

Wpływ eksploatacji górniczej na uszkodzenia nawierzchni drogowych i rurociągów – wybrane przykłady

Mining impact on damage to road pavements and pipelines – selected cases



Dr inż. Piotr Kalisz^{*)}



Dr inż. Magdalena Zięba^{*)}



Dr inż. Marcin Grygierek^{**)}

Treść: Podziemna eksploatacja górnicza powoduje na powierzchni terenu deformacje, które mogą negatywnie oddziaływać na drogi i rurociągi znajdujące się w obszarze ich wpływów. Zarówno drogi jak i rurociągi należą do tzw. obiektów liniowych, charakteryzujących się dużą wrażliwością na górnicze deformacje podłoża. Deformacje te wywołują dodatkowe obciążenia i przemieszczenia obiektów liniowych, które mogą powodować ich uszkodzenia. W artykule przedstawiono charakterystyczne uszkodzenia dróg i rurociągów zlokalizowanych na terenach górniczych. Przedstawiono skutki oddziaływania górniczych deformacji podłoża występujące w pasie drogowym, w szczególności na nawierzchni drogowej. Deformacje te prowadzą do pogorszenia równości podłużnej i poprzecznej dróg, powodując dyskomfort jazdy, a nawet mogą stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego. W artykule przedstawiono także skutki oddziaływania eksploatacji górniczej na rurociągi. Charakter uszkodzenia rurociągu zależy od rodzaju sieci, konstrukcji rurociągu i zastosowanego materiału do jego budowy, a także stanu technicznego, czy sposobu zabezpieczenia przed skutkami oddziaływania wpływów górniczych deformacji podłoża.

Abstract: Underground mining causes deformations on the surface of the land that may adversely affect roads and pipelines in the area of their influence. Both roads and pipelines belong to the so-called linear objects that are characterized by high sensitivity to mining ground deformations. These deformations cause additional loads and displacements of the linear objects that can contribute to their damage. The article presents the characteristic damage to roads and pipelines located in mining areas. The effects of underground mining extraction occurring in the roadway, particularly on the road pavement, caused by deformations of the subsoil, were presented. These deformations lead to the deterioration of longitudinal and transverse evenness of roads, causing driving discomfort, and may even pose a threat to road traffic safety. The article also presents the effects of mining extraction on pipelines. The nature of the pipeline damage depends on the type of network, pipeline structure and type of material used for its construction, as well as the technical condition or the method of protection against the effects of mining impact.

Słowa kluczowe:

teren górniczy, deformacje górnicze, droga, rurociąg, uszkodzenia

Key words:

