

Tadeusz GIZA, Rajmund MANN
Politechnika Śląska, Gliwice

WPLYW ZUŻYCIA ZĘBÓW KOŁA NAPĘDOWEGO I ZMIANY PODZIAŁKI ZĘBATKI NA CHARAKTER ZAZĘBIENIA I PRĘDKOŚĆ POSUWU KOMBAJNU

Streszczenie. Zużycie profilu zębów koła napędowego powoduje zaburzenia w jego współpracy ze sworzniami segmentów zębarki. Na charakter zazębienia i parametry pracy kombajnu ma również wpływ zmiana w stosunku do nominalnej podziałki zębarki. Dla koła o 9 zębach, którego profile boczne uległy zużyciu w wyniku eksploatacji w ścianie wyznaczono przebieg i zakres zmian promienia styku, kąta przyporu oraz prędkości posuwu kombajnu. Porównano je z przebiegami w zazębieniu nominalnym. Wykorzystano do tego celu symulację komputerową.

EFFEKT OF WEAR TEETH OF A DRIVE WHEEL AND OF THE PITCH OF A RACK BAR ON THE CHARACTER OF MESHING AND ON THE SHEARER'S HAULAGE SPEED

Summary. The wear of the profile of teeth of a drive wheel causes troubles in mating of the wheel with pins of segments of a rack bar. Changing of the pitch of a rack bar in relation to its nominal value has also an effect on the character of meshing and parameters of the shearer's performance. A course and a range of changes of a contact radius, of a pressure angle as well as of the haulage speed of a shearer have been determined for a wheel provided with 9 teeth whose flank profiles suffered wear during their operation on a longwall face. The determined course and range of changes have been compared with those taking place under nominal meshing. Computer simulation was used for this purpose.

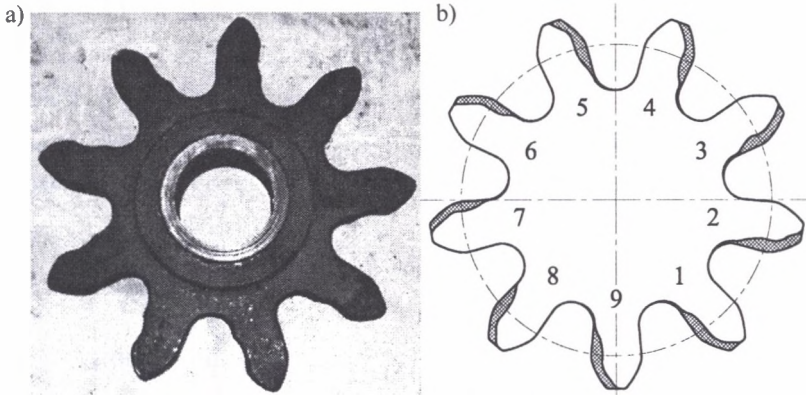
1. Wstęp

W polskich kopalniach węgla kamiennego w 2004 r. blisko 87 % kombajnów ścianowych wyposażonych było w bezciężnowy system posuwu BP (EICOTRACK) [4]. Równocześnie około 95 % wydobywanego węgla pochodziło z systemów ścianowych. System posuwu BP

należy do systemów zębatkowych, w których koło napędowe współpracuje z segmentami zębatek mocowanymi bezpośrednio do zastawek przenośnika. Sposób mocowania segmentów zębatek do przenośnika nie pozwala na ich dostosowanie się do położenia koła napędowego. W czasie współpracy koła napędowego z trasą zębatek zmieniają się promień i kąt styku oraz kąt przyporu [1], a zakres tych zmian zależy od położenia pionowego koła względem zębatego oraz jej podziałki, a także pofałdowania spągu [2, 5]. Zakres zmian promienia i kąta styku oraz kąt przyporu mają wpływ na parametry pracy kombajnu oraz zużycie współpracujących ze sobą części (zębów koła napędowego i sworzni segmentów zębatek). Zużycie profilu zębów koła napędowego powoduje zaburzenia we współpracy koła ze sworzniami segmentu zębatego [3]. Na charakter i wielkość zmian ma również wpływ podziałka zębatego. W artykule przedstawiono wpływ zużycia profilu zębów koła napędowego bezciągnowego systemu posuwu BP na charakter przebiegu zazębienia (promień i kąt styku oraz kąt przyporu), a także prędkość posuwu kombajnu, wykorzystując do tego oryginalny program komputerowy GEOZAZ opracowany w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. W symulacji współpracy koła napędowego uwzględniono również zmianę podziałki zębatego.

