

SYGNAŁY SŁABYCH INTERAKCJI MIĘDZYOBIEKTOWYCH W DIAGNOSTYCE WYCIEKÓW Z RUROCIĄGÓW

SIGNALS OF WEAK INTEROBJECT INTERACTIONS IN DIAGNOSING OF LEAKAGES FROM PIPELINES

Praca dotyczy diagnozowania wycieków z rurociągów. Praktyka eksploatacyjna pokazuje, że rurociągi są obiektami o słabej podatności diagnostycznej, co ma zasadniczy wpływ na skuteczność diagnozowania wycieków. Powstał zatem problem polepszania podatności diagnostycznej rurociągów. Jego rozwiązaniem jest proponowana metoda polepszania podatności diagnostycznej rurociągów, umownie nazwana metodą słabych interakcji międzyobiektowych. Istotą metody jest pozyskiwanie nowej informacji diagnostycznej, którą są mierzalne sygnały oddziaływań, wynikające z pracy obiektu badawczego (korektora) – dołączonego do diagnozowanego obiektu (rurociągu). Na przykładzie prezentowanych wyników badań eksperymentalnych, pokazano, że dzięki tej nowej informacji diagnostycznej można uzyskać polepszenie podatności diagnostycznej rurociągów, a stad zwiększenie skuteczności diagnozowania wycieków realizowanego dotychczasowymi metodami.

Słowa kluczowe: rurociągi, diagnozowanie wycieków, podatność diagnostyczna

This work concerns diagnosing of leakages from pipelines. Operation practice shows that pipelines are the objects of weak diagnostic susceptibility, which has a basic influence on the efficacy of their diagnosis. Therefore, there is a problem of improving their diagnostic susceptibility. To solve this problem, it is advisory to use the method of improving diagnostic susceptibility of pipelines, conventionally named the method of weak interobject interactions. The essence of this method is acquiring new diagnostic information, which is measurable signals of interactions resulting from the work of a testing object (corrector) joined to a diagnosed object (pipeline). On the example of results of the experimental research it has been shown that thanks to this new diagnostic information it is possible to improve the diagnostic susceptibility of pipelines, and, thus increase the efficacy of diagnosing of leakages conducted by means of the methods used hitherto.

Keywords: pipeline, leak detection, diagnostic susceptibility

1. Wstęp

Diagnozowanie nieszczelności i wycieków stanowi istotne zagadnienie eksploatacji wielu obiektów technicznych. Szczególnego znaczenia nabiera w przypadku takich obiektów jak rurociągi, a zwłaszcza te typu przesyłowego, gdzie wycieki mogą prowadzić do powstawania dużych strat ekonomicznych (związanych z utratą tłoczonego produktu i usuwaniem skutków skażenia środowiska) oraz powodować zagrożenie życia ludzkiego.

Spośród wielu rozwiązań powszechne zastosowanie na rurociągach znalazły głównie metody oparte o wykorzystanie standardowych sygnałów pomiarowych wewnętrznych parametrów przepływu (ciśnienia, natężenia przepływu), określane w literaturze jako metody wewnętrzne.

1. Introduction

Diagnosing of the absence of leak tightness and leakages is an essential problem in the exploitation of many technical objects. It is particularly important in the case of objects such as pipelines, especially those of a transmission type, where leakages can lead to large economic losses (connected with the loss of the forced product and removing the results of environmental contamination) as well as be hazardous to human life.

Among numerous solutions, the ones which are widely used in pipelines are mainly those methods which are based on the use of standard measuring signals of flow internal parameters (pressure, flow rate), described in the literature as internal methods

Należy mieć jednak na uwadze, że praktyczna realizacja takiego procesu diagnozowania wycieków jest problemem złożonym i skomplikowanym, a to ze względu m.in. na duże rozmiary rurociągów oraz złożoną dynamikę procesu tłoczenia. Na skuteczność diagnozowania istotny wpływ ma ponadto podatność diagnostyczna badanego obiektu, która jest ściśle powiązana z możliwością pomiaru dostępnej informacji diagnostycznej.

Jeżeli zatem, w dotychczasowej działalności diagnostycznej zakłada się, że ocena stanu eksploatowanych obiektów związana jest jedynie z sygnałami diagnostycznymi, które są bezpośrednio z nimi (z ich działaniem) związane – oznacza to, że często pojawia się niedobór informacji powodujący zmniejszenie skuteczności diagnozowania. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku diagnozowania wycieków z rurociągów przy użyciu metod wewnętrznych (opartych o sygnały diagnostyczne bezpośrednio wynikające z pracy obiektów). Potwierdzają to uzyskiwane wyniki, gdzie dla istniejących rozwiązań diagnozowania (metod wewnętrznych) możliwe jest identyfikowanie jedynie znacznych wycieków i lokalizowanie ich ze zgrubną dokładnością. Powstaje zatem problem polepszania podatności diagnostycznej rurociągów.

Efektywnym sposobem polepszania podatności diagnostycznej rurociągów może być nowa opracowana metoda, nazwana metodą słabych interakcji międzyobiektowych. Idea proponowanej metody zakłada pozyskiwanie nowych sygnałów diagnostycznych (informacji diagnostycznej), które nie są z obiektem (jego działaniem) bezpośrednio związane. Dzięki tej nowej informacji diagnostycznej zaistniała realna możliwość zwiększenia skuteczności diagnozowania wycieków, realizowanego dotychczasowymi metodami.

2. Ogólna charakterystyka diagnozowania wycieków przy wykorzystaniu metod wewnętrznych

2.1. Zakres zadań i istota diagnozowania

Diagnozowanie wycieków (przecieków) z rurociągów obejmuje następujący zakres zadań (elementów):

- wykrycie (detekcję) zaistniałego przecieku,
- ustalenie miejsca (lokalizację, izolację) zaistniałego przecieku,
- oszacowanie tempa (natężenia) zaistniałego przecieku lub dodatkowo oszacowanie ilości medium, które wypłynęło z rurociągu.

W przypadku zastosowania metod wewnętrznych, istotą takiego diagnozowania jest odpowiednie przetwarzanie informacji diagnostycznej w postaci wywołanych przez zjawisko wycieku zmian sygnałów wewnętrznych parametrów przepływu, tj.: sygnałów ciśnienia i natężenia przepływu.

However, it has to be taken into consideration that practical realization of such methods of diagnosing of leakages is a complex and complicated problem due to pipelines' large size and the complex dynamics of the pressing process. The efficacy of diagnosing is significantly influenced by diagnostic susceptibility of a tested object, which is closely connected with possibility of measurement of available diagnostic information.

So, if in the current diagnostic activity it has been assumed that evaluation of maintenance status of exploited objects connect with diagnostic signals only which are directly connected with objects (with their working) – it means that we can frequently observe a deficit of diagnostic information causing the decrease of efficacy of the diagnosing. A similar situation takes place when leakages from pipelines are diagnosed with the use of internal methods (based on diagnostic signals directly resulting from the objects' working). It has been confirmed by the results obtained, where it is possible for the existing methods of diagnosing (internal methods) to identify only large leakages and locate not very accurately. Therefore, arises a problem of improving diagnostic susceptibility of pipelines.

The effective way of improving diagnostic susceptibility of pipelines is a newly elaborated method, named the method of weak interobject interactions. The idea of the proposed method assumes receiving new diagnostic signals (diagnostic information), which are not directly connected with the object (its working). Thanks to this new diagnostic information, there is a real possibility to increase the efficacy of diagnosing of leakages, realized by means of the methods used hitherto.

2. General characteristics of diagnosing of leakages using internal methods

2.1. The scope of tasks and the essence of diagnosing

Diagnosing of leakages (leaks) from pipelines comprises the following scope of tasks (elements):

- detecting the existing leakage,
- determining the place (localization, isolation) of the existing leakage,
- evaluating the flow rate (intensity) of the existing leakage or, additionally, estimating the volume of medium which has left the pipeline.

In the case of using internal methods, the essence of such diagnosing is the proper processing of diagnostic information in the form of changes of signals of internal flow parameters caused by the leakage (i.e. pressure and flow rate signals).

It should be added that changes of the signals of pressure and flow rate can be caused by many

Należy dodać, że zmiany sygnałów ciśnienia i natężenia przepływu mogą być spowodowane przez wiele innych zjawisk, nie związanych bezpośrednio z wyciekami. Stąd w procesie diagnozowania wycieków powinny być one odpowiednio rozpoznane, tak aby nie skutkowały generowaniem fałszywych alarmów.

2.2. Praktyczna realizacja diagnozowania – systemy LDS

Obecnie istnieje wiele rozwiązań metod wewnętrznych. Za ich praktyczną realizację odpowiadają instalowane na rurociągach systemy diagnostyczne, określane w literaturze jako wewnętrzne LDS (leak detection systems). Systemy takie opracowuje się, wykorzystując kilka metod wewnętrznych, gdzie poszczególne metody z reguły odpowiadają za realizację jednego z zadań wymienionych w punkcie 2.1. Spotyka się też rozwiązania, gdzie pojedyncza metoda odpowiada za realizację wszystkich zadań lub, gdzie poszczególne zadania realizowane są przez kilka weryfikujących się wzajemnie metod.

