



MARCIN GRYGIEREK

Politechnika Śląska  
marcin.grygierek@polsl.pl  
ORCID: 0000-0002-2969-7054



MELANIA SZEJA

Budimex S.A.  
melania.szeja@gmail.com



MAGDALENA WRÓBLEWSKA

Politechnika Śląska  
magdalena.wróblewska@polsl.pl  
ORCID: 0000-0002-4239-5026

# Charakterystyka wybranych skutków eksploatacji górniczej prowadzonej pod pasem drogowym

Drogi kołowe przebiegające przez tereny zagrożone występowaniem zjawisk geodynamicznych poddawane są dodatkowym oddziaływaniom, które mogą pogorszyć jej cechy użytkowe w zakresie parametrów geometrycznych, jak również wytrzymałościowych. Szczególnym przypadkiem tego typu oddziaływań są tereny górnicze, na których deformacje powierzchni terenu wywołane są wypełnieniem pustki powstałej po wyeksploatowaniu całości lub części złoża, np. węgla kamiennego, rud miedzi. Eksploatacja górnicza pod pasem drogowym może być prowadzona jednokrotnie lub wielokrotnie. Bez względu na liczbę przejść frontów eksploatacji górniczej, pozostawia ona trwałe deformacje na powierzchni terenu [1, 2], co najmniej zmieniając geometrię ukształtowania pasa drogowego, w tym niwelety drogi. Zmianom tym towarzyszą również zmiany w sztywności podłoża gruntowego. Największa redukcja nośności podłoża obserwowana jest w trakcie

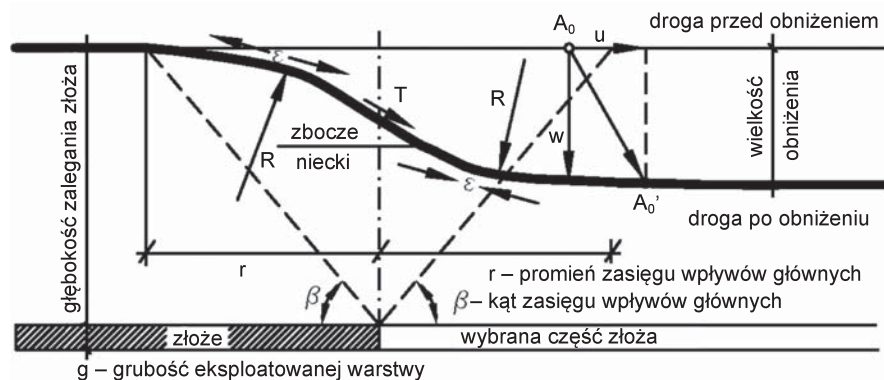
logicznym zmianom rozluźnienia i odbudowy nośności, jak w przypadku podłoża gruntowego, podlegają wszystkie warstwy na nim wbudowane [4]. Przy czym, stosowanie profilaktyki budowlanej, np. w postaci geomateracy, znacząco ogranicza zakres redukcji nośności konstrukcyjnych warstw nawierzchni drogowej.

Tabela 1. Kategorie terenu górniczego [1, 2]

Kategoria	Wartość deformacji		
	Nachylenie $T$	Promień krzywizny $R$	Odształcenie poziome $\varepsilon$
	mm/m	km	mm/m
0	$T \leq 0,5$	$ R  \geq 40$	$ \varepsilon  \leq 0,3$
I	$0,5 < T \leq 2,5$	$40 >  R  \geq 20$	$0,3 <  \varepsilon  \leq 1,5$
II	$2,5 < T \leq 5$	$20 >  R  \geq 12$	$1,5 <  \varepsilon  \leq 3$
III	$5 < T \leq 10$	$12 >  R  \geq 6$	$3 <  \varepsilon  \leq 6$
IV	$10 < T \leq 15$	$6 >  R  \geq 4$	$6 <  \varepsilon  \leq 9$
V	$15 < T$	$ R  < 4$	$ \varepsilon  > 9$

Wpływy eksploatacji górniczej mogą powodować na powierzchni deformacje ciągłe lub/i deformacje nieciągłe [1] [2]. Deformacje ciągłe charakteryzują się zmianą ukształtowania terenu przy zachowaniu ciągłości powierzchni terenu. Deformacje te, opisywane są tzw. wskaźnikami deformacji terenu (rys. 1). Skala deformacji terenu charakteryzowana jest poprzez podanie kategorii terenu górniczego, gdzie 0 kategoria oznacza najmniejsze oddziaływania, a V kategoria najbardziej intensywne. Warto tutaj zauważyć, że kategory-

ruchów górotworu wywołanych wypełnianiem się pustki poeksploatacyjnej [3]. W pewnym okresie po zakończeniu eksploatacji górniczej ustają również ruchy górotworu. W podłożu gruntowym obserwowana jest co najmniej częściowa odbudowa nośności, spowodowana jego konsolidacją, m.in. od oddziaływania kół pojazdów poruszających się po przedmiotowym odcinku drogi [4]. Konsekwencją ponownej odbudowy nośności podłoża są deformacje trwałe obserwowane na powierzchni nawierzchni [3]. Należy dodać, że ana-



Rys. 1. Niecka obniżeniowa,  $w$  – przemieszczenie pionowe [m],  $T$  – nachylenie [mm/m],  $R$  – promień krzywizny [km],  $\varepsilon$  – poziome odkształcenie [mm/m],  $u$  – przemieszczenie poziome [m] [3]

zacja oparta jest tylko na 3. wskaźnikach deformacji terenu, nieuwzględniającego najbardziej intuicyjnego wskaźnika, jakim jest obniżenie terenu ( $w$ ).

