

ODCHYLENIA DYNAMICZNE W BADANIACH KÓŁ ZĘBATYCH

Jan CHAJDA¹
Łukasz MĄDRY²

STRESZCZENIE

W pracy zdefiniowano pojęcie odchylenia i odchyłki dynamicznej, jako parametrów metrologicznych jednoznacznie opisujących wpływ błędów wykonania przekładni zębatej na jej dynamikę. Znając wartość odchyłki dynamicznej istnieje możliwość świadomego projektowania, nadzorowania, technologii i kontroli kół zębatych zapewniających właściwą ich eksploatację (obciążenia, cichobieżność, zużycie – pitting itp.). W ramach badań opracowano metodykę wyznaczania odchylenia dynamicznego, opracowano program do określania jego wartości oraz przeprowadzono symulacje wpływu odchyłek elementarnych kół zębatych na odchyłkę dynamiczną.

1. CEL BADAŃ

Problem dokładności wykonania kół zębatych oraz ich badania był i jest nadal przedmiotem zainteresowań wielu badaczy, czego przejawem jest szereg publikacji, rozpraw naukowych, konferencji i kongresów krajowych i zagranicznych.

Z charakterystyk ich wynika jednak brak pełnej analizy teoretycznej dotyczącej dokładności kół zębatych. W obszarze zagadnień dokładności dynamicznej, najważniejszym dla projektowania, wykonawstwa, pomiarów i eksploatacji, istnieją największe niezgodności lub znaczne uproszczenia, które nie pozwoliły dotychczas na kompleksową analizę i wyjaśnienie zależności

¹ prof. dr inż. Jan Chajda - Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej

² mgr inż. Łukasz Mądry - Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej

dokładności dynamicznej od odchyłek wykonawczych kół zębatych. Znaczna ilość prac dotyczy pomiarów kół zębatych przyrządami uniwersalnymi oraz badania współpracy obustronnej, brak było charakterystyki współpracy jednostronnej. Aby móc opisać naukowo te zagadnienia w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Poznańskiej prowadzono prace badawcze mające na celu:

- opracowanie modelu matematycznego współpracy jednostronnej kół zębatych,
- ustalenie niezależnych odchyłek, które są podstawą do symulacji cyfrowej współpracy jednostronnej,
- opracowanie oprogramowań dla oceny odchylenia kinematycznego.

Celem badań autorów było zakończenie badań nad kompleksową oceną dokładności kół zębatych poprzez wprowadzenie charakterystyk dynamicznych. Główna teza projektu brzmi: „Jeżeli znana jest metodyka wyznaczania odchylenia i odchyłki dynamicznej kół zębatych, a przez co znane są wartości tej odchyłki, to istnieje możliwość świadomego projektowania, nadzorowania, technologii i kontroli kół zębatych zapewniających właściwą ich eksploatację.” Aby dać odpowiedź na postawioną tezę należy:

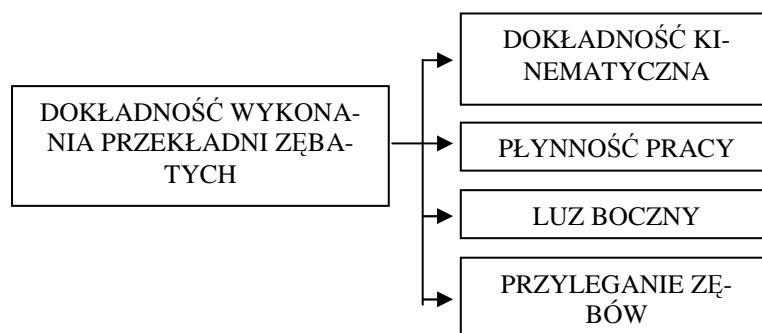
- zdefiniować pojęcia odchylenia i odchyłki dynamicznej,
- opracować symulację cyfrową wyznaczania dokładności dynamicznej i oprogramowania,
- zweryfikować doświadczalnie przeprowadzone analizy, zależności i oprogramowania.

