ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1991

Seria: BUDOWNICTWO z. 74 Nr kol. 1127

Ryszard PORĘBSKI

Politechnika Poznańska

DODATKOWE OBCIĄŻENIA PODTORZA POWODOWANE NIEJEDNORODNOŚCIĄ WARUNKÓW PODPARCIA PODKŁADÓW

Streszczenie. Referat zawiera omówienie wyników obliczeń numerycznych przeprowadzonych na modelu nawierzchni kolejowej w postaci belki ciągłej na podporach sprężystych. Oceniano wpływ nierówności w podparciu podkładów oraz zmiennej podatności podłoża podkładów na pionowe obciążenia podtorza.

1. WSTĘP

Tradycyjna konstrukcja drogi kolejowej charakteryzuje się występowaniem podczas eksploatacji znacznych trwałych odkształceń podsypki i podtorza. Na intensywność narastania tych odkształceń mają wpływ różne czynniki, a główne z nich to: wielkość oddziaływań zewnętrznych, rodzaj nawierzchni, rodzaj podsypki i gruntów podtorza, warunki atmosferyczne [5,6,7].

Narastająca w czasie nierównomierna kumulacja trwałych odkształceń podsypki i podtorza objawia się w postaci nierówności geometrycznych nawierzchni oraz jest przyczyną zróżnicowania warunków podparcia podkładów. Wykrycie w torze podkładów źle podpartych jest trudne, a jeszcze większe problemy stwarza określenie rzeczywistych nacisków przekazywanych przez poszczególne pookłady na podsypkę. Pewne możliwości w tym zakresie stwarza opracowana w COBiRTK [8] metoda oceny warunków podparcia toru. Wykonane tym sposobem pomiary wykazały występowanie w eksploatowanym torze znacznych różnic w oparciu poszczególnych podkładów na podsypce. Również bezpośrednie pomiary naprężeń w podtorzu [3, 4] ujawniły zjawisko znacznego zróżnicowania na długości toru w przenoszeniu obciążeń na podsypkę i podtorze przez poszczególne podkłady. Badania te wykazały, że zmienność obciążeń przekazywanych przez nawierzchnię na podtorze na długości toru, powodowana zróżnicowaniem warunków podparcia podkładów, jest znacznie większa niż zmienność wynikająca z różnych wartości dynamicznych sił przekazywanych przez tabor na nawierzchnię.

Fakt ten nie znajduje jednak odzwierciedlenia w stosowanych metodach określania maksymalnych obciążeń podsypki i podtorza.

Można przyjąć, że przy określonym rodzaju nawierzchni, głównymi czynnikami wpływającymi na zróżnicowanie obciążeń podsypki i podtorza na długości toru są nierówności w podparciu podkładów oraz niejednakowa podatność podłoża podkładów.

W niniejszym referacie przytoczono część wyników obliczeń numerycznych, przeprowadzonych na modelu nawierzchni kolejowej w postaci belki ciągłej na podporach sprężystych, które w ogólnym zarysie charakteryzują wpływ dwóch czynników na wielkość i zróżnicowanie pionowych obciążeń podsypki i podtorza.

2. OPIS MODELU OBLICZENIOWEGO

Za model obliczeniowy nawierzchni kolejowej w niniejszej analizie przyjęto poziomą belkę ciągłą opartą w sposób punktowy na podporach sprężystych. Ze względu na specyfikę pracy toru i występujące obciążenia, głównie pionowe w postaci sił skupionych, do których ograniczono się w analizie modelu, przyjęto, że najistotniejsze są (przez analogię do przeprowadzonych badań terenowych) pionowe przesunięcia sprężyste podpór.

W tak przyjętym układzie belka stanowi jeden tok szynowy, natomiast podpory sprężyste odzwierciedlają podparcie szyny poprzez podkład na podsypce. Każde i-te przęsło belki jest opisane przez moment bezwładności $J(i)$ oraz jego długość $l(i)$, natomiast i-ta podpora przez współczynnik podatności $k(i)$. W układzie tym jako obciążenia będą występować siły skupione P i przemieszczenia podpór Δh. Siła P przedstawia nacisk statyczny na szynę od pojedynczej osi dowolnego pojazdu obciążającego tor.

