



Zbigniew KOŁACZ

Dr inż. Zbigniew KOŁACZ, absolwent Wydz. Bud. Pol. Śl., specjalność "drogi żelazne". W 1983 r. uzyskał na Wydziale Budownictwa Pol. Śl. stopień doktora n.t. Adiunkt w Zakładzie Budowy Dróg Żelaznych Instytutu Budowy Dróg Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach

ANALIZA STRUKTURY I CHARAKTERU OPORU PODSYPKI W TORZE KOLEJOWYM

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę czynników decydujących o warunkach współpracy budowli liniowej z podłożem gruntowym, a w szczególności omówiono czynniki warunkujące wartości i charakter oporu podsypki w torze kolejowym. Przytoczono rozważania dotyczące wpływu sposobu obciążenia toru na wartości oporu podsypki i przedstawiono dotychczas stosowane w obliczeniach modelowe zależności oporu podsypki od przesunięcia względnego budowli i podłoża.

1. WSTĘP

Jednym z podstawowych elementów projektowania każdej budowli inżynierskiej jest konieczność oceny jej stanu wytrzymałościowego. Wiąże się to z określeniem charakteru obciążeń budowli oraz ze sprecyzowaniem warunków jej współpracy z podłożem. Dotyczy to również projektowania budowli liniowych, których szczególnym przypadkiem jest tor kolejowy. Specyfika jego pracy wynika z charakteru obciążeń, którym podlega w trakcie eksploatacji. Obciążenia te można podzielić ze względu na [11]:

- kierunek działania - pionowe oraz poziome równoległe i prostopadłe do osi toru,
- charakter działania - statyczne (quasi-statyczne) oraz dynamiczne.

Przedstawione powyżej obciążenia wywołują w torze kolejowym określony stan sił wewnętrznych będący superpozycją poszczególnych oddziaływań i wpływów. W torze kolejowym, który z reguły można uznać za wiotki w kierunku poprzecznym, a posiadający pewną sztywność podłużną, istotne staje się określenie sił osiowych, jako jednego z czynników decydujących o stanie jego wytrzymałości. Siły te są wywołane wpływem hamowania pojazdów, zmianami temperatury oraz oddziaływaniami górnictwymi. Ich wartości zależą zarówno od kierunku i charakteru działania obciążeń, jak też od sposobu, współpracy szyn z podkładami i podsypką.

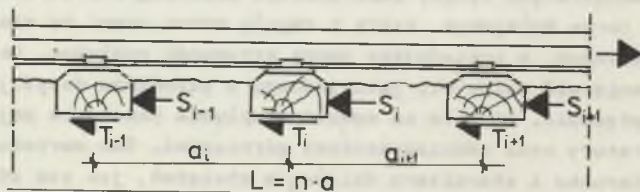
Obciążenia i oddziaływania wywołujące siły osiowe w torze działają w dwójaki sposób. Jedne z nich (hamowanie, temperatura) przekazywane są niejako odgórnie, tzn. aktywnie zachowują się szyny, pasywno jest podsypka. Drugie (oddziaływania górnicze) przekazywane są niejako oddolnie - pasywno są szyny, aktywnie działa podłoże, przesuwając się względem szyn na skutek górniczych ruchów terenu. W obu jednak przypadkach powstające w szynach siły osiowe są wynikiem współpracy podsypki z szynami za pośrednictwem przymocowanych do szyn podkładów zagłębionych w podsypce. Miernikiem tej współpracy, a zatem elementem decydującym o wartościach sił osiowych w torze kolejowym niezależnie od sposobu ich określania [6, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 18, 19, 20, 21, 22] i inne jest opór podsypki. Charakter zmienności oraz czynniki decydujące o jego wartości są przedmiotem niniejszej pracy.

