

## PODOBIENSTWA I RÓŻNICE W ZAKRESIE STATYKI SEKCJI OBUDÓW ŚCIANOWYCH

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono schemat struktury geometrycznej, wspólnej dla trzech odmian sekcji lemniskatowych osłonowej obudowy ścianowej oraz schematy struktur uzupełniających tych sekcji, służących do korekcji rozpięcia i rabowania. Podano zasady opisu matematycznego tych sekcji. Wykazano, że w zakresie podstawowym sekcje można przedstawić jednym opisem, a w zakresie korekcji sekcje opisują oddzielne relacje. Przedstawiono geometryczno-kinematyczne charakterystyki sekcji dotyczące ich istotnych właściwości, sporządzone na podstawie opisów matematycznych.

**Słowa kluczowe:** maszyny górnicze, lemniskatowe obudowy ścianowe, właściwości geometryczno-kinematyczne

### SIMILARITIES AND DIFFERENCES IN THE STATICS OF WALL SUPPORT UNITS

In the paper schemes of basic group of supports with distribution of loads for three types of units have been presented. It has been demonstrated that schemes with load distribution may be reduced to one collective scheme and a common mathematical description for various types of units may be presented. Application of the common description for testing the characteristics of the units of the same type were discussed. In general, equations for determining the static parameters of the support unit with stretcher cylinder were given. Static-stability characteristics of such a support unit on the basis of exemplary characteristics determined from mathematical description were discussed.

**Keywords:** mining machines, lemniscate wall support units, static-stability characteristics

### 1. WSTĘP

Statyka sekcji lemniskatowej, jej właściwości statyczno-statecznościowe warunkowane są jej strukturą geometryczną. Dlatego właściwości statyczno-statecznościowe sekcji ustala się dla stanu równowagi sił przyłożonych do jej zasadniczych zespołów. Z tego powodu w opisie matematycznym, dotyczącym statyki sekcji, nie można oddzielić sił działających w węzłach kinematycznych struktury podstawowej od sił działających w węzłach kinematycznych struktur mechanizmów korekcyjnych.

Do opisu matematycznego sekcji w zakresie statyki przyjęto, tak jak do opisu matematycznego struktur [1], sekcje trzech odmian:

- 1) z siłownikiem zastrzałowym,
- 2) ze stojakami ustawionymi w drugim rzędzie, podpierającymi stropnicę,
- 3) ze stojakiem podpierającym osłonę odzawałową.

W każdym przypadku odwzorowuje się zespoły zasadnicze sekcji schematami w planie płaskim, zakładając również, że siły je obciążające działają w układzie płaskim.

Wzajemne położenia zasadniczych zespołów sekcji zależą od wysokości jej rozparcia. Z tego powodu opis matematyczny statyki sekcji uwzględnia tę wysokość.

Dla uproszczenia opisu przyjmuje się, że obciążenie zewnętrzne działa tylko na stropnicę i spągnicę sekcji i sekcja nie ma stropnic przednich oraz stropnicy tylnej. Z uwagi na to, że w praktyce nie jest znany rozkład obciążenia na długości stropnicy, odwzorowuje się go za pomocą siły skupio-

nej  $P_g$ , przyłożonej w punkcie położonym na stropnicy w odległości  $l_p$  od pionowej osi przegubu łączącego stropnicę z osłoną odzawałową. Konsekwencją tego jest odwzorowanie obciążenia przenoszonego przez spągnicę na spąg siłą skupioną  $P_{gs}$  i ramieniem działania  $l_{ps}$ .

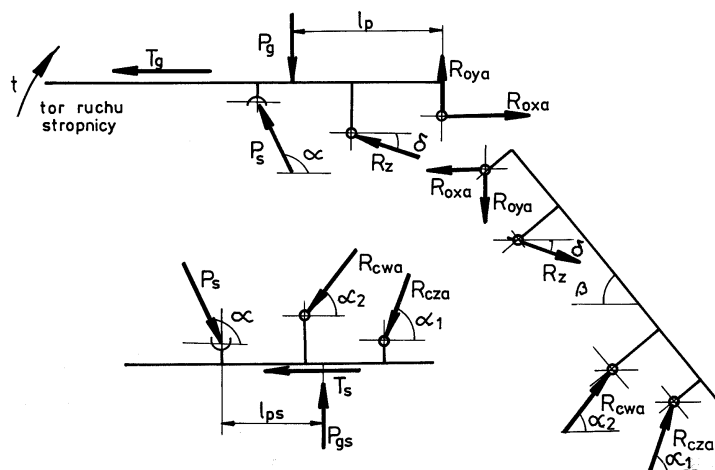
Statykę sekcji opisuje się dla przypadku jej rozpięcia. W ten sposób opisuje się również statykę sekcji przyjmującej obciążenie. Dla opisu należy tylko zmienić zwrot siły tarcia działającej na stropnicy, stosownie do zmiany zwrotu na torze ruchu początku stropnicy.

