

Marek KOCHAŃCZYK

## ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYRÓWNANIA ROZKŁADU OBCIĄŻENIA NA SZEROKOŚCI KOŁA

**Streszczenie.** W pierwszej części pracy przedstawiono metody wyznaczania współczynnika  $K_{H\beta}$  zgodnie z normą ISO/DIS 6336. Część druga zawiera opis metod umożliwiających wyrównanie rozkładu obciążenia na szerokości koła oraz wyniki obliczeń wartości współczynnika nierównomierności rozkładu obciążenia.

### THE METHODS OF DETERMINE THE COEFFICIENT $K_{H\beta}$

**Summary.** The methods of determine the coefficient  $K_{H\beta}$  in accord with ISO/DIS 6336 were showed in the first part of this paper. Description of methods to make possible equalization load on the cog's width was contained in the second part.

#### 1. OBLICZENIE WSPÓŁCZYNNIKA NIERÓWNOMIERNEGO ROZKŁADU $K_{H\beta}$ WZDŁUŻ LINII ZĘBÓW

Zgodnie z normą ISO/DIS 6336 jak również z normą DIN 3990 współczynnik nierównomiernego rozkładu obciążenia wzdłuż linii styku zębów zdefiniowany jest jako stosunek maksymalnego obciążenia jednostkowego  $w_{\max}$  do średniego obciążenia jednostkowego  $w_m$ :

$$K_{H\beta} = \frac{w_{\max}}{w_m} = \frac{\left(\frac{dE}{db}\right)_{\max}}{\left(\frac{dE}{db}\right)_m},$$

gdzie:  $w_m = \frac{F_m}{b}$ ,

$F_m = K_A K_V F_t$  - siła obwodowa na walcu podziałowym,

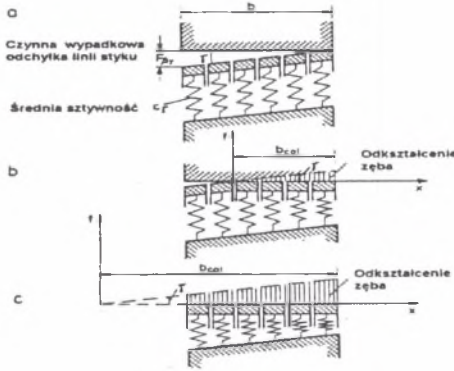
$K_A$  - współczynnik zastosowania,

$K_V$  - współczynnik dynamiczny,

$F_t$  - siła obwodowa na walcu podziałowym (nominalna),

$b$  - szerokość wieńca zębatego.

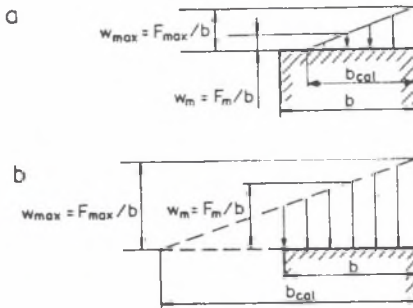
Jeżeli założymy stałą średnią sztywność zazębienia  $c_f$  oraz prostoliniowy przebieg wypadkowej odchyłki linii styku współpracujących zębów, to możemy zbudować uproszczony mechaniczny model obciążenia zębów przekładni (rys. 1), na podstawie którego można wyznaczyć nierównomierność rozkładu obciążenia, a następnie wartość współczynnika  $K_{H\beta}$ .



Rys.1. Mechaniczny model obciążenia zębów przekładni wzdłuż linii zęba, dla prostoliniowego przebiegu wypadkowej odchyłki linii styku współpracujących zębów wg ISO/DIS 6336/1; a – stan bez obciążenia, b – nieznaczne obciążenie i/lub duża odchyłka linii styku, c – duże obciążenie i/lub mała odchyłka linii styku

Fig.1. The mechanical model of cog's loading on the contact line for straight line function of deviation resultant the working cog's contact line according to wg ISO/DIS 6336/1; a – without load, b – low load and/or high line contact deviation, c – high load and/or low contact line deviation

W zależności od tego, czy obciążona jest tylko część szerokości koła, czy też ząb przenosi obciążenie na całej szerokości koła, rozróżnia się dwa przypadki wyznaczania współczynnika  $K_{H\beta}$ :



Rys.2. Rozkład obciążenia na szerokości wieńca wg ISO/DIS 6336/1, a – nieznaczne obciążenie i/lub duża odchyłka linii styku, b – duże obciążenie i/lub mała odchyłka linii styku

Fig.2. The load dispose on the wreath width, a – low load and/or high line contact deviation, b – high load and/or low contact line deviation