W przyjętym do analizy modelu współpracy kół zębatych wprowadzono założenia odmienne od dotychczas podawanych w literaturze. Dynamikę w przekładni zębatej rozpatrujemy tylko z perspektywy metrologicznej, to znaczy prędkość obrotowa kół jest mała a naciski odpowiadają naciskom pomiarowym stosowanym w metrologii a nie rzeczywistemu obciążeniu pracującej przekładni. Nie rozpatrujemy zmiennych w czasie nacisków i odkształceń i zakładamy, że koło badane jest bryłą sztywną. Wprowadzono te założenia opierając się na stworzonej przez Prof. Artura Metala definicji miernictwa dynamicznego. Definicję pomiaru dynamicznego podaję za Ryszardem Haglem: „Jeżeli wielkość mierzona zmienia się w czasie pomiaru, to pomiar jest dynamiczny. (...) Wynikiem pomiaru dynamicznego jest zatem zobrazowanie przebiegu czasowego, co można realizować jedynie przez rejestrację. (...) Wszystkie czynniki, które wpływają na poprawność odwzorowania wielkości mierzonej przez zapis dokonywany w urządzeniu rejestrującym są przedmiotem zainteresowania miernictwa dynamicznego.”[10]

2. DOKŁADNOŚĆ WYKONANIA KÓŁ ZĘBATYCH

Dokładność wykonania koła zębatego jest stopniem zgodności zaobserwowanych wartości geometrycznych i funkcjonalnych parametrów wykonanego koła zębatego z ich teoretycznymi wartościami.

Odchyłkę jednego z parametrów, np. podziałki, nazywa się odchyłką elementarną. Odchyłką kompleksową jest na przykład odchyłka jednego z parametrów funkcjonalnych (np. odchyłka kinematyczna). Za wskaźniki dokładności uważa się odchyłki funkcjonalnych i geometrycznych parametrów koła. Rozróżnia się wskaźniki kompleksowe i elementarne. Parametry funkcjonalne i ich wskaźniki przedstawione są na rysunku 1.



Rys.1. Parametry zależności dokładności wykonania kół zębatach

Norma (PN-79/M-88522.01) przewiduje 12 klas dokładności wykonania kół i przekładni zębatach, przy czym klasa 1 jest najdokładniejsza. Według nowej normy PN-ISO 1328 widoczne są dwa podejścia. Dokładność wykonania w rozumieniu geometrycznym opisano w części pierwszej wymienionej normy. Odchyłki zdefiniowane w tej normie nazwano odchyłkami jednoimiennych boków zębów [9].

Tablica 1. Odchyłki jednoimiennych boków zębów według PN-ISO 1328 [9]

ODCHYŁKI PODZIAŁKI	
Odchyłka podziałki	f_{pt}
Odchyłka sumaryczna k podziałek	F_{pk}
Odchyłka sumaryczna podziałek koła	F_p
ODCHYŁKI ZARYSU	
Odchyłka całkowita zarysu	F_α
Odchyłka kształtu zarysu	$f_{f\alpha}$

Odchyłka położenia zarysu	$f_{H\alpha}$
ODCHYŁKI LINII ZĘBA	
Odchyłka całkowita linii zęba	F_{β}
Odchyłka kształtu linii zęba	f_{fb}
Odchyłka położenia linii zęba	f_{Hb}
ODCHYŁKI KINEMATYCZNE	
Odchyłka kinematyczna koła	F_i'
Odchyłka kinematyczna koła na podziałce	f_i'

Dla odchyłek jednoimiennych boków zębów w normie ustalono 13 klas dokładności, z których klasa 0 jest najdokładniejsza.

W drugiej części normy PN-ISO 1328-2 opisano dokładność wykonania w sensie funkcjonalnym. Odchyłki tutaj zdefiniowane nazwano odchyłkami złożonymi promieniowymi i odchyłkami bicia.

Tabela 2. Odchyłki złożone promieniowe oraz odchyłki bicia według PN-ISO 1328 [9]

ODCHYŁKI ZŁOŻONE PROMIENIOWE	
Nierównomierność pomiarowej odległości osi koła	F_i''
Nierówność pomiarowej odległości osi na podziałce	f_i''
ODCHYŁKI BICIA	
Odchyłka bicia promieniowego uzębienia	F_r

Układ tolerancji dla odchyłek promieniowych złożonych obejmuje 9 klas dokładności, gdzie klasa 4 jest najwyższą a klasa 12 najniższą.

3. WSPÓŁPRACA JEDNOSTRONNA PRZEKŁADNI ZĘBATEJ

Istotę pomiaru współpracy jednostronnej kół zębatych przedstawiono na rysunku 2. Odległość osi kół jest stała jak w rzeczywistej przekładni. Podczas pomiaru jedno z kół jest napędzane a drugie lekko hamowane w celu zapewnienia ciągłego styku między współpracującymi bokami zębów. Prędkość obrotowa kół jest mała, dzięki czemu odchyłki geometryczne kół zębatych będą widoczne w postaci nierównomierności kąta obrotu koła biernego [9]. Chwilowe różnice między zaobserwowanym a nominalnym kątem obrotu koła biernego są rejestrowane w postaci wykresu w funkcji kąta obrotu koła czynnego. Za pomo-

cą tej metody można sprawdzać gotowe przekładnie lub też pojedyncze koła, wówczas koło badane współpracuje z kołem kontrolnym.