Oceniając wpływ deformacji górniczych na zmiany nośności podłoża gruntowego i warstw nawierzchni, za najbardziej istotny wskaźnik deformacji terenu uznaje się odkształcenie poziome ( $\varepsilon$ ) (1) [1].

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l^p} \quad (1)$$

gdzie:

$\varepsilon$  – odkształcenie poziome [mm/m]

$\Delta l$  – zmiana długości odcinka [mm]

$l^p$  – wyjściowa długość odcinka [m]

W obszarze wypukłego zbocza niecki (rys. 1) odkształcenia poziome powodują rozluźnienie gruntu ( $\varepsilon > 0$ ), co prowadzi do osłabienia ośrodka gruntowego [1]. W tym przypadku mówi się o tzw. odkształceniach rozluźniających [5]. W obszarze wklęsłego zbocza niecki (rys. 1), odkształcenia poziome powodują zagęszczenie gruntu ( $\varepsilon < 0$ ), co może prowadzić do podniesienia nośności ośrodka gruntowego. W tym przypadku mówi się o tzw. odkształceniach dogęszczających [5].

W artykule przedstawiono charakterystyczne skutki eksploatacji górniczej na podstawie prowadzonych wieloletnich obserwacji terenowych. Przedstawione przykłady prezentują deformacje ciągłe oraz deformacje nieciągłe.

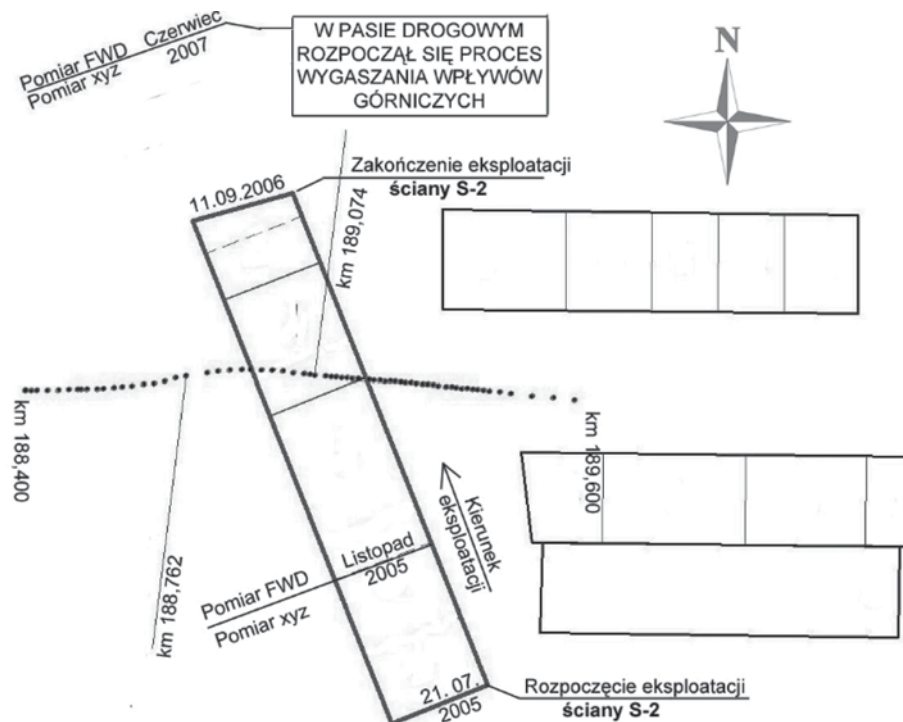
## Wpływ deformacji ciągłych na odwodnienie drogi oraz nośność nawierzchni

Pierwszy omawiany przypadek dotyczy odcinka drogi użytkowanej w terenie zabudowanym o przekroju po-

przecznym  $2 \times 2$ . Prezentowane wyniki badań dotyczą zmiany ugięć nawierzchni jezdni północnej. Wyniki badań jezdni południowej były już przedmiotem publikacji [3, 4]. Nawierzchnia jezdni południowej była wykonywana w całości, zaś opisywana w artykule nawierzchnia jezdni północnej stanowi poszerzenie istniejącej wcześniej nawierzchni – do 2 pasów ruchu. Szerokość poszerzenia zewnętrznego pasa ruchu jest zmienna i wynosi średnio 1,50 m. Konstrukcja poszerzenia została dostosowana do sztywności istniejących warstw nawierzchni jezdni północnej, która charakteryzuje się układem warstw składającym się z pakietu mineralno-asfaltowego średnio 22 cm, pakietu warstw wykonanych z niezwiązanej mieszanki średnio 70 cm. Podłoże gruntowe zbudowane jest z gruntów spoistych w stanie twar doplastycznym lub plastycznym. Warto podkreślić, że konstrukcja nawierzchni istniejącego wcześniej fragmentu jezdni północnej, została wzmocniona poprzez częściowe usunięcie istniejących warstw i wbudowanie nowych warstw: wiążącej i ścieralnej.

