

Metoda badania przyłącza gazowego polegała na wymuszaniu impulsów dynamicznych o zmiennej częstotliwości na podłoże otaczające rurociąg i rejestrację uzyskanych zmian odkształceń gazociągu. Zadawanie drgań było realizowane za pomocą stopy wibracyjnej S, pozwalającej na wymuszenia drgań o zmiennej częstotliwości, w kolejnych testach badań od P1 do P8. Podczas prowadzonych pomiarów zmiennymi sterowanymi była odległość wymuszanych impulsów od punktu pomiarowego, częstotliwość zadawanych drgań, kierunek propagacji wymuszeń, a także zmiany podłoża generującego drgania (grunt, asfalt, blacha stalowa) i stałe utwierdzenie przyłącza do podłoża.

W trakcie pomiarów rejestrowano wartości przyspieszeń drgań gruntu i drgań przyłącza w jednostkach przyspieszenia ziemskiego „g”, jako odpowiedzi na zadane wymuszenia zewnętrzne. Przyspieszenia drgań gruntu oraz wartości przyspieszeń drgań przyłącza rejestrowano w trzech kierunkach OX, OY, OZ. Na podstawie zarejestrowanych przez tensometry odkształceń kierunkowych przyłącza, wyliczono wartości składowych naprężeń σ_X , σ_Y , σ_Z .

Do rejestracji wyników badań zaprojektowano diagnostyczny system pomiarowy obciążeń dynamicznych i generowanych odkształceń występujących w przyłączy. Szczegółową budowę systemu monitoringu składowych odkształceń dynamicznych oraz możliwości techniczne przedstawiono w pracy [1].

Wyniki badań i próba oceny

W trakcie badań przyłącza przeprowadzono osiem cykli badawczych oznakowanych od P1 do P8, podczas których dokonywano testów pomiarowych z zachowaniem zmienności warunków prowadzonych doświadczeń. Testy pierwszego badania P1 oznakowano symbolami P11, P12,...P17 (czyt. P jeden-jeden, P jeden-dwa itd.). Pierwsza cyfra oznacza numer kolejny badania, a druga cyfra oznacza kolejny numer testu, w ramach tego badania.

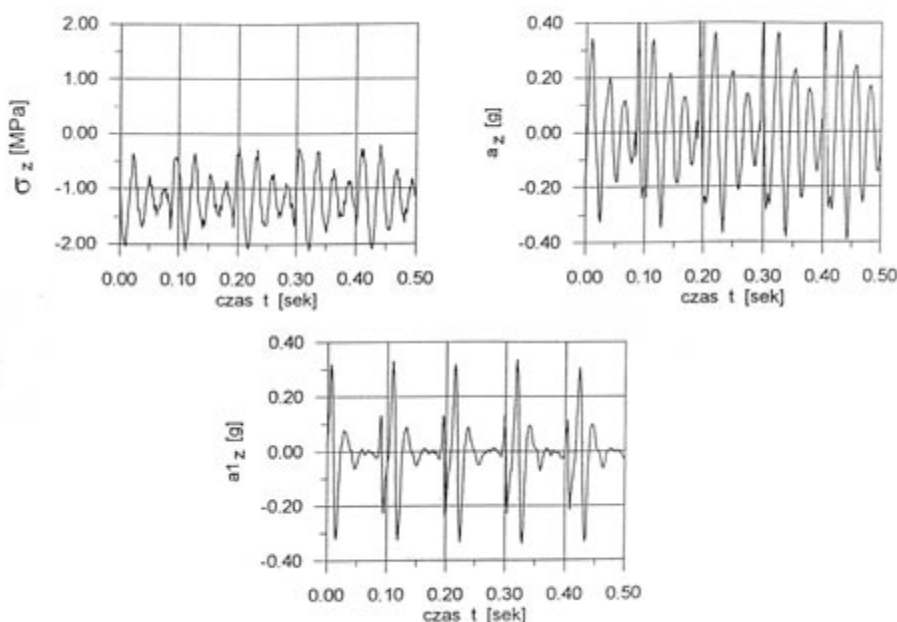
We wszystkich cyklach badawczych rejestrowano wartości kierunkowych przyspieszeń drgań gruntu a_{1x} , a_{1y} , a_{1z} , wartości kierunkowych przyspieszeń drgań rury a_x , a_y , a_z oraz wartości kierunkowych odkształceń gazociągu ε_x , ε_y , ε_z na podstawie których obliczono odpowiadające im naprężenia kierunkowe σ_x , σ_y , σ_z . Przykład zarejestrowanych wyników badania P1, uzyskanych w poszczególnych testach od P11 do P17, przedstawiono na rys. nr 2.

