

Oddziaływanie eksploatacji górniczej na nadziemne odcinki wodociągów magistralnych

Mining impact on above ground sections of water mains



Dr inż. Piotr Kalisz^{*)}



Mgr inż. Magdalena Zięba^{*)}

Treść: Podziemna eksploatacja górnicza powoduje deformacje i drgania podłoża wodociągów, które oddziałują na ich konstrukcję. Omówiono zagadnienia oddziaływania deformacji i drgań podłoża na nadziemne odcinki wodociągów na podstawie przykładów odcinków wodociągów magistralnych. Odcinki te są ułożone na podporach i występują w dolinach rzek i cieków powierzchniowych. Na terenach górniczych zabezpieczono je nasuwkami kompensacyjnymi, umożliwiającymi przejmowanie przemieszczeń i drgań podłoża podpór.

Abstract: The underground mining causes subsoil deformations and vibrations which impact on the construction of water pipelines. The issues of subsoil deformations and vibrations impact on above ground sections of water pipelines were discussed on the base of the water mains. The above ground sections of water mains are laid on supports and they run through river valleys and surface water courses. Within mining areas these sections are protected against mining impact by means of expansion joints (compensators) which transfer the subsoil displacements and vibrations of supports.

Słowa kluczowe:

wodociągi magistralne, wodociągi nadziemne, tereny górnicze, deformacje podłoża

Key words:

water mains, above ground water pipelines, mining areas, subsoil deformations

1. Wprowadzenie

Jednym z zagadnień ochrony powierzchni obszarów objętych wpływami eksploatacji górniczej jest ocena oddziaływania deformacji podłoża na istniejące sieci uzbrojenia (Hejmanowski i in. 2014, Kalisz i in. 2015), w tym wodociągi magistralne o strategicznym znaczeniu dla systemu dostarczania wody pitnej w województwie śląskim. Sieć wodociągów magistralnych jest złożona głównie z rurociągów stalowych o złączach spawanych. Największe średnice stalowych wodociągów magistralnych na terenach górniczych wynoszą $\varnothing 1000$ - $\varnothing 1800$. Na terenach tych zarówno rurociągi zagłębione w gruncie, jak i nadziemne, są zabezpieczane na wpływy eksploatacji złóż węgla kamiennego. Zabezpieczenia te polegają na zastosowaniu kompensatorów umożliwiających przejmowanie zmian długościowych i odchyłań kątowych rurociągu, wywoływanych przemieszczeniami, odkształceniami i krzywiznami przypowierzchniowej warstwy gruntu. W przypadku wodociągów magistralnych są to dwustronne nasuwki kompensacyjne z dwiema uszczelkami elastomerowymi, a niekiedy tak zwane nasuwki jednostronne, z jednym uszczelnieniem.

Nadziemne odcinki wodociągów magistralnych o długościach od kilkunastu do kilkuset metrów występują przy przekroczeniach cieków powierzchniowych, przy czym najdłuższe odcinki są zlokalizowane w dolinach rzek. Odcinki te są ułożone na podporach zamocowanych do fundamentów betonowych lub żelbetowych. Eksploatacja górnicza powoduje deformacje podłoża fundamentów podpór, wywołując ich pionowe i poziome przemieszczenia, które są przenoszone na wodociągi. Deformacje podłoża gruntowego powodują także niewielkie obroty fundamentów podpór w osi pionowej i poziomej. W artykule przedstawiono analizę oddziaływania deformacji i drgań podłoża gruntowego, wywołanych eksploatacją górniczą, na nadziemne odcinki wodociągów magistralnych.

2. Charakterystyka nadziemnych odcinków wodociągów magistralnych

Nadziemne odcinki wodociągów magistralnych z rur stalowych są ułożone na podporach, na ogół jako tak zwane konstrukcje samonośne bez dodatkowych konstrukcji podtrzymujących. Odcinki te są złożone z:

- podpór stałych,
- podpór ruchomych,

^{*)} Główny Instytut Górnictwa, Katowice

- segmentów rurowych,
- nasuwek kompensacyjnych łączących segmenty rurowe.

Podpory stałe (rys. 1b, 3b) są zbudowane ze zintegrowanej z żelbetowym lub betonowym fundamentem obejmującej stalowej, mocującej wodociąg. Podpory ruchome (przesuwne) są zbudowane ze stalowej podstawy, przytwierdzonej do żelbetowego fundamentu, oraz stalowego wałka (rys. 2b) lub dwóch wałków (rys. 3a), poruszających się po tej podstawie. Na wałkach spoczywa płyta podtrzymująca przymocowana do niej rurociąg. Podpory ruchome umożliwiają przemieszczenia segmentów rurowych, wymuszonych przemieszczeniami podpór stałych. Między segmentami rurowymi są zamontowane nasuwki kompensacyjne. W starszych wodociągach segmenty te są ułożone na odpowiednio wyprofilowanych fundamentach żelbetowych, bez obejm mocujących (rys. 4).

