

Badanie oddziaływania gruntu na złącze rur preizolowanych. Wpływ sposobu obciążenia próbki złożem piasku na wynik badania

The studies concerning ground interaction on preinsulated pipes joint.
The influence of location of load, made of sand deposit on sample, on research result

LEON M. KOŁODZIEJCZYK, KATARZYNA ABATORAB

Wstęp

Wieloletnie doświadczenia eksploatacyjne SPEC S.A. oraz informacje dostępne w fachowej prasie polskiej i zagranicznej wskazują, że niewłaściwym miejscem rurociągów preizolowanych są ich połączenia (spoiny na rurze stalowej oraz nasuwki i mufy na rurze osłonowej). Na złączach, szczególnie po pewnym okresie eksploatacji, występuje zdecydowanie największa liczba awarii rurociągów preizolowanych. Zatem dla bezawaryjnej pracy rurociągu kluczowe znaczenie ma między innymi dobór właściwych osłon izolacji na połączeniach spawanych (nasuwek i muf) oraz ich poprawny montaż. Rodzaj osłon, poprawność montażu i ocena ich jakości dokonywana jest za pomocą badań laboratoryjnych.

Warunki badania

Weryfikacja jakości osłony złącza i jego montażu dokonywana jest poprzez badanie obciążenia od gruntu, wykonywane według normy PN-EN 489 „Sieci ciepłownicze – System preizolowanych zespolonych rur do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie – zespół złącza stalowych rur przewodowych z izolacją cieplną z poliuretanu i płaszczem osłonowym z polietylenu”.

Badanie obciążenia od gruntu składa się z dwóch etapów. Etap I to test wytrzymałościowy w skrzyni z piaskiem, którego zadaniem jest symulacja warunków oddziałujących na zespół złącza w trakcie eksploatacji (obciążenie gruntem, temperatura pracy rury przewodowej, działanie

sił osiowych i promieniowych). Test realizowany jest w następujących warunkach:

- wygrzewanie wstępne rury przewodowej w temperaturze $120 \pm 2^\circ\text{C}$ przez 24 godziny,
- utrzymanie temperatury rury przewodowej podczas całego testu $120 \pm 2^\circ\text{C}$,
- zachowanie parametrów piasku: temperatura $23 \pm 2^\circ\text{C}$, wilgotność względna $\leq 0,5\%$,
- efektywne obciążenie od gruntu 18 kN/m^2 , co odpowiada zasypowi próbki warstwą piasku o grubości 1 m,
- właściwe uziarnienie piasku,
- przemieszczenie próbki równe $75 \pm 2 \text{ mm}$,
- prędkość przemieszczania do przodu $10 \pm 0,2 \text{ mm/min}$ i do tyłu $50 \pm 1 \text{ mm/min}$,
- liczba cykli przemieszczeń – minimum 100.

Po teście w skrzyni z piaskiem przechodzi się do II etapu badania polegającego na ocenie szczelności złącza. Szczelność sprawdza się przez zanurzenie złącza w wodzie o następujących parametrach:

- temperatura wody ($24 \pm 1^\circ\text{C}$,

- ciśnienie wody ($30 \pm 1 \text{ kPa}$).

Próba trwa 24 godziny, a do wody dodawany jest barwnik dla uwidocznienia nieszczelności.

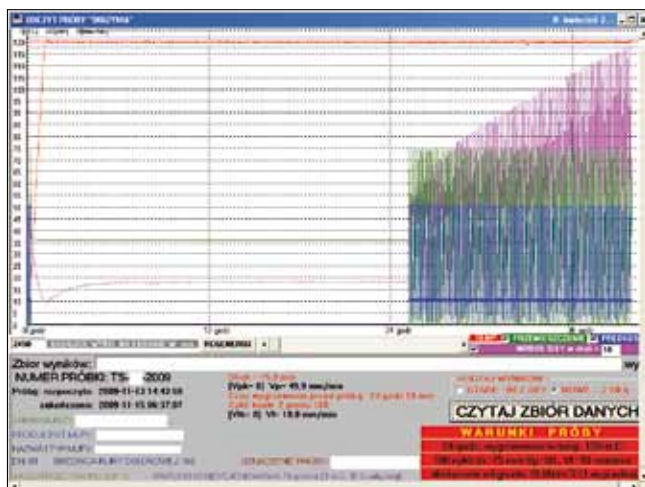
Badania laboratoryjne

To kluczowe dla zespołu złącza rur preizolowanych badanie wykonywane jest w Laboratorium Badawczym OBRC SPEC S.A. na stanowisku pokazanym na fot. 1, sterowanym i nadzorowanym komputerowo. Specjalistyczne oprogramowanie stanowiska umożliwia archiwizację danych, jak również prezentację graficzną wyników za dowolny okres badania.