Opis matematyczny podano dla sekcji rozpartej stojakami i siłownikami korekcyjnymi, które po rozparciu sekcji, dla zapewnienia jej większej stateczności, zawsze powinny być zasilane [2].

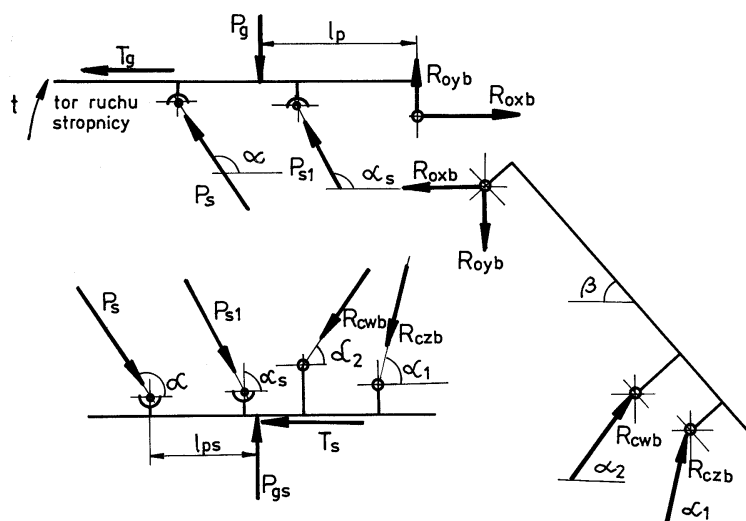
### 2. UKŁADY SIŁ DZIAŁAJĄCYCH NA ZASADNICZE ZESPOŁY SEKCJI OBUDOWY ŚCIANOWEJ

Układy sił przedstawiają plany pokazane na rysunkach 1, 2 i 3, odpowiednio dla sekcji poszczególnych odmian. Na planach odnoszących się do zespołów zasadniczych sekcji: spągnicy, stropnicy i osłony odzawałowej przedstawione są siły wywołane działaniem stojaków rozporowych ( $P_s, P_g, T_g, R_{ox}, R_{oy}, R_{cz}, R_{cw}, P_{gs}, T_{gs}$ ) oraz siły wynikające z rozparcia siłowników korekcyjnych ( $R_z, P_{s1}, P_{sp}$ ). Wpływ sił wynikających z rozparcia siłowników korekcyjnych ma oczywiście odzwierciedlenie w siłach wywołanych działaniem stojaków rozporowych [3].

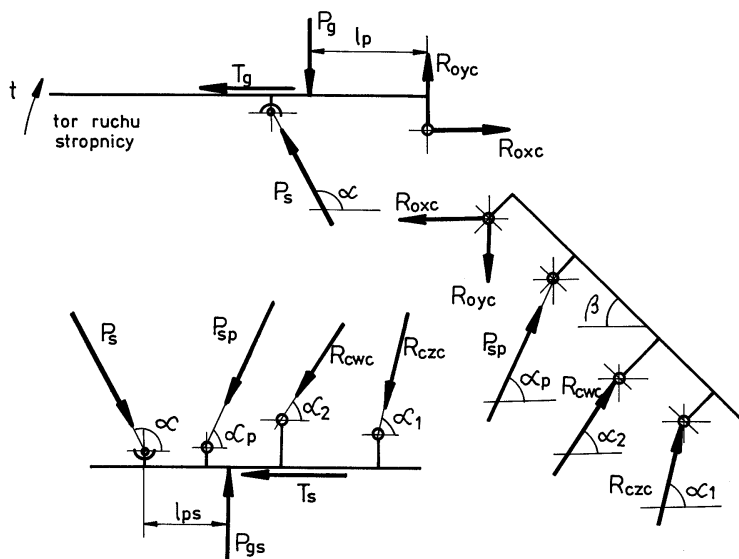
\* Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych



Rys. 1. Schematy układów sił działających na zespoły zasadnicze sekcji lemniskatowych obudowy osłonowej z siłownikiem zastrzałowym



Rys. 2. Schematy układów sił działających na zespoły zasadnicze sekcji lemniskatowych obudowy osłonowej ze stojakami w drugim rzędzie podpierającymi stropnicę



