

**POSTĘPY W INŻYNIERII MECHANICZNEJ  
DEVELOPMENTS IN MECHANICAL ENGINEERING**

10(5)/2017, 45–55

Czasopismo naukowo-techniczne – Scientific-Technical Journal

---

Małgorzata SŁOMION, Maciej MATUSZEWSKI, Wojciech KRAJNIK

**MODERNIZACJA STANOWISKA DO WYWAŻANIA  
DYNAMICZNEGO**

**Streszczenie:** Ciągły rozwój przemysłu oraz zwiększanie produkcji wymuszają projektowanie mobilnych, kompaktowych oraz zautomatyzowanych, często wielofunkcyjnych maszyn technologicznych w celu zminimalizowania ilości operacji i kosztów produkcyjnych. Obecnie także w technologii budowy wyważarek dąży się do projektowania kompaktowych urządzeń wyważających, które służyć mają również do korekcji masy niewyważenia za pomocą doposażenia w różnego rodzaju frezerki i wiertarki, służące do ujmowania masy powodującej niewyważenie. Celem badania było zmodyfikowanie stanowiska do wyważania dynamicznego, polegające na zaprojektowaniu układu przesuwnej wiertarki z pionową osią wrzeciona, mocowanej na stalowej ramie, tak aby możliwe było wiercenie wirników o określonym zakresie średnic oraz długości.

**Słowa kluczowe:** wyważarka, wyważanie dynamiczne, modernizacja

## 1. WPROWADZENIE

Jednym z ważnych czynników opisujących stan dynamiczny maszyny jest stan wyważenia jej wirujących części. Nierównomierne rozłożenie masy względem osi obrotu w elemencie wirującym, także nieznacznej, w połączeniu z dużymi obrotami powoduje wibracje elementu na dużą skalę, czego efektem jest wytworzenie dużych sił oddziałujących udarowo na łożyska, które podpierają dany element. Wspomniany rodzaj obciążenia jest niszczący i niepożądany dla wszystkich typów łożysk. W związku z tym w budowie maszyn dąży się do minimalizacji występujących drgań w celu obniżenia emitowanego hałasu oraz zwiększenia trwałości maszyn [1, 3].

Wyważanie to proces korygujący rozkład masy wirnika. Korekcja realizowana jest poprzez dodanie lub ujęcie masy korekcyjnej na promieniu korekcji. Wartość masy dobierana jest tak, aby suma sił odśrodkowych oraz suma niewyważenia były równe zeru [2, 5–7].

Proces wyważania przeprowadza się na wyważarkach. Konstruowane są one w zależności od wymagań, tj. klasy dokładności wyważania, zakresu nie-

---

mgr inż. Małgorzata SŁOMION, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy,  
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,  
e-mail: m.slomion@yahoo.pl

dr hab. inż. Maciej MATUSZEWSKI, prof. nadzw. UTP, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy,  
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,  
e-mail: maciej.matuszewski@utp.edu.pl

mgr inż. Wojciech KRAJNIK, Cimat Sp. z o.o.  
e-mail: wojkra001@utp.edu.pl

wyważenia początkowego, zakresu masy i gabarytów wirnika czy wydajności. Wspólną cechą wyważarek jest rodzaj wykrywanego niewyważenia, którym zazwyczaj jest niewyważenie dynamiczne [3, 4].

Dobór wyważarki, oprzyrządowania oraz trybu pracy urządzenia zależy od wielu czynników, które rozpatrywane są indywidualnie, z uwzględnieniem zastosowań do konkretnych zadań, w oparciu o proces technologiczny i specyfikę zakładu [1].

Celem badania było zaprojektowanie oraz zmodernizowanie stanowiska do wyważania dynamicznego, które stanowiło „wąskie gardło” procesu produkcyjnego przedsiębiorstwa zajmującego się produkcją części oraz montażem podzespołów dla branży motoryzacyjnej. Głównymi elementami wyważanymi za pomocą urządzenia są wały korbowe, wałki skrzyni biegów oraz półosie napędowe samochodów osobowych.

