

## Wybrane problemy uszkodzeń konstrukcji drogowej jako wynik niewłaściwego rozpoznania geologiczno-inżynierskiego

Łukasz A. Kumor<sup>1</sup>, Maciej K. Kumor<sup>1</sup>, Zbigniew Młynarek<sup>2</sup>



Ł. Kumor



M. Kumor



Z. Młynarek

**Failure of highway embankment as a result of inadequate subsoil identification.** Prz. Geol., 62: 641–644.

*Abstract.* The paper presents problems connected with failure in a road section of an interchange, which geotechnical causes were manifested in the initial period of its operation. Genesis of the failure stems from the stage of investment preparation and construction. The failure was caused first of all by inadequate identification of geological and engineering conditions in the area of deposition of unconsolidated Holocene organic soils. As a result of failure damage occurred in the road embankment and in the subsoil. The paper presents an attempt at an explanation for the failure.

**Keywords:** low-bearing road subgrade, organic soils, geotechnical diagnosis, road structure failure

Podstawą uzyskania wysokiej jakości robót ziemnych w budowie autostrad jest dobre udokumentowanie i wiarygodne ustalenie właściwości geotechnicznych podłoża oraz precyzyjne rozpoznanie procesów geologiczno-inżynierskich, które opisują budowę podłoża.

W polskich warunkach, postępowanie inwestycyjne definiują przepisy krajowe, m.in. Prawo Budowlane, Geologiczne i Górnicze oraz wytyczne Ministerstwa Środowiska. Metody badań, służące przygotowaniu projektów geotechnicznych, określają szczegółowo normy i rozporządzenia, które ściśle nawiązują do zapisów Eurokodu 7 (PN-EN 1997-1; PN-EN 1997-2; PN-EN ISO 14688-2:2006). Pomimo tak dokładnych przepisów, bardzo często występują awarie budowli ziemnych, związane głównie z niedokładnym rozpoznaniem geotechnicznym podłoża. Szczególnie wtedy, kiedy budowa podłoża na terenie inwestycji oraz warunki grunto-wodne są złożone i skomplikowane (Kumor M. & Młynarek). Taka sytuacja wystąpiła na budowie drogi ekspresowej.

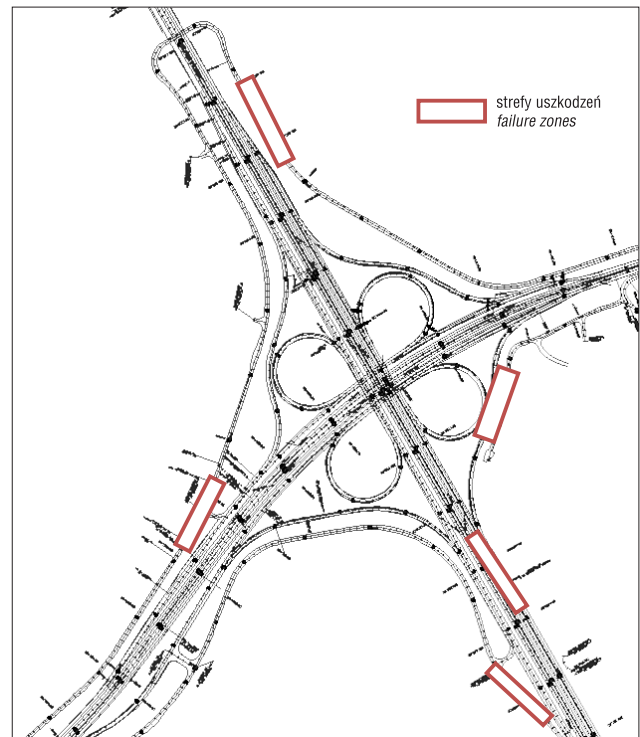
Pierwotne przyczyny uszkodzeń powstały już na etapie wyboru koncepcji projektu drogi. W trakcie realizacji nastąpiła dalsza ich kumulacja. Zabrakło, w ocenach geologiczno-inżynierskiej i oddziaływania na środowisko, technicznych aspektów analizy procesów geologicznych i ich wpływu na realizację obiektu. Szczególnie nie sformułowano istotnych prognoz i nie przeprowadzono oceny ryzyka środowiskowego, w zakresie możliwości powstania inwersji stosunków hydrogeologiczno-inżynierskich, po całkowitej wymianie gruntów organicznych na dobrze przepuszczalne, w granicach pasa drogowego (Kumor M. & Kumor Ł., 2012; Kumor M. i in., 2014). W efekcie doprowadziło to, poza uszkodzeniem drogi, do nieodwracalnych zmian w środowisku grunto-wodnym. Zasięg degradacji wykroczył daleko poza strefę pasa drogowego.