Fot. 1. Widok stanowiska do badania obciążenia od gruntu (tzw. „skrzyni z piaskiem”)

Rys. 1. Print-screen ekranu monitora. Graficzna postać wyników badania obciążenia od gruntu dla 100 cykli



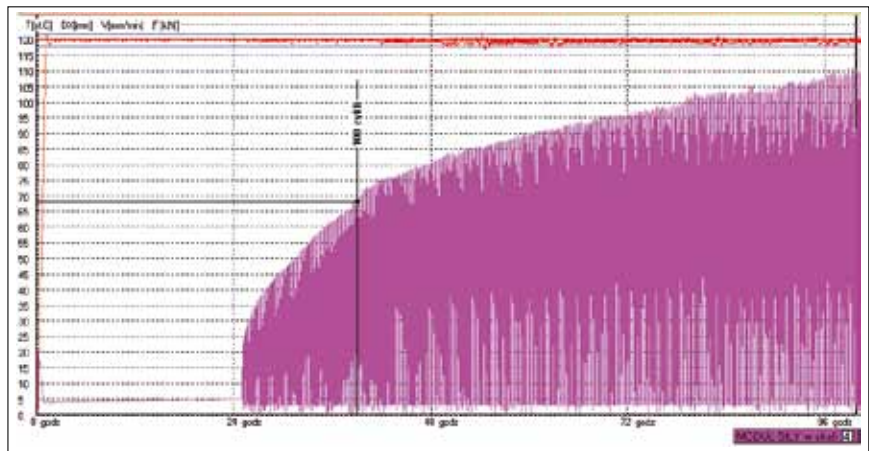
dr inż. Leon M. Kołodziejczyk,
mgr inż. Katarzyna Abatorab
– Ośrodek Badawczo-Rozwojowy
Ciepłownictwa SPEC S.A.

Przykład pełnych wyników badania złącza preizolowanego dla 100 cykli w skrzyni z piaskiem przedstawiono na rysunku 1. Każde badanie opisane jest przez takie dane, jak data wykonania badania, typ złącza, nazwa zamawiającego, nazwa producenta, wymiary, wilgotność piasku i parametry badania:

- temperatura rury przewodowej (wykres koloru czerwonego);
- przemieszczenie próbki w skrzyni (wykres koloru zielonego), w przód i w tył;
- prędkości próbki podczas przemieszczania (wykres koloru niebieskiego);
- siła niezbędna do przemieszczania próbki w skrzyni z piaskiem (wykres koloru różowego).

Siła niezbędna do przemieszczania rury w skrzyni

Określając metodykę badania norma PN-EN 489, nie wymaga wyznaczenia ani podawania wartości siły potrzebnej do przemieszczania rury w skrzyni z piaskiem, a zatem siła ta nie musi być mierzona.



Rys. 3. Rozkład siły niezbędnej do przemieszczenia rury w skrzyni z piaskiem podczas 1000 cykli badania

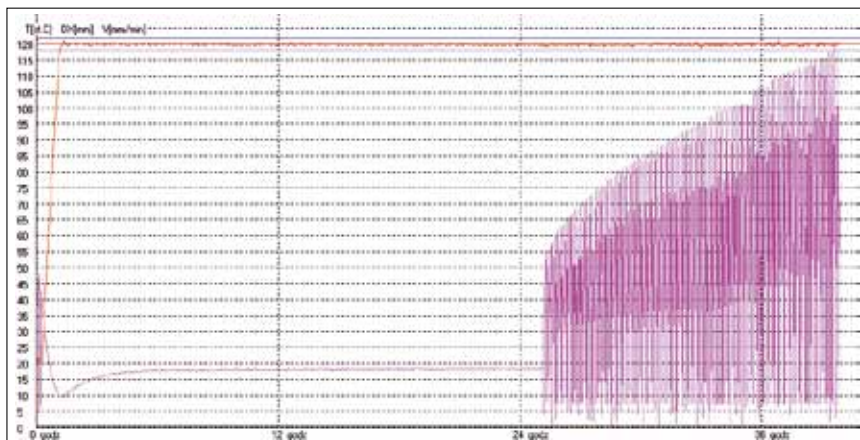
wykresów (T [°C], DX [mm], V [mm/min], F [kN]). Oś pozioma odpowiada sile równej zero, a na wykresie prezentowany jest moduł siły. Jak widać na rys. 3, na skutek ograniczonej rozdzielczości ekranu, linie przebiegu siły „zlewają się” w pole, którego górna granica reprezentuje przebieg maksymalnych sił w czasie.