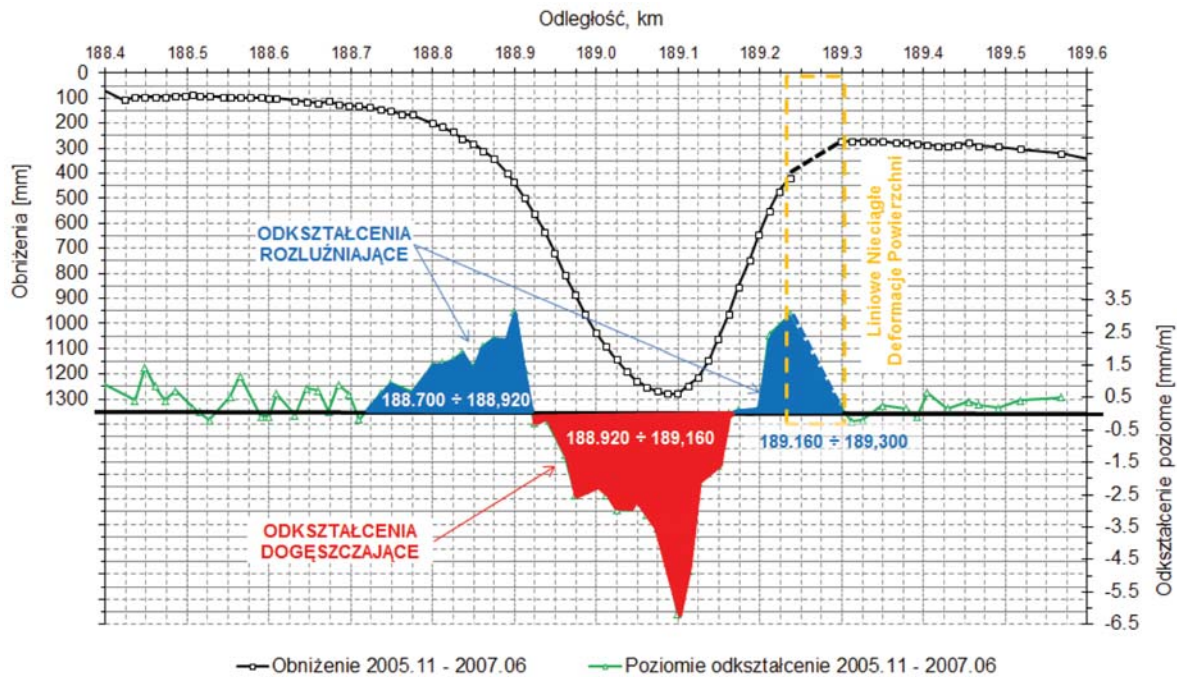
Eksploatacja górnicza, której wpływ obserwowano na powierzchni terenu, spowodowała powstanie niecki obniżeniowej o maksymalnej głębokości ok. 1,20 m (rys. 4). Obniżeniom tym towarzyszyły poziome odkształcenia: dogęszczające III kategorii terenu górniczego w dolnej części niecki obniżeniowej oraz rozluźniające II kategorii terenu górniczego w wypukłym obszarze niecki. Na wschodniej części niecki obniżeniowej w obszarze odkształceń rozluźniających powstała strefa deformacji nieciągłych (km 189 + 225 ÷ km 189 + 300) (rys. 3), które wymusiły konieczność wykonywania napraw nawierzchni w okresie prowadzonych obserwacji. Obserwowane odkształcenia dogęszczające spowodowały wystąpienie charakterystycznych wypiętrzeń (rys. 5), zarówno na nawierzchni drogowej, jak i w obszarze krawężników. Tego typu wypiętrzenia często obserwowane są już po przekroczeniu poziomych odkształceń dogęszczających przekraczających wartość  $|2,5|$  mm/m. Ponadto, rozkład obniżień terenu spowodował zmianę kierunku przepływu wód opadowych w przydrożnych rowach. Zmiany te wymusiły odwrócenie kierunku przepływu wód opadowych względem lokalizacji przepustu drogowego (km 188 + 950), a to doprowadziło do powstania stref bezodpływowych i spiętrzenia wody w przydrożnym rowie (rys. 6).

