

Wiesław SZUMIERZ

Anna ŻAK

Krzysztof CELIPALSKI

WPLYW LOKALNYCH NIERÓWNOŚCI PODŁOŻA GÓRNICZEGO NA ZACHOWANIE SIĘ NAWIERZCHNI DROGOWEJ W PŁASZCZYŹNIE PIONOWEJ W UJĘCIU STATYSTYCZNYM

Streszczenie. W artykule przedstawiono model współdziałania nawierzchni z deformowanym górniczo podłożem, który zanalizowano metodą widmową. Określono krytyczną długość fali nierówności, przy której nawierzchnia wykazuje naj mniejszą odporność w płaszczyźnie pionowej na wpływ lokalnych nierówności podłoża.

1. WSTĘP

Trwałe odkształcenia podłoża występujące w obrębie zbocza niecki górniczej są źródłem powstawania (i powiększania się w czasie eksploatacji) deformacji nawierzchni drogowej. Dla pracy konstrukcji nawierzchni szczególnie niekorzystne są nierównomierne przebiegi deformacji jej podłoża w płaszczyźnie pionowej, ujawniające się w postaci lokalnych nierówności kształtu zbocza niecki górniczej. Prowadzą one bowiem do powstawania i narastania lokalnych nierówności w profilu podłużnym nawierzchni. Do trwałych lokalnych odkształceń podłoża, które sumują się z odkształceniami górniczymi, dochodzi również w wyniku eksploataowania drogi. Nawierzchnia drogowa przekazując obciążenia użytkowe na podłoże powoduje bowiem jego odkształcenia o charakterze zarówno sprężystym, jak i trwałym. Wzrost lokalnych nierówności nawierzchni, które jak wiadomo, tworzą układ przypadkowych wymuszeń kinematycznych dla pojazdów będących w ruchu, ujemnie oddziałuje na spokojność i bezpieczeństwo jazdy samochodów.

Gdy deformacje nawierzchni osiągają wartości graniczne, wykonuje się jej naprawę poprzez ułożenie nakładki (dodatkowej warstwy jezdnej), dzięki czemu przywraca się drodze pełną bądź ograniczoną (ze względu na rodzaj i zakres naprawy) sprawność eksploatacyjną. Graniczne wartości deformacji nawierzchni można określić na podstawie analizy ruchu pojazdów, wychodząc z warunków zapewniających bezpieczeństwo i spokojność jazdy.

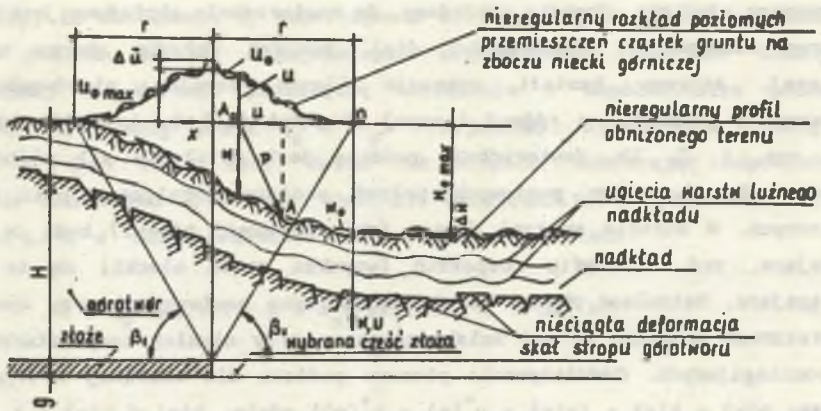
Prędkość narastania deformacji decyduje o zakresie i częstotliwości napraw nawierzchni i warunkuje konieczność zapewnienia odpowiedniego potencjału naprawczego. Jest więc ono ważnym zagadnieniem zarówno technicznym, jak i ekonomicznym.

