

Obserwacje i wnioski wynikające z pracy nasypu zbrojonego geosyntetykami na terenie podlegającym dużym wpływom eksploatacji górniczej w Jastrzębiu-Bziu

Jarosław Ajdukiewicz, Michał Pilch, Jan Zych

W niniejszym artykule został omówiony wpływ dokonanej eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu, na którym został wybudowany wiadukt nad torami kopalnianej linii kolejowej wraz z najazdami w Jastrzębiu-Bziu. Najazdy, nasypy tego obiektu zostały wykonane w technologii gruntu zbrojonego geosyntetykami w 2002 r, i od tego czasu ciągle są poddawane wpływom eksploatacji. Obecnie, po 10-ciu latach pracy konstrukcji nasypu można wyciągnąć praktyczne wnioski w odniesieniu do przyjętych sposobów budowy i wzmocnienia budowli ziemnych na szkodach górniczych, co poczyniono i opisano. Zawarto wnioski i obserwacje zachowywania się w/w budowli ziemnej zbrojonej geosyntetykami. Referat przedstawia również zakres dalszej projektowanej eksploatacji i efekt przewidywanych wpływów na powierzchnię terenu.

Artykuł recenzowany zgodnie z wytycznymi MNiSW

data zgłoszenia do redakcji: 07.01.2013

data akceptacji do druku: 22.02.2013



mgr inż.
Jarosław Ajdukiewicz
Przedsiębiorstwo
Realizacyjne
INORA Sp. z o.o.
inora@inora.pl



mgr inż. Michał Pilch
Przedsiębiorstwo
Realizacyjne
INORA Sp. z o.o.
tech@inora.pl



prof. dr hab. inż. Jan Zych
Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa
i Geologii, Katedra Geo-
mechaniki, Budownictwa
Podziemnego i Zarządza-
nia Ochroną Powierzchni
jan.zych@polsl.pl

Dobrze rozwinięta sieć drogowa jest podstawą rozwoju gospodarczego kraju. Jej odpowiednia jakość i utrzymanie w dobrej kondycji odgrywa w tym zagadnieniu kluczową rolę. W Polsce w ostatnim czasie nastąpił znaczny wzrost inwestycji w budowie nowych i przebudowie starych układów komunikacyjnych – autostrad, dróg szybkiego ruchu itp. Coraz częściej inwestycje te są realizowane na terenach zdegradowanych m.in. wskutek działalności górniczej. Projektowanie i budowa obiektów w takich warunkach wymaga uwzględnienia wielu złożonych procesów, w tym wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu.

Pretekstem do przeanalizowania różnego rodzaju podejścia do powyższych zagadnień, są wybudowane i oddane do użytku w ostatnich kilku latach obiekty, na terenie województwa śląskiego, a szczególnie obiekt na granicy Jastrzębia Zdroju i Pawłowic, widoczny na fotografii nr 1, któremu jest poświęcony niniejszy artykuł.

Droga wojewódzka nr 933 jest najważniejszą arterią komunikacyjną miasta Jastrzębie Zdrój przebiegającą w kierunku wschód-zachód. Droga ta w Jastrzębiu-Bziu przecina tory górniczych linii kolejowych o dużym natężeniu ruchu. Dla realizacji bez-

kolizyjnego ruchu w ciągu tej drogi nad torami, wybudowany został w latach siedemdziesiątych wiadukt. Wiadukt ten, nazywany „starym”, jak i tory linii kolejowej od połowy lat siedemdziesiątych podlegały wpływom intensywnej eksploatacji górniczej. W wyniku wpływów tej eksploatacji oraz podno-

szenia torów wyczerpana została pionowa skrajnia pod wiaduktem i zaszła potrzeba wybudowania nowego wiaduktu. Wiadukt ten, nazywany „nowym”, wraz z najazdami, wybudowany został w 2002 r, równoległe do wiaduktu „starego”, po jego stronie południowej.



1. Widok wykonanego nasypu w ciągu DW 933 od strony miasta Jastrzębie Zdrój w kierunku Pawłowic w dniu oddania obiektu do eksploatacji w 2002 r.

Wiadukty „stary” i „nowy” położone są na granicy obszarów górniczych dwóch kopalń: „Zofiówka” i „Pniówek”, co utrudnia właściwą koordynację eksploatacji w tym rejonie. Wiadukt „nowy” zlokalizowany został na obszarze IV kategorii terenu górniczego.

Charakterystyka powierzchni terenu oraz warunków geologiczno-górnich w rozpatrywanym rejonie

Powierzchnia terenu, w rejonie rozpatrywanych wiaduktów w Jastrzębiu-Bziu, ma budowę falistą rozciętą dolinami potoków. Pasma najwyższych wzniesień o rzędnych ponad +280,0 m n.p.m. występuje w centralnej części obszaru na linii Szeroka - Bzie. W dolinach potoków rzędne wysokościowe terenu wynoszą od +250,0 do +260,0 m n.p.m. Generalnie powierzchnia terenu w rozpatrywanym rejonie tworzy kotlinę, której dno znajduje się na południowy zachód od wiaduktów.

Górotwór w rejonie przedmiotowych wiaduktów zbudowany jest z warstw czwartorzędowych, trzeciorzędowych i karbonu. Czwartorzęd zbudowany jest z glin, piasków i żwirów. Wykazuje dużą zmienność w wykształceniu litologicznym oraz znaczne zmiany grubości na niedużych odległościach. Przeciętna grubość tych warstw wynosi od 30 do 50 m.

Trzeciorzęd zbudowany jest z warstw ilastych, marglistych, miejscami zapiaszczonych, przewarstwionych cienkimi wkładkami i soczewkami pyłów i piasków pylastych. Wkładki piaszczyste stanowią odizolowanie horyzonty wodne, zawierające słone wody reliktowe. Miąższość utworów trzeciorzędowych wynosi około 330 m.

Karbon produktywny reprezentowany jest przez warstwy orzeskie, rudzkie i siódłowe, zalegające monoklinalnie na wschód pod kątem 2° do 8°. Warstwy orzeskie wykształcone są głównie jako skały ilaste i mułowce. Skały piaszczyste występują podrzędnie. Warstwy rudzkie w górnej części wykształcone są w facji iłowcowo-mułowcowej, natomiast w dolnej części przeważają piaszczyste nad iłowcami i mułowcami. Warstwy siódłowe zbudowane są głównie z piaszczystych gruboławicowych, grubo i średnioziarnistych, czasem z wkładkami zlepionych. Łupki ilaste i piaszczyste tworzą warstwy o niedużej miąższości i występują głównie w stropie i spągu pokładów węgla.

Bezpośrednio pod wiaduktami nie występują zaburzenia tektoniczne. W dalszej odległości od wiaduktów występują zaburzenia tektoniczne, z których za najważniejsze należy przyjąć: uskok „Pniówkowski” o zrzucie 25-35 m oraz uskok „Centralny” o zrzucie 10-20 m. Z północy na południe przebiegają dwie strefy uskoku: strefa uskoku jastrzębskiego o zrzucie około 10 m na zachód

i strefa druga przebiegająca na wschód od niej o zrzucie około 4 m na wschód. Po stronie KWK „Pniówek” mamy jedną strefę o przebiegu z północy na południe i zrzucie około 6 m na wschód.

Duży wpływ na warunki gruntowo-wodne na powierzchni miała eksploatacja górnicza. Wskutek dużych osiadań terenu wynoszących od około 8 m do 18 m w rejonie wiaduktów i nasypów, wytworzyło się silnie napięte zwierciadło wód gruntowych, na głębokości około 2÷3 m, bezpośrednio pod 2 metrową warstwą gliny, na której posadowiony jest nasyp. W bezpośrednim podłożu dróg najazdowych w nasypach niekontrolowanych pochodzenia antropogenicznego stwierdzono występowanie swobodnego zwierciadła wód na powierzchni lub na niewielkiej głębokości do -0,5 m pod powierzchnią terenu.

W podłożu nasypów występuje również napięte zwierciadło wód gruntowych, nawiercone w stropie warstw gruntów sypkich, a więc na zmiennej głębokości od 4,5 do 9,1 m p.p.t. W rejonie nowego wiaduktu ustabilizowane zwierciadło wód gruntowych występowało na głębokości od 0,9 do 2,0 m p.p.t., a w otworach badawczych po jego wschodniej stronie występowały wypływy na powierzchnię, względnie zwierciadło wód stabilizowało się na małej głębokości.

