Stanisław Wilk*, Marek Galas, Marek Mijal*****

PRZEBUDOWA GAZOCIĄGÓW POSADOWIONYCH W GRUNTACH NIESTABILNYCH (GRUNTY NAWODNIONE, TORFOWISKA, BAGNA)

1. WSTĘP

Projektując nowe gazociągi, dąży się do wyboru trasy, która umożliwia jego optymalną lokalizację w terenie, uwzględniając przy tym warunki i aspekty techniczne, ekonomiczne i środowiskowe, a w przyszłości długotrwałe i bezpieczne użytkowanie. Trasa gazociągu winna być przy tym jak najkrótsza, a jednocześnie omijać miejsca, które pod względem wykonawczym i formalno-prawnym stwarzają jak najmniej problemów. Dlatego też unika się prowadzenia gazociągów przez tereny podmokłe (bagna) osuwiskowe i torfowiska oraz obszary wpisane na listę „Natura 2000".

W artykule przedstawiono proces analizy rozwiązań koncepcyjnych i projektowych, badań terenowych oraz przebieg realizacji przebudowy odcinka gazociągu wysokiego ciśnienia DN 700 przebiegającego w m. Ruda Łańcucka, posadowionego w gruncie nawodnionym, stanowiącym torfowisko bagienne. W czasie eksploatacji gazociągu posadowionego na odcinku nawodnionego torfowiska, doszło do jego całkowitego wyparcia na powierzchnię gruntu. W zaistniałej sytuacji opracowano projekt budowlano-wykonawczy i zrealizowano przebudowę zagrożonego odcinka gazociągu.

2. CHARAKTERYSTYKA TERENU INWESTYCJI

Przedmiotowy odcinek gazociągu wysokiego ciśnienia o średnicy nominalnej DN 700 relacji Jarosław–Puławy zlokalizowany jest na terenie wsi Ruda Łańcucka, gmina Nowa Sarzyna, w woj. podkarpackim. Istniejący gazociąg na analizowanym odcinku tj. na długości ok. 520 mb przykryty był coraz to cieńszą warstwą ziemi (wznosząc się ku powierzchni

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków
** Operator Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A. Oddział w Tarnowie
*** Biuro Projektów „NAFTA-GAZ" Sp. z o.o. Jasło

terenu), a w kulminacji ugięcia wierzchnia część rury wraz z obciążnikami znalazłam się na powierzchni terenu. Kulminacja „wypłynięcia" gazociągu wystąpiła w terenie, gdzie od powierzchni do głębokości ok. 4,2 m ppt dominuje tylko torf. Wg projektu pierwotnego istniejący gazociąg winien być w całości ułożony w ziemi, na głębokości min. 1,0 m. (warstwa przykrycia).

Zgodnie z wynikami przeprowadzonych badań geotechnicznych, poziom wód gruntowych jest bardzo wysoki i może podlegać wahaniom do 1,5 m. Ze względu na trudności w ustaleniu ilości i masy występujących obciążników nie można było sprawdzić teoretycznej ich skuteczności.

3. WARUNKI GEOLOGICZNE W REJONIE PRZEBUDOWY GAZOCIĄGU

Dla rozpoznania warunków hydrogeologicznych i geotechnicznych wykonano 6 otworów badawczych o głębokości od 2,5÷4,9 m oraz kartowanie geologiczne i morfologiczne terenu badań. Na ich podstawie określono warunki gruntowo-wodne i ich ocenę wzdłuż trasy przebudowywanego gazociągu. Grunty przebadano makroskopowo określając ich rodzaj, stopień plastyczności gruntów spoistych i zagęszczenia dla gruntów sypkich. Na tej podstawie wykonano przekroje geotechniczne.