W tym miejscu należy wyraźnie podkreślić, że wewnętrzne systemy LDS, nie realizują występującego w definicji metody diagnozowania [6] pełnego zakresu badania diagnostycznego (etapu pozyskiwania sygnałów diagnostycznych), a ograniczają się jedynie do zakresu wnioskowania diagnostycznego (etapu analizy sygnałów i wypracowywania diagnozy).

Sygnały zmiennych procesowych (ciśnienia, natężenia przepływu) importowane są bowiem do wewnętrznych LDS z powszechnie instalowanych na rurociągach systemów typu SCADA, wykorzystywanych do monitorowania, regulacji i sterowania przebiegu procesu tłoczenia.

Pomiary tych zmiennych procesowych, przy użyciu przetworników, zasadniczo dokonuje się na początku i na końcu rurociągu. Poza tym, dodatkowe punkty pomiaru ciśnienia rozmieszcza się wzdłuż trasy rurociągu. Poszczególne punkty pomiarowe dzielą zatem dość znaczne odległości.

Dane pomiarowe do wewnętrznych LDS dostarczane są w postaciach cyfrowych, przy czym powinny one docierać w sposób okresowo ciągły (z określoną częstotliwością próbkowania) i bez znaczących opóźnień. Pomimo korzystania z najnowszych technologii, przy tak znacznych odległościach, układy pomiarowe systemów SCADA rurociągów przesyłowych nie są jednak całkowicie odporne na zakłócenia, w tym na błędy związane z transmisją danych. Dodatkowo źródłem błędów mogą być procesy przetwarzania wielkości mierzonych. Stąd też, o ile jest to możliwe, wskazane jest ograniczenie liczby punktów pomiarowych.

other phenomena not related directly to the leakage. Therefore, in process of diagnosing of leakages these phenomena should be identified so that they could not result in generating the false alarms.

2.2. Practical realization of diagnosing – LDS systems

At present there are many solutions of internal methods. The diagnostic systems, installed on pipelines, described in the literature as internal LDS (leak detection systems), are responsible for their practical realization. These systems are constructed on the base of the use of several internal methods, where particular methods are, as a general rule, responsible for realization of one of the tasks (mentioned in section 2.1). There are also solutions, where particular tasks are realized by means of several methods verifying each other.

It should be underlined that internal LDS systems do not realize the full range of diagnostic research (the stage of receiving diagnostic signals), present in the definition of the diagnostic method [6], but are only limited to the range of diagnostic conclusion (the stage of signal analysis and making a diagnosis).

The signals of process variables (pressure, flow rate) are imported to internal LDS from SCADA systems, commonly installed on pipelines and used for monitoring, regulation and control of the process of pumping.

The measurement of these process variables by means of transducers is basically conducted at the input (beginning) and at the output (end) of the pipeline. Moreover, there are additional points measuring pressure located along the pipeline and, therefore, individual measuring points are rather distant from each other.

Measuring data for internal LDS is delivered in a digital form, furthermore, it should be given in a periodically continuous way (with specified frequency sampling), and without any significant delays. Despite the use of the latest technology, because of such large distances, measuring systems of SCADA are not fully resistant to disturbances, especially to errors connected with data transmission. Additionally, the processing of measured variables can also become a source of errors. Hence, as far as it is feasible, it is advisable to limit the number of measuring points.

3. Metoda słabych interakcji między obiektowych

1.1. Idea metody

Proponowana metoda opiera się na wykorzystaniu zasad funkcjonowania układów korekcyjnych stosowanych w automatyce.

Zgodnie z zasadami automatyki, działanie wielu złożonych obiektów technicznych (w tym rurociągów), w praktyce może być opisane – transmitancją [6, 10, 12]. Oznacza to, że dla takich obiektów można otrzymać następującą zależność:

$$Y = HZ \quad (1)$$

gdzie: H – transmitancja obiektu; Z – transformata zakłócenia z wynikającego z oddziaływania otoczenia na obiekt; Y – transformata sygnału wyjściowego (użytkowego) y obiektu.

Analizując wzór (1) nietrudno dojść do wniosku, że praktycznie rzecz biorąc zmiany dostępnego sygnału Y mogą wynikać ze zmian stanu technicznego obiektu opisanego parametrami transmitancji H i/ lub ze zmian oddziaływania otoczenia na obiekt, reprezentowanego tu przez sygnał Z . Taka właśnie sytuacja jest charakterystyczna dla niepodatnych diagnostycznie obiektów technicznych (w tym rurociągów) – diagnosta dysponuje jednym równaniem z dwiema niewiadomymi, zatem problem diagnozowania takiego obiektu staje się niemożliwy do jednoznacznego rozwiązania.

Na rysunku 1 pokazano ten sam obiekt techniczny z dołączonym elementem korekcyjnym – korektorem (o transmitancji G_k). Przy poprawnym dobraniu i dołączeniu do badanego obiektu, korektor będzie reagował na każdą zmianę parametrów konstrukcyjnych obiektu (wynikającą z zaistniałych uszkodzeń lub jego zużycia) odpowiednią zmianą funkcjonowania (przebiegu i kształtu sygnału M_k). Stąd na podstawie badania tylko zmian funkcjonowania korektora możliwa staje się ocena różnorodnych zmian zachodzących w obiekcie [4, 5, 6, 7, 8].

Zgodnie z zasadami automatyki dla układu (rys. 1) otrzymuje się następujące relacje między sygnałami:

$$\begin{aligned} Y &= (Z - M_k)H \\ M_k &= (W - Y)G_k \end{aligned} \quad (2)$$

które po przekształceniach można doprowadzić do postaci:

$$\begin{aligned} Y &= ZH - WG_k H + YG_k H \\ M_k &= WG_k - ZG_k H + M_k G_k H \end{aligned} \quad (3)$$

Wyznaczając H z (2) i po podstawieniu do (3) uzyskuje się zależność (4) opisującą zakłócenie Z działające na obiekt (którym w tym przypadku jest wyciek) w funkcji dostępnych sygnałów: Y, W, M_k .

3. Method of weak interobject interactions

1.1. The idea of method

The proposed method is based on using of principles of functioning of the corrective systems used in automatics.

In practice, the operation of complex engineering systems (pipelines in it), according to the principles of the automatic control engineering (automatics), can be described with the transmittance [6, 10, 12]. It means, that the following relationship for such objects can be obtained:

$$Y = HZ \quad (1)$$

where: H – transmittance of object; Z – transmittance of disturbance z (transmittance of disturbance resulting from the effect of the environment upon the object); Y – transmittance of object's output (operational) signal y .

After having analyzed eq. (1), one can easily come to a conclusion that practically any change in the attainable signal Y can result from changes in the object's health/maintenance status described with parameters of the transmittance H and/or from changes in the environment's affecting the object, here represented by signal Z . Such a situation is characteristic of diagnostically unsusceptible engineering objects pipelines in it – a diagnostician can, in fact, use only one equation with two unknowns; hence, the problem of diagnosing such an object becomes impossible to be explicitly solved.

Such technical object with joined a testing object – corrector (of transmittance G_k) is shown in Figure 1. It is known that if an corrector is selected and joined correctly, it reacts on every change of the constructional parameters of the objects (resulting from ensuing damage or its wear) with a suitable change of performance (course and shape of a signal M_k). On the ground of research of changes in working of corrector only it is possible to estimate the various changes occur in object [4, 5, 6, 7, 8].

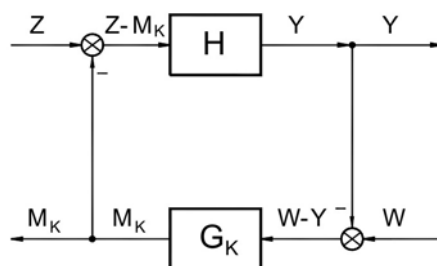
According to the principles of the automatic control engineering (Figure 1), the following relationships between signals can be obtained:

$$\begin{aligned} Y &= (Z - M_k)H \\ M_k &= (W - Y)G_k \end{aligned} \quad (2)$$

which after some transformations can reach the following form:

$$\begin{aligned} Y &= ZH - WG_k H + YG_k H \\ M_k &= WG_k - ZG_k H + M_k G_k H \end{aligned} \quad (3)$$

Determining H from (2) and after the substitution to (3) can obtain the form (4) describing disturbance Z affecting on the object (which can be e.g. leakage) in the function of attainable signals: Y, W, M_k .