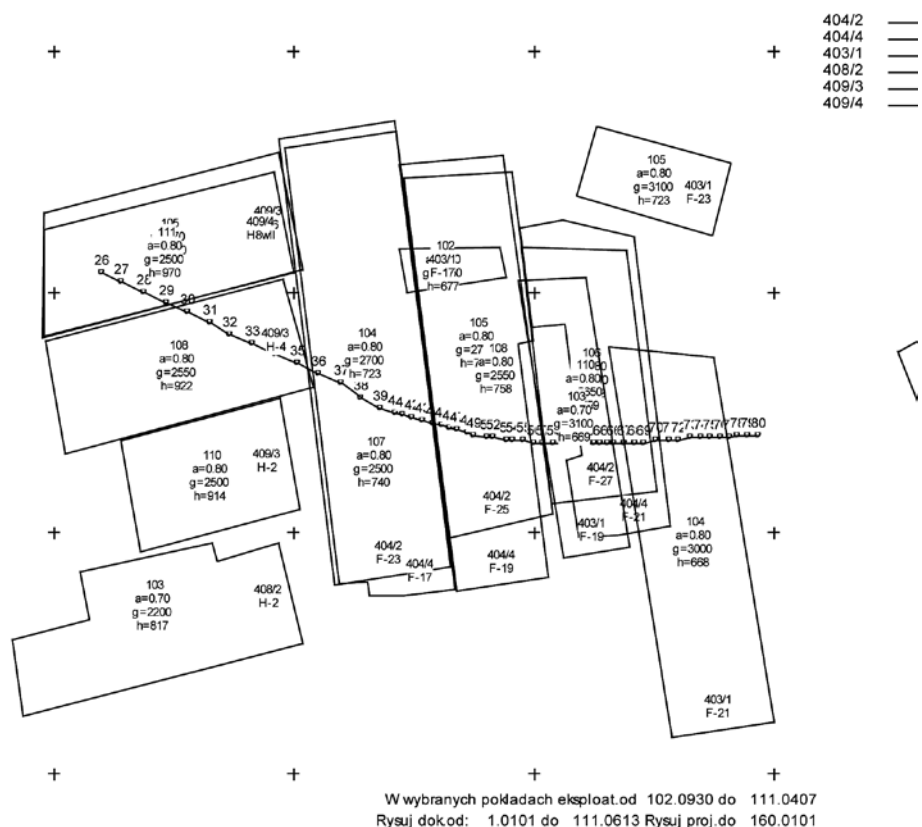
Dokonana eksploatacja górnicza

W rozpatrywanym rejonie wiaduktów w ul. Pszczyńskiej w Jastrzębiu Zdroju eksploatacja górnicza prowadzona była przez KWK „Zofiówka” i KWK „Pniówek”. Do czasu wybudowania wiaduktu nowego, kopalnia „Zofiówka” prowadziła eksploatację w dziewięciu pokładach, a kopalnia „Pniówek” w siedmiu pokładach.

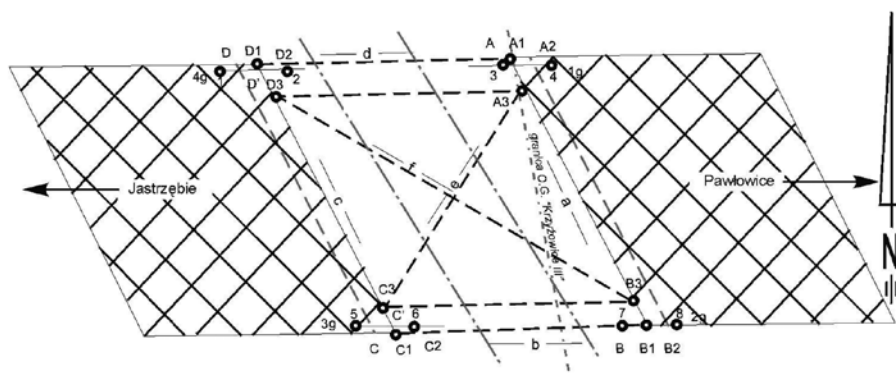
Dla rozpatrywanego zagadnienia istotny jest okres dokonanej eksploatacji po wybudowaniu nowego wiaduktu wraz z najazdami, to jest eksploatacja górnicza dokonana od IV kwartału 2002 r. Zakres tej eksploatacji został przedstawiony schematycznie na rys. 2. W okresie 1974-2011 KWK „Zofiówka” prowadziła eksploatację górniczą z zawałem stropu oraz z podsadzką suchą w 17 pokładach. KWK „Pniówek” prowadziła eksploatację górniczą również z zawałem stropu w 14 pokładach.

Wpływ dokonanej eksploatacji górniczej na wiadukty i najazdy na podstawie pomiarów geodezyjnych

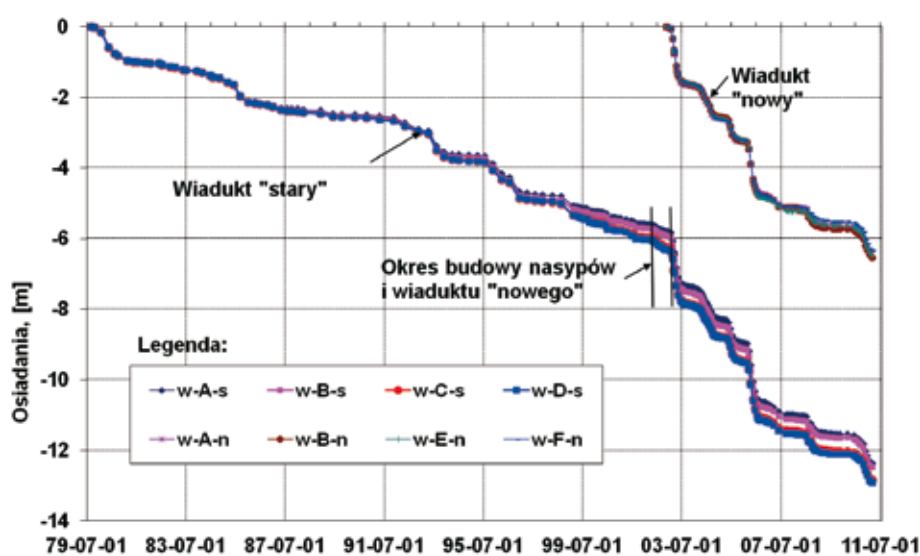
Wpływ dokonanej eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu i obiekty najdokładniej można określić na podstawie kompleksowych pomiarów geodezyjnych prowadzonych od początku eksploatacji. Nie zawsze jednak takie pomiary są prowadzone, głównie ze względu na duży przestrzenny zakres i długi czasokres eksploatacji.



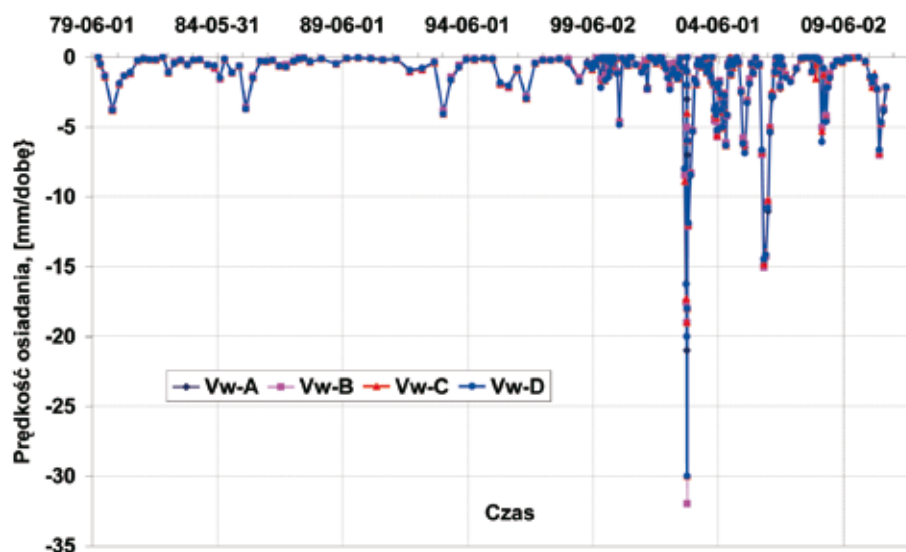
2. Dokonana eksploatacja górnicza KWK Zofiówka w rejonie ul. Pszczyńskiej w okresie od 2002.09.30 do 2011.04.07



3. Rozmieszczenie punktów obserwacyjnych w rejonie „starego” wiaduktu



4. Osiadanie w czasie punktów „starego” i „nowego” wiaduktu w okresie od 31.08.1979 r. do 28.02.2011 r.



5. Prędkość osiadania reperów „starego” wiaduktu w okresie 1979–2011

Na rozpatrywanym terenie KWK „Zofiówka” prowadzila następujące pomiary geodezyjne:

- pomiar osiadań na reperach „starego” wiaduktu,
- pomiar dylatacji na „starym” wiadukcie,
- pomiar osiadań na „starym” nasypie,
- pomiar osiadań na „nowym” nasypie,
- pomiar osiadań na reperach „nowego” wiaduktu,
- pomiar dylatacji na „nowym” wiadukcie,
- pomiar osiadań dla obliczenia prędkości osiadania w okresach jednodniowych.

