

Piotr Jaremek<sup>1</sup>, Miron Czerniec<sup>1</sup>

## ANALIZA WPŁYWU PARAMETRÓW WIERCENIA NA ZUŻYCIE UZBROJENIA ŚWIDRÓW GRYZOWYCH

**Streszczenie:** Przedstawiono wyniki oceny wpływu prędkości obrotowej wiercenia oraz obciążenia osiowego na zużycie elementów uzbrojenia świdra trójgryzowego w oparciu o opracowany dla niego model kinetyki kontaktu tribologicznego z urabianą calizną. Przeprowadzono analizę obliczeniową wspomnianych parametrów, wyniki podano w postaci graficznej.

**Słowa kluczowe:** wiertnictwo, świder gryzowy, trwałość, zużycie.

Czynnikami decydującymi o zużyciu uzbrojenia świdra gryzowego jest trwałość elementów jego uzbrojenia oraz parametry procesu wiercenia takie jak: prędkość obrotowa wiercenia i nacisk osiowy działający na świder. Przyczyną zużywania się zębów jest zjawisko ich poślizgu względem urabianej calizny. Modelowanie matematyczne procesu zwiercania skał oraz symulacja na tej podstawie zużycie uzbrojenia świdra, pozwala na zoptymalizowany wybór narzędzia. W oparciu o opracowany [3-5] ogólny model matematyczny badania kinetyki zużywania się materiału uzbrojenia świdra w warunkach tarcia ślizgowego w kontakcie ze skałą przeprowadzono rozważania według dwóch metod w których przyjęto dwie funkcje opisujące rozkład nacisków kontaktowych. Dla każdej z metod opracowano szczegółowe modele: pierwszego, drugiego i trzeciego stopnia przybliżenia, uwzględniające parametry procesu wiercenia, geometrię świdra trójgryzowego jak również właściwości fizyko – mechaniczne materiałów pary tribologicznej. Opracowane modele umożliwiły przeprowadzenie analizy zużycia zębów świdra w funkcji czasu trwania procesu wiercenia, prędkości obrotowej oraz nacisku osiowego działającego na świder według poniższych zależności [6,7]:

### Metoda 1

- model pierwszego stopnia (I.1)

$$T_i = \frac{AR_{oi}\tau_i^m h_{**} \left( e^{\frac{cm h_s}{h_{**}}} - 1 \right)}{60u^2 n_1 R_i s_i \tau_o^m cm} \quad (1)$$

<sup>1</sup> Instytut technologicznych Systemów Informatycznych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

Po przekształceniu otrzymamy:

$$h_i = \frac{h_{**}}{cm} \cdot \ln \left[ \frac{60T_* R_i cms_i u^2 n_1}{AR_{oi} h_{**}} \cdot \left( \frac{\tau_o}{\tau_t} \right)^m + 1 \right] \quad (1a)$$

- model drugiego stopnia (I.2)

$$T_i = \frac{AR_{oi} \tau_t^m h_{**} \left( e^{\frac{cm h_*}{h_{**}}} - 1 \right)}{60u^2 n_1 (R_i - h_* \cos \delta) s_i \tau_o^m cm} \quad (2)$$

- model trzeciego stopnia (I.3)

$$T_i = \frac{AR_{oi} \tau_t^m}{60u^2 n_1 s_i \tau_o^m} \cdot \int_0^{h_*} \frac{e^{\frac{cm h}{h_{**}}}}{R_i - h \cos \delta} dh \quad (3)$$

gdzie:

$$\tau_o = f \cdot \sqrt{\frac{E \cdot N \cdot [1 - \sin(0.5\gamma)]}{\pi(1 - \nu^2)} \cdot l_\Sigma \cdot [0.5l \cos(0.5\gamma)]} \quad (4)$$