Przeprowadzone pomiary ugięciemierzem FWD pozwalają na ocenę jednorodności ugięć nawierzchni przed obserwowanymi wpływami eksploatacji górniczej oraz na ocenę zmiany nośności nawierzchni po ujawnieniu się deformacji (rys. 7). Nawierzchnia już według pierwszego pomiaru (rok 2005) cechowała się niejednorodnym rozkładem ugięć, głównie z powodu stosunkowo niskich ugięć na odcinku 189 + 075 – 189 + 140. Należy zwrócić uwagę, że niejednorodny rozkład ugięć



Rys. 2. Przebieg obserwowanego odcinka drogi na tle eksploatowanej ściany S-2

Rys. 3.  
Deformacje  
nieciągłe  
km 189 + 225  
÷ 189 + 300



Rys. 4. Rozkład  
obniżen oraz  
poziomych  
odkształceń  
w obszarze niecki  
obniżeniowej

(a)



(b)



Rys. 5. Widok na  
odcinek km 189+  
070 ÷ 189+155:  
(a) sfrezowane  
wypiętrzenia na-  
wierzchni w strefie  
odkształceń  
dogęszczających,  
(b) wypiętrzenie  
krawężników  
w obszarze skrzy-  
żowania w km  
189+074

w roku 2005 wynika z wpływów eksploatacji górniczej dokonanej przed rokiem 2005. Zakres prac modernizacyjnych nie obejmował pełnej wymiany istniejących warstw nawierzchni, dlatego jej nośność była determinowana historycznymi wpływami górniczymi. Dodatkowym czynnikiem mogącym mieć wpływ na niejednorodny rozkład ugięć, może być grubość warstw nawierzchni. Przedstawione układy i grubość

warstw zostały określone na podstawie wykonanych kilku odwiertów, stanowiących punktową informację. Oceniając wpływ eksploatacji górniczej na nawierzchnię zaobserwowano, że nawierzchnia w obszarze odkształceń rozluźniających doznała znaczącej redukcji nośności, o czym świadczy wzrost ugięć nawierzchni (rys. 7 ÷ rys. 8). W obszarze rozluźnień (km 188+700 ÷ 188+920) obserwowany jest wzrost



Rys. 6. Spiętrzenie wody w rowie na odcinku ok. km 188+950 ÷ km 189+050

ugięć od 48% do 75% (rys. 8). Wzrost ugięć widoczny jest również w obszarze odkształceń dogęszczających (km 188+920 ÷ 189+160), przy czym w obszarze stojącej w rowie wody przyrost mieści się w zakresie 0÷18%, a w obszarze obserwowanych wypiętrzeń wynosi 39÷44%. Za przyczynę wzrostu ugięć w obszarze wypiętrzeń, a także po części na odcinku zastoiisk wodnych, należy uznać naruszenie strefy kontaktowej pomiędzy pakietem warstw asfaltowych, a ich podbudową. Prezentowane ugięcia nawierzchni na rysunkach 7 i 8 obliczono normalizując pomierzone ugięcia sprężyste do siły testowej 50 kN oraz do temperatury +20°C zgodnie z zależnością ustalającą wartość współczynnika  $f_t$  (2) [6].

$$f_t = 1 + 0,01 (20 - T) \quad (2)$$

gdzie:

$T$  – temperatura warstw mineralno-asfaltowych w trakcie pomiaru ugięć

Na rysunku 9 przedstawiono wartości miarodajnego wskaźnika ugięć, osobno dla strefy rozluźnień oraz strefy dogęszczeń, i osobno dla okresu przed ujawnieniem się wpływów eksploatacji górniczej i po nim.

Miarodajny wskaźnik ugięć  $U$  (3) obliczono zgodnie z zasadami określonymi w DSN [6], tj. zależnościami (3)–(4).

$$DST = D0 \left( \frac{50}{F} \right) f_t f_s f_p \quad (3)$$

gdzie:

$DST$  – ugięcie standaryzowane [ $\mu\text{m}$ ]

$D0$  – maksymalne ugięcie zarejestrowane [ $\mu\text{m}$ ]

$F$  – obciążenie zarejestrowane [kN]

$f_t$  – współczynnik temperaturowy według zależności (2)

$f_s$  – współczynnik sezonowości, wg [4]

$f_p$  – współczynnik podbudowy, wg [4]

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n U_{si}}{n} + Du \quad (4)$$

gdzie:

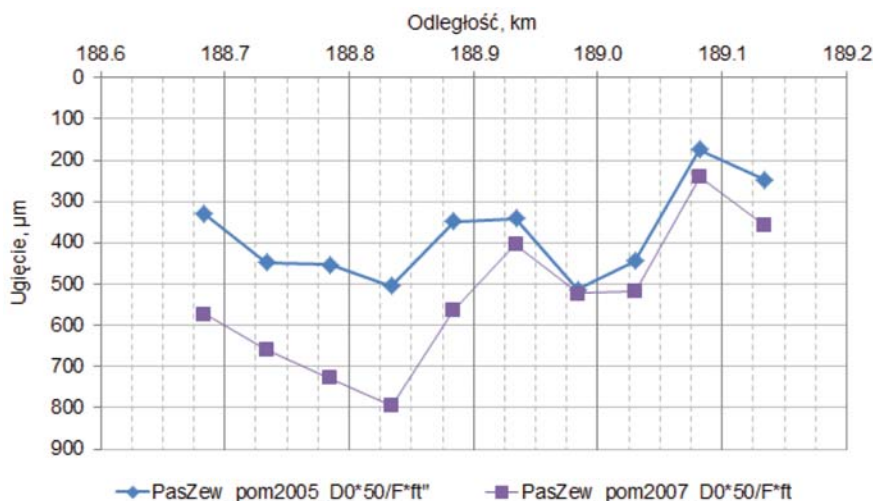
$U$  – miarodajny wskaźnik ugięć

$U_{si}$  – standaryzowana wartość pojedynczego pomiaru ugięcia w punkcie centralnym;  $U_s = DST$ ,  $DST$  wg zależności (3)

