

# Model sieci gazowej w systemie monitorowania i diagnostyki AMandD

Marcin Stachura, Michał Syfert

Instytut Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej

W artykule przedstawiono pierwszy etap wdrożenia systemu zaawansowanego monitorowania i diagnostyki sieci gazociągowej. W etapie tym opracowano i uruchomiono model analityczny sieci. Model ten wykorzystywany jest do bieżącego monitorowania stanu sieci, jak również do symulacji wycieków. Na obecnym etapie wdrożenia systemu w zakresie monitorowania realizowana jest walidacja torów pomiarowych ciśnienia.

**Słowa kluczowe:** monitoring, symulacja, sieci gazowe, modelowanie

W rozległych instalacjach wykorzystywanych do transportu gazu oraz ropy istotnym problemem jest monitorowanie stanu instalacji zarówno w zakresie prawidłowego działania urządzeń pomiarowych, jak i występowania ewentualnych wycieków (powstających w sposób naturalny lub w wyniku próby kradzieży surowca). Szereg ośrodków badawczych podejmuje próby monitorowania tego typu sieci. Ze względu na właściwości fizyczne cieczy znacznie łatwiejszym zadaniem jest monitorowanie ropociągów, znacznie trudniejszym natomiast jest monitorowanie sieci przesyłu gazu ziemnego.

W artykule opisano pierwszy etap wdrożenia systemu zaawansowanego monitorowania i diagnostyki AMandD [2] opracowanego w Instytucie Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej, przeznaczonego do realizacji zadań monitorowania fragmentu sieci gazociągowej. Praca zrealizowana została w ramach grantu „Badania nad systemami detekcji i lokalizacji nieszczelności rurociągów”. Celem projektu jest opracowanie metod monitorowania nieszczelności sieci gazociągowej oraz wdrożenie wybranych metod do bieżącego monitorowania stanu instalacji.

W ramach pierwszego etapu opracowano, skonfigurowano oraz uruchomiono model analityczny analizowanego fragmentu sieci. Na podstawie opracowanego modelu realizowane jest monitorowanie stanu rządzeń pomiarowych. Po weryfikacji model może być także wykorzystywany jako wzorcowy proces. Uzyskany model pozwoli na symulacje wycieków oraz badanie algorytmów detekcji i lokalizacji uszkodzeń.

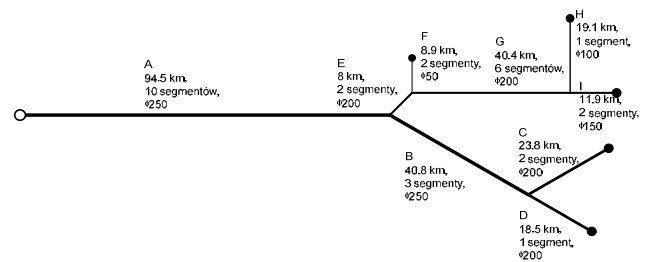
W drugim etapie prac planowane jest porównanie działania symulatora analitycznego z szeregiem modeli parametrycznych identyfikowanych na podstawie danych archiwalnych, odtwarzających poszczególne zmienne procesowe (wartości ciśnień). Po porównaniu obu technik modelowania podjęta zostanie decyzja, które z modeli zostaną wykorzystane w ostatecznej wersji systemu monitorowania nieszczelności.

Istotnym elementem jest to, że opracowany model analityczny dostrojony jest do rzeczywistej instalacji, której stan na bieżąco monitorowany jest przez skonfigurowane komponenty systemu diagnostycznego.

## Struktura monitorowanej sieci

Odcinek sieci, na którym wdrożono system, obejmuje fragment gazociągu od stacji wejściowej w Wólce Radzymińskiej do wszystkich punktów poboru zasilanych z tej stacji,

z czego żaden z odcinków nie wyprowadza gazu poza monitorowany obszar. W najdłużej linii długość monitorowanej sieci wynosi 162 km, przy sumarycznej długości gazociągu wynoszącej 257 km (plus doprowadzenia do stacji poborowych). Średnica gazociągu głównego wynosi 250 mm i 200 mm. Pozostałe odcinki mają średnice 50 mm, 100 mm i 150 mm. Poglądowy schemat sieci pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Ogólny schemat monitorowanej sieci gazowej (w skali)

Fig. 1. General scheme of the monitored gas system

W sieci znajdują się 24 stacje poboru. We wszystkich stacjach, oprócz jednej, dostępne są pomiary pobieranego gazu. Pojedyncza wartość ze stacji nieopomiarowanej musi być traktowana jako niemierzalne zakłócenie. Brak pomiaru w jednej ze stacji może stanowić istotną przeszkodę w monitorowaniu wycieków z tego obszaru instalacji. Zależy to oczywiście od wielkości poborów w tym punkcie. Dodatkowo, prawie w każdej stacji dostępne są pomiary ciśnienia w rurociągu zasilającym (w części wysokociśnieniowej). Brak jest pomiarów ciśnienia w czterech stacjach.

