

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 246867 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **446547**

(22) Data zgłoszenia: **2023.10.30**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2024.10.07 BUP 41/2024**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.03.17 WUP 11/2025**

(51) MKP:

G02B 6/10 (2006.01)

G01J 4/04 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA LUBELSKA, Lublin, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:
GRZEGORZ KOZIEŁ, Lublin, PL
PIOTR KISAŁA, Konopnica, PL
DAMIAN HARASIM, Lublin, PL
SŁAWOMIR CIĘSZCZYK, Lipiny, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Maciej Nowicki, Lublin, PL

(54) Tytuł:

Pozycjoner i sposób pozycjonowania kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie

PL 246867 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ i sposób pozycjonowania kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie, posiadający układ pomiarowy odporny na zakłócenia elektromagnetyczne, indukcję elektromagnetyczną, zanieczyszczenie światłem i zanieczyszczenia, pozwalający na weryfikację ustawienia kąta obrotu głowicy.

Ogólnie znane są rozwiązania pozwalające na pomiar kąta obrotu, wykorzystujące czujniki optyczne, czujniki oparte o zjawisko Halla, układy elektroniczne, indukcyjne oraz rozwiązania mechaniczne. Czujniki optyczne najczęściej wykorzystują źródło światła, którego promieniowanie kierowane jest na tarczę z wyciętymi otworami obracającą się wraz z elementem obrotowym. Obrót tarczy powoduje naprzemienne przesłanianie i transmitowanie światła, które jest wykrywane przez fotodetektor. Detektor światła rejestruje impulsy świetlne, co w połączeniu ze znajomością geometrii otworów tarczy umożliwia określenie kąta obrotu. Rozwiązania tego typu są narażone na zanieczyszczenia układu, które mogą powodować zamknięcie światła otworu i w konsekwencji zablokowanie promieniowania.

Czujniki mechaniczne wykorzystują różnego rodzaju przekładnie, sprzęgnięte z obracającym się elementem. Ich użycie wpływa na kinematykę układu z uwagi na generowany przez nie opór, powodujący hamowanie ruchu. Czujniki magnetyczne wykorzystują zjawisko Halla, które wynika z oddziaływania pola magnetycznego na półprzewodniki. Wymagają doprowadzenia zasilania elektrycznego i są wrażliwe na zakłócenia od obcych pól elektromagnetycznych. Czujniki indukcyjne natomiast wykorzystują zjawisko odbierania energii z pola magnetycznego generowanego przez cewkę. Ich działanie narażone jest na zakłócenia pochodzące od zanieczyszczeń niepożądanymi polami elektromagnetycznymi.

Układy do pomiaru kąta obrotu mechanicznych elementów obrotowych stanowią istotny element systemów mierzących kąt obrotu elementów ruchomych maszyn. Znajdują też zastosowanie w układach pomiarowych oraz powiązanych z nimi układach sterowania a także pozycjonowania.

Ze zgłoszenia patentowego [PL391232A1](#) znany jest pozycjoner kamery składający się z kamery z obiektywem zamocowanej do ruchomej płyty z nakrętką oraz liniowymi tulejowymi prowadnicami, przy czym śruba osadzona jest w łożysku ślizgowym zamocowanym do płyty nośnej. Sterowanie ruchem odbywa się za pomocą pokrętki zamocowanej do śruby. Istotą rozwiązania jest funkcjonalność liniowego pozycjonowania miniaturowej kamery. Układ nie zawiera elementu pomiarowego pozwalającego na określenie położenia kamery.

Ze zgłoszenia patentowego [PL300436A1](#) znany jest mikroprocesorowy pozycjoner do sterowania położeniem czaszy anteny satelitarnej zawierający układ mikroprocesorowy realizujący procedury zaniku napięcia zasilania dokonujące chowania do pamięci aktualnej pozycji czaszy anteny satelitarnej, sterowania wyświetlacza i sterowania polaryzatorem magnetycznym. Pozycjoner jest znamienny tym, że jego wejście jest połączone z wyjściem portu szeregowego mikroprocesora, natomiast jego wyjścia połączone są z wejściami matrycy rezystorowej podłączonej do źródła napięcia a jej wyjście połączone jest z wejściem wzmacniacza, którego wyjście jest źródłem napięcia sterującego źródłem prądowym polaryzatora magnetycznego anteny satelitarnej. Rozwiązanie to stanowi układ pozwalający na sterowanie pozycjonowaniem anteny lecz nie pozwala na weryfikację poprawności ustawienia tegoż położenia.

Z opisu patentowego [PL207623B1](#) znany jest pozycjoner zwłaszcza elektropneumatyczny do ustawiania i regulacji pozycji napędów liniowych oraz obrotowych przy użyciu elementu pomiarowego służącego do przetwarzania przemieszczeń na sygnał sterujący, który używany jest do regulacji położenia kąтового wałka napędowego w obrotowych silnikach pneumatycznych. Układ pomiarowy wyposażony jest w magnes umocowany w wałku obrotowym, nad którym umieszczono czujnik Halla. W przedstawianym pozycjonerze zintegrowano element ruchomy, układ pomiarowy oraz mikroprocesorowy układ sterujący.

Z opisu patentowego [PL 240480B1](#) znany jest pozycjoner oraz sposób strojenia pozycjonera, który to pozycjoner zawiera układ regulatora proporcjonalno-całkująco-różniczkowego, który to układ na podstawie sygnału wejściowego z czujnika przemieszczenia zapewnia wyjściowy sygnał sterujący siłownikiem przy czym pozycjoner wymaga strojenia.

Z opisów zgłoszeń patentowych [US2016/0274594A1](#) oraz [JP2001075607A](#) znany jest pozycjoner kontrolujący stopień otwarcia zaworu. Pozycjoner bada rzeczywisty stopień otwarcia zaworu za pomocą sensora otwarcia i oblicza różnicę pomiędzy nim a stopniem otwarcia zaworu zadany ze sterownika zewnętrznego generując sygnał elektryczny, który następnie jest przekształcany za pomocą

konwertera elektryczno-pneumatycznego na ciśnienie powietrza w elemencie sterującym otwarciem zaworu.

Z opisu zgłoszenia patentowego US2014152229A1 znane są metoda oraz urządzenie do kalibrowania systemu pozycjonera wyposażonego w elektroniczne komutowany serwowymotor. Urządzenie kalibruje pozycjoner na podstawie sił pola magnetycznego wytwarzanych przez elementy urządzenia.

Problemem technicznym do rozwiązania jest wytworzenie układu i sposobu pozycjonowania obrotowej głowicy, osadzonej na nieruchomym elemencie, posiadającego układ pomiarowy odporny na zakłócenia elektromagnetyczne, pole magnetyczne, światło, nie wprowadzający zakłóceń, pozwalający na określenie kąta obrotu bez konieczności ciągłego śledzenia ruchu obracającego się elementu, pozwalającego na ustawianie kąta obrotu bez konieczności ciągłego śledzenia ruchu obracającego się elementu.

Przedmiotem wynalazku jest pozycjoner i sposób pozycjonowania kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie.

Istotą pozycjonera kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie, w którym na nieruchomym elemencie zamocowana jest obrotowo głowica jest to, że do czoła nieruchomego elementu zamocowany jest polaryzator połączony z kolimatorem, do którego za pomocą światłowodu podłączone jest szerokopasmowe źródło światła. Od strony czoła nieruchomego elementu w głowicy zamocowana jest półfalówka. Po przeciwnej stronie półfalówki do głowicy zamocowany jest drugi nieruchomy element, do której powierzchni czołowej od strony półfalówki zamocowana jest soczewka podłączona do drugiego światłowodu ze znajdującą się w jego rdzeniu światłowodową skośną siatką Bragga. Drugi światłowód podłączony jest do analizatora widma optycznego, który połączony jest z modułem sterującym z podłączonym do niego sterownikiem zewnętrznym wartości kąta obrotu. Moduł sterujący podłączony jest poprzez przewód sygnału sterującego do napędu obrotu głowicy.

Istotą sposobu ustawienia kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie z wykorzystaniem światłowodu jednomodowego z siatką Bragga jest to, że kalibruje się układ w następujący sposób:

