

dr inż. JAN PTAK
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. St. Staszica w Krakowie
inż. RYSZARD ŚLUSARZ
Zakład Maszyn Górniczych GLINIK
w Gorlicach

Porównanie nacisków obudowy Glinik 14/35-POz na spąg obliczonych metodą analityczną i metodą Jacksona

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń nacisków obudowy Glinik 14/35-POz na spąg metodą analityczną i metodą Jacksona oraz dokonano oceny ich praktycznej przydatności.

1. WPROWADZENIE

Obudowa ścianowego przodka wydobywczego zabezpiecza go w sposób właściwy nie tylko wtedy, gdy sekcje z jakich została zestawiona przyjmują swoją podpornością działające na nie obciążenie i poprzez układ podpornościowy, pozostający w stanie równowagi przenoszą je poprzez spągnicę na spąg. Koniecznym jest, aby sekcje w całości zachowały stan równowagi, który zależy od rozkładu nacisków na spąg na długości spągnicy [4,6,7].

Z tego powodu użytkownicy zmechanizowanych obudów ścianowych interesują się szczególnie naciśkiem wywieranym przez spągnicę na spąg. Istotną jest nie tylko jego wartość, ale również jego rozkład na długości spągnicy.

Wyznaczenie nacisków obudowy na spąg możliwe jest zarówno metodą analityczną jak i coraz powszechniej stosowaną metodą Jacksona, która intuicyjnie jest bliższa odczuciom w odniesieniu do oceny stateczności sekcji obudowy. Należy jednak zaznaczyć, że dla oceny stateczności sekcji obudowy metodą analityczną nie jest konieczne wyznaczanie rozkładu nacisków na długości jej spągnicy. Stateczność sekcji można dobrze ocenić na podstawie poło-

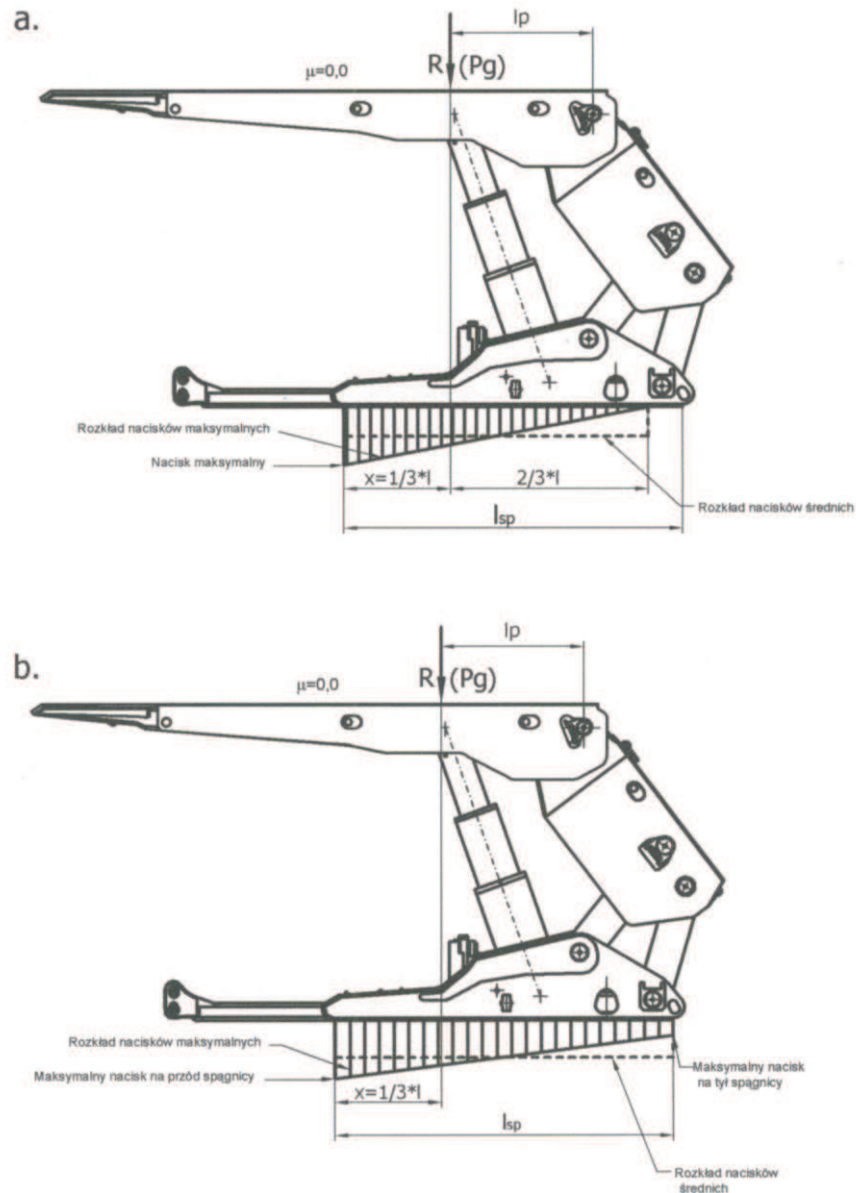
żenia prostej działania obciążenia przeniesionego podpornością sekcji na spągnicę [7].

