

Podtorze kolejowe w warunkach wpływu deformacji górniczych i pogórniczych

Kazimierz Kłosek

W pracy przedstawiono wybrane problemy projektowania, budowy i utrzymania podtorza linii kolejowych AGC/AGTC na terenach objętych działalnością górniczą. Wskazano na odmienną współpracę nawierzchni i podtorza górniczego, co będzie wymagało zastosowania w pracach modernizacyjnych właściwej profilaktyki górniczo-budowlanej. Przedstawiono przykłady awarii infrastruktury kolejowej powstałych wskutek mobilizacji deformacji ciągłych jak i nie ciągłych terenu górniczego.



prof.
Kazimierz Kłosek
Politechnika Śląska
w Gliwicach

Wstęp

Infrastruktura transportu kolejowego na terenie Polski może często kolidować z obszarami górniczymi, których ogólna liczba jest obecnie szacowana na poziomie 3200, z czego jedynie około połowa to obszary czynne produkcyjnie. Nie dotyczy to zarazem wyłącznie obszarów wydobywania węgla kamiennego, lecz wszelkiego rodzaju surowców i kopalni wydobywanych metodami powierzchniowymi (np. węgiel brunatny, kruszywa skalne i budowlane, itp.) lub wgłębnymi (np. rudy metali, gaz, ropa, wody mineralne, termalne itp.). Obszar górniczy jest tu definiowany jako przestrzeń, w granicach której przedsiębiorca jest uprawniony do wydobywania kopaliny objętej koncesją.

Wydobycie większości kopalni pociąga za sobą powstawanie na powierzchni terenu określonych szkód, które przenoszą się na zlokalizowane tam obiekty infrastruktury powodując określone problemy w jej budowie i utrzymaniu. Sprawą istotną staje się tu zatem ochrona terenów górniczych, rozumiana jako całokształt zagadnień dotyczących minimalizacji wpływów obecnej i dawno już zakończonej działalności górniczej na zabudowę, zagospodarowanie i środowisko przyrodnicze.

Szczególne problemy towarzyszą tu z reguły koncentracji podziemnej eksploatacji węgla kamiennego na wybranych obszarach co sprawia, że wpływ działalności zakładów górniczych w obrębie niektórych ważnych linii kolejowych (np. C-E65) na obszarze Górnego Śląska intensyfikuje problemy związane z występowaniem szkód górniczych.

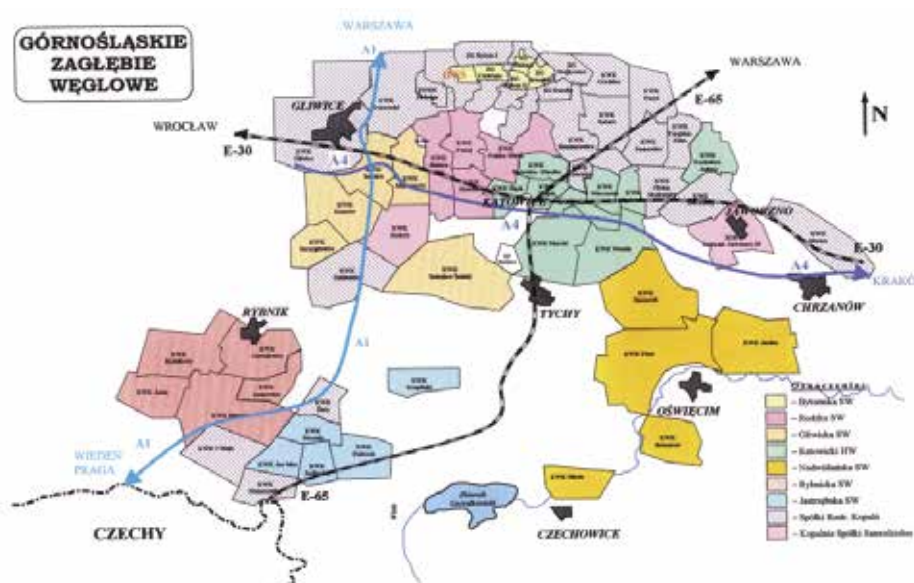
Linie o znaczeniu podstawowym były zabezpieczane pozostawionym w górotworze złożem w granicach tzw. filarów ochronnych [3]. Złoża te są jednakże w chwili obecnej przedmiotem eksploatacji, co wynika z ich dużej dostępności i faktu powolnego wyczerpywania się złóż łatwiejszych do pozyskania. Zdecydowana część wydobycia jest obecnie realizowana technologią zawałową co przejawia się na powierzchni terenu znacząco deformacją zlokalizowanych tam obiektów, w tym również infrastruktury transportowej kolei. Współistnienie działalności górniczej w powiązaniu z koniecznością utrzymania ciągłości i bezpieczeństwa ruchu na powierzchni stanowi duże wyzwanie techniczne, technologiczne jak i organizacyjne. Koegzystencja górnictwa i budownictwa drogowo-kolejowego jest związana z ich wzajemną lokalizacją, co ilustruje Rys. 1.

