

prof. dr hab. inż. MARIAN DOLIPSKI

dr inż. ERYK REMIORZ

dr inż. PIOTR SOBOTA

mgr inż. JAN OSADNIK

Institut Mechanizacji Górnictwa

Wydział Górnictwa i Geologii

Politechnika Śląska

# Komputerowe badania wpływu zużycia den gniazd i flanki zębów bębna na położenie ogniów w gniazdach bębna łańcuchowego

*Efektem długotrwałego współdziałania ogniów poziomych z dnami gniazd może być zużycie deformujące dna gniazda i flanki zębów, które całkowicie zmienia warunki zachowania się ogniów na bębnie łańcuchowym. Podobnie obecność urobku jest powodem zanieczyszczenia den gniazd bębnow łańcuchowych zmieniając położenie ogniów poziomych w gniazdach. Zaprezentowano wyniki badań komputerowych wpływu zużycia den gniazd i flanki zębów na parametry opisujące położenie ogniwa poziomego w gnieździe dla bębnow łańcuchowych o liczbie zębów wynoszącej  $z = 6$  i  $z = 8$  współdziałających z łańcuchem ogniwowym  $30 \times 108$  w zróżnicowanych warunkach tarcia.*

## 1. WSTĘP

---

Bardzo liczna grupa maszyn wykorzystuje pociągowe układy z łańcuchem w obiegu zamkniętym, których długość konturu dochodzi do kilkuset metrów. Dotyczy to zwłaszcza przenośników zgrzeblowych, które stały się popularnymi środkami odstawy w podziemnych wyrobiskach ścianowych w kopalniach węgla kamiennego.

Szczególnie trudne warunki eksploatacji pociągowego układu łańcuchowego w kopalniach węgla kamiennego decydują o współdziałaniu bębna łańcuchowego z łańcuchem zgrzeblowym przenośnika w otoczeniu wilgoci oraz pyłu węglowego i kamiennego. Z tego powodu współczynniki tarcia w przegubach łańcucha oraz w punktach styku ogniów poziomych z dnami gniazd i flankami zębów mogą osiągać znaczne wartości.

Relacje geometryczne pomiędzy bębniem łańcuchowym a ogniwami łańcucha decydują o położeniu ogniów łańcucha w gniazdach bębna i miejscu wystąpienia sprzężenia kształtowego pomiędzy segmentami zębów bębna i ogniwami poziomymi łań-

cucha. W czasie eksploatacji pociągowego układu łańcuchowego następuje – na skutek zużycia – zwiększenie podziałki łańcucha ogniwowego i zmniejszenie podziałki bębna łańcuchowego. Wskutek tego środki geometryczne grubości ogniów poziomych nie leżą na średnicy podziałowej. Wchodzeniu ogniów łańcucha w zazębienie z segmentami zębów bębna oraz wyzębieniu ogniów w warunkach poślizgu ogniów na flance zęba towarzyszą znaczące siły nacisku i tarcia, mające decydujący wpływ na zużycie segmentów zębów bębna. Zużyciu ściernemu ulegają również dna gniazd przy kontakcie

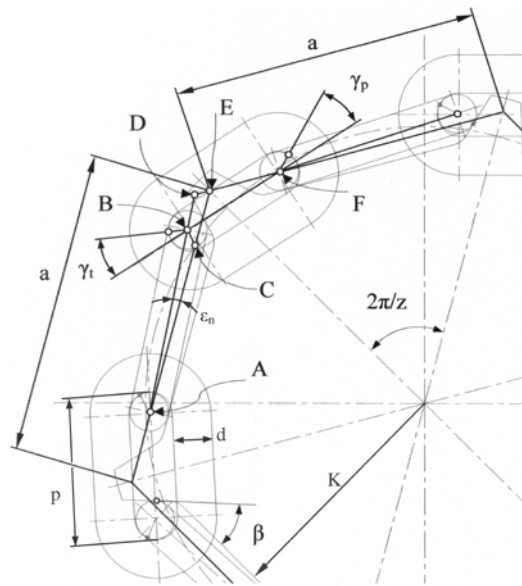
z torusami ogniów. Efektem długotrwałego współdziałania ogniów poziomych z dnami gniazd może być zużycie deformujące dna gniazda i flanki zębów, które całkowicie zmienia warunki zachowania się ogniów na bębnie łańcuchowym. Podobnie obecność urobku jest powodem zanieczyszczenia den gniazd bębnow łańcuchowych zmieniając położenie ogniów poziomych w gniazdach, zaś obecność ziaren urobku pomiędzy zgrzeblami a blachą ślizgową rynien lub w profilach bocznych rynien prowadzą-

cych zgrzebła zmienia warunki nabiegania łańcucha na bęben.

