ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1998
Seria: TRANSPORT z.30 Nr kol. 1384

Ivan MALIČEK
Jerzy PAWLICKI

SPRĘŻYSTE PRZYTWIERDZENIE SZYNY W MAŁOWYMIAROWYCH PŁYTACH ŻELBETOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych i poligonowych statycznych i dynamicznych odkształceń małowymiarowej płyty korytkowej, wyposażonej w nową odmianę przytwierdzenia sprężystego szyny. Dane pochodzą z siedmioletniej obserwacji stanu płyt i przymocowań szyn wbudowanych w nawierzchnię toru klasycznego.

RESILIENT RAIL FASTENING IN SMALL-SIZED REINFORCED CONCRETE PANELS

Summary. The paper present some results of longterm complex verification of this unconventional construction and it contains: basic data about the construction of unconventional fastening, data about the height variations panels and rails, results of static tests of horizontal deformation of rail, results of measurements vertical dynamic resilience under running vehicles, data about changes of rail gauge, summary of results.

1. WPROWADZENIE

Koleje słowackie (ŽSR), podobnie jak koleje polskie, prowadzą w ostatnich latach intensywne badania nad udoskonaleniem konstrukcji nawierzchni torowej [2, 4], optymalizacją układu geometrycznego toru [3] oraz stabilnością i nośnością podtorza gruntowego [5]. Znaczący udział w tych pracach mają pracownicy Katedry Dróg Żelaznych i Gospodarki Liniowej (K-ŽSTH) Uniwersytetu Żilińskiego (dawna VŠDS) w Żilinie. Podjęto m.in. dalsze badania nad opatentowanym przez J. Šmejkala (VŠDS) i A. Vymětala (VU Praha) ideowym projektem sprężystego przytwierdzenia szyn do płyt żelbetowych. Efektem szeregu doświadczeń laboratoryjnych przeprowadzonych na

poszczególnych elementach konstrukcyjnych przytwierdzenia było dokonanie istotnych korekt w projekcie. Dalsze eksperymenty pozwoliły na podjęcie decyzji o wyprodukowaniu i montażu nowego przymocowania w małowymiarowych płytach korytkowych (słowac. mala žlabova doska - MŽD) [6, 7, 8].

W 1990 roku ułożono w torze głównym zasadniczym stacji kolejowej Lietavská Lučka siedem płyt, które przez około siedem lat eksploatacji nie wymagały ingerencji ze strony konstruktorów. Stałe obserwacje stanu nawierzchni, pomiary odkształceń poziomych i pionowych płyt oraz badania elementów przytwierdzenia szyn potwierdziły przydatność rozwiązania w modernizowanych drogach kolejowych.

2. TYPY NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ - PRZYTWIERDZENIA SZYN

Źródłem inspiracji twórców udoskonaleń elementów nawierzchni były przede wszystkim: wzrost obciążeń linii kolejowych przewozami, rozwijanie coraz większych prędkości przez pociągi pasażerskie i towarowe oraz podnoszenie nacisków osiowych na tor. Zmieniały się z różnych przyczyn: kształt profilu szyny, kształt i wymiary podkładów, grubość i jakość warstwy podsypki, sposób posadowienia nawierzchni na podłożu gruntowym i wreszcie połączenie i przytwierdzenie szyn, materiałowych i technologicznych czynników nie pomijając.

Zastosowanie nowych konstrukcji poprzedzały wielostronne badania wpływu oddziaływań pojazdów na elementy nawierzchni. Zagadnienia te obszernie omówiono m.in. w [1, 10, 11], podkreślając równocześnie znaczenie warunków geologiczno-inżynierskich podtorza dla prawidłowej pracy nawierzchni. Niektóre zasady, metody oraz kryteria prowadzenia badań odkształcalności podtorza i jego wzmocnienia stosowane na kolejach polskich i słowackich przedstawiono m.in. w [5, 9].

