

MONITOROWANIE STANU INSTALACJI GAZOCIĄGOWEJ W OPARCIU O ADDYTYWNY MODEL REGRESJI

Zofia Magdalena ŁABĘDA-GRUDZIAK

Streszczenie: W artykule przedstawiono próbę wykorzystania technik eksploracji danych i addytywnego modelu regresji do stworzenia modeli cząstkowych odzwierciedlających funkcjonowanie określonych fragmentów instalacji gazociągowej. Pozyskana wiedza posłużyła do oszacowania wartości ciśnienia w określonych punktach węzłowych oraz oceny zachowania się sieci, a następnie do oceny wrażliwości na występowanie poszczególnych uszkodzeń. Do identyfikacji modeli addytywnych zastosowano algorytm dopasowania wstecznego i nieparametryczne techniki estymacji. Badania przeprowadzono dla wybranego fragmentu rzeczywistej sieci przesyłowej gazu.

Słowa kluczowe: model addytywny, sieci przesyłowe gazu, przewidywanie ciśnienia, monitorowanie, eksploracja danych.

1. Wstęp

Rozwój przemysłu obserwowany w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat spowodował zwiększenie złożoności układów automatyki sterujących procesami oraz zaostrenie wymagań dotyczących ich niezawodności. Dlatego też nowoczesne systemy sterowania powinny być wyposażone w mechanizmy monitorowania procesów i detekcji uszkodzeń, czyli wykrywania nieprawidłowych stanów procesów oraz uszkodzeń urządzeń technologicznych, wykonawczych i pomiarowych [1].

Sieci przesyłowe służą do transportowania dużych ilości gazu pod wysokim ciśnieniem na znaczne odległości. Ze względu na wysokie koszty budowy rurociągów gazu, które są prowadzone przeważnie w ziemi, okres eksploatacji rurociągów powinien być długi. Trudne warunki eksploatacji stawiają coraz większe wymagania dotyczące długotrwałości i wysokiego stopnia bezawaryjności systemów sterowania. Uszkodzenia rurociągów mogą być spowodowane m.in. korozją lub erozją ścianek wewnętrznych i zewnętrznych, pęknięciami spawów, wgnieceniami ścianek, wadami materiałowymi, degradacją materiału wskutek zmian ciśnienia, a także działaniem ludzi. Ze względu na łatwopalność i szkodliwość ekologiczną gazu, awarie powodujące rozszczelnienie instalacji i uchodzenie gazu stwarzają silne zagrożenie wystąpienia wybuchu i skażenia środowiska.

Istotnym problemem każdego operatora rurociągu jest bezpieczna eksploatacja. W miarę upływu czasu, zachodzące w konstrukcji procesy przebiegające w różnych jej fragmentach z różnym natężeniem, powodują, że parametry eksploatacyjne rurociągu ulegają zmianie. Podejmowanie stosownych decyzji wymaga monitorowania stanu technicznego rurociągu. Wiele informacji może dostarczyć okresowe wykonywanie inspekcji, niezależnie od rzeczywistego stanu technicznego rurociągu. Na ich podstawie operator może podjąć decyzję o ewentualnej naprawie lub remoncie rurociągu, bądź w ekstremalnych przypadkach o wymianie fragmentu lub całości rurociągu. W większości przypadków obsługa jest niepotrzebna, gdyż stan techniczny rurociągu jest dobry. Dlatego

też metody poprawiające jakość nadzoru i monitorowania procesów odgrywają kluczową rolę, zarówno w zakresie prawidłowego działania urządzeń pomiarowych, jak i w sytuacjach występowania ewentualnych wycieków, co może przynieść istotne ograniczenie kosztów okresowej obsługi.

Korzystając z coraz większych możliwości opomiarowania systemów nadzoru stacje operatorskie mogą realizować zadania archiwizacji danych. Ponieważ w sieciach przesyłowych odbiorcy gazu są precyzyjnie zlokalizowani poprzez stacje redukcyjno-pomiarowe. Z części tych stacji można uzyskać bardzo dokładne dane dotyczące chwilowych poborów gazu. To stwarza możliwość budowy modeli cząstkowych na podstawie danych pomiarowych z sieci oraz wiedzy eksperckiej o jej strukturze. Jednocześnie wraz z rozwojem technologii informatycznej pojawiły się nowe możliwości zwiększania ilości gromadzonych danych oraz szybkości ich przetwarzania.

Praca niniejsza podejmuje zagadnienie modelowania procesu zmian ciśnień w sieci gazociągowej za pomocą addytywnego modelu regresji oraz eksploracyjnej analizy danych dla potrzeb monitorowania stanu instalacji gazociągowej. Przedstawione badania zostały częściowo przeprowadzone w ramach projektu rozwojowego KBN nr O R00 0013 06 pt. "Badania nad systemami detekcji i lokalizacji nieszczelności rurociągów" we współpracy z Instytutem Metrologii i Inżynierii Biomedycznej Politechniki Warszawskiej i firmą Biatel S.A. oraz grantu promotorskiego KBN nr N N514 238337 pt. „Wykorzystanie addytywnego modelu regresji do generacji residuów dla potrzeb detekcji uszkodzeń”.