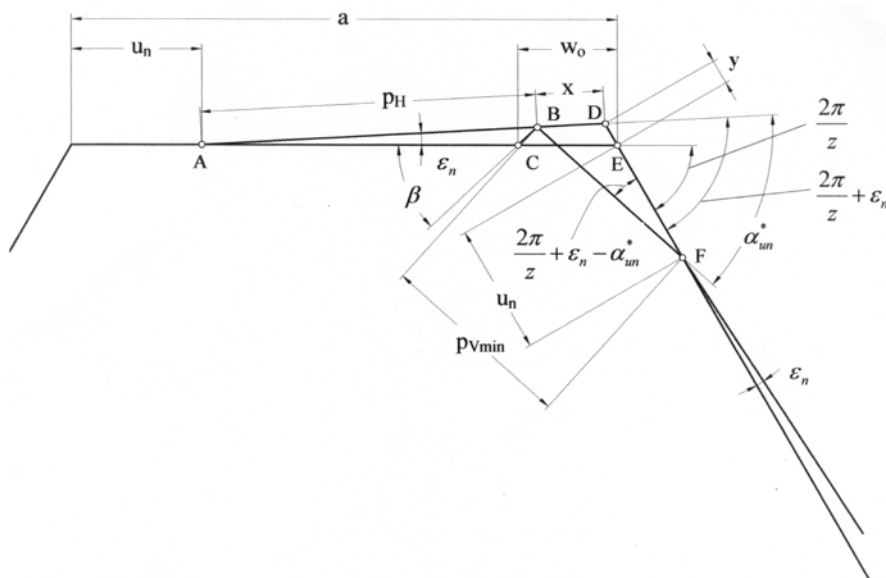
Dla potrzeb badań wpływu zużycia den gniazd i flanki zębów na położenie ogniwa w gniazdach bębna łańcuchowego wykorzystano model obliczeniowy dla wariantu zazębienia łańcuchowego, w którym nie występuje poślizg geometryczny [1] (rys. 1). W tym wariantcie wszystkie ogniwa poziome łańcucha znajdujące się na kole gniazdowym są nachylone względem den gniazd tak, że ich torusy przednie stykają się z dnami gniazd, a torusy tylne stykają się z flankami zębów pochylonymi względem dna gniazda o kąt  $\beta$ . Położenie ogniwa łańcucha w gniazdach koła opisano (rys. 2) za pomocą następujących trzech wielkości: kąta nachylenia ogniwa względem den gniazd koła  $\varepsilon_n$ , odległości środka przegubu przy torusie przednim ogniwa poziomego od początku boku wieloboku fo-

remnego  $u_n$  oraz kąta obrotu ogniwa pionowego względem poprzedzającego ogniwa poziomego w środku przegubu przy torusie tylnym ogniwa poziomego  $\alpha_{un}^*$ . Ogniwo pionowe ma przy tym minimalną podziałkę obliczeniową  $p_{Vmin}$ , zaś ogniwo poziome ma podziałkę obliczeniową  $p_H$ .

Parametry geometryczne bębnow łańcuchowych przyjętych do badań wyznaczone zgodnie z normą PN-G-46703:1997 [4] przedstawiono w tabeli 1 dla różnych kątów pochylenia flanki zęba względem dna gniazda  $\beta$ . Dla łańcucha ogniwowego 30×108 przyjęto moduł przegubu, będący stosunkiem grubości ogniwa do jego wewnętrznej szerokości [3], o wartości  $m = 0,8333$ .