Jednym z przykładów nadziemnego wodociągu magistralnego jest odcinek wodociągu $\varnothing 1600$ o długości około 400 m, przebiegający przez dolinę rzeki Mlecznej (rys. 1 i 2). Odcinek ten jest ułożony na podporach stałych i ruchomych, osadzonych na żelbetowych blokach fundamentowych. Podpory

ruchome wyposażono w pojedyncze wałki pozwalające na przemieszczanie segmentów wodociągu względem fundamentu. Odległości między podporami wynoszą 30 m, a długości segmentów rurowych, między którymi zabudowano dwustronne nasuwki kompensacyjne (rys. 2b), wynoszą 120 m.

Kolejnym przykładem są dwa równoległe nadziemne odcinki stalowych wodociągów magistralnych $\varnothing 1400$ i $\varnothing 1200$, przebiegające przez dolinę rzeki Kłodnicy. Wodociąg $\varnothing 1400$ (rys. 3) przekracza rzekę jako konstrukcja samonośna ułożona na żelbetowych fundamentach, rozstawionych co 20 m. Bezpośrednie podparcie rurociągu również stanowią podpory stałe i ruchome. Podpory ruchome są wyposażone w dwa wałki. Wodociąg na tym odcinku, o długości około 125 m, jest zabezpieczony dwiema dwustronnymi nasuwkami kompensacyjnymi o długości 1,4 m.

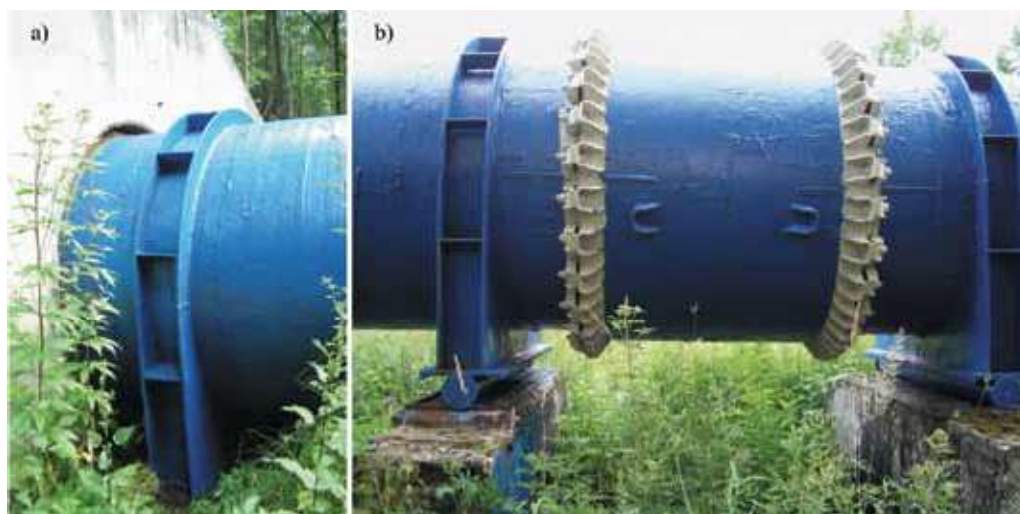
Wodociąg $\varnothing 1200$ został zbudowany w latach 50. XX-tego wieku. Przekracza rzekę jako konstrukcja samonośna o długości około 100 m, ułożona w półokrągłych gniazdach, które wyprofilowano w betonowych fundamentach. Gniazda te stanowią podpory typu ślizgowego, rozstawione co 8 m (rys. 4).



Rys. 1. Wodociąg magistralny $\varnothing 1600$ w dolinie rzeki Mlecznej: a) widok ogólny, b) podpora stała

Fig. 1. Water main $\varnothing 1600$ running through the Mleczna river valley: a) general view, b) permanent support