2. Modelowanie obiektu diagnozowania

Ze względu na rozbudowany i skomplikowany charakter układu rurociągów, a także złożony opis właściwości fizykochemicznych samego gazu oraz uwzględnienie wielu zjawisk zachodzących podczas przepływu gazu rurociągiem, opracowanie modelu na podstawie równań fizycznych jest bardzo trudne, a identyfikacja jego parametrów dostarcza dodatkowych trudności. Z drugiej strony przechowywanie i analiza spróbkowanych sygnałów stwarza określone trudności za względu na objętość gromadzonych danych. W pracy przedstawiono alternatywną technikę, która przewyższa ograniczenia związane z nieliniowym modelowaniem wielowymiarowym. Jest nią eksploracyjna analiza danych (ang. *data mining*) [2] przy użyciu addytywnego modelu regresji (ang. *additive models*) [3].

2.1. Eksploracyjna analiza danych

Metody eksploracji danych polegają na analizie statystycznej wyników pomiarów parametrów istotnych z punktu widzenia funkcjonowania rurociągu (ciśnienia, przepływu), temperatury) tak aby szybko i trafnie rozpoznać zmiany stanu procesu w trakcie jego eksploatacji oraz nie wymagają istotnej wiedzy na temat rurociągu ani zjawisk w nim zachodzących.

Na wstępie procesu odkrywania wiedzy z danych należy jasno sformułować cele i wymagania projektu w terminologii rozważanego procesu. Ponieważ model procesu zmian ciśnienia w sieci gazowej powinien jak najlepiej odwzorowywać przebieg rzeczywistych zmian stanu procesu, konieczne jest określenie zbioru sygnałów wejściowych, oddziałujących na proces i wyjściowych, będących wynikiem jego działania. Optymalna struktura modelu powinna uwzględniać wszystkie sygnały. Niestety nie jest możliwe

zmierzenie każdego działającego zakłócenia, dlatego też przygotowywany model będzie zawsze w pewnym stopniu uproszczeniem.

Aby baza danych była przydatna do celów eksploracji danych, musi przejść przez wstępną obróbkę danych w formie czyszczenia i przekształcania danych. Dlatego należy zweryfikować czy występują pola, które są przestarzałe lub zbędne, rekordy z brakującymi wartościami, dane znajdujące się w formacie nieodpowiednim dla modeli eksploracji danych, wartości nie zgodne z zasadami lub zdrowym rozsądkiem. Kolejnym etapem jest zrozumienie danych i dokonanie wstępnej analizy danych, mającej na celu odkrycie pierwszych zależności. Na koniec należy wybrać technikę estymacji i predykcji zastosowanego modelu, pamiętając jednocześnie o dostosowaniu parametrów modelu (kalibracja modelu) oraz ocenie wyników symulacji na skalibrowanym modelu w odniesieniu do postawionych wymagań. Jeśli wyniki symulacji są niezadowalające należy powtórzyć powyższe czynności do momentu uzyskania poprawnych wyników.

2.2. Addytywny model regresji

Rozważając strukturę MISO (ang. *multiple input single output*), dla $p > 1$ sygnałów wejściowych X_1, X_2, \dots, X_p oraz jednego sygnału wyjściowego Y , zdefiniujmy model addytywny w postaci (1).

$$Y = \alpha + \sum_{j=1}^p \varphi_j(X_j) + \varepsilon, \quad (1)$$

gdzie: α - pewna stała,

j - indeks sumowania,

p - liczba sygnałów wejściowych,

ε - błąd modelowania, który jest niezależny od wektora (X_1, X_2, \dots, X_p) oraz

$E(\varepsilon) = 0, \text{Var}(\varepsilon) = \sigma^2$,

φ_j - jednowymiarowe funkcje zmiennej X_j niekoniecznie liniowe, szacowane na podstawie danych [3,4].

Stąd modele prognozy mogą być nieliniowe względem sygnałów X_j , ale nadal są liniowe względem sygnałów $\varphi_j(X_j)$. Podkreślmy, że nie zakładamy, że sygnały X_j są niezależne [4], fakt ten wykorzystamy dalej. Wiążąc wielkości fizyczne w procesie oraz czas, model ten może posłużyć do opisu zachowania się procesu przemysłowego i może naśladować jego działanie [5,6]. Dla danych pomiarowych $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n$, gdzie $x_i = \{x_{ij}\}_{j=1}^p$, formalnie, zadanie wyznaczenia modelu addytywnego na podstawie danych pomiarowych, rejestrowanych w trakcie eksploatacji obiektu, możemy zapisać jako zadanie minimalizacji sumy kwadratów błędów (zależność 2).

$$\arg \min_{\{\alpha, \varphi_j\}} \sum_{i=1}^n (y_i - \alpha - \sum_{j=1}^p \varphi_j(x_{ij}))^2, \quad (2)$$

Zadanie to oznacza znalezienie stałej α , równej $\hat{\alpha}$ oraz p funkcji jednej zmiennej $\hat{\varphi}_j(\cdot)$. Estymatory funkcji φ_j są znajdowane przez zastosowanie ustalonych funkcji wygładzających. Funkcje wygładzające, którymi będziemy się posługiwać są liniowymi funkcjami wygładzającymi (ang. *linear smoother*). Do najbardziej wykorzystywanych liniowych metod wygładzania należą m.in. wygładzanie lokalnie wielomianowe oraz wygładzanie za pomocą wielomianowej funkcji sklepanej [7].