2. Charakter i zakres zużycia zębów koła napędowego

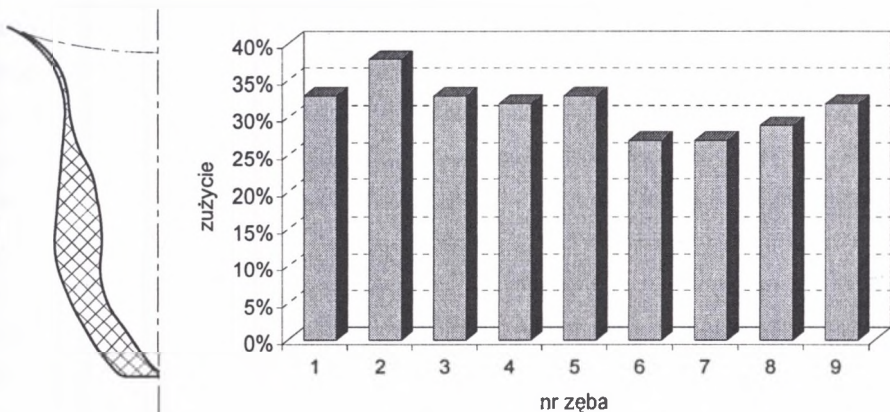
W czasie współpracy koła napędowego z zębatego mechanizmu posuwu wykonuje ono równocześnie ruch obrotowy i postępowy. Ząb koła napędowego styka się ze sworzniem segmentu zębatego swoim profilem bocznym, przy czym punkty styku w czasie zazębienia przemieszczają po profilu zęba. W okresie zazębienia na ząb koła napędowego i sworznie segmentu zębatego działają znaczne siły zmienne w czasie. W ciągnikach z jednym kołem napędowym moc silnika mechanizmu ciągnięcia może wynosić 100 kW, a siła uciągu 500 kN. Współpraca koła napędowego z segmentami zębatek odbywa się w trudnych warunkach w obecności pyłu węglowego i kamiennego oraz zanieczyszczeniu trasy urobkiem. Duże obciążenia koła i trudne warunki pracy powodują, że zużycie zębów może być znaczne, a jego przebieg intensywny. Na rysunku 1a pokazano zdjęcie koła napędowego, którego zęby



Rys. 1. Zużycie koła napędowego w wyniku eksploatacji w ścianie: a) widok, b) porównanie z profilem nominalnym

Fig. 1. Wear of a drive wheel suffered during the operation on a longwall face: a) view, b) comparison with a nominal profile

uległy wyraźnemu zużyciu w czasie eksploatacji w kopalni. Charakterystyczne jest tutaj asymetryczne zużycie profilu zębów, występujące w zasadzie tylko po jednej stronie. Ma ono miejsce w przypadku urabiania jednostronnego lub kiedy występuje znaczne nachylenie podłużne ściany. Mamy wówczas do czynienia z wyraźnym zróżnicowaniem obciążenia mechanizmu posuwu i ciągnika w czasie pracy kombajnu w obu kierunkach [4]. Różnicę w zarysach poszczególnych zębów w stosunku do koła nowego przedstawiono na rysunku 1b, na którym porównano odwzorowanie konturu zębów koła z zarysem nominalnym. Ubytki materiału przekraczają 25 % grubości zębów, a maksymalne przemieszczenie profilu zęba w wyniku zużycia w stosunku do zarysu nominalnego przekracza 10 mm. Na długości zębów zużycie nie jest równomierne, a także są różnice w wielkości zużycia poszczególnych zębów.