Problem wielkości siły niezbędnej do przesuwania próbki w skrzyni z piaskiem

poruszony został kilka lat temu przez Fernwärme-Forschung Institut z Hanoweru. Podniesiona została wówczas kwestia prawidłowego sposobu obciążenia badanego złącza złożem piasku i jego wpływu na uzyskiwane wyniki badań. Norma PN-EN 489 wymaga, by podczas testu zapewnić efektywne obciążenie od gruntu 18 kN/m², co odpowiada zasypowi warstwą piasku o grubości 1 m.

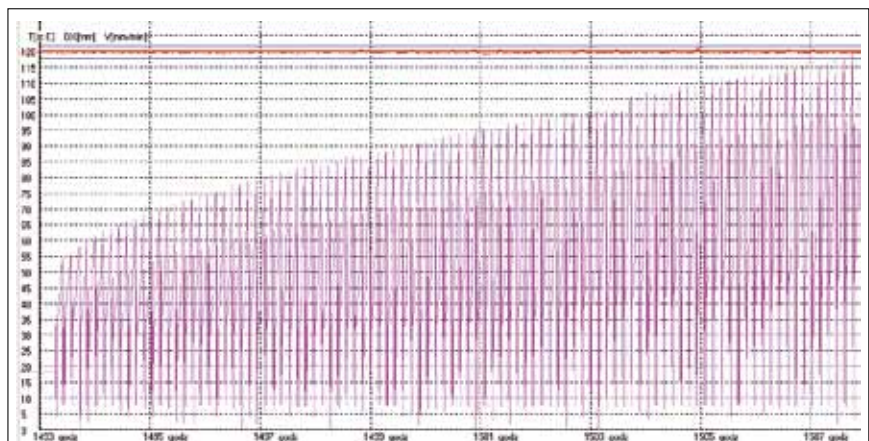
W FFI badane złącze zasypywane jest warstwą piasku o grubości 300 mm i obciążane płytą o określonym ciężarze. Natomiast w OBRC złącze zasypywane jest warstwą piasku o grubości 1 m. Ostatni sposób znacznie upraszcza przygotowanie próbki (złącza) do badania i wymaga zastosowania tylko urządzeń do przesypywania piasku i odpylania przestrzeni wewnątrz skrzyni (podczas zasypywania i odkopywania próbki). Nie ma konieczności dodatkowego stosowania podnośnika do podnoszenia i opuszczania płyty.

W celu porównania wyników badań uzyskiwanych w obu laboratoriach (OBRC i FFI) z zastosowaniem różnych sposobów



Rys. 2. Rozkład siły niezbędnej do przemieszczenia rury w skrzyni z piaskiem podczas 100 cykli badania

Jednak Laboratorium Badawcze OBRC wyposażyło swoje stanowisko do badania obciążenia od gruntu w układ pomiaru siły. Czynnikiem decydującym była konieczność wyznaczenia maksymalnej wartości siły, jaką musi wywierać siłownik stanowiska w celu realizacji odpowiedniej liczby cykli. Rozkład siły niezbędnej do przemieszczenia rury w skrzyni z piaskiem przez 100 cykli przedstawiono na rysunku 2, zaś przez 1000 cykli na rysunku 3. Widać, że wartość siły rośnie ze wzrostem liczby cykli badania. Wartość siły w [kN] wyznacza się dzieląc wartość odczytaną z osi pionowej przez wartość skali znajdującej się w oknie „MODUŁ SIŁY w skali”, przy czym skala osi pionowej jest wspólna dla wszystkich



Rys. 4. Rozkład siły niezbędnej do przemieszczenia próbki w skrzyni z piaskiem uzyskany w OBRC przy badaniu złącza DN 80 zgrzewanego elektrycznie (nasuwka sieciowana)

symulujących wymagane normą obciążenie od gruntu, w OBRC zainstalowany został miernik siły.

Rysunek 4. przedstawia rozkład siły niezbędnej do przemieszczenia próbki w skrzyni z piaskiem uzyskany w OBRC przy badaniu złącza DN 80 zgrzewanego elektrycznie (nasuwka sieciowana). Maksymalna siła zarejestrowana podczas przesuwania próbki do przodu: 11,79 kN, a do tyłu: 10,86 kN. Na rysunku tym moduł siły przedstawiony jest w skali 10:1. Rysunek 5 przedstawia rozkład siły uzyskany w FFI dla złącza DN 80 zgrzewanego elektrycznie. Maksymalna siła podczas przesuwania próbki zarówno do przodu jak i do tyłu: 15 kN.