Warunki badawcze oraz maksymalne wartości kierunkowych przyspieszeń drgań gruntu i przyłącza oraz maksymalne wartości kierunkowych naprężeń badanego przyłącza gazowego, zawarto w tabeli 1.

Ocenę uzyskanych wyników badań przeprowadzono w dwóch aspektach: odpowiedzi podłoża na wymuszane impulsy drgań zewnętrznych oraz reakcji zagłębionej w nim konstrukcji przyłącza gazowego. Znajomość odkształceń podłoża może pozwolić bowiem, na określenie zmian stanu naprężeń w zagłębionym przyłączy, poddanym jego

Tabela 1. Zestawienie zbiorcze wyników badań przyłącza gazowego w Raciborzu

Symbol badania	Oznaczenie testu	Sztywność przyłącza	Rodzaj podłoża wymuszeń zewnętrz.	Kierunek i odległość stopy S od punktu PP [m]	Poziom wymuszeń	Maksymalne przyspieszenie kierunkowe gruntu [g]			Maksymalne przyspieszenie kierunkowe gazociągu [g]			Maksymalne naprężenia kierunkowe gazociągu [MPa]		
						a1x max	a1y max	a1z max	ax max	ay max	az max	sx max	sy max	sz max
P 1	P11	swobodne	grunt	osiowy-2,0	niski		0,02	0,33	0,38	0,12	0,40	1,0	0,26	2,08
	P12	swobodne	grunt	osiowy-2,0	średni		1,39	0,37	0,50	0,07	0,47	1,08	0,34	1,56
	P13	swobodne	grunt	osiowy-2,0	wysoki		1,08	0,58	0,56	0,06	0,65	1,13	0,43	1,65
	P14	swobodne	grunt	osiowy-2,0	wysoki	0,28		0,12	0,26	0,13	0,41	0,78	0,5	1,43
	P15	swobodne	metal.płyta	osiowy-2,0	wysoki		0,37	0,27	0,24	0,03	0,26	0,43	0,39	0,65
	P16	utwierdz.	grunt	osiowy-2,0	wysoki		0,80	0,25	0,28	0,12	0,45	0,65	0,65	1,08
	P17	utwierdz.	grunt	osiowy-2,0	wysoki	0,41		0,21	0,37	0,10	0,37	0,82	0,56	1,0
P 2	P21	swobodne	grunt	osiowy-2,7	niski		0,04	0,06	0,17	0,05	0,23	0,25	0,69	0,80
	P22	swobodne	grunt	osiowy 2,7	średni		0,07	0,06	0,73	0,12	0,69	0,98	0,65	1,47
	P23	swobodne	grunt	osiowy 2,7	wysoki		0,07	0,06	0,48	0,12	0,73	0,65	0,65	1,47
	P24	swobodne	grunt	osiowy 2,7	wysoki	0,13		0,05	0,26	0,13	0,60	0,30	0,65	1,21
	P25	swobodne	metal.płyta	osiowy 2,7	wysoki		0,04	0,05	0,21	0,06	0,44	0,43	0,58	0,68
	P26	utwierdz.	grunt	osiowy 2,7	wysoki		0,05	0,07	0,18	0,10	0,62	0,43	0,60	1,29
	P27	utwierdz.	grunt	osiowy 2,7	wysoki	0,15		0,08	0,28	0,20	0,83	0,50	0,60	1,63
P 3	P31	swobodne	dno wykopu	osiowy 0,5	niski		0,03	0,04	0,06	0,02	0,07	0,15	0,41	0,26
	P32	swobodne	dno wykopu	osiowy 0,5	średni		0,025	0,025	0,45	0,30	0,80	0,15	0,41	0,21
	P33	swobodne	dno wykopu	osiowy 0,5	wysoki		0,03	0,03	0,60	0,34	0,74	0,17	0,56	0,25
	P34	swobodne	dno wykopu	osiowy 0,5	wysoki	0,98		0,03	0,69	0,32	0,58	0,21	0,49	0,28
	P35	swobodne	dno z płytą	osiowy 0,5	wysoki		0,02	0,03	0,48	0,28	0,69	0,13	0,39	0,21
	P36	utwierdz.	dno wykopu	osiowy 0,5	wysoki		0,02	0,02	0,52	0,32	0,75	0,13	0,50	0,25
	P37	utwierdz.	dno wykopu	osiowy 0,5	wysoki	0,82		0,02	0,50	0,30	0,69	0,21	0,54	0,26
P 4	P4	utwierdz.	chodnik	prostopadł. 1,2	wysoki		0,26	0,34	0,20	0,04	0,19	0,28	0,47	0,3
P 5	P5	utwierdz.	asfalt	prostopadł. 3,2	wysoki		0,052	0,08	0,86	0,34	0,93	0,19	0,40	0,21
P 6	P6	utwierdz.	grunt	prostopadł. 2,8	wysoki		0,1	0,08	0,86	0,30	1,39	0,15	0,47	0,25
P 7	P7	utwierdz.	grunt	prostopadł. 1,6	wysoki		0,16	0,17	0,24	0,04	0,15	0,45	0,35	0,37
P 8	P81	utwierdz.	dno wykopu	osiowy 4,5	niski		0,21	0,40	0,20	0,07	0,46	0,39	0,39	0,80
	P82	utwierdz.	dno wykopu	osiowy 4,5	średni		0,30	0,45	0,19	0,09	0,59	0,32	0,32	1,08
	P83	utwierdz.	dno wykopu	osiowy 4,5	wysoki		0,17	0,40	0,16	0,08	0,37	0,25	0,60	0,75
	P84	utwierdz.	dno wykopu	osiowy 4,5	wysoki	0,28		0,39	0,14	0,06	0,33	0,30	0,52	0,70