Odchyłki związane ze współpracą jednostronną to:

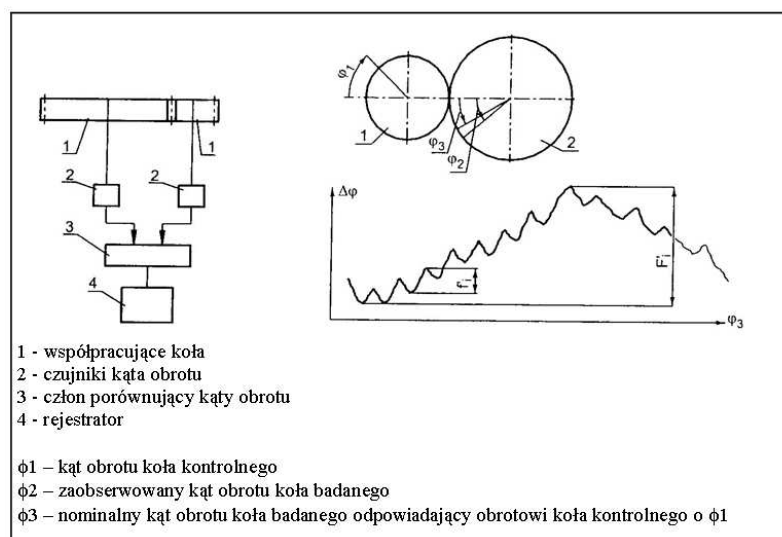
- Odchyłka kinematyczna koła (F_i')

Maksymalna różnica między mierzonym na okręgu podziałowym zaobserwowanym i teoretycznym przemieszczeniem obwodowym koła badanego zazębionego z kołem kontrolnym, podczas pełnego obrotu koła badanego.

- Odchyłka kinematyczna koła na podziałce (f_i')

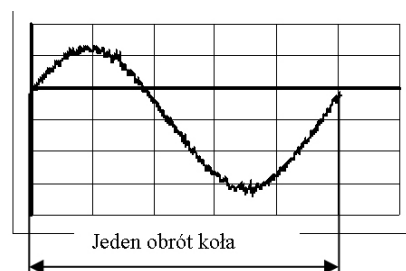
Wartość odchyłki kinematycznej na odcinku odpowiadającym jednej podziałce.

Zasadę pomiaru współpracy jednostronnej przedstawia rysunek 3.



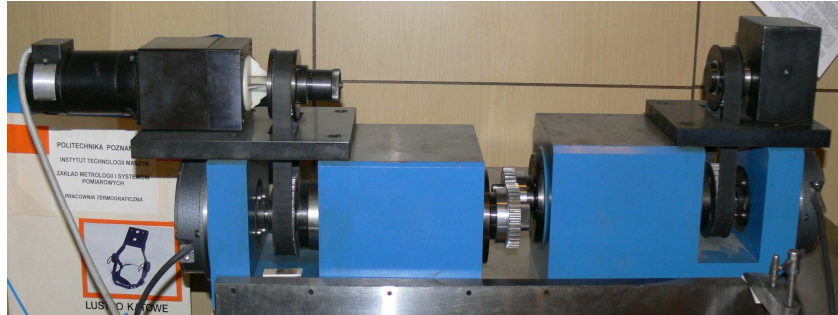
Rys. 2. Zasada sprawdzania współpracy jednostronnej

Przykładowy wykres odchyłki kinematycznej:



Rys. 3. Wykres odchyłki kinematycznej

Pomiaru współpracy jednostronnej dokonano przy użyciu opracowanego w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych PP, unikalnego w skali kraju, przyrządu do współpracy jednostronnej.



Rys. 4. Przyrząd do pomiaru współpracy jednostronnej produkcji ZMISP

Sygnały pomiarowe generowane są przez obrotowe przetworniki inkrementalne firmy Heidenhain o handlowym symbolu ROD-800. Dokładność zastosowanych przetworników wynosi $\pm 1''$, a stopień dyskretyzacji $0,36''$. Zapewnione jest to dzięki tarczy kodowej podzielonej na 36000 transmitujących i nie transmitujących światła sektorów, przetworzeniu sygnałów w taki sposób, by czterokrotnie zwiększyć rozdzielczość, a wreszcie dodatkowemu interpolatorowi.