Rozpowszechnianie się do obliczeń nacisków na spąg metody Jacksona spowodowało szereg problemów przy projektowaniu nowych obudów. Z uwagi na fakt, że wartości nacisków wyznaczane metodą Jacksona są kilkakrotnie wyższe od wyznaczanych metodą analityczną zmuszają konstruktorów do wydłużania spągnic, zwiększania masy sekcji, co nie w każdym przypadku wydaje się koniecznym.

Mając powyższe na uwadze, w niniejszym artykule, postanowiono przedstawić obie stosowane aktualnie metody obliczeń nacisków sekcji na spąg i dokonać oceny ich praktycznej przydatności na przykładzie obliczeń dla sekcji liniowej obudowy Glinik 14/35-POz [8].

2. OKREŚLANIE NACISKÓW OBUDOWY NA SPĄG METODĄ JACKSONA

Naciski na spąg wywierane spągnicą sekcji obudowy podporowo-osłonowej wyznacza się zgodnie ze schematami pokazanymi na rys. 1, pomijając wpływ tarcia stropnicy o strop i spągnicy po spągu, czyli dla $\mu = 0$ oraz pomijając oddziaływanie siłownika zastrzałowego (podpory stropnicy), czyli zakładając, że $P_z = 0$.



Rys. 1. Schematy do obliczeń nacisków obudowy na spąg metodą Jacksona
 a) rozkład trójkątny, b) rozkład trapezoidalny

Metoda Jacksona rozróżnia dwa przypadki obliczeń w zależności od położenia prostej działania obciążenia R na stropnicę w stosunku do spągnicy, tj. wartości x .

W przypadku gdy $x < l_{sp}/3$ (rys. 1a) należy rozpatrzyć przypadek z trójkątnym rozkładem nacisków, a gdy $x > l_{sp}/3$ (rys. 1b) przypadek z trapezoidalnym rozkładem nacisków.

W przypadku trójkątnego rozkładu nacisków (dla $x < l_{sp}/3$) wartości nacisków należy określać z zależności:

– naciski średnie

$$p_{sr} = \frac{R}{l \cdot w} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

– naciski maksymalne

$$p_{sp \max} = \frac{2R}{l \cdot w} \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

w których:

R – siła wypadkowa [MN]

$l = 3x$ – efektywna długość spągnicy, m

w – całkowita szerokość spągnicy, m

W przypadku trapezoidalnego rozkładu nacisków (dla $x > l_{sp}/3$) (rys. 1b) wartości nacisków określają zależności:

– naciski średnie

$$p_{sr} = \frac{R}{l_{sp} \cdot w} \quad [\text{MPa}] \quad (3)$$

– nacisk z przodu spągnicy

$$P_{spp} = \frac{2R(2l_{sp} - l)}{l_{sp}^2 \cdot w} \quad [\text{MPa}] \quad (4)$$

– nacisk z tyłu spągnicy

$$P_{spk} = \frac{2R(l - l_{sp})}{l_{sp}^2 \cdot w} \quad [\text{MPa}] \quad (5)$$

w których:

l_{sp} – całkowita długość spągnicy, m.