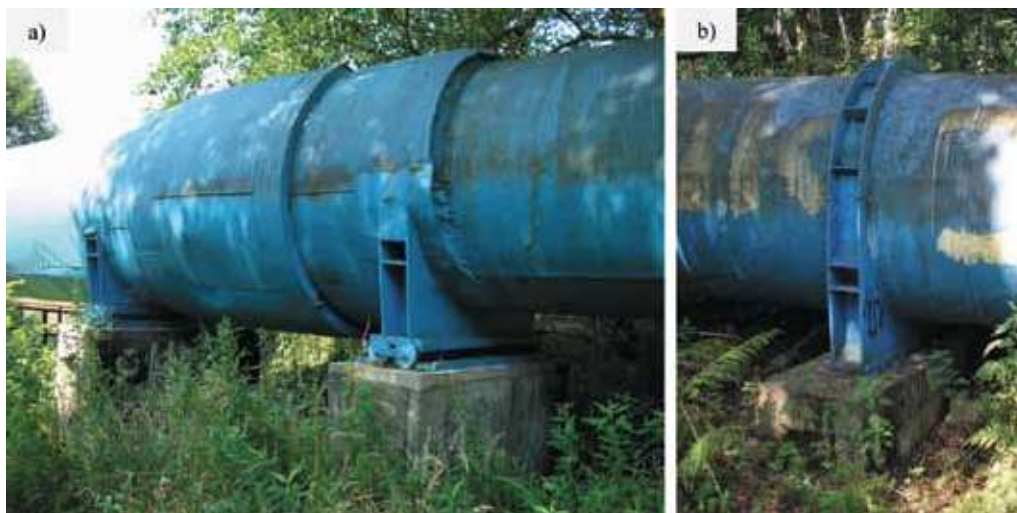
Źródło: Opracowanie własne



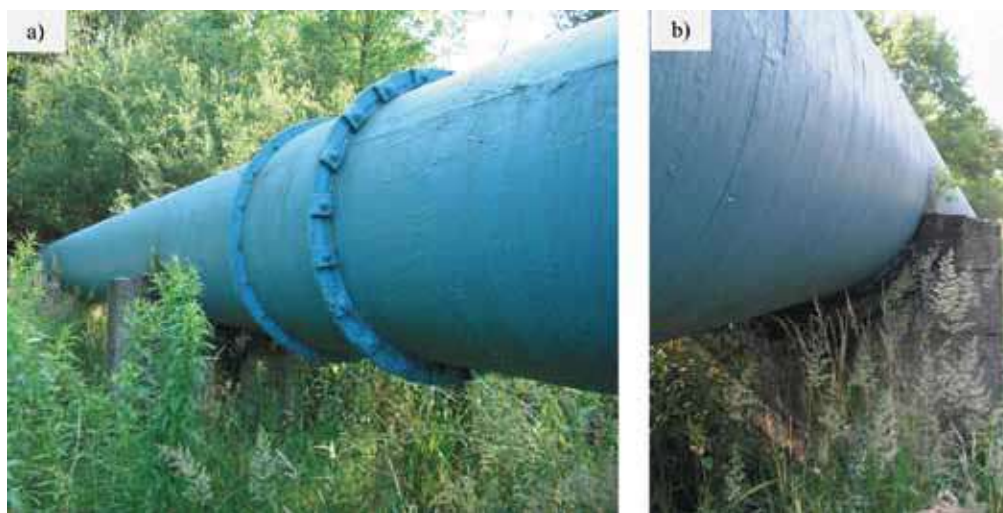
Rys. 2. Wodociąg magistralny $\varnothing 1600$ w dolinie rzeki Mlecznej a) przejście z nasypu przez mur oporowy na podporę, b) nasuwka kompensacyjna

Fig. 2. Water main $\varnothing 1600$ running through the Mleczna river valley: a) running from embankment through retaining wall to support, b) expansion joint

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 3. Widok wodociągu Ø1400 nad rzeką Kłodnicą z nasuwką kompensacyjną a) i podpory stałej b)
 Fig. 3. General view of water pipeline Ø1400 by the Kłodnica river with expansion joint a) and permanent support b)
 Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4. Nasuwka kompensacyjna a) i betonowe podpory ślizgowe b) wodociągu Ø1200 nad rzeką Kłodnicą
 Fig. 4. Expansion joint and concrete slide supports of water pipeline Ø1200 by the Kłodnica river
 Źródło: Opracowanie własne

3. Wpływ deformacji ciągłych na nadziemne odcinki wodociągów

Oddziaływanie deformacji podłoża na stalowe wodociągi nadziemne powoduje przemieszczenia i niewielkie obroty podpór stałych i ruchomych. Przemieszczenia i obroty podpór stałych są przenoszone na zdylatowany odcinek wodociągu i zabudowane na nim kompensatory. Przemieszczenia pionowe podpór ruchomych są także przenoszone na rurociąg.