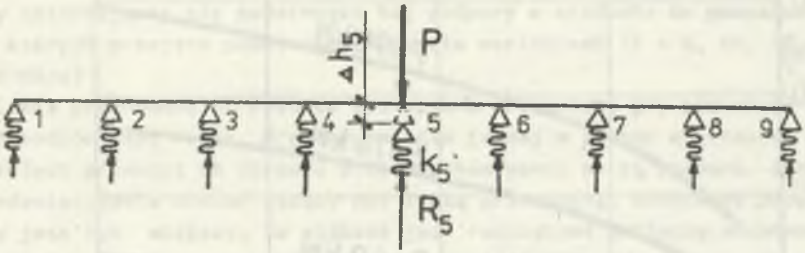
Rozwiązania układu belki ciągłej dokonano metodą sił. Ze względu na sprężysty charakter podpór, budując układ równań oparto się na równaniu pięciu momentów [1, 2].

Jako schemat obliczeniowy przyjęto belkę dziewięciopodporową, obciążoną pojedynczą siłą skupioną P, przyłożoną do podpory środkowej. Takie uproszczenie jest dopuszczalne, co można wykazać obliczeniami i co również potwierdza praktyka.

Na rys. 1 przedstawiono schemat wyjściowy belki przyjęty do obliczeń z oznaczeniami, które będą stosowane w dalszej części pracy.

W każdym ze schematów przyjęto długość przęseł $l = 0,588$ m oraz moment bezwładności $J = 1815$ cm^4. Wartości te są zgodne z parametrami nawierzchni na odcinkach doświadczalnych [3]. Dla wartości współczynnika k przyjęto zaś obszar zmienności mieszczący się w granicach od 5 do 80 MN/m.

Za obliczeniowe obciążenia statyczne belki przyjęto naciski osiowe pochodzące od lokomotywy ET22 i elektrycznego zespołu trakcyjnego EN57. Naciski skupione od tych pojazdów przypadające na szynę wynoszą odpowiednio: 98, 74 i 48 kN. Dodatkowo uwzględniono jeszcze nacisk o wartości 25 kN odpowiadający lekkiemu próżnemu wagonowi towarowemu.



Rys. 1. Schemat obliczeniowy belki

Fig. 1. The calculation scheme for the beam

Jako obciążenia zewnętrzne występię także przemieszczenia podpór. Jako zasadniczą wielkość przyjęto przemieszczenie $\Delta h = \pm 0{,}1$ cm, odpowiadające nierównościom symulowanym w badaniach doświadczalnych.