mining area, mining deformations, road, pipeline, damage

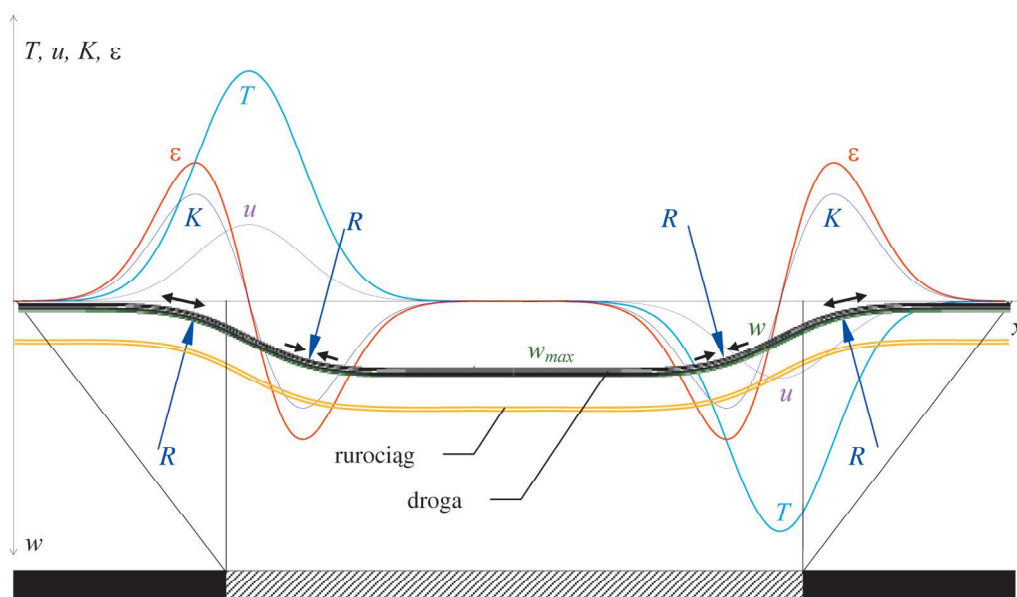
1. Wprowadzenie

Podziemna eksploatacja górnicza wywołuje na powierzchni terenu deformacje, które przyjmują formę deformacji ciągłych lub nieciągłych. W przypadku głębokiej eksploatacji górniczej na powierzchni terenu wystąpią deformacje ciągłe (rys. 1). Charakterystyczną cechą deformacji ciągłych jest zachowanie ciągłości przypowierzchniowej warstwy górotworu. Deformacje nieciągłe są zazwyczaj skutkiem płytkiej eksploatacji. Coraz częściej w obszarze wpływu głębokiej

eksploatacji obserwuje się również deformacje nieciągłe, które przyjmują najczęściej formę tzw. liniowych nieciągłych deformacji terenu (Kowalski 2015). Górnicze deformacje powierzchni mogą negatywnie oddziaływać na obiekty liniowe znajdujące się w obszarze ich wpływów (Grygierek, Kalisz 2018, Grygierek 2010, Kalisz, Zięba 2014, Zhang i in. 2015). Obiekty liniowe, do których zaliczamy drogi i rurociągi, charakteryzują się znacznym wymiarem długości w porównaniu z ich wymiarem szerokości. Obiekty te cechuje duża wrażliwość na górnicze deformacje podłoża, które wywołują ich dodatkowe obciążenia i przemieszczenia. Efektem mogą być uszkodzenia dróg i rurociągów.

^{*)} Główny Instytut Górnictwa, Katowice

^{**)} Politechnika Śląska, Gliwice



Rys. 1. Oddziaływanie górniczych deformacji powierzchni na obiekty liniowe: w – obniżenie, T – nachylenie, R – promień krzywizny K , ε – poziome odkształcenie, u – poziome przemieszczenie

Fig. 1. Impact of mining surface deformations on linear objects: w – subsidence, T – tilt, R – radius of curvature K , ε – horizontal strain, u – horizontal displacement

Artykuł dotyczy oddziaływania górniczych deformacji podłoża o charakterze ciągłym i nieciągłym na obiekty liniowe. Przedstawiono przykłady uszkodzeń dróg i rurociągów zlokalizowanych na terenach górniczych. Górnicze deformacje podłoża pogorszenie równości podłużnej i poprzecznej drogi oraz przyczyniają się do dyskomfortu jazdy, a nawet mogą stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego. Charakter uszkodzenia rurociągu zależy od rodzaju sieci, konstrukcji rurociągu i zastosowanego materiału do jego budowy, stanu technicznego oraz sposobu zabezpieczenia na wpływ górniczych deformacji podłoża.

2. Wpływ górniczych deformacji podłoża na drogi – wybrane przykłady

W rozdziale przedstawiono dwa przypadki wykształcenia się deformacji nieciągłych na drodze. Przykłady te dotyczą dwóch różnych odcinków tej samej drogi, dla której obciążenie ruchem kołowym określono jako średnie (KR4) (Judycycki i in. 2014).

2.1. Przypadek 1

Droga na tym odcinku charakteryzuje się przekrojem 1x2 (jedna jezdnia i dwa pasy ruchu) i znajduje się na wzniesieniu.