### LOKALIZACJA I WYJŚCIOWE WARUNKI GEOLOGICZNE

**Lokalizacja uszkodzeń konstrukcji drogi.** Analizowany obszar uszkodzeń odcinków węzła drogowego to fragment rozbudowywanego ciągu drogi ekspresowej.

Charakteryzuje się on bardzo skomplikowaną budową geologiczną i złożonymi warunkami wodnymi. W budowie geologicznej podłoża przeważają postglacjalne formy erozyjne, obniżenia, kotliny wypełnione młodymi utworami akumulacji wodnej, głównie gruntami organicznymi znacznej miąższości.

Węzeł komunikacyjny zawiera typowe komunikacyjne obiekty inżynierskie, takie jak: wiadukty, nasypy korpusów drogowych, o wysokości do 8–10 m, oraz drogi dojazdowe i serwisowe, o łącznej długości kilkunastu kilometrów (ryc. 1).



**Ryc. 1.** Lokalizacja uszkodzonych odcinków  
**Fig. 1.** Location of damaged expressway sections

<sup>1</sup> Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. J. Śniadeckich, ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz; mkkumor@utp.edu.pl.

<sup>2</sup> Instytut Budownictwa i Geoinżynierii, Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy, ul. Piątkowska 94, 60-648 Poznań; zbigniew.mlynarek@hebo-poznan.pl.

**Warunki geologiczne podłoża przyjęte do projektu drogowego.** Całość przedsięwzięcia komunikacyjnego, zaprojektowano na podstawie zawężonego zakresu badań geotechnicznych. Do opracowania projektu budowlanego wykonano proste rozpoznanie geotechniczne. Ograniczono się do wykonania 14 płytkich wierceń badawczych, o głębokości od 3,0 do 12,0 metrów. Pojedyncze punkty badań wytypowano w miejscach lokalizacji obiektów inżynierskich, tj. pod posadowienie podpór wiaduktów, ścian oporowych i estakad. Materiały archiwalne, w tym dostępne mapy geologiczne, wskazywały, że podłoże charakteryzują złe warunki geotechniczne.

Ustalono, że podłoże gruntowe zbudowane jest z gruntów organicznych – słabonośnych torfów, zalegających od powierzchni terenu do głębokości około 3–4 m p.p.t. Poniżej warstwy torfów występują nośne piaski fluwialne w stanie średnio zagęszczonym, o stopniu zagęszczenia  $ID = 0,45–0,60$ . Woda gruntowa pojawiała się od powierzchni terenu. W rozpoznaniu geologicznym błędnie zinterpretowano warstwy zastoiskowe (gytie), kwalifikując je do glin zwałowych. Nie określono i nie okonturowano występowania w projektowanym pasie drogowym tektoniki podłoża organicznego, dolin erozyjnych i niecki jezior. Nie ustalono zmienności i maksymalnej miąższości kompleksu gruntów słabonośnych (gytii, torfów, miękkoplastycznych glin) oraz położenia wcięć, kotlin erozyjnych i zróżnicowania morfologii basenów sedymentacyjnych młodych utworów zastoiskowych.

Na podstawie wyników badań geotechnicznych, zaprojektowano pełną wymianę gruntu w podłożu na obszarze zalegania gruntów słabonośnych. Przyjęto, że miąższość gruntów do wymiany będzie wynosić od 1 do 2–3 m (ryc. 2). Łącznie do wymiany gruntu organicznego na mineralny zakwalifikowano ponad 85% powierzchni pasa drogowego.