2. CHARAKTERYSTYKA OPORU PODSYPKI

Dla potrzeb obliczania sił osiowych w torze kolejowym opór podsypki t rozumiany jest jako obliczeniowa siła styczna przypadająca na jednostkę długości toru, powstająca w płaszczyźnie styku toru i podsypki podczas wymuszonego, wzdluznego, względnego ich przesunięcia. W stanie przedgranicznym występuje postaciowa deformacja półprzestrzeni gruntowej wraz z wchodzącą w jej skład warstwą podsypki. W wyniku powyższego oznaczany stan siły stycznej ma charakter obliczeniowo-uogólniony. W rozważaniach pomija się najczęściej mimośrodowość działania siły stycznej w stosunku do siły osiowej w szynach. W niniejszych rozważaniach pomija się ponadto zjawisko oporu szyny na przesunięcie w miejscu jej przytwierdzenia do pokładu zależne od typu przytwierdzenia (bezpośrednie, K, S i inne), rodzaju przekładki podszynowej (polietylen, guma, drewno) itp. [2, 5, 14, 22], przyjmując, że przytwierdzenie to jest nieskończenie sztywne.

W skład tak zdefiniowanego oporu podsypki wchodzi (rys. 1):

- tarcie pomiędzy spodem podkładu i podsypką (T) zależne od rodzaju i zagęszczenia podsypki oraz typu podkładu,
- ciśnienie (parcie) podsypki znajdującej się między sąsiednimi podkładami (w okienku) na pionowe, boczne ściany podkładu (S) zależnie od ro-



Rys. 1. Składniki oporu podsypki

Fig. 1. Components of the ballast resistance

dzaju i zagęszczenia podsypki, osiowego rozstawu podkładów i ich osadzenia w podsypce [8, 10, 12].

W pracy [12] podano wyniki badań, w których stwierdzono, że opory przeciwko przesunięciu podkładu w podsypce tłuczniowej w rozbićciu „a poszczególne elementy składowe zależnie od rozstawu podkładów i osadzenia w podsypce wynoszą: spód podkładu (T) 15÷26%; czoło podkładu 4÷6,5% oraz powierzchnia boczna (S) 68-81% oporu całkowitego. W stanie granicznym opór podsypki przypadający na jednostkę długości toru określa zależność:

$$t_{hr} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (S_i^{\max} + T_i^{\max})}{L} \quad \text{lub} \quad t_{gr \acute{s}r} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (S_i^{\max} + T_i^{\max})}{\frac{1}{n-1} \cdot L} =$$

$$= \frac{S_{\acute{s}r}^{\max} + T_{\acute{s}r}^{\max}}{a_{\acute{s}r}}$$

gdzie:

- L - długość odcinka toru, na którym określany jest opór podsypki,
- n - liczba podkładów na odcinku L,
- $a_{\acute{s}r}$ - średni rozstaw osiowy podkładów,
- S_i^{\max}, T_i^{\max} - maksymalny (w chwili ścięcia) opór na przesunięciu powierzchni bocznej i spodu podkładu na i-tym podkładzie,
- $S_{\acute{s}r}^{\max}, T_{\acute{s}r}^{\max}$ - maksymalne, średnie dla danego odcinka toru, wartości oporu na przesunięciu powierzchni bocznej i spodu podkładu.

W stanie przedgranicznym zarówno wartości S, jak i T zależne są od względnego przesunięcia podkładów i podsypki, w związku z tym opór całkowity jest również od niego zależny:

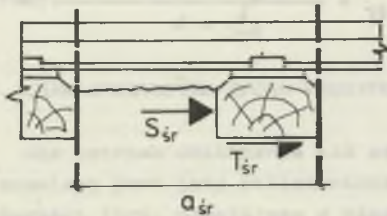
$$t(u) = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (S_i(u) + T_i(u))}{L} \quad \text{lub} \quad t_{\acute{s}r}(u) = \frac{S_{\acute{s}r}(u) + T_{\acute{s}r}(u)}{a_{\acute{s}r}}$$

gdzie:

- $S_i(u), T_i(u)$ - opór powierzchni bocznej i spodu podkładu w stanie przedgranicznym będący funkcją przesunięcia względnego określony dla i-tego podkładu,

$S^{\acute{e}r}(u)$, $T^{\acute{e}r}(u)$ - opór powierzchni bocznej i spodu podkładu w stanie przedgranicznym średni dla badanego odcinka L będący funkcją przesunięcia względnego.

