

4110

OŚRODEK MECHATRONIKI

BE 1

Główny wykonawca dr inż. Ryszard Sobczak

Wykonawcy: dr inż. Ryszard Sobczak
mgr inż. Andrzej Bratek

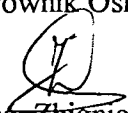
Praca pt.

Badania i określenie wrażliwości i dokładności systemu do wykrywania i lokalizacji przecieków w oparciu o rzeczywiste pomiary, zarejestrowane na rurociągu SF1-NWW
Etap 2. Rejestracja danych pomiarowych dla różnych sytuacji technologicznych i określenie na ich podstawie wrażliwości i dokładności procedur wykrywania i lokalizacji przecieków w rurociągach.

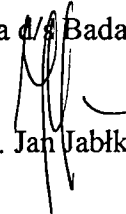
DOKUMENT WZORCOWY

Zleceniodawca: Przedsiębiorstwo Eksploatacji Rurociągów Naftowych „PRZYJAŹŃ”

Kierownik Ośrodka


mgr inż. Zbigniew Pilat

Z-ca Dyrektora ds. Badawczo-Rozwojowych


dr inż. Jan Jabłkowski

Pracę zakończono dnia 1998-08-10

NR arch. 7577

Nr umowy 2/96 z dn. 96.02.09

Nr zlec. 1661

1

Analiza deskryptorowa

RUROCIĄGI, TRANSPORT CIECZY, KONTROLA, DIAGNOSTYKA

Abstrakt

Sprawozdanie zawiera wyniki badań: symulacyjnych, półsymulacyjnych i obiektowych systemu do wykrywania i lokalizacji wycieków w rurociągach cieczy.

Tytuły poprzednich sprawozdań

Patrz bibliografia p. 1 i 2.

Rozdzielnik

Egz. 1. OIN

Egz. 2. PERN

Egz. 3. PERN

Egz. 4. OME

Egz. 5. OME

SPIS TREŚCI

Rozdział	Strona
1. WSTĘP.....	1
2 UWAGI DOTYCZĄCE RUROCIĄGU I POMIARÓW.....	2
2.1 <i>Uwagi ogólne</i>	2
2.2 <i>Pomiary ciśnienia</i>	6
2.3 <i>Pomiary przepływu</i>	7
3. WYKRYWANIE I LOKALIZACJA WYCIEKÓW.....	10
3.1 <i>Postój instalacji</i>	10
3.2 <i>Włączenie tłoczenia</i>	10
3.3 <i>Stabilne tłoczenie</i>	11
3.3.1 <i>Wykrywanie wycieków</i>	11
3.3.2 <i>Lokalizacja wycieku</i>	13
3.3.3 <i>Wyznaczanie natężenia wycieku</i>	20
3.4. <i>Tłoczenie przy wystąpieniu skokowego zakłócenia ciśnienia na początku lub na końcu rurociągu</i>	21
4. UWAGI I WNIOSKI KOŃCOWE.....	22
5. BIBLIOGRAFIA.....	23

1. WSTĘP.

Celem niniejszej pracy było określenie wrażliwości i dokładności procedur wykrywania i lokalizacji wycieków, powstałych w okresie normalnej pracy instalacji technologicznej przy przepływie przez rurociąg jednego lub kilku (do trzech) mediów. W trakcie realizacji pracy, w wyniku gromadzonych doświadczeń i przemyśleń, autorzy rozszerzyli jednak ten zakres o następujące procedury:

- wykrywania wycieku i określenia odcinka, na którym wyciek wystąpił w okresie postoju instalacji,
- wykrywania i lokalizacji wycieku, istniejącego po uruchomieniu tłoczenia (t.zn. powstałego w okresie od zatrzymania instalacji do ustabilizowania parametrów po ponownym uruchomieniu tłoczenia),
- wykrywania i lokalizacji wycieku, powstałego po okresie silnego zakłócenia ciśnienia na początku lub/i na końcu rurociągu (spowodowanego np.: zmianą rodzaju tłoczonego medium, przełączeniem zbiornika, wymianą filtru itd.).

Parametry użytkowe procedur, podane w p. 3 sprawozdania, określono na podstawie m.in.:

- * badań symulacyjnych [2], opartych na modelu matematycznym procesu tłoczenia [1],
- * analizy danych pomiarowych, zarejestrowanych na rurociągu w okresie 09.96÷12.97 (w tym w czasie trzech rzeczywistych wycieków w dniach: 03.03.97, 03.05.97, 10.03.97),
- * badań „półsymulacyjnych”, polegających na korygowaniu zarejestrowanych danych bez wycieku o takie przyrosty (wyznaczone w oparciu o model matematyczny), jakie powinny wystąpić przy wycieku o założonym natężeniu i w założonym miejscu, a następnie określeniu tego miejsca przez procedury wykrywania i lokalizacji,
- * analizę danych, zarejestrowanych podczas kontrolowanych upustów mediów w dniach 19.05.98 i 27.05.98.

Przeprowadzone badania wykazały, że w przypadku wdrażania układu docelowego, do SWLP należałoby doprowadzić również następujące dane:

- położenie granic rozdziału mediów (tzw. „korków”),
- ciśnienie po stronie ssącej pompy głównej,
- w miarę możliwości – gęstość tłoczonego medium.

2. UWAGI DOTYCZĄCE RUROCIĄGU I POMIARÓW.

2.1 UWAGI OGÓLNE.

Równanie Bernouli'ego dla rurociągu o długości Δx ma postać:

$$\Delta p = p_p - p_k = \rho g \Delta h + \frac{1}{2D} \lambda \rho w^2 \Delta x \quad (1)$$

Równanie to wiąże ze sobą 8 wielkości:

- p_p i p_k - ciśnienia na początku i na końcu rurociągu,
- D - średnicę wewnętrzną rurociągu,
- Δx - długość rurociągu,
- Δh - różnica poziomów między początkiem i końcem rurociągu,
- ρ - gęstość przepływającego medium,
- λ - współczynnik tarcia,
- w - prędkość przepływu medium.

Jeżeli matematycznie „wypoziomujemy” rurociąg, przyjmując za poziom zerowy poziom stacji 1 (za pompą), wówczas ciśnienia p_{ri} w każdym punkcie i rurociągu wypoziomowanego powinny wynosić:

$$p_{ri} = p_i - \rho g (h_1 - h_i) \quad (2)$$

gdzie: p_i - ciśnienie w rurociągu nie wypoziomowanym.

Dla stacji 1 mamy przy tym: $p_{r1} = p_1$.

Jeżeli ponadto wzdłuż rurociągu: $D(x) = \text{const}$, $\rho(x) \cong \text{const}$, $\lambda(x) \cong \text{const}$, $w(x) \cong \text{const}$, wówczas ciśnienie $p_r(x)$ powinno być funkcją liniową:

$$p_r(x) = p_{r1} - G_s x \quad (3)$$

gdzie: - średni gradient ciśnienia $G_s = \frac{p_{rp} - p_{rk}}{L}$

- p_{rp} , p_{rk} - ciśnienie p_r na początku (p) i na końcu (k) rurociągu,
- L - długość rurociągu.

W takim przypadku różnica $p_{ri} - w/g$ równania (2) i $p_r(x_i) - w/g$ równania (3):

$$Rp_i = p_{ri} - p(x_i) = p_{ri} - (p_{r1} - Gs x_i) \quad (4)$$

w każdym punkcie i rurociągu powinna być równa 0.