3. WYNIKI ANALIZY NUMERYCZNEJ

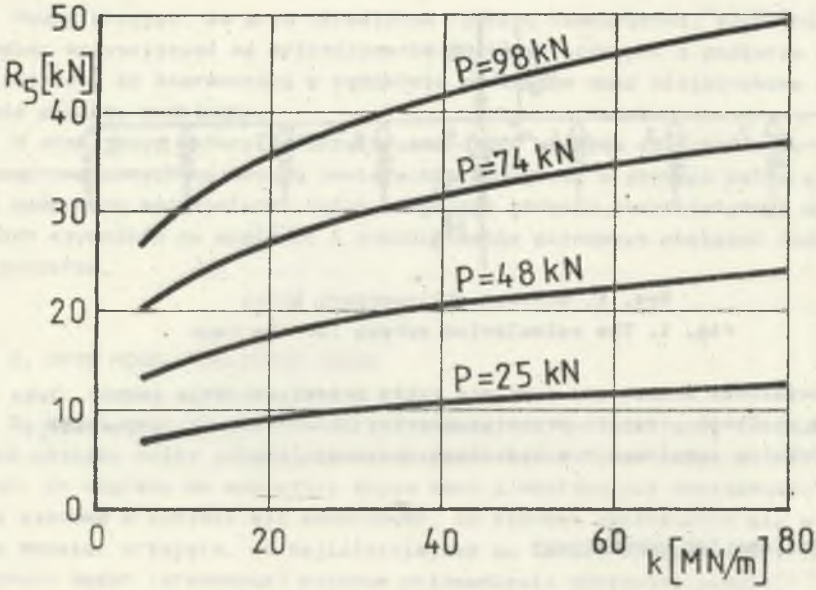
Ze względu na ograniczony zakres niniejszego opracowania pominięto w nim problem odwzorowania współdziałania nawierzchni z podtorzem. Analizą objęto wyłącznie reakcję podpory nr 5 (leżącej pod siłą obciążającą), która jest tożsama z siłą nacisku szyny na podkład i można przy pewnych założeniach upraszczających przyjąć, że naciski pionowe przekazywane na podtorze są proporcjonalne do wartości tej siły. Zatem stwierdzenia i zależności opisujące tę siłę będą odnosiły się również do pionowych obciążeń podtorza.

3.1. Wpływ sztywności podparcia na wielkość reakcji podpór

Wyniki obliczeń przeprowadzonych dla czterech wartości siły obciążającej przy jednakowej podatności wszystkich podpór, wyrażające wpływ sztywności podparcia na wielkość reakcji podpór, przedstawiono na rys. 2.

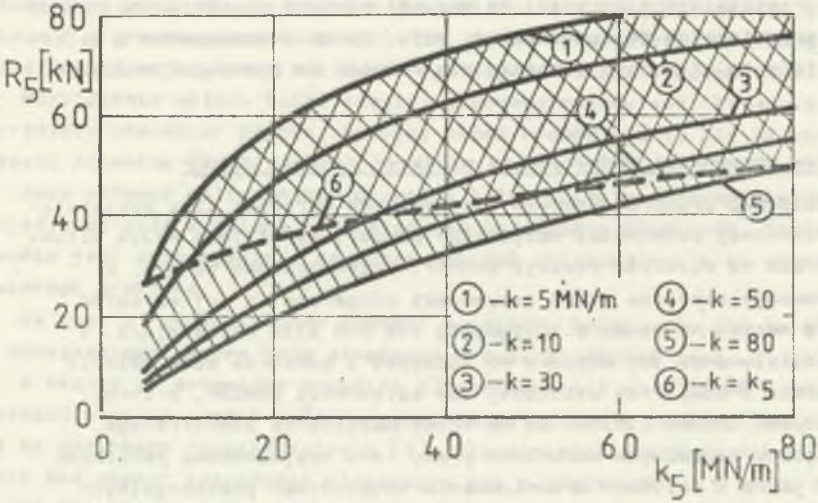
W analizowanym zakresie zmian sztywności podparcia, z jej wzrostem zwiększa się nacisk na podporę znajdującą się pod siłą obciążającą, a wielkość oddziaływania tej podpory na podsypkę i podtorze może zmienić się maksymalnie o 85%. Przy ustalonej zaś sztywności podpór, przyrost tych oddziaływań zależy liniowo od wartości obciążenia zewnętrznego.

Występująca w normalnych warunkach pracy toru niejednakowa podatność podpór jest jedną z przyczyn zróżnicowania oddziaływań poszczególnych podkładów na podsypkę i podtorze. Dalsze rozważania są próbą oszacowania wpływu tej niejednorodności na wielkość sił podporowych. W analizie ograniczono się do przypadku gdy podatność podpory nr 5 (rys. 1) będzie odbiegać od podatności pozostałych podpór. Na rys. 3, zestawiono wyniki obli-



Rys. 2. Wpływ podatności podpór na wielkość siły R_5

Fig. 2. The effect of susceptibility of supporting elements on R_5 force



Rys. 3. Zależność siły R_5 od zmieniającej się w stosunku do pozostałych podatności podpory nr 5