Z uwagi na potrzebę zwiększenia wydajności procesu produkcyjnego – zbyt długi czas czynności operacji wyważania – i brak możliwości zmiany procesu technologicznego nowe urządzenie zwiększające wydajność procesu produkcyjnego musi umożliwiać kompatybilny montaż do istniejącej i pracującej wyważarki uniwersalnej.

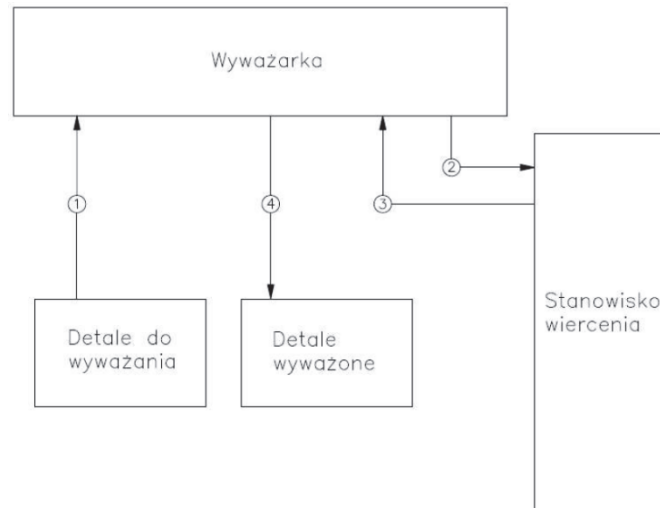
## 2. UWARUNKOWANIA FUNKCJONALNE ORAZ ZAŁOŻENIA MODERNIZACYJNE STANOWISKA DO WYWAŻANIA

Modernizacja stanowiska polegała na rozbudowie uniwersalnej wyważarki CMT-100H produkcji CIMAT Sp. z o.o. Bydgoszcz o poziomej osi wirowania, przeznaczonej do wyważania wirników, której zakres podstawowych parametrów roboczych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry techniczne wyważarki uniwersalnej CMT-100H  
Table 1. Technical parameters of the universal balancing machine CMT-100H

Obroty silnika	1435 obr·min <sup>-1</sup>
Przeniesienie napędu na wirnik	pasowe, mechaniczne
Regulacja prędkości obrotowej	bezstopniowa
Kierunek obrotów	jednostronny
Sposób korekcji masy	ujmowanie masy
Dopuszczalne masy wyważanych wirników:	
– najmniejsza	1,0 kg
– największa	700,0 kg
Zakres wyważanych średnic	od 30 do 125 mm
Czułość wyważania	0,1 g·mm·kg <sup>-1</sup> masy wirnika

Na rysunku 1 przedstawiono schemat procesu wyważania przed modernizacją, który składa się z kilku etapów realizowanych na dwóch stanowiskach.

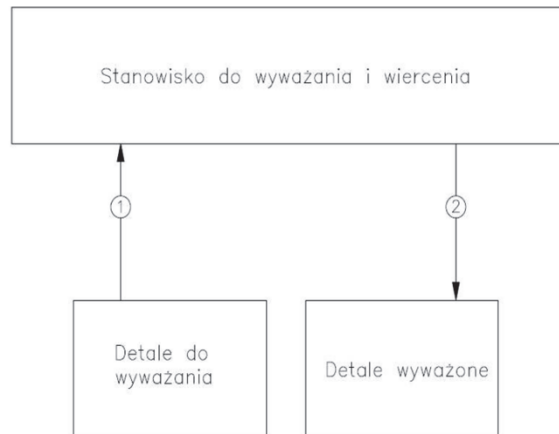


Rys. 1. Schemat rozkładu stanowisk i operacji podczas cyklu wyważania przed modernizacją  
 Fig. 1. Scheme diagram of positions and operations during the balancing cycle before modernization

W początkowym etapie pobiera się element wyważany z pojemnika i umieszcza w wyważarce (1). Następnie określa się punkty, w których mają zostać wywiercone otwory korygujące nieprawidłowy rozkład masy. Wiryk przynosi się na stanowisko przeznaczone do wiercenia (2) i po wywierceniu otworów – na wyważarkę (3), aby skontrolować poprawność wyważenia. Jeśli element mieści się w normie niewyważenia resztkowego, następuje kolejny etap procesu produkcyjnego (4), jeśli jest odwrotnie, to ponownie trafia na stanowisko wiercenia (2), wyważarkę (3) i powtórny kontrolę. Proces trwa aż osiągnięty zostanie stan niewyważenia resztkowego, mieszczącego się w określonej normie.