3.1. Budowa geologiczna

Pod względem geologicznym rejon przebudowy gazociągu znajduje się we wschodniej części Zapadliska Przedkarpackiego, gdzie podłoże budują utwory miocenu wykształcone jako osady morskie strefy przybrzeżnej, w tym szare i szaro zielone łupki iłołupki oraz iły warstw baranowskich, ewaporaty – anhydryty, gipsy i sole zaliczane do osadów Badenu oraz przykrywające je iły i iłowce sarmatu o łącznej miąższości do kilkuset metrów. Utwory te są przykryte osadami czwartorzędu wykształconymi jako różnoziarniste piaski i żwiry z wkładkami i soczewkami utworów pylastych, namułów i glin oraz torfów pochodzenia zarówno wodnolodowcowego i eolicznego (zlodowacenie środkowopolskie i północnopolskie) jak i rzecznego (holocen). Łączna miąższość osadów czwartorzędu w rejonie badań dochodzi do 25–30 m.

Z wykonanych wierceń polowych wynika, że na poziomie posadowienia gazociągu do głębokości 5,0 m występują piaski średnioziarniste, namuły, torfy, piaski drobnoziarniste i pylaste oraz gliny pylaste zwięzłe.

3.2. Warunki hydrogeologiczne

Omawiany obszar charakteryzuje się występowaniem jednego głównego piętra wodonośnego o zwierciadle swobodnym, którego skałą zbiornikową są czwartorzędowe osady piaszczysto-żwirowe rzeki Sanu. Charakteryzują się on dużą miąższością utworów wodonośnych w granicach 5÷25 m oraz dużą zasobnością wynikającą z odnawialności zasobów. Słaba nieciągła izolacja utworami nieprzepuszczalnymi występuje jedynie lokalnie co wpływa na zwiększoną wrażliwość tych wód na antropopresję. Zasilanie piętra czwartorzędowego odbywa się głównie poprzez infiltracje opadów atmosferycznych.

Woda gruntowa charakteryzuje się podwyższoną zawartością chlorków, azotanów i siarczanów wskazujących na obecność w tych wodach zanieczyszczeń antropogenicznych. Poziom wód gruntowych kształtuje się na głębokości 1,1÷2,1 m ppt.

Występujące w przypowierzchniowej strefie piaski drobnoziarniste i średnioziarniste można uznać jako utwory dobrze przepuszczalne. Średni współczynnik filtracji (k) dla tych utworów wynosi $5 \cdot 10^{-4}$ m/s. Średnie zasilanie infiltracyjne, czyli procent wód opadowych infiltrujących w głąb przypowierzchniowej warstwy skał wynosi średnio około 20÷25%. Warunki takie decydują o słabej izolacji poziomów niżej leżących.

3.3. Warunki geotechniczne

Badania geotechniczne dokonano w aspekcie ich przydatności do posadowienia gazociągu w oparciu o polową analizę prób gruntu określając ich rodzaj, stopień zagęszczenia i plastyczności. Pozostałe parametry przyjęto na podstawie korelacji zgodnie z normą PN-81/B-03020. Występujące tu grunty rodzime rozpatrywane jako podłoże budowlane uznane zostały jako warstwowane, o umiarkowanym stopniu skomplikowania. W poziomie posadowienia gazociągu występują średnio do 1 m czwartorzędowe piaski drobnoziarniste i pylaste, gliny ilaste zwięzłe, namuły oraz torfy. Posadowienie przebudowywanego gazociągu następowało w strefie wahań zwierciadła wód podziemnych. W ich obrębie wydzielono pięć warstw geotechnicznych.

Warstwa geotechniczna I – zaliczono do niej holoceńskie eoliczne piaski drobne i pylaste. Są mało wilgotne do wilgotnych, w bezpośrednim sąsiedztwie gazociągu rozluźnione, barwy żółtobrązowej i żółto-szaro-brązowej. Miejscami zawierają domieszki syngenetycznych mad oraz namułów gliniastych w postaci wkładek i soczewek, ich maksymalna zawartość dochodzi do 30%. Występują generalnie na powierzchni terenu.