Fig. 3. The dependence of R_5 force on susceptibility of supporting element 5 changing with respect to susceptibilities of other supporting elements

czeń siły nacisku belki na podporę środkową, dla obciążenia P = 98 kN przy zmieniającej się podatności tej podpory w stosunku do pozostałych, dla których przyjęto podatności w pięciu wariantach (k = 5, 10, 30, 50 i 80 MN/m)

Linię przerywaną na rysunku zaznaczono przypadek, gdy podatność wszystkich podpór jest równa. Przesztywnienie jednej z podpór w stosunku do pozostałych prowadzi do wzrostu siły przekazywanej na tę podporę. Zjawisko to odzwierciedla obszar leżący nad linią przerywaną. Dodatkowy przyrost siły jest tym większy, im większa jest rozpiętość pomiędzy podatnościami podpór i w skrajnym przypadku może on wynieść 70%. Odwrotnie, gdy sztywność podpory obliczeniowej jest mniejsza od sztywności pozostałych, następuje odciążenie podpory (max. o 78%); na rysunku przedstawia to obszar leżący pod linią przerywaną.

Rozpatrzony przykład jest przypadkiem ekstremalnym i dlatego rzeczywiste zróżnicowanie wartości sił podporowych, wynikające ze zmiennej podatności podłoża, będą zawierać się pomiędzy wyznaczonymi tu wartościami maksymalnymi.

3.2. Wpływ nierównomiernych trwałych odkształceń podłoża na wielkość reakcji podpór

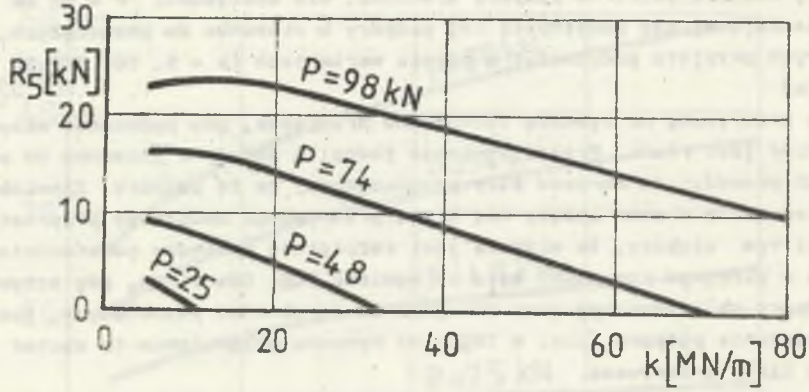
Charakter omówionych zależności ulega zasadniczej zmianie, gdy w schemacie statycznym belki pojawiają się podpory obniżone lub wyniesione w stosunku do podpór sąsiednich. Analizą objęto przypadek szczególny, gdy tych przemieszczeń doznaje podpora środkowa nr 5. I tak dla podpory obniżonej (Δh_5 = -0,1 cm - odpowiednik podkładu wiszącego), wartość reakcji tej podpory zmniejsza się (porównaj rys. 2 i 4), odciążone zostają natomiast podpory sąsiednie. Równocześnie zmienia się przebieg zależności siły nacisku belki na obniżoną podporę od sztywności podparcia. Ze wzrostem sztywności wartość reakcji R_5 zmniejsza się, co jest widoczne na rys. 4. W przypadku sił obciążających o mniejszych wartościach może dodatkowo, w zależności od wielkości podatności podpór, dochodzić do całkowitego wyłączenia podpory ze współpracy w przenoszeniu sił.

Odmiennie przedstawia się sytuacja, gdy podpora obliczeniowa dozna wyniesienia w stosunku do podpór sąsiednich (Δh_5 = 0,1 cm). Występuje wtedy przeciążenie podpory, które jest tym większe, im większa jest sztywność podparcia, co ilustruje rys. 5.