Tymczasem typowe (podobne dla danych z różnych okresów czasu) rozkłady $Rp(x)$, wyznaczone dla:

- mierzonych wartości p_i oraz Q ,
- wartości Δh i Δx , wziętych ze schematu posadowienia rurociągu,
- średniej wartości λ , obliczonej dla całego rurociągu

pokazano na rysunkach:

- ❖ 1a – przy przepływie przez rurociąg wyłącznie benzyny,
- ❖ 1b – przy przepływie przez rurociąg wyłącznie oleju napędowego.

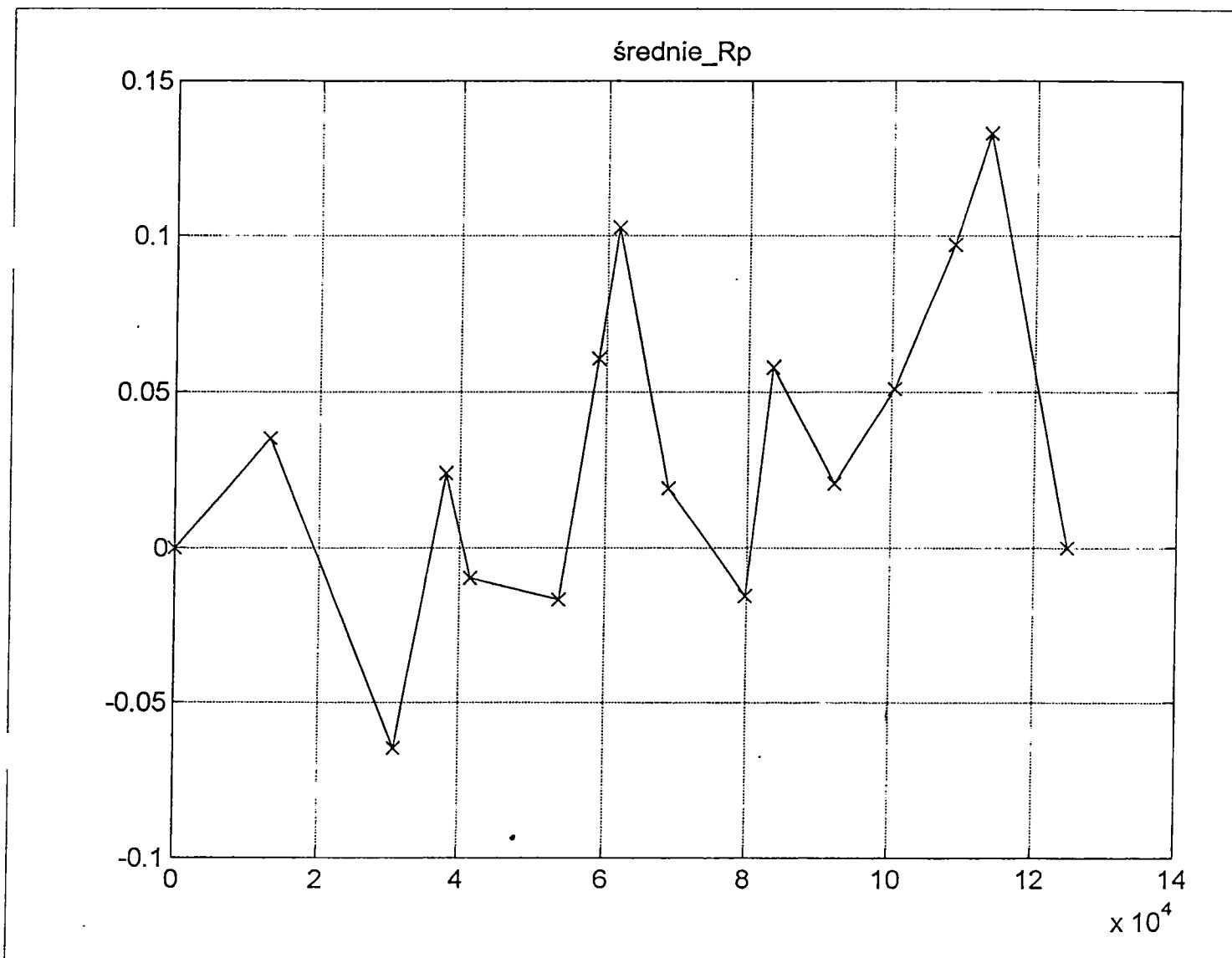
Taki charakter rozkładu zmiennej $Rp(x)$ nie może wynikać z ewentualnych zmian $\rho(x)$ i $w(x)$, spowodowanych rozkładem temperatury wzdłuż rurociągu (sprawdzono to również metodą obliczeniową), gdyż wówczas rozkłady te wykazywałyby pewną regularność. Świadczy on natomiast o tym, że w dostarczonych danych występują jakieś błędy. Błędy te mogą wynikać jedynie z:

- błędnych wartości h_i (ewentualnie również x_i), podanych na schematach posadowienia rurociągu lub/i
- błędów systematycznych pomiarów ciśnień p_i (ewentualne błędy pomiarów przepływu odgrywają w tym przypadku drugorzędą rolę) lub/i
- bardzo dużych różnic współczynników tarcia λ między poszczególnymi punktami i rurociągu lub/i
- różnymi średnicami D między poszczególnymi punktami i rurociągu.

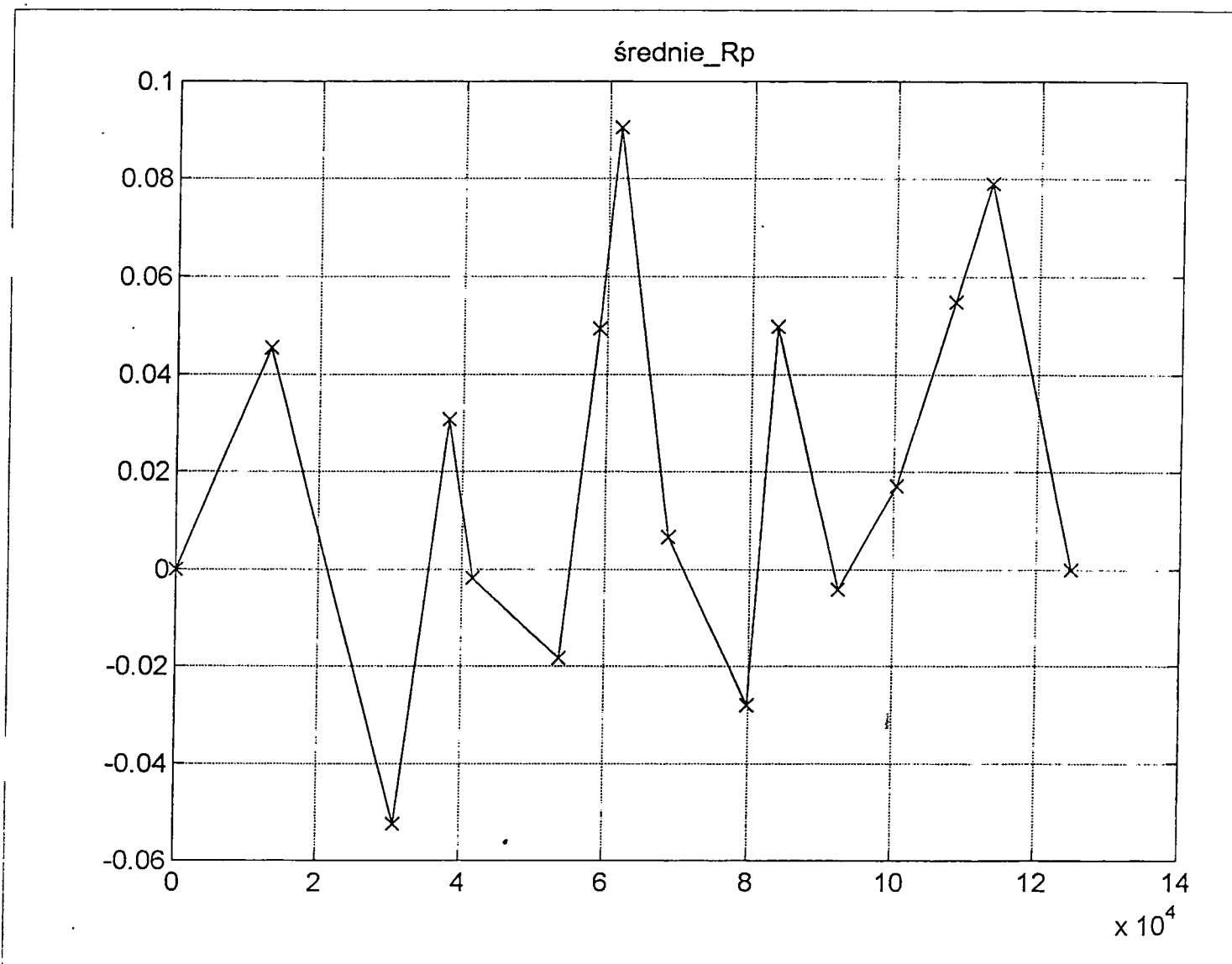
Warto zwrócić uwagę, że gdyby pokazane przebiegi $Rp(x)$ wynikały:

- wyłącznie z błędów pomiaru ciśnień p_i – oznaczałoby to, że błędy te dochodzą do 120÷130 kPa (przy katalogowej dokładności przetworników pomiarowych 4÷6 kPa),
- wyłącznie z błędów określenia poziomów h_i – oznaczałoby to, że błędy te dochodzą do kilkunastu metrów.

Pomimo podejmowania wielu różnych prób (w tym – różnych obliczeń), przyczyn tego stanu rzeczy nie udało się wyjaśnić.



Rys. 1 a



Rys. 1 b

Jednakże w/w czynniki nie powinny mieć dużego wpływu na skuteczność ostatecznej wersji procedur wykrywania i lokalizacji wycieków. Procedury te oparto bowiem na zmiennych:

$$\Delta p_i = p_i(t) - p_i(t - \tau_p) \quad (5.1)$$

$$\Delta w = w(t) - w(t - \tau_w) \quad (5.2)$$

gdzie: p_i , w – wartości średnie z N pomiarów bieżących,

τ_p, τ_w – pewne przesunięcia czasowe.

Przy tak skonstruowanych zmiennych, błędy h_i oraz błędy systematyczne p_i i w powinny zostać wyeliminowane (a przynajmniej znacznie ograniczone).

Znajomość współczynników λ będzie natomiast potrzebna dla lokalizacji wycieków przy jednoczesnym przepływie przez rurociąg więcej niż jednego medium; będą one w związku z tym wyznaczane na bieżąco przez SWLP jako wartości średnie dla potrzebnych odcinków rurociągu z taką dokładnością, jaką w przedstawionej sytuacji uda się uzyskać, lecz błędy wyznaczania λ (podobnie jak i błędy wyznaczania granicy rozdziałów mediów) będą w tym przypadku rzutowały na błędy lokalizacji wycieku.

2.2. POMIARY CIŚNIENIA.

W algorytmach wykrywania, a szczególnie lokalizacji wycieków, pomiary ciśnienia są pomiarami podstawowymi. Z punktu widzenia tych algorytmów, pomiary ciśnienia w sensie statystycznym na ogół można uznać jako bardzo dobre (ale z wyjątkiem pomiarów na stacjach SF1 i NWW, które są szczególnie ważne). Przy stabilnym tłoczeniu mediów, w próbkach z okresów 1 – 2 minutowych:

- odchylenia standardowe mieszczą się w granicach 1 kPa,
- różnice między wartością chwilową i średnią nie wykraczają poza 2 – 3 kPa,
- różnice między kolejnymi wartościami średnimi nie wykraczają poza 1 – 1,5 kPa,

przy czym parametry te w pewnym stopniu zależą od bezwzględnej wartości ciśnienia (dużo mniejszym, niż to zakładano w badaniach symulacyjnych).

Na stacji SF1 (dla próbek również z okresów 1÷2 minutowych) parametry statystyczne pomiaru ciśnienia są znacznie gorsze:

- odchylenia standardowe wynoszą około 7 kPa,

- różnice między wartością chwilową i średnimi dochodzą do 10÷12 kPa,
- różnice między kolejnymi wartościami średnimi dochodzą do 6÷8 kPa.

Brak przy tym podstaw do oceny, czy dane te wynikają z rzeczywistych wahań ciśnienia w rurociągu, czy też z jakichś cech układu pomiarowego.

Natomiast na stacji NWW pomiar ciśnienia zachowuje się zupełnie niezrozumiale. Daje się zauważyć rozdzielczość pomiarów, odpowiadającą 16-bitowemu przetwornikowi A/D (około 58 Pa), ale różnice między kolejnymi pomiarami są zgrupowane w odległościach co 800 Pa (t.zn.: 0 ± 58 , 800 ± 58 , 1600 ± 58 itd). Nie widać przesłanek do stwierdzenia, że stanowi to odzwierciedlenie przebiegu ciśnień w rurociągu.

Zdarzają się jednak przypadki silnych zakłóceń pomiarów ciśnień, występujące w różnych stacjach. Mają one charakter nieregularnych wahań o okresie 3÷30 min i amplitudzie 2÷10%. Z reguły są to wady układów pomiarowych (wahania ciśnień nie przenoszą się na sąsiednie punkty pomiaru). Sytuacje takie występują bardzo rzadko (w ciągu ostatnich kilkunastu miesięcy ich nie zarejestrowano), ale występują. Posługiwanie się takimi pomiarami w odnośnych procedurach mogłoby spowodować fałszywe alarmy, nie wykrycie wycieku, duże błędy lokalizacji.

Z tego względu do SWLP wprowadzono procedurę testowania pomiarów ciśnienia. Założono przy tym, że procedura ta eliminuje z algorytmów wykrywania i lokalizacji wycieków co najwyżej 3 pomiary, uznane za najgorsze.

Próby kontrolowanego upustu mediów wykazały, że założenie to wymaga jeszcze przemyśleń.

2.3. POMIARY PRZEPŁYWU.

Pomiary przepływu będą używane w procedurach zarówno wykrywania, jak i lokalizacji wycieków (szczególnie, gdy wyciek znajduje się w pobliżu początku lub końca rurociągu). Z punktu widzenia tych procedur, przebiegi pomiarów przepływu w czasie nie są korzystne. Przy stabilnym tłoczeniu, dla próbek z okresów 2–3 minutowych:

- odchylenia standardowe wynoszą dla Q_p (na początku rurociągu) $2,0\div 2,5$ m^3/h , dla Q_k (na końcu rurociągu) $1,5\div 2,0$ m^3/h ,
- różnice między wartościami średnimi i chwilowymi dochodzą dla Q_p do 4 – 5 m^3/h , a dla Q_k do 2 – 3 m^3/h ,
- różnice między kolejnymi wartościami średnimi dochodzą dla Q_p do 2,5 – 3,5 m^3/h , dla Q_k do 1,5 – 2,0 m^3/h .

Różnice między kolejnymi wartościami średnimi maleją, gdy czas uśredniania rośnie do 10-15 min (dalsze zwiększanie czasu uśredniania praktycznie nie zmienia wyników), ale i wówczas różnice między kolejnymi wartościami średnimi dochodzą dla Q_p do $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, a dla Q_k do $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$.