Na wejściu do sieci dostępny jest zarówno pomiar ilości pompowanego gazu, jak i ciśnienie zasilania. Wszystkie dane pomiarowe dostępne są z okresem próbkowania równym 60 s. Jest to dosyć częsty okres próbkowania jak na tego typu instalację. Został on specjalnie ujednolicony (zmniejszony dla niektórych punktów) na potrzeby realizowanego projektu. Zresztą tak dokładne opomiarowanie zostało także dostosowane na potrzeby tego projektu.

## Symulator sieci

### Model analityczny sieci

Symulator sieci modeluje ciśnienie wyjściowe na odcinku rurociągu. Sygnałami wejściowymi są: ciśnienie oraz przepływ wyjściowy z modelowanej części instalacji [3]:

$$p_2 = \sqrt{p_1^2 - \frac{1,62114 q_{v,n}^2 \rho_n^2 ZRT \lambda L}{D^5}} \quad (1)$$

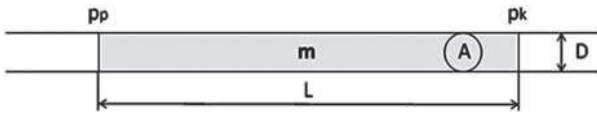
gdzie:  $q_{v,n}$  – strumień objętości w warunkach normalnych [ $\text{m}^3/\text{h}$ ],  $\rho_n$  – gęstość gazu w warunkach normalnych [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $p_1$  i  $p_2$  – ciśnienie absolutne na wlocie i wylocie rozpatrywanego gazociągu [Pa],  $D$  – średnica wewnętrzna gazociągu [m],  $Z$  – współczynnik ściśliwości,  $R$  – stała gazowa [ $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ],  $T$  – temperatura bezwzględna [K],  $L$  – długość rozpatrywanego odcinka gazociągu [m],  $\lambda$  – współczynnik strat liniowych [-].

Dla rur, które można uznać za hydraulicznie gładkie, do obliczenia współczynnika strat liniowych stosowany jest wzór Blassiusa:

$$\lambda = \frac{0,317}{Re^{0,25}} \quad (2)$$

gdzie  $Re$  – liczba Reynoldsa.

Statyczny model spadku ciśnienia uzupełniono uproszczonym uwzględnieniem dynamiki przepływu, traktując gaz w rurociągu jako monolityczny wałek o długości  $L$  i średnicy  $D$  rurociągu (rys. 2):



Rys. 2. Poglądowy szkic przedstawiający gaz w rurociągu jako monolityczny wałek

Fig. 2. Basic scheme of a modeled gas volume

Dodatkowy spadek ciśnienia wywołany przyspieszeniem masy gazu wynosi:

$$\Delta p_{dyn} = \frac{ma}{A} \quad (3)$$

gdzie:  $\Delta p_{dyn}$  – spadek ciśnienia wywołany dynamiką przepływu [Pa],  $m$  – masa gazu w rozpatrywanym odcinku rurociągu [kg],  $A$  – pole powierzchni przekroju poprzecznego rurociągu [ $\text{m}^2$ ].

Ciśnienie wyjściowe wynosić więc będzie ostatecznie:

$$p_2 = \sqrt{p_1^2 - \frac{1,62114 q_{v,n}^2 \rho_n^2 ZRT \lambda L}{D^5}} - \Delta p_{dyn} \quad (4)$$

Natężenie przepływu w odcinku rurociągu można obliczyć z następującej zależności:

$$Q_{we} = Q_{wy} + Q_L + Q_C \quad (5)$$

gdzie:  $Q_{we}$  – natężenie przepływu gazu przepływające przez rozpatrywany odcinek rurociągu [ $\text{m}^3/\text{h}$ ],  $Q_{wy}$  – natężenie wypływu gazu z rurociągu [ $\text{m}^3/\text{h}$ ],  $Q_L$  – natężenie przepływu przecieku na rozpatrywanym odcinku [ $\text{m}^3/\text{h}$ ],  $Q_C$  – lokalna konsumpcja gazu [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].

Zbudowany model uwzględnia również zmiany natężenia przepływu spowodowane akumulacją gazu w objętości rurociągu. Sumę akumulacyjną można obliczyć z następującej zależności:

$$V_{n,r}(t) = V_g \frac{p_{sr} T_n}{p_n T Z} \quad (6)$$

Strumień objętości wywołany zmianą sumy akumulacyjnej można przedstawić jako:

$$Q_{V_{n,r}}(t) = \frac{dV_{n,r}(t)}{dt} \quad (7)$$

Ostatecznie więc przepływ gazu w rozpatrywanym odcinku można zapisać jako:

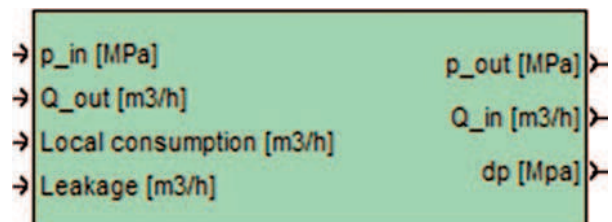
$$Q_{we} = Q_{wy} + Q_L + Q_C + \frac{dV_{n,r}(t)}{dt} \quad (8)$$

Koncepcja przedstawionego sposobu konstrukcji opisu matematycznego nie polega na tworzeniu ogólnego i uniwersalnego modelu o charakterze akademickim. Proponowane podejście opiera się na założeniu, że opracowany symulator może być narzędziem wspomagającym diagnostykę pracy sieci oraz lokalizację uszkodzeń. Wobec tego założony opis zawiera szereg uproszczeń modelowanych zjawisk, umożliwiając tym samym szybkie i wygodne modelowanie konkretnego obiektu (bazując na dostępnych na bieżąco pomiarach).

### Biblioteka modelowania komponentów gazociągu

Opisane zależności zostały zaimplementowane w module PExSim systemu AMandD jako biblioteka bloków funkcyjnych. Sposób implementacji zapewnia dużą elastyczność wykonanego oprogramowania, tzn. może ono być swobodnie rozbudowywane w ramach dalszych prac.

Dyspersja wzdłużna spadków ciśnienia uwzględniana jest przez podział modelowanej instalacji na odcinki o długości odpowiadającej odległości między poszczególnymi punktami pomiarowymi, czyli stacjami poboru gazu. Wobec tego, zastosowany opis matematyczny zgrupowany został w bloku symulującym zjawiska zachodzące podczas przepływu gazu przez odcinek rurociągu (spadek ciśnienia, akumulacja masy gazu, dynamiczny spadek ciśnienia na skutek zmian prędkości przepływu), rys. 3.



Rys. 3. Blok Gas Line modułu PExSim

Fig. 3. Gas Line block in PExSim module

Property	Value
Name	ID30
Description	
Processing rate	1
Line lenght [m]	4755
Line diameter [DN] [mm]	200
k	1
Gas density [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	0,732
Gas resilience Coefficient	0,9
Gas temperature [K]	283
Gas dynamic viscosity [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]	10,23831
Gas constant [ $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ ]	518,275
Model type	Dynamic with gas accumulation

Rys. 4. Parametry modelowanego odcinka rurociągu

Fig. 4. Properties of a considered gas line

Wejściami bloku *Gas Line* są: ciśnienie wejściowe, przepływ wyjściowy (czyli zapotrzebowanie na gaz w odcinkach położonych za rozpatrywanym rurociągiem), pobór gazu w rozpatrywanym węźle oraz ewentualnie przeciek gazu w rozpatrywanym odcinku. Wyjściami są ciśnienie wyjściowe, przepływ oraz spadek ciśnienia na rozpatrywanym odcinku rurociągu.

Każdy z odcinków rurociągu, przedstawiony w systemie *AMandD* jako blok funkcyjny, może być swobodnie parametryzowany, tzn. możliwy jest dobór wszystkich stałych występujących w równaniach (1) – (8), tak aby dopasować model procesu do warunków rzeczywistych (rys. 4).

Parametry modelowanego odcinka można podzielić na dwie grupy: wymiary geometryczne – średnica oraz długość rurociągu (są one w zasadzie wartościami znanymi) – oraz współczynniki opisujące stan gazu, tj. gęstość, współczynnik ściśliwości, temperatura, lepkość oraz stała gazowa. Współczynniki te są zasadniczo trudniejsze do wyznaczenia, a część z nich dopasowywana jest arbitralnie przez osobę budującą symulator. Wynika to z faktu, że pomiar ich wartości jest w normalnych warunkach eksploatacyjnych utrudniony bądź niemożliwy.

Dodatkowo każdy odcinek rurociągu może być modelowany na jeden z trzech sposobów:

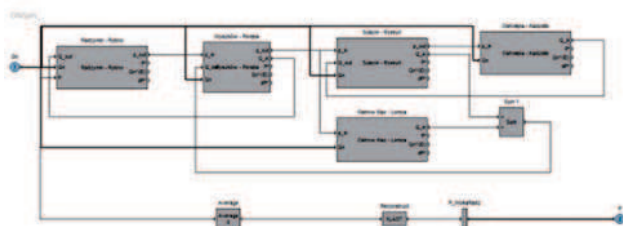
- jako element statyczny, tzn. przy obliczeniu spadku ciśnienia nie uwzględnia się dynamiki przepływu gazu, a przy natężeniu przepływu akumulacji – masy gazu
- jako element statyczny z uwzględnieniem akumulacji masy gazu
- jako element dynamiczny wraz z akumulacją.