W modelu klasycznym podłoża szynowego można umownie wyróżnić następujące warstwy [10]:

1) szyny (pracują w stadium sprężystym jak belki na podłożu odkształcalnym - poziom naprężeń 2000 MPa),
2) podkładki (stadium sprężyste, naprężenie na górnej powierzchni - 200 MPa),
3) podkłady (stadium sprężyste - 2 MPa),
4) podsypka (stadium elastoplastyczne - 0,2 MPa),

5) warstwa o własnościach filtrujących (stadium elastoplastyczne - naprężenia na jej górnej powierzchni wynoszą ok. 0,01 MPa),

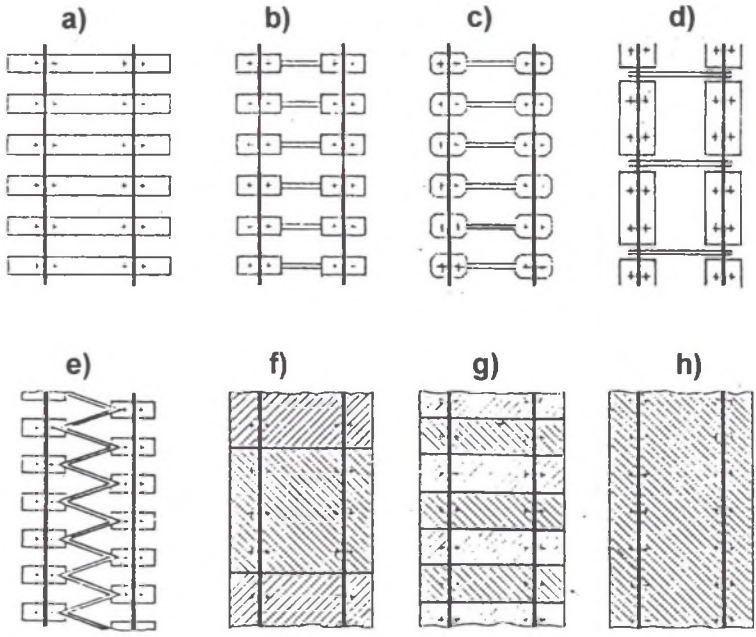
6) podtorze gruntowe pracujące w zasadzie w stadium sprężystym - 0,05 MPa.

Klasyczna nawierzchnia kolejowa składająca się z szyn i poprzecznych podkładów jest układem ramowym, którego węzły ulegają odkształcaniu na podsypce - warstwie pracującej w stadium elastoplastycznym (rys. 1a -1d). Znacznie większą sztywność i stabilność toru zapewniają ustroje kratowe (rys. 1e), płytowe o zróżnicowanych wymiarach (rys. 1f i 1g) oraz płytowe monolityczne (rys. 1h).

Spośród wymienionych rozwiązań tylko w dwu, kratowym i monolitycznym, nie występują w płaszczyźnie poziomej trwałe odkształcenia toru (z wyjątkiem dopuszczalnych, mieszczących się w granicach tolerancji zużycia). W płaszczyźnie pionowej praca nawierzchni zależy natomiast od właściwości konstrukcji, odkształcalności gruntów podtorza i ich wytrzymałości na działanie obciążeń zewnętrznych. W obu płaszczyznach nawierzchnia powinna pracować w stadium sprężystym pod obciążeniem dynamicznym.

Konstrukcję niekonwencjonalną toru definiuje T. Basiewicz następująco [10]: „Przez rozwiązanie niekonwencjonalne nawierzchni kolejowej należy rozumieć taki dobór materiałów w poszczególnych warstwach, ażeby zabezpieczyć ich pracę w stadium sprężystym, a ewentualne nierównomierne trwałe deformacje Δ_{tr} powstałe przy budowie i w czasie eksploatacji nie powinny przekroczyć założonej w projekcie ($\Delta_{tr} \leq \Delta_{dop}$)". Z cytowanej definicji wypływa jednoznacznie wniosek, że warunkiem zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości nawierzchni niekonwencjonalnej jest wyeliminowanie z niej warstwy podsypki.