Pomiar elementarnych odchyłek takich jak np.: odchyłka podziałki obwodowej (f_{pt}), odchyłka podziałki przyporu (f_{pb}), odchyłka promienia zasadniczego (f_{Ha}), nierównomierność podziałek (f_i), odchyłka sumaryczna podziałek koła (F_p), odchyłka sumaryczna k podziałek (F_{pk}), bicie promieniowe uzębienia (F_r) dokonywać można uniwersalnymi narzędziami pomiarowymi, maszynami specjalistycznymi do kół zębatach lub przy pomocy maszyn współrzędnościowych. Pomiar pojedynczych odchyłek geometrycznych pozwala nam na korektę dokładności wykonywanych kół, bądź też na ich eliminację, zgodnie z wymaganiami narzuconymi przez konstruktora. Analizując wartości pojedynczych odchyłek geometrycznych można tylko w przybliżeniu wnioskować o procesie zazębienia współpracujących ze sobą kół zębatach. Nie można jednak tego ocenić zbyt precyzyjnie. Spowodowane jest to losowym zestawieniem odchyłek podczas współpracy poszczególnych zarysów [4].

Mankamentem pomiarów elementarnych odchyłek jest nieznajomość błędu współpracy, który jest podstawowym wskaźnikiem dokładności koła zębatego. Jest on parametrem kompleksowym, ponieważ mówi nam o tym jak koło zębate będzie się zachowywało w czasie pracy w rzeczywistej przekładni.

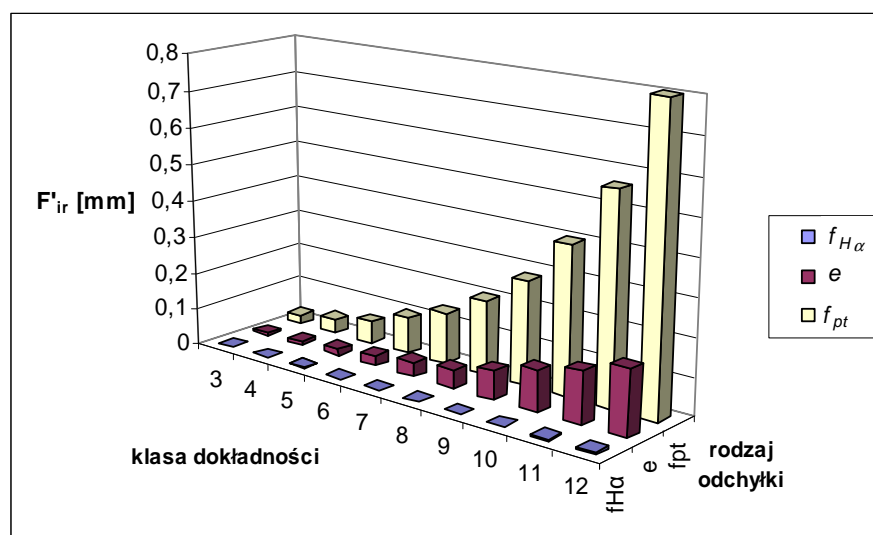
Pomiary odchyłek elementarnych są również bardzo czasochłonne i często nie mogą być sygnałem w procesie kontroli jakości. Również stosowa-

ne w badaniach przekładni zębatych metody diagnostyczne (np. pomiar drgań czy hałasu), nie zawsze są w stanie podać przyczyny nieprawidłowości w działaniu przekładni.

Do analizy odchylenia dynamicznego wykorzystano także opracowany w Politechnice Poznańskiej program do symulacji współpracy jednostronnej. Parametrami wejściowymi są tam odchyłka podziałki f_{pt} , odchyłka kąta zarysu $F_{H\alpha}$ oraz odchyłka bicia promieniowego koła F_r . [3,4]. Są to trzy niezależne odchyłki elementarne.

4. WYNIKI ANALIZY ODCHYLEŃ KINEMATYCZNEJ

W wyniku analiz przeprowadzonych w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych [5] największy wpływ na odchyłkę kinematyczną ma odchyłka podziałki. Wpływ tej odchyłki na odchyłkę kinematyczną wynosi 80% wpływ pozostałych odchyłek tj. odchyłki promienia zasadniczego oraz mimośrodowości wynosi odpowiednio: 0,5% i 19,5%.