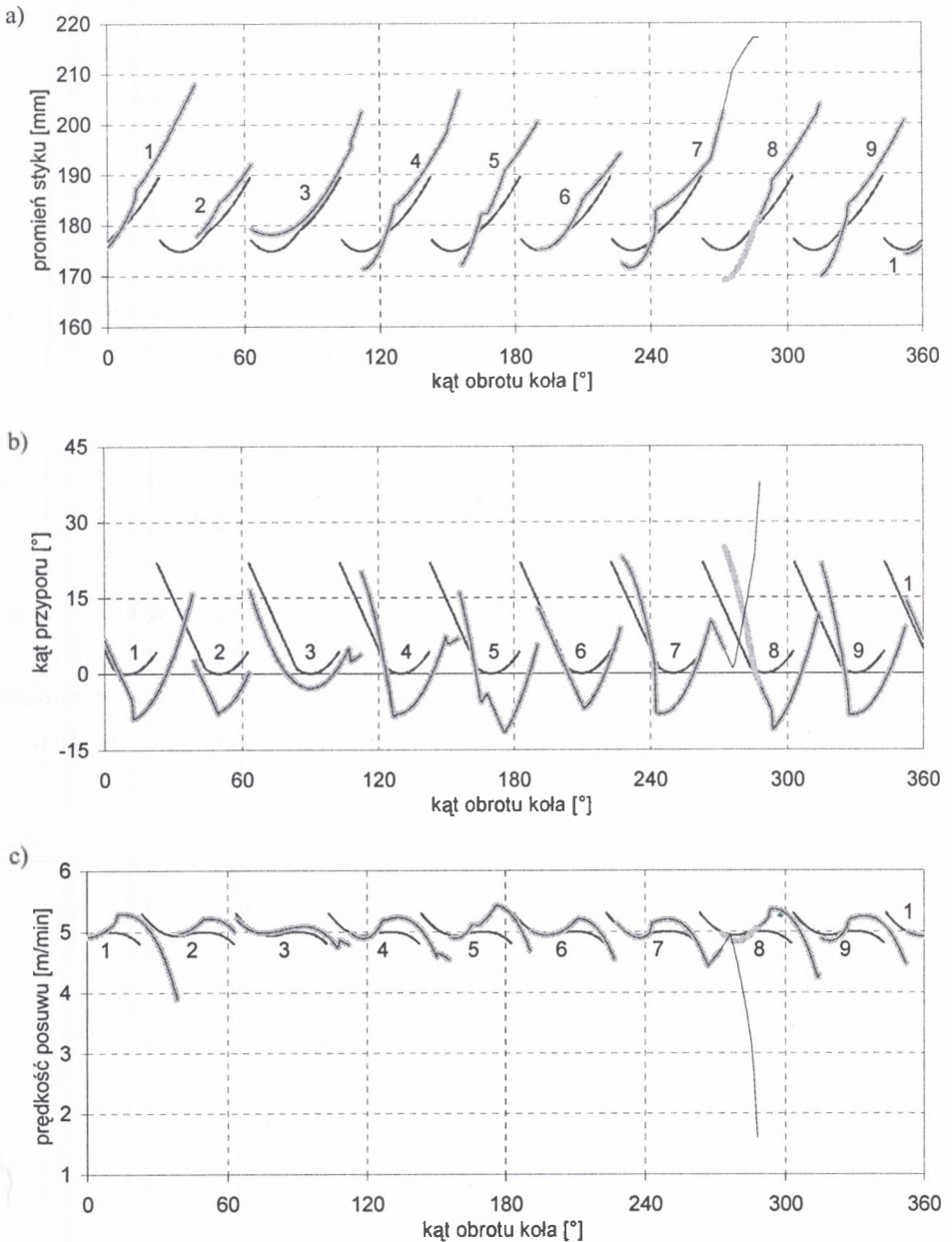
Rys. 2. Procentowe zużycie profilu poszczególnych zębów koła napędowego

Fig. 2. Percentage wear of the profile of particular teeth of drive wheel

Największe zużycie występuje w okolicy średnicy podziałowej i tutaj też zmienił się kształt profilu zęba z wypukłego na wklęsły. Mniejsze zużycie występuje przy głowie, a nieznaczne tylko przy stopie zęba i zachowany jest również zbliżony do nominalnego kształt profilu zębów. Procentowe zużycie poszczególnych zębów koła odniesione do połowy jego grubości pokazano na rysunku 2. Najmniejsze zużycie (27 %) mają zęby nr 6 i 7, a największe (38 %) zęb nr 2.

