

NOWOCZESNE METODY KONTROLI JAKOŚCI NA PRZYKŁADZIE BADANIA ZWĘŻKI VENTURIEGO PRZY UŻYCIU MOBILNEGO SKANERA 3D

Filip WILCZYŃSKI, Michał NOWAKOWSKI

Streszczenie: W artykule przedstawiono schemat badań i wyniki analizy parametrów geometrycznych orurowania zwężki Venturiego wg normy PN-EN ISO 5167-1, stosowanej do pomiarów przepływu cieczy, par i gazów w energetyce. Przykład ten posłużył do zaprezentowania możliwości wykorzystania metody skanowania przestrzennego z wykorzystaniem mobilnego skanera HandyScan 700 i inżynierii odwrotnej dla zweryfikowania i optymalizacji bardzo skomplikowanego kształtu wyrobu.

Słowa kluczowe: skanowanie 3D, inżynieria odwrotna, kontrola jakości, zwężka Venturiego

1. Wstęp

Wszystkie urządzenia branży armaturowej wymagają szczególnego zwrócenia uwagi na dokładności wykonania i zgodność z modelami komputerowymi - wynikami symulacji. Weryfikacja kształtu, jakości powierzchni i wzajemnego położenia współpracujących elementów jest także w innych gałęziach przemysłu kluczowym problemem działów jakości. Zwłaszcza jeśli proces kontroli musi odbywać się w warunkach produkcyjnych a nie laboratoryjnych.

Obecnie panujące trendy proekologiczne – minimalizacja surowców i odpadów, potrzeba skrócenia czasu produkcji i ograniczenie energochłonności stwarza potrzebę rozwoju zaawansowanych technik pomiarowych przez zastosowanie nowych metod oceniających poprawność wykonania wyrobów konstrukcyjnych.

Wykorzystanie mobilnego skanera 3D umożliwia precyzyjne określenie cech geometrycznych badanego przedmiotu. Dodatkowo pomiary są rejestrowane w postaci zbioru danych do których można powrócić.

W niniejszym artykule zaprezentowano przykład wykorzystania skanera HandyScan 700 w procesie oceny poprawności wykonania orurowania zwężki Venturiego.

2. Cel, metoda i przedmiot badań

Kontrola w przedsiębiorstwie reguluje działania organizacji, w efekcie czego firma jest w stanie ocenić osiągnięte wyniki. Celem kontroli produktu jest ocena zgodności z założeniami projektu i założonymi granicami poprawności. Dzięki systemom kontroli kadra zarządzająca produkcją jest w stanie podjąć środki zaradcze w przypadku niepoprawności w wykonaniu. Kontrola procesu wytwarzania najczęściej prowadzona jest poprzez pomiary cech wyrobu (np. wymiary, kształt, właściwości) na różnych etapach produkcji. W przypadku wykonywania orurowania zwężki Venturiego napotykanymi jest wiele trudności produkcyjnych oraz pomiarowych. Duże gabaryty urządzenia utrudniają pomiary

metrologiczne klasycznymi metodami. Z tego względu zastosowano pomiar cyfrowy całego urządzenia [1, 2, 3].

2.1. Inżynieria odwrotna

Inżynieria odwrotna (ang. Reverse Engineering) umożliwia odwzorowanie obiektu fizycznego w postaci cyfrowego modelu. Nazwa tej dziedziny nauki jest związana z kolejnością działań inżynierskich. W tradycyjnym podejściu na początku ścieżki umożliwiającej wytworzenie produktu, wykonywany jest rysunek techniczny lub model CAD, a następnie na tej podstawie realizowana produkcja. Inżynieria odwrotna zajmuje się w pierwszej kolejności pozyskaniem informacji o badanym elemencie i następnie dyskretyzacją, czyli digitalizacją tych danych. Analogowa geometria przetwarzana jest na postać cyfrową za pomocą punktów, które mają zdefiniowane położenie w przestrzeni za pomocą współrzędnych x , y , z . Dane te są przetwarzane i mogą posłużyć do wytworzenia nowego produktu w takiej samej bądź ulepszonej postaci. Istnieje także możliwość porównania pobranych danych z modelem CAD danego elementu w celu kontroli poprawności wykonania cech geometrycznych [4].