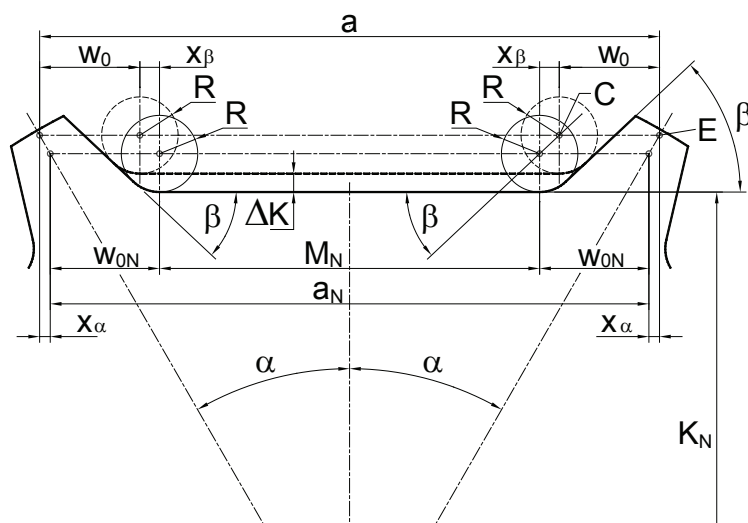
Rys. 1. Położenie ogniwa w gniazdach koła łańcuchowego [2]



Rys. 2. Schemat obliczeniowy położenia ogniw w gniazdach koła łańcuchowego [2]

**Tabela 1**  
**Parametry geometryczne bębnow łańcuchowych przyjętych do badań dla wielkości łańcucha 30×108**

Wielkość łańcucha [mm]	Liczba gniazd (Liczba zębów)	Połowa kąta podziałowego koła łańcuchowego [stopnie]	Odległość od dna gniazda do środka koła gniazdowego [mm]	Odległość środków gniazda koła [mm]	Kąt pochylenia flanki zęba względem dna gniazda [stopnie]
d x p	z	$\alpha = \frac{180^\circ}{z}$	KN	MN	$\beta$
30 × 108	6	30°	182,5	146	45
					55
	8	22° 30'	253,5		55
					65



Rys. 3. Schemat obliczeniowy zużycia i podsadzenia miałem węglowym den gniazd bębna łańcuchowego

## 2. WPŁYW ZUŻYCIA DEN GNIAZD NA POŁOŻENIE OGNIW W GNIAZDACH BĘBNA ŁAŃCUCHOWEGO

Zużycie dna gniazda zamodelowano przez zmianę odległości dna gniazda od środka koła gniazdowego  $K$ . Przyjęto przy tym zmienność tej odległości  $K_N + \Delta K$  w zakresie  $\Delta K$  od  $\Delta K = -5$  mm do  $\Delta K = +5$  mm. Ujemne wartości  $\Delta K$  odzwierciedlają obniżenie dna gniazda spowodowane odchyłkami wykonawczymi lub zużyciem dna gniazda. Dodatnie wartości  $\Delta K$  modelują wyższe położenia ogniw poziomych w gniazdach spowodowane nagromadzeniem urobku pod ogniwami. Zmiana odległości od dna gniazda do środka koła gniazdowego  $K$  wywołuje zmianę wieloboku foremnego [1] o liczbie boków równej liczbie gniazd (liczbie zębów)  $z$  koła (rys. 2).

Wielobok foremny umieszczony jest w płaszczyźnie przechodzącej przez oś symetrii rowka koła gniazdowego pod ogniwo pionowe. Odległość boku tego wieloboku foremnego od środka koła gniazdo-

wego jest równa:  $KN + \Delta K + R$  (rys. 3) zaś długość boku  $a$  opisano zależnością:

$$a = 2 \cdot [(K_N + \Delta K) + R] \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{z} \quad (1)$$

gdzie:

$R$  – promień u podstawy zęba ( $R = 0,5 d$ ).

Zmiana długości boku wieloboku foremnego wywołuje zmianę odległości środka gniazda koła (punkt C na rys. 3) od końca boku wieloboku foremnego  $w_0$  (punkt E na rys. 3) według zależności:

$$w_0 = w_{0N} + X_\alpha - X_\beta \quad (2)$$

przy czym:

$$X_\alpha = \Delta K \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{z} \quad (3)$$

$$X_\beta = \frac{\Delta K}{\operatorname{tg} \beta} \quad (4)$$

gdzie:

$$w_{0N} = \frac{a_N - M_N}{2} \quad (5)$$

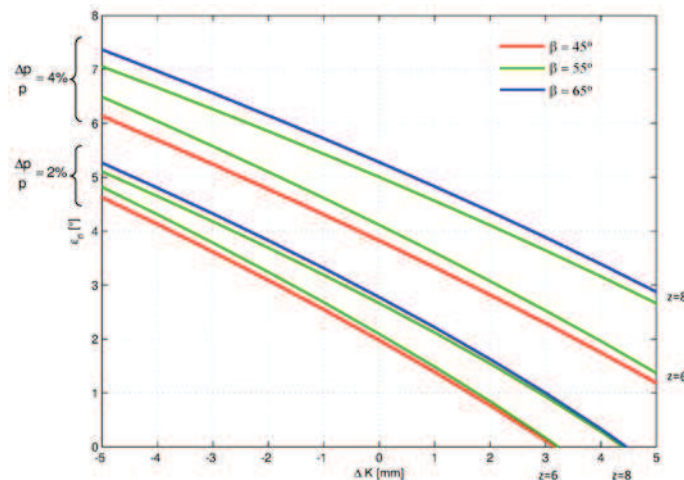
$$a_N = 2 \cdot (K_N + R) \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{z} \quad (6)$$

