

# WPLÝW DRGAŃ PODŁOŻA NA GAZOCIĄGI

Grzegorz Mutke, Jerzy Tarnowski

## Wprowadzenie

Trwałość i bezpieczeństwo użytkowania sieci gazowych zależy w głównej mierze od wartości sumarycznych obciążeń rurociągów, użytkowanych w różnych warunkach ich posadowienia. Problem ten jest szczególnie istotny dla gazociągów budowanych na terenach charakteryzujących się niestabilnością podłoża. Dotychczas stosowane metody projektowania nie zawsze uwzględniały rzeczywisty stan obciążenia rurociągu, co mogło być przyczyną wzrostu awaryjności sieci. Do mało rozeznaczonych i trudnych do diagnozowania uszkodzeń zagrażających gazociągom, należą mikropęknięcia powstające pod wpływem zmiennych obciążeń dynamicznych. Występujące w postaci dodatkowych wymuszeń, pochodzące od wstrząsów i drgań obciążenia dynamiczne, ograniczają w istotny sposób rezerwę bezpieczeństwa gazociągu zakładaną dla obciążeń eksploatacyjnych.

Trudne i skomplikowane warunki pracy rurociągów w warunkach niestabilnego podłoża znacznie obniżają obliczeniowy okres ich pracy i powstaje problem oceny ryzyka dalszej eksploatacji gazociągu. Brak dokładnego rozpoznania mechanizmu wzajemnego oddziaływania gazociągu i odkształcalnego gruntu w obecności wstrząsów i drgań parasejsmicznych jest przyczyną braku ustalonych metod określania poziomu bezpieczeństwa eksploatacji rurociągów posadowionych na terenach o niestabilnym podłożu. W publikacji przedstawiono metodykę oceny wpływu drgań na integralność gazociągów eksploatowanych w środowiskach niestabilnych. Weryfikację praktyczną zaproponowanych metod przeprowadzono na dwóch poligonach badawczych, na których dokonano pomiarów rzeczywistych odkształceń w gazociągach. Jako miejsca badań wytypowano gazociągi posadowione na terenach górniczych znajdujące się bezpośrednio nad kopalniami KWK Jastrzębie-Moszczenica (miejscowość Gogołowa) oraz KWK Kleofas (osiedle Załęska Hałda w Katowicach).

## Metody oceny wpływu drgań na gazociągi będące w zasięgu ich działania

Ocena wpływu wstrząsów górotworu na obiekty inżynierskie nierozzerwalnie wiąże się z określeniem poziomu przyspieszeń lub prędkości drgań gruntu jakie miały miejsce pod badanymi obiektami. Do oceny wpływu tych drgań w aspekcie wystąpienia awarii można stosować dwie niezależne metody:

- A. Ogólną ocenę poziomu zaistniałych drgań opartą na bazie skal empirycznych Górnego Śląska do stosowania przyjęto skalę MSK opracowaną pod auspicjami UNESCO
- B. Metodykę obliczeniową parametrów drgań niestabilnego podłoża gazociągu

## Ocena wpływu drgań podłoża na infrastrukturę techniczną wg skali MSK

Skala makrosejsmiczna MSK została opracowana na podstawie wieloletnich obserwacji skutków oddziaływań wstrząsów w korelacji z wynikami przeprowadzanych pomiarów sejsmometrycznych.

W wyniku obserwacji skutków wstrząsów i pomiarów, przyporządkowano poszczególnym stopniom intensywności drgań odpowiadające wartości wypadkowej amplitudy przyspieszenia drgań podłoża. Relacje te przedstawiono w tablicy 1.

Do opracowania skali makrosejsmicznej wzięto pod uwagę następujące czynniki:

- zbiór wszystkich zaobserwowanych przejawów wstrząsów, tąpnięć i trzęsień Ziemi w obszarze sejsmicznym,
- rodzaj i zakres uszkodzeń w obiektach budowlanych i środowisku przyrodniczym jakie pojawiły się po zaistnieniu w/w zjawisk,
- kwantyfikację powyższych nieinstrumentalnych efektów sejsmicznych i ich odpowiednie dokumentowanie.