Na podstawie wykonanych badań przyjęto, daleki od rzeczywistych warunków geotechnicznych, prosty model budowy podłoża gruntowego, w którym brakowało szeregu istotnych informacji o tektonice podłoża organicznego. Nie określono także podstawowych informacji o strefach zasilania i lokalnych kierunkach przepływu wody podziemnej. Tak uproszczony model warunków gruntowo-

-wodnych był podstawą dla projektu wykonawczego i rozpoczęcia robót ziemnych.

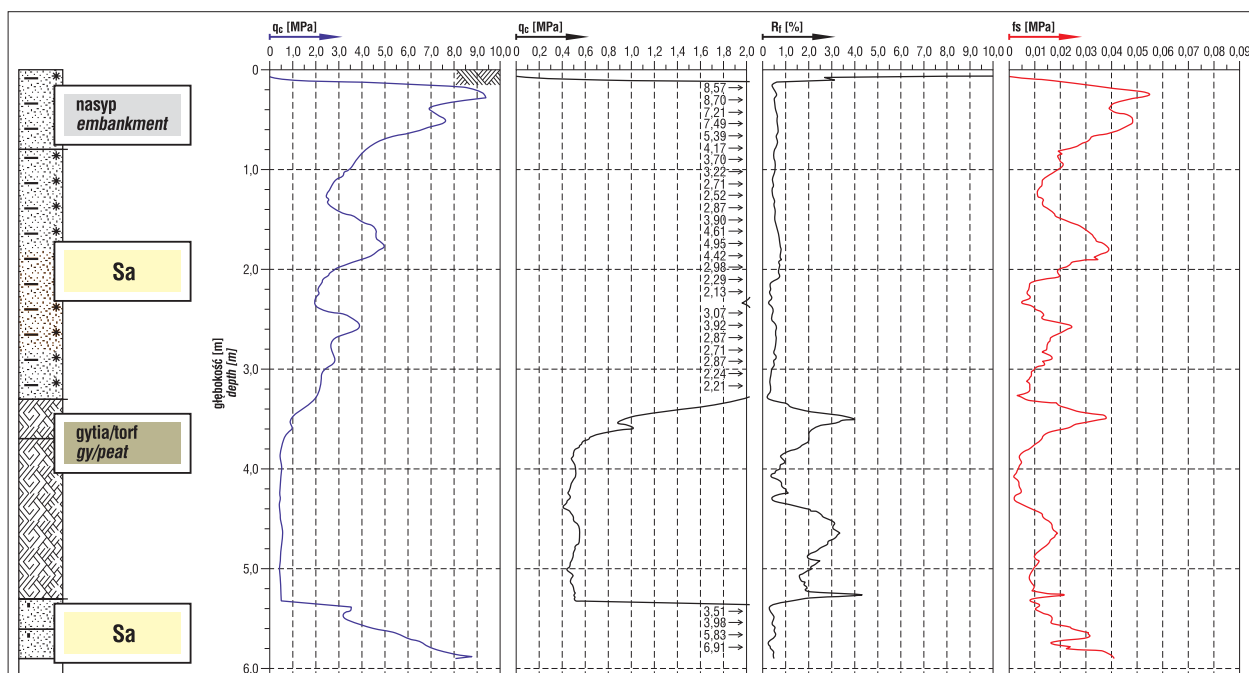
### BADANIA UZUPEŁNIAJĄCE PODŁOŻA WYKONANE NA ETAPIE BUDOWY DROGI

**Warunki geotechniczne.** Wykonawca, po rozpoczęciu prac ziemnych, stwierdził rażące niezgodności, między rzeczywistymi warunkami geotechnicznymi a danymi przyjętymi do projektowania. W celu określenia stanu i miąższości warstw gruntów, wykonano dodatkowe badania weryfikujące, za pomocą m.in. sondowań CPTU oraz wierceń (ryc. 2).