Metody inżynierii odwrotnej pozwalają na [5]:

- ocenę możliwości współpracy części dostarczonych przez wielu producentów;
- wykonanie dokumentacji urządzenia w przypadku jej utraty lub braku;
- analizę składu urządzenia, oszacowanie kosztów lub stwierdzenia naruszenia patentów;
- przegląd urządzenia lub części pod względem zachowania cech geometrycznych;
- tworzenie duplikatów
- budowa modeli cyfrowych w celu analiz numerycznych.

2.2. Skaner HandyScan 700

Do pomiarów użyty został skaner 3D HandyScan firmy Creaform. Urządzenie to rzutuje układ krzyży laserowych na powierzchnię badanego elementu. Krzyże laserowe składają się z pojedynczych płamek emitowanych przez diodę laserową. Obraz powstały na powierzchni elementu rejestrowany jest poprzez optyczny układ pomiarowy na foto linijce. W oparciu o zasadę triangulacji obliczane są współrzędne punktów leżących na powierzchni elementu. Skaner HandyScan cechuje się dużą szybkością działania, oraz, ze względu na dużą swobodę działania (skanowanie „z ręki”) stosunkowo dużą dokładnością do 0,03mm [4, 5]. Pole pomiarowe skanera to około 3000x3000x3000 mm.

2.3. Przedmiot badań

Zwężka Venturiego, obok kryz pomiarowych oraz dysz ISA, stanowi element przepływowy różnicy ciśnień stosowany do pomiarów przepływu cieczy, par i gazów. Oprócz niezwykle wysokich wymagań dotyczących precyzji wykonania powierzchni wewnętrznych zwężki Venturiego, krytyczną sprawą jest idealne spoziomowanie naczyń kondensacyjnych oraz zapewnienie jednorodnego spadku na całej długości rurek impulsowych. Zważywszy na to, że wymiary kompletnego urządzenia sięgają kilku metrów, przy jednoczesnym skomplikowaniu kształtu całej bryły, pomiary kształtu i wzajemnego położenia elementów są bardzo utrudnione, szczególnie w warunkach

produkcyjnych. Nieodpowiednie spoziomowanie naczyń kondensacyjnych wprowadza bezpośredni błąd do pomiaru, ponieważ różnica poziomów cieczy w naczyniach dodaje się do różnicy ciśnień mierzonej w króćcach zwężki. Natomiast niejednorodny spadek geometryczny rurek impulsowych może powodować powstawanie korków wodnych z efektem w postaci niestabilności pomiaru.