Na kierunku poprzecznym występują względne przemieszczenia i niewielkie obroty podpór, związane z przemieszczeniami i odkształceniami przypowierzchniowej warstwy górotworu. Wartości tych przemieszczeń zależą od położenia rurociągu względem krawędzi eksploatacji. Poprzeczne przemieszczenia i obroty podpór wywołują poziome i pionowe krzywizny osi rurociągu, które są kompensowane dzięki podatności konstrukcji, osiąganey przez zastosowanie nasuwek kompensacyjnych. Występują odchylenia katowe sąsiednich segmentów rurociągu, a kąt d tego odchylenia (rys. 1) osiągnie maksymalną wartość, wyrażoną wzorem (Kwiatek i in. 1997):

$$\delta = \frac{l_1 + l_2}{2R} \quad (1)$$

gdzie:

l_1, l_2 – długości sąsiednich segmentów rurociągu,
 R – promień krzywizny.

W przypadku dwustronnych nasuwek kompensacyjnych, stanowiących podstawowy rodzaj zabezpieczenia wodociągów magistralnych na terenach górniczych (Kalisz i in. 2015), występują dwa złącza, które kompensują odchylenia katowe zdylatowanych segmentów. Odchylenie pojedynczego złącza jest zatem mniejsze i wynosi średnio $d/2$. Przykładowo dla długości sąsiednich segmentów wynoszącej 100 m, poddanych oddziaływaniu krzywizny dopuszczalnej dla terenu górniczego kategorii IV, kąt odchylenia wyniesie około $1^\circ 26'$, a więc dla pojedynczego złącza około $43'$.

Na kierunku podłużnym rurociągu nadziemnego poziome przemieszczenia i odkształcenia przypowierzchniowej warstwy gruntu powodują oddalanie lub zbliżanie podpór. Oddalanie podpór następuje w strefie poziomego odkształ-

cenia o charakterze rozciągania, a ich zbliżenie w strefie ściskania. Wartości tych przemieszczeń są uwarunkowane wartościami poziomych odkształceń podłoża gruntowego na tym kierunku (Kwiatek i in. 1997, Kwiatek 2007). Przesunięcia podpór stałych, trwale połączonych z rurociągiem, powodują wydłużenie lub skrócenie odcinków między nimi, co jest kompensowane w nasuwkach. Wartość tego wydłużenia lub skrócenia można obliczyć na podstawie wzoru:

$$\Delta l = \pm \varepsilon_i \frac{l_1 + l_2}{2} \quad (2)$$

gdzie ε_i jest wartością poziomego odkształcenia gruntu na kierunku podłużnym rurociągu z uwzględnieniem rozproszenia losowego (Kwiatek i in. 1997, Kwiatek 2007). Nasuwki powinny mieć wystarczający zapas dylatacyjny do przejścia prognozowanych poziomych odkształceń, uwzględniając przemieszczenia końców rur podczas każdej eksploatacji górniczej, oddziałującej na wodociąg.

Przesunięcia podpór ruchomych nie są przenoszone na wodociąg, chociaż powodują siły podłużne w segmentach między nasuwkami, które w przypadku skorodowanych i zanieczyszczonych elementów ich konstrukcji mogą osiągać istotne wartości. Siły podłużne wynikają także z sił oporu między rurami a pierścieniami gumowymi nasuwek kompensacyjnych, dociskanych śrubami mocującymi do ich powierzchni za pośrednictwem pierścieni oporowych. Ekstremalną wartość siły podłużnej w segmencie rurociągu można obliczyć ze wzoru:

$$T = \pm (T_k + nT_p) \quad (3)$$

gdzie:

- T_k – siła oporu w złączu kompensatora (Krygier 2001),
 $T_k = \pi D \psi \mu_r p_r b_u$
- D – zewnętrzna średnica wodociągu,
- ψ – współczynnik zależny od średnicy zewnętrznej wodociągu,
- μ_u – współczynnik tarcia uszczelki o powierzchnię rury,
- p_r – ciśnienie robocze,
- b_u – szerokość uszczelki,

- n – liczba podpór ruchomych oddziałujących na segment wodociągu (jednostronnie),
- T_p – siła oporu podpory ruchomej (Krygier 2001),
 $T_p = \mu q l$
- μ – współczynnik tarcia na podporze ruchomej,
- q – jednostkowy ciężar wodociągu,
- l – długość odcinka rurociągu podtrzymywana przez jedną podporę (odległość środków odcinków między podporami).

