

prof. dr hab. inż. Jan Maciej Kościelny

Zaawansowana diagnostyka w przemyśle 4.0

XXIII Konferencja Automatyków - RYTRO 2019



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki



Plan wystąpienia

2

1. Wprowadzenie: czym charakteryzuje się czwarta rewolucja przemysłowa (Przemysł 4,0)
2. Cechy zaawansowanego podejścia do diagnostyki obiektów technicznych
3. Nowa generacja układów realizujących funkcje diagnostyczne
4. Podsumowanie



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki



Czwarta rewolucja przemysłowa = Przemysł 4.0

3

- Unifikacja rzeczywistego świata maszyn produkcyjnych ze światem wirtualnym Internetu Rzeczy (IoT) i technologii informacyjnej
- Elementami nowego podejścia są:
 - wykorzystanie wiedzy oraz automatycznego pozyskiwania wielkich zbiorów danych z urządzeń,
 - digitalizacja i automatyzacja, wykorzystanie robotów,
 - komunikacja z wykorzystaniem IoT,
 - nasycenie urządzeń sensorami i mikroprocesorami,
 - zastosowanie sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego,
 - wysoka niezawodność, bezpieczeństwo i cyberbezpieczeństwo urządzeń i aparatów technologicznych
 - zdolność do samodoskonalenia, samonastajania, samoadaptacji do zmieniających się warunków pracy, **samodiagnozowalność**, a także zdolność do samonaprawy.



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki



Zaawansowana diagnostyka cechą Przemysłu 4.0

4

Zaawansowana diagnostyka realizowana automatycznie w czasie rzeczywistym jest jednym z wyróżników nowego podejścia do optymalizacji produkcji w nowoczesnych rozwiązaniach technologicznych określanych jako Przemysł 4.0.

Klasyczne podejście do diagnostyki polegało na kontroli ograniczeń poszczególnych wielkości fizycznych.

W zaawansowanej diagnostyce do detekcji uszkodzeń wykorzystywane są **metody bazujące na modelach ilościowych lub jakościowych** diagnozowanego obiektu oraz metody klasyfikacji lub wnioskowania automatycznego do lokalizacji uszkodzeń.

To podejście umożliwia wczesne rozpoznawanie nagłych uszkodzeń nawet o małych rozmiarach, a także prognozowanie uszkodzeń narastających (monitorowanie stopnia degradacji).



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki



Cechy zaawansowanego podejścia do diagnostyki

5

Kluczowymi elementami nowych rozwiązań będą:

- duże nasycenie nowej generacji maszyn, urządzeń i aparatów technologicznych sensorami i mikroprocesorami, które umożliwia realizację zaawansowanej diagnostyki,
- wykorzystanie technologii IIoT,
- wykorzystanie pomiarów wielkości fizycznych, na które bezpośrednio wpływają powstające uszkodzenia; pojawią się nowe rodzaje sensorów, a w szczególności sensory uszkodzeń,
- decentralizacja zadań,
- zastosowanie modeli obiektu do detekcji i predykcji uszkodzeń, przede wszystkim samouczących modeli bazujących na technikach sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego,
- realizacja funkcji samo-naprawy na zasadzie zapewnienia zdolności tolerowania uszkodzeń.



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki



Decentralizacja zadań diagnostycznych

6

Decentralizacja zadań diagnostycznych polega na wyposażeniu urządzeń automatyki i urządzeń technologicznych w wbudowane lub autonomiczne jednostki diagnozujące. Zamiast jednego centralnego systemu diagnozującego złożony obiekt występuje wiele pracujących równolegle inteligentnych jednostek diagnozujących przyporządkowane im urządzenia.

Własności nowych urządzeń:

- urządzenia sieciowe, podłączone do IIoT,
- autonomiczne lub wbudowane w urządzenie,
- realizują wszystkie funkcje w czasie rzeczywistym,
- funkcje samouczenia – budowy modeli reprezentujących stan normalny na podstawie danych pomiarowych,
- wykorzystanie technik sztucznej inteligencji



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki



Nowa generacja układów realizujących funkcje diagnostyczne⁷

Nowe rodzaje urządzeń:

- Sensory uszkodzeń
- Izolatory pojedynczych uszkodzeń
- Detektory uszkodzeń
- Analizatory uszkodzeń
- Predyktory uszkodzeń

Urządzenia te mogą być realizowane jako autonomiczne lub wbudowane w urządzenie

Detektor gazów palnych. CO, NO, NO₂



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki



Sensory uszkodzeń⁸

Sensory uszkodzeń są jednostkami sieciowymi, których zadaniem jest pomiar wielkości fizycznej stanowiącej uszkodzenie lub detekcja wystąpienia danego uszkodzenia.