3. Analiza przebiegu zazębienia koła o zużytych profilu zębów z zębatką sworzniową

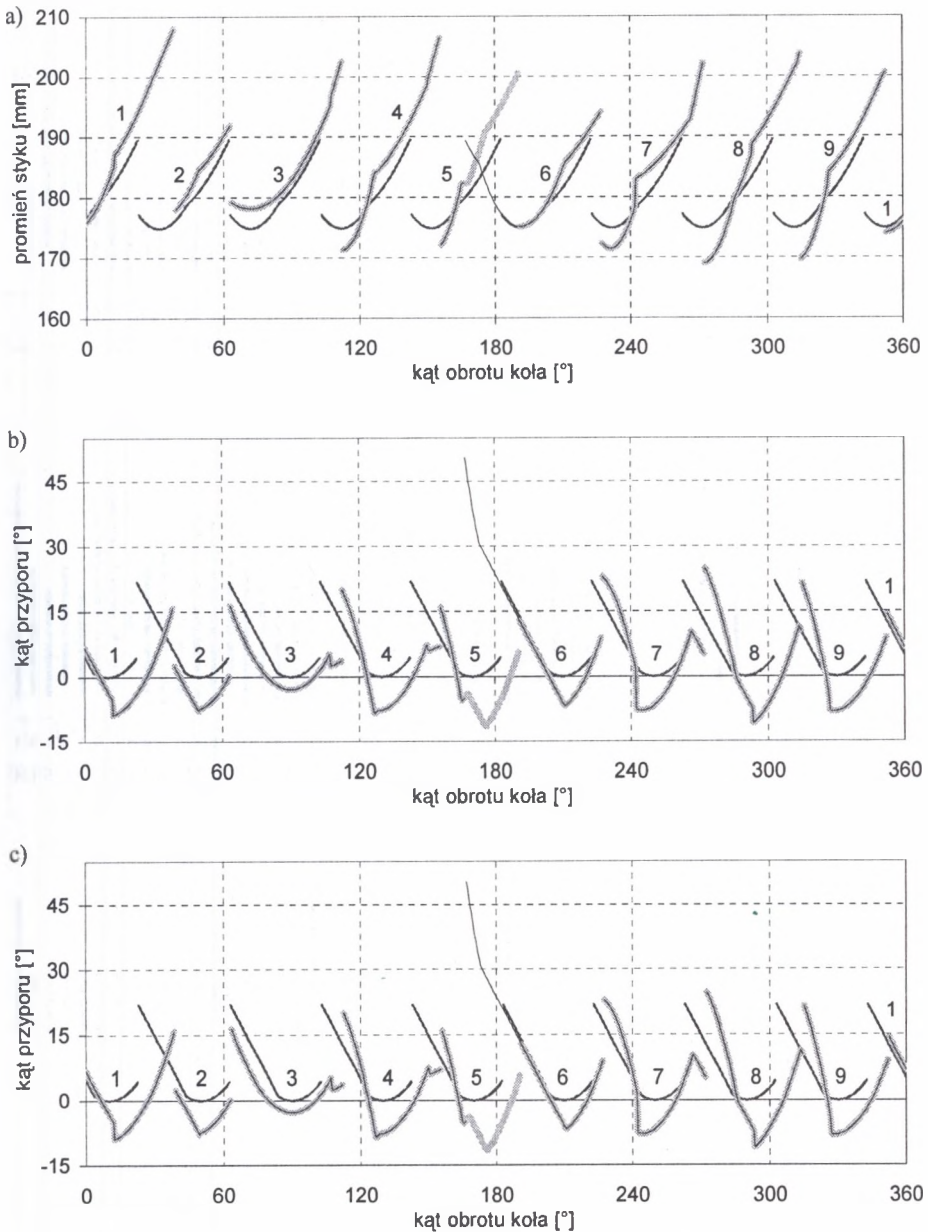
Symulację przebiegu zazębienia przeprowadzono dla koła o 9 zębach współpracującego z segmentem zębatki o sworzniach okrągłych i nominalnym zarysie. Uwzględniono zmianę podziałki między sworzniami o wartość -10 mm i $+9$ mm; podziałka nominalna wynosi 125 mm. Symulacja obejmuje pełny obrót koła. Na rysunkach 3 i 4 pokazano charakter i zakres zmian promienia styku, kąta przyporu i prędkości posuwu kombajnu w zależności od kąta obrotu koła. Numery przyporządkowane poszczególnym krzywym odpowiadają numeracji zębów na rysunku 1b. Dla nominalnego zarysu zębów koła napędowego współpracującego z zębatką o podziałce nominalnej, okres zazębienia jest taki sam, jak również mamy regularne (linia szara cienka rys. 3 i 4) przebiegi promienia styku, kąta przyporu i prędkości posuwu kombajnu [1, 5]. Zużycie profilu zębów powoduje wyraźne zaburzenia w regularności pracy mechanizmu posuwu. Poszczególne zęby koła, w zależności od ich