4. OKREŚLANIE NACISKÓW OBUDOWY NA SPĄG METODĄ ANALITYCZNĄ

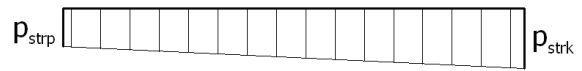
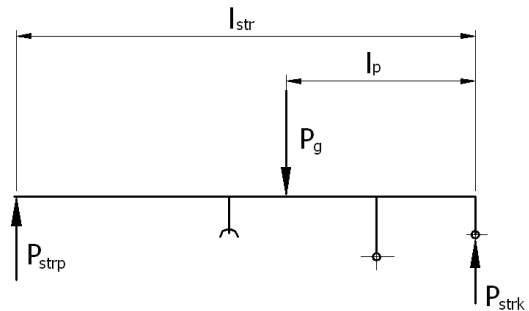
W metodzie analitycznej wielkością służącą do wyznaczenia nacisków pod spągnicą jest podporność sekcji P_g określona zarówno poprzez swoją wartość jak i poprzez położenie prostej jej działania na długości stropnicy l_p [4]. Nacisk pod spągnicą wyznacza się bezpośrednio na podstawie siły P_{gs} wyznaczonej z podporności P_g , przeniesionej na spągnicę i również określonej przez położenie jej prostej działania l_{ps} na długości spągnicy [6].

W metodzie tej podporność sekcji P_g , a więc również siły P_{gs} działającej na spągnicę wyznacza się z uwzględnieniem oddziaływania siłownika zastrzałowego (podpory stropnicy) i siły tarcia działającej na stropnicy oraz na spągnicy. Zwrot siły tarcia ustala się na podstawie kinematyki mechanizmu rozpierająco-podpornościowego sekcji, a właściwie na podstawie toru ruchu sekcji dla fazy rozpierania lub przyjmowania obciążenia, czyli dla podporności wstępnej lub podporności roboczej sekcji.

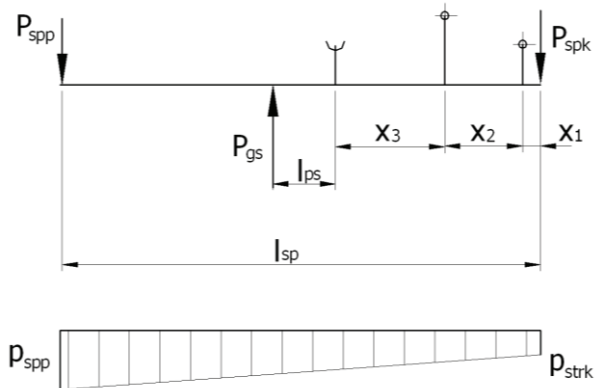
Do wyznaczenia kinematyki i statyki sekcji, a w szczególności jej podporności oraz siły działającej na spągnicę służy model graficzny sekcji przedstawiający jej strukturę geometryczną [4]. Podporność sekcji P_g i położenie prostej jej działania na stropnicy wyznacza się zgodnie z zasadami statyki. W przypadku gdy stropnica doznaje tylko obciążenia od skał stropowych, siła działająca na spągnicę $P_{gs} = P_g$.

Mając określoną wartość podporności sekcji i położenie jej prostej działania na stropnicy, łatwo ocenić rozkład nacisków na stropnicy czy na spągnicy przyjmując, że sztywność ich jest stała na całej długości. Równocześnie na podstawie położenia prostej działania siły P_{gs} na spągnicy łatwo ocenić stateczność całej sekcji bez uciekania się do wyznaczania nacisków pod spągnicą.

Rozkład nacisków na spągnicy i stropnicy oraz charakteryzujące go wartości można łatwo określić na podstawie schematów przedstawionych na rys. 2 i 3.



Rys. 2. Schemat do obliczeń nacisków na stropnicę



Rys. 3. Schemat do obliczeń nacisków spągnicy na spąg

Wartości sił na początku i na końcu stropnicy określają wzory:

$$P_{strp} = \frac{P_g \cdot l_p}{l_{str}} \quad [\text{MN}] \quad (6)$$

oraz

$$P_{strk} = \frac{P_g(l_{str} - l_p)}{l_{str}} \quad [\text{MN}] \quad (7)$$

a wartości nacisków na stropnicy można określić z zależności:

– nacisk średni

$$P_{str\acute{s}} = \frac{P_g}{l_{str} \cdot b_{str}} \quad [\text{MPa}] \quad (8)$$

– nacisk z przodu stropnicy

$$p_{strp} = \frac{2 \cdot P_g \cdot l_p}{l_{str}^2 \cdot b_{str}} \text{ [MPa]} \quad (9)$$

– nacisk z tyłu stropnicy

$$p_{strk} = \frac{2 \cdot P_g \cdot (l_{str} - l_p)}{l_{str}^2 \cdot b_{str}} \text{ [MPa]} \quad (10)$$

w których:

b_{str} – szerokość stropnicy, m

l_{str} – długość stropnicy, m

Naciski spągnicy na spąg można określić zgodnie ze schematem pokazanym na rys. 3. Siły składowe obciążenia spągnicy przyłożone na jej końcach będą miały wartości wyznaczone odpowiednio zależnościami:

– na początku spągnicy

$$P_{spp} = P_{gs} \cdot \frac{x_1 + x_2 + x_3 + l_{ps}}{l_{sp}} \text{ [kN]} \quad (11)$$

– na końcu spągnicy

$$P_{spk} = P_{gs} \cdot \frac{l_{sp} - (x_1 + x_2 + x_3 + l_{ps})}{l_{sp}} \text{ [kN]} \quad (12)$$

Wartości te będą zmieniały się odpowiednio do zmian położenia prostej działania obciążenia P_{gs} na długości spągnicy. Wraz ze zmianami wartości sił P_{spp} i P_{spk} będą zmieniały się wartości i rozkład nacisków na spągnicy.

Wartości nacisków spągnicy na spąg można określić z wzorów:

– nacisk średni

$$p_{sp\bar{s}} = \frac{P_{gs}}{l_{sp} \cdot b_{sp}} \text{ [MPa]} \quad (13)$$

– nacisk z przodu spągnicy

$$p_{spp} = 2 \cdot P_{gs} \cdot \frac{x_1 + x_2 + x_3 + l_{ps}}{l_{sp}^2 \cdot b_{sp}} \text{ [MPa]} \quad (14)$$

– nacisk z tyłu spągnicy

$$p_{spk} = 2 \cdot P_{gs} \cdot \frac{l_{sp} - (x_1 + x_2 + x_3 + l_{ps})}{l_{sp}^2 \cdot b_{sp}} \text{ [MPa]} \quad (15)$$

w których:

b_{sp} – szerokość spągnicy, m

l_{sp} – długość spągnicy, m

W zależności od położenia na długości spągnicy prostej działania obciążenia P_{gs} rozkład nacisków pod spągnicą może być trapezowy, równomierny (jednorodny) lub trójkątny.

W przypadku spągnicy o zmiennej sztywności na jej długości dla dowolnego rozkładu obciążenia (położenia prostej działania obciążenia) nacisk na długości spągnicy będzie zmieniał swoją wartość nie w sposób liniowy, lecz według krzywej, zależnej od zmian sztywności spągnicy.

5. OKREŚLENIE NACISKÓW OBUDOWY GLINIK 14/35-POz NA SPĄG

Obliczenia nacisków na spąg postanowiono wykonać dla liniowej sekcji obudowy podporowo-osłonowej Glinik 14/35-POz pokazanej na rys. 4.

Na rysunku tym podano również podstawowe wymiary potrzebne do obliczeń. Charakterystykę tej obudowy przeznaczonej do pracy na twardych i mocnych spągach zamieszczono w tabeli 1.

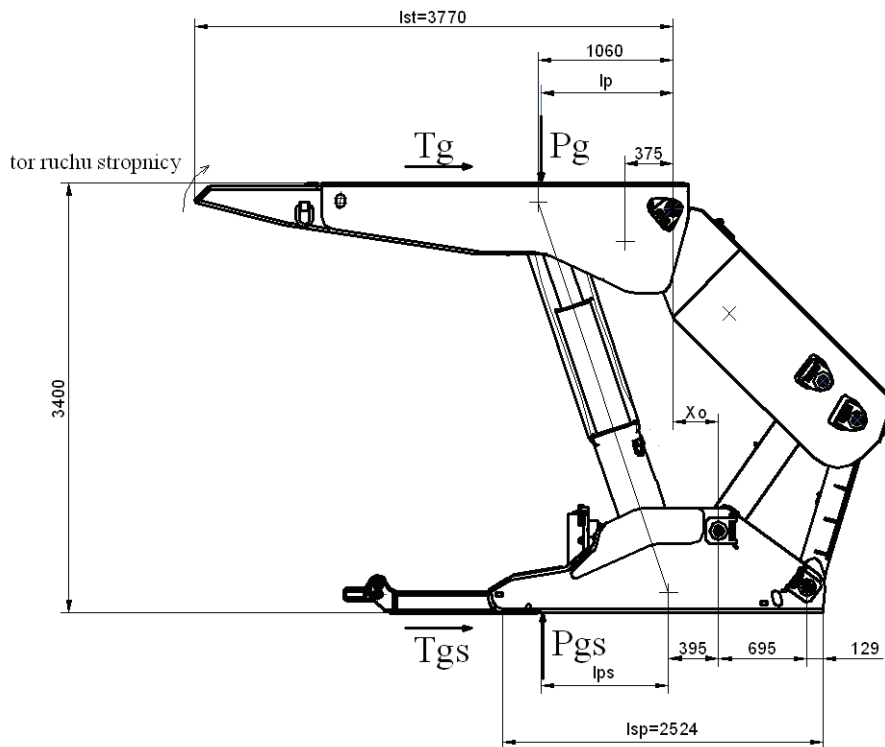
Jak wykazały obliczenia kinematyki dla obudowy Glinik 14/35-POz tor ruchu stropnicy jest monotoniczny, odchodzący od ociosu ściany od wysokości rozparcia powyżej 2 m.