Rys. 1. Układ z badanym obiektem o transmitancji H i dołączonym korektorem o transmitancji G_K : W – transformata wartości zadanej; M_K – transformata sygnału wyjściowego z korektora (sygnał słabej interakcji – oddziaływania G_K na H); Z – transformata zakłócenia wynikającego z oddziaływania otoczenia na obiekt; Y – transformata sygnału wyjściowego (użytkowego) obiektu

Fig. 1. System with a tested object of transmittance H and a testing object of transmittance G_K : W – transmittance of pre-set value; M_K – transmittance of output signal from corrector (signal of a weak interaction – effect of G_K upon H); Z – transmittance of disturbance resulting from the effect of the environment upon the object; Y – transmittance of object's output (operational) signal

$$Z = \frac{G_K(G_K W^2 - YW - Y M_K - W M_K + Y M_K)}{G_K W - G_K Y - M_K} \quad (4)$$

$$Z = \frac{G_K(G_K W^2 - YW - Y M_K - W M_K + Y M_K)}{G_K W - G_K Y - M_K} \quad (4)$$

Zgodnie z powyższą zależnością i po uwzględnieniu, że sygnałem zadanym do korektora W jest wartość sygnału wyjściowego Y w chwili poprzedniej, zakłócenie (przeciek) może być identyfikowany bez znajomości transmitancji obiektu H , która wskutek powstałego uszkodzenia ulegała zmianie i jest nieznana.

According to the above relationship and after consideration, that the preset signal to the corrector W is the value of the output signal Y at the moment ago, the disturbance (leakage) can be identified without a knowledge of transmittance of object H , which resulting from ensuing damage changes and is unknown.

1.2. Koncepcja praktycznej realizacji metody

Praktyczna realizacja proponowanej metody polega na dołączeniu na początku i końcu diagnozowanego rurociągu dwóch korektorów badawczych o odpowiednio dobranych transmitancjach G_{1K} i G_{2K} . Dodatkowo dopuszcza się rozmieszczenie kilku takich korektorów wzdłuż rurociągu. Ich liczba będzie zależna m.in. od wielkości rurociągu. Schemat rurociągu z dołączonymi korektorami pokazano na rysunku 2.

Schemat rozwiązania konstrukcji korektorów przedstawia rysunek 3. Układy pomiarowe korektorów mierzą fluktuację przepływu pomiędzy badanym obiektem a korektorem. Pomiar ten dokonywany jest na elemencie typu kryza z użyciem czujnika różnicy ciśnień. Nastawa punktu pracy korektora (dostrajanie do sygnału z rurociągu) realizowana jest poprzez odpowiedni dobór: średnicy kryzy pomiarowej, przepony, ciśnienia w zasobniku, średnicy kryzy w kanale do zasobnika powietrznego. Taka konstrukcja korektora

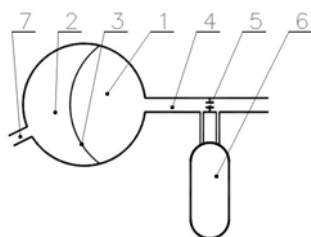
1.2. The conception of practical realization of the method

The practical realization of the proposed method consists in joining two testing correctors of suitably selected transmittances G_{1K} and G_{2K} – at the beginning and at the end of the tested pipeline. Additionally, it is also acceptable to locate several such correctors along the pipeline. Their number will depend, among other things, on the size of the pipeline. The scheme of the pipeline with the joined correctors is shown in Figure 2.

The scheme of the correctors' construction is shown in Figure 3. The measurement systems of the correctors measure the fluctuation of the flow between the tested object and the corrector. The measurement is conducted by means of the element type of the orifice with the use of the differential pressure transducer. The setting of the corrector's working point (tuning to the signal from the pipeline) is realized by the suitable selection of: the measuring orifice diameter, membrane, pressure in the accumulator, the orifice diameter in the



Rys. 2. Schemat diagnozowanego rurociągu z dołączonymi obiektami badawczymi (korektorami)
Fig. 2. Scheme of tested pipeline with joined additional testing objects (correctors)



Rys. 3. Schemat konstrukcji korektora: 1 – komora z cieczą; 2 – komora z powietrzem; 3 – przepona; 4 – kanał pomiarowy; 5 – kryza pomiarowa; 6 – czujnik różnicy ciśnień; 7 – kanał do zasobnika powietrza

Fig. 3. Scheme of construction of corrector: 1 – chamber with fluid; 2 – chamber with air; 3 – membrane; 4 – measuring flume; 5 – measuring orifice plate; 6 – differential pressure transducer; 7 – flume to air accumulator

powoduje znaczącą reakcję (zadziałanie korektora) w przypadku pojawienia się takich zjawisk, jak towarzyszące wyciekom zjawisko rozchodzenia się fal rozprężeniowych ciśnienia, szczególnie zaś fal o wyraźnie widocznych czołach, co ma miejsce w odniesieniu do nagłych¹, jak i tych nieco wolniej pojawiających wycieków.

Według przyjętych założeń, w oparciu o pozytywne sygnały słabych interakcji zostaną opracowane nowe procedury diagnozowania wycieków. Procedury te mają stanowić uzupełnienie już istniejących procedur bazujących na sygnałach ciśnienia, i mają być ukierunkowane na wykrywanie i lokalizowanie przecieków.

4. Zastosowanie sygnałów słabych interakcji w diagnostyce wycieków z rurociągów

4.1. Stanowisko badawcze

Proponowana metoda słabych interakcji została poddana eksperymentalnej weryfikacji. Przeprowadzono ją w warunkach laboratoryjnych na stanowisku badawczym z rurociągiem modelowym o średnicy 34 mm i długości 380 m, którym tłoczono wodę. Schemat stanowiska pokazano na rysunku 4, natomiast na rysunku 5 przedstawiono widok rurociągu modelowego.

Rurociąg modelowy, podobnie jak rzeczywiste obiekty wyposażono w odpowiednie standardowe przyrządy i przetworniki, umożliwiające pomiar ciśnienia, natężenia przepływu i temperatury. Przy czym pomiar tych wielkości dokonywany jest na wlocie

flume of the air accumulator. Such construction of the corrector activates a significant reaction (the correctors' performance) in the case when situations such as the effect of propagation of expanded pressure waves appears (result in the leakage), and, particularly, the waves of clearly visible fronts, which happens when sudden or a little slower leakage takes place.

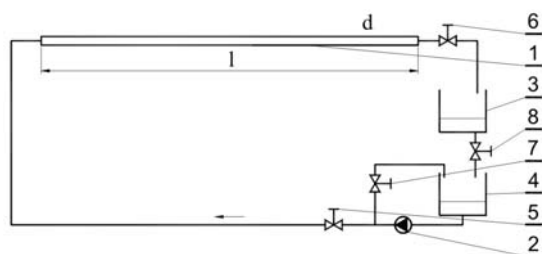
According to the accepted assumptions, on the basis of the newly received signals of weak interactions, the new procedures of diagnosing of leakages will be elaborated. These procedures should be a supplement to the existing procedures which base on the signals of pressure, and should be directed at detecting and locating the leakage.

4. The application of the signals of weak interactions in diagnosing of leakages from pipelines

4.1. The laboratory model station

The proposed method of weak interactions has been verified experimentally. It has been conducted in laboratory conditions on a pipeline model station with a 380-metre long model pipeline of a diameter 34 mm with water as a pressed medium. The scheme of the model station is shown in Figure 4, whereas Figure 5 presents view of the pipeline model station.

The physical model of pipeline, similarly to the real objects, was equipped with suitable standard devices and transducers permitting the measurement of pressure, flow rate and temperature. The measurement of these variables is conducted at the input (beginning) and the output (end) of the pipeline. In



Rys. 4. Schemat stanowiska badawczego: 1 – rurociąg modelowy; 2 – pompa o zmiennym wydatku; 3, 4 – zbiorniki; 5, 6 – stacje zaworów regulacyjnych; 7 – zawór regulacyjny małego obiegu; 8 – zawór regulacyjny upustu

Fig. 4. Scheme of model station: 1 – pipeline; 2 – pump with variable delivery; 3, 4 – tanks; 5, 6 – stations of control valves; 7 – control valve of small circulation; 8 – control valve of bleed

¹ Nagły wyciek (przeciek) – jego natężenie osiąga wartość nominalną w krótkim czasie od momentu pojawienia się wycieku. Większość wycieków z rurociągów przesyłowych kwalifikuje się do kategorii nagłych.

¹Sudden leak (leakage) - its flow rate reaches the nominal value in a short period of time from the moment of the occurrence. Most of the leakages from transmission pipelines can be qualified as sudden.

i wylocie rurociągu, a w przypadku ciśnienia dodatkowo w czterech punktach wzdłuż jego długości.