rzeczywistego kształtu profilu wchodzą w zazębienie wcześniej lub później, niż wynikałoby to z podziałki sworzni i różny jest okres ich zazębienia. Kształt przebiegu krzywych analizowanych parametrów oraz zakres ich zmian jest dla każdego zęba inny (linia szara pogrubiona). Wynikająca z rozwiązania konstrukcyjnego mechanizmu posuwu BP okresowa współpraca zębów koła ze sworzniami o skróconej lub wydłużonej podziałce wpływa niekorzystnie na przebieg zazębienia i prędkość posuwu kombajnu. Na rysunku 3 pokazano (linia czarna cienka), jak zmienia się promień styku, kąt przyporu i prędkość posuwu kombajnu w czasie zazębienia zębów 7 i 8 ze sworzniami o zmniejszonej o 10 mm podziałce. Okres zazębienia zęba nr 7 ze sworzniem poprzedzającym zmniejszoną podziałkę wydłuża się o około 36 % i o tyle samo skraca się okres zazębienia zęba nr 8 ze sworzniem ze zmniejszoną podziałką. Zwiększa się o ~ 15 mm (do 217 mm) promień styku w chwili wyzębienia zęba 7 i o ~ 13 mm przy zazębieniu z zębem nr 8. Podobnie jest z kątem przyporu (rys. 3b). W czasie wyzębienia zęba