Odpowiednie funkcje wygładzające w modelu addytywnym są znajdowane za pomocą iteracyjnego algorytmu dopasowania wstecznego (ang. *backfitting algorithm*) [4, 8]. Można udowodnić, że przy spełnieniu pewnych założeń, algorytm dąży do jednoznacznego rozwiązania, startując z dowolnych wartości początkowych [3, 4].

3. Monitorowanie obiektu diagnozowania

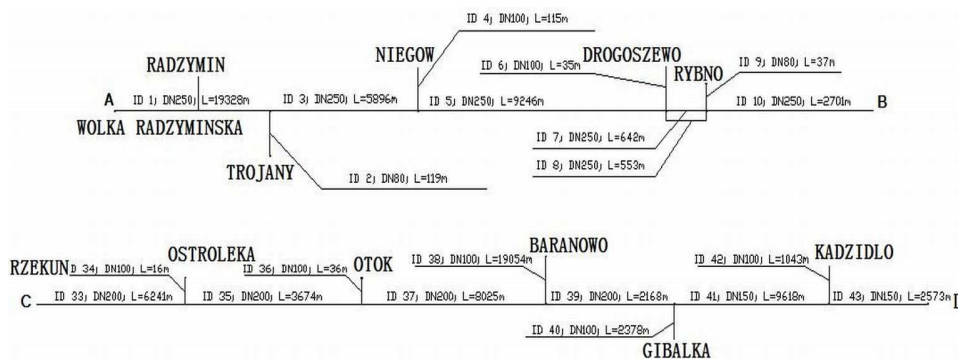
Model addytywny jest matematycznym modelem procesu, który w algorytmie diagnostycznym symuluje na podstawie sygnałów wejściowych sygnał wyjściowy. Przedmiotem analizy są residua $r = y - y_m$, czyli różnica między sygnałem zarejestrowanym w obiekcie y , pochodzącym z czujnika, a odpowiednią zmienną y_m obliczoną analitycznie na podstawie przyjętego modelu. Na podstawie otrzymanych residuów następuje ich ocena i podejmowana jest decyzja o wystąpieniu symptomu uszkodzenia. Dla większości prawidłowych stanów pracy sieci gazociągowej, przy założeniu prawdziwości modelu, residua powinny być bliskie bądź równe zero. W celu weryfikacji jakości modelu procesu, co sprowadza się do określenia z jakim błędem model naśladuje zachowanie się rzeczywistego procesu, wyznaczono wartości miar dopasowania takich jak: minimum residuów (MIN), maksimum residuów (MAX), średni kwadrat residuów (MSR), średni moduł residuów (MADR) oraz odchylenie standardowe residuów (STDWAR).

4. Przykład

Badania przeprowadzono na podstawie danych pochodzących z symulatora sieci gazociągowej, dostrojonego do rzeczywistej instalacji znajdującej się na dużym obszarze Polski. Symulator został opracowany na podstawie modeli analitycznych, w systemie zaawansowanego monitorowania i diagnostyki *AMandD* [9] w Instytucie Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej.

4.1. Opis obiektu diagnozowania

Odcinek sieci objęty wdrożeniem obejmuje fragment gazociągu od stacji wejściowej w Wólce Radzymińskiej do wszystkich punktów poboru zasilanych z tej stacji, tzn. żaden z odcinków nie wyprowadza gazu poza monitorowany obszar. Wytypowany fragment sieci składa się z rurociągu głównego wraz z odnogami, które są zakończone 24 stacjami redukcyjno-pomiarowymi. We wszystkich stacjach, oprócz jednej, dostępne są pomiary pobieranego gazu. Wszystkie dane pomiarowe dostępne są z okresem próbkowania równym 60s. W artykule przedstawiono modele procesu zmian ciśnień w sieci gazociągowej dla dwóch wybranych węzłów sieci – Niegowa i Ostrołęki. Ogólny schemat fragmentów monitorowanej sieci przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Fragmenty schematu instalacji sieci gazowej w okolicy Niegowa i Ostrołęki

Badania przeprowadzono przy użyciu programu R-project [10], przeznaczonego do zaawansowanych obliczeń statystycznych.

4.2. Eksploracyjna analiza danych pomiarowych

Ponieważ model procesu do poprawnego działania wymaga uprzedniego nauczania, to znaczy dostarczenia wiedzy o prawidłowym działaniu procesu, wybrano z bazy danych zbiór uczący, na podstawie którego szacowane będą modele cząstkowe i zbiór testowy, na podstawie którego, weryfikowana będzie jakość predykcji oszacowanych modeli. Kryterium doboru danych była jak największa zmienność sygnałów wejściowych i wyjściowych, reprezentująca najbardziej skrajne stany. Wykorzystywane do modelowania zmienne pomiarowe zostały opisane w tab. 1.