1 - obciążona jest część szerokości koła, wówczas

$$K_{H\beta} = \sqrt{\frac{2F_{\beta y} c_{\gamma}}{\frac{F}{m} b}} \geq 2,$$

gdzie:  $c_{\gamma}$  - stała średnia sztywność zazębienia na jednostkę szerokości wieńca zębatego  $N/(mm \mu m)$ ,

$F_{\beta y}$  - czynna wypadkowa odchyłka linii styku na płaszczyźnie przyporu w przekroju czołowym,

2 - obciążona jest cała szerokość koła, wówczas

$$K_{H\beta} = 1 + \frac{F_{\beta y} c_{\gamma}}{\frac{2F}{m} b}.$$

Tak więc, zgodnie z powyższymi zależnościami, o rozkładzie obciążenia na szerokości wieńca, a tym samym o wartości współczynnika  $K_{H\beta}$  decydują takie czynniki, jak: sztywność zazębienia, czynna wypadkowa odchyłka linii styku oraz obciążenie przekładni. W celu uproszczenia obliczeń można przyjąć stałą średnią sztywność zazębienia  $c_{\gamma} = 20 N/(mm \mu m)$ . Powyższe zależności pozwalają wyznaczyć wartość współczynnika  $K_{H\beta}$  dla przekładni, które przenoszą nieduże obciążenia bądź też, w których stosunki: szerokości koła do średnicy  $b/d_1$  oraz odległości między łożyskami do szerokości koła  $l/b$ , są niewielkie. Można wtedy założyć prostoliniowy przebieg wypadkowej odchyłki linii styku  $F_{\beta y}$ . W innych przypadkach wyniki obliczeń przy przyjęciu prostoliniowego przebiegu odchyłki  $F_{\beta y}$  mogą znacznie odbiegać od wartości rzeczywistych.

### 1.1. Czynna wypadkowa odchyłka linii styku zębów $F_{\beta y}$

Czynna wypadkowa odchyłka linii styku zębów zdefiniowana jest jako odległość boków współpracujących zębów, mierzona na płaszczyźnie przyporu w kierunku czołowym w chwili zapoczątkowującej stykanie się zębów. Odchyłka  $F_{\beta y}$  jest bardzo ważnym czynnikiem decydującym o wartości współczynnika  $K_{H\beta}$ . Wielkość tę można wyznaczyć ze wzoru:

$$F_{\beta y} = F_{\beta x} - y_{\beta},$$

gdzie:  $F_{\beta x}$  - początkowa odchyłka linii styku bez uwzględniania docierania,

$y_{\beta}$  - wielkość dotarcia, która wynika ze zmniejszenia się początkowej odchyłki linii styku w wyniku docierania się zębów podczas eksploatacji.

Początkowa odchyłka linii styku  $F_{\beta x}$  jest bezwzględną sumą odchyłek wykonawczych uzębienia zębnika i koła, odkształceń sprężystych wałów i korpusów koła i zębnika oraz przemieszczeń wynikających z luzów w łożyskach, odkształceń obudowy, a także z różnicy temperatur na szerokości wieńca. Wszystkie wymienione odchyłki składowe powinny być obliczane w płaszczyźnie przyporu w przekroju czołowym. Odchyłkę  $F_{\beta x}$  wyznaczyć można ze wzoru:

$$F_{\beta x} = |f_{ma} + f_{sh1} + f_{sh2} + f_{be} + f_{ca} + f_{te}|,$$

gdzie:  $f_{ma}$  - odchyłka linii styku wynikająca z błędów wykonania,

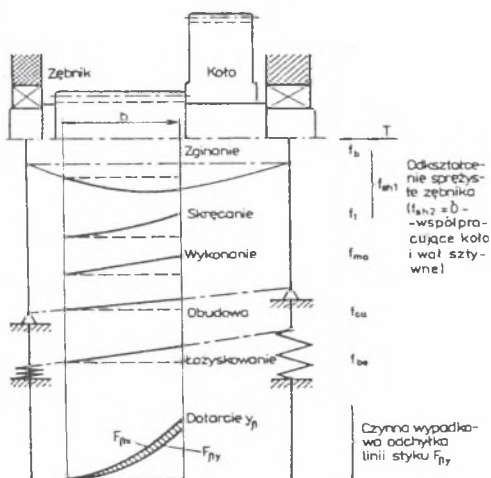
$f_{sh1,2}$  - odchyłka linii styku wynikająca z odkształceń sprężystych wału i korpusu zębnika, koła,

$f_{be}$  - odchyłka linii styku powstała w wyniku luzów i odkształceń w łożyskach,

$f_{ca}$  - odchyłka linii styku powstała w wyniku odkształceń obudowy,

$f_{te}$  - odchyłka linii styku spowodowana różnicą temperatur na szerokości wieńca.