Rys. 5. Wpływ odchyłek elementarnych na odchylenie kinematyczne [6]

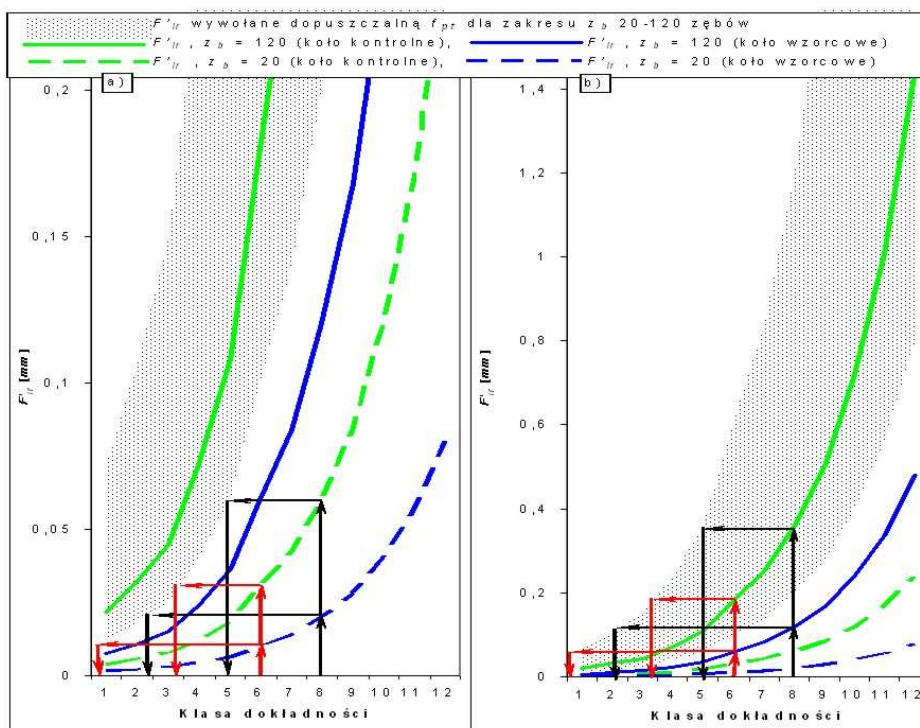
Ustalono także, że wpływ na dokładność kinematyczną będzie miała odchyłka sumaryczna podziałek F_p oraz odchyłka sumaryczna podziałek w k sektorach o długości S podziałek F_{pks} . Dodatkowo w odniesieniu do kół o dużej dokładności i napędów o dużej prędkości obrotowej znaczenie będzie miał również przebieg odchylenia sumarycznego podziałek na obwodzie koła. [8]

Zalecenia do układu hierarchii dokładności kół zębatach.

W celu ustalenia zaleceń do układu hierarchii dokładności dla kół zębatach (koło badane – koło kontrolne – koło wzorcowe), przyjęto następujące wartości dopuszczalne odchyłki kinematycznej:

- koło kontrolne – dopuszczalna odchyłka kinematyczna koła kontrolnego nie powinna przekraczać 30% wartości dopuszczalnej odchyłki kinematycznej koła badanego,
- koło wzorcowe – dopuszczalna odchyłka kinematyczna koła wzorcowego nie powinna przekraczać 10% wartości dopuszczalnej odchyłki kinematycznej koła badanego.[6]

Powyższe wartości dopuszczalne odchyłki kinematycznej przyjęto w oparciu o analogię do odchyłek elementarnych zdefiniowanych w normie PN-ISO 1328. Powyższa norma zaleca stosowanie kół kontrolnych wykonanych o 2–3 klasy dokładności wyższej od kół badanych. Podobnie koła wzorcowe powinny być wykonane 2–3 klasy dokładności wyżej od kół kontrolnych.



a) hierarchia wzorca dla koła badanego $z_b = 20$, zakres $F'_{ir} < 0,2$ mm,

b) hierarchia wzorca dla koła badanego $z_b = 120$, zakres $F'_{ir} < 1,4$ mm,

Rys. 6. Hierarchia wzorca na podstawie odchyłki kinematycznej wywołanej odchyłką podziałki f_{pt}

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że w celu przeprowadzenia badań współpracy jednostronnej koła zębatego wykonanego w 8 klasie dokładności, jako koło kontrolne powinno być użyte koło zębate wykonane w 4-5 klasie dokładności, natomiast koło wzorcowe w tym przypadku powinno być wykonane w 1-2 klasie dokładności. W przypadku niższych klas dokładności (np. 6 klasa dokładności) koła kontrolne i wzorcowe powinny być wykonane w odpowiednio niższych klasach dokładności (rys. 6.), tj. koło kontrolne w 2-3 klasie dokładności a koło wzorcowe w 1 klasie dokładności.