- głowicę ustawia się w pozycji początkowej, dla której kąt obrotu – K_{obr} , równy jest 0° ,
- z szerokopasmowego źródła światła wysyła się poprzez światłowód światło do polaryzatora, w którym polaryzuje się je a następnie spolaryzowane światło przesyła się do kolimatora, w którym tworzy się wiązkę równoległą i kieruje się ją na półfalówkę, zamocowaną w głowicy. W półfalówce, na skutek obrotu głowicy zmienia się kąt płaszczyzny polaryzacji światła oraz moc światła przesyłanego na poszczególnych długościach fali, które to światło przesyła się do soczewki skupiającej światło i kierującej je do drugiego światłowodu z światłowodową skośną siatką Bragga, w której zmienia się widmo światła i przesyła się światło do analizatora, w którym mierzy się moc światła dla poszczególnych długości fali, zaś wartości zmierzonej mocy przesyła się do modułu obliczeniowego, w którym otrzymane wartości są przeliczane na serię wartości charakterystycznych dla ustawionego kąta obrotu głowicy. Przeliczenie odbywa się w układzie obliczeniowym poprzez obliczenie współczynników szybkiej transformaty Fouriera – FFT zwartości zmierzonej w analizatorze widma mocy światła dla poszczególnych długości fali. Obliczone współczynniki – FFT zapisuje się wraz z odpowiadającym im kątem obrotu głowicy $FC_j = \{(FC_{1j}, K_{obr_j}), (FC_{2j}, K_{obr_j}), \dots, (FC_{ij}, K_{obr_j}), \dots, (FC_{nj}, K_{obr_j})\}$, gdzie FC_{ij} oznacza i-ty współczynnik transformaty zmierzony dla kąta obrotu wynoszącego j stopni, K_{obr_j} oznacza kąt obrotu głowicy równy j stopni, n oznacza połowę liczby wszystkich uzyskanych współczynników transformaty, w przypadku gdy n nie jest liczbą całkowitą zaokrągla się tę liczbę w dół,
- głowicę obraca się o zadany, stały kąt,
- wykonuje się obrót głowicy do momentu, w którym uzyskano pełny obrót głowicy,
- z obliczonych współczynników FC_{ij} tworzy się funkcje – $C_i = F(K_{obr_j})$ zależności wartości i-tego współczynnika FFT od kąta obrotu głowicy, w taki sposób, że dla każdego numeru współczynnika FC_i (i należy do zbioru $\langle 1, n \rangle$), odczytuje się jego wartość dla wszystkich kątów obrotu głowicy, dla których wykonywano kalibrację – (FC_{ij}, K_{obr_j}) . Następnie z odczytanych par wartości tworzy się funkcję poprzez wyznaczenie funkcji liniowych dla odczytanych wartości współczynnika dla kolejnych kątów obrotu, następnie wyznaczone funkcje łączy się i w ten sposób tworzy się funkcje zależności wartości współczynnika FFT od kąta obrotu głowicy – $C_i = F(K_{obr_j})$ dla co najmniej dziesięciu współczynników – WA, korzystnie nie mniej niż 30,
- utworzone funkcje (charakterystyki) $C_i = F(K_{obr_j})$ zapisuje się trwale w układzie obliczeniowym.

Pomiar polega na tym, że z szerokopasmowego źródła światła wysyła się poprzez światłowód światło do polaryzatora, w którym polaryzuje się je a następnie spolaryzowane światło przesyła się do kolimatora, w którym tworzy się wiązkę równoległą i kieruje się ją na półfalówkę, zamocowaną w głowicy oraz obraca się głowicę o kąt poniżej 360° . W półfalówce na skutek obrotu głowicy zmienia się kąt płaszczyzny polaryzacji światła, które to światło przesyła się do soczewki skupiającej światło i kierującej je do drugiego światłowodu z światłowodową skośną siatką Bragga, w której zmienia się widmo światła i przesyła się światło do analizatora, w którym mierzy się moc światła dla poszczególnych długości fali. Wartości zmierzonej mocy przesyła się do modułu obliczeniowego, w którym otrzymane wartości są przeliczane na wartość kąta obrotu głowicy. Przeliczenie odbywa się w układzie obliczeniowym poprzez obliczenie współczynników FFT z wartości zmierzonej mocy światła w analizatorze widma dla poszczególnych długości fali. Spośród obliczonych współczynników FFT wybiera się te, dla których utworzono funkcje $C_i = F(K_{obr_j})$ podczas kalibracji układu a następnie określa się wartości potencjalnego kąta obrotu – PKO, jakie mogą być przez nie identyfikowane. Dokonuje się tego poprzez wyliczenie wartości PKO z funkcji $C_i = F(K_{obr_j})$ uzyskanych podczas kalibracji. Jako PKO przyjmuje się wszystkie wartości K_{obr_j} , które po podstawieniu do równania $C_i = F(K_{obr_j})$ dają w wyniku wartość i-tego współczynnika FFT zmierzoną dla badanego kąta obrotu. Obliczone wartości PKO dla wszystkich współczynników zapisuje się w zbiorze – ZW. W zbiorze ZW tworzy się podzbiory z rozdzielczością jednego stopnia obrotu i zlicza się ile wartości PKO znajduje się w każdym z przedziałów. Wartość środkowa przedziału, w którym znajduje się najwięcej PKO oznacza kąt obrotu głowicy – KOGH.

W celu zwiększenia dokładności odczytu kąta obrotu otrzymane wyniki poddaje się dalszej analizie zgodnie z następującymi krokami:

- spośród obliczonych PKO analizuje się tylko te, dla których wartość różnicy kąta obrotu pomiędzy kątem obrotu KOGH a potencjalnymi kątami obrotu – PKO jest mniejsza niż 2° ,
- sortuje się rosnąco pozostawione wartości PKO,
- usuwa się 10% najmniejszych wartości oraz 10% największych wartości PKO.

Oblicza się średnią z pozostałych wartości PKO, z których obliczona średnia stanowi odczytaną wartość kąta obrotu.

Ustawienie kąta obrotu głowicy polega na tym, że ustawia się dopuszczalny błąd kąta obrotu głowicy, po czym ze sterownika zewnętrznego wysyła się do sterownika wartość kąta obrotu głowicy do ustawienia i wartość tą przekazuje się jest do napędu obrotu głowicy, za pomocą której obraca się głowicę o zadany kąt. Po obróceniu głowicy wykonuje się weryfikację i korektę kąta obrotu poprzez pomiar kąta obrotu w celu zweryfikowania prawidłowości ustawienia głowicy a następnie oblicza się różnicę wartości zadanego kąta obrotu i zmierzonego kąta obrotu. Jeśli różnica ta jest większa od ustawionego dopuszczalnego błędu kąta obrotu wykonuje się obrót głowicy o kąt równy obliczonej różnicy wartości zadanego kąta obrotu i zmierzonego kąta obrotu głowicy, zaś operację weryfikacji i korekty kąta obrotu powtarza się do momentu, gdy różnica wartości zadanego kąta obrotu i zmierzonego kąta obrotu głowicy jest mniejsza od ustawionego dopuszczalnego błędu kąta obrotu głowicy.

Korzystnym skutkiem zastosowania wynalazku jest to, że rozwiązanie pozwala na miniaturyzację elementów układu umieszczonych w nieruchomym elemencie, co pozwoli na wykonywanie pomiarów kąta obrotu elementów mechanicznych bez istotnego naruszania ich konstrukcji. Konsekwencją zastosowania czujników, których sygnały transmitowane są w formie optycznej jest brak wrażliwości prowadzonych pomiarów na zakłócenia pochodzące od obcych pól elektromagnetycznych. Transmisja z użyciem włókien światłowodowych zapewnia wykluczenie niebezpieczeństwa wybuchowego lub pożarowego w warunkach, gdzie stosowanie elektronicznych odpowiedników zasilanych prądem elektrycznym może powodować zagrożenie. Brak elementów zasilanych elektrycznie zapewnia również możliwość stosowania wynalazku w zanurzeniu, gdzie obecność wody nie będzie powodować zagrożenia spięć elektrycznych. Umieszczenie elementu obracającego kąt polaryzacji światła wprowadzanego do skośnej siatki Bragga w szczelnej obudowie zapewnia zabezpieczenie przed zanieczyszczeniami w formie pyłu lub innych. Ponadto, zastosowanie światłowodowej skośnej siatki Bragga jako elementu pomiarowego pozwala na budowanie złożonych układów czujników mierzących różne wielkości fizyczne, takie jak kąt obrotu, temperatura, naprężenia wykorzystując pojedyncze włókno światłowodowe. Układ pozwala na dołączenie dowolnego rodzaju napędu głowicy obrotowej dostosowanego do warunków panujących w miejscu jego zamontowania oraz na redukcję wpływu braku precyzji układu napędowego na ustawienie kąta obrotu głowicy.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania jest uwidoczniony na rysunku, na którym poszczególne figury przedstawiają:

- Fig. 1 – schemat wykonania układu,
 Fig. 2 – głowicę z zamocowanymi elementami pomiarowymi,
 Fig. 3 – wykres wartości współczynnika od kąta obrotu głowicy,
 Fig. 4 – przykładowy histogram liczby odczytów PKO dla kąta obrotu głowicy,
 Fig. 5 – przykład wyznaczenia funkcji $C_i = F(K_{obr_j})$ (charakterystyki) i-tego współczynnika WA,
 Fig. 6 – funkcja uzyskana dla współczynnika WA o numerze 1 w zakresie 0–360 stopni obrotu głowicy,
 Fig. 7 – funkcje uzyskane dla współczynników WA o numerach 2, 17 w zakresie 0–360 stopni obrotu głowicy,
 Fig. 8 – funkcje uzyskane dla współczynników WA o numerach 4, 8, 10, 20, 21, 23, 25, 35, 36 w zakresie 0–360 stopni obrotu głowicy,
 Fig. 9 – funkcje uzyskane dla współczynników WA o numerach 37, 45–51, 63, 64 w zakresie 0–360 stopni obrotu głowicy,
 Fig. 10 – funkcje uzyskane dla współczynników WA o numerach 3, 14, 15, 26, 28, 29, 31, 32, 33, 34 w zakresie 0–360 stopni obrotu głowicy,
 Fig. 11 – funkcje uzyskane dla współczynników WA o numerach 38 - 44, 52 w zakresie 0-360 stopni obrotu głowicy,
 Fig. 12 – Funkcje uzyskane dla współczynników WA o numerach 53, 54, 55, 87, 105, 108, 127, 130, 153, 169 w zakresie 0–360 stopni obrotu głowicy.