Nawierzchnia składa się z warstw mineralno-asfaltowych, poniżej których występuje warstwa podbudowy z żużla. Pod pasem drogowym jest prowadzona eksploatacja górnicza, której parcele eksploatacyjne przebiegają w kierunku zbliżonym do poprzecznego względem osi drogi (strona zachodnia) oraz w kierunku równoległym względem osi drogi (strona wschodnia). Krawędzie parceli eksploatacyjnych w kolejnych pokładach tworzą dwie charakterystyczne płaszczyzny, po obu stronach obszaru nieobjętego eksploatacją. Prowadzony pomiar obniżień wskazuje na charakterystyczne kształtowanie się niecki obniżeniowej nad krawędziami parceli eksploatacyjnych. Eksploatacja każdej kolejnej ściany będzie powodowała na analizowanym odcinku drogi powstawanie odkształceń rozciągających. Wyżej scharakteryzowane usytuowanie parceli eksploatacyjnych spowodowało wykształcenie się na powierzchni terenu stopni terenowych i towarzyszących im przemieszczeń poziomych (rys. 2 i rys. 3). Również w terenie przyległym do pasa drogowego są obserwowane deformacje nieciągłe (rys. 4). Deformacje w pasie drogowym pogorszyły równość podłużną nawierzchni, uniemożliwiając płynny przejazd prędkością 50 km/h, przewidzianą na tego typu klasie dróg. Warto jednak zauważyć, że wykonany pomiar ugięć nawierzchni w obrębie jednej z nieciągłości wskazuje na tylko lokalne osłabienie nawierzchni, tj. w bezpośrednim obrębie liniowej deformacji nieciągłej (rys. 5 i rys. 6).



Rys. 2. Deformacje nieciągłe jezdni, widok od strony zachodniej

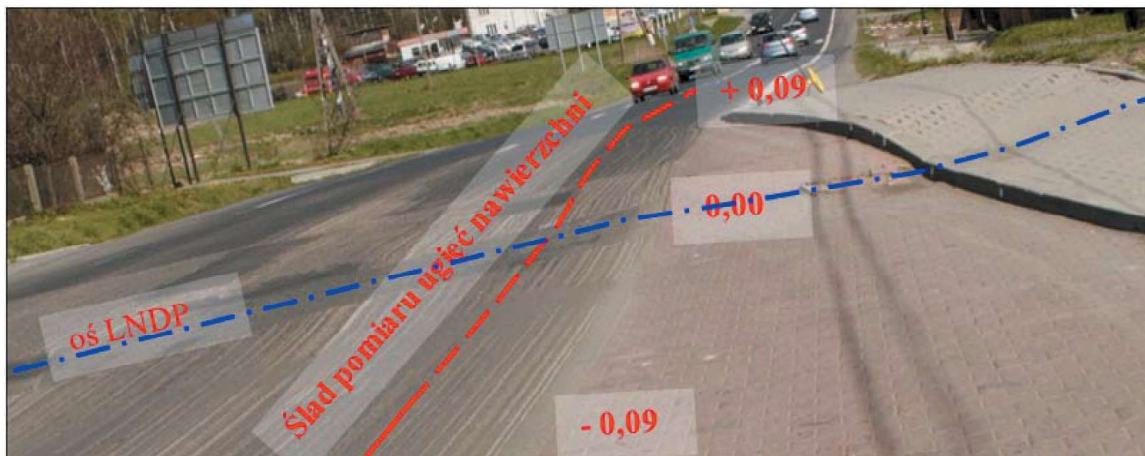
Fig. 2. Discontinuous deformations of the roadway, the view from the west