Komputerowe badania wpływu zużycia den gniazd bębna i podsadzania miałem węglowym ogni w ich położenie w gniazdach bębna łańcuchowego przeprowadzono dla łańcucha wielkości  $30 \times 108$  o podziałce wydłużonej o  $\Delta p/p = 2\%$  i  $\Delta p/p = 4\%$  współpracującego z bębniem łańcuchowym o liczbie zębów  $z = 6$  i kącie pochylenia flanki zęba względem dna gniazda  $\beta = 45^\circ$  lub  $\beta = 55^\circ$  oraz o liczbie zębów  $z = 8$  i kącie pochylenia flanki zęba względem dna gniazda  $\beta = 55^\circ$  lub  $\beta = 65^\circ$ . Założono przy tym, że w przegubie łańcucha o module  $m = 0,8333$  występuje tarcie o współczynniku  $\mu_o = 0,5$  powodujące zjawisko ruchliwości ogni w przegubie.

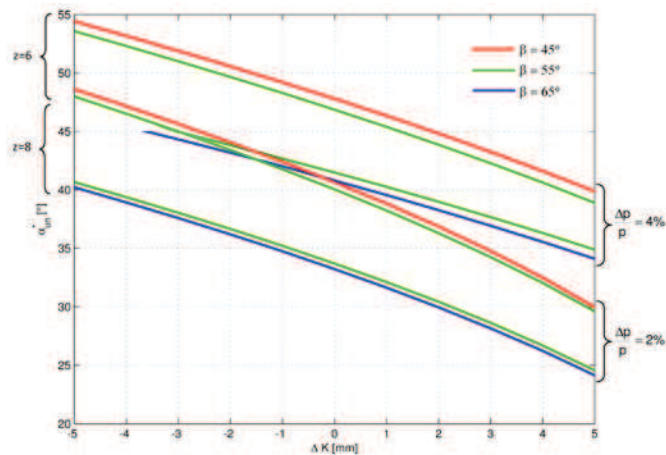
Zmiana odległości od dna gniazda do środka koła gniazdowego spowodowana zużyciem den gniazd bębna (ujemne wartości  $\Delta K$ ) lub obecnością urobku zanieczyszczającego dna gniazd (dodatnie wartości  $\Delta K$ ) wpływa na wartość kąta nachylenia ogni poziomych łańcucha względem den gniazd koła  $\varepsilon_n$  (rys. 4). Im większe zużycie den gniazd, tym większa wartość kąta nachylenia ogni poziomych łańcucha

względem den gniazd. Wartość tego kąta rośnie wraz ze wzrostem liczby zębów bębna łańcuchowego oraz ze wzrostem wydłużenia podziałki łańcucha. Dla danej liczby zębów bębna i wydłużenia łańcucha zwiększenie kąta pochylenia flanki zęba względem dna gniazda  $\beta$  powoduje wzrost kąta nachylenia ogni łańcucha względem den gniazd koła. Podsadzenie miałem węglowym den gniazd bębna łańcuchowego (dodatnie wartości  $\Delta K$ ) wpływa na zmniejszenie wartości kąta nachylenia ogni poziomych łańcucha względem den gniazd koła, co przy wydłużeniu podziałki ogni łańcucha o  $\Delta p/p = 2\%$ , dla koła o liczbie zębów  $z = 6$  powoduje osiadanie torusa tylnego ogniwa poziomego na dnie gniazda ( $\varepsilon_n = 0$ ) dla  $\Delta K = +3,2$  mm, a dla koła o liczbie zębów  $z = 8$  dla  $\Delta K = +4,4$  mm.