Stąd postanowiono obliczenia porównawcze metodą analityczną i metodą Jacksona wykonać dla wysokości rozparcia powyżej 2 m, dla przypadku przyjmowania obciążenia, czyli dla podporności roboczej stojaków ($P_{str} = 5796$ kN) i siłownika zastrzałowego ($P_{zr} = 764$ kN) oraz dodatniej wartości współczynnika tarcia $\mu = 0,3$.

Tabela 1

Charakterystyka techniczna obudowy Glinik 14/35-POz

| Parametr | Wartość |
|--|----------------------------|
| Wysokość obudowy minimalna, m | 1,40 |
| Wysokość obudowy maksymalna, m | 3,50 |
| Zakres pracy, m | 1,70÷3,40 |
| Podziałka obudowy, m | 1,5 |
| Liczba stojaków hydraulicznych, szt. | 2 |
| Krok sekcji, m | 0,80 |
| Podporność wstępna stojaka (ϕ 300), kN | 2121 ($p_{zas} = 30$ MPa) |
| Podporność robocza stojaka (ϕ 300), kN | 2898 ($p_{rob} = 41$ MPa) |



Rys. 4. Sekcja liniowa obudowy Glinik 14/35-POz

Aby móc porównywać otrzymane wartości nacisków pod spągnicą, drugą część obliczeń metodą analityczną postanowiono wykonać podobnie jak w metodzie Jacksona dla współczynnika tarcia $\mu = 0$. Natomiast w metodzie Jacksona uwzględniono również oddziaływanie siłownika zastrzałowego, czyli $P_{zr} = 764$ kN. Wymiary długościowe spągnicy przyjęto zgodnie z rys. 4, a szerokość spągnicy $b_{sp} = 0,96$ m.

W Zakładzie Maszyn Górniczych Glinik w Gorlicach do obliczeń nacisków metodą Jacksona w miejsce obciążenia R przyjmuje się siłę P_g i współrzędną jej położenia, wyliczone z programu statyki. Takie dane uwzględniono w wykonanych obliczeniach nacisków na spąg, a ich wyniki zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Zestawienie wyników obliczeń nacisków sekcji obudowy Glinik 14/35-POz na spąg metodą analityczną i metodą Jacksona

| Wysokość rozparcia sekcji H [m] | Metoda analityczna $P_{sr} = 5796$ kN, $P_{zr} = 764$ kN | | | | | | Metoda Jacksona $P_{sr} = 5796$ kN, $P_{zr} = 764$ kN | |
|-----------------------------------|---|------------------|----------------------|--|------------------|----------------------|--|---------------------|
| | $\mu = 0,3$ | | | $\mu = 0,0$ | | | $\mu = 0,0$ | |
| | l_{ps} [m] | P_{gs} [kN] | p_{spmax} [MPa] | l_{ps} [m] | P_{gs} [kN] | p_{spmax} [MPa] | p_{spmax} [MPa] | p_{spir} [MPa] |
| 2,0 | 0,459 | 4930,4 | 2,705 | 1,003 | 4918,8 | 3,574 | 11,311 | 5,655 |
| 2,5 | 0,307 | 5272,2 | 2,631 | 1,002 | 5252,9 | 3,815 | 12,039 | 6,020 |
| 3,0 | 0,145 | 5477,5 | 2,443 | 1,000 | 5390,7 | 3,912 | 12,294 | 6,137 |
| 3,5 | -0,099 | 5727,1 | 2,098 | 1,002 | 5117,3 | 3,717 | 11,728 | 5,864 |
| | $p_{spmax} = 2,705$ MPa dla $H = 2,0$ m | | | $p_{spmax} = 3,912$ MPa dla $H = 3,0$ m | | | $p_{spmax} = 12,294$ MPa dla $H = 3,1$ m | |

