

mgr inż. Zbigniew Borkowicz\*, mgr inż. Maciej Cader\*/\*\*, mgr inż. Jacek Ciechański\*\*, mgr inż. Grzegorz Grzesiak\*, mgr inż. Grzegorz Kowalski\*, mgr inż. Konrad Rokicki\*\*, Paweł Wittels\*\*

\* - PIAP, Al.Jerozolimskie 202, 02-486 Warszawa

\*\* - Politechnika Warszawska

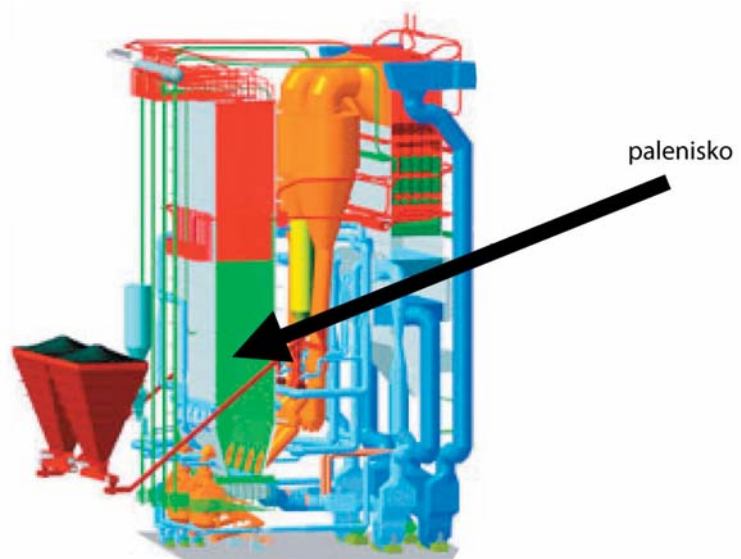
## SYMULACYJNE I OBIEKTOWE BADANIA MOBILNEGO ROBOTA DIAGNOSTYCZNEGO SPIDER

*W pracy przedstawione zostały ostatnie etapy opracowania robota spider. Eksperymenty funkcjonalne były prowadzone zarówno we własnych laboratoriach, jak i bezpośrednio w obiektach przemysłowych charakteryzujących się różnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi. Równocześnie opracowano wirtualny model platformy mobilnej, który został poddany badaniom symulacyjnym w środowiskach MATLAB i ADAMS. Wyniki badań posłużyły do usprawnienia konstrukcji robota znajdującego się w fazie wdrożeniowej.*

### VIRTUAL MODEL SIMULATIONS AND INDUSTRIAL TRIAL RUNS OF THE MOBILE DIAGNOSTIC SPIDER-ROBOT

*The paper describes last steps of the R&D and the implementation of the spider-robot. The spider-robot was tested at the laboratory and in the industrial pulverised fuel fired boilers and fluidised bed boilers. The virtual model of the mobile robot was prepared with CAD-3D and put to the tests using MATLAB program and ADAMS simulation system environment. The test and research results was used to improve the robot design by modifying the details of the components and technology.*

Mobilny robot spider wchodzi w skład zrobotyzowanego systemu przeznaczonego do diagnozowania zużycia strefy paleniskowej energetycznych kotłów dużej mocy (od kilkudziesięciu do kilkuset MW) wykorzystywanych do produkcji gorącej wody i pary w zawodowych zakładach energetycznych i ciepłowniach. W Polsce można szacować liczbę tego typu kotłów - opalanych głównie węglem kamiennym lub brunatnym - na około 1000 sztuk. Na rysunku 1 pokazano przykład krajowego kotła. Wysokość obiektu sięga 50 m.



Rys. 1. Konstrukcja kotła dużej mocy  
(za zgodą RAFAKO S.A.)

Do poruszania się po pionowych ścianach paleniska spider wykorzystuje chwytaki magnetyczne i napędy pneumatyczne. Rys. 2 przedstawia fotografię robota umocowanego do testowej ściany oraz skomputeryzowane stanowisko operatora. Długość robota niewiele przekracza 70 cm, natomiast jego masa 20 kg.