Zasadniczą sprawą w zakresie analiz technicznych jest przedstawienie rozwiązań teoretycznych [1,2] oraz konstrukcyjno-materiałowych umożliwiających normalną eksploatację linii kolejowych w warunkach intensywnej działalności górniczej kopalń węgla kamiennego. Zadaniem pośrednim jest dostarczanie danych w zakresie szacowa-

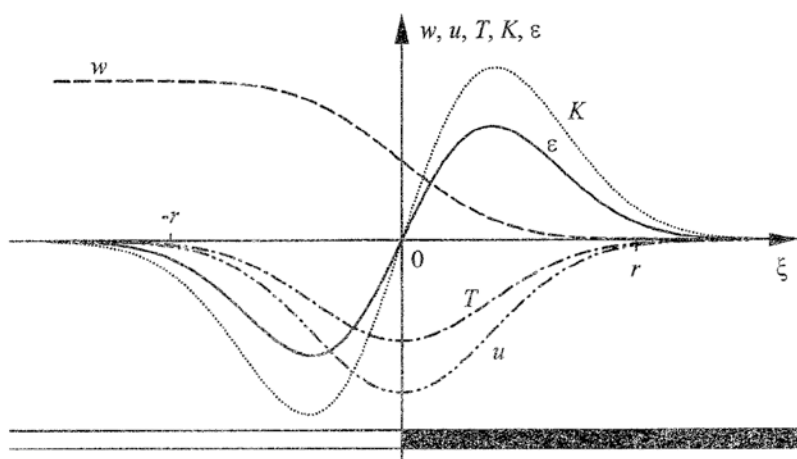
wania kosztów modernizacji lub budowy linii kolejowych z wykorzystaniem adekwatnych rozwiązań technicznych gwarantujących ciągłość ruchu. Jest on z reguły możliwy przy stałych ograniczeniach prędkości w granicach 30-50km/h, niezależnie od parametrów geometrycznych nawierzchni opisywanych wskaźnikami J lub W5. Mogą one bowiem sugerować nie miarodajną ocenę linii jak i znacznie zawyżony stan nośności (stateczności) podtorza górniczego, która nie zezwala na podwyższenie prędkości drogowej. Specyfika tych zjawisk jest całkowicie odmienna od zjawisk rejestrowanych na terenach nie górniczych, co stanowi zasadniczy element poznawczy zawarty w pracy.

Istota szkód górniczych

Dla kolejowych obiektów liniowych jak i punktowych zlokalizowanych na terenach górniczych na bazie opinii Okręgowego Urzędu Górniczego (OUG) wykonuje się tzw. prognozy. Opinie OUG posiadają z reguły cechy standardowej prognozy przybliżonej, precyzującej wyłącznie ogólny charakter deformacji (ciągłe – nieciągłe), kategorie



1. Lokalizacja istniejących, głównych elementów układu transportowego na tle obszarów górniczych GOPu



Wskaźnik deformacji	Wartość ekstremalna	Miejsce występowania ekstremum
w	ag	$\xi \rightarrow -\infty$ praktycznie $\xi < -r$
T	$\frac{ag}{r}$	$\xi = 0$
K	$\pm 1,5 \frac{ag}{r^2}$	$\xi = \pm 0,4r$
u	0,4ag	$\xi = 0$
ε	$\pm 0,6 \frac{ag}{r}$	$\pm 0,4r$

2. Parametry deformacji w strefie krawędziowej górniczej niecki obniżeniowej [3]

Kategoria	Nachylenie T mm/m ^{*)}	Promień R krzywizny km	Odształcenie poziome ε mm/m ^{*)}
0	$T \leq 0,5$	$40 \leq R $	$ \epsilon \leq 0,3$
I	$0,5 < T \leq 2,5$	$20 \leq R < 40$	$0,3 < \epsilon \leq 1,5$
II	$2,5 < T \leq 5$	$12 \leq R < 20$	$1,5 < \epsilon \leq 3$
III	$5 < T \leq 10$	$6 \leq R < 12$	$3 < \epsilon \leq 6$
IV	$10 < T \leq 15$	$4 \leq R < 6$	$6 < \epsilon \leq 9$
V	$15 < T$	$ R < 4$	$9 < \epsilon $

3. Kategorie terenu górniczego opisujące ciągłe deformacje powierzchni

terenu górniczego oraz docelowe obniżenia terenu, i jako takie nie powinny być wykorzystywane dla celów projektowych lub utrzymaniowych. Wymagają one dalszych uściśleń w ramach opinii podstawowej, która dla szczególnie odpowiedzialnych obiektów jest dodatkowo poszerzana w ramach prognozy szczegółowej.

