

Sławomir ZATOR\*  
Rafał GASZ\*

## WYKORZYSTANIE METOD WIZYJNYCH DO ANALIZY ODKSZTAŁCEŃ KOMPENSATORA PYŁOPRZEWODÓW

Podczas uruchomienia i rozruchu bloku energetycznego występują znaczne zmiany geometrii zarówno kotła jak i całej infrastruktury z nim połączonej m.in. pyłoprzewodów, w których aby zminimalizować naprężenia w pyłoprzewodach, wywołane przemieszczeniem kotła, montuje się kompensatory. Autorzy wykorzystują do pomiarów przemieszczeń metody wizyjne, w szczególności metodę fotogrametryczną. Dostępne programy komercyjne na podstawie serii zdjęć pozwalają uzyskać dane w postaci „chmury punktów”, a dopiero na ich podstawie możliwe jest stworzenie modelu typu mesh. Obecnie prowadzone są prace nad oprogramowaniem, które pozwalałoby na automatyczną akwizycję i analizę danych. Dla ułatwienia orientacji systemu pomiarowego na badanym obiekcie oraz w jego nieruchomym otoczeniu instalowane są markery z kodem 12-bitowym.

KEYWORDS: pyłoprzewody, pomiary, analiza obrazów, fotogrametria

### 1. WPROWADZENIE

Podczas krytycznych momentów eksploatacji kotła energetycznego (jego rozruchu lub odstawienia) obserwacji poddawane są m.in. zmiany topologii pyłoprzewodów [1]. Podczas odstawienia bloku występują znaczne zmiany geometrii zarówno kotła jak i całej infrastruktury z nim połączonej m.in. pyłoprzewodów, w których aby zmniejszyć negatywne skutki przemieszczeń i naprężeń, montuje się nich kompensatory. Kotły energetyczne podwieszane są na rusztowaniu, ponieważ ich przemieszczenia w czasie rozruchu i odstawiania osiągają wartości przekraczające 200, a nawet 500 mm [1].

Wydłużenie termiczne jest tym większe, im większy jest obiekt oraz im większe są różnice temperatur i większy jest współczynnik rozszerzalności materiału obiektu. Wahania temperatury i ciśnienia w rurociągach prowadzonych z wieloma załamaniami mogą się wzajemnie kompensować, co prowadzi do wyeliminowania niebezpiecznych naprężeń w instalacji.

Łatwym i tanim źródłem pozyskiwania danych dotyczących zmiany topologii instalacji energetycznych może być archiwum fotograficzne. Dzięki zdjęciom oraz wykorzystaniu metod fotogrametrycznych można w sposób automatyczny badać przesunięcie się poszczególnych elementów kotła.

---

\* Politechnika Opolska.

## 2. METODY POMIAROWE

Do niedawna w pomiarach przemieszczeń infrastruktury technicznej stosowano przede wszystkim metody geodezyjne, korzystając z niwelatorów, teodolitów i dalmierzy oraz tachimetrów. Obecnie wykorzystuje się elektroniczne tachimetry bezlustrkowe, w tym śledzące wyposażone w serwonapędy oraz coraz częściej skanery laserowe. Tachimetry pozwalają na szybki pomiar współrzędnych terenu i obiektów. W tachimetrii wyznacza się charakterystyczne pod względem wysokościowym punkty obiektu metodą biegunową, czyli dokonuje się pomiaru kąta i odległości. Zakres stosowania metody tachimetrycznej zależy od dokładności instrumentu użytego do pomiaru. Tachimetry śledzące umożliwiają pomiar do kilkunastu punktów.

Kolejną stosowaną techniką jest skaning laserowy. Charakterystyczną cechą tej technologii jest to, że w trakcie skanowania pozyskiwana jest bardzo duża ilość danych, które następnie poddaje się procesowi związanemu z ich filtracją i orientacją w przestrzeni. W zależności od charakteru obiektu określana jest ilość danych, które są przetwarzane.