Jeżeli pominiemy odchyłki i odkształcenia wału oraz koła współpracującego (zakładamy, że jest wykonany bezbłędnie i nie posiada odkształceń), to rysunek 3 przedstawia wpływ poszczególnych odchyłek składowych na czynną wypadkową odchyłkę linii styku zębów. Jak wynika ze wzoru na  $F_{\beta x}$ , jest ona sumą poszczególnych odchyłek składowych, które mogą się częściowo redukować. Dlatego przy wyznaczaniu wypadkowej odchyłki linii styku należy uwzględnić znaki, w przeciwnym przypadku otrzymamy



Rys.3. Wpływ poszczególnych odchyłek składowych na czynną wypadkową odchyłkę linii styku zębów

Fig.3. Single deviation influence on the deviations resultant cog's contact line

zawożony wynik obliczeń. Współczynnik  $\gamma_\beta$  występujący we wzorze na wypadkową odchyłkę linii styku jest wielkością dotarcia, o którą zmniejszy się początkowa odchyłka linii styku w czasie eksploatacji. Czynniki, które decydują o wartości współczynnika  $\gamma_\beta$  są:

- materiał zębника i koła,
- prędkość obwodowa na okręgu podziałowym,
- rodzaj czynnika smarującego,
- obróbka warstwy wierzchniej,
- cząstki ściernie w oleju,
- początkowa odchyłka linii styku  $F_{\beta x}$  .

Metody wyznaczania wartości współczynnika  $\gamma_\beta$  uwzględniają zatem rodzaj materiału, z którego wykonane są koła zębate oraz prędkości obwodowe na okręgu podziałowym. Znając odchyłkę  $F_{\beta x}$  i wartość współczynnika nieograniczonej wytrzymałości na zmęczenie stykowe, można wg ISO/DIS 6336/1 wyznaczyć wartość współczynnika  $\gamma_\beta$  w sposób określony.

#### 1.1.1. Odchyłka linii styku wynikająca z błędów wykonania $f_{ma}$

Wpływ odchyłek równoległości wałów i odchyłek wykonawczych kół zębatych ujmuje odchyłka  $f_{ma}$ . Dlatego dla dużych przekładni odchyłka  $f_{ma}$  może być czynnikiem decydującym o wartości odchyłki linii styku  $F_{\beta x}$ . Odchyłkę  $f_{ma}$  oblicza się na podstawie pomiaru odpowiednich odchyłek składowych bądź też na podstawie wymiarów stykowego śladu współpracy ( bez obciążenia lub w stanie częściowego obciążenia ).

#### 1.1.2. Odchyłki linii styku wynikające z odkształceń sprężystych wału i korpusu zębника oraz koła $f_{sh1}$ , $f_{sh2}$

Odchyłki  $f_{sh1}$  i  $f_{sh2}$  stanowią sumę odkształceń giętnych i skrętnych wału i korpusu:  $f_{sh1}$  - dla zębника,  $f_{sh2}$  - dla koła; można je wyznaczać doświadczalnie lub analitycznie. Przyjmując założenie, że sztywność koła jest znacznie wyższa od sztywności zębника, można pominąć wpływ odkształceń skrętnych i giętnych koła, co pozwala w dużym stopniu uprościć metodę obliczeń i ogranicza ją do wyznaczenia odchyłki  $f_{sh1}$ . Odchyłki  $f_{sh1}$  i  $f_{sh2}$  są ściśle zależne od parametrów konstrukcyjnych przekładni, za pomocą których można wpływać na ich wartość. Podstawowe parametry, za pomocą których możemy zmniejszyć oddziaływania poszczególnych odkształceń, to: stosunek szerokości wieńca do średnicy zębника, odległość między łożyskami do szerokości zębника oraz położenia zębника między łożyskami.

#### 1.1.3. Odchyłka linii styku powstała w wyniku luzów i odkształceń w łożyskach $f_{be}$

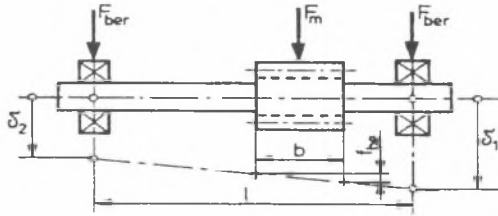
Odchyłka  $f_{be}$  jest sumą względnych przemieszczeń łożyskowań zębника i koła, dlatego przy jej wyznaczaniu należy pamiętać o zachowaniu kierunku i znaku poszczególnych przemieszczeń. Jeżeli zębник umieszczony jest między łożyskami ( rys. 4 ), to odchyłka  $f_{be}$  obliczana jest zgodnie ze wzorem:

$$f_{be} = \frac{b}{l} (\delta_1 - \delta_2),$$

jeżeli natomiast zębник jest łożyskowany wspornikowo ( rys. 5 ):