Rys. 3. Schematy układów sił działających na zespoły zasadnicze sekcji lemniskatowych obudowy osłonowej ze stojakami podpierającymi osłonę odzawałową



Pozostałe wielkości wynikają ze schematów pokazanych na rysunku 4, z tym że wprowadzono:

$$T_g = \mu P_g,$$

$$T_{gs} = \mu_s P_{gs}.$$

Dla sekcji otrzymuje się dziewięć warunków równowagi. Można z nich wyznaczyć dla każdej sekcji dziewięć wielkości charakteryzujących jej statykę. W równaniach ogólnych wyrażających warunki równowagi zespołów zasadniczych trzech sekcji występuje czternaście wielkości charakteryzujących statykę, z czego dwie odnoszące się do dwóch sekcji ze zbioru. W celu przystosowania równań do opisanego statyki konkretnej sekcji, należy dla dwóch wielkości charakterystycznych dla innych sekcji narzucić wartości zerowe. Otrzyma się wtedy równania ogólne odnoszące się do danej sekcji zawierające dwanaście wielkości.

Z układu równań ogólnych wyrażających warunki równowagi dla danej sekcji, można wyznaczyć dziesięć wielkości zmiennych, jeżeli z założenia przyjmie się wartości dla trzech wielkości. Wartości można przyjmować dla trzech dowolnie wybranych wielkości. W doborze należy się jednak kierować możliwością realnego ustalenia wartości dla tych wielkości.

W praktyce łatwo ustalić wartości dla:

$P_s$  – siły rozparcia stojaków,

$P_{s1}, P_{sp}, R_z$  – siły rozparcia siłownika korekcyjnego,

$\mu$  – współczynnika tarcia dla skały stropu i materiału stropnicy.

W innym wariantcie można przyjąć, jeżeli znane jest działanie stropu:

$P_g$  – siłę działającą na stropnicę,

$l_p$  – współrzędną punktu przyłożenia siły  $P_g$ ,

$\mu$  – współczynnik tarcia dla skały stropu i materiału stropnicy.

W przypadku przyjęcia wartości dla wielkości wymienionych w wariantcie pierwszym można wyznaczyć wartości następujących wielkości:

$$P_g, l_p, P_{gs}, l_{ps}, R_{ox}, R_{oy}, R_{cz}, R_{cw}, \mu_s.$$

W przypadku drugim można wyznaczyć:

$$P_s, P_{gs}, l_{ps}, R_{ox}, R_{oy}, R_{cz}, R_{cw}, \mu_s$$

oraz wartość siły rozparcia siłownika korekcyjnego. W zależności od odmiany sekcji będzie to siła  $R_z, P_{s1}$  lub  $P_{sp}$ .

Jeżeli z równań ogólnych opisuje się statykę konkretnej sekcji, do dla siłowników sekcji pozostałych zakłada się wartości zerowe.

Będą to w przypadku:

– sekcji z rysunku 1:

$$R_z \neq 0, P_{s1} = 0 \text{ i } P_{sp} = 0;$$

– sekcji z rysunku 2:

$$P_{s1} \neq 0, R_z = 0 \text{ i } P_{sp} = 0;$$

– sekcji z rysunku 3:

$$P_{sp} \neq 0, R_z = 0 \text{ i } P_{s1} = 0.$$

W celu osiągnięcia większych możliwości podporowych sekcji, a zwłaszcza dużego przedziału stateczności dla zespołów sekcji i całej sekcji, siłowniki korekcyjne powinny być napełniane cieczą hydrauliczną dwustronnie. Dla sekcji z siłownikiem zastrzałowym, na przykład winno się brać pod uwagę siłę rozparcia wynikającą z napełnienia przestrzeni podtłokowej  $+R_{z\text{ptl}}$  i z napełnienia przestrzeni nad-tłokowej  $-R_{z\text{ntl}}$ . Wartości sił należy uwzględniać ze znakiem algebraicznym.

