

EKSPERTYZA TECHNICZNA

DOTYCZĄCA OSIADANIA JEZDNI W REJONIE PRZEPUSTU P-1

W KM 48+833,58 NA DW 483,

W MIEJSCOWOŚCI BOGUMIŁOWICE

LOKALIZACJA: DW 483, KM 48+833
MIEJSCOWOŚĆ: BOGUMIŁOWICE
WOJEWÓDZTWO: ŁÓDZKIE

ZLECIENIODAWCA:

ZARZĄD DRÓG WOJEWÓDZKICH W ŁODZI
UL. PIŁSUDZKIEGO 12
90 – 051 ŁÓDŹ

OPRACOWALI:

DR INŻ. ANDRZEJ T. WOJTASIK
upr. geol. MOŚZNIL VII-1197; cert. PKG 058; upr. WKP/0087/POK/15

DR MACIEJ TROĆ
upr. geol. MOŚZNIL V-1342 & MŚ VII-1354

MGR INŻ. JACEK NAWRACAŁA

MGR INŻ. KAROL WOJCIECHOWSKI

ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA:

CZĘŚĆ TEKSTOWA:

1.	PODSTAWA I ZAKRES OPRACOWANIA	3
1.1.	PODSTAWA FORMALNA OPRACOWANIA. ZAKRES	3
1.2.	PODSTAWA PRAWNA OPRACOWANIA	3
1.3.	PODSTAWA MERYTORYCZNA OPRACOWANIA	3
2.	OGÓLNY OPIS ANALIZOWANEGO OBIEKTU I ZAOBSERWOWANEGO PROBLEMU	6
3.	WARUNKI GRUNTOWO – WODNE	7
3.1.	WARUNKI GEOTECHNICZNE	7
3.2.	WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE	7
4.	ROZWÓJ LEJA DEPRESJI	8
5.	ANALIZA OSIADAŃ	11
5.1.	WPŁYW ROZWIĄZANIA PROJEKTOWEGO	11
5.2.	WPŁYW OBNIŻENIA WODY GRUNTOWEJ	11
5.3.	KONSOLIDACJA	12
6.	WNIOSKI	13

Załączniki:

1.	MAPY I PLANY	
1.1.	MAPA ORIENTACYJNA	1 : 10 000
1.2.	PLAN SYTUACYJNY	1 : 250
1.3.	MAPA ORIENTACYJNA WRAZ Z IZOLINIAMI OSIADAŃ ORAZ GRANICĄ LEJA DEPRESYJNEGO	1 : 10 000
1.4.	SZKIC SYTUACYJNY ZASIĘGU LEJA DEPRESJI ZG KWB „BĘŁCHATÓW”	1 : 100 000
2.	LEGENDA STOSOWANYCH OZNACZEŃ; PODZIAŁ I KLASYFIKACJA GRUNTÓW	
3.	PROFILE OBLICZENIOWE	
4.	METRYKI SONDOWAŃ STATYCZNYCH CPTU	
5.	METRYKI DMT	
6.	ANALIZA KONSOLIDACJI	
7.	ANALIZA NUMERYCZNA	

1. PODSTAWA I ZAKRES OPRACOWANIA

1.1. PODSTAWA FORMALNA OPRACOWANIA. ZAKRES

Niniejsza Ekspertryza techniczna została opracowana w przedsiębiorstwie GT PROJEKT Sp. z o.o. & Co., SK, z siedzibą: Swadzim, ul. Parkowa 4, 62 – 080 Tarnowo Podgórne, zwanym dalej Autorem, na zlecenie **ZARZĄDU DRÓG WOJEWÓDZKICH W ŁÓDZI**, z siedzibą: ul. Piłsudskiego 12, 90-051 Łódź, zwanym dalej Inwestorem.

Po oddaniu do eksploatacji modernizowanej Drogi Wojewódzkiej nr 483 zaobserwowano odkształcenia nawierzchni drogowej w rejonie przepustu km 48+833,58. Celem niniejszej Ekspertryzy jest określenie przyczyny / przyczyn zaistniałych przemieszczeń. W ramach opracowania wykonano badania terenowe: 8 sondowań CPTU i 5 sondowań DMT, które stanowiły podstawę do dalszych analiz i obliczeń. Wykonano zarówno obliczenia klasyczne (metoda analityczna) oraz obliczenia numeryczne (metoda elementów skończonych).

1.2. PODSTAWA PRAWNA OPRACOWANIA

Ekspertryzę opracowano w oparciu o ustawy, rozporządzenia, wytyczne i normy, związane z geologią, budownictwem i geotechniką, w tym, nie wyłączając innych, wyszczególnione poniżej:

- [N1] PN-EN 1990:2004/A1:2008. Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji.
- [N2] PN-EN 1991-1-1:2004. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne – Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- [N3] PN-EN 1992-1-1:2008. Eurokod2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [N4] PN-EN 1997-1:2008. Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- [N5] PN-EN 1997-2:2009. Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- [N6] PN-83/B-02482. Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych.
- [N7] PN-74/B-03020. Grunty budowlane. Projektowanie i obliczenia statyczne posadowień bezpośrednich.
- [N8] PN-81/B-03020. Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [N9] PN-B-03264 (grudzień 2002). Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [N10] PN-85-S/10030. Obiekty mostowe. Obciążenia.