Jeśli uwzględnić przedstawione kryterium podziału nawierzchni kolejowej, to omawiany w dalszej części artykułu układ z płyt MŽD z przytwierdzeniem sprężystym należy zaliczyć do grupy konstrukcji zbliżonych do typu nawierzchni niekonwencjonalnej. Nie rozwiązany do końca problem technologii napraw i kosztownego demontażu elementów nawierzchni niekonwencjonalnej spowodował, że na modernizowanych liniach średnich i dużych prędkości koleje polskie i słowackie stosują udoskonalone rozwiązania klasyczne, takie jak: podkłady B 70, szyny UIC 60 obrabiane cieplnie o wytrzymałości R ≥1080 MPa, podsypka o grubości warstwy ≥ 0,35 m spełniająca wyższe wymagania (wytrzymałościowe, mrozoodpornościowe, nasiąkliwości, zawartości ziaren nieforemnych i zanieczyszczeń, ścieralności itp.), warstwy ochronne oraz wzmocnienia podtorza.



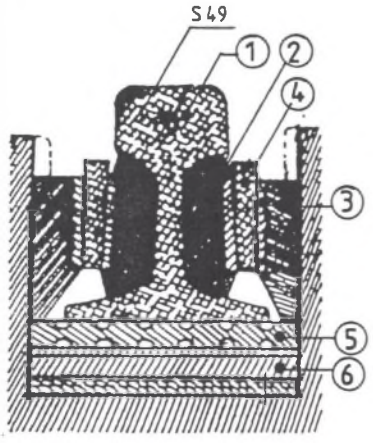
Rys. 1. Typy konstrukcji nawierzchni [10]
Fig. 1. Types of permanent way construction

Najczęstszym uszkodzeniem podkładów strunobetonowych jest uszkodzenie w obrębie przytwierdzenia szyny, co doprowadzić może do kilkunastomilimetrowego powiększenia prześwitu między tokami szyn. Zasadniczym typem przytwierdzenia szyn do podkładów drewnianych i betonowych jest przytwierdzenie pośrednie typu K. Wiele zarządów kolejowych (w tym PKP) stosuje na modernizowanych liniach różnorodne rozwiązania przymocowań szyny do podkładu, które najogólniej można nazwać przytwierdzeniami sprężystymi, jak np. SKl1 (DB), RN (SNCF), CS3 oraz Pandrol (BR). Wykorzystanie rozwiązania Pandrol FASTCLIP przewidziano na liniach dużych prędkości kolei słowackich.

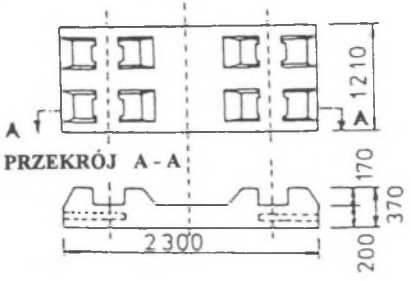
3. OPIS KONSTRUKCJI NIETRADYCYJNEGO PRZYTWIERDZENIA SZYN W MAŁOWYMIAROWYCH PŁYTACH KORYTKOWYCH

Przytwierdzenie znajduje się w betonowym zagłębieniu (korytku) płyty posiadającej wymiary 2300×1210×200 (370) (mm) i masę 1830 kg. Na rys. 2 zaprezentowano przymocowanie sprężyste szyny składające się z następujących części:

1) szyna typu S49,
2) dwa elementy gumowe ze stalowym zbrojeniem o długości 200 mm,
3) dwa elementy gumowe ze stalowym zbrojeniem o długości 200 mm,
4) pionowe alkamidowe kliny do regulacji rozstawu szyn,
5) gumowa przekładka PP2 o wymiarach 165×150×15 (mm),
6) dwa alkamidowe poziome kliny do regulacji wysokości powierzchni tocznej szyny.