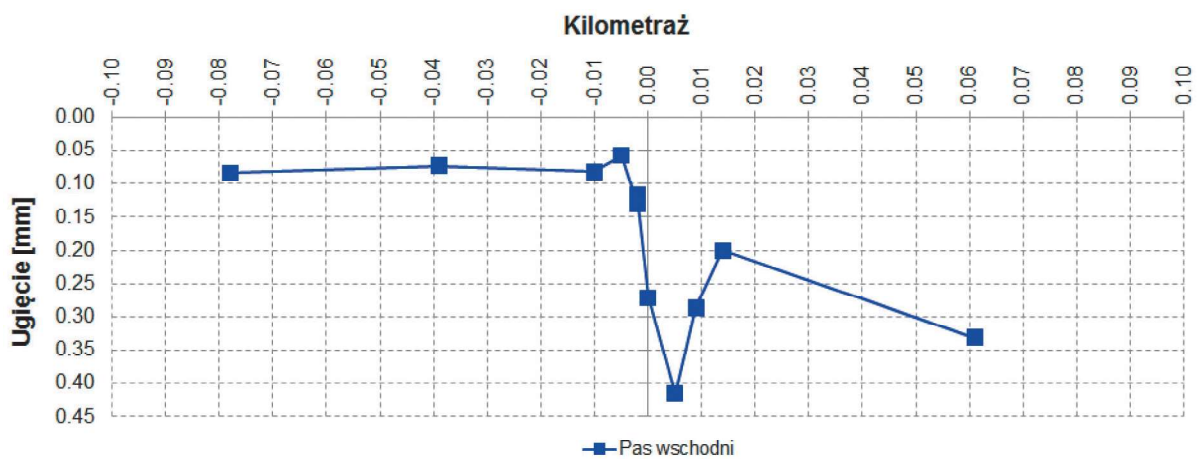
Rys. 3. Stopień terenowy
Fig. 3. Surface treshold



Rys. 4. Deformacje nieciągłe w terenie przyległym do pasa drogowego
Fig. 4. Discontinuous deformations in the area adjacent to the roadway



Rys. 5. Lokalizacja odcinka pomiaru ugięć nawierzchni nad zachodnią krawędzią paneli usytuowanych równoległe do osi drogi (Grygierek, Kalisz 2018)
Fig. 5. Location of the measurement section of pavement deflections over the western edge of the extraction panels located parallel to the road axis (Grygierek, Kalisz 2018)



Rys. 6. Ugięcia nawierzchni na odcinku według rys. 5 (Grygierek, Kalisz 2018)
Fig. 6. Pavement deflections in the measurement section according to fig. 5 (Grygierek, Kalisz 2018)

2.2. Przypadek 2

Droga na tym odcinku posiada dwie jezdnie i dwa pasy ruchu w każdym kierunku, szerokość pasa dzielącego wynosi około 3 m (rys. 7). Analizowany odcinek znajduje się na początku drogi dojazdowej do nasypu. Nawierzchnia drogi składa się z pakietu mineralno-asfaltowego oraz podbudowy z niezwiązanego kruszywa, w podłożu występują grunty spoiste. Wzdłuż drogi, po obu stronach występuje rów zbierający wody opadowe. Sytuacja górnicza charakteryzuje się usytuowaniem parceli eksploatacyjnych przebiegających w kierunku zbliżonym do poprzecznego względem osi drogi. Od strony wschodniej można zaobserwować nakładające się krawędzie, które przecinają oś drogi w kierunku poprzecznym. Na skutek dokonanej eksploatacji górniczej na powierzchni terenu ujawniły się uszkodzenia nawierzchni obserwowane na obu jezdniach oraz w pasie dzielącym. Uszkodzenia wy-

stały na odcinku około 30 m, przyjmując formę stopni terenowych, którym towarzyszyły przemieszczenia poziome w formie szczelin (rys. 7–10). W pasie dzielącym obserwowano szczeliny o znaczącym rozwarciu (rys. 10). Charakterystyczne uszkodzenia były również obserwowane w rowie, którego dno cechowały obszary bezodpływowe, spowodowane skokową zmianą dna niwelety. Charakter deformacji dna rowu przedstawia przebieg jego niwelety, zilustrowany na rys. 11. Przeprowadzony pomiar ugięć nawierzchni wskazuje na wzrost wartości ugięć na odcinku deformacji, szczególnie w bezpośredniej lokalizacji nieciągłości (rys. 11). Wobec obserwowanych spękań nawierzchni, szczelin w pasie dzielącym i zastoisk wodnych w rowie, ugięcia nawierzchni mogą wzrastać. Wynika to z redukcji parametrów wytrzymałościowych poszczególnych warstw nawierzchni i podłoża, spowodowanych filtracją wód opadowych do wnętrza nawierzchni i wzrostem wilgotności.