Układ i sposób pozycjonowania kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie, według wynalazku w przykładzie wykonania składa się z nieruchomego elementu 3, do którego czoła zamocowany jest polaryzator 4 – Thorlabs LPNIRA050-MP2 połączony z kolimatorem 6 – CFP2-1550A, do którego za pomocą światłowodu 2 – SMF-28 podłączone jest szerokopasmowe źródło światła 1 – S5FC1550S-A2. Od strony czoła nieruchomego elementu 3 w głowicy 5 zamocowana jest półfalówka 8 – WPHSM05-1550. Po przeciwnej stronie półfalówki 8 do głowicy 5 zamocowany jest drugi nieruchomy element 10, do którego powierzchni czołowej od strony półfalówki 8 zamocowana jest soczewka 7 – CFP2-1550A podłączona do drugiego światłowodu 16 – SMF-28 ze znajdującą się w jego rdzeniu światłowodową skośną siatką Bragga 9 o kącie struktury wewnętrznej wynoszącym 7° . Światłowód 16 – SMF-28 podłączony jest do analizatora widma optycznego 11 – Yokogawa AQ6730D, który połączony jest z modulem sterującym 12 w postaci komputera klasy PC, który to wyposażony jest w wejście do przesyłania zadanej wartości kąta ze sterownika zewnętrznego 17 w postaci złącza RJ45 i przez przewód sterujący 15 w postaci kabla UTP przesyła sygnały sterujące do napędu głowicy 14 w postaci silnika krokowego połączonego z Arduino.

Sposób ustawienia kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie z wykorzystaniem światłowodu jednomodowego z siatką Bragga przy użyciu wyżej opisanego układu zrealizowano według procedury opisanej poniżej.

Przeprowadzono kalibrację układu pomiarowego według następujących kroków:

- głowicę 5 ustawiono w pozycji początkowej, dla której kąt obrotu – K_{obr} równy jest 0° ,
 - z szerokopasmowego źródła światła 1 wysłano poprzez światłowód 2 światło do polaryzatora 4, w którym zostało spolaryzowane a następnie spolaryzowane światło przesłano do kolimatora 6, w którym utworzona została wiązka równoległa, którą skierowano na półfalówkę 8, zamocowaną w głowicy 5. W półfalówce 8, na skutek obrotu głowicy 5 zmienił się kąt płaszczyzny polaryzacji światła oraz moc światła przesyłanego na poszczególnych długościach fali, które to światło przesłano do soczewki 7 skupiającej światło i kierującej je do światłowodu 16 ze światłowodową skośną siatką Bragga 9, w której zmieniło się widmo światła i światło zostało przesłane do analizatora 11, w którym zmierzono moc światła dla fal z zakresu 1540–1560 nm z krokiem 0,004 nm. Wartości zmierzonej mocy przesłano do modułu obliczeniowego 12, w którym otrzymane wartości zostały przeliczone na serię wartości charakterystycznych dla ustawionego kąta obrotu głowicy 5. Przeliczenie odbyło się poprzez obliczenie współczynników szybkiej transformaty Fouriera – FFT z wartości zmierzonej w analizatorze widma 11 mocy światła dla poszczególnych długości fali. Obliczone współczynniki – FFT zapisano wraz z odpowiadającym im kątem obrotu głowicy
- $FC_j = \{(FC_{1j}, K_{obr_j}), (FC_{2j}, K_{obr_j}), \dots, (FC_{ij}, K_{obr_j}), \dots, (FC_{nj}, K_{obr_j})\}$, gdzie FC_{ij} oznacza i-ty współczynnik transformaty zmierzony dla kąta obrotu wynoszącego j stopni, K_{obr_j} oznacza kąt obrotu głowicy równy j stopni, n oznacza połowę liczby wszystkich uzyskanych współczynników transformaty, w przypadku gdy n nie jest liczbą całkowitą zaokrągla się tę liczbę w dół.

W przykładzie wykonania użyto współczynników – WA o numerach: 1, 2, 3, 4, 8, 10, 14, 15, 17, 20, 21, 23, 25, 26, 28, 29, 31–55, 63, 64, 87, 105, 108, 127, 130, 153, 169. Przykładowe funkcje (charakterystyki) wymienionych współczynników pokazano na wykresach przedstawionych na Fig. 6 – Fig. 12

- c) głowicę 5 obracano o zadany, stały kąt, równy 2° i powtarzano krok b)
- d) wykonywano obrót głowicy 5 i powtarzano krok b) do momentu, w którym uzyskano pełny obrót głowicy 5,
- e) z obliczonych współczynników FC_{ij} utworzono funkcje – $C_i = F(K_{obr,j})$ zależności wartości i -tego współczynnika FFT od kąta obrotu głowicy 5, w taki sposób, że dla każdego numeru współczynnika FC_i , gdzie i należy do zbioru $\langle 1, n \rangle$, odczytano jego wartość dla wszystkich kątów obrotu głowicy 5, dla których wykonano kalibrację (Fig. 6 – Fig. 12), a następnie z odczytanych par wartości utworzono funkcję poprzez wyznaczenie funkcji liniowych dla odczytanych wartości współczynnika dla kolejnych kątów obrotu, następnie wyznaczone funkcje łączy się i w ten sposób utworzono funkcje (charakterystyki) – $C_i = F(K_{obr,j})$ dla wszystkich współczynników – WA – Fig. 5 rysunku,
- f) utworzone funkcje – $C_i = F(K_{obr,j})$ zapisano trwale w module sterującym 12.

Ustawiono dopuszczalny błąd kąta obrotu głowicy równy 0.1 stopnia.

Głowica znajdowała się w położeniu dla którego kąt obrotu – K_{obr} równy był 8° .

Ustawiono kąt obrotu głowicy w taki sposób, że wysłano do układu sterującego polecenie ustawienia głowicy w pozycji obróconej o kąt 12 stopni. Układ pomiarowy wykonał pomiar aktualnego położenia głowicy.

Pomiar polegał na tym, że z szerokopasmowego źródła światła 1 wysłano poprzez światłowód 2 światło do polaryzatora 4, w którym zostało spolaryzowane a następnie spolaryzowane światło przesłano do kolimatora 6, w którym utworzona została wiązka równoległa, która została skierowana na półfalówkę 8, zamocowaną w głowicy 5 oraz obracano głowicę 5 o kąt poniżej 360° . W półfalówce 8 na skutek obrotu głowicy 5 zmieniał się kąt płaszczyzny polaryzacji światła oraz moc światła przesyłanego na poszczególnych długościach fali, które to światło przesyłane było do soczewki 7 skupiającej światło i kierującej je do światłowodu 16 ze światłowodową skośną siatką Bragga 9, w której zmieniał się widmo światła, które to światło przesłano do analizatora widma optycznego 11, gdzie zmierzono moc światła dla poszczególnych długości fali. Wartości zmierzonej mocy przekazano do modułu obliczeniowego 12, w którym otrzymane wartości zostały przeliczone na wartość kąta obrotu głowicy 5. Przeliczenie odbywało się w module obliczeniowym 12 poprzez obliczenie współczynników – FFT z wartości zmierzonej mocy światła w analizatorze widma optycznego 11 dla poszczególnych długości fali. Spośród obliczonych współczynników FFT wybrano te, dla których utworzono funkcje $C_i = F(K_{obr,j})$ podczas kalibracji układu a następnie określono wartości potencjalnego kąta obrotu – PKO, jakie mogły być przez nie identyfikowane – fig. 3. Dokonano tego poprzez wyliczenie wartości PKO z funkcji $C_i = F(K_{obr,j})$ uzyskanych podczas kalibracji. Jako PKO przyjęto wszystkie wartości $K_{obr,j}$, które po podstawieniu do równania $C_i = F(K_{obr,j})$ dały w wyniku wartość i -tego współczynnika FFT zmierzoną dla badanego kąta obrotu.

Obliczone wartości PKO dla wszystkich współczynników WA zapisano w zbiorze – ZW. Następnie utworzono przedziały pełnego kąta obrotu z rozdzielczością jednego stopnia ($0,5$ stopnia – $1,5$ stopień, $1,5$ stopnia – $2,5$ stopnia, ... $359,5$ stopnia – $0,5$ stopnia), zliczono ile PKO znajduje się w każdym z przedziałów. Środkowa wartość przedziału, w którym znajdowało się najwięcej PKO oznaczała kąt obrotu głowicy – KOGH, który wynosił 8 stopni. Przykładowe wyniki zobrazowano na histogramie przedstawionym na Fig. 4.

W celu zwiększenia dokładności odczytu kąta obrotu otrzymane wyniki poddano dalszej analizie zgodnie z krokami poniżej:

- spośród obliczonych PKO analizowano tylko te, dla których wartość różnicy kąta obrotu pomiędzy kątem obrotu KOGH a potencjalnymi kątami obrotu – PKO była mniejsza niż 2° ,
- posortowano rosnąco pozostawione wartości PKO,
- usunięto 10% najmniejszych wartości oraz 10% największych wartości PKO, obliczono średnią z pozostałych wartości PKO, z których obliczona średnia stanowiła odczytaną wartość kąta obrotu, która wynosiła $8,03$ stopnia.

Obliczono różnicę pomiędzy zadany a aktualnym kątem obrotu głowicy $\beta = 12 - 8,03 = 3,97$ stopnia. Wysłano do układu napędowego polecenie obrócenia głowicy o kąt $3,97$ stopnia. Po obróceniu głowicy wykonano weryfikację kąta obrotu poprzez jego pomiar. Uzyskano wartość $12,01$ stopnia. Obliczono różnicę

pomiędzy zadany i zmierzony kąt obrotu głowicy $\delta = |12 - 12,01| = 0,01$. Obliczona różnica była mniejsza od ustawionego dopuszczalnego błędu kąta obrotu więc procedurę obrotu głowicy zakończono.