Badaniami objęto szeroki obszar, wzdłuż pasów dróg. Rozpoznanie wykonywano co 10–15 m. Stwierdzono w podłożu utwory organiczne słabonośne w postaci: torfów i namulów piaszczystych, o zróżnicowanym stopniu rozkładu, oraz gytii. Warstwy gytii i torfów były w pełni nasycone i położone poniżej zwierciadła wody gruntowej. Torfy zalegały nierytmicznie na różnych głębokościach pomiędzy warstwami piasków. Ekstremalnie duże miąższości torfu i gytii stanowią (lokalnie do głębokości ponad 12 m) wypełnienia rynien jeziornych, w których utwory organiczne osiągają głębokości ponad 10 m p.p.t. Wyniki badań właściwości gruntów organicznych zamieszczono w tabeli 1.

**Warunki wodne podłoża.** Warunki wodne przed wymianą gruntu w podłożu charakteryzowały się występowaniem zwierciadła wody gruntowej o charakterze swobodnym na poziomie terenu lub lekko napiętym poniżej spągu gruntów organicznych. Po wymianie gruntów, główny kierunek przepływu wody podziemnej uległ zasadniczej zmianie. Przed robotami ziemnymi, wody spływały ku zachodowi, w stronę lokalnej zlewni, którą stanowił kanał (ryc. 3).

Po pełnej wymianie podłoża organicznego na piaski średnie, w 85% całego obszaru podłoża drogowego, wystąpiła drastyczna zmiana kierunku przyływu wody podziemnej na południowy i południowo-zachodni. Dobrze przepuszczalne piaski średnie, zaczęły działać jak wielkoobszarowy, duży rów odwadniający. Lokalnie spowodowało to obniżenie poziomu zwierciadła wody gruntowej w strefie północnej i wschodniej węzła od 0,5 do 0,7 m.