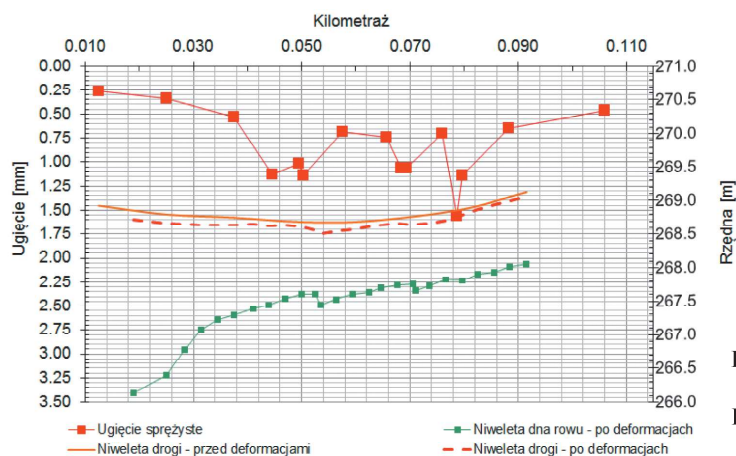
Rys. 7. Deformacje jezdni południowej
Fig. 7. Deformations of the southern roadway



Rys. 8. Deformacje nawierzchni jezdni północnej
Fig. 8. Deformations of the northern roadway



Rys. 9. Widok deformacji jezdni w kierunku wschodnim
Fig. 9. View of the discontinuous deformations of the roadways towards the east



Rys. 11. Deformacja odcinka pasa drogowego wraz z prezentacją zmierzonych ugięć sprężystych
Fig. 11. Deformation of the road section and the measured pavement deflections



Rys. 10. Uszkodzenia jezdni i pasa dzielącego
Fig. 10. Damage to the roadway and the median strip

3. Wpływ górniczych deformacji powierzchni na rurociągi

Najistotniejsze znaczenie dla prawidłowej pracy podziemnych rurociągów na terenach górniczych mają: poziome przemieszczenia i odkształcenia gruntu, obniżenia i nachylenia powierzchni, a także krzywizny powierzchni (rys. 1). Poziome przemieszczenia i odkształcenia gruntu mają zasadniczy wpływ na wartość obciążeń podziemnych rurociągów. Deformowanie przypowierzchniowej warstwy gruntu powoduje dodatkowe obciążenia rurociągów, które sumują się z obciążeniami wewnętrznymi rurociągów, wynikającymi z ciśnienia medium, oraz obciążeniami zewnętrznymi, wynikającymi z obciążenia gruntem i obciążenia naziomu. Dodatkowe obciążenia są wywoływane zarówno na kierunku podłużnym, jak i poprzecznym rurociągu (Kwiatek i in. 1997). Przy określaniu wpływu górniczych deformacji gruntu na rurociągi istotne znaczenie mają: długość rur, sposób ich łączenia i ich podatność (rury sztywne lub podatne).

Wskutek przemieszczeń ziaren gruntu względem powierzchni zewnętrznej rurociągu występują siły tarcia, które

wywołują dodatkowe siły podłużne. Na kierunku podłużnym rurociągu poziome rozluźnianie i zagęszczanie gruntu wywołuje dodatkowe osiowe siły, odpowiednio rozciągające i ściskające, o największych wartościach w przypadku rurociągów o konstrukcji ciągłej. Wartości tych sił zależą od sił tarcia między gruntem a rurociągiem. Oddziaływanie poziomych odkształceń i przemieszczeń gruntu na kierunku podłużnym może prowadzić do uszkodzeń rurociągu. W strefie poziomego rozciągania uszkodzenia występują w postaci pęknięć poprzecznych i utraty ciągłości rurociągu, a w strefie poziomego ściskania w postaci wybożenia i deformacji ścianek rurociągów, uszkodzenia połączeń. Deformacje ścianek prowadzą do utraty szczelności rurociągów stalowych, a w przypadku rurociągów polietylenowych do ograniczenia przepustowości, a nawet zamknięcia przekroju. Przykłady tego typu awarii są znane z terenów górniczych zlokalizowanych w Polsce (rys. 12) i na świecie (rys. 13). Przemieszczenia i odkształcenia gruntu wywołują także momenty zginające, siły osiowe i siły poprzeczne w rejonach załomów rurociągów i trójników.