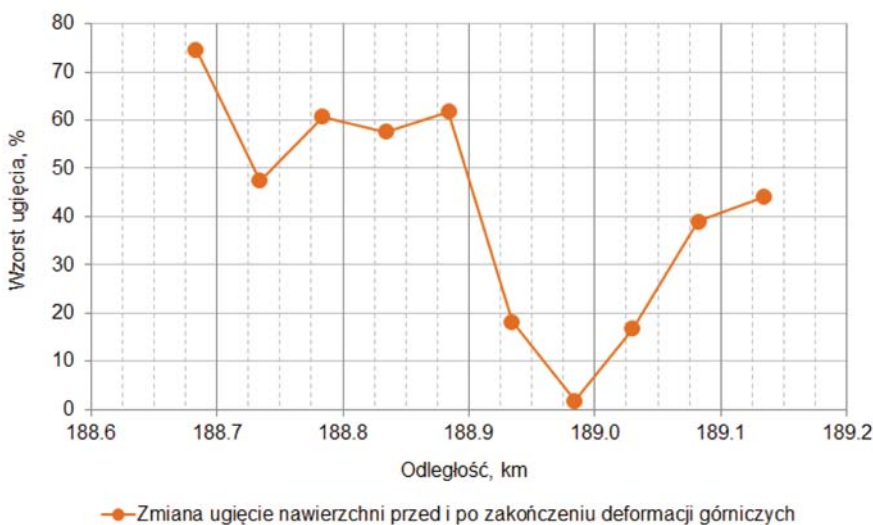
$n$  – liczba ugięć standaryzowanych na odcinku

$Du$  – odchylenie standardowe standaryzowanych wartości pojedynczych pomiarów ugięć na odcinku

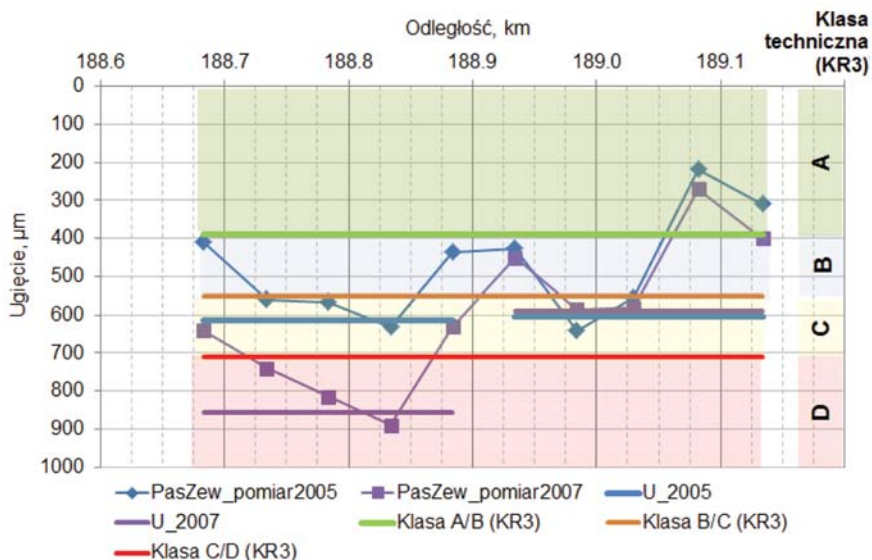
Miarodajne wartości wskaźnika ugięć ( $U$ ) (rys. 9), wskazują na redukcję nośności nawierzchni w obszarze odkształceń rozluźniających z klasy C do klasy D, co jest



Rys. 7. Rozkład standaryzowanych ugięć do siły testowej 50 kN oraz temperatury +20°C



Rys. 8. Zmiana ugięć nawierzchni w okresie przed i po zakończeniu deformacji terenu



Rys. 9. Rozkład standaryzowanych ugięć nawierzchni (3) oraz miarodajnego wskaźnika ugięć



Rys. 10. Spękania nawierzchni powstałe w prawym śladzie koła w obszarze odkształceń rozluźniających

potwierdzeniem, że eksploatacja górnicza stanowi dodatkowy czynnik wpływający na degradację stanu technicznego nawierzchni. Konsekwencją odkształceń rozluźniających jest wzrost ugięć i powstanie spękań, obserwowanych już na powierzchni warstwy ścieralnej (rys. 10). W tym przypadku należy podkreślić związek pomiędzy przyczyną, tj. eksploatacją górniczną jednej ściany, a skutkiem, tj. spękaniami nawierzchni. Tak znaczące pogorszenie stanu nawierzchni wystąpiło w konstrukcji niezabezpieczonej na wpływy górnicze, tj. nieposiadającej geomateraca.