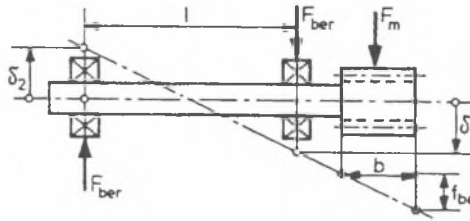
$$f_{be} = \frac{b}{l}(\delta_1 + \delta_2),$$

gdzie:  $\delta_{1,2}$  - odkształcenie łożyska w kierunku działania obciążenia  $\mu m$ .



Rys.4.Składowa odchyłka linii styku  $f_{be}$  wg ISO/DIS 6336/1 dla zębniaka położonego między łożyskami

Fig.4.Single deviation line contact  $f_{be}$  according to ISO/DIS 6336/1 when pinion laying between bearings



Rys.5.Składowa odchyłka linii styku  $f_{be}$  wg ISO/DIS 6336/1 dla zębniaka ułożyskowanego wspornikowo

Fig.5.Single deviation line contact  $f_{be}$  according to ISO/DIS 6336/1 when pinion is outside

#### 1.1.4. Odchyłka linii styku powstała w wyniku odkształceń obudowy $f_{ca}$

Odchyłkę spowodowaną odkształceniami obudowy wyznacza się na podstawie pomiarów odkształceń przekładni bądź też obliczając za pomocą metody elementów skończonych. W przypadku przekładni posiadającej obudowę o dużej sztywności odchyłkę  $f_{ca}$  można pominąć.

#### 1.1.5. Odchyłka linii styku spowodowana różnicą temperatur na szerokości wieńca $f_{te}$

Zazwyczaj wpływ odkształceń termicznych na odchyłkę linii styku można pominąć. Odchyłka spowodowana różnicą temperatur stanowi istotny czynnik w przekładniach o dużej mocy i dużych prędkościach obrotowych.

## 1.2. Wyznaczanie współczynnika $K_{H\beta-A}$ - metoda A

Według metody A rozkład obciążenia wzdłuż linii styku wyznaczany jest na podstawie pomiarów i/lub na podstawie dokładnej analizy matematycznej (np. metoda elementów skończonych) wszystkich czynników wpływających na  $F_{\beta x}$ . Metoda A jest metodą najbardziej dokładną, ale pomimo tego rzadko stosowaną, ponieważ wyznaczanie współczynnika nierównomiernego rozkładu obciążenia w przekładni wielostopniowej jest zagadnieniem bardzo skomplikowanym.

## 1.3. Wyznaczanie współczynnika $K_{H\beta-B}$ - metoda B

Metoda B zakłada, że znana jest wypadkowa odchyłka linii styku współpracujących zębów  $F_{\beta x}$ . Odchyłka  $F_{\beta x}$  powinna być wyznaczona z uwzględnieniem wszystkich odkształceń i odchyłek składowych (z uwzględnieniem wartości i znaków) oraz z uwzględnieniem modyfikacji linii zęba. Jeżeli przyjmiemy założenie, że czynna wypadkowa odchyłka linii styku współpracujących zębów  $F_{\beta y}$  jest liniowa, to wyznaczenie jej można przeprowadzić zgodnie z formułami w punkcie 1.1. Metoda B może być stosowana do wszystkich rodzajów przekładni przy założeniu, że rzeczywista odchyłka  $F_{\beta y}$  jest zbliżona do liniowej.

## 1.4. Wyznaczanie współczynnika $K_{H\beta-C}$ - metoda C

W metodzie C przy wyznaczaniu wypadkowej odchyłki linii styku  $F_{\beta x}$  uwzględnia się odchyłki składowe wywołane odkształceniami korpusu i wału zębniaka  $f_{sh1}$  oraz odchyłki wykonawcze  $f_{mu}$ . Podejście takie wymaga przyjęcia następujących założeń:

- koło i wał koła są sztywne;  $f_{sh2} = 0$ ,
- pomija się odkształcenia łożysk;  $f_{br} = 0$ ,
- pomija się odkształcenia obudowy przekładni;  $f_{ca} = 0$ ,
- pomija się wpływ odkształceń termicznych;  $f_{te} = 0$ .

