

Tadeusz GIZA  
Marek JASZCZUK  
Piotr SOBOTA

METODYKA OKREŚLANIA MAKSYMALNYCH NACISKÓW  
KOMBAJNU CHODNIKOWEGO NA SPĄG

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono sposób obliczania maksymalnych nacisków występujących pomiędzy podwoziem gąsieniowym kombajnu chodnikowego a podłożem. Przeprowadzono analizę rozkładu nacisków na długości gąsienic oraz podstawowe obliczenia w tym zakresie.

1. Wstęp

Bardzo ważną sprawą dla prawidłowej pracy kombajnów chodnikowych jest znajomość maksymalnych nacisków, jakie występują między podwoziem gąsieniowym a spągiem. Ma to szczególnie duże znaczenie w przypadku pracy kombajnu chodnikowego na miękkim spągu względnie na spągu łatwo chłonącym wodę.

Charakterystyka techniczna kombajnu podaje średnią wartość nacisków, wynikającą tylko z ciężaru kombajnu i współpracy podwozia z równym poziomym spągami. Wartość maksymalna nacisku zależna jest od wartości wypadkowej wszystkich sił działających na kombajn łącznie z jego ciężarem, punktu jej przyłożenia, a także rozstawu, szerokości i długości gąsienic.

2. Model ogólny obciążenia kombajnu

Na rys. 1 przedstawiono model ogólny obciążenia kombajnu chodnikowego. Siły  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  stanowią składowe reakcje skały na organ urabiający kombajnu, wynikające z sił skrawania występujących na nożach urabiających oraz sił występujących w siłownikach hydraulicznych podnoszenia ramienia wraz z organem urabiającym. Współrzędne określające położenie reakcji  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , są następujące:

$$\begin{aligned} x_R &= m + w \cos \beta \cos \gamma & /1/ \\ y_R &= w \sin \gamma \cos \beta & /2/ \\ z_R &= h + w_1 \sin \beta & /3/ \end{aligned}$$

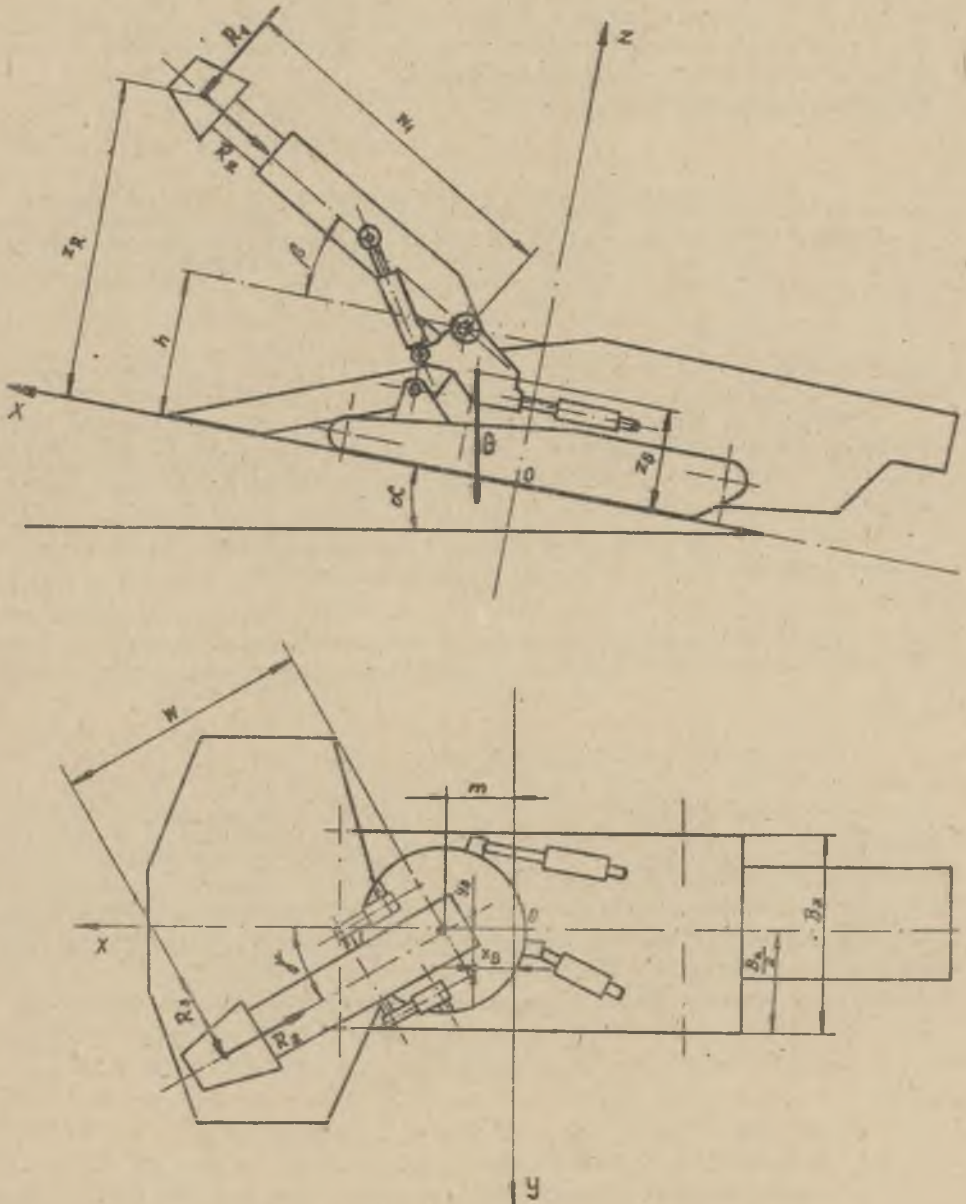
gdzie:

- $m$  - odległość osi obrotnicy organu urabiającego od osi  $Y$ ,
- $w$  - odległość punktu przyłożenia reakcji od osi obrotnicy,
- $w_1$  - odległość punktu przyłożenia reakcji od osi obrotu w płaszczyźnie pionowej,

$h$  - wysokość położenia osi obrotu w płaszczyźnie pionowej od powierzchni spągu,

$\gamma$  - kąt wychylenia ramienia w płaszczyźnie poziomej,

$\beta$  - kąt wychylenia ramienia w płaszczyźnie pionowej.



Rys. 1. Schemat obciążenia kombajnu w czasie pracy

Położenie wektora ciężaru kombajnu chodnikowego  $G$  opisują współrzędne  $x_G, y_G, z_G$ , zależne od położenia ramienia wychylnego z organem urabiającym.

Aby określić maksymalne naciski między gąsienicami kombajnu a spągami, należy znaleźć składowe: prostopadłą do spągu oraz działające w płaszczyznach równoległych do spągu wzdłuż osi wzdłużnej kombajnu i prostopadłą do niej, pochodzące od wszystkich sił działających na kombajn chodnikowy łącznie z jego ciężarem.

Odpowiednie składowe można przedstawić w następującej postaci:

$$X = R_1 \sin \beta \cdot \cos \gamma - R_2 \cos \beta \cdot \cos \gamma - R_3 \sin \gamma - G \sin \alpha \quad /4/$$

$$Y = R_1 \sin \beta \cdot \sin \gamma - R_2 \cos \beta \cdot \sin \gamma + R_3 \cos \gamma \quad /5/$$

$$Z = R_1 \cos \beta + R_2 \sin \beta + G \cos \alpha \quad /6/$$

gdzie:

$\alpha$  - kąt pochylenia wyrobiska.

Współrzędne opisujące położenie sił  $X, Y, Z$  mają następującą postać:

$$y_X = \frac{R_1 \sin \beta \cdot \cos \gamma - R_2 \cos \beta \cdot \cos \gamma - R_3 \sin \gamma / \cdot w \sin \gamma \cdot \cos \beta - G \sin \alpha \cdot y_G}{R_1 \sin \beta \cdot \cos \gamma - R_2 \cos \beta \cdot \cos \gamma - R_3 \sin \gamma - G \sin \alpha} \quad /7/$$

$$z_X = \frac{R_1 \sin \beta \cdot \cos \gamma - R_2 \cos \beta \cdot \cos \gamma - R_3 \sin \gamma // h + w_1 \sin \beta / - G \sin \alpha \cdot z_G}{R_1 \sin \beta \cdot \cos \gamma - R_2 \cos \beta \cdot \cos \gamma - R_3 \sin \gamma - G \sin \alpha} \quad /8/$$

$$x_Y = x_R = m + w \cos \gamma \cdot \cos \beta \quad /9/$$

$$z_Y = z_R = h + w_1 \sin \beta \quad /10/$$

$$x_Z = \frac{R_1 \cos \beta + R_2 \sin \beta // m + w \cos \gamma \cos \beta / + G \cos \alpha \cdot x_G}{R_1 \cos \beta + R_2 \sin \beta + G \cos \alpha} \quad /11/$$

$$y_Z = \frac{R_1 \cos \beta + R_2 \sin \beta / \cdot w \sin \gamma \cos \beta + G \cos \alpha \cdot y_G}{R_1 \cos \beta + R_2 \sin \beta + G \cos \alpha} \quad /12/$$