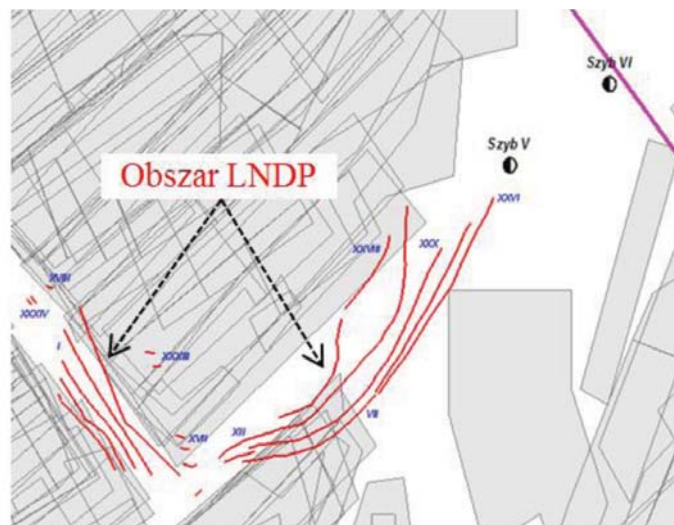
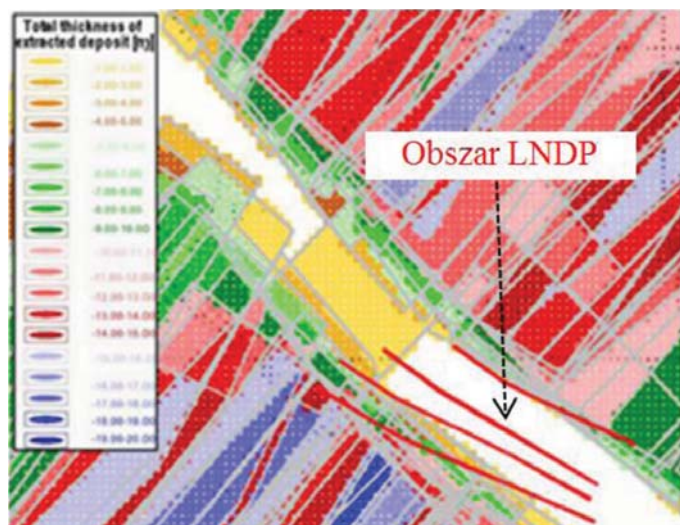
### Wpływ deformacji nieciągłych na zmianę ukształtowania nawierzchni

Szczególnym przypadkiem deformacji górniczych obserwowanych na powierzchni terenu są deformacje nieciągłe

zaliczane do tzw. Liniowych Nieciągłych Deformacji Powierzchni (LNDP) [7]. LNDP powstają na wskutek nakładających się w jednej płaszczyźnie krawędzi ścian eksploatacyjnych na różnych głębokościach (rys. 11) [7, 8].

Tego typu deformacje nieciągłe wystąpiły w pasie drogowym jednej z obwodnic na terenie Górnego Śląska. Odcinek ten jest aktualnie obserwowany w zakresie zmian jego geometrii oraz wpływu deformacji górniczych na zmianę nośności nawierzchni. Charakterystykę zakresu występowania LNDP i szczegółowego opisu samych pęknięć przedstawiają rysunki 12÷15.

Wykonany pomiar równości podłużnej profilografem laserowym pozwolił na określenie rozkładu wskaźnika IRI (rys. 16). Wyniki typowej analizy, obejmującej określenie wskaźnika na odcinku o długości 50 m, pozwoliły zlokalizować obszar nieciągłości od km 1 + 110 do km 1 + 210 (rys. 16).



Rys. 11. Przykładowe lokalizacja LNDP na tle zrzutowych krawędzi ścian eksploatacyjnych [7, 8]

Rys. 12. Zakres występowania LNDP (Liniiowych Nieciągłych Deformacji Powierzchni)

