



Wiesław SZUMIERZ

Doc. dr hab. inż. Wiesław SZUMIERZ, absolwent Wydziału Budownictwa Lądowego Politechniki Krakowskiej, obecnie docent w COBiRTK i w Instytucie Budowy Dróg, Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej. W 1974 r. uzyskał na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Śląskiej w Gliwicach stopień doktora n.t. W 1983 r. uzyskał w GIG stopień naukowy doktora habilitowanego n.t. z zakresu budownictwa na terenach górniczych. Członek Rady Naukowej COBiRTK, Rady Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej oraz innych gremiów naukowych i zawodowych.

WPŁYW LOKALNYCH DEFORMACJI PODŁOŻA GÓRNICZEGO NA WARUNKI STATECZNOŚCI TORU KOLEJOWEGO

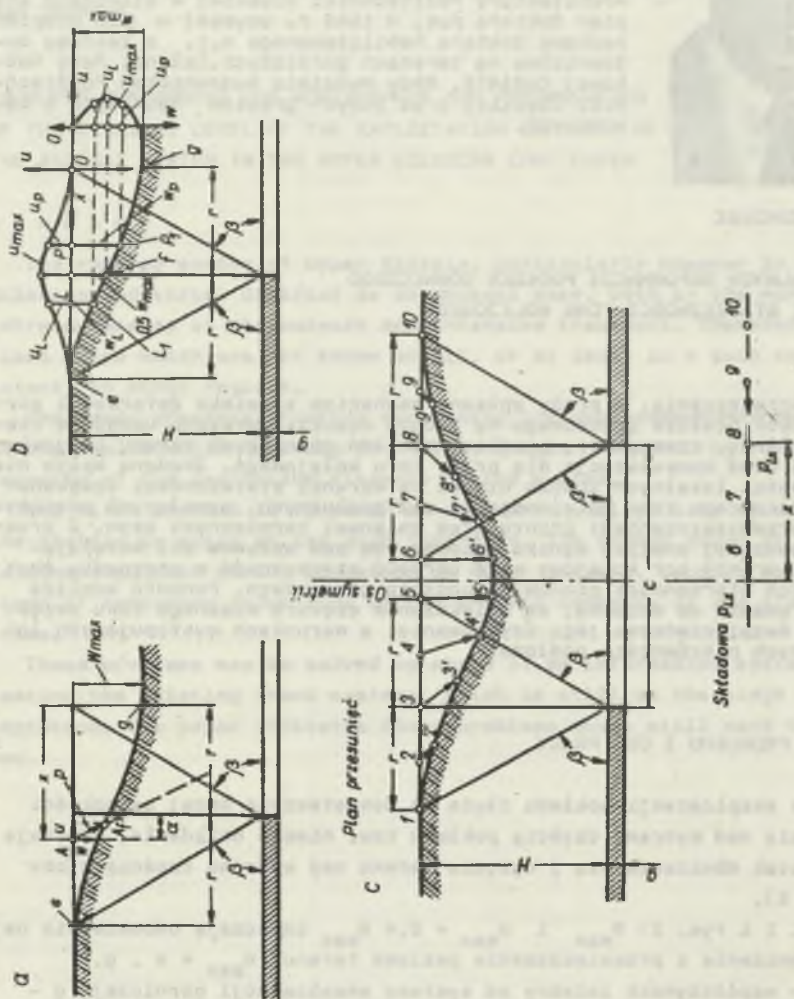
Streszczenie. W pracy opisano mechanizm zjawiska deformacji górniczych podłoża gruntowego na zboczu niecki. Zwrócono uwagę na nieregularny, rzeczywisty przebieg obniżen górniczych terenu i wynikające stąd konsekwencje dla pracy toru kolejowego. Zbadano wpływ nierówności lokalnych zbocza niecki na warunki stateczności ściskanego, prostego toru kolejowego od sił podłużnych, wywołanych poziomymi przemieszczeniami gruntu oraz zmianami termicznymi szyn. Z przeprowadzonej analizy wynika wniosek, że pod wpływem sił ściskających prosty tor kolejowy może utracić stateczność w przypadku zbyt dużych nierówności pionowych podłoża górniczego. Ponadto analiza doprowadza do wniosku, że zwiększenie ciężaru własnego toru zwiększa bezpieczeństwo jego użytkowania, w warunkach występujących lokalnych nierówności podłoża.