Zmniejszenie odległości od dna gniazda do środka koła gniazdowego spowodowane zużyciem den gniazd bębna zwiększa wartość kąta obrotu ogniwa pionowego względem poprzedzającego ogniwa poziomego  $\alpha^*_{um}$  (rys. 5). Wartość tego kąta rośnie wraz



Rys. 4. Wpływ zmiany położenia dna gniazda względem osi obrotu bębna na wartość kąta nachylenia ogni łańcucha względem den gniazd koła

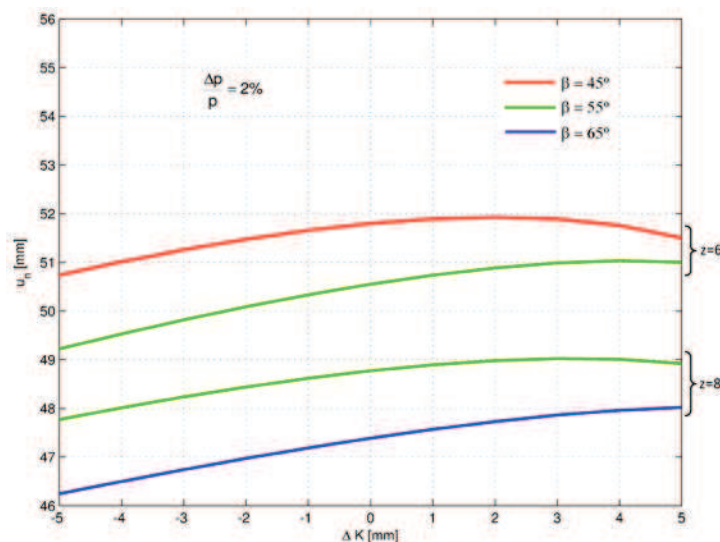


Rys. 5. Wpływ zmiany położenia dna gniazda względem osi obrotu bębna na wartość kąta obrotu ogniwa pionowego względem poprzedzającego ogniwa poziomego

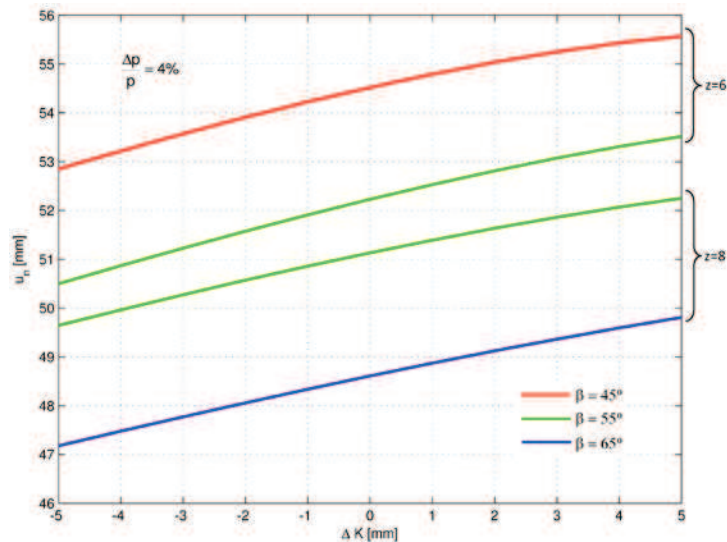
ze wzrostem wydłużenia podziałki łańcucha oraz maleje ze wzrostem liczby zębów bębna łańcuchowego i ze zwiększeniem kąta pochylenia flanki zęba względem dna gniazda.

Odległość środka przegubu przy torusie przednim ogniwa poziomego (punkt A na rys. 2) od początku boku wieloboku foremego  $u_n$  decydująca o położeniu ogniwa w gnieździe koła również zmienia się ze zmianą odległości od dna gniazda do środka koła gniazdowego. Wartość odległości  $u_n$  rośnie ze wzrostem odległości dna gniazda od środka koła (rys. 6 i 7), przy czym osiąga większe wartości dla koła o mniejszej liczbie zębów i dla mniejszych wartości kąta pochylenia flanki zęba

względem dna gniazda. W zakresie zmienności analizowanych parametrów zależność ta osiąga maksimum przy wydłużeniu podziałki ogniwa łańcucha o  $\Delta p/p = 2\%$  (rys. 6) przy mniejszych wartościach kąta pochylenia flanki zęba: dla koła o liczbie zębów  $z = 6$  i kącie pochylenia flanki  $\beta = 45^\circ$  przy  $\Delta K = +2$  mm a dla koła o liczbie zębów  $z = 8$  i kącie pochylenia flanki  $\beta = 55^\circ$  przy  $\Delta K = 3,5$  mm. Zwiększenie wydłużenia podziałki ogniwa łańcucha do  $\Delta p/p = 4\%$  (rys. 7) powoduje trwały wzrost wartości odległości środka przegubu przy torusie przednim ogniwa poziomego wraz ze zwiększaniem odległości dna gniazda od środka obrotu bębna.