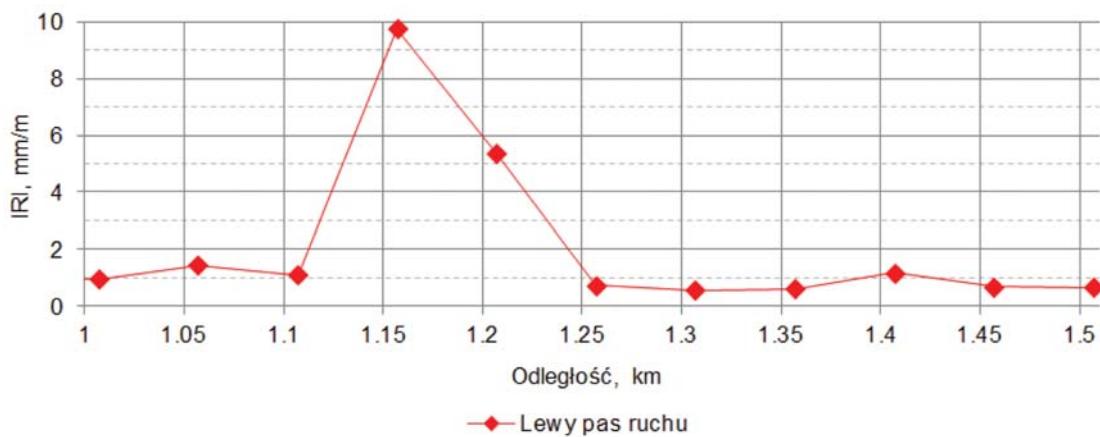


Rys. 13. Rozkład pęknięć nawierzchni w obszarze LNDP, w widoku z góry



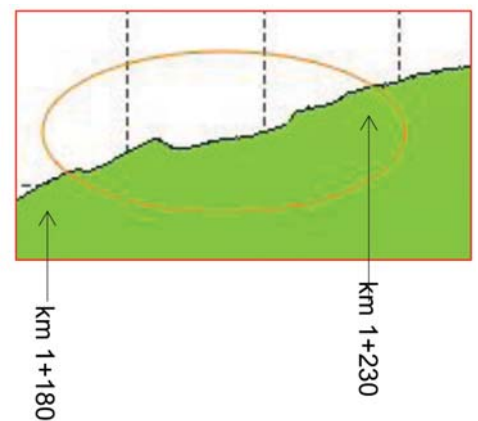
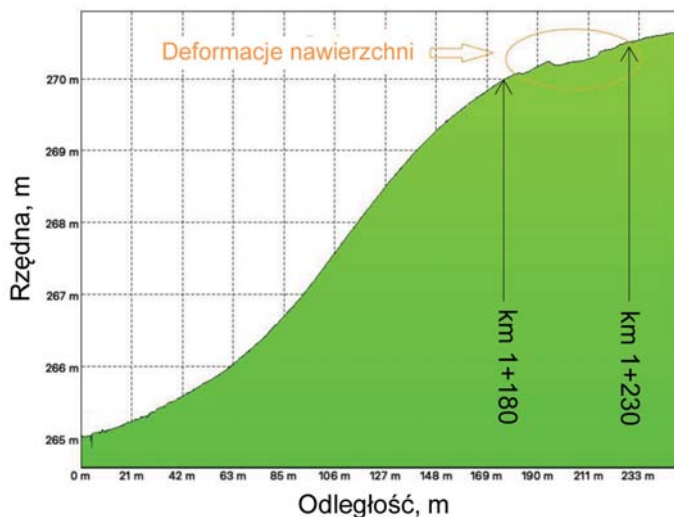
Rys. 14. Widok zdeformowanej nawierzchni w strefie LNDP

Rys. 15. Szczegół przykładowego uszkodzenia nawierzchni w strefie LNDP (km 1+216)



Rys. 16. Rozkład wskaźnika IRI wzdłuż obserwowanego odcinka drogi

Rys. 17. Profil podłużny wzdłuż obserwowanego pasa jezdni na podstawie pomiarów BSP



Jeszcze bardziej szczegółową analizę rozkładu nierówności nawierzchni przeprowadzono wykorzystując wyniki niskopułapowej fotogrametrii z wykorzystaniem bezzałogowego statku powietrznego (BSP). Już rozkład rzędnych wysokościowych pozwolił na wyznaczenie odcinka o zdeformowanej niwelecie (rys. 17). Dodatkowa analiza rozkładu krzywizny powierzchni na odcinku o maksymalnej długo-

ści 10 m, pozwoliła na uszczegółowienie zakresu odcinka o istotnych nierównościach. Zgodnie z metodyką opisaną w pracy [9], najbardziej znaczące deformacje nawierzchni występują na odcinku o długości 65 m, tj. od km 1+181 do km 1+231, co zawęża obszar ustalony na podstawie standardowej procedury oznaczania wskaźnika IRI z długości 100 m do 65 m.

## Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań i obserwacji terenowych pozwalają zwrócić uwagę na charakterystyczne negatywne skutki oddziaływania eksploatacji górniczej na pas drogowy, w tym na nawierzchnię.

Deformacjom górnicyz zawsze towarzyszy zmiana geometrycznych parametrów drogi. Zmiany te mogą stanowić zagrożenie dla sprawności odwodnienia powierzchniowego. W przypadku odwrócenia kierunku pochyłeń mogą występować zastoiska wody. O ile zastoiska wody w przydrożnych rowach i wynikający z tego wzrost wilgotności podłoża może stanowić zagrożenie dla trwałości nawierzchni, o tyle zastoiska wody na powierzchni nawierzchni mogą stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa użytkowników drogi, zwłaszcza w przypadku dróg wyższych klas. Oczywistym zagrożeniem dla bezpieczeństwa użytkowników drogi są również deformacje nieciągłe, jeżeli oprócz spękań występują także stopnie terenowe. Liniowe nieciągłe deformacje powierzchni (LNDP) występują na stosunkowo krótkim odcinku, w analizowanym przypadku była to długość 65 m.