Podstawowym, prognozowanym parametrem deformacji ciągłych linii są jej obniżenia, ich wielkość i przestrzenny rozkład, gdyż wpływają one w zasadniczym stopniu na profil linii i związane z nim parametry eksploatacyjne. Obecnie standardowo obniżenia terenu górniczego oblicza się numerycznie na podstawie założeń teorii Budryka

-Knothe'go :

$$w_k(x, y, ag, r, S(t)) = \iint_{S(t)} \frac{-ag}{r^2} \exp\left\{-\pi \left[\frac{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}{r^2} \right]\right\} dS \quad (2.1)$$

gdzie :

r – promień rozproszenia wpływów wyznaczony z pomiarów lub obliczony ze wzoru :

$$r = h(\xi, \eta) / \text{tg}\beta \quad (2.2)$$

x,y – współrzędne punktu obliczeniowego, S(t) – powierzchnia wyeksploatowanego pokładu,

ξ, η – współrzędne elementu powierzchni dS,

ag=W_{max} – maksymalne obniżenie punktu

tu obliczeniowego, które wystąpi gdy powierzchnia wybrana S wokół punktu obliczeniowego będzie dostatecznie duża.

Składowe poziome U_x, U_y wektora przemieszczeń w chwili t obliczane są zgodnie z wzorami:

$$U_x(t) = -B \frac{\partial w(t)}{\partial x}, \quad U_y(t) = -B \frac{\partial w(t)}{\partial y} \quad (2.3)$$

Do obliczeń przyjmuje się parametry teorii Budryka-Knothe'go wynikające z doświadczeń czynnych kopalń o zbliżonych warunkach geologiczno-górnich. Ich średnie wartości wynoszą:

a = 0,8 współczynnik wpływu dla zawałowego sposobu eksploatacji,

tgβ = 2 – 2,5; kąt zasięgu wpływów głównych, przy czym r = H/tgβ,

B = 0,32r najczęściej akceptowana przez specjalistów zależność.

Pochodną przemieszczeń U są poziome odkształcenia jednostkowe ε, uznawane za podstawowy parametr opisujący zmienność cech mechanicznych oraz wytrzymałościowych podtorza. Do istotnych zmian implikowanych tym odkształceniem zalicza się redukcję wytrzymałości gruntu poddanego górnictwu 'rozpełnianiu' jak i redukcję modułu sztywności podłoża rusztu torowego. Zmienność tych parametrów oraz ich wartości ekstremalne przedstawiono na Rys.2.

W świetle dotychczasowych doświadczeń dla liniowych obiektów kolejowych przyjmuje się za dopuszczalną granicznie II kategorię terenu górniczego o deformacjach ciągłych (Rys.3). Nie wymaga ona w praktyce dodatkowych zabezpieczeń konstrukcyjnych nawierzchni oraz podtorza. Sprawą kluczową pozostaje w tych warunkach zwykle problem zapewnienia odpowiednich luzów w stykach, zwłaszcza w przypadku mobilizacji poziomych odkształceń zagęszczających podtorza górniczego. Ich superpozycja z odkształceniami termicznymi może prowadzić w klasycznej konstrukcji nawierzchni do wyboczenia, co ilustruje Rys.7.