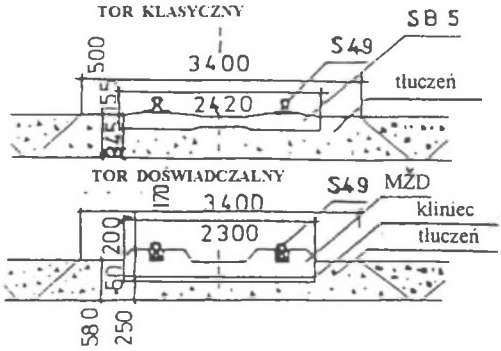
Rys. 2. Sprężyste przytwierdzenie szyny
Fig. 2. Resilent rail fastening



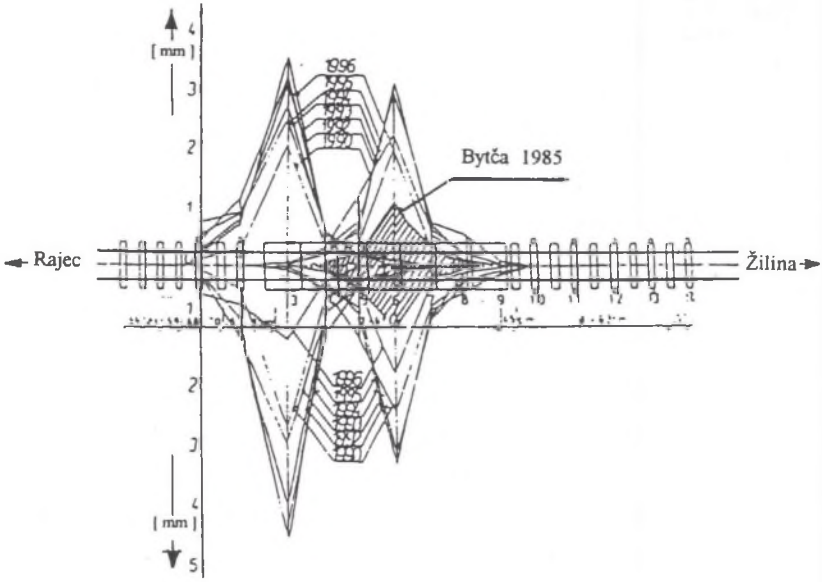
Rys. 3. Płyta korytkowa
Fig. 3. Trough panel

W płycie wykonano dwie pary korytek oddalonych od siebie o 61 cm (rys. 3). Rysunek 4 przedstawia przekroje poprzeczne nawierzchni toru klasycznego (stan przed eksperymentem) oraz toru doświadczalnego.

Przed zbudowaniem odcinka bazowego usunięto wszystkie warstwy nawierzchni w celu określenia gęstości i wilgotności gruntu podtorza oraz dokonania statycznych prób wytrzymałościowych. Kolejne próby obciążeniowe wykonano po ułożeniu warstwy z klińca (na niej bezpośrednio spoczywa płyta), aby określić statyczny moduł odkształcalności warstwy.



Rys. 4. Przekroje poprzeczne
Fig. 4. Transverse sections



Rys. 5. Statyczne odkształcenia poziome toru
Fig. 5. Static horizontal deformations of track