## Metoda 2

- model pierwszego stopnia (II.1)

$$T_i = \frac{A \tau_t^m R_{oi}}{60R_i s_i f^m u^2 n_1} \left( \frac{\pi(1 - \nu^2) l_\Sigma}{EN \left( 1 - \sin \frac{\gamma_i}{2} \right)} \right)^{\frac{m}{2}} \frac{\left[ \left( h_* \sin \frac{\gamma_i}{2} + \frac{l}{2} \cos \frac{\gamma_i}{2} \right)^{\frac{m}{2}+1} - \left( \frac{l}{2} \cos \frac{\gamma_i}{2} \right)^{\frac{m}{2}+1} \right]}{\left( \frac{m}{2} + 1 \right) \sin \frac{\gamma_i}{2}} \quad (5)$$

stąd po przekształceniu otrzymamy:

$$h_i = \frac{\left( \frac{T_*}{M_i} + D_i \right)^{\frac{2}{m+2}} - \frac{l}{2} \cos \frac{\gamma_i}{2}}{\sin \frac{\gamma_i}{2}} \quad (5a)$$

gdzie:

$$M_i = \frac{R_{oi} A \tau_t^m}{60u^2 f^m R_i n_1 s_i} \left[ \frac{\pi(1 - \nu^2) l_\Sigma}{NE \left( 1 - \sin \frac{\gamma_i}{2} \right)} \right]^{\frac{m}{2}} \left[ \left( \frac{m}{2} + 1 \right) \sin \frac{\gamma_i}{2} \right]^{-1}, \quad D_i = \left( \frac{l}{2} \cos \frac{\gamma_i}{2} \right)^{\frac{m}{2}+1}$$

- model drugiego stopnia (II.2)

$$T_i = \frac{A \tau_i^m R_{oi}}{60(R_i - h_* \cos \delta) s_i f^m u^2 n_1} \left( \frac{\pi(1-\nu^2) l_\Sigma}{EN \left(1 - \sin \frac{\gamma_i}{2}\right)} \right)^{\frac{m}{2}} \frac{\left[ \left( h_* \sin \frac{\gamma_i}{2} + \frac{l}{2} \cos \frac{\gamma_i}{2} \right)^{\frac{m}{2}+1} - \left( \frac{l}{2} \cos \frac{\gamma_i}{2} \right)^{\frac{m}{2}+1} \right]}{\left( \frac{m}{2} + 1 \right) \sin \frac{\gamma_i}{2}} \quad (6)$$

- model trzeciego stopnia (II.3)

$$T_i = \frac{A \tau_i^m R_{oi}}{60 f^m s_i u^2 n_1} \cdot \left( \frac{\pi(1-\nu^2) l_\Sigma}{EN \left(1 - \sin \frac{\gamma_i}{2}\right)} \right)^{\frac{m}{2}} \cdot \int_0^{h_*} \frac{\left( \frac{l}{2} \cos \frac{\gamma_i}{2} + h \sin \frac{\gamma_i}{2} \right)^{\frac{m}{2}}}{R_i - h \cos \delta} dh \quad (7)$$

W powyższych równaniach przyjęto następujące oznaczenia:  $A, m$  - bezwymiarowe wskaźniki wytrzymałości frykcyjnej badanego materiału w skojarzeniu tribologicznym i przyjętych warunkach badania,  $c$  - nieznaną stałą wyznaczoną na drodze doświadczalnej,  $f$  - współczynnik tarcia ślizgowego,  $\tau_o = \tau_{\max}$  dla  $h = 0$  i  $x = 0$ ;  $\tau_o = fp(0,0)$ ,  $\tau_i = 0.5\sigma_{0.2}$  - granica plastyczności materiału na ścinanie,  $\sigma_{0.2}$  - umowna granica plastyczności materiału na rozciąganie,  $h_* = h \rightarrow h_{**}$  - dyskretne wartości zużycia,  $h_{**}$  - dopuszczalne zużycie zęba,  $\gamma_i$  - kąt wierzchołka zęba,  $\delta$  - kąt pochylenia płaszczyzny wieńca względem płaszczyzny przekroju poprzecznego otworu,  $R_{oi}$  - promień toczenia się  $i$ -tego wieńca gryza względem calizny otworu,  $R_i$  - promień  $i$ -tego wieńca gryza,  $s_i$  - skok między zębami,  $u = \omega_2/\omega_1$  - liczba przełożenia świdra,  $n_1 = \frac{30\omega_1}{\pi}$  - prędkość obrotowa świdra,  $\omega_1$  - prędkość kątowna świdra,  $\omega_2$  - prędkość kątowna gryza,  $E, \nu$  - moduł Younga i liczba Poissona skały,  $N$  - nacisk osiowy na świder,  $l_\Sigma = \sum_1^{\tilde{n}_i} l_{ni}$  - długość sumarycznej linii styku zębów świdra z calizną,  $l_{ni}$  - długość linii styku poszczególnych zębów,  $l$  - szerokość wierzchołka zęba,  $\tilde{n}_i$  - liczba zębów na każdym wieńcu, jednocześnie stykających się z calizną,  $L_i$  - droga tarcia ślizgania zęba na  $i$ -tym wieńcu przypadająca na jeden obrót świdra,  $n_i = \frac{2\pi R_i}{s_i}$  - ilość zębów na  $i$ -tym wieńcu.