Zastrzeżenia patentowe

1. Pozycjoner kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie, w którym, na nieruchomym elemencie (3) zamocowana jest obrotowo głowica (5) **znamienny tym**, że do czoła nieruchomego elementu (3) zamocowany jest polaryzator (4) połączony z kolimatorem (6), do którego za pomocą światłowodu (2) podłączone jest szerokopasmowe źródło światła (1), **natomiast** od strony czoła nieruchomego elementu (3) w głowicy (5) zamocowana jest półfalówka (8), zaś po przeciwnej stronie półfalówki (8) do głowicy (5) zamocowany jest drugi nieruchomy element (10), do którego powierzchni czołowej od strony półfalówki (8) zamocowana jest soczewka (7) połączona do drugiego światłowodu (16) ze znajdującą się w jego rdzeniu światłowodową skośną siatką Bragga (9) **tudzież** drugi światłowód (16) podłączony jest do analizatora widma optycznego (11), który połączony jest z modułem sterującym (12) z podłączonym do niego sterownikiem zewnętrznym (17) wartości kąta obrotu **oraz** moduł sterujący (12) podłączony jest poprzez przewód sygnału sterującego (15) do napędu obrotu głowicy (14).
2. Sposób pozycjonowania kąta obrotu głowicy zamocowanej na nieruchomym elemencie z wykorzystaniem światłowodu jednomodowego z siatką Bragga z wykorzystaniem układu opisanego w zastrz. 1 **znamienny tym**, że kalibruje się układ pomiarowy w ten sposób, że:
 - głowicę (5) ustawia się w pozycji początkowej, dla której kąt obrotu – K_{obr} równy jest 0° ,
 - z szerokopasmowego źródła światła (1) wysyła się poprzez światłowód (2) światło do polaryzatora (4), w którym polaryzuje się je, a następnie spolaryzowane światło przesyła się do kolimatora (6), w którym tworzy się wiązkę równoległą i kieruje się ją na półfalówkę (8), zamocowaną w głowicy (5), **przy czym** w półfalówce (8), na skutek obrotu głowicy (5) zmienia się kąt płaszczyzny polaryzacji światła oraz moc światła przesyłanego na poszczególnych długościach fali, które to światło przesyła się do soczewki (7) skupiającej światło i kierującej je do drugiego światłowodu (16) z światłowodową skośną siatką Bragga (9), w której zmienia się widmo światła i przesyła się światło do analizatora (11), w którym mierzy się moc światła dla poszczególnych długości fali, zaś wartości zmierzonej mocy przesyła się do modułu obliczeniowego (12), w którym otrzymane wartości są przeliczane na serię wartości charakterystycznych dla ustawionego kąta obrotu głowicy (5), **przy czym** przeliczenie odbywa się w układzie obliczeniowym (12) poprzez obliczenie współczynników szybkiej transformaty Fouriera – FFT z wartości zmierzonej w analizatorze widma (11) mocy światła dla poszczególnych długości fali, zaś obliczone współczynniki – FFT zapisuje się wraz z odpowiadającym im kątem obrotu głowicy $FC_j = \{(FC_{1j}, K_{obr_j}), (FC_{2j}, K_{obr_j}), \dots, (FC_{ij}, K_{obr_j}), \dots, (FC_{nj}, K_{obr_j})\}$, gdzie FC_{ij} oznacza i-ty współczynnik transformaty zmierzony dla kąta obrotu wynoszącego j stopni, K_{obr_j} oznacza kąt obrotu głowicy równy j stopni, n oznacza połowę liczby wszystkich uzyskanych współczynników transformaty, w przypadku gdy n nie jest liczbą całkowitą zaokrągla się tę liczbę w dół,
 - głowicę (5) obraca się o zadany, stały kąt,
 - wykonuje się obrót głowicy (5) do momentu, w którym uzyskano pełny obrót głowicy (5),
 - z obliczonych współczynników FC_{ij} tworzy się funkcje – $C_i = F(K_{obr_j})$ zależności wartości i-tego współczynnika FFT od kąta obrotu głowicy (5), w taki sposób, że dla każdego numeru współczynnika FC_i (i należy do zbioru $\langle 1, n \rangle$), odczytuje się jego wartość dla wszystkich kątów obrotu głowicy (5), dla których wykonywano kalibrację – (FC_{ij}, K_{obr_j}) , a **następnie** z odczytanych par wartości tworzy się funkcję poprzez wyznaczenie funkcji liniowych dla odczytanych wartości współczynnika dla kolejnych kątów obrotu, następnie wyznaczone funkcje łączy się i w ten sposób tworzy się funkcje zależności wartości współczynnika FFT od kąta obrotu głowicy – $C_i = F(K_{obr_j})$ dla co najmniej dziesięciu współczynników – WA, korzystnie nie mniej niż 30,
 - utworzone funkcje $C_i = F(K_{obr_j})$ zapisuje się trwale w układzie obliczeniowym (12), **natomiast** pomiar kąta obrotu głowicy (5) polega na tym, że z szerokopasmowego źródła światła (1) wysyła się poprzez światłowód (2) światło do polaryzatora (4), w którym polaryzuje się je

a następnie spolaryzowane światło przesyła się do kolimatora (6), w którym tworzy się wiązkę równoległą i kieruje się ją na półfalówkę (8), zamocowaną w głowicy (5) oraz obraca się głowicę (5) o kąt poniżej 360° , przy czym w półfalówce (8) na skutek obrotu głowicy (5) zmienia się kąt płaszczyzny polaryzacji światła, które to światło przesyła się do soczewki (7) skupiającej światło i kierującej je do drugiego światłowodu (14) z światłowodową skośną siatką Bragga (9), w której zmienia się widmo światła i przesyła się światło do analizatora (11), w którym mierzy się moc światła dla poszczególnych długości fali, zaś wartości zmierzonej mocy przesyła się do modułu obliczeniowego (12), w którym otrzymane wartości są przeliczane na wartość kąta obrotu głowicy (5), **przy czym** przeliczenie odbywa się w układzie obliczeniowym (12) poprzez obliczenie współczynników – FFT z wartości zmierzonej mocy światła w analizatorze widma (11) dla poszczególnych długości fali, **natomiast** spośród obliczonych współczynników FFT wybiera się te, dla których utworzono funkcje $C_i = F(K_{obr_j})$ podczas kalibracji układu a następnie określa się wartości potencjalnego kąta obrotu (PKO), jakie mogą być przez nie identyfikowane, **przy czym** dokonuje się tego poprzez wyliczenie wartości PKO z funkcji $C_i = F(K_{obr_j})$ uzyskanych podczas kalibracji, jako PKO traktuje się wszystkie wartości K_{obr_j} , które po podstawieniu do równania $C_i = F(K_{obr_j})$ dają w wyniku wartość i-tego współczynnika FFT zmierzoną dla badanego kąta obrotu, obliczone wartości PKO dla wszystkich współczynników (WA) zapisuje się w zbiorze – ZW, **natomiast** w zbiorze ZW tworzy się podzbiory z rozdzielczością jednego stopnia obrotu i zlicza się ile potencjalnych kątów obrotu (PKO) znajduje się w każdym z przedziałów, **przy czym** wartość środkowa przedziału, w którym znajduje się najwięcej potencjalnych kątów obrotu (PKO) oznacza kąt obrotu głowicy (KOGH),

natomiast ustawienie kąta obrotu głowicy (5) polega na tym, że ustawia się dopuszczalny błąd kąta obrotu głowicy (5), po czym ze sterownika zewnętrznego (17) wysyła się do sterownika (12) wartość kąta obrotu głowicy do ustawienia i wartość tą przekazuje się jest do napędu obrotu głowicy (14), za pomocą której obraca się głowicę (5) o zadany kąt, **przy czym** po obróceniu głowicy (5) wykonuje się weryfikację i korektę kąta obrotu poprzez pomiar kąta obrotu w celu zweryfikowania prawidłowości ustawienia głowicy (5) a następnie oblicza się różnicę wartości zadanego kąta obrotu i zmierzonego kąta obrotu, **przy czym** jeśli różnica ta jest większa od ustawionego dopuszczalnego błędu kąta obrotu wykonuje się obrót głowicy (5) o kąt równy obliczonej różnicy wartości zadanego kąta obrotu i zmierzonego kąta obrotu głowicy (5), zaś operację weryfikacji i korekty kąta obrotu powtarza się do momentu, gdy różnica wartości zadanego kąta obrotu i zmierzonego kąta obrotu głowicy (5) jest mniejsza od ustawionego dopuszczalnego błędu kąta obrotu głowicy (5).

3. Sposób według zastrz. 2 **znamienny tym**, że w celu zwiększenia dokładności odczytu kąta obrotu otrzymane wyniki poddaje się dalszej analizie zgodnie z następującymi krokami:
 - spośród obliczonych kątów obrotu (PKO) analizuje się tylko te, dla których wartość różnicy kąta obrotu pomiędzy kątem obrotu KOGH a potencjalnymi kątami obrotu (PKO) jest mniejsza niż 2° ,
 - sortuje się rosnąco pozostawione wartości (PKO),
 - usuwa się 10% najmniejszych wartości oraz 10% największych wartości analizowanych potencjalnych kątów obrotu (PKO),
 - oblicza się średnią z pozostałych wartości (PKO), z których obliczona średnia stanowi odczytaną wartość kąta obrotu.