Rys. 3. Charakter i zakres zmian promienia styku (a), kąta przyporu (b) i prędkości posuwu korbajnu dla poszczególnych zębów koła o profilu zużyтым i nominalnym o podziałce nominalnej i skróconej o 10 mm między 7 a 8 zębem

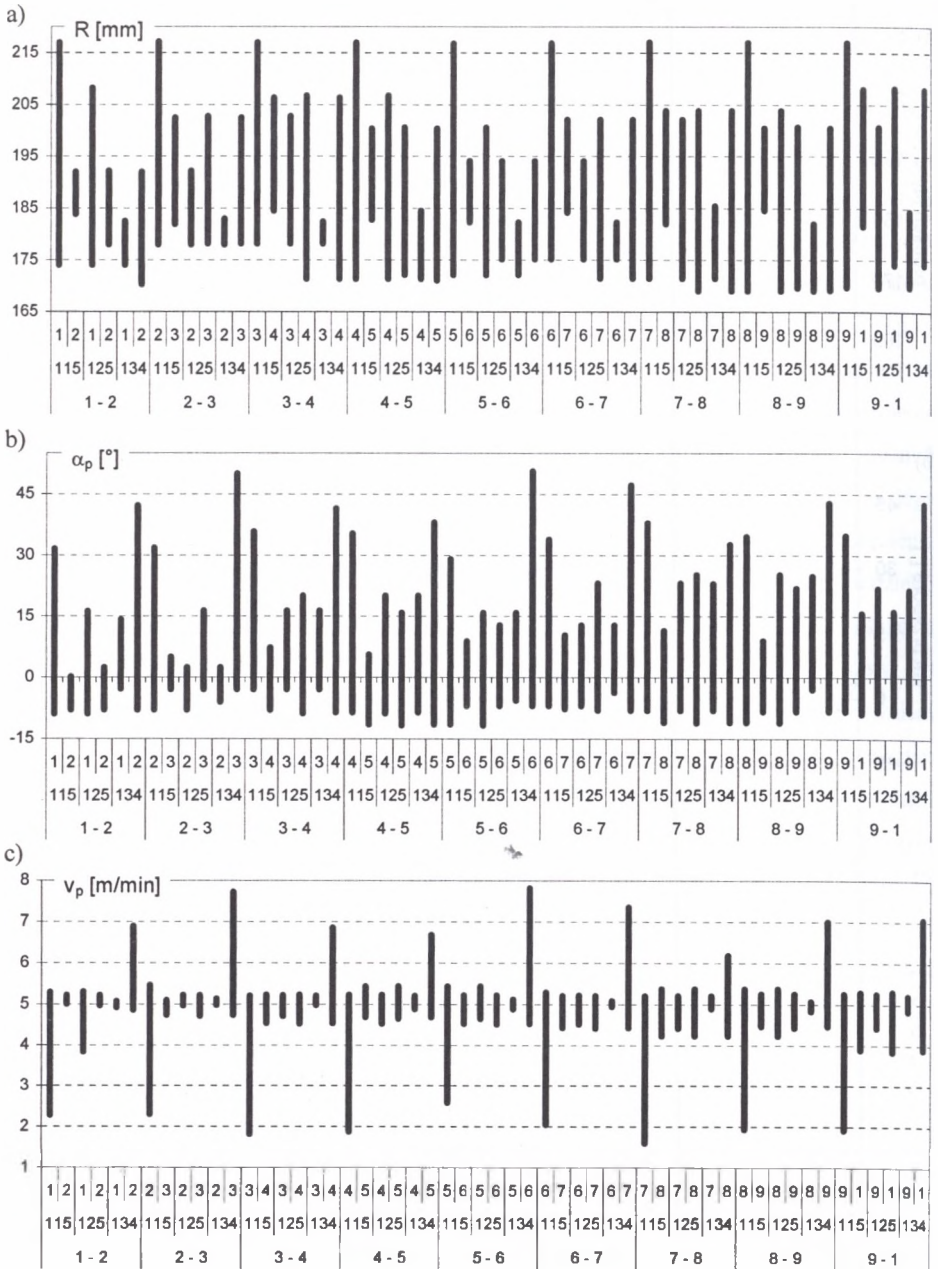
Fig. 3. Character and range of changes of a contact radius (a), of a pressure angle (b) and of the haulage speed of a shearer (c) for particular teeth of the drive wheel with teeth of the worn and nominal profile and with the nominal pitch and the pitch reduced by 10 mm between the 7th and the 8th tooth