**Struktura symulatora sieci**

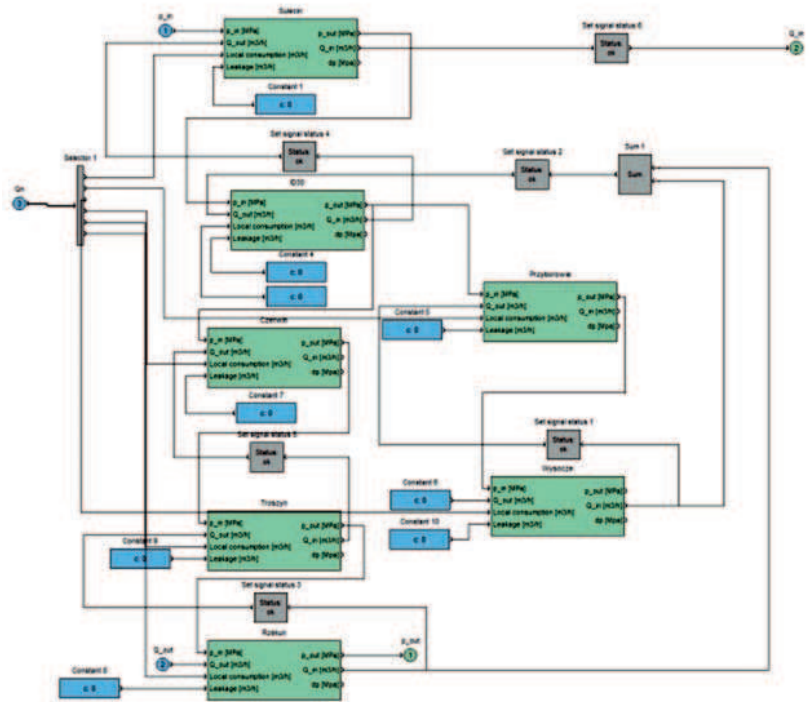
Zbudowany symulator całej instalacji został podzielony na odcinki (podsystemy w modelu symulatora) w ogólności odpowiadające geograficznemu położeniu poszczególnych stacji odbiorczych. Poszczególne modele cząstkowe (bloki funkcyjne) symulują zjawiska fizyczne zachodzące w odcinkach rurociągu pomiędzy kolejnymi stacjami.

Całą instalację podzielono na następujące podsystemy:

- Radzymin – Rybno
- Wyszaków – Poręba Śląska
- Sulęcín – Rzekuń
- Ostrołęka – Kadzidło.



Rys. 5. Struktura ogólna zbudowanego symulatora  
Fig. 5. General scheme of the simulator



Rys. 6. Struktura modeli cząstkowych opisujących poszczególne odcinki instalacji  
Fig. 6. Partial models structure

W każdym podsystemie umieszczone są bloki opisujące odcinki gazociągu pomiędzy poszczególnymi stacjami poboru, połączone zgodnie z ich rzeczywistym położeniem.

**Optymalizacja parametrów symulatora**

W opisie matematycznym procesu współczynniki w równaniach należy tak dobrać, aby różnica między wartościami generowanymi przez model oraz wartościami zmierzonymi była jak najmniejsza. Najczęściej stosowaną w tego typu zagadnieniach techniką jest *kalibracja modelu*, czyli ręczne dopasowywanie nieznanymi współczynników a następnie prowadzenie symulacji modelu. W przypadku braku zgodności wartości procesowych generowanych przez model z rzeczywistymi, dokonuje się korekty współczynników, a następnie powtarza ww. czynności. Technika taka jest z jednej strony bardzo czasochłonna, a z drugiej mało obiektywna, gdyż w głównej mierze zależy od intuicji i doświadczenia osoby prowadzącej kalibrację.

Innym podejściem jest technika *optymalizacji modelu*, polegająca na zastosowaniu odpowiednich algorytmów estymujących nieznanymi współczynnikami w równaniach opisujących model. Zadanie optymalizacji w tym przypadku jest rozumiane jako efekt automatycznego wyznaczenia nieznanymi współczynników występujących w równaniach opisujących model procesu w sensie pewnego wskaźnika:

$$f(\hat{\mathbf{x}}) = \min_{\mathbf{x} \in \mathbf{R}^n} f(\mathbf{x}) \tag{9}$$

gdzie: *f* – funkcja celu, *x* – zmienna decyzyjna w optymalizacji statycznej, *x̂* – rozwiązanie optymalne, *f: R<sup>n</sup> → R*, przy czym zakłada się, że funkcja *f* jest ograniczona od dołu.