Jak można zaobserwować, proces wyważania realizowany jest z wykorzystaniem wyważarki spełniającej funkcje: pomiarowo-korekcyjną, kontrolną oraz odrębnego stanowiska do wiercenia wirników. Transport detali pomiędzy poszczególnymi etapami procesu odbywa się ręcznie lub z zastosowaniem żurawia warsztatowego. Zależy to od masy i gabarytów obrabianych elementów.

W koncepcji nowego rozwiązania zawarto połączenie obu stanowisk w jedno uniwersalne (rys. 2), które umożliwiłoby pomiar niewyważenia, korekcję masy wirników, a także kontrolę końcową niewyważenia resztkowego. Takie połączenie pozwoliłoby na minimalizację czasu przekładania elementów między stanowiskami ze względu na skrócenie o około połowę drogi, jaką pokonuje detal.



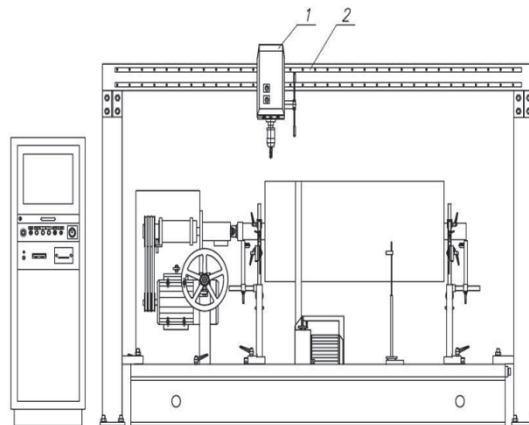
Rys. 2. Schemat zmodernizowanego stanowiska do wyważania  
Fig. 2. Scheme of modernized balancing station

Zgodnie z nowymi założeniami element wyważany ma być pobierany z pojemnika i dostarczony na stanowisko do wyważania i wiercenia (1); po wykonaniu wymaganych operacji technologicznych przekazany zostanie do pojemnika na elementy wyważone (2). Pozwoli to na zaoszczędzenie czasu potrzebnego do wykonania operacji technologicznych.

### 3. PROJEKT MODERNIZACJI STANOWISKA DO WYWAŻANIA

#### 3.1. Koncepcja modernizacji stanowiska do wyważania

Koncepcję modernizacji stanowiska przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Koncepcja modernizacji stanowiska do wyważania  
Fig. 3. The modernization concept of the balancing station

Ze względu na stałe mocowanie maszyny do masywnego fundamentu należało zainstalować układ wierzący, który umożliwiłby wykonywanie otworów

w wirniku zamocowanym na wyważarce. Z tego powodu przyjęto jako koncepcję rozwiązania przykręcenie stalowej ramy nośnej (2) do łoża oraz fundamentu. Do górnej części ramy przymocowano wiertarkę (1) z możliwością ręcznego przemieszczania w kierunku równoległym do osi wirowania detalu, a zakres pracy obejmuje cały zakres roboczy urządzenia. Ruch posuwowy wiertła uzyskano za pomocą korby, natomiast głębokość wiercenia wyświetla się na elektronicznym głębokościomierzu. Realizacja dojazdu wiertarki do wyważanego detalu odbywa się ręcznie za pomocą korby. Układ wierzący umożliwia dojazd wiertarki nad miejsce wywiercenia otworu, blokadę przesuwu poziomego, dojazd wiertła do detalu, blokadę przesuwu pionowego oraz wiercenie otworu na wymaganą głębokość. Ze względu na brak ujęcia w normach dokładności położenia otworu układ ten jest sterowany ręcznie. W związku z „technologicznością” procesu ujmowania masy za pomocą wiercenia ręczne sterowanie układem jest wystarczające do uzyskania wymaganej dokładności położenia oraz głębokości otworu. Stanowisko wyposażono również w podciśnieniowy system odciążenia wiórów, co ma zapobiegać nadmiernemu zanieczyszczeniu wyważarki.