Rys. 12. Przykład wybożenia i deformacji ścianek gazociągu stalowego (Wójcikowski, Machowicz 2008, Jachim, Kalisz 2010)

Fig. 12. The example of buckling and wrinkling of the walls of a steel gas pipeline (Wójcikowski, Machowicz 2008, Jachim, Kalisz 2010)



Rys. 13. Przykład wybożenia i deformacji rurociągu stalowego o konstrukcji ciągłej wskutek oddziaływania ścianowej eksploatacji węgla kamiennego w USA (Francini 2011)

Fig. 13. The example of buckling and deformation of a continuous steel pipeline due to the impact of longwall mining in the USA (Francini 2011)



Rys. 14. Przykład rozszczelnienia kompensatora wodociągu stalowego na terenie górniczym
Fig. 14. The example of unsealing a compensator of a steel water pipeline in the mining area

W przypadku rurociągów segmentowych występują względne przemieszczenia rur. W strefie rozluźniania gruntu następuje rozsuniecie segmentów, a w strefie zagęszczania ich zsunięcie, o ile występuje początkowa dylatacja w złączach rur. Wielokrotna eksploatacja górnicza może spowodować rozszczelnienie rurociągów przy braku odpowiednich zdolności dylatacyjnych, a także ich uszkodzenie w przypadku braku odpowiednich początkowych dylatacji w złączach i kompensatorach. Wskutek ruchu segmentów rurowych wielokrotnie dochodzi także do rozszczelnienia złączy kompensatorów, stosowanych do zabezpieczenia gazociągów (Jachim, Kalisz 2010) i wodociągów stalowych (rys. 14) na terenach górniczych.

Na kierunku poprzecznym zmianie ulega parcie, a w przypadku przekrojów podatnych także odpór gruntu. Zmiany parcia na kierunku poprzecznym do osi rurociągu, wywoływane poziomymi odkształceniami gruntu, są istotne zwłaszcza w przypadku sieci kanalizacyjnych, czyli w rurociągach bezciśnieniowych, a także w rurociągach o niewielkim ciśnieniu roboczym. Obciążenie rurociągu zależy zarówno od wartości poziomych odkształceń gruntu, jak i od odkształcalności jego przekroju poprzecznego. Wynikiem działania nierównomiernych obciążeń zewnętrznych jest zmiana kształtu przekroju poprzecznego rur podatnych. Odkształcenia poziome podczas rozluźniania i zagęszczania gruntu powodują odpowiednio zmniejszenie oraz zwiększenie obciążenia przekroju poprzecznego rur. Następuje wówczas zmiana sił osiowych i momentów zginających działających na ścianki rur.