### 3. Analiza rozkładu nacisków na długości gąsienic

W zależności od wartości poszczególnych składowych  $X, Y, Z$  wypadkowej wszystkich sił działających na kombajn oraz ich położenia mogą wystąpić następujące przypadki rozkładu nacisków na długości gąsienic:

- gdy długości styku poszczególnych gąsienic ze spągami są mniejsze od długości gąsienic /rys.2/ - to rozkłady nacisków będą trójkątne,
- gdy długości styku poszczególnych gąsienic ze spągami są równe długości gąsienic /rys.3/ - to rozkłady nacisków będą trapezowe,
- gdy długość styku jednej gąsienicy ze spągami jest równa długości gąsienicy, a długość styku drugiej gąsienicy ze spągami jest mniejsza od długości gąsienicy, to na jednej gąsienicy wystąpi trapezowy rozkład nacisków a na drugiej-trójkątny.



Dla każdego z powyższych przypadków rozkładu nacisków stosujemy odpowiedni wariant obliczeń. O wyborze wariantu decyduje sprawdzenie długości styku gąsienic ze spągami dla danego stanu obciążenia kombajnu. Zależności określające długości styku gąsienic ze spągami wyprowadzono poniżej.

### 3.1. Obliczenia nacisków maksymalnych dla trójkątnych rozkładów nacisków

Obliczeń dokonano dla obciążenia kombajnu wyznaczonego w punkcie 2 /rys.1/ i założonego trójkątnego rozkładu nacisków na długości obydwu gąsienic /rys.2/. Ze względu na dużą wartość stosunku  $\frac{B_2-s}{s}$  oraz w celu uproszczenia obliczeń przyjęto, że wartość nacisków jest stała na szerokości gąsienicy. Równania równowagi kombajnu chodnikowego obciążonego siłami X, Y, Z oraz reakcjami podłoża /wynikającymi z rozkładu nacisków/ mają następującą postać:

$$\Sigma M_{ix} = 0$$

$$Z \cdot y_2 + Y \cdot z_Y - \frac{1}{2} p_1 \cdot l_1 \cdot \frac{B_2-s}{2} \cdot s + \frac{1}{2} p_2 \cdot l_2 \cdot \frac{B_2-s}{2} \cdot s = 0 \quad /13/$$

$$\Sigma M_{iy} = 0$$

$$Z \cdot x_2 + X \cdot z_X - \frac{1}{2} p_1 \cdot l_1 \cdot s \cdot \frac{l_1}{2} - \frac{l_1}{3} - \frac{1}{2} p_2 \cdot l_2 \cdot s \cdot \frac{l_2}{2} - \frac{l_2}{3} = 0 \quad /14/$$

$$\Sigma P_{ix} = 0$$

$$Z - \frac{1}{2} p_1 \cdot l_1 \cdot s - \frac{1}{2} p_2 \cdot l_2 \cdot s = 0 \quad /15/$$

Zakładając sztywność podwozia gąsienicowego z podobieństwa trójkątów rozkładu nacisków na długości gąsienic otrzymujemy zależność:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{l_1}{l_2} \quad /16/$$

Rozwiązując powyższy układ równań otrzymujemy:

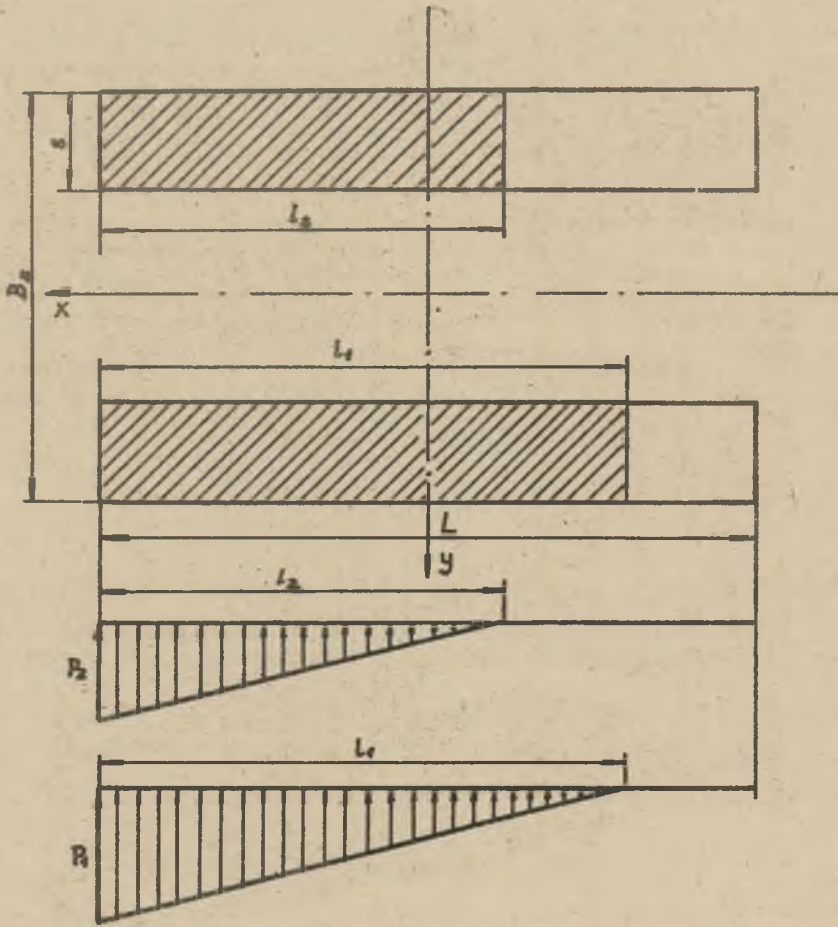
/17/

$$l_1 = \frac{3 \left[ Z \left( \frac{1}{2} - x_2 \right) - X \cdot z_X \right]}{Y \cdot \frac{z_Y}{B_2 \cdot s} + Z \left( \frac{y_2}{B_2 \cdot s} + \frac{1}{2} \right) + \left[ -Y \cdot \frac{z_Y}{B_2 \cdot s} + Z \left( \frac{1}{2} - \frac{y_2}{B_2 \cdot s} \right) \right] \sqrt{\frac{-Y \cdot \frac{z_Y}{B_2 \cdot s} + Z \left( \frac{1}{2} - \frac{y_2}{B_2 \cdot s} \right)}{Y \cdot \frac{z_Y}{B_2 \cdot s} + Z \left( \frac{1}{2} - \frac{y_2}{B_2 \cdot s} \right)}}$$

oraz

/18/

$$l_2 = \frac{3 \left[ Z \left( \frac{1}{2} - x_2 \right) - X \cdot z_X \right]}{\left[ Y \cdot \frac{z_Y}{B_2 \cdot s} + Z \left( \frac{y_2}{B_2 \cdot s} + \frac{1}{2} \right) \right] \sqrt{\frac{Y \cdot \frac{z_Y}{B_2 \cdot s} + Z \left( \frac{1}{2} + \frac{y_2}{B_2 \cdot s} \right)}{-Y \cdot \frac{z_Y}{B_2 \cdot s} + Z \left( \frac{1}{2} - \frac{y_2}{B_2 \cdot s} \right)}} - Y \cdot \frac{z_Y}{B_2 \cdot s} + Z \left( \frac{1}{2} - \frac{y_2}{B_2 \cdot s} \right)}$$



Rys. 2. Trójkątny rozkład nacisków pomiędzy podwoziem gaśnicowym a podłożem

Znając wartości  $l_1$  i  $l_2$  możemy określić charakter rozkładu nacisków na długości gaśnic, sprawdzając następujące warunki:

- a/ dla  $l_1 \leq L$  i  $l_2 \leq L$  - rozkłady trójkątne
- b/ dla  $l_1 > L$  i  $l_2 > L$  - rozkłady trapezowe
- c/ dla  $l_1 > L$  i  $l_2 \leq L$   
 lub  $l_1 \leq L$  i  $l_2 > L$  - rozkład trójkątny i trapezowy.