7, rośnie on z $\sim 4,5^\circ$ do $37,9^\circ$, a zazębienie z zębem 8 jest z kątem przyporu $-2,4^\circ$ (dla podziałki nominalnej $+24,9^\circ$). W efekcie mamy drastyczny spadek prędkości posuwu kombajnu (rys. 3c) z $4,7$ m/min przy wyzębieniu zęba 7 ze sworzniem o podziałce nominalnej do $1,6$ m/min dla sworzni poprzędzającego zmniejszoną podziałkę. Należy zwrócić uwagę na to, że w końcowej fazie zazębienia z zębem 7 spadek prędkości posuwu jest jeszcze większy ($\sim 3,35$ m/min) i odbywa się w zakresie obrotu koła o $\sim 3,5^\circ$ podczas gdy okres jego zazębienia wynosi $\sim 60^\circ$. Ponieważ równocześnie mamy pewien wzrost prędkości posuwu w czasie zazębienia zęba 8 ze sworzniem dosuniętym, to amplituda prędkości posuwu kombajnu w chwili przechodzenia skróconej o 10 mm podziałki sworzni ($3,5$ m/min) jest 14 razy wyższa niż dla podziałki nominalnej i około 40% wyższa w porównaniu do zazębienia z zębem o profilu nie zużyтым. Wydłużenie podziałki do 134 mm (na rys. 4 między zębem 5 a 6) powoduje skrócenie okresu zazębienia zęba ze sworzniem poprzędzającym i jego wydłużenie ze sworzniem odsuniętym. Dla pokazanego przypadku koło w czasie zazębienia ze sworzniem poprzędzającym obraca się tylko o $10,5^\circ$ (wobec $\sim 44^\circ$ dla podziałki nominalnej) i aż o $\sim 60,5^\circ$ w zazębieniu ze sworzniem dosuniętym. W efekcie wydłużenia podziałki zmniejsza się zakres zmiany promienia styku (rys. 4a), kąta przyporu (rys. 4b) i prędkości posuwu kombajnu (rys. 4c) na zębie 5 współpracującym ze sworzniem poprzędzającym, a spowodowane jest to tym, że wyzębienie odbywa się na mniejszym promieniu ($182,3$ mm) i z wyższą prędkością posuwu ($5,1$ m/min) niż dla podziałki nominalnej. Zazębienie zęba 6 ze sworzniem o podziałce 134 mm zachodzi przy wyższym o $14,2$ promieniu styku, co nie wpływa jednak na jego amplitudę w okresie zazębienia. Większy jest również kąt przyporu i prędkość posuwu kombajnu, co w tych przypadkach powoduje znaczący przyrost amplitud. W czasie zazębienia kąt przyporu ($50,6^\circ$) jest blisko 4 razy, a prędkość posuwu $7,8$ m/min $\sim 1,6$ razy większa niż w zazębieniu ze sworzniem o podziałce nominalnej. Szczególnie niekorzystny jest przyrost prędkości posuwu. W czasie przejścia koła przez wydłużoną podziałkę prędkość posuwu rośnie z $5,1$ m/min do $7,8$ m/min, podczas gdy w zazębieniu koła z zębatką o podziałce nominalnej tylko $\sim 0,3$ m/min. Jeszcze wyższa ($3,3$ m/min) jest amplituda prędkości posuwu dla okresu zazębienia zęba 6. W porównaniu z kołem o profilu „nominalnym” amplitudy prędkości posuwu kombajnu są wyższe odpowiednio o 13% i o ponad 22% . Na rysunku 5 pokazano amplitudy promienia styku, kąta przyporu i prędkości posuwu kombajnu w okresie zazębienia kolejnych zębów koła (rys. 1) ze sworzniami o podziałce skróconej (115 mm), nominalnej (125 mm) i wydłużonej (134 mm). Dla nominalnej podziałki sworzni największe amplitudy promienia



Rys. 4. Charakter i zakres zmian promienia styku (a), kąta przyporu (b) i prędkości posuwu kombajnu dla poszczególnych zębów koła o profilu zużytym i nominalnym o podziałce nominalnej i wydłużonej o 9 mm między 5 a 6 zębem

Fig. 4. Character and range of changes of a contact radius (a), of a pressure angle (b) and of the haulage speed of a shearer (c) for particular teeth of the drive wheel with teeth of the worn and nominal profile and with the nominal pitch and the pitch increased by 9 mm between the 5th and the 6th tooth



Rys. 5. Amplituda promienia styku (a), kąta przypru (b) i prędkości posuwu kombajnu (c) w okresie ząbkowania kolejnych zębów koła ze sworzniami o podziałce skróconej (115 mm), nominalnej (125 mm) i wydłużonej (134 mm)