Tab. 1. Zmienne pomiarowe gazu użyte w modelowaniu

Ciśnienie	Przepływ	Stacja poboru gazu
P_{Troj}	$Qn(n)_{Troj}$	Trojany
P_{Nieg}	$Qn(n)_{Nieg}$	Niegów
P_{Drog}	$Qn(n)_{Drog}$	Drogoszewo
P_{Rzek}	$Qn(n)_{Rzek}$	Rzekuń
P_{Ostr}	$Qn(n)_{Ostr}$	Ostrołęka
P_{Otok}	$Qn(n)_{Otok}$	Otok

W celu prawidłowego odzwierciedlenia dynamiki obiektu oraz zwiększenia odporności detekcji uszkodzeń na wpływ impulsowych zakłóceń oddziałujących na sygnały pomiarowe, zaproponowano model addytywny o strukturze FIR (ang. *finite impulse response filter*) rzędu 2. Zwiększenie rzędu modelu nie skutkowało znaczną poprawą wyników modelowania w stosunku do wzrostu złożoności modelu.

4.3. Model cząstkowy obiektu diagnozowania

Dla tak przygotowanych danych, za pomocą cząstkowych modeli addytywnych obliczany jest rozkład ciśnień w sieci na podstawie znanych, zmierzonych w symulatorze rzeczywistej sieci wartości ciśnienia i przepływu gazu w sąsiednich stacjach poboru. Zaproponowano następujące addytywne modele zmian ciśnień w sieci dla Niegowa - MOD_{NIEGOW}^{GAM} oraz dla Ostrołęki - $MOD_{OSTROLEKA}^{GAM}$ (zależność 3 i 4).

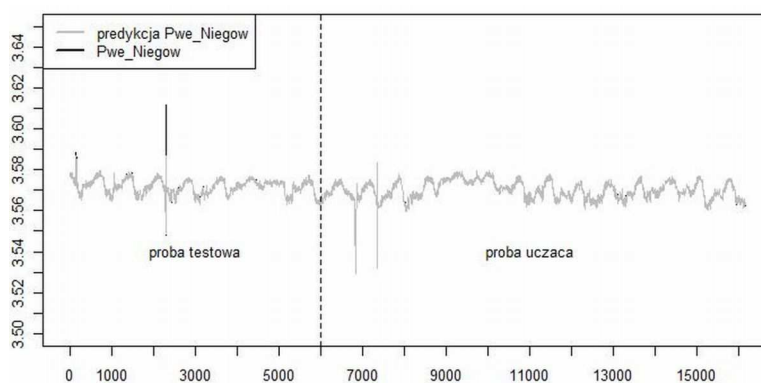
$$P_{Nieg,t} = \alpha + \varphi_1(P_{Troj,t-1}) + \varphi_2(P_{Troj,t-2}) + \varphi_3(Qn(n)_{Troj,t-1}) + \varphi_4(Qn(n)_{Troj,t-2}) + \varphi_5(Qn(n)_{Nieg,t-1}) + \varphi_6(Qn(n)_{Nieg,t-2}) + \varphi_7(P_{Drog,t-1}) + \varphi_8(P_{Drog,t-2}) + \varphi_9(Qn(n)_{Drog,t-1}) + \varphi_{10}(Qn(n)_{Drog,t-2}) + \varepsilon_t, \quad (3)$$

$$P_{Ostr,t} = \alpha + \psi_1(P_{Rzek,t-1}) + \psi_2(P_{Rzek,t-2}) + \psi_3(Qn(n)_{Rzek,t-1}) + \psi_4(Qn(n)_{Rzek,t-2}) + \psi_5(P_{Otok,t-1}) + \psi_6(P_{Otok,t-2}) + \psi_7(Qn(n)_{Otok,t-1}) + \psi_8(Qn(n)_{Otok,t-2}) + \varepsilon_t, \quad (4)$$

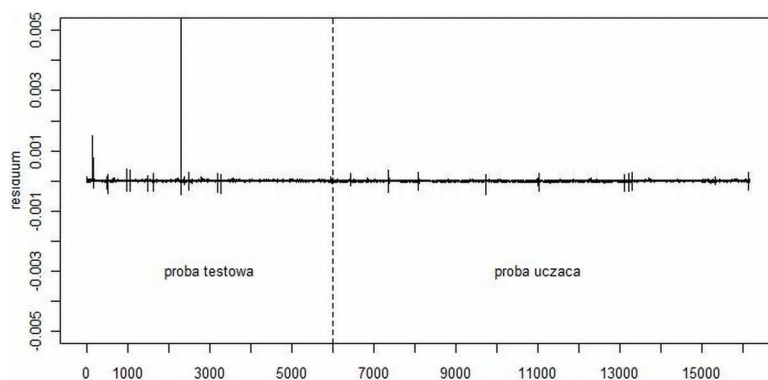
gdzie ε_t , dla $t = 3, \dots, n$ są niezależnymi zakłóceniami losowymi oraz $\varphi_1, \dots, \varphi_{10}, \psi_1, \dots, \psi_8$ są pewnymi jednowymiarowymi funkcjami rzeczywistymi.