Widomo jednak, że opór podsypki zmienny jest zarówno w czasie (lato, zima), jak i po długości toru i zależy poza wymienionymi wyżej czynnikami od temperatury, wilgotności, zanieczyszczenia, rodzaju podsypki, jakości utrzymania toru itp. Należałoby więc określać opór z wykorzystaniem rachunku prawdopodobieństwa - co prowadziłoby do niejednorodności jego wartości [21], do czego nie są dostosowane obecnie wykorzystywane metody obliczeń. Dla potrzeb obecnej praktyki wystarczy znajomość średniego oporu podsypki na poddawanym analizie odcinku toru.



Rys. 2. Wycinek toru przyjęty do analizy

Fig. 2. Section of a track for analysis

W celu szczegółowego scharakteryzowania współpracy podkładu z podsypką rozpatrzmy wycinek toru obejmujący jeden podkład z sąsiadującym z nim jednym okienkiem podsypki, pamiętając jednocześnie, że jest to analiza dotycząca współpracy na i -tym podkładzie, stanowiąca podstawę do obliczania oporu średniego na poddanym obliczeniom odcinku toru. Można więc przyjąć, że rozpatrywany wycinek toru charakteryzuje się wielkościami średnimi $S^{\acute{e}r}(u)$ i $T^{\acute{e}r}(u)$ - (rys. 2).

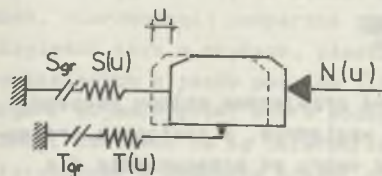
W powiązaniu z charakterystycznymi cechami współpracy, spowodowanymi obciążeniami pionowymi toru [8], można wyszczególnić sześć faz współpracy obu elementów [11], z których trzy dotyczą obciążeń statycznych toru, a trzy obciążeń dynamicznych (rys. 3).

tor nie obciążony	w strefie podnoszenia	pod osią składu poc.	charakter obciążeń
I	II	III	stat.
I'	II'	III'	
			dynam.

Rys. 3. Fazy współpracy podkładów z podsypką

Fig. 3. Stages of the cooperation of sleepers and ballast

Faza I - tor nie obciążony składem pociągu. Obciążenie pionowe stanowi jedynie ciężar toru. Współpraca ma charakter ciśnieniowo-tarciowy. Więzy ciśnieniowe stanowi napór podsypki na podkład, spowodowany względem przesunięciem toru i podsypki. Więzy tarciowe stanowi tarcie w podstawie podkładu zależne jedynie od ciężaru samego toru. Dla uproszczenia rozważań więzy przedstawiono za pomocą modeli sprężysto-plastycznych. Omawiany stan można więc wyrazić rysunkiem (rys.4):