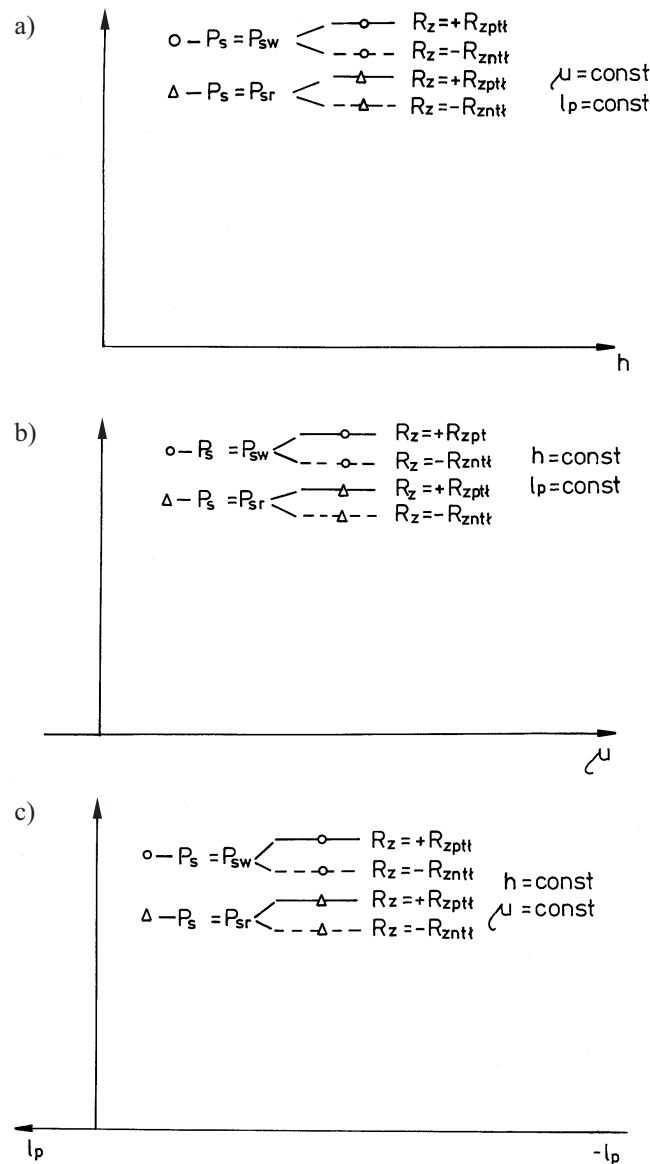
Wartość współczynnika tarcia przyjmuje się ze znakiem dodatnim, ponieważ w opisie matematycznym uwzględnia się zwrot siły tarcia działającej na stropnicę.

Wartości wyznaczone obliczeniami dla wielkości zmiennych charakteryzujących statykę sekcji można odwzorować graficznie w zależności od wielkości ustalanych. Wielkości, których wartości są ustalane, traktowane są parametrycznie. Z odwzorowanych graficznie wartości wielkości charakteryzujących statykę sekcji, jako charakterystyk można oceniać właściwości i funkcjonowanie sekcji. Na tej podstawie można dobierać obudowy do wyrobisk w zależności od ich charakterystyki górnico-geologicznej. Można dla dobranej obudowy ustalać rygory eksploatacji i obsługi technicznej.

Rysunek 5 przedstawia przykładowe układy odniesienia dla sporządzania charakterystyk sekcji z siłownikiem zastrzałowym na podstawie wartości wyznaczonych dla:

- podporności wstępnej stojaków  $P_{sw}$  fazy rozparcia,
- podporności roboczej stojaków  $P_{sr}$  fazy przyjmowania obciążenia na stropnicę,
- rozparcia siłownika zastrzałowego z przestrzeni podtłokowej  $+R_{z\text{ptl}}$ ,
- rozparcia siłownika zastrzałowego z przestrzeni nad-tłokowej  $-R_{z\text{ntl}}$ .

Do obliczeń wyznaczających wartości wielkości charakteryzujących statykę sekcji można przyjąć siły rozparcia siłownika wynikające z ciśnienia wstępnego cieczy hydraulicznej i ciśnienia roboczego tej cieczy.



Rys. 5. Układy współrzędnych dla graficznego odwzorowania wielkości charakteryzujących statykę sekcji lemniskatowej obudowy osłonowej, wyznaczone dla parametrycznie potraktowanych następujących wielkości:  $P_s$ ,  $l_p$ ,  $\mu$  oraz  $P_s$ ,  $R_z$ ,  $\mu$

#### 4. PRZYKŁADOWE RÓWNANIA WYNIKOWE I CHARAKTERYSTYKI DOTYCZĄCE STATYKI SEKCJI OBUDOWY

Przykładowe równania i charakterystyki podano dla sekcji lemniskatowej z siłownikiem zastrzałowym dlatego, że obudowy zestawiane z tych sekcji są najliczniej reprezentowane w praktyce.