Ponadto przy wyznaczaniu czynnej wypadkowej odchyłki linii styku  $F_{\beta y}$  przyjmuje się założenie, że współczynnik uwzględniający dotarcie zębów  $y_{\beta}$  jest proporcjonalny do odchyłki  $F_{\beta x}$ . Tak więc po uwzględnieniu powyższych założeń główny problem wyznaczenia współczynnika  $K_{H\beta-C}$  sprowadza się do wyznaczenia odchyłki wywołanej odkształceniami korpusu i wału zębniaka.

## 1.5. Wyznaczanie współczynnika $K_{H\beta-D}$ - metoda D

Metoda D jest uproszczeniem metody C do zastosowania w ograniczonym zakresie. Ponadto w metodzie tej przyjmuje się dodatkowe założenia powodujące uproszczenie wyznaczenia współczynnika  $K_{H\beta}$ . Metoda D jest najmniej dokładna, ale w ograniczonym (parametrami konstrukcyjnymi) zakresie stosowania może dawać wyniki zbliżone do metody C.

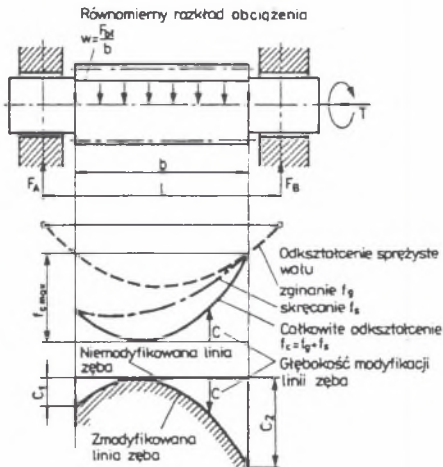
## 2. MOŻLIWOŚCI WYRÓWNANIA ROZKŁADU OBCIĄŻENIA NA SZEROKOŚCI KOŁA

### 2.1. Modyfikacja linii zęba

Wszystkie odchyłki składowe, które zostały uwzględnione przy omawianiu czynnej wypadkowej odchyłki linii styku  $F_{\beta w}$ , są powodem powstawania nierównomiernego obciążenia na szerokości zęba. Aby wyrównać rozkład obciążenia, a tym samym polepszyć własności wytrzymałościowe, dynamiczne oraz zwiększyć cichobieżność przekładni, można zastosować modyfikację linii zęba. Modyfikacja kierunku linii zęba zmniejsza niekorzystne oddziaływania następujących czynników:

- odkształcenia sprężyste korpusów kół, wałów, łożysk, obudowy przekładni,
- odkształcenia uwzględniające różnicę temperatur zębniaka i koła.

Podstawą do zaprojektowania zmodyfikowanej linii zęba jest znajomość wartości wypadkowego przemieszczenia kół przekładni, wynikających z wymienionych odkształceń. W celu uproszczenia obliczeń można przyjąć, że wał i koło współpracujące są sztywne (z względu na duże wymiary geometryczne), a tym samym nie odkształcają się.



Rys.6. Metoda wyznaczania modyfikacji linii zęba  
Fig.6. The method of cog's line determine

Kształt zmodyfikowanej linii zęba otrzymuje się poprzez lustrzane odbicie linii całkowitego odkształcenia wału (na rys. 6 ugięcia i skręcenia). Jak wynika z rys. 6, odkształcenia sprężyste i giętne zależne są od rozkładu obciążenia na szerokości zęba (na rys. 6 założono równomierny rozkład obciążenia), dlatego modyfikacja może być zaprojektowana tylko dla jednej wartości obciążenia. Ponieważ rzeczywisty rozkład obciążenia na szerokości koła jest nieliniowy (ze względu na występujące odchyłki), dlatego zaprojektowanie zmodyfikowanej linii zęba bez odpowiednich narzędzi informatycznych (programów na EMC) może być bardzo skomplikowane. Modyfikację linii zęba można otrzymać następującymi technikami:



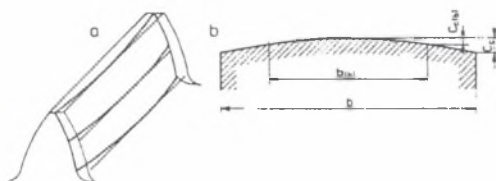
a) beczułkowanie na szerokości – rzeczywista linia zęba (rys. 7), począwszy od środka wieńca, zaczyna się odchyłać od linii teoretycznej w głąb zęba, odchylenie to wzrasta w miarę oddalania się od środka zęba do jego czoła. Beczłkowanie na szerokości zęba może być wykonywane symetrycznie bądź niesymetrycznie w stosunku do środka szerokości wieńca zębatego, w zależności od rozkładu obciążenia na szerokości zęba. Wysokość beczłkowania wyznaczyć można z równania:

$$C_c = 0.5(f_{sh} + f_{H\beta}),$$

$$C_c \text{ ograniczona jest zakresem: } 10\mu\text{m} \leq C_c \leq 40\mu\text{m},$$

gdzie:  $f_{sh}$  - odchyłka składowa linii styku wynikająca z odkształcenia sprężystego [ $\mu\text{m}$ ],