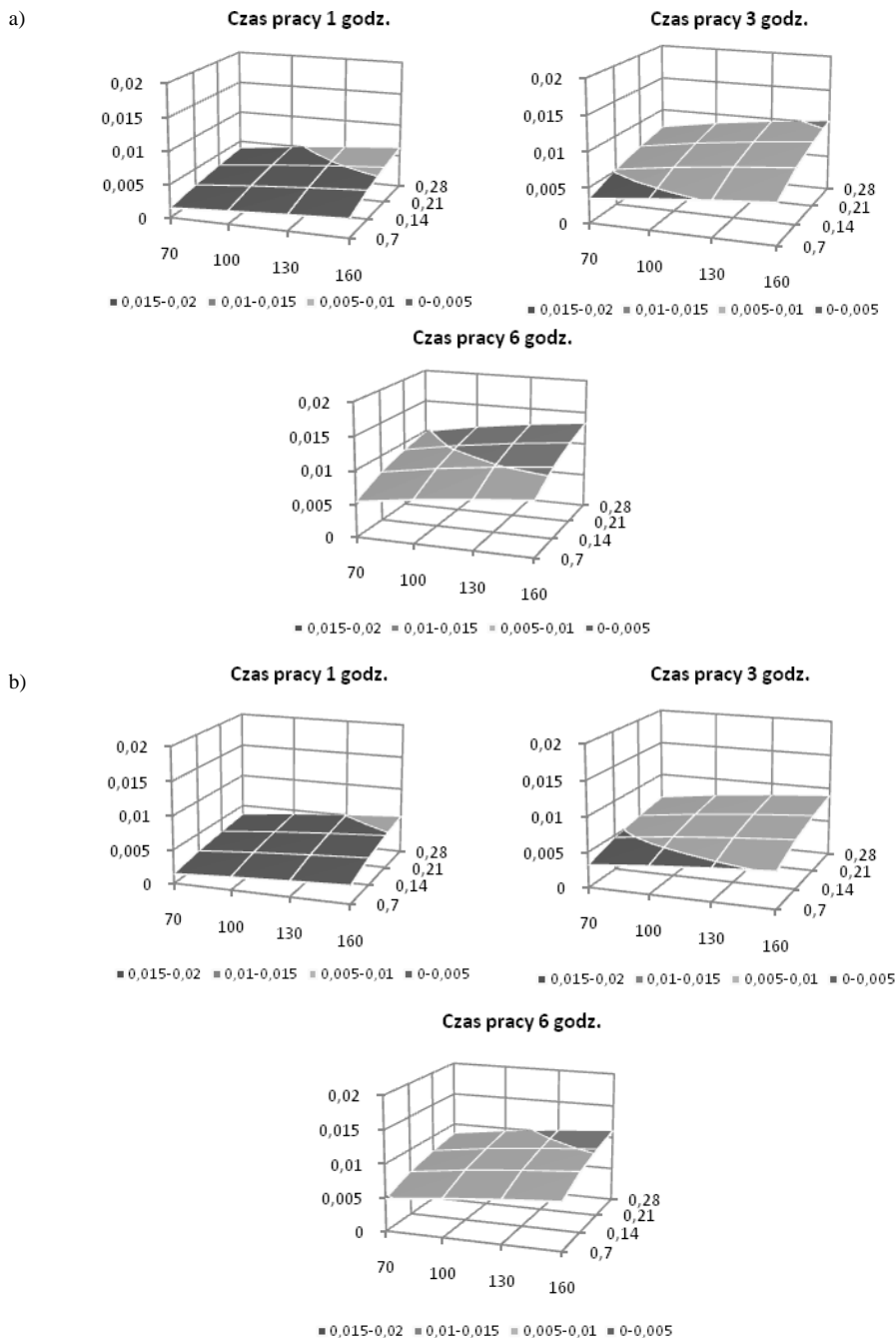
Przeprowadzono analizę wpływ podstawowych parametrów procesu wiercenia: nacisku osiowego działającego na świder i prędkości obrotowej przewodu wiertniczego, na zużycie uzbrojenia świdra w otworze wiertniczym.