Przepływ Q_k powinien być związany z przepływem Q_p zależnością:

$$Q_k = Q_p [1 + \beta(t_k - t_p) - \gamma(p_k - p_p)] \quad (6)$$

gdzie: t_p, t_k – temperatury na początku i na końcu rurociągu [deg],

p_k, p_p – ciśnienie na początku i na końcu rurociągu [Pa],

β - współczynnik rozszerzalności objętościowej [1/deg],

$$\gamma = \gamma_c + \gamma_R$$

γ_c - współczynnik ściśliwości cieczy [1/Pa]

γ_R - współczynnik sprężystości rurociągu [1/Pa]

Według danych PERN, dla wszystkich rodzajów mediów $\beta = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ 1/deg}$, $\gamma_c = 757 \cdot 10^{-12} \text{ 1/Pa}$, natomiast zgodnie z obliczeniami, podanymi w [1], $\gamma_R = 204 \cdot 10^{-12} \text{ 1/Pa}$. Zatem:

$$Q_k = Q_p [1 + 1,1 \cdot 10^{-3} (t_k - t_p) - 961 \cdot 10^{-12} (p_k - p_p)]$$

a różnica:

$$\Delta Q = Q_p - Q_k = Q_p [-1,1 \cdot 10^{-3} (t_k - t_p) + 961 \cdot 10^{-12} (p_k - p_p)] \quad (7)$$

Przebadano około 200 próbek Q_p i Q_k , wziętych z różnych okresów czasu i dla różnych sytuacji w rurociągu. Wartości Q_p i Q_k wyznaczano jako wartości średnie z okresów 20-minutowych (t.zn. z 400 kolejnych pomiarów chwilowych).

Wyniki zestawiono w tabl. 1.

11

Tablica 1

Sytuacja	$\Delta Q_A [m^3/h]$	$\Delta Q_B [m^3/h]$
B – B	$13,8 \pm 1,0$	$11,6 \pm 0,7$
ON – ON	$3,5 \pm 2,1$	$-1,1 \pm 2,1$
B – ON	$1,1 \pm 2,1$	$-1,8 \pm 2,0$
ON – B	$17,3 \pm 3,4$	$12,9 \pm 2,1$

W tablicy tej oznaczono:

B – B – benzyna na początku i benzyna na końcu rurociągu,

ON – ON – olej napędowy na początku i olej napędowy na końcu rurociągu,

B – ON – benzyna na początku i olej napędowy na końcu rurociągu,

ON – B – olej napędowy na początku i benzyna na końcu rurociągu.

$\Delta Q_B = Q_p - Q_k$ – różnica bezpośrednich pomiarów (bez korekty od temperatury i ciśnienia)

$\Delta Q_A = \Delta Q_B + \Delta Q$, gdzie ΔQ – w/g równania (7).

Tablica 1 pokazuje, że nawet dla średnich z okresów 20-minutowych, rozrzuty ΔQ_A i ΔQ_B wynoszą od $\pm 1,0$ ($\pm 0,7$) dla sytuacji B – B do $\pm 3,4$ ($\pm 2,1$) dla sytuacji ON – B.

Dane dla sytuacji B – ON oraz ON – B uwzględniają fakt zmiany Q w ślad za przesuwaniami się granicy rozdziału mediów.

3. WYKRYWANIE I LOKALIZACJA WYCIEKÓW.

W SWLP przewidziano 4 stany pracy instalacji:

- 1) Postój instalacji.
- 2) Włączenie tłoczenia.
- 3) Stabilne tłoczenie.
- 4) Tłoczenie przy wystąpieniu skokowego zakłócenia ciśnienia na początku lub na końcu rurociągu.

Każdy z tych stanów jest zdefiniowany i identyfikowany przez SWLP samoczynnie na podstawie bieżących pomiarów. Również samoczynnie włączają się procedury, istotne dla danego stanu.

3.1. POSTÓJ INSTALACJI.

W okresie postoju kontrolowana jest jedynie prędkość spadku ciśnienia w każdym punkcie pomiaru i . Jeżeli prędkość ta jest większa od z góry założonej (w oparciu o wcześniejsze badania), lub gwałtownie wzrasta, wówczas system sygnalizuje prawdopodobieństwo wycieku na odcinku między punktami i oraz $(i-1)$.

3.2. WŁĄCZENIE TŁOCZENIA.

Po włączeniu tłoczenia, system za pomocą specjalnej procedury kontroluje, czy zaistniał już stan ustalony. Według dotychczasowych badań, powinno to nastąpić po upływie 25-35 min od włączenia pompy głównej.

Po stwierdzeniu, że stan ten już zaistniał, system na podstawie pomiarów przepływu kontroluje, czy nie występuje prawdopodobieństwo wycieku. Jeżeli stwierdzi, że prawdopodobieństwo takie występuje, wówczas uruchamia procedurę lokalizacji wycieku, opartą na porównaniu aktualnego rozkładu ciśnień z rozkładem wynikającym z modelu matematycznego, a uwzględniającym również rozkład ciśnienia w stanie stabilnej pracy rurociągu przed wyłączeniem tłoczenia.

Błąd tej lokalizacji będzie względnie duży i zależny od sytuacji w rurociągu. Nie powinien jednak przekroczyć wartości 2-krotnie większej od błędu lokalizacji, określonego dla stanu stabilnego tłoczenia medium.

3.3. STABILNE TŁOCZENIE.

3.3.1. WYKRYWANIE WYCIEKÓW.

Dla wykrywania faktu wycieku zastosowano dwie metody:

- a) Metodę opartą na wyznaczaniu przyrostów ciśnień.
- b) Metodę opartą na wyznaczaniu przyrostów natężeń przepływu.

a) Metoda oparta na wyznaczaniu przyrostów ciśnień $\Delta p_i = p_i(t) - p_i(t - \tau_p)$

Na rys. 2 pokazano zależności między natężeniem wycieku Q_u , miejscem wycieku x_u oraz spadkiem ciśnienia Δp_u dla przypadku tłoczenia oleju napędowego:

- na rys. 2a – przez jedną pompę,
- na rys. 2b – przez dwie pompy.

Podobnie przedstawiają się wykresy dla tłoczenia benzyny.

Wykresy te sporządzono na podstawie modelu matematycznego procesu tłoczenia.

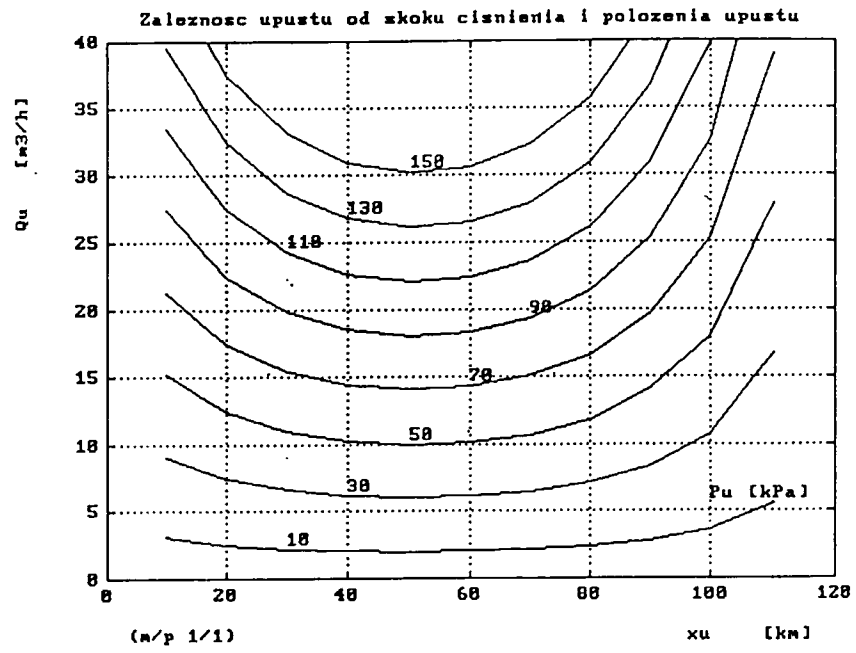
Badania symulacyjne wykazały, że przy stabilnym tłoczeniu wyciek jest wykrywalny, jeżeli spadek ciśnienia w miejscu wycieku $\Delta p_u \geq 15$ kPa (t.zn. jest 2-3-krotnie większy od katalogowej dokładności przetworników pomiarowych). Przy tłoczeniu medium przez jedną pompę (rys. 2a), odpowiada to wyciekowi:

- dla $0 < x < 30$ km, $Q_u = 4 \div 5$ m³/h
- dla $35 < x < 75$ km, $Q_u = 2 \div 3$ m³/h
- dla $75 < x < L$ km, $Q_u = 5 \div 6$ m³/h

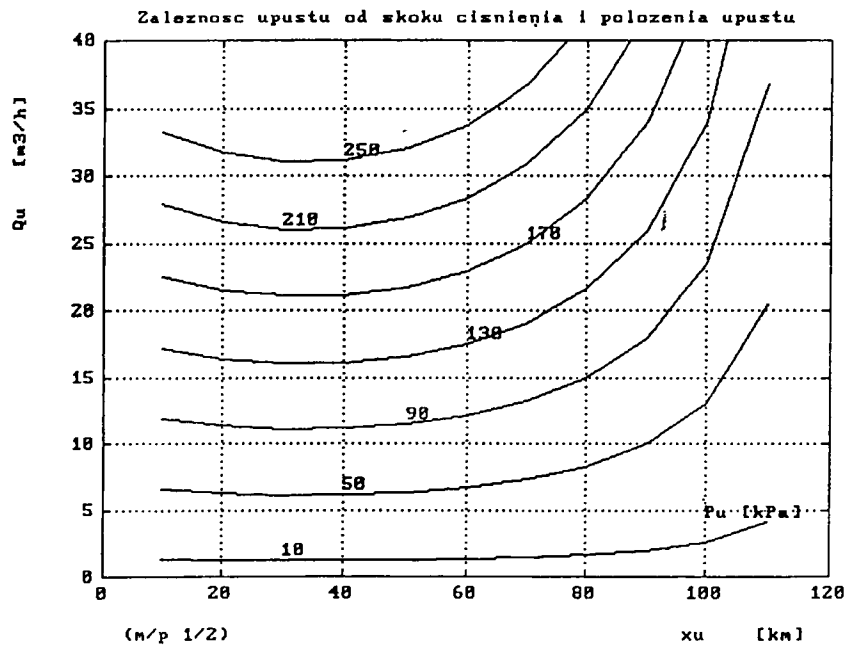
Przy tłoczeniu medium przez dwie pompy (rys. 2b) wrażliwość na wyciek jest większa i wynosi:

- dla $0 < x < 90$ km, $Q_u = 2 \div 3$ m³/h
- dla $90 < x < L$ km, $Q_u = 3,5 \div 5$ m³/h

Powyższe dane zamierzano zweryfikować w trakcie prób kontrolowanego upustu mediów i dlatego zakładano, że przy wycieku w danym miejscu x_u wartości Q_u będą w kolejnych próbach obniżane do granicy wykrywalności. Ale wszystkie próby w danym miejscu były wykonywane przy wyciekach



Rys. 2 a



Rys. 2 b

porównywalnych [3], w związku z czym weryfikacji takiej nie udało się przeprowadzić.

Warto jednak zwrócić uwagę na rys. 3, dotyczący próby 1. Spadki ciśnień w okresie między cyklami próbkowania 250-275 spowodowane były napełnieniem przewodu, zamkniętego na końcu zaworem kulowym, a służącego do odprowadzania medium z rurociągu. Według informacji uzyskanych z PERN, objętość wewnętrzna przewodu wynosiła około 15 l, a jak wynika z rys. 3 czas napełniania – nieco powyżej 1 min. Oznacza to, że w tym czasie średnie natężenie wycieku Q_u było mniejsze niż $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$. Natomiast przy takich wartościach Δp_u , jakie przykładowo pokazano dla stacji SB3 (P9), SB4 (P10), SB7 (P13) i SB8 (P14), wyciek powinien być bez problemu wykryty (odrębną kwestią byłaby dokładność jego lokalizacji).

Jednego wyniku, otrzymanego trochę przypadkowo; nie można traktować jako podstawy do korygowania danych, tym niemniej wydaje się, że rzeczywista wrażliwość procedury na wyciek powinna być większa niż to wynika z badań symulacyjnych.

b) Metoda oparta na wyznaczeniu różnicy przepływów $\Delta Q = Q_p - Q_k$.

W przypadku wycieku powinna zaistnieć nierówność:

$$\Delta Q = Q_p - Q_k > \delta Q$$

gdzie δQ – pewna wartość progowa.

Z tabl. 1 wynika, że wartość δQ zależy od sytuacji w rurociągu i wynosi od $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ (dla sytuacji B-B) do $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$ (dla sytuacji ON-B). Wartość δQ nie zależy przy tym od miejsca wycieku. Ale zgodnie z tym, co powiedziano w p. 2.3, wykrycie wycieku tą metodą jest możliwe po czasie kilkunastu minut od chwili wystąpienia wycieku.

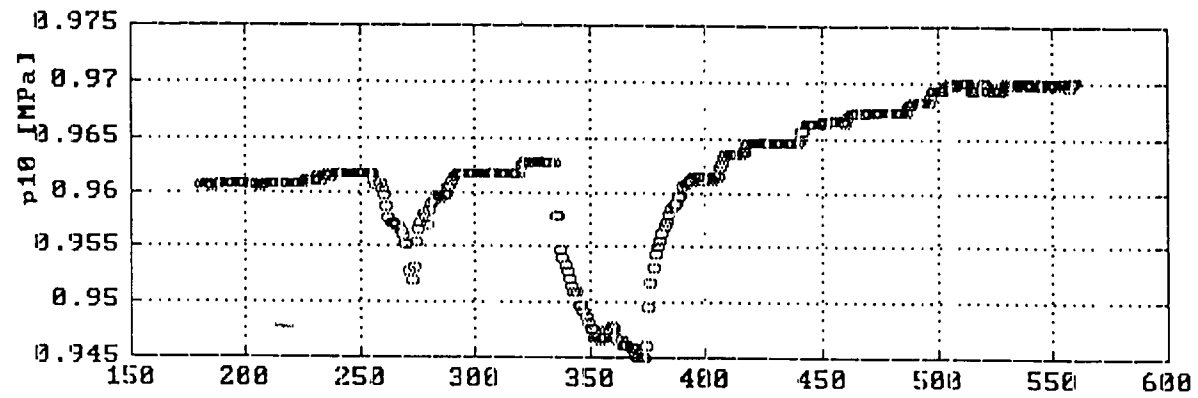
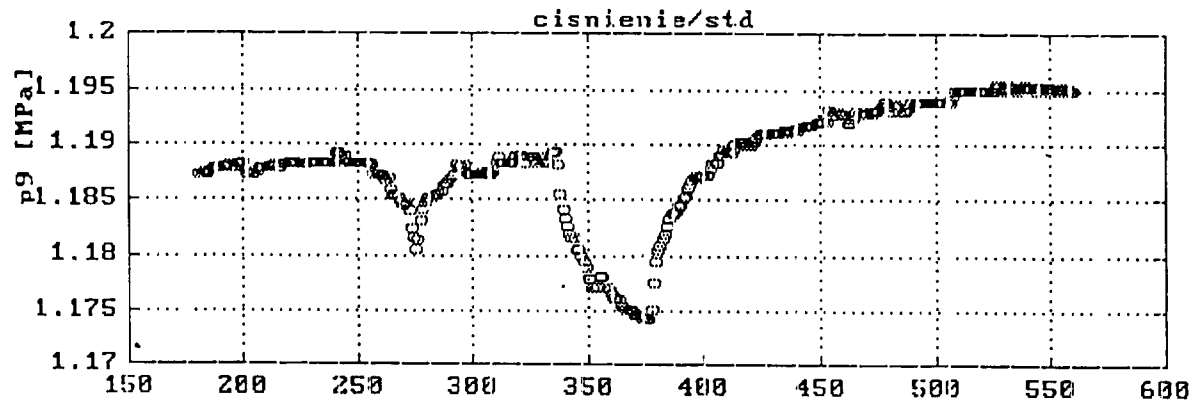
Z przyczyn podanych w [3], w trakcie prób kontrolowanego upustu mediów, również i tej metody nie udało się zweryfikować doświadczalnie.