Rysunki

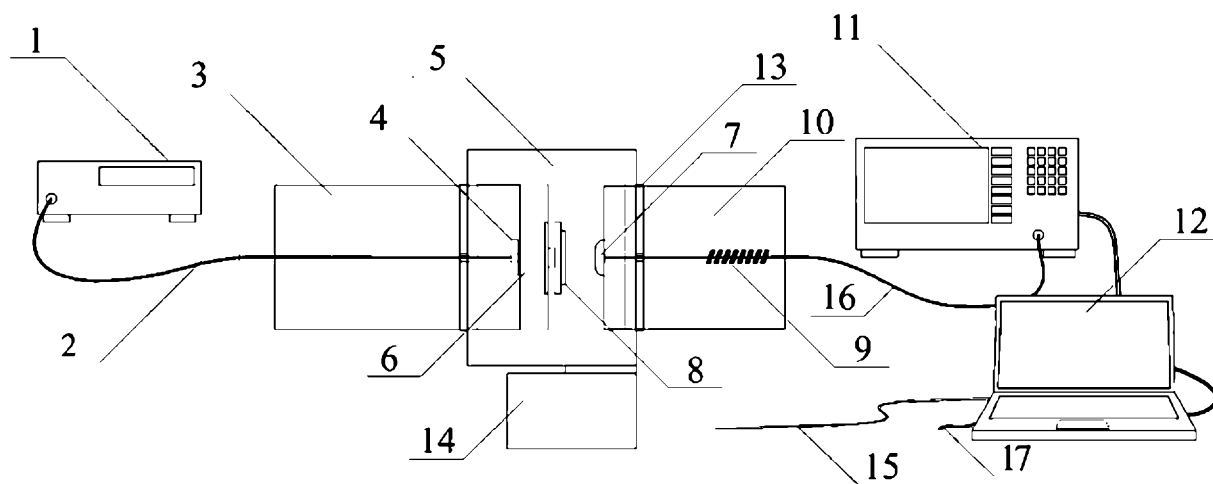


Fig. 1

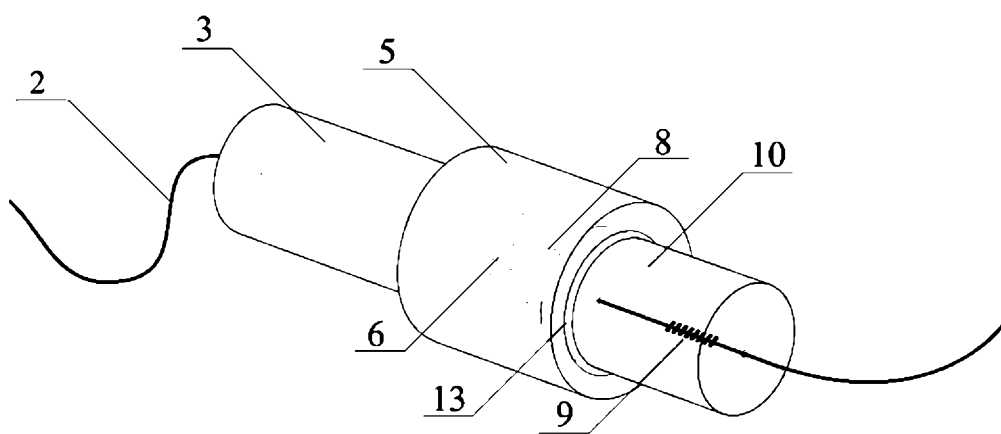


Fig. 2

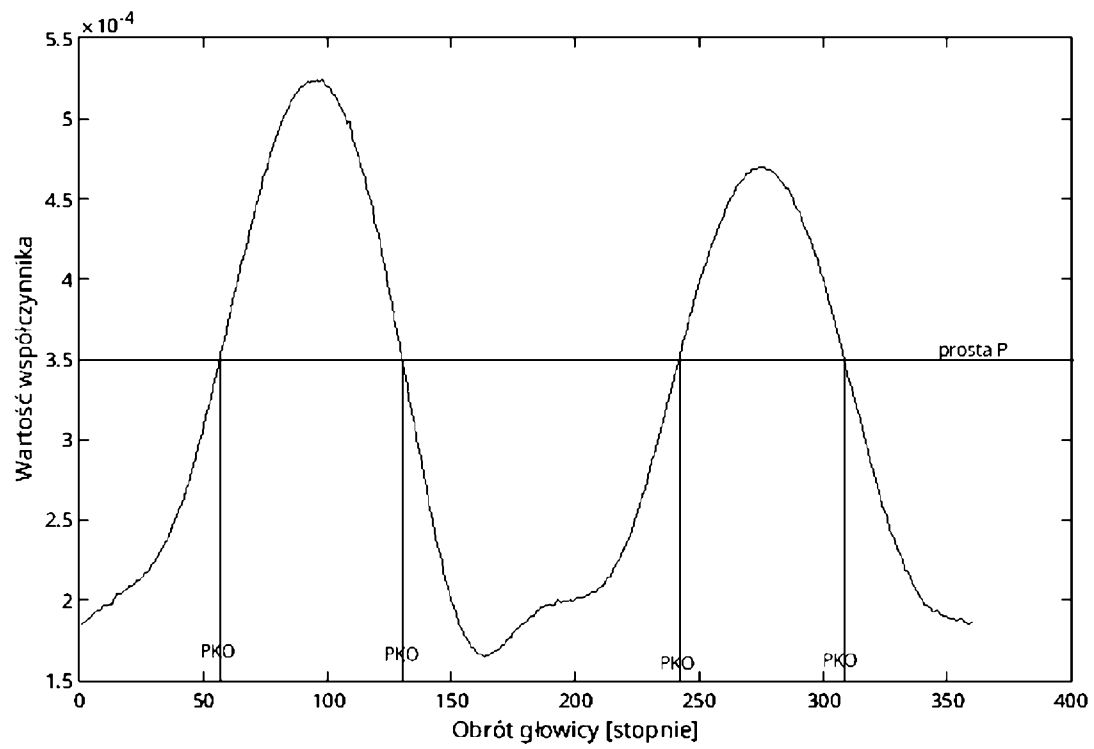