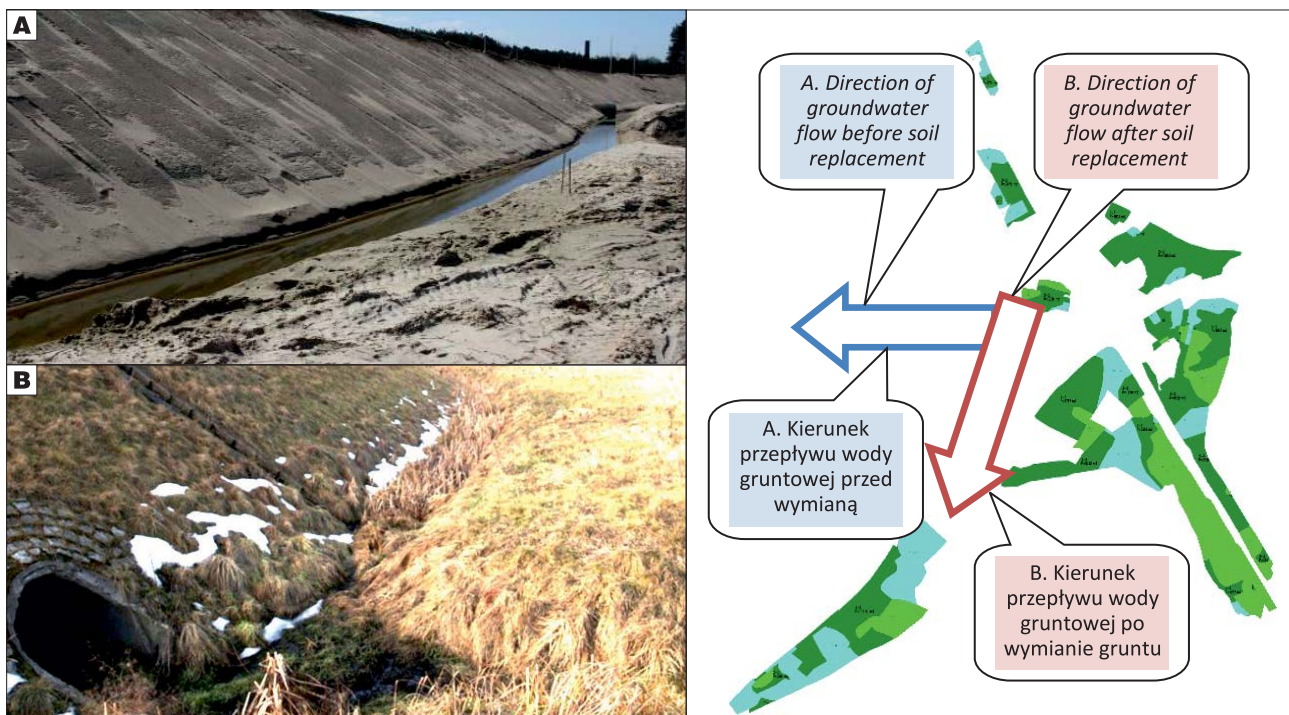


Ryc. 2. Wyniki badania CPTU podłoża w rejonie uszkodzonych odcinków

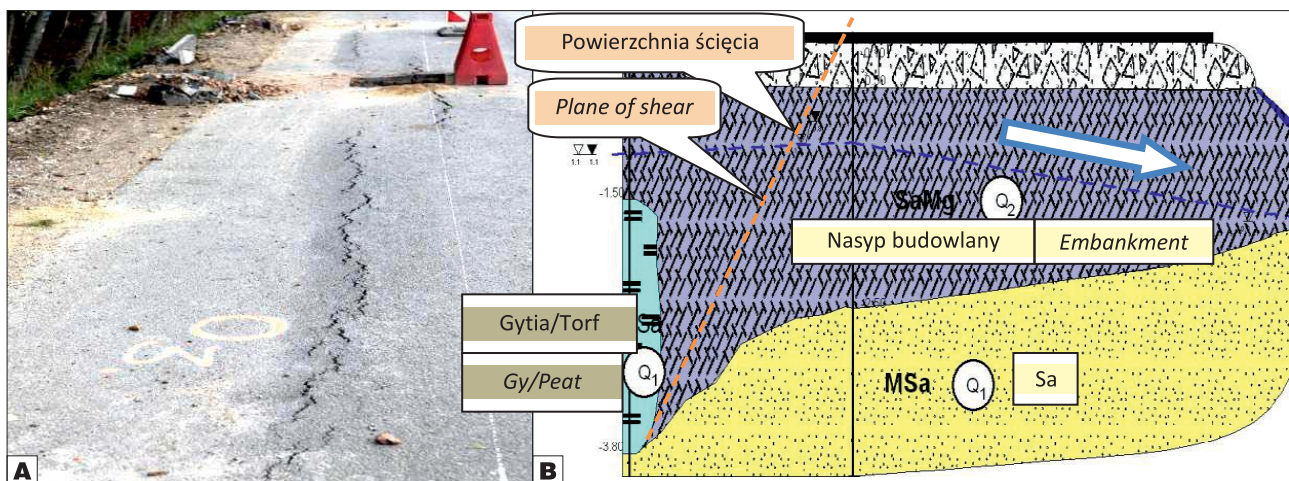
Fig. 2. CPTU profiles in the zone of failure sections of expressway