Proces tworzenia się w czasie deformacji nawierzchni i ich powiększania na terenach oddziaływań górniczych zależy z jednej strony od konstrukcji i od intensywności eksploataowania nawierzchni, z drugiej strony natomiast od prędkości i nierównomierności obniżeń podłoża gruntowego podczas formowania się pod trasą drogową zbocza niecki górniczej. Konstrukcję charakteryzują zarówno parametry podłoża, jak i rodzaj oraz sztywność warstw konstrukcyjnych nawierzchni. Natomiast intensywność eksploataowania trasy jest tu rozumiana jako wielkość nacisków kół i prędkość jazdy pojazdów oraz obciążenia ogólnego, jakie przenosi dany odcinek trasy w określonym czasie. Z kolei prędkość i nierównomierność obniżeń podłoża gruntowego zależy m.in. od rodzaju górotworu (zwięzły, plastyczny), od grubości nakładu, systemu eksploatacji górniczej (zawał, podsadzka hydrauliczna) oraz od prędkości przemieszczania się frontu robót górniczych. I tak - eksploatacja prowadzona systemem na zawał zwiększa prędkość obniżeń terenu w stosunku do eksploatacji na podsadzkę hydrauliczną. Zjawisko nierównomierności, rozumiane tutaj głównie jako proces kształtowania się nieregularnej postaci zbocza niecki, tłumaczyć można z kolei następująco: w fazie wyjściowej w górotworze istnieją tzw. szczeliny zerowe, takie jak: płaszczyzny uskokowe, kłiwiaż, płaszczyzny styku warstw o różnej wytrzymałości, płaszczyzny spękań itp. W wyniku prowadzonej eksploatacji zmieniają one swoją szerokość, co prowadzi do stycznego przesunięcia sąsiadujących bloków skalnych stanowiących górotwór. Zakładając, że górotwór jest ośrodkiem kruchym i odkształca się w sposób nieciągły (pomija się przypadki, kiedy górotwór jest złożony ze skał wybitnie plastycznych), zjawisko powstawania lokalnych nierówności kształtu zbocza niecki tłumaczyć można jako zsuwanie się bloków spękanego górotworu w kierunku wybranych przestrzeni pokładu i ich spiętrzeń w rejonie dolnej krawędzi wyrobiska. W efekcie prowadzi to do tworzenia się na powierzchni terenu progów o różnej wysokości.

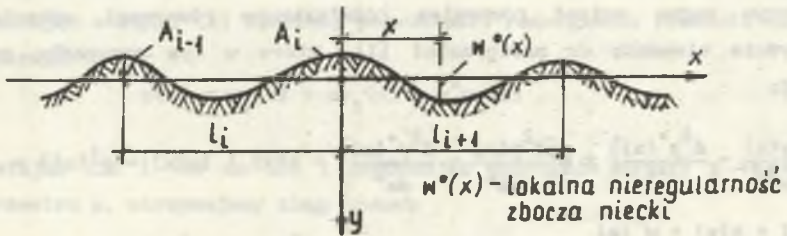
Duża intensywność eksploataowania nawierzchni oraz wzrost prędkości i nierównomierności obniżeń górniczych podłoża przyspiesza proces deformowania nawierzchni, co wymaga wprowadzania ograniczeń prędkości.

2. STATYSTYCZNY MODEL WSPÓLDZIAŁANIA NAWIERZCHNI DROGOWEJ Z DEFORMUJĄCYM SIĘ LOKALNIE PODŁOŻEM GÓRNICZYM W PŁASZCZYŹNIE PIONOWEJ.

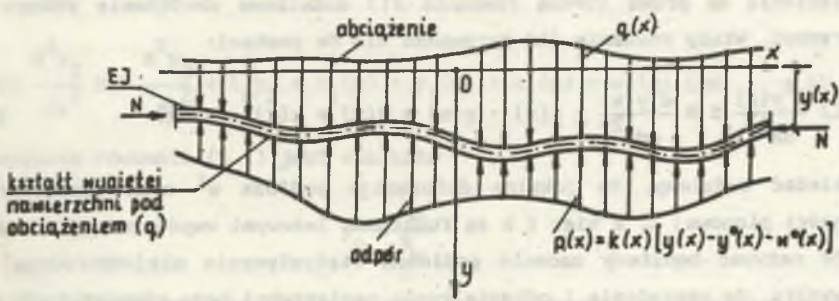
Rozpatrujemy odkształconą wstępnie nawierzchnię warstwową, o sztywności na zginanie w płaszczyźnie pionowej EJ, która jako nieskończenie długi pręt sprężysty spoczywa na podłożu sprężystym typu winklerowskiego, za jakie uważa się tutaj podłoże gruntowe. Zakładamy zatem, że zarówno nawierzchnia, jak i



Rys. 1. Nieregularny przebieg deformacji podłoża na zboczu niecki górniczej
 Fig. 1. Irregular distribution of the subsidence on the mining slope