Równania dotyczą wielkości wyznaczanych, gdy zakłada się wartości dla wielkości  $P_s$ ,  $R_z$  oraz  $\mu$ . Równania ogólne mają postać:

$$P_g = f_{Pg} \{P_s[(S_t, S_p, O_s); h_i; \mu_j] + R_z[(S_t, O_s); h_i; \mu_j]\},$$

$$l_p = f_{lp} \{P_s[(S_t, S_p, O_s); h_i; \mu_j] + R_z[(S_t, O_s); h_i; \mu_j]\} / P_g,$$

$$R_{ox} = f_{Rox} \{P_s[(S_t, S_p, O_s); h_i; \mu_j] + R_z[(S_t, O_s); h_i; \mu_j]\},$$

$$R_{oy} = f_{Roy} \{P_s[(S_t, S_p, O_s); h_i; \mu_j] + R_z[(S_t, O_s); h_i; \mu_j]\},$$

$$R_{cz} = f_{Rcz} \{P_s[(S_t, S_p, O_s); h_i; \mu_j] + R_z[(S_t, O_s); h_i; \mu_j]\},$$

$$R_{cw} = f_{Rcw} \{P_s[(S_t, S_p, O_s); h_i; \mu_j] + R_z[a(S_t, O_s); h_i; \mu_j]\},$$

$$P_{gs} = f_{Pgs} \{P_s[(S_t, S_p, O_s); h_i; \mu_j] + R_z[(S_t, O_s); h_i; \mu_j]\},$$

$$l_{ps} = f_{lps} \{P_s[(S_t, S_p, O_s); h_i; \mu_j] + R_z[(S_t, O_s); h_i; \mu_j]\} / P_{gs},$$

$$\mu_s = f_{\mu s} \{P_s[(S_t, S_p, O_s); h_i; \mu_j] + R_z[(S_t, O_s); h_i; \mu_j]\} / P_{gs}.$$

Obliczenia dla wyznaczenia wartości wielkości zmiennych charakteryzujących statykę sekcji wykonuje się dla ustalonego współczynnika tarcia  $\mu$  i siły rozparcia stojaka oraz siłownika zastrzałowego, jak również dla szeregu wartości wysokości rozparcia  $h$ . Obliczenia wykonuje się dla

stanu rozparcia sekcji podpornością wstępną  $P_{sw}$ . Następnie powtarza się obliczenia z równań zapisanych dla sekcji przyjmującej działanie stropu. Obliczenia te, dla danej wysokości rozparcia, przeprowadza się ponownie dla podporności wstępnej stojaków, a następnie dla podporności roboczej stojaków. Do obliczeń przyjmuje się zawsze tę samą wartość siły rozparcia siłownika zastrzałowego, np. wartość siły rozparcia przestrznią podtłokową ciśnieniem wstępnym.

Dalsze obliczenia wykonuje się, wprowadzając wartości siły rozparcia siłownika zastrzałowego przestrznią nadtłokową, ciśnieniem wstępnym. Następnie obliczenia wykonuje się dla sił rozparcia siłownika zastrzałowego ciśnieniem roboczym.

Powyższe obliczenia wykonuje się dla szeregu założonych wartości wysokości rozparcia. Powtarza się je wielokrotnie dla kolejnych wartości założonych współczynników tarcia.

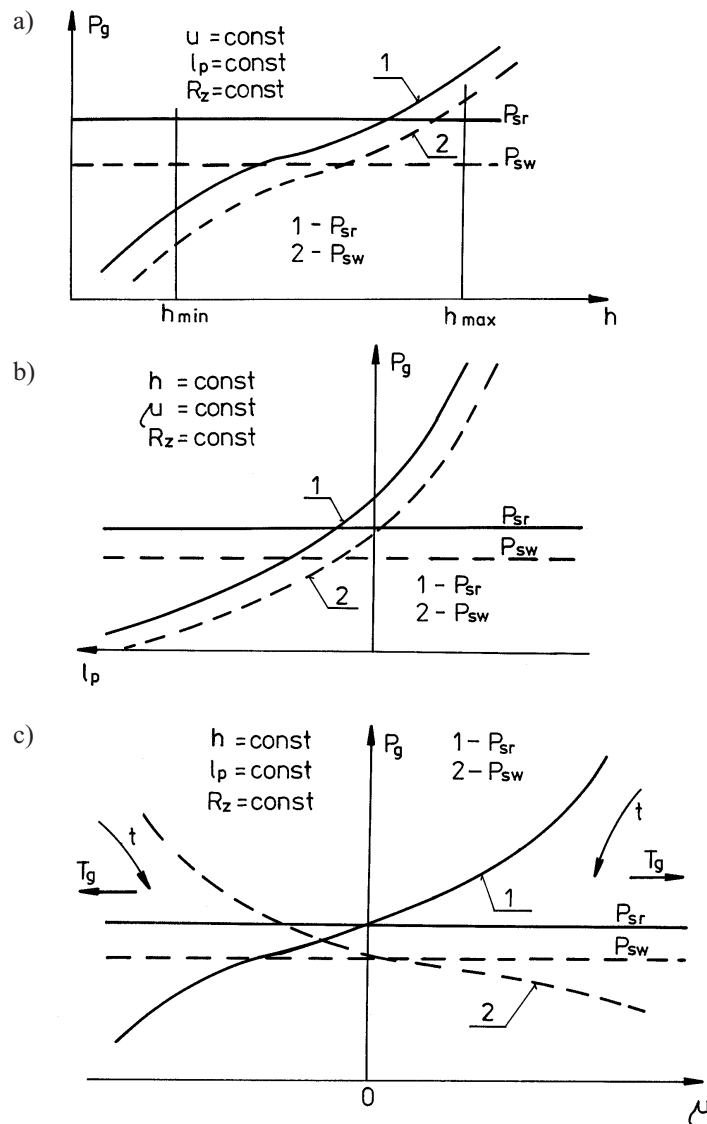
Obliczenia dostarczają obszerny zbiór wartości dla wszystkich wielkości opisanych podanymi równaniami wy-