- **Bezpośredni pomiar wielkości fizycznych stanowiących uszkodzenie** jest optymalnym rozwiązaniem systemu diagnostycznego.
- Istnieją już urządzenia pomiarowe dla wielu uszkodzeń: sensory korozji, detektory płomienia, wycieku gazów palnych i toksycznych, wycieków cieczy.
- **Nie wszystkie uszkodzenia mogą być bezpośrednio mierzone**, a zatem realizacja takiej struktury jest w praktyce możliwa tylko w szczególnych przypadkach.
- **Urządzenia pomiarowe ulegają także uszkodzeniom**, zatem przyczyną symptomu może być zarówno wystąpienie wykrywanego uszkodzenia jak też uszkodzenie sensora.



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki

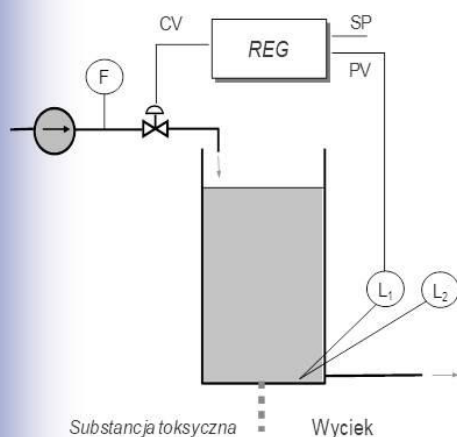


Izolatory pojedynczych uszkodzeń

9

Izolatory uszkodzeń są jednostkami sieciowymi, których zadaniem jest rozpoznanie, tj. detekcja i lokalizacja, jednego, konkretnego uszkodzenia, **zwykle uszkodzenia krytycznego**.

Koncepcja izolatora uszkodzenia - wycieku substancji toksycznej ze zbiornika buforowego



Detekcja z wykorzystaniem modeli:

$$r_1 = F - \alpha_{12} S \sqrt{2gL_1} - A \frac{dL_1}{dt}$$

$$r_2 = F - \alpha_{12} S \sqrt{2gL_2} - A \frac{dL_2}{dt}$$

$$r_3 = F - \hat{F} = F - f(CV)$$

$$r_4 = L_1 - L_2$$

Wnioskowanie:

$$\text{if } (s_1 = 1) \wedge (s_2 = 1) \wedge (s_3 = 0) \wedge (s_4 = 0) \text{ then } f_1$$



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki



Izolatory pojedynczych uszkodzeń

10

Porównując działanie konwencjonalnego systemu alarmowego z izolatorem uszkodzenia można stwierdzić, że:

- w systemie alarmowym wyciek może zostać niewykryty ze względu na maskujące działanie obwodu regulacji - detekcja jest niepewna.
- wnioskowanie o przyczynie alarmów, zgodnie z zależnością:

$$\text{IF } L_{1LO} \wedge L_{2LO} \wedge \neg F_{LO} \text{ THEN } f_1$$

prorowadzone jest przez operatora, co może powodować dodatkowe opóźnienia. Opóźnienia wnioskowania spowodowane są także od różnicy między wartością poziomu medium w chwili awarii i dolnym ograniczeniem LO LIMIT.

- czas rozpoznania wycieku substancji toksycznej jest zdecydowanie szybszy w przypadku sensora uszkodzenia. Zależy on od przyjętych ograniczeń residuów, ale rozpoznanie uszkodzenia w sposób automatyczny jest szybkie i pewne.



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki



Detektory uszkodzeń

11

Detektory uszkodzeń są jednostkami sieciowymi, których zadaniem jest detekcja uszkodzeń w określonym urządzeniu

- Zastosowanie modeli jakościowych lub ilościowych dla stanu normalnego
- Samostrojenie modeli w początkowej fazie eksploatacji
- Sygnalizacja detekcji przez sieć