W optymalizacji modelu wykorzystywane są algorytmy definiowane jako proces iteracyjny składający się z ciągu odwołań punktu w zbiorze:

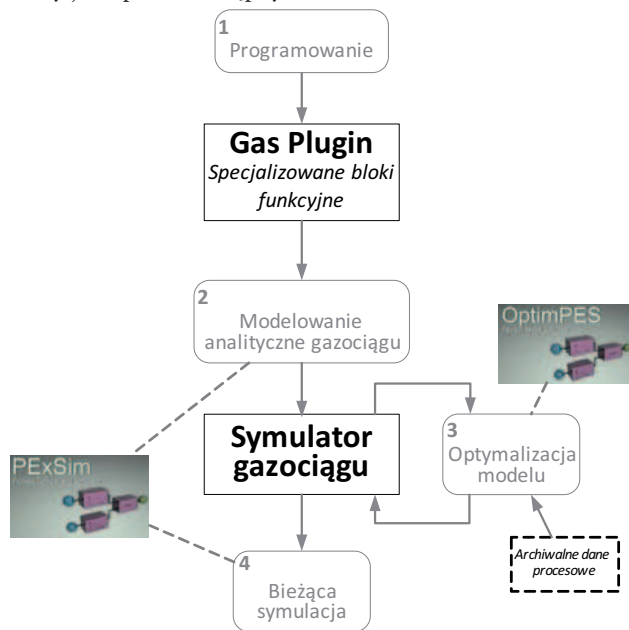
$$A: V \rightarrow V \quad (10)$$

rozumiane jako przyporządkowanie każdemu punktowi  $\mathbf{x} \in V$  zbioru  $A(\mathbf{x}) \subset V$ .

Mając punkt  $\mathbf{x}_1$ , ciąg punktów  $\{\mathbf{x}^k\}_{k=1}^{\infty}$  jest generowany rekurencyjnie w myśl formuły:

$$\mathbf{x}^{k+1} \in A(\mathbf{x}^k) \quad (11)$$

ozn. dowolny punkt należący do zbioru  $A(\mathbf{x}^k)$  może być wybrany jako punkt następny  $\mathbf{x}^{k+1}$ .



Rys. 7. Etapy procesu konfiguracji oraz strojenia modelu analitycznego  
Fig. 7. Basic stages of an analytical model configuration and validation

Budowę symulatora można więc przedstawić jako proces składający się z kilku kroków. Najpierw równania opisujące zjawiska fizyczne implementowane są jako specjalistyczna biblioteka dołączana do systemu *AMandD*. Następnie z dostępnych w bibliotece bloków funkcyjnych budowana jest struktura modelowanej sieci zgodnie z jej rzeczywistą konfiguracją. Ostatnim etapem jest dopasowanie zbudowanego modelu do rzeczywistego obiektu. W opisanych badaniach zastosowano moduł *PEXSim Optimizer*. Moduł ten wykorzystuje algorytmy optymalizacji statycznej do zadania optymalizacji modelu, zbudowanego w pakiecie *PEXSim*, tj. takiego doboru współczynników występujących w równaniach opisujących przepływ gazu przez rurociąg, aby minimalizować zadaną funkcję celu, którą jest zgodność modelu z procesem (czyli z pomiarami ciśnień w poszczególnych punktach pomiarowych).

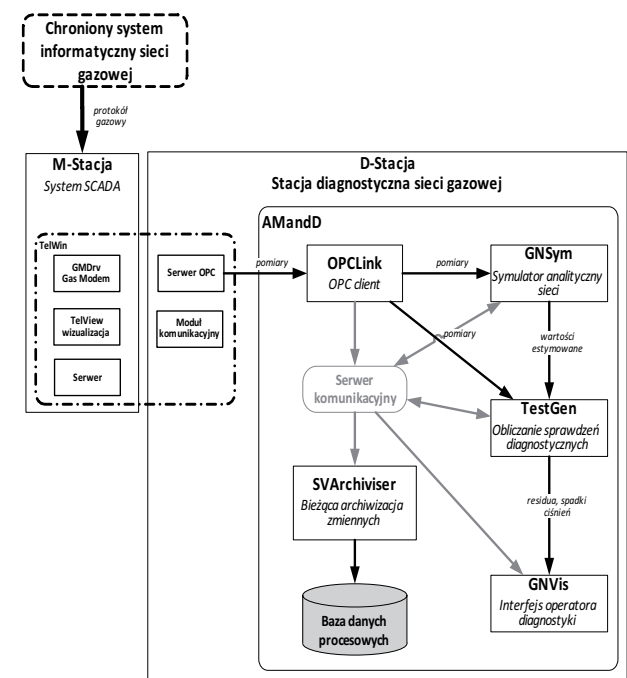
## System monitorowania *AMandD*

### Struktura systemu

Skonfigurowana i uruchomiona aplikacja systemu *AMandD* realizuje bieżące monitorowanie gazociągu. Dane pomiarowe pobierane są z klasycznego systemu SCADA wykorzystywanego do „podglądu sieci” na odpowiednio skonfigurowanych stacjach operatorskich. Pobierane dane przetwarzane są w celu wyznaczenia modelowanych ciśnień w poszczególnych stacjach. W celu określenia stanu sieci wykonywane jest po-

równanie wielkości modelowanych z rzeczywistymi oraz ocena tak wyliczonej różnicy. W ten sposób wyznaczone wielkości pozwalają na dokonanie jakościowej oceny stanu dostępnych pomiarów oraz ocenę przez eksperta ewentualnych nieszczelności. Mechanizm automatycznej detekcji i lokalizacji uszkodzeń ma zostać uruchomiony w drugim etapie. Poniżej scharakteryzowano główne moduły systemu.