Fig. 3

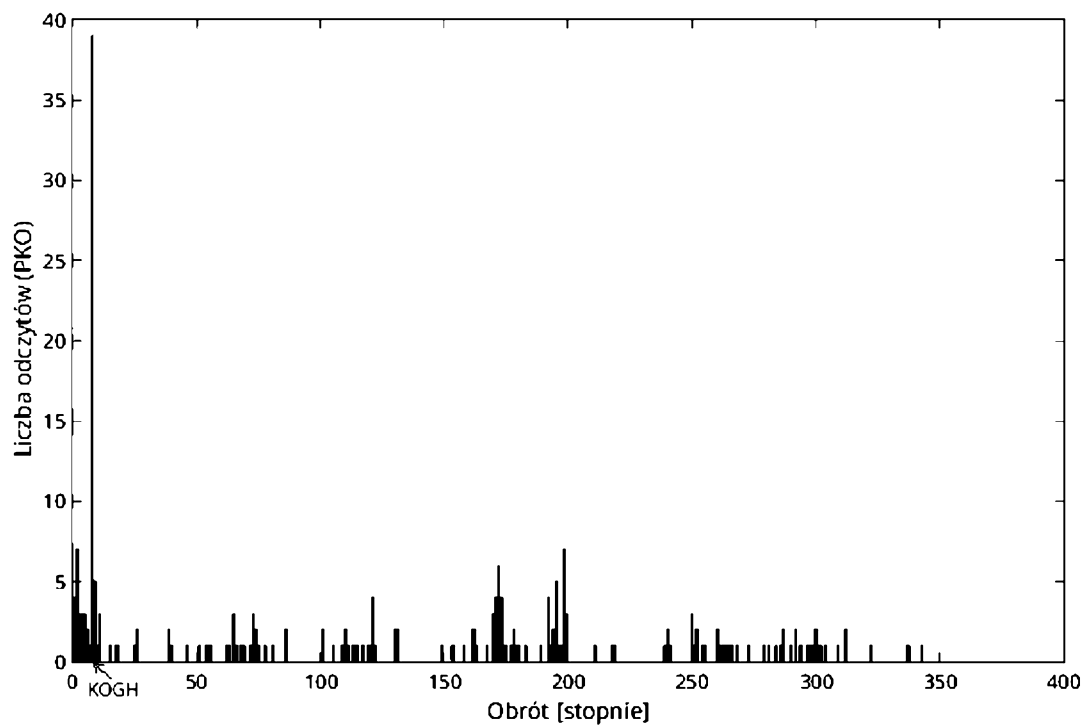


Fig. 4

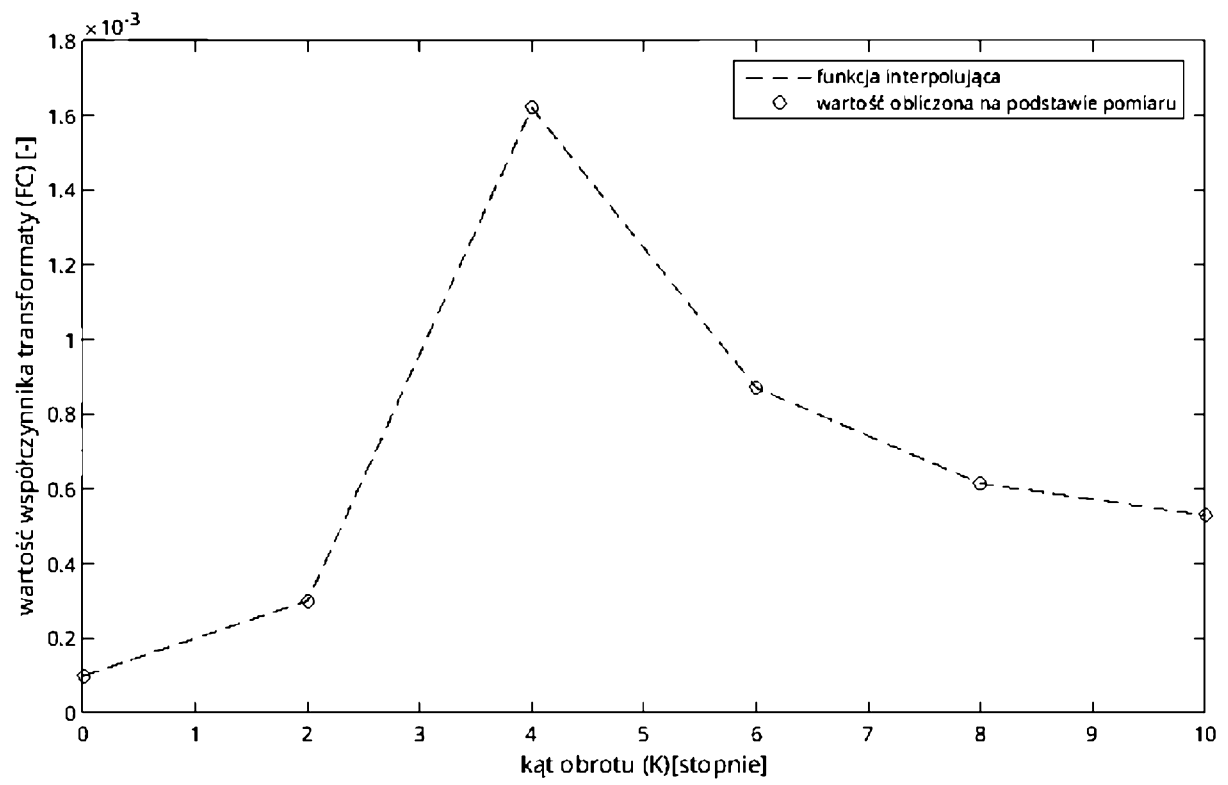


Fig. 5

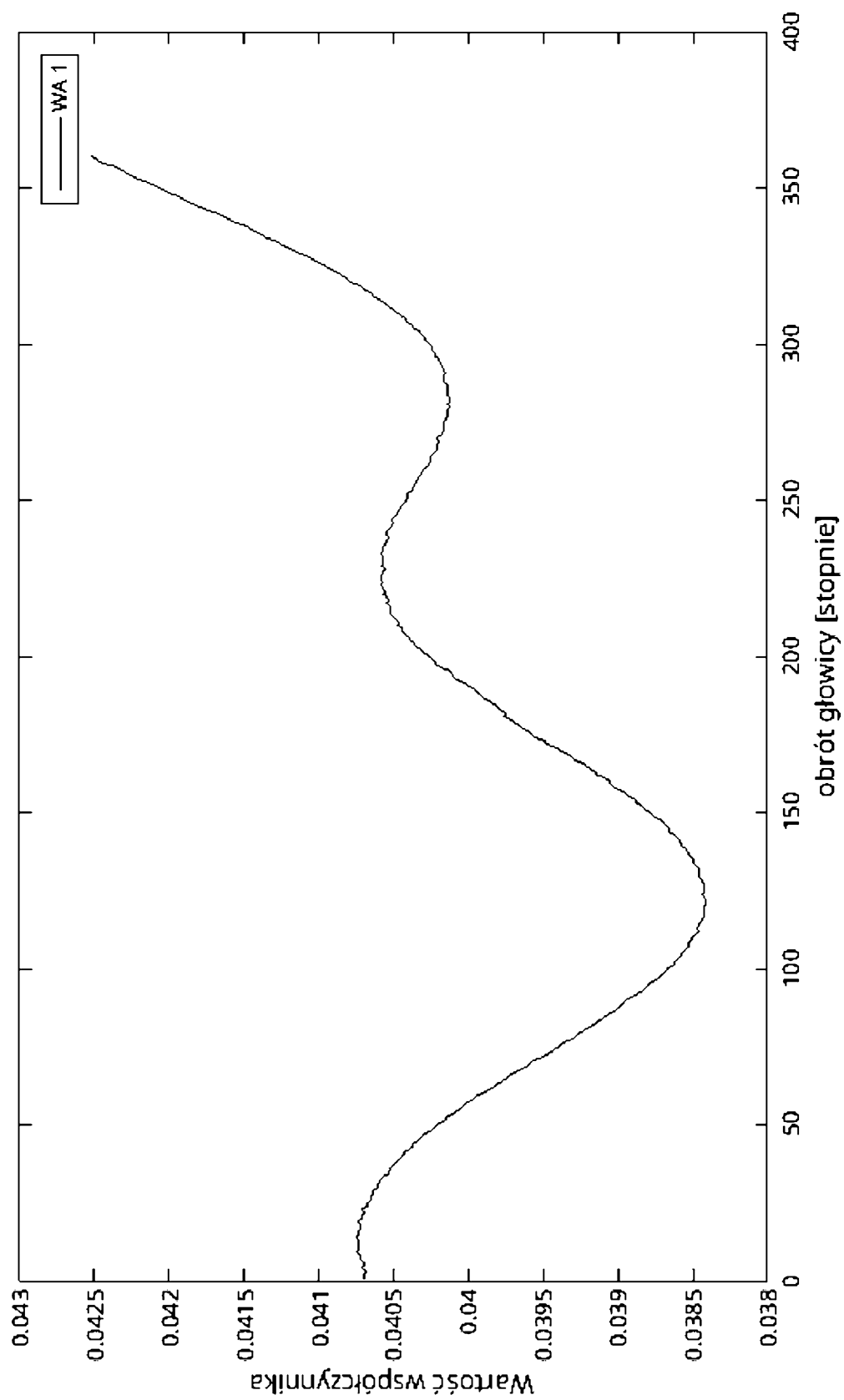