Rys. 2. Fragment kształtu zbocza niecki
 Fig. 2. Shape of the slope of mining subsidence



Rys. 3. Schemat obliczeniowy nawierzchni drogowej
 Fig. 3. Algorithm of design of the road surface

podłoże w procesie współdziałania pracują w stanie sprężystym, co w stosunku do rzeczywistości stanowi pewną idealizację i przybliżenie przebiegu opisywanego zjawiska. Ponadto zakładamy, że nawierzchnia obciążona jest tylko ciężarem własnym o intensywności $q(x)$, podlega wpływom zbrocza niecki górniczej, którego kształt wykazuje liczne lokalne nierówności w płaszczyźnie pionowej, o różnej losowej długości fali l_1 i amplitudzie A_1 (por. rys. 1, 2, 3). Nawierzchnia poddana jest działaniu sił podłużnych pochodzących od wpływu poziomych pełzań podłoża górniczego oraz zmian termicznych. W strefie spełzań gruntu (wklęsła część niecki) będą to siły ściskające, zaś w strefie rozpełzań (wypukła część niecki) są to siły rozciągające. Natomiast zmiany termiczne tworzywa nawierzchni przy wysokich temperaturach prowadzą do sił ściskających, a przy niskich temperaturach do sił rozciągających. Oddziaływania pionowe podłoża dla odciętej x (rys. 3) wynoszą: $p(x) = k(x) \cdot [y(x) - y^\circ(x) - w^\circ(x)]$ gdzie: $k(x) = C(x) \cdot b$, przy czym $C(x)$ oznacza współczynnik podłoża, b - szerokość rozpatrywanego pasa nawierzchni, $y^\circ(x)$ - początkowe nierówności nawierzchni, $w^\circ(x)$ - lokalne nierówności podłoża.

Model matematyczno-mechaniczny współdziałania nawierzchni z podłożem górniczym można opisać równaniem różniczkowym równowagi odkształconego sprężystość elementu dx nawierzchni [1], które w tym przypadku przybiera postać:

$$EJ \left[\frac{d^4 y(x)}{dx^4} - \frac{d^4 y^\circ(x)}{dx^4} \right] \pm N \left[\frac{d^2 y(x)}{dx^2} - \frac{d^2 y^\circ(x)}{dx^2} \right] + k(x) \cdot [y(x) - y^\circ(x)] =$$

$$= q(x) + k(x) \cdot w^\circ(x) \quad (1)$$

W dalszym ciągu analizy pomijamy, w celu uproszczenia zapisu równania wstępne nierówności nawierzchni $y^\circ(x)$, co jak można wykazać, nie zmienia ogólności prowadzonych rozważań, ponieważ pomijane składniki przedstawiają po przeniesieniu na prawą stronę równania (1) dodatkowe obciążenie zewnętrzne nawierzchni. Wtedy równanie (1) sprowadza się do postaci:

$$EJ \frac{d^4 y(x)}{dx^4} \pm N \frac{d^2 y(x)}{dx^2} + k(x) \cdot y(x) = q(x) + k(x) \cdot w^\circ(x) \quad (2)$$

Zakładając będziemy, że lokalne deformacje podłoża w° oraz współczynnik podatności pionowej C , a więc i k są funkcjami losowymi współrzędnej x (takie podłoże nazywać będziemy umownie podłożem statystycznie niejednorodnym). Z tego wynika, że naprężenia i odkształcenia nawierzchni będą również funkcjami losowymi współrzędnej x . Analizując zagadnienie korzystać będziemy z metod statystycznych. Z uwagi na podobieństwo zjawiska współdziałania nawierzchni z

niejednorodnym podłożem górniczym do zagadnień drgań losowych ustrojów sprężystych zastosujemy metodę analizy widmowej, przedstawioną w pracy [2].