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki

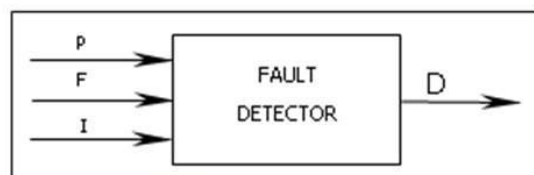
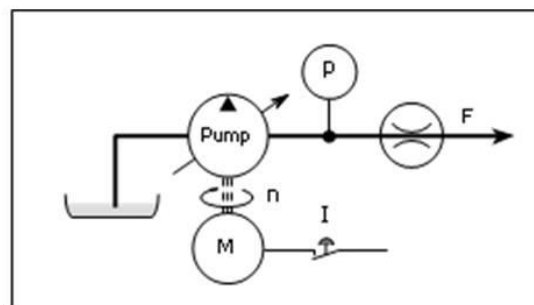
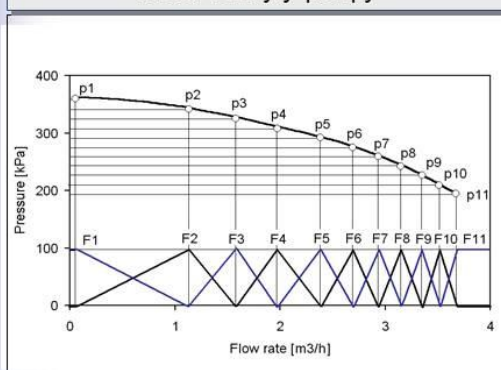


Detektor uszkodzeń pompy

12

Przykładem detektora uszkodzeń wykorzystującym model ilościowy jest jednostka kontrolująca charakterystykę $p(F)$ pompy wirnikowej, tj. zależność ciśnienia p w zależności od strumienia objętościowego F tłoczonego medium.

Model rozmyty pompy



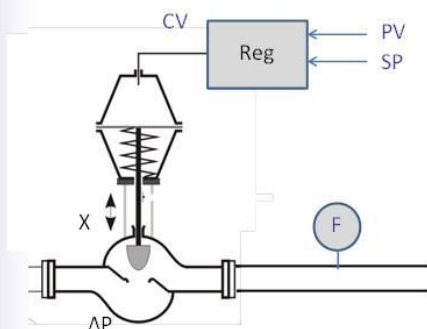
Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki



Detektor uszkodzeń zespołu wykonawczego

13

Detektor wykorzystuje modele jakościowe – w postaci reguł



Prawidłowe działanie zaworów NO i NZ określają reguły:

- Jeśli zawór regulacyjny jest NO i sygnał sterujący CV rośnie to przepływ F przez zawór maleje
- Jeśli zawór regulacyjny jest NO i sygnał sterujący CV maleje to przepływ F przez zawór rośnie
- Jeśli zawór regulacyjny jest NZ i sygnał sterujący CV rośnie to przepływ F przez zawór rośnie
- Jeśli zawór regulacyjny jest NZ i sygnał sterujący CV maleje to przepływ F przez zawór maleje

Stwierdzenie niezgodności danych pomiarowych z odpowiednią regułą świadczy o wystąpieniu uszkodzenia lub zaistnieniu cyberataku.



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki



Analizatory uszkodzeń

14

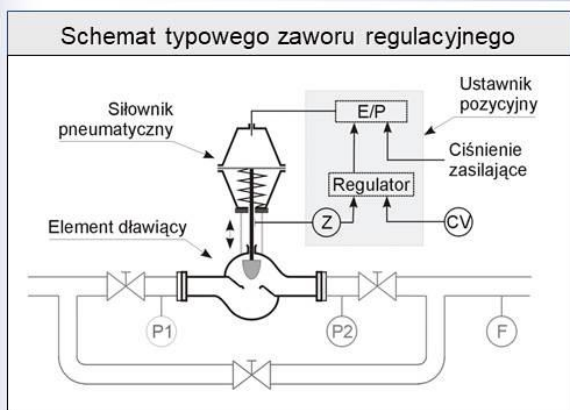
Analizatory są jednostkami sieciowymi, których zadaniem jest detekcja i lokalizacja uszkodzeń w określonym urządzeniu

Analizatory uszkodzeń pobierają dane o wartościach sygnałów pomiarowych i sterujących przez sieć, do której są podłączone. Przez tą sieć przekazują również informacje diagnostyczne do nadrzędnych jednostek komputerowych. Analizatory uszkodzeń mogą być niezależnymi urządzeniami lub też mogą stanowić element sterowników mikroprocesorowych, np. ustawników pozycyjnych do zaworów regulacyjnych.