Najbardziej obiecującą metodą pomiarową, pozwalającą dokonywać pomiarów na podstawie fotografii cyfrowych jest fotogrametria. Od strony dokładności pomiaru rozwiązanie to limituje, jakość użytego sprzętu, głównie fizyczna rozdzielczość matrycy CCD aparatu oraz zniekształcenia układu optycznego. Fotogrametria wnosi nową jakość, która pozwala fotorealistycznie widzieć powierzchnie zewnętrzne z dużą precyzją. Jednoczesne widzenie ukształtowania powierzchni obiektu i jej tekstury jest niezastąpione w diagnostyce, co czyni tę metodę substytutem także oceny wizualnej.

Oprogramowanie wykorzystywane w fotogrametrii pozwala na pracę zarówno z obrazami rastrowymi pochodzącymi ze specjalnych kamer fotogrametrycznych, wykorzystujących jeszcze błony światłoczułe lub szklane płyty, jak również z nowoczesnymi kamerami cyfrowymi. Precyzja wyznaczenia trójwymiarowych współrzędnych określonego punktu jest wprost proporcjonalna do rozdzielczości matrycy aparatu. Dla przykładu matryca 21 MPx pozwala określić położenie punktu z dokładnością 3 mm w odległości 15 m. Aby w pełni wykorzystać rozdzielczość matrycy, aparat przed użyciem powinien być skalibrowany. W oparciu o nią zdjęcia są idealizowane, następuje znaczna korekta zniekształceń układu optycznego aparatu. Najmocniejszą stroną fotogrametrii jest możliwość wizualizacji i budowania modeli geometrycznych ze zdjęć cyfrowych pozyskanych z różnych aparatów, sensorów i kamer bez konieczności określania współrzędnych stanowisk fotografowania.

### 3. POMIAR PRZEMIESZCZENIA KOMPENSATORA PYŁOPRZEWODÓW

W trakcie wygaszania kotła bloku energetycznego badano wpływ odkształcenia kotła energetycznego BP-1150 w osi Z na elementy infrastruktury z nim połączonej, szczególnie na kompensatory pyłoprzewodów, przedstawione na rys.1.



Rys. 1. Kompensatory poddane obserwacji

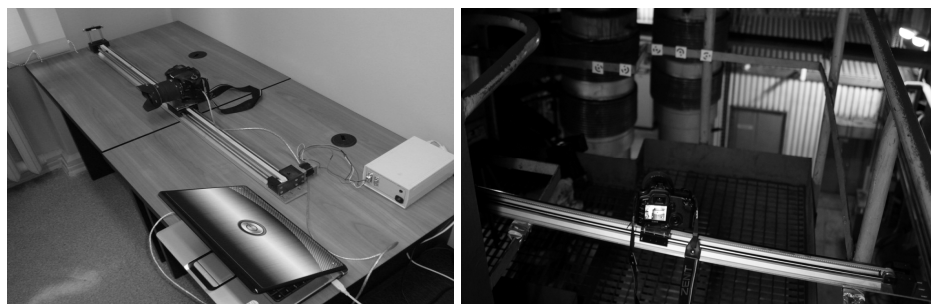
Dla kotła, którego wysokość wynosi ok. 100 m wydłużenie podczas rozruchu osiąga ok. 50 cm. Kocioł jest konstrukcją wiszącą i podczas odstawiania (ochładzania) jego długość się zmniejsza. Aby zminimalizować negatywne skutki przemieszczeń, powodujących naprężenia pyłoprzewodów, montuje się na nich szereg kompensatorów, które zostały zaprojektowane tak, aby niwelować w pełni przesunięcia w osi Z.

Na podstawie wniosków wyciągniętych z przeprowadzonych wcześniej badań ustalono, że w przypadku fotogrametrii do przeprowadzenia pomiarów przesunięcia się kompensatorów, nieruchome otoczenie, należy oznaczyć, co najmniej trzema znacznikami jednoznacznie określającymi jego pozycję w przestrzeni. Do oznaczenia punktów orientacyjnych używano znaczników w postaci tarcz z kodem 12-bitowym.