1.3. PODSTAWA MERYTORYCZNA OPRACOWANIA

Podstawę merytoryczną opracowania Ekspertryzy stanowią:

- [1] Dokumentacje geologiczne i geotechniczne:
 - [1.1] „Opinia geotechniczna o warunkach gruntowo-wodnych na potrzeby przebudowy DW nr 483 Bogumiłowice” opracowana przez DZGEO-Technika; grudzień 2010 r.;
 - [1.2] Raport „Rozpoznanie podłoża pod podpory przepustu” opracowany przez Skanska, Oddział Budownictwa Inżynieryjnego w Warszawie; kwiecień 2014 r.;
 - [1.3] „Opinia Geotechniczna dotycząca warunków gruntowych” opracowana przez pracownię geologiczną Geosonda; maj 2014 r.;
 - [1.4] Sprawozdanie z badań podłoża wykonane przez Skanska; lipiec 2014 r.;
 - [1.5] Sprawozdanie z badania zasypki wykonane przez Skanska; wrzesień 2014 r.;
 - [1.6] Sprawozdanie z badania geomateraca wykonane przez Skanska; wrzesień 2014 r.;
 - [1.7] Sprawozdanie z badania zasypki wykonane przez Skanska; październik 2014 r.;

- [1.8] Sprawozdanie z badań laboratoryjnych wykonane przez Geoteko; maj 2019 r.;
- [2] Dokumentacje i projekty branży konstrukcyjnej:
- [2.1] Projekt architektoniczno-budowlany „Rozbudowa drogi wojewódzkiej nr 483 na odcinku od km 47+760 do km 49+670 wraz z rozbiórką mostu i budową przepustu w m. Bogumiłowice” opracowany przez pracownię inżynierską Klotoida; lipiec 2013 r.;
- [2.2] Skan dziennika budowy z okresu 11.04-22.04.2014 r.;
- [2.3] Opracowanie „Posadowienie nasypów drogowych dojazdu do przepustu w km 48+833,58 na DW 483 w m. Bogumiłowice” opracowane przez pracownię inżynierską Klotoida; czerwiec 2014 r.;
- [2.4] Projekt zamienny „Posadowienie przepustu P-1” opracowana przez pracownię inżynierską Klotoida; czerwiec 2014 r.;
- [2.5] Dokumentacja powykonawcza (brak daty);
- [2.6] Deklaracja zgodności CE geotkaniny.
- [3] Raporty geodezyjne:
- [4.1] Inwentaryzacja wykopu pod przepust P-1 wykonana przez SBG-GEO; lipiec 2014 r.;
- [4.2] Inwentaryzacja wykopu pod materac wykonana przez SBG-GEO; lipiec-sierpień 2014 r.;
- [4.3] Inwentaryzacja murków oporowych wykonana przez SBG-GEO; sierpień 2014 r.;
- [4.4] Inwentaryzacja płyt przejściowych wykonana przez SBG-GEO; wrzesień 2014 r.;
- [4.5] Inwentaryzacja zasypki wykonana przez SBG-GEO; wrzesień 2014 r.;
- [4.6] Inwentaryzacja geometeracy wykonana przez SBG-GEO; wrzesień 2014 r.;
- [4.7] Inwentaryzacja stożków wykonana przez SBG-GEO; październik 2014 r.;
- [4.8] Inwentaryzacja w-wy SMA wykonana przez SBG-GEO; październik 2014 r.;
- [4.9] Inwentaryzacja wykopu pod materac wykonana przez SBG-GEO; listopad 2014 r.;
- [4.10] Dokumentacja techniczna „Wyznaczenie przemieszczeń na obiekcie mostowym w ciągu drogi wojewódzkiej nr 483 w miejscowości Bogumiłowice” opracowana przez Geo-Grafik; październik 2017 r. – czerwiec 2018 r.;
- [4.11] Sprawozdanie techniczne niwelacji reperów i jezdni (+ mapa 3D przemieszczeń) opracowane przez Wojewódzkie Biuro Geodezji w Łodzi; grudzień 2019 r.;
- [4] “Ekspertyza techniczna dotycząca stanu technicznego przepustu drogowego w Bogumiłowicach” opracowana przez IBDiM; lipiec 2019 r.;
- [5] Dokumentacja fotograficzna przekazana przez Zleceniodawcę;
- [6] Inne informacje przekazane przez Zleceniodawcę;
- [7] M. Stolarska „Wpływ kopalni *Bełchatów* na stosunki wodne”;
- [8] I. Jończyk, J. Szczepiński „Czynniki rozwoju leja depresyjnego w rejonie KWB *Bełchatów* S.A.;
- [9] S. Kraśnicki „Przyczyny zanikania wód podziemnych w ujęciach oraz wód powierzchniowych na terenie gminy Sulmierzyce”;