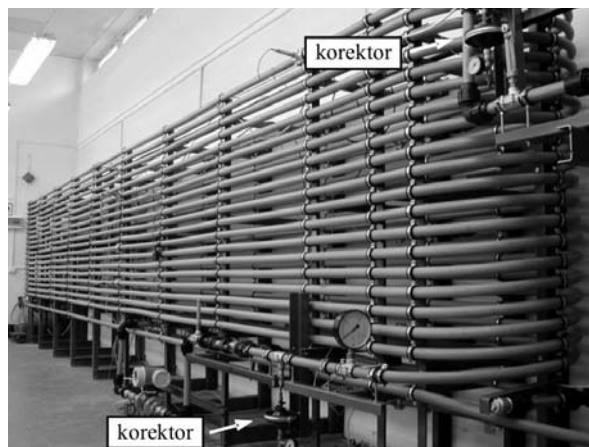
Korektory badawcze do wywoływania sygnałów słabych interakcji zostały zamontowane na początku i na końcu rurociągu, w bliskim sąsiedztwie punktów pomiaru ciśnienia.

Informacje na temat poszczególnych urządzeń pomiarowych i ich lokalizacji zestawiono w tabeli 1.

the case of the pressure additionally in four points along the pipeline.

The testing correctors for exciting the signals of weak interobject interactions have been installed at the input and the output of the pipeline, near the pressure measuring points.

The information concerning particular measuring devices and their localization is compiled in Table 1.



Rys. 5. Widok rurociągu modelowego i zamontowanych korektorów
Fig. 5. View of the pipeline and installed correctors

Tab. 1. Charakterystyki standardowych urządzeń pomiarowych i korektorów badawczych
Tab. 1. Characteristics of standard measuring devices and testing correctors

Rodzaj urządzenia Type of device	Przetworniki ciśnienia Pressure transducers	Przepływomierze elektromagnetyczne Electromagnetic flow meters	Korektory badawcze Testing correctors
charakterystyka characteristics	zakres pomiar.: measuring range: 0÷10 [bar] dokładność: accuracy: 0,1 [%] zakresu/ of range	zakres pomiar.: measuring range: 0÷200 [l/min] dokładność accuracy: 0,2 [%] zakresu/ of range	czujniki różnicy ciśnień: differential pressure transducers: MK1 zakres pomiar. / measuring range: -0,5÷0,5 [bar] dokładność / accuracy 0,2 [%] zakresu/ of range MK2 zakres pomiar. / measuring range -0,5÷0,5 [bar] dokładność / accuracy 0,2 [%] zakresu/ of range
współrzędna lokalizacji [m] coordinate of location [m]	$P_1 = 1; P_3 = 75; P_4 = 141;$ $P_5 = 281; P_6 = 355; P_2 = 378$	$Q_1 = -6; Q_2 = 382,2$	$M_{K1} = -3; M_{K2} = 379,2$

4.2. Badania z symulowanymi wyciekami

Zgodnie z przyjętym programem badań, po optymalnym dostrojeniu zamontowanych na rurociągu modelowym korektorów, przeprowadzono kilka serii eksperymentów diagnostycznych z symulowanymi wyciekami.

14.2. Research with simulated leakages

In accordance with the accepted program of research, after the optimal tuning of the correctors joined to the pipeline model station, several series of diagnostic experiments with simulated leakages were conducted.

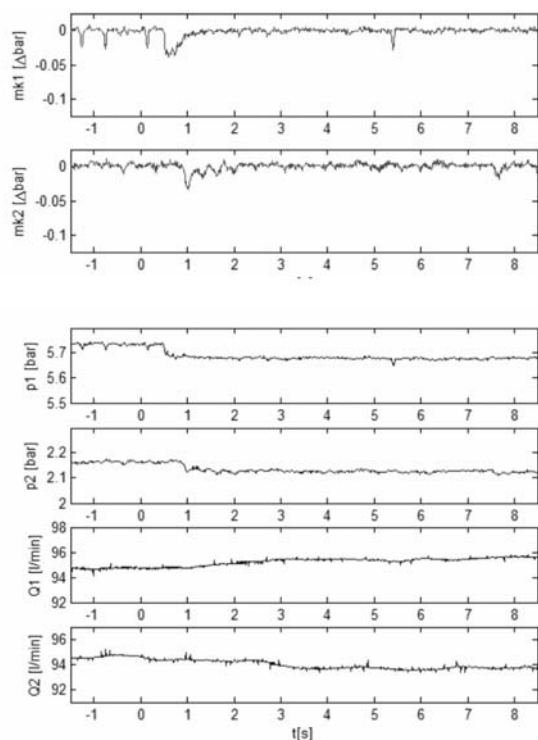
Prezentowane w pracy wyniki dotyczą zasadniczej serii badań, przeprowadzonej przy następujących warunkach pracy rurociągu: stabilnym ustalonym przepływie medium, 90 % wydatku pompy, dławieniu przepływu na końcu rurociągu, oraz niżej określonych nominalnych wartościach parametrów przepływu:

- ciśnieniu na wlocie rurociągu - około 5,7 bar,
- ciśnieniu na wylocie rurociągu - około 2,2 bar,
- natężeniu strumienia Q_0 - około 95 l/min,
- temperaturze medium - w przedziale 19÷24,5 °C.

Badania w tej serii obejmowały symulowanie wycieków o wielkościach 1÷8 % nominalnego natężenia przepływu, w pięciu wybranych punktach rurociągu modelowego o współrzędnych: 115, 155, 195, 235, 275 m. Przy czym były to wycieki nagłe, zadawane poprzez bardzo szybkie otwarcie zaworu kranika upustowego.

4.3. Nowo pozyskane sygnały diagnostyczne – sygnały słabych interakcji

Przykładowe przebiegi nowych sygnałów diagnostycznych – sygnałów słabych interakcji, uzyskane dla 2 % i 4 % wielkości wycieków, symulowanych w punktach o współrzędnych 115 i 275 m pokazano na rysunkach 6 i 7. Dodatkowo, celem porównania, na każdym z rysunków przedstawiono przebiegi standardowych sygnałów ciśnienia i natężenia przepływu



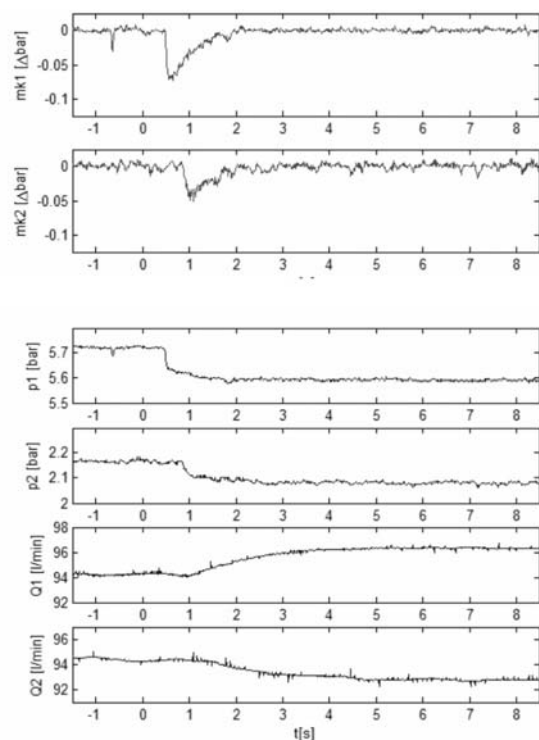
The results presented in this work are related to the main series of research conducted with the following conditions of the pipeline working: stable steady flow of the medium, delivery of the pump on the level 90 %, flow throttling at the end of the pipeline; and the following nominal value of the flow parameters:

- pressure at the inlet of the pipeline - about 5.7 bar,
- pressure at the outlet of the pipeline - about 2.2 bar,
- rate of the flow Q_0 - about 95 l/min,
- temperature of the medium - in range 19÷24.5 °C.

The research in this series comprised simulated leakages at the volume of about 1÷8 % of the nominal value of the flow at the selected five points of the pipeline model station of coordinates: 115, 155, 195, 235, 275 m. The leakages were simulated suddenly, by very fast opening of the valve of the bleeder tap.