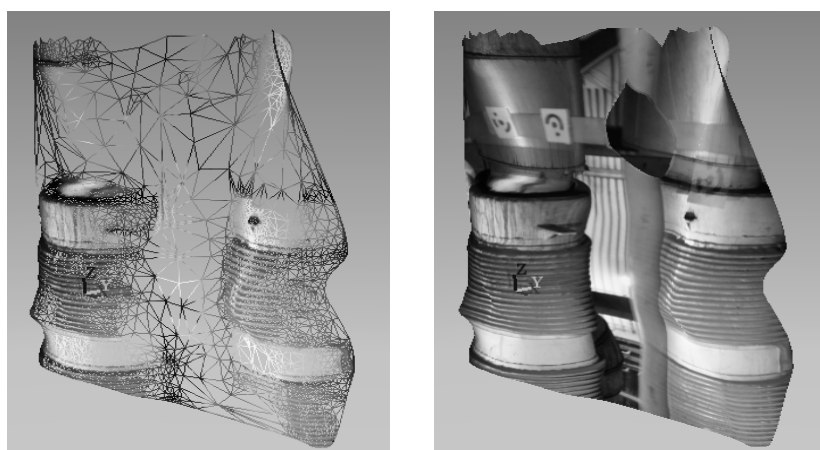
Do automatycznego rejestrowania przemieszczenia się kompensatorów w równych odstępach czasu wykorzystano stanowisko pomiarowe składające się z aparatu zainstalowanego na układzie przesuwu liniowego o długości 1 m (rys. 2.) Przy jego użyciu można wykonywać zdjęcia z różnych pozycji, z zachowaniem stałego miejsca wykonania kolejnych zdjęć w sekwencji pomiarów.

Określanie odkształceń kompensatora można zrealizować kilkoma metodami [2]. W metodzie fotogrametrycznej, można użyć algorytm DSM tworzący chmurę punktów, na podstawie której tworzony jest obiekt typu mesh.

Na rys. 3 przedstawiono wynik tworzenia modelu obiektu na podstawie zdjęć z wykorzystaniem dedykowanego oprogramowania 123D Catch.



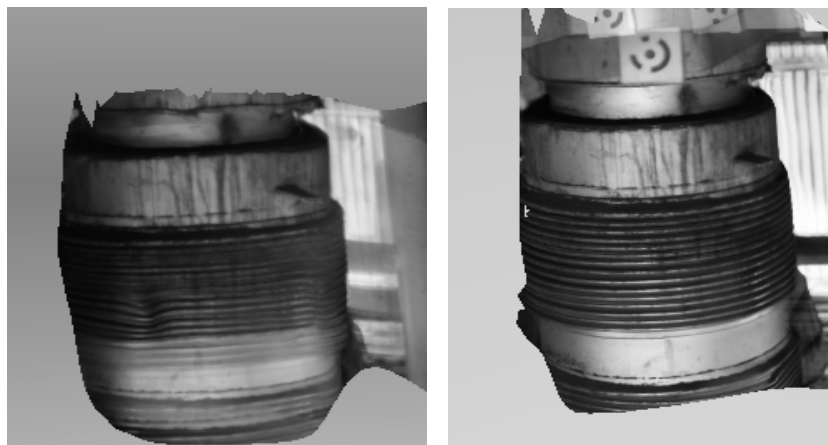
Rys. 2. Stanowisko pomiarowe: po lewej w laboratorium, po prawej w trakcie pomiarów



Rys. 3. Uzyskany model szkieletowy (po lewej) i 3D (po prawej) badanych kompensatorów

Posiadając serię pomiarów (wykonywanych w odstępach godzinnych) można, z każdego etapu uzyskać model 3D. Następnie modele te można porównać poprzez nałożenie ich na siebie, dzięki czemu uzyskamy informację o przesunięciu się kompensatorów. Poniżej, na rys. 4, przedstawiono model kompensatorów z etapu początkowego odstawiana kotła oraz z etapu końcowego – po upływie 8 godzin. Jak widać nastąpiło wydłużenie się kompensatora w trakcie wykonywania pomiarów.