- [10] Artykuł: Kopalnia Węgla Brunatnego Bełchatów
http://www.kwb.pl/odkrywka_szczercow.php;
- [11] Pismo Pracowni Inżynierskiej Klotoida do Zarządu Dróg Wojewódzkich w Łodzi z dnia 31.10.2017r.;
- [12] Pismo Pracowni Inżynierskiej Klotoida do Zarządu Dróg Wojewódzkich w Łodzi z dnia 24.09.2019r.;
- [13] Szkic sytuacyjny zasięgu leja depresji ZG KWB Bełchatów w skali 1:100 000;
- [14] Pismo GIEK S.A. Oddział Kopalnia Węgla Brunatnego Bełchatów nr KWB/D/DI/DIN/IND15/879/2019 z dn. 13.09.2019 z Mapą prognozowanych osiadań i odkształceń związanych z rozwojem wyrobiska górniczego i zwałowiska pola Szczerców oraz rekultywacji pola Bełchatów na rok 2050;
- [15] Mapa Geośrodowiskowa Polski (II) Plansza A, ark. 735 Szczerców, PIG – B. Ptak, R. Formowicz, 2015r.;
- [16] Interaktywna mapa terenów i obszarów górniczych PIG-PIB dostępna na stronie:
<http://geologia.pgi.gov.pl/arcgis/apps/MapSeries/index.html?appid=8d14826a895641e2be10385ef3005b3c>

2. OGÓLNY OPIS ANALIZOWANEGO OBIEKTU I ZAOBSERWOWANEGO PROBLEMU

W ramach rozbudowy drogi wojewódzkiej nr 483 zaprojektowano modernizację drogi z obiektem mostowym obejmującą rozbiórkę istniejącej konstrukcji i wykonanie w jej miejsce przepustu żelbetowego. W trakcie prac ziemnych natrafiono w podłożu na grunty organiczne, co było w sprzeczności z udokumentowanymi warunkami gruntowymi [1.1]. Na podstawie uzupełniających badań podłoża podjęto decyzję o zmianie sposobu posadowienia przepustu z bezpośredniego na pośredni. Projekt zamienny [2.4] zakładał wykonanie prefabrykowanych pali fundamentowych w rozstawie co 1,0 m pod każdym przyczółkiem przepustu; płyty dennej i płyt przejściowych o grubości 30 cm. Nie zaprojektowano wzmocnienia podłoża w strefach przejściowych i dalszych odcinkach nasypu.

Przepust ma 16,0 m długości w osi i jest usytuowany pod kątem 50° względem osi jezdni. Rozpiętość w świetle przepustu wynosi 4,5 m.

Na konstrukcję nasypu drogowego składają się: warstwy podbudowy, warstwy z geosiatki komórkowej wypełnionej kruszywem kwalifikowanym i warstwy geomateraca zbrojonego geotkaniną.

Ponad rok po oddaniu drogi do eksploatacji zaobserwowano osiadania nawierzchni drogowej w rejonie stref przejściowych. Z biegiem czasu problem przybierał na sile. W październiku 2017 r. zamontowano gęstą sieć reperów i wdrożono monitoring geodezyjny [4.10]. Przez ten okres pomiary wykazały osiadania jezdni za strefami przejściowymi około 6 cm oraz osiadania elementów przepustu około 2 cm. W grudniu 2019 r. wykonano pomiary wysokościowe wzdłuż jezdni i chodników. Niwelacja wykazała, że całkowite osiadania różnicowe pomiędzy przepustem i jezdnią poza przepustem wyraźnie przekroczyły 10 cm.

Nadmiernym odkształceniom towarzyszą uszkodzenia chodników, stożków i murków oporowych. Nie zaobserwowano z kolei uszkodzeń nawierzchni jezdni.

3. WARUNKI GRUNTOWO – WODNE

Warunki gruntowo-wodne w rejonie przepustu rozpoznano na podstawie własnych badań terenowych.

3.1. WARUNKI GEOTECHNICZNE

Korpus drogi tworzą nasypy budowlane wykonane z kruszywa kwalifikowanego (piaski średnie / piaski drobne) w stanie średniozagęszczonym i zagęszczonym. Poniżej lokalnie rozpoznano nasypy niekontrolowane (piaski drobne z domieszką piasków gliniastych) w stanie luźnym i średniozagęszczonym.

Poniżej nasypu (przypowierzchniowo poza nasypem) zalegają osady gruntów ściśliwych. Miąższość warstwy waha się od 0,7m do 4,2m. Kluczowym parametrem definiującym osiadania nasypu drogowego jest moduł ściśliwości torfu. Przeprowadzone badania dylatometryczne wykazały, że średni moduł ściśliwości M_0 skonsolidowanego torfu wynosi około 2,2 MPa. Najniższe wartości odczytano w obszarze obok nasypu, natomiast najwyższe – pod nasypem. Obliczono, że pierwotny moduł M_0 torfu skonsolidowanego nasypem, niezbędny do dalszej analizy, wynosi 1,0 MPa.

Głębiej zalegają grunty rodzime nośne: piaski w stanie średniozagęszczonym oraz piaski gliniaste / gliny piaszczyste zasadniczo w stanie plastycznym, lokalnie na pograniczu stanu twardoplastycznego i plastycznego.