Obserwacje prowadzone na „starym” wiadukcie i nasypie

Osiadania

Pomiary osiadania na „starym” wiadukcie wykonywane były od 1979 r. na czterech reperach A, B, C i D rozmieszczonych jak na rys. 3. W związku z tym, że w latach 1985, 1990, 1994 i 2000 wykonywane były remonty wiaduktu, część reperów uległa czasowo uszkodzeniu. Repery te były następnie odtwarzane. Na podstawie wykonywanych pomiarów geodezyjnych, oraz interpolacji osiadań w kilku krótkich okresach czasu (wymiana reperów) można było odtworzyć osiadanie wiaduktu od początku jego istnienia do chwili obecnej.

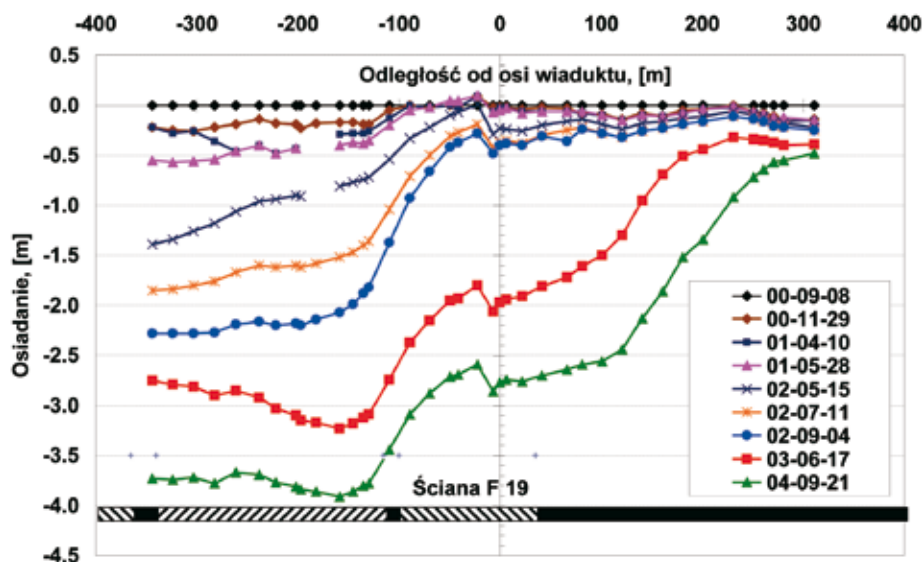
Osiadania w czasie reperów na „starym” wiadukcie w okresie 1979 – 2011 przedstawiono na rys. 4. Oznaczenia w legendzie na rys. 4 odnoszą się do: osiadań (w), oznaczeń reperów (A, B, C i D), „nowego” i „starego” obiektu (n i s). Maksymalne osiadanie wiaduktu w tym okresie wyniosło 12,92 m. Maksymalne osiadanie „starego” wiaduktu w okresie 2000–2011 wyniosło 7,13 m. Prędkość osiadania punktów „starego” wiaduktu z pomiarów wykonywanych codziennie w marcu 2003 r. wynosiła maksymalnie 32 mm/dobę, a z pomiarów wykonywanych w dłuższych okresach czasu wynosiła 16 mm/dobę (rys. 5).

Osiadania na „starym” nasypie mierzone były od 08.09.2000 r. do 21.09.2004 r. na 39 punktach. Osiadania punktów „starego” nasypu przedstawiono na rys. 6, a osiadania w czasie punktów „starego” nasypu przestawiono na rys. 7.

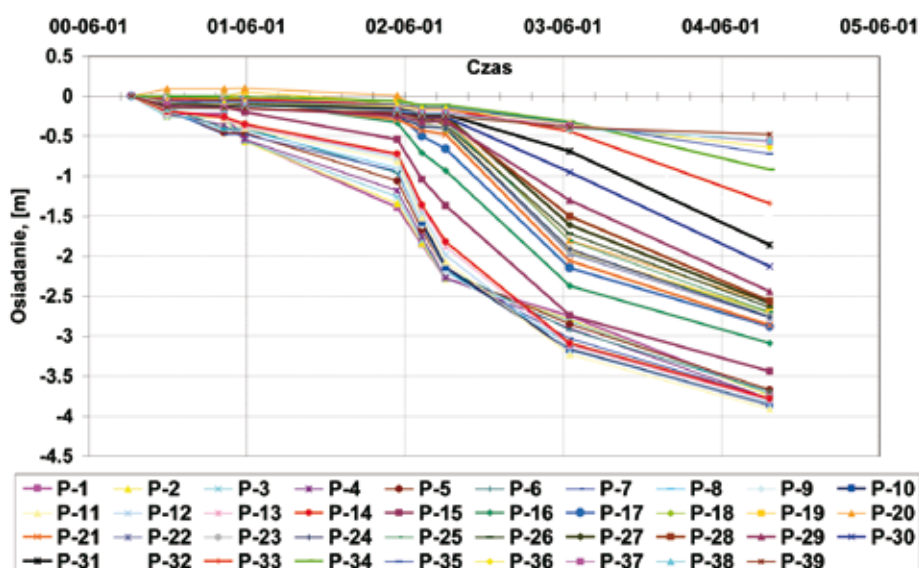
Maksymalne osiadanie nasypu w latach 2000–2004 wystąpiło na zachód od wiaduktu i wynosiło 3,91 m. Maksymalna prędkość osiadania wystąpiła pod koniec II kwartału 2002 roku i wynosiła 12,5 mm/dobę.

Pomiar dylatacji na „starym” wiadukcie

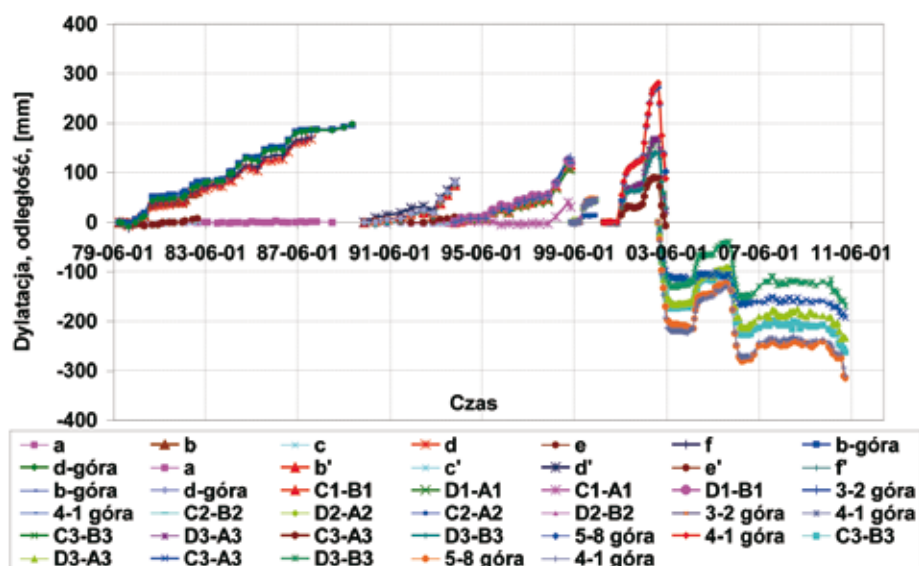
Na „starym” wiadukcie mierzone też były odległości pomiędzy reperami oraz szerokość szczelin dylatacyjnych. Przebieg zmian dylatacji na „starym” wiadukcie w okresie 1979–2011 przestawiono na rys. 8. Z wykresów tych wynika, że w okresie 1979–2003



6. Osiadania punktów „starego” nasypu w okresie 2000-2004



7. Osiadanie w czasie punktów na nasypie „starym” w okresie 2000-2004



8. Zmiana szerokości szczelin dylatacyjnych na „starym” wiadukcie w okresie 1979-2011

szerokość szczelin dylatacyjnych zwiększyła się o około 0,75 m.

W latach 2000-2011 szerokość szczelin dylatacyjnych początkowo zwiększyła się o około 0,28 m, a następnie od stycznia 2003 r. szerokość szczelin zaczęła się po raz pierwszy zmniejszać. Od stycznia 2003 r. do lipca 2011 r. szerokość szczelin zmniejszyła się o około 0,30 m.