W celu lepszej identyfikacji przemieszczania się kompensatorów autorzy proponują doświetlenie obiektu światłem strukturalnym o określonym wzorze. Na rys. 5. przedstawiono wynik tworzenia modelu 3D ze zdjęć, na których obiekt został oświetlony wzorem siatkowym. Można zauważyć, że odtworzenie kompensatorów jest na dużo lepszym poziomie.



Rys. 4. Modele kompensatorów z początku fazy pomiarów (po lewej) i z końca (po prawej)



Rys. 5. Modele kompensatorów z wyświetlonym wzorem paskowym

Przeprowadzone wcześniej badania [4] dały wyniki, na podstawie, których stwierdzono, że na części analizowanych zdjęć nie jest możliwe uzyskanie odpowiednio gęstej chmury punktów lub wiele punktów zostało błędnie wyznaczonych, w przypadkowych punktach przestrzeni. Powodowały je jednolita niezróżnicowana powierzchnia lub różnego rodzaju zakłócenia tła, spowodowane np. zmianą natężenia oświetlenia.

#### 4. PODSUMOWANIE

Zaproponowana przez autorów metoda analizy zebranego materiału fotograficznego z użyciem metod fotogrametrycznych daje dobre wyniki w przypadku kompensatorów pyłoprzewodów. Porównując otrzymane modele

można w łatwy sposób stwierdzić wielkość przesunięcia się poszczególnych elementów, względem zdefiniowanych punktów odniesienia.

Obecnie trwają prace nad ulepszeniem metody, celem osiągnięcia możliwości analizy przesunięć w trybie on-line, oraz polepszenie, jakości generowanych modeli.

*Stypendia doktoranckie - inwestycja w kadre naukową województwa opolskiego.  
Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach  
Europejskiego Funduszu Społecznego.*



## LITERATURA

- [1] Kabza Z., Kwiatkowski J., Kwiatkowski L.J., Ograniczenia hybrydowych technik weryfikacji topologii układów kompensacyjnych pyłoprzewodów kotła, II Konferencja naukowo-techniczna Współczesne Technologie i Urządzenia Energetyczne, Kraków 15-17.09. 2010.
- [2] Kabza Z., Kwiatkowski L., Zator S., Hybrydowe techniki pomiaru przemieszczeń obiektów instalacji technicznych, Energetyka, Nr 2/3, 2011.
- [3] Sitek Z., Elementy fotogrametrii i fotografii technicznej, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1984.
- [4] Gasz R., Zator S., Możliwości poprawy efektów diagnostycznych metodami fotogrametrycznymi w identyfikacji elementów elektroenergetycznych, Nowa Energia, nr 2/2012.
- [5] Zator S., Gasz R., Możliwość wykorzystania metod fotogrametrycznych do analizy przemieszczeń infrastruktury technicznej kotła energetycznego, Diagnostyka inwestycyjno-eksploatacyjna wybranych urządzeń i sieci energetycznych pod red. Z. Kabzy i S. Zatora, Politechnika Opolska, Opole 2014.

### THE ANALYSIS OF VIDEO DISTORTION COMPENSATOR DUST DUCTS WITH IMAGE PROCESSING USING

During start-up and commissioning of the power unit there are significant changes in the geometry of both the boiler and the entire infrastructure connected with it, among others, dust ducts in which to minimize stresses in the dust ducts', due to movement of the boiler, mounted compensators. The authors use methods to measure displacements vision, in particular the photogrammetric method. Commercial programs available on the basis of a series of images allow you to get the data in the form of a "point cloud", and only on this basis it is possible to create a mesh model. Work is being done on software that would allow for the automatic acquisition and data analysis. To facilitate the orientation of the measurement system on the test object and its surroundings are installed fixed markers with 12-bit code.