3.2. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W analizowanym podłożu na głębokości rozpoznania geotechnicznego, tj. 14,0 m, występuje jeden poziom wodonośny związany z warstwą piasków rodzimych. W trakcie badań własnych (styczeń 2020 r.) zwierciadło wody pomierzono na rzędnej 189,0 ÷ 189,5 m n.p.m. Wg opinii geotechnicznej [1.1] z grudnia 2010 r. zwierciadło wody gruntowej stabilizowało się na poziomie 192,5 m n.p.m. W trakcie badań terenowych, wykonanych w ramach ekspertyzy [4] (lipiec 2019), pomierzono zwierciadło wody na rzędnej 192,8 m n.p.m. Wysoki poziom wody gruntowej mógł być związany z intensywnymi opadami deszczu. Jednakże zauważa się bardzo duże wahania wody gruntowej w danym rejonie. Podkreśla się, że analizowane podłoże znajduje się w obszarze wpływów odwadniania kopalni odkrywkowej „Bełchatów”.

4. ROZWÓJ LEJA DEPRESJI

W 1975 roku uruchomiono Kopalnię Węgla Brunatnego „Bełchatów”. O jej powstaniu zadecydowały bardzo duże neogeńskie złoża węgla, występujące w tektonicznym rowie Kleszczowa w trzech polach: Kamieńsk, Bełchatów, Szczerców. Ponadto, na analizowanym obszarze udokumentowano wysad solny „Dębina” [7].

W związku z eksploatacją złóż, nastąpiło przekształcenie geograficzne całego regionu, począwszy od zmian morfologicznych obszaru (nowe antropogeniczne formy terenu: wyrobisko, zwałowisko), poprzez zmiany geologiczne i hydrogeologiczne, na lokalnych zmianach klimatycznych kończąc (zmiana rozkładu wartości temperatur, ciśnienia, opadów atmosferycznych itp.) [7]. Najsilniejsze jednak przekształcenia obserwuje się w hydrologii i hydrogeologii analizowanego regionu bełchatowskiego, z uwagi na rozwój leja depresyjnego wywołanego prowadzonymi przez kopalnię pracami odwodnieniowymi, mającymi zapewnić bezpieczną eksploatację węgla brunatnego. Na rozwój leja – szczególnie w obszarach peryferyjnych - wpływa również eksploatacja ujęć wód podziemnych (powstałych po wyschnięciu studni gospodarskich), które zostały wybudowane przez Kopalnię w latach 1976-1992, w celu zaopatrzenia w wodę pobliskich wsi. Ujęcia te powodują lokalne leje depresji, które nakładają się na lej kopalni. Dodatkowym czynnikiem powiększającym lej depresji jest mała ilość opadów. Główną jednak przyczyną jest wspomniane odwadnianie kopalni, które powoduje osuszanie nie tylko złoża, ale również nadkładu, a wypompowywana studniami wielkośrednicowymi woda – odprowadzana jest systemem kanałów i rowów do rzeki Widawki, Strugi Żłobnickiej i Krasówki.

Złoże węgla brunatnego Bełchatów jest najgłębiej położonym złożem tego typu w Polsce, co sprawia, że skutki odwodnienia takiego złoża są najbardziej dotkliwe i mają największy zasięg [9]. Maksymalna ilość wód pompowanych z systemu odwadniania pola Bełchatów dochodziła w połowie lat osiemdziesiątych do 450 m³/min. Przed uruchomieniem systemu odwadniania pola Szczerców, dopływ do Pola Bełchatów i bariery wysadu solnego „Dębina” wynosił około 360 m³/min. W grudniu 2003 r. wielkość dopływu wód podziemnych do Kopalni Bełchatów (Pola Bełchatów, Pola Szczerców i wysadu solnego „Dębina”) wynosił około 550 m³/min. [8]. Zmiany stosunków wodnych wywołane lejem depresji stanowią: zmiany zasobów wód podziemnych, modyfikacja sieci rzecznej, obszarów podmokłych i zbiorników wodnych, jakościowe i ilościowe przekształcenia reżimu odpływu i obiegu wody, zmiany reżimu termicznego i chemicznego wód podziemnych i powierzchniowych [7]. Pierwsze zmiany związane z odwodnieniem zauważono już w kilka miesięcy po uruchomieniu kopalni (1976 r.). Studnie gospodarskie położone w obszarze znajdującym się w zasięgu leja uległy całkowitemu lub znacznemu osuszeniu [7]. Ponadto zupełnie zanikły przepływy wody w dwóch lewych dopływach Widawki: Świętojance i w bezimiennym cieku spod Brudzie [7]. W następnych latach zwiększeniu ulegał obszar występowania wyschniętych ujęć przydomowych, odnotowano również całkowity lub okresowy zanik przepływów w dopływach Widawki oddalonych od wyrobiska: Kręcicy, Jeziorce, Strudze Aleksandrowskiej. Ponadto wysychały stawy (w Kmiecźnie i Łekawie) i obszary podmokłe. Zniknęły mokradła, na torfowiskach rozpoczął się nieodwracalny proces murszenia torfów.