Jeśli chodzi o różnice odległości pomiędzy punktami na poziomie torów i na poziomie jezdni to na poziomie torów te różnice w ostatnim okresie były większe.

Odształcenia poziome w rejonie „starego” wiaduktu

Na podstawie zmian odległości pomiędzy punktami na „starym” wiadukcie obliczono odształcenia poziome. W okresie do 2000 r. przez cały czas występowały odształcenia poziome rozciągające. Największe wystąpiły w okresie 1979-1989 i wynosiły około 14,5 mm/m. Odształcenia poziome w układzie narastającym w okresie 2000-2011 przedstawiono na rys. 9. Z wykresów tych wynika, że w okresie 2000 – koniec 2002 r. wystąpił największy przyrost odształceń poziomych rozciągających o wartości rzędu 15,0 mm/m. W tym czasie budowany był „nowy” wiadukt wraz z nasypami. W okresie od początku 2003 r. do 2011 r. wystąpiły odształcenia poziome ściskające o wartości od -11 mm/m do -15 mm/m.

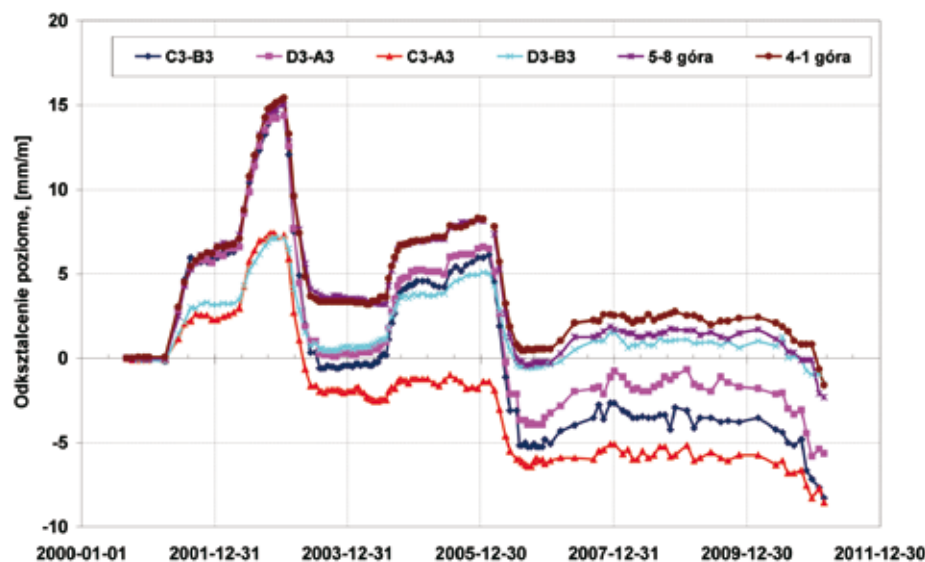
Pomiary prowadzone na „nowym” wiadukcie i „nowych” nasypach

Osiadania

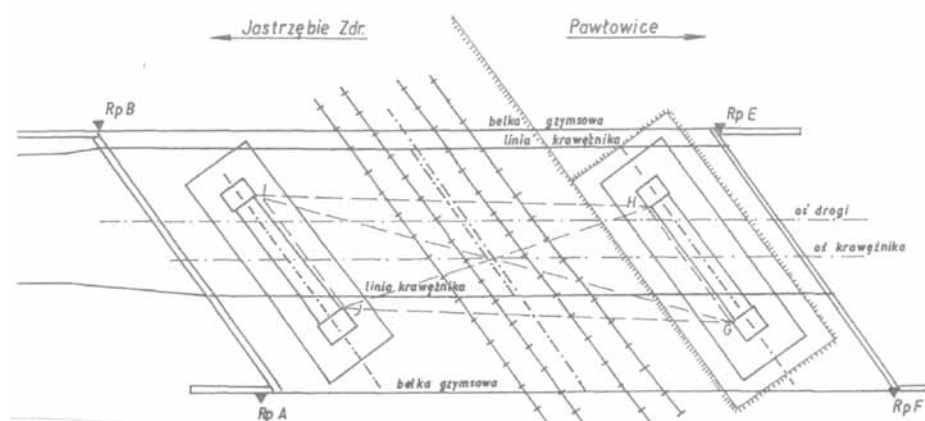
Pomiary osiadania na „nowym” wiadukcie wykonywane są od chwili oddania wiaduktu do użytku to jest od listopada 2002 r., na ośmiu reperach A, B, E, F, G, H, I i J rozmieszczonych jak na rys. 10.

Osiadania w czasie reperów na „nowym” wiadukcie w okresie 2002 – 2011 przedstawiono na rys. 4. Maksymalne osiadanie wiaduktu w tym okresie wyniosło 6,51 m.

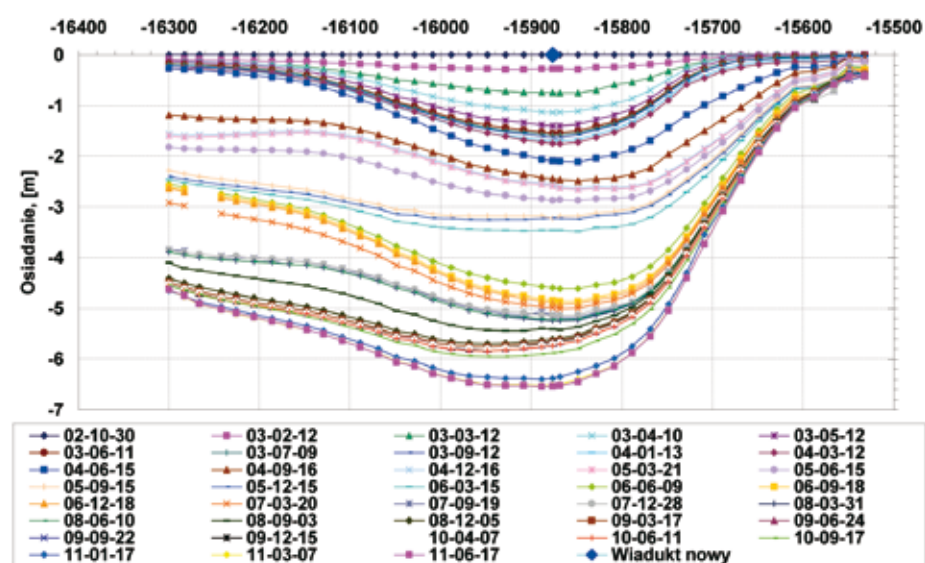
Na podstawie pomierzonych osiadań obliczono z pomiarów co miesiąc prędkość osiadania nowego wiaduktu, która maksymalnie wyniosła 16 mm/dobę. W marcu 2003 r. przez jeden tydzień na wiadukcie „starym” i „nowym” pomiary wykonywano codziennie. Z wykresów wynika, że prędkość osiadania z pomiarów wykonywanych codziennie była zmienna w czasie i wynosiła od 0 do 32 mm/dobę. Maksymalna prędkość osiadania z pomiarów wykonywanych codziennie była dwukrotnie większa od prędkości osiadania obliczonej z pomiarów wykonywanych co miesiąc. Z badań tych wynika również, że im większy jest postęp frontu tym większy wpływ na prędkość osiadania, a szczególnie jej zmienność w czasie, mają postoje frontu.



9. Zmiana odkształceń poziomych w czasie pomiędzy punktami wiaduktu „starego” w okresie 2000-2011



10. Rozmieszczenie punktów obserwacyjnych w rejonie „nowego” wiaduktu



11. Niecki osiadania wzdłuż „nowych” nasypów w okresie 2002-2011

Po wybudowaniu „nowego” nasypu na jezdni zaznaczono farbą 40 punktów pomiarowych. Pierwszy pomiar wykonano 30.10.2002 r. W marcu 2003 r. rozszerzono tą linię w kierunku zachodnim (linia obserwacyjna w ul. Pszczyńskiej) i zmieniono numerację punktów. Niecki osiadania wzdłuż „nowego” nasypu w okresie 30.10.2002 – 17.06.2011 r. przedstawiono na rys. 11. Maksymalne osiadanie wyniosło dotychczas 6,52 m.

Niecka osiadania z pomiarów nie jest symetryczna względem osi wiaduktu. Nachylenie maksymalne skrzydła zachodniego niecki wynosi -15,6 mm/m i występuje pomiędzy punktami 37-38. Nachylenie maksymalne skrzydła wschodniego jest dwa razy większe i wynosi 33,5 mm/m i występuje pomiędzy punktami 70-71.