4.4. Wyniki modelowania

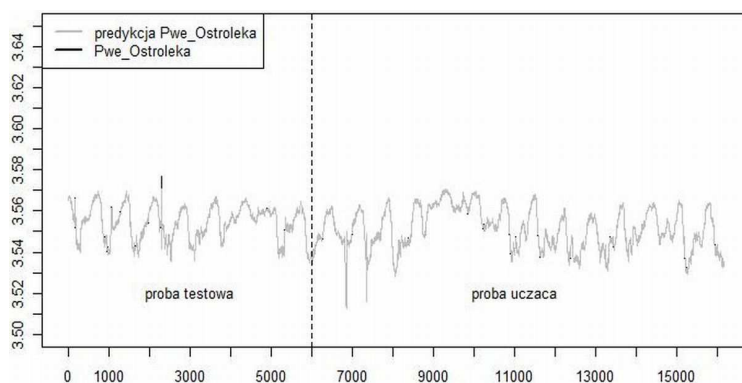
W celu estymacji modeli addytywnych MOD_{NIEGOW}^{GAM} i $MOD_{OSTROLEKA}^{GAM}$ wybrano algorytm dopasowania wstecznego z naturalną kubiczną funkcją sklejaną z parametrem wygładzającym $df=4$, utożsamianym z liczbą stopni swobody [7]. Na podstawie danych uczących i testowych, pochodzących ze stanu zdatności procesu, otrzymano estymowane wartości ciśnienia gazu \hat{P}_t (predykcja Pwe) wraz z rzeczywistymi wartościami ciśnienia gazu danymi z procesu P_t (Pwe) oraz wartości residuów, których wykresy w zależności od modelowanego węzła przedstawiono odpowiednio na rys. 2-3 i rys. 4-5.



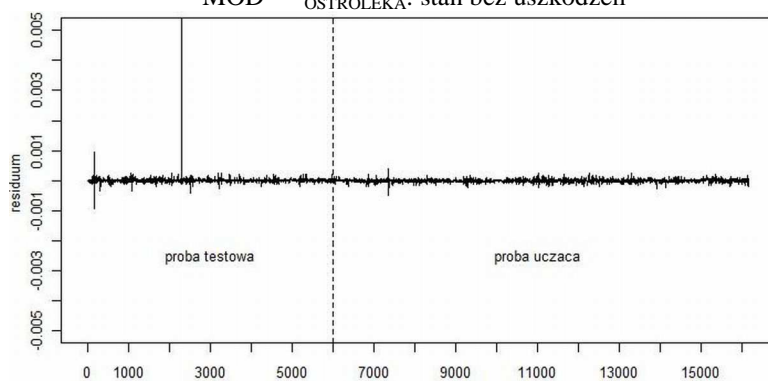
Rys. 2. Przebieg wielkości odtwarzanej oraz wyjścia dla modelu MOD_{NIEGOW}^{GAM} : stan bez uszkodzeń



Rys. 3. Przebieg residuum dla MOD^{GAM}_{NIEGOW}: stan bez uszkodzeń



Rys. 4. Przebieg wielkości odtwarzanej oraz wyjścia dla modelu MOD^{GAM}_{OSTROLEKA}: stan bez uszkodzeń



Rys. 5. Przebieg residuum dla MOD^{GAM}_{OSTROLEKA}: stan bez uszkodzeń

Otrzymane wyniki badań są zadowalające, gdyż na podstawie danych pochodzących z symulatora sieci, zaprezentowane metody pozwoliły na skonstruowanie modelu dobrze odzwierciedlającego dynamikę procesu. Przebiegi wyniku modelowania, niemalże idealnie nadążają za zasymulowanym procesem, co potwierdza brak istotnych odchyłek od wartości zerowej, poza pojedynczymi obserwacjami odstającymi na wykresie przebiegu residuum przedstawionym na rys. 3 i 5. Dodatkowo w tab. 2 zamieszczono parametry przebiegu residuum w zależności od modelowanego węzła sieci.

Tab. 2. Parametry przebiegu residuum dla poszczególnych modeli: stan bez uszkodzeń

Nazwa	MIN	MAX	MSR	STDVAR	MADR
MOD ^{GAM} _{NIEGOW}	-0.00066	0.01515	0	1.19e-4	0.17e-4
MOD ^{GAM} _{OSTROLEKA}	-0.00095	0.00731	0	1.12e-4	0.36e-4