3.3.2. LOKALIZACJA WYCIEKU.

Dla lokalizacji wycieku opracowano dwie procedury:

- a. Zespół algorytmów, opartych na metodach gradientowych.
- b. Algorytm oparty na śledzeniu czoła fali ciśnienia.

Rys. 3



16

a. Zespół algorytmów, opartych na metodach gradientowych.

Metody gradientowe są najbardziej skuteczne i powinny zapewnić najlepsze wyniki lokalizacji. Dlatego też potraktowano je jako metody podstawowe. Zostały one mocno rozbudowane w różnych płaszczyznach:

- * ze względu na sposób obliczania przyrostów gradientów na początku (ΔG_p) i na końcu (ΔG_k) rurociągu, na:
 - metodę opartą na statystycznej obróbce przyrostów ciśnień $\Delta p_i = p_i(t) - p_i(t - \tau)$ w każdej stacji,
 - metodę opartą na statystycznej obróbce przyrostów gradientów między każdą parą stacji.

Zakłada się przy tym, że po zgromadzeniu odpowiedniej liczby doświadczeń, jedna z tych metod być może zostanie wyeliminowana.
- * ze względu na sytuację w rurociągu, na:
 - lokalizację wycieku przy przepływie przez rurociąg jednego medium,
 - lokalizację wycieku przy jednoczesnym przepływie w rurociągu więcej niż jednego medium. W tym przypadku algorytm lokalizacji musi uwzględniać również położenia granic rozdziału mediów oraz wartości średnie iloczynów $\lambda\rho$ na odcinkach, zajmowanych przez poszczególne media, a błędy tych danych wpływają na błąd lokalizacji,
- * ze względu na miejsce wycieku, na:
 - algorytmy, w których znajomość przyrostów przepływu, spowodowanych wyciekami $\Delta Q_i = Q_i(t) - Q_i(t - \tau)$ jest pożądana, lecz stanowi zmienną pomocniczą,
 - algorytmy, w których znajomość ΔQ_i jest niezbędna i stanowi zmienną podstawową. Dotyczy to wycieków w pobliżu początku lub końca rurociągu, a w szczególności przypadku, gdy wyciek nastąpił między dwoma pierwszymi lub dwoma ostatnimi wiarygodnymi punktami pomiaru ciśnienia.

W każdym z powyższych przypadków zakładano, że:

- wartości $p_i(t)$ oraz $p_i(t - \tau)$ będą wartościami średnimi z okresu co najmniej 2÷3 min (t. zn. z minimum 40÷60 pomiarów bieżących) dla stanów ustalonych przed wyciekami i po wyciekach; można to uzyskać po czasie nie krótszym, niż 5÷6 minut od momentu wycieku,
- wartości $Q_i(t)$ oraz $Q_i(t - \tau)$, zgodnie z tym, co powiedziano w p. 2.3, będą wartościami średnimi z okresu co najmniej 10÷12 min (t.zn. z minimum

200÷240 pomiarów bieżących) dla stanów ustalonych przed wyciekem i po wycieku; można to uzyskać po czasie 12÷14 min od momentu wycieku.

Badania symulacyjne wykazują, że wartości średnie błędów lokalizacji tego samego wycieku z kilku÷kilkunastu obliczeń są bliskie zero, natomiast rozkład błędów z poszczególnych obliczeń ma charakter rozkładu gauss'owskiego. Wobec tego w sensie statystycznym błąd lokalizacji jako parametr zatracą sens. Dokładność procedur należy raczej charakteryzować dyspersją (odchyleniem standardowym).

Dyspersja błędu lokalizacji zależy od kilku czynników, w tym głównie:

- natężenia wycieku; im większe natężenie wycieku, tym mniejsza dyspersja błędu lokalizacji,
- miejsca wycieku, a ściślej liczby przyrostów ciśnień Δp_i , jakie można uwzględnić przy wyznaczaniu przyrostu gradientu ΔG_p (przed) lub ΔG_k (za) wyciekem; z tego względu, przy posługiwaniu się wyłącznie przyrostami ciśnień, błędy lokalizacji wycieku na końcach rurociągu są większe, niż w jego części środkowej,
- aktualnego charakteru i poziomu szumów pomiarowych; największe błędy lokalizacji wprowadzają składowe szumów o charakterze oscylacyjnym i okresie od kilkudziesięciu sekund do kilkunastu minut (a takie składowe występują, głównie w pomiarach przepływów).

Zgodnie z teorią statystyki, przy gauss'owskim (lub zbliżonym do gauss'owskiego) rozkładzie błędów pomiarowych, 95,4% wyników pomiarów powinno się zawierać w przedziale, równym $\pm 2\delta x$, gdzie δx – wartość dyspersji błędu.

Na podstawie dotychczasowych badań (głównie symulacyjnych i półsymulacyjnych), podwójną wartość dyspersji błędu lokalizacji wycieku $2\delta x_u$ dla warunków:

- wyznaczania zmiennych Δp_i zgodnie z podanymi wyżej wymaganiami,
- przeciętnego poziomu i rozkładu szumów pomiarowych w rurociągu,
- wyznaczaniu ΔG_p i ΔG_k wyłącznie w oparciu o pomiary ciśnień,
- przepływu przez rurociąg jednego medium,

podano w tabl. 2.

Tablica 2.

Q_u [m ³ /h]	x_u [km]	$2\delta x_u$		
		30	60	100
5		±1800	±1000	±1600
10		±950	±600	±900
20		±550	±250	±500

Zatem przy spełnieniu podanych warunków, dla około 95% przypadków lokalizacji wycieków błędy lokalizacji nie powinny wykroczyć poza przedziały w/g tej tablicy.

Jeżeli w procedurach lokalizacji istniałaby możliwość uwzględnienia wiarygodnych przyrostów ΔQ_p i ΔQ_k , wyznaczonych również zgodnie z podanymi wyżej wymaganiami, wówczas dyspersje błędów lokalizacji w częściach skrajnych rurociągu powinny być zbliżone do dyspersji w jego części środkowej.