Od 1989 roku, w związku z podjętą przez Kopalnię decyzją o zwałowaniu wewnętrznym w wyeksploatowanej wschodniej części wyrobiska, niepotrzebne okazało się utrzymywanie niskiego poziomu wód podziemnych. Po wyłączeniu z systemu odwodnień studni przy zwałowisku wewnętrznym, rozpoczęło się powolne wypełnianie się leja depresyjnego.

Wpływ na dalszą modyfikację leja depresji miało również podjęcie prac związanych z odwodnieniem pola Szczerców. Oba czynniki wpłynęły na odbudowę warunków hydrogeologicznych w miejscach, w których zrezygnowano z wytwarzania leja depresji, ale również wpłynęło na obniżanie zwierciadła wody podziemnej w obszarach dotąd nieobjętych bezpośrednim oddziaływaniem kopalni. Zaczęto więc obserwować wysychanie studni gospodarskich oraz zanik podmokłości w zachodniej części obszaru – w rejonie uruchomienia pola Szczerców [7]. Pole to zlokalizowane jest około 3,2 km na północ od analizowanego odcinka drogi dw 483.

W gminie Sulmierzyce, położony jest analizowany odcinek dw 483, a także – w północnych jej krańcach – wspomniane pole Szczerców. Jak już napisano wyżej, prace związane z ponownym uruchomieniem budowy odkrywki "Szczerców" wznowiono w 1998 roku [10]. Rozpoczęcie eksploatacji systemu odwodnienia wgłębnego nastąpiło w roku 2000 r., natomiast rozpoczęcie robót górniczych związanych ze zbieraniem nadkładu w październiku 2002 r. [10]. Wyznaczony obszar górniczy dla tego złoża zajmuje około 10,5 km² (12,7%) powierzchni gminy [9]. Cały obszar gminy Sulmierzyce zlokalizowany jest w obrębie terenu górniczego złoża Bełchatów – pole Bełchatów, ponadto niemal cały obszar gminy, łącznie z analizowanym obszarem - położony jest w granicach terenu górniczego złoża Bełchatów – pole Szczerców (ID terenu górniczego: 2554) [9], [16].

Odcinek dw 483 będący przedmiotem niniejszego opracowania, jak również cała gmina Sulmierzyce znajduje się w zasięgu wpływów odwodnienia Kopalni Węgla Brunatnego, co ilustruje szkic sytuacyjny zasięgu leja depresji na stan 30.06.2019 r. [13] (patrz załącznik nr 1.4). Powierzchnię leja depresji określono na 476 km². W analizowanym rejonie – przebiega izolinia 10 m depresji zwierciadła wody. Wg mapy prognozowanych osiadań i odkształceń związanych z rozwojem wyrobiska górniczego i zwałowiska pola Szczerców [14], analizowany obszar znajduje się w przedziale izolinii osiadań 0,05÷0,07 m (patrz rysunek nr 1.3). Ponadto analizowany obszar uwidocznił się również na Mapie Geośrodowiskowej Polski (II) [15], jako teren występujący w zasięgu leja depresji.

W latach 2003÷2006 na obszarze gminy Sulmierzyce, rozpoczęło się opadanie zwierciadła ustabilizowanego wód podziemnych, w efekcie, czego w roku 2016 zwierciadło to zalegało kilkanaście metrów niżej niż w roku rozpoczęcia obserwacji (pomiaru położenia zwierciadła wody prowadzono w latach 1984÷2016) [9]. Odwadnianie złoża położonego na takiej głębokości, w obrębie rowu tektonicznego powstałego w obrębie spękanych skał jury i kredy, wypełnionego luźnymi utworami miocenu pozostającymi w kontakcie hydraulicznym z czwartorzędowym piętrzem wodonośnym wywołało powstanie dużego leja depresji, intensywnie rozwiniętego zwłaszcza w piętrze wodonośnym jurajskim i kredowym. W obrębie tych pięter odnotowuje się zmniejszone ciśnienie hydrauliczne i zmniejszające się zasoby eksploatacyjne [9]. W bezpośrednim sąsiedztwie kopalni, na skutek jej odwodnienia osuszeniu uległy wspomniane piętra wodonośne jury i kredy. Ujęcie kredowe nr 2 w Sulmierzycach znalazło się w zasięgu leja depresji. Od roku 2003 obserwowano tu obniżanie zwierciadła wód podziemnych w otworze studziennym, a co za tym idzie zmniejszenie zasobów eksploatacyjnych. W miejscowości Piekary (ok. 2,0 km na zachód od Sulmierzyc oraz na wschód od analizowanego odcinka dw. 483), próba pogłębiania otworu studziennego nie powiodła się z uwagi na ucieczkę wód do strefy uskokowej. Wg opracowania [9], za zanik wód w kredowym piętrze wodonośnym za pośrednictwem strefy uskokowej odpowiada również lej depresji kopalni węgla brunatnego. Ponadto kontakty hydrauliczne pomiędzy poziomami wodonośnymi (liczba tych kontaktów w obrębie rowu tektonicznego jest bardzo duża), powodują przechwytywanie wód podziemnych ze znajdującego się wyżej czwartorzędowego piętra wodonośnego. Powoduje to opadanie zwierciadła wody w obrębie poziomów tego piętra.