W Górnośląskim Zagłębiu Węglowym do oceny ewentualnych skutków drgań powierzchni wywołanych wstrząsami górotworu stosowana jest skala MSK-64, wykorzystująca w swej ocenie maksymalne wypadkowe przyspieszenia drgań w zakresie częstotliwości do 10 Hz. Skala składa się z siedmiu stopni intensywności, przy czym w tekście artykułu ograniczono się do opisu tylko od IV do VII stopnia intensywności, gdyż w pozostałych warunkach szkodliwość oddziaływań na podłożu jest niewielka. Z obserwacji poczynionych wcześniej i dokonaniu obliczeń wynika, że największe drgania zaistniałe w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym mieściły się maksymalnie do VII stopnia intensywności.

Obowiązująca w Polsce Skala MSK-64 została opracowana na bazie kilku rozwiniętych i stosowanych już skal. Pierwsze próby usystematyzowania oceny niekorzystnego wpływu drgań na obiekty, podjęto na międzynarodowej konferencji UNESCO w Paryżu w 1964 roku, poświęconej problemom ochrony sejsmicznej, a w roku 1974 r. skala MSK została oficjalnie wprowadzona do oceny występujących zagrożeń.

Wg przyjętych założeń skala wyróżnia kolejno oddziaływanie drgań na:

- a) ludzi i ich bezpośrednie otoczenie,
- b) obiekty budowlane,
- c) przyrodę.

Charakterystyka oddziaływań drgań od IV do VII stopnia intensywności jest następująca:

- IV. Mierne (w większości obserwowalne)

- a) Drgania są odczuwalne przez większość osób przebywających wewnątrz budynków i przez nieliczne osoby znajdujące się na zewnątrz budynków. Wstrząs może obudzić niektórych śpiących. Okna, drzwi, naczynia mogą wydawać charakterystyczne dźwięki i można zaobserwować drżenie mebli. Wiszące przedmioty mogą ulegać lekkim wahaniom. Wstrząs może być odczuwalny w stojących samochodach.
- b) Brak oddziaływań na obiekty budowlane.
- c) Brak oddziaływań na przyrodę.

V. Dość silne

- a) Wstrząs jest odczuwalny przez większość osób wewnątrz budynków oraz wielu na zewnątrz. Budynki lekko drżą i wielu śpiących się budzi. Wolno wiszące przedmioty wyraźnie się wahają, a mniej stabilne przedmioty mogą się przesuwac. Otwarte okna i drzwi mogą się zamykać i otwierać.
- b) Możliwe są lekkie, nie konstrukcyjne uszkodzenia budynków (drobne rysy w tynkach, odpadanie jego małych kawałków tylko w najmniej odpornej grupie budowli).
- c) W sporadycznych przypadkach może się zmienić wydajność źródeł wody.

VI. Silne (lekkie uszkodzenia)

- a) Wstrząs jest odczuwalny wyraźnie przez większość osób wewnątrz i na zewnątrz budynków. Obserwuje się wybieganie osób na zewnątrz budynków. W pewnych przypadkach mogą się stłuc naczynia i szkło, a książki spadać z półek. Również obserwuje się przesunięcia mebli.
- b) W nielicznych obiektach o średniej odporności (grupa B) i w wielu z grupy najłabszej (grupa A) mogą zaistnieć lekkie uszkodzenia, a w grupie obiektów A mogą zaistnieć ponadto nieliczne uszkodzenia w stopniu średnim (niewielkie pęknięcia murów, odpadanie płatów tynku, spadanie dachówek, zarysowanie się kominów).
- c) W nielicznych przypadkach mogą występować szczeliny w wilgotnym gruncie, a w terenach górskich możliwe jest powstawanie osuwisk. Obserwowane są zmiany wydajności źródeł i poziomu wody w studniach.

VII. Bardzo silne (szkody w budynkach)

- a) Wywoływanie lęku, co powoduje opuszczenie przez mieszkańców budynków. Drgania są zauważalne przez osoby jadące samochodami. Mogą powstawać znaczne szkody wewnątrz mieszkań w skutek gwałtownego przesuwania się lub rozbijania ciężkich przedmiotów.
- b) W wielu najbardziej odpornych budynkach (grupa C) mogą zaistnieć lekkie uszkodzenia, a w budynkach o średniej odporności (grupa B) średnie uszkodzenia. Najmniej odporne budowle (grupa A) mogą

ulec znacznym uszkodzeniom (głębokie i szerokie pęknięcia murów, zawalenie się wolnostojących kominów) oraz w pojedynczych przypadkach uszkodzeniom typu zniszczeń lokalnych (duże pęknięcia murów, zawalenie się części budynku).