Osiadanie punktów w czasie wzdłuż „nowych” nasypów przedstawiono na rys. 12. Z osiadania punktów w czasie możemy wydzielić 7 okresów względnego uspokojenia terenu związanych z eksploatacją kolejnych pokładów. Osiadanie w czasie dla tych okresów przedstawiono na rys. 13. Na podstawie osiadania dla poszczególnych okresów zostały wyznaczone parametry teorii.

Pomiar dylatacji na „nowym” wiadukcie

Na „nowym” wiadukcie mierzone były odległości pomiędzy reperami zastabilizowanymi na filarach oraz na wiadukcie.

Z pomiarów wynika, że w okresie 2003–2011 odległość pomiędzy reperami zwiększyła się najpierw o +0,10 m, a następnie zmniejszyła o około 0,25 m do wartości – 0,15 m.

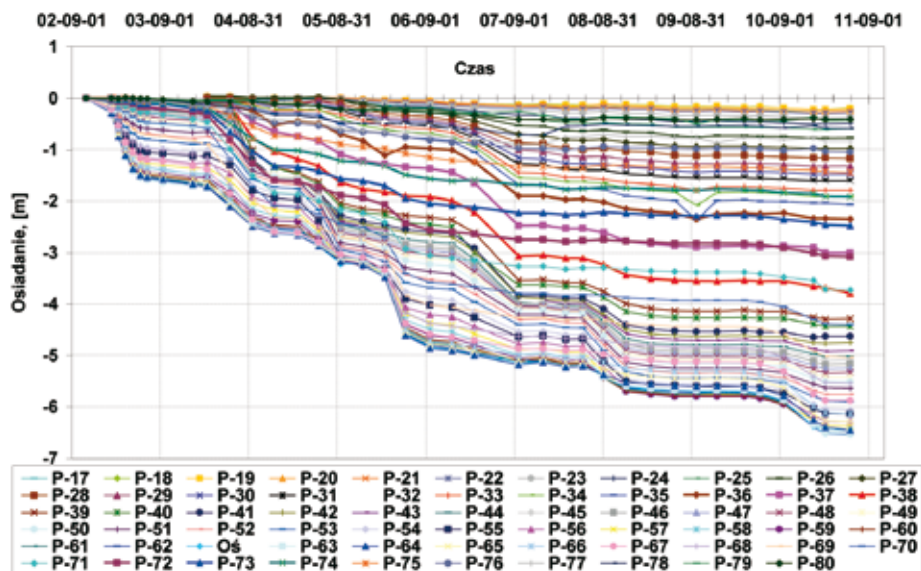
Odształcenia poziome na „nowym” wiadukcie

Na podstawie zmian odległości pomiędzy punktami na „nowym” wiadukcie obliczono odkształcenia poziome. Wyniki obliczeń w graficznej postaci w okresie 2003-2011 przedstawiono na rys. 14. W okresie tym odkształcenia poziome zmieniły się od +5,0 mm/m do -13,7 mm/m.

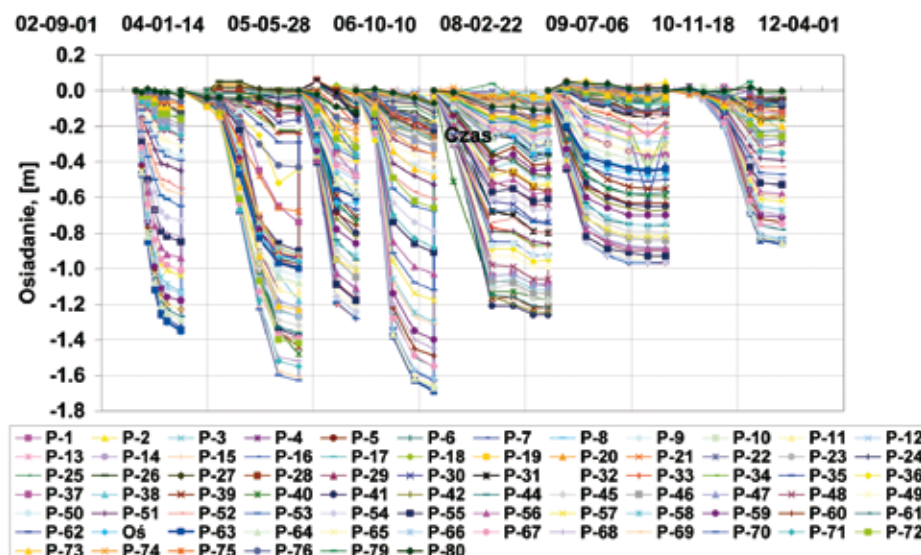
Odształcenia poziome w okresie 2006-2011 pomiędzy punktami „nowego” wiaduktu zmieniły się maksymalnie o -17,4 mm/m.

Prognoza wpływów eksploatacji projektowanej w okresie 2011-2020 na rejon wiaduktów

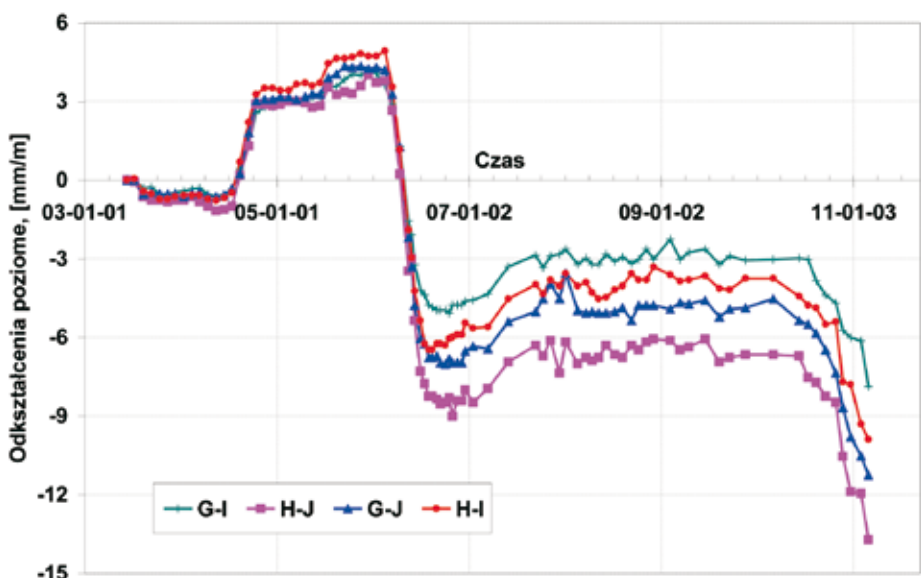
W omawianym rejonie projektowana jest dalsza eksploatacja górnicza przez KWK „Zofiówka” i KWK „Pniówek” do roku 2020 w pięciu różnych pokładach. W niniejszym referacie zostaną przedstawione wyniki obliczeń wpływu projektowanej eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu dla okresu 2011 – 2020. Przedstawione obliczenia zostały wykonane dla trzydziestu punktów rozmieszczonych wzdłuż DW 933. W każ-



12. Osiadanie punktów „nowego” nasypu w czasie



13. Osiadanie w czasie punktów „nowego” nasypu w poszczególnych okresach



14. Odkształcenia poziome pomiędzy punktami na filarach wiaduktu „nowego” w okresie 2003-2011

dym punkcie obliczono: osiadanie (w), przemieszczenia poziome (u_x, u_y, u_{max}), odkształcenia poziome ($\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_1, \varepsilon_2$), nachylenia (T_x, T_{max}), krzywizny pionowe (K_x).

Po przeprowadzeniu analizy obliczeń, z rozkładu izolinii osiadań wynika, że w wyniku projektowanej eksploatacji w okresie 2011-2020, na powierzchni wystąpią dwie niecki osiadania. Jedna niecka o maksymalnym osiadaniu równym 1,8 m powstanie na wschód od wiaduktu po stronie kopalni „Pniówek”, a druga na zachód od wiaduktu o maksymalnym osiadaniu ponad 3,0 m.

Z prognozowanych przemieszczeń poziomych wynika, że w rejonie wiaduktu wystąpią dwa rejon zwiększonych przemieszczeń poziomych. W pierwszym rejonie największe przemieszczenia poziome o wartości 0,88 m w kierunku zachodnim wystąpią w punkcie 23. W drugim rejonie największe przemieszczenia poziome o wartości 0,78 m w kierunku zachodnim wystąpią w punkcie 1. W rejonie wiaduktu (pkt. 17) wystąpią przemieszczenia poziome o wartości maksymalnej 0,41 m.