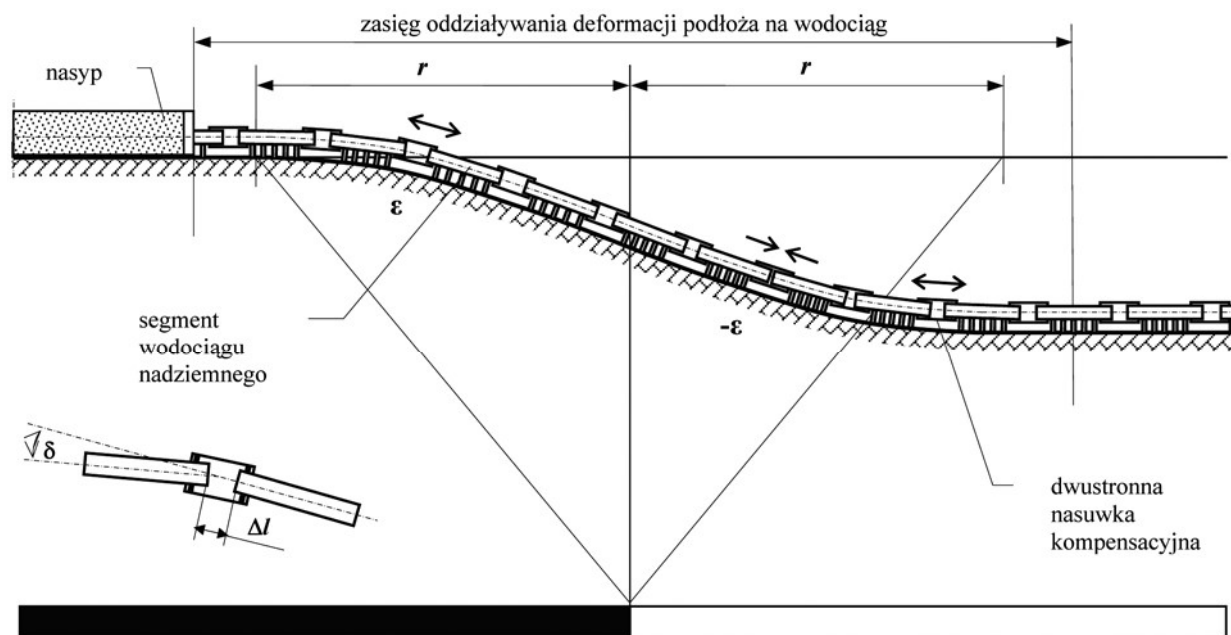
Uproszczony schemat oddziaływania podziemnej eksploatacji górniczej na nadziemny odcinek wodociągu magistralnego przedstawia rys. 5.

Segment wodociągu nadziemnego, ułożonego na podporach między kompensatorami, można rozpatrywać jako belkę wieloprzęsłową, dla której oblicza się wartości sił i momentów podporowych oraz przęsłowych. Na rys. 6 przedstawiono schemat przykładowego segmentu nadziemnego wodociągu magistralnego między nasuwkami kompensacyjnymi, ułożonego na czterech podporach ruchomych (przesuwnych) i jednej podporze stałej (podpora środkowa). Odległości l między podporami są dobrane w taki sposób, aby segmenty wodociągu przeniosły siły i momenty zginające od obciążenia ciągłego, wywołwanego przez ciężar własny rurociągu i ciężar przesyłanej w nim wody (Ellenberger 2010, Ellenberger 2005).

Siły podłużne, wynikające z przemieszczeń segmentów rurociągu, powodują dodatkowe naprężenia podłużne, które sumują się z naprężeniami wywołwanymi przez momenty zginające. Dla rurociągów w dobrym stanie technicznym siły oporu w złączach nasuwek kompensacyjnych i siły oporu na podporach ruchomych nie powinny być duże.

4. Wpływ wstrząsów górniczych

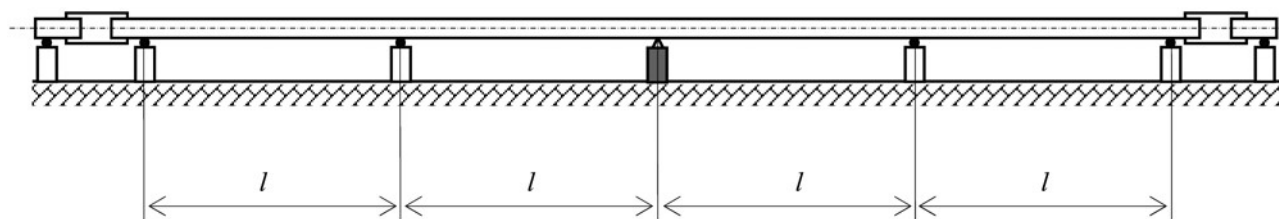
Wstrząsy górotworu powodowane podziemną eksploatacją górniczą oddziałują na obiekty zabudowy powierzchni, w tym na sieci uzbrojenia (Dulińska 2010). Wywołwane tymi wstrząsami drgania podłoża gruntowego w przypadku rurociągów nadziemnych powodują:



Rys. 5. Oddziaływanie eksploatacji górniczej na nadziemny odcinek wodociągu magistralnego, zabezpieczonego nasuwkami kompensacyjnymi

Fig. 5. Mining impact on above ground section of water main protected by expansion joints

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 6. Schemat segmentu wodociągu magistralnego ułożonego na podporach ruchomych i podporze stałej (środkowa) między dwiema nasuwkami kompensacyjnymi

Fig. 6. Scheme of water main section located on four roller supports and permanent support (central) between two expansion joints

Źródło: Opracowanie własne

- przemieszczenia podłużne i poprzeczne podpór,
- siły bezwładności, działające na elementy konstrukcji rurociągów.