### **3.2. Założenia konstrukcyjne oraz projekt układu wierzącego**

Podstawą projektu układu jest ustalenie zakresu wielkości wirników, jakie będą wyważane, a także wielkości i umiejscowienia otworów wierconych za pomocą nowego układu. Przeprowadzenie analizy obsługiwanego asortymentu elementów wyważanych pozwoliło na ustalenie parametrów układu wierzącego, tj.:

- zakres średnic wyważanych wirników:  $\varnothing 50\div 520$ ,
- długość wyważanych wirników:  $\varnothing 200\div 2500$ ,
- zakres średnic mocowanych wiertel:  $\varnothing 8\div 32$ ,
- umiejscowienie otworów po zewnętrznym obwodzie na części walcowej wirników,
- głębokość wierconych otworów: do 80 mm (ruch roboczy 100),
- elektroniczny pomiar głębokości wiercenia,
- cyfrowy wyświetlacz wskazujący głębokość wiercenia,
- blokady położenia wiertarki po dojeździe do miejsca wiercenia,
- napęd ręczny z łatwym dostępem do elementów sterujących.

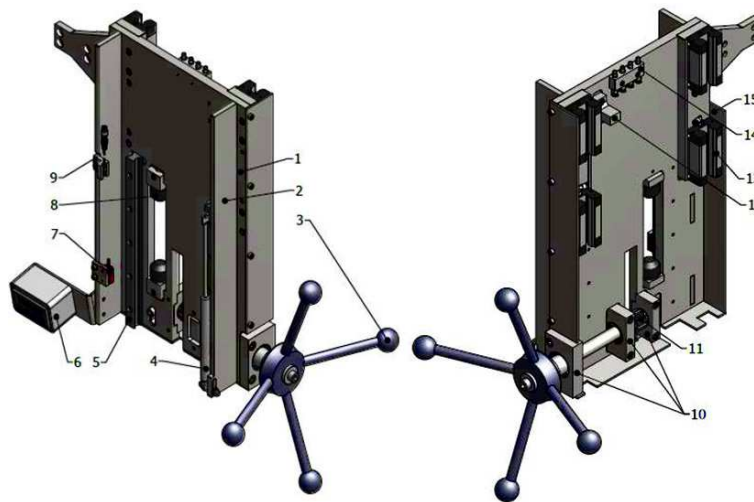
Ustalenie wytycznych konstrukcyjnych oraz koncepcja układu wierzącego pozwoliły na przyjęcie następujących etapów projektowania konstrukcji układu wierzącego:

- projekt układu realizującego posuw główny wiertarki,
- projekt układu realizującego dojazd wiertarki do wirnika,
- projekt układu realizującego przesuw wiertarki wzdłuż osi wirnika,
- dobór i umiejscowienie elementów służących do elektronicznego pomiaru głębokości wiercenia,
- projekt układu odsysającego wióry,
- projekt konstrukcji wsporczej wiertarki, przystosowanej do łatwego zamontowania w modernizowanym stanowisku.



ny i z wykorzystaniem ruchu roboczego wiertarki wiercenie jest realizowane. W płycie przedniej zawarto również niezbędny element napędzający. Istotny jest zakres ruchu dojazdowego wiertarki, który pozwala na wiercenie wirnika za pomocą wiertła zarówno o najmniejszej średnicy, jak i o największej. Należy również przyjąć dodatkowy zakres ruchu dojazdowego ze względu na: wymianę wiertła, wymianę wirników, wypusty na wirnikach, a także serwis urządzenia.