Rys.2. Przykładowe wartości zarejestrowane w badaniu P11 w kierunku osi „z” amplitudy: przyspieszeń drgań gruntu – a_{1z} , przyspieszeń drgań zagłębionych w nim rur przyłącza – a_z , oraz naprężeń w przekrojach rury – σ_z

wpływem. Przeprowadzając ocenę wyników badań domowego przyłącza gazowego poddanego wstrząsom należy zaznaczyć, że dotyczy ona zakresu przyspieszeń drgań jaki był możliwy do uzyskania przy pomocy stopy wibracyjnej, bowiem rejestracja wstrząsów pochodzenia naturalnego znacznie wydłużyłoby czas badań.

Uzyskana maksymalna wartość przyspieszenia gruntu dla poziomu częstości drgań niskiego, średniego i wysokiego wynosiła około 1,39 g, co daje wartość około 13,6 m/s². Dotychczas rejestrowane wartości rzeczywistych przyspieszeń gruntu, pochodzące od wstrząsów górniczych mieszczą się w badanym zakresie indukowanych drgań.

Największą wartość (0,98g) składowej przyspieszenia $a_{1_{x_{max}}}$ zarejestrowano przy wymuszaniu drgań na dnie wykopu, pod rurą przyłącza, w odległości 0,5m od punktu pomiarowego PP, a tym samym 0,7m od akcelerometru A1 (test P34). Rejestrowane przyspieszenia drgań gruntu w kierunku osi OX malały ze wzrostem odległości od punktu rejestracji A1. Przy wzroście odległości generowania drgań do 6,7m od A1 i przy ich wymuszaniu również na dnie wykopu wartości przyspieszeń obniżyły się prawie trzykrotnie (test P84).