**Tab. 1.** Właściwości słabonośnych gruntów organicznych  
**Table 1.** Properties of low-bearing organic soils

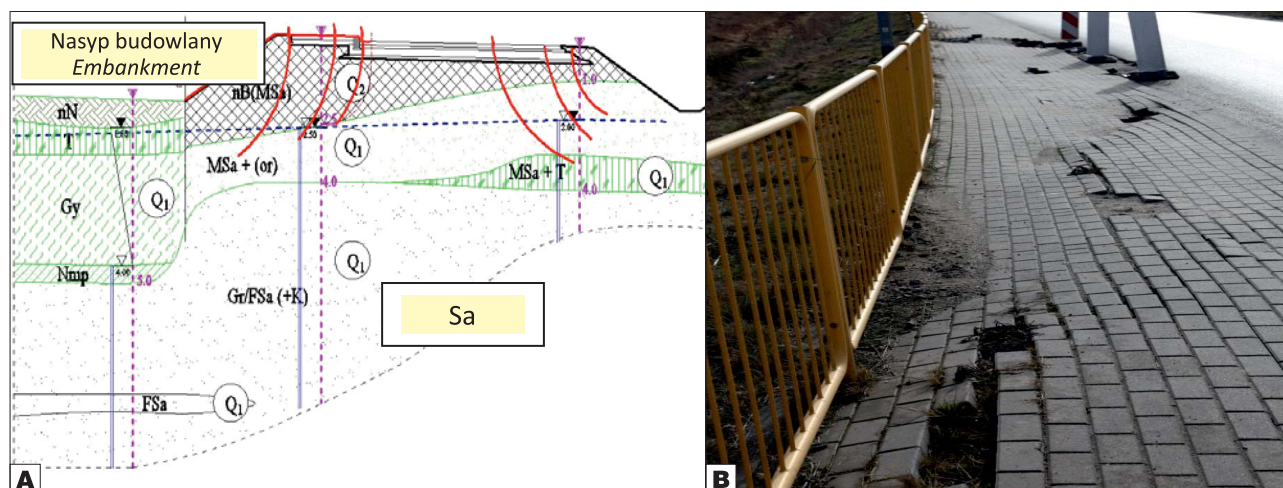
Grunt Soil	Zawartość części organicznych Organic fraction content		Wilgotność naturalna Natural water content		Moduł ścisłości Constrained modulus	Kąt tarcia wewnętrznego Internal friction angle	Spójność Cohesion	Stopień rozkładu Degree of decomposition
	[%]		[%]					
	min.	max.	min.	max.	[MPa]	[°]	[kPa]	[%]
Torf Peat	35,0	79,0	102,0	264,0	1,2	<3 kPa	2,0	H4–H6
Namuł Alluvium	23,3	29,7	43,3	76,6	2–4	–	–	H1–H3
Gytia Gyttja	>38,0	–	262,0	493,0	0,09	<5 kPa	5,0	18–80



**Ryc. 3.** Zasięg wymiany gruntu, kolor zielono-niebieski, kierunki przepływu wody **A** – przed i **B** – po wymianie  
**Fig. 3.** The scope of soil replacement, green-blue color, water flow directions **A** – before, and **B** – after soil replacement



**Ryc. 4.** **A** – niepełne usunięcie torfu, **B** – obniżenie lustra wody gruntowej w podłożu drogowym po wymianie  
**Fig. 4.** **A** – incomplete peat removal, road pavement recess, **B** – lowering of groundwater table following peat replacement



Ryc. 5. A – zmiana poziomu wody gruntowej po niewłaściwej wymianie torfu, B – deformacje drogi i podłoża  
 Fig. 5. A – a change in groundwater level after incorrect peat replacement, B – deformations of road embankment and subsoil

### USZKODZENIA KONSTRUKCJI DROGOWEJ

Podczas i po wymianie torfu, prawie natychmiast odnotowano pierwsze uszkodzenia nawierzchni drogowej oraz elementów drogi. Uszkodzenia powstały zarówno w fazie robót ziemnych, jak i po zakończonej wymianie oraz po pierwszych obciążeniach użytkowych.

**Uszkodzenia w trakcie robót ziemnych.** Na rycinie 4 przedstawiono typowe pęknięcia, zniszczenia nawierzchni i konstrukcji, powstałe przed normalnym użytkowaniem drogi. Przekrój geotechniczny obrazuje niewłaściwie zaprojektowaną i wykonaną wymianę torfów w podłożu, skorelowaną ze skutkami deformacji drogi.

W wyniku wykonania wymiany torfów, w strefie krawędziowej podbudowy drogi i nasypu drogowego nastąpiło osuszenie wewnętrzne z wyparciem gruntu w stronę nieusuniętej warstwy torfu. Przyległe drzewa torfowiska, rosnące w pasie drogowym, uległy przechyleniu w stronę drogi, a osiadania deformacyjne nawierzchni osiągnęły wartość ponad 10 cm.

**Uszkodzenia powstałe po wymianie gruntu.** Charakterystyczne zniszczenia, załamania nawierzchni drogi i chodnika oraz usuwiska korpusu drogowego, jakie powstały po oddaniu drogi do użytkowania, dotyczyły przede wszystkim deformacji bezpośredniego otoczenia (korpusu drogowego), sięgającego poza pas drogowy (ryc. 5).