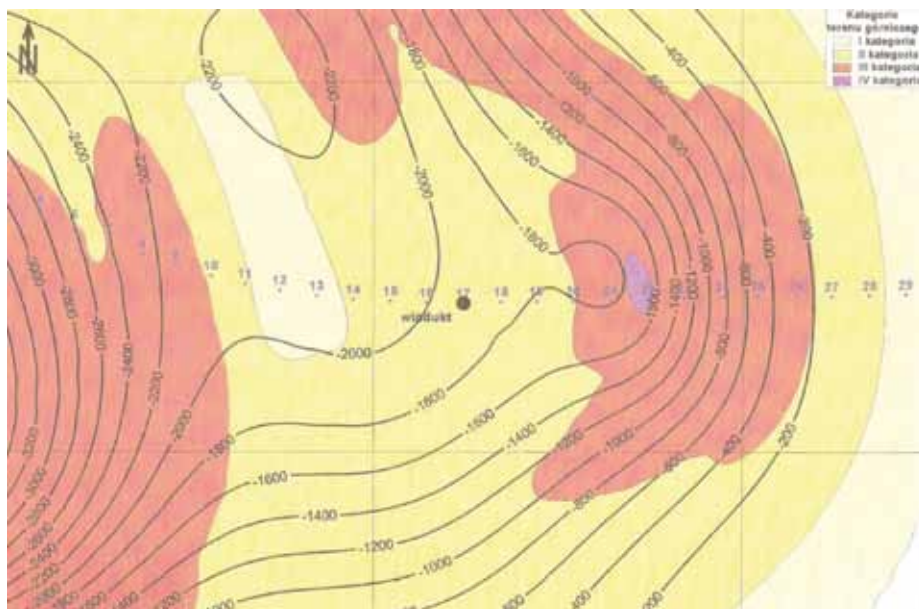
Z prognozowanych odkształceń poziomych wynika, że w rejonie wiaduktu wystąpią dwa obszary zwiększonych odkształceń poziomych. W pierwszym rejonie po stronie kopalni „Pniówek” wystąpią największe odkształcenia poziome ściskające o wartości -7,68 mm/m w punkcie 22. Największe odkształcenia poziome rozciągające o wartości + 4,7 mm/m wystąpią w punkcie 25. W rejonie wiaduktu wystąpią odkształcenia poziome o wartości $\pm 1,8$ mm/m.

Kategorie terenu zostały ustalone na podstawie obliczonych odkształceń poziomych, nachyleń i krzywizn, z których wynika, że w analizowanym okresie 2011 – 2020 w rejonie przedmiotowej budowli wystąpią kategorie od I do IV (rys. 15).

Z uwagi na brak danych nie wykonano szczegółowej prognozy wstrząsów, natomiast z informacji uzyskanych na kopalni wynika, że w rozpatrywanym rejonie – wiaduktów, mogą wystąpić wstrząsy o energii 5×10^5 J oraz przyspieszenia drgań o wartości 130-140 mm/sek².

Przyjęte konstrukcje wzmocnienia „nowego” nasypu i podstawa obliczeń stateczności

Najazd (nasyp) do „nowego” wiaduktu budowanego w 2002 roku z uwagi na silne oddziaływania eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu został wykonany w technologii gruntu zbrojonego geosyntetykami. Do obliczenia stateczności wykorzystano metodę globalnego współczynnika i zgodnie ze starą niemiecką normą DIN 4084 współczynnik stateczności był analizowany głównie wg metody Bishop’a, sprawdzając najbardziej niekorzystny mechanizm znisz-



15. Osiedlania i kategorie terenu w rejonie wiaduktów w Jastrzębie-Bżiu pod wpływem projektowanej eksploatacji w latach 2011-2020

czenia po kołowej linii poślizgu. Założono wówczas, że wg powyższego współczynnik stateczności musi być większy od 1,40 (rys. 16 i rys. 17) i tak przeprowadzono większość obliczeń w charakterystycznych, najbardziej niekorzystnych przekrojach. Ww. metoda wymiarowania była jedną z głównych, natomiast z uwagi na bardzo skomplikowane warunki geologiczno-górnice w celu weryfikacji przyjętych rozwiązań stateczność analizowano też innymi metodami, a także różnymi programami obliczeniowymi.

Filozofia wykorzystanej do obliczeń metody globalnego współczynnika opiera się na następujących założeniach:

- dla obciążeń i oddziaływań przyjmuje się charakterystyczne wielkości (Q_k);
- wartości parametrów geotechnicznych odpowiadają wartościom charakterystycznym i dla nich wyznacza się reakcje (R_k);
- współczynniki globalnego bezpieczeństwa

stwa ustalane są dla trzech stanów obciążenia: stanu podstawowego, (np. według DIN 4084 dla zboczy i metody pasków $h_{dop} = 1,40$), stanu budowlanego (np. według DIN 4084 dla zboczy i metody pasków $h_{dop} = 1,30$) oraz stanu wyjątkowego (np. według DIN 4084 dla zboczy i metody pasków $h_{dop} = 1,20$).

Dowód wystarczającej stateczności sprawdza się według następującej zależności:

$$\eta = \frac{R_k}{Q_k} \geq \eta_{dop} \quad (1)$$

gdzie „ η ” oznacza globalny współczynnik stateczności.

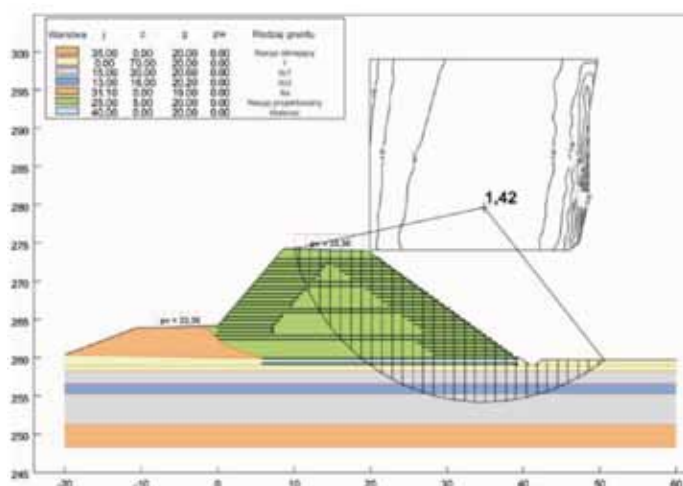
W skład reakcji R_k , która stanowi sumę wszystkich sił utrzymujących (lub momentów), wchodzi, w przypadku gruntów zbrojonych geosyntetykami, suma nośności zbrojenia, które przecinane jest przez daną linię poślizgu (np. kołową linię poślizgu jak

w przypadku metody Bishop'a). Przyjmuje się dla każdej wkładki najmniejszą z trzech możliwych wartości: opór na wyciąganie ze strefy pasywnej, opór na wyciąganie ze strefy aktywnej lub obliczeniową wytrzymałość na rozciąganie F_d , dla danego okresu użytkowania budowli i w konkretnie zdefiniowanych warunkach gruntowo-wodnych zgodnie z wzorem nr 2.

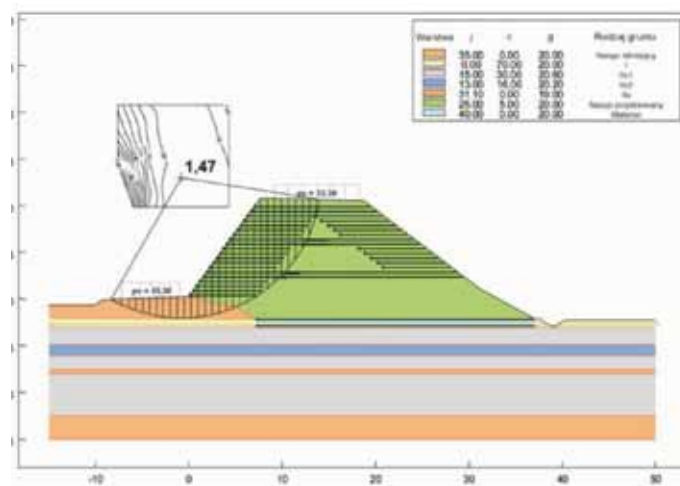
Najważniejszy element zbrojenia nasypu – geosiatki – były dobrane zgodnie z ogólnie panującymi wówczas zasadami doboru zbrojenia geosyntetycznego. Po wykonaniu wszystkich niezbędnych analiz, uwzględniając nie tylko stan podstawowy, lecz także budowlany i wyjątkowy, przyjęte zostały długoterminowe (obliczeniowe) wartości wytrzymałości geosiatek, które następnie zostały przeliczone na wartości krótkoterminowe (doraźne) zgodnie z wzorem nr 2.