Fig. 6

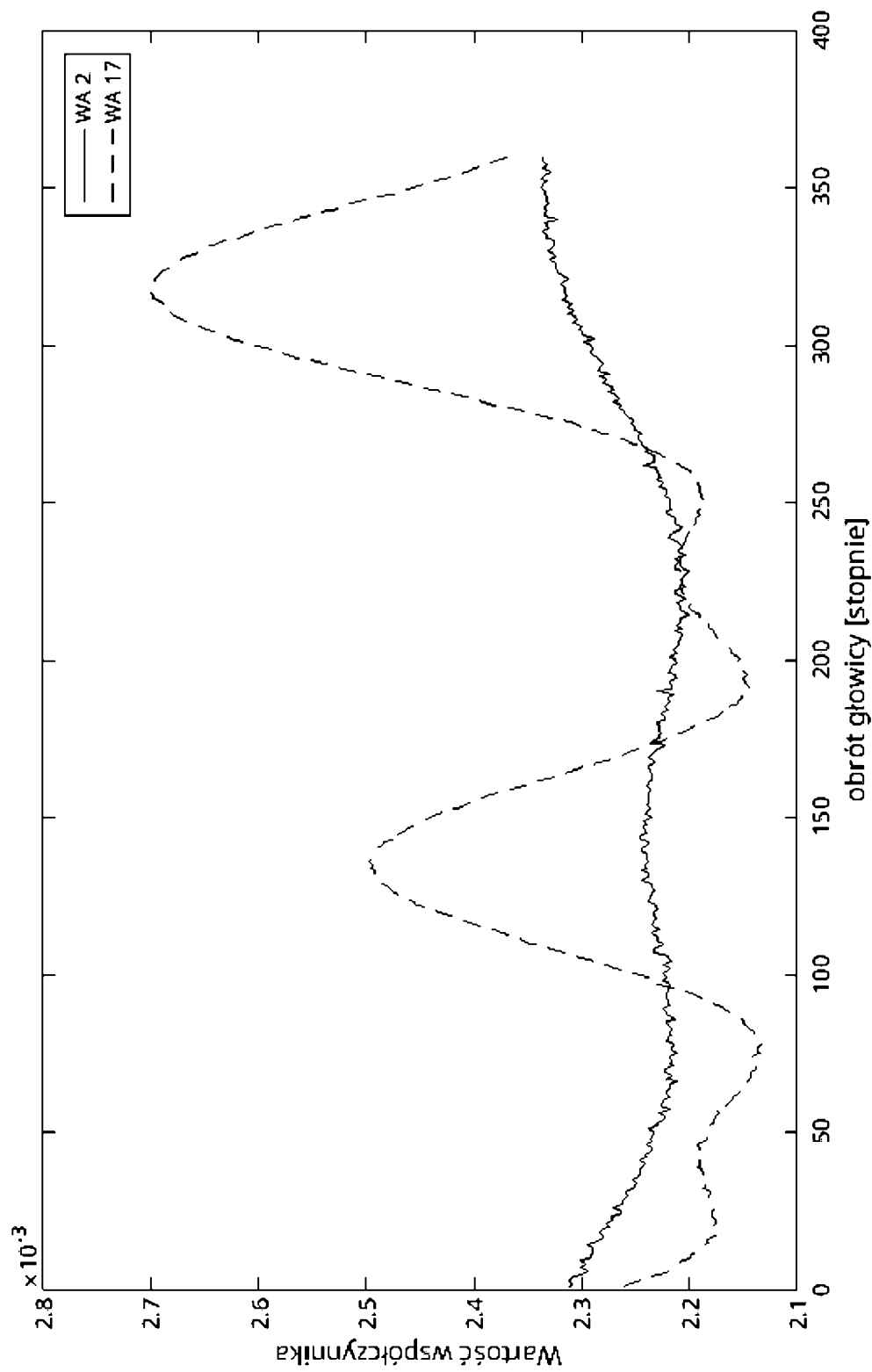


Fig. 7

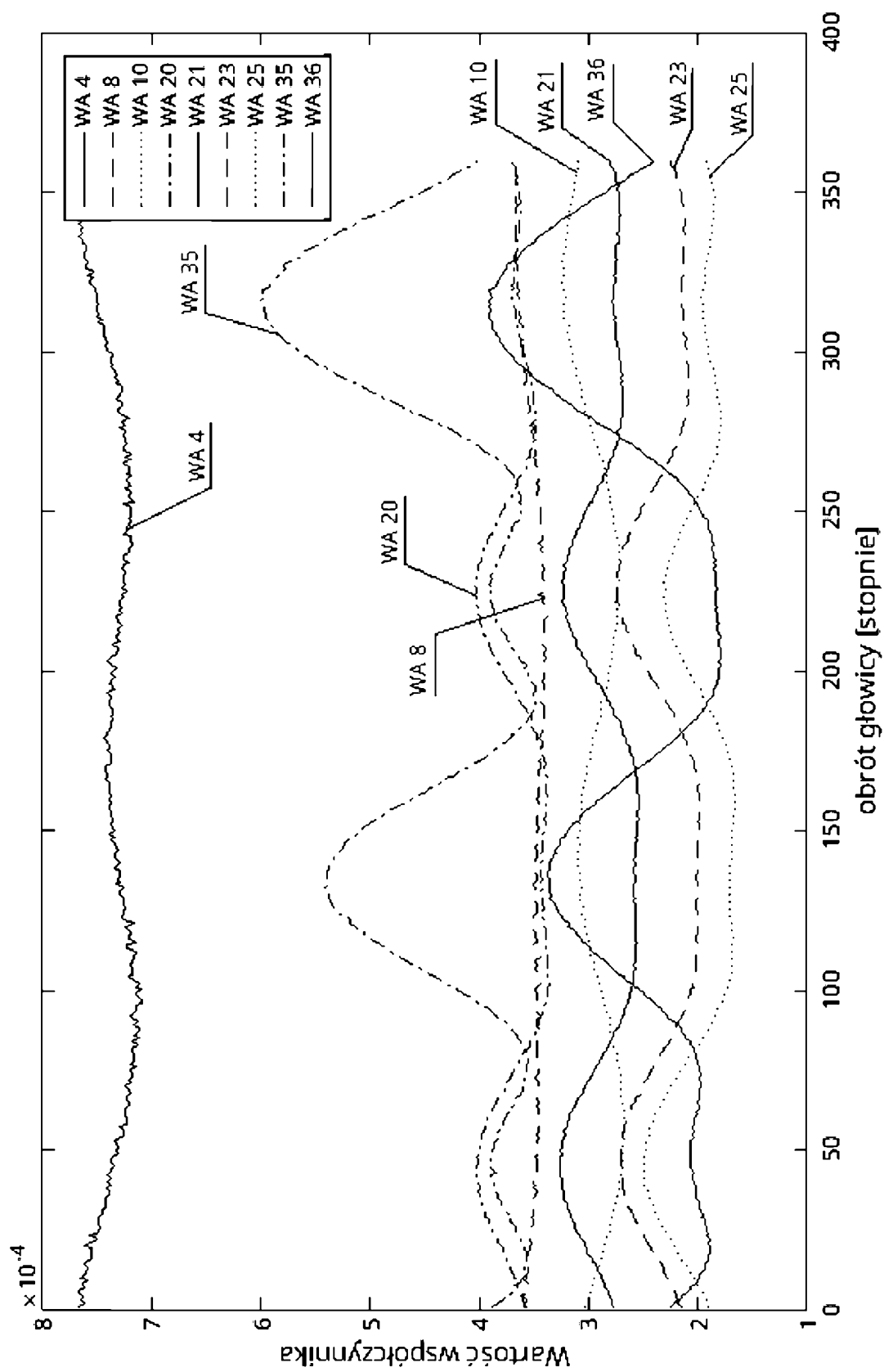


Fig. 8

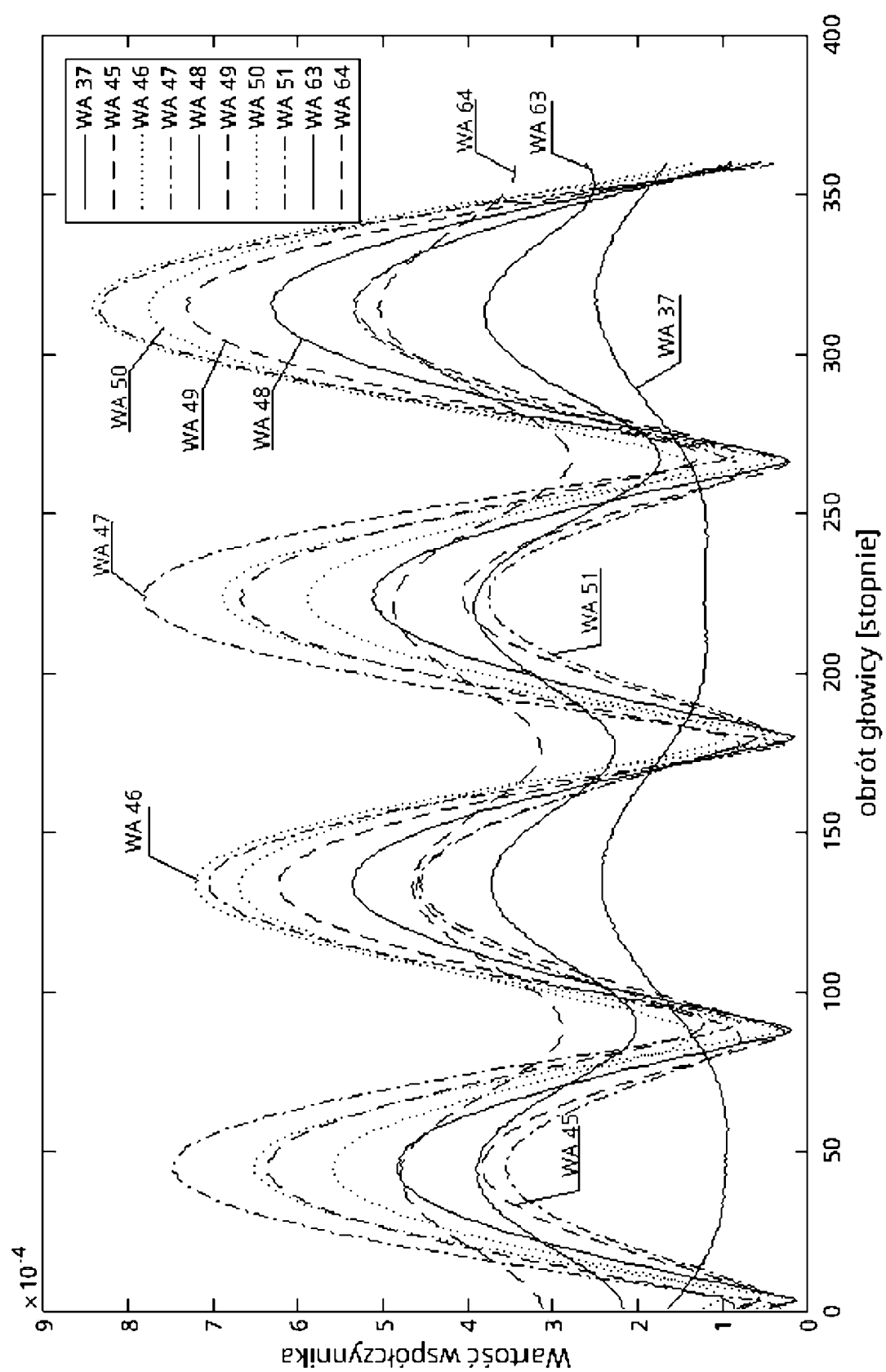


Fig. 9