Z pomiarów otrzymano następujące wyniki:

a) nośność torowiska - 7,6 MPa ,

b) wilgotność gruntu - 26,3 % ,

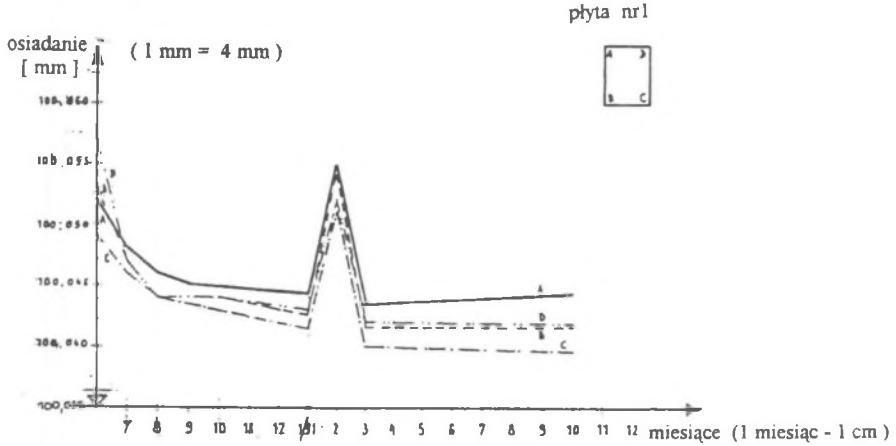
c) gęstość gruntu - $\rho = 1{,}840\ g \cdot m^{-3}$,

d) nośność warstwy klińca - 44,2 MPa .

Podłoże gruntowe doświadczalnego odcinka toru stanowi glina ilasta, na której ułożono 25-centymetrową warstwę tłucznia, a na niej 5-centymetrową warstwę zagęszczonego klińca. Podłoże torowe można wiec określić jako słabonośne. Na rys. 5 przedstawiono usytuowanie płyt oraz krzywe przebiegu odkształceń poziomych toru.

4. POMIAR ODKSZTAŁCEŃ PIONOWYCH PŁYT MAŁOWYMIAROWYCH

Poziom osadzonych w podsypce płyt kontrolowano metodą niwelacji technicznej (punkty ABCD w narożach płyty). Pomiary dokonywano począwszy od pierwszego dnia eksploatacji w regularnych odstępach czasu aż do chwili zakończenia intensywnego osiadania. Po upływie okresu konsolidacji płyt podjęto obserwacje zmian wysokości naroży w płytach oraz zmian położenia toków szynowych na odcinku doświadczalnym, jak też na odcinkach przyległych. Przebieg osiadania płyty nr 1 przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Przebieg osiadania płyty nr 1
Fig. 6. Course of subsidence of panel no. 1

Intensywne osiadanie płyt zakończyło się po upływie 6 miesięcy (początek zimy), natomiast wyraźne ich unoszenie się zauważono w miesiącach zimowych (maksymalne - zawsze w lutym) jako efekt przemarzania gruntu. Zimą w latach 1990/91, 1992/93 oraz 1995/96 wartości podnoszenia się płyt wynosiły 15 mm ponad poziom, zarejestrowane przed okresem mrozów. W maju następował powrót do poprzedniego stanu. W latach 1990-93 zaobserwowano w miesiącach letnich nieznaczne osiadanie, w latach następnych osiadanie ustąpiło, lecz w 1996 roku (miesiące letnie) wystąpiło niewielkie podnoszenie się płyt. Odkształcenia pionowe płyt zimą uzasadnia rodzaj gruntu podtorza oraz wadliwy system odwodnienia równi stacyjnej.