Gdy zjawisko to obejmuje pierwszy poziom wodonośny czwartorzędu - w studniach gospodarskich oraz piezometrach ujmujących ten poziom obserwuje się opadanie zwierciadła wody. W latach 2000÷2015 w zasięgu odwodnieniowego leja depresji znajdował się niemal cały obszar gminy Sulmierzyc (prócz fragmentów zlokalizowanych na południowo-zachodnich krańcach).

Osuszanie pierwszego poziomu wodonośnego ma również niekorzystny wpływ na wody powierzchniowe występujące na terenie omawianej gminy; wody w ciekach zamiast być zasilane przez pierwszy poziom wodonośny same zaczynają go zasilać, co prowadzi do zmniejszania się przepływu w ciekach do ich całkowitego zaniku. Taka sytuacja ma miejsce w przypadku Krasówki, która powyżej zbiornika Winek miała suche koryto w latach 2001÷2016; poniżej z kolei prowadziła wody z odwodnienia kopalni za pośrednictwem kanału 9. Również w gminie obserwuje się opisaną wcześniej osuszanie terenów podmokłych i zaniku rzadkich oraz chronionych gatunków roślin i zwierząt.

W bezpośrednim rejonie analizowanego odcinka drogi dw 483, w obrębie obiektu mostowego w km 48+833,58 w m. Bogumiłowice obserwuje się całkowity brak wody w cieku Krętka [11]. Bezpośrednio przy obiekcie koryto jest zarośnięte trawą; nie ma żadnych oznak przepływu wody, nawet przepływu okresowego. W okresie projektowania obiektu – przepływ wody w cieku następował w sposób ciągły.

W piśmie Pracowni Inżynierskiej Klotoida kierowanym do Zarządu Dróg Wojewódzkich w Łodzi [11] wskazywano na możliwą przyczynę odkształceń drogi, w wyniku nadmiernych odwodnień podłoża nasypów, wynikających z prac eksploatacyjnych kopalni. Obniżenie zwierciadła wód gruntowych powoduje, bowiem zwiększenie ciężaru gruntu, wcześniej zalegającego pod wodą, co przekłada się na wystąpienie dodatkowych osiadań. W kolejnym piśmie [12] ponownie wskazano prawdopodobną przyczynę osiadań – zachwianie stosunków wodnych w omawianym obszarze; zmiana poziomu wód gruntowych w układzie będącym w stanie równowagi będzie powodować odpływ wody z warstw ściśliwych i co za tym idzie dalsza konsolidacja podłoża gruntowego. Obniżenie poziomu wód gruntowych powoduje dociążenie gruntu słabonośnego wynikające z braku dalszego wpływu sił wyporu hydrostatycznego. Powoduje to uruchomienie procesu konsolidacji podłoża i jego osiadania [12]. Na przyczynę obniżenia zwierciadła wody gruntowej wskazywano proces naturalny – występowanie długotrwałych susz lub czynniki zewnętrzne – np. odwodnienie kopalniane. W piśmie [12] wskazano, że obniżenie poziomu wód gruntowych wyniosło 0,2 i 0,45 m dla poziomu ustabilizowanego i 1,75 oraz 0,85 m dla poziomu nawierconego.

5. ANALIZA OSIADAŃ

5.1. WPŁYW ROZWIĄZANIA PROJEKTOWEGO

W celu zasymulowania rozpatrywanego problemu wykonano zaawansowane obliczenia metodą elementów skończonych. Wykonano przestrzenny model konstrukcji i nasypu współpracujących z podłożem gruntowym. Szczegółowe założenia analizy i wyniki obliczeń zamieszczono w załączniku nr 7.

Zaprojektowano sztywne posadowienie przepustu na palach prefabrykowanych wbijanych w bardzo małym rozstawie, co 1,0 m. Jednocześnie pale o długości 9,0 m są zagłębione w warstwach nośnych (piaski drobne, piaski gliniaste) na głębokość $6,5 \div 7,0$ m. Oszacowano nośność obliczeniową pojedynczego pala równą 612,0 kN. Przyjęte rozwiązanie gwarantuje bardzo małe osiadanie przepustu: około 1,0cm po przyłożeniu pełnych obciążeń.

Z kolei nasyp poza przepustem zaprojektowano jako posadowiony w sposób bezpośredni na geomateracu zbrojonym geotkaniną o wytrzymałości na rozciąganie 70 kN/mb przy odkształceniu 5%. Faktycznie zastosowano geotkaninę o deklarowanej wytrzymałości 300 kN/mb przy odkształceniu 10% [2.6]. Korpus nasypu tworzy kruszywo kwalifikowane uformowane w geosiatkach komórkowych. Niweleta zmodernizowanej drogi jest porównywalna z poprzednim, rozebrany nasypem, jednakże poszerzono jezdnię i dodano chodniki tak, że szerokość drogi wzrosła o około 7,0 m. Zatem boki nowego nasypu zachodzą na obszar nieskonsolidowanego torfu. Dodatkowo przegłębiono rowy wzdłuż nasypu o $0,5 \div 0,7$ m, co redukuje odpór boczny u podstawy nasypu i zwiększa jego tendencję do przemieszczeń poziomych.