Rys. 4. Schematy więzów ciśnieniowych i tarciowych dla podkładu kolejowego

Fig. 4. Diagram of the pressure and friction limits in a sleeper

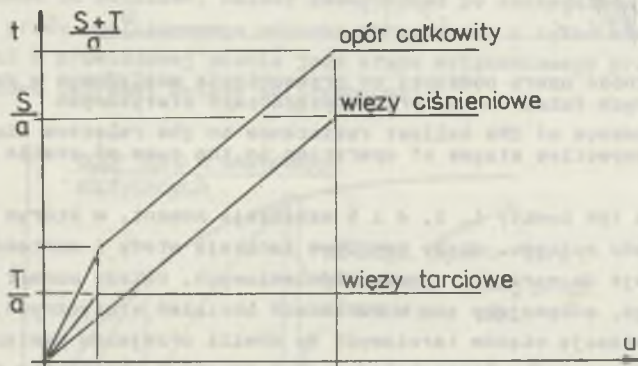
$$N(u) = S(u) + T(u)$$

$$S(u) \leq S_{gr}$$

$$T(u) \leq T_{gr}$$

$$t(u) = \frac{N(u)}{a} \leq t_{gr}$$

Wzrost względnych przesunięć podkładu i podsypki powoduje stopniowy wzrost sił S i T do chwili osiągnięcia przez nie wartości granicznych. Siły te powstają jednocześnie, choć ich wartości są różne i różne są ich zależności od względnego przesunięcia. W tym ujęciu całkowity opór podsypki przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Modelowa zależność oporu podsypki od przesunięcia względnego

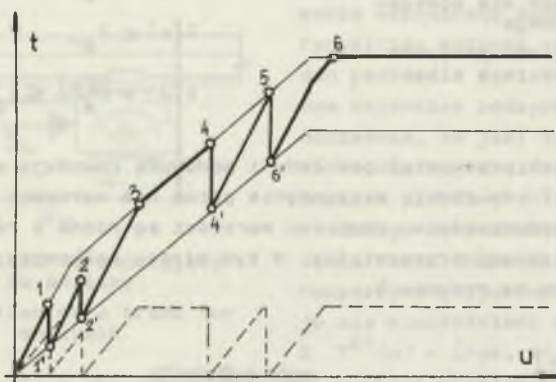
Fig. 5. Model dependence of the ballast resistance on relative displacements

Faza II - skład pociągu zbliżając się do analizowanego podkładu z prędkością $v \leq 5 \text{ km/h}$ (taka sytuacja traktowana jest w literaturze przedmiotu jako zagadnienie statyczne) powoduje jego odciążenie, a w szczególnych przypadkach nawet uniesienie i oderwanie spodu podkładu od podsypki [8].

Zjawisko to obserwowane jest również i pod składem pociągu w przypadku dość znacznych odległości między osiami wagonów. W takim przypadku więzy tarciovye ulegną znacznemu zmniejszeniu lub nawet zredukowaniu do 0. Opór podsypki będzie wtedy równy więzom ciśnieniowym:

$$N(u) = S(u) \leq s_{gr}, \quad \tau(u) = \frac{S(u)}{a} \leq \frac{s_{gr}}{a}$$

Jeżeli utrata więzów tarciovych, spowodowana przejazdem składu pociągu, nastąpi po pewnym zaistniałym przesunięciu względnym, a następnie przesunięcie to będzie dalej narastało, zmienność oporu od przesunięcia dla przyjętego modelu można przedstawić w następujący sposób (rys. 6).



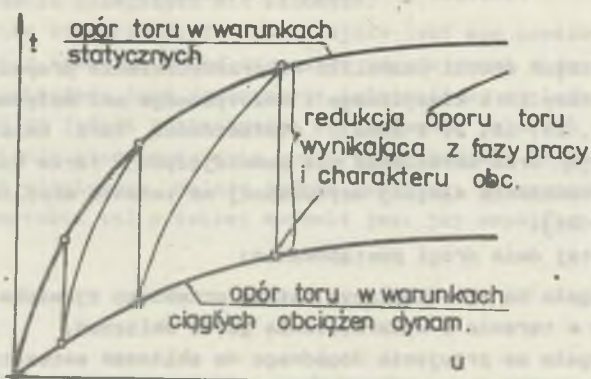
Rys. 6. Zależność oporu podsypki od przesunięcia względnego w poszczególnych fazach pracy przy obciążeniach statycznych

Fig. 6. Dependence of the ballast resistance on the relative displacement in the respective stages of operation in the case of static loads

Na rysunku tym punkty 1, 2, 4 i 5 oznaczają moment, w którym nastąpił przejazd składu pociągu. Więzy tarciovye zanikają wtedy i wartość oporu podsypki maleje do wartości więzów ciśnieniowych. Dalszy wzrost przesunięcia względnego, odbywający się w warunkach obciążeń statycznych, powoduje ponowną aktywizację więzów tarciovych do chwili przejazdu następnego składu pociągu. W przypadku linii kolejowych o znacznym obciążeniu ruchowym (nawet przy $v \leq 5$ km/h) można przyjąć, że więzy tarciovye są równe 0, a opór podsypki równy jest więzom ciśnieniowym.