Do analizy obliczeniowej przyjęto następujące wartości parametrów procesu wiercenia: nacisk osiowy  $N = 0,07; 0,14; 0,21; 0,28 MN$ , prędkość obrotowa  $n_1 = 70; 100; 130; 160 obr / min$ . Obliczenia przeprowadzono dla wszystkich kombinacji wartości podanych parametrów. Parametry konstrukcyjne świdra zastały podane w tab.1 [2]. Pozostałe dane do obliczeń przyjęto:  $u = 1.57$ ,  $f = 0.3$ ,  $l_\Sigma = 0.175m$ ,  $l = 0.002m$ , skała - granit, wartości parametrów  $\tau_s = 385MPa$ ,  $E = 2 \cdot 10^4 MPa$ ,  $\nu = 0,25$ , przyjęto z [1,2] podobnie jak wartości  $A = 1,27 \cdot 10^5$ ,  $c = 1,2$ ,  $m = 1,8$  dla których, w powyższych pracach, przedstawiono metodę ich wyznaczania. Wartości  $\tau_o$  zostały wyznaczone w funkcji nacisku osiowego  $N$  wg zależności (4).

**Tabela 1.** Parametry świdra trójgryzowego  
**Table 1.** Tricone drill parameters

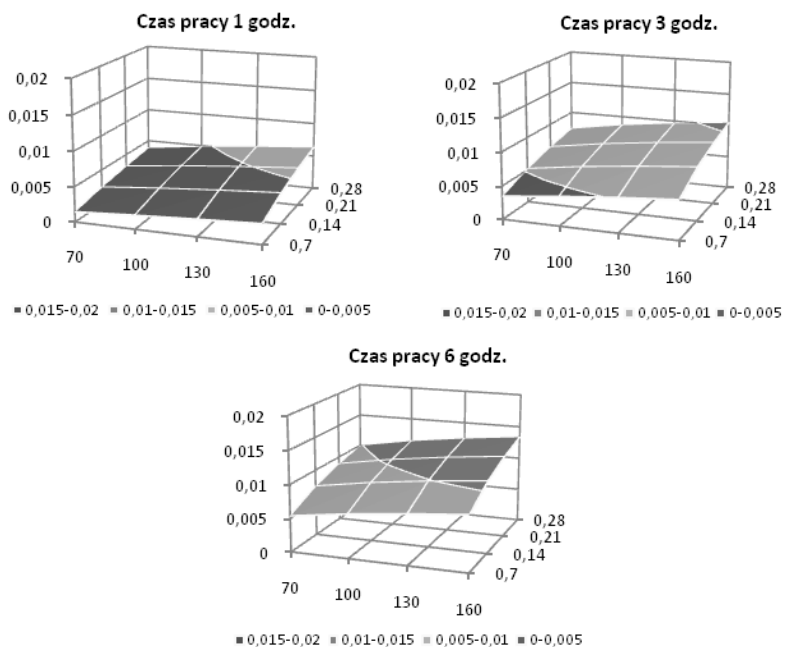
Gryz/wieniec	$R_{oi}[mm]$	$R_i[mm]$	$n_i[szt.]$	$\gamma_i[stopni]$	$s_i[mm]$	$l_m[mm]$	$L_i[mm]$
I/1	143	92	20	42	29.7	18	67.42
I/2	103	73	17	44.9	28.3	10	57.24
I/3	65	45	12	43.6	25.7	10	47.30
I/4	17	13	5	41.4	25.4	27	29.86
II/1	145	92	19	42	31.3	13	68.11
II/2	110	80	19	43.8	27.9	12	58.79
II/3	78	55	14	43.7	26.2	10	50.85
II/4	40	28	7	43.3	27.3	10	39.21
III/1	140	90	21	42	28.3	27	66.80
III/2	90	64	16	44	26.5	10	53.98
III/3	55	38	10	44.3	25	10	44.28