2.4. Metodyka pomiaru

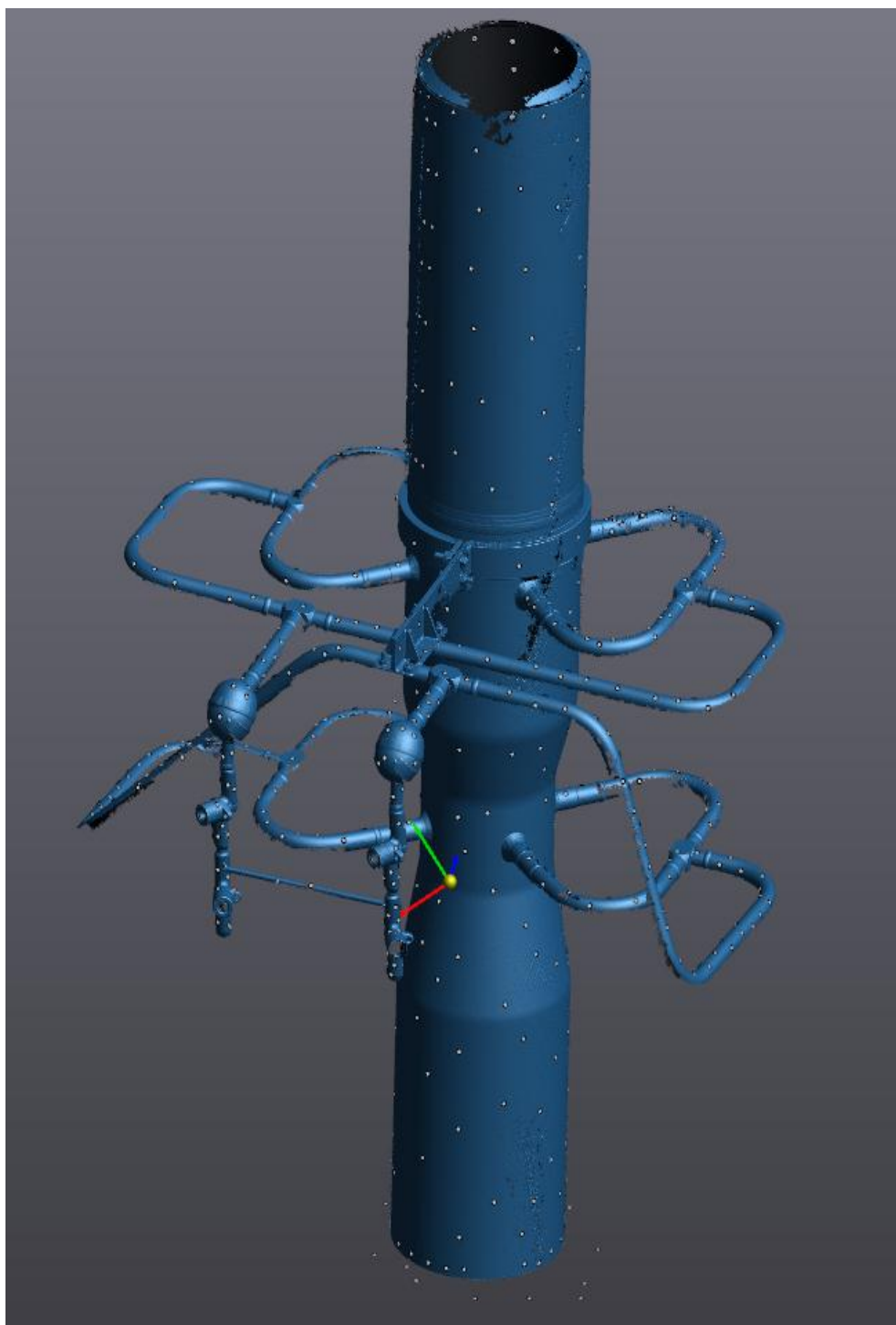
Na powierzchni urządzenia rozklejono „markery” (rys. 1) dzięki którym skaner HandySCAN 3D orientował swoje położenie w przestrzeni. Punkty są przyklejane w odległości około 10cm od siebie lub gęściej w przypadku orurowania kontrolnego zwężki. Do pojedynczego pomiaru wykorzystano około 300 „markerów”.



Rys. 1 Proces nakładania markerów na badane urządzenie i skanowanie

W pierwszej kolejności zeskanowano same markery pozycjonujące w celu lepszej pracy na obiektach o dużych gabarytach. Następnie pobrano geometrię zwężki Venturiego (rys.2), która w dalszej kolejności posłuży do oceny poprawności wykonania urządzenia. Podczas skanowania tak dużych przedmiotów istotne było odpowiednie dobranie rozdzielczości siatki oraz umiejętne prowadzenie procesu pobierania danych, tak aby zminimalizować błąd pomiarowy. Istotne było także „nie zgubienie się” urządzenia podczas pomiarów orurowania zwężki. Ważną funkcjonalnością jest możliwość doklejania markerów pomiarowych w trakcie procesu skanowania w przypadku, gdy jest ich niewystarczająca ilość w jakimś obszarze. Z łatwością można zatrzymać proces pobierania geometrii, dodać punkty i powrócić do czynności pomiarowych.