Załóżmy, że obciążenie q , współczynnik sztywności podłoża k i nierówność lokalna podłoża w° są stacjonarnymi ergodycznymi funkcjami losowymi współrzędnej x . Wartość przeciętną obciążenia i współczynnika podłoża oznaczymy odpowiednio przez q_0 i k_0 . Przyjmujemy, że wartość przeciętna funkcji w° jest równa zero. Można tak uczynić, wybierając odpowiednie położenie układu osi x, y (por. rys. 2). Uwzględniając powyższe założenia, funkcje: q, k, w° można przedstawić w następującej postaci:

$$q = q_0 + \mu q_1(x) ; k = k_0 + \mu k_1(x) ; w^\circ = \mu w_1^\circ(x) \quad (3)$$

gdzie:

$q_1(x), k_1(x), w_1^\circ(x)$ są to stacjonarne, ergodyczne funkcje losowe o wartościach przeciętnych równych zero, zaś μ - mały parametr. Wprowadzenie małego parametru odpowiada założeniu, że niejednorodności statystycznie są małe (prawdopodobieństwo dużych odchyłeń od wartości przeciętnych jest dostatecznie małe).

Uwzględniając związki (3) będziemy poszukiwali rozwiązania równania (2) w postaci szeregu

$$y(x) = y_0(x) + \mu y_1(x) + \mu^2 y_2(x) \dots \quad (4)$$

Podstawiając (3) i (4) do (2) i porównując następnie wyrazy z tą samą potęgą parametru μ , otrzymujemy ciąg równań:

$$EJ \frac{d^4 y_0}{dx^4} \pm N \frac{d^2 y_0}{dx^2} + k_0 \cdot y_0 = q_0 \quad (5.1)$$

$$EJ \frac{d^4 y_1}{dx^4} \pm N \frac{d^2 y_1}{dx^2} + k_0 \cdot y_1 = q_1(x) - k_1(x) \cdot y_0 + k_0 \cdot w_1^\circ(x) \quad (5.2)$$

$$EJ \frac{d^4 y_2}{dx^4} \pm N \frac{d^2 y_2}{dx^2} + k_0 y_2 = k_1(x) \cdot y_1(x) + k_1(x) \cdot w_1^\circ(x) \text{ itd.} \quad (5.3)$$

Rozwiązaniem równania (5.1) jest wielkość

$$y_0 = \frac{q_0}{k_0} \quad (6)$$

która charakteryzuje ugięcie nawierzchni w warunkach jednorodnych, to jest dla przypadku $q = q_0, k = k_0$, przy czym ugięcie to ma wartość stałą dla każdego x z przedziału od $-\infty$ do $+\infty$.

Z punktu widzenia potrzeb analizy statystycznej zagadnienia istotne jest wyrażenie

$$y(x) - y_0 = \mu y_1(x) + \mu^2 y_2(x) + \dots \quad (7)$$

Wartość przeciętna wyrażenia (7) jest równa zero, czyli

$$E [y(x) - y_0] = 0 \quad (8)$$

Natomiast średni kwadrat wyrażenia (7) określa wzór

$$E \{ [y(x) - y_0]^2 \} = \mu^2 E [y_1^2(x)] + 2\mu^3 E [y_1(x) y_2(x)] + \dots \quad (9)$$

gdzie litera E oznacza operację uśredniania po współrzędnej x .

Ze wzoru (9) wynika, że z dokładnością do μ^2 średnie kwadraty $E\{[y(x)-y_0]^2\}$ i $E[y_1^2(x)]$ są sobie równe. Ta uwaga odnosi się również do odpowiednich funkcji korelacyjnych. Biorąc pod uwagę, że parametr μ jest dostatecznie mały, ograniczamy się w dalszej analizie do rozpatrywania jedynie funkcji $y_1(x)$.

W dalszym ciągu funkcje $\mu y_1(x)$, $\mu q_1(x)$, $\mu k_1(x)$ i $\mu w_1^0(x)$ będziemy oznaczali odpowiednio przez $y_1(x)$, $q_1(x)$, $k_1(x)$ i $w_1^0(x)$. Dla funkcji $y_1(x)$ mamy więc równanie

$$EJ \frac{d^4 y_1}{dx^4} \pm N \frac{d^2 y_1}{dx^2} + k_0 \cdot y_1 = r(x) \quad (10)$$

gdzie:

$$r(x) = q_1(x) - k_1(x) \cdot y_0 + k_0 \cdot w_1^0(x) \quad (11)$$

reprezentuje tutaj wpływ niejednorodności deformującego się podłoża, to jest przedstawia wypadkowy układ losowych obciążeń zewnętrznych wymuszających sprężyste przemieszczenia pionowe nawierzchni opisane funkcją losową $y_1(x)$.