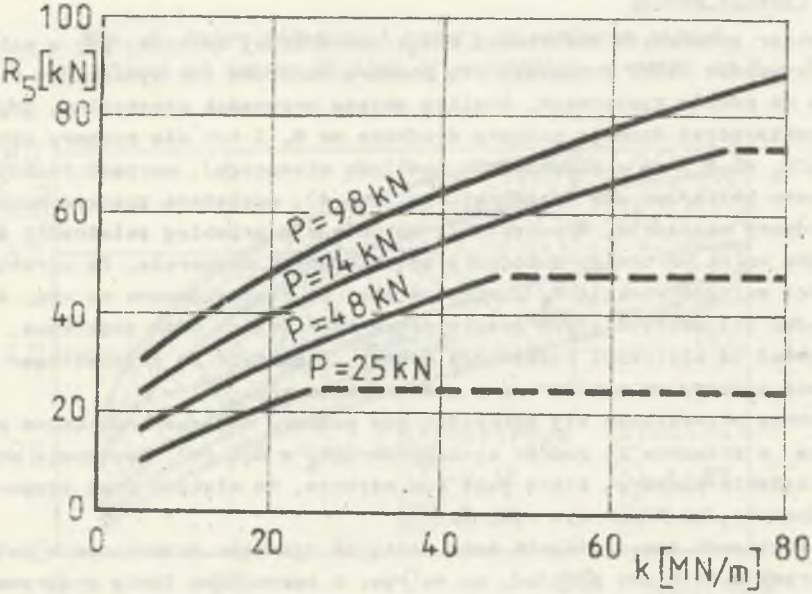
Przy większych sztywnościach może nastąpić zjawisko przenoszenia całej siły P przez wyniesiony podkład, co na rys. 5 zaznaczono linią przerywaną.

Na rys. 6 zestawiono dla obciążenia P = 98 kN wartości siły obciążającej podporę środkową w zależności od przemieszczeń tej podpory, dla trzech różnych wartości podatności podparcia (k = 10, 40 i 80 MN/m).

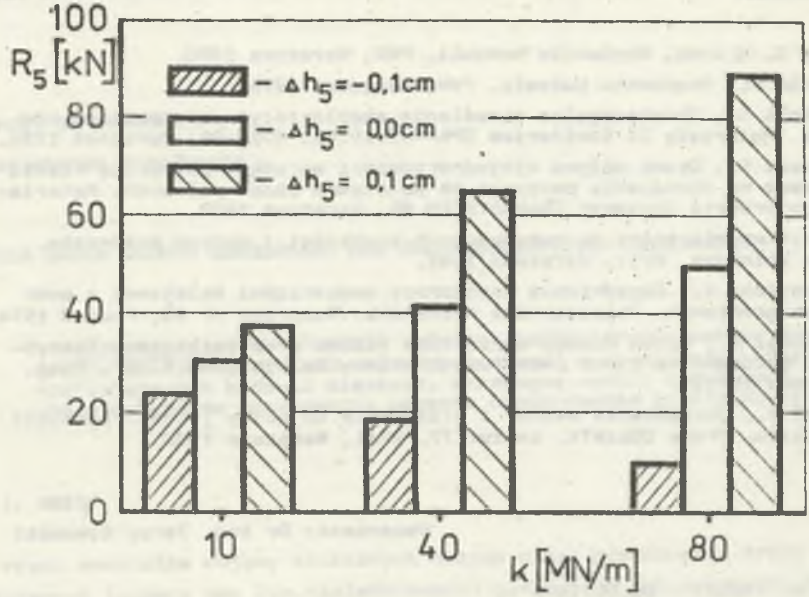
I tak przy podatności k = 10 MN/m, procentowy przyrost siły spowodowany wyniesieniem podpory obliczeniowej o 0,1 cm wynosi 22%, przy podatności k = 40 MN/m odpowiednio 55%, a przy k = 80 MN/m 80%.