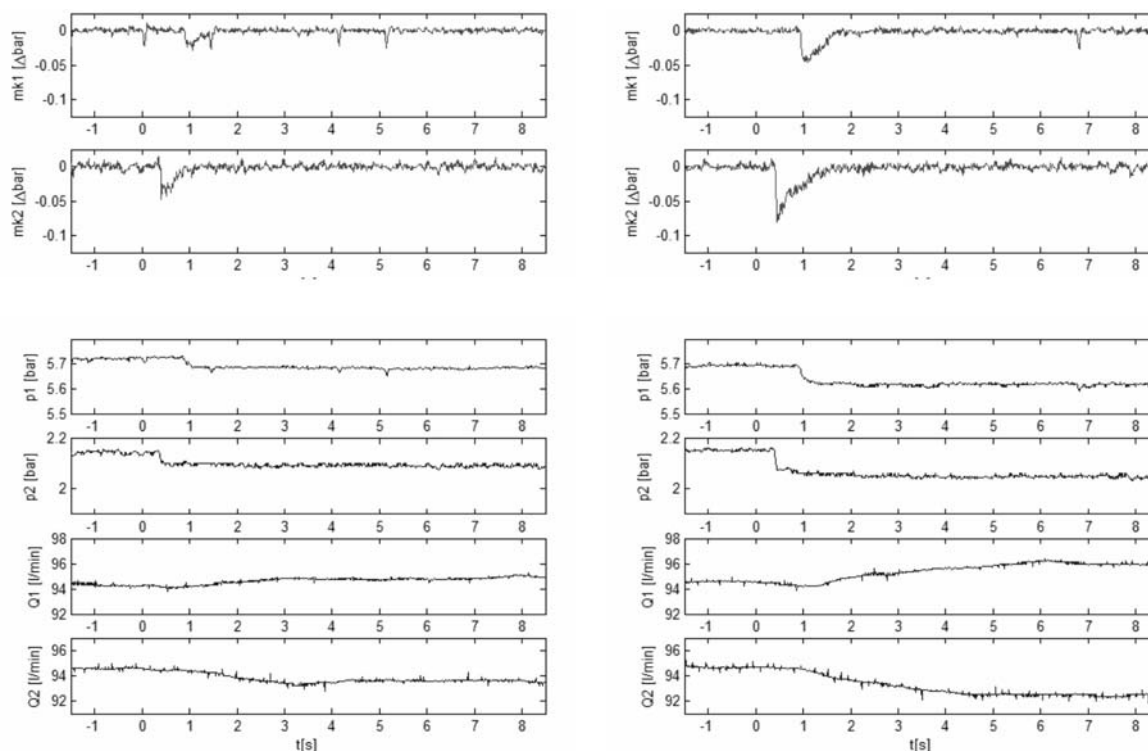
4.3. The newly received diagnostic signals – the signals of weak interactions

The exemplary courses of new diagnostic signals – the signals of weak interactions, received for the 2 % and 4 % of the volume of the leakages, simulated in the points about coordinates 115 and 275 are shown in Figure 6 and 7. In addition, for comparison, each Figure shows the courses of the standard signals of



Rys. 6. Przebiegi sygnałów m_{K1} , m_{K2} , p_1 , p_2 , Q_1 , Q_2 dla 2 % i 4 % wycieków zadanych na 115 m; gdzie „0” na osi czasu oznacza początek wycieku (moment otwarcia zaworu kranika upustowego)

Fig. 6. Courses of signals m_{K1} , m_{K2} , p_1 , p_2 , Q_1 , Q_2 for 2 % and 4 % leakages simulated in 115 m; where „0” on time axis means the beginning of the leakage (moment of opening the valve of a bleeder tap)



Rys. 7. Przebiegi sygnałów m_{k1} , m_{k2} , p_1 , p_2 , Q_1 , Q_2 dla 2 % i 4 % wycieków zadanych na 275 m; gdzie „0” na osi czasu oznacza początek wycieku (moment otwarcia zaworu kranika upustowego)

Fig. 7. Courses of signals m_{k1} , m_{k2} , p_1 , p_2 , Q_1 , Q_2 for 2 % and 4 % leakages simulated in 275 m; where „0” on time axis means the beginning of the leakage (moment of opening the valve of a bleeder tap)

(zmierzone w najbliższym sąsiedztwie punktów zamontowania korektorów).

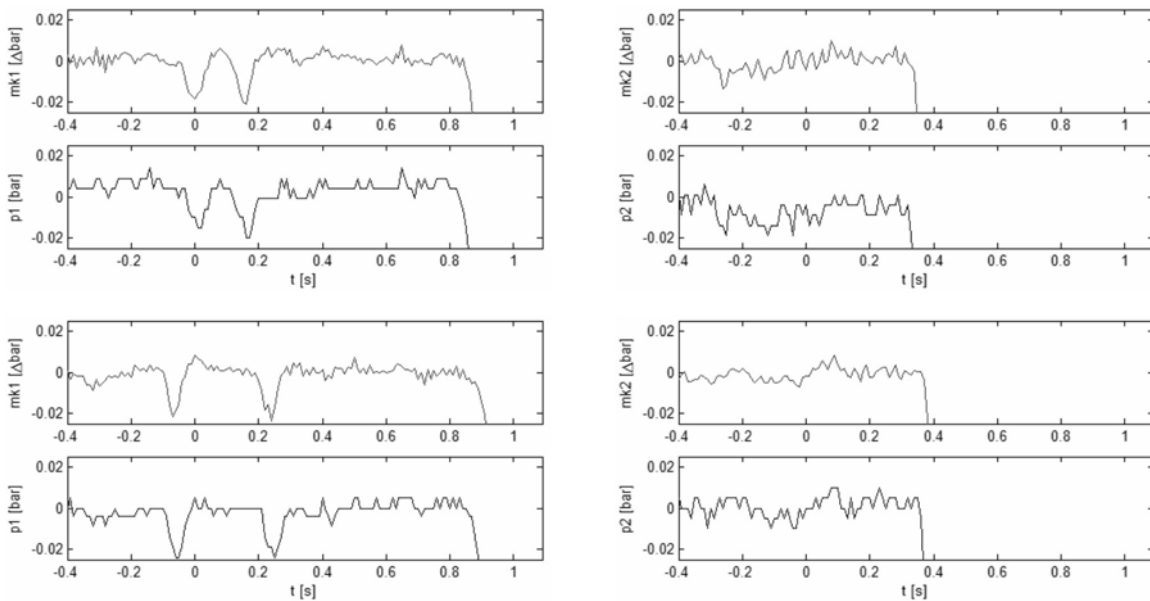
Dokonana analiza sygnałów słabych interakcji, oparta na ich porównaniu z sygnałami ciśnienia – potwierdziła, że cechuje je pełna wiarygodność. Porównanie takie przedstawia rysunek 8, gdzie jest widoczne, że sygnały z obu korektorów wykazują identyczne przebiegi (trendy zmian) z przebiegami sygnałów ciśnienia (zmierzonymi w najbliższym sąsiedztwie punktów zamontowania korektorów). Dotyczy to zarówno stanów bez wycieku, jak i stanów z wyciekami, gdy obserwuje się natychmiastową reakcję sygnałów słabych interakcji na zmianę sygnałów ciśnienia wywołaną przez pojawienie się wycieku. Przy czym przebiegi sygnałów sprowadzono do jednokowego poziomu, odejmując ich składowe stałe.

Ponadto przeprowadzono porównanie sygnałów słabych interakcji z numerycznie różniczkowanymi sygnałami ciśnienia, przy użyciu algorytmu różniczkowania trójpunktowego i algorytmu opartego o różnice sąsiednich elementów realizowanego z zastosowaniem funkcji „diff” w programie Matlab [2]. Porównanie takie przedstawia rysunek 9, gdzie jest widoczne, że przebiegi sygnałów słabych interakcji wykazują bardziej zauważalne zmiany (reakcje) niż różniczkowane sygnały ciśnienia, w przypadku pojawienia się wycieku.

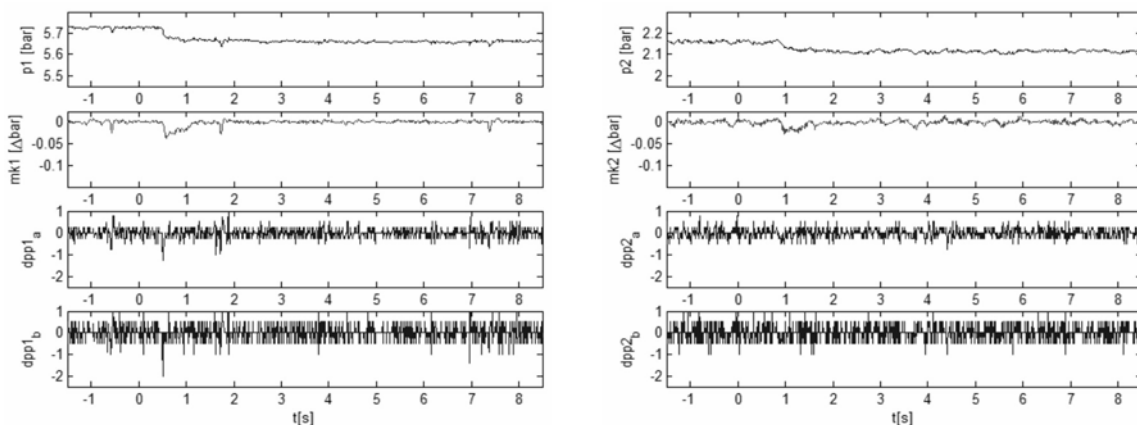
pressure and flow rate (measured near the points where the correctors were installed).