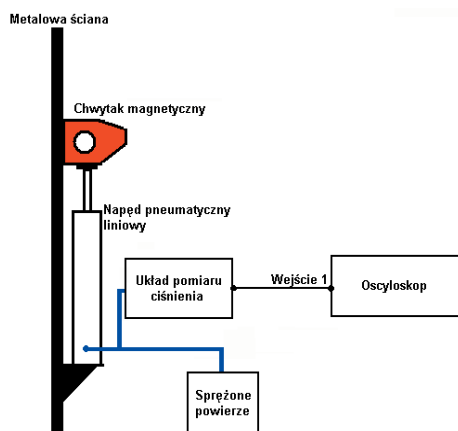
Rys. 2. Robot spider



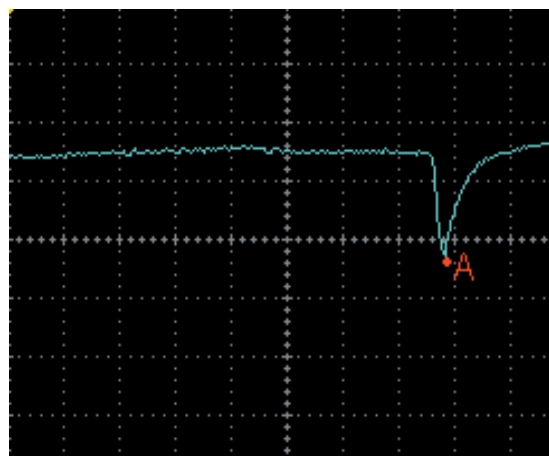
Badania laboratoryjne obejmowały zarówno wątek eksperymentalny, jak i symulacyjny. Część eksperymentalną badań laboratoryjnych robota zrealizowano z wykorzystaniem trzech własnych ścian testowych o wysokości od 1 m do 6 m. Największa z nich została pokazana na rys. 3. Badania siły mocowania chwytaków do ściany wykonano na stanowisku pomiarowym wyposażonym w układ pneumatyczny wymuszający pionową siłę zrywającą podobną do działającego ciężaru robota, tak jak to pokazano na rys. 4. Pomiary przeprowadzono dla różnych typów powierzchni ścian uzyskując dodatkowe informacje dotyczące możliwości transportowych robota.



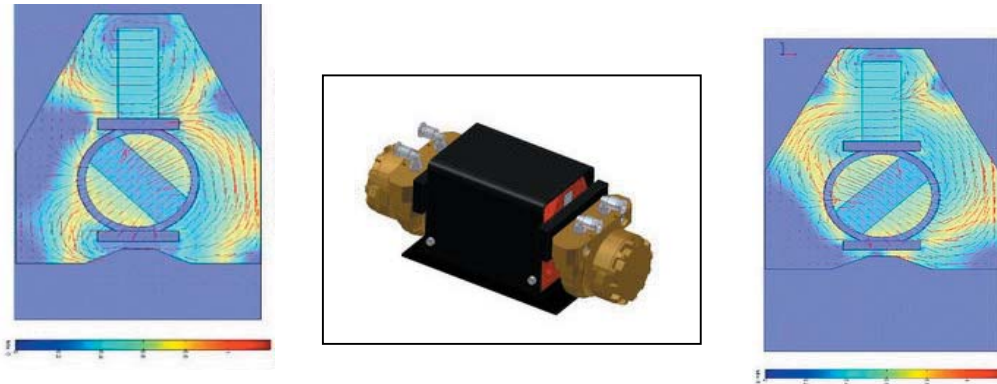
Rys. 3. Duża ściana testowa



Rys. 4. Układ pomiarowy siły przylegania chwytaków



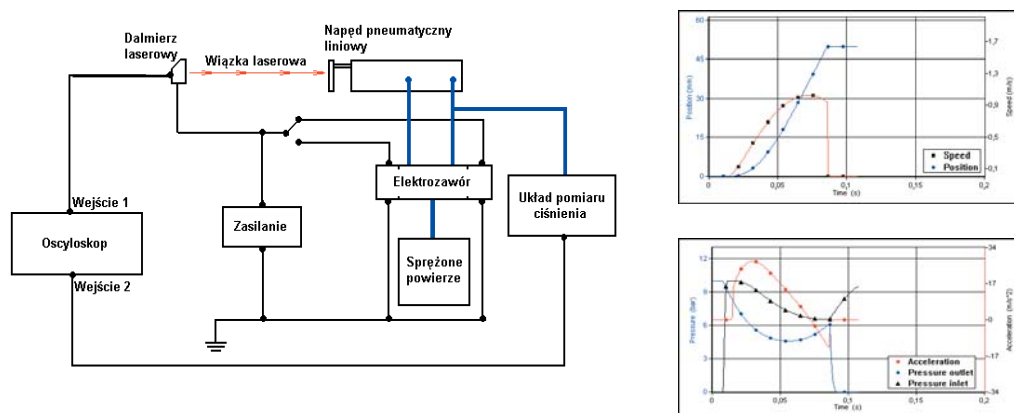
Badania laboratoryjne zostały rozszerzone o komputerowe symulacje rozkładu pola magnetycznego (rys. 5), a także obliczenia fizycznej siły przylegania nabiegowników jako całki tensora naprężeń na powierzchni granicznej.