Faza III - występuje pod przejeżdżającym z $v \leq 5$ km/h składem pociągu. Więzy ciśnieniowe określane są jak w fazie I i II. Więzy tarciovye są zmienne i zależą od ciężaru składu (nacisku na oś) i rozstawu osi wagonów. Przypadek ten, ze względu na chwilowość jego występowania, nie ma istotnego znaczenia dla wartości powstających sił osiowych w szynach toru kolejowego, chyba że czas postoju składu pociągu na badanym odcinku toru jest co najmniej tak długi jak czas tworzenia się przesunięć względnych.

Fazy oznaczone znaczkami prim na rys. 3 (I', II', III') różnią się od faz podstawowych, wyżej opisanych, jedynie wprowadzeniem do rozważań obciążeń dynamicznych. Dotyczyć więc będą odcinków linii kolejowych, na których pociągi poruszają się z prędkością powyżej 5 km/h. Oddziaływanie dynamiczne, powstające wtedy na skutek nierównoważenia mas wirujących w pojazdach, nierówności: podparcia podkładów, torów szynowych i kół taboru, nieciągłości szyn w stykach, płaskich miejsc w kole oraz samych obciążeń wynikających z jazdy pociągu [11], charakteryzują się przyspieszeniami drgań, objawiającymi się w podsypce, rzędu 0,841 g i więcej [4, 16, 22 i inne]. Wartości te są czterokrotnie większe [4] od wartości przyspieszeń krytycznych i powodują spadek nośności materiałów sypkich, a zatem i spadek wartości oporu podsypki [3, 7, 13, 17]. Z rozważań tych wynika spostrzeżenie, że niezależnie od fazy pracy oraz charakteru obciążeń budowa torowa będzie zawsze współpracować z podsypką. Wzajemne więzy będą miały charakter ciśnieniowo-tarciowy bądź ciśnieniowy uwzględniający obciążenia statyczne lub też dynamiczne. Może więc nastąpić jedynie redukcja wartości oporu podsypki, nigdy jednak opór ten nie zmaleje do 0. Taki stan rzeczy powodował będzie zawsze powstawanie sił osiowych w torze kolejowym na skutek względnego przesunięcia podkładów i podsypki. Poziom wartości tych sił zależny będzie zarówno od wartości względnego przesunięcia, jak też - i to w znacznym stopniu - od charakteru obciążeń toru. Ostatecznie zależność oporu podsypki od względnego przesunięcia przedstawiono na rysunku 7. O tym, w jakich warunkach należy określać opór podsypki oraz jakie wartości przyjmować do obliczeń, należy zdecydować po szczegółowej analizie charakteru pracy analizowanego odcinka toru. Wtedy i tylko wtedy można będzie mówić o prawidłowej ocenie jego stanu wytężeniowego przy założeniu prawidłowo dobranej metody obliczeniowej.