Porównując oba wykresy (rys. 4 i 5), można zauważyć, że rozkłady sił uzyskane w obu laboratoriach mają podobny

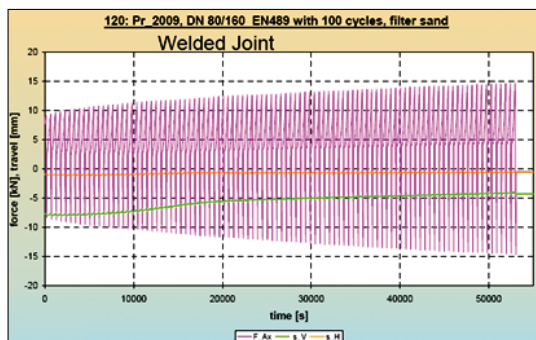
Fot. 6, 7.
Złącze z nasuwką zgrzewaną elektrycznie:
- na górze - przed badaniem,
na dole - po badaniu



Fot. 8, 9.
Złącze z nasuwką termokurczliwą sieciowaną radiacyjnie:
- na górze - przed badaniem,
na dole - po badaniu



Rys. 5.
Rozkład siły niezbędnej do przemieszczenia próbki w skrzyni z piaskiem dla złącza DN80 zgrzewanego elektrycznie. (Źródło: CEN TC 107 WG4 31.01.2008)



charakter niezależnie od sposobu obciążenia próbek.

Krzywa rozkładu siły jest wynikiem zwiększania się siły tarcia podczas wymuszanego ruchu złącza obciążonego piaskiem, a różnice w przebiegach siły wyini-

kają przede wszystkim z kształtu złącza (fot. 2 ÷ 5) oraz odkształceń, jakim złącza ulegają podczas badania (fot. 6 ÷ 9).

Nasuwki na zdjęciach 6 ÷ 9 znajdują się w takim położeniu, w jakim zamontowane były w skrzyni z piaskiem.

Istota zjawisk zachodzących podczas badania

Przebieg siły niezbędnej do przemieszczenia rury w skrzyni z piaskiem najlepiej można określić poprzez badania laboratoryjne, a wyjaśnić na podstawie obliczeń zachowania się złoża piasku w czasie badania. Obliczenia takie są bardzo skomplikowane i dokonywane na podstawie wiedzy z zakresu mechaniki gruntów. Do wyjaśnienia istoty zjawisk zachodzących podczas przemieszczania rury przelutowanej ze złączem w skrzyni napętlonej suchym piaskiem, zastosowany został uproszczony jakościowy opis zjawisk mechaniki gruntów suchych niespoistych. Poniżej omówione zostanie zachowanie się rury ze złączem podczas badania w skrzyni z piaskiem w laboratorium OBRC.

Na podstawie literatury można przyjąć następującą charakterystykę suchego piasku:

- piasek świeżo usypany ma gęstość 1,4–1,9 kg/dm³ i współczynnik wytrzymałości na ścinanie 0,50–0,54,
- piasek zagęszczony drganiem, ubijaniem, ruchem urządzenia wewnątrz złoża powodującym naprężenia ścinające i ściskające osiąga gęstość 1,6–2,1 kg/dm³ i współczynnik wytrzymałości na ścinanie 0,7–1,1.

Suchy piasek, którym zasypywana jest zamontowana w skrzyni próbka (rura przelutowana ze złączem), tworzy luźną strukturę z wieloma pustymi mikrop przestrzeniami „zadaszonymi” mikrosklepieniami z ziarenek piasku, a także pustki pod rurą. Jeżeli tak usypany złoże piasku zostanie poddane oddziaływaniu kinematycznemu poprzez ruch elementu w jego



Fot. 2.
Złącze z nasuwką zgrzewaną elektrycznie



Fot. 3.
Złącze z mufą otwartą zgrzewaną elektrycznie



Fot. 4.
Złącze z nasuwką sieciowaną radiacyjnie



Fot. 5.
Złącze z mufą stalową składaną

wnętrzu lub oddziałującego na jego powierzchnię, to wywołane zostaną:

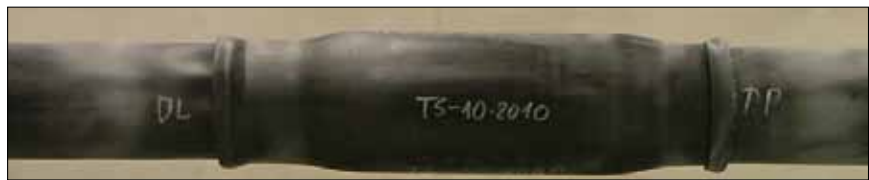
- naprężenia ścinające i ściskające, wtedy mikrosklepienia występujące w złożu będą niszczone, a pustki pod elementem (rurą ze złączem) będą wypełniane piaskiem; w efekcie gęstość złoża i współczynnik tarcia wewnętrznego w złożu będzie wzrastał,
- naprężenia rozciągające, wtedy będą pojawiały się nowe „zadaszone” puste mikroprzestrzenie oraz pustki; w efekcie gęstość złoża i współczynnik tarcia wewnętrznego w złożu maleją.