Rozpatrzmy bliżej funkcję losową $r(x)$. Jej funkcja korelacyjna

$$K_r(\Delta x) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{L/2} r(x) r(x + \Delta x) dx \quad (12)$$

gdzie: $\Delta x = x'' - x'$ (różnica parametru), a L - długość odcinka, na którym rozpatrujemy realizację procesu stochastycznego $r(x)$, jest parzystą funkcją Δx .

Załóżmy, że może być ona przedstawiona za pomocą cosinusowej transformacji Fouriera

$$K_r(\Delta x) = \int_0^{\infty} \Phi_r(\omega) \cos \omega \Delta x d\omega \quad (13)$$

Transformacja odwrotna ma postać

$$\Phi_r(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} K_r(\Delta x) \cos \omega \Delta x d(\Delta x) \quad (14)$$

Wprowadzona powyższymi wzorami funkcja $\Phi_r(\omega)$, zależna od częstotliwości mającej wymiar m^{-1} , nazywa się gęstością widmową stacjonarnego procesu stochastycznego $r(x)$. Dla $\Delta x = 0$ otrzymujemy

$$E[r^2(x)] = \int_0^{\infty} \Phi_r(\omega) d\omega \quad (15)$$

W celu wyjaśnienia sensu gęstości widmowej zauważmy, że wielkość $E[r^2(x)]$ jest proporcjonalna do średniej mocy procesu stochastycznego. A zatem iloczyn $\Phi_r(\omega) d\omega$ odpowiada tej części mocy, która jest zawarta w przedziale częstotliwości od ω do $\omega + d\omega$.

Z kolei dla funkcji losowej $y_1(x)$ mamy

$$K_{y_1}(\Delta x) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{+L/2} y_1(x) \cdot y_1(x + \Delta x) dx \quad (16)$$

$$\Phi_{y_1}(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} K_{y_1}(\Delta x) \cos \omega \Delta x d(\Delta x) \quad (17)$$

przy czym zachodzi równość

$$\Phi_{y_1}(\omega) = \Phi_y(\omega)$$

Między gęstościami widmowymi funkcji losowych $r(x)$ - "wejścia" i $y_1(x)$ - "wyjścia" rozpatrywanego układu liniowego zachodzi dla każdego x dość prosta zależność

$$\Phi_{y_1}(\omega) = F(i\omega) \cdot F(-i\omega) \cdot \Phi_r(\omega) \quad (18)$$

gdzie $F(i\omega)$ oznacza tutaj funkcję "przenoszenia" układu, która wyraża się stosunkiem ustalonego rozwiązania równania liniowego (10) - opisującego zachowanie się układu - przy wymuszeniu harmonicznym $\exp(i\omega x)$ do tego wymuszenia.

Dla równania (10) otrzymujemy

$$F(i\omega) = - \frac{1}{EJ\omega^4 \pm N\omega^2 + k_0} \quad (19)$$

Uwzględniając (19) w zależności (18) otrzymujemy

$$\Phi_{y_1}(\omega) = \frac{\Phi_r(\omega)}{(EJ\omega^4 \pm N\omega^2 + k_0)^2} \quad (20)$$

Ze względów użytkowych (dopuszczalna prędkość jazdy) istotny jest dla nas rozkład krzywizny pionowej linii ugięcia nawierzchni, która przy małych ugięciach wyraża się wzorem $\kappa \approx \frac{d^2 y}{dx^2} \approx \frac{d^2 y_1}{dx^2}$. Nawierzchnia będzie wykazywać lepsze własności użytkowe, gdy wartości funkcji gęstości widmowej krzywizny jej osi będą małe.

Uwzględniając (20) oraz to, że gęstość widmowa pochodnej stacjonarnej funkcji losowej jest równa gęstości widmowej tej funkcji pomnożonej przez kwadrat częstości, otrzymujemy wzór na gęstość widmową krzywizny (druga pochodna) w postaci

$$\Phi_{\kappa}(\omega) = \frac{\Phi_r(\omega)\omega^4}{(EJ\omega^4 \pm N\omega^2 + k_0)^2} \quad (21)$$

Średni kwadrat krzywizny pionowej κ linii ugięcia nawierzchni wyraża się wzorem

$$E[\kappa^2] = \int_0^{\infty} \Phi_{\kappa}(\omega) d\omega \quad (22)$$

a odchylenie standardowe krzywizny osi wynosi wtedy

$$\sigma_{\kappa} = \sqrt{E[\kappa^2]}$$

Im większa będzie wartość σ_{κ} spowodowana niejednorodnymi warunkami pracy podłoża (wielkość $\Phi_r(\omega)$), tym własności użytkowe będą gorsze (konieczność ograniczeń prędkości).