The analysis of the signals of weak interactions conducted on the basis of their comparison with the signals of pressure, confirmed that they are credible. Such comparison is shown in Figure 8, where it is observable that the courses (trends of change) of signals from the two correctors are identical to the courses (trends of change) of the signals of pressure (measured in the immediate vicinity of the points where the correctors were installed). It concerns to the states without a leak and to the states with a leak as well, where we can observe an immediate reaction of the signals of weak interactions to the change of the signals of pressure caused by the occurrence of a leakage. The courses of signals were unified to the same level, by subtraction their constant components.

Moreover, the signals of weak interactions were compared with the numerically differential signals of pressure – obtained by the use of 3-point differential algorithm and the algorithm based on differences between neighbouring elements realized by means of ‘diff’ function in Matlab program [2]. This comparison is shown in Figure 9, where it is observable that in the case of the occurrence of a leakage the courses of the signals of weak interactions indicate changes (reactions) more noticeable than the differential signals of pressure.



Rys. 8. Porównanie sygnałów słabych interakcji m_{K1} , m_{K2} z sygnałami ciśnienia p_1 , p_2 dla dwóch różnych badań
 Fig. 8. Comparison of signals of weak interaction m_{K1} , m_{K2} with signals of pressure p_1 , p_2 for two different research



Rys. 9. Porównanie sygnałów słabych interakcji m_{K1} , m_{K2} z numerycznie różniczkowanymi sygnałami ciśnienia (wyciek o wielkości 2 %, zadany na 155 m); gdzie: a – algorytm trójpunktowy, b – algorytm oparty o różnice sąsiednich elementów
 Fig. 9. Comparison of signals of weak interaction m_{K1} , m_{K2} with numerically differential signals of pressure (2 % leak, simulated in 155 m); where: a – 3-point algorithm, b – algorithm based on differences between neighbouring elements

W trakcie przeprowadzonych badań ustalono, że pozyskiwanie sygnałów słabych interakcji jest łatwe do realizacji, a dołączenie do rurociągu korektorów nie wpływa na poprawność funkcjonowania samego rurociągu.

4.4. Zastosowanie sygnałów słabych interakcji w detekcji wycieków

Zgodnie z przyjętymi założeniami, pozyskane sygnały słabych interakcji zostały poddane weryfikacji (ocenie) w zakresie możliwości ich zastosowania do wykrywania wycieków.

Zasadniczym elementem takiej weryfikacji było opracowanie odpowiednich procedur i technik przetwarzania sygnałów słabych interakcji, zawierających

During the conducted research it has been determined that the receiving the signals of weak interactions it is easy to realize, and joining correctors to the pipeline has no influence on the correct working of the pipeline.

4.4. The application of the signals of weak interactions in leakage detection

According to the accepted assumptions, the received signals of weak interactions were verified (evaluated) in the domain of the possibility as far as of their use for leak detection is concerned.

The principal element of such verification was to elaborate suitable procedures and techniques of processing the signals of weak interactions, inclu-

odpowiednie algorytmy detekcyjne, które pozwalałyby na jak najszybsze wykrywanie wycieków, i o jak najmniejszej wielkości. Weryfikację przeprowadzono w oparciu o następujące założenia:

- porównanie wyników (czasów wykrycia symulowanych wycieków²) uzyskanych przy użyciu sygnałów słabych interakcji z wynikami uzyskanymi przy użyciu sygnałów ciśnienia, a dodatkowo z wynikami uzyskanymi przy użyciu sygnałów natężenia przepływu,
- wykrywanie symulowanych wycieków jedynie w oparciu o sygnały pomiarowe z dwóch urządzeń (czujników) rozmieszczonych na początku i na końcu rurociągu,
- próbkowanie sygnałów z częstotliwością 100 Hz,
- ustalenie wartości progu alarmowego dla poszczególnych porównywanych sygnałów w sposób zapewniający niewystępowanie alarmu dla stanów bez wycieku (w całej rozpatrywanej serii przeprowadzonych badań),
- możliwość użycia dotychczas wykorzystywanych procedur detekcji wycieków lub ich modyfikacja,
- uwzględnienie występowania zakłóceń – zaszuwanie porównywanych sygnałów szumem Gaussowskim o odchyleniu standardowym równym 0,2 % i 0,5 % wielkości zakresu pomiarowego, i wynikająca stąd konieczność zmiany przyjętych progów alarmowych.

Uzyskane wyniki (czasy wykrycia symulowanych wycieków) zestawiono w tabeli 2. Podano je w sekundach, a niewykrycie określonej wielkości wycieku oznaczono przez „-”. Ponadto tabela zawiera informacje o przyjętych wartościach progów alarmowych, zapewniających niewystępowanie alarmu dla stanów bez wycieku (w całej rozpatrywanej serii przeprowadzonych badań).

W przypadku sygnałów ciśnienia p_1 i p_2 oraz sygnałów słabych interakcji m_{K1} i m_{K2} zastosowano następującą procedurę – której algorytm pokazano na rysunku 10, opartą o:

- filtrowanie rekursywne sygnałów; gdzie przyjęto identyczne nastawy współczynników korekcyjnych dla filtrów $\alpha=0,995$,
- obliczanie maksimum funkcji korelacji residuów sygnałów dla zakresu przesunięcia czasowego τ_{max} ; gdzie przyjęto $\tau_{max}=100$ sec (w oparciu o znajomość prędkości fal rozprężeniowych i czas w jakim pokonują one całą długość rurociągu, tak aby wielkość tego przesunięcia obejmowała maksymalne opóźnienia pomiędzy obu sygnałami

ding appropriate detecting algorithms, which would allow to detect leakages as fast as possible, and of the smallest volume. The verification was conducted on the basis of the following assumptions:

- comparing the results (the detection times of simulated leakages²) obtained by means of the signals of weak interaction with the results obtained by means of the signals of pressure, and additionally, with the results obtained by means of the signals of flow rate,
- detecting simulated leakages only on the basis of the measuring signals from two devices (sensors) located at the beginning and at the end of the pipeline,
- sampling of signals with frequency 100 Hz,
- determining the value of alarm threshold for particular comparable signals in a way they will assure the absence of the alarm for states without a leak (during the whole series of the research conducted),
- possibility of using the procedures hitherto applied for leakage detection, or their modification,
- taking into account the occurrence of disturbances – adding Gaussian noise of the standard deviation 0.2 % and 0.5 % of the value of the measuring range to the comparable signals, and resulting from this necessity of changing the assumed (setted) alarm thresholds.

The obtained results (the detection times of simulated leakages) are presented in Table 2. They are given in seconds, and the situation when a defined value of the leakage was not detected is marked as “-”. Additionally, the table contains information about the received values of alarm thresholds assuring the absence of the alarm for states without a leak (during the whole series of the research conducted).

In the case of the signals of pressure p_1 and p_2 as well as the signals of weak interactions m_{K1} and m_{K2} the following procedure was applied - its algorithm is shown in Figure 10, based on:

- recursive filtering of signals, where identical settings of weighting factors for filters $\alpha=0,995$ were accepted,
- calculating the maximum of cross-correlation function of residues of signals for the range of the time shift τ_{max} ; where it was accepted that $\tau_{max}=100$ sec (based on the knowledge of the velocity of low-pressure refraction waves and the time in which they cover the whole distance of the pipeline, and so that the value of this shift could

² Czas wykrycia symulowanego wycieku, traktowany jako przekroczenie przyjętej wartości progu alarmowego, obliczany był względem początku wycieku (określonego przez moment otwarcia zaworu kranika upustowego).

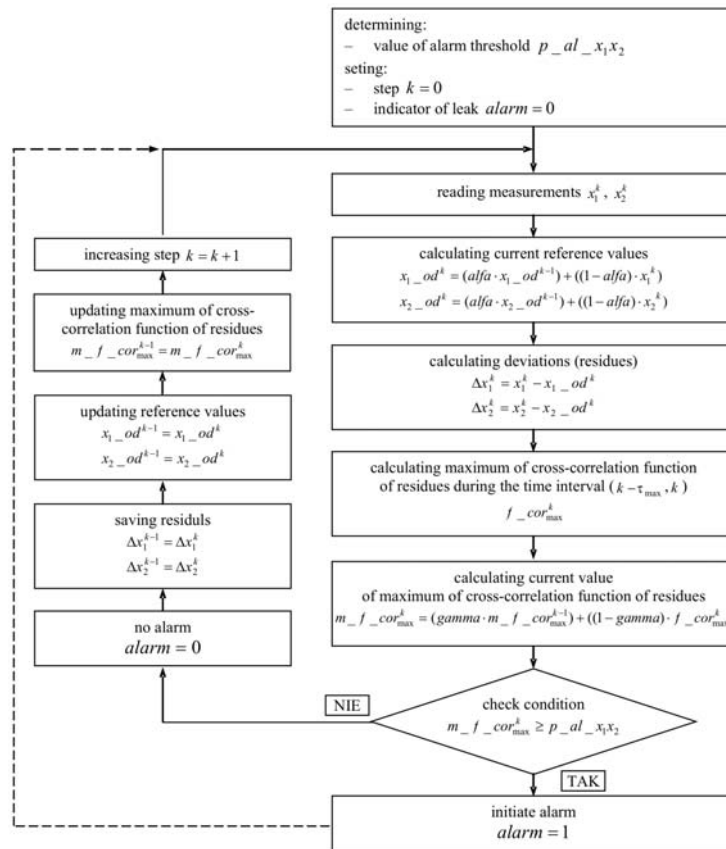
² The detection time of a simulated leakage, treated as the exceeding of the assumed (setted) value of alarm threshold was calculated with regard to the beginning of the leakage (determined by the exact moment of opening the valve of a bleeder tap).