Rys. 4. Wpływ obniżenia podpory (Δh_5 = - 0,1 cm) na wielkość reakcji R_5
Fig. 4. The influence of a decrease of the supporting element (Δh_5 = = -0,1 cm) on R_5 response



Rys. 5. Wpływ wyniesienia podpory (Δh_5 = 0,1 cm) na wielkość reakcji R_5
Fig. 5. The influence of an uplift of the supporting element (Δh_5=0,1 cm) on R_5 response



Rys. 6. Wpływ podatności podpór na wielkość zmian siły R_5 powodowanych przemieszczeniami Δh_5

Fig. 6. The influence of supporting elements susceptibility on the changes in R_5 force causec by Δh_5 displacements

Tyle samo w procentach wynosi zmniejszenie tej siły dla przypadku obniżenia podpory o 0,1 cm.

Zwiększenie sztywności podparcia, przy stałej wartości siły obciążającej, prowadzi do wzrostu wrażliwości nawierzchni na nierówności w podparciu, co objawia się większymi zmianami siły nacisku szyny na podkłady, a tym samym na podsypkę i podtorze.

4. PODSUMOWANIE

Rozpatrzone w opracowaniu proste schematy statyczne, choć nie odzwierciedlają rzeczywistych skomplikowanych warunków współpracy nawierzchni z podtorzem, umożliwiły jednak uchwycenie i oszacowanie niektórych zależności występujących w warunkach rzeczywistych. Wyniki tej analizy wykazują dużę zgodność z rezultatami wcześniej przeprowadzonych badań terenowych w eksploatowanym torze.

LITERATURA

[1] Dylęg Z. i inni, Mechanika budowli. PWN, Warszawa 1980.

[2] Nowacki W., Mechanika budowli. PWN, Warszawa 1975.

[3] Porębski R., Doświadczalne określanie eksploatacyjnych obciążeń podtorza. Materiały II Seminarium CPBP-01.19.06. IDiM PW, Warszawa 1988.

[4] Porębski R., Ocena wpływu niejednorodności warunków podparcia rusztu torowego na obciążenia podtorza na podstawie badań polowych. Materiały Konferencji Naukowej TRANSSYSTEM 89. Warszawa 1989.

[5] Przystosowanie kolei do zwiększonych szybkości i dużych przewozów. Praca zbiorowa. WKiŁ, Warszawa 1989.

[6] Siewczyński Ł., Zagadnienia współpracy nawierzchni kolejowej z podtorzem gruntowym. Politechnika Poznańska, Rozprawy nr 66, Poznań 1974.

[7] Skrzyński E., Wpływ dużego obciążenia ruchem oraz zwiększonych szybkości pociągów na pracę podtorza. Problemy Kolejnictwa z. 67. WKiŁ, Warszawa 1975.

[8] Towpik K., Opracowanie metody i urządzenia do oceny jakości podbicia podkładów. Prace COBiRTK, zeszyt 77. WKiŁ, Warszawa 1980.

Recenzent: Dr inż. Jerzy Sękowski

Wpłynęło do Redakcji 20.04.1991 r.

ADDITIONAL LOAD OF SUBGRADE DUE TO INHOMOGENEITY OF SLEEPERS SUPPORT

S u m m a r y

The paper reports the results of numerical calculation carried out to a model of track structure composed of a continuous beam placed on elastic supporting elements. The effect of unequal support of sleepers as well as changeable susceptibility of sleepers subsoil on vertical load was examined.

ДОБАВОЧНЫЕ НАГРУЗКИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ВЫЗВАННЫЕ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ УСЛОВИЙ ПОДДЕРЖКИ ШПАЛ

Р е з ю м е

В статье приведены результаты численных расчетов, выполненных для модели верхнего строения пути, состоящей из неразрезной балки, размещенной на упругих опорах. Исследовано влияние неоднородности поддержки шпал вместе с изменяемой восприимчивостью постели шпал на вертикальную нагрузку земляного полотна.