Na terenach objętych oddziaływaniem wstrząsów górniczych istotne znaczenie mogą mieć przede wszystkim siły bezwładności (Baniotopoulos 1995, Dijkstra i in. 2011), które są na ogół pomijalne w przypadku rurociągów zagłębionych w gruncie (O'Rurke, Liu 1999). Siły bezwładności wywołane w wyniku wymuszenia kinematycznego zależą między innymi od sztywności konstrukcji podporowych, przekazujących drgania podłoża na pozostałe elementy konstrukcji rurociągu, oraz od wartości przyspieszenia drgań. Istotne znaczenie ma również częstotliwość drgań własnych konstrukcji rurociągu i częstotliwość drgań podłoża gruntowego. Skutkiem oddziaływania sił bezwładności, wywołanych drganiami podłoża, są siły podłużne, siły poprzeczne i momenty zginające, które zależą także od odległości między podporami.

W przypadku wałkowych podpór ruchomych (rys. 2 i 3) segmenty wodociągu mają możliwość znacznego przesuwu w kierunku podłużnym. Dzięki temu posiadają zdolność do kompensacji poziomych przemieszczeń (drgań) podpór na tym kierunku. Jednak w przypadku podpór stałych poziome drgania podłoża są przenoszone na rurociąg, a na zamocowania działają podłużne i poprzeczne siły bezwładności. Na kierunku podłużnym możliwość poziomego względnego przesuwu segmentów wodociągów jest duża z uwagi na zabudowane kompensatory. Ponadto przemieszczenia wywołane drganiami podłoża są znacznie mniejsze od wartości przemieszczeń wywołanych deformacjami podłoża o charakterze statycznym i są przejmowane przez kompensatory.

Oddziaływanie wstrząsów górniczych na rurociągi ułożone na podporach uwzględnia się przy ocenie ich odporności dynamicznej. Do obliczeń wpływu drgań sejsmicznych gruntu na tego rodzaju obiekty liniowe mogą być wykorzystywane między innymi takie metody, jak: metoda spektrum odpowiedzi (RSA), pełna analiza dynamiczna w czasie (THA), metoda zastępczego obciążenia – całkowita zastępcza siła pozioma (Base Shear Force) (EN 13480-3:2012, EN 1998-4:2006, Tatar 2012), a także uproszczona metoda zastępczej analizy statycznej (Dijkstra i in. 2011, EN 13480-3:2012).

Jednym z najprostszych sposobów uwzględniania drgań podłoża jest uproszczona metoda zastępczej analizy statycznej, która polega na obliczeniu siły dla każdego kierunku głównego drgań sejsmicznych z wykorzystaniem obliczeniowego przyspieszenia zastępczego. W metodzie tej przyjmuje się równomierne wymuszenie kinematyczne. Przyjmowane do obliczeń przyspieszenie zastępcze a_{cqi} na wybranym kierunku drgań można określić ze wzoru (Dijkstra i in. 2011, EN 13480-3:2012):

$$a_{cqi} = k_i a_i \quad (4)$$

gdzie:

- a_i – ekstremalna wartość przyspieszenia drgań podłoża,
- k_i – współczynnik o wartości $k_i \geq 1,0$ zależnej od zbieżności częstotliwości drgań własnych rurociągu z częstotliwością drgań wymuszających, wg EN 13480-3:2012 przyjmuje się wartość $k_i = 1,0$ w przypadku, gdy częstotliwość drgań własnych konstrukcji rurociągu nie pokrywa się w przedziale 10 % z pikową wartością częstotliwości drgań podłoża, a wartość $k_i = 1,5$ przy braku sprawdzania, czy częstotliwość drgań własnych konstrukcji pokrywa się z pikową wartością częstotliwości drgań podłoża.