Wyniki rozwiązania numerycznego zużycia uzbrojenia skrajnych wieńców gryza pierwszego tj. I/1 oraz I/4, przeprowadzone zgodnie z metodą pierwszą w oparciu o model I.2 oraz w oparciu o model I.3. Według metody 1 obliczono na każdym wieńcu średnie zużycie  $h_i = f(T_*)$  zębów wg zależności (1a), oraz w oparciu o zależności (2,3) wyznaczono metodą kolejnych przybliżeń wartości funkcji  $h_i = f(T_*)$ , dla  $T_* = 0, 1, 2, \dots 6$  godz. Wyniki obliczonego zużycia  $h_i$  [m] (oś pionowa), w funkcji nacisku osiowego i prędkości obrotowej, przedstawiono na poniższych wykresach. Wyniki rozwiązania numerycznego dla modelu I.2 podano na rys. 1 a, b natomiast dla modelu I.3 na rys. 2 a, b.

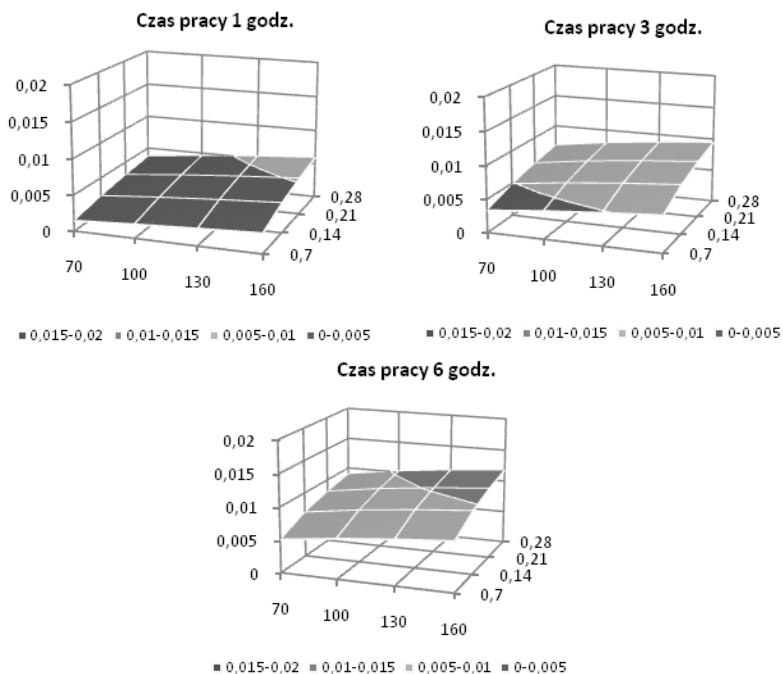


**Rys. 1.** Zużycie obliczone zgodnie z modelem 1.2 dla uzbrojenia gryza I znajdującego się a) na 1 wieńcu (I/1) b) na 4 wieńcu (I/4)

a)