1. ISTOTA PROBLEMU I CEL PRACY

Podczas eksploatacji pokładu złoża na dostatecznie dużej głębokości wytwarza się nad wybraną częścią pokładu tzw. niecka osiadania. Powstaje ona na skutek obniżenia się i ugięcia terenu nad wybraną częścią złoża (rys. 1 i 2).

Na rys. 1 i rys. 2: W_{\max} i $U_{\max} = 0,4 W_{\max}$ oznaczają odpowiednio największe obniżenie i przemieszczenie poziome terenu, $W_{\max} = a \cdot g$, gdzie: a - współczynnik zależny od systemu eksploatacji górniczej, g - grubość pokładu, $r = H/\operatorname{tg}\beta$ - promień zasięgu wpływów głównych, H - głębokość zalegania pokładu, β - kąt zasięgu wpływów głównych.

Częstka A gruntu po utworzeniu niecki górniczej ulega przemieszczeniu "p" o poziomej składowej "u" i pionowej "w" (rys. 1a). Na rys. 1b pokazano przebieg funkcji "w" w układzie (x,w) oraz funkcji "u" w układzie



Rys. 1. Przemieszczenia cząstek gruntu na zboczu niecki górniczej (opis w tekście)
 Fig. 1. Displacement of soil particles on the slope of a mining trough (description in the text)

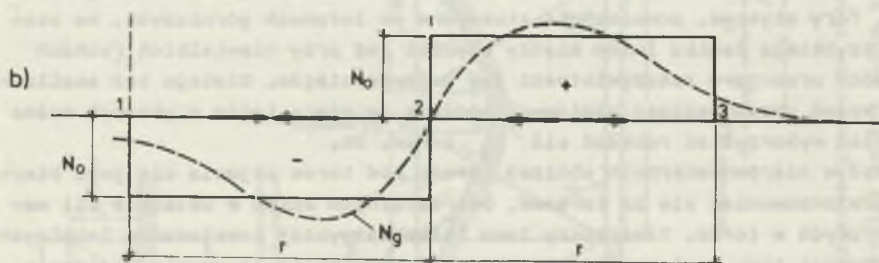
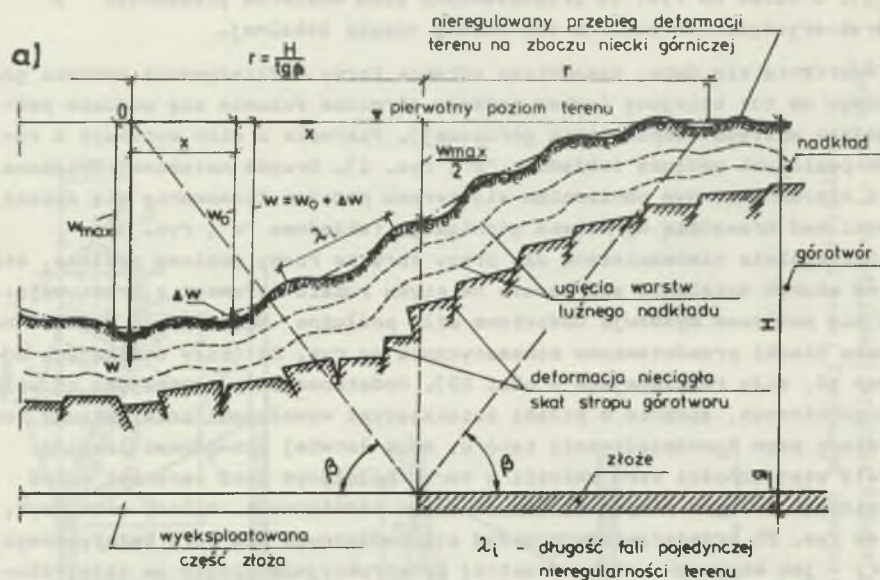
(x, u). Z kolei na rys. 1c przedstawiono plan wektorów przesunięć "p" charakterystycznych punktów obu zboczy niecki lokalnej.

