagi na napięty harmonogram, były realizowane w systemie dwuzmianowym z zaangażowaniem ok. 80 osób oraz kilku wiertnic jednocześnie.

Dzięki ścisłej oraz profesjonalnej współpracy wszystkich uczestników złożonego procesu budowlanego: inwestora, wykonawcy, projektanta oraz konsultanta, jego realizacja zakończyła się pełnym sukcesem w postaci oddania do użytku drogi ekspresowej w dniu 16 grudnia 2021 roku, czyli zaledwie miesiąc po zakończeniu ostatnich iniekcji pustek krasowych. |

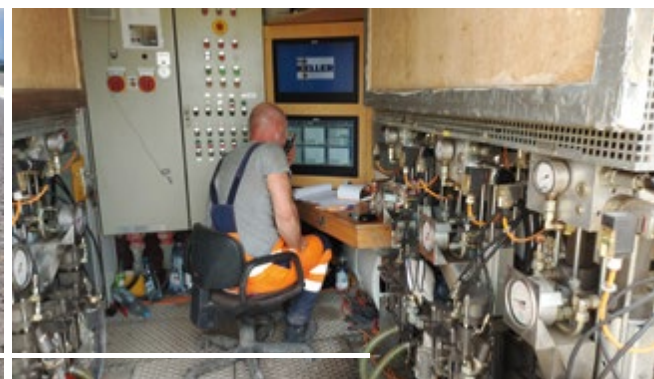
LITERATURA

- [1] Strona internetowa GDDKiA <http://www.s19-janowlubelski.pl/>.
- [2] Projekt wykonawczy przedstawiający rozwiązania projektowe minimalizujące skutki rozwoju procesów krasowych pod konstrukcją nawierzchni drogi ekspresowej S19. „Projekt i budowa drogi ekspresowej S19 Lublin – Rzeszów, odc. koniec obw. Kraśnika – węzeł „Sokołów Młp. Północ” Część nr 2: odc. realizacyjny obwodnica m. Janów Lubelski (węzeł „Kopce” obecnie „Janów Lub. Północ – węzeł

„Joanki” obecnie „Janów Lub. Południe” z węzłami), długości ok. 7 km” wykonany przez firmę GC PROJEKT SP.Z O.O. ul. Budziwojska 79, 35-317 Rzeszów.

- [3] Sprawozdanie z kontrolnych badań w rejonie obserwowanych procesów krasowych w rejonie odcinka budowanej drogi ekspresowej S19, 2021 etapy od I do IV, wykonane przez firmę GC PROJEKT sp. z o.o. ul. Budziwojska 79, 35-317 Rzeszów.
- [4] Projekt Technologiczny: Projekt i budowa drogi ekspresowej S19 Lublin – Rzeszów, odc. koniec obw. Kraśnika węzeł „Sokołów Młp. Północ”. Część nr 2: odc. realizacyjny obwodnica m. Janów Lubelski (węzeł „Kopce” obecnie „Janów Lub. Północ” węzeł „Jonaki” obecnie „Janów Lub. Południe” z węzłami), długości ok. 7 km Wykonanie iniekcji niskociśnieniowej na odcinku od km 19+140 do km 19+780, wykonane przez firmę Keller Sp. z o.o. ul. Poznańska 172, 05-850 Ożarów Mazowiecki.

FOT. 6. | Monitoring nawierzchni
FOT. 7. | Wnętrze kontenera iniekcyjnego z 6 pompami



WIEDZA · BIZNES · ATRAKCJE

GWiOP

II KONGRES
**GOSPODAROWANIA
WODAMI I OCHRONY
PRZECIWPOWODZIOWEJ**



ZAREJESTRUJ SIĘ
JUŻ TERAZ I ZGARNIJ
PLECAK!

6-8 WRZEŚNIA 2023

NOWA LOKALIZACJA!



KONGRES / NOCLEG I GALA WIECZORNA:

**ZAKŁAD UZDATNIANIA WODY
BIELANY W KRAKOWIE**

**ZAMEK W PRZEGORZAŁACH
I HOTEL FOREST W KRAKOWIE**

**NAGRODY
TYTAN 2023**



WEJDŹ I DOWIEDZ SIĘ WIĘCEJ!
konferencje.inzynieria.com/gwiop