- c) Wody w zbiornikach tworzą fale powodujące zżalenie szlamu, a źródła mogą zmienić poziom wody oraz swoją wydajność. W pojedynczych przypadkach odnawiają się źródła wyschnięte, a czynne zanikają. Obserwowane są nieliczne przypadki osunięć stromych zboczy, brzegów rzek, nasypów dróg, pęknięcia jezdni drogowych. Mogą wystąpić naruszenia szczelności rurociągów.

Skala MSK-64 posiada, opracowane na podstawie korelacji danych obserwacyjnych z wynikami pomiarów sejsmometrycznych, relacje pomiędzy poszczególnymi stopniami intensywności drgań, a wartością wypadkowej amplitudy przyspieszenia drgań podłoża:

**Tablica 1. Relacja pomiędzy stopniem intensywności drgań, a wartością ich przyspieszeń wg skali MSK-64.**

Stopień intensywności	Przyspieszenie drgań, x 10 <sup>-3</sup> m/s <sup>2</sup>
I	5 – 12
II	12 – 25
III	25 – 50
IV	50 – 120
V	120 – 250
VI	250 – 500
VII	500 – 1000

**Zależności empiryczne dla prognozowania parametrów drgań podłoża**

W efekcie wieloletnich obserwacji do opisu zachodzących zjawisk falowych można przyjąć dwa podstawowe parametry, opisujące zachodzące zjawiska falowe.

Dla zjawisk silnych o energiach  $E \geq 2 \times 10^5$  J, zależność funkcyjna amplitud przyspieszenia drgań od energii i odległości epicentralnej przyjmuje następującą formę :

$$a_{MD} = [1,33 \times 10^{-3} (\log E)^{2,66} - 0,089] \times [1,53R^{0,155} \exp(-0,65R) + 0,14]$$

gdzie:  $R$  - odległość epicentralna, km (obiekt - epicentrum wstrząsu)

$E$  - energia sejsmiczna, J

$a_{MD}$  - amplituda przyspieszenia drgań skalnego podłoża, m/s<sup>2</sup>

Niebezpieczny wzrost amplitudy generowanych drgań, może zachodzić ze spadkiem prędkości fali sejsmicznej oraz utratą spójności gruntu, w którym zagłębiony jest gaziociąg. Ilościowo najdokładniej charakteryzuje ten problem

współczynnik amplifikacji wf. Posiada on bezpośredni wpływ na maksymalne wartości amplitudy przyspieszeń drgań powierzchni terenu PGA, którą można wyliczyć z zależności:

$$PGA = a_{MD} \times w_f$$

gdzie:  $w_f$  – współczynnik amplifikacji (dla terenów Górnośląska  $w_f = 0,5 \div 4,0$ )

### Zależności analityczne do obliczeń naprężeń występujących w przekrojach gazociągu zagłębionego w drgającym podłożu gruntowym

Do oceny naprężeń przekazywanych przez drgające podłoże na obiekty liniowe przyjmuje się w obliczeniach wariant naprężeń największych. Oznacza to, że w rozwiązaniu przyjęto kąt padania fali dający największe amplitudy prędkości drgań, a tym samym największe naprężenia dynamiczne

Dla powyższych założeń oraz przyjmując propagację fal w kierunku osi wzdłużnej gazociągu, maksymalne dynamiczne naprężenia normalne (ściskające i rozrywające) oraz naprężenia ścinające można obliczyć postępując się następującymi zależnościami:

*naprężenia normalne:*

$$\sigma_x = \rho \times c_p \times v_x, Pa$$

przy czym naprężenia ze znakiem „+” są ściskające a naprężenia ze znakiem „-” są rozciągające

*naprężenia ścinające:*

$$\sigma_{xy} = \rho \times c_s \times v_y, Pa$$

$$\sigma_{xz} = \rho \times c_s \times v_z, Pa$$

gdzie:  $\rho$  – gęstość ośrodka,  $v_{y,z}$  – amplitudy prędkości drgań fali typu „S”,  $v_x$  – amplitudy prędkości drgań fali typu „P”,  $c_s$  – prędkość propagacji fal „S”,  $c_p$  – prędkość propagacji fal „P”.

### Ocena maksymalnych przyspieszeń drgań podłoża wg MSK oraz obliczanie naprężeń gazociągu w miejscach poligonowych badań.