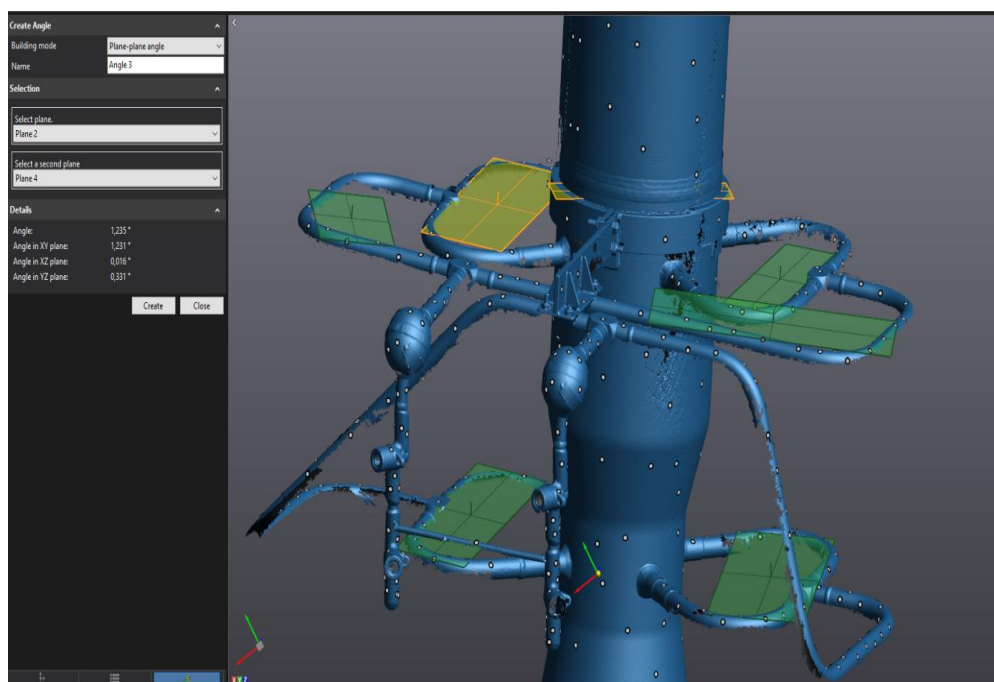
Istotną funkcjonalnością urządzenia jest jego mobilność. Proces skanowania odbywał się w przestrzeni przemysłowej. Urządzenie nie wymaga przemieszczania przedmiotu, nie jest ustawione na statywie. Proces skanowania może odbywać się w każdym miejscu.



Rys 2. Geometria urządzenia pobrana poprzez skaner 3D

3. Wyniki

Celem badania było wyznaczenie kątów pochyłu rurek i położenie zbiorników oraz porównanie wykonania urządzenia z założeniami projektu. Na podstawie skanu wyznaczono płaszczyzny styczne (Rys. 3) do określonych odcinków rurociągów pomiarowych oraz następnie porównano skan z plikiem projektu urządzenia. Gromadzenie danych ze skanera odbywa się w oprogramowaniu XV Elements. Program ten po zakończonym procesie skanowania pozwala na pomiary na pobranej geometrii.