Odrębnym problemem dotyczącym dróg na terenach górniczych są zagadnienia związane z nośnością nawierzchni wyrażoną wartością ugięć. W przypadku nawierzchni niezabezpieczonych na wpływy górnicze II kategorii terenu górnicyz, wzrost ugięć po wystąpieniu górnicyz deformacji rozluźniających, może sięgać nawet ok. 70%, a przeciętnie 60%. W przypadku odkształceń dogęszczających, wzrost ugięć jest zdecydowanie niższy i mieści się w zakresie od 0% do 44%, przy czym wzrost ugięć powyżej 18%, występował tylko w obszarze sfałdowań, w którym została naruszona strefa kontaktowa pomiędzy pakietem warstw asfaltowych, a podbudową. Niekorzystny wzrost ugięć nawierzchni można zminimalizować, stosując rozwiązania z zakresu profilak-

tyki budowlanej w postaci geomateracy i warstw odprężających z mieszanek niezwiązanych, wykonanych z mieszanek o niższych parametrach wzajemnego klinowania się ziaren kruszywa. Bez wątpliwości, utrzymanie dróg kołowych funkcjonujących w warunkach górnicyz deformacji wymaga dodatkowego doświadczenia, ze względu na zapewnienie bezpieczeństwa użytkowników drogi w trakcie/po ujawnieniu się deformacji górnicyz, jak również minimalizację napraw nawierzchni ze względu na pojawiające się uszkodzenia nawierzchni.

## Bibliografia

- [1] Kwiatek J. Praca zbiorowa: *Ochrona obiektów budowlanych na terenach górnicyz*, Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnicyz, Katowice, 1997
- [2] Popiołek E., *Ochrona terenów górnicyz*. Kraków: Wydawnictwa AGH, 2009
- [3] Grygierek M., *Zmienność modułów sprężystości niezwiązanych warstw nawierzchni drogowej w warunkach górnicyz odkształceń rozluźniających*. Drogi i Mosty 2010 R. 9 nr 2, s. 17-30
- [4] Grygierek M., *Problematyka funkcjonowania dróg na terenach górnicyz*. Magazyn Autostrady 2018 nr 1/2
- [5] Kłosek K., *Wybrane problemy geotechniczne terenów górnicyz*. Prace naukowe Głównego Instytutu Górnicyz nr V/2007.
- [6] Diagnostyka Stanu Nawierzchni i wybranych elementów korpusu drogi. Zarządzenie nr 21 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dn. 17 czerwca 2019.
- [7] Kowalski A., *Deformacje powierzchni w Górnicyz Zagłębiu Węglowym*. Katowice: Główny Instytut Górnicyz, 2015
- [8] Strzałkowski P., Ścigala R., Szafuła K., Kruczkowski M., *Linear discontinuous deformations in the light of investigations performed with ERT method*, E3S Web of Conferences, AG 2018 - 4th International Conference on Applied Geophysics, vol. 66, 01006, 2018. doi.org/10.1051/e3sconf/20186601006
- [9] Wróblewska M., Grygierek M., *Assessment of Visual Representation Methods of Linear Discontinuous Deformation Zones in the Right-of-Way*, Applied Sciences, vol. 12, no. 5, p. 2538, Feb. 2022, doi: 10.3390/app12052538

## 68. Krynicka Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB Gliwice, 24-28 września 2023 r.



Konferencja Krynicka 2023



Wydział Budownictwa  
Politechniki Śląskiej

Tradycyjnie konferencja składać się będzie z dwóch części: problemowej i ogólnej. Myślą przewodnią części problemowej 68. edycji konferencji będą **Wyzwania budownictwa na terenach górnicyz, pogórnicyz i zdegradowanych**.

To szeroki temat, obejmujący nie tylko zagadnienia projektowania i wykonawstwa budynków i budowli w takich warunkach, ale także zagrożenia wynikające ze specyfiki terenów przemysłowych lub zdegradowanych w wyniku sposobu ich użytkowania oraz sposoby i możliwości efektywnego i bezpiecznego sposobu ich wykorzystania.

Przedmiotem części ogólnej konferencji będą następujące problemy naukowe:

Budownictwo hydrotechniczne • Budownictwo ogólne • Fizyka budowli • Geotechnika • Inżynieria materiałów budowlanych • Inżynieria przedsięwzięć budowlanych • Inżynieria komunikacyjna: drogi, koleje, mosty • Inżynieria środowiska • Konstrukcje betonowe • Konstrukcje metalowe • Mechanika konstrukcji i materiałów • Niezawodność konstrukcji

Biuro Konferencji: mgr inż. Marzena Gaura, mgr Małgorzata Lach – Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

<https://www.polsl.pl/rb/krynica-gliwice-2023>, e-mail: [konferencjakrynica2023@polsl.pl](mailto:konferencjakrynica2023@polsl.pl)