Podzespół płyty pośredniej (rys. 5) również wykonano z płyty stalowej (1) i wzmocniono przyspawanymi żebrami. Ruch posuwowy narzędzia realizowany jest za pomocą rękojeści (3). Za pośrednictwem sprężyny gazowej (4) dokonuje się powrót do położenia pierwotnego. Do przedniej strony płyty przymocowane są szyny (5), po których przesuwają się wózki jezdne podzespołu wierzącego. Elektroniczny wyświetlacz (6) połączony z czujnikiem położenia (7) wskazuje głębokość wiercenia. Dwa odbojniki (8) ograniczają ruch posuwowy układu wierzącego, a pomiędzy nimi przemieszcza się zderzak płyty przedniej. Czujnik indukcyjny (9) włącza wiertarkę podczas dojazdu wiertła do wirnika. Tylna część ma zespół łożyskowy (10) mechanizmu posuwowego wiertarki. Wałek napędzający posuw zakończony jest kołem zębatym (11) i zazębiony z listwą zębatą w płycie przedniej. Ruch dojazdowy jest ograniczany przez zderzak (12), a dojazd układu wierzącego do wirnika umożliwiają wózki jezdne (13). Smarowanie wózków odbywa się za pomocą smarowniczek (14). Stalowe osłony (15) maskują przestrzeń wokół płyty. Zmontowane obydwie płyty stanowią zespół realizujący posuw wiertarki. Realizacja tego ruchu odbywa się ręcznie.

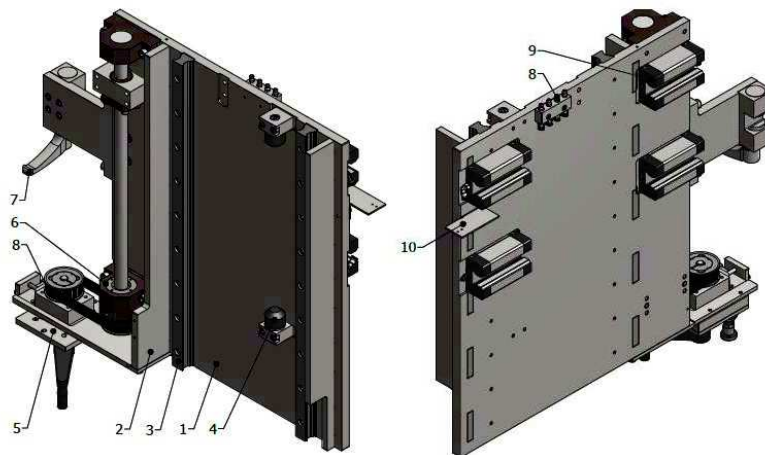


Rys. 5. Podzespół płyty pośredniej: 1 – płyta stalowa; 2 – żebra; 3 – rękojeść; 4 – sprężyna gazowa; 5 – szyny prowadzące; 6 – elektroniczny wyświetlacz; 7 – czujnik położenia; 8 – odbojniki; 9 – czujnik indukcyjny; 10 – zespół łożyskowy; 11 – koło zębate; 12 – zderzak; 13 – wózki prowadzące; 14 – smarowniczeki; 15 – stalowe osłony

Fig. 5. Intermediate plate subassembly: 1 – steel plate; 2 – ribs; 3 – handle; 4 – gas spring; 5 – guide rails; 6 – electronic display; 7 – position sensor; 8 – buffers; 9 – inductive sensor; 10 – bearing assembly; 11 – gear wheel; 12 – bumper; 13 – leading carts ; 14 – grease fittings, 15 – steel covers