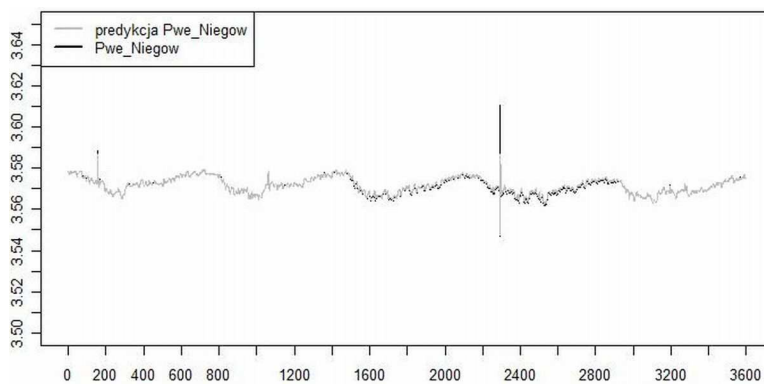
4.5. Wyniki wrażliwości modelu na zasymulowane uszkodzenia

W celu monitorowania stanu procesu zmian ciśnień w sieci gazociągowej na podstawie oszacowanego modelu, wykorzystano próby testowe składające się z danych pomiarowych pochodzących ze stanu zdatności oraz ze sztucznie wprowadzonymi uszkodzeniami, których opis przedstawiono w tab. 3. Szczegółowe wykresy scenariuszy symulujących odpowiednio nominalne warunki pracy i poszczególne uszkodzenia oraz odpowiadające im wykresy przebiegu wartości residuów zostały przedstawione na rys. 4 – 11.

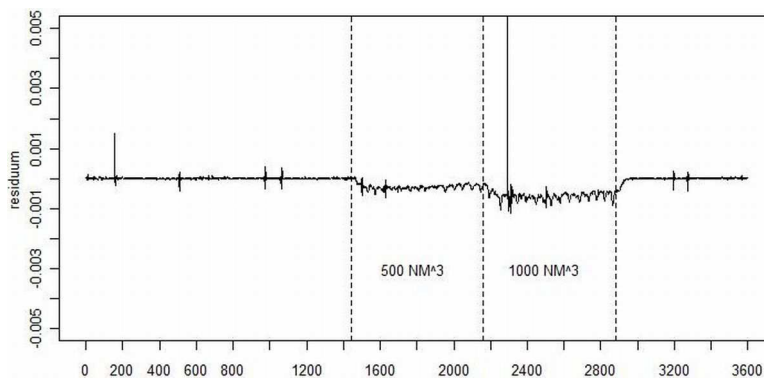
Tab. 3. Scenariusze symulacji uszkodzeń

Nazwa uszkodzenia	Opis	Wartość
Wyciek 1	W połowie pomiędzy stacjami Trojany a Niegów (przepływ nominalny około 6000 NM ³)	500 NM ³
		1000 NM ³
Wyciek 2	W połowie pomiędzy stacjami Ostrołęka a Otok (przepływ nominalny około 600 NM ³)	150 NM ³
		300 NM ³
Ciśnienie 1	Obniżenie ciśnienia w stacji Niegów (wartości aktualnej)	-2%
		-5%
		-10%
Ciśnienie 2	Podwyższenie ciśnienia w stacji Ostrołęka (wartości aktualnej)	+2%
		+5%
		+10%

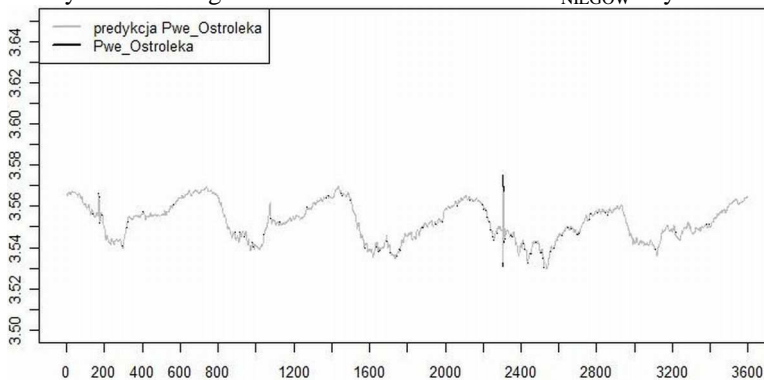
Residuum w momencie symulacji uszkodzenia ciśnienie 1 (-2%) zmienia swoją wartość z 0 na ok. -0.07. Następnie w momencie symulacji uszkodzenia ciśnienie 1 (-5%) powtórnie zmienia swoją wartość z -0.07 na ok. -0.17. W momencie symulacji ciśnienie 1 (-10%) powtórnie zmienia swoją wartość z -0.17 na ok. -0.36, aż do momentu powrotu do stanu zdatności. Model jest wyraźnie czuły na wystąpienie tego uszkodzenia. Podobnie sytuacja wygląda w przypadku uszkodzenia ciśnienie 2. W przypadku symulacji wycieku 1 reakcja residuum jest dużo mniejsza, zaś w przypadku wycieku 2 o mniejszej skali, reakcja residuum jest już mało wyraźna.