**Podsumowanie powstałych uszkodzeń.** Przedstawione przykłady deformacji i uszkodzeń drogi wykazały jednoznacznie, że pominięte zostały w projektowaniu drogi procesy geotechniczne, które wystąpiły podczas wymiany podłoża pod korpusem drogowym. W czasie budowy wystąpiła także erozja powierzchniowa wód spływających z nawierzchni drogi na skutek wadliwie wykonanego odwodnienia powierzchniowego.

Zasięg zmian poziomu wody gruntowej spowodował inwersję kierunku przepływu i trwałe obniżenie dotychczasowego poziomu wody gruntowej. Zasięg zmian warunków wodnych powiększył się poza pas drogowy i objął nienaruszoną strefę zalegania gruntów organicznych.

### WNIOSKI

Awaria na budowie drogi ekspresowej, co potwierdziła przeprowadzona analiza, miała złożony charakter. Skutki tej awarii pozwalają jednak sformułować kilka ogólnych i szczegółowych przyczyn. Do tych przyczyn można zaliczyć:

- na etapie koncepcyjno-lokalizacyjnym węzła, nie opracowano racjonalnego programu badań geologiczno-inżynierskich i geotechnicznych z uwzględnieniem materiałów archiwalnych. W trudnej, jak się okazało, sytuacji środowiskowej nie dokonano analizy ryzyka w zakresie oceny oddziaływania skutków zmian antropogenicznych, wynikających z geotechnicznych problemów budowy węzła;

- w projekcie wymiany torfów nie uwzględniono zmian naturalnych, tj. naruszenia ciągłości hydrogeologicznej, dodatkowej konsolidacji filtracyjnej i wielkoobszarowej inwersji kierunku przepływu wody gruntowej;

- mimo uszczegółowienia bazy wyników geotechnicznych, za pomocy sondowań statycznych oraz wierceń badawczych, nie skorygowano przyjętych rozwiązań technologicznych. Zachowano metodę pełnej wymiany gruntów organicznych, również pod wodą i w strefach bardzo głębokich rynien erozyjno-sedymentacyjnych, bez dodatkowych zabiegów geotechnicznych. W tej sytuacji dokonana wymiana gruntów organicznych w wąskim pasie drogowym, nie była wymianą zupełną, a zasięg zmian antropogenicznych był stosunkowo rozległy.

W podsumowaniu, można stwierdzić, że najistotniejsze dla prawidłowej realizacji budowy w bardzo złożonych warunkach gruntowych, okazują się być czynniki zależne od uczestników procesu inwestycyjnego, tj. inwestora, wykonawcy i projektanta oraz czynniki naturalne, które są niezależne od uczestników procesu inwestycyjnego. Do tych czynników zalicza się prawidłowe rozpoznanie budowy podłoża i procesów, jakie mogą w podłożu wystąpić przy zastosowanej technologii wykonania obiektu.

### LITERATURA

- KUMOR M.K. & KUMOR L.A. 2012 – Raport Geotechniczny z badań podłoża w związku z awarią drogi ekspresowej. Pracownia Inżynierjno-Geologiczna, Bydgoszcz, s. 98.
- KUMOR M.K. & MŁYNAREK Z. 2013 – The effect of quality of geotechnical subsoil identification on the execution of pile structures for bridge supports. Proc. of XVII International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, April 29–May 4, 2013 Chicago. XD-ROM paper, Paper, 2.04.
- KUMOR M.K. KUMOR L.A. & MŁYNAREK Z. 2014 – Failure of highway embankment as a result of inadequate subsoil identification. Proc. of XV Danube – European Conference on Geotechnical Engineering (DECGE 2014) H. Brandl & D. Adam (eds.) 9–11 September 2014, Vienna, Austria Paper, 258.
- PN-EN 1997-1. Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 1: General rules.
- PN-EN 1997-2. Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing.
- PN-EN ISO 14688-2:2006. Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 2: Classification principles.