Fig. 5. Amplitude of a contact radius (a), of a pressure angle (b) as well as of the haulage speed of a shearer (c) when the successive teeth of wheel are being in mesh with pins of a rack bar with the reduced pitch (115 mm), the nominal pitch (125 mm) and the increased pitch (134 mm)

styku (34,1–35,4 mm) wystąpiły w zazębieniu z zębami 1, 4, 8, najmniejsze (~14 mm) z zębami 2 i 7. Najwyższe amplitudy kąta przyporu $36,2^\circ$ dla zęba 8 i $31,1^\circ$ dla 7 były około 3 razy wyższe od najniższej $10,5^\circ$ – ząb 2. Zdecydowanie największa różnica prędkości posuwu (~1,5 m/min) wystąpiła w okresie zazębienia zęba 1, natomiast dla następnego zęba była najmniejsza i wynosiła tylko 0,3 m/min. Zmniejszenie podziałki między sworzniami do 115 mm powoduje, że w czasie współpracy zębów koła ze sworzniami poprzedzającymi zmianę podziałki mamy najwyższe amplitudy promienia styku, kąta przyporu i prędkości posuwu kombajnu. Są one dla promienia styku 2–3 razy, kąta przyporu 1,7–5 razy, a prędkość posuwu nawet 10 razy wyższe, niż dla zazębienia ze sworzniem o skróconej podziałce. Wydłużenie podziałki do 134 mm powoduje z kolei wzrost wartości amplitud w okresie zazębienia zębów ze sworzniem odsuniętym. Stosunek wartości amplitud w okresie zazębienia ze sworzniem odsuniętym i poprzedzającym jest zbliżony do wartości występujących w przypadku skrócenia podziałki.

4. Podsumowanie.

Zużycie zębów koła napędowego wpływa niekorzystnie na charakter i przebieg zazębienia z segmentem zębatki. Zużycie zębów powoduje, że:

- okres zazębienia zębów koła ze sworzniem zębatki nie jest stały i zależy od stopnia zużycia profilu zęba,
- zwiększa się promień styku zębów koła ze sworzniem zębatki w czasie wyzębienia,
- w okresie zazębienia kąty przyporu mają wartość ujemną, co powoduje zmianę obciążenia segmentu zębatki.

Zmiana podziałki zębatki dodatkowo zaburza współpracę koła napędowego z segmentem zębatki.

LITERATURA

1. Giza T., Mann R.: Komputerowa symulacja współpracy koła napędowego z zębatką sworzniową bezciężnowego mechanizmu posuwu kombajnu. 22 Mezinárodní vědecká konference „Technická Diagnostika Strojů a Výrobních Zařízení DIAGO 2003” Ostrava – Moravka 4 – 6.02.2003 ISBN 80-248-0210-4.

2. Giza T., Mann R.: Wpływ luzu w prowadniku i zmiany podziałki na zazębienie koła napędowego z zębatką systemu posuwu BP (EICOTRACK). „Technická Diagnostika Strojů a Výrobních Zařizení DIAGO 2004” Sborník anotaci 23. Mezinárodní Konference s výstavou. Ostrava únor 2004 ISBN 80-248-0465-4.
3. Giza T., Mann R.: Tooth contour wearing and its influence on mesh of drive wheel and rack bar of chainless haulage of a shearer. Mezinárodní vědecká konference u příležitosti 55. let založení Fakulty strojní VŠB TU Ostrava 7 – 9 září 2005 ISSN: 1210-311X.
4. Sikora W. (red.) i inni.: Obciążenia dynamiczne w układach ciągnięcia wysoko wydajnych kombajnów ścianowych. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005 ISBN 83-7335-299-6.
5. Sikora W., Giza T., Mann R.: Wpływ przegięcia trasy przenośnika zgrzeblowego na współpracę koła napędowego z zębatką beźciągnowego systemu posuwu posuwu typu BP. III Międzynarodowa Konferencja „Techniki Urabiania 2003”, Kraków–Krynica wrzesień 2003 ISBN 83-915742-6-1.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Krzysztof Krauze