W przypadku jednoczesnego przepływu przez rurociąg więcej niż jednego medium dyspersje błędów lokalizacji będą (w zależności od sytuacji) większe, nie powinny jednak przekroczyć 1,3-krotnych wartości, podanych powyżej dla przepływu jednego medium.

Próby kontrolowanego upustu mediów, przeprowadzone w dniach 98.05.19 i 98.05.27, nie dały podstaw do zakwestionowania przedstawionych danych.

Ze względu na zbyt krótkie czasy trwania upustu w każdej z prób (omówiono to w [3]) możnaby oczekiwać, że wyniki lokalizacji będą znacznie gorsze od uzyskiwanych w warunkach normalnych, gdyż:

- przy braku stanu ustalonego po wycieku byłoby nie sensowne wyznaczenie wartości średnich $p_i(t)$; w tej sytuacji wartości $\Delta p_i(t)$ obliczano dla poszczególnych stacji jako różnicę między najmniejszą wartością chwilową po wycieku $p_i(t)$ (która wobec szumów pomiarowych, mogła być przypadkowa) i wartością średnią przed wyciekiem $p_i(t - \tau)$,
- wspomniane wartości chwilowe $p_i(t)$ musiały być względem siebie dla różnych stacji znacznie przesunięte w czasie; warto zauważyć, że szczególnie

w próbie w dniu 05.27 (gdzie wyciek trwał około 60s), przy prędkości dźwięku $c = 1100 \div 1200$ m/s, fala ciśnienia, spowodowana wyciekaniem, docierała do krańców rurociągu w momencie, gdy wyciek już się skończył.

Tymczasem przyjmując (zgodnie z danymi PERN [4]), że przecieki były wykonywane w odległości:

- w dniu 98.05.19 – 93,0 km
- w dniu 98.05.27 – 55,0 km

błędy lokalizacji przy użyciu metod gradientowych zestawiono w tabl. 3. W tablicy tej (podobnie jak w [3]) oznaczono:

1÷4 – próby w dniu 98.05.19 (jednoczesny przepływ przez rurociąg 3 mediów, ale można to sprowadzić do przepływu 2 mediów).

5÷9 – próby w dniu 98.05.27 (przepływ przez rurociąg 1 medium)

A – metoda gradientowa, oparta na wyznaczaniu wynikowych przyrostów gradientów na podstawie statystycznej obróbki przyrostów ciśnień w każdej stacji,

B - metoda gradientowa, oparta na wyznaczaniu wynikowych przyrostów gradientów na podstawie statystycznej obróbki przyrostów gradientów między każdą parą stacji.

Tablica 3.

Nr próby	Błąd lokalizacji przecieku [km]		Natężenie wycieku w/g PERN Q_u [m ³ /h]
	A	B	
1	+0,7	-0,4	6,2÷6,9
2	+1,1	+0,8	
3	+1,5	+0,7	
4	-16,2	-14,1	
5	+0,7	+1,1	12,0÷13,6
6	+0,6	+1,9	
7	+1,0	+0,9	
8	+0,4	+0,9	
9	+0,4	+0,5	

Bardzo duże błędy lokalizacji w próbie 4 spowodowane są dużymi zakłóceniami pomiarowymi zarówno w trakcie wycieku, jak i bezpośrednio przed wyciekiem (co mogło być skutkiem kilku wcześniejszych wycieków). Warto dodać, że w przypadku wyeliminowania z procedur dwóch dalszych pomiarów, wykazujących największe zakłócenia, dokładność lokalizacji w próbie 4 byłaby bliska wyników dla prób 1÷3.

W niektórych pozostałych próbach (szczególnie 6B) błędy lokalizacji są również większe od wyznaczonych uprzednio na podstawie badań symulacyjnych i półsymulacyjnych, ale prawdopodobnie ma na to zasadniczy wpływ niedotrzymanie warunków przeprowadzenia tych prób.

a. Algorytm oparty na śledzeniu czoła fali ciśnienia, wytworzonej w wyniku wycieku.

Czas przejścia czoła fali ciśnienia przez każdą ze stacji nie może być określony z dokładnością większą od okresu próbkowania $T_0 = 3$ s. Przy prędkości dźwięku $c = 1100 \div 1200$ m/s oznacza to, że błąd lokalizacji wycieku tą metodą wynosi minimum $\Delta x_u = 3300 \div 3600$ m. Tym niemniej, jak powiedziano w [3], badania laboratoryjne wykazały, że błąd ten można zmniejszyć na tyle, aby był on porównywalny z błędem lokalizacji przy użyciu metod gradientowych, jeżeli:

- od miejsca wycieku do końca rurociągu dysponujemy co najmniej trzema pomiarami ciśnienia; jeżeli warunek ten nie jest spełniony, wówczas $\Delta x_u > T_0 \cdot c$ (w skrajnym przypadku może dojść nawet do 5 ÷ 6 km),
- zakłócenia w każdej stacji pomiarowej w momencie tworzenia się fali ciśnienia są nie większe od zakłóceń przeciętnych,
- pomiary są przesyłane dokładnie w cyklu 3-sekundowym i nie zawierają powtórzeń wyników poprzednich; zdarza się (choć rzadko), że pomiary są powtarzane w dwóch a nawet 3 cyklach próbkowania, co zniekształca odtwarzanie rozchodzenia się czoła fali ciśnienia.

Wyniki lokalizacji wycieku w oparciu o tę metodę, uzyskane w trakcie prób kontrolowanych upustów mediów, zestawów w tabl. 4.

Tabl. 4

Nr próby	Błąd lokalizacji [km]
1	-1,1
2	-2,4
3	-0,8
4	-3,0
5	+0,6
6	+1,0
7	-0,4
8	+0,4
9	+1,2

Dane te potwierdzają, że dokładność lokalizacji wycieku metodą śledzenia czoła fali ciśnienia, przy spełnieniu podanych wyżej warunków, może być porównywalna z dokładnością metod gradientowych.

Należy dodać, że bardzo krótkie czasy trwania wycieków nie powinny mieć istotnego wpływu na dokładność lokalizacji tą metodą; ewentualny wpływ mógł mieć tylko wyższy poziom zakłóceń, spowodowanych względnie krótkotrwałymi przerwami między poszczególnymi próbami.

3.3.3. WYZNACZANIE NATĘŻENIA WYCIEKU

Metodę wyznaczania natężenia wycieku podano w [2, p.3.1.1.3]*. Metoda ta jest słuszna przy założeniu, że występujące w odnośnych zaworach wyrażenia ΔG_p i ΔG_k są przyrostami gradientów ciśnień w stanach ustalonych przed i po wycieku. Według badań symulacyjnych, błąd względny tak obliczonego natężenia wycieku Q_u (rozumiany również jako zmienna losowa), w około 95% przypadków powinien być nie większy niż $\pm 15\%$.

* Zależność 10.1, podana w [3, p.3.1.1.3], zawiera błąd. Zależność ta powinna mieć postać:

$$Q_u = Q_p \left(1 - \frac{1 - \Delta G_k / G_s}{1 - \Delta G_p / G_s} \right)$$

W trakcie kontrolowanych upustów mediów, średnie natężenia wycieku Q_u wynosiły:

- w/g danych PERN (obliczonych jako całkowita objętość wycieku podzielona przez czas wycieku):
 - w dniu 98.05.19: $6,2 \div 6,9 \text{ m}^3/\text{h}$
 - w dniu 98.05.27: $12,0 \div 13,6 \text{ m}^3/\text{h}$
- w/g obliczeń PIAP (w oparciu o wartości ΔG_p , ΔG_k i G_s):
 - w dniu 98.05.19: $4,3 \div 5,6 \text{ m}^3/\text{h}$ (błąd względny $24 \div 25\%$)
 - w dniu 98.05.27: $6,2 \div 6,5 \text{ m}^3/\text{h}$ (błąd względny $48 \div 50\%$)

Tak duże błędy obliczonych wartości Q_u wynikają zapewne stąd, że w trakcie żadnej z prób nie dochodziło do stanu ustalonego parametrów; omówiono to w p.3.3.2.a niniejszego sprawozdania. Tezę tę w jakimś sensie potwierdza fakt, że w dniu 98.05.19, gdy czasy wycieku były dwukrotnie dłuższe (a tym samym rozkłady ciśnienia bliższe stanu ustalonego) niż w dniu 98.05.27, błędy względne wyznaczonych wartości Q_u są dwukrotnie mniejsze.