Obliczenia wykazały, że nasyp „rozjeżdża się” na boki o około 3cm w każdą stronę. Materiały [5] wskazują, że rzeczywiste przemieszczenia poziome elementów oporowych są jeszcze większe. Szacuje się, że geotkanina odkształciła się średnio o 0,5%. Zastosowany materiał, o dopuszczalnym odkształceniu 10%, jest zbyt mało sztywny, by zmobilizowały się w nim siły membranowe skutecznie zbrojące nasyp.

Przemieszczeniom bocznym towarzyszą osiadania całego nasypu. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń szacuje się, że osiadania wywołane ciężarem nasypu (konsolidacja podłoża dłuższa niż czas budowy) i obciążeniem od ruchu osiagają wartość do około 9,0 cm.

Odcinek jezdni nad przepustem jest równy 7,5m. Płyty przejściowe o długości 4,0m zapewniają gładkie przejście jedynie na ich odcinku. Zatem zaprojektowane rozwiązanie dopuszczało deformacje nawierzchni na krótkim odcinku drogi. Osiadania różnicowe oszacowano na około 8,0 cm, co stanowi przekroczenie stanu granicznego użytkowności nie uwzględniając wpływu zmiany poziomu wody gruntowej.

5.2. WPŁYW OBNIŻENIA WODY GRUNTOWEJ

Badania terenowe wykonane w bezpośrednim rejonie przepustu na przestrzeni lat 2010 – 2020 wykazały bardzo duże wahania wody gruntowej. W trakcie budowy przepustu ciek był czynny. Na podstawie udostępnionych materiałów [5] szacuje się, że poziom wody był bliski rzędnej płyty dennej, tj. około 193,0 m n.p.m. W trakcie badań własnych pomierzono poziom wody gruntowej około 189,0 m n.p.m. W świetle szeroko dokumentowanego wpływu odwadniania kopalnie spadek wody gruntowej o 4,0 m jest bardzo prawdopodobny. Co więcej, nie można wykluczyć, że w rejonie przepustu wystąpiły większe wahania wody niż pomierzone.

Obniżenie zwierciadła wody gruntowej do rzędnej 189,0 m n.p.m. całkowicie obejmuje warstwę gruntów ściśliwych. Zanik wyporu wody w ośrodku gruntowym powoduje wzrost naprężeń efektywnych działających na szkielet gruntowy. W analizowanym przypadku naprężenia efektywne w warstwie torfu wzrosły o wartość $0,0 \div 30,0$ kPa ($0,0 \div 3,0$ t/m²), średnio o 15,0 kPa. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń szacuje się, że obniżenie wody gruntowej o wartość 4,0 m wywołało dodatkowe osiadania nasypu o około 3,5 cm, przy czym przyrost osiadań przepustu wyniósł 1,0 cm. Przyrost maksymalnych osiadań różnicowych wynosi około 2,5 cm.

Zaznacza się, że rzeczywiste wahania wody gruntowej mogły być większe niż pomierzone, jednakże największy wpływ na osiadania ma odwodnienie warstwy torfów. Grunty nośne, zalegające w niższych partiach, (zwłaszcza piaski) są znacznie mniej wrażliwe na zmiany warunków hydrogeologicznych. Ewentualne głębsze obniżenie wody (poniżej wzmocnienia palami) wywoła tylko równomierne, globalne osiadania przepustu i nasypu.

5.3. KONSOLIDACJA

Konsolidacja gruntu polega na zmniejszaniu jego objętości w wyniku wyciskania wody uwięzionej w przestrzeni porowej. Czas konsolidacji jest proporcjonalny do współczynnika filtracji. W ośrodku o wysokiej wodoprzepuszczalności (grunty niespoiste) osiadania realizują się natychmiast po przyłożeniu obciążenia. Natomiast w gruntach słabo przepuszczalnych dyssypacja nadciśnienia porowego wymaga odpowiednio długiego czasu. Torfy charakteryzują się bardzo niskim współczynnikiem filtracji, co przekłada się na długi czas konsolidacji. Dodatkowo obniżenie wody gruntowej poniżej warstwy torfów wzbudza dalszy proces konsolidacji (przeniesienie naprężeń z wody na szkielet gruntowy).

Przeprowadzono obliczenia konsolidacji metodą klasyczną (jednowymiarowa konsolidacja gruntu w układzie wielowarstwowym). Do modelowania warstw gruntowych zostały użyte parametry modułów odkształceń pierwotnych gruntu (E_s [MPa]) oraz współczynniki wodoprzepuszczalności (k [m/s]). Model obliczeniowy uwzględnia następujące obciążenie: ciężarem pochodzącym od nasypu drogowego (przyjęto ciężar gruntu stanowiącego nasyp drogowy równy $\gamma=18,0$ kN/m³) oraz obciążenie ruchem (25,0 kN/m). Obliczenia analityczne wykazały, że pełna konsolidacja podłoża obciążonego nasypem zajmuje około $180 \div 220$ dni.

Wykonano także analizę numeryczną konsolidacji uwzględniającą przestrzenny charakter rozpatrywanego problemu (krótszy czas konsolidacji w porównaniu z modelem jednowymiarowym). Założono stopniowy przyrost obciążenia ruchem i obniżenia wody w czasie (5 lat). Wyniki wskazują, że proces pełnej konsolidacji zakończył się około $30 \div 50$ dni po przyłożeniu pełnych obciążeń.