$f_{H\beta}$  - odchyłka położenia linii zęba [ $\mu\text{m}$ ];



Rys.7. Beczłkowanie na szerokości koła

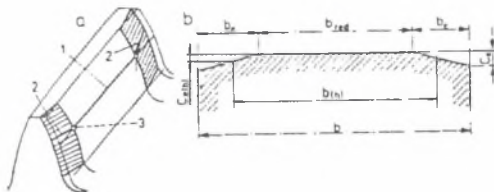
Fig.7. Helix crowning

b) modyfikacja końców zęba - rzeczywista linia zęba (rys. 8) począwszy od określonego punktu, odchyła się od teoretycznej linii, odchylenie to wzrasta w miarę oddalania się od tego punktu do czoła zęba. Zaprojektowanie zmodyfikowanej linii zęba wymaga określenia dwóch parametrów: głębokości  $C_e$  i długości  $b_e$ . Głębokość modyfikacji  $C_e$  określić można na podstawie zaleceń dotyczących beczłkowania:

$$C_e = 2 C_c; \text{ dla kół utwardzanych powierzchniowo } C_e = C_c,$$

gdzie:  $C_c$  – wysokość beczłkowania,

długość  $b_e$  wyznacza się wg równania:  $b_e = \min\{0,1b; m_n\}$ ;



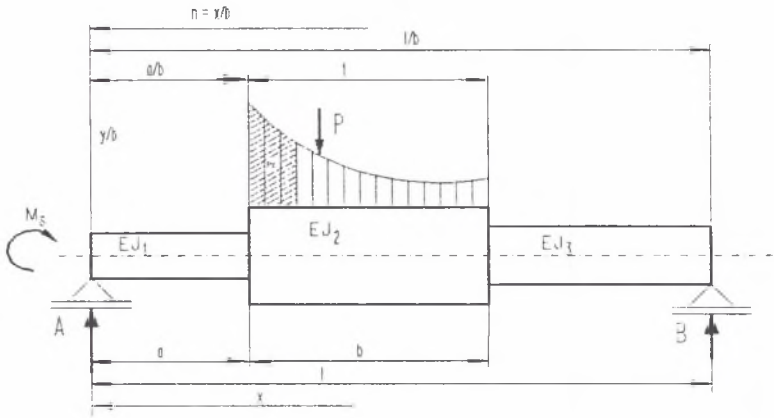
Rys.8. Modyfikacja końców zęba

Fig.8. End relief

c) modyfikacja kierunku linii zęba – jest to prostoliniowe odchylenie kierunku linii zęba, w wyniku którego zmienia się nominalny kąt pochylenia linii zęba. Przy większych obciążeniach zaleca się na modyfikację kierunku linii zęba nakładać beczłkowanie bądź też modyfikację końców zęba.

## 2.2. Mimośrodowe osadzenie łożysk

Innym sposobem wyrównania rozkładu obciążenia jest mimośrodowe osadzenie łożysk, na których podparty jest wał wraz z osadzonym na nim zębnikiem lub kołem. Mimośrodowe osadzenie łożysk daje możliwość regulacji położenia końca wału, które wpływa na rozkład obciążenia na szerokości zęba. Wyznaczenie odpowiedniej wielkości regulacji powinno być poprzedzone szczegółową analizą wszystkich czynników wpływających na rozkład obciążenia.



Rys.9. Szkic zębniaka do analitycznych obliczeń rozkładu obciążenia (u dołu współrzędne liniowe, u góry współrzędne bezwymiarowe)

Fig.9. The sketch of pinion for analytical calculations load dispose

Na rysunku 9 przedstawiono szkic zębniaka, który przyjęto do wyznaczenia współczynnika nierównomierności rozkładu obciążenia, a następnie wyznaczenia współczynnika nierównomierności rozkładu w przypadku zastosowania mimośrodowego osadzenia łożysk. Jednostkowe obciążenie przekładni wyrazić można zależnością:

$$-dp = \frac{-d^2 P}{dx^2} = c(df_{s1} + df_{s2} + df_{r1} + df_{r2} + \gamma l x),$$