5. MODEL DYNAMICZNY

Bardzo ważną rolę w czasie pracy przekładni odgrywa odchyłka dynamiczna, ponieważ eksploatacja kół zębatych jest uzależniona od występujących w trakcie zazębienia nadwyżek dynamicznych. Mają one wpływ na hałas przekładni, zużycie zębów oraz ich wytrzymałość zmęczeniową. Na etapie konstruowania kół zębatych należy możliwie precyzyjnie wyznaczyć wartość dopuszczalnych nadwyżek dynamicznych. Z tego względu należy ustalić parametry, które w sposób jednoznaczny uwzględnią będą wpływ dokładności wykonania kół na wartość ich obciążenia dynamicznego podczas pracy przekładni.

Definicja odchyłki dynamicznej

Po raz pierwszy pojęcie odchylenia i odchyłki dynamicznej wprowadzono w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Poznańskiej. Jan Chajda, Andrzej Cellary, Andrzej Gazdecki i Waldemar Woliński w ramach Centralnego Programu Badań Podstawowych wprowadzili pojęcie odchylenia dynamicznego, opracowali metodykę oraz program dla wyznaczania odchylenia dynamicznego w pełnym obszarze współpracy z możliwością oceny składowych harmonicznych. [5] Na podstawie przeprowadzonej analizy procesu zazębienia się walcowych kół zębatych, ustalono, że parametrem, który uwzględni wpływ dokładności wykonania koła zębatego na wartość nadwyżek dynamicznych jest tzw. odchyłka dynamiczna.

Definicja odchyłki dynamicznej bazuje na funkcji odchylenia kinematycznego koła $\Theta(\varphi)$. Funkcja ta jest określana jako różnica zaobserwowanego i minimalnego kąta obrotu koła badanego wokół swej roboczej osi, napędzanego kołem kontrolnym, przy nominalnym wzajemnym położeniu osi obrotu tych kół. Funkcja $\Theta(\varphi)$ odchylenia kinematycznego koła zębatego jest funkcją okresową o okresie 2π rad. Różniczkując tę funkcję po czasie otrzymujemy zależność na przyspieszenie wywołane niedokładnością kinematyczną koła zębatego. [3]

$$\varepsilon_{\omega} = \frac{d^2\Theta}{d\varphi^2} \quad [\text{rad/s}^2] \quad (1)$$

Przez analogię do odchylenia kinematycznego, wielkość tę (ε_{ω}) – nazwano odchyleniem dynamicznym. Parametrem określającym odchylenie dynamiczne jest odchyłka dynamiczna, którą zdefiniowano w następujący sposób:

Odchyłka dynamiczna

$$\gamma = \max(\varepsilon_{\omega}) - \min(\varepsilon_{\omega}) \quad (2)$$

gdzie: $\varphi \in A$

$$A = \left\langle \frac{2\pi}{z} \cdot n, \frac{2\pi}{z} \cdot (n+1) \right\rangle \quad (3)$$

$n = 1 \dots z$

z – liczba zębów

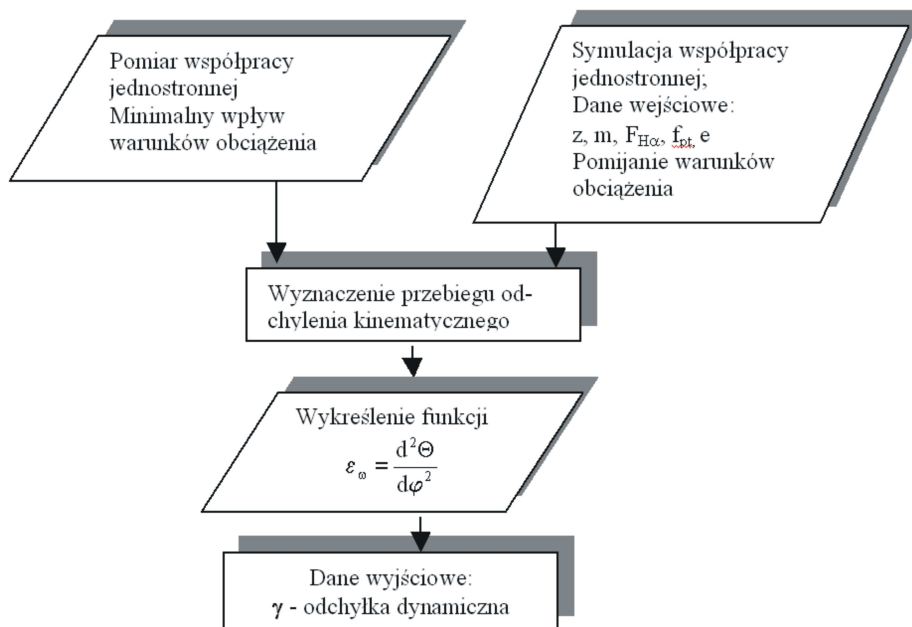
Odchyłka dynamiczna jest maksymalną różnicą uogólnionego przyspieszenia w obszarze podziałki koła.