Związek (21) można również zapisać w postaci następującej

$$\Phi_{\kappa}(\omega) = \frac{\Phi_r(\omega)\omega_0^4}{k_0^2} \cdot f_{\kappa}\left(\frac{\omega}{\omega_0}, \frac{N}{N_k}\right) \quad (24)$$

gdzie:

$$f_{\kappa}\left(\frac{\omega}{\omega_0}, \frac{N}{N_k}\right) = \frac{1}{\left[\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 \pm 2\frac{N}{N_k} + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2} \quad (25)$$

przy czym:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{4 \sqrt{k_0}}{EJ}} \quad (26)$$

a

$$N_k = 2 \sqrt{k_0 \cdot EJ} \quad (27)$$

N_k - krytyczna wartość siły ściskającej dla pręta prostego nieskończenie długiego w ośrodku sprężystym.

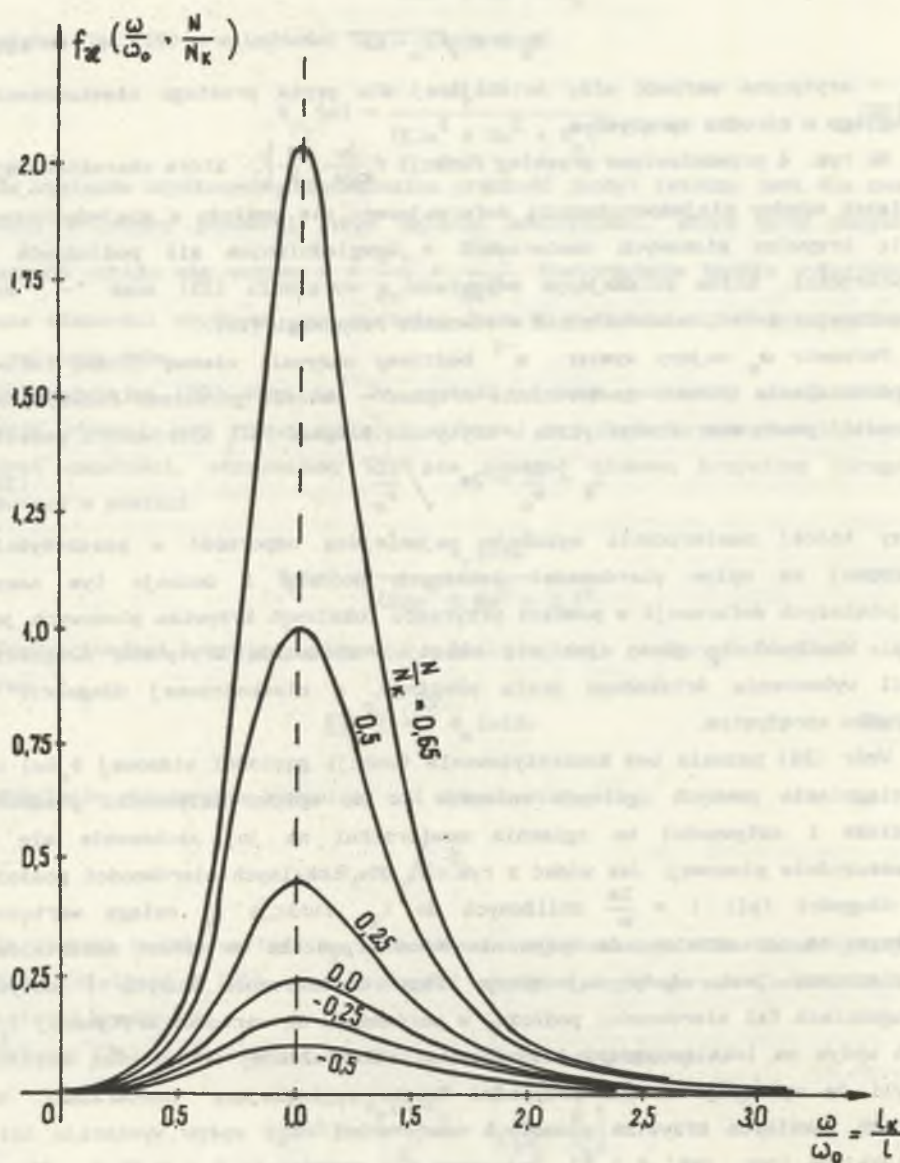
Na rys. 4 przedstawiono przebieg funkcji $f_{\kappa} \left(\frac{\omega}{\omega_0}, \frac{N}{N_k} \right)$, która charakteryzuje związek między niejednorodnością deformującego się podłoża a niejednorodnością krzywizn pionowych nawierzchni z uwzględnieniem sił podłużnych w nawierzchni. Siłom ściskającym odpowiada w wyrażeniu (25) znak "-", zaś rozciągającym "+", odwrotnie niż w równaniu równowagi (10).