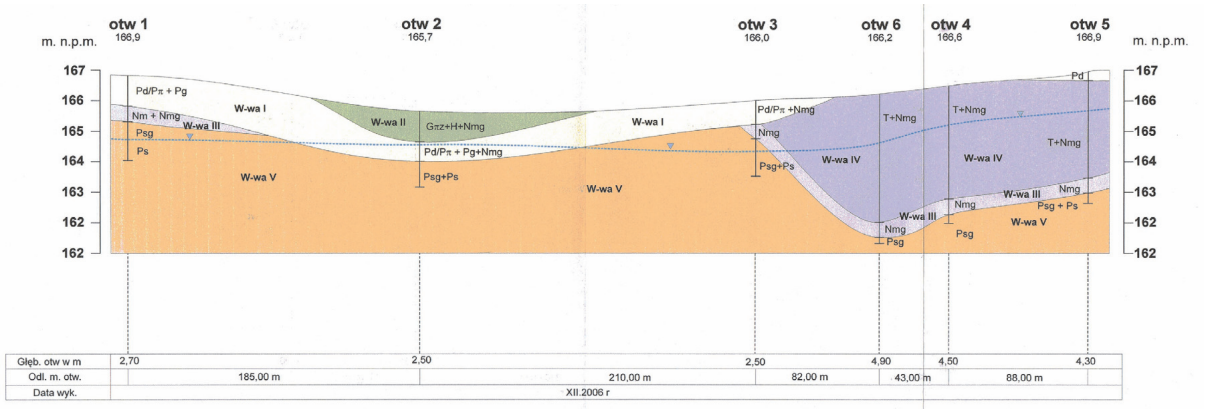
Warstwa geotechniczna II – zaliczono do niej aluwialne gliny pylaste zwięzłe. Są to mady holoceńskiej doliny rzecznej, miąższość tych utworów wynosi 1,0 m. Zawierają przewarstwienia mułków rzecznych i namułów. Są barwy ciemnoszarej i szaro-żółto-brunatnej, wilgotne, w stanie plastycznym.

Warstwa geotechniczna III – są to holoceńskie namuły rzeczne doliny Sanu. Występują na zmiennych głębokościach w postaci wkładek i przewarstwień w innych warstwach geotechnicznych oraz jako oddzielna warstwa, gdzie ich miąższość dochodzi do 0,5 m. Są to głównie namuły gliniaste, barwy czarnobrązowej i czarnej, wilgotne do zawodnionych. Ze względu na bardzo wysoką zmienność parametrów tej warstwy geotechnicznej odstąpiono od wyznaczania parametrów tych gruntów, uznając je w całości za nienośne.

Warstwa geotechniczna IV – to holoceńskie torfy, barwy ciemnoszarej do czarnych, mokre. Zalegają one na głębokościach od 0,0÷4,2 m. Maja one cechy gruntów organicznych, wysadzinowych. Ze względu na obecność materii organicznej odcieki wód gruntowych z tej warstwy będą miały własności korozyjne zarówno na metale jak i beton. Leżą one w strefie wahań zwierciadła wody, dlatego w całości można je określić jako grunty nienośne.

Warstwa geotechniczna V – zaliczono do niej aluwialne piaski średnioziarniste doliny Sanu. Są to typowe osady klastyczne rzeki, występujące pod młodszą pokrywą piasków pylastych i drobnoziarnistych oraz glin pylastych. Są wilgotne do zawodnionych, barwy żółtoszarej do szarej w spągu, w stanie średnio zagęszczonym.