$$F_k = F_d \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma \quad (2)$$

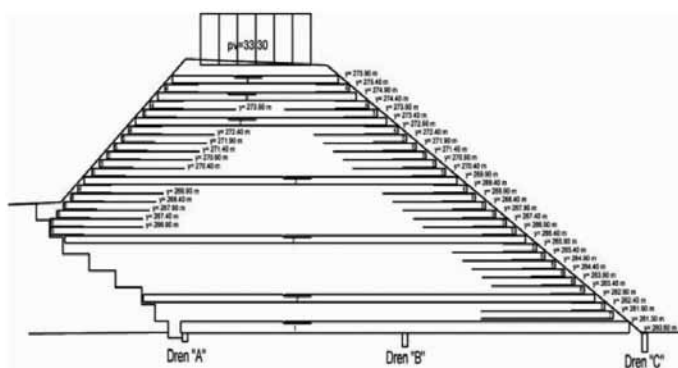
Powyższy wzór nr 2 stosowany przy projektowaniu nasypu wybudowanego w 2002 r. wymaga uwzględnienia współczynników $A_{1...4}$ – są to współczynniki materiałowe, uwzględniające poszczególne wpływy: A_1 – współczynnik uwzględniający pełzanie w projektowanym okresie użytkowania konstrukcji, A_2 – współczynnik uwzględniający spadek wytrzymałości zbrojenia na skutek uszkodzeń w transporcie i przy wbudowaniu (transport, instalacja, zasyпка, zagęszczenie), A_3 – współczynnik uwzględniający spadek wytrzymałości zbrojenia na skutek połączeń, A_4 – współczynnik uwzględniający spadek wytrzymałości na skutek działania czynników środowiskowych. Współczynniki te stanowią charakterystyki materiałowe, a więc ich wielkości są w zasadzie niezależne od metody wymiarowania i muszą być one udostępnione przez danego producenta konkretnego geosyntetyku. Jeżeli producent od którego miałyby być geosyntetyki zakupione nie udostępnia tych współczynników, to należałoby



16. Wyniki obliczeń stateczności – przykładowy przekrój strona prawa nasypu



17. Wyniki obliczeń stateczności – przykładowy przekrój strona lewa nasypu



18. Typowy przekrój poprzeczny – zbrojenie nasypu geosyntetykami (skała skażona)



19. Widok warstw zbrojenia geosyntetycznego – konstrukcja w szalunkach przestawnych

się posłużyć normatywnymi, które niestety są dosyć wysokie i znacznie podrażałyby koszty realizacji. Współczynniki materiałowe $A_1 \dots A_4$ ustalone są w oparciu o badania laboratoryjne a nawet i połowe (tak jak współczynnik A_2) i ich wartości powinny być ustalone lub potwierdzone przez niezależne akredytowane instytuty. Właściwości reologiczne polimerów czy też produktów polimerowych ustala się poprzez badanie pełzania przy stałym obciążeniu w stałej temperaturze wg EN ISO 13431:1999 lub metodą SIM (Stepped Isothermal Method - metodą jednakowych skoków termicznych W/g EN ISO 13 431:1999 badanie na pełzanie należy przeprowadzić dla co najmniej 10.000 h. Jeżeli chodzi współczynnik γ jest to globalny współczynnik bezpieczeństwa materiałowego, uwzględniający niepewność co do: ustalania poszczególnych wpływów, dokładności metod obliczeniowych i odchyłek cech produktu – jego wartość przyjmuje się $\gamma = 1,75$.

W wyniku przeprowadzonych analiz przyjęto wzmocnienie podstawy i korpusu nasypu geosiatkami (rys. 18). Z uwagi na niekorzystne warunki gruntowo-wodne w podłożu pod nasypem przewidziano zastosowanie systemu drenów francuskich. Jako materiał nasypowy zastosowano łupek nieprzpalony pochodzący z kopalni, co było jednym z powodów zastosowania geosyntetyków z PVA. Przyjęto geosiatki o wytrzymałościach w głównym kierunku zbrojenia: 250 kN/m, 80kN/m i 55 kN/m. Geosyntetyki były formowane w postaci materacy geosyntetycznych wzmacniających podstawę i spinających korpus nasypu oraz w postaci wkładek zbrojących skarpy. Konstrukcje wzmacniające konstruowano o grubościach 0,7 m. materac na styku nasypu z podłożem i 0,5 m. wkładki i materace spinające. Z uwagi na możliwość samozapłonu materiału nasypowego pozyskiwanego z kopalni, który zawierał nawet do kilkunastu procent węgla, warstwy konstrukcyjne przewarstwione były piaskiem. W celu zagęszczenia warstw

wzmacniających wykonanych z geosyntetyków, aż do samej krawędzi cały nasyp wykonywany był warstwowo wykorzystując szalunki przestawne, a w licu warstw zastosowano geowłókninę separacyjną (fot. 19). Geosyntetyki zabudowywano z kontrolowanym wstępnym naciągami wzdłużnym.

Obecnie analizy stateczności budowli ziemnych zbrojonych geosyntetykami powinno przeprowadzać się w myśl EC 7, zgodnie z krajowym załącznikiem, w oparciu o metodę stanów granicznych wg poniższej zależności:

$$1/f = \frac{E_d}{R_d} \leq 1,00 \quad (3)$$

gdzie:

E_d – siła lub moment działający na linii poślizgu;

R_d – opór graniczny konstrukcji wzdłuż linii poślizgu, przeciwdziałający się zsuwaniu;

$1/f$ – wskaźnik wykorzystania nośności konstrukcji.

Taki załącznik powinien być zostać opublikowany w Polsce i wdrożony do obiegu, a następnie do obligatoryjnego stosowania w styczniu 2011 r. Nieco wcześniej, bo już w 2007 r. został wydany zeszyt Instytutu Techniki Budowlanej nr 429/2007 [6], opisujący metodę stanów granicznych w gruntach zbrojonych, który na tamten czas mógł stanowić właśnie krajowy załącznik do EC7. Dlatego przebudowa wiaduktu i najazdów po stronie północnej (druga nitka), realizowana od 2011 roku, a konkretnie analizy nasypu powinny być wykonane metodą stanów granicznych, sprawdzając stan graniczny nośności i stan graniczny użytkowości, a nie metodą globalnego współczynnika, jak w przypadku nasypu po stronie południowej. Z teoretycznego punktu widzenia, analizy wykonane zarówno jedną jak i drugą metodą powinny zapewnić bezpieczeństwo konstrukcji.

W metodzie stanów granicznych podczas

sprawdzenia warunku stanu granicznego nośności, stosuje się cząstkowy współczynnik bezpieczeństwa materiałowego $\gamma_F = 1,30$ [6]. Zgodnie z niemieckimi zaleceniami EBGeo 2010 [4] współczynnik γ_F należałoby stosować dla stanu obciążeń podstawowego: $\gamma_F = 1,40$, dla stanu budowlanego lub remontowego $\gamma_F = 1,30$ i dla stanu wyjątkowego $\gamma_F = 1,20$. Oprócz obliczeń w I stanie granicznym nośności należy również sprawdzić czy dopuszczalne odkształcenie się zbrojenia w II stanie granicznym użytkowości nie zostanie przekroczone. Warunek przyjmuje się następująco:

$$\epsilon \leq \epsilon_{gr} \quad (4)$$

gdzie:

ϵ – maksymalna wielkość wydłużenia zbrojenia z uwzględnieniem pełzania w projektowanym okresie użytkowania konstrukcji;

ϵ_{gr} – dopuszczalna wielkość wydłużenia.

Tok postępowania polega na tym, że należy wyznaczyć na podstawie izochron wytrzymałości charakterystyczne $F_{k(e)}$ jakie można dopuścić w zbrojeniu dla projektowanego okresu użytkowania konstrukcji i dopuszczalnych wydłużeń zbrojenia:

$$F_{k(e)} = \frac{F_{ok} \cdot \beta_\epsilon}{A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \quad (5)$$

gdzie:

β_ϵ – dopuszczalny stopień obciążenia dla danego dopuszczalnego ϵ i czasu obciążenia t ustalany jest na podstawie izochron, czyli izolinii wydłużeń materiału w czasie.

Wartość maksymalnych sił rozciągających w zbrojeniu z uwagi na dopuszczalne odkształcenia zbrojenia powinien określić Projektant na podstawie danych uzyskanych od Producenta wyrobu. Wartości odkształceń dopuszczalnych przyjmuje się doświadczalnie i można posłużyć się literaturą.