Zgodnie z wyżej przedstawioną metodyką określono maksymalne przyspieszenia drgań, który to parametr jest miarą szkodliwości oddziaływań drgań na obiekty infrastruktury technicznej w/g skali MSK-64 oraz obliczono maksymalne naprężenia w przekrojach gazociągu. Uzyskane wyniki przedstawiono w tablicy 2.

Według skali MSK, pierwsze naruszenia szczelności rurociągów mogą mieć miejsce dopiero przy poziomie przyspieszeń przekraczającym  $500 \text{ mm/s}^2$ . W miejscach obserwacyjnych prognozowane przyspieszenia drgań nie przekraczają  $200 \text{ mm/s}^2$ , czyli

odpowiadają V stopniowi intensywności drgań. Odpowiadające tym przyspieszeniom obliczone wartości naprężeń stanowią składową całkowitych naprężeń zredukowanych w przekrojach gazociągu. Napięty gazociąg siłami obciążeń eksploatacyjnych oraz statycznymi siłami tarcia formujących się niecek obniżeniowych, zostaje poddany dodatkowym impulsom dynamicznym. Ten złożony stan naprężeń statycznych i zmiennych ma decydujący wpływ na sumaryczny bilans wytrzymałości gazociągu, stanowiących o powstaniu i rozwoju zmęczeniowych mikropęknięć w materiale rur.

Przyspieszenia drgań gruntu i przemieszczenia rurociągów spowodowane ruchem przejeżdżających nad nimi samochodów, niejednokrotnie wywołują porównywalne obciążenia dynamiczne na obiekty liniowe biegnące pod ruchliwymi drogami. Obciążenia komunikacyjne należy przy tym traktować jako obciążenia ciągłe (kilkadziesiąt minut - kilka godzin w ciągu doby), natomiast obciążenia od wstrząsów górniczych są sporadyczne (kilka razy w miesiącu - roku).

Dotychczasowa ocena wpływu drgań na obiekty infrastruktury, nie uwzględniała jednak zmian wytrzymałości zmęczeniowej materiału gazociągów. Szczególnego znaczenia nabiera ten fakt w miejscach występowania karbów, czyli łączenia rur i zaworów oraz w warunkach istniejącego już stanu naprężeń, wywołanego najczęściej obciążeniami statycznymi (naprężenia od sił tarcia, naprężenia montażowe itp.).

Okres dominujących drgań (czas trwania obciążenia), waha się w granicach  $0,2 \div 0,3$  sekundy. Dla gazociągu zagłębionego w płytkim nadkładzie gruntowym, blisko podłoża skalnego, do obliczeń przyjęto następujące wartości:  $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$ ,  $c_p = 4000 \text{ m/s}$ ,  $c_s = 2400 \text{ m/s}$ . W przypadku posadowienia gazociągu w grubej warstwie nadkładu warstw luźnych, znajdujących się daleko od podłoża skalnego, wówczas wartości przyjmuje się podobnie jak w warstwie glin piaszczystych. Z reguły występuje wówczas wzmocnienie amplitudy drgań, a poszczególne parametry przyjmują wartości:  $\rho = 1800 \div 2000 \text{ kg/m}^3$ ,  $c_p = 400 \div 600 \text{ m/s}$ ,  $c_s = 240 \div 350 \text{ m/s}$ .

### Wnioski

1. Do wstępnej oceny skutków drgań dla budowanych gazociągów może służyć metoda oparta na wyznaczonych wartościach przyspieszeń drgań maksymalnych, oddziaływujących przez podłoże na obiekt

**Tablica 2. Maksymalne wartości przyspieszenia drgań i naprężeń obliczone w miejscach obserwacji poligonowych**

Miejsce obserwacji	Amplitudy prędkości fali $v_x$ lub $v_y$ mm/s	Przyspiesz. max. drgań $a_{max}$ mm/s <sup>2</sup>	Naprężenia rozciąg. lub ściskające $\sigma_x$ Pa	Naprężenia ścinające $\sigma_{xy}$ Pa
MSZANA - KWK JASMOS	7	140	$7 \times 10^4$	$4,2 \times 10^4$
GOGOŁOWA - KWK JASMOS	8	150	$8 \times 10^4$	$4,8 \times 10^4$