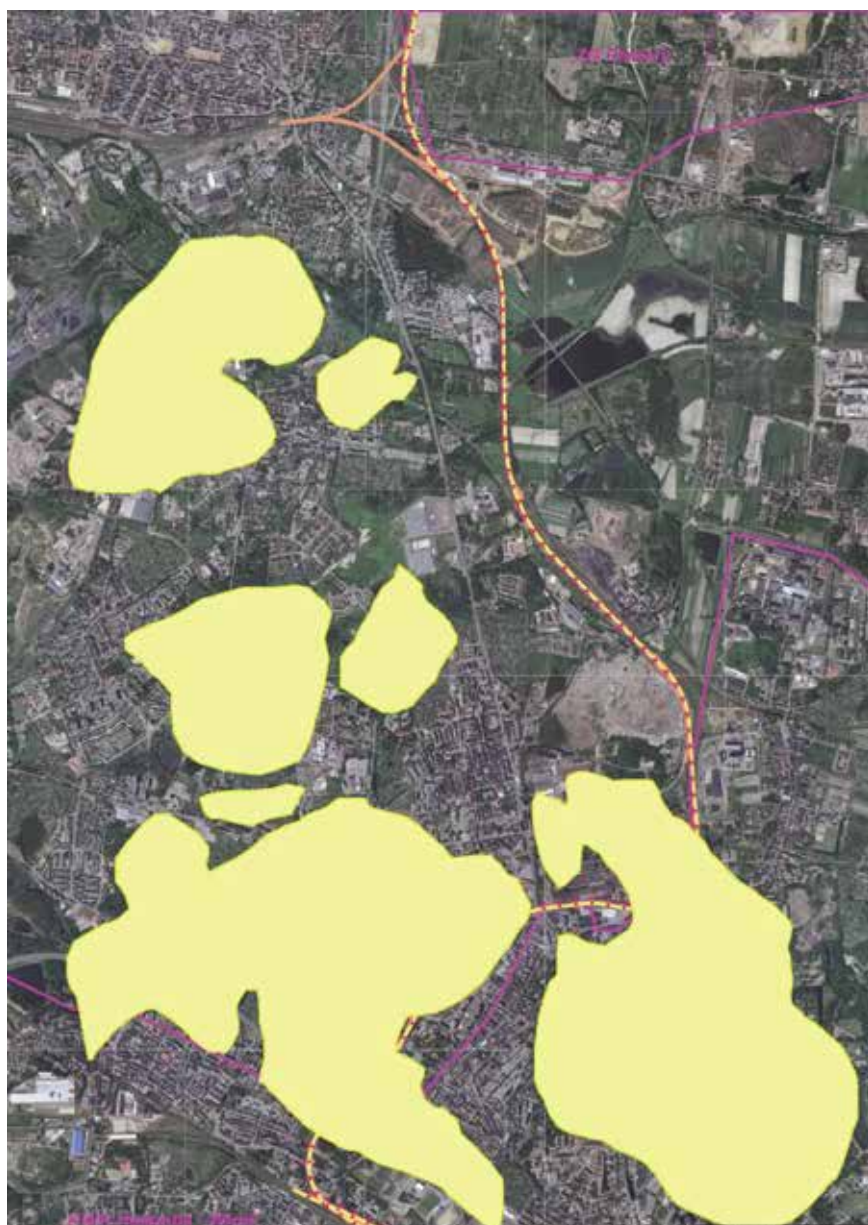
Deformacje nieciągłe podtorza

Oprócz deformacji ciągłych w podtorzu mogą się pojawić wpływy deformacji nieciągłych, których wystąpienie ma z reguły charakter nagły i niespodziewany.

W ocenie pogórnich wpływów eksploatacji na powierzchnię stosuje się różne skale oceny zagrożenia. Jedną z takich skal opracowaną dla potrzeb budowlanego zagospodarowania powierzchni terenów

Tablica 1. Kategorie terenu górniczego zlikwidowanych kopalń ze względu na ograniczenia w wykorzystaniu dla celów budowlanych

1	2	3	4	5	
Kategoria	Stopień przekształcenia poeksploatacyjnego (Kategoria)	Ograniczenia w budowlanym wykorzystaniu	Zagrożenia	Uwagi	
A	Mało Przekształcony (A)	Teren przydatny (przy występowaniu gruntów nośnych i zaleganiu zwierciadła wody poniżej 2 m)	Praktycznie nie występują	Dla wykluczenia drobnych uszkodzeń elementów wykończeniowych i architektonicznych zaleca się rozważyć potrzebę wzmocnienia konstrukcji obiektu	
B ₁	Przekształcony (B1 / B2 / B3)	Teren przydatny warunkowo	Deformacje ciągłe przy obniżeniach niepowodujących podtopień	Po 5 latach od zakończenia eksploatacji można teren zaliczyć do kategorii A	
B ₂			Deformacje nieciągłe o stopniu zagrożenia	małym B _{2,1} ¹⁾	W przypadku płytkiej eksploatacji podziemnej kopalni i otworowej siarki oraz obecności sztybów stwarzających zagrożenia zaliczone do stopni B _{2,1} , B _{2,2} , możliwe jest uzdatnienie terenu do zabudowy przez podsadzenie pustek lub zastosowanie specjalnych sposobów posadowienia obiektów budowlanych. W terenach o stopniu zagrożenia B _{2,3} , w zależności od analizy ryzyka należy rozważyć zaliczenie ich do kategorii C
				średnim B _{2,2} ²⁾	
B ₃	dużym B _{2,3} ³⁾				
C	Silnie Przekształcony (C)	Teren nieprzydatny	Gazowe	Zagrożenia czasowe	
			Zalewiska i podtopienia, rejon zagrożony powstaniem osuwisk oraz wielkopowierzchniowych lejów zapadliskowych (w tym np strefy bezpieczeństwa wyznaczone wokół niezlikwidowanych szybów)	Zaleca się wyłączyć z zabudowy rejon nie zlikwidowanych szybów, eksploatacji otworowej, pasy ochronne wyrobisk odkrywkowych, tereny hałd, zwałowisk zewnętrznych i wewnętrznych oraz strefy ochronne wokół nich. Wykorzystanie terenu w kierunku innym niż budowlany (tereny zielone, rekreacyjne itp.)	