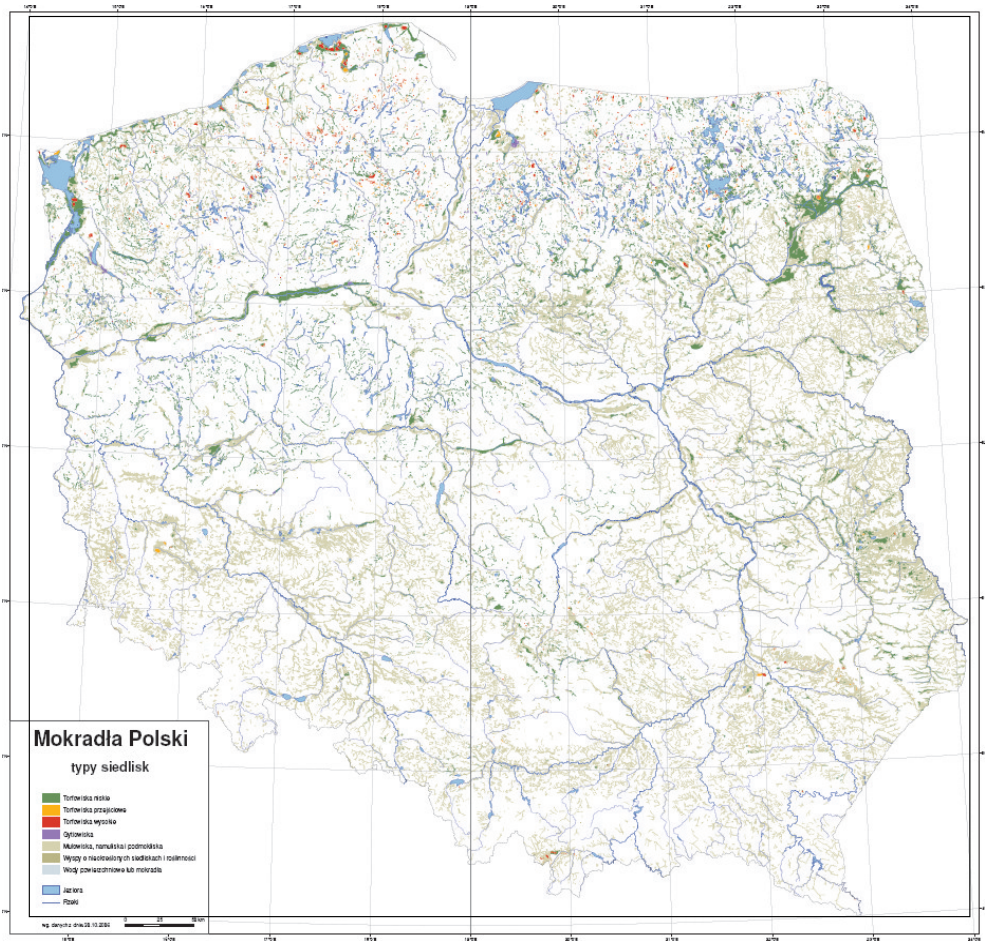
Przekrój geotechniczny obszaru badań przedstawiono na rysunku 1, natomiast zestawienie parametrów geotechnicznych na rysunku 2, a występowanie torfowisk na rysunku 3.



Rys. 1. Przekrój geotechniczny rejonu przebudowy gazociągu

OBJAŚNIENIA GEOLOGICZNE			PARAMETRY GEOTECHNICZNE wg PN-81/B-03020 Wartość charakterystyczna X														
Profil stratygraficzno-litograficzny	Opis litograficzno-genetyczno-stratygraficzny		Nr warstwy geotechnicznej	Symbol gruntu wg PN-74/ b-02480	Symbol geologiczn. Konsolidacji gruntu	Stan gruntu: Stopień zagęszczenia I_D	Stan gruntu: Stopień plastyczności I_L	Wilgotność naturalna w_n	Gęstość objętościowa ρ	Spójność C_u	Kąt tarcia wewnętrznego Φ_u	Endometryczny moduł ściśliwości: Pierwotnej M_o	Endometryczny moduł ściśliwości: Wtórnej M	Moduł odkształcenia: Pierwotnego E_o	Moduł odkształcenia: Wtórnego E	Wytrzymałość na ściskanie $Ł_i$	Zawartość części organicznych I_{om}
								%	tm3	KPa	o	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	%
CZWARTORZĘD holocen	piaski drobne i pylaste	eoliczne	I	Pd+Pπ	sypkie	0,25		w	1,70		29,2	38 700		28 700			
	glina pylasta zwięzła/humus/ namuł gliniasty	aluwialne	II	Gπz+H+Nmg	C		0,30	w	1,90	13,3	13,2	23 600		16 500			
	namuły gliniaste	aluwialne	III	Nm + Nmg	nie określano												
	torfy torfy i namuły	aluwialne	IV	T+Nm	nie określano												
	piaski średnioziarniste	aluwialne	V	Psr	sypkie	0,45		w	1,80		32,7	86 700		73 200			