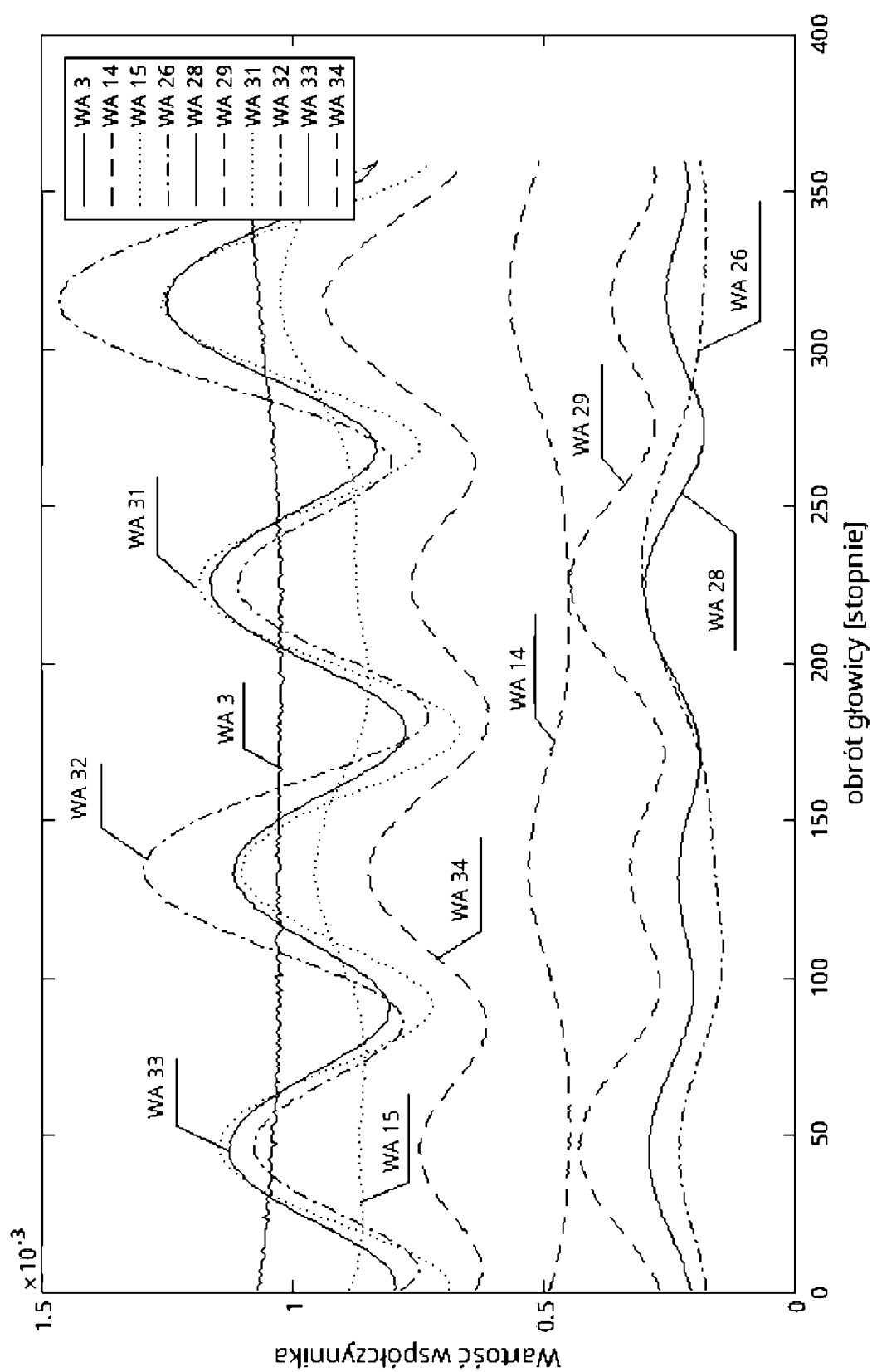


Fig. 10

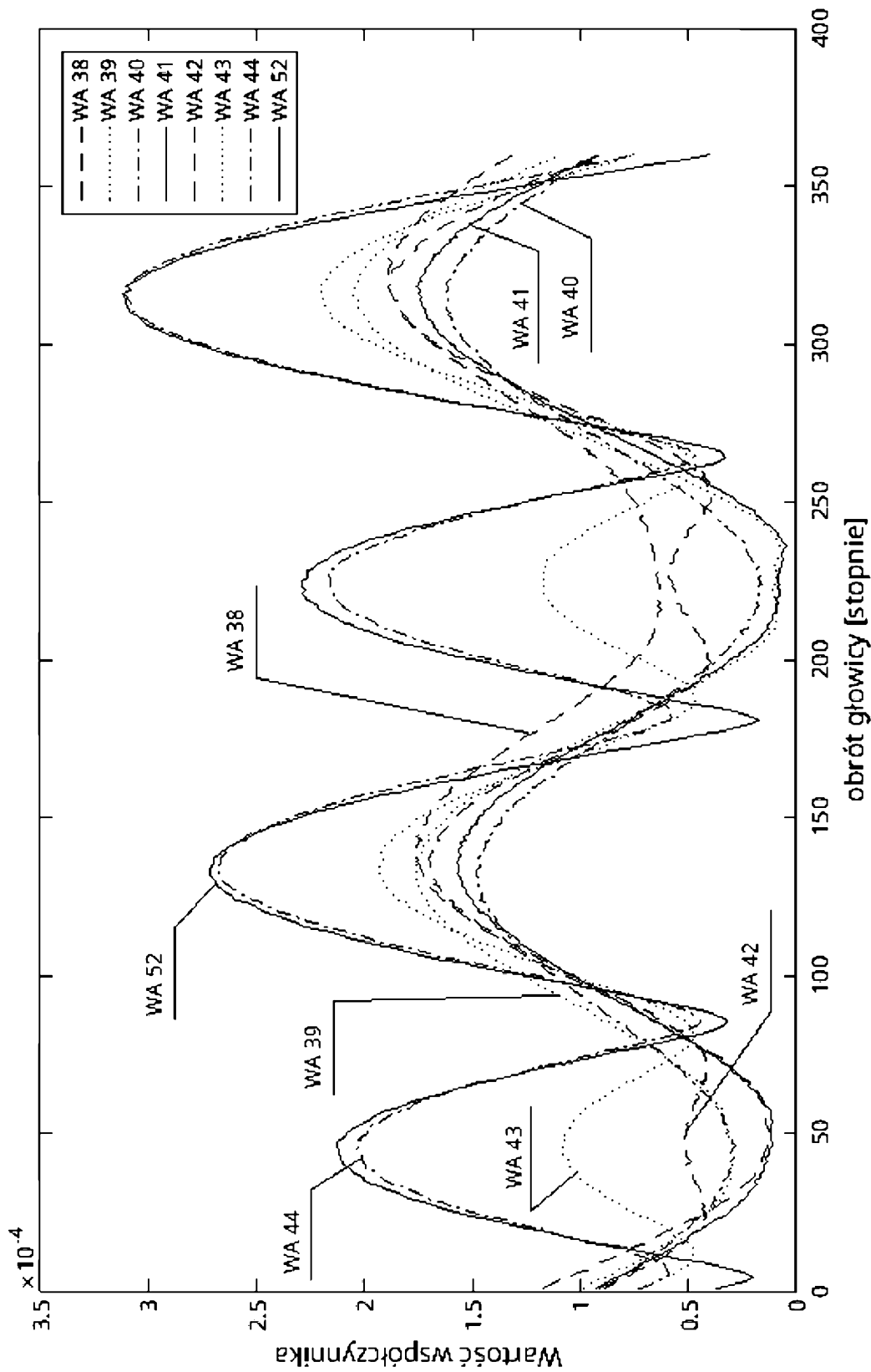


Fig. 11

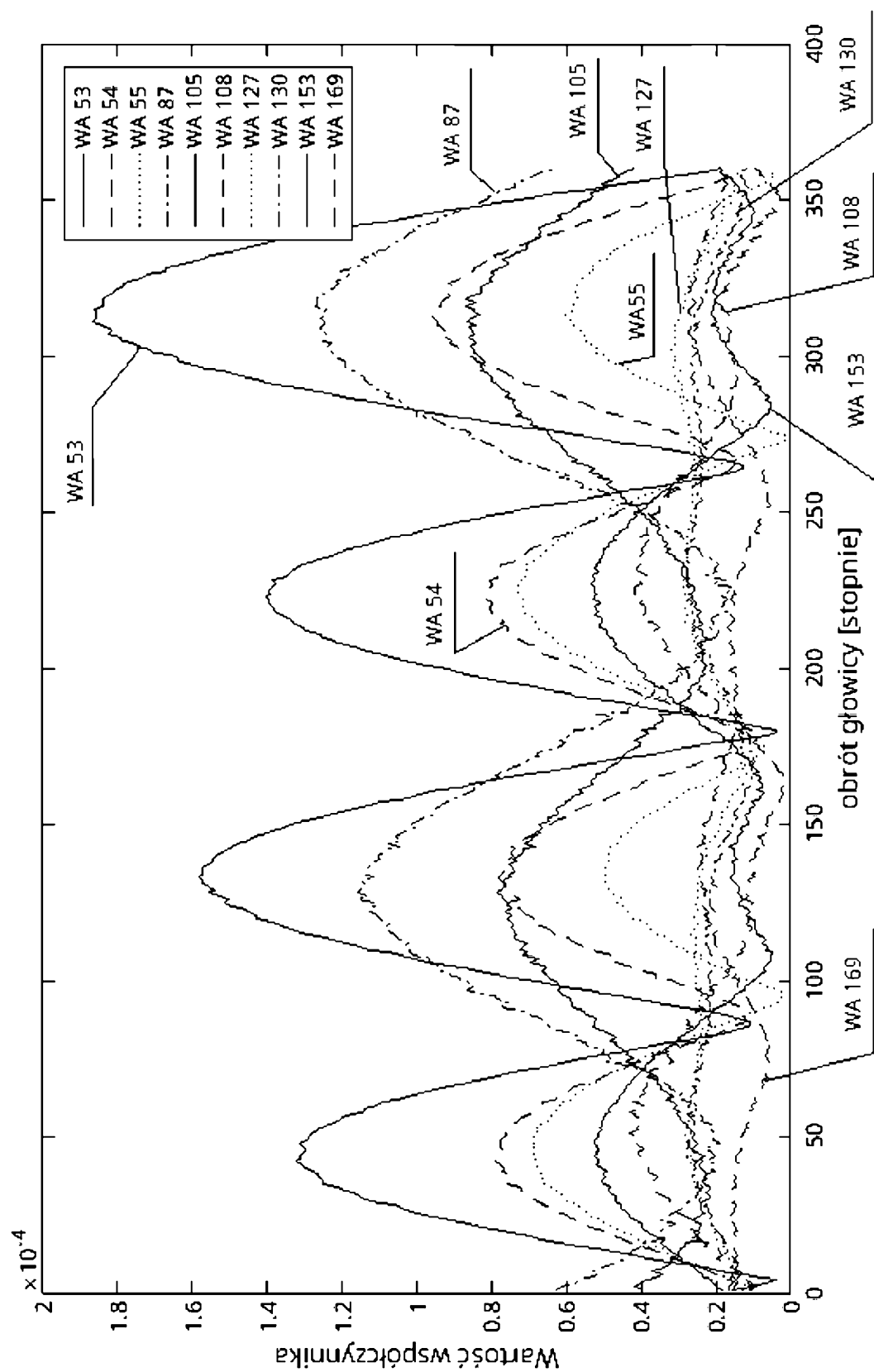


Fig. 12