4. Mapa powierzchni z lokalizacją płytkich eksploatacji złóż węgla kamiennego i rejonów występowania deformacji nieciągłych w obrębie przebiegu linii CE 65 na szlaku Katowice - Bytom

zlikwidowanych kopalń jest kategoryzacja przedstawiona w tablicy 1. Wprowadza ona trzy główne kategorie terenów pogórniczych uzależnione od stopnia poeksploatacyjnego przekształcenia środowiska geologicznego. Deformacjom nieciągłym powierzchni przypisano w tej skali kategorii B i C. Praktyczne zastosowanie tej kategoryzacji dla celów modernizacji jednej z linii kolejowych zaliczanych do układu AGTC polegało na przypisaniu większości jej odcinków do kategorii B. Została ona rozdzielona na podkategorie B₁, B₂ i B₃. Zagrożenia przypisane temu przebiegowi należały do podkategorii B₂. Przyjmując kryteria tej klasyfikacji wydzielono na mapie wpływów górniczych rejon zagrożenia deformacjami w obszarach płytkiej eksploatacji w zdecydowanej większości należy zaliczyć do kategorii B_{2,1} i B_{2,2} (tereny o małym i średnim zagrożeniu deformacjami pogórniczymi). Dla stwierdzonych warunków geologiczno-górniczych eksploatacji rud i węgla należy określić wymagany zakres i głębokość rozpoznania. W zależności od wyników kartowania geologicznego przeprowadzonego na odcinkach zagrożonych i dodatkowych analiz zalecono przeprowadzenie dalszych badań metodami geofizycznymi i wierceniami. Prawidłowe rozpoznanie podtorza ma w tym przypadku bardzo istotne znaczenie, gdyż zastosowanie błędnych zaleceń uzdatniających to podtorze w ramach tzw. profilaktyki budowlanej i górniczej może prowadzić do poważnych problemów w trakcie eksploatacji linii, co pokazuje opisany poniżej przypadek awarii.

Deformacje pogórnicze są głównie zagrożeniem dla bezpieczeństwa ruchu kolejowego. Szkody wywołane nimi dotąd



5. Lokalizacja linii kolejowej nr149 (C-E65) względem zasięgu deformacji nieciągłych



6. Lokalny uskok pod linią PKP nr 149 (zdj. archiwalne)



7. Przykład wyboczenia toru odstawczego boczniczy kopalnianej

w infrastrukturze kolejowej w większości przypadków były niewielkie z uwagi na znaczne ograniczenia prędkości ruchu pociągów. Biorąc jednak pod uwagę przewidywane znaczne zwiększenie prędkości pociągów na modernizowanych liniach, tereny zagrożone wystąpieniem deformacji pogórnich powinny zostać szczegółowo przebadane, zwłaszcza pod kątem