Rys. 2. Zestawienie parametrów gruntu w rejonie przebudowy gazociągu



Rys. 3. Mokradła Polski – występowanie torfowisk
[Mapa opracowana w Zakładzie Ochrony Przyrody Obszarów Wiejskich IMUZ Falenty. www.gis-mokradła.info]

4. PRZEDSTAWIENIE PROPONOWANYCH ROZWIĄZAŃ

Przedmiotem analizy było pięć rozwiązań, z których pierwsze rozwiązanie przewiduje wykonanie nowego odcinka gazociągu, natomiast pozostałe przewidują dalszą eksploatację gazociągu istniejącego z wykonaniem dodatkowych zabezpieczeń.

Rozwiązanie 1

W tym rozwiązaniu proponuje się wykonanie nowego odcinka gazociągu o długości ok. 520 mb z zastosowaniem dociążenia żelbetowymi obciążnikami siodłowymi – zgodnie z normą branżową BN-86/8976-15 „Dociążenia gazociągów ułożonych w wodzie lub gruncie nawodnionym".

Podstawowe parametry techniczne przebudowywanego odcinka gazociągu:

- średnica nominalna – DN 700 mm (ϕ711×17,5) – rury przewodowe stalowe wg normy PN-EN 10208-2 z dokumentem kontrolnym 3.1 wg PN-EN 10204
- ciśnienie nominalne – PN = 6,3 MPa
- ciśnienie robocze max – Pr = 6,0 MPa (MOP)
- głębokość ułożenia – min. 1,0 m ppt (warstwa przykrycia)

Zakres stosowania obciążenia:

$$m_c > \frac{m_c + m_i + 0,4 \cdot m_g}{1,1}$$

Dane:

ρ – masa cieczy wypartej przez gazociąg (wypór)
dz = 0,7174 m – średnica zewnętrzna gazociągu z izolacją
L = 1,0 m – długość obliczeniowa gazociągu
ρ = 1000 kg/m^3
mr + mi = 306 kg/m – masa gazociągu z izolacją
mg = 0

$$m_c = 404 \text{ kg/m} > \frac{306}{1,1} = 278,2 \text{ kg/m}$$

Należy zastosować dociążenie gazociągu.
Przyjęto obciążniki siodłowe wykonane wg normy BN-70/8976-15.
Rozstaw obciążników:

$$L_{\max} = \frac{2,30 - \rho}{2,30} \cdot \frac{m}{1,1 \cdot m_c - m_r - m_i} \quad [\text{m}]$$

Dane:

ρ = 1,0 kg/dm^3
m = 761 kg/szt – masa obciążnika wykonanego zgodnie z normą BN-70/8976-15
mc = 404 kg/m
mr + mi = 306 kg/m

$$L_{\max} = \frac{2,30 - 1,0}{2,30} \cdot \frac{761}{1,1 \cdot 404 - 306} = 3,11 \text{ m}$$