Największą wartość maksymalnego przyspieszenia drgań gruntu z wszystkich uzyskanych w badaniach osiągnęła składowa $a_{1_{y_{max}}} = 1,39$ g, przy odległości stopy od akcelerometru A w równej 0,8 m oraz przy indukowaniu drgań na grunt leżący bezpośrednio nad gazociągiem (test

P12). Przy wzroście odległości od akcelerometru A do 6,7 m składowe przyspieszenie drgań gruntu $a_{1_{y_{max}}}$ obniżyło się prawie czterokrotnie (test P82). Spadek wartości przyspieszeń drgań gruntu wraz ze wzrostem odległości ich wymuszania można również zaobserwować porównując wyniki testów P4, P5, P6 i P7. Wyniki wartości maksymalnych przyspieszeń składowych gruntu $a_{1_{y_{max}}}$ potwierdzają znaczną istotność wpływu struktury gruntu na zarejestrowane wyniki badań. Mało spoiisty i nie ubity podczas pierwszych testów grunt posiadał prawie czterokrotnie większe przyspieszenia drgań (test P12 i P13) od wartości uzyskanych w testach, gdy podłoże wibracji było utwardzone przez kolejne testy lub drgania przekazywano na metalową płytę (test P15 i P16).

Zarejestrowane wartości $a_{1_{y_{max}}}$ w pozostałych testach osiągnęły nieznaczny poziom, co można wytłumaczyć pewną stabilizacją ubitego w kolejnych testach gruntu.

Największą maksymalną wartość przyspieszenia drgań gruntu w kierunku osi OZ zarejestrowano w teście P13 przy małej spoiistości gruntu i wysokim poziomie częstości drgań, a wartość jego wynosiła 0,58 g. Wartość ta, podobnie jak przyspieszenia drgań w kierunku OY została zarejestrowana w podobnych warunkach, ale była prawie dwukrotnie mniejsza. Z analizy obu tych składowych wynika, że występuje znaczący wpływ niskiej spoiistości gruntu na wzrost przyspieszeń drgań gruntu.

Podobnie jak dwie poprzednie składowe, maksymalna wartość przyspieszenia drgań gruntu $a_{1_{z_{max}}}$ osiągała podwyższony poziom w testach badania P8, czyli przy indukowaniu drgań na dnie wykopu pod badanym przyłączem.

Składowe przyspieszeń drgań gruntu $a_{1_{y_{max}}}$ oraz $a_{1_{z_{max}}}$ są generalnie większe od składowych $a_{1_{x_{max}}}$ we wszystkich testach, z wyjątkiem testów badania P3, w których maksymalne wartości zarejestrowano dla składowej $a_{1_{x_{max}}}$ podczas wymuszania drgań na dnie wykopu, pod badanym przyłączem. Ta charakterystyczna odpowiedź gruntu na indukowane drgania jest zachowana we wszystkich badaniach i daje podstawę do stwierdzenia o decydującym wpływie drgań, propagujących w kierunku od dna przyłącza. Drgania te powodują największe odkształcenia gruntu we wszystkich rejestrowanych kierunkach. Może to mieć szczególne znaczenie w chwili

przejścia frontu eksploatacji kopalni bezpośrednio pod rurociągami.

Wpływ poziomu częstości indukowanych drgań na odkształcenia gruntu można przyjąć jako mniej istotny od innych zmiennych sterowanych. Podwyższone wartości przyspieszeń drgań gruntu występowały dla poziomów średnich i wysokich w testach badania P1, równe dla różnych poziomów częstości dla składowych $a1_{zmax}$ w P2, lub rejestrowano minimalny spadek tych przyspieszeń w badaniu P3. Zależność ta wymaga dodatkowego badania w warunkach laboratoryjnych.

Zarejestrowane w badaniach odkształcenia przyłącza pozwoliły na wyliczenie naprężeń jakie powstały w materiale rury na skutek indukowania drgań. Ponieważ zachodzi ścisła zależność korelacyjna między zarejestrowanymi odkształceniami i przedstawionymi na wykresach maksymalnymi wartościami kierunkowych naprężeń składowych σ_{xmax} , σ_{ymax} , σ_{zmax} , dlatego analizowano tylko maksymalne wartości generowanych naprężeń kierunkowych.