Rozróżnia się dwie, zasadniczo odrębne formy oddziaływania podłoża górniczego na tor kolejowy (przez podłożo górnicze rozumie się podłożo podlegające wpływom eksploatacji górniczej). Pierwsza z nich wynika z ruchów poziomych podłoża (składowa "u", rys. 1). Drugie natomiast związane są z nierównomiernym obniżaniem się terenu podczas formowania się zbocza niecki nad krawędzią wyrobiska górniczego (składowa "w", rys. 1).

Szczególnie niebezpieczne dla pracy toru są ruchy poziome podłoża, które na skutek działania sił tarcia na styku rusztu torowego z przesuwającym się podłożem wywołują dodatkowe siły podłużne N_g , których rozkład na zboczu niecki przedstawiono schematycznie na rys. 2b (siły ściskające odcinek 12, siły rozciągające - odc. 23). Dodatkowe siły ściskające od wpływów górniczych, łącznie z siłami ściskającymi wywołanymi przez zmiany temperatury szyn i oddziaływania taboru, mogą łatwiej spowodować lokalną utratę stateczności toru aniżeli w torze położonym poza terenami szkód górniczych, w tych samych warunkach zmian termicznych. Należy zaznaczyć, że na rys. 2b przedstawiono rozkład sił podłużnych dla toru bezstykowego, który - jak wiadomo - stanowi ustrój konstrukcyjnie ciągły na całej długości. Metodę obliczeń dodatkowych sił N_g dla takiego toru podaje praca [2]. Tory stykowe, powszechnie stosowane na terenach górniczych, na skutek szybkiego zaniku luzów między szynami już przy niewielkich ruchach podłoża pracują w rzeczywistości jak ustroje ciągłe. Dlatego też analizując wpływ przemieszczeń poziomych podłoża na pracę torów stykowych można również wykorzystać rozkład sił N_g z rys. 2b.

Wpływ nierównomiernych obniżen terenu pod torem objawia się jego biernym deformowaniem się za terenem, bez istotnych zmian w układzie sił wewnętrznych w torze. Towarzyszy temu tylko zazwyczaj powstawanie lokalnych deformacji toru w płaszczyźnie pionowej. Deformacje te wynikają głównie stąd, że rzeczywisty kształt profilu niecki obniżeniowej wykazuje zwykle pewne losowe odchylenia od przyjętego modelu matematycznego, jakim opisuje się wielkości obniżen terenu, korzystając ze znanych teorii prognozowania wpływów górniczych na powierzchnię terenu. Zjawisko to ilustruje rys. 2a.

Istota mechanizmu przebiegu tego zjawiska jest złożona. W wyniku prowadzonej eksploatacji górniczej pewne obszary górotworu ulegają destrukcji. Taki ośrodek dzieli się na liczny zbiór brył skalnych o różnej wielkości, które przemieszczają się w kierunku wybranych przeźrzeni pokładu. Bryły te zsuwają się w kierunku wyrobiska tworząc lokalne nierówności na powierzchni wyginającego się podłoża (rys. 2a), których wielkość jest zależna od: rodzaju skał budujących górotwór, rodzaju i grubości nakładu, głębokości zalegania pokładu, systemu eksploatacji górniczej, prędkości wybierania. Wskutek występowania lokalnych nierówności tor kolejowy