Wymuszony przez siłownik stanowiska cykliczny ruch osiowy rury o skoku 75 mm i prędkości przesuwu 10 mm/s w przód oraz 50 mm/s w tył, porusza piasek w warstwie dotykającej jej powierzchni na skutek tarcia oraz ściskania lub rozciągania, w miejscach, gdzie rura zmienia średnicę. Ruch piasku tej warstwy przenosi się do dalszych warstw w wyniku tarcia wewnętrznego w piasku oraz zmiany ciśnienia w złożu. Ruch ten „upłynnia” piasek, który w tym obszarze zachowuje się w przybliżeniu jak płyn. Właściwości złoża piasku odbiegają od właściwości płynu w miejscach, gdzie powierzchnia poruszającej się rury znajduje się blisko ścianki skrzyni ograniczającej złoże. Piasek nie ma wówczas możliwości „wypływu” ani „wplywu” na dużych obszarach na skutek dużych naprężeń ścinających wewnątrz złoża. Takie ograniczenie powoduje, że na skutek przemieszczeń ścinających i ściskających naprężenia osiągają szybko wartość graniczną, zaś na skutek naprężeń rozciągających szybko pojawiają się pustki.

Rozkład przestrzenny wektorów przemieszczeń cząsteczek piasku w pobliżu poruszającej się rury jest zmienny w czasie i zależy od historii przebiegu zjawiska:

- tam, gdzie kolejne ruchy rury powodują taki sam skutek (np. ścinanie o takim samym rozkładzie sił tnących), po pewnym czasie osiągany jest stan graniczny, który w kolejnych ruchach nie ulega zmianom i może być nazwany statycznym: np. złoże osiąga maksymalną gęstość i wewnętrzny współczynnik tarcia, które w dalszym ciągu zjawiska nie ulegają zmianie,
- tam, gdzie kolejne ruchy rury powodują przeciwny skutek (np. na przemian ściskanie i rozluźnianie złoża), ustala się średni stan przebiegu właściwości złoża w cyklu i może być on nazwany stabilnie pulsującym: np. w końcu pierwszej części cyklu pojawia się pustka w pewnym obszarze złoża, natomiast na końcu kolejnej części cyklu pojawia się maksymalna gęstość w tym obszarze złoża.

Jeżeli sąsiadujące ze sobą obszary charakteryzują się różnymi właściwościami



Fot. 10.

Złącze z nasuwką z fot. 6,7 po badaniu, widok od dołu. Wgniecenia na płaszczu osłonowym spowodowane są działaniem ciśnienia złoża piasku pod rurą

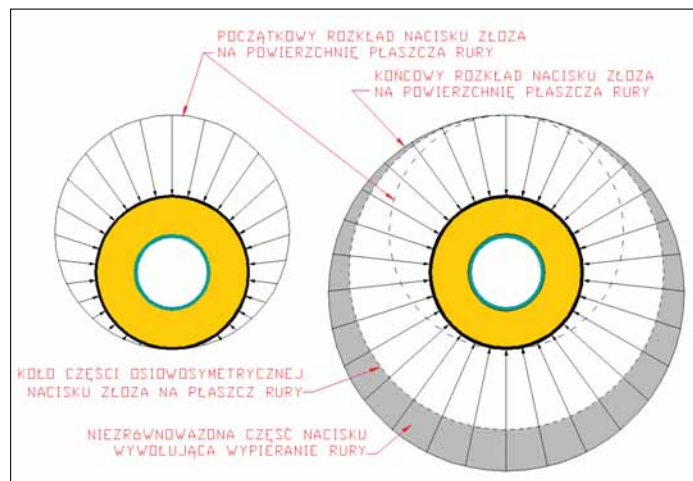
Fot. 11.

Powiększenie obszaru płaszcza osłonowego z fot. 10



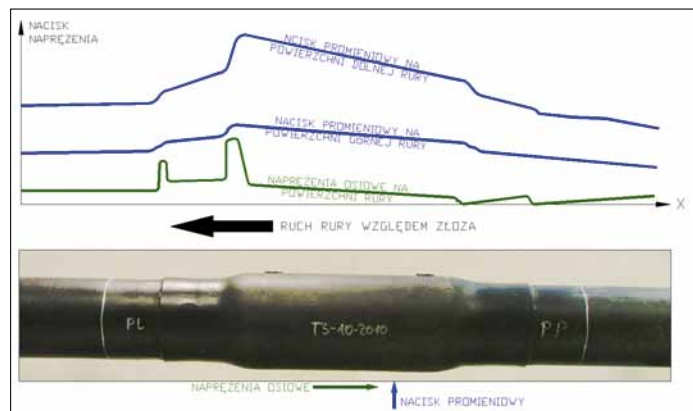
Rys. 6

Przybliżony rozkład ciśnienia złoża na powierzchnię zanurzoną w nim rury preizolowanej. Po lewej stronie rysunku – stan początkowy po zasypaniu piaskiem, po prawej stronie rysunku – stan końcowy po wielu cyklach przemieszczeń rury w złożu, quasi stabilny



Rys. 7.