nikowymi. Z tego zbioru wartości można sporządzać charakterystyki wielkości statycznych dla różnych warunków górniczo-geologicznych.

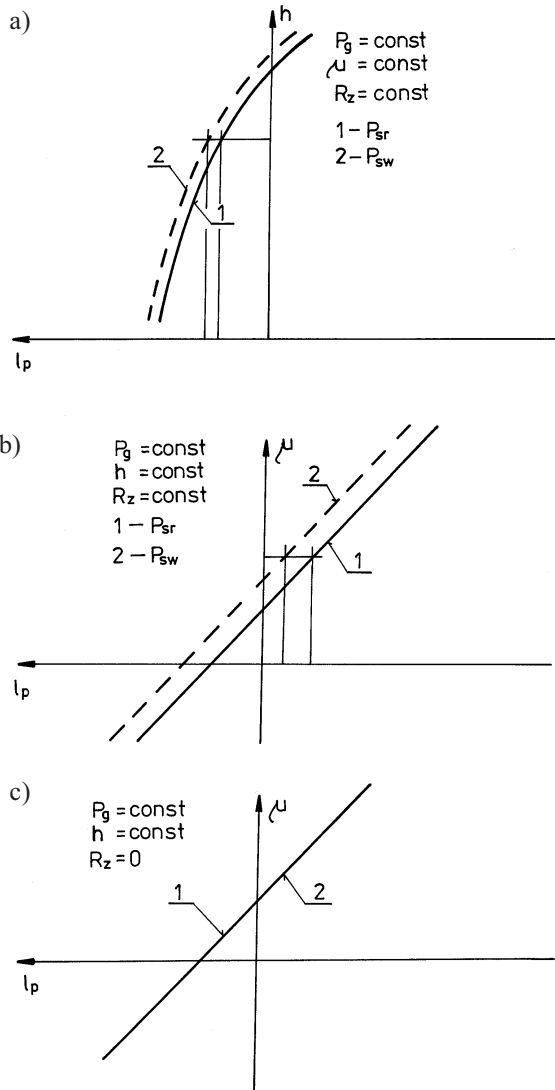
Dla sekcji lemniskatowej z siłownikiem zastrzałowym przykładowe charakterystyki dotyczące obciążenia, jakie może być przyjęte na stropnicę w zależności od wysokości rozparcia sekcji, rozkładu obciążenia na stropnicy i współczynnika tarcia, pokazuje rysunek 6.

Wszystkie charakterystyki sporządzone zostały dla jednej wartości siły rozparcia siłownika zastrzałowego  $R_z$  oraz dla podporności wstępnej i roboczej stojaków  $P_{sw}$  i  $P_{sr}$ . Charakterystyki pokazane na rysunku 6c dotyczą dwóch sekcji, każda o innym torze ruchu stropnicy.

Ze zbioru wyników obliczeń można sporządzić charakterystyki dla wszystkich wielkości charakteryzujących statykę sekcji. Wyniki obliczeń można przedstawiać również w innych układach współrzędnych niż pokazane na rysunku 5. Przykładowe obrazy wyników obliczeń w innych układach współrzędnych znajdują się na rysunkach 7, 8 i 9.