Rys. 2. Rzeczywisty przebieg deformacji terenu na zboczu niecki oraz rozkład sił podłużnych N_g od wpływów górniczych w długiej budowli liniowej
 Fig. 2. Real course of site deformations on the slope of a coalmining area and the distribution of the longitudinal forces N_g in result of mining damages in a long track structure

wy, ze względu na swoją sztywność na zginanie, może utracić kontakt z podłożem na pewnych odcinkach, co wpływa niekorzystnie na warunki jego użytkowania (zmniejszenie stateczności toru, wzrost oddziaływań dynamicznych taboru na tor). Zagadnienie to zostało rozpatrzone w pracy [1].

Tematem niniejszej pracy natomiast jest analiza możliwości samoczynnego wygięcia się ku górze toru, który spoczywając na wypukłej nierówności lokalnej podłoża (rys. 2a), jest jednocześnie ściskany maksymalną siłą $H = N_g + N_t$, gdzie: N_g - siła ściskająca od ruchów poziomych podłoża (rys. 2b), N_t - siła ściskająca od zmian temperatury szyn.

Takie samorzutne wygięcie się toru ku górze w przypadku zadziaania samych tylko impulsów zewnętrznych, wywołanych np. ruchem pociągów oraz utrwalenie postaci tak odkształconego toru (wygięty ku górze tor pozostaje w równowadze pod działaniem siły ściskającej H) mogą poważnie zagrozić bezpieczeństwu ruchu pociągów. Utrata kontaktu ściskanego toru z podłożem, jeżeli wystąpi na odpowiednio długim odcinku, może spowodować istotne osłabienie oporu poprzecznego podsypki i tym samym może doprowadzić do lokalnej utraty stateczności toru. Zagadnienie to jak dotąd nie było przedmiotem analiz w literaturze technicznej. Wyjaśnienie go ma ważny aspekt praktyczny, gdyż odpowie również na pytanie: jaki jest wpływ lokalnych deformacji profilu, wywołanych nierównościami podłoża, na stateczność eksploatowanego toru bezstykowego także i na terenach niegórnicych.

2. RÓWNOWAGA ŚCISKANEGO, PROSTEGO TORU PODNIESIONEGO Z ZEWNĄTRZ PRZYŁOŻONĄ SIŁĄ

Rozpatrujemy równowagę układu pokazanego na rys. 4a, w którym tor jako ważki pręt o ciężarze g i sztywności na zginanie w płaszczyźnie pionowej EJ, ściskany siłą osiową H , spoczywający pierwotnie na sztywnym, nierównym podłożu o promieniu R_0 , zostaje podniesiony z zewnątrz przyłożoną siłą Q do postaci wygiętej (1) na długości l . W analizie, którą przeprowadza się w oparciu o pracę [1], pomija się wpływ zmian długości osi toru na przebieg jego ugięć w płaszczyźnie pionowej.

Z uwagi na symetrię układu, rozpatrujemy tylko prawą część pręta CB. Niech nierówność lokalną podłoża górniczego opisuje funkcja:

$$y_p = \frac{1}{2R_0} \left(\frac{l^2}{4} - x^2 \right) \quad (1)$$

Dla

$$x = 0, y_p = f_0 = \frac{l^2}{8R_0} \quad (1a)$$

Moment zginający w przekroju odległym o x wynosi:

$$M_x = M_c + H(f - y) + \frac{Q}{2}x + g\frac{x^2}{2} \quad (2)$$

Z równania różniczkowego osi odkształconej:

$$EJ \frac{d^2 y}{dx^2} = M_x \quad (3)$$

otrzymuje się, po podstawieniu w nim wyrażenia (2):

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \beta^2 y = \frac{M_c}{EJ} + \beta^2 f + \frac{Q}{2EJ}x - \frac{gx^2}{2EJ} \quad (4)$$

gdzie:

$$\beta^2 = \frac{H}{EJ} \quad (5)$$

Rozwiązaniem równania (4) jest całka:

$$y = C_1 \sin \beta x + C_2 \cos \beta x - \frac{gx^2}{2H} + \frac{g}{\beta^2 H} + \frac{Qx}{2H} + \frac{M_c}{H} + f \quad (6)$$