6. UWAGI KOŃCOWE I WNIOSKI

Wykonane obliczenia metodą analityczną dla warunków zgodnych z realnymi warunkami obciążenia sekcji obudowy Glinik 14/35-POz i jej zachowania się, czyli dla podporności roboczej stojaków i siłownika zastrzałowego oraz współczynnika tarcia między stropnicą i spągnicą a skałami $\mu = 0,3$, dały wartości nacisków przekraczające 2 MPa, przy współrzędnej l_{ps} od 0,46 m do $-0,1$ m w stosunku do punktu podparcia stojaków. Maksymalne wartości nacisków w tym przypadku używano dla wysokości rozparcia sekcji równej 2,0 m. W przypadku obliczeń takich jak dla warunków metody Jacksona, czyli współczynnika tarcia $\mu = 0$ stwierdzono przemieszczenie prostej działania siły P_{gs} do 1 m w kierunku przodu spągnicy, a przede wszystkim dla metody Jacksona ok. 5,5-krotne zwiększenie wartości nacisków.

Zgodnie z zasadami, obliczenia metodą Jacksona wykonano dla przypadku trójkątnego rozkładu nacisków, a naciski maksymalne uzyskano dwukrotnie wyższe od wartości średnich. Otrzymane wartości maksymalne w granicach 12 MPa są wysokie, ale dopuszczalne dla twardych i mocnych spągów dla jakich obudowa została zaprojektowana. Należy jeszcze zwrócić uwagę na fakt, że o ile w obliczeniach metodą analityczną dla $\mu = 0,3$ wartość nacisków osiągnęła wartość maksymalną dla wysokości rozparcia sekcji $H = 2$ m przy minimalnej sile P_{gs} , to dla obliczeń metodą Jacksona (dla $\mu = 0$) maksymalna wartość siły P_g i nacisków wystąpiła dla wysokości rozparcia sekcji $H = 3,1$ m, a metodą analityczną dla $H = 3$ m.

Równocześnie można stwierdzić, że w metodzie analitycznej na wartość nacisków obudowy na spąg decydujące znaczenie ma podporność sekcji oraz wartość współczynnika tarcia, a praktycznie nieistotny jest wpływ wysokości rozparcia sekcji obudowy. Natomiast w metodzie Jacksona zarówno rozkład jak i wartość nacisków zależy od położenia prostej działania obciążenia przyłożonego do spągnicy. Należy także stwierdzić, że dla konstruktorów „bardziej przyjazna” powinna być metoda analityczna wyznaczenia nacisków, gdyż kilkakrotnie niższe ich wartości pozwalają na projektowanie krótszych i lżejszych spągnic.

Literatura

1. Borecki M., Dubiński Z.: Obudowa zmechanizowana wyrobisk ścianowych. Wydawnictwo Śląsk. Katowice 1970.
2. Irresberger H., Gräwe F., Migenda P.: Schreitausbau für den Steinkohlenbergbau. Verlag Glückauf 1994.

3. Losiak St., Ptak J., Blaschke J., Domański P.: Zagrożenia dla segmentu lemniskatowego ścianowej obudowy zmechanizowanej w położeniach granicznych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2001, nr 2.
4. Losiak St., Ptak J., Krauze K., Blaschke J.: Model matematyczny sekcji obudowy z zawieszeniem lemniskatowym. Materiały Konferencji NT nt. „Matematyczne metody i technika komputerowa w górnictwie”. T. III. Politechnika Wrocławska. Szklarska Poręba, listopad 1987 r.
5. Losiak St., Ptak J.: Znaczenie siłownika zastrzałowego w sekcji lemniskatowej. Prace naukowe GIG. Seria konferencyjne nr 40. „Zmechanizowane obudowy ścianowe – teraźniejszość i perspektywy”. Katowice-Brenna, marzec 2002.
6. Losiak St., Ptak J., Blaschke J.: Zachowanie się sekcji obudowy pod działaniem wyrobiska. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2006, nr 5.
7. Losiak St., Blaschke J., Ptak J.: Opracowanie programu komputerowego do obliczeń statycznych i kinematycznych. Opracowanie dla KWK Piast. Kraków, maj 2002.
8. Charakterystyka obudowy Glinik 14/35-POz i obliczenia metodą Jacksona. ZMG Glinik. Gorlice, maj 2009.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Krzysztof Krauze