gdzie:  $dp$  - przyrost jednostkowego obciążenia,

$c$  - sztywność zazębienia,

$df_{s1}$  - przyrost strzałki skręcenia zębniaka,

$df_{s2}$  - przyrost strzałki skręcenia koła,

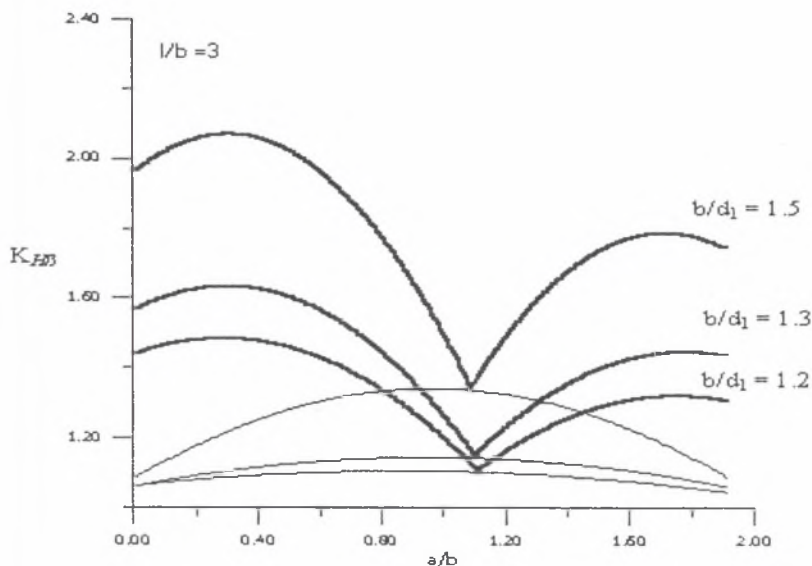
$df_{r1}$  - przyrost strzałki ugięcia zębniaka,

$df_{r2}$  - przyrost strzałki ugięcia koła,

$\gamma$  - kąt między zębami w stanie nieobciążonym.

Zależność ta równoważna jest twierdzeniu, że zmiana obciążenia zęba jest proporcjonalna do zmiany linii zęba, wywołanej odkształceniami lub błędami technologicznymi.

Rysunek 10 przedstawia zbiorczy wykres współczynnika nierównomiernego rozkładu obciążenia wraz z wykresem współczynnika uzyskanego po zastosowaniu mimośrodowego osadzenia łożysk. Zależności przedstawione na rys. 10 uzyskano przy założeniu, że sztywność koła jest wielokrotnie wyższa od sztywności zębника, co pozwoliło na pominięcie

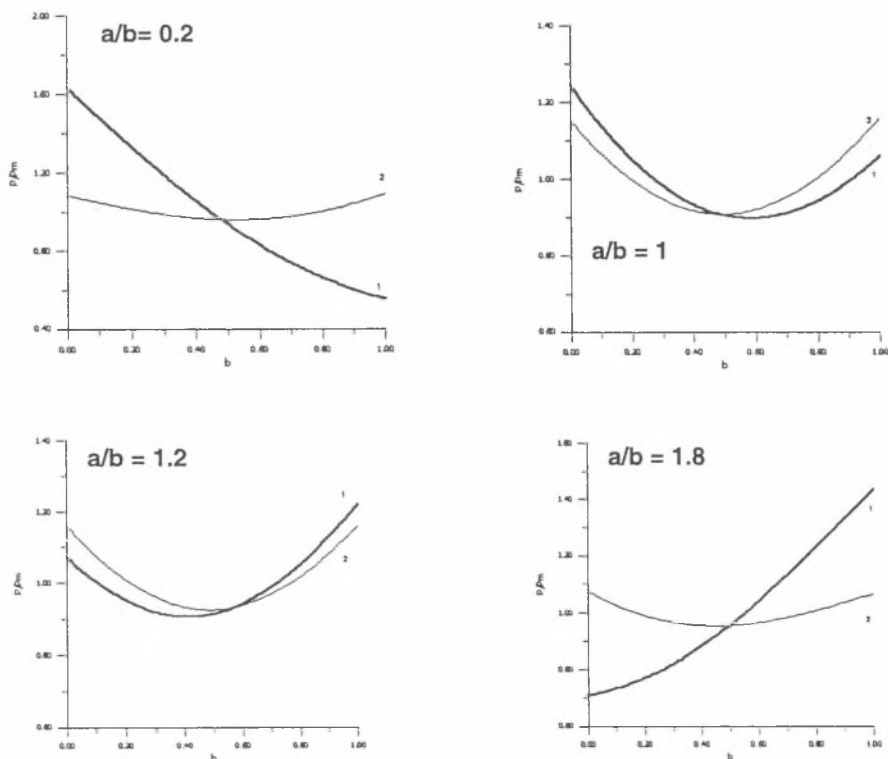


Rys.10.Zależność wartości współczynnika  $K_{H\beta}$  ( $l/b = 3$ ) od położenia zębника  $a/b$  i od wartości  $b/d$