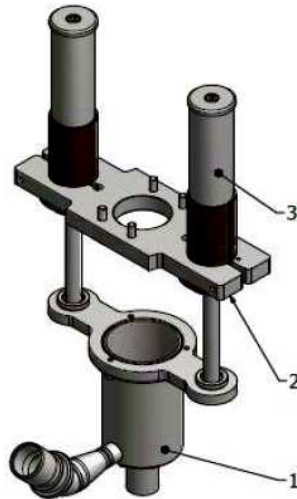
Podzespół płyty tylnej (rys. 6) konstrukcją przypomina poprzednie elementy. Stalowa płyta (1) stanowi główny element nośny. Zwiększenie sztywności układu uzyskano poprzez przyspawanie żeber (2). Szyny (3) umożliwiają dojazd układu wierzącego do wyważanego wirnika. Tak jak wcześniej – odbojniki (4) ograniczają skok dojazdu wiertarki do wirnika. Ruch realizowany jest ręcznie za pomocą układu korbowego (5). Pasek zębaty (8) przekazuje moment obrotowy na śrubę toczną (6). Do podzespołu płyty przedniej przykręcona jest nakrętka śruby tocznej. Po przekręceniu rękojeści mechaniczna blokada przesuwu (7) powoduje zaciśnięcie się elementu na szynie prowadzącej i unieruchomienie układu. Zastosowano również smarowniczkę (8), a za pomocą wózków jezdnych (9) odbywa się przesuw układu wierzącego wzdłuż osi wirowania wyważanego detalu. Ostatnim elementem jest mocowanie przewodnika kablowego (10) do przewodu zasilającego wiertarkę.



Rys. 6. Podzespół płyty tylnej: 1 – płyta stalowa; 2 – żebra; 3 – szyny; 4 – odbojniki; 5 – układ korbowy; 6 – śruba toczna; 7 – mechaniczna blokada przesuwu w osi poziomej; 8 – smarowniczkę; 9 – wózki jezdne; 10 – mocowanie przewodnika kablowego  
 Fig. 6. Intermediate plate subassembly: 1 – steel plate; 2 – ribs; 3 – rails; 4 – buffers; 5 – crank system; 6 – rolling screw; 7 – mechanical displacement lock in the horizontal axis; 8 – grease fittings; 9 – carts; 10 – fixing the e-chain

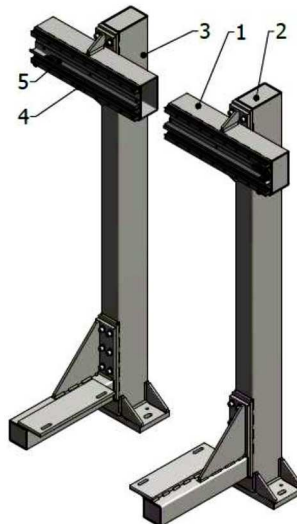
Najmniej skomplikowany w układzie wierzącym jest podzespół odsysający wióry (rys. 7). Tworzy go tuleja próżniowa (1), obejmująca wiertło i uchwyt wiertarski, obejmująca mocująca (2), która umożliwia przykręcenie odsysacza do obejmmy zaciskowej wiertarki, oraz układ łożyskowania liniowego (3). W zależności od zastosowanego wiertła i głębokości wierzonego otworu układ odsysający pozycjonuje się.





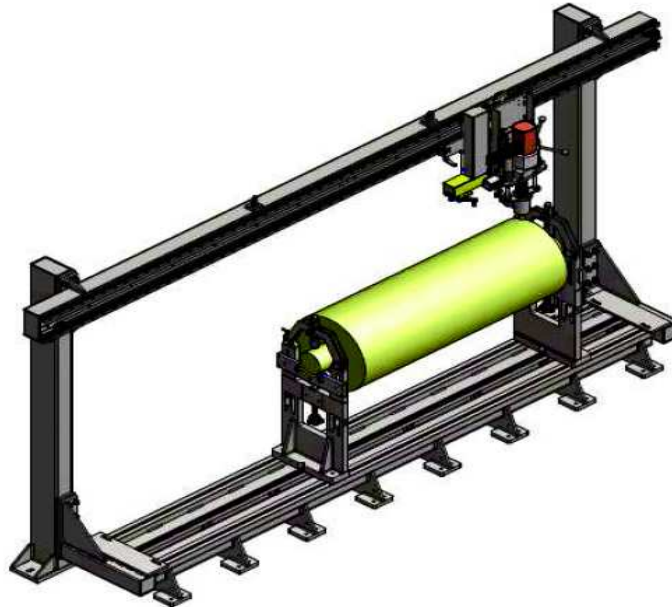
Rys. 7. Podzespół odsysający wióry: 1 – tuleja; 2 – obejma; 3 – układ łożyskowania  
Fig. 7. The chip extraction unit: 1 – bushing; 2 – scraper; 3 – bearing system