Zastępcza siła bezwładności q_s , działająca poprzecznie na jednostkę długości rurociągu, może być obliczona na podstawie wzoru (Dijkstra i in. 2011):

$$q_s = a_{cqi} w_p \quad (5)$$

gdzie w_p jest masą jednostki długości rurociągu z jego wypełnieniem. Znacząc wartości sił bezwładności, działających na rurociąg nadziemny, można obliczyć ekstremalne momenty zginające i siły poprzeczne, a następnie dodatkowe naprężenia. Obliczone dodatkowe naprężenia w ściankach rurociągu sumują się z naprężeniami wynikającymi z pozostałych obciążeń. Znacząc wartości dodatkowych naprężeń można dokonać oceny możliwości przejmowania drgań gruntu. Działanie sił bezwładności należy też uwzględnić dla zamocowań rurociągów do podpór stałych.

Do oceny odporności dynamicznej nadziemnych odcinków wodociągów na drgania gruntu mogą być wykorzystane Górnice Skale Intensywności Drgań. Odporność ta jest wówczas wyrażana przez zdolność obiektu do przejmowania drgań o intensywności określonej dla poszczególnych stopni skal GSI. W tym celu można na przykład wykorzystać skalę przyspieszenia GSI_{GZWKW}-2012-A - skalę pomocniczą (Dubński i in. 2013, Stec, Barański 2010), określając ekstremalną wartość przyspieszenia drgań podłoża, dla którego obliczone siły bezwładności mogą być bezpiecznie przejęte przez analizowany odcinek wodociągu nadziemnego.

Przedstawiona wyżej uproszczona metoda zastępczej analizy statycznej, w której przyjmuje się jednakowe przyspieszenie drgań dla wszystkich podpór, może służyć do przybliżonej oceny oddziaływania wstrząsów górniczych na nadziemne odcinki wodociągów. W przypadku dokładnej oceny, szczególnie w rejonach występowania silnych wstrząsów, powinny być stosowane bardziej zaawansowane metody analizy. Istotnym zagadnieniem dla rozpatrywanych w artykule obiektów liniowych jest nierównomierne wymuszenie kinematyczne (Dulińska, Zięba 2005, Dulińska 2006), gdyż kolejne podpory są poddawane oddziaływaniu drgań z przesunięciem fazowym przy jednoczesnym spadku amplitud drgań. Przedstawione w (Dulińska, Zięba 2005) wyniki

analiz odpowiedzi dynamicznych odcinka gazociągu nadziemnego przy nierównomiernych wymuszeniach kinematycznych wskazują, że pomimo spadku amplitud drgań wartości momentów zginających w konstrukcji rurociągu nadziemnego mogą być znacząco większe. Wartości te są tym większe, im mniejsze są prędkości propagacji fal sejsmicznych, które z kolei zależą od rodzaju podłoża gruntowego. Z analiz tych wynika, że wartości ekstremalnych momentów zginających w konstrukcji gazociągu nadziemnego ułożonego na podporach rozmieszczonych co 20 m mogą być większe nawet do 40 % w porównaniu z wartościami uzyskanymi dla równomiernego wymuszenia kinematycznego.

5. Podsumowanie

Występujące na terenach górniczych Górnego Śląskiego Zagłębia Węglowego nadziemne odcinki wodociągów magistralnych zostały zbudowane z rur stalowych, ułożonych na podporach. Zabezpieczono je nasuwkami kompensacyjnymi, pozwalającymi na przejmowanie deformacji podłoża, wywołanych podziemną eksploatacją węgla kamiennego. Typowa konstrukcja przekroczeń rzek wodociągów magistralnych składa się z segmentów rurowych, zamocowanych trwale do podpory stałej i przesuwne do podpór ruchomych, wałkowych. Przemieszczenia podpór stałych przenoszone na segmenty rurowe są kompensowane w nasuwkach.

Ocena możliwości przejmowania wpływów podziemnej eksploatacji górniczej przez odcinki wodociągów nadziemnych, w szczególności wodociągów magistralnych, powinna uwzględniać:

- analizę stanu technicznego rurociągów, podpór i kompensatorów,
- analizę aktualnej zdolności do przejmowania deformacji podłoża przez kompensatory,
- analizę kinematyczną z uwzględnieniem ekstremalnych wartości przemieszczeń segmentów rurowych, wynikających z prognozowanych wartości wskaźników deformacji podłoża i drgań gruntu,
- analizę statyczno-wytrzymałościową z uwzględnieniem dodatkowych sił i momentów zginających, powodowanych deformacjami i drganiami podłoża.

Analiza aktualnego stanu technicznego elementów konstrukcyjnych wodociągów nadziemnych powinna obejmować także badania nieniszczące zdolności dylatacyjnych kompensatorów i grubości ścianek rur, szczególnie w przypadku wodociągów magistralnych. Analiza ta służy do określania możliwości przejmowania wpływów podziemnej eksploatacji górniczej wodociągów oraz do oceny ich odporności statycznej i dynamicznej.