Cztery niewiadome: C_1 , C_2 , M_c , f obliczamy z następujących warunków brzegowych:

$$x = 0, \quad y = f, \quad \frac{dy}{dx} = 0, \quad (7)$$

$$x = l, \quad y = 0, \quad \frac{dy}{dx} = \frac{dy_p}{dx} \quad (8)$$

Uwzględniając wyrażenia (1) i (6) w (7) i (8) otrzymujemy:

$$C_1 = -\frac{Q}{2H\beta} \quad (9)$$

$$C_2 = \left(\frac{1}{R_0} + \frac{gl}{H} + \frac{Q}{H}\right) \frac{1}{2\beta \sin \frac{\beta l}{2}} - \frac{Q}{2H\beta} \operatorname{ctg} \frac{\beta l}{2}, \quad (10)$$

$$M_c = \frac{Q}{2\beta} \operatorname{ctg} \frac{\beta l}{2} - \left(\frac{1}{R_0} + Q - gl\right) \frac{1}{2\beta \sin \frac{\beta l}{2}} - \frac{g}{\beta^2} \quad (11)$$

$$f = \frac{Q}{2H\beta} \sin \frac{\beta l}{2} + \left[\left(\frac{1}{R_0} + \frac{Q - gl}{H}\right) \frac{1}{2\beta \sin \frac{\beta l}{2}} - \frac{Q}{2H\beta} \operatorname{ctg} \frac{\beta l}{2}\right] (1 - \cos \frac{\beta l}{2}) + \frac{gl^2}{2H} - \frac{Ql}{4H} \quad (12)$$

Wyrażenie (12) zapisujemy w nieco innej postaci:

$$f = \frac{g_1^2}{4H} \left[\left(\frac{1}{2} - \frac{1 - \cos v}{v \sin v} \right) \left(1 - \frac{2Q}{g_1} \right) + \varrho \frac{1 - \cos v}{v \sin v} \right], \quad (13)$$

gdzie:

$$v = \frac{\beta l}{2} \quad (14)$$

$$\varrho = \frac{H}{R_0 g} \quad (15)$$

Związek między Q i l wyznaczamy z warunku:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{d^2 y}{dx^2}, \quad \text{dla } x = \frac{l}{2} \quad (16)$$

Uwzględniając w równaniu (16) zależności (1), (6), (9), (10), (11) i (12) dostajemy związek:

$$\frac{g}{\beta^2} \left[(\varrho - 1) \left(1 - \frac{v}{\operatorname{tg} v} \right) + \frac{Q}{g_1} \cdot \frac{v(1 - \cos v)}{\sin v} \right] = 0 \quad (17)$$

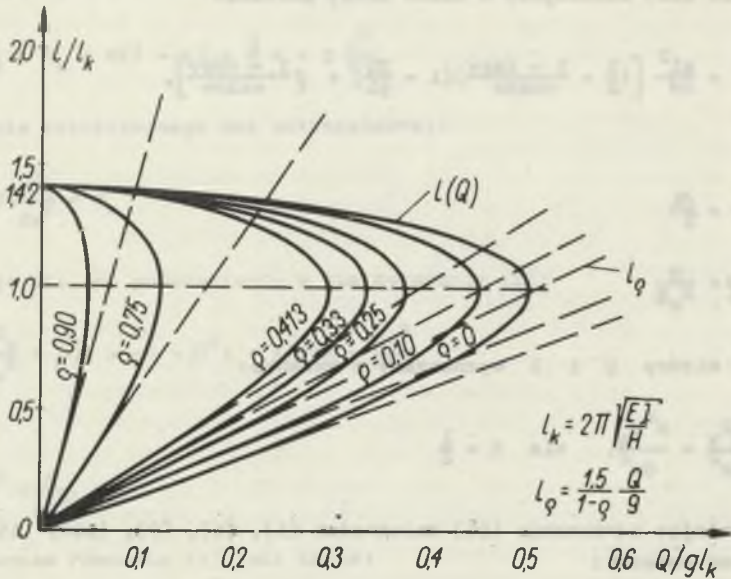
Z równania (17) obliczamy $\frac{Q}{g_1}$, przy założeniu, że $\frac{g}{\beta^2} \neq 0$:

$$\frac{Q}{g_1} = \frac{(1 - \varrho)(\sin v - v \cos v)}{v(1 - \cos v)}. \quad (18)$$

Uwzględniając wyrażenie (18) w zależności (13), otrzymujemy:

$$f = \frac{gEJ}{H^2} v^2 \left\{ \left(\frac{1}{2} - \frac{1 - \cos v}{v \sin v} \right) \left[1 - \frac{2(1 - \varrho)(\sin v - v \cos v)}{v(1 - \cos v)} \right] + \varrho \frac{1 - \cos v}{v \sin v} \right\}. \quad (19)$$

Korzystając z zależności (18) i (19) przedstawiono na rys. 3 i na rys. 4b relacje $l(Q)$ i $f(Q)$ we współrzędnych bezwymiarowych.

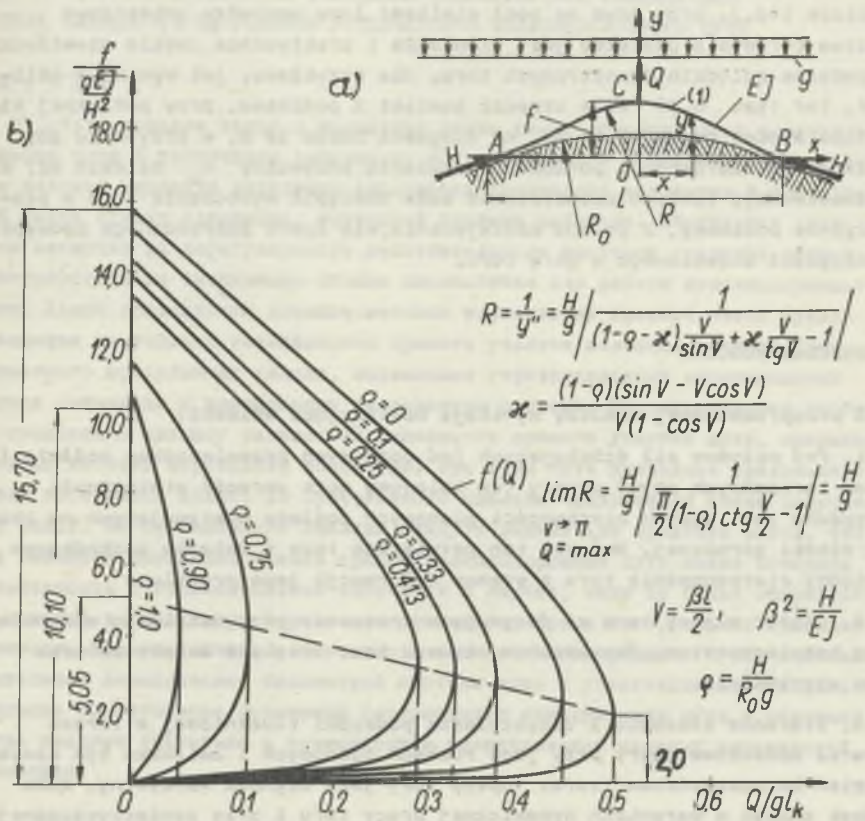
Rys. 3. Wykres zależności $l(Q)$ Fig. 3. Diagram of the relation $l(Q)$