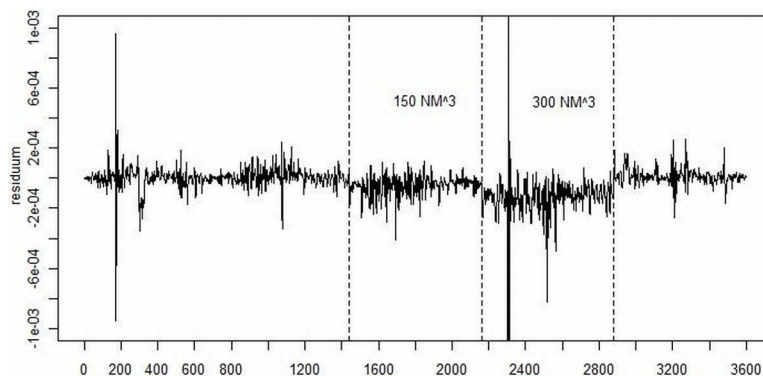
Rys. 6. Przebieg wielkości odtwarzanej oraz wyjścia dla modelu MOD^{GAM}_{NIEGOW} : wyciek 1



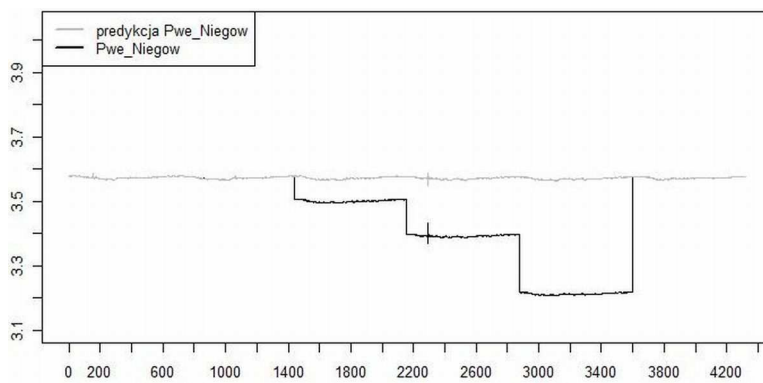
Rys. 7. Przebieg residuum dla modelu MOD^{GAM}_{NIEGOW} : wyciek 1



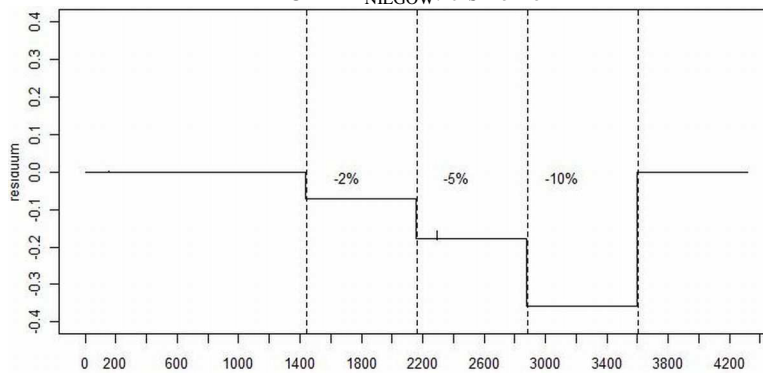
Rys. 8. Przebieg wielkości odtwarzanej oraz wyjścia dla modelu $MOD^{GAM}_{OSTROLEKA}$: wyciek 2



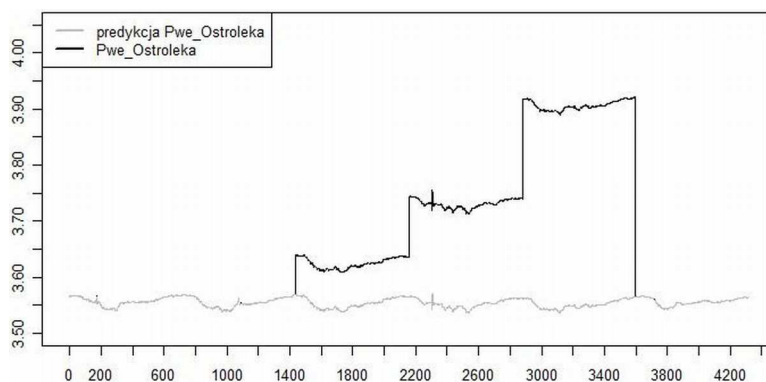
Rys. 9. Przebieg residuum dla modelu MOD^{GAM}_{OSTROLEKA}: wyciek 2



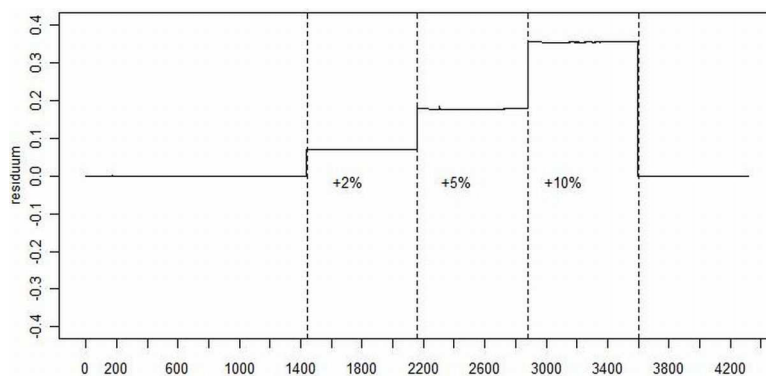
Rys. 10. Przebieg wielkości odtwarzanej oraz wyjścia dla modelu MOD^{GAM}_{NIEGOW}: ciśnienie 1