Rys. 6. Charakterystyki przedstawiające obciążenie, jakie może być przyjęte przez układ podpornościowy sekcji, w zależności od: a) wysokości rozparcia; b) współrzędnej punktu, do którego obciążenie będzie przyłożone; c) współczynnika tarcia dla stali i skał stropowych

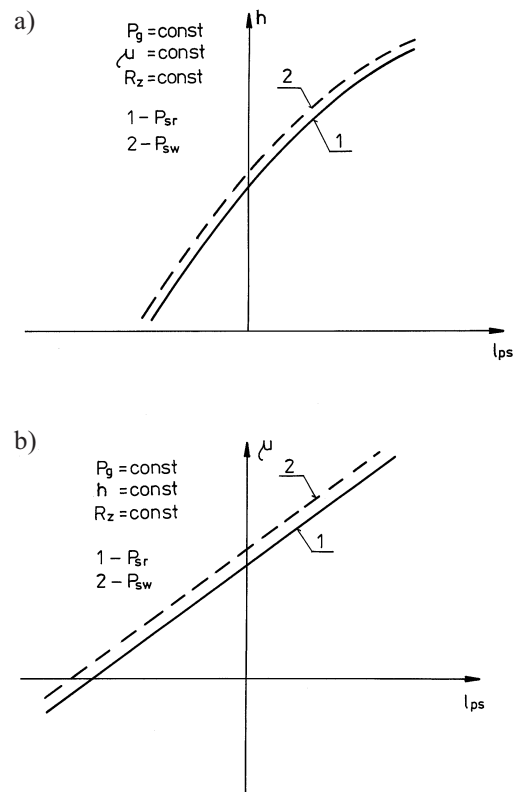


**Rys. 7.** Charakterystyki przedstawiające zmianę współrzędnej punktu, do którego przyłożone jest obciążenie, w zależności od: a) wysokości rozparcia; b) współczynnika tarcia dla stali i skał stropowych; c) współczynnika tarcia dla stali i skał, gdy  $R_z = 0$

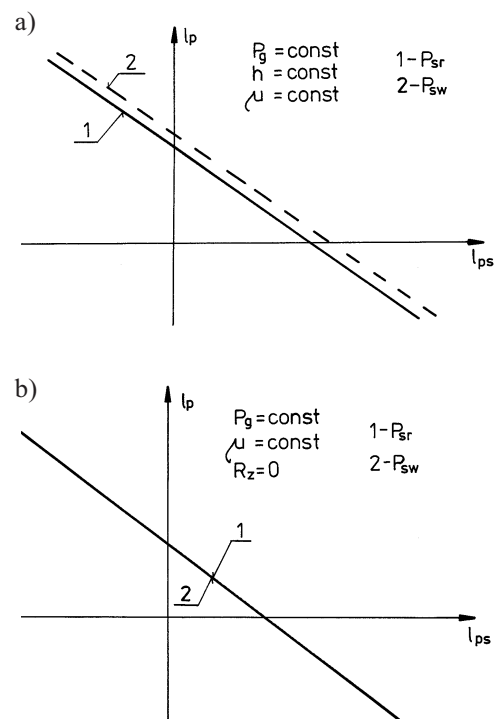
Wykresy zamieszczone na rysunku 7 pokazują, że sekcja obudowy, przenosząc dane obciążenie  $P_g$ , zmienia swoje właściwości podpornościowe w zależności od wysokości rozparcia (rys. 7a) i współczynnika tarcia (rys. 7b); inaczej przenosząc obciążenie przy rozpartym siłowniku zastrzałowym, a inaczej przy nierozpartym (rys. 7c), a także zależnie od podporności stojaków.

Przy większych wysokościach rozparcia i wartościach współczynnika tarcia korzystniejsze dla sekcji jest, gdy obciążenie przesuwa się do końca stropnicy, a nawet poza nią (rys. 7b), a więc gdy strop przewiesza za obudowę.

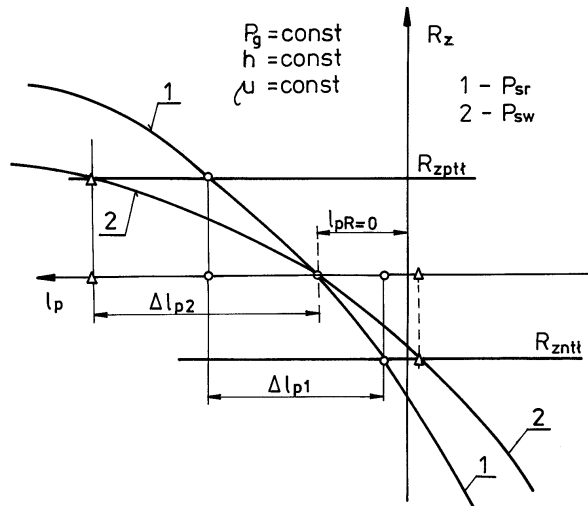
Z rysunku 8 wynika, że czynniki, które powodują zmianę przenoszenia obciążenia przez stropnice, powodują taką samą zmianę przenoszenia obciążenia przez spągnicę na spąg. Tę tendencję wyraźnie potwierdzają wykresy pokazane na rysunku 9.