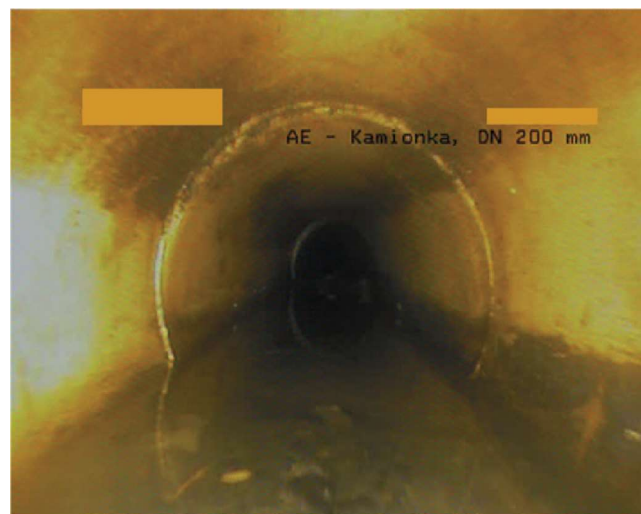
Nierównomierne obniżenia powodują zmiany nachylenia powierzchni terenu, które mają szczególne znaczenie dla systemów kanalizacyjnych, a także wodociągowych. Zmiany te przyczyniają się do zmiany spadków przewodów o grawitacyjnym przepływie i zmian wysokościowych w rurociągach. W przypadku kanalizacji nierównomierne obniżenia mogą spowodować istotne zmiany spadków, szczególnie ich zmniejszenie do wartości mniejszych niż minimalne, w tym przeciwsпадków (Grygierek, Kalisz 2018). Prowadzi to do utrudnień w odpływie ścieków i tworzenia się zastoisk (rys. 15). Przykład profilu kanału ogólnospławnego po zakończeniu oddziaływania eksploatacji górniczej w Śródmieściu Katowic przedstawiono na rys. 16, na którym zaznaczono istniejące wówczas przeciwsпадki i zastoiska ścieków.

W wodociągach zmiany nachylenia powierzchni terenu mogą powodować istotne zwiększenie ciśnienia wewnętrznego. Przykładowo, przy lokalnym obniżeniu niwelety rurociągu o 5 m ciśnienie wewnętrzne zwiększy się o wartość 0,5 bara, co może wywołać istotne zwiększenie naprężeń obwodowych.

Dla rurociągów o większych średnicach, szczególnie o średnicy 1 m i większych, istotne znaczenie ma także wygięcie jego podłoża spowodowane krzywizną terenu. Wygięcie to powoduje odchylenia kątowe rurociągów segmentowych i momenty zginające, wywołujące dodatkowe naprężenia w ściankach rurociągów, szczególnie o konstrukcji ciągłej.

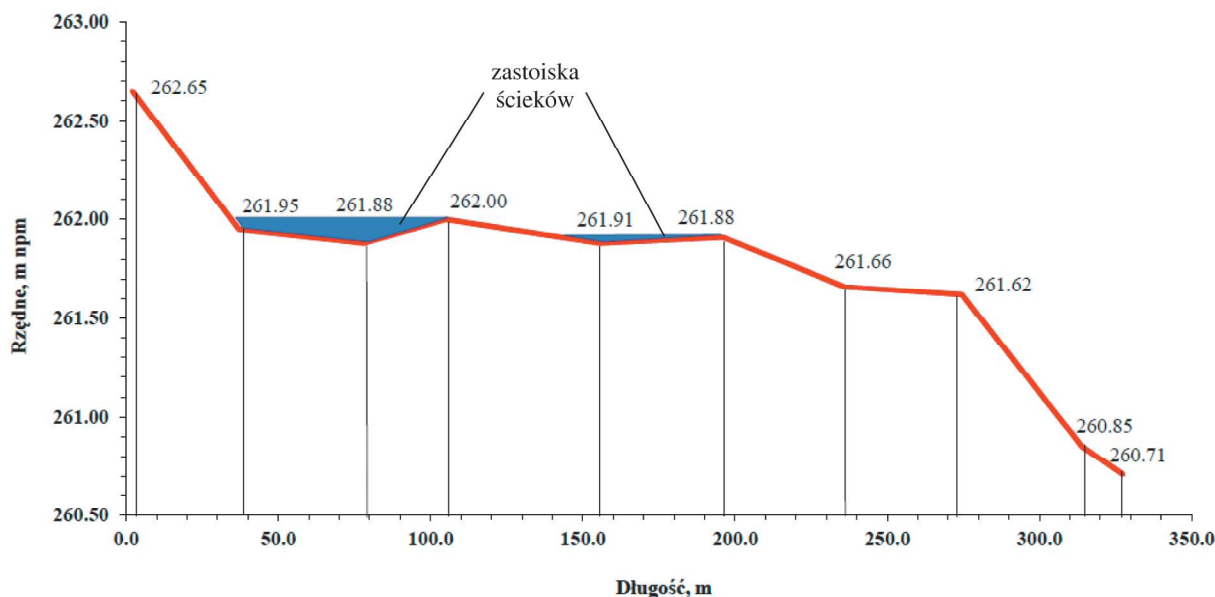
4. Podsumowanie

Podziemna eksploatacja górnicza wywołuje deformacje górotworu o charakterze ciągłym i nieciągłym, które oddziałują na obiekty liniowe. Negatywnymi skutkami tego oddziaływania są:



Rys. 15. Przykład kanału o nieprawidłowym spadku i zastoisku ścieków

Fig 15. The example of a sewage pipeline with an incorrect slope and sewage stagnant



Rys. 16. Przykładowy profil kanalizacji ogólnospławnej w ciągu jednej z ulic Śródmieścia Katowice po zakończeniu eksploatacji górniczej (maj 2004)

Fig. 16. The exemplary profile of combined sewer along one of the streets of the Katowice City Center after mining exploitation (May 2004)

- pogorszenie równości podłużnej i poprzecznej nawierzchni, co ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo i komfort użytkowników drogi, a także wymaga natychmiastowej interwencji w celu zapewnienia bezpieczeństwa użytkowników drogi,
- redukcja nośności nawierzchni – wskutek dostępu wód opadowych do dolnych warstw nawierzchni i jej podłoża dochodzi do redukcji sztywności poszczególnych warstw konstrukcyjnych i podłoża; redukcja nośności wpływa również na skrócenie trwałości nawierzchni, co w konsekwencji prowadzi do częstszych remontów nawierzchni, a niekiedy ich wzmocnień,
- uszkodzenia rurociągów o charakterze mechanicznym w postaci destrukcji ich konstrukcji oraz uszkodzenia wpływające na pogorszenie ich funkcjonalności.

Artykuł powstał w ramach pracy statutowej Głównego Instytutu Górniczego (Nr 11142019) przy współpracy z Politechniką Śląską, finansowaną przez MNiSW.

Literatura

FRANCINI R.B. 2011 - A pipeliner's perspective on longwall mining. W: Proceedings of the 30th International Conference on Ground Control in Mining. July 26-28, 2011, Morgantown, WV: West Virginia University, USA.

GRYGIEREK M., KALISZ P. 2018 - Influence of mining operations on road pavement and sewer system - selected case studies. Journal of Sustainable Mining, 17(2):56-67. doi: 10.1016/j.jsm.2018.04.001

GRYGIEREK M. 2010 - Zmienność modułów sprężystości niezwiązanych warstw nawierzchni drogowej w warunkach górniczych odkształceń rozluźniających. „Drogi i Mosty”, 2:17–30.

JACHIM K., KALISZ P. 2010 - Awarie sieci gazowej na terenach górniczych. Kwartalnik GIG. „Górnictwo i Środowisko” nr 4, s. 95–105.

JUDYCKI J. i in. 2014 - Katalog typowych nawierzchni podatnych i półsztywnych. Załącznik do zarządzenia Nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r. Politechnika Gdańska, Gdańsk.

KALISZ P., ZIĘBA M. 2014 - Impact of mining exploitation on pipelines. Acta Montanistica Slovaca, 19(3):111–117.

KOWALSKI A. 2015 - Deformacje powierzchni w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Główny Instytut Górniczego, Katowice.

KWIATEK J. i in. 1997 - Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Główny Instytut Górniczego, Katowice.

WÓJCIKOWSKI M., MACHOWICZ W. 2008 - Ochrona gazociągów na terenach objętych wpływem naprężeń górotworu wynikających z podziemnej eksploatacji górniczej. „Górnictwo i Geoinżynieria” z. 4, s. 83-84.

ZHANG J., LIANG Z., HAN C.J. 2015 - Numerical modeling of mechanical behavior for buried steel pipelines crossing subsidence strata. PLoS ONE, 10(6):e0130459. doi: 10.1371/journal.pone.0130459

Artykuł wpłynął do redakcji – listopad 2019
Artykuł akceptowano do druku – 25.01.2020