Artykuł stanowi część pierwszą, teoretyczną rozpatrywanego zagadnienia oddziaływania eksploatacji górniczej na nadziemne odcinki wodociągów magistralnych. W części drugiej zostaną przedstawione przykłady obliczeniowe wraz z dyskusją otrzymanych wyników.

Publikację wykonano w ramach działalności statutowej nr 11120455-132 Głównego Instytutu Górnictwa.

Literatura

- BANIOTOPOULOS C.C. 1995 – Optimal control of above-ground pipelines under dynamic excitation. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. Volume 63, Issue 2, pp. 211-222.
- DIJKSTRAG J., FRANCIS B., HEDEN VAN DER H., GRESNIGTA H. M. 2011 – Industrial steel pipe systems under seismic loading: a comparison of European and American design codes. *COMPDYN 2011. 3rd ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering* M. Papadrakakis, M. Fragiadakis, V. Plevris (eds.) Corfu, Greece, 25–28 May 2011.
- DUBIŃSKI J., MUTKE G., TATARA T., MUSZYŃSKI L., BARAŃSKA A., KOWAL T. 2013 – Zasady stosowania zweryfikowanej górniczej skali intensywności drgań GSIGZWKW-2012 do prognozy i oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją złóż węgla kamiennego w Zakładach Górniczych Kompanii Węglowej S.A. na obiekty budowlane i na ludzi”. *Kompania Węglowa S.A. Katowice*.
- DULIŃSKA J. 2010 – Oddziaływanie drgań powierzchniowych wywołanych wstrząsami górniczymi w rejonie GZW i LGOM na konstrukcję gazociągu. *Wstrząsy górnicze – charakterystyka parametrów drgań oraz kryteria oceny wpływu na obiekty budowlane*. Wyd. Główny Instytut Górnictwa. Katowice.
- DULIŃSKA J. 2006 – Odpowiedź dynamiczna budowli wielopodporowych na nierównomierne wymuszenie parasejsmiczne pochodzenia górniczego. *Politechnika Krakowska*. Kraków.
- DULIŃSKA J., ZIEBA A. 2005 – Odpowiedź dynamiczna gazociągów na nierównomierne wymuszenie kinematyczne. *Czasopismo Techniczne*. „Budownictwo”, z. 12-B (rok 102). Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.
- ELLENBERGER J.P. 2010 – *Piping and pipeline calculations manual. Construction, Design, Fabrication and Examination*. Elsevier.
- ELLENBERGER J.P. 2005 – *Piping systems and pipeline*. ASME B31 Code simplified. McGraw-Hill.
- EN 13480-3: 2012 – Rurociągi przemysłowe metalowe - Część 3: Projektowanie i obliczenia.
- EN 1998-4: 2006 - Eurokod 8 – Projektowanie konstrukcji poddanych oddziaływaniom sejsmicznym - Część 4: Silosy, zbiorniki i rurociągi.
- HEJMANOWSKI R., MALINOWSKA A., SZADZIUL M. 2014: Analiza awaryjności sieci wodociągowej w świetle rozkładu ciągłych deformacji powierzchni terenu w czasie. „*Przeгляд Górnicy*” nr 1, s. 23-30.
- KALISZ P., KOWALSKI A., ZIEBA M. 2015 – Oddziaływanie eksploatacji górniczej na sieci uzbrojenia. „*Przeгляд Górnicy*” nr 10, s. 9-16.
- KRYGIER K. 2001 – *Sieci ciepłownicze-Materiały pomocnicze do ćwiczeń*. Wyd. III, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- KWIATEK J. i in. 1997 – *Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych*. Wyd. Główny Instytut Górnictwa. Katowice.
- KWIATEK J. 2007 – *Obiekty budowlane na terenach górniczych*. Wyd. Główny Instytut Górnictwa. Katowice.
- O’RURKE M.J., LIU X. 1999 – *Response of buried pipelines subject to earthquake effects*. Monograph Series. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research A National Center of Excellence in Advanced Technology Applications. The Research Foundation of the State University of New York and the Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research.
- STEC K., BARAŃSKI A. 2010 – Charakterystyka i ocena skutków drgań wstrząsów w kopalniach Kompanii Węglowej S.A. o pikowym przyspieszeniu drgań gruntu powyżej 0,5 m/s². *Prace Naukowe GIG „Górnictwo i Środowisko”* nr 4/4, s. 81-10.
- TATARA T. 2012 – *Odporność dynamiczna obiektów budowlanych w warunkach wstrząsów górniczych*. Politechnika Krakowska. Kraków.

Artykuł wpłynął do redakcji – październik 2016
Artykuł akceptowano do druku 5.03.2017