Systemem wykorzystywanym do monitorowania pracy sieci przez przedsiębiorstwo zajmujące się jej utrzymaniem jest klasyczny system SCADA o nazwie *TelWin*. System ten umożliwia wymianę danych z systemami zewnętrznymi (w tym przypadku systemem *AMandD*), m.in. przez serwer OPC. Pobieranie danych z zabezpieczonej sieci zakładowej możliwe jest jedynie z poziomu specjalnie przygotowanej stacji systemu *TelWin* (rys. 8, M-stacja) przez wykorzystanie protokołu gas-modem.



Rys. 8. Struktura systemu zaawansowanego monitorowania sieci gazowej  
Fig. 8. Structure of the gas mains Advanced Monitoring System

Fig. 8. Structure of the gas mains Advanced Monitoring System

Następnie dane pobierane są przez klienta OPC (rys. 8, D-stacja: *OPCLink*) do systemu *AMandD*.

Modułami odpowiedzialnymi za właściwe obliczenia są:

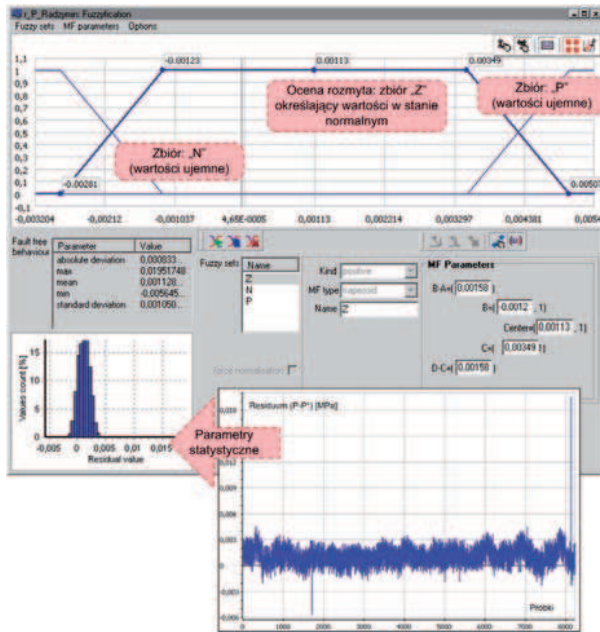
- moduł modelu analitycznego sieci *GNSym* (opisany w poprzednich rozdziałach)
- moduł wyznaczania sprawdzeń diagnostycznych *TestGen*.

Oba powyższe moduły zrealizowane zostały w postaci swobodnie konfigurowalnych ścieżek przetwarzania zmiennych modułu *PEXSim*. Moduł ten stanowi, w pewnym sensie, jądro obliczeniowe systemu *AMandD*. Wypracowane przez system informacje wizualizowane są w module graficznego interfejsu operatora *InView*.

Dodatkowo uruchomiony został moduł archiwizacji zmiennych procesowych *SVArchiviser*. Odpowiedzialny jest za tworzenie lokalnych (w systemie *AMandD*) archiwów zmiennych procesowych oraz zmiennych wyliczanych (sygnałów modelowanych, residuów itp.).

## Realizacja sprawdzeń diagnostycznych

W monitorowanym fragmencie sieci znajdują się 24 stacje poboru, w 20 z nich mierzone jest ciśnienie gazu w rurociągu. Aktualnie realizowane sprawdzenia diagnostyczne opierają się na tych dwudziestu dostępnych pomiarach. Wyznaczone jest dwadzieścia residuów wyliczanych jako różnica między sygnałem pomiarowym ciśnienia a wartością odtwarzaną z modelu. Wyznaczone residua poddawane są rozmytej ocenie. Na tej podstawie wyznaczanych jest dwadzieścia sygnałów diagnostycznych stanowiących jakościową informację o stanie procesu.



Rys. 9. Dobór parametrów rozmytej oceny residuów

Fig. 9. Selection of the residuals fuzzy estimation

Każde residuum poddawane jest uśrednianiu w oknie o szerokości 5 okresów próbkowania. Zabieg taki wprowadza stosunkowo niewielkie opóźnienie detekcji (zupełnie bez znaczenia w przypadku wykrywania niewyzerowania przetworników), natomiast pozwala uchronić przed fałszywymi diagnozami w przypadkach chwilowych, zwiększonych błędów modelowania, zakłóceń itp. [1].