Przybliżone chwilowe rozkłady naprężeń i nacisku złoża na powierzchnię badanej rury w wybranej fazie ruchu



ze względu na kinematykę ruchu piasku i mają na siebie wzajemny wpływ, to ustalenie się równowagi następuje po dużej liczbie cykli działania, gdy wzajemny wpływ obszarów ulegnie ustabilizowaniu. Jeżeli w czasie badania pojawia się deformacja mufy (fot. 10, 11), uniemożliwia ona szybką stabilizację ze względu na to, że odkształcenia mufy narastają w czasie, a temu narastaniu towarzyszy zmiana warunków pracy złoża.

Ruch piasku, zachowaniem przypominający ciecz, po wielu cyklach działania stanowiska powoduje, że na zanurzoną w nim rurę wywierany jest coraz większy sumaryczny nacisk, a rura wypierana jest ze złoża. Rozkład nacisku złoża piasku na

powierzchnię zasypanej nim rury zaraz po zasypaniu (stan początkowy) oraz po kilkuset cyklach (stan końcowy) przedstawiony jest na rys. 6. Chwilowe rozkłady naprężeń i nacisku złoża na powierzchnię badanej rury w wybranej fazie ruchu przedstawione są na rys. 7.

Wskutek wzrastającego nacisku złoża piasku na poruszaną rurę ze złączem, rura wypierana jest ze złoża. Siła unosząca wynika z różnicy ciężarów właściwych rury i piasku. Przyjmując, że ciężar właściwy piasku wynosi około 19 N/dm^3 , natomiast średni ciężar właściwy rury preizolowanej w trakcie badania na stanowisku w OBRC wynosi około $8,4 \text{ N/dm}^3$ dla rury DN80 oraz około $8,5 \text{ N/dm}^3$ dla rury DN150,

można wyznaczyć wartość siły unoszącej rurę w złożu piasku: około 400 N dla rury DN80 i około 930 N dla rury DN150.

W konsekwencji, podczas ruchów osiowych rury w skrzyni z piaskiem wymuszanych przez siłownik stanowiska, rura unosi się aż do oparcia o rolkę lub/i górną krawędź otworu w skrzyni (fot. 13), a piasek w skrzyni w pobliżu rury zagęszcza się. Zagęszczenie piasku w skrzyni podczas ruchów rury objawia się obniżeniem poziomu piasku w skrzyni o około 4 – 5 cm.

Dyskusja zjawisk zachodzących podczas badania

Na podstawie czteroletnich doświadczeń Laboratorium Badawczego OBRC w badaniu obciążenia od gruntu omówione zostaną charakterystyczne zjawiska zachodzące w skrzyni z piaskiem w czasie badań, wynikające z mechaniki złoża piasku.

Ilustracją będzie tysięcy cyklów badanie wykonane na dwóch złączach z mufami jednego producenta. Rury preizolowane ze złączami (fot. 2, 6), dostarczone zostały do OBRC w 2010 roku. Podczas badania pierwszej próbki, po około 100 cyklach ruchów, nastąpiło wyniesienie rury do góry tak, że płaszcz osłonowy oparł się o rolkę oporową i górną krawędź otworu w skrzyni (fot. 12÷13). Kolejne cykle przesuwu próbki powodowały znaczne odkształcenia płaszczu (fot. 14÷15) wskazujące na wzrost oporów ruchu w skrzyni. Z tego powodu, przy badaniu drugiej próbki, zmieniony



Fot. 12. Położenie początkowe rury w otworze skrzyni. Płaszcz osłonowy w pewnej odległości od rolki oporowej



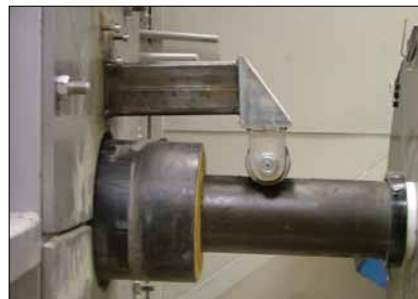
Fot. 13. Położenie rury w otworze skrzyni po około 100 cyklach ruchów. Płaszcz osłonowy opiera się o rolkę oporową