Największym podzespołem stanowiska jest stalowa rama (rys. 8), pełniąca funkcję trwałego i sztywnego połączenia układu wierzącego z łóżem i fundamentem wyważarki, oraz pozwalająca na przesuwanie wiertarki wzdłuż osi wyważanego wirnika. Profil główny (1) łączy słupy (2, 3) przytwierdzone do łoża oraz fundamentu wyważarki. Dwie szyny prowadzące (4) mocowane są na profilu głównym; na nich porusza się zespół wierzący na wózkach jezdnych. Prowadnik kablowy służy do prowadzenia przewodów elektrycznych oraz węża odsysającego wióry.



Rys. 8. Podzespół ramy nośnej: 1 – profil główny; 2, 3 – słupy; 4 – szyny; 5 – prowadnik kablowy  
Fig. 8. Subassembly of the supporting frame: 1 – main profile; 2, 3 – columns; 4 – rails; 5 – cable chain

Układ wierzący wraz z wyważarką i przykładowym wirnikiem przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Układ wierzący zmontowany z wyważarką  
Fig. 9. The drilling system assembler with the balancer

#### 4. PODSUMOWANIE

W każdym procesie wytwarzania niezbędne jest planowanie oraz konstruowanie. Proces projektowania wiąże się z uwzględnieniem wielu aspektów, takich jak złożoność i wielkość produktu, ergonomia, bezpieczeństwo oraz ekonomia. Niezbędne jest znalezienie rozwiązania, które połączy ze sobą te elementy.

Przedstawiony w pracy projekt modernizacji stanowiska wyważania, który uwzględnił różne uwarunkowania funkcjonalne i konstrukcyjne, zrealizowano oraz wdrożono do działań przemysłowych. Przyczynił się do usprawnienia procesu wyważania, a tym samym, zgodnie z oczekiwaniami, zwiększył wydajność procesu produkcyjnego. Czas wszystkich czynności związanych z wyważaniem uległ skróceniu o około 60%.

## LITERATURA

- [1] BARCZEWSKI R., CIOŁCZYK L., MALEC M., TOPOLIŃSKI A., WERBOWSKI T.: Jesienna szkoła wyważania i diagnostyki maszyn wirnikowych. Materiały szkoleniowe, CIMAT Bydgoszcz, 2001.
- [2] DIN 4566. Anforderungen an Schwingstärkemessgeräte, 1967.
- [3] ŁĄCZKOWSKI R.: Kryteria oceny stanu dynamicznego maszyn. Normalizacja 11, 1969.
- [4] ŁĄCZKOWSKI R.: Wyważanie elementów wirujących. WNT, Warszawa, 1979.
- [5] OSIECKI J., ZIEMBA S.: Podstawy pomiarów drgań mechanicznych. PWN Warszawa, 1986.
- [6] VDI – Richtlinien 2056. Beurteilungsmaßstäbe für mechanische Schwingungen von Maschinen, 1964.
- [7] VDI – Richtlinien 2060. Beurteilungsmaßstäbe für Auswuchtzustand rotieren der starrer Körper, 1966.

## MODERNIZATION OF THE DYNAMIC BALANCING STATION

**Summary:** Continuous development of the industry and increasing production enforces the design of mobile, compact and automatem often multifunctional machines, in order to minimize the number of operations and production costs. Currently, also in the technology of the balancers construction, producers seek to design a compact balancing machines, which also serve to correct the unbalance mass by integrating various types of millers and drills subtracting mass that causes the imbalance. The aim of this study is purpose modification the work station for dynamic balancing consisting in designing a sliding system of a drill with a vertical axis of the spindle fixed on a steel frame, to allow the drilling rotors with a defined range of diameters and lengths.

**Key words:** balancing machine, dynamic balancing, modernization