Rys. 11. Przebieg residuum dla modelu MOD^{GAM}_{NIEGOW}: ciśnienie 1



Rys. 12. Przebieg wielkości odtwarzanej oraz wyjścia dla modelu $MOD^{GAM}_{OSTROLEKA}$: ciśnienie 2



Rys. 13. Przebieg residuum dla modelu $MOD^{GAM}_{OSTROLEKA}$: ciśnienie 2

4. Wnioski

W pracy zaprezentowano efektywne rozwiązanie umożliwiające modelowanie i przewidywanie rozkładu ciśnienia w ściśle określonym węzle sieci gazociągowej za pomocą addytywnego modelu regresji dla potrzeb monitorowania stanu sieci gazociągowej. Jest to nowe podejście w diagnostyce procesów przemysłowych, umożliwia uchwycenie trudno wyczuwalnych zależności oraz modelowanie procesów z nieliniowościami o trudnej do określenia postaci, dzięki zastosowaniu naturalnej kubycznej funkcji sklepanej.

Na podstawie analizy parametrów statystycznych oraz charakteru przebiegów czasowych residuów w stanie normalnej pracy instalacji można stwierdzić, że otrzymane wyniki badań są zadowalające. Dokładność odtwarzanych wartości ciśnień waha się w granicach do około 0,015 MPa, przy średniej wartości ciśnień równej ok. 3.6 MPa, tj. 0.5% błędzie względnym. Stąd zaprezentowane metody pozwoliły na skonstruowanie modeli dobrze odzwierciedlających dynamikę procesu. Dla wykorzystanych czterech zestawów danych testowych, wrażliwość na uszkodzenia powodujące zmianę ciśnienia jest bardzo

wyraźna. Jednakże ze względu na dużą ściśliwość gazu oraz zmienny strumień gazu, który jest funkcją zapotrzebowania na gaz, na który dostawca nie ma wpływu, wartości residuum wyznaczone z modeli rozkładu ciśnienia w sieci nieznacznie będą się zmieniać. Stąd znacznie trudniejszym zadaniem jest monitorowanie sieci przesyłu gazu ziemnego, niż monitorowanie rurociągów cieczy.

Podziękowania

Niniejsza praca była częściowo finansowana w ramach projektu badawczego rozwojowego „Badania nad systemami detekcji i lokalizacji nieszczelności rurociągów”, nr O R00 0013 06 oraz grantu promotorskiego KBN „Wykorzystanie addytywnego modelu regresji do generacji residuów dla potrzeb detekcji uszkodzeń”, nr N N514 238337.

Literatura

1. Kościelny J.M.: Diagnostyka procesów przemysłowych. EXIT, Warszawa, 2001.
2. Larose D.T.: Discovering Knowledge in Data: An Introduction to DATA MINING. Wiley, 2005.
3. Hastie T., Tibshirani R.: Generalized additive models. Chapman and Hall, 1990.
4. Łabęda Z.M.: Wykorzystanie addytywnego modelu regresji w eksploracyjnej analizie danych. VI Sympozjum Modelowanie i Symulacja Komputerowa w Technice, Łódź, 2008.
5. Łabęda Z.M.: Additive model applications for the fault detection of actuators. Pomiary, Automatyka i Kontrola, Vol.55, nr 3, 2009, 152-155.
6. Łabęda Z.M.: Modele addytywne w układzie detekcji uszkodzeń w stacji wyparnej. IX Międzynarodowa Konferencja Diagnostyka Procesów i Systemów, Gdańsk 2009, "Systemy wykrywające, analizujące i tolerujące usterki. Automatyka i Informatyka", Pomorskie Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, rozdział 13, 113-120.
7. Łabęda Z.M.: Smoothing parameters selection in the additive regression models approach for the fault detection scheme, IV Konferencja Naukowo-Techniczna Doktorantów i Młodych Naukowców, Warszawa, 2009, materiały konferencyjne, 299-306.
8. Łabęda Z.M.: The backfitting and marginal integration estimators for additive models. IV Konferencja Naukowo-Techniczna Doktorantów i Młodych Naukowców, Warszawa, 2009, materiały konferencyjne, 307-314.
9. Kościelny J.M., Syfert M., Wnuk P.: Advanced monitoring and diagnostic system 'AMandD'. Problemy Eksploatacji, Vol.2, nr 61, 2006, 169-179.
10. Good P.I. Introduction to statistics through reasampling methods and R/S-PLUS. Wiley, 2005.

Mgr Zofia M. ŁABĘDA-GRUDZIAK

Instytut Automatyki i Robotyki

Wydział Mechatroniki

Politechnika Warszawska

02-525 Warszawa, ul. Św. Andrzeja Boboli 8

tel.: (22) 849 96 16

e-mail: z.labeda@mchtr.pw.edu.pl