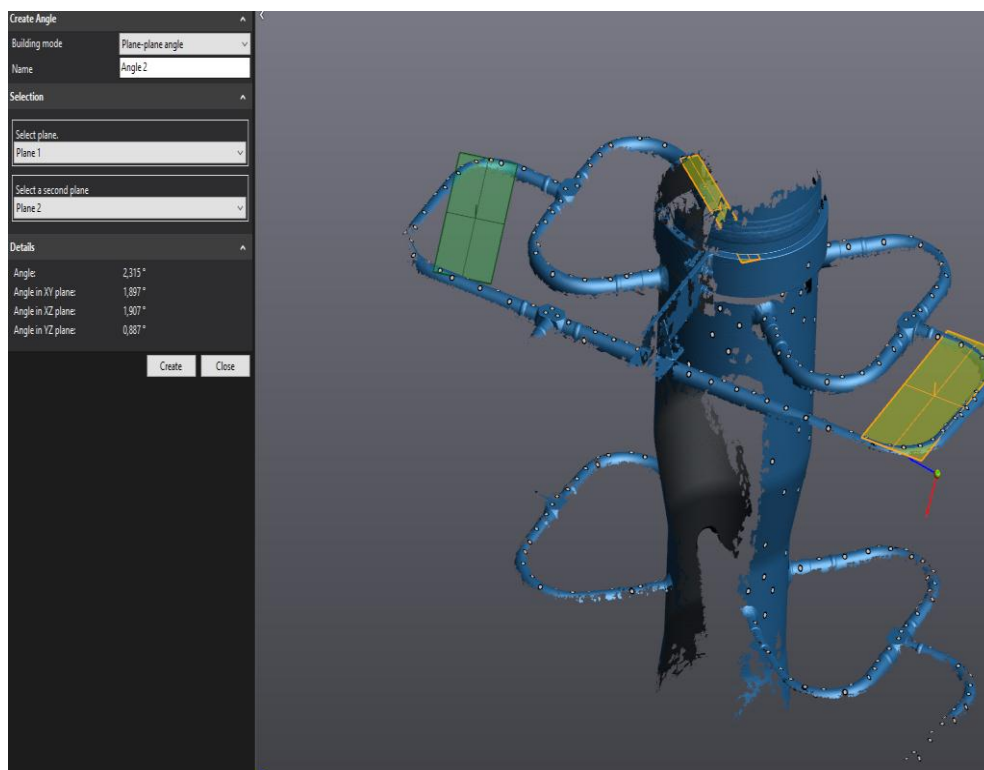
Rys. 3 Pomiar kąta rurociągów pomiarowych – 1,23°

Po wykonaniu skanowania utworzono bezpośrednio na danych z pomiaru geometrie pomocnicze. Wyniki pomiarów zebrano w tabeli 1. Zaobserwowano odchylenie od normy powierzchni nr 2 i 6. Wartość kąta nie powinna przekraczać 2°.

Tab. 1. Wartości kąta płaszczyzn stycznych do rurociągów pomiarowych

Płaszczyzna nr	Wartość kąta
1	1,65°
2	3,46°
3	1,23°
4	1,22°
5	1,71°
6	2,04°

Po działaniach mających na celu skorygowanie pochylenia rurociągów zrealizowano drugi skan wycinka instalacji (rys 4.).



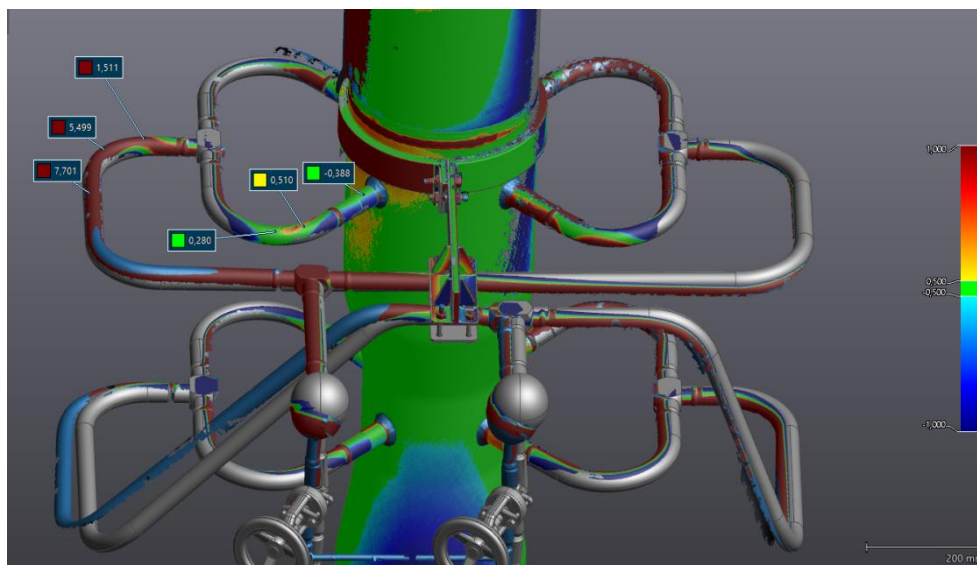
Rys. 4 Pomiar po działaniach korygujących pochylenie rurociągów