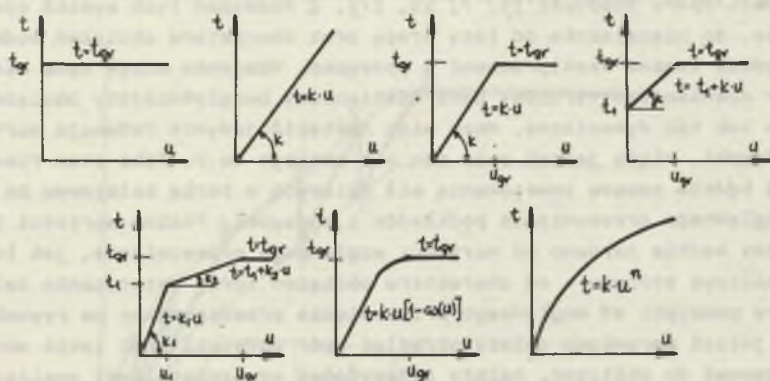


Rys. 7. Zależność oporu podsypki od przesunięcia względnego we wszystkich warunkach pracy

Fig. 7. Dependence of the ballast resistance on the relative displacement in all conditions of operation

3. MODELE OPORU PODSYPKI

Prawidłowy dobór wartości i zmienności oporu podsyпки w zależności od rodzaju obciążenia toru i przesunięcia względnego ma istotne znaczenie przy opracowywaniu szeregu zagadnień. Ze względu na trudności napotykane przy fizycznym określaniu tej zależności do obliczeń przyjmuje się mniej lub bardziej dokładny, lecz matematycznie przydatny model opisujący rzeczywisty przebieg wpływu przesunięcia względnego podkładu i podsyпки na jej opór. Dotychczas wykorzystywano szereg modeli przedstawionych na rysunku 8 [1, 11].



Rys. 8. Dotychczas stosowane obliczeniowe modele oporu podsyпки jako funkcja przesunięcia względnego

Fig. 8. Calculation models applied so far of the ballast resistance as a function of relative displacement

Zastosowanie tych modeli pozwoliło na przedstawienie propozycji rozwiązań zagadnień pracy toru klasycznego i bezстыkowego pod wpływem zmian temperatury [9, 12, 15, 18, 19 i inne], stateczności toru bezстыkowego na wyboczenie np. [1] oraz określenie sił powstających w torze kolejowym jako budowli nieskończenie długiej usytuowanej na terenie eksploatacji górniczej [11, 20, 21].

Stosowano tutaj dwie drogi postępowania:

- pierwsza - polegała na matematycznym opisie przebiegu zjawiska pomierzonego w terenie i wykorzystanie go do obliczeń,
- druga - polegała na przyjęciu dogodnego do obliczeń matematycznych (przy założonym modelu budowli) modelowego opisu oporu podsyпки, a następnie dopasowanie go do rzeczywistych, pomierzonych zależności metodami aproksymacji.

Obydwie jednak drogi muszą głęboko tkwić w realiach pracy toru, a modelowy opis przebiegu tego zjawiska ma niekiedy drugorzędne znaczenie w porównaniu z założeniami poczynionymi przy tworzeniu modeli symbolizujących budowlę torową. Niemniej jednak istotny jest poziom wartości oporu podsypki przyjmowany do obliczeń a wynikający z charakteru współpracy budowlę z podłożem i sposobem jej obciążenia.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione powyżej rozważania wypuklają konieczność szczegółowego rozważenia współpracy wszelkich budowli liniowych a toru kolejowego w szczególności z podsypką i podłożem gruntowym. Przy prowadzeniu obliczeń, poza doбором adekwatnego do rzeczywistości modelu samej budowlę istotne znaczenie ma charakter jej obciążenia i jego konsekwencje w stosunku do warunków współpracy. Należy więc temu zagadnieniu poświęcić więcej miejsca przy prowadzeniu obliczeń służących określeniu stanu wyęźnieniowego budowlę liniowej. Szczególnego znaczenia nabierają więc obciążenia dynamiczne budowlę. Z jednej strony, poprzez obniżenie wytrzymałości materiałów sypkich (podsypki), łagodzą wartości powstających sił osiowych w torze; z drugiej zaś strony obniżają jego wytrzymałość na wyboczenie (zmniejszając wartość sił poprzecznych przeciwdziałających wyboczeniu). Autorowi znane są wyniki obserwacji terenowych prowadzonych na torach usytuowanych na terenie podlegającym wpływowi eksploatacji górniczej, w których stwierdzano, że tory mało obciążone taborem doznawały większych zniszczeń lub deformacji niż tory mocno obciążone, gdzie obserwowano jedynie migrację toru. Zatem tory o dużym obciążeniu ruchowym musiały podlegać działaniu mniejszych sił osiowych.