Z analizy wykresów $l(Q)$ i $f(Q)$ wynika, że w przebiegu ugięć ściskającego toru, spowodowanych z zewnątrz przyłożoną siłą Q , można wyróżnić dwie charakterystyczne, z technicznego punktu widzenia, bardzo interesujące fazy. Pierwsza, gdy wzrośnięcie f i l towarzyszy wzrost Q od 0 do Q_{\max} oraz druga - w której dalszemu wzrośnięciu f i l odpowiada malejąca od Q_{\max} do zera wartość siły Q , która utrzymuje w równowadze wygięty tor. Zmianę tę wyczuwa się wyraźnie przy podnoszeniu toru dźwignikami hydraulicznymi.

Ten szczególny przypadek odkształcenia toru w drugiej fazie, któremu odpowiada f_{\max} i l_{\max} przy $Q = 0$, nazywamy utrwaleniem postaci wygiętego toru. Przypadek utrwalenia postaci, jak również stany go poprzedzające są niebezpieczne dla toru z uwagi na możliwość jego wybożenia w płaszczyźnie poziomej. Utrwalenie postaci może nawet wystąpić samorzutnie, gdy na ugięty tor na długości:

$$l_k = 2\pi\sqrt{EJ/H},$$

przy $Q = Q_{\max}$, zadziałają dodatkowe impulsy zewnętrzne. Promień krzywizny toru wygiętego siłą Q_{\max} , w wierzchołku fali, równy jest wówczas $R = \frac{H}{g}$.



Rys. 4. Schemat obliczeniowy toru oraz wykres zależności $f(Q)$

Fig. 4. Diagram of track calculations and of the relation $f(Q)$

3. WPŁYW KRZYWIZNY PODŁOŻA NA WIELKOŚCI Q I f

Z analizy wykresów $l(Q)$ i $f(Q)$ na rys. 3 i 4b dowiadujemy się o wpływie, jaki wywiera krzywizna podłoża $1/R_0$, zawarta w wyrażeniu $q = \frac{H}{R_0 g}$ (15), na wielkości siły Q i strzałki ugięcia f . Wraz ze wzrostem krzywizny podłoża, któremu odpowiada wzrost wartości q od zera do jedności ($R_0 = H/g$), wartość siły zewnętrznej Q , potrzebnej do utrzymania podniesionego toru w równowadze, maleje od $Q_{\max} = 0,5 gl_k$ do zera, natomiast wartość strzałki ugięcia toru f maleje do wartości f_0 , określonej wzorem (1a). Jak stąd wynika, w przypadku gdy ściskany siłą H tor leży na wygiętym ku górze podłożu, o promieniu krzywizny R_0 bliskim H/g , wówczas może dojść do utraty kontaktu jego z podłożem i utrwalenia się postaci samorzutnie wygiętego w górę rusztu torowego na długości $1,42 l_k$

nawet pod działaniem impulsów zewnętrznych (drgania od taboru, tąpnięcia górnicze itp.), przy czym na ogół wielkość luzu pomiędzy uniesionym rusztem torowym a podłożem jest niewielka i praktycznie zwykle niewidoczna podczas oględzin zewnętrznych toru. Dla przykładu, jak wynika z obliczeń, tor typu S 49 może utracić kontakt z podłożem, przy podłużnej sile ściskającej równej 1,82 MN, na długości około 18 m, w przypadku gdy spoczywa na nierówności podłoża o promieniu krzywizny R_0 bliskim 827 m. W konsekwencji takiego podniesienia może nastąpić wyboczenie toru w płaszczyźnie poziomej, z powodu zmniejszenia się oporu poprzecznego podsypki na długości uniesionego w górę toru.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Z przeprowadzonej analizy wynikają następujące wnioski:

1. Pod wpływem sił ściskających (od poziomych przemieszczeń podłoża i zmian termicznych szyn) prosty tor kolejowy może utracić stateczność w przypadku zbyt dużych nierówności pionowych podłoża występujących na zboczu niecki górniczej. Wniosek ten potwierdza tezę o związku zachodzącym pomiędzy statecznością toru a stanem deformacji jego profilu.