5. BADANIA SPRĘŻYSTEGO PRZYTWIERDZENIA SZYN

5.1. Pomiary statyczne poziomych odkształceń toru

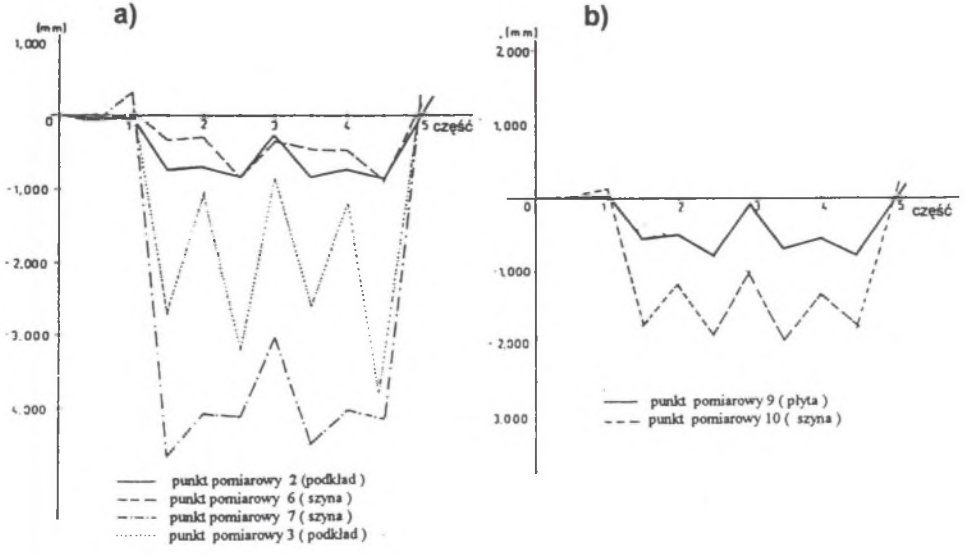
Celem pomiarów było sprawdzenie zdolności przytwierdzenia sprężystego do przenoszenia poziomej składowej obciążeń dynamicznych. Doświadczenia wykonywano na płytach nr 1 i 4 przykładając do szyny dźwignik hydrauliczny. Siła naprężająca wywołana przez urządzenie miała wartość Y = 60 kN. Odchyłki główki szyny od pierwotnego położenia odczytywano na odchyłomierzach z dokładnością 0,01 mm.

Wyniki można zawrzeć w kilku następujących wnioskach:

- przytwierdzenie sprężyste jest odporne na działanie sił poziomych powstałych podczas przejazdu pociągów i umożliwia utrzymanie stałej szerokości nominalnej toru w długim okresie eksploatacji,
- sprężystość przytwierdzenia od chwili założenia odcinka próbnego praktycznie nie zmieniła się (albo zmieniła się nieznacznie),
- konstrukcja przymocowania umożliwia rozłożenie naprężeń na większą liczbę przytwierdzeń, niż miało to miejsce w przypadku badań klasycznego toru stacji kolejowej Bytča (rys. 5); fala naprężeń przenosi się na 12-14 podkładów od miejsca ich powstawania.

5.2. Pomiar dynamicznych pionowych odkształceń sprężystych pod przejeżdżającymi pojazdami

Pomiary prowadzono na szynach oraz na płycie nr 4, w narożach której zainstalowano czujniki wychwytujące drgania pionowe. Takie same obserwacje prowadzono na przyległym do odcinka próbnego torze klasycznym. Źródło odkształceń stanowiła lokomotywa T 448 [2] poruszająca się z prędkością 50 km·h^{-1}. Dane z pomiarów rejestrowane przez aparaturę MC 32 można otrzymać w formie numerycznej i graficznej po przetworzeniu przez komputer. Rysunek 7a przedstawia wykres odkształceń powstałych przy przejeździe lokomotywy nad podkładem, 7b - nad płytą.



Rys. 7. Dynamiczne odkształcenie sprężyste: a) podkładu, b) płyty
Fig. 7. Dynamic resilient deformation of: a) sleeper, b) panel

6. PODSUMOWANIE

Warunkiem eksploatowania każdego przytwierdzenia jest trwałe utrzymanie wymaganego rozstawu szyn bez względu na zmiany klimatyczne i obciążenie przewozami. Obowiązująca norma dopuszcza przy jeździe z prędkością 100 km·h^{-1} wahania szerokości toru w granicach +10,-3 mm. Podczas trwania eksperymentu (7 lat) korekta rozstawu szyn nie była potrzebna.