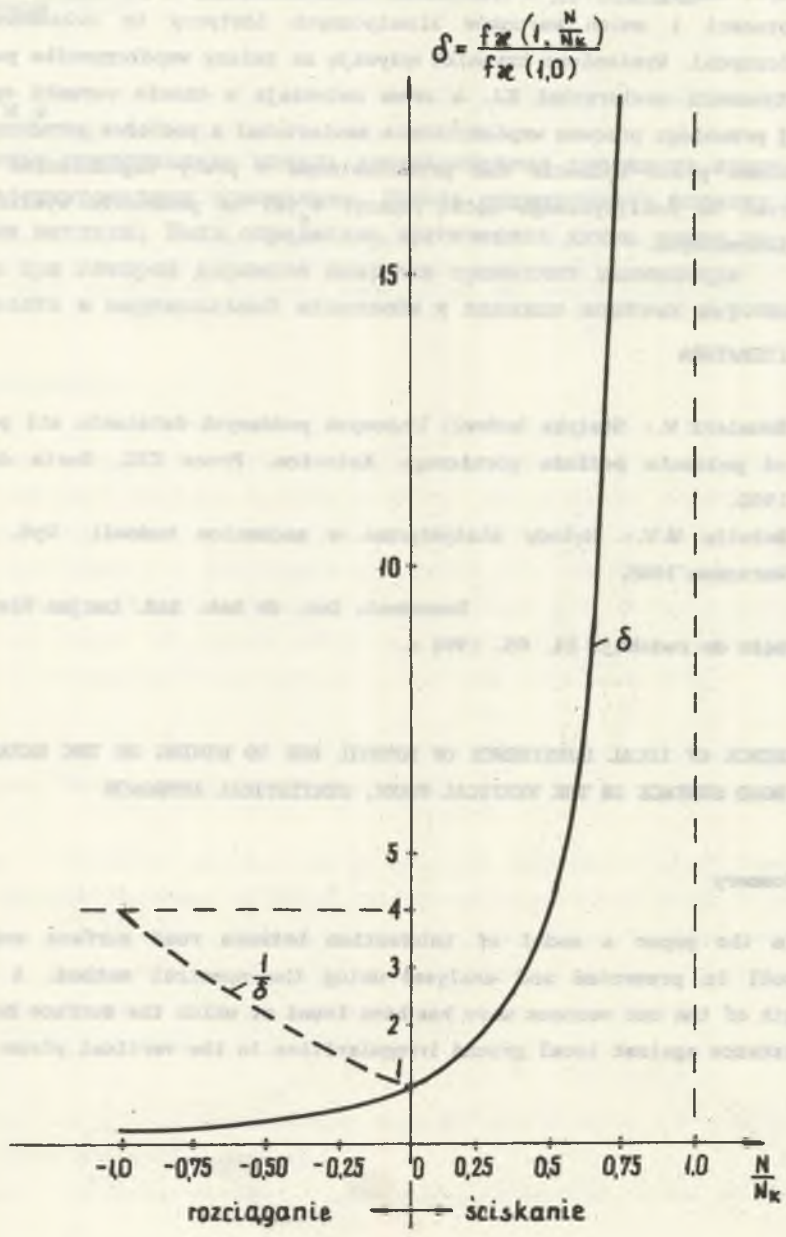
Parametr ω_0 mający wymiar m^{-1} będziemy nazywali własną liczbą falową współdziałania układu: nawierzchnia drogowa - podłoże górnicze. Pozwala ona określić pewną charakterystyczną - krytyczną długość fali nierówności podłoża

$$l_k = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{EJ}{k_0}} \quad (28)$$

przy której nawierzchnia wykazuje najmniejszą odporność w płaszczyźnie pionowej na wpływ nierówności lokalnych podłoża i doznaje tym samym największych deformacji w postaci przyrostu lokalnych krzywizn pionowych jej osi. Wielkość l_k jest, jak się okazuje, minimalną krytyczną długością fali wyboczenia ściskanego pręta prostego, o nieskończonej długości, w ośrodku sprężystym.