Maksymalne wartości naprężeń σ_{xmax} w badanym przyłączu, zarejestrowano w badaniach P1 i P2, przy czym najwyższa ich wartość wystąpiła w teście P13 osiągając wartość 1,13MPa. Na wartości rejestrowanych naprężeń maksymalnych σ_{xmax} największy wpływ posiadała luźna struktura gruntu w początkowej fazie badań, a także kierunek propagacji drgań od dna wykopu. W testach z płytą metalową pod stopą, a więc przy eliminacji sukcesywnego utwardzania gruntu przez drgającą stopę, we wszystkich testach dochodziło do spadku naprężeń σ_{xmax} . Obniżenie wartości tych naprężeń następowało również przy wzbudzaniu drgań na płytach betonowych chodnika i ulicznym asfalcie. Można to tłumaczyć większą sztywnością podłoża generującego wstrząsy i zwiększoną sztywnością konstrukcji przyłącza z utwierdzonym końcem. Wzrost naprężeń następował w warunkach mało spoistego gruntu i swobodnego zamocowania końca rury w testach badań P1, P2 i P3. W badaniach składowej naprężenia w kierunku osi OX, powtarza się zmienny wpływ częstości poziomu indukowanych drgań na rejestrowane wartości naprężeń maksymalnych σ_{xmax} .

Na wykresach można zaobserwować spadek naprężeń maksymalnych w testach badania P1, bardzo ich wyrównany poziom w badaniach P2 i stosunkowo niewielkie różnice w wartościach

w pozostałych testach. We wszystkich testach składowa wartość naprężeń σ_{ymax} utrzymywała się w zakresie od 0,26 do 0,69 MPa. Stosunkowo nieduży rozrzut tych wartości świadczyć może o małym wpływie zmiennych sterowanych i niezależnym propagowaniu drgań wzdłuż osi OY.

Z uzyskanych wyników badań można stwierdzić fakt uniezależnienia się generowanych naprężeń od wartości przyspieszeń drgań gruntu. Porównując maksymalne

wartości przyspieszeń $a1_{ymax}$ z wartościami σ_{ymax} można dostrzec spadek naprężeń w przekrojach przyłącza dla wysokich przyspieszeń drgającego podłoża w badaniu P1, oraz ich wzrost przy niskich wartościach przyspieszeń drgań gruntu w pozostałych badaniach wzdłuż osi OY. Przyczyną uniezależnienia się drgań gazociągu od drgań podłoża i innych zmiennych może być ruch drgający gazociągu, który sam staje się generatorem drgań dla dalszych jego odcinków.

Najwyższą wartość naprężeń σ_{zmax} zarejestrowano w teście P11, w którym składowa σ_{zmax} osiągnęła wartość 2,08 MPa, dla swobodnego zamocowania końca rury, gruntowego podłoża i niskiego poziomu wymuszeń. Podobnie jak dla składowej σ_{xmax} , która osiągnęła wartość maksymalną w tym samym badaniu P1, ponieważ były to pierwsze wzbudzenia drgań na mało spoistym gruncie.

Podobieństwo charakteru zmian wartości maksymalnych składowych σ_{xmax} i σ_{zmax} uwidacznia się również w testach z zastosowaniem jako podłoża wymuszającego metalowej płyty. We wszystkich testach badawczych obu tych składowych z zastosowaniem płyty metalowej jako podłoża, zachodziło obniżenie wartości zarejestrowanych naprężeń w stosunku do zmian wartości odkształceń podłoża gruntowego. Podobne charakterystyki otrzymano w testach z ustawieniem stopy na płytach betonowych i asfalcie, w których notowano mniejsze wartości naprężeń w porównaniu z podłożem gruntowym.

Z wyników badania składowych naprężeń σ_{zmax} wynika znacząca zależność wpływu sztywności przyłącza zrealizowana przez jego utwierdzenie na wartości generowanych naprężeń. We wszystkich badanych kierunkach składowe maksymalnych naprężeń w przyłączu osiągały podwyższony poziom wartości przy sztywnym utwierdzeniu końca przyłącza. Największe z nich o wartości prawie dwukrotnie większej od pozostałych zarejestrowano w kierunku osi OZ (testy P26 i P27). Powodem zarejestrowanego stanu może być zgodność kierunku generowanych wibracji przez stopę z kierunkiem powstających naprężeń w tym samym kierunku OZ, co mogło powodować ich wzrost. Zaobserwowany wzrost naprężeń dynamicznych w przyłączu przy jego sztywnym połączeniu z gazociągiem może być przyczyną podwyższonej liczby awarii w tych konstrukcjach po zaistniałym wstrząsie lub tąpnięciu na terenach górniczych.