Rys. 5. Wyniki komputerowej symulacji rozkładu pola magnetycznego we wnętrzu chwytaka w dwóch pozycjach rotora: pole magnetyczne włączone (rysunek z lewej strony), pole magnetyczne wyłączone (rysunek z prawej strony)

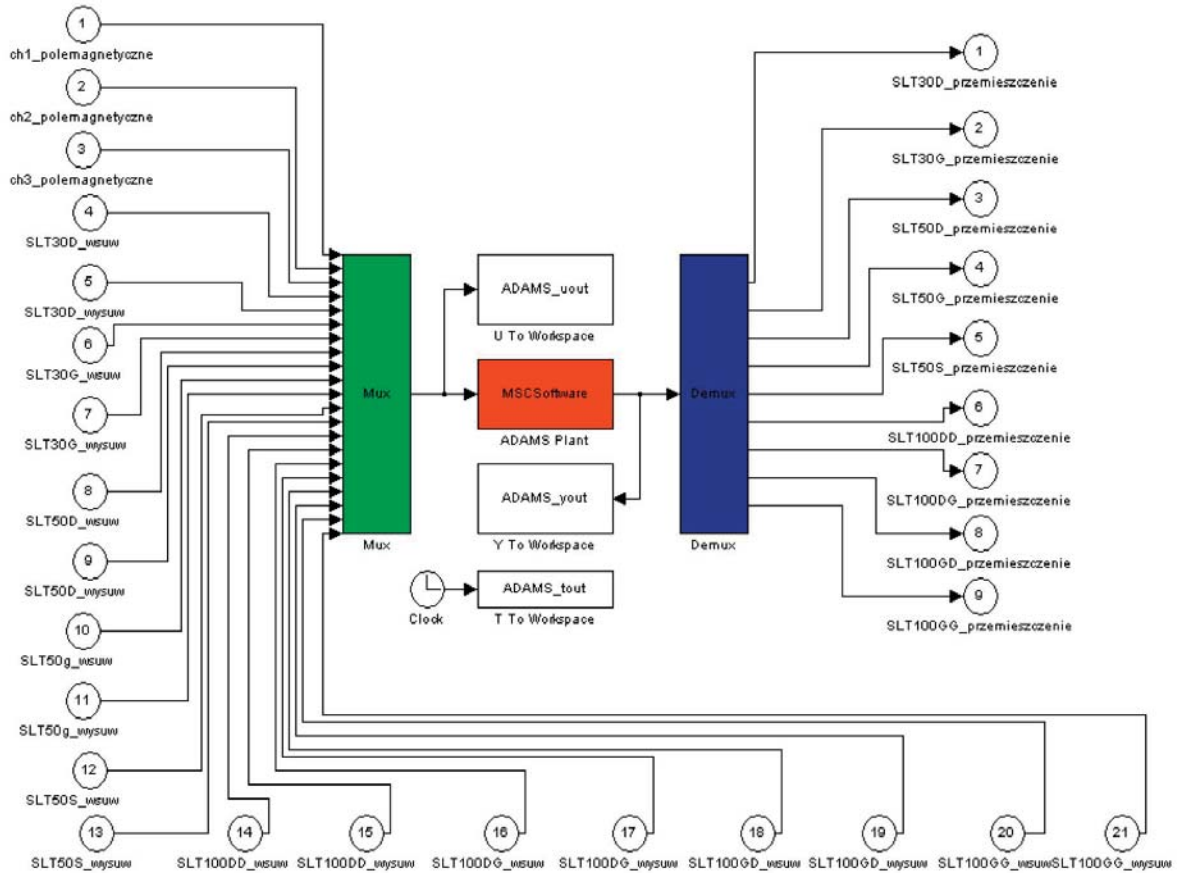
Badania magnetyczne m.in. ułatwiły wprowadzenie specjalnych nabiegowników chwytaków dopasowujących je do modułu konstrukcyjnego rur ekranowych kotłów oraz zwiększających ich żywotność, a także opracowanie ekranów magnetycznych zabezpieczających układy elektroniczne przed zakłóceniami generowanymi w przewodach podczas przełączania pola. Zakłócenia indukowane przez silne pola magnetyczne są bardzo niebezpieczne szczególnie w konstrukcjach kompaktowych, do jakich należy spider.