Wzór (24) pozwala bez konkretyzowania funkcji gęstości widmowej $\Phi_r(\omega)$ na wyciągnięcie pewnych ogólnych wniosków co do wpływu sztywności pionowej podłoża i sztywności na zginanie nawierzchni na jej zachowanie się w płaszczyźnie pionowej. Jak widać z rys. 4, dla lokalnych nierówności podłoża o długości fali $l = \frac{2\pi}{\omega}$ zbliżonych do l_k , funkcja f_{κ} osiąga wartości maksymalne, co oznacza, że wpływ nierówności podłoża na wzrost odkształceń nawierzchni jest wtedy największy. Przy dostatecznie dużych i małych długościach fal nierówności podłoża, w porównaniu do wartości krytycznej l_k , ich wpływ na lokalne zmiany krzywizn osi odkształconej nawierzchni maleje, czyli że występuje w tym przypadku "efekt wygładzający" nawierzchni. Na wzrost lokalnych krzywizn pionowych nawierzchni duży wpływ wywierają siły ściskające (por. rys. 4 i 5), zwłaszcza dla przedziału $N > 0,25 N_k$. Dla N dążącego do N_k funkcja f_{κ} osiąga nawet wartości nieskończenie duże. Natomiast wpływ sił rozciągających (rys. 4 i 5) daje efekt wygładzający nierówności nawierzchni, jednak o ograniczonym zakresie wpływu na nawierzchnię, mimo wystąpienia w niej nawet dużych sił rozciągających.

Rys. 4. Przebieg funkcji f_k Fig. 4. Diagram of the f_k function



Rys. 5. Przebieg funkcji δ (f_{κ} z rys. 4)
 Fig. 5. Diagram of the δ function (f_{κ} from Fig. 4)

Wielkości l_k i N_k , będące funkcją sztywności podłoża i nawierzchni, zależą także, oprócz rodzaju gruntu podłoża i stopnia ich komprymacji oraz rodzaju tworzywa nawierzchni, m.in. od: poziomych odkształceń górniczych podłoża, od wilgotności i zmian warunków klimatycznych (dotyczy to zwłaszcza zmian termicznych). Wymienione czynniki wpływają na zmiany współczynnika podłoża C i sztywności nawierzchni EJ , a zatem zmieniają w czasie warunki opisanego wyżej przebiegu procesu współdziałania nawierzchni z podłożem górniczym.

Dalsze prace badawcze nad przedstawionym w pracy zagadnieniem powinny zmierzać do analitycznego opisu funkcji $\phi_k(\omega)$ na podstawie wyników badań doświadczalnych.

LITERATURA

- [1] Szumierz W.: Statyka budowli liniowych poddanych działaniu sił poziomych od pełzania podłoża górniczego. Katowice. Prace GIG, Seria dodatkowa 1980.
- [2] Bołotin W.W.: Metody statystyczne w mechanice budowli. Wyd. Arkady, Warszawa 1968.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Łucjan Siewczyński

Wpłynęło do redakcji 24. 05. 1991 r.

INFLUENCE OF LOCAL SUBSIDENCE OF SUBSOIL DUE TO MINING ON THE BEHAVIOUR OF THE ROAD SURFACE IN THE VERTICAL PLANE, STATISTICAL APPROACH

Summary

In the paper a model of interaction between road surface and mining subsoil is presented and analysed using the spectral method. A critical length of the unevenness wave has been found at which the surface has lowest resistance against local ground irregularities in the vertical plane.

ВЛИЯНИЕ МЕСТНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ ГОРНОГО ОСНОВАНИЯ НА СОСТАВНЫЕ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ - ПО СТАТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Резюме

В статье представлена модель взаимодействия дорожного покрытия с деформированным основанием. Модель подвергалась анализу спектральным методом. Была определена критическая длина волны неровности при которой дорожное покрытие проявляет наименьшую устойчивость в вертикальной плоскости к влиянию местных неровностей.