Na podstawie przeprowadzonych symulacji stwierdza się, że okres 5 lat (od zakończenia budowy do lutego 2020 r.) jest w pełni wystarczający, aby zakończyć proces dyssypacji nadciśnienia porowego wywołanego dodatkowymi obciążeniami i obniżeniem wody gruntowej o 4,0 m.

Niemniej jednak monitoring geodezyjny [4.10], prowadzony regularnie od 2017 r., dokumentuje progres osiadań, który najprawdopodobniej nie zakończył się do chwili obecnej. Przyczyn należy szukać w postępującym obniżaniu się zwierciadła wody gruntowej (pogłębiający się lej depresji kopalni „Bełchatów”) oraz w zjawiskach reologicznych charakterystycznych dla gruntów bardzo ściśliwych, a trudnych do jednoznacznego zdefiniowania. Biorąc pod uwagę powyższe aspekty jest wysoce prawdopodobne, że proces osiadań będzie się pogłębiał w przyszłości. Przyrost osiadań będzie miał charakter zanikowy.

6. WNIOSKI

Poniżej przytacza się główne wnioski i zalecenia sformułowane na podstawie wykonanej analizy:

1. Należy podkreślić negatywny wpływ przyjętego rozwiązania projektowego na osiadania różnicowe, które wystąpiły pomiędzy sztywno posadowionym przepustem i podatnymi strefami przejściowymi. Posadowienie stref przejściowych, dojazdu do przepustu, należy uznać za nieprawidłowe, w kontekście posadowienia przepustu na palach.
2. Wykonanie prac związanych z posadowieniem przepustu, budową nasypu drogowego, poboczy, chodników i nawierzchni drogowej należy uznać za zgodne ze sztuką budowlaną i nie miało istotnego wpływu na zrealizowane osiadania.
3. Oszacowano, że zaprojektowane rozwiązanie (sztywny przepust – podatny nasyp) wywołało osiadania różnicowe o wartości około 8,0 cm, co może stanowić około 75% całkowitych osiadań różnicowych.
4. Oszacowano, na podstawie dostępnych analiz [7], [8], że lej depresji wywołany odwadnianiem kopalni „Bełchatów” generuje globalne osiadania analizowanego obszaru, na którym znajduje się przedmiotowy odcinek drogi, o około $6,0 \div 7,0$ cm.
5. Szacuje się, że całkowity wpływ warunków hydrogeologicznych, związany z obniżeniem zwierciadła wody gruntowej, na osiadanie różnicowe może wynosić ok. 25%÷50%.
6. Zasadniczy proces konsolidacji podłoża został najprawdopodobniej zakończony. Przewiduje się dalszy, względnie niewielki przyrost osiadań, wywołany zjawiskami reologicznymi gruntów ściśliwych i pogłębiającym się lejem depresji kopalni „Bełchatów”. Dalsze osiadania mogą być także powodowane wypieraniem bocznym warstw gruntów organicznych. Zakres tych osiadań, w konsekwencji deformacji nawierzchni drogowej, jest bardzo trudny do oszacowania.
7. Zaleca się niezwłoczne przystąpienie do realizacji programu naprawczego z uwagi na duże zagrożenie bezpieczeństwa ruchu drogowego. Zaleca się rozważyć trzy alternatywne metody naprawcze:
 - zastosowanie tzw. rozwiązania „ekonomicznego” polegającego na sfrezowaniu warstwy ścieralnej i wiążącej, założenie sztywnej siatki stalowej, i odbudowę warstw nawierzchni bitumicznej. Rozwiązanie to jednak, ze względu na możliwe dalsze postępowanie osiadań różnicowych, może nie gwarantować równości nawierzchni stref najazdowych w dłuższym okresie czasu;
 - wykonanie w głębokiego wzmocnienia w technologii kolumn przemieszczeniowych np. CMC, co będzie najprawdopodobniej wymagało zamknięcia odcinka drogi dla ruchu, lub wydzielenie wzmocnianego pasa drogi ściankami szczelnymi;
 - wykonanie w głębokiego wzmocnienia podłoża gruntowego w technologii iniekcji nisko lub wysokociśnieniowej (compaction grouting lub jet grouting). Metoda ta umożliwi realizację prac przy zamknięciu tylko jednego pasa

ruchu, z pozostawieniem warstw geomateracy i zastosowaniem sztywnych siatek stalowych (umożliwi ruch wahadłowy pojazdów);

- wglębne wzmocnienie podłoża oraz nasypu musi zostać zrealizowane na odcinku około $25 \div 30$ m , z każdej strony przepustu drogowego;
 - wglębne wzmocnienie podłoża i nasypu drogowego należy wykonać na podstawie szczegółowego projektu wykonawczego, który będzie uwzględniał ewentualną konieczność zastosowania materaca geosyntetycznego;
 - naprawa musi także uwzględniać stożki przepustu, chodniki i pobocza oraz inne elementy mające wpływ na prawidłową i bezpieczną eksploatację drogi.
-