w przypadku pojawienia się wycieków w skrajnych punktach rurociągu, dzięki czemu istniałaby możliwość wykrycia wycieków, powstałych w dowolnym miejscu na długości rurociągu),

- filtrowanie rekursywne obliczonych maksimum funkcji korelacji, które gdy przekroczą wartość progu alarmowego informują o pojawieniu się wycieku; gdzie przyjęte nastawy współczynników korekcyjnych dla filtrów wynosiły $\gamma=0,900$.

comprise the maximum delays between these two signals in case of the occurrence of leakages in the extreme points of the pipeline. Thanks to this, it could be possible to detect leakages occurring at any place at the length of pipeline),

- recursive filtering of calculated maximum values of cross-correlation function, which after exceeding the value of alarm threshold informs about the occurrence of the leakage; where the accepted settings of the weighting factor for the filters amounted to $\gamma=0.900$.



Rys. 10. Algorytm detekcji wycieków
Fig. 10. Algorithm of detection of leakages

W przypadku sygnałów natężenia przepływu Q_1 i Q_2 zastosowano dotychczas wykorzystywaną procedurę [1, 3, 9] – której algorytm pokazano na rysunku 11, opartą o:

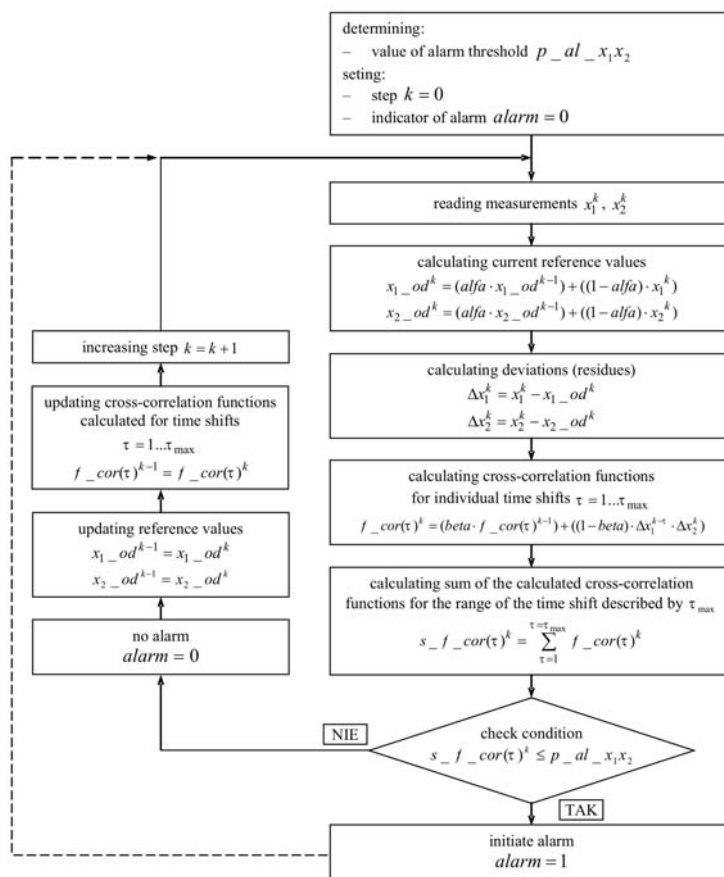
- filtrowanie rekursywne sygnałów, określane w literaturze przez *recursive averaging with fading memory (exponential smoothing)*; gdzie przyjęta nastawa współczynnika korekcyjnego dla filtra wynosiła $\alpha=0,995$,
- funkcje korelacji reszduów sygnałów, obliczane rekursywnie dla poszczególnych przesunięć czasowych $\tau=1 \dots \tau_{max}$; gdzie przyjęta nastawa

In the case of the signals of flow rate Q_1 and Q_2 the hitherto applied procedure [1, 3, 9] was used – its algorithm is presented in Figure 11, based on:

- recursive filtering of signals, described in the literature as recursive averaging with fading memory (exponential smoothing); where the accepted setting of the weighting factor for the filter amounted to $\alpha=0.995$,
- cross-correlation functions of residues of signals calculated recursively for individual time shifts $\tau=1 \dots \tau_{max}$; where the accepted setting of the weighting factor for the filter amounted to

- współczynnika korekcyjnego dla filtra wynosiła $\beta=0,900$, a przesunięcia $\tau_{max}=100$ sec (dla porównania przyjęto identyczną wartość jak dla sygnałów ciśnienia i sygnałów słabych interakcji),
- sumę obliczonych funkcji korelacji dla zakresu przesunięcia czasowego opisanego przez τ_{max} , która gdy przekroczy wartość progu alarmowego informuje o pojawieniu się wycieku.

- $\beta=0.900$, and the time shift $\tau_{max}=100$ sec (for comparison the identical value was accepted for both the signals of pressure and the signals of weak interactions),
- sum of the calculated cross-correlation functions for the range of the time shift described by τ_{max} which informs about the occurrence of a leakage when it exceeds the value of alarm threshold.



Rys. 11. Algorytm detekcji wycieków
Fig. 11. Algorithm of detection of leakages

Analiza wyników (czasów wykrycia symulowanych wycieków i wielkości wykrytych wycieków) potwierdza, że przy użyciu sygnałów słabych interakcji m_{K1} i m_{K2} możliwe jest prowadzenie zadawalająco skutecznej działalności diagnostycznej w zakresie wykrywania wycieków.

Co istotne, w odróżnieniu od dotychczas stosowanych sygnałów ciśnienia i natężenia przepływu, sygnały słabych interakcji są bardziej odporne na zakłócenia i wynikającą stąd konieczność zmiany wartości progów alarmowych. W przypadku zaszumienia sygnałów słabych interakcji wartości progów alarmowych nie uległy zmianie, gdzie dla porównania w przypadku sygnałów ciśnienia i natężenia przepływu po identycznym ich zaszumieniu wartości pro-

The analysis of the results (the detection times of the simulated leakages and the volume of the detected leakages) confirms that when we use the signals of weak interactions m_{K1} and m_{K2} it is possible to carry out satisfactorily effective diagnostic activity in as far as leakage detection is concerned.

Vital is the fact that, in contrast to the hitherto used signals of pressure and flow rate, the signals of weak interactions characterized by more resistant to disturbances and resulting from this necessity of changing the values of alarm thresholds. In the case adding noise to the signals of weak interactions, the values of alarm thresholds did not change; whereas, in comparison, in the case of the signals of pressure and flow rate being noised identically, it was necessary

Tab. 2. Porównanie czasów wykrycia symulowanych wycieków przy użyciu sygnałów natężenia przepływu Q_1 i Q_2 , ciśnienia p_1 i p_2 , słabych interakcji m_{K1} i m_{K2} ; gdzie: C – wielkość progu, zapewniająca nie wystąpienie alarmu dla stanu bez wycieku, D – wielkość progu uzyskana dla sygnałów zaszumianych szumem o odchyleniu standardowym 0,5 % wielkości zakresu pomiarowego.

Tab. 2. Comparison of the detection times of simulated leakages by means of the signals of the flow rate Q_1 and Q_2 , the pressure p_1 and p_2 , the signals of weak interactions m_{K1} and m_{K2} ; where C - the value of the threshold assuring the absence of the alarm for the state without a leak, D - the value of the threshold received for the signals with added noise of the standard deviation 0.5% of the value of the measuring range.