Można więc stwierdzić, że istotniejszy jest sam sposób określania oporu podsypki z uwzględnieniem czynników decydujących o jego wartościach niż model opisujący jego rzeczywistą zależność od względnego przesunięcia. Nie przeczy to jednak konieczności poszukiwania dalszych rozwiązań służących określeniu stanu wyęźnienia konstrukcji budowlę liniowej szczególnie na terenach górniczych. Należy jednak pamiętać, że czynnikiem, który decyduje o wartości sił w takiej budowlę jest jej współpraca z podłożem gruntowym.

LITERATURA

- [1] Basiewicz T.: Stateczność toru bezstykowego w czasie eksploatacji. Przegląd Kol. Drog. 16,8,1969, s. 1-8.
- [2] Basiewicz T.: Nawierzchnia kolejowa z podkładami betonowymi. WKiŁ, Warszawa 1969.
- [3] Cisek T.: Wytrzymałość gruntu obciążonego wibracyjnie. Pol. Śl. praca dokt. maszynopis, Gliwice 1979.

- [4] Czyczuła W.: Wpływ wibracji na trwałość drogi kolejowej. Drogi Kol. 3(27), 7-8, 1982, s. 209-214.
- [5] Gaweł K.: Opór przekładek przeciwko podłużnemu przesunięciu szyny. Przegl. Kol. Drog. 16,1,1969, s. 10-12.
- [6] Gaweł A.: Kierunki poprawy pracy toru bezстыkowego. Przegl. Kol. Drog. 19,4,1972, s. 23-26.
- [7] Jezienicki Z., Kołacz Z.: Opór ścinania gruntów sypkich przy pionowych obciążeniach dynamicznych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Seria Budownictwo. Z. 57, Gliwice 1982.
- [8] Kłosek K., Rosikoń A.: Analiza wpływu deformacji terenu górniczego na nawierzchnię kolejową w warunkach oddziaływań eksploatacyjnych taboru. Ochr. Ter. Górn. 64, 1983, s. 19-15.
- [9] Koc W.: Analiza charakteru pracy szyny ciągłej podczas rozprężania torów bezстыkowych. Mat. Konf. Nauk. "Konstrukcja i Utrzymanie Nawierzchni Kolejowej" Pol. Gd. Inst. Bud. Łąd. Gdańsk 1975, s.131-147.
- [10] Kołacz Z.: Wpływ na wielkość oporu na ściance zaburzenia w postaci innej ścianki. Zesz. Nauk. Pol. Śl. Seria Budownictwo, Z. 53, Gliwice, 1980.
- [11] Kołacz Z.: Budowle liniowe poddane wpływom dynamicznym oraz wpływom górniczych przesunięć terenu. Pol. Śl. praca dokt. maszynopis, Gliwice 1983.
- [12] Łoś M.: Wpływ temperatury na pracę toru kolejowego. WKiŁ, Warszawa 1974.
- [13] Malcharek K., Rosikoń A.: Wpływ dynamicznego oddziaływania taboru kolejowego na opory podłużne podsypki. Ochr. Ter. Górn.33,1975,s.43-46.
- [14] Oleksiewicz W.: Badania wpływu poziomych nierówności toków szynowych na wielkość oporu podłużnego szyn. Przegl. Kol. Drog. 24,4,1977, s. 105-112.
- [15] Perszın S.P.: O naprężenno-dieformirowanomm sostojanii rielsov pri izmienienijach temperatury. Wiestnik WNIIZT, Moskwa, 26,5,1967, s. 25-28.
- [16] Siewczyński Ł.: Zagadnienia współpracy nawierzchni kolejowej z podtorzem gruntowym. Wyd.Pol.Pozn. Seria Rozprawy, nr 66,Poznań 1974.
- [17] Stewarski E.: Wpływ obciążeń dynamicznych na własności wytrzymałościowe gruntów sypkich, Zesz. Probl. Górn.12,1,1974, s. 43-69.
- [18] Szachunjanс G.M.: Osnownyje swiezi miezdu paramietrami tiempieraturno-naprężennogo sostojanija rielsa. Wiestnik WNIIZT. Moskwa,25,8, 1966, s. 40-44.
- [19] Szachunjanс G.M.: Rasczot naprężenno-dieformirowannogo sostojanija dlınyh rielsov pod wozdiejstwıem tiempieratury. Wiestnik WNIIZT, Moskwa, 26,5,1967, ss. 22-25.
- [20] Szumierz W., Zimnoch S.: Tory bezстыkowe na terenach górniczych. Probl. Kol. 67, 1975, s. 39-82.
- [21] Szumierz W.: Statyka budowli liniowych poddanych działaniu sił poziomych od pażzania podłoża górniczego. Prace GIG, Seria dodatkowa, Katowice 1982.
- [22] Sysak J.: Drogi kolejowe. PWN, Warszawa 1982.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И ХАРАКТЕРА СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ БАЛЛАСТА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Р е з ю м е