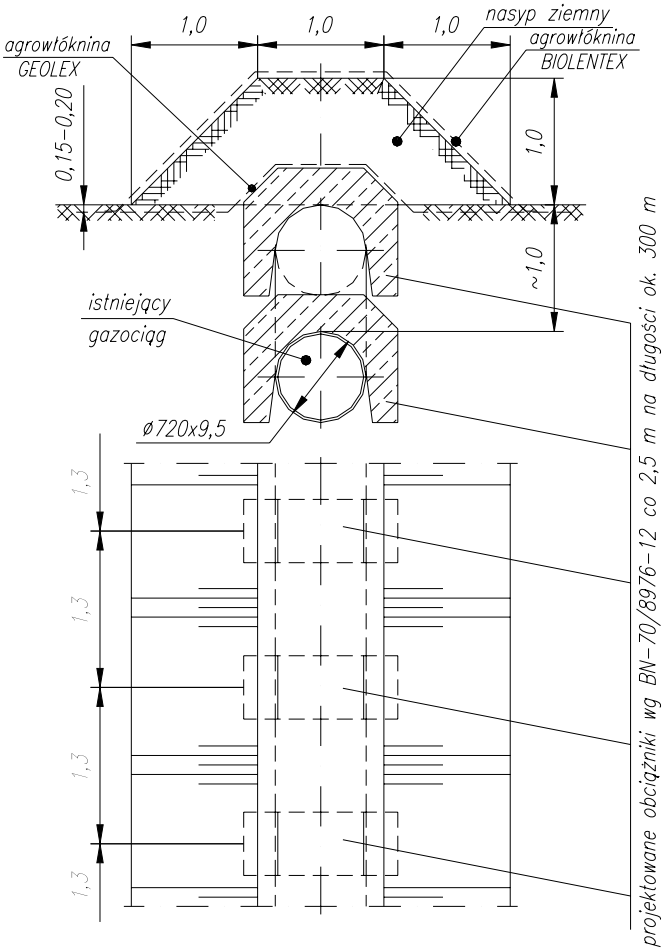
Przyjęto rozstaw obciążników: L = 2,5 m na całej długości projektowanego odcinka.

Rozwiązanie 2

Rozwiązanie to polega na dociążeniu istniejącego gazociągu nowymi obciążnikami z dodatkowym zabezpieczeniem nasypem ziemnym (rys. 4). Istniejący gazociąg pozostaje w niezmienionym stanie, likwiduje się istniejące obciążniki.

Na gazociągu układa się nowe obciążniki siodłowe wykonane wg normy BN-70/8976-15, następnie wykonuje się dodatkowe dociążenie przez usypanie nasypu ziemnego o wysokości 1,0 m i szerokości podstawy 3,0 m. Na całej powierzchni nasypu będzie ułożona agrowłóknina.

Ułożenie obciążników i nasypu projektuje się na długości ok. 300 mb.



Rys. 4. Schemat zabezpieczenia dociążenia istniejącego gazociągu nowymi obciążnikami z dodatkowym zabezpieczeniem nasypem ziemnym

Obliczenie dociążenia

Zakres stosowania obciążenia:

$$m_c > \frac{m_c + m_i + 0,4 \cdot m_g}{1,1}$$

Dane:

$$m_c = W = 0,785 \cdot d_z^2 \cdot L \cdot \rho =$$

– masa cieczy wypartej przez gazociąg (wypór)

$$= 0,785 \cdot 0,724^2 \cdot 1,0 \cdot 1000 = 411,5 \text{ kg/m}$$

dz = 0,724 m – średnica zewnętrzna gazociągu z izolacją
L = 1,0 m – długość obliczeniowa gazociągu
ρ = 1000 kg/m^3
mr + mi = 170 kg/m – masa gazociągu z izolacją
mg = 0

$$m_c = 411,5 \text{ kg/m} > \frac{170}{1,1} = 154,6 \text{ kg/m}$$

Należy zastosować dociążenie gazociągu.
Przyjęto obciążniki siodłowe wykonane wg normy BN-70/8976-15.
Rozstaw obciążników:

$$L_{\max} = \frac{2,30 - \rho}{2,30} \cdot \frac{m}{1,1 \cdot m_c - m_r - m_i} \quad [\text{m}]$$

Dane:

ρ = 1,0 kg/dm^3
m = 761 kg/szt – masa obciążnika wykonanego zgodnie z normą BN-70/8976-15
mc = 411,5 kg/m
mr + mi = 170 kg/m