Metodyka wyznaczania odchyłki dynamicznej

Wartość odchyłki dynamicznej, podobnie jak odchyłki kinematycznej, zależy od następujących odchyłek wykonawczych koła zębatego:

- odchyłki podziałki obwodowej f_{pt}
- odchyłki położenia zarysu $F_{H\alpha}$
- mimośrodowości osi obrotu koła e .

Należy podkreślić, że odchyłkę kinematyczną $\Theta(\varphi)$, która jest punktem wyjścia dla dalszych obliczeń, wyznacza się albo na podstawie pomiaru na przyrządzie do współpracy jednostronnej albo na podstawie symulacji cyfrowej. W przypadku symulacji cyfrowej przyjęto założenie, że koło zębate jest idealną bryłą sztywną. Tym samym pomija się wpływ warunków obciążenia na warunki zazębienia. Odchyłkę dynamiczną można wyznaczyć w prosty sposób poprzez analizę funkcji odchylenia dynamicznego ε_{ω} . Procedurę wyznaczenia odchylenia dynamicznego i odchyłki dynamicznej ilustruje rys. 7.



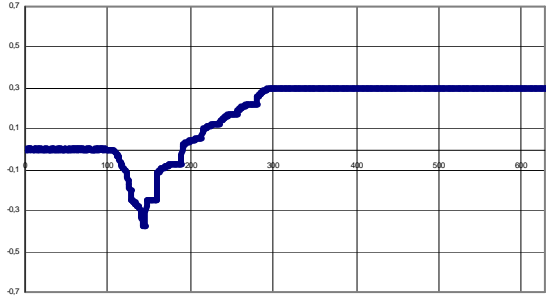
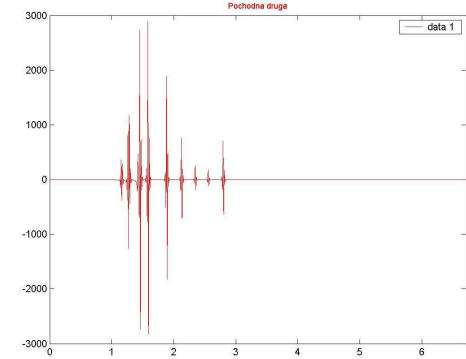
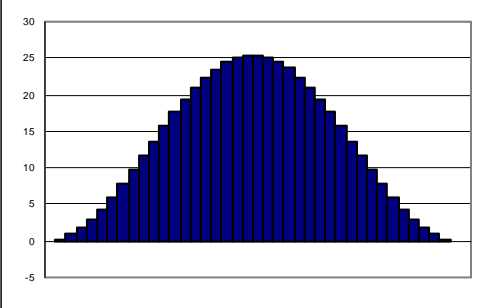
Rys. 7 Algorytm wyznaczenia odchyłki dynamicznej

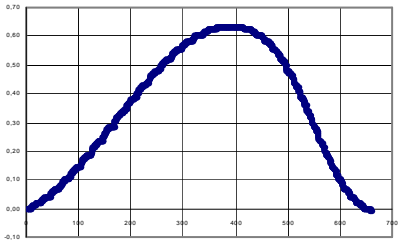
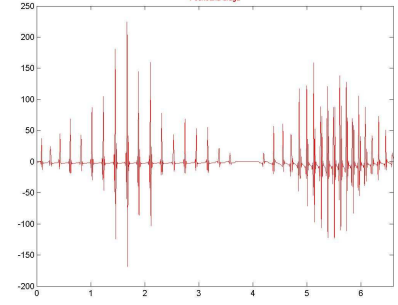
6. WPŁYW ODCHYŁEK WYKONAWCZYCH NA ODCHYLENIE DYNAMICZNE

Przeprowadzone analizy symulacyjne dotyczą tylko kół zębatach z odchyłką podziałki. Odchyłka bicia i położenia zarysu nie zostały uwzględnione jako mające znikomy wpływ na zjawiska dynamiczne.