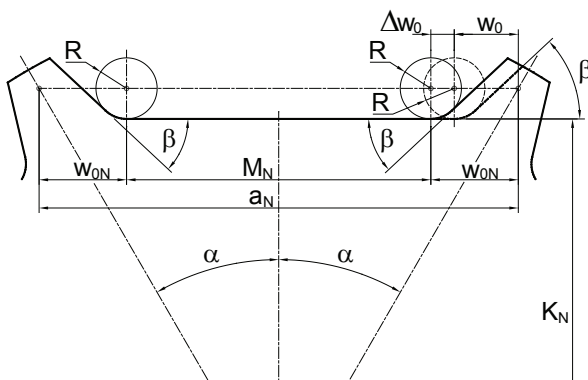
Rys. 6. Wpływ zmiany położenia dna gniazda względem osi obrotu bębna na odległość środka przegubu przy torusie przednim ogniwa poziomego od początku boku wieloboku foremego dla  $\Delta p/p = 2\%$



Rys. 7. Wpływ zmiany położenia dna gniazda względem osi obrotu bębna na odległość środka przegubu przy torusie przednim ogniwa poziomego od początku boku wieloboku foremnego dla  $\Delta p/p = 4\%$

### 3. WPŁYW ZUŻYCIA FLANKI ZĘBÓW NA POŁOŻENIE OGNIW W GNIAZDACH BĘBNA ŁAŃCUCHOWEGO

Zużycie roboczej flanki zębów zamodelowano przez zmianę odległości środka gniazda koła od końca boku wieloboku foremnego o wielkość  $\Delta w_0$  (rys. 8) pozostawiając niezmienny kąt nachylenia flanki zęba do dna gniazda i normową wartość odległości dna gniazda od środka koła gniazdowego. Przyjęto przy tym zmienność w zakresie od  $\Delta w_0 = -7$  mm do  $\Delta w_0 = +1$  mm. Ujemne wartości  $\Delta w_0$  odzwierciedlają spowodowane zużyciem przesunięcie flanki zęba w płaszczyźnie równoległej do dna gniazda. Dodatnie wartości  $\Delta w_0$  modelują przesunięcie flanki zęba spowodowane odchyłkami wykonawczymi koła.

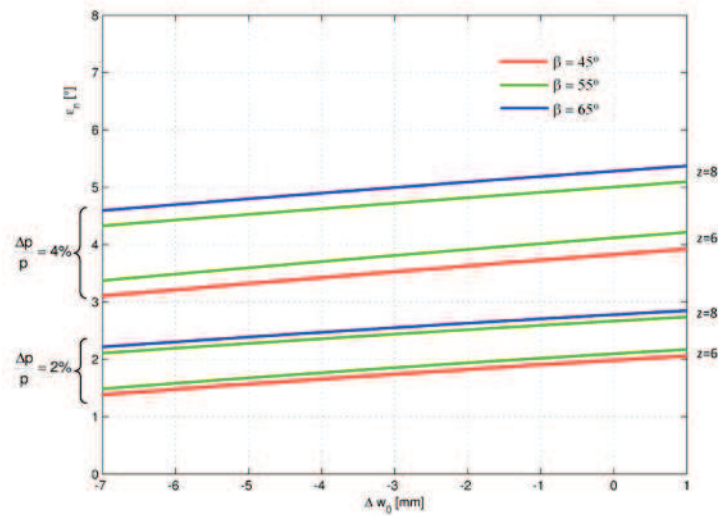


Rys. 8. Schemat obliczeniowy zużycia flanki zęba bębna łańcuchowego

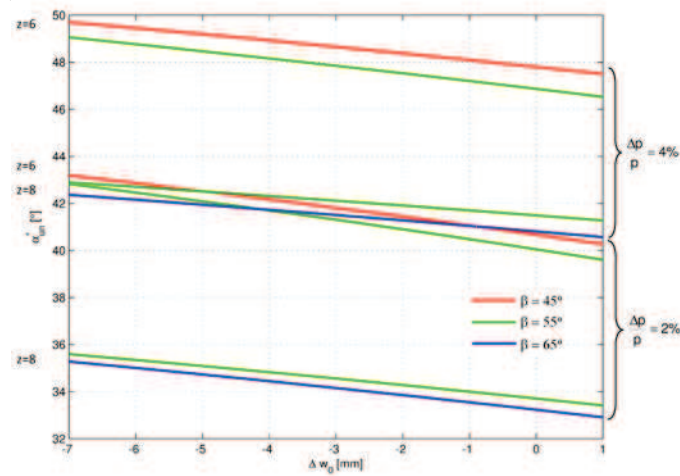
Komputerowe badania wpływu zużycia flanki zęba na położenie ogniw w gniazdach bębna łańcuchowe-