20. Widok na skarpę zdeformowane barierki energochłonne i nawierzchnię „starego” nasypu – stan na rok 2011



21. Widok na skarpę „nowego” nasypu i nawierzchnię „starego” nasypu – stan na rok 2011



22. Uszkodzenia „starego” wiaduktu – stan na rok 2011



23. Deformacje występujące na płytach ażurowych skrzydełek „starego” wiaduktu – stan na rok 2011

Bieżące obserwacje i wnioski dotyczące wpływów eksploatacji górniczej i wpływów projektowanej eksploatacji na przebudowywany wiadukt wraz z nasypami

W październiku 2006 roku Okręgowy Urząd Górniczy w określił następujące warunki panujące na przedmiotowym obszarze:

- projektowana eksploatacja górnicza do 2020 r kwalifikuje teren do III i IV kategorii,
- mogą wystąpić deformacje nieciągłe, część najazdów od strony Pawłowic usytuowana jest na terenie określonym jako predysponowany do powstania deformacji nieciągłych,
- w rejonie przedmiotowego terenu występują piaski kurzawkowe.

Z udostępnionych przez OUG informacji – mapkę wynika, że w rejonie wiaduktów wystąpią osiadania o wartości około 5,2 m. Natomiast z pomiarów osiadań na wiaduktach i najazdach wynika, że w okresie od IV kwartału 2006 r do czerwca 2011 r.

osiadanie w rejonie wiaduktów wyniosło około 1,7 m, stąd do 2020 r pozostały osiadania o wartości 3,5 m.

Z prognozy wykonanej przez kopalnię Zofiówka za okres od 01.01.2011 r. do 31.12.2020 r. wynika, że w rejonie wiaduktów wystąpią osiadania o wartości 1,9 m oraz deformacje II-giej kategorii. Na wschodnim odcinku najazdów mogą wystąpić deformacje III kategorii.

Z prognozy przedstawionej w ekspertyzie [7] wynika, że osiadania w rejonie wiaduktów wyniosą 1,92 m, a pozostałe deformacje zamkną się w granicach II kategorii. Na wschodnim odcinku najazdu wystąpią deformacje III i IV kategorii.

Z analizy pomiarów dylatacji i odległości pomiędzy filarami wiaduktów wynika, że odkształcenia poziome i odległości na dylatacjach są, co najmniej dwa razy większe, niż wynikałoby to z teorii. Z informacji kopalni Zofiówka wynika, że w rejonie najazdów w wyniku dotychczasowej eksploatacji wystąpiły deformacje nieciągłe na ul. Pszczyń-

skiej w odległości około 190 m. na wschód od osi wiaduktu i w odległości około 375 m na zachód od wiaduktu.

Na podstawie przeprowadzonej analizy warunków geologicznych, dokonanej eksploatacji górniczej, analizy wyników pomiarów geodezyjnych, projektowanej eksploatacji oraz obliczeń teoretycznych można sformułować następujące stwierdzenia i wnioski:

- maksymalne osiadania terenu obliczone teoretycznie pod wpływem dotychczasowej eksploatacji wyniosły ponad 20,0 m i wystąpiły w rejonie ul. Pszczyńskiej na zachód od wiaduktów i nasypów,
- maksymalne deformacje pod wpływem dotychczasowej eksploatacji mieszczą się w granicach V kategorii,
- maksymalna prędkość osiadania wystąpiła pod koniec II kwartału 2002 r. i wyniosła średnio 12,5 mm/dobę. Prędkość osiadania dla okresów jednodniowych wynosiła w tym czasie wynosić do 32 mm/dobę. „Nowy” nasyp był budowany w okre-



24. Widok na nawierzchnię „nowego” nasypu, wybudowanego w 2002 roku w trakcie remontu nitki po stronie północnej – stan na rok 2012

sie największej prędkości ujawniania się wpływów na powierzchnię,

- w rejonie najazdu od strony wschodniej wystąpią deformacje III i IV kategorii. W rejonie najazdu od strony zachodniej wystąpią deformacje II i III kategorii,
- w miejscach, gdzie dotychczas wystąpiły deformacje nieciągłe, wystąpią również takie deformacje w przyszłości w wyniku projektowanej eksploatacji. Deformacje nieciągłe mogą w przyszłości objąć nieco większy obszar.

Należy zwrócić uwagę, że obliczone z pomiarów parametry teorii są nietypowe i właściwie niespotykane dotychczas w literaturze. Uzasadnieniem dla tych parametrów są między innymi: budowa górotworu – mała miąższość karbonu w stosunku do nadkładu, intensywna eksploatacja – doprowadzenie eksploatacji w 9-ciu pokładach do wspólnej krawędzi, reaktywacja spowodowana wybraniem ściany F-19 w filarze granicznym pomiędzy KWK „Zofiówka” i KWK „Pniówek”.

Podsumowanie

Eksploatowany już od ponad 10 lat „nowy” nasyp został wybudowany na terenie nie tylko bardzo zdegradowanym wskutek działalności górniczej (fot.20, fot.21, fot.22, fot.23), lecz także na terenie charakteryzującym się niekorzystnymi warunkami gruntowo-wodnymi. Pomimo tak skomplikowanych warunków, dzięki technologii zbrojenia geosyntetykami i zgodnego z normami projektowi, konstrukcja działa przez cały czas **bezawaryjnie**. Tym samym w praktyce, od 2002 r., potwierdza się, że przyjęta metoda wymiarowania oraz sposób wzmocnienia są jak najbardziej skuteczne w zbrojeniu budowli ziemnych na terenach aktywnych górniczo. Zastosowana technologia jest nie tylko skuteczna z technicznego lecz także ekonomicznego punktu widzenia, ponieważ wykorzystanie materiału nasypowego pozyskanego prosto z kopani było bardzo ko-

rzystnym finansowo rozwiązaniem. Nawet pomimo braku sprawdzenia w procesie projektowania warunku odkształceń zbrojenia geosyntetycznego w II stanie granicznym i braku monitoringu wydłużeń geosiatek (taki monitoring jest obecnie powszechną praktyką – vide realizacja Autostrady A1 [2]), z obecnych obserwacji wynika, że stan graniczny użytkowości z całą pewnością nie został przekroczony. Można zatem jednoznacznie stwierdzić, że cały nasyp i konstrukcje wzmacniające działają poprawnie zgodnie z założeniami projektowymi.

Warto także zaznaczyć że realizacja ta została już wielokrotnie doceniona i nagrodzona przez specjalistów – m.in. otrzymała wyróżnienia Polskiego Komitetu Geotechniki czy Targów Autostrada. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Ajdukiewicz J., Zych J.: „Grunty zbrojone geosyntetykami, zastosowania na terenach intensywnej działalności górniczej”; Geodezja 2003; Półrocznik Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie; Tom 9. Zeszyt 2/1. AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne; Kraków 2003. S. 157-168.
- [2] Ajdukiewicz J., dr Bednarski Ł., dr Sierko R., dr Sobolewski J.: „Automatyczny system monitoringu deformacji i osiadań korpusu autostrady A1”; Materiały konferencyjne „XI Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych” maj 2011.
- [3] Ajdukiewicz J., Zych J.: „Grunty zbrojone geosyntetykami, zastosowania na terenach intensywnej działalności górniczej”; Geodezja 2003; Półrocznik Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie; Tom 9. Zeszyt 2/1. AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne; Kraków 2003. S. 157-168.
- [4] PRACA ZBIOROWA, EBGeo; „Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen”; 2010.
- [5] PRACA ZBIOROWA, EBGeo; „Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen”; Deutsche Gesellschaft für Geotechnik”; 1997.
- [6] Instytut Techniki Budowlanej; „Projektowanie konstrukcji oporowych, stromych skarp i nasypów z gruntu zbrojonego geosyntetykami”; Instrukcje, Wytyczne, Poradniki; 429/2007; Warszawa 2007.
- [7] Ekspertyza geologiczno-górnicza dla potrzeb realizacji zadania: „Przebudowa dróg najeżdżowych wraz podniesieniem wiaduktu (strona północna) nad torami J.S.K. Sp. z o.o. o 5,5 m w ciągu drogi wojewódzkiej nr 933 (ul. Pszczyńska) w Jastrzębiu Zdroju”; Przedsiębiorstwo Innowacyjno-Wdrożeniowe Górnictwa „GWAREK” Sp. z o.o. Gliwice, lipiec 2011 r.
- [8] Zych J.: „Wpływ postępu frontu eksploatacyjnego na przebieg osiadań w czasie”. Międzynarodowa Konferencja: V Szkoła Geomechaniki; Katedra Geomechaniki Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej; Ustroń – 16-19 październik 2001. s. 561-578.
- [9] „Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Strassenbaus”; FGSV, 1994, Niemcy
- [10] Zych J.: „Wpływ eksploatacji górniczej na wiadukty drogowe w Jastrzębiu-Bziu”; wydział górnictwa i geologii politechniki śląskiej w Gliwicach.
- [11] Zych J.: „Metoda prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu uwzględniająca asymetryczny przebieg procesu deformacji”; Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej; Górnictwo z. 164, Gliwice 1987.