Badania napędów pneumatycznych oraz całego robota były i są nadal prowadzone z wykorzystaniem m.in. precyzyjnych, laserowych układów pomiarowych (rys. 6) oraz symulacji statycznych i dynamicznych. Umożliwiają tworzenie bazy danych zawierającej np. związki czasowych zależności: ciśnień, przepływów, sił, przemieszczeń i przyspieszeń, potrzebnych dla prowadzenia analizy pracy robota.



Rys. 6. Układ do badania dynamicznych napędów pneumatycznych oraz przykładowe wyniki otrzymane z firmowego symulatora producenta siłowników pneumatycznych (FESTO)

Badania te mają na celu określenie podstawowych parametrów sterowania (czasowe parametry graniczne, sprężyny pneumatyczne) oraz optymalizowanie prostych ruchów i trajektorii robota w różnych warunkach, co jest konieczne z uwagi na planowanie wprowadzania aspektu samodzielności do systemu sterowania spidera.



Rys. 7. Schemat układu, który odpowiada za współpracę programów Matlab i Adams

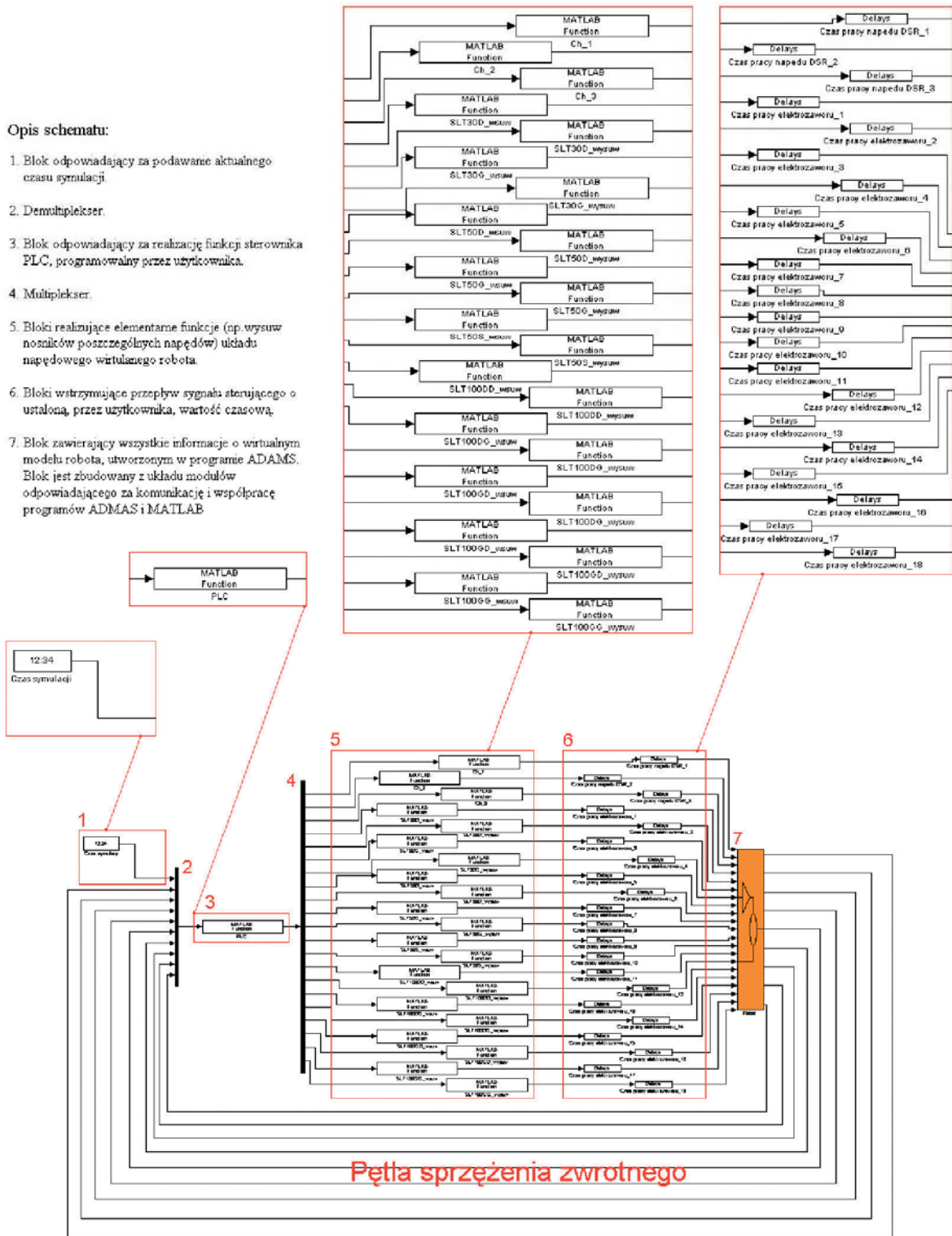
Pierwszym krokiem w tym kierunku było przygotowanie wirtualnego, dynamicznego modelu robota i przeprowadzenie wybranych badań symulacyjnych z wykorzystaniem skojarzonych środowisk MATLAB i ADAMS (rys. 7).