Fot. 14. Odkształcenia płaszczu osłonowego spowodowane naciskiem rolki oraz tarciami o krawędź otworu skrzyni. Stan po 870 cyklach ruchów osiowych



Fot. 15. Rolka oporowa zabezpieczająca przed unoszeniem oparta o rurę płaszcz osłonowy. (patrz fot. 14)



Fot. 16. Rolka oporowa zabezpieczająca przed unoszeniem oparta o rurę stalową

został sposób zabezpieczenia rury przed unoszeniem się (fot. 16). Rolka oporowa została umocowana tak, aby opierała się o stalową rurę przewodową. W ten sposób rolka nie powodowała odkształceń powierzchni płaszczu osłonowego, a sama rura nie podniosła się aż do chwili oparcia o krawędź otworu w skrzyni.

Analiza rozkładu sił niezbędnych do przemieszczania próbek w obu przypadkach wykazała, że przy zastosowaniu drugiego rozwiązania (rolki oporowej na rurze stalowej) siła była mniejsza o 1–5% w stosunku do rozwiązania pierwszego (rolki oporowej na płaszczu osłonowym), a przebieg narastania siły w czasie zmienił się nieznacznie (rys. 8, 9).

Niewielka zmiana siły niezbędnej do przemieszczenia próbki, wynikająca z eli-

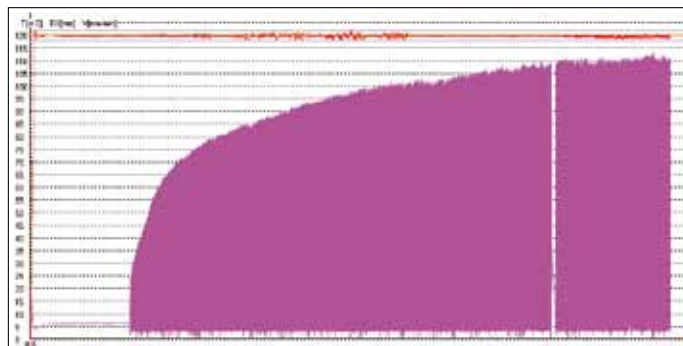
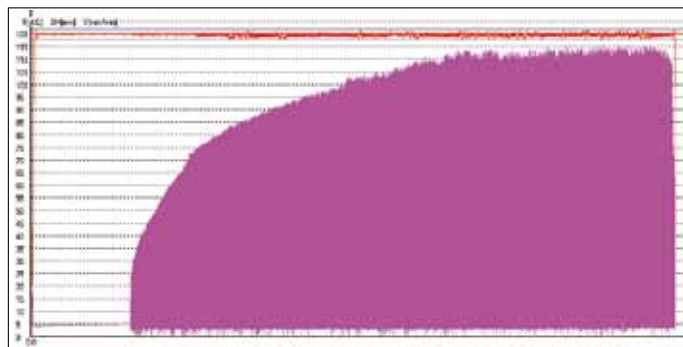
minacji tarcia powierzchni rury o krawędź otworu skrzyni, wskazuje, że podstawowy opór ruchu rury w skrzyni spowodowany jest oddziaływaniem złoża piasku, nie zaś bezpośrednim oddziaływaniem ścian skrzyni (oparcie rury o krawędź otworu) i elementów połączonych z tymi ścianami (oddziaływanie rolki na powierzchnię rury).

Efekty wpływu oporu złoża piasku i sił działających na powierzchnię rury, a w szczególności na złącze, w zależności od stopnia zanurzenia w złożu, pokazane są na fot. 8 ÷ 11 i rys. 6, 7. Odkształcenie mufy w miejscu połączenia z rurą jest większe w dolnej części złącza, niż w górnej. Ponadto od dołu złącza widoczne są wgnięcia wywołane wysokim lokalnym ciśnieniem złoża. Oznacza to, że piasek pod rurą osiągnął większą gęstość i współczynnik wytrzymałości na ścinanie niż nad rurą, zarówno ze względu na większą głębokość, jak i bliskość dna skrzyni będącego ograniczeniem przestrzeni złoża. Nad rurą ruch piasku ograniczony jest jedynie naciskiem jego wyższych warstw, które przy wzroście parcia mogą unosić się poruszane ciśnieniem wynikającym z głębokości złoża. Pod rurą ruch złoża piasku jest ograniczony z uwagi na obecność dna skrzyni, które nie przesuwają się, a zatem siła usiłująca je przemieścić teoretycznie może rosnąć do nieskończoności.