Ponownie utworzono geometrię pomocniczą bezpośrednio na danych pomiarowych w celu wyznaczenia kątów pochylenia orurowania. Wyniki badania drugiego przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki drugiego pomiaru

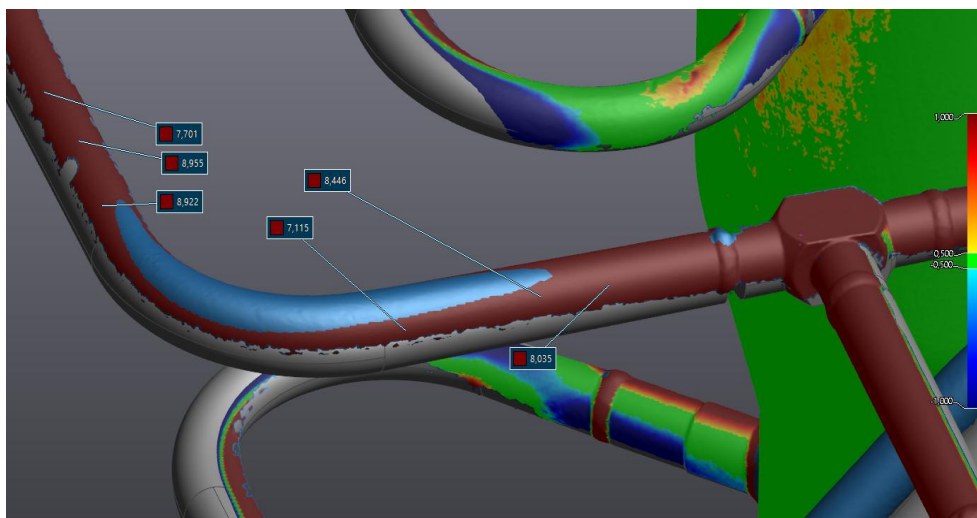
Płaszczyzna nr	Wartość kąta
2	2,315°
6	2,1°

Przeprowadzone czynności korygujące nie przyniosły wystarczających rezultatów. Wartości kąta nie zostały zmniejszone poniżej wartości 2°. Zalecono aby dalsza korekta położenia została przeprowadzona poprzez wspawanie nowego orurowania na stanowisku wyposażonym w oprzyrządowanie pozycjonujące.