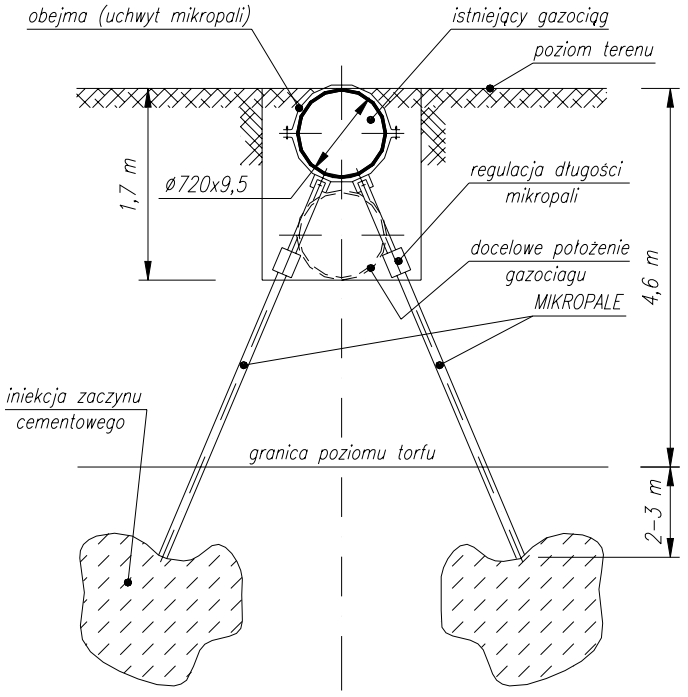
$$L_{\max} = \frac{2,30 - 1,0}{2,30} \cdot \frac{761}{1,1 \cdot 411,5 - 170} = 1,52 \text{ m}$$

Przyjęto rozstaw obciążników: L = 1,3 m.

Rozwiązanie 3

Polega na zastosowaniu mikropali z pogłębieniem wykopu pod gazociągiem (rys. 5).

Istniejący gazociąg zostanie zastabilizowany mikropalami, które posiadają kotwy z regulowaną długością (regulacja przy pomocy połączenia gwintowego). W ten sposób, przy jednoczesnym pogłębieniu wykopu pod gazociągiem, można wypłyconą część gazociągu zginać do położenia w przybliżeniu pierwotnego. Po maksymalnym ugięciu gazociągu wykop zostanie zasypany. Mikropale będą umieszczane w gruncie metodą wiercenia do głębokości 2÷3 m poniżej dolnej warstwy torfu, tj. do głębokości ok. 7÷8 m poniżej istniejącego terenu. Każdy z mokropali będzie zastabilizowany w gruncie za pomocą iniekcji zaczynu cementowego. Obejmy gazociągu (po dwa mikropale na każdą obejmę) będą rozmieszczone co 9 m. Projektuje się je umieścić na długości ok. 300 mb.



Rys. 5. Schemat zabezpieczenia przy zastosowaniu mikropali z pogłębieniem wykopu pod gazociągiem

Rozwiązanie 4

Polega na wykonaniu wykopu pod istniejącym gazociągiem i ułożeniu na nim nowych obciążników.

Wykonanie wykopu i ułożenie obciążników projektuje się na długości ok. 300 m.

Rozwiązanie 5

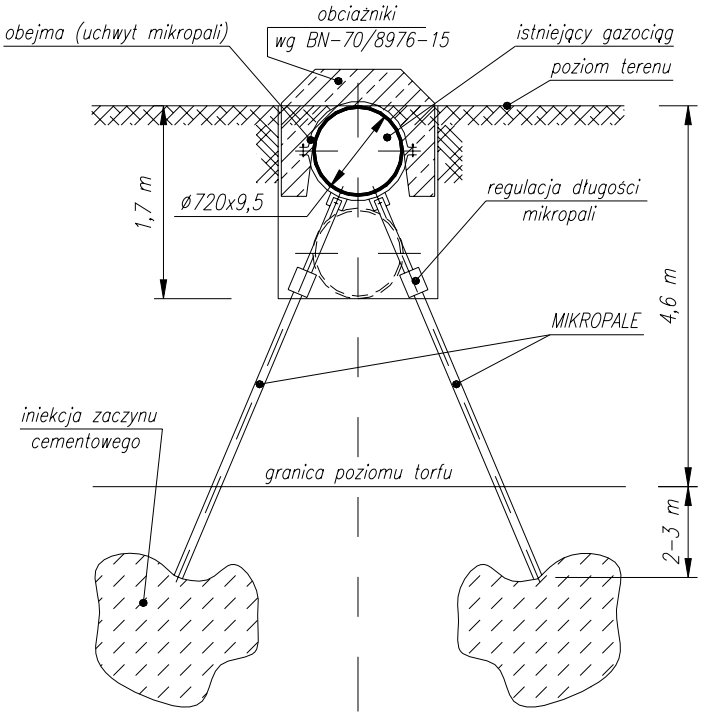
Jest rozwinięciem rozwiązania 3.