Parametry rozmytej oceny residuów dobrane zostały na podstawie analizy parametrów statystycznych oraz charakteru przebiegów czasowych residuów w stanie normalnej pracy instalacji (rys. 9). Do każdego residuum zastosowano ocenę trójwartościową [1]. Dokładność odtwarzanych wartości ciśnienia waha się w granicach ok. 0,05 MPa, tj. 1 % błędu względnego. Na podstawie tych wartości dobrano zakres zmienności sygnału residuum w stanie bez uszkodzeń.

Dodatkowo, w celach badawczych, wyznaczane są spadki ciśnienia w poszczególnych fragmentach rurociągu głównego. Wyznaczane spadki obliczane są na podstawie modelu, jak i rzeczywistych pomiarów. Wykreślane roboczo charakterystyki spadku ciśnienia w funkcji przepływu gazu  $\Delta p(Q)$  pozwalają jakościowo ocenić przydatność opracowanego modelu analitycznego, np. oszacować wpływ niemierzalnych zakłóceń w postaci temperatury otoczenia oraz ocenić błędy modelowania związane z niemodelowaniem wszystkich zjawisk oraz

przybliżonym charakterem modelu. Wielkości te wyświetlane są w interfejsie operatora na specjalnie przygotowanych ekranach (patrz następny rozdział).

## Interfejs operatora

Wypracowana przez system zaawansowanego monitorowania informacja obrazowana jest w specjalnie skonfigurowanym graficznym interfejsie operatora.

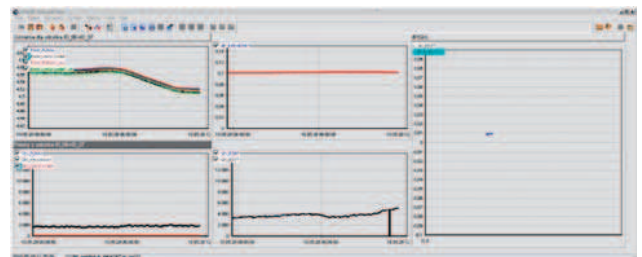
Interfejs operatora składa się z:

- 2 ekranów głównych prezentujących dwie główne części gazociągu. Prezentowane są na nich wskaźniki jakościowej oceny poszczególnych pomiarów ciśnień (wyniki realizowanych sprawdzeń diagnostycznych)
- 21 ekranów szczegółowych prezentujących stan pracy poszczególnych segmentów gazociągu. Ekran te prezentują wszystkie niezbędne parametry związane z pracą tych segmentów. Zawierają także wykres obliczanego spadku ciśnienia oraz przepływu gazu w danym odcinku.



Rys. 10. Widok zbiorczy jednego z makrofragmentów monitorowanej sieci. Wykresy słupkowe umieszczone obok punktów pomiarowych ciśnień obrazują rozbieżność pomiarów z wielkościami modelowanymi. Obszar zielony określa prawidłowy zakres rozbieżności sygnału mierzonego oraz modelowanego

Fig. 10. General view of the one of the main parts of the monitored gas system. Bar charts located near the measurement points show the differences between measured and modeled values. The green bar represents acceptable range of the mentioned difference

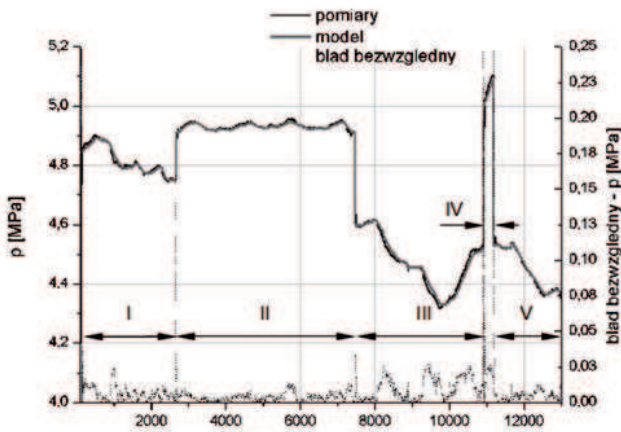


Rys. 11. Dedykowany wyświetlacz dla pojedynczego segmentu gazociągu. Widoczne wykresy obrazują: ciśnienia na początku i końcu odcinka, wielkości poborów gazu na początku i końcu odcinka oraz wyliczony spadek ciśnienia oraz przepływ gazu w danym segmencie

Fig. 11. Single gas line display. Visible charts present: inlet and outlet pressures, local gas consumption, calculated pressure drop and gas flow

## Wyniki pierwszych testów

Dokładność odwzorowania procesu przez zbudowany symulator można uznać za zadowalającą. Dla wykorzystanych pięciu zestawów danych testowych wartości bezwzględne błędu modelowania (czyli różnicy pomiędzy wartościami generowanymi przez model oraz pomiarami) nie przekraczają 0,03 MPa przy średniej wartości ciśnień równej ok. 4,7 MPa. (rys. 12).