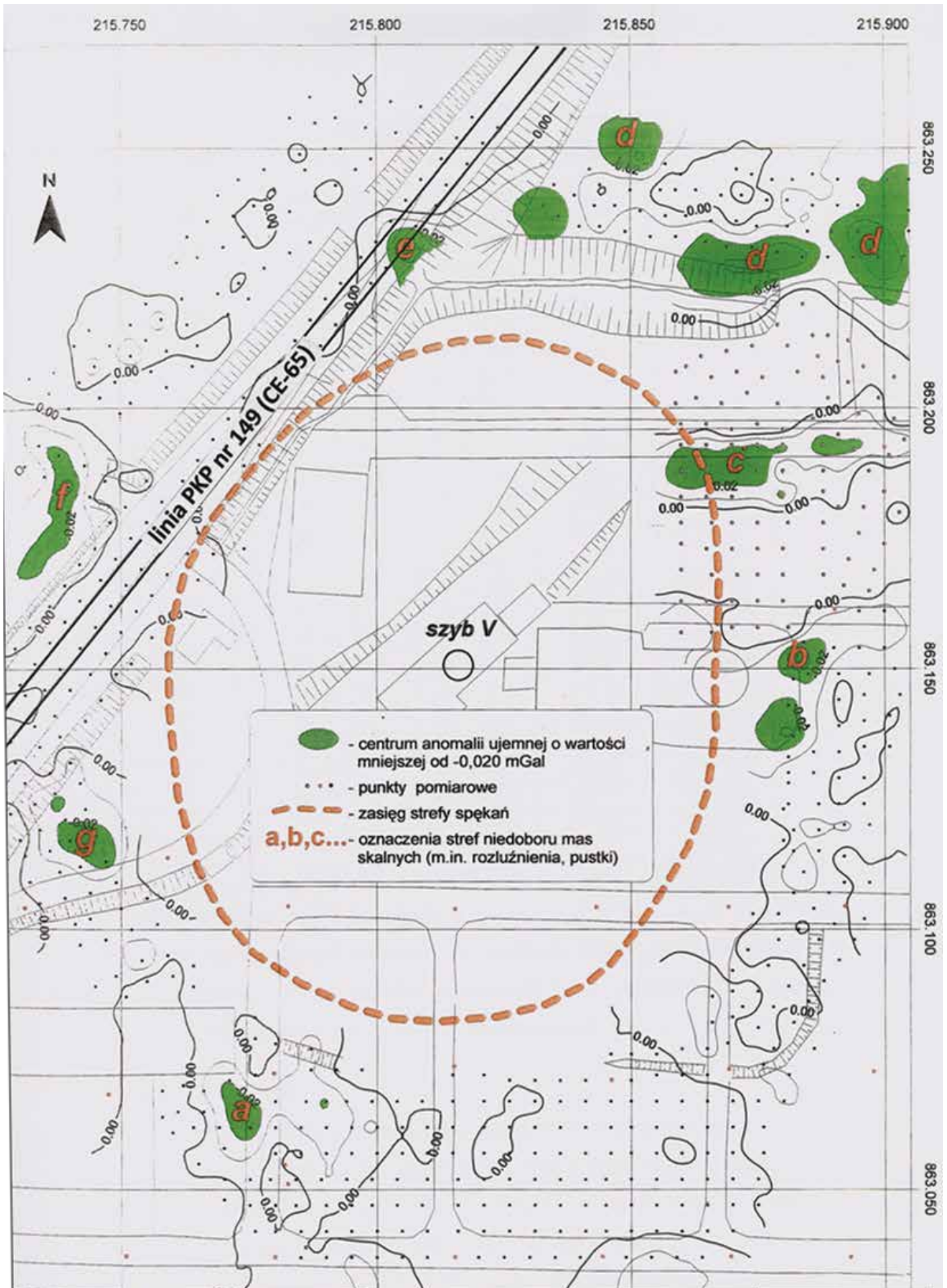
występowania pustek biorąc pod uwagę ich możliwą migrację do nadkładu i podtorza.

Przykład górniczych deformacji nieciągłych w rejonie podtorza

Przykładem deformacji nieciągłych w rejonie podtorza jednej z linii AGTC może być