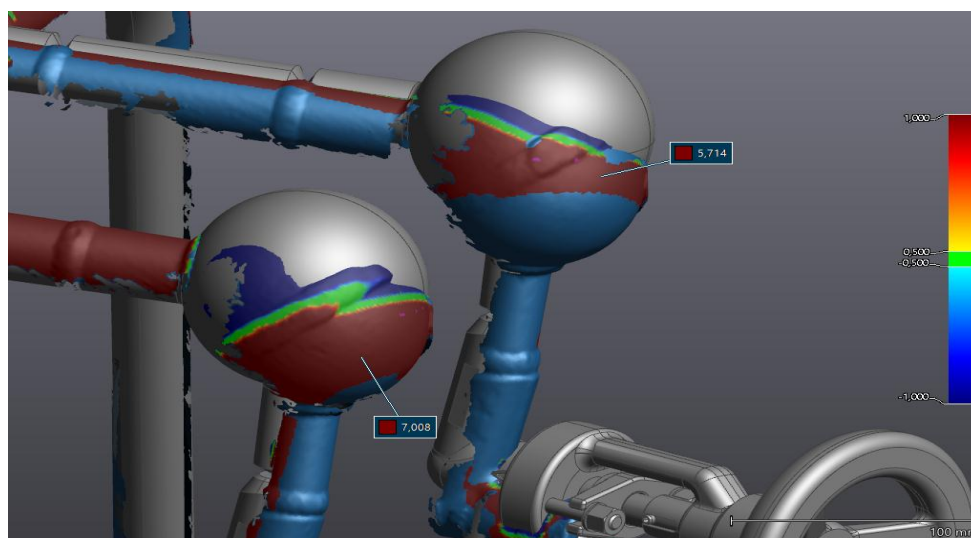


Rys. 4 Znaczne niedokładności w położeniu rur pomiarowych

Kolejnym etapem kontroli jakości było porównanie zeskanowanych danych z modelem CAD zwężki pomiarowej. Utworzono kolorową mapę odchyłek w oprogramowaniu VX Inspect. Etap ten wykazał znaczne rozbieżności projektu z wykonanym orurowaniem. Porównanie to uwidoczniło nieprawidłowy kąt pochylania prostego odcinka rurociągu pomiarowego. Rozbieżność wspawania elementów na poziomie 8,9mm (Rys.5) oraz przemieszczenie naczyń kondensacyjnych.

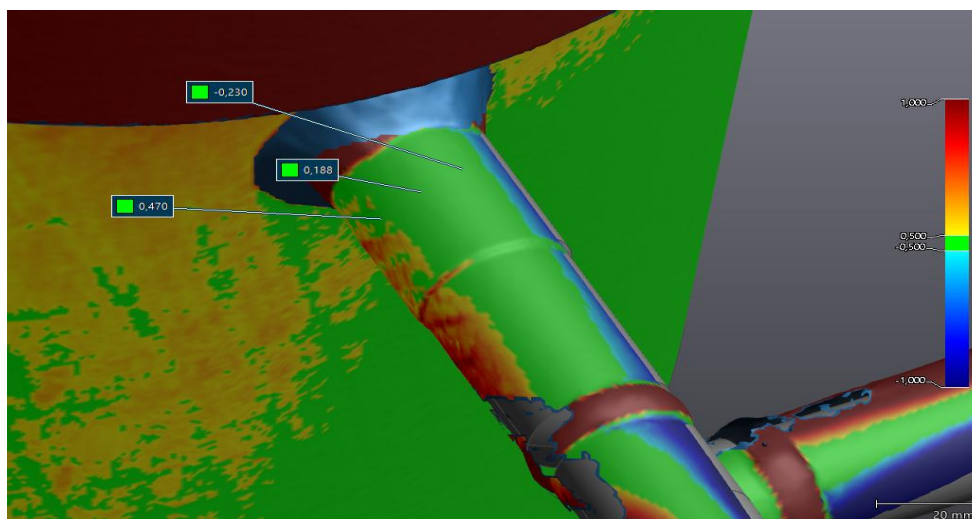


Rys. 5 Maksymalne odchylenie 8,9mm



Rys. 6 Wadliwe położenie naczyń kondensacyjnych

Na podstawie kolorowej mapy odchyłek (Rys.6) stwierdzono znaczne przemieszczeni naczyń kondensacyjnych. Nieprawidłowe umieszczenie naczyń jest w stanie zaburzać pracę urządzenia pomiarowego jakim jest zwężka Venturiego. Nieprawidłowo odprowadzany kondensat będzie wpływał negatywnie na wartości ciśnienia w rurociągach pomiarowych.



Rys. 7 Prawidłowe spawanie króćców pomiarowych

Kolorowa mapa odchyłek uwidoczniała prawidłowe rozmieszczenie króćców pomiarowych (Rys 7). Oznacza to że wszelkie niedokładności wykonania instalacji wynikają z błędów spawalniczych lub trudności z precyzyjnym rozmieszczeniem detali przed spawaniem.

4. Wnioski

Skanowanie 3D jest szybką i dokładną metodą kontroli jakości skomplikowanych urządzeń stosowanych w energetyce konwencjonalnej. Przedstawiony przykład porównania orurowania zwężki Venturiego z projektem w jasny sposób wskazują ewentualne przyczyny błędów w funkcjonowaniu urządzenia. Wskazane zostały niedokładności wykonania, które są niezbędne do skorygowania, aby zapewnić nienaganną pracę urządzenia.