Polega na zastabilizowaniu gazociągu mikropalami (rys. 6) z możliwością regulacji gazociągu w pionie, z pogłębieniem wykopu oraz dodatkowo z zastosowaniem nowych obciążników.

Takie rozwiązanie proponuje się wykonać na długości również ok. 300 m.

Po analizie wszystkich wariantów wybrano do realizacji wariant nr 1 polegający na wybudowaniu nowego odcinka gazociągu o długości ok. 520 m oraz dociążeniu go żelbetowymi obciążnikami siodłowymi. Pozostałe warianty zostały odrzucone ze względu na:

- niepewność spodziewanych efektów przy stosowaniu rozwiązań od II do V,
- brak doświadczeń zarządzającego gazociągiem w tym względzie,
- stan techniczny istniejącego gazociągu eksploatowanego w niekorzystnych warunkach (w sytuacji dociążania i obniżania gazociągu w wykopie można doprowadzić do jego rozszczelnienia).



Rys. 6. Schemat zabezpieczenia przy zastabilizowaniu gazociągu mikropalami z możliwością regulacji gazociągu w pionie, z pogłębieniem wykopu oraz dodatkowo z zastosowaniem nowych obciążników

5. DOKUMENTACJA FOTOGRAFICZNA Z REALIZACJI PRZEBUDOWY GAZOCIĄGU (rys. 7–10)

Rys. 7. Widok torfowiska na trasie przebudowy gazociągu
(fot. Marek Galas)

Rys. 8. Widok dwustronnego drenażu odwadniającego w postaci igłofiltrów na trasie przebudowy gazociągu
(fot. Marek Galas)

Rys. 9. Widok wypłycenia istniejącego gazociągu przed realizacją i w trakcie przebudowy po ściągnięciu obciążników
(fot. Marek Galas)

Rys. 10. Widok realizacji przebudowy odcinka gazociągu
(fot. Marek Galas)

6. PODSUMOWANIE

Trasę gazociągów przebiegających przez tereny podmokłe, bagniste czy torfowiska, należy poprzeć szczegółowymi badaniami geologicznymi. Wybór sposobu zabezpieczenia gazociągu przed wypłynięciem należy poprzeć dokładnymi obliczeniami z odpowiednio dobranym współczynnikiem bezpieczeństwa.

Tereny podmokłe z lokalnymi torfowiskami występuję niemal na terenie całej Polski. Największe ich skupiska występują w rejonie północno-wschodniej części Polski (rys. 3), dlatego też napotkanie powyższych trudności na trasie gazociągu będzie szczególnym wezwaniem projektowo-wykonawczym.

Inwestorem powyższego zadania był Operator Gazociągów Przesyłowych „Gaz-System" Oddział w Tarnowie, dokumentację opracowało Biuro Projektów „Nafta-Gaz" Sp. z o.o. w Jaśle a wykonawcą realizacji przedsięwzięcia w 2008 r. było Budownictwo Urządzeń Gazowniczych Gazobudowa Sp. z o.o. w Zabrzu.

LITERATURA

[1] Biuro Projektów „Nafta-Gaz" Sp. z o.o. w Jaśle: *Projekt wykonawczy przebudowy gazociągu w/c DN 700 Jarosław-Puławy w m. Ruda Łańcucka*. Jasło 2007