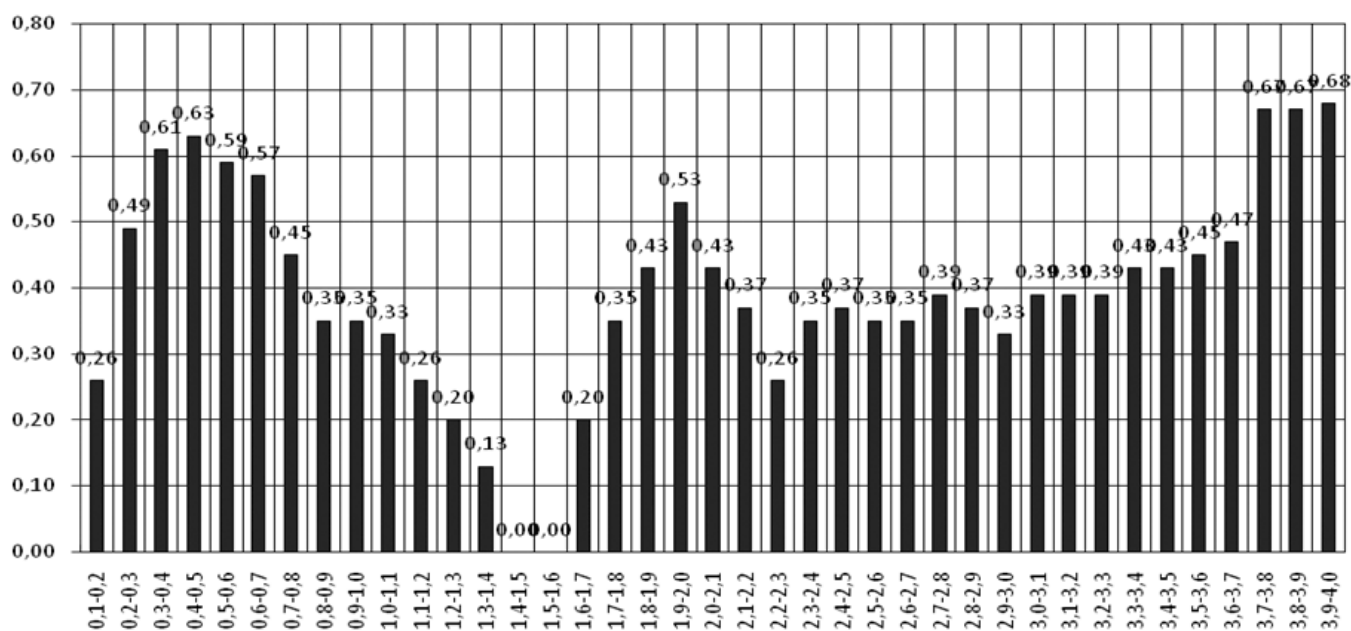
zapadlisko szybu, jakie zaistniało w odległości ~80-100m od dwutorowej linii kolejowej, nie powodując w jej układzie geometrycznym praktycznie żadnych mierzalnych skutków. Kontrolne pomiary i ocena stanu torów mogła by wskazywać na jego dobry stan. Istota zmian nośności podtorza została ujawniona głównie poprzez badania geotechniczne (sondowanie statyczne i CPTU), które ujawniły, że stan podtorza uległ w strefie brzegowej lokalnej niecki zapadliskowej znacznemu osłabieniu i w praktyce utraciło ono wymaganą nośność. Odształcenia rozluźniające powierzchni przekroczyły deformacje V kategorii i przekształciły się w serię głębokich spękań i szczelin granicznych bezpośrednio z krawędzią torowiska, co ilustruje Rys.5. Wcześniej rejestrowane w tym rejonie deformacje nieciągłe w formie uskoków przedstawiono na Rys.6. Pomiary stopnia zagęszczenia podtorza w obrębie lokalnego nasypu wykazały jego duże osłabienie, które z uwagi na stan gruntu określono po awarii jako luźny i średnio zagęszczony, podczas gdy przed awarią był to stan zagęszczony. Przykładowy wynik pomiaru ilustruje Rys.9. Minimalna wartość nośności ujawniona na głębokości ~1,3-1,5m poniżej powierzchni torowiska wskazuje na rozwój stref stanu granicznego nośności w tym obszarze. Jest to zgodne z wcześniejszymi ocenami teoretycznymi tego typu zjawisk w podtorzu górniczym [1,2]. Podjęcie ruchu w tych warunkach mogło by prowadzić w prostej konsekwencji do powstania osuwiska lub wgłębnego zapadliska względnie innej formy utraty stateczności. Linia została całkowicie wyłączona w ruchu, do czasu kompleksowej naprawy szkody.

Badania mikrograwimetryczne rejonu zapadliska i przyległej linii PKP wniosły szereg dodatkowych, istotnych informacji, aczkolwiek ich dokładność wymagała dalszego uszczegółowienia. Badania te umożliwiają bowiem rozpoznanie przypowierzchniowych warstw górotworu do głębokości ~20m pod kątem lokalizacji stref rozluźnienia gruntu, pustek itp., co może inicjować rozwój deformacji nieciągłych na powierzchni. Wykazano, że deformacje takie wystąpiły w bezpośrednim sąsiedztwie korpusu nasypu oraz nastawni co ilustruje Rys.5. Sieć pomiarowa obejmowała ogółem 560 punktów, dowiązanych do lokalnego punktu bazowego, powiązanego z punktem osnowy grawimetrycznej kraju (Żory) i punktami osnowy geodezyjnej. Rezultatem tych prac było ustalenie zasięgu ujemnych anomalii rezydualnych sił ciężkości oznaczonych literami 'a-g', przedstawionych zbiorczo na Rys.8. Anomalie te mogą wynikać zarówno z istnienia przypowierzchni-