2. Ciężar własny toru ma decydujące znaczenie przy ustalaniu warunków jego bezpieczeństwa. Zwiększenie ciężaru toru zwiększa bezpieczeństwo jego użytkowania.

3. Staranne ułożenie i zagęszczenie podsypki tłuczniowej w torach stwarza dodatkowe opory przy jego ruchach pionowych i zwiększa tym samym stopień bezpieczeństwa toru. Wpływ ten, jako czynnik korzystny, może jednak zmaleć w warunkach dynamicznej pracy toru i przy zanieczyszczonej podsypce tłuczniowej.

LITERATURA

- [1] Szumierz W.: Analiza utraty kontaktu prostego toru bezstykowego z podłożem. Arch. Inż., Łód. t. XIX, z. 2, 1973.
- [2] Szumierz W.: Wpływ poziomych deformacji górniczych podłoża na pracę budowli liniowych. Arch. Inż. Łód. t. XXII, z.4, 1976.

ВЛИЯНИЕ МЕСТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ОСНОВАНИЯ ПОДВЕРГНУТОГО ВОЗДЕЙСТВИЮ
ГОРНЫХ РАЗРАБОТОК НА УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Резюме

В работе доказан тезис о имеющейся связи между устойчивостью железнодорожного пути и состоянием деформации его продольного профиля. В начале статьи изложен механизм появления деформаций грунтового основания в зоне краевой части мульды сдвижения, вызванной горными работами. Обращается при этом внимание на нерегулярность действительного процесса оседания земной поверхности и на вытекающие отсюда последствия для работы железнодорожного пути. Далее исследуется влияние местных неровностей краевой части мульды сдвижения на условия устойчивости прямого участка железнодорожного пути сжимаемого продольными силами, вызванными горизонтальными перемещениями грунта основания и изменениями температуры рельсов. Рассматриваемая проблема сводится к анализу равновесия сжимаемого прямого участка пути, опирающегося на местную неровность основания, при этом путь приподнят приложенной к нему поперечной силой. Из проведенного анализа приложенной к нему поперечной силой. Из проведенного анализа следует важный для практики вывод, что под влиянием сжимающих усилий прямой железнодорожный путь может потерять устойчивость в горизонтальной плоскости в случае, если он будет опираться на крупную вертикальную неровность основания. Кроме того, анализ приводит к выводу, что увеличение собственного веса железнодорожного пути, а также тщательное выравнивание балластной постели шпал и уплотнение щебеночного балласта способствуют повышению безопасности эксплуатации пути в условиях, когда следует считаться с возможностью возникновения местных неровностей основания.

THE EFFECT OF LOCAL DEFORMATION OF THE SUBSOIL IN COAL-MINING AREAS
ON THE STABILITY OF RAILWAY TRACKS

Summary

The paper proves the argument that there is some relation between the stability of the railway track and the deformations of its longitudinal profile. First the mechanism of the phenomenon of subsoil deformations along the slopes of a trough is being discussed, paying special attention to the irregular, actual alignment of soil depressions in result of mining activities, as well as to the influence of such mining damages on the behavior of the railway track. In the further part of the paper the author deals with the effect of local irregularities on the slopes of a coal basin on the stability of a straight railway track, compressed by longitudinal forces caused by horizontal displacements of the subsoil as well as by thermal changes in the rails. The problem was reduced to an analysis of the equilibrium of a compressed straight stretch of railway

track situated on a locally deflected subsoil raised from outside by transverse forces. This analysis leads to the conclusion that due to compressive forces a straight track can lose its stability in the horizontal plane if it is situated on some considerable vertical unevenness of the subsoil. Moreover, this analysis implies that an increase of the dead-weight of the railway track and a better compaction of the breakstone ballast warrant a greater safety in the case of the existence of local irregularities of the subsoil.