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki





Cechy

- detekcja i lokalizacja uszkodzeń
- przesyłanie komunikatów o stanie
- zastosowanie modeli dla stanu normalnego
- strojenie modeli
- Zastosowanie wnioskowania rozmytego do lokalizacji uszkodzeń

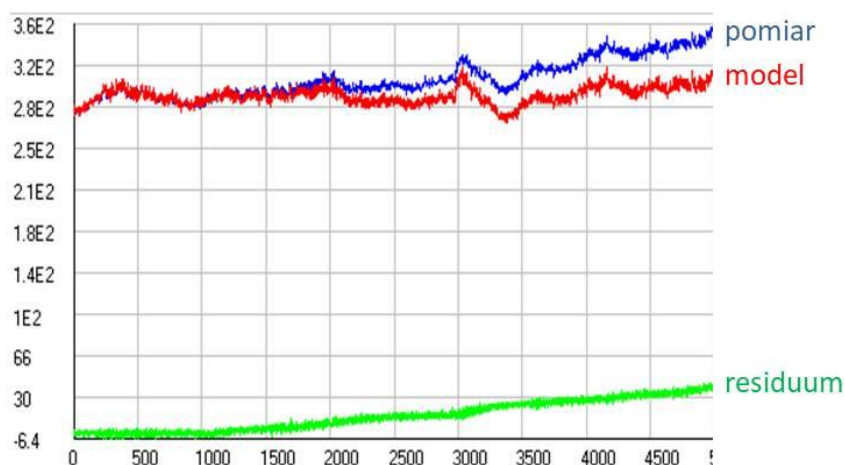
Dostępne sygnały

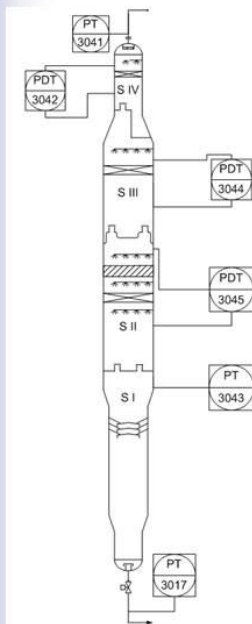
- CV – sygnału sterującego
- Z – pozycji zaworu
- P1 – ciśnienia medium w instalacji przed zaworem
- P2 – ciśnienia medium w instalacji za zaworem
- F – przepływu medium przez zawór

Uszkodzenia

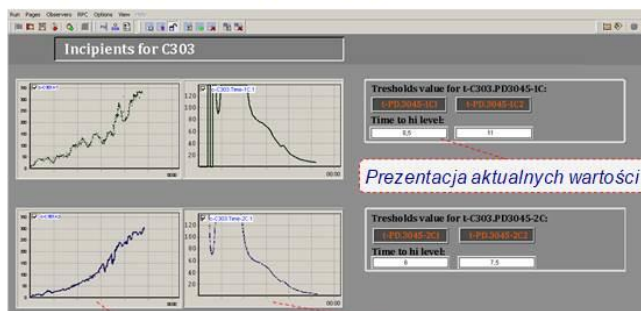
- zaworu regulacyjnego
- siłownika
- pozycjonera
- torów pomiarowych

Predyktory uszkodzeń są jednostkami sieciowymi, których zadaniem jest predykcja uszkodzenia narastającego oraz ewentualnie szacowanie czasu do wystąpienia stanu krytycznego





- Na dole kolumny zbierają się najcięższe frakcje, co powoduje wysoki stopień zakoksovania.
- Proces czyszczenia instalacji i aparatury kontrolno pomiarowej wymaga zatrzymania instalacji i całkowitego odstawienia procesu.
- Ze względu na koszt takiej operacji realizowana jest ona okresowo w czasie planowych remontów i postojów instalacji.
- Wydłużenie okresów remontowych przynosi istotne oszczędności, ale zwiększa ryzyko awarii.



Przebiegi wyznaczanych współczynników zakoksovania

Prezentacja przebiegów aproksymowanego czasu do osiągnięcia krytycznej wartości



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki



Podsumowanie

Koncepcja nowej rodziny jednostek diagnostycznych jest ofertą IAiR PW skierowaną do przemysłu

Decentralizacja funkcji diagnostycznych prowadzi do:

- dekompozycji i rozproszeniu procesu diagnozowania złożonych instalacji
- skrócenia czasu uzyskania diagnozy, dzięki równoległej realizacji funkcji diagnostycznych przez wiele urządzeń
- uproszczenia algorytmów wnioskowania diagnostycznego
- łatwości rozpoznawania uszkodzeń krotnych w całym procesie
- zwiększenia odporności systemu diagnostycznego ze względu na to, że skutki uszkodzeń poszczególnych jednostek diagnozujących mają znaczenie lokalne

Zdecentralizowana diagnostyka realizowana automatycznie w czasie rzeczywistym jest jednym z wyróżników nowego podejścia do optymalizacji produkcji w nowoczesnych rozwiązaniach technologicznych określanych jako Przemysł 4.0.



Politechnika Warszawska
Instytut Automatyki i Robotyki