8. Zasięg ujemnych anomalii rezydualnych sił ciężkości wg Griffina $0,020\text{mGal}$ w rejonie linii kolejowej i granicy zapadliska szybu

zagęszczenie w punkcie 2.2



9. Przykładowy wynik pomiaru zagęszczenia podtorza w rejonie zapadliska

niowych stref rozluźnień jak i za zmian litologii, np. wskutek wcześniejszych wpływów eksploatacji górniczej. Z uwagi na skalę zjawiska w rejonach anomalii 'a-g' uznano za uzasadnione 'ograniczenie przebywania i poruszania się osób. Wzmógł monitoring tego rejonu uwzględniając konieczność codziennych obserwacji stanu powierzchni terenu. Lokalizacja anomalii 'g-f-e-d' w bezpośrednim sąsiedztwie korpusu nasypu lub bliskości osi toru nakazywała bezwzględne zachowanie powyższych środków ostrożności. Aktualne pomiary potwierdziły wszystkie powyższe zagrożenia. Ekstremalny charakter powstałego zagrożenia wymagał nadzwyczajnych środków zaradczych związanych z zaślepieniem uszkodzonego szybu o głębokości ~650m, likwidacji leja zapadliskowego o średnicy ~100m i 15m głębokości a w końcowej fazie stabilizacji podtorza mającego w przyszłości spełniać wymogi linii AGTC o podwyższonej prędkości. Lokalizacja tej linii w rejonie dokonanej, jak i prognozowanej, intensywnej eksploatacji górniczej będzie wymagała dodatkowych zabiegów konstrukcyjnych podwyższających jej odporność na destrukcyjne oddziaływania górnicze. Koegzystencja górnictwa i budownictwa komunikacyjnego wymaga w tych warunkach szczególnego podejścia co jest realizowane w ramach tzw. postępowania ugodowego i zespołów porozumiewawczych. Sprawą pierwszoplanową jest zatem ciągły, odpowiednio zaprogramowany monitoring wszystkich obiektów infrastrukturalnych kolei zlokalizowanej w obrębie zagrożonym wystąpieniem de-

formacji nieciągłych. Do terenów tych należy zaliczać zwłaszcza tereny po-górnice tzw. eksploatacji archiwalnej, co wymaga dużego, interdyscyplinarnego zaplecza badawczego oraz specjalistów mogących ocenić realność tych zagrożeń i podać sposób skutecznego uzdatnienia podłoża.

Wnioski

Przedstawiona w pracy specyfika modernizacji i utrzymania oraz monitoringu linii kolejowych na terenach górniczych i po-górnice odbiega dość zasadniczo od ogólnych warunków technicznych określonych dla terenów nie górniczych (Id-3). Sytuacja ta nabiera szczególnego znaczenia w warunkach podejmowanych obecnie prac studialno-projektowych mających na celu podwyższenie standardów technicznych niektórych linii do poziomu określonego wymogami AGC/AGTC. Modernizacja tych linii, z uwagi na dokonaną jak i prognozowaną działalność górnictwa w rejonie wspomnianych linii kolejowych będzie zatem wymagała:

- szczegółowego rozpoznania warunków górnictwa-geologicznych oraz geotechnicznych dokonanej i prognozowanej działalności wydobywczej kopalni, zwłaszcza węgla kamiennego,
- właściwego doboru rozwiązań konstrukcyjnych nawierzchni i podtorza o podwyższonej odporności na oddziaływania ciągłe i nie ciągłe podtorza górnicego wraz z systemami monitoringu progno-

zowanych deformacji,

- odpowiedniej koordynacji czasowo-przestrzennej robót górniczych i rektyfikacji nawierzchni w warunkach podwyższonej prędkości,
- rozpatrzenia w wybranych przypadkach alternatywnych przebiegów dla nowych korytarzy kolejowych o podwyższonej prędkości co umożliwi szybsze wykazanie odpowiednich korzyści modernizacyjnych bez ponoszenia dodatkowych kosztów z tytułu profilaktyki górnictwa-budowlanej. ◀

Literatura

- [1] Kłosek K.: *Rail track in mining site areas*. International Seminar on 'Geotechnics in Pavement and Railway Design and Construction' ISSMandGE, Athens, (2004); p.233-238
- [2] Kłosek K. : *Highway and Rail Track Foundations In Mining Site Areas*. Proceedings of the Int. Symp. On 'Innovation & Sustainability of Structures – ISSS'2007; Shanghai Nov.28-30,2007. Printing-2008 by Southeast University Press, Nanjing, China, , vol2 p.856-863
- [3] Kwiatek J. : *Obiekty budowlane na terenach górniczych*. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2007
- [4] Rosikoń A.: *Budownictwo komunikacyjne na terenach objętych uszkodzeniami górnictwami*. Warszawa, WKiŁ 1979