В работе представлен анализ факторов имеющих решающее значение для условий взаимодействия сооружения линейного типа с грунтовым основанием. В частности рассматриваются факторы влияющие на величину и характер сопротивления сдвигу балласта железнодорожного пути. Полное сопротивление балласта сдвигу анализируется, раздельно рассматривая связи трения и связи давления. Для упрощения анализа характеристики связей принимаются в виде упруго-вязких моделей. Приведены результаты анализа качественных характеристик этих связей на основе исследования зависимости составляющих полного сопротивления сдвигу, вызываемых этими связями, от способа нагрузки пути. Было рассмотрено влияние двух видов нагрузки - статическая и динамическая, а также изучена зависимость сопротивления балласта сдвигу от прогиба рельсов вызванного весом движущегося поезда. Различают при этом шесть фаз взаимодействия шпал с балластом. Приводятся схематические зависимости величины сопротивления балласта сдвигу от величины относительного сдвига. Подчеркивается, что при выборе расчетной величины сопротивления балласта сдвигу следует руководствоваться результатами тщательного анализа работы железнодорожного пути и способа нагрузки. В статье обсуждаются теоретические модели взаимодействия сооружения с основанием, применяемые до сих пор для расчета продольных сил в сооружениях линейного типа.

AN ANALYSIS OF THE STRUCTURE AND CHARACTER OF THE RESISTANCE
OF THE RAILWAY-TRACK BALLANCE

S u m m a r y

The paper gives an analysis of those factors conditioning the co-operation of the track structure with the subsoil. Particular attention has been paid to the factors which decide about the quantities and character of the resistance of the railway-track ballance. The total resistance of the ballast has been distributed over the friction and pressure constraints. For the sake of simplification the constraints have been described in the form of elastical-plastic models. Further considerations deal with the quality of these constraints, the quantities of which depend on the way in which the track is loaded. Two kinds of loads have been distinguished, the static and the dynamic one. Moreover, the dependence of the ballast resistance on the deflection of the rails under a passing train has been dealt with. In this case six stages of the co-operation of the sleepers and the ballast can be distinguished. The dependence of the bal-

last resistance on the relative displacement of the track and ballast has been shown graphically. It has been stressed that the choice of the adequate magnitude of the ballast resistance depends on a detailed analysis of the behaviour of the railway track and the way of its being loaded. Theoretical models of the co-operation of structure and subsoil applied so far in calculations of axial forces active in track structures have been presented.