- liniowy w korelacji ze stopniem intensywności oddziaływania podłoża.
2. Stopień bezpieczeństwa eksploatacji gazociągu można również określać przez obliczenie naprężeń wyznaczonych wg wzoru obowiązującego dla drgań sprężystych w dalekim polu falowym (w analizowanym przypadku warunek ten był spełniony, gdyż odległość hipocentralna ognisk wstrząsów jest większa niż długość analizowanych fal) i porównaniu tych wartości do warunku wytrzymałościowego dla konstrukcji materiałowej gazociągu.
  3. Ze względu na wagę zagadnienia, a równocześnie skomplikowany układ obciążeń statycznych i dynamicznych, celowym staje się podjęcie badań symulacyjnych nad kompleksowym obciążeniem gazociągów eksploatowanych w niestabilnym środowisku.

#### Literatura

1. Drzęźła B., Dubiński J., Kwiatek J.: Ocena oddziaływania wstrząsów górniczych na obiekty powierzchniowe na terenie górniczym KWK Rydułtowy. Prace Instytutu Eksploatacji Złóż – Politechnika Śląska, Gliwice 1997.
2. Mutke G., 1991: Metoda prognozowania parametrów drgań podłoża generowanych wstrząsami górniczymi w obszarze GZW. Rozprawa doktorska, Główny Instytut Górnictwa - Katowice.
3. Mutke G., Dworak J., 1992: Czynniki warunkujące efekt sejsmiczny wstrząsów górniczych na powierzchniowe obiekty budowlane w obszarze GZW. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. M-16.
4. Okamoto S., 1984: Introductions to Earthquake Engineering, University of Tokyo Press.
5. Miedwiediew S.V., Sponhauer W., Karnik V.; 1964: Skala MSK-64, Materiały Konferencji UNESCO, Paryż.
6. Mutke G., Stec K.; 1997: „Seismicity in the Upper Silesian Coal Basin, Poland: Strong regional seismic events” , Proc. of the 4th Int. Symp. on Rockbursts and Seismicity in Mines Kraków - Poland. A.A. Balkema/ Rotterdam.
7. Tarnowski J. – Analysis of the Effect of Friction on Changes of Loads Exerted on Gas Pipeline Cooperating with Mining-Deformable Ground – The 8th International Colloquium - Haigh Pressure Pipeline Reliability after a Long Time Operation – Praga 1999.
8. Tarnowski J. – Bezpieczeństwo eksploatacji gazociągów w aspekcie statycznych i dynamicznych obciążeń – Mat. Krajowej Konferencji Bezpieczeństwa i Niezawodności – Zakopane 1999.

## REKLAMA W PORADNIKACH

Jedyną realną szansą znaczącej poprawy bezpieczeństwa energetycznego naszego kraju w zakresie zaopatrzenia w gaz ziemny jest zbudowanie morskiego terminalu LNG.

Obecnie grupa ekspertów przygotowuje poradnik techniczny przedstawiający bazę normatywną, przepisy prawne, zasady projektowania terminali LNG i CNG, oraz zasady ich budowy i eksploatacji, procedury zarządzania jakością i informacje o najnowszych know how.

Przewodniczący Komisji Gospodarki Sejmu RP poseł Artur Zawisza oraz prezes FSNT NOT Wojciech Ratyński będą patronowali III Konferencji POLAND LNG 2006. która odbędzie się w Warszawie w siedzibie NOT, w dniu 9 maja 2006.

Poradnik ukaże się w kwietniu 2006 r., przeznaczony będzie między innymi dla jej uczestników oraz dla inżynierów, techników i kierownictw firm które powinny wziąć udział w budowie terminalu LNG. Przygotowywane jest też kolejne wydanie poradnika RUROCIĄGI DALEKIEGO ZASIĘGU. Przedmowę do niego napisał Piotr Woźniak obecny Minister Gospodarki. Zachęcamy do zamieszczenia w aneksach do obu poradników Waszej reklamy lub prezentacji na CD.

Jeśli zamówicie reklamy w obu wydawnictwach to jako premia zostanie zamieszczona bezpłatnie Wasza reklama również w najbliższych zeszytach RUROCIĄGÓW.

#### UWAGA

ZAINTERESOWANYCH ZAKUPEM PORADNIKÓW ORAZ ZAMIESZCZENIEM W NICH REKLAMY PROSIMY O KONTAKT Z REDAKCJĄ RUROCIĄGÓW