Tablica 3. Przykład analizy odchyłki dynamicznej koła zębatego

I Koło z dużą nierównomiernością podziałek	
	Odchyłka sumaryczna podziałki Fp $z_I = 40$ $z_{II} = 40$ $m = 2 \text{ mm}$ $F_p = 27 \mu\text{m}$

	<p>Odchylenie kinam- tyczne F_i'</p> <p>$F_i' = 27 \mu\text{m}$</p>
	<p>Odchylenie dyna- miczne $\epsilon\omega$</p> <p>$\gamma = 8670 \text{ rad/s}^2$</p>
<p>II Koło z łagodnymi przejściami w odchyłce sumarycznej F_p</p>	
	<p>Odchyłka suma- ryczna podziałki F_p</p> <p>$z_I = 40$ $z_{II} = 40$ $m = 2 \text{ mm}$ $F_p = 25,41 \mu\text{m}$</p>

	<p>Odchylenie kina- matyczne F_i'</p> <p>$F_i' = 25,41 \mu\text{m}$</p>
	<p>Odchylenie dyna- miczne $\epsilon\omega$</p> <p>$\gamma = 400 \text{ rad/s}^2$</p>

Przeprowadzone badania wykazały, że kluczowe znaczenie dla zjawisk dynamicznych podczas współpracy kół zębatych ma nierównomierność podziałek, które na wykresie odchyłki sumarycznej podziałki, pokazywane są jako strome odcinki. W tablicy 3 pokazane są dwa przypadki, pierwsze trzy wykresy dotyczą przypadku koła z dużą nierównomiernością sumarycznej odchyłki podziałki, kolejne trzy, dotyczą koła z „łagodnymi” przejściami w odchyłce F_p . W obu przypadkach odchyłka F_p ma podobną wartość, również wartości odchyłki kinematycznej F_i' są podobne, a mimo to różnica w wartości odchyłki dynamicznej jest ponad dwudziestokrotna. [6,8]

Pozwala to zaproponować zalecenie dla kontroli kół zębatych - oprócz kontroli podstawowych parametrów jak odchyłka podziałki f_{pt} , i odchyłka sumaryczna podziałki F_p - należy zwrócić szczególną uwagę na odchyłkę k - podziałek F_{pk} .

Dzięki opracowanym programom do symulacji współpracy jednostronnej kół zębatych oraz do analizy odchylenia dynamicznego, można w prosty i szybki sposób, dysponując protokołem z pomiaru koła zębatego na współrzędnościowej maszynie pomiarowej, przewidzieć przyspieszenia i wywołane nimi siły dynamiczne w pracującej w rzeczywistych warunkach przekładni.

LITERATURA

- [1] Dennis P. Townsend: Dudley's gear handbook. McGRAW-HILL, INC, New York 1991.
- [2] Faydor L. Litvin: Gear Geometry and Appiled Theory, Cambridge University Press. Cambridge 2004
- [3] Chajda J. , Woliński W.: Symulacja cyfrowa pomiaru kół zębatach, Przegląd Mechaniczny 1990, nr 5 – 6.
- [4] Chajda J. , Woliński W.: Możliwości charakteryzowania odchylenia kinematycznego walcowych kół zębatach za pomocą wybranych odchyłek geometrycznych, Archiwum Technologii Budowy Maszyn, Prace PAN, Poznań 1992, nr 10, str. 285-294.
- [5] Chajda J., Woliński W.: Nowa metoda oceny właściwości dynamicznych kół zębatach, Archiwum Technologii Budowy Maszyn; Prace PAN, Poznań 1993, nr 11, str. 253-260.
- [6] Adamiec J.: Badanie wpływu elementarnych odchyłek wykonawczych kół zębatach na dokładność kinematyczną przekładni, Praca doktorska, Politechnika Poznańska. Poznań 2007
- [7] Derek Smith J. : Gear Noise and Vibration, Marcel Dekker Inc., New York, Basel 2003
- [8] Jaśkiewicz Z., Wąsiewski A.: Przekładnie walcowe, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 1992
- [9] Humienny Z.: Specyfikacje geometrii wyrobów, Wtdawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004
- [10] Hagel R., Zakrzewski J. : Miernictwo dynamiczne, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1984

DYNAMIC DEVIATION ERROR IN SINGLE FLANK GEAR TESTING

SUMMARY

Total dynamic deviation completely describes the influence of geometrical gear errors on their dynamic behavior during operation. Used at present dynamic load factor model is only approximate and thus not precise. A procedure of total dynamic deviation determination includes the influence of such independent errors as: circumferential pitch deviation, basic radius deviation and geometrical eccentricity deviation. The knowledge of total dynamic deviation will enable to construct the gears with better dynamic parameters (wear resistance, quietness).