**Rys. 8.** Charakterystyki przedstawiające zmianę współrzędnej punktu, w którym spągnica przekazuje obciążenie na spąg, w zależności od: a) wysokości rozparcia; b) współczynnika tarcia dla stali i skał stropowych



**Rys. 9.** Charakterystyki przedstawiające zmianę współrzędnej punktu, w którym spągnica przekazuje obciążenie na spąg w zależności od: a) współrzędnej punktu, do którego przyłożone jest obciążenie na stropnicę; b) współrzędnej punktu, do którego przyłożone jest obciążenie na stropnicę, gdy  $R_z = 0$



Rys. 10. Charakterystyka zmiany siły rozparcia siłownika zastrzałowego w zależności od współrzędnej punktu, do którego przyłożono obciążenia na stropnicy

Wykresy zamieszczone na rysunku 10 pokazują, w jakich przedziałach może zmieniać się położenie prostej działania obciążenia  $P_g$  na długości stropnicy, gdy zmienia się siła rozparcia siłownika zastrzałowego  $R_z$  i podporność stojaków bez zagrożenia utraty stateczności przez układ podpornościowy sekcji. Z rysunku 10 wynika, że gdy siłownik nie jest rozparty ( $R_z = 0$ ), każda zmiana prostej działania danego obciążenia  $P_g$  na długości stropnicy wytrąca układ podpornościowy sekcji ze stanu równowagi i to niezależnie od podporności jej stojaków.

Położenie na długości stropnicy punktu równowagi układu podpornościowego sekcji dla każdej sekcji jest zależne od wysokości rozparcia i współczynnika tarcia dla skał stropu i materiału stropnicy. Ta właściwość jest cechą wspólną sekcji każdej odmiany. Przedziały zmian stateczności układu podpornościowego mogą zmieniać się w zależności od odmiany sekcji, a więc w zależności od siłownika, a także całego mechanizmu korekcyjnego [1].

## 5. WNIOSKI

- Podobnie jak w zakresie struktury geometrycznej sekcje lemniskatowe obudów osłonowych różnych odmian rozparte podporą korekcyjną mają jednakowe właściwości podpornościowe. Ich układ podpornościowy pozostaje w stanie równowagi przy danym obciążeniu, gdy punkt przyłożenia tego obciążenia na długości stropnicy pozostaje we właściwym położeniu (gdy rozkład obciążenia na długości stropnicy nie ulega zmianie). Położenie tego punktu jest zależne od wysokości

rozparcia sekcji i od współczynnika tarcia dla skał stropowych i materiału stropnicy.

- Aby układ podpornościowy sekcji lemniskatowych (i cała sekcja) zachował stateczność dla zmian obciążenia, niezbędne jest rozparcie sekcji podporą korekcyjną. Przedział stateczności podpornościowej sekcji zależy od usytuowania podpory korekcyjnej i całego mechanizmu korekcyjnego. Sekcje poszczególnych odmian mogą różnić się przedziałem stateczności układu podpornościowego.
- Pomimo różnic w obrazie planów sił działających na zespoły zasadnicze sekcji poszczególnych odmian, statykę sekcji można opisać matematycznie na podstawie jednego, wspólnego dla sekcji wszystkich odmian schematu zbiorczego.
- Opisy matematyczne sekcji z zakresu statyki dają podstawę do sporządzania charakterystyk przedstawiających zmiany wielkości statyczno-statecznościowych w zależności od czynników wpływających na nie.

## Literatura

- [1] Losiak S., Ptak J., Blaschke J.: *Podobieństwa i różnice w zakresie struktury geometrycznej sekcji obudów ścianowych*. W druku
- [2] Losiak S., Ptak J.: *Znaczenie siłownika zastrzałowego w sekcji lemniskatowej obudowy ścianowej*. Prace naukowe GIG, Seria Konstrukcje, nr 40: Zmechanizowane obudowy ścianowe – teraźniejszość i perspektywy, GIG, Katowice – Brenna 2002
- [3] Losiak S., Ptak J., Krauze K., Blaschke J.: *Model matematyczny sekcji obudowy z zawieszaniem lemniskatowym*. W: Konferencja naukowo-techniczna nt. „Matematyczne metody i technika komputerowa w górnictwie”, Szklarska Poręba, listopad 1987, zbiór referatów, t. III