Prezentowana metoda bezkontaktowego skanowania może znajdować szerokie zastosowanie w kontroli jakości. Dotychczas stosowane maszyny współrzędnościowe mają ograniczone zastosowanie w warunkach poza laboratorium. Dodatkowo ograniczenia stanowią gabaryty badanych wyrobów. Analiza chmury punktów uzyskanej w procesie skanowania jest szczególnie przydatna dla sprawdzenia przestrzennego położenia współpracujących elementów. Nawet dla bardzo dużych wyrobów, ograniczeniem jest tylko odpowiednia ilość markerów i umiejętności operatora skanera.

Użyty w badaniu skaner mobilny daje możliwość kontroli kształtu i położenia w trakcie procesu produkcji nawet bezpośrednio na obrabiarce. Wyklucza to potrzebę wielokrotnego pozycjonowania detalu na maszynie. W niektórych przypadkach elementów dławiących stosowanych w zaworach regulacyjnych, jest całkowicie niedozwolone przemocowanie w trakcie obróbki ze względu na współosiowość trimów.

Dokładność pomiarowa 0,03mm pozwala także na inspekcję i kontrolę zużycia elementów w trakcie eksploatacji bez potrzeby demontażu urządzeń z rurociągu. Szczególnie w branży armaturowej jest to bardzo istotna zaleta skanera ręcznego pozwalająca na przeprowadzenie inspekcji nawet w trudno dostępnych miejscach w czasie standardowego okresowego przeglądu urządzeń. Pozwala to na obniżenie kosztów przestoju instalacji oraz bardzo wczesne wykrycie potencjalnych zagrożeń na elementach uszczelniających.

Najważniejsza dla kontroli jakości w branży armaturowej korzyść płynąca ze stosowania skanowania 3D i inżynierii odwrotnej to możliwość porównania kształtu i położenia elementów kryzowych i pomiarowych, z modelem komputerowym. Cyfrowy prototyp armatury symulowany w oprogramowaniu CFX jest obecnie podstawą projektowania elementów rurociągów w branży energetycznej. Dokładne wyznaczenie parametrów C_v i spadków ciśnień czyli kluczowych wskaźników dla poszczególnych kryz to wynik badania modelu komputerowego, a dokładności w takim przypadku są kluczowe. Dla uzyskania parametrów regulacji przepływu i szczelności zgodnie z określonymi warunkami niezbędne jest precyzyjne i powtarzalne odwzorowanie modelu komputerowego w wyrobie końcowym, a dokładność tego odwzorowania może być bardzo szybko sprawdzona w warunkach produkcyjnych dzięki skanowaniu przestrzennemu.

Bibliografia:

1. Gawlik, J., Sładek, J., Ryniewicz, A. *Nadzorowanie urządzeń technologicznych i jakości wyrobów w procesie produkcyjnym*, Kraków 2011
2. DRYCZ B.: *Zarządzanie jakością, tom I, Jakość i systemy zapewnienia jakości*. Praca zbiorowa pod redakcją A. Tabora, A. Zająca i M. Rączki, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Kraków 1999.

3. Griffin R.W. *Podstawy zarządzania organizacjami*, Warszawa 1996,
4. Szelewski M. Wieczorkowski M. *Inżyniera odwrotna i metody dyskretyzacji obiektów fizycznych*, Mechanik 12/2015
5. Kachel S. Kozakiewicz A. Łącki T. Olejnik A. *Zastosowanie inżynierii odwrotnej do procesu odtwarzania geometrii układu wlotowego silnika w samolocie MIG-29*, Warszawa 2011
6. *Pomiary strumienia płynu za pomocą zwężek pomiarowych wbudowanych w całkowicie wypełnione rurociągi o przekroju kołowym* Norma PN-EN ISO 5167

mgr inż. Filip Wilczyński
mgr inż. Michał Nowakowski
Fabryka Armatury Przemysłowej „WAKMET”
48-340 Głuchołazy, Bodzanów 75
tel. (0-77) 439 40 20
email:
admin@wakmet.com.pl
m.nowakowski@wakmet.com.pl