go przeprowadzono dla bębnow łańcuchowych o tych samych parametrach jak dla badania zużycia den gniazd. Zmiana odległości środka gniazda koła od końca boku wieloboku foremnego spowodowana zużyciem flanki zębów bębna (ujemne wartości  $\Delta w_0$ ) lub dodatnimi odchyłkami wykonawczymi (dodatnie wartości  $\Delta w_0$ ) wpływa na wartość kąta nachylenia ogniw poziomych łańcucha względem den gniazd koła  $\epsilon_n$  (rys. 9). Im większe zużycie flanki zęba, tym mniejsza wartość kąta nachylenia ogniw poziomych łańcucha względem den gniazd. Wartość tego kąta rośnie wraz ze wzrostem liczby zębów bębna łańcuchowego, kąta nachylenia flanki oraz ze wzrostem wydłużenia podziałki łańcucha. Wzrost zużycia flanki zęba zwiększa wartość kąta obrotu ogniwa pionowego względem poprzedzającego ogniwa poziomego  $\alpha^*_{un}$  (rys. 10). Wartość tego kąta rośnie wraz ze wzrostem wydłużenia podziałki łańcucha oraz maleje ze wzrostem liczby zębów bębna łańcuchowego i ze zwiększeniem kąta pochylenia flanki zęba względem dna gniazda.

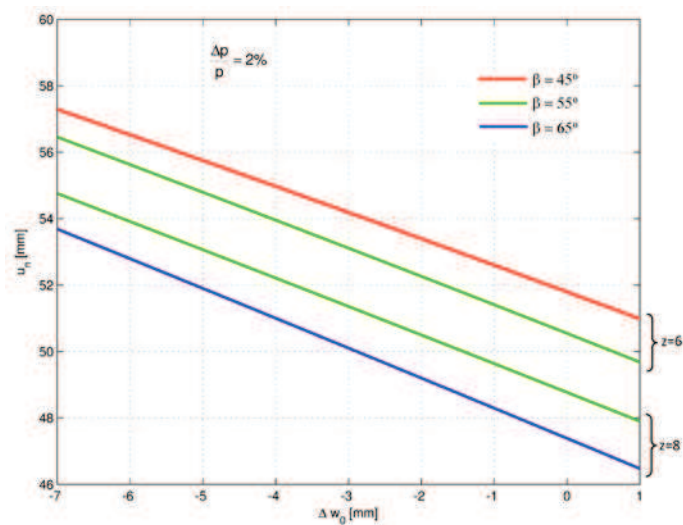
Odległość środka przegubu przy torusie przednim ogniwa poziomego od początku boku wieloboku foremnego  $u_n$  decydująca o położeniu torusa przedniego ogniwa w gnieździe koła również zmienia się ze zmianą stopnia zużycia flanki zęba. Wartość odległości  $u_n$  rośnie ze wzrostem zużycia flanki (rys. 11 i 12), przy czym osiąga większe wartości dla koła o mniejszej liczbie zębów i dla mniejszych wartości kąta pochylenia flanki zęba względem dna gniazda. Zwiększenie wydłużenia podziałki ogniw łańcucha z  $\Delta p/p = 2\%$  (rys. 11) do  $\Delta p/p = 4\%$  (rys. 12) powoduje trwały wzrost wartości odległości środka przegubu przy torusie przednim ogniwa poziomego  $u_n$  dla całego analizowanego zakresu zmienności parametru  $\Delta w_0$ .