Dane symulowanych wycieków Data about simulated leakages		Zastosowane sygnały/ Using signals														
		natężenia przepływu / flow rate Q_1 and Q_2				ciśnienia / pressure p_1 i p_2				słabych interakcji / weak interactions m_{K1} i m_{K2}						
		niezaszumiane without noise		szum _{0,2} noise _{0,2}		szum _{0,5} noise _{0,5}		niezaszumiane without noise		szum _{0,2} noise _{0,2}		szum _{0,5} noise _{0,5}	niezaszumiane without noise		szum _{0,2} noise _{0,2}	szum _{0,5} noise _{0,5}
		C	D	C	C	C	D	C	C	C	C	C = D	C	C		
miejsce place [m]	wielk. volume [%] Q_0	-0,014	-0,055	-0,026	-0,055	0,005	0,092	0,018	0,092		0,570	0,570	0,570			
115	1,0	2,25	-	2,37	2,69	1,16	-	1,35	-		-	-	-			
	1,5	2,91	-	3,35	3,76	0,82	-	0,98	1,48		1,11	1,10	1,09			
	2,0	2,43	3,47	2,60	2,67	0,84	1,87	0,93	1,31		1,04	1,04	1,02			
	2,5	1,98	2,56	2,18	2,50	1,01	1,62	1,09	1,31		1,04	0,94	0,91			
	3,0	1,81	2,26	1,89	2,10	0,79	1,33	0,96	1,11		0,82	0,82	0,80			
	3,5	1,71	2,01	1,82	2,01	0,63	1,21	0,83	1,08		0,90	0,89	0,88			
	4,0	1,72	2,04	1,84	1,96	0,60	1,16	0,82	1,03		0,81	0,81	0,80			
	6,0	1,60	1,79	1,65	1,76	0,75	1,00	0,78	0,93		0,64	0,63	0,61			
155	1,0	2,34	-	-	-	1,20	-	1,39	-		-	-	-			
	1,5	2,56	4,41	2,75	3,28	0,95	-	1,02	1,71		1,12	1,10	1,06			
	2,0	2,22	3,75	2,36	2,80	1,12	2,26	1,19	1,51		1,16	1,16	1,15			
	2,5	0,97	1,29	1,01	1,19	0,40	0,67	0,42	0,51		0,41	0,41	0,41			
	3,0	1,81	2,28	2,03	2,24	0,91	1,32	0,94	1,13		0,91	0,92	0,91			
	3,5	1,91	2,39	2,11	2,32	0,87	1,19	0,92	1,05		0,87	0,87	0,86			
	4,0	1,71	1,98	1,82	1,91	0,74	1,02	0,79	0,90		0,75	0,74	0,73			
	6,0	1,46	1,75	1,59	1,72	0,71	0,92	0,76	0,87		0,71	0,71	0,71			
195	1,0	-	-	-	-	1,03	-	1,14	-		-	-	-			
	1,5	2,04	-	2,59	2,66	0,85	-	0,93	1,28		0,94	0,94	0,92			
	2,0	1,96	2,98	2,26	2,46	0,83	1,65	0,90	1,26		0,87	0,87	0,86			
	2,5	2,26	2,89	2,46	2,78	0,77	1,29	0,82	1,03		0,81	0,81	0,80			
	3,0	1,82	2,47	1,98	2,33	0,77	1,15	0,82	0,94		0,80	0,80	0,80			
	3,5	1,74	2,13	1,86	2,09	0,74	1,06	0,76	0,88		0,76	0,76	0,75			
	4,0	1,68	1,97	1,81	1,96	0,70	0,93	0,72	0,81		0,71	0,71	0,71			
	6,0	1,66	1,91	1,76	1,91	0,72	0,87	0,75	0,82		0,72	0,72	0,71			
235	1,0	-	-	-	-	1,03	-	1,28	-		-	-	-			
	1,5	2,35	-	-	-	0,90	-	1,01	1,74		1,02	1,01	0,97			
	2,0	2,01	2,95	2,43	2,85	0,86	1,64	0,87	1,05		0,91	0,90	0,90			
	2,5	2,09	2,74	2,26	2,67	0,73	1,40	0,84	1,04		0,87	0,86	0,85			
	3,0	1,95	2,64	2,15	2,65	0,73	1,29	0,85	0,97		0,74	0,74	0,75			
	3,5	1,89	2,24	2,10	2,22	0,83	1,14	0,80	1,00		0,86	0,86	0,85			
	4,0	1,97	2,31	2,05	2,29	0,59	1,08	0,69	0,92		0,61	0,61	0,60			
	6,0	1,79	2,00	1,87	2,01	0,77	0,99	0,74	0,86		0,81	0,81	0,81			
275	1,0	1,61	1,84	1,69	1,79	0,78	1,00	0,70	0,87		0,80	0,79	0,78			
	1,0	-	-	-	-	1,12	-	1,26	-		-	-	-			
	1,5	3,11	-	3,72	-	0,92	-	0,95	1,44		1,02	1,03	1,03			
	2,0	2,34	3,34	2,70	3,44	0,79	-	0,97	1,18		1,06	1,05	1,04			
	2,5	2,00	2,66	2,30	3,16	0,78	1,72	0,91	1,12		1,00	1,00	0,77			
	3,0	2,21	2,56	2,36	2,50	0,71	1,37	0,72	1,14		0,74	0,74	0,74			
	3,5	2,09	2,45	2,21	2,48	0,76	1,30	0,81	1,00		1,00	1,00	1,00			
	4,0	2,11	2,47	2,22	2,46	0,83	1,25	0,93	1,02		0,98	0,98	0,98			
6,0	1,95	2,16	2,04	2,18	0,44	1,07	0,57	0,78		0,44	0,44	0,45				
8,0	1,54	1,80	1,65	1,82	0,50	1,01	0,46	0,62		0,50	0,57	0,51				

gów alarmowych należało zmienić na kilkakrotnie większe. Jak pokazano w tabeli 2, zastosowanie tej samej wartości progów alarmowych, uzyskanych przykładowo przy zaszumieniu sygnałów ciśnienia i natężenia przepływu szumem o odchyleniu stan-

to change the values of alarm thresholds into several times bigger. As it is shown in Table 2, applying the same value of alarm thresholds received, for example, with noising of the signals of pressure and flow rate with the noise of the standard deviation amounted to

dardowym równym 0,5 % wielkości zakresu pomiarowego – w przypadku sygnałów nie zaszumianych skutkowałyby wydłużeniem czasów wykrycia oraz nie wykryciem wielu wycieków.

5. Podsumowanie

Prezentowane w pracy wyniki potwierdzają, że odpowiednio dobrane i dołączone do diagnozowanych rurociągów korektory, spełniające rolę obiektów badawczych, stwarzają możliwość pozyskiwania cennej informacji diagnostycznej, pozwalającej na polepszenie podatności diagnostycznej rurociągów, a stąd zwiększenie skuteczności diagnozowania wycieków.

Dołączenie do rurociągów korektorów nie wpływa na jakość funkcjonowania rurociągu i jest łatwe do zrealizowania.

6. References

- [1] Billman L., Isermann R.: *Leak detection methods for pipelines*. Automatica, vol. 23, no. 3, 1987, pp. 381-385.
- [2] Brzózka J., Dorobczyński L.: *Programowanie w Matlab*. Wydawnictwo MIKOM, Warszawa, 1998.
- [3] Korbicz J. i inni: *Diagnostyka procesów. Modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania*. WNT, Warszawa, 2002, rozdział 21.
- [4] Lindstedt P.: *Element korekcyjny jako źródło informacji diagnostycznej*. ZEM PAN, zeszyt 2, 1995.
- [5] Lindstedt P.: *Formowanie sygnałów diagnostycznych*. ZEM PAN, zeszyt 2, 1997.
- [6] Lindstedt P.: *Praktyczna diagnostyka maszyn i jej teoretyczne podstawy*. Wydawnictwo Naukowe ASKON, Warszawa, 2002.
- [7] Lindstedt P.: *Weak interactions between objects in the signal-based and parametric diagnostics of transport-dedicated complex engineering systems*. Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, vol. 77 no. 3, 2005, pp. 222-227.
- [8] Lindstedt P., Ostapkowicz P.: *Diagnosing of the leakages from pipelines based on signals of weak interobject interactions*. Archiwum Transportu, Komitet Transportu PAN, tom 2, 2004.
- [9] Niederliński A.: *Systemy komputerowe automatyki przemysłowej. tom 2*, WNT, Warszawa, 1985.
- [10] Skinners S.: *Modern control system. Theory and application*. Addison Wesley, 1972.
- [11] Sobczak R.: *Lokalizacja wycieków z rurociągów*. Pomiary Automatyka Robotyka, nr 3, 1999, str. 11-16.
- [12] Söderström T., Stoica P.: *Identyfikacja systemów*. PWN, Warszawa 1997.

Praca finansowana przez Politechnikę Białostocką – praca własna W/WM/7/06.

0.5 % of the value of the measuring range – in the case of the signals which were not noised - it would result in prolonging of the detection times as well as in a situation when many leakages will not be detected.

5. Summary

The results presented in this work prove that correctors appropriately selected and joined to the diagnosed pipelines, working as testing objects, create possibility of obtaining valuable diagnostic information, which allows for improving the diagnostic susceptibility of pipelines and, hence, improving the efficacy of leak detection.

Joining correctors to the pipeline does not influence the quality of the pipeline's performance and is easy to realize.

Mgr inż. Paweł OSTAPKOWICZ

Politechnika Białostocka,
Wydział Mechaniczny
Katedra Automatyki i Robotyki
15-351 Białystok, ul. Wiejska 45C
e-mail: ostad@pb.bialystok.pl