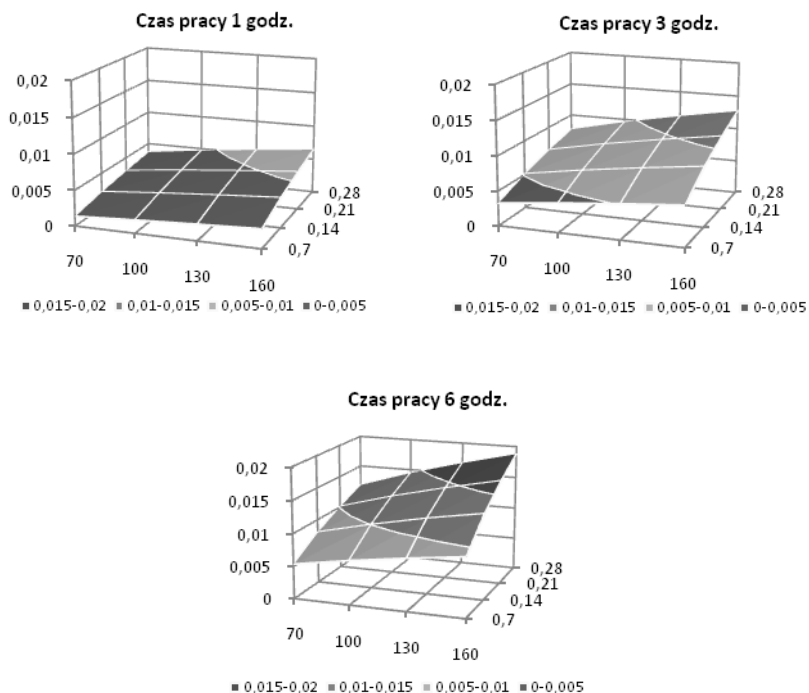


ba)

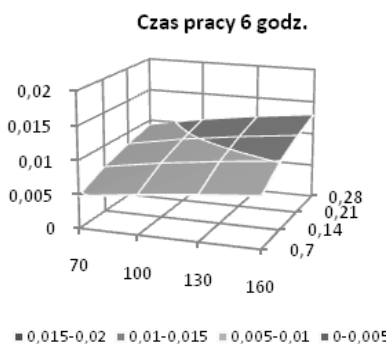
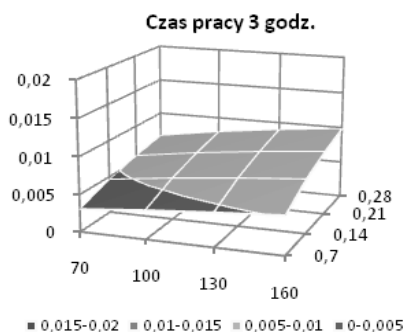
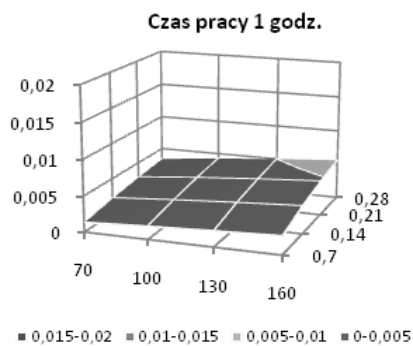


**Rys. 2.** Zużycie obliczone zgodnie z modelem 1.3 dla uzbrojenia gryza I znajdującego się a) na 1 wieńcu (I/1) b) na 4 wieńcu (I/4)

Podobnie jak dla obliczeń przeprowadzonych zgodnie z wykorzystaniem metody pierwszej, przeprowadzono takie same obliczenia, dla skrajnych wieńców I/1 i I/4, wykorzystując metodę drugą. Według metody 2 obliczono na każdym wieńcu średnie zużycie  $h_i = f(T_*)$  zębów świdra wg zależności (5a) oraz w oparciu o zależności (6,7) wyznaczono metodą kolejnych przybliżeń wartości funkcji  $h_i = f(T_*)$  również dla  $T_* = 0, 1, 2, \dots, 6$  godz. Wyniki rozwiązania numerycznego dla modelu II.2 podano na rys. 3 a, b natomiast dla modelu II.3 na rys. 4 a, b.