Fig.10.The value coefficient  $K_{H\beta}$  ( $l/b = 3$ ) dependence of laying point of pinion and  $b/d$  proportion

odkształceń wynikających ze skręcenia koła ( $df_{s2}$ ) oraz ugięcia wału koła ( $df_{g2}$ ). Pominięto także wpływ odchyłek wykonawczych ( $\gamma = 0$ ). Jak wynika z wykresu przedstawionego na rys. 10, wartości współczynnika nierównomiernego rozkładu zależą od położenia zębника względem podpór  $a/b$ , rozpiętości podpór  $l/b$  oraz stosunku  $b/d$ . Charakterystyczny przebieg wartości współczynnika wynika stąd, że gdy zębник położony jest przy prawej podporze (maksymalna wartość stosunku  $a/b$ ), a moment skręcający przyłożony jest z lewej strony, to skutki zginania są równoważone przez odkształcenia skrętne. Jeżeli natomiast zębник znajduje się przy podporze lewej, to odkształcenia giętne i skrętne dodają się, co powoduje podwyższone wartości współczynnika. Oddziaływanie odkształcenia skrętnego powoduje, że najkorzystniejsze położenie zębника nie wypada w środku między podporami, lecz jest przesunięte w kierunku wolnej podpory. Na rysunku 10 grubszą linią przedstawione są wartości współczynnika przy równoległym położeniu wałów, cieńszą linią wartości otrzymane po zastosowaniu optymalnej regulacji w wyniku mimośrodowego osadzenia łożysk. Mimośrodowe osadzenie łożysk daje możliwość wyrównania rozkładu obciążenia, co powoduje obniżenie wartości współczynnika nierównomierności rozkładu. Na rysunku 11 przedstawiono wykresy rozkładu obciążenia na szerokości zębника dla czterech wartości stosunku  $a/b$ . Cieńszą linią przedstawione są rozkłady obciążeń uzyskane po zastosowaniu mimośrodowego osadzenia łożysk. W przypadku braku regulacji maksymalne wartości obciążenia, a tym samym współ-

czynnika nierównomierności rozkładu przemieszczają się z lewej strony zębika na prawą, co powoduje że żadne położenie nie daje możliwości uzyskania równomiernego rozkładu obciążenia.



Rys.11. Rozkład obciążenia na szerokości zębika dla kilku położzeń zębika względem podpory ( $l/b=3; b/d=1.3$ ), 1 – rozkład obciążenia na szerokości zębika, 2 – wyrównany rozkład obciążenia

Fig. 11. Load dispose on the pinion's width for few laying points of pinion with support regard, 1 – load dispose, 2 – load dispose after equalization

### 3. PODSUMOWANIE

Stosując modyfikację linii zęba możemy zmniejszyć skutki niekorzystnego oddziaływania nierównomiernego rozkładu obciążenia. Wyrównanie rozkładu obciążenia niesie ze sobą korzyści w postaci poprawy własności dynamicznych i wytrzymałościowych oraz zwiększa cichobieżność przekładni. Modyfikacja linii zęba jest operacją wymagającą dużej dokładności wykonania przekładni, co niekiedy może być trudne do uzyskania, a także może podwyższać koszty wykonania przekładni. Innym sposobem uzyskania wyrównanego rozkładu obciążenia

jest mimośrodowe osadzenie łożysk. Metoda ta, szczególnie przy dużych wymiarach geometrycznych przekładni, może dawać znaczne obniżenie współczynnika nierównomierności rozkładu obciążenia.

Recenzent: Dr hab. inż. Antoni Skoć

Wpłynęło do Redakcji 15.10.1999 r.

### Literatura

1. Dryndos J., Müller L.: Badania numeryczne nad możliwością zmniejszenia nierównomierności rozkładu obciążenia na szerokości koła zębatego przez zastosowanie mimośrodowego osadzenia łożysk. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Seria: Transport z. 10 1990, nr kol. 988.
2. Jaśkiewicz Z., Wąsiewski A.: Przekładnie walcowe .WKŁ, Warszawa 1992.
3. Müller L.: Przekładnie zębate. WNT, Warszawa 1994.
4. Normy: DIN 3990/1, ISO/DIS 6336/1.

### Abstract

The effects unequal load dispose may be decrease be cog's line modification. Equal load dispose gets dynamical and endurencing properties better and makes gear more silent. This kind operation require high quality processes production and them increase gear's costs. Another way to obtain equal load dispose is uncentral laying bears. This method may decrease value of stady coefficient, especially with big size gears.