**Rys. 12.** Wyniki symulacji modelu dla pięciu zestawów danych testowych (oznaczonych cyframi I – V)

**Fig. 12.** Simulation results based on five test data sets (marked with symbols I – V)

## Podsumowanie

Opisana aplikacja systemu *AMandD* jest pierwszym etapem wdrożenia systemu monitorowania wycieków przesyłowej sieci gazociągowej. Zrealizowany etap jest niewątpliwie etapem łatwiejszym, ale koniecznym do całościowego uruchomienia systemu diagnostycznego.

Zrealizowana aplikacja pozwoli, przede wszystkim, na ocenę jakości dostępnego opomiarowania. Ewentualna diagnostyka wycieków możliwa będzie jedynie w przypadku uzyskania wiarygodnych pomiarów. Aktualne rezultaty wskazują na duże problemy związane z kalibracją przetworników pomiarowych. Niestety, jest to operacja dosyć kosztowna i jej okres powtarzania dla konkretnego przetwornika nie może być zbyt krótki. W związku z tym obserwowane jest silne zjawisko „płynięcia” pomiarów, które niestety jest bardzo trudne do opomiarowania. W kolejnych etapach rozwijana będzie możliwość automatycznej kalibracji pomiarów na drodze programowej przy wykorzystaniu opracowanych modeli dla stanu normalnego sieci (wyjustowane przetworniki).

Przy wykorzystaniu bieżących danych pomiarowych jak i analizy danych archiwalnych możliwe jest teraz dokonanie weryfikacji opracowanego modelu analitycznego. Model ten będzie w kolejnych etapach pracy porównywany z działaniem cząstkowych modeli parametrycznych identyfikowanych na podstawie danych pomiarowych. Wyniki tego porównania pozwolą na wybór odpowiednich technik modelowania najbardziej optymalnych pod kątem zastosowania do realizacji diagnostyki sieci gazociągowej, zarówno w zakresie walidacji pomiarów, jak i wykrywania nieszczelności.

## Podziękowania

Niniejsza praca była częściowo finansowana w ramach projektu badawczego rozwojowego „Badania nad systemami detekcji i lokalizacji nieszczelności rurociągów”, nr O R00 0013 06.

## Bibliografia

1. Kościelny J.M., Syfert M.: *Fuzzy diagnostic reasoning that takes into account the uncertainty of the faults-symptoms relation*. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, 2006, Vol. 16, No. 1, 27–35.
2. Kościelny J.M., Syfert M., Wnuk P.: *Advanced monitoring and diagnostic system 'AMandD'*. Problemy Eksploatacji, 2/2006 (61), 169–179.
3. Turkowski M., Bratek A., Słowikowski M., Bogucki A.: *Postępy i problemy realizacji systemów detekcji i lokalizacji rurociągów*. PAR 1/2009.
4. Sobczak R., Turkowski M., Bratek A., Słowikowski M., Bogucki A.: *Metody i systemy detekcji nieszczelności rurociągów dalekosiężnych* PAR 4/2007.
5. Bilman L., Isermann R.: *Leak detections methods for pipelines, Automatica*. vol. 23, no. 3, s. 381–385, 1987.
6. Siebert H.: *Dynamische Lecküberwachung bei Pipelines*. Erdol Ergas Kohle, 116 Jahrgang, Heft 11, November 2000.
7. Verde C.: *Multi-leak detection and isolation in fluid pipelines*. Control Engineering Practice, vol. 9, 2001.
8. Hauge E., Aamo O.M., Godhavn J-M.: *Model based pipeline monitoring with leak detection*. SPE Projects, Facilities & Construction, vol. 4, No. 3, 2009. ■

## Gas System Model in AMandD System

The paper presents the first stage of the application of the system of advanced monitoring and diagnostics of a gas network. This stage consists of a design, study and a start-up of the network analytical model. The model is used for the on-line monitoring of the network's state as well as for leakage simulation. In the field of process monitoring the validation of pressure's measurement paths is conducted on the current development stage.

**Keywords:** monitoring, simulation, gas network, modeling

### mgr inż. Marcin Stachura

Jest asystentem w Instytucie Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej. Obszarem jego zainteresowań naukowych jest modelowanie i sterowanie wielowymiarowych procesów przemysłowych, ze szczególnym uwzględnieniem technik sztucznej inteligencji.

e-mail: [m.stachura@onet.eu](mailto:m.stachura@onet.eu)



### dr inż. Michał Syfert

Zatrudniony w Instytucie Automatyki i Robotyki, Politechniki Warszawskiej. Zajmuje się badaniami w dziedzinie diagnostyki procesów przemysłowych oraz zastosowań logiki rozmytej. Jest jednym ze współautorów systemów zaawansowanego monitorowania oraz diagnostycznego AMandD oraz DiaSter.

e-mail: [m.syfert@mchtr.pw.edu.pl](mailto:m.syfert@mchtr.pw.edu.pl)