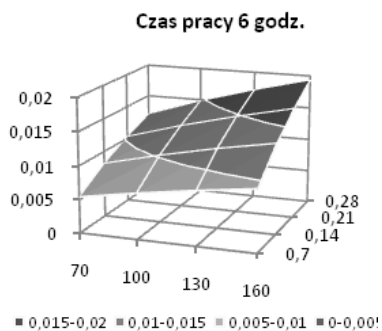
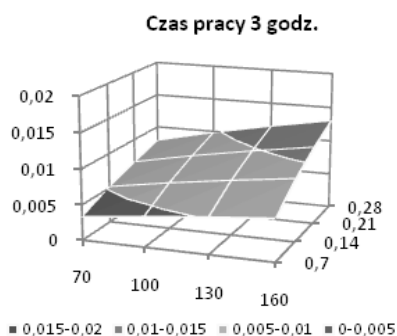
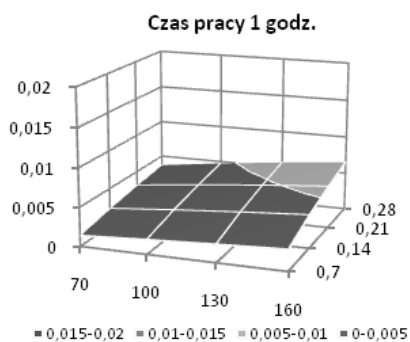


**Rys. 3a.** Zużycie obliczone zgodnie z modelem 2.2 dla uzbrojenia gryza I znajdującego się na 1 wieńcu (I/1)

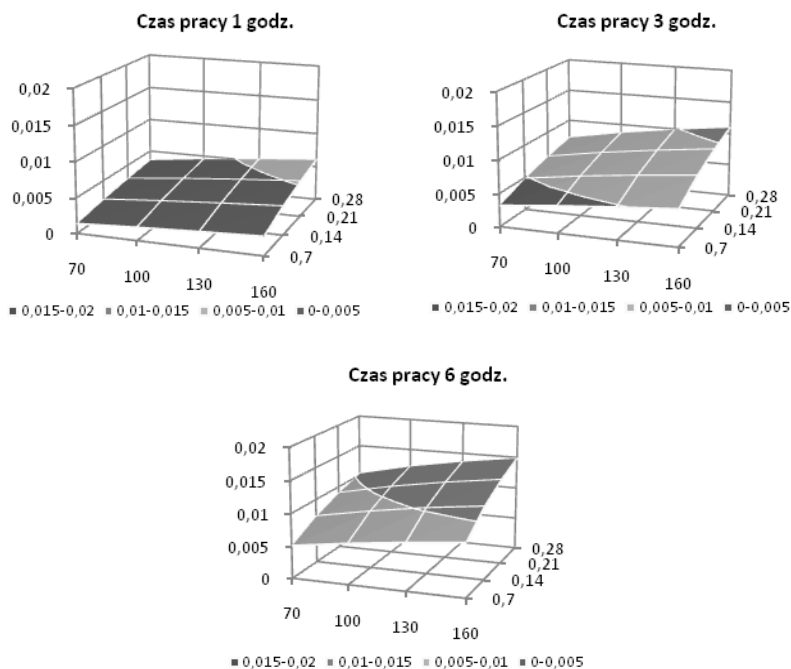


**Rys. 3b.** Zużycie obliczone zgodnie z modelem 2.2 dla uzbrojenia gryza I znajdującego się na 4 wieńcu (I/4)





**Rys. 4a.** Zużycie obliczone zgodnie z modelem 2.3 dla uzbrojenia gryza I znajdującego się na 1 wieńcu (I/1)



**Rys. 4b.** Zużycie obliczone zgodnie z modelem 2.3 dla uzbrojenia gryza I znajdującego się na 4 wieńcu (I/4)

## WNIOSKI

Analiza wyników rozwiązania numerycznego, zamieszczonego na rys. 1, 2, 3, 4 pozwala wyciągnąć następujące wnioski:

1. Dla wieńca zewnętrznego (I/1) zużycia obliczone wg modeli 1.2 i 1.3 są zbliżone do siebie dla całego zakresu analizowanej prędkości obrotowej i nacisku osiowego podczas trwania procesu wiercenia. Ten sam fakt można zauważyć w przypadku zastosowania w analizie modeli 2.2 i 2.3.
2. Dla wieńca wewnętrznego (I/4), wraz z upływem czasu wiercenia, zużycie obliczone wg modelu 1.2 jest mniejsze od zużycia obliczonego w oparciu o model 1.3. Różnice te są już zauważalne po pierwszej godzinie wiercenia i powiększają się w miarę upływu czasu. To samo można zauważyć w przypadku stosowania modeli 2.2 i 2.3.
3. Zużycie wieńca zewnętrznego I/1 jest większe od zużycia wieńca wewnętrznego I/4. Wieniec zewnętrzny potrzebuje mniej czasu aby osiągnąć dopuszczalne zużycie i jak wykazuje analiza jest bardziej na nie narażony.
4. Dysproporcje wynikające z analizy zużycia wieńca wewnętrznego I/4 przy pomocy modeli 1.2 i 1.3 oraz 2.2 i 2.3 skłaniają do zastosowania przy szczegółowej analizie, modeli trzeciego stopnia przybliżenia 1.3 lub 2.3.

5. Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej zużycie elementów uzbrojenia, obliczone wg wspomnianych metod, rośnie na obydwu analizowanych wieńcach.
6. Zwiększenie liczby obrotów świdra przy stałym obciążeniu powoduje zbliżone do liniowego zwiększenie zużycia zębów na analizowanym gryzie. W przypadku mniejszych wartości nacisku osiowego zużycie zębów na poszczególnych wieńcach będzie dość zróżnicowaną. Ze zwiększeniem nacisku osiowego różnice te maleją.
7. Wzrost nacisku osiowego powoduje nieliniowe zwiększenie zużycia zębów. Na poszczególnych wieńcach różnych gryzów obserwują się nieco odmienny charakter tej nieliniowości.
8. Opracowane modele pozwalają na jakościowe i ilościowe określenie wpływu parametrów wiercenia na zużycie uzbrojenia świdra gryzowego.

## LITERATURA

1. Andrejkiw A.E. ; Czerniec M.W. Ocena kontaktowego wzajemoddziaływania truszczychszja detalej maszin. – Kijew: Nauk. Dumka, 1991. - 160 s.
2. Czerniec M.; Jaremek P.: Badanie trwałości uzbrojenia świdrów gryzowych i ich efektywności. Rocznik AGH, Wiertnictwo Nafta Gaz, tom 16/1999.
3. Czerniec M., Jaremek P. Diagnoza obliczeniowa trwałości i efektywności świdrów gryzowych. II Międzynarodowy Kongres Diagnostyki Technicznej „Diagnostyka 2000”. Warszawa 19 – 22.09.2000.
4. Czerniec M., Jaremek P. Do pitannja ocinku znoszuwannja ozbrojennja ta mechanicznoj szbidkosti burinnja triszaroszkwimi dolotami. Czastina 1- Ocinka znoszywannja ozbrojennja. Problems of Tribology, No 2, 2003.
5. Czerniec M., Jaremek P. Do pitannja ocinku znoszuwannja ozbrojennja ta mechanicznoj szbidkosti burinnja triszaroszkwimi dolotami. Czastina 2 - Ocinka mechanicznoj szwidkosti burienja. Problems of Tribology, No 3, 2003.
6. Czerniec M., Jaremek P. Analiza matematyczna zużycia uzbrojenia świdrów gryzowych. V Konferencja Naukowo-Techniczna nt. „Zagadnienia dydaktyczne w środowisku systemów technologicznych. Kazimierz Dolny 2003.
7. Czerniec M., Jaremek P. Analiza wpływu nacisku osiowego na zużycie uzbrojenia świdrów gryzowych. Eksploatacja i niezawodność, nr 4(24), 2004, s.73-78.

## ANALYSIS OF DRILLING PARAMETERS INFLUENCE ON DRILLING BITS EQUIPMENT WEAR

### Summary

The article presents the results of impact assessment drilling speed and axial load on the wear of tricone bit equipment based on a model developed for the kinetics of tribological contact with the mining undisturbed soil. An analysis of the calculation of these parameters, the results are given in graphic form.

**Keywords:** Drilling, drilling bit, durability, wear.