Podsumowanie i wnioski

Doświadczenia Laboratorium Badawczego OBRC oraz wynik opisanych wyżej tysięcy cyklów badań dwóch identycznych próbek złączy rur preizolowanych prowadzą do następujących generalnych wniosków:

Rys. 8, 9. Badanie obciążenia od gruntu złącza DN80 1000 cykli. Rozkład siły niezbędnej do przemieszczenia próbki w skrzyni z piaskiem: a) rolka oporowa na płaszczu osłonowym (fot.15), b) rolka oporowa na rurze stalowej (fot.16). Przerwa na wykresie b) oznacza automatyczną zmianę czasu z zimowego na letni przez komputer



- Siła niezbędna do przemieszczania rury w skrzyni z piaskiem wynika z naprężeń pomiędzy rurą a piaskiem, wzrasta wraz z ilością cykli pracy i osiąga maksimum po nie mniej niż 500 cyklach ruchu.
 - W badaniach stycyklowych wykres siły zawsze wykazuje ciągły wzrost.
 - W badaniach tysięcy cyklowych niekiedy obserwowana jest stabilizacja wartości siły, jednak występuje ona po nie mniej niż połowie cykli. Najczęściej jednak wartość siły wzrasta przez cały czas trwania badania w sposób asymptotyczny do nieznannej wartości końcowej.
- Wzrost wartości siły niezbędnej do przemieszczania rury wraz z liczbą cykli badania wynika z właściwości złoża piasku, w którym porusza się badana rura. Wraz z kolejnymi cyklami ruchu rury złożo piasku zostaje zagęszczone, czemu towarzyszy obniżenie poziomu piasku w skrzyni w stosunku do wartości początkowej (zaraz po zasypaniu) oraz wzrost wytrzymałości złoża na ścinanie.

Pod rurą, gdzie nacisk złoża na rurę rośnie i zmienia rozkład dążąc do maksymalnej wartości możliwej w złożu:

 - wzrastają opory tarcia rury o piasek,
 - wzrastają opory lokalnego wypierania piasku w miejscach, w których zwią-

sza się średnica rury. Spowodowane są one lokalnym wzrostem wytrzymałości złoża na ścinanie.

- Przebieg zmian siły niezbędnej do przesuwania rury w skrzyni z piaskiem zależy od:
 - kształtu mufy na złączu,
 - odkształceń mufy powstających podczas badania, np. wywijania się końców mufy.
- Sposób obciążenia rury potrzebnego do uzyskania efektywnego obciążenia od gruntu 18 kN/m^2 , bądź to złożem piasku o wysokości 300 mm i płytą stalową o odpowiednim ciężarze, bądź złożem piasku o wysokości warstwy 1 m, nie ma znaczącego wpływu na przebieg siły niezbędnej do przesuwania rury w skrzyni z piaskiem, gdyż podstawowe obciążenie występuje od dołu rury, gdzie gęstość złoża jest największa. Uwidaczniają to przede wszystkim wgniecenia rury od dolnej strony oraz asymetria odkształceń mufy i rury obserwowane po zakończeniu badania. Zmiany struktury złoża nad rurą mają mały wpływ na opory ruchu, gdyż możliwy jest ruch piasku w wyższych warstwach, nawet przy obecności płyty z obciążnikami, gdyż płyta może przemieszczać się (pochylać) w dowolny sposób nie stanowiąc krytycznego ograniczenia dla ruchu piasku.

- Podczas działania stanowiska widoczne jest wypieranie rury ku górze na skutek różnicy gęstości właściwych. Gęstość złoża piasku jest większa niż gęstość średnia rury. W związku z tym, jeżeli nie zastosowano rolki ograniczającej ruch rury do góry opartej o rurę stalową, to po około 100 cyklach badania, rura oprze się o górną krawędź otworu w skrzyni powodując tarcie. Siła tarcia powierzchni rury o element skrzyni stanowi maksymalnie około 5% całkowitej siły niezbędnej do przesuwania rury w skrzyni. Siła ta, w stosunku do oporu złoża piasku, nie jest wartością znaczącą.

BIBLIOGRAFIA

- PN-EN 489:2009 Sieci ciepłownicze – System preizolowanych zespolonych rur do wodnych sieci ciepłowniczych układanych bezpośrednio w gruncie – Zespół złącza stalowych rur przewodowych z izolacją cieplną z poliuretanu i płaszczem osłonowym z polietylenu (oryg.).
- Piątkowski R., Czarnota-Bojarski R.: *Mechanika gruntów*; Warszawa, 1964.
- Instrukcja badawcza IB-SB-19-1 „Realizacja badania obciążenia od gruntu. Etap 1 – Test w skrzyni z piaskiem”, dokument wewnętrzny OBRC.
- Smidt D. H.: *Intercomparison of sandboxes used for testing joints district heating pipes*; Nordtest Raport TR 495, 2002-2003.

wentylacja

chłodnictwo

klimatyzacja