Największe wartości naprężeń w badanym przyłączu zarejestrowano w teście P11, w którym zarejestrowano składową $\sigma_{zmax}=2,08$ MPa. Wartość ta została osiągnięta dla niskiego poziomu częstości drgań gruntu i swobodnego zamocowania przyłącza. Jednak wartość taką uzyskano w początkowej serii badań, przy nienaruszonej strukturze gruntu i o małej jego zwięzłości, co mogło być tego przyczyną.

Wnioski

1. We wszystkich badaniach przyspieszeń drgań gruntu na ich wartość maksymalną oraz wartości powstałych pod ich wpływem maksymalnych naprężeń w badanym przyłączy gazu decydujący wpływ miała wartość indukowanej energii, zależnej od odległości miejsca propagacji fal oraz gęstości otaczającego gruntu.
2. Drgania gruntu o największych amplitudach nie powodują powstania największych naprężeń w gazociągu, zależy to bowiem jeszcze od m.in. gęstości gruntu w którym zagłębiony jest gazociąg. Grunt o mniejszej spójności sprzyja generowaniu drgań w zagłębionym w nim gazociągu.
3. Spadek wartości przyspieszeń drgań gruntu wraz ze wzrostem odległości ich wymuszania można zaobserwować porównując wyniki testów P4, P5, P6 i P7. Uzyskane w badaniach wartości maksymalnych przyspieszeń składowych gruntu $a_{1\max}$ potwierdzają znaczną istotność wpływu struktury gruntu na zarejestrowane wyniki. Poddany wibracjom grunt o małej gęstości podczas pierwszych testów, posiadał prawie czterokrotnie większe przyspieszenia drgań od wartości uzyskanych w testach, gdy podłoże przekazywanych drgań było utwardzone przez zadawane kolejne testy lub drgania przekazywano na metalową płytę.
4. Przeprowadzone badania w stopniu więcej niż zadowalającym pozwoliły uzyskanie charakterystyk wymuszającego procesu parasejsmicznego (głównie gęstości widmowych) w celu późniejszego wykorzy-

stania tego procesu do symulacji zjawiska zniszczenia zmęczeniowego materiału rurociągu na terenach eksploatacji górniczej pod wpływem realnych wymuszeń zewnętrznych.

Literatura

1. Gawędzki W., Tarnowski J. – System diagnozowania i monitoringu statycznych i dynamicznych stanów odkształceń gazociągów eksploatowanych w warunkach niestabilnego środowiska – ZEM 4/99
2. Tarnowski J., Broniec Z. – Badania poligonowe sieci gazowych na terenie eksploatacji górniczej w rejonie osiedla Załęska Hałda w Katowicach – Prace nr 83 Instytutu Górnictwa Naftowego i Gazownictwa pt: Trwałość i niezawodność sieci gazowych eksploatowanych na terenach górniczych – Kraków 1994
3. Klupa A., Tarnowski J. – Trwałość i integralność rozdzielczych sieci gazowych z rur polietylenowych użytkowanych na terenach górniczych – Nafta Gaz Nr7-8/1998
4. Tarnowski J. – Analiza wpływu tarcia na zmiany obciążenia gazociągu współpracującego z górniczo – odkształcalnym ośrodkiem gruntowym – 5th International Symposium INSYCONT '98 – Tribologia Nr 6/98
5. 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

dr inż. Jerzy Tarnowski jest pracownikiem naukowym AGH w Krakowie

WANTED

We are searching for english speaking professionals to work for blue chip companies in the UK.

We urgently need **petrochemical, mechanical, electrical, system control engineers** who would like to work in the UK. Our customer is the world's premier engineering, construction and project management company with 40000 employees all over the world. The actual requirement is 20 engineering vacancies within petrochemical industry to work locally in London.

We are looking for 10 years experienced professionals to fill up offered job. We won't reject any offer of less experienced or postgraduates engineers. The estimated average annual salary is 50000 GBP.

We expect from candidates to send cv and covering letter in english to: jafaw@jafaw.Com

We also have vacancies for different sectors. Feel free to send your cv if you are highly qualified professional in any other sector.

Our services are free of charge to candidates
For further information please visit our website: www.jawaf.com
We are a certified UK company, Jawaf LTD