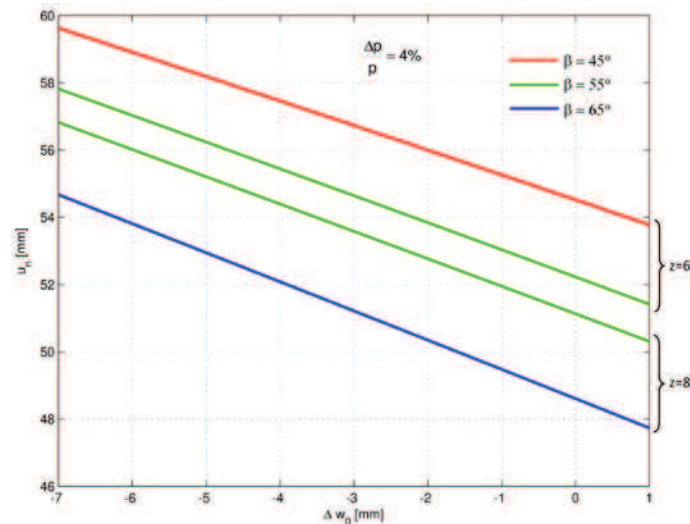
Rys. 9. Wpływ zużycia flanki zęba na wartość kąta nachylenia ogniw łańcucha względem den gniazd koła



Rys. 10. Wpływ zużycia flanki zęba na wartość kąta obrotu ogniwa pionowego względem poprzedzającego ogniwa poziomego



Rys. 11. Wpływ zużycia flanki zęba na odległość środka przegubu przy torusie przednim ogniwa poziomego od początku boku wieloboku foremnego dla  $\Delta p/p = 2\%$



Rys. 12. Wpływ zużycia flanki zęba na odległość środka przegubu przy torusie przednim ogniwa poziomego od początku boku wieloboku foremnego dla  $\Delta p/p = 4\%$

#### 4. PODSUMOWANIE

Dla potrzeb badań wpływu zużycia den gniazd i flanki zębów na położenie ogniów w gniazdach bębna łańcuchowego wykorzystano model obliczeniowy dla wariantu zążeń łańcuchowego, w którym nie występuje poślizg geometryczny. Położenie ogniów łańcucha w gniazdach koła opisano za pomocą trzech wielkości: kąta nachylenia ogniów względem den gniazd koła  $\epsilon_n$ , odległości środka przegubu przy torusie przednim ogniwa poziomego od początku boku wieloboku foremnego  $u_n$  oraz kąta obrotu ogniwa pionowego względem poprzedzającego ogniwa poziomego w środku przegubu przy torusie tylnym ogniwa poziomego  $\alpha_{im}^*$ .

Zmiana odległości dna gniazda od środka koła gniazdowego spowodowana zużyciem den gniazd bębna lub obecnością urobku zanieczyszczającego dna gniazd wpływa na położenie ogniów w gniazdach bębna łańcuchowego. Im większe zużycie den gniazd, mniejsza liczba zębów bębna łańcuchowego i większe wydłużenie podziałek ogniów łańcucha, tym ogniwa poziome są silniej nachylone względem dna gniazda, a ich torusy tylne osiadają wyżej na flance zęba.

Komputerowe badania wpływu zużycia flanki zęba na położenie ogniów w gniazdach bębna łańcuchowego wykazały, że większe zużycie flanki zęba zmniejsza wartość kąta nachylenia ogniów poziomych łańcucha względem den gniazd pomimo zwiększania odległości środka przegubu przy torusie przednim ogniwa poziomego od początku boku wieloboku foremnego. Ze wzrostem liczby zębów bębna łańcuchowego, kąta nachylenia flanki zęba oraz ze wzrostem wydłużenia podziałki łańcucha rośnie nachylenie ogniów poziomych względem dna gniazda.

#### Literatura

1. Dolipski M.: Modelowanie i badania zespołów strugowych. Podręcznik akademicki. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1993.
2. Dolipski M., Remiorz E., Sobota P., Osadnik J.: Wpływ zwiększenia podziałki łańcucha na położenie jego ogniów w gniazdach bębnow łańcuchowych. Wiadomości Górnicze 2010, nr 9.
3. Dolipski M., Cheluszka P., Giza T., Mann R., Osadnik J., Sobota P.: Wyznaczanie modułu przegubu ogniwa łańcucha zgrzeblowego. Konferencja naukowa „Górnictwo zrównoważonego rozwoju 2010”. Gliwice, 2010.
4. PN-G-46703:1997 – Łańcuchy ogniwowe górnicze. Bębny i koła łańcuchowe gniazdowe. Wymagania.

Praca zrealizowana w ramach projektu rozwojowego nr N R09 0026 06/2009 finansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego decyzją nr 0481/R/T02/2009/06

Recenzent: dr hab. inż. Janusz Reś, prof. AGH