Do zalet przedstawionego przytwierdzenia należy zaliczyć:

- prostotę regulacji rozstawu szyn za pomocą pionowych alkamidowych klinów,
- tłumienie pionowych i poziomych drgań,
- małą liczbę elementów przytwierdzenia w płycie,
- oszczędność stali w porównaniu z typowym przytwierdzeniem sprężystym o 84%, tj. o około 31 ton stali na 1 km toru,
- zapewnienie trwałości położenia toru w planie dzięki zastosowaniu małowymiarowej płyty,
- mniejsze niż w przypadku podkładu przemieszczenia płyty w płaszczyźnie pionowej.

Wadą konstrukcji jest dotychczas nie rozwiązany problem mechanizacji montażu płyt i przytwierdzenia.

LITERATURA

1. Jirsák Z. a kolektív: Projektovanie, stavba a rekonštrukcia železničných tratí. ALFA, Bratislava 1974.
2. Maliček I.: Poznatky z dlhodobého pozorowania netradičného upevnenia kol'ajníc v malých žl'abových doskách. Materiały konferencyjne Międzynarodowej Konferencji i Specjalistycznej Wystawy „Rozwój infrastruktury transportowej Śląska i Północnych Moraw" tom II, Instytut Transportu Politechniki Śląskiej w Katowicach, Ostrawa-Katowice 1997, ss. 361-367.
3. Pawlicki J., Gombitová J., Maliček I.: Geometryczne ukształtowanie torów linii dużych prędkości na kolejach słowackich i polskich. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej serii „Transport" z.29, Gliwice 1997, ss. 73-82.
4. Pawlicki J., Hřebačka M.: Ocena stanu rozwoju korytarzy kolejowych dużych prędkości ČD i ŽSR w aspekcie integracji techniczno-eksploatacyjnej z siecią kolejową w Polsce. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej serii „Transport" z.28, Gliwice 1996, ss.137-154.
5. Pawlicki J., Ižvolt L., Slepecky J.: Metodyka rozpoznawania przyczyn i klasyfikacja odkształceń podtorza na modernizowanych drogach kolejowych ŽSR i PKP. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej serii „Transport" z.29, Gliwice 1997, ss.83-91.

6. Správa pre záverečnú oponentúru úlohy III-4-6/04-E01/b „Výskum pôsobenia kol'ajových vozidiel na konštrukciu dopravnej cesty", VŠDS Žilina, K-ŽSTH, Žilina október 1990.
7. Správy o riešení výskumných úloh grantového projektu B 8/03-1 „Zvyšovanie výkonnosti a modernizácie železničných tratí", VŠDS Žilina, K-ŽSTH, roky 1991-93.
8. Záverečná správa o riešení výskumnej úlohy grantového projektu G1/1883/94 „Modernizácia železničných tratí a staníc" za roky 1994-96, VŠDS Žilina, K-ŽSTH, december 1996.
9. Standardy techniczne - szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji linii kolejowej E20 - Poznań - Warszawa - Terespol. DG PKP, Warszawa 1993.
10. Sysak J., red.: Drogi kolejowe. PWN, Warszawa 1986.
11. Sysak J.: Podstawy dróg kolejowych. PWN, Warszawa 1982.

Recenzent: Doc. dr inż. Zbigniew Ginalski

Wpłynęło do Redakcji 9.03.1998 r.

Abstract

At the Department of Railway Design and Track Economy at University of Žilina (before VŠDS Žilina) within the framework of the re-search activities, an unconventional rail on concrete panels has been proposed, labo-ratory tested, manufactured and by assistance of the railway workers laid into the rail in operation at Lietavská Lúčka railway station. Seven concrete panels are laid on the testing section.

The paper presents some results of longterm complex verification at this unconventional construction and it contains: basic data about the construction of unconventional fastening, data about the height variations panels and rails, results of static tests of horizontal deformation of rail, results of measurements vertical dynamic resilience under running vehicles, data about changes of rail gauge, summary of results.