Jeżeli w rozpatrywanym przypadku występują trójkątne rozkłady nacisków na długości gaśnic, możemy z układu równań /13/, /14/, /15/ i /16/ wyznaczyć naciski maksymalne na obu gaśnicach:

$$P_1 = \frac{2 \left[ Y \frac{z_Y}{B_z - s} + Z \left( \frac{1}{2} - \frac{y_z}{B_z - s} \right) \right] \left[ Y \frac{z_Y}{B_z - s} + Z \left( \frac{1}{2} + \frac{y_z}{B_z - s} \right) \right] + \left[ Z \left( \frac{1}{2} - \frac{y_z}{B_z - s} \right) - Y \frac{z_Y}{B_z - s} \right] \left[ Y \frac{z_Y}{B_z - s} + Z \left( \frac{1}{2} + \frac{y_z}{B_z - s} \right) \right]}{3s \left[ Z \left( \frac{1}{2} - x_z \right) - X \cdot z_x \right]} \cdot \left[ \frac{-Y \frac{z_Y}{B_z - s} + Z \left( \frac{1}{2} - \frac{y_z}{B_z - s} \right)}{Y \frac{z_Y}{B_z - s} + Z \left( \frac{1}{2} + \frac{y_z}{B_z - s} \right)} \right]$$

/19/

$$P_2 = \frac{2 \left[ Y \frac{z_Y}{B_z - s} + Z \left( \frac{1}{2} - \frac{y_z}{B_z - s} \right) \right] \left[ Y \frac{z_Y}{B_z - s} + Z \left( \frac{1}{2} + \frac{y_z}{B_z - s} \right) \right] + \left[ Z \left( \frac{1}{2} - \frac{y_z}{B_z - s} \right) - Y \frac{z_Y}{B_z - s} \right] \left[ Y \frac{z_Y}{B_z - s} + Z \left( \frac{1}{2} + \frac{y_z}{B_z - s} \right) \right]}{3s \left[ Z \left( \frac{1}{2} - x_z \right) - X \cdot z_x \right]} \cdot \left[ \frac{Y \frac{z_Y}{B_z - s} + Z \left( \frac{1}{2} + \frac{y_z}{B_z - s} \right)}{Z \left( \frac{1}{2} - \frac{y_z}{B_z - s} \right) - Y \frac{z_Y}{B_z - s}} - Y \frac{z_Y}{B_z - s} + Z \left( \frac{1}{2} - \frac{y_z}{B_z - s} \right) \right]$$

/20/

### 3.2. Obliczenia nacisków maksymalnych dla trapezowych rozkładów nacisków

Trapezowe rozkłady nacisków na długości gąsienic przedstawiono schematycznie na rys. 3. Równania równowagi kombajnu mają następującą postać:

$$\Sigma M_{ix} = 0$$

$$Z y_z + Y z_Y + \frac{1}{2} s L / p_2 + p_2' / \frac{B_z - s}{2} - \frac{1}{2} s L / p_1 + p_1' / \frac{B_z - s}{2} = 0 \quad /21/$$

$$\Sigma M_{iy} = 0$$

$$Z x_z + X z_X - \frac{1}{12} s L^2 \left[ p_1 - p_1' / + / p_2 - p_2' / \right] = 0 \quad /22/$$

$$\Sigma P_{iz} = 0$$

$$Z - \frac{1}{2} s L / p_1 + p_1' / - \frac{1}{2} s L / p_2 + p_2' / = 0 \quad /23/$$

Przy założeniu sztywności podwozia gąsienicowego kombajnu chodnikowego otrzymujemy zależność:

$$\frac{p_1 - p_1'}{p_2 - p_2'} = 1 \quad /24/$$

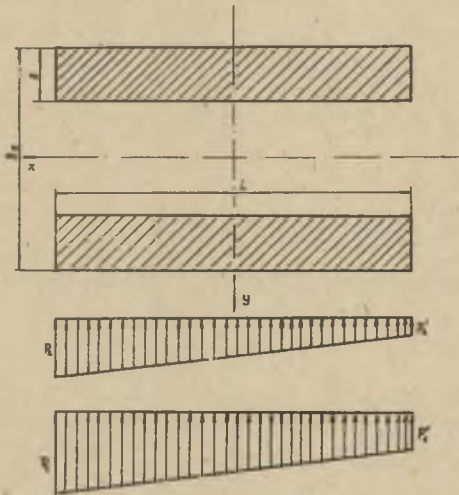
Rozwiązując układ równań /21/, /22/, /23/ i /24/ otrzymujemy zależności określające maksymalne naciski pomiędzy podwoziem gąsienicowym a spągłem:

$$p_1 = \frac{Z \left[ Y z_Y + \frac{B_z - s}{2} + \frac{3(B_z - s)}{L} x_z \right] + X \frac{3(B_z - s)}{L} z_X + Y z_Y}{sL / B_z - s /} \quad /25/$$

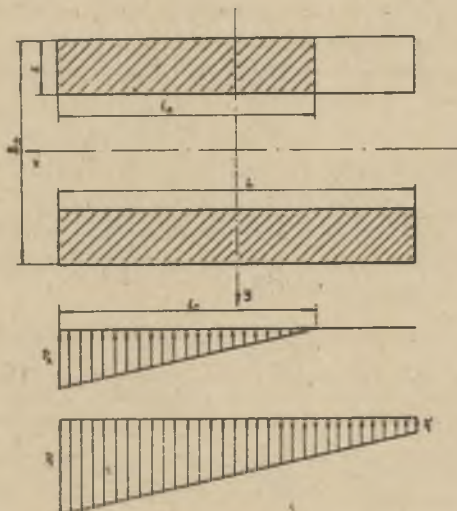


$$p_2 = \frac{Z \left[ \frac{3/B_z - s/}{L} x_Z + \frac{B_z - s}{Z} - y_Z \right] + X \frac{3/B_z - s/}{L} z_X - Y z_Y}{sL / B_z - s/} \quad /26/$$

3.3. Obliczenia nacisków maksymalnych przy rozkładzie trójkątno-trapezowym



Rys. 3. Trapezowy rozkład nacisków pomiędzy podwoziem gąsienicowym a podłożem



Rys. 4. Trójkątny i trapezowy rozkład nacisków pomiędzy podwoziem gąsienicowym a podłożem

Na rys. 4 przedstawiono rozkład nacisków na długości gąsienic przy założeniu, że na jednej gąsienicy rozkład nacisków jest trapezowy, a na drugiej trójkątny. W tym przypadku układ równań równowagi przedstawia się następująco:

$$M_{ix} = 0$$

$$Z y_Z + Y z_Y - \left[ p_1' L + \frac{1}{2} (p_1 - p_1') \frac{L}{2} \right] s \frac{B_2 - s}{2} + \frac{1}{2} p_2 l_2 s \frac{B_2 - s}{2} = 0 \quad /27/$$

$$M_{iy} = 0$$

$$X z_X + Z z_Z - \frac{1}{2} (p_1 - p_1') \frac{L^2}{12} - \frac{1}{2} p_2 l_2 s \left( \frac{L}{2} - \frac{l_2}{3} \right) = 0 \quad /28/$$

$$P_1 = 0$$

$$Z - \left[ p_1' L + \frac{1}{2} (p_1 - p_1') \frac{L}{2} \right] p_2 l_2 s = 0 \quad /29/$$

Z warunku sztywności podwozia gąsienicowego kombajnu otrzymujemy:

$$\frac{p_1 - p_1'}{L} = \frac{p_2}{l_2} \quad /30/$$

Rozwiązanie powyższego układu równań sprowadza się do rozwiązania równania trzeciego stopnia dla konkretnych danych geometrycznych podwozia i stanu obciążenia kombajnu chodnikowego.

#### 4. Współczynnik spiętrzenia nacisków

W praktyce łatwiej operować jest współczynnikiem spiętrzenia nacisków  $k_n$ , będącym ilorazem nacisków maksymalnych występujących między spągami a podwoziem gąsienicowym kombajnu i nacisków nominalnych podanych w charakterystyce technicznej kombajnu chodnikowego przez producenta:

$$k_n = \frac{P_{max}}{P_n}$$

Dla użytkownika kombajnu chodnikowego cenną informacją byłyby dane opisujące wartość tego współczynnika dla kombajnów chodnikowych stosowanych w polskim górnictwie przy różnych położeniach organów urabiających i różnych wartościach obciążenia. Współczynnik spiętrzenia nacisków wyznaczono przykładowo dla kombajnu 4PU dla danych:

$$R_1 = 10 \text{ kN}, \quad R_2 = 21 \text{ kN}, \quad R_3 = 8 \text{ kN}, \quad G = 107 \text{ kN}, \quad h = 1050 \text{ mm},$$

$$w_1 = 2100 \text{ mm}, \quad w = 2550 \text{ mm}, \quad m = 450 \text{ mm}, \quad L = 1820 \text{ mm},$$

$$B_Z = 1250 \text{ mm}, \quad s = 300 \text{ mm}, \quad \alpha = 0^\circ, \quad \gamma = 0^\circ, \quad \beta = 35^\circ.$$

Przyjmując wartości  $x_G = 0$ ,  $y_G = 0$  otrzymujemy równomierny rozkład nacisków na długości gąsienic, wywołany ciężarem własnym kombajnu G. Różnica pomiędzy naciskiem maksymalnym obliczonym dla powyższych danych a naciskiem nominalnym spowodowana jest działaniem sił zewnętrznych /reakcji urabianej skały/ na kombajn. Korzystając ze wzorów /4/, /5/, /6/ wyznaczono:



$$X = - 11,5 \text{ kN}, \quad Y = 8 \text{ kN}, \quad Z = 127,2 \text{ kN}.$$

Z zależności /7/, /8/, /9/, /10/, /11/, /12/ obliczono:

$$\begin{aligned} y_X &= 0 & x_Y &= 2,54 \text{ m} & x_Z &= 0,35 \text{ m} \\ z_X &= 2,25 \text{ m} & z_Y &= 2,25 \text{ m} & y_Z &= 0 \end{aligned}$$

Po obliczeniu  $l_1 = 2,54 \text{ m} > L$  i  $l_2 = 1,87 \text{ m} > L$  stwierdzamy, że rozkład nacisków jest trapezowy na obydwu gąsienicach. Maksymalne naciski wyznaczamy ze wzorów /25/, /26/:

$$p_1 = 205,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$p_2 = 136,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Wartość nacisków nominalnych [2] wynosi :

$$P_n = 85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Stąd wartość współczynnika spiętrzenia nacisków

$$k_n = 2,42,$$

## 5. Zakończenie

W charakterystykach technicznych kombajnów chodnikowych podawana jest wartość nacisków jednostkowych występujących pomiędzy podwoziem a podłożem. Obliczana jest ona jako stosunek ciężaru kombajnu do powierzchni styku podwozia /bierze się pod uwagę całkowitą szerokość i długość - od koła napędowego do zwrotnego - gąsienic/, bez uwzględnienia zmiany położenia środka ciężkości kombajnu, oraz sił zewnętrznych, występujących w czasie pracy maszyny w przodku. Naciski rzeczywiste występujące w czasie pracy kombajnu znacznie przekraczają wartości podawane przez producentów. Wyznaczona przykładowo wartość współczynnika spiętrzenia nacisków  $k_n = 2,42/$  świadczy o konieczności wyznaczania maksymalnych nacisków przed zastosowaniem kombajnu w danych warunkach górniczo-geologicznych. Znajomość wielkości nacisków rzeczywistych, występujących w czasie pracy kombajnu chodnikowego, jest niezbędna dla właściwej lokalizacji maszyny.

## LITERATURA

- [1] Bęben A., i inni.: Maszyny do kompleksowej mechanizacji przodków w kopalniach podziemnych, PWN, Warszawa, Kraków 1973.
- [2] Bratčenko B.F. /red./: Mašiny i oborudowanije dla prowadienija gorizontalnych i naklonnych gornych vyrabotok "Niedra" Moskwa, 1975.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ НАЗИМОВ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА НА ПОЧВУ

## Резюме

В статье приводится способ расчета максимальных нажимов проходческого комбайна на почву. Проведен анализ распределения давления по длине гусениц, а также выполнены основные расчеты по данному вопросу.

## THE METHODOLOGY OF DETERMINATING THE MAXIMUM PRESSURE OF THE COMBINED GALLERY CUTTER LOADER EXERTED ON THE FLOOR

## Summary

The paper presents the ways of calculation of the maximum pressures between the combined gallery cutter loader caterpillar and the foundation. The analysis of load distribution on the length of the caterpillars and the basic computation in this range were performed.