Na rys. 8 przedstawiono schemat części układu sterowania wirtualnym robotem (rys. 9) zawierający bloki funkcyjne programu MATLAB oraz wiele obwodów sprzężenia zwrotnego.

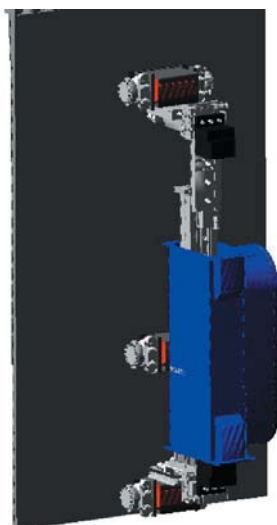
Badania laboratoryjne, oprócz platformy mobilnej robota obejmowały również jego układy pomiarowe i komunikacyjne. Na rys. 10 pokazano działanie obecnie najważniejszego modułu pomiarowego: liniowego, triangulacyjnego skanera laserowego do pomiaru zużycia ścianek rur ekranowych, który porównując zmierzony profil (oczyszczonej) rury z jej pierwotnym kształtem, oblicza (erozyjny i korozyjny) ubytek grubości ścianek rur paleniskowych.

Opis schematu:

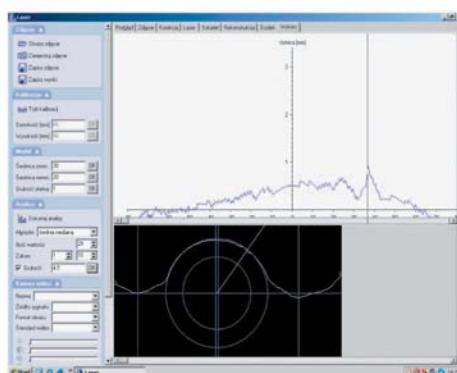
1. Blok odpowiadający za podawanie aktualnego czasu symulacji
2. Demultiplexer
3. Blok odpowiadający za realizację funkcji sterownika PLC, programowalny przez użytkownika.
4. Multiplexer
5. Bloki realizujące elementarne funkcje (np. wysuw nosników poszczególnych napędów) układu napędowego wirtualnego robota.
6. Bloki wstrzymujące przepływ sygnału sterującego o ustaloną, przez użytkownika, wartość czasową.
7. Blok zawierający wszystkie informacje o wirtualnym modelu robota, utworzonym w programie ADAMS. Blok jest zbudowany z układu modułów odpowiadającego za komunikację i współpracę programów ADAMS i MATLAB



Rys. 8. Schemat sterowania wirtualnym robotem



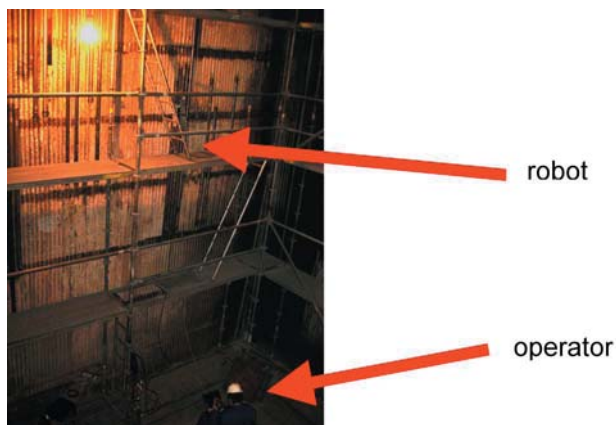
Rys. 9. Wirtualny model robota spider



Rys. 10. Skaner laserowy: fotografia liniowej wiązki lasera na powierzchni rur, okno aplikacji komputerowej skanera