3.4. TŁOCZENIE PRZY WYSTĄPIENIU SKOKOWEGO ZAKŁÓCENIA CIŚNIENIA NA POCZĄTKU LUB NA KOŃCU RUROCIĄGU

Zakłócenia ciśnienia na początku lub na końcu rurociągu, spowodowane takimi operacjami technologicznymi jak: zmiana rodzaju tłoczonego medium, przełączenie zbiornika, wymiana filtru, zmiana miejsca dostawy produktu itd., rozprzestrzeniają się wzdłuż rurociągu z prędkością dźwięku i są z reguły na tyle duże, że działanie w tym czasie procedur wykrywania i lokalizacji wycieków zatracą sens. Procedury wykrywania faktu wycieku mogłyby zarówno wywoływać fałszywe alarmy, jak: nie wykrywać wycieków rzeczywistych, natomiast procedury lokalizacji wycieków pokazywałyby wyniki zupełnie przypadkowe.

Z badań rejestrogramów wynika, że po wystąpieniu tego typu zakłóceń, do nowego stanu ustalonego dochodzi na ogół po czasie $20 \div 35 \text{ min}$ (ale stwierdzono również sporadyczne przypadki, gdy czas ten wynosił nawet 60 min).

W tej sytuacji przewiduje się, że SWLP będzie prowadził ciągłą kontrolę, czy nie wystąpiło skokowe zakłócenie ciśnienia na początku lub na końcu rurociągu (nie wnikając w jego przyczynę). Jeżeli zakłócenie takie wystąpi, wówczas zdezaktywizowane będą procedury wykrywania i lokalizacji wycieków dla warunków stabilnego tłoczenia, natomiast zostanie uruchomiona procedura kontroli stabilności parametrów procesu. Gdy stabilność ta osiągnie poziom przeciętny, wówczas zostanie uruchomiona specjalna procedura kontrolująca,

czy nie nastąpił wyciek w okresie wyłączenia procedur wykrywania i lokalizacji wycieków. Będzie ona oparta na modelu matematycznym procesu tłoczenia oraz wartościach ciśnień i przepływów przed wyłączeniem w/w procedur i po osiągnięciu nowego stanu ustalonego.

W porównaniu z procedurami wykrywania i lokalizacji wycieków w okresie stabilnego tłoczenia, wrażliwość omawianej procedury na wyciek powinna być zbliżona, a dyspersja błędu lokalizacji wycieku – około 1,5-krotnie większa.

W przypadku wykrycia i zlokalizowania wycieku – SWLP poinformuje o tym dyspozytura. Jednocześnie po stwierdzeniu, że stabilność parametrów procesu osiągnęła ponownie poziom przeciętny, zostaną uaktywnione procedury wykrywania i lokalizacji wycieków dla warunków stabilnego tłoczenia.

4. UWAGI I WNIOSKI KOŃCOWE

1. Warunki przeprowadzenia prób kontrolowanych upustów mediów odbiegały od uzgodnień, zawartych w notatce służbowej z dn. 08.01.19 i nie odtwarzały w dostatecznym stopniu sytuacji, dla jakich był opracowany SWLP (i jakie mogą wystąpić w rzeczywistości). Dotyczy to głównie czasów wycieków (miały wynosić około 12 min, wynosiły 1÷2 min), a w jakimś stopniu (choć znacznie mniejszym) okresów przerw między wyciekami (miały wynosić 40÷50 min, wynosiły 28÷36 min).

W związku z tym w zasadzie nie zostały sprawdzone w oparciu o doświadczenia obiektowe takie parametry procedur, jak:

- błąd lokalizacji wycieku, opartej na prawidłowo wyznaczonych zmiennych ΔG_p i ΔG_k ,
- błąd wyznaczania natężenia wycieku Q_u ,
- praktyczna możliwość wykrywania i wyznaczania natężenia wycieku na podstawie pomiarów Q_p i Q_k ,
- praktyczna możliwość wyznaczania zmiennych ΔG_p i ΔG_k w oparciu o przyrosty ΔQ_p i ΔQ_k (co dałoby podstawę do określenia możliwej do uzyskania dokładności lokalizacji wycieków w pobliżu krańców rurociągu).

W związku z tym parametry, podane w p. 3.3.2, oparto głównie na badaniach symulacyjnych i półsymulacyjnych.

Tym nie mniej wydaje się, że:

- wyniki lokalizacji były lepsze (z wyjątkiem próby 4), niż przy takich warunkach próby można było oczekiwać,

- wrażliwość procedur na wycieki prawdopodobnie będzie większa, niż to wynika z badań laboratoryjnych.
- 2. Wyjaśnienia wymaga liczba wycieków, wykonanych w dniu 98.05.15. Na podstawie rejestrogramów w PIAP stwierdzono 4 wycieki (czasy ich występowania podano w [3]), w/g pisma PERN [4], wycieków było 6. Mamy nadzieję wyjaśnić tę sprawę w najbliższym czasie (np. w trakcie odbioru pracy).
- 3. W przypadku kontynuowania prac nad SWLP celowe byłoby wyjaśnienie źródeł błędów, w wyniku których rozkłady zmiennej $R_p(x)$ mają przebieg – jak na rys. 1a i 1b. W p.2 podano możliwe przyczyny takiego charakteru tych rozkładów. Warto w tym kontekście zwrócić uwagę, że występują rozbieżności, dotyczące np. x_i oraz h_i , między danymi na schemacie posadowienia rurociągu i uzyskanymi z systemu informatycznego PERN. Jest to o tyle istotne, że dane te stanowią parametry odnośnych procedur.

5. BIBLIOGRAFIA

1. R. Sobczak, A. Bratek: „Opracowanie i określenie wrażliwości systemu do wykrywania i lokalizacji przecieków w rurociągu przy określonym opomiarowaniu”.
 Etap 1. „Opracowanie i badania komputerowe modelu matematycznego rurociągu”
 Sprawozdanie PIAP, nr arch. 7208.
2. R. Sobczak, A. Bratek: „Opracowanie i określenie wrażliwości systemu do wykrywania i lokalizacji przecieków w rurociągu przy określonym opomiarowaniu”.
 Etap 2. „Opracowanie systemu do wykrywania i lokalizacji przecieków w rurociągu oraz próby komputerowe wrażliwości tego systemu na przecieki przy istniejącym opomiarowaniu, w oparciu o model matematyczny rurociągu”.
 Sprawozdanie PIAP.
3. Pismo PIAP do PERN znak: OME/228/98 z dn. 23.06.98 w sprawie próby kontrolowanych upustów mediów na rurociągu SF1-NWW.
4. Pismo PERN do PIAP znak TUR/SE/1032/9717/98 z dnia 98.07.07 w sprawie kontrolowanych upustów mediów z rurociągu produktów finalnych.