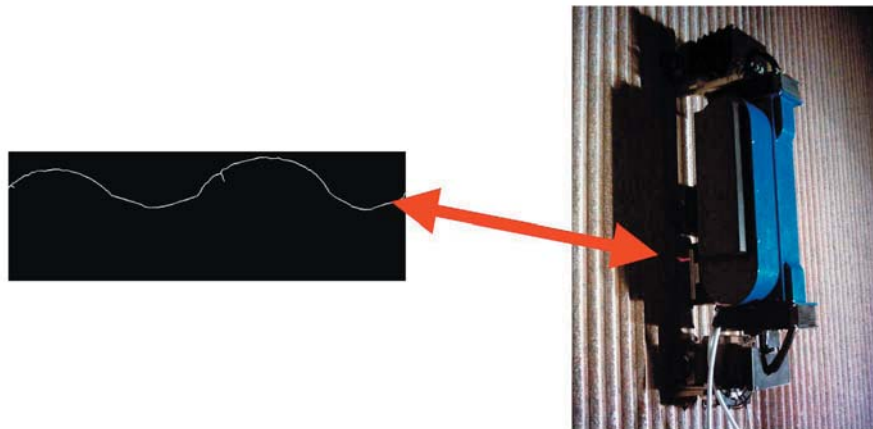
Postęp technologiczny w ostatnich latach dostarcza wielu nowych możliwości w sferze podzespołów – szczególnie czujników i przetworników – ale również układów akwizycji danych. Utrzymanie poziomu konstrukcji nawet w fazie wdrożeniowej wymaga kontynuowania badań laboratoryjnych.

Próby obiektowe są ostatecznym sprawdzianem nowej konstrukcji. Również robot spider został poddany takim próbom – zarówno w kotłach pyłowych, jak i fluidalnych – w Elektrowni Siersza i Elektrowni Opole. Na rys. 11 pokazano wnętrze kotła podczas przed-remontowych prac diagnostycznych.



Rys. 11. Próby obiektowe spidera

Poniżej, na rys. 12, pokazano robota pracującego na ścianie kotła. W cieniu korpusu robota, na powierzchni rur ekranowych, widoczna wiązka lasera w kolorze czerwonym. Obok zamieszczono wynikiowy rezultat działania oprogramowania skanera.



Rys. 12. Robot podczas prób w kotle

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania laboratoryjne i obiektowe pozwoliły na przeniesienie konstrukcji robota z fazy prototypowej w użytkową. Skutkiem tych eksperymentów otrzymano platformę mobilną robota zdolną do działania w szerszym zakresie średnic rur ekranowych charakteryzujących wszystkie typy kotłów energetycznych. Zastosowane zostały nowe - bardziej intensywne - chwytaki magnetyczne, a konstrukcja korpusu uległa przekształceniom technologicznym. Wyposażenie robota (układy: pomiarowe, sterowania, bezprzewodowej komunikacji cyfrowej) zostało zminiaturyzowane, co nie pogorszyło parametrów użytkowych, ale przez zastosowanie układów o wyższym stopniu integracji, spowodowało wzrost jego sprawności.

## LITERATURA

- [1] Borkowicz Z., Będkowski J., Cader M., Kowalski G.: SPIDER – a mobile robot for industry, WESIC, Warszawa 21-22 czerwca 2007 r. str. 184-191.
- [2] Borkowicz Z.: Zrobotyzowany system do badania zużycia energetycznych kotłów dużej mocy, XI Forum Energetyków GRE2008, Szczyrk 19-21 maja 2008 r. str. 53-54.
- [3] Dudek B., Czapaj R.: A Big Intelligent Job – a Discouragingly Difficult Challenge or a Chance for the Polish Power Industry, Energetyka nr 8 (652) maj 2008 r. str.370-375.
- [4] Borkowicz Z. Cader M.: Zrobotyzowany system do badania zużycia energetycznych kotłów dużej mocy, Energetyka nr 10 (652) październik 2008 r. str.657-658.
- [5] Frączek J., Wojtyra M.: Kinematyka układów wielocłonowych Metody obliczeniowe, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne 2008 r.